

VERMICULITVORKOMMEN DER BÖHMISCHEN MASSE IN ÖSTERREICH
UND IHRE ENTSTEHUNG +)

von

M. A. Götzingen ++)

(eingelangt am 5. Mai 1987)

Zusammenfassung

Ober Vermiculit wird ein historischer Überblick mit der Originalbeschreibung gegeben. Aufgrund stark variierender chemischer Zusammensetzung wird der Name Vermiculit für eine eng verwandte Mineralgruppe gebraucht. Ein kurzer Überblick zeigt die technischen Eigenschaften und die daraus resultierenden Verwendungen auf.

Eine Typengliederung der Vermiculitvorkommen in der Böhmisches Masse erfolgt aufgrund unterschiedlicher Gesteins- und Mineralgesellschaften: 1) Vermiculit gebunden an Pegmatite und Plagioklasite, 2) Vermiculit in hydrothermal beeinflussten Klüften, 3) Vermiculit in sedimentär-eluvialen Umlagerungen, mit Neubildung von Hydrobiotit. Nach Vorkommestypen gegliedert werden 16 Vermiculitvorkommen beschrieben mit den jeweils charakteristischen Mineralgesellschaften.

Bezüglich der Entstehung werden eine Desilifizierungszone (z.T. Plumasite), eine innere Reaktionszone (mit Andalusit, Cordierit), eine äußere Reaktionszone (mit Anthophyllit, Klinophibol, Chlorit und Vermiculit) und eine Talk führende Zersetzungszone im Serpentin unterschieden. Die Mineralreaktionen setzen bei etwa 650° C und 2-3 kbar ein (Andalusit + Sillimanit) und reichen über zwei Hydrothermalstadien bis zur beginnenden Verwitterung und der damit einsetzenden Hydrobiotitbildung.

Die Intrusion der Pegmatite oder anatektischer Mobilisate erfolgte im Zuge der variszischen Gebirgsbildung.

Summary

A historical review with the original description of vermiculite is given. Because of the strong variation of the chemical composition the name vermiculite is used for a close mineral group. A short abstract shows the properties of vermiculite and the resulting technical use.

Three types of vermiculite occurrences are discernible on the basis of rock assemblages and characteristic mineral associations: 1) vermiculite bound to pegmatites and plagioclases, 2) vermiculite in hydrothermal influenced clefts, 3) vermiculite in sedimentary-eluvial transformed environments with hydrobiotite. According to this classification 16 vermiculite bearing occurrences are described with their characteristic minerals.

For genetical concepts a desilification zone (partly plumasitic), a inner reaction zone (with andalusite, cordierite), an outer reaction zone (with anthophyl-

+) gefördert durch die Österreichische Akademie der Wissenschaften
(Kommission für Grundlagen der Mineralrohstoff-Forschung)

++) Anschrift des Verfassers:
Dr. Michael A. Götzingen
Institut für Mineralogie und Kristallographie der Universität Wien
Dr. Karl Lueger-Ring 1, A-1010 Wien

lite, clinoamphiboles, chlorite and vermiculite) and a talc bearing decomposition zone in the serpentinite are discerned. The mineral reactions started at approximately 650° C and 2-3 kbar (andalusite + sillimanite) and are following through two hydrothermal stages to surficial decomposition and formation of hydrobiotite.

The intrusion of pegmatites or anatectic mobilisates took place during the variscian orogenesis.

Einleitung

Die Erstbeschreibung und Namensgebung von Vermiculit erfolgte durch Thomas H. WEBB im Jahre 1824 in einem Brief an den Herausgeber des American Journal of Sciences: In einer kompakten, schmutzig weißen Talkmasse "from near Worcester, Mass." kommt ein zweites Mineral vor, das WEBB (1824) folgendermaßen beschreibt: "the other is in thin plates of a yellowish and blackish cast, and resembles mica very much in appearance. It exhales an argillaceous odour upon being moistened. When pulverized it seems to consist of a yellowish powder interspersed with small shining laminae. If subjected to the flame of a blowpipe, or that of a common lamp, it expands and shoots out into a variety of fanciful forms, resembling most generally small worms having the vermicular motion exact. It sometimes expands with such force as to be thrown some distance. These vermiform remnants are composed of small irregular scales, loosely adhering to each other, having a silvery white appearance and metallic lustre.

If this proves to be a new variety, would it not be better in giving it a distinctive appellation to select one that will indicate the peculiar property it possesses, than to make use of an arbitrary name. I term it Vermiculite (worm breeder) from Vermicular, to breed or produce worms.

THOMAS H. WEBB."

Diese, für heutige Maßstäbe völlig unzureichende Mineralbeschreibung und -definition, gibt allerdings sehr charakteristische äußere Kennzeichen und Eigenschaften, die auch heute noch in vielen Fällen zur richtigen Bestimmung führen werden:

- ähnliches Aussehen wie Glimmer (Biotit),
- gelbbraune Farbe,
- Expansion senkrecht zur Plättchenebene bei rascher Erhitzung,
- danach die silberweiße Farbe mit metallischem Glanz.

In weiterer Folge wurden von mehreren Autoren Minerale mit ähnlichen Eigenschaften beschrieben und auch mit neuen Mineralnamen bedacht. Eine Übersicht findet sich in HINTZE (1897, II/1, 547 ff.).

In seiner Arbeit über die Glimmergruppe gibt TSCHERMAK (1878) eine Einteilung in "normale" Magnesieglimmer (Biotit, Phlogopit usw.) und Glimmer, bei denen die optische Achsenebene senkrecht zur Symmetrieebene liegt (Abbildungen dazu in TRÜGER, 1971) - Glimmer I. Art: Anomit (von *ἀνομιέω*, ich bin gegen das Gesetz). Diese selten vorkommenden Anomite beschreiben TSCHERMAK (1872) und BECKE (1882) aus den "Glimmerkugeln" von Hermannschlag (Heřmanov, CSSR; Černý, 1972) und aus den "Anthophyllitkugeln" von Dürnstein. Diese Kugeln bestehen meist aus drei konzentrischen Zonen:

- 1) innen Olivinfels, teilweise in Serpentin umgewandelt, mit Orthopyroxen und Spinell;
- 2) darauf senkrecht stehend Anthophyllit ($\pm$ Strahlstein) eine Umhüllung bildend;
- 3) eine tangential stehende Glimmerschicht von verwittertem Anomit, über den BECKE schreibt: "In diesem Zustande verhält sich das veränderte Mineral v.d. L. so wie der als Vermiculit beschriebene veränderte Glimmer" (1882, S.333).

Eine Bestätigung dieser Feststellung ergab sich erst viele Jahre später aufgrund des röntgenographischen Nachweises von Vermiculit in dieser äußeren Glimmerschicht (GÖTZINGER, 1979b).

Auch SCHRAUF (1882) beschreibt in seiner ausführlichen Arbeit über Magnesiasilikate aus dem südlichen Böhmerwald ein Mineral Lernilith, welches ebenfalls mittels röntgenographischer Bestimmung und Mikrosondenanalysen als Vermiculit eingestuft werden konnte (GÜTZINGER, 1986).

Erst MOHR (1949) gibt Hinweise auf Vermiculitvorkommen in Österreich und zwar "in der nordöstlichen Steiermark und in einem Teile des Burgenlandes wurden Vermiculitschiefer entdeckt". Diese vagen Angaben könnten sich auf das Serpentinittgebiet von Kraubath (Stmk.) und auf die Serpentinite von Bernstein und Steinbach (Bgld.) beziehen - in letzterem konnte tatsächlich Vermiculit nachgewiesen werden (GÜTZINGER, 1982). Weitere Veröffentlichungen von Mohr zu diesem Thema liegen nicht vor.

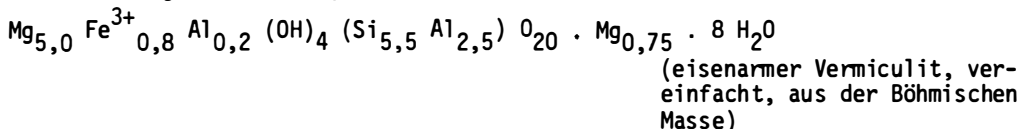
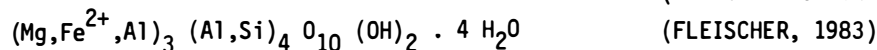
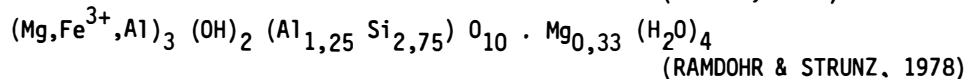
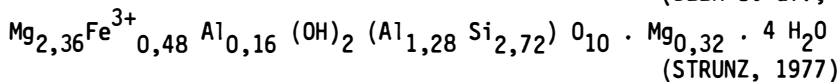
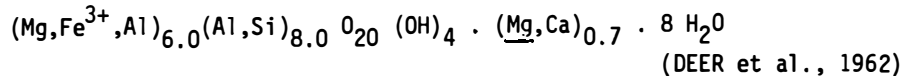
HAMILTON (1953) zeigt in einem anwendungstechnischen Übersichtsartikel die Eigenschaften, wirtschaftliche Verwendung und Lagerstätten von Vermiculit auf (siehe auch N.N., 1977).

Im Jahre 1978 wurden größere Mengen Vermiculit in den Serpentinittsteinbrüchen von Pingendorf bei Geras, NÖ., gefunden (GÜTZINGER, 1979a). Mit dem Wissen um die Art des Auftretens konnten in weiterer Folge an die 20 Vorkommen nachgewiesen werden. Die technischen Daten österreichischer Vermiculite gibt POLEGEG (1984), nachdem Herr Prof. Dr. W.E. Petrascheck in den Jahren 1978/79 die Initiative für technisch-geologische Untersuchungen ergriffen hatte.

