

MILAN ŽABKA\*

**DIE SEPARATION VON AMPHIBOLEN AUS AMPHIBOLITEN UND  
ANDEREN BASISCHEN GESTEINEN DER KLEINEN KARPATEN**

(Abb. 1-3)

**Kurzfassung:** Vorliegende Arbeit gibt die Methodik der Gewinnung einer monomineralen Fraktion von Amphibolen aus fein- bis mittelkörnigen Amphiboliten, Gabbroamphiboliten, Gabbros und Hornblenditen zum Zwecke der geochemischen Erforschung wider. Ein bedeutendes Augenmerk wurde der Art des Zerkleinerns des Gesteines, sowie der Feststellung der zur Separation geeignetsten Körnigkeit gewidmet. Angewendet wurde die elektromagnetische Separation mit nachfolgender Reinigung des Konzentrates mittels temperierter Schwerflüssigkeiten.

Vermittels Kombination verschiedener Arten der elektromagnetischen Separation ist es möglich auch aus schwer aufbereitharen Amphiboliten ein Konzentrat von Amphibolen von hoher Reinheit zu gewinnen.

Die Forschung der Bedingungen der Bildung von Gesteinen, zumal von metamorphisierten, ist durch die Kenntnis der Verteilung der Elemente (sowohl der Makro- als auch der Spurenelemente) in den einzelnen monomineralen Fraktionen bedingt. Eine unumgängliche Bedingung der Gewinnung monomineraler Fraktionen bildet die Anwendung der Aufbereitungsmethoden des Anreicherns. Die ungenügende Ausstattung der Laboratorien verhinderte früher oftmals die Gewinnung einer ausreichenden Menge von repräsentierenden Proben monomineraler Fraktionen der gewünschten Reinheit, was die Entwicklung der Forschung, zumal der chemischen und der geochemischen, nach dieser Richtung hin hemmte.

Die vorliegende Arbeit gibt die Methodik der Gewinnung einer monomineralen Fraktion feinkörniger Amphibole aus Amphiboliten, Gabbroamphiboliten, Hornblendengesteinen und Gabbros vermittels Mikro-anreicherungsverfahren wider.

In Mitarbeit mit Herrn Prof. B. C a m b e l wurde mir im Rahmen einer Auswertung der Amphibole der Westkarpaten die Aufgabe zuteil, eine Methodik zur Gewinnung sehr reiner Amphibole aus Amphiboliten und anderen amphibolischen Gesteinen zu entwickeln.

*Allgemeine Charakteristik der westkarpatischen Amphibolite*

Amphibolite sind metamorphierte basische Gesteine, welche bei uns in Kerngebirgen und in Gebieten metamorphierter Gesteine vorkommen. Die Genese der Amphibolite kann verschiedenartig sein. In den Westkarpaten kommen im wesentlichen keine durch Metamorphose sedimentären Gesteins entstandene Amphibolite vor, sondern diese sind das metamorphierte Produkt intrusiver oder effusiver Vulkanite, gegebenenfalls deren pyroklastischen Gesteins. An einigen Stellen des Gebietes der Migmatite und der Granitoide kommt es zur Metamorphose basischer Metamorphite und zu deren Granitisation.

Die Amphibolite der Westkarpaten werden durch folgende Bestandteile charakterisiert:

---

\* Dipl. Ing. M. Ž a b k a, Geologisches Institut der Slowakischen Akademie der Wissenschaften, Bratislava, Štefánikova 41.

**Grundsätzliche Bestandteile:** Amphibol, Plagioklas (vom Albit, Oligoklas bis zum basischen Labradorit).

**Nicht grundsätzliche Bestandteile:** Quarz, Biotit und äusserst selten Pyroxen.

**Akzessorische Bestandteile:** Magnetit, Titanomagnetit, Titanit, Leukoxen, Apatit, Pyrit, Pyrrhotin, Zirkon, Rutil, Orthoklas, Granat, Pyroxen.

**Sekundäre Bestandteile:** Chlorit, Muskowit, Albit, Quarz, Eisenoxide, Epidot, Zoisit, Serizit, Kalzit, Tonminerale, Prehnit, Aktinolith, Uralith usw.

**Bestandteile fremden Ursprungs:** Orthoklas, Biotit, Quarz.

Je nach Korngrösse können Amphibolite in fein-, mittel- und grobkörnige eingeteilt werden. Der Charakter der Körnigkeit hat grossen Einfluss auf die Methodik der Separation von Amphiboliten. Die Korngrösse lässt auch oftmals, zumal die nadelförmige Verwachsung des Aktinoliths oder Uraliths, auf die Genese des Amphibolites schliessen. Feinkörnigkeit kompliziert das Anreichern der Amphibolite aus Gesteinen.

### *Allgemeine physikalische Eigenschaften der angereicherten Minerale und deren Flotationsfähigkeiten*

Zum Zwecke der Feststellung der Separationsmöglichkeiten der einzelnen Bestandteile der zu erforschenden Gesteine, wurden deren physikalische und chemische Eigenschaften, von denen die Anreicherungsverfahren abhängig sind gesucht und tabellarisch zusammengestellt. Es wurden folgende Eigenschaften der Minerale gesucht und verfolgt:

1. Gestalt
2. Wichte
3. Farbe
4. Härte
5. Spezifische magnetische Suszeptibilität, (Massensuszeptibilität).
6. Wirkung des elektrostatischen Feldes auf verschiedene Minerale.
  - a) Umkehrbarkeit
  - b) Potentialdifferenz
7. Dielektrizitätskonstante
8. Flotierbarkeiten
  - a) Sammler
  - b) Schäumer
  - c) pH
  - d) Belebende und verstärkende Mittel
  - e) Drückende Mittel

Die Eigenschaften der Minerale unter 1—7 sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Eine Übersicht der Nutzung der Unterschiede der physikalisch-chemischen Eigenschaften der Minerale bei den einzelnen Anreicherungsverfahren ist in Tabelle 2 angeführt. Die Tabelle führt den Einfluss der Korngrösse nicht an, wodurch ihre Gültigkeit durch eine enge Vorklassierung des Materials bedingt ist.

