# Untersuchungen an Cordierit.

Von Leopold Oppenheimer, Schriesheim.

Mit 4 Textfiguren.

# Inhaltsübersicht.

																		Seite
Literatur	verzeich:	nis .																258
Einleitun	g	•																260
Methode	der Her	stellu	ng	orie	enti	erte	er o	ptis	che	r P	räp	arat	e					262
Optische	Untersu	chun	gen	de	r C	ord	ieri	te v	ron		-							
1.	Haddan	ι.	•															266
2.	Guilford	ι.																269
3.	Bodenm	ais																272
4.	Ceylon	•																276
5.	Ibity .															•		278
6.	Twedest	rand																280
7.	Orijārvi																	<b>282</b>
8.	Cabo de	e Gat	a												•			286
9.	Ural .																	289
Zusamme	nfassung	der	op	tiscl	nen	Me	ssu	nge	n		•							290
Pleochrois	smus des	s Cor	die	rits														292
Chemi <b>sch</b>	e Unters	uchu	nge	en					•									<b>2</b> 93
Ergebniss	e								•								•	299

## Literaturverzeichnis.

- 1. Böggild, O. B.: Mineralogia Grönlandica. Kopenhagen 1905, S. 345 (Ref. Centralbl. f. Min. usw., 1908, S. 409).
- BONSDORFF, W.: Über den sog. Steinheilit. Schweigg. Journal, 34, (1822), S. 369.
- BRAUNS, R.: Die chemische Zusammensetzung granatführender kristalliner Schiefer, Cordieritgesteine und Sanadinite aus dem Laacher Scogebiet. N. J., BB. 34, (1912), S. 85, 129 u. 136.
- 4. DANA, J. D.: System of Mineralogy. 6. edit. 1892, p. 419.
- 5. DES CLOIZEAUX, A.: Nouvelles recherches sur les propriétés optiques des cristaux naturels ou artificiels. Paris 1867, p. 53.
- 6. Manuel de Minéralogie, I, 1862, p. 355.
- 7. DITTRICH, M.: Analytische Methoden der Silikate. Handb. d. Mineralchemie, herausgeg. von C. Doelter, I, 1912, S. 560-594.
- und EITEL, W.: Über Verbesserung der Ludwig-Sipöczschen Wasserbestimmungsmethode in Silikaten. Sitz.-Ber. Heidelb. Akad. Wiss., Math. Nat.-Kl., 1911, 21. Abh.
- DUPARC, L., SABOT, R., et WUNDER, M.: Les minéraux des pegmatites des environs d'Antsirabé à Madagaskar. Mém. Soc. phys. etc. Genève, 36, (1910), p. 406-407.
- FARRINGTON, O. C.: The chemical composition of Jolite. Am. Journ., 43, (1892), S. 13-16.
- GAREISS, A.: Über Pseudomorphosen nach Cordierit. T. M. P. M., 20, (1901), S. 1-39.
- GMELIN, L.: Analyse des Joliths und des sog. Saphir d'eau. Schweigg. Journ., 14, (1815), S. 316-324.
- GRABER, H. V.: Die Gesteine des österreichischen Mühlenviertels und der Cordierit von Linz a. d. Donau. T. M. P. M., 21, (1902), S. 452.
- HAIDINGER, W.: Über den Pleochroismus der Kristalle. Pogg. Ann., 65, (1845), S. 13.
- 15. Über den Cordierit. Pogg. Ann., 67, (1846), S. 446.
- HECHT, B.: Über die Bestimmung des Winkels der optischen Achsen an Platten, deren Normale nicht mit der Halbierungslinie des Winkels der optischen Achsen zusammenfällt. N. J., 1887, I, S. 250-261.
- 17. HERMANN, R., in KOKSCHAROW, N. v.: Materialien zur Mineralogie Rußlands, 3, (1859), S. 255-258.
- HIDDEN, W. E., und PRATT, J. H.: Über Begleitmineralien des Rodoliths. Ref. Z. X., 32, (1900), S. 600.
- 19. HINTZE, C.: Handbuch der Mineralogie, II, 1897, S. 918-933.
- HÖVERMANN, G.: Über pleochroitische Höfe bei Biotit, Hornblende und Cordierit, und ihre Beziehungen zu den α-Strahlen radioaktiver Elemente. N. J., BB. 34, (1912), S. 384-386.

- HUSSAK, E.: Über den Cordierit in vulkanischen Auswürflingen. S. W. A., 87, (1883), S. 356.
- KIKUCHI, Y., und SHIMIDSU, T.: Über Cordierit als Kontaktmineral. Journ. of the Sc. Coll. Imp. Univ. Tokyo, Japan, 3, (1890), 313 (Ref. Z. X., 20, (1892), S. 501-502).
- 23. KLINKSIECK, P., et VALETTE, TH.: Code des couleurs. Paris 1908.
- 24. KOCH, M.: Die Kersantite des Unterharzes, I. Teil, Jahrb. preuß. geol. Landesanst., (1886), S. 44-104.
- LASAULX, A. v.: Über Cordieritzwillinge in einem Auswürfling des Laacher Sees. Z. X., 8, (1884), S. 76-80.
- 26. MICHEL-LÉVY, A., et LACROIX, A.: Minéraux des roches. Paris 1888. p. 173.
- 27. MILCH, L.: Beiträge zur Kenntnis der granitischen Gesteine des Riesengebirges (Cordierit von Hradschin). N. J., BB. 15, (1902), S. 202.
- 28. OFFRET, A.: De la variation sous l'influence de la chaleur, des indices de réfraction de quelques espèces minérales, dans l'étendue du spectre visible. Bull. Soc. min., 13, (1890), p. 628.
- 29. OSANN, A.: Über den cordieritführenden Andesit vom Hoyazo (Cabo de Gata). Z. D. G. G., 40, (1888), S. 704.
- RAMMELSBERG, C. F.: Handbuch der Mineralchemie. Zweites Supplement zur zweiten Auflage, 1895, S. 278-280.
- ROSENBUSCH, H.: Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien, I, 1873, S. 270; 2. Aufl. 1885, S. 416; 3. Aufl. 1892, S. 478.
- ROSENBUSCH-WÜLFING: Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine. I. Die petrographisch wichtigen Mineralien, 4. Aufl. 1904/05.
   1. Allgemeiner Teil, S. 326; 2. Spezieller Teil, S. 163-165.
- SCHUTZ, CHR.: Über die chemische Zusammensetzung des Dichroits. Pogg. Ann., 54, (1841), S. 565.
- STROMEYER, A.: Untersuchungen, Bd. 1, (1820), S. 329-355 (Ref. Schweigg. Journ., 33, (1821), S. 369).
- 35. THOMSON, TH.: Outlin. Min., I, (1836), S. 278.
- WULFING, E. A.: Apparate zur optischen Untersuchung der Mineralien. T. M. P. M., 15, (1895), S. 52-59.
- Uber einen vereinfachten Apparat zur Herstellung orientierter Kristallschliffe. N. J., 1901, II, S. 1-22.
- Über die Lichtbrechung des Kanadabalsams. Sitz.-Ber. Heidelb. Akad. Wiss., Math.-Nat.-Kl., 1911, 20. Abhandl., S. 9.
- Fortschritte auf dem Gebiete der Instrumentenkunde. Fortschritte der Mineralogie, 3, (1913), S. 88.
- 40. ZAMBONINI, F.: Beitrag zum Studium der Hydrosilikate. Atti R. Accad. Sc. Fis. e Mat. Napoli, 16, (1908), S. 1–127 (Ref. Z. X., 49, (1911), S. 84).
- 41. ZIMANYI, K.: Die Hauptbrechungsexponenten der wichtigeren gesteinsbildenden Mineralien bei Na-Licht. Z. X. 22 (1894), S. 339.

Die im Text in Klammern gesetzten Zahlen beziehen sich auf vorstehendes Literaturverzeichnis.

# Einleitung.

Seit Jahrzehnten ist es das Bestreben der Mineralogen, einen gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen den physikalischen und chemischen Konstanten jener Mineralien festzustellen, die durch isomorphe Vertretung der Elemente im Molekül mannigfachen Schwankungen unterworfen sind. Von ganz besonderer Bedeutung sind solche Untersuchungen für die gesteinbildenden Mineralien, bei denen man ja so häufig ausschließlich auf die Bestimmung der physikalischen, insbesondere der optischen Eigenschaften angewiesen ist, und bei denen es denn auch auf diesem Wege gelingt, nicht nur die Mineralspezies, sondern auch das besondere Glied einer isomorphen Reihe zu bestimmen. Wer sich über diese gesetzmäßigen Beziehungen zwischen Stoff und optischen Eigenschaften ein Bild verschaffen will, braucht nur die Handbücher über gesteinbildende Mineralien aufzuschlagen, wo solche Beziehungen eingehend erörtert werden und nur bei wenigen unklar gelassen oder überhaupt kaum zum Ausdruck gebracht werden.

Ein gesteinbildendes Mineral, bei dem diese Verhältnisse noch ziemlich widerspruchsvoll erscheinen, ist der Cordierit, der schon wegen seiner petrographischen Bedeutung eine genauere Kenntnis seiner Eigenschaften verlangt. Die Größe des Achsenwinkels 2V schwankt nach den bisherigen Messungen an den Cordieriten verschiedener Fundorte zwischen 40° und 86°. Auch die Brechungsexponenten sind verschieden angegeben; dabei fällt besonders auf, daß Cordierite des gleichen Fundortes, insbesondere von Ceylon, recht verschiedene Lichtbrechungen besitzen sollen, trotz einer gewissen Konstanz in der Größe des Achsenwinkels. So findet A. OFFRET (28) bei einem Ceyloner Cordierit die Lichtbrechung  $\frac{\alpha + \beta + \gamma}{3} = 1,596$ , während sie nach Des CLOIZEAUX (6) nur 1,541 betragen soll. Diese in

der Tat sehr auffallenden Abweichungen, die ja größer sind als sie z. B. in der ganzen Plagioklasreihe beobachtet werden die mittlere Lichtbrechung ist bei Albit 1,533 und bei Anorthit 1,582 — lassen sich mit den bisherigen Analysenbefunden nicht in Übereinstimmung bringen. Auch der Pleochroismus des Cordierits wird auffallend verschieden angegeben, was um so sonderbarer erscheint, als er den Mineralogen so lange als vorbildliches Beispiel für selektive Absorption gedient hat. So kann man auch noch nach den neuesten Literaturangaben (20) zweifeln, ob der mittlere oder der kleinste Vektor der Indikatrix die stärkste Absorption aufweist. Nicht geringer sind die Gegensätze in den Ansichten über den chemischen Aufbau, auch wenn man die älteren Analysen ganz unberücksichtigt läßt. Recht konstant sind die Zahlen für SiO2 und Al2O3, und überall ziemlich deutlich die Gegensätze zwischen FeO und MgO, so daß man eine isomorphe Vertretung hier annehmen darf. Da es sich bei dem FeO-Gehalt nur um Schwankungen von etwa 6% handeln dürfte, · wird das Material sorgfältig auszusuchen und die Analyse auch entsprechend auszuführen sein. Ferner wird den Analytiker neben der Frage nach der Oxydationsstufe des Eisens vor allem der Nachweis des chemisch gebundenen Wassers zu beschäftigen haben. Es wird also auch zu entscheiden sein, ob die Untersuchungen O. C. FARRINGTONS (10) sich bestätigen, nach denen der Cordierit bis zu 2% Konstitutionswasser enthalten soll, oder ob der absolut frische Cordierit ein H2O-freies Mineral ist. Alle diese Widersprüche sind aus den zum Teil etwas kurz gehaltenen Literaturangaben nicht zu erklären. Entscheidungen zugunsten der einen oder der anderen Annahme lassen sich mit Sicherheit nur durch neue Beobachtungen herbeiführen. Zu diesem Zwecke habe ich auf Anregung meines hochverehrten Lehrers, des Herrn Prof. Dr. E. A. WULFING die Cordierite von folgenden Fundorten untersucht:

- 1. Haddam, Connecticut.
- 2. Guilford County.
- 3. Bodenmais, Bayern.
- 4. Ceylon.
- 5. Berg Ibity auf Madagaskar.
- 6. Twedestrand, Norwegen.
- 7. Orijärvi, Finnland.
- 8. Hoyazo, Cabo de Gata, Spanien.