Vermiculit - Mineral oder Mineralgruppe?

Vermiculit ist nach der äußeren Erscheinung ein glimmerähnliches Schichtsilikat. Nach seiner Kristallstruktur (MATHIESON, 1958, SHIROZU & BAILEY, 1966) besitzt er Ähnlichkeiten mit Chlorit, wobei in den Talkschiechten Silizium teilweise durch Aluminium ersetzt ist, Magnesium teilweise durch Aluminium und meist dreiwertiges Eisen, und der dadurch notwendige Ladungsausgleich durch hydratisierte Magnesiumionen in einer Zwischenschicht erfolgt (beim Chlorit sind es Magnesiumhydroxid-Zwischenschichten). Bezüglich der Austauschbarkeit von Ionen in den Zwischenschichten ist Vermiculit mit Mineralen der Smectit-Gruppe (Montmorillonit, Saponit) zu vergleichen.

Als chemische Formeln werden von verschiedenen Autoren folgende angegeben (Auswahl):



Allein aus den Formeln ist zu erkennen, daß die chemische Zusammensetzung erheblich schwankt (siehe Tab.1). Das Eisen liegt, auch nach eigenen Messungen mit der Methode nach WILSON (1955), überwiegend in dreiwertiger Form vor. Der Gehalt an Alkalien und Calcium kann bis zu 3 Gew. % betragen, sodaß chemisch Übergänge zu Hydrobiotit möglich sind (GÜTZINGER, 1986). Eine Zusammenstellung über die Kristallchemie von Vermiculiten gibt WEISS (1980).

Tab.1: Beispiele der chemischen Zusammensetzungen von Vermiculiten (in Gew.%)

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	35,00	37,0 ± 1,8	36,3 ± 0,6	35,57	36,3	34 - 37
TiO ₂	-	0,32 ± 0,11	1,25 ± 0,22	1,06	0,9	0,2 - 1,8
Al ₂ O ₃	14,58	14,0 ± 1,3	14,1 ± 0,9	11,47	8,7	9 - 17
Cr ₂ O ₃	-	0,18 ± 0,07	0,09 ± 0,06	0,18	≤0,01	xx)
Fe ₂ O ₃ ^{x)}	6,77	6,75 ± 0,97	9,73 ± 0,61	7,87	4,9	0,2 - 10
MgO	24,56	23,9 ± 1,1	23,3 ± 0,8	22,57	26,5	18 - 26
MnO	-	0,03 ± 0,02	0,04 ± 0,02	0,06	0,02	- 0,1
CaO	-	1,34 ± 0,25	0,22 ± 0,15	0,73	0,25	- 1,8
Na ₂ O	-	0,06 ± 0,04	0,02 ± 0,01	≤0,01	0,1	≤0,4
K ₂ O	-	0,03 ± 0,02	0,07 ± 0,04	0,96	0,05	≤0,1
H ₂ O	19,09	n.b.	n.b.	19,12	21,9	14 - 22
	<u>100,00</u>	<u>83,61</u>	<u>85,12</u>	<u>99,59</u>	<u>99,62</u>	

x) Gesamteisen als Fe₂O₃

xx) vom Umgebungsgestein abhängig (- etwa 0,2)

1 Vermiculit der Formel Mg_{5,0} Fe³⁺_{0,8} Al_{0,2} (OH)₄ (Si_{5,5} Al_{2,5}) O₂₀ · Mg_{0,75} · 8H₂O

2 Ca-reicher Vermiculit (Mittelwert aus 7 EMS-Analysen), Typ 1, Rastbach, Pingendorf

3 Ca-armer Vermiculit (Mittelwert aus 10 EMS-Analysen), Typ 2, Schönfeld, Waldkirchen

4 Vermiculit, Rainy Creek, Libby, Montana (USA), aus BOETTCHER (1966)

5 Vermiculit, Palabora, Transvaal, Süd-Afrika, aus FOSTER (1963)

6 Variabilität von Vermiculitanalysen aus der Literatur

Vermiculit kristallisiert monoklin (Raumgruppen Cc oder C2/c) mit folgenden Gitterparametern (nach MATHIESON, 1958):

$$a_0 = 5,33 \text{ \AA}, b_0 = 9,18 \text{ \AA}, c_0 = 2 \times 14,36 \text{ \AA}, \beta = 97^\circ, Z = 4$$

Die Gitterkonstantenverdopplung ergibt sich durch eine schwache Polyederverdrehung. In Pulverdiagrammen zeigt sich normalerweise der 14 Å-peak als erster. Aufgrund ähnlicher Gitterparameter ist die Unterscheidung Vermiculit - Chlorit im Pulverdiffraktogramm nur aufgrund von Intensitätsunterschieden gegeben (WEISS & ROWLAND, 1956). Über Vermiculit-Polytypie und ihre Klassifikation berichten WEISS & ĐUROVIČ (1980). Demnach gibt es 4 Vermiculit-Gruppen mit insgesamt 44 Polytypen.

Unter Berücksichtigung des Struktur-Feinbaues und der stark variierenden chemischen Zusammensetzung erscheint es angebracht, den Namen Vermiculit für eine eng verwandte Mineralgruppe zu gebrauchen.

Technische Eigenschaften und Verwendung

Die langsame Dehydratation von Vermiculit erfolgt in mehreren Stufen, wobei jedes Mal eine Verkleinerung der c₀-Gitterkonstante auftritt (WEISS et al., 1977, KRESTEN & BERGGREN, 1978). Bei rascher Erhitzung auf etwa 850° C entweicht das Zwischenschichtwasser explosionsartig und verursacht eine ziehharmonikaartige Expansion des Minerals senkrecht zur Plättchenebene um das 20- bis 40-fache der ursprünglichen Dicke. Dabei entsteht ein mineralischer Rohstoff mit geringer Schüttdichte (üblicherweise max. 180 kg/m³), der aufgrund sehr guter Isolationseigenschaften (Temperatur, Schall, Elektrizität) einer breiten Verwendung zugeführt wird:

- als loses Schüttgut für Ofenauskleidungen,
- als Zuschlagstoff für Isolierputz und Leichtbeton,
- als Filtermaterial für die Wasserreinigung,
- als Ionenaustauscher bei der Bodenverbesserung,
- als Preßgut für feuerbeständige Platten und Bauteile,
- als Trägermaterial für Futtermittel,
- als Verpackungsmaterial für Säureflaschen etc. (nach ÖNORM G1046).

Eine weitere interessante, technisch verwertbare Eigenschaft ist das Ionenaustauschvermögen des Vermiculites. So ist es möglich, das Magnesium aus der Zwischenschicht durch andere Ionen zu ersetzen. Einen Überblick über diese Anwendung geben u.a. SAYIN & REICHENBACH (1979). Eine Vielzahl an Literatur existiert auch über die Wechselwirkungen mit organischen Reagentien.

Typengliederung und Vorkommen in Österreich

In Abhängigkeit von den Trägergesteinen unterscheidet BASSETT (1963) vier Gruppen von Vermiculitlagerstätten: (1) in ultramafischen und mafischen Gesteinen; (2) in Gneisen und Schieferen; (3) in Karbonat(it)gesteinen; (4) in granitischen Gesteinen.

Die Vorkommen der Böhmisches Masse entsprechen hauptsächlich der ersten Gruppe (Vorkommen in Serpentiniten): siehe Abb.1. Aus Aufschlußbildern und charakteristischen Mineralgesellschaften lassen sich in der Böhmisches Masse drei Haupttypen mit einigen Subtypen der Vorkommen unterscheiden. Einen Überblick gibt die Tab.2. Ortsbilder der drei Haupttypen geben die Abbildungen 2, 2a, 3, 3a und 4. Bezüglich weiterer Informationen (z.B. Mineralanalysen) siehe GÜTZINGER (1987).

Haupttypen der Vermiculitvorkommen:

Typ 1: Vermiculit ist an helle Ganggesteine gebunden. Charakteristische Begleitminerale sind Anthophyllit und Klinosamphibole. Es besteht ein Übergang von mächtigen Gängen zu Kluft- und Gangnetzwerken mit abnehmenden Anthophyllitgehalten.

