

# Zur Analyse von Cordierit

Autor(en): **Schwander, H. / Stern, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen  
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **49 (1969)**

Heft 3

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-38610>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Zur Analyse von Cordierit

Von *H. Schwander* und *W. Stern* (Basel)\*)

Mit 4 Figuren und 6 Tabellen im Text

*Zusammenfassung.* In einem ersten Teil werden einige analytische Probleme, welche die Röntgen-Mikrosonden- und Röntgenfluoreszenzuntersuchungen betreffen, kurz diskutiert: Anregungsbedingungen, Absolutfehler, Präparationstechniken. In einem zweiten Teil folgen die chemischen Daten einiger gesteinsbildender Cordierite (eigene RMS- und RFA-Werte, sowie Literaturdaten). Die Auswertung beschränkt sich auf die Rolle der  $\text{Fe}^{+2}/\text{Mg}$  Substitution und den Vergleich zwischen Cordierit- und Muttergesteinschemismus.

*Summary.* In a first section, some analytical problems of microprobe- and X-ray fluorescence techniques, are briefly discussed: influence of excitation conditions on accuracy, and certain methods of sample preparation. The second part brings microprobe analyses of 11 cordierites, X-ray fluorescence data of 3 cordierites and 2 corresponding mother-rocks. The evaluation of data deals mainly with the rôle of  $\text{Fe}^{+2}/\text{Mg}$  substitution in natural cordierites of different origin, and the relationship between the  $\text{FeO}_{\text{total}}/\text{Fe}_{\text{total}} + \text{MgO}$  ratio in cordierite and corresponding mother-rock.

## Einleitung

Vor drei Jahren fand WENK (1968) erstmals im Lepontin gesteinsbildenden Cordierit, und zwar in der Valle Verzasca, W Lovald/V. Redorta. Der Cordierit ist hier Hauptgemengteil in einem Disthen-Glimmerschieferkörper. Wie WENK bereits hervorhob, kann Cordierit im Dünnschliff leicht mit Plagioklas verwechselt und übersehen werden, da sich die beiden Mineralien hinsichtlich ihrer Lichtbrechung kaum voneinander unterscheiden.

War das Auftreten von Cordierit im Lepontin an sich schon bedeutsam, so ist die Kenntnis seiner mineralchemischen Eigenart von besonderem Interesse. Wir unternahmen es zunächst, den Cordierit der Valle Verzasca in einem etwas weiter gespannten Rahmen zu untersuchen.

Aus der Strukturformel des Cordierits ist ersichtlich, dass die chemische Variabilität in erster Linie auf der Substitution von Mg und  $\text{Fe}^{+2}$  beruht. Uns

---

\*) Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität, Bernoullianum, 4000 Basel.

interessierte erstens, innerhalb welcher Grenzen diese Substitution am vorliegenden – allerdings beschränkten – Probenmaterial zu beobachten ist, und zweitens, ob die Zusammensetzung des Cordierits in irgendeinem Zusammenhang steht mit dem Gesteinschemismus, oder allenfalls mit den Bildungsbedingungen des Gesteins (vgl. SCHREYER, 1965).

Als Hilfsmittel zur chemischen Diagnose setzten wir zunächst die Röntgen-Mikrosonde (RMS) ein, da hier direkt Einzelkristalle und zwar im Gesteinsdünnschliff, untersucht werden können. Wo das Gesteinsmaterial dies zuließ, wurde der Cordierit separiert und mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bestimmt.

### Untersuchungen mit der Röntgen-Mikrosonde (RMS)

#### *Die Identifizierung der Einschlüsse im Cordierit*

Wie früher schon gezeigt (vgl. SCHWANDER, 1965), tritt Monazit in der penninischen Region vor allem als Einschluss in Biotit auf und ist dort auch an seinem dunklen pleochroitischen Halo zu erkennen. Interessant ist nun, dass Monazit auch als Einschluss in Cordierit vorkommt und gelbe, pleochroitische Höfe erzeugt. Offen bleibt die Frage, ob Monazit z. B. in den Tessiner Gneissen nicht eine viel weitere Verbreitung besitzt und in den nicht-pleochroitischen Wirtkristallen nur deshalb nicht mikroskopisch festgestellt wird, weil Strahlungseinwirkungen im Dünnschliff nicht sichtbar sind.