Das Material entstammt teils der Sammlung des Heidelberger Mineralogisch-petrographischen Instituts, teils wurde es mir durch die Vermittlung des Herrn Prof. Dr. WULFING von der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Stiftung Heinrich Lanz) zur Verfügung gestellt. Ferner wurde mir durch das sehr freundliche Entgegenkommen der Herren Professoren W. RAM-SAY in Helsingfors, W. E. FORD und O. C. FARRINGTON in Chicago schönes Material von Orijärvi in Finnland, von Haddam in Connecticut und von Guilford County überlassen. Auch Herr Prof. ALBERT OFFRET in Lyon hatte die große Liebenswürdigkeit, mir seine Originalpräparate von Ceylon zu Kontrollmessungen zur Verfügung zu stellen.

# Eine Methode, an völlig unorientiertem Cordierit die Bestimmung der optischen Konstanten zu ermöglichen.

Die Ermittlungen der optischen Konstanten am Cordierit boten insofern große Schwierigkeiten, als das zu solchen Untersuchungen verfügbare reine Material entweder ganz unsichere, oder überhaupt keine kristallographische Begrenzung aufwies; die Orientierung konnte daher nur auf optischem Wege erfolgen.

Vorausgesetzt wird die näherungsweise Kenntnis des mittleren Brechungsexponenten  $\beta$ . Nach den bisherigen Bestimmungen ist  $\beta$  zu  $1,549 \pm 0,013$  anzunehmen. (Meine eigenen weiter unten mitgeteilten Messungen ergeben  $\beta = 1,549 \pm 0,011$ ). Die erste Orientierung erfolgte am Pleochroismus, der bei einiger Mannigfaltigkeit in der Farbentönung und sehr großer Mannigfaltigkeit in der Stärke der Absorption in den charakteristischen Achsenfarben wie in Fig. 1 zusammengefaßt werden kann:



Zur weiteren Orientierung sei hier eingeschaltet, daß die Achsen-ebene immer in der Querfläche (100) liegt und a immer spitze Bisektrix ist. Dieser bekanntlich sehr deutliche Pleochroismus erleichtert die Präparation ungemein. Es wurden die zum Teil handstückgroßen Stufen auf Nuß- bis Erbsengröße und zuweilen auch noch weiter, je nach der Reinheit des Materials, zerkleinert und unter den Bruchstücken solche mit mehr oder weniger scheibenförmiger Gestalt, die senkrecht zu der Scheibe mög-lichst tiefblau gefärbt erschienen, ausgesucht. Solche Splitter mußten vorzugsweise nach der Basis ausgebildet sein und erlaubten also nach der oben angegebenen optischen Orientierung, Achsenpräparate einigermaßen senkrecht zur spitzen Bisektrix herzustellen. Diese Vororientierung läßt sich bei Anwendung eines NICOL'schen Prismas ziemlich genau durchführen, weil man dadurch die beiden blauen Achsenfarben noch besser erkennen und die Lage der Basis noch etwas genauer feststellen kann. Auf diese Weise gelingt es ziemlich leicht, Platten her-zustellen, auf denen die beiden optischen Achsen, allerdings meist mehr oder weniger unsymmetrisch, wenn nicht in Luft, so doch in einem optisch dichteren Medium austreten. An solchen Präparaten kann man nun nach der KIRCHHOFF'schen Methode den wahren Winkel der optischen Achsen (2V) genau bestimmen, wenn der Brechungsexponent n des einbettenden Mediums und  $\beta$  des Cordierits auch nur näherungsweise bekannt sind. Man hat dazu bekanntlich nicht nur den Abstand der auf derselben Fläche austretenden beiden optischen Achsen (2E in Luft oder 2W in Wasser, usw.) voneinander, sondern auch die beiden Winkel  $a_1$  und  $b_1$ , die von jeder optischen Achse mit der Plattennormale gebildet werden, zu messen. Die Formel zur Berechnung von 2V aus diesen Stücken a1, b1, 2W, n und  $\beta$  lautet dann (32, S. 326)

$$\cos 2 V = \cos a \cdot \cos b + \frac{n^2}{\beta^2} (2 W - \cos a_1 \cdot \cos b_1).$$

Bei Messung in Luft wird n = 1. Die weitere Orientierung der Achsenpräparate gegen die Indikatrix und damit die Eröffnung eines Wegs für die Her-stellung orientierter Prismen zur Ermittlung der Hauptbrechungs-exponenten geschah auf folgende Weise: Die bis dahin ge-messenen drei Winkel, a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub>, 2E, erlaubten nicht nur, den wahren Achsenwinkel des Cordierits zu finden, sondern auch

die Schiefe der Bisektrix gegen die Fläche, auf der die Achsenaustritte beobachtet wurden, festzustellen. Wir wollen diese Schiefe die Poldistanz der Fläche I nennen und mit  $p_1 = I \alpha$  bezeichnen (s. Figur 2). Außer der Poldistanz muß noch ein Winkel, den wir das Azimut der Platte nennen können, bekannt sein. Das Azimut möge immer von der Ebene der optischen Achsen als Nullmeridian aus gezählt werden und zwar wollen wir diese Zählung von (010) beginnen und im doppelten Drehsinn bis 180° fortsetzen. Zur Ermittlung dieser Azimutwinkel bestimmt man durch konoskopische Beobachtung die ungefähre Lage der Achsenebene und schleift zu dieser ungefähr parallel und ungefähr senkrecht zu Fläche I eine neue Fläche II an. Mißt man alsdann die Winkel III und hernach die Winkel der Normalen von II mit den auf I austretenden optischen Achsen, so ergeben sich räumliche Verhältnisse, wie sie in Fig. 2 in stereographischer Projektion dargestellt sind. Es bedeuten A1 und B<sub>1</sub> die Austritte der Achsen in Luft, A und B die Achsen im Mineral; a, b, c die Austritte des größten, mittleren und kleinsten Vektors der Indikatrix.



Fig. 2.

Aus Dreieck A<sub>1</sub> I B<sub>1</sub> wird der Winkel bei I gefunden.
 Aus I B<sub>1</sub> und β, sowie I A<sub>1</sub> und β erhält man IB undIA.
 Aus Dreieck A IB ergibt sich die Seite A B=2 V, also auch deren Hälfte a B=V und der Winkel bei B (IBa).

4. Aus dem rechtwinkeligen Dreieck IBa wird die Seite

 $p_1 = Ia$  (Poldistanz) und der Winkel bei I berechnet. 5. Aus Dreieck IIIB ergibt sich der Winkel bei I (BIII). 6. Aus Dreieck IIIa, wo Winkel aIII = aIB - IIIB ist, wird die Seite  $p_2 = IIa$  (Poldistanz von II) und der Winkel IIIa gefunden.

7. Aus Dreieck aIB wird Winkel  $\varphi_1 = IaB = Azimut$  von I und dann auch mit Hilfe von Winkel IaB und Winkel IaII der Winkel II  $\alpha B = \varphi_2 = Azimut$  von II erhalten.

Bei dem zuerst hergestellten Präparat erfolgte die Orientierung auf dem eben angegebenen Wege durch Rechnung. Nach-dem ich mich aber davon überzeugt hatte, daß die Doppelbrechung des Cordierits viel zu gering ist, um diese rechnerisch erreichbare hohe Genauigkeit zu verlangen, ermittelte ich die zur Umorientierung erforderlichen Winkel mit Hilfe des WULFF'schen Netzes auf graphischem Wege, der bei sorgfältigem Zeichnen höchstens 1º Abweichung ergab. Hat man nun die Flächen I und II nach Poldistanz und Azimut festgelegt, so kann man mit Hilfe des WULFING'schen Schleifapparates (37) jede andere Fläche von vorgeschriebener Lage herstellen. Die anfänglich geschilderte grobe Orientierung mit Hilfe des Pleochroismus und die eben beschriebene weitere Orientierung wurde gelegentlich etwas abgeändert, wenn z. B. eine auch nur rohe kristallographische Begrenzung oder eine einigermaßen deutliche Spaltbarkeit nach (010) zu beobachten war. Indessen bieten diese Abweichungen vom geschilderten Wege nichts wesentlich Neues und bedürfen daher keiner einzelnen Beschreibung. Es sei nur noch erwähnt, daß zuweilen größere und dickere mit den Flächen I und II versehene Platten auseinandergeschnitten und in einem Teil zu Achsenpräparaten, in einem anderen Teil zu Prismen verarbeitet wurden, so daß die aus den Achsenpräparaten gewonnene Orientierung auch für das andere Stück benutzt werden konnte. Kleine Abweichungen, die bei solchen zwei- bis fünfmal wiederholten Präparationen und Messungen vorkamen, mögen zum Teil auf Unreinheiten des Materials, zum Teil auch auf nicht ganz ungestörtes Wachstum zurückzuführen sein. In vielen Fällen wurde auch die Fläche I umorientiert, genau senkrecht zur spitzen Bisektrix gelegt und dann ein solches Präparat noch mit einer Fläche in der Zone (001):(100) oder (001):(010) versehen, um die Bestimmung der Brechungs-

exponenten  $\beta$  und  $\gamma$  mittels senkrechter Inzidenz ausführen zu können. Bei dem Zerschneiden der Stücke hat die von E. A. Wül-FING konstruierte, und nun von der Firma R. WINKEL in Göttingen gebaute kleine und einfache Schneidemaschine (39) gute Dienste geleistet. Die Messungen wurden mit dem Wul-FING'schen Achsenwinkelapparat (36) und zugehörigem Mono-chromator, sowie mit dem WEBSKY-FUESS'schen Goniometer (36), ebenfalls mit dem Wulfing'schen Monochromator versehen, ausgeführt. Alle Messungen erfolgten mindestens dreimal und die Einstellungsfehler bei der doppelten Minimalablenkung mochten höchstens  $\pm$  0,8', bei der einfachen Ablenkung bei senkrechter Inzidenz höchstens  $\pm 0.5'$  betragen. Alle Prismen und Achsenpräparate wurden zunächst mit Natriumlicht durchgemessen und nachher an ihnen mit Hilfe der WULFING'schen Monochromatoren unter Anwendung von Sonnenlicht die Dispersion bestimmt. Die Messungen wurden ausgeführt an den Prismen für die Linien A bis K, an einigen Achsenpräparaten für die Linien B bis G'. Die Wellenlängen der Linien, die ich bei der Messung benutzte, sind:

> Α 759,4 μμ B 687,0 •• C 656,3 ,, D 589,3 •• E 527,0 ,, F 486,1 ,, G' 432,6 ,, h 410,2 ,, H 396,9 •• 393,4 " K

#### 1. Cordierit von Haddam.

Ein freundlichst von Herrn W. E. FORD in Chicago zur Untersuchung überlassenes etwa faustgroßes Bruchstück des Cordierits von Haddam war reichlich von Quarz durchwachsen. Dieser Quarz umschloß an einer Stelle einige etwa 1 mm große, schwarze Turmalinkriställchen, an denen Herr Dr. K. BECHT wahrscheinlich machen konnte, daß sie einer Varietät mit großem Rhomboëderwinkel, also auch mit großer c-Achse angehören. Zu einer genaueren Durchführung dieser morphologischen Unter-

suchung reichten die wenigen besser ausgebildeten Kriställchen nicht aus. Der Cordierit selbst zeigte eine auch schon von FARRINGTON (10) betonte starke Zersetzung, vor allem in ein grünes, nach GAREISS (11) wohl als Chlorophyllit anzusprechen-des Umwandlungsprodukt, außerdem in einen olivengrünen Glimmer, der seinerseits wieder in einen wasserhellen Glimmer übergegangen ist. Soweit diese Glimmerblättchen dunkle Farben aufweisen, sind sie in ihrem optischen Verhalten so gut wie einachsig. Bei helleren Farben besitzen sie einen größeren Achsenwinkel und sind Glimmer II. Art. Dieser verschieden gefärbte Glimmer ist besonders an den regelmäßigen Absonderungsflächen nach der Basis zu finden, wo anscheinend die Umwandlung eingesetzt hat und infolgedessen auch am weitesten vorgeschritten ist. Die basale Absonderung sowie die unregelmäßig verlaufenden fast überall vorkommenden Spaltflächen nach (010) erleichterten einigermaßen die erste Orientierung. Das nur in geringer Menge vorhandene unzersetzte Material besitzt eine im Verhältnis zu den übrigen Vorkommen recht schwache Absorption, die selbst bei etwa 3 mm dicken Präparaten nur hellblaue Farbentöne auftreten läßt.

An einer ungefähr parallel zur Basis geschliffenen Platte wurde in Luft der Achsenwinkel und die Lage jeder Achse gegen die Plattennormale gemessen (Präp. 1). Eine Umorientierung des Präparates nach der oben S. 265 beschriebenen graphischen Methode gab eine etwas genauere Lage der Basis (Präp. 2). Es wurden folgende Winkel gemessen:

	$2 ~ \mathrm{E_{na}}$	<b>a</b> 1	$\mathbf{b_1}$	$2\mathrm{V_{na}}$
Präp. 1	68º 11'	<b>34º</b> 53'	34º 24'	42º 7'
" 2	67° 57′	<b>33º 44'</b>	<b>34</b> ° 8′	42° 0'.

Beide Achsenwinkel 2V wurden mittels der KIRCHHOFF'schen Formel:  $\cos 2 V = \cos a \cdot \cos b + \frac{1}{\beta^2} \cdot (\cos 2 E - \cos a_1 \cdot \cos b_1)$  und mit  $\beta = 1,5599$  berechnet. An einem anderen Präparat (Präp. 3) wurde erhalten:

	2 E <sub>na</sub>	a <sub>1</sub>	$\mathbf{b_1}$	$2  \mathrm{V_{na}}$
Präp. 3 .	<b>73º</b> 40'	<b>3</b> 5º 0'	<b>38º 4</b> 0'	44° 49′.

Der Achsenwinkel ist also hier um 2º 45' größer als an den beiden anderen dem gleichen Fundorte entstammenden Cordieritpräparaten gefunden worden. Solche Schwankungen kommen mehrfach und zwar auch bei Präparaten vor, die unmittelbar benachbarten Stücken der gleichen Stufe entstammen. Als Mittelwert für diesen Cordierit wird man für den Achsenwinkel anzunehmen haben:  $2V = 43^{\circ} 27' \pm 1^{\circ} 23'$ . Zur Bestimmung der Brechungsexponenten wurden zwei Prismen hergestellt (Präp. 4 und Präp. 5). Präparat 4 diente zur Ermittlung von  $\alpha$  und  $\beta$ nach der Minimalablenkungsmethode, Präparat 5 zur Ermittlung von  $\beta$  und  $\gamma$  nach der Methode der senkrechten Inzidenz. Die Messungen führten zu den Werten in Tabelle I, S. 269.

Bisher wurde der Cordierit von Haddam nur von Des CLOI-ZEAUX (6) optisch untersucht. Er fand:

2 E <sub>na</sub>	2 V <sub>na</sub> berech- net aus 2 E	2V <sub>na</sub> berech- net aus α, β, γ	0.	<b>3</b>	r	γ-α	, γ-β	β- <i>n</i>
63º 45′	39º 36′	39º 32'	1,5523	1,5615	1,5627	0,0104	0,0012	0,0092

während meine Messungen ergaben:

2 E <sub>na</sub>	2 V <sub>na</sub> berech <sub>i</sub> net aus 2 E	$2 V_{na}$ berech- net aus $\alpha, \beta, \gamma$	a	ş	ĩ	y-a	7- <b>3</b>	3-a
70 <b>º 3</b> 0′	43º 26'	40º 46'	1,5520	1,5599	1,5610	0,0090	0,0011	0,0079

#### 2. Cordierit von Guilford County.

Die optischen Eigenschaften des von O. C. FARRINGTON (10) beschriebenen und analysierten Cordierits von Guilford County sind noch nicht bekannt. Herr O. C. FARRINGTON hatte die Freundlichkeit, mir ein geeignetes Stückchen seines Originalmaterials zu überlassen. Es besitzt eine auffällige Klarheit, sehr geringe Zersetzung und außerordentlich deutlichen Pleochroismus. Die Spaltbarkeit nach (010) war hier, wenn auch etwas unregelmäßig, doch besser als bei allen anderen Cordieriten ausgebildet. 13]

Tabelle I.

		Licht-						
ung: trie-		art	2δα	2 δβ	a		β	
enkı				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		···· ····· ·		
able Syn		A P	840 11 91	850 11 9'	1.54	79	1 5550	
mal 10)	Drochandan	C C	840 96 9'	850 56 3'	1,54	10 .	1,5579	
inii [(0	Winkel	D	84.57.6'	86º 14.3'	1.559	20	1 5601	
r M nte ne	$w = 600.34 A^2$	Ē	85 • 43.2'	87º 15.0'	1,55	54	1,5635	
füı Kaı ebe	12 - 00 54,4	F	86° 8,8'	87 • 40.9'	1.558	33 : 1	1.5665	
t4 de		G′	870 8,7'	88 • 40,8'	1,563	36 1	1,5717	
ara hen		h	87 • 43,9'	89º 18,2'	1,566	<b>58</b> 1	1,5750	
räp recj		н	88° 6,6′	89°40,2′	1,568	38 1	1,5773	
с й		К	88°12,8′	89°46,8′	1,569	97 ] 1	1,5779	
;; e	1	Licht-			1			
len: äch		art	δβ	γ <sup>δ</sup> γ	ß		r	
Fl				1	1			
trechte In b; eine l)		Α				1		
		В	19°14,9′	19º 17,5'	1,556	0 1	1,5570	
	Brechender	С	19º 17,8'	19°20,1′	1,557	2 1	,5581	
(00)	Winkel:	D	19°24,0′	<b>19º 27,0'</b>	1,559	7 1	,5610	
ant s	∞ = 28º 18,6'	E	19° 32,8′	19° 35,4′	1,563	3 1		
fü K		F	19" 40,4"	19*43,2	1,566		.,0670	
t 5 Ide		ւր Մ	19° 02,0	19,00,0	1,071	4 I 0 1	.,9720 5769	
ara her		n U	20 0,0	20° 4,1	1,074	6 1 1	1,5702	
räp brec		K II	20* 0,1	20* 0,0	1,570	1 1	5788	
<u>д</u> Щ		<u>n</u>	201 1,0		1,011	* 1		
e		Licht-	<i>a</i> 8	3 Y	7-4	<b>γ-</b> β	β-2	
nge		art						
ssu 5.		Α			1			
Me		В	1,5478 1,53	559 1,5570	0,0092	0,0011	0.0081	
us 1 u		С	1,5492 1,5	572 1,5581	89	9	80	
e a at 4		D	1,5520 1,53	599 1,5610	90	11	79	
'ert pari		E	1,5554 1.56	634   1,5644	90	10	80	
y W		F	1,5583 1,56	65 1,5675	92	10	82	
igte n I		G'	1,5636 1,57	715 1,5728	92	13	79	
a		h	1,5668 1,57	749 1,5762	94	13	81	
Ver		Н	1,5688 1,57	770 1,5778	90	8	82	
	i I	K	1,5697 1,57	76 1,5788	91	12	79	

An Präparat 6 ergab die Messung des Achsenwinkels in Natriumlicht die Werte:

woraus sich nach der KIRCHHOFF'schen Formel unter Annahme eines Wertes:  $\beta = 1,5460$  (s. S. 271)  $2V = 64^{\circ}44'$  ergab. Als das

Präparat 6 genauer senkrecht zur spitzen Bisektrix orientiert war (Präp. 7), wurde eine zweite Serie von Messungen, diesmal in Wasser, vorgenommen. Ich erhielt:

Zur Berechnung von 2V konnte hier die Sinusformel benutzt werden. Danach war  $2V_{na} = 65^{\circ}9'$ . Als Mittelwert für 2V wird also der Wert  $64^{\circ}57' \pm 12'$  anzunehmen sein. Da dieses Präparat 7 einigermaßen senkrecht zur spitzen Bisektrix orientiert war und wie das ganze Stück einen außerordentlichen Grad von Reinheit aufwies, konnte es zur Bestimmung der Dispersion der Achsen gebraucht werden. Mit Sicherheit können die Werte für die Linien B, C, D, E angegeben werden; die ebenfalls erwähnten Messungen in den Linien F und G' können dagegen nur geringere Genauigkeit beanspruchen:

Lichtart	2 W <sub>a</sub>	n bei 20º	β (s. S. 271)	$2 V_a$
В	76º 26' ± 7'	1,3304	1,5424	64º 30'
С	$76^{\circ}38' \pm 5'$	1,3311	1,5434	64º 39'
D	77º 11′ ± 3′	1,3330	1,5460	65° 5'
E	77º 41′ ± 10′	1,3353	1,5494	65º 26'
F	$78^{\circ} 6' \pm 3'$	1,3372	1,5524	65º 44'
G	77º 26' ± 17'	1,3404	1,5573	65° 8′

Tabelle II.

