

DK 552.12 : 553.682.2(436.7)

DEC A 55 d

Über einige Gesteine und deren Kornsorten aus der Umgebung der Radentheiner Magnesitlagerstätte auf der Millstätter Alpe (Kärnten)

Von F. Angel, Graz, und F. Laskovic, Kirchdorf/Krems

(Für Beurteilung von Lagerstättenproblemen ist die Kenntnis der Nebengesteine und ihrer Mineralien wichtig; für den Fall der Spätmagnesit-Lagerstätte „Millstätter Alpe“ bei Radenthein werden in diesem Sinn die bisherigen Erfahrungen erweitert um die Ergebnisse der Untersuchung von Granaten, Hornblenden und des Gesteins „Radentheinit“ aus Nebengesteinsbereichen.)

(Critical examination concerning problems of deposits needs information about country rocks and its minerals; concerning the magnesite deposit „Millstätter Alpe“ near Radenthein we complete the experiences made till now by results got about garnets and hornblendes of country rocks and about the special rock „Radentheinite“.)

(Pour aborder rationnellement les problèmes de gisements, il est important de connaître les roches de parois et leurs minéraux; dans le cas du gisement de magnésite de « Millstätter Alpe » près de Radenthein, on a complété les connaissances précédemment acquises par les résultats d'examen de grenats, de hornblendes et de la roche « Radentheinite ».)

Einleitung

Zur Erforschung einer Lagerstätte gehört auch jene ihres geologisch-petrographischen Rahmens. Was bisher in dieser Richtung getan worden ist, entnimmt man den Arbeiten von Angel, Awerzger, Kuschinsky, (2), (3), (4), (5), (6), unterstützt durch P. Weiss und H. Pirkl. F. Angel und F. Laskovic legen nun erstmals genaue Angaben über die am Gesteinsaufbau des Rahmens beteiligten Mineralien als Kornsorten und einige bisher wenig be-

kannte Gesteinsformen vor mit dem Ziel, die Kenntnisse darüber zu vertiefen.

Wir wählten folgende Themen aus:

1. Granatglimmerschiefer der Millstätter Alpe, im besonderen sein Granat.
2. Radentheinite, ihre Granaten und zugehörige Cyanit-Quarzfelsgänge.
3. Hornblendegarbenschiefer, ihr Granat und ihre Hornblenden.

Über Umfang des betrachteten Gebietes und Fundpunkt-Lagen unterrichtet Abb. 1.

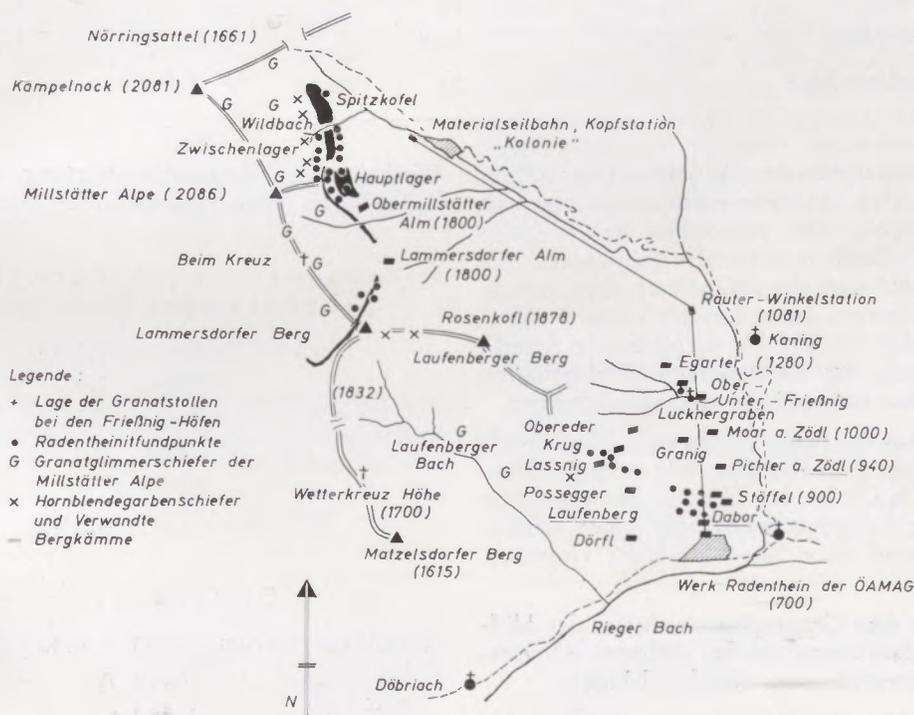


Abb. 1

1. Granatglimmerschiefer der Millstätter Alpe und sein Granat

Unter den zahlreichen Abarten, welche hier in der Millstätter Alpe auftreten, wird ein Haupttypus herausgehoben und wie folgt gekennzeichnet. Er besteht aus

braunrotem Mischalmandin, (110), $\phi = 0,5$ bis 2 cm und darüber, 23 – 37 Vol.-%

tiefbraunem Biotit, papierdünn, Tafel- ϕ nur einige mm, 5 – 10 Vol.-%

„Muskowit“, (Muskowit-Optik), Pakete größerer Schuppen, farblos, 50 – 60 Vol.-%.

Quarz, Kornmassen in Faltenkellern, oder linsig, 10 – 15 Vol.-%

Nebenkornsorten: Apatit und Rutil, auch Hämatit, mikroskopisch klein, spärlich auch braungrüner Turmalin, oft mit Lupe erkennbar etwas von gelben bis bräunlichen Kiesen. Das Muster ist ein typischer, glimmerreicher Granat-Hellglimmerschiefer. Über andere Abarten vergleiche (3), (4).

Die Höhe des Granatgehaltes ist für Granatglimmerschiefer ein leicht erfassbares Merkmal. Ich, (Angel) lege zur Einreihung des behandelten Typus eine kleine Statistik alpiner derartiger Gesteine vor, die auf eigenen Beobachtungen sowie Angaben meiner toten Freunde F. Heritsch und P. Fluck beruht.

schnittes ein Verzeichnis jener Größen, die wir als Berechnungsgrundlagen mitverwenden. Als Hilfe zur Analysenberechnung: C. Burri, Petrochemische Berechnungsmethoden etc., Birkhäuser-Basel 1959.

Granat-Komponenten	Gitterkonstanten	Dichten
Alm(andin) synth. $a_0 =$	11,526	4,33
Spess(artin) „	11,621	4,18
Py(ro)p „	11,459	3,54
Gross(ular) „	11,851	3,55
Andr(adit) „	12,040	3,85

Quellen: Struntz 1957 und 1966 (35), Tröger 1952 (36).

Dichtezahlen anderer Kornsorten

Rutil	4,23	Disthen	3,59
Magnetkies	4,65	Staurolith	3,74
Pyrit	5,00	Biotit	3,0
Hämatit	5,26	Quarz	2,65
Apatit	3,18	Orthoklas	2,57
Zirkon	4,70	Andesin/	} 2,66
Ilmenit	4,75	Oligoklas	
Graphit	2,23		

Quellen: Tröger, wie oben.

Granatgehalte alpiner Granatglimmerschiefer

Fälle beobachtet:	Weniger als 10 Vol.-%	10 – 25 Vol.-%	25 – 40 Vol.-%	Mehr als 40 Vol.-%
84	40	39	4	1
% der Fälle:	47,6	46,4	4,8	1,2
Millstätter Alpe		23	bis	37 Vol.-%

Schon der Haupttypus der Millstätter Granatglimmerschiefer ist also sehr granatreich. Das war auch Schwiner (29), (30), aufgefallen, der davon so beeindruckt war, daß er dafür das Schlagwort vom „Kristalltreibhaus“ auf der Millstätter Alpe prägte. Örtlich und in Bänken dieser Schiefer steigt der Granatgehalt bis über 50 Vol.-% an (Grönnite Angel). Das sind Beispiele zur metamorphen Differentiation Eskola's, der dazu ostkarelische Granatite erwähnt.

Der Chemismus des hellen Glimmers („Muskowit“) ist noch ungeklärt. Sein Problem: Wie steht im Glimmerfilz $\text{Na}_2\text{O} : \text{K}_2\text{O}$? Ist der Glimmer homogen oder enthält der Filz Paragonit selbständig neben Muskowit? Darüber sind neue Untersuchungen vonnöten.

Der Granat aus dem Granatglimmerschiefer der Millstätter Alpe, Haupttypus in den höheren Abraumsohlen westlich vom Spitzkofel-Lager.

Da im Nachfolgenden Granaten verschiedener Art erörtert werden, stellen wir an die Spitze dieses Ab-

Mischalmandin, Analysenauswertung, Analytiker F. Laskovic, 1966 (Tabelle siehe Seite 3, oben)

Mischalmandin in Formeleinheitenprozentender Komponenten

Alm	62,3 %
Spess	7,4
Pyp	11,1
Gross	0,0
Andr	19,2
	100,0 %

Gitterkonstante

a_0 experimentell	$= 11,573 \pm 0,003 \text{ \AA}$
a_0 berechnet	$= 11,624 \text{ \AA}$
Differenz	0,44 %

(Nach einer Diffraktometer-Aufnahme).