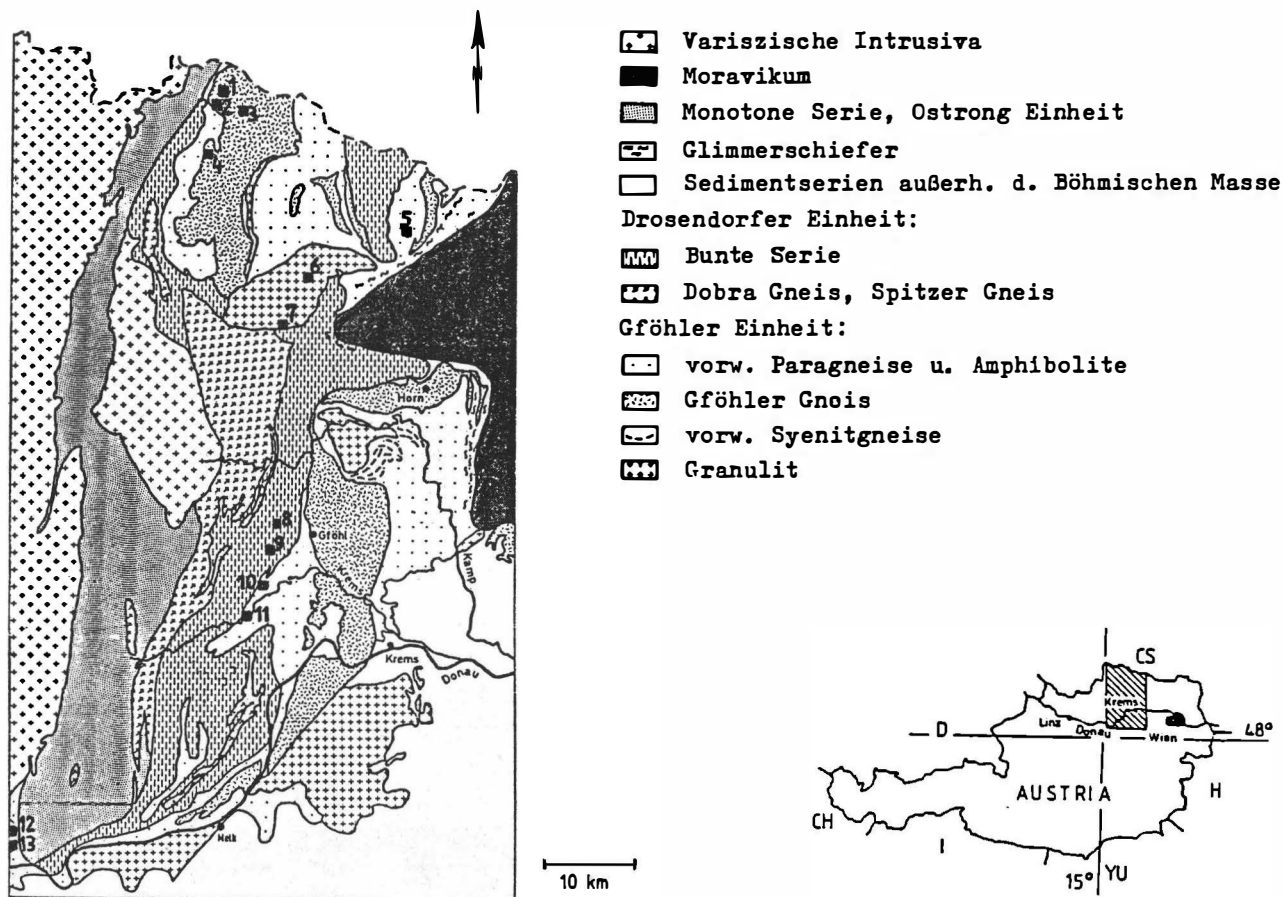
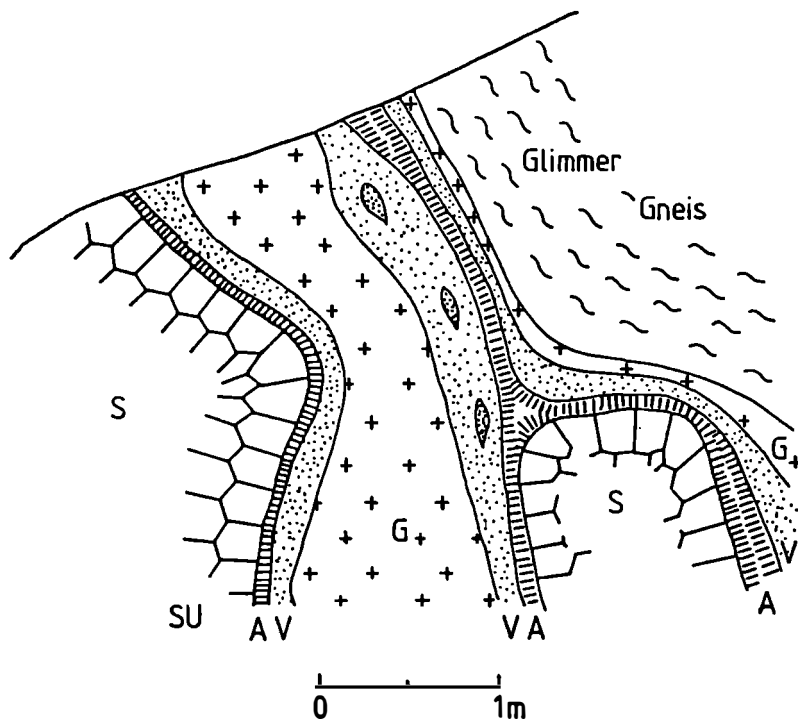


Abb.1: Vereinfachte geologische Karte der Böhmischen Masse in Österreich (nach FUCHS & MATURA, 1976) mit Vermiculitvorkommen: 1= Schönfeld N Dobersberg, 2= Waldkirchen an der Thaya, 3= Waldhersh NE Dobersberg, 4= Riegers S Dobersberg, 5= Pingendorf NW Geras, 6= Sulzmühle bei Ludweis NW Horn, 7= Dietmannsdorf WNW Horn, 8= Rastbach W Gföhl, 9= Wurschenaigen W Gföhl, 10= Felling u. Zwettler Leiten W Gföhl, 11= Kl.-Heinrichschlag W Krems, 12= Unterfell, Yspertal, 13= In der Gleisen, Yspertal.

Tab.2: Haupt- und Subtypen der Vermiculitvorkommen in Serpentiniten der Böhmisches Masse

	Charakteristische Begleitminerale	Typische Vorkommen in Niederösterreich
1) Vermiculit gebunden an leukokrate Gänge		
a) V. in Umwandlungszonen von Pegmatiten (Cordierit, Andalusit, Korung)	Anthophyllit, Klinoamphibole	Felling, Kl.-Heinrichschlag, Wurschenaigen
b) V. in Umwandlungszonen von Plagioklasiten (Prehnit, Fluorit, Saponit)	Klinoamphibole, Anthophyllit, Chlorit	Pingendorf, Rastbach
c) V. innerhalb leukokrater Ganggesteine	Chlorit (nach Klinoamphibolen)	Dietmannsdorf
d) V. in Umwandlungszonen dünner und disperser Gängchen und Kluftnetze	Chlorit ($\pm$ Anthophyllit)	Gleisen, Rastbach, Sulzmühle/Ludweis
2) Vermiculit in Klüften, primär gebildet durch hydrothermale Lösungen		
a) V. in hydrothermalen Gangzonen und Kluftnetzen	Chlorite ($\pm$ Klinoamphibole)	Schönfeld, Waldhersh, Waldkirchen
b) V. dispers in hydrothermal umgewandelten Serpentinitten	Chlorite	Waldhersh, Unterfell
3) Vermiculit in sedimentär-eluvialen Umlagerungen	Hydrobiotit, verwitterte Minerale	Riegers, Wurschenaigen

Für die Lokalisation der Ortsangaben siehe Abb.1



Rastbach b. Gföhl

I Süd,

SE-Wand

Stand: 9.6.1981

Skizze nach einer Photographie

Abb.2: Ortsbild eines Plagioklasit-Quarz-Ganges mit Umwandlungszonen im Serpentin; Vermiculit-Vorkommenstyp 1b. An den Gang (G) schließt sich die Vermiculit-Zone (V) mit Knollen von Klinkoamphibolen, und daran die Anthophyllit-Zone (A) gegen den umgewandelten Serpentin (SU) und den Serpentin (S).

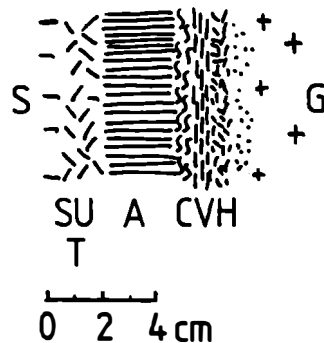


Abb.2a: Detail aus der Umwandlungszone, Typ 1b (z.B. Rastbach)
S= Serpentin, SUT= umgewandelter Serpentin mit Talk, A= Anthophyllit, C= Chlorit, V= Vermiculit, H= "Hornblende" (meist Aktinolith bis Magnesiohornblende), G= Ganggestein (Plagioklasit)



Abb.3: Ortsbild im Steinbruch Sulzmühle bei Ludweis. Der Serpentinit ist von zahlreichen leukokraten Gängen durchschlagen; Vermiculit-Vorkommenstyp 1b und 1d, die feinen Klüftchen entsprechen den Typen 2a und 2b.

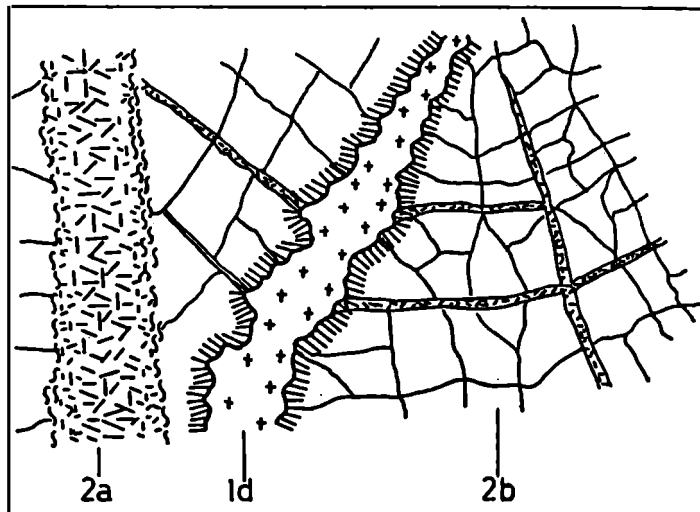


Abb.3a: Details aus den Vermiculit-Vorkommenstypen 1d, 2a und 2b:
 1d = dünnes Gängchen mit Plagioklas-Fragmenten ($\pm$ Quarz) und mit einem schmalen Saum von Klintoamphibolen und Anthophyllit ($\pm$ Chlorit), Dicke etwa 0,5 - 2 cm;
 2a = hydrothermale Kluft gefüllt mit Chlorit und Vermiculit, schwankende Dicke 2 - 20 cm;
 2b = Kluftnetzwerk im Serpentinit, gefüllt mit geringen Mengen von Chlorit und Vermiculit ($\pm$ Saponit), Dicke zwischen 0,1 und 1 cm.