**Flotierbarkeiten:**

**A m p h i b o l** — nicht ermittelt.

**F e l d s p a t** — als Sammler ist Ölsäure geeignet, wobei Pb-Salze verstärkend wirken. Bei Gegenwart von Glimmer flotiert dieser zuerst. Ein weiterer Sammler ist das Duodezilamin, wobei als drückendes Mittel Flusssäure verwendet wird. Natriumsilikat und

Tabelle 1. Die charakteristischen Eigenschaften einiger Minerale der Amphibole- und deren Einfluss auf die Separierbarkeit

Mineral	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Gestalt	Raumgewicht g/cm <sup>3</sup>	Farbe	Härte	Spezifische magn. Suszept.	Umkehrbar- keit und $\Delta$ der Potenziale	Dielektrizitätskonstante		
1. Amphibol	tafelförmig	3,1—3,3 2,85—3,60	grün-schwarz	5,5—6,0	$38 \cdot 10^{-6}$ $120 \cdot 10^{-6}$	— 7000	—		
2. Plagioklas	isometr.	2,61—2,76	milchig-weiss grauweiss	6,0—6,5	0,6—10 <sup>-6</sup>	— 6000	—		
3. Quarz	isometr.	2,65	weisslich graulich schwarzlich	7,0	—	— 8000 — 14.500	6,53		
4. Biotit	schuppenf.	2,88—3,18	braungrün braun grünbraun	2,5—3,0	23—80 · 10 <sup>-6</sup>	N 4.800	9,28		
5. Magnetit	isometr.	4,9—5,2	schwarz	5,5—6,0	25—50 · 10 <sup>3</sup> · 10 <sup>-6</sup>	N 7.800	33,7—81		
6. Titanmagn.- Titanit	isometr.	3,6—3,6		—	$3-8 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}$ $1-22 \cdot 10^{-6}$	—	5,63		
7. Orthoklas	isometr.	2,55—2,58	gelblich schwachrot	6,0—6,5	0,6 · 10 <sup>-6</sup>	— 6.260	6,20		
8. Pyroxen	tafelförmig	3,1—3,5	dunkelgrün	7,0	50—150 · 10 <sup>-6</sup>	— 6.084	—		
9. Pyrit	isometr.	5,1	gelbmetallig	5,5—6,0	65—60 · 10 <sup>-6</sup>	N 7.800	33,7—81		
10. Granat	isometr.	3,2—4,3	rot braun, gelb grün	6,5—7,5	13—67 · 10 <sup>-6</sup>	N 18.000	Grossular Labrador 6,98—7,64		
11. Zirkon	Säulchen Nadelchen	4,2—4,7	schwarz	7,5	0,73 · 10 <sup>-6</sup>	± 11.700	6,09		
12. Chlorit	schuppenf.	2,5—3,0	lichtgrün	—	51—93 · 10 <sup>-6</sup>	—	8,63		

Tabelle 2. Übersicht der Nützlichkeitsstufe einiger physikalischer Eigenschaften der Minerale bei verschiedenen Separationsmethoden

Sortierverfahren	physikalische und andere Eigenschaften der Minerale						
	Gestalt	Wichte	spezifische magnetische Suszeptibilität, Massensuszeptibilität	Umkehrbarkeit und $\Delta$ der Potentiale	Dielektrizitätskonstante	Flotiereigenschaften	
1. durch Massenkräfte:							
a) in Schwerflüssigkeiten		—					
b) auf Neigungsebene in dünner Wasserschicht (Schwemmung)	— — — —	—				· ·	
2. flotationsmässig:	· · ·	· · ·			· · ·	—	
3. elektromagnetisch:							
a) im isodynamischen Separator	· · ·	· · ·	—				
b) im Hochintensitäts-Feldkraft-Klassierer	· ·	— — —	—				
c) Nassklassieren	— — —	· · ·	—				
4. elektrostatisch:							
a) im elektrostatischen Scheider				—	— — — —		
b) im Korarscheider				—	— — — —		
c) im Dielektrizitätsscheider	— — —	— — —			—	— — —	
5. andere Verfahren:							
a) Vibrationsfläche	—	— — —					

1 — — — — —; 2 — — — — —; 3 · · ·; Legende: 1 — in grossem Ausmass; 2 — teilweise; 3 — unscheinbar.

Natriumkarbonat wirken analog. Feldspat floriert zumal in saurem Milieu (HIF), die grösste Selektivität liegt beim pH 2.1. Die Al- und Fe-Salze wirken drückend, kompensiert werden sie durch Flusssäure oder Wasserglas.

Quarz — ist schwer flotierbar. Als Sammler dienen Amine mit langer Kohlenwasserstoffkette (mindestens 16 bis 18 C), weiters Ammoniumverbindungen mit langen Radikalen. Geeignet ist das Tristearylammoniumbromid beim pH 7,5 bis 7,8 in Gegenwart von Bleiazetat auf  $\text{NH}_4\text{OH}$  (Taggart). Beim Trennen des Quarzes von Karbonaten und Oxiden sind Aminsammler in Gegenwart von Kohlenwasserstoffkolloiden (Tannin, Pektin, Alginsäure oder deren Salze) geeignet, gegebenenfalls sind nach Lentz geeignete Modifikationszugaben die Weinsäure oder die Zitronensäure. Zur Flotation von Quarz werden auch Seifen verwendet (Sammler, Schäumer), in Gegenwart von Hämatit verwendet man zu dessen Drückung Getreidestärke. Der pH-Wert wird mittels Kalkmilch geregelt (H.7).