Mischalmandin, Analysenauswertung, Analytiker F. Laskovic, 1966

Oxid	Gew.-%		Atomproportionen						
			Z						
SiO ₂	36,57	609	15	594	594	114	66	44	370
TiO ₂	0,40	5	5						
Al ₂ O ₃	16,49	324	Ru	3	319	} Y	44	29	246
Fe ₂ O ₃	2,92	36	3		33 + 44		396	77	
Cr ₂ O ₃	—		Mtk						
FeO	30,90	430		8	422	370,2			370,2
MnO	3,19	45		1	44	44	} X	44	Hm
MgO	2,91	72		6	66	66		594	66
NiO	Sp							Pyp Spess	
CaO	6,63	118	} 4,2		113,8		113,8		
Na ₂ O	0,10	3			3			Andr	
K ₂ O	0,10	2		2					
CO ₂	0,00	—							
S	0,08	3	} 3						
P ₂ O ₅	0,18	2,5							
H ₂ O +	0,05	6		10					
H ₂ O -	0,02	2	Ap	Bi					
F	nb								
100,54			Einschlüsse		Rest				

Formelmaß $M = 594/3 = 198$ Fe-Verteilung:

44 Fe⁺⁺ als Fe⁺⁺⁺ nach Y₂
370,2 Fe⁺⁺ als Fe⁺⁺⁺ nach X₃
7,8 Fe⁺⁺ als Fe⁺⁺⁺ nach Fe⁺⁺⁺
422,0 Fe⁺⁺
8,0 Fe⁺⁺ nach Bi

Dichteziffern

D exp., bei teilweiser oxidischer Zersetzung	3,913	Laskovic
D exp., für unversehrten Granat	4,015	Laskovic
D ber., reiner Granat	4,138	Angel
D ber., samt Einschlüssen	4,116	Angel

Einschlüsse

Bi(otit)	2,34	Gew.-%
Hm(Hämatit)	0,62	
Ru(til)	0,40	
Ap(atit)	0,43	
Mtk(Magnetkies)	0,25	
4,04		Gew.-%

F. Laskovic beschaffte eine R-Diffraktometer-Aufnahme zur Ermittlung von a_0 , Dichtermittlung mittels Pyknometer bei 20 °C, sowie eine RF-Aufnahme, welche neben den Hauptelementen Si, Al, Fe, Mn, Ca, Ti und K auch die naßanalytisch nicht mehr erfassbaren Spuren von Ni, Cr, Zn und Cu sicherte. Cr ist wohl bei Fe⁺⁺⁺ getarnt, Cu, Zn und Ni stecken in der kleinen Menge sulfidischer Erze. Die FeO-Bestimmung war erkanntermaßen auf Kosten von Fe₂O₃ zu hoch ausgefallen; das haben wir in der Auswertung korrigiert, so daß nunmehr zwischen analytischen und andersartigen Befunden keine Widersprüche mehr bestehen.

2. Die Radentheinite, ihre Granaten und zugehörige Cyanit-Quarzfels-Gänge

Radentheinite, (Angel 1948), (3), (4), sind besondere Typen kristalliner Schiefer. Ihre Hauptkornsortenbestände pendeln um ein Verhältnis Disthen : Granat : Biotit = 1 : 1 : 1. Es gibt Varianten mit starker Disthen- oder Biotitvormacht, selten solche mit Granatvormacht. Muskowit oder Quarz werden darin nie Hauptkornsorten, und Orthoklas mit saurem Andesin sind lokale Überkornsorten, die häufig fehlen; Staurolith ebenfalls (lokal bis 5 Vol.-%). Die Radentheinite sind also von den Millstätter Alpen-Granatglimmerschiefern und ihren Abarten sehr verschieden und haben auch eine besondere Begleitung: die **Staurolith-Disthen-Granat-Biotit-Glimmerschiefer**, Muster Dabor und Krug und die **Cyanit-Quarzfels-gänge**.

Wir nennen folgende Fundorte:

Längs der Magnesitlagerstätte

- 1) Seinerzeitige Trichterbaue auf E(tagen) 13 — 15, Zwischenlagerbereich W vom Magnesit.
- 2) Längs Aufzug E 13 nach E 15, O vom Magnesit, z. T. diaphthoritisch.
- 3) Nordende von „Spitzkofel“, Schrägaufzug E 11 — E 13.
- 4) Felsrippen im „Hauptlager“-Zirkus. Graublauer Disthen 40 Vol.-%, Almandin 30, Biotit 30.
- 5) Felshang vom Zirkus hinauf nach E 17. Disthen 70 Vol.-%, Almandin 10, Biotit 20.

- 6) E 1552, nahe Unterbaustollen. Disthen (hellblauer Cyanit) 50, Almandin 15, Biotit 35.
- 7) Grobe Blöcke auf E 21, knapp nördlich Hauptlager. Disthen 35 Vol.%, Almandin 25, Biotit 40, und Disthen 55 Vol.%, Almandin 10, Biotit 35.
- 8) Im vormaligen Trichterbau auf E 15 gingen normale Radentheinite in fast reine Biotitfelse über.
- 9) Im „Schneetal“ zwischen Lammersdorfer Alm und Lammersdorfer Berg, bald westlich, bald östlich vom Magnesitzug, mit veränderlichen Verhältnissen Disthen: Granat: Biotit, und örtlich mit weißen, körnigen Quarzkorn-Schlieren.

Abseits vom Magnesitzug

- 10) Im Lucknergraben, Bereich der Granatstollen zwischen Unter- und Oberfriessnig. Von hier die bearbeiteten Muster. Disthene 16,4 – 37,5 Vol.%, Almandine 8,3 – 22 Vol.%, Biotite 29 – 54,6 Vol.%, Quarz (immer ganz wenig) + Orthoklas + saurer Andesin 3,4 – 24 Vol.%, Staurolith 0 – 2,8 Vol.%, Leuchtenbergit 0 – 2,7 Vol.%, Oxidische + Sulfidische Erzminerale 0 – 1,0%. Die Disthene sind hier weiß, hellblau, graublau.
- 11) Zwischen Krug und Lassnig, Cyanit 25 Vol.%, Almandin 25 Vol.%, Biotit 50 Vol.%, begleitet von R'.

Die Radentheinite der Magnesitbegleitung sind eingeschuppt in eine Schieferserie ohne bemerkenswerte Karbongesteine, mit herrschenden Granatglimmerschiefer der Millstätter Alpe und Abarten, sowie mit Hornblendegarbenschiefen oder Granat-Hornblende-Glimmerschiefern. Sie werden z. T. diaphthoritisiert, so wie die Glimmerschiefer selber. Die Radentheinite des Lucknergrabens sind eingeschuppt in eine Serie mit bedeutenden Kalk- und Dolomitmarmoren, zwischen Granatglimmerschiefern und Verwandten. Die Radentheinite beim Krug bilden Schuppen in Verbindung mit den verwandten Schiefen R', die sich ebenso deutlich von allen Granatglimmerschiefern der Millstätter Alpe abheben, wie sie sich den Radentheiniten nähern. Bei Dabor lassen die Radentheinite zugunsten der Typen R' aus. Siehe Abb. 1. Radentheinite und R'-Schiefergesteine sind in diesem Bereich verschuppt mit Granatglimmerschiefern vom Typus Millstätter Alpe, mit etwas Hornblendegarbenschiefen, mit graphitgeschwärtzen Quarziten – und besonders im Süden – mit mächtigen Amphiboliten. Die genannten Serien streichen am Magnesitzug N-S, im Lucknergrabenbereich NW, im Süden, Bereich Laufenberg-Dabor, fast O-W.

Es muß eine Fundortsfrage und Bezeichnungsangelegenheit erwähnt werden. Brunnelchner erwähnte in (7), S. 48, die von uns bearbeiteten Granaten aus dem Lucknergraben unter „Unterfriessnitz am Laufenberg“, soll richtig heißen Unterfriessnig (Bauernhof) im Lucknergraben; der Laufenberg ist davon abseits, und das Dörfel Laufenberg ist weiter weg, als die kleinen Weiler „am Zödl“ und andere,

die neben Laufenberg in die Großgemeinde Radenthein gehören, wie z. B. auch Dabor. So ist der Stand der Verhältnisse heute. Fritz Kern, ein Jugendfreund Angels, begann sich um 1907 (15) mit den Gesteinen des Lucknergrabens, die er Granatglimmerschiefer nannte, zu befassen, das sind unsere heutigen Radentheinite von dort, brach aber seine Studien nach Bearbeitung des Disthens ab. Brunnelchner erwähnte 1884 in (7) auch „Granat auf den Millstätter Alpen im Gneisse“, da ist „Gneis“ durch „Glimmerschiefer“ zu ersetzen, und gemeint sind Granaten, wie wir sie von dort analysiert hatten. Er erwähnt ferner Granaten „in Amphibolschiefer vom Kaninggraben“; wir werden ebenfalls einen Granaten aus einem verwandten Gestein vorlegen, allerdings nicht aus dem Kaninggraben, sondern aus dem Einzugsgebiet des Globatschbaches, der in ihn mündet. Außer jenen Erwähnungen war bisher über diese Granaten nichts bekannt.

Ein kennzeichnendes Bild von Radentheinit zeigt Abb. 2.

Nach diesen Vorbemerkungen wenden wir uns den Ergebnissen zu, die wir an den Radentheinit-Granaten und am Radentheinit selbst erzielt haben.



Abb. 2

Almandin I, dunklerrot, aus Radentheinit des Granatstollens beim Unterfriessnig, Lucknergraben bei Radenthein. Analyse: F. Laskovic 1966

Oxide	Gew.-%	Atprop.	Rutil	Staurolith	Almandin
SiO ₂	36,99	616		34	582
TiO ₂	1,03	13	13	—	—
Al ₂ O ₃	23,24	456		68	388
Fe ₂ O ₃	2,31	29			
FeO	29,03	404		12,9	420,1
MnO	0,29	4		0,3	3,7
MgO	6,45	161		3,8	157,2
CaO	0,00				
C	nb				
Glv.	nb				
(H ₂ O)	(0,16)	(17)		(17)	
	99,34		13	119	1551
	(99,50)				

Granat samt Verwachsung
und Einschluß

	Norm-%	Gew.-%
Rutil	0,8	1,03
Staurolith	7,1	6,92
Almandin	92,1	91,64
	100,0	99,59

Granat in Formeleinheitenprozenten
der Komponenten

Almandin	72,3 %
Spessartin	0,6
Pyrop	27,1
Grossular	0,0
Andradit	0,0
	100,0 %

Dichte

Experimentell, Laskovic:	4,07
Samt Verwachsungen, Angel:	4,089
Reingranat, berechn., Angel:	4,115

Gitterkonstante a_0 :

Experimentell aus	
Diffraktogramm	: 11,505 ₄ A
Berechnet aus der	
Analyse	: 11,508 ₄ A
Differenz	0,026 %

Mg-Verteilung

	Mg/MgMnFe
Analyse:	26,9 %
Staurolith:	22,3 %
Almandin:	27,1 %

Mn-Verteilung

	Mn/MnFeMg	Mn/MnFe
Analyse:	0,67 %	0,92 %
Staurolith:	1,80 %	2,30 %
Almandin:	0,64 %	0,87 %

Dieser Granat ist also drei-, beinahe schon zwei-komponentig. Man kann ihn als Almandin bezeichnen, weil Alm mit über 2/3 noch stark vorherrscht; man kann ihn auch als Mischalmandin ansprechen, oder wegen der starken Pyp-Beteiligung als Pyrop-Almandin.