Drei der untersuchten Cordierite weisen radioaktive Einschlüsse mit Halos auf (Vz 691, PM 471, AS 111955); die Untersuchung mit der RMS ergab, dass es sich ausnahmslos um Monazit handelt, obwohl die resp. Muttergesteine verschiedener Herkunft und Genese sind. Analog zu den früheren Befunden konnte auch im Falle der Cordierite als Einschlusssträger festgestellt werden, dass die Halos auf keine stofflichen Veränderungen hinweisen, sondern auf

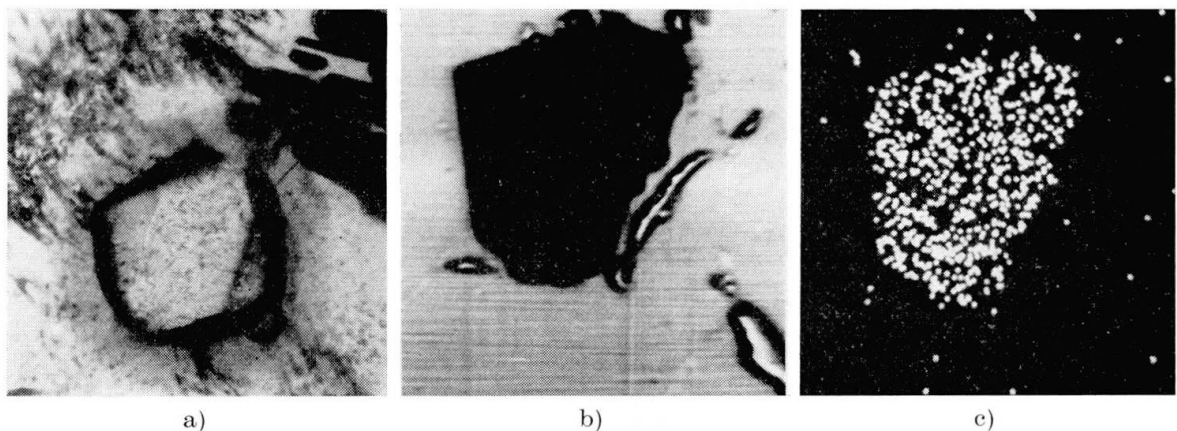


Fig. 1, AS 111955, Monaziteinschluss in Cordierit, Vergr. ca. 150 $\times$ . a) Mikrophoto, b) absorbed electron image, c) X-ray image (Verteilung der Elemente Ce bzw. P).

Strahlungseinwirkung der radioaktiven Einschlüsse zurückzuführen sind. Die drei Figuren 1 a, b und c zeigen diesen Sachverhalt im Bilde. Der Unterschied zwischen der Mikrophoto einerseits und dem Röntgen-, bzw. Elektronenbild andererseits beruht auf dem Umstand, dass bei der Mikrophotographie im Durchlicht die gesamte Schlifffdicke erfasst wird, während es sich bei den anderen um Abbildungen der Probenoberfläche handelt.

### *Zur quantitativen Analyse des Cordierits*

Wie wir schon früher (vgl. SCHWANDER, H. u. E. WENK, 1967) berichtet haben, arbeiten wir im Falle der quantitativen RMS-Analyse grundsätzlich leitprobegebunden. Für die hier publizierten Cordierite standen uns aber zunächst keine Cordierite bekannter chemischer Zusammensetzung als Standards zur Verfügung. Deshalb sahen wir uns gezwungen, andere Mineralien zum Vergleich heranzuziehen: Plagioklase der oben zitierten Arbeit zur Bestimmung von Si und Al, Hornblendestands für Mg und Fe; die chemischen Nebenkomponten bestimmten wir lediglich qualitativ, Mn in einem einzigen Fall mit Granat als Standard.

Bei den früher benutzten Anregungsbedingungen von 25 kV Anregungsspannung, 45 mA Strahlstrom und 0,1  $\mu$ A Probenstrom ergab sich trotz guter

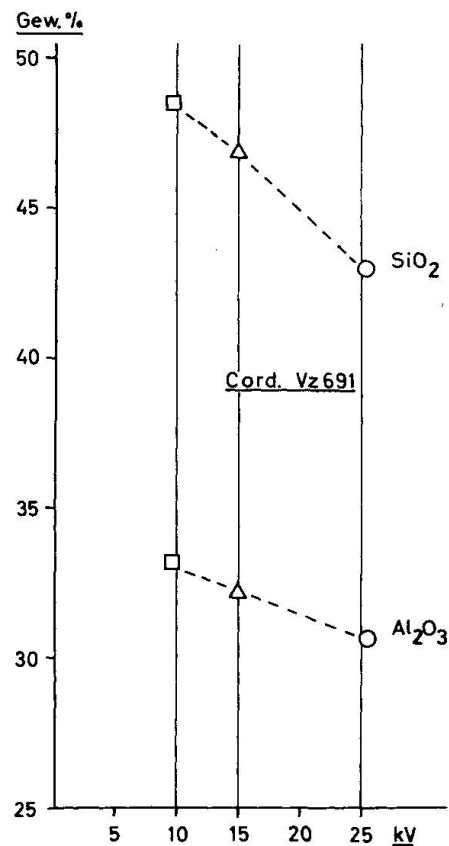


Fig. 2. Einfluss der Beschleunigungsspannung auf die Analysengenauigkeit (Cordieritprobe Vz 691, Standardproben Plagioklase).