Zwei Prismen (Präp. 8 und 9) zur Ermittlung der Brechungsexponenten waren wieder so orientiert, daß an dem einen (Präp. 8)  $\alpha$  und  $\beta$  nach der Methode der Minimalablenkung, an dem andern (Präp. 9)  $\beta$  und  $\gamma$  nach der Methode der senkrechten Inzidenz bestimmt werden konnten. Ich erhielt die in Tabelle III, S. 271, aufgezeichneten Werte.

Aus dem dritten Abschnitt der Tabelle III sowie der Tabelle I und auch aller folgenden Tabellen, welche Dispersionsbestimmungen der Brechungsexponenten aufweisen, ist ersichtlich, daß die Doppelbrechungen nur in den methodisch zulässigen Fehlergrenzen schwanken, was übrigens schon A. OFFRET (28) und G. HOVERMANN (20) festgestellt haben. Der Cordierit hat also durchaus normale Dispersion, wie wenig andere Mineralien, d. h. die Interferenzfarben eines dünnen Blättchens von diesem Mineral weisen keinen Unterschied von den Interferenzfarben einer dünnen Luftschicht auf.

tung: etrie-		Licht- art	280	L		2 dz	a.			β
len]		А	78 • 45	.7'	79	• 47.5'	1.5340	6	1.	5406
Syr Syr		В	790 7	,6'	80	• 9,2'	1,536	8	1	5426
n.a. 010	Brechender	С	79017	,0′	80	• 19,0'	1,537	6	1	5435
e    (0	Winkel:	D	79 • 44	,8′	80	• 47,0′	1,540	3	1	,5462
r A unte ene	$a = 59^{\circ}12.0^{\circ}$	Е	80 • 19	,6′	81	٥ 22,0 <i>′</i>	1,543	6	1	,5496
Ki Ki ebe		F	80 • 49	,9′	81	° 52,9′	1,546	5	1	,5525
ut 8 Ide		G'	81 º 43	,1′	82	٥ <b>46</b> ,6′	1,551	6	1,	,5575
her		h	82°14	,3′	83	º 18,7′	1,554	5	1,	5606
Prail		Н	82 ° 35	,6′	83	° 46,7′	1,5568	5	1,	5626
дд		K	82°41	,2′	83	• 45,7′	1,5570	) j	1,	,5630
ıkrechte İnzidenz:    b, eine Fläche 01)		Licht- art	òβ			γ <sup>5</sup>	β		γ	
		A	190 50	.0'	19	° 56.2′	1.541	2	1.	5435
	1	B	190 52	5'	19	• 58.1'	1,5422	2	1.	5443
	Brachandar	c	190 55	3'	20	• 1,6'	1,543	2	1,	5457
	Winkel.	D	20° 1	,8'	20	• 8,4'	1,5458	3	1,	5483
sei inte (0	$\alpha = 28^{\circ} 18,6'$	Е	20 º 10	,4′	20	° 17,0′	1,5491	L	1,	5516
für Ka		F	20°18	,9′	20	° 25,5′	1,5523	3	1,	5548
9 Ide		G'	20 º 31	,6′	20	• 38,1′	1,5571	1	1,	5596
rat hen		h	20 ° <b>3</b> 9	,7′	20	° 46,0′	1,560	2	1,	5626
äpa		Η	20°45	,0′	20	° 52,1′	1,5622	2	1,	5649
Pr		K	20°46	,3′	20	• 53,2′	1,562	7	1,	5653
ıgen		Licht- art	α	, F	3	ĩ	γ-α	Υ-	۶	βα
6		Α	1,5346	1,54	<b>1</b> 09	1,5435	0,0089	0,0	)26	0,0063
Meender		В	1,5368	1,54	124	1,5443	75		19	56
ns n 8		C	1,5376	1,54	134	1,5457	81		23	58
ata		D	1,5403	1,54	<b>1</b> 60	1,5483	80		23	57
ert par		Е	1,5436	1,54	194	1,5516	80		22	58
Prä		F	1,5465	1,55	524	1,5548	83		24	59
igte un ]		Gʻ	1,5516	1,55	573	1,5596	80		23	57
eini <sup>3</sup>		h	1,5545	1,56	504	1,5626	81		22	59
Ver		н	1,5565	1,56	324	1,5649	84		25	59
F		K	1,5570	1,56	529	1,5653	83		24	59
	•									

Tabelle III.

#### 3. Cordierit von Bodenmais.

Ein erstes zur Untersuchung gelangtes Stück entstammt der Sammlung des Heidelberger Mineralogisch-petrographischen Instituts und besteht aus zwei parallel verwachsenen, zusammen etwa 5 cm dicken Kristallen. Alle Flächen waren von einer braunschwarzen Kruste überzogen und sehr unvollkommen ausgebildet, indessen läßt sich doch deutlich erkennen, daß die Basis und einige Flächen der Prismenzone vorhanden sind; letztere jedoch waren wegen ihrer Unebenheit nicht in ihren Indizes zu bestimmen. Die Kristalle waren auf Eisenkies, Kupferkies und Magnetkies aufgewachsen und reichlich von Quarz durchzogen. Das Material ließ an Reinheit viel zu wünschen übrig und zeigte auch noch häufig in den klareren Stellen eine beginnende Zersetzung dadurch an, daß die bläulichen Farben des reineren Materials in gelbliche und bräunliche Farbentöne umgewandelt waren. Der sonst so deutliche Pleochroismus tritt an diesen umgewandelten Stellen kaum hervor.

Ein mit Hilfe der kristallographischen Begrenzung roh orientiertes Achsenpräparat (Präp. 10) ergab:

$2 ~ \mathrm{E_{na}}$	$\mathbf{a}_1$	$\mathbf{b_1}$	$2\mathrm{V_{na}}$
$140^{\mathrm{o}}17^\prime\pm11^\prime$	$62^{\mathrm{o}}\mathbf{28'}\pm\mathbf{8'}$	$78^{\mathrm{o}}11^\prime\pm8^\prime$	74° 44'

Aus einem Teil dieser basalen Platte wurde ein Prisma symmetrisch zur Fläche (010) mit der brechenden Kante parallel c (Präp. 11), aus einem anderen Teil ein bis auf 10 Minuten senkrecht zur spitzen Bisektrix orientiertes Achsenpräparat hergestellt (Präp. 12). An Präparat 11 sollte die Bestimmung von  $\alpha$  und  $\beta$  nach der Methode der Minimalablenkung, an Präparat 12 eine Wiederholung der Messung des Achsenwinkels und durch Hinzufügung einer Fläche in der Querdomen-Zone die Bestimmung von  $\beta$  und  $\gamma$  durch Beobachtung bei senkrechter Inzidenz erfolgen. Leider stie $\beta$  ich bei diesem Plane auf einige Schwierigkeiten, die wahrscheinlich mit der Unreinheit des Vorkommens zusammenhingen. Die polierten Flächen gaben auch hier wie in allen anderen Fällen durchaus einheitliche Reflexe, aber Präparat 11 zeigte im durchgehenden Licht doppelte Spaltbilder, die zunächst zu folgenden, aus je fünf Messungen erhaltenen Winkelwerten führten:

$2  \delta_{a_1} = 80^{\circ}  45.1' \pm 0.9'$	$2 \delta_{\alpha_2} = 80^{\circ} 31,9' \pm 0.8$
$2 \delta_{\gamma_1} = 82^{\circ} 17,4' \pm 0,6'$	$2 \delta_{\gamma_2} = 82^0 \ 2.5' \pm 0.8$
$(\alpha_1 = 1,5359)$	$\alpha_2 = 1,5332$
$(\gamma_1 = 1,5445)$	$\gamma_2 = 1,5431.$

An Präparat 12 nahm ich die Messung des Achsenwinkels in Wasser vor:  $2 W_{na} = 89^{\circ} 12'$ , und am gleichen Stück (Präp. 13) die Beobachtung bei senkrechter Inzidenz:

 $\begin{array}{ll} \alpha &=& 27^{o}\,49,7'\pm0,2'\\ \delta_{\beta} &=& 18^{o}\,17,4'\pm0,5'\\ \delta_{\gamma_{2}} &=& 18^{o}\quad4,4'\pm0,5'. \end{array}$ 

Wenn auch hier Dubletten der Bilder für jede Welle zu bemerken waren, so lagen sie doch so nahe (etwa bis auf 1') beieinander, daß diese Abweichung vernachlässigt und auf die Mitte der Doppelbilder eingestellt werden konnte. Auch wurde noch an Präparat 13 eine Kontrollmessung für  $\beta$  nach der Minimalablenkungsmethode gemacht, die ergab:

$$\begin{array}{rl} 2 \ \delta_{\beta} \ = \ 31^{\circ} \ 16.1 \pm 0.5' \\ \beta \ = \ 1.5398 \pm 0.0002'. \end{array}$$

Alle Messungen sind in Tabelle IV zusammen gefaßt:

	α	β	٢	2 E <sub>na</sub>	2 Wna	2 V <sub>na</sub>
Präparat 10				140º 17'		74º 44' 1)
Präparat 11	$\alpha_1 = 1,5359$ $\alpha_2 = 1,5332$		$\gamma_1 = 1.5445$ $\gamma_2 = 1.5431$			
Präparat 12					890 12'	74° 52′
Präparat 13		$\beta_1 = 1,4396$ $\beta_2 = 1,5398$	1,5427			
						69º 48' 2)

Tabelle IV.

Aus Tabelle IV kann man ersehen, daß der Wert  $\gamma_1$  bei Präparat 11 sehr stark von  $\gamma$  bei Präparat 13 abweicht, während  $\gamma_2$ aus Präparat 11 gut mit diesem Wert übereinstimmt. Ich halte mich daher für berechtigt, den Wert  $\gamma_1$  auf Unvollkommenheit des Materials zurückzuführen und mit ihm auch den analogen

<sup>1</sup>) Berechnet mit Hilfe von  $\beta = 1,5397$  und n = 1,3330.

<sup>2</sup>) Berechnet aus  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

Verhandl. d. Heidelb. Naturh.-Med. Vereins. N. F. XIII. Bd.

Wert  $\alpha_1$  zu streichen. Für die Bevorzugung der Werte  $\alpha_2$  und  $\gamma_2$ spricht auch die Tatsache, daß ein aus  $\alpha_1$ ,  $\beta$  und  $\gamma_1$  berechnetes 2 V zu dem Wert 96° 36' führt, also zu einem Wert, der um 22° von dem beobachteten abweicht, während aus  $\alpha_2$ ,  $\beta$  und  $\gamma_2$  2 V nur 5° abweichend zu 64° 48' erhalten wird. Diese letztere Abweichung darf hier nicht so sehr überraschen, denn 2 V ist bei der schwachen Doppelbrechung des Cordierits eine außerordentlich empfindliche Funktion der Brechungsindizes. Schon bei einer Verkleinerung des Wertes  $\beta$  um 0,0002 erhält man einen mit der Beobachtung übereinstimmenden Wert von 2 V.