Bemerkungen zur Analyse. In Anschliffen und Dünnschliffen zeigen sich im Granat Rutil-einschlüsse und Einwachsungen, bzw. Anwachsungen von Staurolith. Nach Abrechnung von Rutil wurde zur

Gewinnung der Anteile von Staurolith neben Granat folgendes Gleichungssystem angewendet:

$$\begin{array}{rcl} \text{Granat} & & \text{Staurolith} \\ 3x \text{ Si} & + & 4y \text{ Si} = 616 \text{ Si} \\ 2x \text{ Al} & + & 4y \text{ Al} = 456 \text{ Al} \\ x = 194 & & y = 17 \end{array}$$

(vergl. Analysenauswertung oben).

Die Trennung der Eisenoxide im Analysengang gelingt nicht immer verlässlich. Der zweite, folgend behandelte Granat aus demselben Gestein enthielt tatsächlich kein Fe_2O_3 , sondern nur FeO. Dazu kommt, daß der untersuchte obige Granat zu einem Fe_2O_3 -Gehalt keine mineralische Entsprechung zeigte. Daher wurde diesfalls Fe_2O_3 als FeO gerechnet. Daß dies richtig war, zeigt die gute Übereinstimmung aller ermittelten Größen und ihrer Beziehungen. Zur rechnerischen Ausscheidung des Staurolithes wurde dieser so gehalten, daß Mg den Rahmen von 15 – 34 Atom-% in der staurolithischen Fe-Position nicht überschreitet (37). Einen Anhalt bot auch ein Staurolith von St. Radegund (bei Graz), wo dieser Anteil bei 26 % lag. So eingerichtet, ergaben sich in der Analysenauswertung keine Widersprüche zu andern ermittelten Gegebenheiten.

Almandin II, hellrot, aus demselben Gestein und
Fundort. Analyse: F. Laskovic 1966

Oxide	Gew.-%	At-prop.	Rutil	Di-sthen	Stau-rolith	Alman-din
SiO_2	37,64	627		40,5	28	558,5
TiO_2	0,78	10	10	—	—	—
Al_2O_3	25,93	509		81,0	56	372
Fe_2O_3	0,00	—				
FeO	28,09	391			10,5	380,5
MnO	0,41	6			0,5	5,5
MgO	7,06	175			3,0	172
CaO	0,00					
C	nb					
Glv.	nb					
$(\text{H}_2\text{O} +)$	(0,13)	(14)			(14)	
	99,91		10	121,5	98,0	1488,5
	(100,04)					

Granat samt Verwachsung
und Einschluß

	Norm-%	Gew.-%
Rutil	0,6	0,78
Disthen	7,1	6,56
Staurolith	5,7	5,70
Almandin	86,6	87,14
	100,0	100,18

Granat in Formeleinheitenprozenten
der Komponenten

Almandin	68,2 %
Spessartin	1,0
Pyrop	30,8
Grossular	0,0
Andradit	0,0
	100,0 %

Dichte

Experimentell Laskovic:	4,00
Samt Verwachsungen, Angel:	3,99
Reingranat, berechn. Angel:	4,085 ₂

Gitterkonstante a₀

Experimentell aus Diffraktogramm:	11,502 ₆₅ A
Berechnet aus der Analyse:	11,506 ₀ A
Differenz:	0,29 %

Mg-Verteilung

	Mg/MgMnFe
Analyse:	30,6 %
Staurolith:	21,4 %
Almandin:	30,9 %

Mn-Verteilung

	Mn/MnFeMg	Mn/MnFe
Analyse:	1,05 %	1,51 %
Staurolith:	3,5 %	4,5 %
Almandin:	0,986 %	1,43 %

Durch ein ähnliches Gleichungssystem wie es bei Almandin I angewendet wurde, konnten nach Ausscheidung des Rutil die relativen Mengen von Disthen und Staurolith gegenüber Almandin berechnet werden. Die Übereinstimmung aller ermittelten Daten bestätigt, daß die Analysenauswertung den richtigen Weg gegangen ist. Als Staurolithformel wurde verwendet $H(FeMnMg)Al_4Si_2O_{12}$.

Radentheinit, Lucknergraben, bei den Granatstollen,
Muttergestein der untersuchten Granaten. Analyse
F. Laskovic 1966. Analysenauswertung
(siehe untenstehende Tabelle)

Eine RFA (F. v. Kähler, Radenthein, 1966) bestätigte die geringe Mn-Menge, Zr (Zirkon-Einschlüsse im Biotit), Cl und F (im Biotit), Ni (im Magnetkies), Cr (später von Laskovic im Biotitkonzentrat quantitativ bestimmt), Spuren von Ba und Sr (in Feldspäten und Biotit), sowie alle Hauptelemente der Analyse, auf die gesucht wurde. C (=Graphitstaub in allen Kornsorten) wurde quantitativ bestimmt, ebenso der bemerkenswert kleine P_2O_5 -Betrag (deshalb so selten und wenig Apatit!). In den Granaten I und II wurde C nicht bestimmt, ist aber

Radentheinit, Lucknergraben, bei den Granatstollen, Muttergestein der untersuchten Granaten. Analyse
F. Laskovic 1966. Analysenauswertung

Oxide	Gew.-%/o	Atprop.													
SiO ₂	42,18	703					98,1	38	133,2	75,6	76,6	8	242,8	30,7	
TiO ₂	1,93	24	24												
Al ₂ O ₃	35,63	699					32,7	38	44,4	31,3	51,1	16	485,5		
Fe ₂ O ₃	1,36	17		14	3										
FeO	7,86	109,5	10	7	4					31,1	54,2	3,2			
MnO	0,05	0,7								0,1	0,6				
MgO	2,68	67								44,4	21,8	0,8			
CaO	1,07	19						19							
Na ₂ O	1,015	32,7					32,7								
K ₂ O	3,315	70,4							44,4	26,0					
P ₂ O ₅	0,012	—													
C	0,21	17				17									
S	0,32	10	10												
F	0,04	(2)								(2)					
Cl	0,07	(2)								(2)			(Wasserrest)		
H ₂ O +	1,39	(154)				(7)				(48)		(4)	(95)		
H ₂ O -	0,21	—													
	99,342	(1769,3)	24	20	21	7	17	163,5	95	222,0	208,5	204,3	28,0	728,3	30,7
			Ru	Mtk	Mt	Gö	C	Ab	An	Or	Bi	Alm	Stau	Disth	Q

zugegen; er würde die Analysensumme um 0,1 oder 0,2 Gew.-% erhöhen, was passen würde. Die Alkalien ergaben gravimetrisch 0,93 Gew.-% Na₂O und 3,43 Gew.-% K₂O, spektralphotometrisch entsprechend 1,10 und 3,43 Gew.-% (Laskovic 1966); wir setzten dafür die arithmetischen Mittel, siehe oben. Der Kalifeldspat ist Orthoklas, neben ihm ein saurer Andesin, nach der Analyse mit 36,75 Formel-% An; gemäß der Optik sollte er ein wenig basischer sein, so daß kleine Mengen von Na im Orthoklas und noch kleinere in Biotit einzubauen wären, wovon Abstand genommen wurde. Grundlagen für die obige Auswertung boten die Ergebnisse der beiden Granatanalysen, die Dünnschliffbeobachtungen und die Biotitoptik (A. Alker, Joanneum, Graz); da entspricht ein Biotit mit dem Aufbau (H, F, Cl)₂₀K₁₀ Mg_{17,03}Mn_{0,04}Fe_{11,93}Al₁₂Si₂₉O₁₂₀ = 4 Phlogannit + 1 Eastosiderophyllit.

Der Durchschnittsgranat, der sich bei der Auswertung ergab, hat folgende Stellung:

	Almandin I	Auswertungsgranat	Almandin II
Alm (Formel-%)	72,3	70,76	68,2
Spess	0,6	0,78	1,0
Pyp	27,1	28,46	30,8
	100,0	100,00	100,0

Der Auswertungsgranat läßt sich also auf ein Gemenge 1 : 1 der Mischalmandine I und II zurückführen, deren Nebeneinander im selben Gestein erkannt worden ist. Aus der Auswertung erflossen folgende Kornsortenbestände.

Radentheinit wie oben angegeben.

	Normativ	Gew.-%
Graphit (C)	0,95	0,21
Goethit (Gö)	0,40	0,62
Magnetkies (Mtk)	1,13	2,32
Magnetit (Mt)	1,19	
Rutil (Ru)	1,36	1,93
Quarz (Q)	1,73	1,84
Albit (Ab)	9,25	14,62
Anorthit (An)	5,37	
Orthoklas (Or)	12,55	12,34
Biotit (Bi)	11,78	11,93
Almandin (Alm) *)	11,55	12,03
Staurolith (Stau)	1,58	1,56
Disthen (Disth)	41,16	39,33
	100,00	H ₂ O (R) 0,86
		H ₂ O — 0,21
		99,22

Die Analysensumme sollte 99,372 ergeben, bleibt aber infolge rechnerischer Kürzungen um eine Kleinigkeit niedriger, doch befriedigt die Annäherung der

Werte. Das unverwendete H₂O scheint im Biotitfilz adsorbiert zu sein.