Reproduzierbarkeit und damit homogener Probe ein beträchtlicher Absolutfehler. Aus Fig. 2 geht hervor, dass im Falle eines Vergleichs von Cordierit mit Plagioklasen als Standards der Absolutfehler vor allem eine Funktion der Beschleunigungsspannung ist. Hieraus folgt erstens, dass der Betrag des Absolutfehlers nicht von vornherein feststeht, und dass zweitens dieser Betrag mit mindestens einer Standardprobe gleicher Mineralklasse festgestellt werden muss. Aus diesem Grund wurden die separierbaren Cordierite unserer kleinen Analysenserie auch mit der RF-Methode untersucht. Inwiefern der Abnahmewinkel des Gerätes hier eine Rolle spielt, wird gegenwärtig an anderer Stelle abgeklärt; Resultate hierüber liegen noch nicht vor. Grundsätzlich ist natürlich auch für die anderen chemischen Hauptkomponenten der Absolutfehler von der Anregungsspannung abhängig, freilich erfahrungsgemäss in geringerem Umfange.

Der beobachtete Absolutfehler dürfte sowohl auf Absorptionserscheinungen, als auch auf Interelementeffekte zurückzuführen sein. Leider entfällt die Kontrolle dieses Fehlers mittels der Analysensumme bei der RMS-Analyse, da weder die Valenzstufe gewisser Elemente (v. a. des Eisens), noch der Wassergehalt erfasst werden kann. Um zu entscheiden, welche Anregungsspannung einen minimalen Absolutfehler liefert, wurden die Ergebnisse der RF-Analyse herangezogen.

Tabelle I. *Verwendete Anregungsbedingungen*

Element	Beschl.- spanng. kV	Strahl- strom $\mu$ A	Proben- strom $\mu$ A	Strahl- durchm. $\mu$	Anal.- krist.	Anal.- linie $K_{\alpha} 2 \theta$	Mess- zeit sec
Si	10	23	0,1	ca. 1	Mica	41,50°	60
Al	10	23	0,1	ca. 1	KAP	36,24°	60
Fe	15	28	0,1	ca. 1	Quarz	33,36°	60
Mg	15	28	0,1	ca. 1	KAP	43,30°	60
Mn	15	28	0,1	ca. 1	Quarz	36,36°	60
Ca	15	28	0,1	ca. 1	Quarz	60,14°	60
Na	15	28	0,1	ca. 1	KAP	53,08°	60

Bedampfung: Kohlenstoff, ca. 200 Å dick. Instrument: Jeol JXA-3A.  
Standards: Plagioklase (Si, Al), Hornblenden (Fe, Mg).

### Röntgenfluoreszenzanalytische Untersuchungen (RFA)

Die schon früher (SCHWANDER, zuletzt 1968) formulierten Bedingungen für quantitative Silikatanalyse mittels lichtoptischer Emissionsspektrographie und -metrie gelten weitgehend auch für die quantitative Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), nämlich:

1. Normierte Präparationstechnik.
2. Leitprobengebundene, enge externe Standardisierung.

Die analytischen Probleme der RF- sind jenen der oben diskutierten RMS-Technik analog, hingegen eröffnen sich durch die Verwendung von homogenen, aus dem Gesteinsverband herausgelösten Mineralproben gewisse Möglichkeiten, um störende Struktur- und Interelementeffekte auszuschalten, die beide den gültigen Vergleich von Analysen- und mineralogisch eventuell verschiedener Standardprobe beeinträchtigen. Diese Auswegmöglichkeiten sind in erster Linie präparativer Art: Schmelzen der Probe zwecks Vernichtung der Kristallstruktur, Verdünnung der Probe zur Verringerung der Interelementanregung, Zugabe von schweren Elementoxiden, ebenfalls zur Unterdrückung der Sekundäranregung und zur Egalisierung der Absorption.

Der andere, scheinbar noch offene Ausweg, nämlich die rechnerische Korrektur der Absorptions- und Sekundärfluoreszenzeffekte entfällt bei den von uns bearbeiteten Vielstoffgemischen.

Die Grundzüge für die günstigsten Präparationstechniken finden sich in der Literatur, so v. a. bei CLAISSE (1956), ROSE et al. (1962) und WELDAY et al. (1964); sie richten sich nach der Art des Probenmaterials, nach dessen verfügbarer Menge, und nach den gestellten Analysenanforderungen. Kombinationen der verschiedenen Grundzüge sind praktisch fast so zahlreich, wie die auf diesem Gebiet tätigen Laboratorien. Auch diese kombinierten Techniken werden vielfach publiziert (DELALOY, 1969), und zwar mit gutem Grund, da die Auswertung der analytischen Daten die analytischen Fehler berücksichtigen muss, und diese hinwiederum von der verwendeten Präparationstechnik u. a. abhängen.