Granat — geeigneter Sammler ist die Ölsäure bei einem pH-Wert von 6,5–7,5 (Vorschäumen bei niedrigeren pH-Werten). Zur Flotation von Andradit sind die Nonyl- und höhere Säuren geeignet. Das Milieu ist sauer bis neutral in Lösungen von  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Pb}^{++}$ ,  $\text{La}^{+++}$ ,  $\text{Al}^{+++}$  (Pseudodrucker) in Wasser welches mindestens 10 mg/l  $\text{Ca}^{++}$  und 20 mg/l  $\text{Mg}^{++}$  enthält.

Auf die angeführte Art können auch Andradit und Scheelit floriert werden wobei Andradit mittels  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{---}$ ,  $\text{CO}_3^{--}$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{SiO}_3^{--}$ ,  $\text{S}_4\text{O}_6^{--}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{--}$  und Phosphate gedrückt werden kann. Alkylsulfate und Sulfonate flotieren Andradit bloss nach dessen Verstärkung mittels Pb-Salzen.

Glimmer — Ölsäure floriert unverstärkten Glimmer nicht. In Gegenwart von  $\text{Pb}^{++}$ -Salzen und bei niedriger Konzentration von Ölsäure floriert Glimmer noch vor dem Feldspat. In der Praxis wird Glimmer durch Dodecylamin in saurem Milieu floriert. Hexadodecylsulfat wird in einer Menge von 86 mg/l beim pH 6,0 angewendet.

Zirkon — durch Seifen wird das vorläufige Konzentrat, das Zirkon, Rutil und Ilmenit enthält floriert. Sodann folgt die Bearbeitung durch Säuren. Als Sammler kann Natriumoleat (0,5 %ige Seifenlösung, welche 0,025 % NaOH enthält) bei einer Temperatur von 95 °C dienen. Nach gewissenhaftem (mindestens viermaligem) Vorwaschen mit Wasser, wird mit 0,2 %iger Schwefelsäure gewaschen, worauf die Flotation bei pH 1,9 folgt. Man erreicht eine hohe Metallhaltigkeit und ein hohes Ausbringen.

Wie aus der angeführten Übersicht der Flotierbarkeiten einiger Minerale, die in den untersuchten Proben vorkommen zu ersehen ist, kann die Flotation auch zum Anreichern von Amphibolen angewendet werden und dies zumal zur Beseitigung von Glimmer.

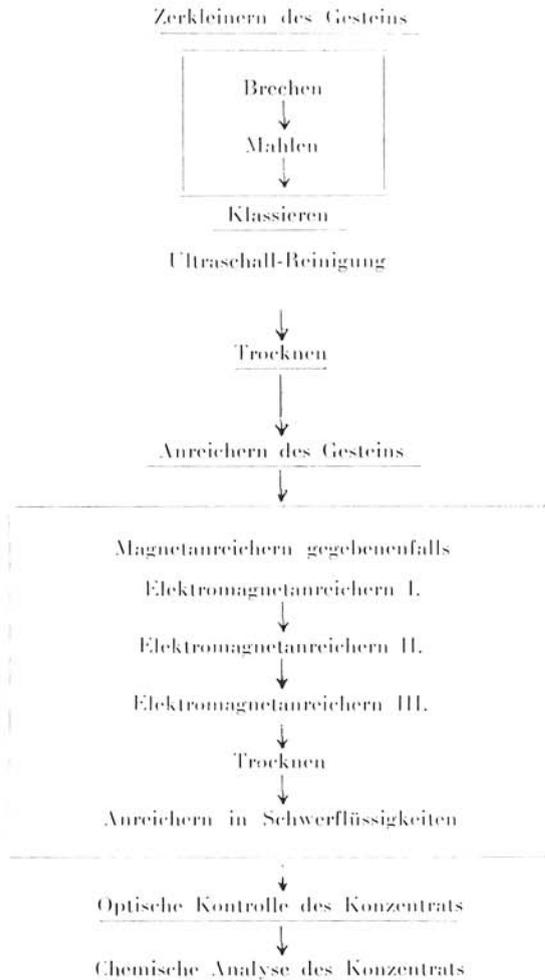
### Arbeitsmethodik

Nach einer Reihe von Versuchen mit Brechen, Mahlen, Klassieren, Anreichern durch Schlämmen, im Ellutriationsapparat, auf elektromagnetische Art, durch Elektroverfahren, durch Flotation und Separieren in Schwerflüssigkeiten, wurde ein Anreicherungsverfahren für Amphibole aus Amphiboliten, Gabbroamphiboliten, Gabbros und Hornblendengesteinen gewählt, wie es schematisch in Tab. 3 angeführt ist.

#### 1. Zerkleinern des Gesteins und Klassieren

Die Wahl der Zerkleinerungsstufe des Gesteins geschieht im Hinblick auf die völlige Lösung des zu separierenden Bestandteils. Dabei genügt es nicht, das Gestein auf eine

Tab e l l e 3. Schema der erwählten Separationsmethodik der Amphibole aus Amphiboliten und anderen basischen Gesteinen



Körnigkeit zu zerkleinern, die durch eine optisch im Durchschliff gemessene, minimale Korngrösse gegeben ist. In der Praxis ist es notwendig für jede verwandte Probengruppe aus dem zerkleinerten Material Siebanalysen durchzuführen und optisch die Loslösung des Kornes in den einzelnen Klassen festzustellen. Die Abweichung der Brechstufe ist gegenüber der erstgenannten Art beträchtlich, was durch die beschränkte Selektivität des Zerkleinerns bedingt ist. (Die Spaltung vollzieht sich nicht bloss entlang der Berührungsfläche des Minerals mit dessen Umgebung, sondern in willkürlichen Richtungen).