*) Mischalmandin (R) = Rest

Verteilungsbefunde

	Mg/MgMnFe	Mn/MgMnFe	Mn/MnFe
Gestein total	34,50 %	0,36	0,55
Silikate	42,88	0,45	0,785
Almandin	28,46	0,78	1,095
Biotit	58,8	0,13	0,32
Staurolith	20,0	—	—

Rutil-Verteilung

Radentheinit total	1,93 Gew.-%
Almandin I	1,03 Gew.-%
Almandin II	0,78 Gew.-%

Radentheinite mit so hohen Feldspatgehalten wie das untersuchte Beispiel sind Abarten, deren Verbreitung erst noch geklärt werden muß; in den Prototypen der Radentheinite spielen Feldspäte keine Rolle, aber wir haben zur Zeit davon keine Analysen. Auch die lokal auftretenden Nebenkornsorten Magnetkies/Magnetittrinden, sind sekundär, der Goethit ein Zersetzungsprodukt. Nimmt man aus der obigen Radentheinitform heraus, was den Radentheinit eigentlich ausmacht, so sieht der Kornbestand so aus:

Graphit	0,90 Norm.-%
Rutil	0,91
Biotit	17,51
Almandin	17,16
Disthen	61,17
Staurolith	2,35
	100,00 Norm.-%

Solche und etwas variierende Formen sind nicht selten. Vergl. auch dazu S. 5. Dieser Gesteinstypus ist petrographisch sehr interessant und kann auch einmal wirtschaftlich bedeutungsvoll werden, das es sich um beträchtliche Kubaturen handelt.

Der Disthen der Radentheinite

F. Kern berichtete 1909 in (15) darüber. Er nannte das Gestein aus den Granatstollen des Lucknergrabens „Biotitglimmerschiefer mit reichem Granatgehalt, auch „Feldspat“ und schmutzig-graublaue Disthen; das war auch ein Muster unseres Radentheinites.

Dichte des Disthens

Kern (15): 3,587 (Pyknometer, Raumtemperatur). Laskovic 1966: 3,583 (schwere Flüssigkeiten, Raumtemperatur). Disthen nach Tröger 1952 (36): 3,59. Demnach hatte Kern ein schon theoretisch reines Material in der Hand. Um so mehr interessiert die Analyse, die damit nicht zusammenpaßt.

Disthen des Lucknergrabens,
Kern 1909

Oxide	Gew.-%	Atprop.	Auswertung (Angel)			
SiO ₂	40,36	672,2	42	138,9	491,3	
Al ₂ O ₃	57,90	1136,0	84	69,4	982,6	
Fe ₂ O ₃	Spuren					
FeO						
CaO	1,20	21	21			
H ₂ O	1,27	141	42	69,4		29,6
	100,73		Margarit	Pyro- phyllit	Disthen	Wasser- rest

Es fehlen Angaben über TiO₂ (Rutileinschlüsse), C (Graphiteinschlüsse), Pyrit, Hämatit (von Kern angeführt), MgO (Kern führt Talk als Umsetzungsmaterial an), CO₂, und Näheres über „glimmerige“ Umsetzungen. Wertet man Kerns Analyse aus, wie sie ist, dann erhält man:

Disthen	79,59 Gew.-%
Pyrophyllit	12,43 Gew.-%
Margarit	8,38 Gew.-%
Wasserrest	0,27 Gew.-%
	100,67 Gew.-%

Dichte berechnet ohne Überschußwasser D =	3,517
Dichte berechnet mit Überschußwasser D =	3,445

Kern hat demnach einen intakten Disthen auf Dichte untersucht, aber einen zersetzten analysiert, welcher nicht „talkisiert“ war, sondern andersartig umgesetzt. Damit ist das Problem dieser Disthene neu gestellt.

Auch ein anderes Problem der Radentheiner Disthene ist offen. In den begleitenden Cyanit-Quarzfels-Gängen und Adern tritt kornblumenblauer, licht türkisblauer oder auch türkisgrüner Disthen auf. Vendl & Mandy hatten 1958 (31) darauf hingewiesen, daß die Farburgsache in der Gegenwart von FeO + Fe₂O₃ in bestimmten Verhältniszonen und in einer bestimmten Feinverteilung liegen könnte, also in gegenseitiger Wirkung von Fe²⁺- und Fe³⁺-Ionen mit der Wirtsubstanz. Ein blauer, finnischer Cyanit hatte 0,14 Gew.-% FeO neben 0,10 Fe₂O₃, und ein Forfarshirer Cyanit: 1,123 Gew.-% FeO neben 1,609 Fe₂O₃. Im Bereich unserer Radentheinite könnte man diesem Problem nachgehen. Kern hatte keinen solchen blauen Cyanit vor sich. Seine Absicht, auch die Radentheinit-Granaten zu untersuchen, hat er nicht mehr ausführen können.

Der Biotit der Radentheinite

Noch mangelt eine vollständige Analyse dieses interessanten Biotites in welchem kürzlich (1967) F. Laskovic einen Cr₂O₃-Gehalt festlegen konnte. Die Radentheinit-Fraktion leichter als 3,31 macht

40 Gew.-% vom Radentheinit aus und liefert 0,15 und 0,18 Gew.-% Cr₂O₃ mittels Aufschließung durch Soda + Natronperoxid, nachdem vorher schon mittels Diphenylkarbazid in schwefelsaurer Lösung eine starke qualitative Cr-Reaktion erreicht worden war. Auf die Radentheinit-Pauschanalyse bezogen wären dies 0,060 und 0,070 Gew.-% Cr₂O₃. Das aber liegt bei der angewandten Methode zur Bestimmung gerade an der Empfindlichkeitsgrenze, so daß vorerst in der Pauschanalyse kein Cr gefunden werden konnte; erst im Biotit-Konzentrat zeigte sich der Erfolg in zwei verschiedenen Proben, welche die obigen Ziffern ergaben. In 100 Gew.-% reinem Biotit würde es sich um 0,495 bzw. 0,594 Gew.-% Cr₂O₃ handeln. Durch die Cr Bestimmung wird die Analysensumme des Radentheinit um 0,060 – 0,070 Gew.-% angehoben, bleibt aber noch immer etwas niedriger. Die Ionenradien für Cr³⁺ und Fe³⁺ betragen 0,63 und 0,64 Å, für Al³⁺ nur 0,51 Å, Green 1959 (33); wir betrachten – Sechserkoordination der genannten Ionen vorausgesetzt – Cr³⁺ als Substitut für Fe³⁺. Auf Cr-Biotite wies 1941 und 1957 bereits H. Strunz (35), S. 304 hin; inzwischen hat uns eine persönliche Mitteilung W. Tufar's über Chrombiotite zum Suchen angeregt.

Herrn A. Alker verdanken wir folgende Daten über diesen Biotit: X = blaß bräunlichgelb, Y = Z = leuchtendes, mittelintensives rotbraun (Rock Colour Card 10 R 4/6); Z = 1,629, X/c = 0⁰, Z/a = 2,5⁰, AE = 010, 2 V praktisch 0⁰, Z - X = 0,051. Das genügt zur Bestimmung dieses Biotites nach Winchell's Diagramm, bei Tröger (36) S. 84. Darnach wäre Mg : Fe = 59 : 41 oder 58 : 42 und (MgFe)₅Al₂ : (MgFe)₅Al₄ = 4 : 1. Daraus die angenäherte Biotitformel: ((OH), F, Cl)₂₀K₁₀(Mg_{17,03}Mn_{0,04}Fe³⁺_{11,93})₂₉Al₁₂Si₂₉O₁₀₀. Ob und in welcher Weise eventuell Fe³⁺ eingebaut ist, ist noch unbekannt, bezüglich Cr siehe oben.

Ergebnisse einer RFA von Radentheinit durch Herrn F. Kahler – Radenthein

- Größere Konzentrationen: Si, Ti, Al, Fe, Ca, K, Zr, S, Cl.
- Kleinere Konzentrationen: Mn, Ni; As, Se, Co, Zn; Y, V, Sr, F.
- Konzentration kleinst oder fraglich: Cr, Ba, Rb; Ga, Cd, Sb, Cu.

Cr wurde inzwischen titrimetrisch bestimmt; die Rolle mehrerer der angeführten Ionen müßte Gegenstand einer besonderen Untersuchung werden. Das geht über den derzeit von uns gewählten Rahmen hinaus. Aus methodischen Ursachen fehlen in der Liste einige Elemente, deren Funktion uns aus der gravimetrischen Analyse bekannt ist.

3. Hornblendegarbenschiefer, ihr Granat und ihre Hornblenden

So wie die Millstätter Granatglimmerschiefer und die Radentheinite stehen auch die Hornblendegar-

benschiefer-Vorkommen, siehe Abb. 1 in einem reichhaltigen Formenkreis hier auftretender kristalliner Schiefer: *Pararamphibolite*. Sie sind deren einprägsamste Gesteinstypen, ihre grobgarbig gruppierten Hornblenden bilden kräftige Säulen mit Längen bis zu 10 cm, welche von im Bruch unansehnlichem, mißfarbig-rottem Granat begleitet werden. Das helle Grundgewebe dieser Gesteine ist entweder quarz-feldspätig oder muskowitzreich, so wie auch in den begleitenden Hornblendeglimmerschiefern bis-quarziten, ± Granat. Wir untersuchten einen Granat und zwei Hornblenden.