Da das eben beschriebene Material weder, wie wohl aus dem Voranstehenden zu ersehen, zur optischen Untersuchung besonders geeignet war, noch auch die nötige Menge für eine sehr erwünschte Analyse abgegeben hätte, wurden mir durch Vermittlung des Herrn Professors Dr. Wülfing von der Heidelberger Akademie der Wissenschaften einige Stücke Cordierit von Bodenmais, die aus der Mineralienhandlung von M. MAUCHER in München stammen, zur Verfügung gestellt. Hierunter befanden sich acht, bis ungefähr 1 ccm große Stücke von sehr reinem, tiefblau gefärbtem und von größeren Einschlüssen gänzlich freiem Cordierit. Nur winzige Einschlüsse konnten auf den undeutlich entwickelten Spaltflächen nach (010) noch eben als kleine Pünktchen mit bloßem Auge bemerkt werden. Drei etwa nach den Pinakoiden angefertigte Dünnschliffe zeigen, daß sie aus kurzen Säulchen bestehen, die mit ihrer etwa 10 µ langen Achse der Prismenachse des Cordierits parallel liegen und starke Lichtund Doppelbrechung aufweisen.

Ein erstes, nur nach dem Pleochroismus einigermaßen orientiertes Achsenpräparat dieses MAUCHER'schen Cordierits von Bodenmais (Präp. 14) gab für Natriumlicht in Luft:

$2\mathrm{E_{na}}$	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>
114°30'	50° 8′	64° 8'.

Eine Wiederholung der Messung in Wasser für Natriumlicht ergab:

$2  \mathrm{W}_{\mathtt{na}}$	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub> .
78° 1'	35° 15'	42° 43′.

Nimmt man  $\beta = 1,5460$  (s. Tab. V, S. 275) und n für Wasser = 1,3330 an, so berechnet sich:

$$\left. \begin{array}{l} 2 \, V_{na} \, = \, 65^{\circ} \, 31' \\ 2 \, V_{na} \, = \, 65^{\circ} \, 40' \end{array} \right\} \, \, \text{Mittel} \, = \, 65^{\circ} \, 36'.$$

Von den zur Ermittlung der Brechungsexponenten hergestellten Prismen (Präp. 15 und 16) diente Präparat 15 zur Bestimmung von  $\alpha$  und  $\beta$  mittels der Methode der Minimalablenkung, Präparat 16 zur Bestimmung von  $\beta$  und  $\gamma$  nach der Methode der senkrechten Inzidenz. Dabei wurden die Werte in Tabelle V erhalten

ıkung: netrie-		Licht- art	2 8,	x	2 dz	a		β
nn		A	80 • 11	.8' 8	1 º 12.1'	1.534	6	1,5402
alat Sy		В	80 • 34	,3′ 8	1 º 37,7′	1,536	7	1,5426
uim. c, 100	Brechender	C	80 • 43	9'   8:	1º46,6′	1,537	5	1,5434
Mir ()	Winkel:	D	81 9	9,91 8	2° <b>13</b> ,9′	1,540	0	1,5460
lür anto ene	$\alpha = 59^{\circ} 53.0'$	Е	81 ° 46	5,0′   85	$2^{\circ}50,1'$	1,543	34	1,5493
5 f Ka eb	,	F	82°17	',5' 8	3° 21,6′	1,546	3	1,5523
t 1 de		G′	83 • 12	<b>.,4′ 8</b> 4	<b>4º 1</b> 6,4′	1,551	4	1,5573
ara nen		h	83 ° 44	<b>,8′ 8</b> 4	4° 49,8′	1,554	4	1,5603
räp		Н	84 ° 4	9′ 8	$5^{\circ}12,\!6'$	1,556	2	1,5624
ዲ፼		K	84 ° 15	,3′ 8	5º 21,1'	1,557	1	1,5623
idenz: Jäche		Licht- art	òβ		δ <sub>γ</sub>	β		٢
In2 ne H	Brechender Winkel: α = 30° 25,1΄	Α	20 • 49	.5' 20	) • 57.4′	1.540	1	1.5430
ein		В	20 ° 55	.5' 21	• <b>1</b> .9′	1.542	4	1.5446
nkrech , Ea, 01)		С	20 • 58	,5′ 21	0 5,2'	1,543	1	1,5455
		D	21 º 5	,7′ 21	0 12,9'	1,546	0	1,5486
r se inte		Е	21 º 15	,7′ 21	0 22,5'	1,549	6	1,5520
fü Ka		F	21 º 23	,6′ 21	° 30,8′	1,552	4	1,5550
16 de		G′	21 º 37	,7′ 21	° 45,1′	1,557	4	1,5600
rat nen		h	21 º 46	,5′ 21	• 53,9'	1,560	5	1,5631
ipa recl		н	21 º 52	,3′ 21	° 59,8′	1,562	5	1,5652
Prä B1		K	21 º 53	<b>,7</b> ′ 22	2° 1,5′	1,563	0	1,5658
ungen		Licht- art	α	β	r	γ-α	7-3	β-α
Mess 16		A	1.5346	1,5402	1.5430	0,0084	0,002	8 0,0056
n h	1	В	1,5367	1,5425	1,5446	79	2	L 58
5 u		С	1,5375	1,5433	1,5455	80	2	2 58
aus t 1		D	1,5400	1,5460	1,5486	86`	20	60
ara		E	1,5434	1,5494	1,5520	86	20	6 <b>0</b>
Ver räp		F	1,5463	1,5523	1,5550	87	2	7 60
P		G′	1,5514	1,5573	1,5600	86	2	7 59
an		h	1,5544	1,5604	1,5631	87	2	7 60
Tein		Н	1,5562	1,5624	1,5652	90	28	<b>62</b>
Ver		K	1,5571	1,5631	1.5658	87	2'	7 60
· I	I I	I						8*

Та	h	el	1	e	V
	~	<u><u></u></u>	т	v	

276

Über den Cordierit von Bodenmais haben M. Koch (24), K. ZIMANYI (41) und Des Cloizeaux (6) folgende Bestimmungen veröffentlicht:

α	β	Ŷ	$2 E_{na}$	$2\mathrm{V_{na}}$	Autor
(1,5433	1,5467	1,5490	—	—)	Koch
1,5339	1,5400	1,5440			Zimanyi
1,535	1,541	1,546		84° 28'	Des Cloizeaux.

Nach Kontrollmessungen, die Herr ED. SCHMIDT im Heidelberger Institut (38) an den Koch'schen Originalpräparaten ausführte, sind die eben erwähnten Koch'schen Werte durch folgende Werte zu ersetzen:

 $\alpha = 1,536 \pm 0,001$ ;  $\beta = 1,540$ ;  $\gamma = 1,544 \pm 0,002$ .

Alle diese Daten zeigen wieder, wie groß sogar bei dem gleichen Vorkommen die Unterschiede der optischen Verhältnisse sein können.

## 4. Cordierit von Ceylon.

Die bisher am Cordierit von Ceylon von A. DES CLOIZEAUX (6) und A. OFFRET (28) gefundenen optischen Konstanten lauten:

α	β	γ	2 E <sub>na</sub>	$2\mathrm{V_{na}}$	Autor
1,537	1.542	1.543	125º 26'	$(70^{\circ} 24')$	Des Cloizeaux.
1,5918	1,5970	1,5992	$(109^{\circ} 42')$	64° 00'	Offret

Diese Brechungsexponenten weichen also, wie schon S. 260 angedeutet, durchschnittlich um 5½ Einheiten der zweiten (!) Dezimale voneinander ab, Unterschiede, die um so mehr auffallen, als die Werte für den Achsenwinkel benachbart sind. Die Vermutung, daß es sich bei dem OFFRET'schen Cordierit um einen Ausnahmefall handeln könnte, erwies sich aber bald als irrig, nachdem Herr Professor A. OFFRET in Lyon, wie schon gesagt, die große Liebenswürdigkeit hatte, mir sein ganzes Originalmaterial, bestehend aus 3 Prismen und einem unpräparierten kleinen Stückchen, das ihm zu seinen 1890 ausgeführten Untersuchungen gedient hatte, zu Kontrollmessungen zur Verfügung zu stellen. Die Prismen trugen je 3 Flächen, über deren Orientierung OFFRET schon die nötigen Angaben (28) gemacht hat. Danach liegen zwei Flächen symmetrisch zu einem Pinakoid, während die dritte in der gleichen Zone mit den beiden anderen und zwar symmetrisch zu ihnen angeschliffen worden ist. Jedes

dreiseitige Prisma läuft mit seinen 3 Kanten einer Cordieritkristallachse parallel und erlaubt also je einen Hauptbrechungsindex an drei verschiedenen Kanten zu bestimmen. Ferner ist aber an diesen drei Prismen noch je ein anderer Hauptbrechungsexponent aus der Minimalablenkung zu ermitteln, weil ja ein Symmetrieschnitt dieser Präparate mit einer Symmetrieebene des Cordierits parallel geht. Jeder Brechungsexponent wird also dreimal an einem Prisma, das jedesmal aus drei Präparaten besteht — wenn man so sagen darf — und einmal an einem anderen Prisma, im ganzen also viermal gefunden. Das Material ist sehr rein und die Politur der vollständig ebenen Flächen von ausgezeichneter Beschaffenheit. Die Messungen, über die Tabelle VI Aufschluß gibt, ließen sich daher mit sehr großer Genauigkeit durchführen.

	Brech.Winkel	Doppelte	e Minimala	blenkung	Brechungsexponent		
	a.	2 da	2 83	2 dy	U.	3	ĩ
Präparat 17 .	54° 42,2′	70º 22,7′		71º 28,8'	1,5375	1	1,5450
·, 18.	62º 36,7′			88º 24,0'			1,5453
<b>.</b> 19.	62º 41,7			88º 35,3	1	1	1,5455
<b>,</b> 20 .	54º 27,1'		70º 44,2'	710 1,9'	e de la composición de la comp	1,5431	1,5451
, 21.	62º 58,2'		88º 50,1'		ή,	1.5430	
, 22.	62 <b>º</b> 34,3′		87º 56,9		il.	1,5431	1
, 23.	54° 44,4	70° 29,5′	71º 15,8'		1,5379	1,5430	4
, 24.	62º 45,9'	87º 17,4′	·	1	1,5378		
<i>,</i> 25 .	62º 29,2'	86° 38,9′			1,5378		i
Mittel:					1,5377	1,5430	1,5452
Fehlergrenzen	• • • • •				0.0002	0.0001	0,0003

Tabelle VI.

Vergleicht man hiermit die Angaben OFFRETS, so zeigen sich die schon mehrfach berührten starken Abweichungen. Wie OFFRET zu seinen Zahlen gelangt ist, habe ich nicht ermitteln können, schon weil in der Abhandlung von 1890 zwar die Winkelwerte für die Prismen, aber nicht für die Minimalablenkungen mitgeteilt werden. Für die naheliegende Vermutung einer fehlerhaften Kombination der brechenden Winkel mit den ihnen nicht zukommenden Minimalablenkungen fand ich keine Bestätigung.