Die Selektivität des Zerkleinerns ist von den physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Komponenten des zerkleinerten Materials abhängig, wobei die Schichtigkeit und die Spaltbarkeit des Materials eine bedeutende Rolle spielen.

Die Berührungsgrenzen der Minerale weisen in der Praxis meist Schwachstellen auf

und dies umso mehr, je mehr sich die Festigkeitseigenschaften der verwachsenen Minerale voneinander unterscheiden. Davon hängt auch die Wahrscheinlichkeit einer Spaltung entlang der Verwachsungsgrenze ab.

Die Selektivität des Zerkleinerns kann in einem gewissen Ausmass auch durch die Wahl einer geeigneten Zerkleinerungsart beeinflusst werden.

Ein weiteres Kriterium für die Wahl des Zerkleinerns und der Zerkleinerungsstufe ist die Menge der Kornklasse unter 0,05 mm. Diese Klasse ist durch geläufige Verfahren sehr schwer verarbeitbar. Aus den Zeitmessungen, durchgeführt an unseren Laboreinrichtungen geht hervor, dass der Arbeitsaufwand der Separation und somit auch die zur Aufbereitung einer gewissen Menge Materials benötigte Zeit mit dem Absinken der Korngrösse gewöhnlich steigt und zwar im grossen mit der dritten Potenz.

Bei der Ermittlung der Zerkleinerungsstufe wird gleichzeitig festgestellt, welche Siebklasse zum Anreichern der gegebenen Komponente am günstigsten ist. Dabei zieht man die %-uelle Vertretung und die Loslösungsstufe der anzureichernden Komponente, die Art und den Arbeitsaufwand des Anreicherns in Erwägung. Grundsätzlich kann die höchste Klasse, in welcher sich schon eine genügende Menge der freien Körner des gesuchten Bestandteils befinden, gewählt werden.

Für das von uns erforschte Material zeigte sich die Zerkleinerungsstufe 90 % unter 0,25 mm und die Klassen 0,71—0,09; 0,09—0,10; 0,10—0,125 geeignet. Für den Fall, dass die Amphibolite durch Magnetit fein pigmentiert waren, beinhaltete auch die Körnigkeit 0,043—0,05 keine genügende Menge losgelösten Kornes an Amphibol, was sein Anreichern unmöglich machte.

Nach der Ermittlung der optimalen Klassengrösse wird das Zerkleinern so bewerkstelligt, dass der Ertrag der geeigneten Klassen ein höchstmöglicher ist. Dies wird durch eine geeignete Wahl von Brechern und Mühlen sowie das fortlaufende Abtrennen der entsprechenden Klasse und des Siebdurchgangsmaterials erreicht.

Zur Gewinnung einer monodispersen Klasse zeigten sich von unseren Brecher- bzw. Mahlvorrichtungen jene als die geeignetsten, deren Arbeitsprinzip auf gewöhnlichem Druck beruht (Pressen). Beim Mahlen wurden auf der Walzenmühle die besten Ergebnisse erzielt. Durch Kombination von Backenbrecher, Walzenmühle, Vibrationsbackenbrecher und Presse wurden im Durschnitt folgende Ergebnisse erzielt; nach jeder Operation ist die Klasse unter 0,25 mm abgeschieden.

—0,071	25,4 %
0,071—0,09	21,0 %
0,09—0,125	27,7 %
0,125—0,250	22,3 %
+ 0,25	3,6 %
Zusammen	100,0 %

Die optische Untersuchung wurde zum Zwecke der Ermittlung des Verhältnisses des freien Kornes zu den Verwachsungen sowie der Vertretung des freien Kornes an Amphibol, gegebenenfalls der hellen Bestandteile (Quarz und Feldspat), mittels Binokular bewerkstelligt. Zur Illustration werden die aus feinkörnigem Amphibolit ermittelten Werte angeführt (Probe Nr. 430).

	0,05—0,056	0,056—0,071	0,071—0,09	0,09—0,1	0,1—0,125	0,125—0,16	0,16—0,25	+0,25
F	40,6	31,8	37,9	36,3	27,5	23,2	13,6	5,7
A	52,0	65,8	63,9	34,2	42,3	12,0	10,9	0,6
V	1,4	2,4	18,2	29,5	30,2	64,8	75,5	93,7
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

A — freie Amphibole in %; F — andere freie Bestandteile in %; V — Verwachsungen in %.

Die Ergebnisse der optischen Untersuchungen sind in Form von Kennlinien in Abb. 1 widergegeben.

Aus den Kennlinien kann das zahlenmässige Verhältnis der Verwachsungen zu den freien Körnern in beliebiger Klasse unter 0,25, sowie die prozentuelle Vertretung der Anzahl der losgelösten Amphibolkörner zur gesamten Körneranzahl festgestellt werden.

Die Analyse zeigt, dass selbst in der Klasse 0,05—0,056 nicht alle Amphibolkörner losgelöst sind und gleichzeitig, dass sich genügend freie Amphibolkörner zum Anreichern in den Klassen unter 0,125 mm befinden.

Durch Verfolgung der Reinheit der erzielten Ergebnisse und der Verarbeitungsdauer wurde ermittelt, dass in diesem Falle die Verarbeitung der Klasse im Intervall zwischen 0,071 und 0,125 am günstigsten ist. Es zeigte sich, dass die Verarbeitung dieser Grössenklassen für den Grossteil der untersuchten Proben am geeignetsten ist. Einige schwer aufbereitbare feinkörnige Amphibolite der Kleinen Karpaten mussten in der niedrigsten Klasse verarbeitet werden.