Der Granat der Hornblendegarbenschiefer

F. Laskovic trennte mit Benutzung schwerer Flüssigkeiten und Beobachtung von Sinkgeschwindigkeiten in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Weninger (Leoben) mehrere Fraktionen, die wie folgt zu charakterisieren waren:

- a) bei Flüssigkeitsdichte 3,31 schnell absinkende Fraktion, angereichert dunkelroter Granat, dazu reichlich „Erz“, vorherrschend oxidisch,
- b) langsamer sinkend, heller-roter Granat, mit viel Apatit, auch Rutil und schon Hornblende dazu,
- c) sehr langsam sinkend, noch hellerer Granat, viel Apatit, ferner schon viel Hornblende und auch Rutil,
- d) bei $D = 3,31$ aufsteigend, aber noch etwas schwerer als 3,18 enthielt diese Fraktion auf 100 Vol. Hornblende nur noch etwa 5 Vol. Granat, dazu Apatit und Rutil, aber kein „Erz“ mehr.

Wesentlich ist, daß also hier bei den Radentheiten im selben Gesteinsmuster verschiedene Granatarten vorkommen.

Besonderes Augenmerk galt hier und bei den Hornblendeanalysen der F-Bestimmung, die ja auch den

Apatit betraf. Schwierigkeiten tauchen immer wieder bei der Trennung von FeO und Fe₂O₃ auf; sie hängen nach Laskovic Erfahrungen wahrscheinlich zusammen mit der Gegenwart von Sulfidschwefel, da wird dann Fe₂O₃ zu nieder und FeO zu hoch, was sich auch in der Analysensumme bemerkbar macht. Wir haben nach Studium der optischen Eigenschaften der schweren Fraktionen und den Befunden Weninger's die Originalanalyse Laskovic etwas redigieren müssen, was auch P₂O₅ betraf. Wir stellen daher die Originalanalyse Laskovic 1966 an die Spitze, die redigierte daneben, um die Lage ersichtlich zu machen, und werten nach der redigierten Analyse widerspruchsfrei aus.

Misch-Almandin mit Beimengungen, Fraktion schwerer als $D = 3,31$ (a), Analyse F. Laskovic 1966/67

(siehe untenstehende Tabelle)

Fraktionszusammensetzung

Mischalmandin	75,98	Gew.-%/0
Ilmenit	14,54	
Hämatit	7,23	
Pyrit	1,51	
Apatit	0,82	
	<hr/>	
	100,08	Gew.-%/0

Mischalmandin in Formeleinheiten-Prozenten und Komponenten

Alm(andin)	40,30	%/0
Spess(artin)	3,95	
Pyp(Pyrop)	29,75	
Gross(ular)	24,05	
Andr(adit)	1,95	
	<hr/>	
	100,00	%/0

Misch-Almandin mit Beimengungen, Fraktion schwerer als $D = 3,31$ (a), Analyse F. Laskovic 1966/67.

Oxid	Gew.-%/0	Gew.-%/0	Atprop.														
SiO ₂	29,88	28,88	4976														
TiO ₂	7,66	7,66	956		956												
Al ₂ O ₃	16,56	16,56	3252														
Fe ₂ O ₃	0,24	7,73	969			904											
FeO	28,00	21,30	2960		956												
MnO	1,38	1,38	196														
MgO	5,97	5,97	1481														
CaO	7,72	7,72	1374														
P ₂ O ₅	0,14	0,34	48														
S	0,81	0,81	253	253													
Fe	0,70	0,70	126	126													
F	0,03	0,03	16	16													
	99,09	100,08															

Fe₂O₃ für Fe total bestimmt: 32,33 Gew.-%/0.

Hornblenden der Hornblendegarbenschiefer aus den höheren Abraum-Etagen westlich des Magnesitlagers
Hornblende I, aus einem Garbenschiefer mit quarz-feldspätigem Grundgewebe, mit weniger eingemengten
Muskowit. Analyse F. Laskovic 1966

Oxide	Gew.-%	Atprop.			Kolonne 1	Kolonne 2
SiO ₂	41,88	697,6			697,6	6,4
TiO ₂	0,90	11,2		11,2	872,1	8,00 = z
Al ₂ O ₃	14,35	282,0			174,5	1,6
Fe ₂ O ₃	3,42	43,2	1		107,5	0,98
FeO	12,30	171,0			42,2	0,39
MnO	0,32	4,4			171,0	1,57
MgO	8,87	220,1			4,4	0,04
CaO	9,38	167,6		28,5	220,1	2,02
Na ₂ O	3,00	97,0			139,1	1,28
K ₂ O	0,70	15,0			97,0	0,89
Cu	0,08	1,2	1		15,0	0,14
P ₂ O ₅	1,20	17,0		17,0		
S	0,06	2,0	2			
F	0,10	5		5		
H ₂ O +	3,57	396,4		0,7	395,7	2,00
H ₂ O -	0,05				395,7	2,00 = (OH) ₂
						1,63
	100,18		Cuk	Ap	Ru	1,63 = 0,82 H ₂ O
					Ho I	

Volumsschätzungen, Vergleiche

	Almandin	Apatit	Erz	Rutil
Weniger:	100	10,0	30	1
Analysen- auswertung:	100	1,3	23,12	0
Alm, Dichte berechnet:		3,854 ₄	Angel	
a ₀ berechnet:		11,598	A Angel	

Aus Analyse und optischen Befunden darf man schließen, daß das Analysengut, das die schwerste Fraktion darstellt, durch die obigen Angaben gut charakterisiert ist. Das Erz, welches die Fraktion enthält, ist nicht homogen, abgesehen vom Pyrit ist noch nicht näher untersucht, in welchem Verhältnis Ilmenit : Hämatit stehen. Ebenso wäre erst zu klären, in welcher Weise sich die Granaten verschieden heller Farbe chemisch verhalten, also welche Änderungen in der Komponentenzusammensetzung eintreten. Die Auswertung führt auf einen 5-komponentigen Granat.

Hornblenden der Hornblendegarbenschiefer aus den höheren Abraum-Etagen westlich des Magnesitlagers
Hornblende I, aus einem Garbenschiefer mit quarz-feldspätigem Grundgewebe, mit weniger eingemengten
Muskowit. Analyse F. Laskovic 1966
(siehe obenstehende Tabelle)

Kupferkies (Cuk) ergibt sich aus der Analyse, ist aber so wenig, daß er optisch nicht bemerkbar war. Apatit und Rutil sind optisch in den Laskovic-Fraktionen auch von Weninger festgestellt worden. Ansonst ist das Analysengut sehr reine Hornblende. Wir setzen zwecks Formelaufbau ($z + Y = 13$; das umfaßt Si, Al, Fe, Mn, Mg. Daraus gewinnt man das Formelausmaß aus Kolonne 1 mit 109,02, woraus man z und Y mit den Werten in Kolonne 1 erhält. Kolonne 2: Umrechnung auf die Formeleinheit (OH)₂ X_{2,31} Y₅ z₈ O₂₂. Die Apatit-Berechnung basierte auf P₂O₅, was eine kleine OH-Ergänzung von F verlangt; Cl wurde diesfalls nicht bestimmt. Bedeutsam ist es, daß für den Hornblendechemismus kein F verfügbar bleibt, was ja nicht von vornherein sicher war.

RFA-Aufnahmen (Prof. Dr. F. Trojer, Leoben) bestätigten Cu, zeigten aber auch Spuren von Ni und Cr an, die so gering sein müssen, daß sie auf klassischem Weg nicht festgelegt werden konnten; wir teilen Ni jedoch dem Mg zu, Cr dem Fe“. Die RFA gab auch Cl an; das gehört sicher in den Apatit. Bezüglich anderer Auswertungsfragen vergl. die Ausführungen über Hornblende II.

Valenzbilanz nach Kolonne 2

O	z	Anionenval.	Y	X	
48	6,4 x 4 = 25,6	48	0,98 x 3 = 2,94	1,28 x 2 = 2,56	11,37
	1,6 x 3 = 4,8	- 30,4	0,39 x 3 = 1,17	0,89 x 1 = 0,89	3,59
	30,4	17,6	0,04 x 2 = 0,08	0,14 x 1 = 0,14	2,00
			1,57 x 2 = 3,14	3,59	16,96
			2,02 x 2 = 4,04	(OH) ₂ = 2,00	
					11,37

Haben: 17,6 Valenzen
 Konsum: 16,96 Valenzen
 Restval. = 0,64

Die Restvalenzen sind vielleicht daran beteiligt, das Restwasser, pro Formeleinheit 0,82 H₂O = 1,60 Gew.-% adsorptiv zu binden.

Hornblende II, aus einem Garbenschiefer mit muskowitzreichem Grundgewebe, von den höheren Abraum-Etagen westlich des Magnesitlagers. Analyse F. Laskovic 1966

Oxid	Gew.-%	Atprop.			Kolonne 1	Kolonne 2
SiO ₂	42,10	699			699	6,47
TiO ₂	0,58	7,6		7,6	864,4	8 = z
Al ₂ O ₃	15,37	301,4			165,4	1,53
Fe ₂ O ₃	4,09	51,0	1,5		136,0	1,26
FeO	11,87	165,4			49,5	0,46
MnO	0,14	2,0			165,4	1,55 } 5 = Y
MgO	7,57	187,4			2,0	0,02
CaO	10,14	180,8		28,5	187,4	1,73
Na ₂ O	3,20	103,0			152,3	1,41
K ₂ O	0,70	15,0			103,0	0,95 } 2,5 = X
Cu	0,10	1,6	1,5		15,0	0,14
P ₂ O ₅	1,21	17,0		17,0		
S	0,09	2,8	3,0			
F	0,10	5		5,0		
Cl	0,03	0,8		0,8		
H ₂ O +	2,93	325			325	1,90 } 1,9 = (OH) ₂
H ₂ O -	0,07				120	1,63 } 0,82 H ₂ O
	100,29		Cuk	Ap	Ru	Ho II

Rechnungsvorgang analog wie bei Hornblende I. Aus Kolonne 1 erhält man das Formelmaß 108,05, nachdem Kupferkies (Cuk), Apatit) und Ru(til) abgerechnet sind, alles übrige gehört in die (Ho)rnblende. Die Apatite der Garbenschiefer sind also als Cl-F-Apatite erkannt worden.