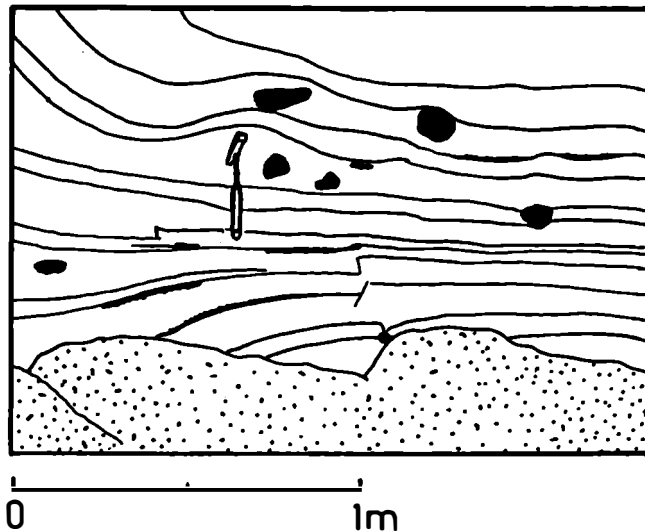


Abb.4: Ortsbild hinter dem Haus Wurschenaigen Nr. 11 zeigt die sedimentäre Anlage des Vermiculit-Vorkommenstyp 3. Die Linien sind gröbere Körnchen aus Feldspat- und Quarzgrus, dazwischen liegt feinkörniges Material mit Vermiculit und Hydrobiotit. Einzelne Pegmatitstücke (schwarz gezeichnet) liegen in den Schichten und an Schichtgrenzen.

- Typ 2: Vermiculit gebildet in Klüftchen und Rissen, primär durch hydrothermale Lösungen beeinflusst, sekundär von Verwitterungswässern. Die Gehalte der Nebenelemente (z.B. Ti, Cr, Fe) der Vermiculite sind abhängig vom Mineralangebot des umgebenden Serpentinits (z.B. Spinelle, Cr-Spinell, Magnetit).
- Typ 3: Vermiculit in sedimentär-eluvialer Umlagerung. Charakteristisch sind verwitterte Minerale und Hydrobiotit als Neubildung. Die Mächtigkeit dieser sedimentären Anreicherungen schwankt zwischen 2 m und 20 cm. Die Herkunft dieses Materials stammt von den Vorkommenstypen 1 und 2. Hydrobiotit wurde offenbar durch den Einfluß von Verwitterungswässern gebildet.

Beschreibung einzelner charakteristischer Vermiculitvorkommen nach Typen gegliedert:

Typ 1a: FELLING, ZWETTLER LEITEN, KL.-HEINRICHSCHLAG, WURSCHENAIGEN
(ØK 1:50.000, Bl. 20 und 37)

FELLING SSW Loiwein:

Knapp 1 km W Felling steht unmittelbar südlich der Straße nach Taubitz ein Pegmatit (Schriftgranit) in einem Orthopyroxen führenden Serpentin an. Dieser Serpentin gehört wie der der Roten Wand - Zwettler Leiten einem Amphibolit-Zug der Gföhler Einheit an, der auf knapp 10 km Länge N Felling bis Himberg verfolgbar ist (Geol. Karte, MATURA, 1983). Schörl und Muskovit treten im Pegmatit auf, gegen den Rand pinitisierter Cordierit und dunkelgrüner Chlorit (nach Biotit) in großen, teilweise charakteristischen leistenförmigen Kristallen. Feinkörniger Vermiculit aus der Reaktionszone ist nur spärlich vorhanden, da diese an keiner Stelle gut aufgeschlossen ist. Vor langer Zeit ging hier ein kleiner Steinbruch um, derzeit ist das Areal fast gänzlich verwachsen. Bezüglich der in der Literatur beschriebenen Korunde siehe bei FECHNER & GÜTZINGER (1985).

ZWETTLER LEITEN SW Felling:

Der durch eine Forststraße recht gut aufgeschlossene Ultrabasitkörper der Zwet-
tler Leiten verdient wegen mehrerer mineralogisch-petrologischer Besonderheiten
erwähnt zu werden:

1) An der Westflanke des Gesteinskörpers fällt in dem hellgrünen Serpentin eine
reiche Spinellführung auf. Das an Chrysotil reiche Gestein ist weiters von hel-
len, verwitterten Tremoliten durchzogen. Dies mag ein Hinweis auf eine mangelnde
Ca-Abfuhr während der Serpentinisierung sein.

2) An der Spitzkehre am Süden treten hier im aufgeschlossenen Orthopyroxenit
(Bronzitit) verwitterte, helle Ganggesteine auf, deren Feldspäte (Orthoklas und
Albit) teilweise in Saponit umgewandelt sind (vgl. dazu ČERNÝ & POVONDRA, 1965).

3) An der Ostflanke tritt ein etwa 50 cm mächtiger Pegmatit im Serpentin auf
(siehe auch geol. Karte, MATURA, 1983), der schriftgranitische Partien mit myr-
mekitischem Turmalin (Schörl) enthält. In seiner Randzone finden sich stark pi-
nitisierte Cordierite. Gegen den verwitterten Serpentin folgt eine ca. 10 cm
mächtige Reaktionszone mit auffälligen, glimmerähnlichen Kristallen und Antho-
phyllit. Röntgenographische Untersuchungen dieser Platten von bräunlichgrüner
Farbe ergaben Parallelverwachsungen nach der Basis von Vermiculit und Hydrobio-
tit. Die Abb.5 gibt zwei Ausschnitte des Diffraktogramms mit erstaunlich schar-
fen Linien von Hydrobiotit und Vermiculit. Als Probe diente eine glatte Kristall-
platte.

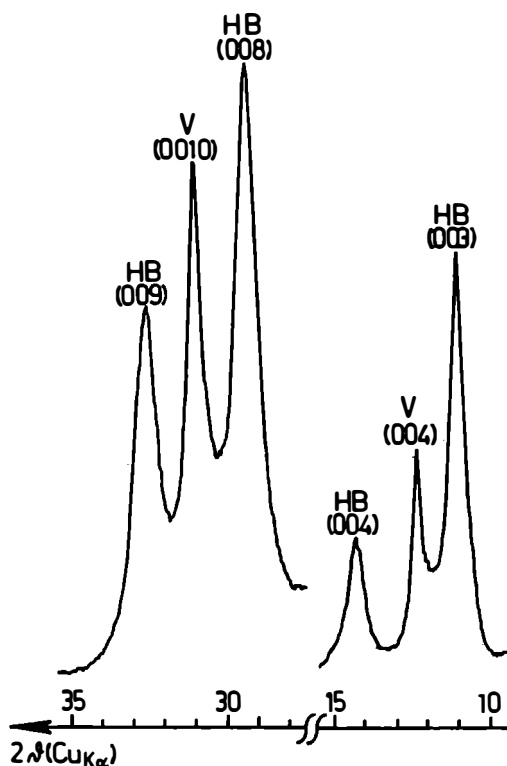


Abb.5: Teil eines Röntgendiffraktogrammes einer Schichtsilikatplatte aus der
Pegmatit-Randzone im Serpentin der Zwetler Leiten. Deutlich sind die
Reflexe von Vermiculit und Hydrobiotit unterscheidbar:

$d_{(003)HB} = 7,91$	$d_{(004)V} = 7,13$	$d_{(004)HB} = 6,18$
$d_{(008)HB} = 3,025$	$d_{(0010)V} = 2,864$	$d_{(009)HB} = 2,735$
(Angaben in Å)		

KL.-HEINRICHSCHLAG SSW EIs:

Dieser Serpentin liegt nach MATURA (1983) in den die Amphibolite umgebenden Paragneisen. Über die Minerale dieses Vorkommens siehe bei FECHNER & GÜTZINGER (1985).

WURSCHENAIGEN WSW Gföhl:

Dieses Vorkommen liegt in dem langgestreckten Serpentin, der nach FUCHS et al. (1984) auf einer Länge von knapp 5 km vom Waldsee über Rastbach bis Wurschenaigen verfolgbar ist. Die tektonische Position dieses Serpentinikörpers, der von Paragneisen umgeben ist, wird zur Drosendorfer Einheit gestellt (vgl. FUCHS & MATURA, 1976; SCHARBERT & FUCHS, 1981); alle anderen Serpentine des Waldviertels gehören der Gföhler Einheit an. Hinter dem Haus Wurschenaigen Nr. 11 waren nach Aushubarbeiten im Jahre 1979 stark verwitterte Serpentine mit einem Turmalin führenden Pegmatitgang aufgeschlossen. Die Reaktionszone zum Serpentin war sehr schmal und enthielt Vermiculit, grüne Klioamphibole (meist Aktinolith bis Magnesiohornblende) und Anthophyllit. Dieses Vorkommen leitet aufgrund fehlender Al-reicher Minerale in der Reaktionszone (z.B. Cordierit, Andalusit, Korund) schon zum Subtyp 1b über.

Charakteristika des Typs 1a sind der Pegmatit (mit typischen Pegmatitmineralen), die relativ schmale Reaktionszone mit geringen Mengen Vermiculit, jedoch die Vorherrschaft von Anthophyllit und grünen Klioamphibolen; gelegentlich Plumasit (Korund + Al-reicher Plagioklas).

Typ 1b: PINGENDORF, RASTBACH (ÖK 1:50.000, Bl.8 und 20)

PINGENDORF S Drosendorf:

Am östlichen Ortsrand sind in zwei Steinbrüchen nebeneinander Serpentine aufgeschlossen, die besonders im Nordteil von hellen, ca. 1 m mächtigen Ganggesteinen durchzogen sind. Über dieses Vorkommen handelt die Erstbeschreibung eines größeren Vermiculitvorkommens in Österreich; eine Skizze des Aufschlusses (Stand 1.5.1978) gibt GÜTZINGER (1979a). Durch rege Steinbruchtätigkeit wurde und wird die Aufschlußsituation ständig verändert. Die Ähnlichkeit der Ortsbilder ist mit denen des nächstgenannten Vorkommens so groß, daß die Charakteristika für beide Vorkommen zutreffend sind.