Brechen, Mahlen und Klassieren wurden nach folgendem Schema durchgeführt (Tabelle 4):

#### 1a) Ultraschall-vorschäumen

Die entsprechende Kornklasse wird durch Ultraschall vorgeschäumt. Durch Einwirkung der Ultraschalls werden einesteiis die adhäsieren Staubpartikel von der Mineraloberfläche entfernt, andernteils werden die sekundär umgewandelten Minerale zerkleinert, was die Ergebnisse des nachfolgenden Anreicherns grundlegend verbessert. Desintegriert werden nicht nur Tonminerale die laut M. J. K a c eine kleinere Kavitationsfestigkeit als 1 haben sondern auch andere, sekundär umgewandelte Minerale. Frische gebirgsbildende Minerale, wie z. B. Quarz, Feldspat und Amphibol haben eine höhere Kavitationsfestigkeit (um 10) In den ersten Minuten des Einwirkens von Ultraschall geht der Grossteil der Minerale mit niedriger Kavitationsfestigkeit (Tonminerale, sekundär gewandelte Minerale) in Suspension über.

Angewandte Ultraschallvorrichtung: Ultraschall, Generator UG-250; Ultraschall-Reinigungswanne UČR103; Einwirkungsdauer des Ultraschalls: 2 Min.; Frequenz: 16—24 kHz; Materialmenge: bis zu 30 g; Verhältnis der festen zur flüssigen Phase  $F_e/F_l = 1/10$ .

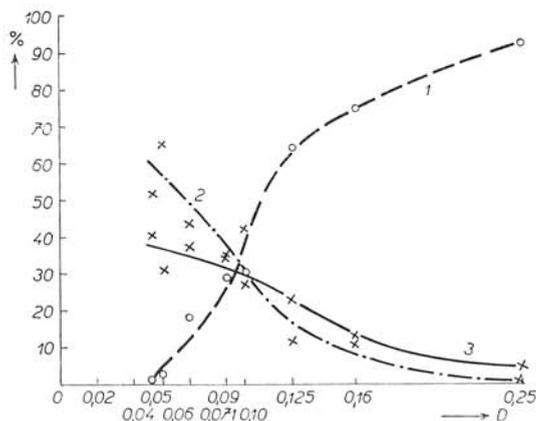
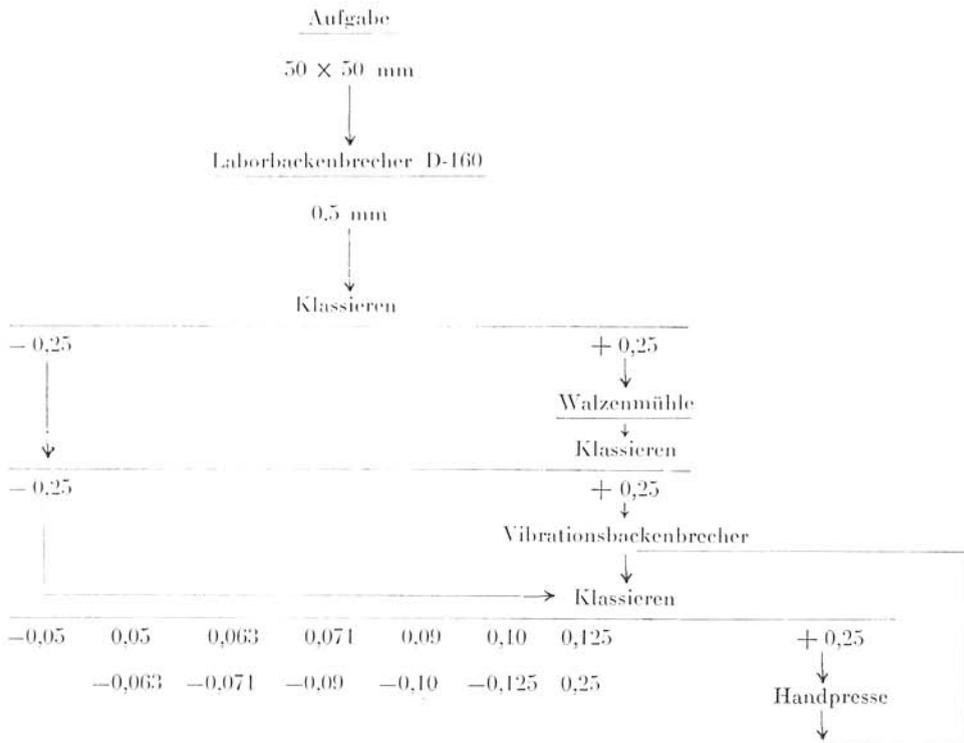


Abb. 1. Prozentueller Anteil der Körner des Amphibols, anderer freier Minerale und Präparate an den einzelnen Klassen. Legende: 1 — Kurve der Verwachsungen; 2 — Kurve der Amphibole; 3 — Kurve anderer Minerale.

Tabelle 4.



Nach dem Dekantieren wird der Rest des Wassers mit Alkohol oder Azeton beseitigt und das Material bei 50 °C getrocknet.

## 2. Anreichern

### a) Magnetscheidung - allgemein

Das Prinzip der Magnetscheidung macht sich die verschiedenartigen magnetischen Eigenschaften der einzelnen Minerale zunutze.

Auf die Mineralkörner wirken im Magnetfeld magnetische Kräfte  $F_{\text{mag.}}$  und mechanische Kräfte  $F_{\text{mech.}}$ , welche aus der Anziehungskraft, den Reibungskräften, den Adhäsionskräften, den Beharrungskräften, gegebenenfalls der Fliehkraft oder dem Widerstand des Flüssigkeitsmilieus bestehen. Ein für die Magnetscheidung ist entscheidend, welche von den in der Gegenrichtung wirkenden resultierenden Kräften vorherrschen.