Die hier präsentierten RF-Analysen von Cordieriten beruhen auf einer Weiterentwicklung der von STERN früher (1969) beschriebenen Präparationstechnik. Da erfahrungsgemäss eine einzige Methode – beim gegenwärtigen Stand der apparativen Möglichkeiten jedenfalls – im Falle unserer silikatischen Vielkomponentensysteme nicht allen Anforderungen gerecht werden kann, gelangen folgende zwei Arten zur Ausführung:

1. Methode „II“; für quantitative Bestimmung von  $\text{Na}_2\text{O}$  und  $\text{MgO}$ , für allfällige Spurenbestimmungen. 800 mg Analysensubstanz werden in der Achatschale sorgfältig mit 200 mg Höchst-Wachs-C gemischt. Die von uns früher verwendeten Mischautomaten bedingen einen grösseren Aufwand, liefern aber keinen spürbar besseren Mischeffekt.
2. Methode „VII“; für quantitative Bestimmung der übrigen Hauptkomponenten. 110 mg Analysensubstanz werden zusammen mit 165 mg  $\text{La}_2\text{O}_3$  und 605 mg  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  in der Achatschale gemischt und in Graphittiegel im Muffelofen 17 Minuten bei  $1000^\circ\text{C}$  geglüht. Anschliessend wird die Schmelzperle zerkleinert, gesiebt, und 800 mg des Pulvers mit 200 mg Höchstwachs in der Achatschale gemischt.

Die fertige Analysenmischung wird hierauf in einem speziellen Pressgesenk (vgl. STERN, 1969) in Plexiglasringe gepresst. Gegenwärtig wird abgeklärt, ob nicht die apparative Seite so weit verbessert werden kann, dass  $\text{Na}_2\text{O}$  und  $\text{MgO}$  ( $K_\beta$ ) ebenfalls mit Methode „VII“ mit genügender Empfindlichkeit analysiert werden können, damit der Verbrauch an kostbarem Analysenmaterial bei der Bestimmung der Hauptkomponenten auf 110 mg beschränkt bleiben kann.

Tabelle 2. *Analysenbedingungen RFA*

Element	Si	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	Ti
Beschl. spannung, kV	40	40	30	30	40	30	40	30	35
Strom, mA	40	50	30	30	40	30	50	30	35
Röhre	Cr	Cr	Cr	Ag	Cr	Cr	Cr	Cr	Cr
Analysatorkristall	KAP	KAP	LiF	LiF	KAP	LiF	KAP	KAP	LiF
Analysenlinie, $K_\alpha$ $2\theta$	31,04	36,48	57,47	62,93	43,59	113,02	53,12	16,15	76,88
Kollimator, $\mu$	160	160	160	160	160	160	480	160	160
Diskriminator Abschwächg.	3	3	4	4	2	2	2	3	4
Lower Level	190	160	240	220	190	400	200	340	240
Fensterbreite	170	200	340	240	250	220	200	180	200
Durchflusszähler, Spanng., V	1660	1660	1660	1660	1660	1660	1660	1660	1660
Vakuum, torr	<0,2	<0,1	<0,2	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2
Raumtemperatur, °C	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Messzeit, 100 sec x	2	2	1	2	2	2	2	2	2
Präparationstechnik	VII	VII	VII	VII	II	VII	II	VII	VII

Apparatur: Philips Einkanalvakuumröntgenspektrometer. Standards: G-I, W-1, R-1, T-1, G-2, PCC-1, Ns 76, NS 77, Std-Bi, Std-Ho, Std-Gr.

### Die chemischen Daten und ihre Auswertung

Die Analysendaten der RMS-Untersuchung sind auf Tab. 3, jene der RF-Analyse auf Tab. 4 und die unten verwendeten Literaturdaten in Tab. 5 zusammengefasst.

Tabelle 3. *Cordieritanalysen RMS (Gew.-%)*

	Vz 691	Brg 50	Brg 50 bis	KAW 554 PM 471	Sci 400	Sci 400 A
$\text{SiO}_2$	48,3	49,3	49,2	48,8	48,6	47,2
$\text{Al}_2\text{O}_3$	33,0	33,2	33,5	33,0	33,2	32,8
$\text{FeO}_{\text{tot.}}$	3,7	1,8	1,8	3,4	7,8	6,0
$\text{MgO}$	10,7	13,2	13,2	11,2	9,2	10,3
	F 114	AS 111955	Du+Gü 14	Fe-Cord	Aeol 20	
$\text{SiO}_2$	48,0	47,4	46,6	45,7	48,5	
$\text{Al}_2\text{O}_3$	32,3	32,8	32,8	31,2	32,5	
$\text{FeO}_{\text{tot.}}$	6,6	7,6	8,6	18,6	11,0	
$\text{MgO}$	9,2	8,4	8,5	0,3	7,5	
$\text{MnO}$				1,4		