Die RFA-Analyse (Prof. Dr. F. Trojer, Leoben) wies außer den Hauptelementen wiederum Spuren von Ni, Cr und Cu (letzteres auch im Analysengang Laskovic) sowie diesmal auch Zn aus. Wir verteilen sie wie bei Hornblende I, das Zn gehört vielleicht in eine Sulfidspur, die den Kupferkies begleitet.

Valenzbilanz nach Kolonne 2

O	z	Anionenval.	X	Y	
48	6,47 x 4 = 25,88	48	1,26 x 3 = 3,78	1,41 x 2 = 2,82	11,72
	1,53 x 3 = 4,59	- 30,47	0,46 x 3 = 1,38	0,95 x 1 = 0,95	3,91
	30,47	17,53	1,53 x 2 = 3,06	0,14 x 1 = 0,14	1,91
			0,02 x 2 = 0,04	3,91	17,53
			1,73 x 2 = 3,46	(OH) 1,91	
					11,72

Haben: 17,53 Valenzen
 Konsum: 17,53 Valenzen
 Rest: 0,00

Ungebunden adsorbiert 0,55 H₂O pro Formeleinheit = 0,96 Gew.-% H₂O der Analyse.

Zusammenfassung der Hornblenden-Eigenschaften. Die kristallochemischen Formeln, ermittelt aus den Analysen

	(OH)	Ca	Na	K	Mg	Mn	Fe ^{''}	Fe ^{'''}	Al	Al	Si	
Ho I	(2,00)	(1,28	0,89	0,14) _{2,31}	(2,02	0,04	1,57	0,39	0,98) ₅	(1,60	6,40) ₈	O ₂₂
Ho II	(1,91)	(1,41	0,95	0,14) _{2,50}	(1,73	0,02	1,53	0,46	1,26) ₅	(1,53	6,47) ₈	O ₂₂

Verteilungsbefunde

	Mg/MgMnFe ^{''} Fe ^{'''}	Mn/MnFe ^{''}	Al/Formeleinheit	Al/Y	Al/z
Ho I	50,15 : 49,85	2,51	2,58	0,98	1,60
Ho II	46,3 : 53,7	1,20	2,79	1,26	1,53

Einschlüßmengen (Kupferkies, Apatit, Rutil)

	Gew.-%	Dichten Exp.	Soll
Ho I	3,970	3,04	3,210
Ho II	3,791	3,18	3,230

Optik

Ho II

X = 1,651, licht oliv, 10 Y 5/4
 Y = 1,660, mäßig gelbgrün, 56 Y 7/4
 Z = 1,670, mäßig blaugrün, 5 B 6 4/6
 Z/c = 14° (örtlich 16, selten 20°)
 Δ = 0,019 2V_X = 78°

Die beiden Hornblenden, beide aus Granat-Hornblende-Garbenschiefern die räumlich nahe beieinander in einer mächtigen Bank liegen, haben zwar viel Gemeinsames, aber sie bilden doch das verschiedene Milieu ab. Die Hornblende I, aus einem quarz-feldspätigen Grundgewebe, ist gegenüber der Hornblende II aus dem muskowitzreicheren Grundgewebe reicher an Ca und Mg, ärmer an Na und Al und Mn-reicher. Aber reich an Al sind beide. Die Einschlüsse beider sind qualitativ dieselben, quantitativ auch wenig verschieden. In beiden Hornblenden reichen die Halogene bloß für den Apatitaufbau, sie nehmen am Hornblendechemismus keinen Anteil. Die experimentell ermittelte Dichten (schwere Flüssigkeiten, Pyknometer, 20°C, F. Laskovic) sind niedriger, als sie sein sollten; Ursache nicht erkennbar. Die Optik wurde nur bei Ho II genau erfaßt (A. Alker); darnach kämen solche Hornblenden noch in die „Aktinolith-Reihe“, Tröger (36), S. 72, doch muß bemerkt werden, daß die chemische Variabilität in der hier optisch zu-

sammengeschlossenen Gruppe beträchtlich ist. Die Konstitution von Ho II, bemessen an Mg/MnFe^{''}Fe^{'''} und die Optik stimmen sehr gut zusammen. Die Optik von Ho I ist sehr ähnlich. Wir möchten aber nicht sagen, das seien Aktinolithe, sondern in weitem Rahmen gedacht nur „aktinolithische Hornblenden“.

Hornblende II und der Granat dieses Abschnittes stammen aus demselben Gestein; wir verzeichnen deshalb auch für dieses Gestein die Mg-Fe-Verteilung.

	Mg/MgMnFe ^{''} Fe ^{'''}	Mn/MgMnFe ^{''} Fe ^{'''}
Mischalmandin:	40,26 Atom-%	3,55 Atom-%
Hornblende II:	46,30 Atom-%	0,50 Atom-%

Aus dem Gesteinschemismus entnimmt also der Mischalmandin mehr Fe^{''} + Fe^{'''} und weniger Mg als die Hornblende. Mn zeigt auswählendes Verhalten indem es sich in der Hornblende bloß mit etwa 1/7 der Menge (Atom-%) beteiligt als im Granat.

Beziehungen zu Hornblenden anderer Garbenschiefer und Amphibolite

Um die Besonderheit der untersuchten Hornblenden zu zeigen, vergleichen wir ihre Formeln mit jenen von zwei anderen verwandten Gesteinen.

	(OH)	Ca	Na	K	Mg	Mn	Fe ^{''}	Fe ^{'''}	Al	Al	Si	
Ho I	(2,00)	(1,28	0,89	0,14) _{2,31}	(2,02	0,04	1,57	0,39	0,58) ₅	(1,60	6,40) ₈	O ₂₂
Ho II	(1,90)	(1,41	0,95	0,14) _{2,50}	(1,73	0,02	1,53	0,46	1,26) ₅	(1,53	6,47) ₈	O ₂₂
G	(1,00)	(1,48	0,60	0,18) _{2,26}	(1,83	0,??	0,91	0,34	1,92) ₅	(1,90	6,10) ₈	O ₂₂
T	(0,96)	(1,59	0,51	0,18) _{2,28}	(1,80	0,04	1,27	0,79	1,10) ₅	(2,09	5,91) ₈	O ₂₂
	Mg/MgMnFe ^{''} Fe ^{'''}	Al pro Formeleinheit		Al in Y	Al in z							
Ho I	50,15 Atom-%	2,58		0,98	1,60							
Ho II	46,30 Atom-%	2,79		1,26	1,53							
G	56,5 Atom-%	3,82		1,92	1,90							
T	46,15 Atom-%	3,19		1,10	2,09							

Ho I und II sind unsere Garbenschieferhornblenden. G = Gotthardit, eine Garbenschieferhornblende vom St. Gotthard, Schweiz nach P. Niggli 1926, Formelberechnung F. Angel. T = Amphibolit-Hornblende von Titaniul, Rumänien, nach A. Vendl 1932, Geologia Hungarica Ser. IV, S. 231, Berechnung F. Angel.

Die Verwandtschaft dieser grünen Hornblenden untereinander ist augenfällig: Der Index der Ionen-Gruppe X in der Hornblendeformel liegt beträchtlich über 2, wenn auch nicht über 2,5; Mg ist stark vertreten, zwischen 46 und 56 Atom-%, Fe⁺⁺ + Fe⁺⁺⁺ ist fallweise noch stärker, Mn ist sehr niedrig, in G ist es allerdings nicht ausgewiesen, aber es bleibt dafür wie bei den andern nur wenig Raum. Sehr bemerkenswert sind die hohen Al-Werte; der Gotthardit steht da an der Spitze überhaupt. Ti spielt in der Konstitution keine Rolle, bei uns auch nur vertreten in den Rutil-Einschlüssen. Von solchen, paragenetisch bedeutungsvollen Hornblenden aus Paraamphiboliten haben wir noch sehr wenig Analysen; wir konnten z. B. keine Analyse von Hornblenden aus den bekannten, typischen Hornblendegarbenschiefern der Greiner Zunge (Zillertaler Alpen) aufreiben.

Das K/Na-Verhältnis in vergleichbaren Hornblenden.

K gegen Na = 100 Atomproportionen in %

Ho I, Millstätter Alpe	15,47	Laskovic 1966
Ho II, Millstätter Alpe	14,60	Laskovic 1966
Val di Bresimo, Ortler	16,1	(26)
Celedizzo, Ortler	17,1	(24)
Val Rabbi, Ortler	28,4	(24)
Hochwart, Ultental	29,0	(27)
Gotthardit, St. Gotthard	30,0	(22)
Val Madriccio, Ortler	34,0	(23)

Alle diese Hornblenden, Gotthardit ausgenommen, wurden als aktinolithische bezeichnet. Wir schließen direkt an V. d. Bresimo und Celedizzo an. Man sieht, wie weit der systematische Rahmen für solche Hornblenden gespannt ist und wie stark sich fallweise der Kali-Einbau bemerkbar macht; Val Rabbi eröffnet da eine zweite Gruppe von Typen, die sich kräftig von den unseren abheben, woraus nicht geschlossen werden soll, daß wir dabei an eine faktische Lücke dächten.

Die Stärke der Al-Beteiligung in solchen Hornblenden

Zur Charakterisierung genügt fürs erste Angabe von Al₂O₃ in Gew.-% der Hornblende-Analysen.