Bedingung der Bewegung eines Kornes in Richtung der magnetischen Kraft ist, dass  $F_{\text{mag.}} > F_{\text{mech.}}$  ist, wobei  $F_{\text{mag.}} = \chi \cdot H$  Grad H wobei  $\chi$  = die spezifische magnet. Suszeptibilität. (Massensuszeptib.); H – die Intensität des Magnetfeldes ist.

Bedingung der Abscheidung der Körner im Magnetfeld ist die genaue Regulierung der Verteilungsempfindlichkeit während des Separationsvorganges, welche durch den Ausdruck

$$\frac{\chi^2}{\chi^1} < \frac{F_2 \text{ mech.}^4}{F_1 \text{ mech.}^4} \text{ gegeben ist, wobei}$$

$\chi^1, \chi^2$  — die spezifische magnetische Suszeptibilität, (Massensuszeptibilität), der abgetrennten Minerale;  $F_1 \text{ mech.}^4, F_2 \text{ mech.}^4$  — die Resultierende der entgegen  $F_{\text{magn}}$  wirkenden Kräfte der abgetrennten Minerale ist.

Die spezifische magnetische Suszeptibilität ist die für das jeweilige Mineral charakteristische Eigenschaft, die bei geläufiger Separation, bei Paramagnetiken nicht beeinflusst werden kann. Durch Anwendung verschiedener magnetischer Separatoren-Typen, kann jedoch die Resultierende der auf das Mineralkorn einwirkenden Kräfte, beeinflusst werden.

In vorliegender Methodik wird die Kombination dreier Typen Magnetscheider angewandt:

1. Hochintensitäts-Fliehkraft-Elektromagnetscheider
2. Isodynamischere Elektro-Magnetscheider
3. Nass-Elektro-Magnetscheider

Der erste Typ von Abscheidern dient der Entfernung von Ferromagnetiken und dem Konzentrieren von Paramagnetiken. Im Labormassstab arbeitet er zeitlich ökonomisch und ist zum Voranreichern jedweder Paramagnetiken geeignet.

Den zweiten Typ stellt der allgemein, zumal in geologischen Laboratorien bekannte isodynamische Abscheider Cook dar. Die Abscheidung vollzieht sich im isodynamischen Feld, welches durch das konstante Produkt  $H, \text{ Grad } H$  charakterisiert ist. Im Falle der Arbeit im Vakuum ist die auf die Einheit der Masse wirkende magnetische Kraft unabhängig von der Körnigkeit und richtet sich ausschliesslich nach der magnetischen Suszeptibilität der abgetrennten Minerale.

Mit dem genannten Abscheider ist es sehr gut möglich, Mineralkörner, die sich in ihrer magnetischen Suszeptibilität unterscheiden, von einander zu trennen.

Der dritte Typ von Abscheidern arbeitet in nassem Milieu. Die einzelnen Körner bewegen sich im Magnetfeld in einer geneigten Ebene der Länge  $L$  vom gleichen Wert  $H, \text{ Grad } H$  in flüssigem Milieu. Das Prinzip des Abscheidens besteht im Abschwenken der magnetischen Körner von der ursprünglichen Richtung, in Richtung zu den Polaufsätzen. Die Flüssigkeit leistet der Bewegung der Körner Widerstand, welcher teils von der Art der Flüssigkeit ( $\mu, \eta, \delta$ ), teils von der Art des Kornes (Grösse, Wichte,

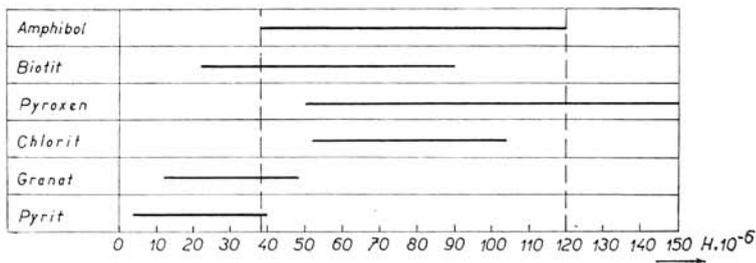
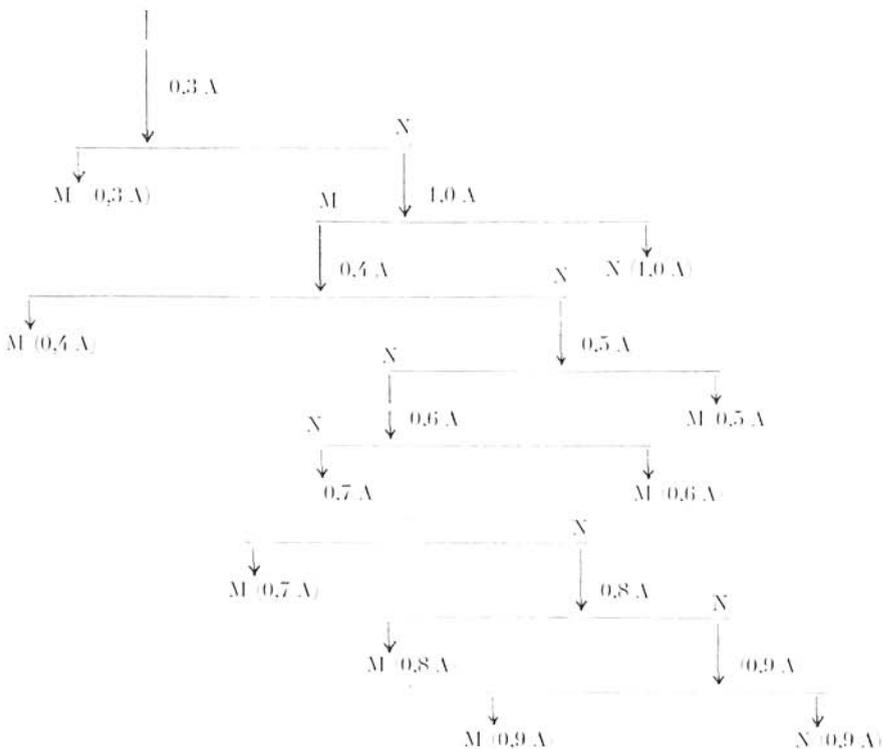


Abb. 2. Streuung der magnetischen Suszeptibilität einiger Minerale in den Amphiboliten.