RASTBACH W Gföhl:

Am Ostufer des Meislingbaches N der Straße Gföhl - Rastenfeld liegen zwei große und dazwischen ein kleiner Steinbruch in dem bereits genannten Serpentin-Zug. Im südlichsten Steinbruch steht ein bis zu 1 m mächtiger, leukokrater Gang im Serpentin an, der aus Plagioklas (meist Oligoklas) und Quarz besteht. Stellenweise treten im Gang Chlorit nach Klioamphibolen und dünne Klüftchen mit blaß-grünem Prehnit auf; blauvioletter Fluorit ist selten. Blaß rosa bis grünlicher Saponit verdrängt lokal den Plagioklas. Die Abfolge der Reaktionszone zum Serpentin ist in den Abb.2 und 2a gegeben. Charakteristisch für diesen Vorkommensstyp ist eine ca. 50 cm mächtige, fast monomineralische Vermiculitzone mit Knollen von grünen Klioamphibolen (Aktinolith bis Magnesiohornblende). Bis zu 5 cm dicke Anthophyllitsäume trennen die Vermiculitzone vom zersetzten Serpentin, der gelegentlich Talk führend ist. Stellenweise ist der Anthophyllit asbestartig ausgebildet und enthält 3- und 4-pyroxenkettige Pyribole-Minerale (freundl. Mitt. v. Dr. I. Dodony, Budapest). Zusätzlich treten auch Vermiculit- und Hydrobiotitschichtsequenzen auf (transmissionselektronenmikroskopische Aufnahmen).

Der Vermiculit dieses Vorkommensstyps besitzt allerdings keine sehr gute Blähfähigkeit, da wahrscheinlich die Kornverzahnung eine ungehinderte Expansion der Einzelplättchen verhindert. Die hier und in Pingendorf vorkommenden Vermiculite zeigen meist erhöhte Ca-Gehalte (Analyse 2 in Tab.1). Zusammen mit Vermiculit tritt hier auch Chlorit, meist als Clinoclor, auf.

Zu diesem Vorkommensstyp ist auch das Vermiculitvorkommen Steinbach im Burgenland zu stellen, das geologisch der mittelostalpinen Steinbacher Kristallin-Deckscholle angehört (GÜTZINGER, 1982).

Charakteristika des Typs 1b sind die Plagioklasit ($\pm$ Quarz)-Gänge ohne Pegmatitminerale; in der Reaktionszone dominiert Vermiculit.

Typ 1c: DIETMANNSDORF E Göpfritz/Wild (ÖK 1:50.000, Bl.20):

Vermiculit innerhalb der hellen Ganggesteine tritt in geringen Mengen an mehreren Stellen auf, das Vorkommen Dietmannsdorf ist jedoch gut aufgeschlossen und zeigt den Vorkommestyp am besten.

Der ausgedehnte, teilweise Orthopyroxen führende Serpentinittkörper NW Dietmannsdorf gehört dem großen Granulitmassiv von Göpfritz an (FUCHS et al., 1984). In einem Steinbruch, dessen Material für den Wegebau abgebaut wird, stehen im NW-Teil zwei gering mächtige leukokrate Gänge an, die Vermiculit und Chlorit möglicherweise nach Biotit bzw. Klintoamphibol enthalten. Teilweise sind Vermiculit und Chlorit in Saponit umgewandelt. Die bis zu 1 cm im Durchmesser großen Vermiculite sind tektonisch so zerknittert, daß Röntgendiffraktometeraufnahmen an Kristallplatten nicht durchführbar sind.

Ein ähnliches Vorkommen dieses Typs ist, sogar wesentlich eindrucksvoller, ebenfalls im Serpentinitt von Steinbach (siehe oben) aufgeschlossen, wo bis zu 2 cm große, dunkelbraune biotitähnliche Kristalle im Ganggestein vorkommen. Röntgenographische Untersuchungen an geeigneten Kristallplatten ergeben Verwachsungen nach der Basis von Vermiculit und Hydrobiotit mit Resten von Biotit.

Typ 1d: RASTBACH, SULZMOHLE, GLEISEN (ÖK 1:50.000, Bl.7, 20 und 53)

RASTBACH W Gföhl:

Im nordöstlichsten der drei bereits genannten Steinbrüche im Meislingbachtal ist der Serpentinitt von netzförmigen Gangscharen durchzogen, deren Mächtigkeiten von 20 cm bis 2 cm schwanken. Zwischen den Gängchen ist der Serpentinitt in ein Gewirr von Reaktionszonen aufgelöst, die Vermiculit, Chlorit und deutliche Anthophyllitsäume erkennen lassen. Von dieser Umwandlung sind große Teile des aufgeschlossenen Serpentinittes erfaßt, sodaß hier größere Mengen Vermiculit und Anthophyllit (neben Plagioklas, Chlorit und Serpentinitt) vorliegen. Bezüglich einer Gewinnung siehe bei POLEGEG et al. (1982).

Ergänzend sei noch erwähnt, daß hier der anstehende Amphibolit ebenfalls in ein Mineralgemenge von Vermiculit, Klintoamphibol und Plagioklasresten umgewandelt ist; auch hier sind beträchtliche Mengen an Vermiculit vorhanden.

SULZMOHLE bei Ludweis NE Blumau/Wild:

Der Serpentinitt nahe der Sulzmühle gehört dem Granulitmassiv von Göpfritz an (Geol. Karte im Druck, freundl. Mitt. v. Dr. O. Thiele, Wien).

Die Abb.3 zeigt einen Ausschnitt des Ortsbildes der Steinbruchwand. Der Serpentinitt ist von Gangscharen durchzogen, die Reaktionszonen sind jedoch nicht sehr ausgeprägt. Dieses Vorkommen wurde weniger wegen der Vermiculitführung, sondern mehr wegen der typischen Ausbildung der Gang- und Kluftscharen hier erwähnt.

IN DER GLEISEN im Yspertal:

In einem von RIEDEL (1930) beschriebenen Pyrop-Serpentinitt am Zusammenfluß der Großen und Kleinen Ysper ist ein Steinbruch für die Straßenschottergewinnung angelegt. Der hier gut aufgeschlossene Pyrop-Serpentinitt ist von zahlreichen dünnen Plagioklasitgängen durchzogen (siehe Abb.3a), sodaß ein dichtes Netzwerk von schmalen, tektonisch deformierten Gängen und Reaktionszonen entstanden ist. Chlorit und Vermiculit, nur untergeordnet Anthophyllit, bilden ein oftmals innig verwachsenes Mineralgemenge. Stellenweise gehen die Gängchen in Kluftnetze über, sodaß hier ein Übergang zum Haupttyp 2 gegeben ist.

In diesem Steinbruch wurde als späte Kluftbildung auch das Mineral Meixnerit (KORITNIG & SOSSE, 1975) gefunden. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß die jungen Kluftbildungen hauptsächlich aus Chalcidon, Calcit und seltener aus Aragonit bestehen. Die Magnesitbildung gehört einem früheren Stadium an. Opale und jaspisartige Konkretionen werden als Verwitterungsbildungen des Serpentinittes erklärt.

Charakteristika des Typs 1d sind schmale Plagioklasitgängen; in der Reaktionszone dominieren Vermiculit und Chlorit, Anthophyllit tritt stark zurück.

Typ 2a: SCHÖNFELD, WALDKIRCHEN, WALDHERS (ÖK 1:50.000, B1.7)

SCHÖNFELD N Waldkirchen a.d. Thaya:

Die Pyrop-Serpentinite des Gilgenberger Waldes treten zusammen mit Granulit in grobflaserigen Plagioklasgneisen auf (GERHART & SUESS, 1925), die dem Gföhler Gneis entsprechen (FUCHS & MATURA, 1976). Von Schönfeld führt ein Forstweg in nordöstlicher Richtung; unmittelbar südlich der Kreuzung mit dem Bahneinschnitt ist der Serpentin gut aufgeschlossen. An der Ostflanke steht eine senkrecht verlaufende, ca. 20 cm breite Kluft an, die mit Vermiculit und Chlorit gefüllt ist. Keinerlei Anzeichen eines Ganggesteines konnten gefunden werden, sodaß hier hydrothermale Lösungen eine Reaktionszone mit dem Serpentin verursacht haben. Anthophyllit fehlt, Klinoamphibole sind selten. Die hier vorkommenden Vermiculite sind im Schnitt grobkörniger (bis 1 cm Durchmesser) als die des Haupttyps 1, zeigen bessere Blähfähigkeit - die Vermiculitkristalle sind kaum ineinander verzahnt - und sind meist Ca-arm (siehe Analyse 3 in Tab.1). Nach Dünnschliffbeobachtungen sind Chlorit und Vermiculit cogenetisch, mitunter ist auch eine Umwandlung Chlorit - Vermiculit - Saponit feststellbar. Die Saponitbildung ist an einer Trübung und Weißfärbung der Mineralplättchen erkennbar.