Ho I, Millstätter Alpe	Al ₂ O ₃ = 14,35 Gew.-%
Ho II, Millstätter Alpe	Al ₂ O ₃ = 15,37

Aus aktinolithischen Hornblenden:

Hochwart, l. c.	2,28
Val Bresimo, l. c.	3,79
Smaragditschiefer, Ochsenkogel,	
Gleinalm	3,84 F. Angel (1)

Smaragditschiefer, Schlaffer,	
Gleinalm	5,50 F. Angel (1)
Celedizzo, l. c.	4,92
V. Madriccio, l. c.	5,24
Val Rabbi	5,68
Hornblenden aus:	
Ipponmatu, Japan, Amphibolit	13,80 Tsuboi, 1936
Glenelg, Schottl., Granatamphibolit	13,46 A. R. Aldermann 1936
Titaniul, Rumänien, l. c.	18,50
G, Gotthardit, l. c.	22,73 !

Die aktinolithischen Hornblenden der Gruppe Hochwart bis V. Rabbi führen Al₂O₃ in jener Höhe, die von Träger als „üblich“ für solche betrachtet wird. Bei unseren Hornblenden scheint aber wohl die Grenze überschritten, sie stehen in einer tonerdereichen Gruppe zwischen Glenelg und dem Gotthardit, und darin sehen wir auch einen besonderen Charakterzug unserer Garbenschiefer-Hornblenden. Das kommt optisch nicht zum gebührenden Ausdruck.

Die Frage der Wassergehalte

Wir sehen ab von den niedrigen H₂O + -Gehalten basaltischer Hornblenden und anderer brauner, wie dem Karinthin. Dann verzeichnen wir bei den grünen Hornblenden, die unseren systematisch näher stehen, beachtliche Wertschwankungen.

Sehr niedrig liegen die Werte, ausgedrückt durch das Formel-OH, in folgenden Vergleichsfällen: Gotthardit 1,0, Madriccio 1,1, Bresimo 1,32, Hochwart 1,43, Rabbi 1,695, Celedizzo 1,75. Über die Bedeutung dieses Umstandes haben sich die Autoren nicht geäußert, es sind verschiedene Ursachen möglich.

Bei einer Anzahl von vergleichbaren Hornblenden reicht das H₂O + gerade für (OH)₂.

Bei einer dritten Gruppe ist H₂O + bemerkenswert höher, als es für (OH)₂ benötigt wird. Man ersieht das schon aus seiner Höhe in der Analyse, wo man, wie bei uns, Werten von 2,93 und 3,57 Gew.-% begegnet. H. Heritsch fand in einer grünen Hornblende aus der Lieserschlucht (8) 3,44 Gew.-% und setzte sich mit dem Problem der Stellung dieser Wasser-Überschüsse im Hornblendechemismus mehrmals auseinander (9), (13), (14).

Um solches Überschußwasser des Hornblendechemismus sichtbar zu machen, haben wir es in Proportion mit der Formeleinheit an diese angehängt. Sicheres über seine Bedeutung ist nicht bekannt.

Für tätige Unterstützung bei unseren Arbeiten danken wir herzlich

Dem Forschungsinstitut des Vereins Deutscher Zementwerke in Düsseldorf für die Ermöglichung von Diffraktometeraufnahmen an unseren Granaten mit

Philips PW 1051, Cu K α_1 (Ni), 1750 V, 1/2°/min, 300 mm/h.

Herrn Prof. Dr. F. Trojer, jetzt Montanistische Hochschule Leoben und seiner vormaligen Mitarbeiterin Frau Dr. Schösser für RFA an unseren Hornblenden mit Philips PW 1540, Cr-Röhre 50 kV, 20 mA, 1/2°/min, Tn Cu, RF 64, PET-X und ADP-X.

Herrn Dr. Friedrich v. Kahler, ÖAMAG Radenthein, für RFA an Radenthein mit Philips Vac. App., Au-Röhre 40 kV, 20 mA, LiF-Kristall, 1/2°/min, Flowcounter, Untersetzungen nach Bedarf zwischen

1:128 und 1:2, oder auch Cr-Röhre, 30 kV, 20 mA, 1/4°/min, Szintillationszähler.

Herrn Dr. Weninger vom Institut Prof. Dr. O. Friedrich, Montanistische Hochschule Leoben, für Daten über mineralogischen Aufbau von Fraktionaten, die bei Bearbeitung eines Granat-Hornblende-Garbenschiefers anfielen.

Herrn Dr. Alker, Mineralog. Abteilung am Joanneum, Graz, für Ermittlung optischer Daten des Biotites der Radentheinite und an Hornblenden der bearbeiteten Granat-Hornblende-Garbenschiefer.

Zusammenfassung

1. Die Granaten

Aus folgenden Gesteinstypen der Magnesit-Lagerstätten-Umgebung haben wir die Granaten untersucht und über sie folgende Daten gewonnen:

- A) aus dem normalen Granatglimmerschiefer der Millstätter Alpe.
- B), C) und D) aus dem Radentheinit des Lucknergrabens, beim Unterfriessnig.
- E) aus einem Granat-Hornblende-Garbenschiefer Abraumetage 16 1/2 westlich über dem Zwischenlager.

Ihre Chemismen und sonstige Eigenschaften führt die anschließende Tabelle vor.

	A	B	C	D	E
Almandin	62,3	72,3	68,2	70,76	40,30
Spessartin	7,4	0,6	1,0	0,78	3,95
Pyrop	11,1	27,1	30,8	28,46	29,75
Grossular	0,0	0,0	0,0	0,0	24,05
Andradit	19,2	0,0	0,0	0,0	1,95
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
D experim.	4,15	4,07	4,00	nb	nb
D berechnet	4,166	4,089	4,085 ₂	—	3,855 ₄
a ₀ experim.	11,537 ₁	11,502 ₆₅	11,505 ₄	—	nb
a ₀ berechnet	11,624	11,506 ₀	11,508 ₄	—	11,598

Wir haben die Granaten in Komponenten Almandin bis Andradit angegeben, weil sich darin am übersichtlichsten die Unterschiede zeigen. Die Dichtebestimmungen geschahen mittels Pyknometer und mittels schwerer Flüssigkeiten + Pyknometer, alle bei 20° Raumtemperatur (Laskovic). Die Gitterkonstanten wurden für A, B und C aus Röntgendiffraktogrammen berechnet (Angel). Es sind daher keine Präzisionswerte, die gewonnen wurden, aber immerhin befriedigend orientierend. Bei D und E wurden keine Granat-RDA getätigt, hauptsächlich, weil in D zwei Granaten nebeneinander sind, und in E drei oder vier. Bis zu deren Einzelbearbeitung sind wir nicht vorgedrungen.

Die bearbeiteten Millstätter Granatglimmerschiefer und die Granat-Hornblende-Garbenschiefer gehören

in die gleiche Petrofazies; dennoch sieht man kräftige Unterschiede, die wir durch das verschiedene petrochemische Milieu verursacht sehen. Im Millstätter Glimmerschiefer fällt die Grossular-Komponente aus, an ihre Stelle tritt die Andradit-Komponente, Alm und Spess sind relativ hoch. Man kennt noch nicht viel von dieser Sorte aus Glimmerschiefern. Wir vergleichen:

Granatglimmerschiefer-Granaten in Formeleinheitsprozenten der Komponenten

Ort:	Alm	Spess	Pyp	Gross	Andr
Millstätter Alpe	62,4	7,3	11,1	—	19,2
Gaberl, Stubalpe (1)	67,0	nb	13,5	—	19,5
Tiefsattel, Gleinalm (1)	72,2	1,6	0,8	—	16,6
Terenbachalpe (39)	74,1	1,1	12,2	—	12,6
Brettstein (39)	80,5	1,0	8,5	—	9,4

Terenbachalpe: im Gleinalmzug-Westflügel. Brettstein: Niedere Tauern.

Alle diese verwandten Granaten sind vierkomponentig und ihre kräftigsten Komponenten sind Almandin und Andradit.

Ein unerwartetes Komponentengefüge wies der Hornblende-Garbenschiefergranat auf. Da ließ sich der Andradit von oben durch Grossular vertreten, Almandin fiel zurück, Pyrop stieg stark an. Spessartin und Andradit sind auch mit niedrigeren Werten vertreten als im Granatglimmerschiefer-Granat. Dieser analysierte Granat ist unter den konstatierten vier Abarten im selben Gestein der tiefstfärbige. Weil wir noch nicht erfahren konnten, wie die helleren Abarten zusammengesetzt sind, ziehen wir keine weiteren Schlüsse.

Einen ganz eigenartigen Typus aber stellen die Radentheinitgranaten dar. Sie sind dreikomponentig, stärkste Komponente ist Almandin, nächststärkste der Pyrop, der 1/3 bis gegen 1/2 der Almandinkomponente ausmacht, während Spessartin demgegenüber ganz unbedeutend wird. Es sind Pyropalmandine oder Pyraldite, bemerkenswerterweise wieder im gleichen Gestein zwei Abarten nebeneinander (Generationen), und bemerkenswerterweise zum selben Komponenten-

Typus gehörig. D läßt aus dem Gesteinschemismus einen Mischgranat herausrechnen, welcher nahezu genau in der Mitte zwischen B und C liegt. Von diesem wissen wir erst durch die Einzeluntersuchung (Laskovic), daß er nicht homogen ist, sondern durch zwei getrennte Granatgenerationen B und C im Verhältnis 1 : 1 vertreten ist. Das sind Feststellungen, die uns bisher aus der Literatur unbekannt sind; sie fordern, daß bei künftigen Granatuntersuchungen zuerst ermittelt wird, ob im betreffenden Schiefer ein homogener Granat herrscht, oder zwei oder noch mehr verwandte Abarten.