Gestalt) abhängig ist. In den Grössenklassen 0,043—0,125 tritt der Einfluss der Gestalt sehr in Erscheinung.

Aus der graphischen Beilage in Abb. 2 geht hervor, dass sich im Ausmass der Streuung der spezifischen magnetischen Suszeptibilitäten der verschiedenen Amphibolarten auch die Streuungen der spezifischen magnetischen Suszeptibilitäten von Begleitmineralen wie Biotit, Pyroxen, Chlorit, Granat und teilweise auch Pyrit befinden. Das bedeutet somit, dass die Schwierigkeit des Anreicherns dieser Minerale auf magnetischem Wege durch die Vertretung der verschiedenen Mineralarten mit gleicher spezifischer magnetischer Suszeptibilität gegeben ist. Falls sich diese Minerale im Charakter der Form genügend voneinander unterscheiden, kann zum Anreichern auch von schwer aufbereitbaren Proben mit Erfolg eine Kombination des isodynamischen Magnetscheiders Cook und des Nass-Magnetscheiders angewendet werden.

Table 5. Stammbaum der elektromagnetischen Separation von Amphibolen mit dem isodynamischen Elektromagnetscheider Cook vordere Neigung 25°, Seitenneigung 20°



M — magnetisch; N — nichtmagnetisch

## Arbeitsverfahren der Magnetscheidung:

## I. Magnet- bzw. erste Elektromagnetscheidung

Im Falle einer kleinen Probenmenge, werden die entsprechenden Klassen einer manuellen Separation, am günstigsten mit dem Magnet nach S o ò n e v. unterzogen. Bei einer grösseren Probenmenge wird zur Beseitigung von Ferromagnetiken (Magnetit, Pyrrhotin, Titanomagnetit, Eisenabrieb), günstiger der Hochintensitäts-Fliehkraft-Magnetscheider bei 1.0 A angewendet. In diesem Falle ist es ratsam ein Vorabscheiden der Paramagnetiken bei 10.0 A durchzuführen (dabei wird der Grossteil an Quarz und Feldspat beseitigt).

## II. Zweite Elektromagnetscheidung

Das dermassen gewonnene Konzentrat an Paramagnetiken wird einer weiterer Separation mit dem isodynamischen Elektromagnetscheider C o o k unterworfen. Dabei beträgt die vordere Neigung  $25^\circ$  und die seitliche Neigung  $20^\circ$  bei allen Operationen. Das Separationssystem wird nach dem Stammbaum auf Tab. 5 durchgeführt.

Bei einem solcherart durchgeführtem Abscheiden werden gewöhnlich in gewissen Fraktion fast reine Amphibole gewonnen. In den von uns ermittelten Proben kamen die Amphibolfractionen am häufigsten in den magnetischen Fraktionen im Intervall zwischen 0.5—0.8 A vor (die magnetische Suszeptibilität ist vom Gehalt an  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  und  $Mn^{2+}$  in den Amphibolen abhängig).

## III. Dritte, Nass-Elektromagnetscheidung

Falls die Proben schwer aufbereitbar sind (Begleitminerale mit gleicher magnetischer

Tabelle 6. Die Änderung der Wichte einiger Schwerflüssigkeiten im Verhältnis zur Änderung ihrer Temperatur

	T °C	h g/cm <sup>3</sup>	Dimethylformamid	
			mit 2 Gew.-% <sub>0</sub>	mit 4,9 Gew.-% <sub>0</sub>
Bromoform	15	2,900		
	20	2,887		
	25	2,873		
	30	2,860		
	40	2,834		
	50	2,807		
	60	2,781		
Methylenjodid	20	3,3258	3,1452	2,9673
	25	3,3135	3,1331	2,9553
	30	3,3011	3,1210	2,9434
	35	3,2888	3,1089	2,9314
	50	3,2478	3,0715	2,8938
	65	3,2074	3,0333	2,8570

Suszeptibilität wie die des Amphibols oder sehr feine Verwachsungen — Klasse 0,043—0,05; 0,05—0,064; 0,063—0,071), wird nachfolgend der Nass-Hochintensitäts — Magnetscheider, bei welchem sich neue, mechanische, zumal von der Kornform abhängige Kräfte geltend machen, angewendet. Durch seine Anwendung ist es möglich auch Minerale mit gleicher magnetischer Suszeptibilität, die sich im Charakter der Form unterscheiden und das auch in den niedrigsten Klassen, voneinander zu trennen.

Eine detaillierte Beschreibung des Gerätes und sein Arbeitsregime soll, da das Gerät sich noch im Entwicklungsstadium befindet, separat veröffentlicht werden.

Solcherart ist es auf elektromagnetischem Wege möglich, monominerale Fraktionen von Amphibolen einer Reinheit von 95—99 %, und das auch aus schwer aufzubereitbaren Amphiboliten zu gewinnen.

#### b) Anreichern in Schwerflüssigkeiten

Die Wichte der verschiedenen Amphibolarten kann nach den Angaben von W. A. Deer, R. A. Howie, I. Zussmann (1963) aus Rock-Forming minerals zwischen 2,85 und 3,60 g/cm variieren. In den von uns ermittelten Proben bewegte sich die Wichte am häufigsten zwischen den Werten 3,10 und 3,25.