Tabelle 4. Cordierit- und Gesteinsanalysen RF (Gew.-%)

	Vz 691 b Cordierit	Vz 691 b Gestein	Brg 50 bis Gestein	KAW 554 Cordierit	Fe-Cord.
SiO <sub>2</sub>	47,4	60,5	59,2	49,4	45,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,0	19,3	20,4	32,9	32,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,2	1,0	0,7	0,3	0,8
FeO	3,4	3,7	1,7	3,0	16,6
MnO	0,2	0,1	0,0	0,0	1,1
MgO	9,8	7,0	11,4	11,7	0,8
CaO	0,1	0,6	0,4	0,3	0,2
Na <sub>2</sub> O	0,6	1,5	0,4	0,0	0,0
K <sub>2</sub> O	0,2	4,5	2,5	0,1	0,4
TiO <sub>2</sub>	0,0	2,2	0,9	0,0	0,0
H <sub>2</sub> O	2,4	2,0	2,6	1,6	3,5
	100,3	100,4	100,2	99,3	100,5
ppm					
Ba	24			< 100	70
Be	100			8	5
Pb	58			< 10	< 10
V	< 30			< 10	< 10
Cu	7			< 10	17
Y	19			15	< 10
Zr	140			80	60
Ni	< 10			20	< 10
Co	4			< 10	< 10
Sr	100			< 10	> 55
Cr	< 10			< 20	< 20

Die FeO- und Glühverlustbestimmungen, sowie die Spurenelementanalysen wurden von Frl. E. Ammann durchgeführt; die Cordieritseparationen und Dünnschliffherstellung für die RMS-Analyse besorgte Herr stud. geol. H. Hänni, und die Präparate für die RFA Herr stud. geol. M. Kristmann. Allen genannten Helfern sei auch an dieser Stelle gedankt.

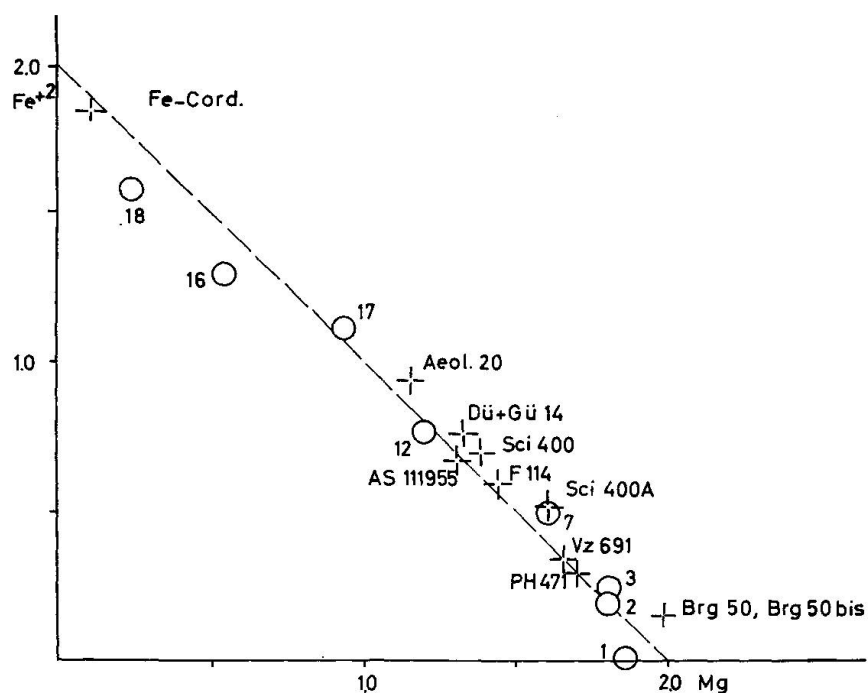


Fig. 3. Fe<sup>2+</sup>/Mg-Substitution, + RMS und RF Cordieritanalysen, ○ 1, 2, 3, 7, 12, 17, 16, 18 aus DEER, HOWIE and ZUSSMAN (1962) 1, S. 276-278.



Tabelle 5. *Literaturdaten*a) *Cordieritanalysen*

	Orijarvi / Finnland				Dolni B.	V. Codera
	1821	1822	1914	1968	1964	1964
SiO <sub>2</sub>	48,5	50,0	49,5	50,0	45,1	50,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,4	32,9	32,5	33,7	30,6	33,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n. b.	n. b.	0,3		0,9	0,9
FeO	5,7	5,0	6,5	3,6	17,9	2,6
MnO	0,7	0,0	0,1	0,0	0,9	0,1
MgO	11,3	10,5	9,6	12,1	1,7	11,7
CaO	n. b.	n. b.	0,0	n. b.	0,4	0,2
Na <sub>2</sub> O	n. b.	n. b.	n. b.	0,2	0,7	0,2
K <sub>2</sub> O	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	0,0	0,1
TiO <sub>2</sub>	n. b.	n. b.	0,0	0,0	0,0	0,0
H <sub>2</sub> O	1,7	1,8	1,1	n. b.	1,8	0,7
	99,3	100,2	99,6	99,6	100,0	100,4
	(1)	(1)	(2)	(3)	(1)	(4)

zitiert nach:

- (1) SCHREYER, W. (1965).  
 (2) ESKOLA, P. (1914): On the petrology of the Orijarvi region.  
 (3) GORBATSCHEV, R. (1968).  
 (4) BARKER, F. (1964).

b) *Cordieritgesteinsanalysen*

	Orijarvi m̄ 1914	Aeol 20 1910	Du + Gü 14 m̄ 1964
SiO <sub>2</sub>		59,3	57,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		17,0	19,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			2,8
FeO	15,7	8,1	5,1
MnO	0,2	n. b.	0,1
MgO	12,1	1,7	3,5
CaO	0,6	4,3	0,9
Na <sub>2</sub> O	0,3	1,6	1,8
K <sub>2</sub> O		3,4	4,7
TiO <sub>2</sub>		n. b.	1,0
H <sub>2</sub> O		4,7	2,3
		100,1	99,2
	(2)	(5)	(6)

zitiert nach:

- (2) S. o.  
 (5) BERGEAT, A. (1910): Der Cordieritandesit von Lipari.  
 N. Jb. Miner. B. B. 30, p. 575.  
 (6) SUK, M. (1964).

Nach der von DEER et al. (1962) angegebenen chemischen Strukturformel sollten natürliche Cordierite kein chemisch gebundenes Wasser enthalten, tatsächlich aber scheinen alle gesteinsbildenden Cordierite H<sub>2</sub>O aufzuweisen. Die Art des Einbaus wurde gelegentlich diskutiert, jedoch nicht abgeklärt.

Wie in der Formel zum Ausdruck kommt, wäre eine vollständige Substitution von Fe<sup>+2</sup> durch Mg zu erwarten. Den Zusammenstellungen von LEAKE (1960) und SCHREYER (1965) ist zu entnehmen, dass diese weitgehende Sub-

Tabelle 6. *Verzeichnis der analysierten Proben*

Vz 691	Disthen-Glimmerschiefer, Val Verzasca / Ticino
Vz 691 b	
Brg 50	Plagioklas-Cordierit-Hellglimmer-Phlogopitschiefer, WSW Lera di Sura, Bondo / Bergell
Brg 50 bis	Bergell
PM 471	Sapphirin-Cordierit-Biotit-Granatfels, Val Codera / Prov. Sondrio
KAW 554	
Sci 400	Cordierit aus mesokraterem Gneiss, Block in Trubinasca / Bergell
Sci 400 A	
F 114	Cordierit-Anthophyllitfels, Orijärvi / Finnland
AS 111955	Cordierit aus Migmatitgneiss, Stauningsalpen, NW-Fjord / NE-Grönland
Du + Gü 14	Cordierit-Biotit-Migmatitgneiss, Steinbruch Vanon bei Teč / Böhmen
Fe-Cordierit	Pegmatit, Dolni Bory / Böhmen
Aeol 20	Cordieritandesit, Quattrocchi / Lipari

Folgenden Damen und Herren verdanken wir die Überlassung von Probenmaterial:  
 Frau Prof. E. Jäger/Bern, Prof. E. Wenk, Dr. A. Steck, Dr. A. Günthert, Dr. T. Kruta/Brünn

stitution in der Natur beobachtet wird, dass aber die Fe-Endglieder ausgesprochen selten sind.

Auf Fig. 3 sind gemäss der Cordieritformel die Substituenten  $\text{Fe}^{+2}$  und Mg auf Grund der RMS-Untersuchung eingetragen (Berechnungsbasis 18 O,  $\text{Fe}_{\text{tot}}$  als FeO,  $\text{H}_2\text{O}$  vernachlässigt). Es zeigt sich, dass sowohl Literatur-, als auch RMS-Daten der Substitutionsgeraden folgen, obwohl  $\text{Fe}^{+3}$  gezwungenermassen als  $\text{Fe}^{+2}$  verrechnet wurde. Leider ist die Analysenzahl zu gering, als dass der gesamte Substitutionsbereich belegt werden könnte.

In der neueren Literatur werden die Beziehungen zwischen Cordierit und koexistierenden anderen Mg- und  $\text{Fe}^{+2}$ -reichen Mineralphasen eingehend diskutiert (u. a. GORBATSCHEV, 1968), und aus den entsprechenden Verteilungskoeffizienten Rückschlüsse auf die bei der Mineralbildung herrschenden  $p$ - $T$ -Bedingungen gezogen. Bemerkenswert ist, dass die Beziehungen zwischen Cordierit und dem Muttergesteinschemismus weit weniger Interesse gefunden haben: Cordieritanalysen sind in der Literatur häufig, selten jedoch Angaben über das zugehörige Muttergestein.