Das vierte noch unpräparierte Stückchen dieses Ceyloner Vorkommens trug eine Fläche nahezu senkrecht zur spitzen Bisektrix. Nach Anlegung auch der Gegenfläche (Präp. 26) wurde für Natriumlicht der Achsenwinkel in Luft (2E) und in Wasser (2W) bei 18° gemessen und daraus mit Hilfe des obigen Wertes  $\beta = 1,5430$  der Winkel im Kristall (2V) gefunden:

Berechnet man 2V aus den in Tabelle VI stehenden Mittelwerten der Brechungsexponenten, so ergibt sich  $2V_{na} = -64^{\circ}0'$ , eine Übereinstimmung, die als sehr gut zu bezeichnen ist, denn eine Änderung von  $\beta$  um nur eine Einheit der vierten Dezimale würde schon eine Änderung von 2V im Betrage von  $1^{1/2^{\circ}}$  zur Folge haben.

## 5. Cordierit vom Berg Ibity auf Madagaskar.

Ein von der Heidelberger Akademie der Wissenschaften aus der Dr. KRANTZ'schen Mineralienhandlung stammendes, mir zur Verfügung gestelltes doppelt walnußgroßes Stück dieses unlängst beschriebenen Cordierits von Madagaskar (9) besitzt einen hohen Glanz, verhältnismäßige Reinheit und auch einen sehr kräftigen Pleochroismus mit tiefblauen und gelbbraunen Tönen. Eine beginnende Zersetzung ist an den durch das Material unregelmäßig hindurchziehenden dünnen Streifen von gelblichbraunen Ausscheidungen zu erkennen. Sechsseitig umgrenzte Blättchen, teils aus Hämatit, teils aus einem grünen Glimmer bestehend, treten vereinzelt auf. Auch findet sich an manchen Stellen ein grasgrünes Zersetzungsprodukt, das nicht näher untersucht wurde. Eine schlechte Spaltbarkeit nach (010) ist wohl noch eben zu bemerken, kann aber für eine genauere Orientierung der Präparate kaum benützt werden.

An einem ersten größeren aber nicht besonders reinen Achsenpräparat (Präp. 27) wurde in Natriumlicht gemessen:

$2 E_{BA}$	Ø <sub>1</sub>	b
119º 17'	69° <b>32'</b>	55° 11′,

und mit  $\beta = 1,5469$  (siehe unten) nach KIRCHHOFFS Formel  $2 V_{ns} = 67^{\circ} 10'$  gefunden. Ein Teil dieses großen Präparates 27 wurde bis auf 10 Minuten genau zur spitzen Bisektrix umorientiert (Präp. 28) und führte zu den Werten:

$$2 E_{na} = 117^{\circ} 2', \quad 2 V_{na} = 66^{\circ} 55'.$$

Die Anschleifung einer in der Zone (001): (100) liegenden weiteren Fläche unter  $\alpha = 28^{\circ} 25,1'$  (Präp. 29) erlaubte wiederum die Bestimmung von  $\beta$  und  $\gamma$  durch Beobachtung der senkrechten Inzidenz:

Eine Kontrollmessung 'nach der Minimalablenkungsmethode ergab

$$\delta_{\gamma} = 16^{\circ} 16.5' \pm 0.4', \qquad \gamma = 1.5490 \pm 0.0004$$

Der andere Teil des zerschnittenen großen Stückes (Präp. 27) diente zur Herstellung des Prismas (Präp. 30) mit dem brechenden Winkel  $\alpha = 58^{\circ}55,0'$  und mit symmetrischer Lage zum Pinakoid (010). Auch im durchgehenden Licht wurden an diesem Präparat 30 besonders gute und lichtstarke Bilder beobachtet, die folgende Werte lieferten:

$$\delta_{\alpha} = 39^{\circ} 57.7' \pm 0.2', \qquad \alpha = 1.5406 \pm 0.0001.$$
  
 $\delta_{\gamma} = 40^{\circ} 13.9' \pm 0.4', \qquad \gamma = 1.5479 \pm 0.0001.$ 

Zur Kontrolle der bisherigen Bestimmungen am Cordierit vom Ibity wurde eine zweite Serie von Präparaten (Präp. 31. 32, 33, 34, 35) hergestellt. An dem roh orientierten Präparat 31 wurden folgende Werte ermittelt:

und aus ihnen mit einem  $\beta = 1.5448$  (s. S. 281) gefunden:  $2V_{na} = 66^{\circ} 55'$ . Das bis auf 10 Minuten senkrecht zur spitzen Bisektrix umorientierte Präparat 31 (Präp. 32) ließ ermitteln:  $2E_{na} = 116^{\circ} 51'$ . woraus wiederum mit  $\beta = 1.5448$  gefunden wurde:  $2V_{na} = 66^{\circ} 55'$ . Über weitere Messungen an den Präparaten 33, 34 und 35 gibt Tabelle VII Aufschluß. Die Spaltbilder waren auch hier im auffallenden wie im durchgehenden Licht ausgezeichnet.

Der Cordierit vom Ibity wurde von L. DUPARC, R. SABOT und M. WUNDER (9) optisch untersucht und ergab im Natriumlicht:

1.  $2V_{na} = 75^{\circ}4'$ . 2.  $2V_{na} = 70^{\circ}10'$ .

α	β	γ	
1,5386	1,5439	1,5469	Dupara Subot
1,5399	1,5448	1,5482	Wunder
1,5396	1,5451	1,5485	w under.
1.5406	1,5469	1,5483	Oppophoimer
 1,5395	1,5448	1,5475	oppennenner.
1,5396	1,5451	1,5479 (1	Mittel)

Diese Mittelwerte für  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  stimmen also ziemlich genau mit den von mir in Tabelle VII angegebenen Mittelwerten überein. Aus ihnen berechnet sich aber der von den gemessenen Achsenwinkeln um 18° abweichende Wert: 2 V<sub>na</sub> = 84° 18'.

#### 6. Cordierit von Twedestrand.

Zur Untersuchung kam ein faustgroßes, derbes, der Sammlung des Heidelberger Mineralogisch-petrographischen Instituts entnommenes Stück von dunkelblauer Farbe, dessen eine Seite von schwarzem, fest mit dem Cordierit verwachsenen fast einachsigen Glimmer bedeckt war. Die Zersetzung des Cordierits war schon ziemlich weit vorgeschritten, der Pleochroismus erschien nicht sehr deutlich, und es mußte schon ein großer Teil des Handstückes in kleine Scherben zerschlagen werden, um unter ihnen eine Auswahl zu treffen und die oben S. 263ff. beschriebene Orientierung nach dem Pleochroismus vornehmen zu können. An allen diesen kleinen Stücken war in bestimmter Richtung ein Aufblitzen zu bemerken, das nach mikroskopischen · Untersuchungen von sechseckigen nach der Basis (001) eingelagerten roten Hämatitblättchen herrührte. Dünnschliffe nach der Basis zeigten schöne Zwillingslamellierung nach (110) und (110), die sich auch als Streifung auf den Spaltflächen nach (010) mikroskopisch erkennen ließ.

Die Beschaffenheit des Materials verlangte eine mehrfache Präparation, wenn anders man Aufschlüsse von einiger Sicherheit über seine optischen Verhältnisse erlangen wollte. So

281

Tabelle VII.

	··· ··· ··· ··· ··· ··· ··· ··· ··· ··						
ung: etrie-		Licht- art	2 da	2 dz	a		ß
enk	1	Α	81° 6,6′	82 • 11,9'	1,5335	1.	5399
labl Syn		В	81 º 27,5'	82 • 33,2'	1,5359	1,	5419
10) ;; 1	Proch on Jon	C	81º 39,1′	82 • 34,4'	1,5369	1,	5429
iii = 0)	Winkole	D	82° 7,9′	83 º 13,5′	1,5395	1.	5455
r M nte	winker:	Е	82°44,7′	83° 51,3′	1,5429	1,	5490
Ka ber	$\alpha = 60^{\circ} 21, t$	F	83°17,8′	84 ° 23,8′	1,5459	1,	5519
: 35 de _		G'	84º12,0'	85° 17,8'	1,5509	1,	5568
nen		h	84°44,1′	85° 51,2′	1,5538	1,	5598
äp: ecl		Н	85,° 8,1′	86°16,1′	1,5559	1,	5620
B		K	85°13,7′	86°20,6′	1.5564	1,	5624
idenz: äche		Licht- art	စဲဒု	9 <sup>1</sup>	β		ï
Inzi		A	19º 48,4'	19° 55,1′	1,5387	1,	5413
ine ]		В	19° 53,5′	20° 0,1′	1,5407	1,	5432
ech L; 6	Drechander	С	19° 56,1′	20° 2,8′	1 5417	1,	5442
01) <sub>ي</sub> (1	Winhole	D	20° 3,4'	20º 11,2'	1.5444	1,	5474
nte (0	willkei:	Е	20º12,1'	20° 19,3′	1,5478	1,	550 <b>7</b>
für Ka	$\alpha = 25^{\circ}, 52, 4$	F	20 ° 20,3′	20° 27,1′	1.5509	1,	5535
34 de		Gʻ	20° 33,7′	20°40,8′	1.5560	1	5586
hen		h	20°41 5'	20° 49,0′	1.5589	1,	5618
apa recl		Н	20° 47,9′	20 ° 54,9′	1,5614	1,	5640
B B		K	20°49,9′	20 ° 56,6′	1,5621	1.	5647
idenz: läche		Licht- art	နိဒ္	δ <sub>γ</sub>	β	1	ĩ
e F		Α	19°22.2'	19º 28.9'	1,5397	1,	5423
eine ]		В	19º 25.8'	<b>19º 32</b> ,0′	1.5411	1,	5436
ech ;	Prochandar	С	19° 28,3′	19° <b>34</b> ,7′	1.5421	1.	5446
월 🗌 🖯	Winkel	D	19º 34.7'	19° 41.1′	1.5446	1.	5476
sel (0	willkel.	Е	19° 43.9′	19° 50,8′	1.5484	1,	5510
für Kaı	$a = 25^{\circ} 5,0$	F	19° 51.9′	19° 58.6′	1.5514	1.	5541
33 Je		Gʻ	20° 5.4′	$20$ ° 12.4 $^{\prime}$	1.5567	1.	594
hen		h	20º12.7'	20°19,6'	1,5596	1.3	623
äpa recl		Н	20°17.3′	20 ° 24.5′	1 5614	15	642
B		K	20°18.5′	20 • 26.0'	1,5618	1.5	647
ungen 36.	l	Licht- art	α β	7	ÿ-α	7-5	j-2
ess o u.		Α	1,5335 1.53	94 1,5418	0,0083 0	.0024	0.0049
M R		В	1.5359 1,54	12 1.5434	75	22	53
der 134		С	1.5369 1.54	22 1.5444	75	22	53
aus		D	1.5395 1.54	48 1.5475	80	27	53
ara		E	1.5429 1.54	84 1.5509	81)	25	55 
Wer räp		F	1.5459 1.55	14 1.5538	(9 01	24	00 • 0
n P.		G'	1.5509 1.55	bo 1.5590	81 69	20 57	06
nig der		h i	1.5538 1.55	94 1.0621 16 1.5641	755 6-0	27	00
an		H	1.5559 1.56	10 1.0041	82 62	20 90	)C
, č		K	1.5564 + 1.563	21 1.5647	51	26	57

wurden zunächst fünf Achsenpräparate (36, 37, 38, 39, 40) und dann noch aus einem Teil derselben die Prismen 41, 42, 43 nach der schon mehrfach beschriebenen Weise angefertigt. Die Messungen im Konometer, zum Teil in Wasser, zum Teil in Luft ausgeführt, ergaben:

			2 Ena (2 Hna)	ai	b <sub>1</sub>	$2  V_{na}$
 Präparat	36		82º 46'	42° 6'	40º 36′	680 56'
- ,	36		121º 15'	61° 3′	63º 45′	68º 46'
,	37		121º 35'	63° 5'	60° 1'	68º 54′
,	38		1210 9'	60° 30'	60º 40'	68 <b>º</b> 49′
-	39		82º 50'	47º 50'	49º 33'	70 <b>°</b> 42′
7	40		82º 56'	45º 24'	42°20'	70º 27´

Tabelle VIII.