Geeignete Schwerflüssigkeiten sind die Clerici-Lösung — die wässrige Lösung von Thalliummalonat  $\text{CH}_2(\text{COOTl})_2$  und des Thalliumformiats  $\text{HCOOTl}$ , gegebenenfalls das billigere Methyljodid  $\text{CH}_2\text{J}_2$ . Die Wichte der Clerici-Lösung wird mittels Wasser, die des Methyljodid mittels Dimethylformamid geregelt.

#### Arbeitsverlauf:

Das Raumgewicht der Schwerflüssigkeit wird mit dem entsprechenden Verdünnungsmittel derart geregelt, dass ihr Raumgewicht etwas höher ist als das, der zu separierenden Amphibole. Sodann wird das Raumgewicht der Schwerflüssigkeit verringert und die gesunkenen Körner mit Unterbrechungen beseitigt. Am günstigsten ist die Anwendung einer temperierten Schwerflüssigkeit.

Aus der beiliegenden Tabelle 6 und der Abb. 3 ist die Abhängigkeit des Raumgewichtes der verwendeten Schwerflüssigkeiten von der Temperatur ersichtlich. Eine Änderung der Temperatur der Schwerflüssigkeit um 10 °C, hat eine Änderung des Raumgewichtes, die sich stellenmässig um tausendstel bis hunderstel g/cm bewegen.

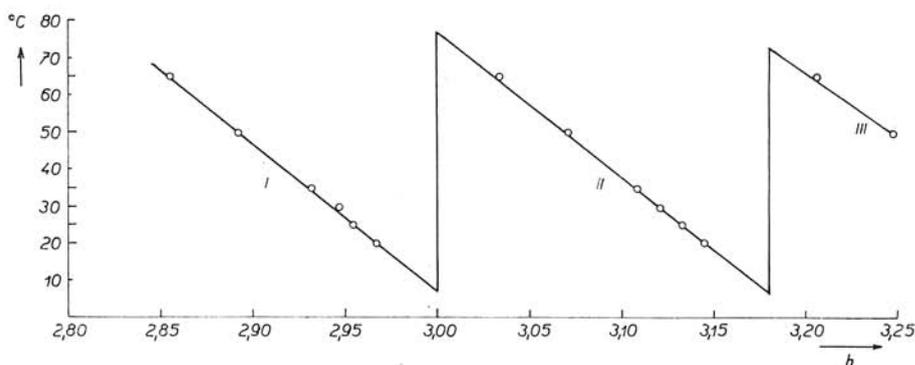


Abb. 3. Verhältnis des Raumgewichtes des Methyljodids und dessen Lösungen mit Dimethylformamid zur Temperatur. Legende: 1 — Methyljodid + 4,9 Gew.-% Dimethylformamid; 2 — Methyljodid + 2,0 Gew.-% Dimethylformamid; 3 — Methyljodid ohne Verdünnungsmittel.

zur Folge. Eine Änderung der Flüssigkeitstemperatur in kleinen Intervallen kann mit Hilfe eines Ultrathermostates bewirkt werden.

Dermaßen kann eine sehr genaue Trennung der Mineralkörner nach deren Raumgewicht erreicht werden. Diese Teilung ermöglicht nicht nur eine perfekte Separation von Amphibolen aus Amphiboliten, sondern auch die Feststellung der quantitativen Vertretung bestimmter Amphibolkörner in den einzelnen Raumgewichtsintervallen.

Die gewonnenen Konzentrate der Amphibole wurden mit dem Binokular optisch kontrolliert. In diesen vermittels Binokular beobachteten Konzentraten, befindet sich eine gänzlich reine Fraktion von Amphibolen, ohne jede weitere mineralogische Komponente.

Im Hinblick auf die Möglichkeit des Vorkommens unscheinbarer Mengen von Verwachsungen des Amphibols mit anderen Mineralen, oder von Einschlüssen, kann eine gewisse, unscheinbare, stellenmässig in zehntel Prozent ausdrückbare Verunreinigung zugelassen werden.

Im Verlaufe der weiteren Verarbeitung (Analyse) kann diese, mit den bisherigen Methoden unvermeidbare Verunreinigungsstufe durch einen Korrektionsfaktor ausgedrückt werden.

Die Ergebnisse der chemischen Analysen der einzelnen Proben sollen Gegenstand weiterer Studien im Rahmen der geochemischen Erforschung der Amphibolite sein.

Übersetzt von E. Walzel.

#### SCHRIFTTUM

Deer W. A., Howie R. A., Zussmann I., 1963: Rock-Forming minerals II. London. — Goslar-Karmazin V. I., 1962: Sovremennye metody magnitnogo obogaščenia rud černych metallov, Gosudarstvennoe naučno-techničeskoe izdatel'stvo literatury po gornomu delu, Moskva. — Gründer W., 1957: Aufbereitungskunde II. Arbeitsmethoden im Aufbereitungslaboratorium, Hermann Hübenner Verlag, Abt. Technischer Verlag Wilhelmshaven. — Judenič G. I., 1955: Obogaščenie železnych i margancevych rud, Gosudarstvennoe naučno-techničeskoe izdatel'stvo literatury po černoj i černej metallurgii, Moskva. — Kac M. Ja., 1966: Nove metody issledovanija mineralov v gravitacionnom pole, Izdatel'stvo Nauka, Moskva. — Lange Horst Von, Wiedemann F., 1962: Zur Gewinnung reiner Mineralfraktionen aus Gesteinen und den dabei möglichen Aussagen über die quantitative Zusammensetzung einzelner Gesteinstypen, Bergakademie, 14, 6, Freiberg. — Pryor E. J., 1965: Mineral processing, Elsevier publishing CO LTD, Amsterdam—London—New York. — Zabka M., 1956: Uprava flotačnych haldových odpadov zo Slovnick S. Ž. B., Diplomarbeit, Košice.

Zur Veröffentlichung empfohlen von B. Cambel.