WALDKIRCHEN a.d. Thaya:

An der Straße nach Gilgenberg liegt noch im Ortsgebiet von Waldkirchen ein flacher Steinbruch. In diesem und an den Böschungen der Straßenkreuzung ist der Serpentin aufgeschlossen. Es finden sich mehrere Klüfte und Spalten darin, die mit dunkelbraunem Vermiculit und untergeordnet Chlorit gefüllt sind. Hier ist nahezu monomineralischer Rohvermiculit gewinnbar - die (geringe) Menge und die Lage innerhalb des Ortsgebietes lassen einen wirtschaftlichen Abbau jedoch kaum zu. Die Abb.6 zeigt die Ergebnisse von Siebanalysen der Vermiculite aus Schönfeld (SF1) und Waldkirchen (WK1). Die Maxima der Kornverteilung (Vermiculit) liegen für die Probe SF1 zwischen 2 und 4 mm, für die Probe WK1 zwischen 1 und 2 mm. Das Maß für die Expansion des Waldkirchener Vermiculites liegt beim 20- bis 40-fachen der ursprünglichen Plättchendicke. Damit läßt sich eine sehr geringe Schüttdichte (unter 1) erzielen. Für eine technische Nutzung ist der Vermiculit dieses Vorkommens(typs) vorzüglich geeignet. Die Abb.7 zeigt Vermiculit aus Waldkirchen im Dünnschliff.

Der Waldkirchener Serpentin, stellenweise Orthopyroxen führend, ist der größte Ultrabasitkörper des Waldviertels (der Böhmisches Masse in Österreich). Er ist von einer mehrere Meter dicken Verwitterungsschicht mit lateritähnlicher Zusammensetzung bedeckt. Aufgrund festgestellter Nickelanomalien wurden durch die Firma MINEREX (Wien) Bohrungen bis ca. 80 m Tiefe niedergebracht. Auch in dieser Tiefe wurde Vermiculit des Typs 2a in Bohrkernen festgestellt. Dieses Ergebnis gewinnt im Hinblick auf die Entstehung besondere Bedeutung.

Aus dieser Verwitterungsschicht stammen auch die Milchopale mit Dendriten, für die häufig Dobersberg als Fundort angegeben wird. Die bis zu 60 kg schweren und 30 cm dicken Opalklumpen liefern mitunter Partien, die für die Schmucksteinherstellung herangezogen werden können. Selten kommen auch dem Hyalith ähnliche Massen vor; die vorherrschenden Farben sind jedoch grünlichgelb bis weiß.

WALDHERS E Waldkirchen a.d.Thaya:

Längs des Ostufers des Janitzbaches östlich Waldhers sind beiderseits der Straße Serpentine aufgeschlossen. Die Vermiculitführung ist relativ gering und beschränkt sich auf schmale Kluftausfüllungen und total umgewandelte Serpentinpartien, die schon zum Subtyp 2b zu stellen sind. Durch die Verwitterung sind diese Vorkommen sehr angegriffen und der Vermiculit teilweise ausgeschwemmt; grobblättriger Vermiculit als Kluftfüllung steht beispielsweise im Straßenanriß bei der Brücke an.

In diesem Gebiet bilden die Serpentine deutliche Hügel, die sich durch ihre Serpentin- und Trockenrasenflora auszeichnen - für botanische Studien empfehlenswert.

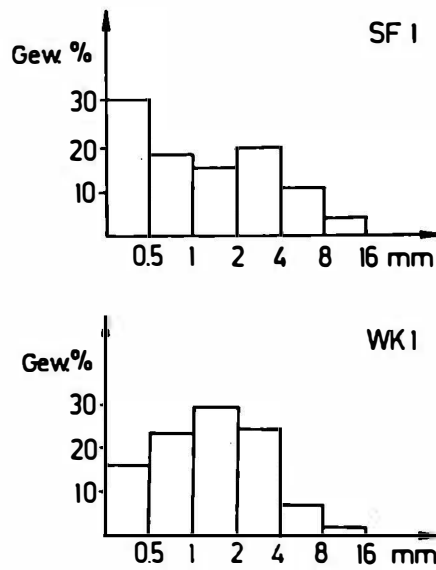


Abb.6: Korngrößenverteilung in zwei Rohvermiculitproben, Vorkommenstyp 2a; SF = Schönfeld, WK = Waldkirchen; Die Probe SF1 enthält ca. 60 Vol.% Vermiculit, der Rest ist feinkörniger Serpentin; die Probe WK1 enthält ca. 95 Vol.% Vermiculit, der Rest ist Chlorit und Saponit. Für jede Siebanalyse (Trockensiebung) wurden 3x500 g Probe verwendet.

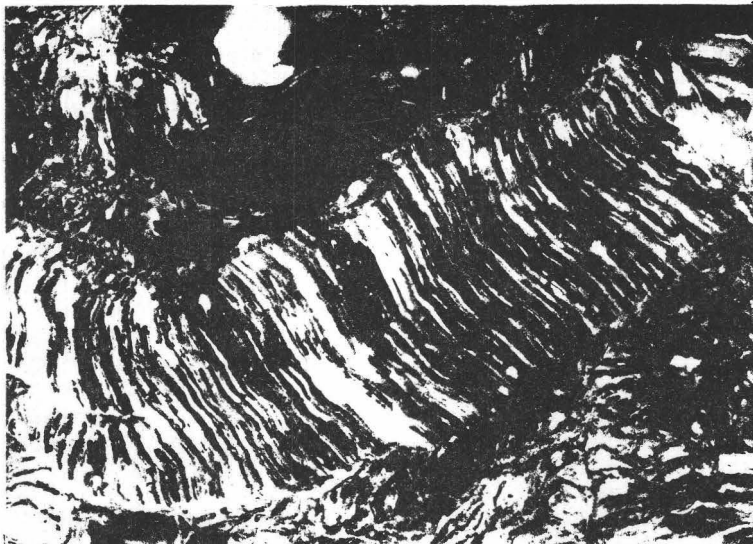


Abb.7: Vermiculit aus Waldkirchen, NÜ (Typ 2a) im Dünnschliff. Die lange Bildkante entspricht 1 mm.

Typ 2b: WALDHERS, UNTERFELL (ØK 1:50.000, Bl.7 und 53)

WALDHERS E Waldkirchen a.d.Thaya:

Wie bereits oben erwähnt, sind Serpentinite stellenweise komplett in ein Gemenge von Vermiculit und Chlorit umgewandelt, die Korngröße schwankt um 1 mm. Es sind weder Gänge noch Klüfte erkennbar; durch die Verwitterung ist meist eine - je nach Bodenfeuchtigkeit - formlose Masse entstanden, die Farben von dunkelgrün über hellgrün - hellbraun - dunkelbraun und weißlich (Saponit) zeigt. Dies trifft besonders auch auf das nächste Vorkommen zu.

UNTERFELL N In der Gleisen/Yspertal:

An der Straße vom Yspertal über Fünfling nach St. Oswald befindet sich knapp vor Erreichen der Hochfläche ein Steinbruch im Serpentin; an der Südseite ist auch der begleitende Granulit aufgeschlossen. Diese Gesteine wurden ausführlich von RIEDEL (1930) beschrieben. Nach SCHARBERT & FUCHS (1981) gehören diese Gesteine zur Gföhler Einheit, deren Streichrichtung in diesem Gebiet N-S gerichtet ist. Zu dieser Serie gehören auch Paragneise und Amphibolite. Im gegenständlichen Steinbruch S Unterfell ist die Grenze Granulit - Serpentin gut aufgeschlossen. Diese Grenze ist wie in allen bekannten Fällen scharf, da sie tektonisch bedingt ist. Gerade hier ist der Serpentin neben dem Granulit durch hydrothermale Lösungen, die an tektonischen Grenzen leichte Wegsamkeit vorfanden, nahezu komplett in ein Mineralgemenge Chlorit + Vermiculit umgewandelt. Im zersetzten Serpentin sind mitunter Reste dünner Plagioklasitgämgchen noch sichtbar. Als Lesesteine sind Bruchstücke eines Turmalin führenden Pegmatites im Steinbruchbereich zu finden; das Anstehende konnte nicht ausgemacht werden. Vermiculitvorkommen dieser Art wären einfach gewinnbar, die Feinkörnigkeit und die innige Mischung mit Chlorit wirkt jedoch qualitätsmindernd (siehe bei POLEGEG et al., 1982).

Typ 3: RIEGERS, WURSCHENAIGEN (ØK 1:50.000, Bl.7 und 20)

RIEGERS SE Dobersberg:

SE der Ortschaft, neben dem Fahrweg zum Schlepplift befindet sich auf halber Höhe ein sehr flach angelegter Steinbruch in Serpentin, der von biotitführenden, dunklen Ganggesteinen durchschlagen ist. Das Gelände ist von Gesteinsschutt bedeckt, sodaß trotz der kahlen Fläche keine guten Aufschlußverhältnisse herrschen. Der eigentliche Vermiculitausbiß konnte nicht gefunden werden; im Gerinne zwischen Weg und Steinbruch befinden sich Anschwemmungen von Vermiculit und Chlorit, die eine Einstufung in diesen Vorkommensstyp rechtfertigen. Diese etwa 30 cm dicken Sedimente bedecken nur wenige Quadratmeter, sodaß hier keine wirtschaftlichen Anreicherungen von Vermiculit erwartet werden können.

WURSCHENAIGEN WSW Gföhl:

Neben dem eingangs besprochenen Vorkommensstyp 1a hinter dem Haus Nr.11 befinden sich auf einer geschätzten Fläche von ungefähr 12.500 m² Vermiculit führende Sedimente, die im Anstehenden des Aushubes eine deutliche Schichtung aufweisen (siehe Abb.4). Die mehrere Zentimeter dicken, feinkörnigen Lagen enthalten Amphibole, Chlorit, Vermiculit und Hydrobiotit, die dünnen, grobkörnigen Lagen Feldspatgrus und Quarz. Die Herleitung dieses eluvialen Sedimentes ergibt sich zwanglos aus den unmittelbar daneben und darunter befindlichen primären Vorkommen des Typs 1a. Die Schichtdicke dieses Sedimentes schwankt von 20 cm bis etwa 2 m. Volumenschätzungen der Vermiculit führenden Gesteine (primär und eluvial) ergeben ca. 75.000 m³ mit knapp 10 % Vermiculitanteil.