Mittel . . . .  $2 V = 69^{\circ} 26'$ 

2 V wurde teils nach der KIRCHHOFF'schen Formel, teils, wo die Orientierung es gestattete, nach der SNELLIUS'schen Sinusformel (mit  $\beta = 1,5406$ , s. S. 283) berechnet. Auch hier zeigt sich wieder die schon früher beobachtete Erscheinung, daß die Achsenwinkel an Cordierit desselben Handstückes um etwa 2° verschieden ausfallen. Die Messungsergebnisse an den Prismen sind in Tabelle IX vereinigt.

Bisher wurden nur von MICHEL-LÉVY und LACROIX (26) folgende Bestimmungen des Cordierits von Twedestrand ausgeführt, die um etwa 4 Einheiten der dritten Dezimale, also ziemlich stark von meinen Werten abweichen.

α	β	7	
1,5320	1,5360	1,5390	Michel-Lévy und Lacroix
1,5358	1,5406	1,5428	Oppenheimer.

#### 7. Cordierit von Orijärvi.

Die Sammlung des Heidelberger Mineralogisch-petrographischen Instituts besitzt ein etwa faustgroßes Stück des Cordierits von Orijärvi, das auf der einen Seite eine dünne Schicht von Kupferkieskriställchen trägt. Schon bei oberflächlicher Betrachtung der in kleine Scherben zerschlagenen Stufe erkannte ich die Schwierigkeit, hier brauchbares Material für die Be-

Tabelle IX.

kung: etrie-	1	Licht- art	2δα	2 δβ	a	β
ablenl Symm		A	79° 50,4′	80 ° 44,4′	1,5308	1,5358
		В	80 ° 11,3′	81° 4,9′	1,5327	1,5377
ma] ;; ] 10)	Prochandon	С	80 ° 21,8′	81 º 15,1'	1,5337	1,5383
	Winkel	D	80° 49,4′	81 º 42,2'	1,5363	1,5411
r M nte		Е	81 º 24,8'	82º 19,2'	1,5395	1,5446
s fü Ka ebe	$\alpha = 00^{\circ} 2,1$	F	81 ° 55,0′	82°49,5′	1,5423	1,5474
t 45 de		G′	82°48,4′	83°43,0′	1,5473	1,5523
nen		h	83° 21,8′	84° 15,9′	1,5503	1,5553
äps	-	Н	83º 42,0′	84 ° 38,2′	1,5522	1,5573
4 Å		K	83° 54,0′	84°48,1′	1,5533	1,5582
denz: läche	5  -	Licht- art	δβ	δ <sub>γ</sub>	β	γ
e F		Α	20 ° 45,6'	20 º 30,3′	1,5349	1,5365
te I ein		В	20 º 30,8′	20° 37,3′	1,5369	1,5392
schi b; -	Drachandan	С	20 º 33,9′	20 ° 40,1′	1,5380	1,5403
01) = kr	Winkel	D	20 º 40,4′	20° 47,1′	1,5404	1,5428
sen nte ≓((		Е	20°50,0′	20 º 57,2′	1,5442	1,5464
für Ka	$\alpha = 50^{\circ} 10,0$	F	$20^{\circ}58,7^{\prime}$	21° 4,7′	1,5470	1,5491
42 de		Gʻ	21º11,7'	21 º 18,6′	1,5516	1,5541
rat	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	h	21 º 20,2′	21º 27,3′	1,5547	1,5573
ech		Н	21 º 24,8′	$21^{\circ}32,4'$	1,5564	1,5590
Br Br		K	21 º 27,8'	$21^{\circ}34.7'$	1,5574	1,5599
kung: etrie-		Licht- art	2 d <sub>a</sub>	2 dz	a	β
lenl		A	78° 34,5′	79°26,1′	1,5297	1,5346
syn)		В	78° 58,1′	<b>79º</b> 50,0′	1,5320	1,5368
ma ;; )10	Prochandar	C	<b>79°</b> 7,0′	79° 58,6′	1,5328	1,5377
	Winkel	D	79°34,1′	80º 25.8'	1,5354	1,5402
r M nte ne	50° 21 5'	Е	80° 9,5′	81° 0.9′	1,5387	1,5435
fü Ka ebe	$a = 55^{\circ} 51,5^{\circ}$	F	80° 39,1′	81 º 30,8′	1,5415	1,5464
41 de ]	-	Gʻ	81°31,1′	82°24,1′	1,5464	1.5514
urat	1	h	82° 3,0′	82° 55,7′	1,5494	1.5544
äps		Н	82°23,3′	83º 16,2'	1,5513	1.5562
Br		K	82°31.5′	83º 24,1'	1,5521	1,5569
ungen nd 43		Licht- art	α β	ĩ	η-α η-	·β β-α
essi m		A	1,5302 1,53	51 1,5365	0,0063 0,00	J14 0.0049
n M 45		В	1,5324 1,53	71 1,5392	68 51	21 48
der 41,		C	1,5332 1,538	30 1,5403	/1 70	25 48
en		D	1,5358 1,54(	J6 1.5428	70 72	22 48
te { rat	-	E	1,5391 1.54	1,0464	(ð 70	25 DU
Ver åpa		F 1	1.5419 1.540	0 1 2211	(2 72	22 - DU 22 - EO
te V Pri		Gʻ 1	1,5468 1,551	0 1.5572	75 75	20 00
nig en		h l	1,5498 1,554	1.5500	70 79	20 00
erei 1 d			L,0017 1.000	0 1,0000 7 1,5500	(1) 74)	24 40 33 50
ar		K I	1,5527 1,557	4   T'999a	12	44 DU

Leopold Oppenheimer.

stimmung der optischen Konstanten zu erhalten, denn die Zersetzung des Stückes war schon so weit vorgeschritten, daß nur wenige Stellen einigermaßen klar erschienen. Viele vergebliche Versuche wurden unternommen, um Achsenpräparate aus reinem Material zu gewinnen. Es gelang meistens nur solche von sehr geringer Dicke zu erhalten, die dann zur Anfertigung von Prismen freilich nicht mehr zu verwenden waren. An sechs solcher Achsenpräparate konnten die in Tabelle X angegebenen Werte gemessen werden.

			2 Hna	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	2 V <sub>na</sub>
Präparat	44		$91^{\circ}$ $48^{\prime} \pm 9^{\prime}$	$39^{\circ} 0' \pm 10'$	54° 7' $\pm$ 31'	770 8'
,	45	.	$89^{o}~51^\prime\pm14^\prime$	$50^{\circ}36^{\prime}\pm23^{\prime}$	$45^{\circ} 3' \pm 3'$	<b>75°</b> 25′
7	46	•	97° 1' $\pm$ 27'	$69^{\circ} 50' \pm 37'$	$49^{\circ}40^{\prime}\pm28^{\prime}$	<b>79º</b> 46′
7	47		$99^{o}\ 42^\prime\pm10^\prime$	$80^{o}38^{\prime}\pm24^{\prime}$	$26^{\circ} 6' \pm 36'$	76º 56'
"	48	.	$95^{\circ} 36^{\prime} \pm 2^{\prime}$	$51^{o}13^{\prime}\pm20^{o}$	$44^{\circ}59^{\prime}\pm7^{\prime}$	<b>79º</b> 50'
n	49	.	$91^{o}\ 24^{\prime}\pm18^{\prime}$	$45^{\circ}20^{\prime}\pm5^{\prime}$	46° 16′ ± 8′	<b>76</b> º 40'

Tabelle X.

Abermals sehen wir ein ziemlich starkes Schwanken des Achsenwinkels, das hier indessen teilweise auf die Unreinheit des Materials und die damit zusammenhängende schwierige Bestimmung zurückzuführen ist. Präparat 49 war verhältnismäßig rein und auch etwas dicker als die anderen fünf Präparate. Aus ihm konnten zwei allerdings sehr kleine Prismen mit den brechenden Kanten von 1 und 2 mm Länge (Präp. 50 und 51) orientiert geschliffen werden, die folgende Winkelwerte ergaben:

Prisma 50 für Minimalablenkung:

Brechende Kante von 1 mm Länge parallel c. Symmetrieebene parallel (100),

 $\begin{array}{rcl} 2\,\delta_{\alpha} &=& 79^{0}\,34,2'\,\pm\,0,2' & & 2\,\delta_{\gamma} &=& 80^{0}\,59,1'\,\pm\,1,9' \\ \alpha &=& 1,5332 & & \gamma &=& 1,5413. \end{array}$ 

Brechender Winkel:  $\alpha = 59^{\circ} 42,0'$ ;

Prisma 51 für senkrechte Inzidenz:

Brechende Kante von 2 mm Länge parallel b. Eine Fläche parallel (001),

 $\begin{array}{lll} \delta\beta = 16^{0} \, 48.0' & \delta_{\gamma} = 16^{0} \, 53.9' \\ \beta = 1.5381 & \gamma = 1.5409. \end{array}$ Brechender Winkel:  $\alpha = 26^{\circ} \, 27.4'.$ 

Danach sind die Brechungsexponenten:

 $\alpha = 1,5332, \quad \beta = 1,5381, \quad \gamma = 1,5411.$ 

Da, wie schon gesagt, die Reinheit dieses Heidelberger Materials viel zu wünschen übrig ließ, jedoch der hohe Wert von 2V eine weitere Untersuchung auch nach der chemischen Seite hin wünschenswert machte, so wurde Herr Prof. Dr. RAMSAY in Helsingfors um frisches Material gebeten, der diesem Wunsche auch in dankenswertester Weise entsprach. Der übersandte Cordierit von Orijärvi hatte, abgesehen von einigen etwa parallel (010) hindurchziehenden Zersetzungsbändern, ein sehr reines Aussehen, hohen Glanz und tiefblaue Farbe. Der Pleochroismus war nicht sehr kräftig.

Präparat 52, eine roh nach dem Pleochroismus orientierte Platte, und das aus dieser durch quantitative Orientierung erhaltene Achsenpräparat (Präp. 53) senkrecht zur spitzen Bisektrix konnten zur Ermittlung folgender Werte dienen:

$2\mathrm{W}_{\mathtt{na}}$	$\mathbf{a}_1$	b <sub>1</sub>	$2\mathrm{V_{ua}}$
96º 32'	46° 12'	50° 40'	80° 37'
94º 46'	47° 35'	47° 1'	79º 11'.