2. Die Hornblenden

Unsere Garbenschiefer-Hornblenden gehören optisch zu den „aktinolithischen“, haben aber innerhalb

dieser Gruppe mehrere minerochemische, charakteristische Besonderheiten, so vor allem den hohen Tonerdegehalt, Abwesenheit von F und Cl, K hält sich gegenüber Na in bescheidener Höhe, aber die Höhe der Alkalisumme in X ist beachtlich; unsere Hornblenden gehören jener dritten Gruppe an, welche weit mehr $H_2O +$ enthalten, als zur Deckung des Bedarfs für $(OH)_2$ nötig wäre. Der Mg-Einsatz in $(Mg Mn Fe^{2+} Fe^{3+})$ liegt bei rund 50 Atom-% bei quarz-feldspätigem Grundgewebe, und bei rund 46 Atom-% bei muskowitzreichem Grundgewebe, ist also milieuempfindlich. Beide untersuchten Hornblenden sind Mn-arm. In Konkurrenz mit Almandin übernimmt die Hornblende relativ mehr Mg aber weniger Mn als Granat. Die spezifische, systematische Stellung unserer Hornblenden gegenüber vergleichsinteressanten anderen wurde mittels einiger Vergleichstabellen sichtbar gemacht.

Summary

The wallrocks of the magnesite deposit „Millstätter Alpe“ near Radenthein, Carinthia, show interesting associations of garnets and hornblende in micaschists, radentheinites and hornblende-garbenschiefer. The garnets and the hornblende have specific crystallochemical qualities, see the two tables above of the german summary. Consider especially the

position of the garnets, isolated from the above-mentioned rocks, within a group of garnets, isolated from comparable crystalline schists of the Austrian Alps, and the position of the garbenschiefer-hornblende within the hornblende group, especially with the gotthardite, see p. 15.

Résumé

Des roches de parois du gisement de magnésite de „Millstätter Alpe“ près de Radenthein, en Carinthie, contiennent des micaschistes, de la radentheinite et de la hornblende-garbenschiefer ainsi que des associations intéressantes de divers grenats et de garbenschiefer-hornblende. On a étudié particulièrement la cristallogénèse de ces minéraux après les avoir isolés

des roches-mères et l'on indique leur position cristallogénétique par rapport à un groupe défini de grenats des schistes analogues provenant des Alpes autrichiennes. On indique également la position des garbenschiefer-hornblendes par rapport à d'autres espèces du groupe des hornblendes et en particulier de la gotthardite voir page 15.

Literaturverzeichnis

1. Angel, F., Gesteine der Steiermark. Natw. V. Steiermark 1924, 1-302.
1 a. Angel, F., Retrograde Metamorphose und Diaphthorese. N. Jb. Miner. Abh. 102/2, 1965, 123—176.
1 b. Angel, F., Petrographisch-petrochemische Berichte über einige Gesteinstypen der Umgebung von Graz. 1965.
2. Angel, F., Petrographisch-lagerstättenkundlicher Führer durch die Magnesitlagerstätte der Millstätter Alpe (Radenthein), Kärnten. Der Karinthin, Beiblatt zur Carinthia II, Folge 25, 1953, 312-333.
3. Angel, F., A. Awerzger, u. A. Kuschinski, Die Magnesitlagerstätte der Millstätter Alpe bei Radenthein. (Mit einem Beitrag über Mineralvorkommen um Radenthein, von H. Meixner.) Aus „Gesteine, Erz- und Mineralagerstätten Kärntens“, Carinthia II, 143, Klagenfurt 1953, 98—118.
4. Awerzger, A., u. F. Angel, Die Magnesitlagerstätte auf der Millstätter Alpe bei Radenthein (Kärnten). Radex-Rundschau, H. 5/6, 1948 (Radenthein).
5. Awerzger, A., Das Magnesitvorkommen auf der Millstätter Alpe. Werkzeitung der ÖAMAG, Radenthein, Jg. 1, 1947, No. 7, 49—56.
6. Awerzger, A., Der untertägige Abbau der großräumigen Magnesitlagerstätte der Millstätter Alpe. Radex-Rundschau 1953, H. 7/8, 354-362.
7. Brunnlechner A., Die Minerale des Herzogthums Kärnten. Klagenfurt 1884, 1—130. Spez. S. 3. 35, 48.
8. Heritsch, H., Mineralien aus der Lieserschlucht bei Spittal a. d. Drau. Ztschr. Krist (A), 86, 253—269, 1933.
9. Heritsch, H., Bemerkungen zur Schreibung der kristallogénischen Formel der Hornblende. Tscherm. Miner. Petr. Mitt. 3. Folge, 5/3, 1955, 242—245.
10. Heritsch, H., P. Paulitsch, u. E. M. Walitzi, Die Struktur von Karinthin und einer barroisitischen Hornblende. Tscherm. Miner. Petr. Mitt. 3. Folge, 6/3, 1957, 215—225.
11. Heritsch, H., G. Bertholdi, u. E. M. Walitzi, Strukturuntersuchung an einer basaltischen Hornblende vom Kuruzzenkogel südlich Fehring. Steiermark. Tscherm. Miner. Petr. Mitt. 3. Folge, 7/3, 1960, 210—217.
12. Heritsch, H., u. L. Riechert, Strukturuntersuchung an einer basaltischen Hornblende von Cernosin, CSR. Tscherm. Miner. Petr. Mitt. 3. Folge, 7/3, 1960, 235—245.
13. Heritsch, H., Der Natrium-Amphibol aus dem Glasbachgraben bei Schlaining, Burgenland. Tscherm. Miner. Petr. Mitt. 3. Folge, 10/1—4, 1965, 209—217.
14. Heritsch, H., Die chemische Zusammensetzung eines Pyroxens und eines Amphiboles aus einem eklogitischen Ge-

- stein von Gressenberg, südliche Koralpe, Steiermark. Anz. Math.-naturw. Kl., Österr. Akademie d. Wiss. Wien 1966, No. 6, 1—3.
15. Kern, F., Über ein Vorkommen des Disthens im Granatglimmerschiefer des Laufenberges bei Radenthein. CBl. Miner. etc. 1909/7, 215—222.
 20. Koritnig, S., Ein Beitrag zur Kenntnis über den Karinth. Zbl. Miner. etc. 1940, (A), No. 2, 31—36.
 21. Meixner, H., Die Minerale Kärntens. I. Teil. Klagenfurt 1957, natw. V. f. Kärnten, 1—147.
 22. Niggli, P., Lehrbuch d. Mineralogie, II, 2. Aufl. Bornträger 1926, 1—697, besonders 463, Analyse 16.
 23. Pirani, R., u. C. Andreatta, I minerali di gruppo dell'Ortler. I. Actinolite e biotite di Val Madriccio. Rend. Accad. Naz. Lincei (Cl. Sci. fis. mat. nat.) VIII, Vol. IX/6, 320—324.
 24. Pirani, R., I minerali dell'Ortler. II. Actinolite di Malga Mont in Val di Rabbi e di Celledizzo in Val di Peio. Rend. Accad. Naz. Lincei (Cl. Sci. fis. mat. nat.) VIII, Vol. X/4, 1951, 315—319.
 25. Pirani, R., I minerali del gruppo dell'Ortler. V. Antofillite di Alpe di Brez. Rend. Accad. Naz. Lincei (Cl. fis. mat. nat.) VIII, Vol. XIII/3—4, 1952, 170—172.
 26. Pirani, R., I minerali del gruppo dell'Ortler. IV. Antofillite e actinolite di Val Bresimo. Rend. Accad. Naz. Lincei (Cl. fis. mat. nat.) VIII, Vol. XIII/1—2, 1952.
 27. R., Pirani, I minerali del gruppo dell'Ortler. IX. Actinolite e antofillite die Vedetta Alta — Hochwart (Ultimo) e loro solubilita. Rend. Accad. Naz. Lincei (Cl. fis. mat. nat.) VIII, Vol. XV/6, 1953, 422—426.
 28. Schaidler, F., Die „petrochemischen Hornblendeformeln“ von Angel und ihre Anwendung bei ostalpinen Amphiboliten. Festschrift zum 70. Geburtstag von Prof. Dr. F. Angel. Natw. Vereine von Kärnten und von Steiermark. Klagenfurt und Graz, Sonderband 1956, 139—148.
 29. Schwinner, R., Der Bau des Gebirges östlich von der Lieser (Kärnten). Sitzber. Akad. Wiss. Wien, Math.-Natw. Kl., Abt. I, 136, 7—8, 1927, 333—381.
 30. Schwinner, R., Bericht 1938 über Untersuchungen betreffend Kärntnerische Magnesite. Vh. Zweigst. Wien, RSt. Bodenforschung, 1939, No. 1—3, 1—2.
 31. Vendl, A., u. T. Mandy, Über die blaue Farbe einiger Mineralien. Acta Mineralogica-petrographica XI der Acta Universitatis Szegediensis. Szeged, Hungaria, 1958, 61—67.
 32. Correns, C. W., Über die Geochemie des Fluors und Chlors. N. Jb.-Minerl., Abh. 91, 1957, 239—256.
 33. Green, J., Geochemical Table of the Elements for 1959. Geol. Soc. America, 70, 1959, 1127—1184, mit Tabelle des period. Systems.
 34. Koritnig, S., Ein Beitrag zur Geochemie des Fluors Geochim. Cosmochim. Acta 1, 1951, 89—116.
 35. Struntz, H., Mineralogische Tabellen, 3. Aufl. 1957, 4. Aufl. 1966. Akadem. Verlagsges. Geest & Portig K.-G., Leipzig. 1—448, bzw. 1—543.
 36. Tröger, W. E., Tabellen zur optischen Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Schweizerbart, Stuttgart, 1952, 1—147.
 37. Hoschek, G., Untersuchungen zum Stabilitätsbereich von Chloritoid und Staurolith. Contr. Mineral. Petrol. 14, 1967, 123—167.
 38. Hofer, F. X., Zwei steirische Granaten, Mitteilbl. Miner., Landesmuseum Joanneum, Graz 1964, H. 1, 15—16.