Dieses Vorkommen sowie die von Rastbach und Unterfell wurden als Rohstoffsicherungsgebiete im Endbericht des Projektes NA 27/81 "Vermiculit Niederösterreich" empfohlen (POLEGEG et al., 1982).

Ergänzend sei darauf hingewiesen, daß in den Serpentiniten des Dunkelsteiner Waldes - mit Ausnahme von geringen Mengen im Serpentin von Meidling i.T. - kein Vermiculit nachgewiesen werden konnte.

Die Entstehung der Vermiculit führenden Reaktionszonen

Durch die Intrusion eines Pegmatites in einen Ultrabasit sind extreme chemische Gegensätze gegeben. Die Tabelle 3 gibt die chemische Zusammensetzung des Plagioklasites und des Serpentinits von Pingendorf. Das saure Ganggestein trägt mit den Elementen Silizium, Aluminium, Natrium, Kalium und Calcium zur Reaktionsbildung bei, der Serpentin mit Magnesium und Eisen.

Tab.3: Chemische Zusammensetzung des Plagioklasites und des Serpentinits von Pingendorf, NÖ; Mittelwerte je zweier naßchemischer Analysen, Analytiker: V. Hammer, E. Libowitzky; (in Gew.%)

	Plagioklasit	Serpentin
SiO ₂	65,3	38,3
TiO ₂	0,92	0,05
Al ₂ O ₃	18,2	2,09
Cr ₂ O ₃	±0,05	0,30
Fe ₂ O ₃	1,67	8,24
NiO	±0,01	0,10
MnO	±0,05	0,09
MgO	3,06	36,0
CaO	1,33	0,20
Na ₂ O	5,68	0,25
K ₂ O	1,68	0,20
P ₂ O ₅	0,04	0,04
H ₂ O (800° C)	1,6	12,5
H ₂ O (110° C)	0,8	0,73
	100,28	99,09

Plagioklasit: Oligoklas, Kalifeldspat, Quarz, Chlorit, Titanit

Serpentin: Olivin, Antigorit, Orthopyroxen, Spinell, Magnetit

Gesamteisen als Fe₂O₃, Ni aus EMS-Analysen

Die Mineralreaktionen erfolgen in mehreren Stadien (siehe dazu Tab.1 in FECHNER & GÜTZINGER, 1985), wobei auch mehrere Reaktionsbereiche unterschieden werden:

- 1) Pegmatit - Desilifizierungszone - Plumasit (mit Korund)
- 2) Pegmatit - innere Reaktionszone (Andalusit, Cordierit)
- 3) Äußere Reaktionszone (Anthophyllit, Klioamphibol, Vermiculit)
- 4) Umwandlungszone im Serpentin (Vermiculit, Chlorit, Talk)

Die Reaktionsbereiche sind in der Regel visuell unterscheidbar und daher relativ klar abgrenzbar. Dies gilt jedoch nicht bezüglich der Reaktionsstadien, die in einem kontinuierlichen Ablauf vom pegmatitischen Stadium über das Plumasitstadium, zwei hydrothermale Stadien bis zum beginnenden Verwitterungsstadium (Hydrobiotitbildung) erfolgen.

Die Bildungsbedingungen bei der Desilifizierung (Plumasitstadium) können aufgrund des Auftretens von Sillimanit neben Andalusit abgeschätzt werden: 650° -

600° C bei 2-3 kbar (nach ROBIE & HEMINGWAY, 1984). Die Bildung von Cordierit in der inneren Reaktionszone kann nach SEIFERT & SCHREYER (1970) mit 550° - 500° C bei 2-3 kbar angegeben werden. Für hydrothermale Stadien kennzeichnend ist das Auftreten von Prehnit bei etwa 400° C (2-3 kbar, Reaktion relativ druckunabhängig; LIU, 1971). Die hydrothermale Bildung von Vermiculit erfolgt nach VELDE (1978) im Temperaturbereich von ca. 370° C (3 kbar) bis ca. 240° C (1 kbar) und auch darunter. Alle Mineralreaktionen verlaufen unter der Anwesenheit von Wasser. Innerhalb der Pegmatite und Plagioklasite kann demnach eine frühe hydrothermale Phase (Cordierit, Klinoamphibole, Rutil und später Titanit) von einer späten hydrothermalen Phase (Chlorit nach Klinoamphibolen, Vermiculit, Saponit) unterschieden werden; in den Klüften der pegmatitischen Gesteine bildeten sich in einem größeren Temperaturintervall Prehnit und Fluorit (besonders in Pingendorf).

Die Mineralbildungen in der äußeren Reaktionszone setzen mit Mg-reichem Anthophyllit ein. Eine mögliche Mineralreaktion ist $9 \text{ Talk} + 4 \text{ Forsterit} = 5 \text{ Anthophyllit} + 4 \text{ Wasser}$. Als Bildungsbedingungen werden 650° C (bei 2 kbar) in einem eisenfreien System angegeben (CHERNOSKY et al., 1985). Die in den Reaktionszonen vorkommenden Anthophyllite enthalten jedoch Eisen (siehe Tab.4), sodaß die entsprechenden Bildungstemperaturen $\leq 600^\circ \text{ C}$ betragen. Mehr minder gleichzeitig und daher bei ähnlichen Bedingungen bildeten sich zuerst vorwiegend Magnesiohornblenden und mit fallender Temperatur auch Aktinolith (Tab.4), die einem frühen Hydrothermalstadium zugeschrieben werden. Im darauf folgenden späteren Hydrothermalstadium wurden die Klinoamphibole in Ca-reiche Vermiculite umgewandelt oder teilweise in Chlorite; diese wiederum in Ca-arme Vermiculite und zuletzt in Saponit. Dieser Bildungsablauf ist im Vorkommensstyp 2 ähnlich, nur setzt die-

Tab.4: Chemische Zusammensetzungen von Anthophylliten und Klinoamphibolen; je 1 charakteristische EMS-Analyse; Angaben in Gew.%

	Anthophyllite		Klinoamphibole	
	1	2	3	4
SiO ₂	57,3	55,5	54,7	50,1
TiO ₂	$\leq 0,01$	0,06	0,03	0,08
Al ₂ O ₃	0,58	1,03	1,77	7,23
Cr ₂ O ₃	0,04	0,02	0,17	0,02
FeO	8,68	14,6	4,95	6,40
MgO	29,0	25,6	22,0	19,7
MnO	0,20	0,46	0,14	0,12
CaO	0,38	0,71	10,5	11,2
Na ₂ O	0,06	0,23	0,63	1,31
K ₂ O	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$	0,05	0,04
	96,24	98,21	94,94	96,20

Gesamteisen als FeO

- 1: aus Rastbach (Rb13), Verm. Typ 1b, Mg:Fe=6,0:1,0
- 2: aus der Gleisen (Gl5), Verm. Typ 1d, Mg:Fe=5,3:1,7
- 3: aus Wurschenaigen (Wu3), Verm. Typ 1a, Aktinolith
- 4: aus Pingendorf (Pi13), Verm. Typ 1b, Magnesiohornblende

ser erst bei tieferen Temperaturen ein; möglicherweise $\leq 340^\circ \text{C}$ bei einem PH_2O von 2 kbar. Eine sichere Angabe ist wegen der Armut an Mineralspecies (nur Chlorit und Vermiculit) nicht möglich. Beide Minerale werden jedenfalls primär durch hydrothermale Lösungen gebildet; es gibt keine Hinweise auf eine Bildung des Vermiculites bei der Verwitterung.

Im Gegenteil wurde, wie bereits erwähnt, Vermiculit des Typs 2a in ca. 80 m Tiefe durch eine Kernbohrung der Fa. MINEREX im Gebiet Waldkirchen aufgeschlossen. Allerdings ist es denkbar, daß eine nahezu vollständige Aufoxidierung des Eisens erst durch Verwitterungswässer erfolgt ist. Unter dem Einfluß der Verwitterung zerfallen die Minerale, auch der Vermiculit, als Neubildung wurden Hydrobiotitplättchen (aus Biotiten der Pegmatite?) festgestellt. Zur Bildung von Hydrobiotit siehe GÜTZINGER (1986).

Bezüglich der Altersstellung der Reaktionszonenbildung können derzeit nur relative Angaben gemacht werden: Die überwiegende Mehrheit der Ultrabasite in der Böhmisches Masse (Moldanubikum) begleiten Granulite, Gföhler Gneise und Amphibolite der Gföhler Einheit und liegen heute großteils serpentiniert vor - daher die Bezeichnung Serpentinite. Nach dem Mineralinhalt können jedoch mehrere Gruppen unterschieden werden: Peridotite, Granatperidotite (mit den häufigen Kelyphit-Coronastrukturen), Pyroxenperidotite (häufig Orthopyroxen); einige enthalten auch verschiedene Spinelle. Eine umfassende Bearbeitung dieser Gesteine ist durch Herrn Prof. Dr. H.G. Scharbert und Mitarbeiter im Gange.

Die heutige Lage der Ultrabasite ist durch tektonische Vorgänge spät kaledonisch oder früh herzynisch bedingt (SCHARBERT et al., 1985): In Zahlen ausgedrückt also mindestens etwa 340 Mio. Jahre. Die Intrusion der Pegmatite in die Ultrabasite erfolgte sehr wahrscheinlich während der variszischen (herzynischen) Gebirgsbildung. Pegmatite sind ja häufig von Granitintrusionen ableitbar oder sind im speziellen Fall als Anatexite oder Mobilisate von Gneisen während der Metamorphose erklärbar (Doz. Dr. G. Guchs, Wien, pers. Mitt.). Aufgrund der Vermiculitstabilität ist seine Bildung vor der variszischen Gebirgsbildung praktisch auszuschließen.