Von sechs Cordieritproben liessen sich die entsprechenden Muttergesteinschemismen angeben (vgl. Tab. 5). Diese – allerdings sehr beschränkte – Anzahl lässt einen Zusammenhang zwischen der Mg-Fe-Verteilung des Cordierites mit jener des Muttergesteins erkennen, vgl. Fig. 4. Obwohl die genetischen Bedingungen bei diesen sechs Proben mit Sicherheit sehr verschieden gewesen sind, richtet sich die Mg-Fe-Substitution des Cordierits nach den Verhältnissen des Muttergesteins. Der Kurvenverlauf von  $\text{Fe}/\text{Fe} + \text{Mg} > 60\%$  ist nicht belegt und man muss sich fragen, ob der durch Extrapolation ermittelte Maximalwert von ca.  $75\%$   $\text{Fe}/\text{Fe} + \text{Mg}$  für Cordierit aus Gesteinen der hier untersuchten Art real ist. Auf Grund der Literaturdaten hat es den Anschein, dass Eisen-cordierite mit  $\text{Fe}/\text{Fe} + \text{Mg} > 75\%$  vornehmlich aus Pegmatiten stammen – aus Gesteinen, die den hier berücksichtigten genetisch nicht entsprechen. Der

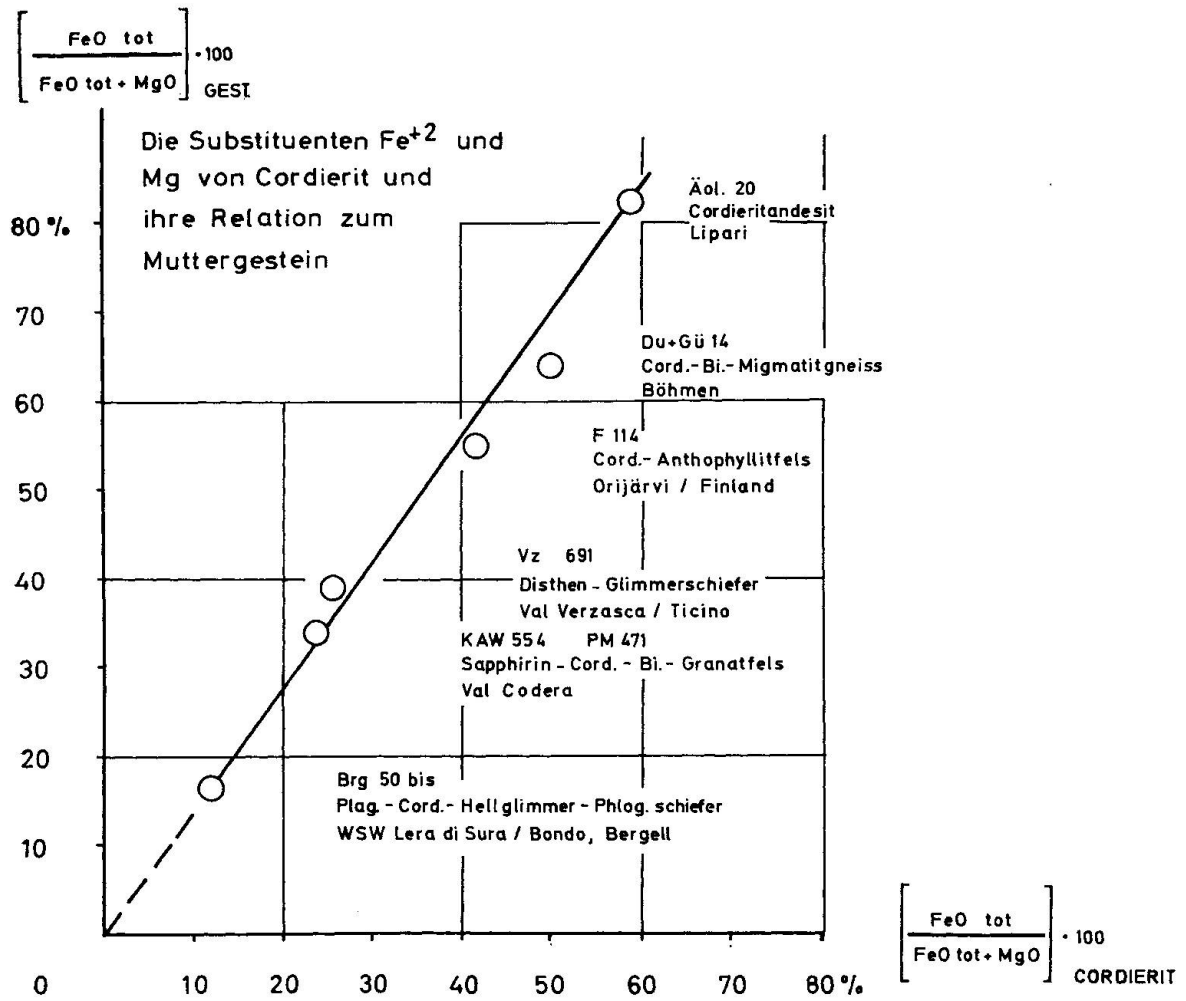


Fig. 4. Die Substituenten  $\text{Fe}^{+2}$  und Mg von Cordierit und ihre Relation zum Muttergestein.