Dank

Für die Förderung des Projektes danke ich der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Kommission für Grundlagen der Mineralrohstoff-Forschung, Herrn Prof. Dr. W.E. Petrascheck (dem damaligen Obmann dieser Kommission) für viele Diskussionen und Herrn Prof. Dr. J. Zemmann für die Vertretung des Projektes in der ÖAW. Für die technische Hilfe an der Elektronenstrahlmikrosonde (FFWF Proj.Nr. 1939) danke ich meinen Kollegen F. Koller und H. Weinke herzlich.

Literatur

- BASSETT, W.A. (1963): The geology of vermiculite occurrences. Clays and Clay Min., 10, Proc. 10th Nat. Conf. Texas 1961, A. SWINEFORD, Ed., 61-69.
- BECKE, F. (1882): Die Gneisformation des niederösterreichischen Waldviertels. Tscherm. Min. Petr. Mitt. 4, 189-264, 285-408.
- BOETTCHER, A.L. (1966): Vermiculite, hydrobiotite and biotite in the Rainy Creek igneous complex near Libby, Montana. Clay Miner. 6, 283-296.
- ČERNÝ, P. (1972): Phlogopite, hydrophlogopite, and vermiculite from Heřmanov, Czechoslovakia. N. Jb. Miner. Mh. 1972, 203-209.
- ČERNÝ, P. & POVONDRA, P. (1965): Chlorite and saponite replacing feldspars in West-Moravian desilicated pegmatites. Act. Univ. Carol. Geol. Suppl. 2, 31-40.
- CHERNOSKY, J.V., Jr., DAY, H.W. & CARUSO, L.J. (1985): Equilibria in the system MgO-SiO₂-H₂O: experimental determination of the stability of Mg-anthophyllite. Amer. Min. 70, 223-236.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1962): Rock-forming Minerals, vol. 3, 270 S.
- FECHNER, K. & GÜTZINGER, M.A. (1985): Zur Mineralogie eines Korund führenden Pegmatites und seiner Reaktionszonen zum Serpentin (Kl.-Heinrichschlag W Krems, Niederösterreich). Mitt. Österr. Miner. Ges. 130, 45-56.
- FLEISCHER, M. (1983): Glossary of Mineral Species 1983, the Min. Record Inc. Tuscon, 202 S.
- FOSTER, M.D. (1963): Interpretation of the composition of vermiculites and hydrobiotites. Clays and Clay Miner. 10, Proc. 10th Nat. Conf. Texas 1961, A. SWINEFORD, Ed., 70-89.
- FUCHS, G. & MATURA, A. (1976): Zur Geologie des Kristallins der südlichen Böhmisches Masse (mit Karte 1:200.000). Jahrb. Geol. B.-A. Wien, 119, 1-43.
- FUCHS, G., KUPKA, E., HÜCK, V. & STEININGER, F. (1984): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 20 Gföhl, Geol. B.-A. Wien 1984.
- GERHART, H. & SUESS, F.E. (1925): Geologische Spezialkarte der Republik Österreich, 1:75.000, Blatt Drosendorf, Geol. B.-A. Wien 1925.
- GÜTZINGER, M.A. (1979a): Vorläufige Mitteilungen über ein Vermiculitvorkommen südlich Drosendorf, Niederösterreich. Anz. math.-naturw. Kl. Österr. Akad. Wiss. 1979, 86-88.
- GÜTZINGER, M.A. (1979b): Vermiculitvorkommen unterschiedlicher Entstehung im niederösterreichischen Anteil der Böhmisches Masse. Anz. math.-naturw. Kl. Österr. Akad. Wiss. 1979, 107-110.
- GÜTZINGER, M.A. (1982): Vermiculit aus dem Serpentin von Steinbach im Burgenland. Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A. Wien, 1, 43-45.
- GÜTZINGER, M.A. (1986): Continuous biotite - hydrobiotite - vermiculite transitions in the original specimen "Hydrobiotit", SCHRAUF (1882), from the serpentinites near Křemž, ČSSR. N. Jb. Miner. Mh. 1986, 163-171.
- GÜTZINGER, M.A. (1987): Mineralogy and genesis of vermiculite in serpentinites of the Bohemian Massif in Austria. Mineralogy and Petrology (formerly TPM) 36, 93-110.

- HAMILTON, G. (1953): Vermiculit. Montan Zeitung 1953, 63-66.
- HINTZE, C. (1897): Handbuch der Mineralogie II/1, 547 ff, Leipzig.
- KORITNIG, S. & SOSSE, P. (1975): Meixnerit, $Mg_6 Al_2 (OH)_{18} \cdot 4H_2O$, ein neues Magnesium-Aluminium-Hydroxid-Mineral. Tscherm. Min. Petr. Mitt. 22, 79-87.
- KRESTEN, P. & BERGGREN, G. (1978): The thermal decomposition of vermiculite. Thermochim. Acta 23, 171-182.
- LIOU, J.G. (1971): Synthesis and stability of prehnite, $Ca_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$. Amer. Min. 56, 507-531.
- MATHIESON, A. McL. (1958): Mg-Vermiculite: a refinement and re-examination of the crystal structure of the 14.36 Å phase. Amer. min. 43, 216-227.
- MATURA, A. (1983): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 37 Mautern, Geol. B.-A. Wien 1983.
- MOHR, H. (1949): Vermiculit - ein neues Industriemineral. Bergbau-, Bohrtechn.-u. Erdöl-Zeitung 65, 14-16.
- N.N. (1977): Vermiculite. Industrial Min. 4/1977, 17-31.
- ÖNORM G1046 (1985): Begriffe der Lagerstättenkunde der Steine, Erden und Industriemineralien. 19 Teile, Österr. Normungsinstit. 1021 Wien, Heinestraße 38.
- POLEGEG, S., PUNZENGRUBER, K., PETRASCHECK, W.E., GÜTZINGER, M., MAYR, M. & WIDDER, R. (1982): Vermiculit Niederösterreich. Unveröff. Endbericht Proj. NA 27/81, 62 S, Geol. B.-A., A-1030 Wien, Rasumofskyg. 23.
- POLEGEG, S. (1984): Vermiculitvorkommen in Niederösterreich. Arch. f. Lagerst. forschung. Geol. B.-A. 5, 121-124.
- RAMDOHR, P. & STRUNZ, H. (1978): Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie, 16. Aufl., Enke Stuttgart, 876 S.
- RIEDEL, J. (1930): Der geologische Bau des Gebietes zwischen dem Ostrong und der Granitgrenze im niederösterreichischen Waldviertel. Min. Petr. Mitt. 40, 235-293.
- ROBIE, R.A. & HEMINGWAY, B.S. (1984): Entropies of kyanite, andalusite, and sillimanite: additional constraints on the pressure and temperature of the Al_2SiO_5 triple point. Amer. Min. 69, 298-306.
- SAYIN, M. & v. REICHENBACH, H. (1979): X-ray and infrared investigations of a synthetic dioctahedral vermiculite saturated with alkali and alkaline earth cations. Clay Miner. 14, 211-228.
- SCHARBERT, H.G. & FUCHS, G. mit Beitr. v. J. ZEMANN und M. GÜTZINGER (1981): Metamorphe Serien im Moldanubikum Niederösterreichs. Fortschr. Miner. 59, Bh.2, 129-152.
- SCHARBERT, H.G., CARSWELL, D.A. & POULTIDIS, H. (1985): Exc. guide Bohemian Massif: Austrian part (Niederösterreich), 35 S; 2nd Internat. Eclogite Conference Wien 1985.
- SCHRAUF, A. (1882): Beiträge zur Kenntnis des Associationskreises der Magnesia-silikate. Paragenetische Studien im Serpentinegebiet des südlichen Böhmerwaldes. Z. Krist. 6, 321-387.
- SEIFERT, F. & SCHREYER, W. (1970): Lower temperature stability limit of Mg cordierite in the range 1-7 Kb water pressure: A redetermination. Contr. Mineral. Petrol. 27, 225-238.

- SHIROZU, H. & BAILEY, S.W. (1966): Crystal structure of a two-layer Mg-vermiculite. *Amer. Min.* 51, 1124-1143.
- STRUNZ, H. (1977): Mineralogische Tabellen, 6. Aufl. Akad. Verlagsges. Geest & Portig K.-G. Leipzig, 621 S.
- TSCHERMAK, G. (1872): Die Glimmerkugeln von Hermannschlag in Mähren. *Min. Mitt.* 1872, 264-265.
- TSCHERMAK, G. (1878): Die Glimmergruppe. I. Teil. *Z. Krist.* II, 14-50.
- TRÜGER, W.E. (1971): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, 4. neu bearb. Aufl. v. H.U. BAMBAUER, F. TABORSKY & H.D. TROCHIM. Schweizerbart Stuttgart, 188 S.
- VELDE, B. (1978): High temperature or metamorphic vermiculites. *Contr. Mineral. Petrol.* 66, 319-323.
- WEBB, Th. H. (1824): Vermiculite. *Amer. Journ. Sci.* 7, 55.
- WEISS, E.J. & ROWLAND, R.A. (1956): Effect of heat on vermiculite and mixed layered vermiculite-chlorite. *Amer. Min.* 41, 899-914.
- WEISS, Z. (1980): A contribution to the crystallo-chemistry of vermiculites (tschechisch, mit engl. Abstract). *Silikaty* 24, 47-57.
- WEISS, Z. & ĎUROVIČ, S. (1980): OD interpretation of Mg-vermiculite. Symbolism and X-ray identification of its polytypes. *Acta Cryst. A* 36, 633-640.
- WEISS, Z., MARTINEC, P. & ŠKODA, V. (1977): Changes in hydration and crystal structure of Mg-vermiculite. 7th Conf. Clay Min. Petr. in Karlovy Vary 1976, Geol. Univ. Carol. Prag. 67-76.
- WILSON, A.D. (1955): A new method for the determination of ferrous iron in rocks and minerals. *Bull. Geol. Surv., London, GB.* 9, 56-58.