Hauptanteil der bekannten Cordierite liegt in einem Feld, das sich mit dem auf Fig. 4 dargestellten deckt, während Cordierite mit mehr als 50 Mol-% Eisencordierit seltener sind und – wie oben erwähnt – oft aus Pegmatiten stammen.

Bei dem oben diskutierten Zusammenhang zwischen Cordierit- und Muttergesteinschemismus handelt es sich aus mehreren Gründen nicht um gesetzmässige Elementverteilungen im Sinne der Nernstschen Koeffizienten: erstens verwendeten wir Hauptkomponenten, und nicht Spurenelemente (während die Nernstschen Verteilungsgesetze für kleine Konzentrationsbereiche gelten), und zweitens verglichen wir keine Lösungspartner untereinander, sondern *eine* Phase (Cordierit) mit der Gesamtheit aller Phasen (Gestein). Es ist sinnvoll, und einer weiteren Studie vorbehalten, den Chemismus der Hauptkomponenten und vor allem von Spurenelementen weiterer Fe/Mg-führender Mineralpartner aus Cordieritgesteinen zu untersuchen.

## Literatur

- BARKER, F. (1964): Sapphirine-bearing rock, Val Codera, Italy. *Amer. Mineral.* 49, p. 147.
- CLAISSE, F. (1956): Accurate X-ray fluorescence analysis without internal standard. Quebec Dept. Mines P.R. 327.
- CORNELIUS, H. P. (1916): Ein alpines Vorkommen von Sapphirin. *Centralbl. Mineral.*, p. 265.
- CORNELIUS, H. P. und DITTLER, E. (1929): Zur Kenntnis des Sapphirinvorkommens von Alpe Brasciadega in Val Codera (Italien, Prov. Sondrio). *N. Jb. Mineral.* 59A, p. 27.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. and ZUSSMAN, J. (1962): *Rock-forming Minerals*, vol. 1.
- DELALOY, M. (1969): L'analyse des roches silicatées par fluorescence des rayons-X. *C. r. séances soc. phys. et d'hist. nat. Genève.*
- GORBATSCHEV, R. (1968): Distribution of Elements between Cordierite, Biotite, and Garnet. *N. Jb. Mineral., Abh.* 110, p. 57.
- LEAKE, B. E. (1960): Compilation of chemical analyses and physical constants of natural cordierites. *Amer. Mineral.* 45, p. 282.
- ROSE, H. J., ADLER, I., and FLANAGAN, F. J. (1962): Use of  $\text{La}_2\text{O}_3$  as a heavy absorber in the X-ray fluorescence analysis of silica rocks. *US geol. Surv. prof. paper* 450-B, p. 80.
- SCHWANDER, H. (1965): Monazit als Kern pleochroitischer Höfe in Biotiten der Tessiner Gneisse. *SMPM* 45, p. 297.
- SCHWANDER, H., HUNZIKER, J. und STERN, W. (1968): Zur Mineralchemie von Hellglimmern aus den Tessinalpen. *SMPM* 48, p. 357.
- SCHWANDER, H. und WENK, E. (1967): Studien mit der Röntgenmikrosonde an basischen Plagioklasen alpiner Metamorphite. *SMPM* 47, p. 225.
- SCHREYER, W. (1965): Synthetische und natürliche Cordierite II. *N. Jb. Mineral., Abh.* 103, p. 35.
- STANEK, J. und MISKOWSKY, J. (1964): Fe-reicher Cordierit des Pegmatites von Dolni Bory. *Casop. pro miner. a geol.*, 9, p. 2.
- STERN, W. B. (1969): On the Chemical Composition of Anorthoclase from Mt. Kibo/Kilimanjaro (Tanzania). *Contr. Mineral. Petrol.* 20, p. 198.
- SUK, M. (1964): Material Characteristics of the Metamorphism and Migmatization of Moldanubian Paragneisses in Central Bohemia. *Contr. Geol. Petrol. of Crystalline Complexes*, p. 71.
- WELDAY, E. E., BAIRD, A. K., McINTYRE, D. B. and MADLEM, K. W. (1964): Silicate sample preparation for light-element analysis by X-ray spectrography. *Amer. Mineral.* 49, p. 889.
- WENK, E. (1968): Cordierit in Val Verzasca. *SMPM* 48, p. 455.

Manuskript eingegangen am 19. Dezember 1969.