Das Mittel aus den beiden mit Hilfe eines  $\beta = 1,5372$  (s. Tab. XII, S. 287) gewonnenen 2V-Werten ist 79°54′ ± 43′, weicht also um etwa 2° von dem wirklichen Achsenwinkel des Heidelberger Materials ab.

Präparat 53 war wegen seiner guten Orientierung und seiner Reinheit zur Bestimmung der Achsendispersion besonders geeignet, wenigstens gelang es, sie ganz sicher zu messen für die Linien B, C, D, E, während ich den Messungen bei F- und G'-Licht geringere Genauigkeit zusprechen kann:

Lichtart	2 Wa	n bei 20º	β (s. S. 287)	2 Va
В	94º 21' + 11'	1,3304	1,5335	<b>79º</b> 2'
C	94º 40' ± 13'	1,3311	1,5347	<b>79º 1</b> 5′
D	95° $8' \pm 18'$	1,3330	1,5372	79º 36′
E	95° 43′ ± 2′	1,3353	1,5402	80° 0'
Ł	$95^{\circ}50'\pm17'$	1,3372	1,5431	80° 2'
G′	$95^{o}36^\prime\pm17^\prime$	1,3404	1,5479	<b>79º</b> 12'

Tabelle XI.

Über weitere Bestimmungen an diesem Orijärvier Material gibt Tabelle XII Aufschluß.

Die bisher an diesem Vorkommen von Des CLOIZEAUX (6) ermittelten Daten für Natriumlicht lauten:

α	β	Ŷ	$2 \mathrm{E}_{\mathtt{n}\mathtt{a}}$	$2\mathrm{V_{na}}$
1,5337	1,5375	1,5400	150° 28'	77° 57′.

Sie stimmen fast genau mit den meinen überein und können daher mit ihnen zu Mittelwerten vereinigt werden. Man erhält:

α	β	γ	$2\mathrm{V_{na}}$	
1,5337	1,5375	1,5400	77° 57′	Des Cloizeaux
1,5332	1,5381	1,5411	$77^{\circ}31^{\prime}$	Oppenheimer
1,5330	1,5372	1,5406	$79^{\circ}44^{\prime}$	"
1,5333	1,5376	1,5406	78º 24'	Mittel.

8. Cordierit von Cabo de Gata.

Von diesem seltenen und wegen seines großen Achsenwinkels besonders interessanten Cordierit von Cabo de Gata besitzt das Heidelberger Institut ein abgerundetes, etwa haselnußgroßes Stückchen von hellblauer Farbe. Der Pleochroismus war wie bei allen weniger tiefgefärbten Vorkommen nicht sehr kräftig, die Reinheit dagegen ausgezeichnet. Die Orientierung bot wegen des schwachen Pleochroismus und des Mangels an Spaltflächen einige Schwierigkeit.

An einem Achsenpräparat (Präp. 56) wurde gemessen:

$2  \mathrm{H_{na}}$	$\mathbf{a_1}$	b <sub>1</sub>
104º 8'	61° 50'	44º 46'.

Tabelle XII.

ومعارك فليتعارض والمستان المتراجع	the second s							
sung: etrie-		Licht- art	28	a	2 dy	α		ĩ
lenl		A	7802	8.51	79° 49.2′	1.52	76	1.5353
lab Sy <sup>1</sup>		B	78 • 4	8,3'	80° 9.2'	1,52	95	1,5376
100 ma	Brechender	C	78 . 5	8,6'	80 ° 18,8'	1,530	04	1,5380
	Winkel	D	79 • 2	4,8′	80° 46,7'	1,53	30	1,5407
ir N nte	a - 590 39 2'	Е	79 • 5	9,51	81 º 21,8'	1,53	33	1,5439
4 fi Ka ebe	u — 00 00,2	F	80 . 3	0,4'	81°53,1′	1,539	91	1,5469
de		Gʻ	81 º 2	3,3′	82°46,9′	1,544	41	1,5519
ara hen		h	81 . 5	4,7′	83°19,0′	1,547	71	1,5549
rec		н	82 0 1	5,71	83°41,4′	1,549	90	1,5569
é, é		K	82 • 24	4,0'	83°48,6′	1,549	97	1,5576
zidenz: Jäche		Licht- art	15	3	۶ <sup>6</sup> .	ß		ĩ
In le H		Α	18014	1,5'	18º 21,9'	1,532	9	1,5360
hte ein		В	18º 15	,9' '	18º 23,4'	1,533	5	1,5367
b;	Brechender	c	18º 18	3,8'	18º 26,3'	1,534	7	1,5379
901) ank	Winkel	D	18º 24	,6'	18º 32,4′	1,537	2	1,5404
r se ll(C	$a = 28^{\circ} 13.6'$	Е	18º 31	,8'	18° 39,9′	1,540	2	1,5436
fü Ka	u — 20 10,0	F	18•38	3,71	18° 47,0′	1,543	1	1,5466
55 de		G′	<b>18°</b> 50	<b>,1′</b>   :	18° 58,5′	1,547	9	1,5514
rat		h	18° 57	,5'	19°5,5′	1,551	0	1,5543
rech		н	19°2	, <b>3′</b>   :	19º10,2'	1,553	0	1,5563
BB		K	19° 3	,9′ [ ]	19°12,1′	1,553	7	1,5571
ungen		Licht- art	α	β	1	-γ <b>-</b> α	γ-β	β-a
55		А	1,5276	1.5318	8 1,5351	0,0075	0,0033	0,0042
n M		В	1.5294	1,5338	5 1,5369	75	34	41
dei 4 u		С	1,5304	1,5347	7 1,5379	75	32	43
t 5		D	1,5330	1,5372	2 1,5406	76	34	42
ara		Е	1,5363	1,5402	2 1,5438	75	36	39
/ert räp		F	1,5391	1,5431	1,5468	77	37	40
Pr		Gʻ	1,5441	1,5479	) 1,5517	76	38	38
an an		h	1,5471	1,5510	1,5546	75	36	39
ein		Н	1,5490	1,5530	)   1,5566	76	36	40
Ver		K	1,5497	1,5537	7 1,5574	77	37	40
·					1 1			

Daraus ergibt sich mit  $\beta = 1,5391$  (s. S. 288) nach KIRCHHOFFS Formel  $2V_{na} = 85^{\circ} 34'$ . Präparat 56 wurde zerschnitten und der eine Teil durch Umorientierung und Anschleifen einer Prismenfläche in der Zone (001):(100) in Präparat 57 verwandelt, an dem durch senkrechte Inzidenz  $\beta$  und  $\gamma$  bestimmt werden konnte. An dem andern Teil (Präp. 55) erfolgte wieder die Bestimmung von  $\alpha$  und  $\beta$  durch Beobachtung der Minimalablenkung. Tabelle XIII enthält die betreffenden Werte.

Die von A. OSANN ebenfalls im Heidelberger Institut teil-

				-	_			-		
cung: etrie-		Licht- art	2δα			2 δ <sub>β</sub>	a			β
en nm		A	80º 16.	5'	81	• 4.5'	1.5289		1.	5333
labl Syr )		B	80°40,	7'	81	• 31.9′	1,5311		1.	5359
mal 3; 10)	Brachandar	c	80 • 49.	5'	81	• 39.9′	1,5319	)	1.	<b>536</b> 6
ii	Winkel	D	81º17.	4'	82	• 8,6′	1.5340	5	1.	5392
r M nte sne	$a = 60^{\circ} 23.7'$	Е	81 º 53,	2'	82	• 44,2'	1,5378	3	1,	5424
8 fü Ka ebe	a — 00° 10,1	F	82º 23,	1'	83	• 16,6′	1,5405	5	1,	5454
t 5 <u>5</u> de		Gʻ	83º16,	0′	84	• 8,7′	1,5453	3	1,	5501
ara hen		h	83°51,	0′	84	• 44,9′	1,5485	5	1,	5534
räp rec		Н	84º10,	1′	85	• 1,8′	1,5508	}	1,	5549
d A		К	84º17,	6'	85	• 9,9′	1,5511		1,	5556
zidenz: läche		Licht- art	δβ			δ <sub>γ</sub>	β			ĩ
e Fi		A	22 º 36.	7'	22	• 50.7′	1.5333	3	1.	5376
hte eine		В	22 • 44.	2'	22	• 58.0′	1,5355	5	1,	5398
a;	Brechender	C	22 º 47,	4'	23	• 1,5'	1,5369	)	1	5409
enk    -  01)	Winkel:	D	22 º 55,	3'	23	• 8,8'	1,5390	)	1,	5432
r so unte ≓(C	$a = 32^{\circ}13.3'$	Е	23° 7,	1'	23	° 20,4′	1,5426	3	1,	5468
fü Ka		F	23º 15,	9'	23	° 29,0	1,5454	Ł	1,	5494
57 ide		G′	23º 31,	5'	23	° 45,3′	1,5502	2	1,	5544
hen		h	23º 40,	8'	23	٥ 54,8'	1,5531	L	1,	5573
ipa rec		H	23º 46,	3′	24	• 0,6′	1,5547	7	1,	5590
B		K	23º 47,	6'	24	• 1,3′	1,5551	L	1,	5593
		Licht- art	α		3	Ŷ	γ-a	۲	-β	β-α
Mes. 58		A	1,5289	1,58	333	1,5376	0,0087	0,0	043	0,0044
[ ua		В	1,5311	1,5	357	1,5398	87		41	46
57 n		C	1,5319	1,58	867	1,5409	90		42	48
aus t 7		D	1,5346	1,58	891	1,5432	86		41	45
ara		Е	1,5378	1,54	125	1,5468	90		43	47
Weı räp		F	1,5405	1,54	154	1,5494	89		40	49
P		Gʻ	1,5453	1,53	501	1,5544	91		43	48
an		h	1,5485	1,58	533	1,5573	88		40	48
rei		н	1,5503	1,55	548	1,5590	87		42	45
Ve		K	1,5511	1,55	554	1,5593	82		39	43

Tabelle XIII.

weise ausgeführte optische Untersuchung dieses Cordierits (29) ergab:

$2~\mathrm{H_{na}}$	$2\mathrm{V_{na}}$	β	n
91° 6′	85° 50'	1,5438	1,7425.

Eine Zusammenfassung kann höchstens für den wirklichen Achsenwinkel geschehen, so daß  $2V_{na} = 85^{\circ} 42' \pm 8'$ .

Eine weitere optische Untersuchung, und wenn diese übereinstimmend mit den obigen Werten ausgefallen wäre, auch eine neue Analyse, würde bei diesem Cordierit sehr erwünscht gewesen sein. Indessen gelang es mir nicht, trotz mehrfacher Bemühung, eine größere Menge reinen Materials zu erhalten. Eine von der KRANTZ'schen Mineralienhandlung bezogene und mir von der Akademie der Wissenschaften in Heidelberg überlassene Stufe tief violett gefärbten Cordierits bestand aus Körnern bis zu 1/2 ccm Größe, die reichlich von fest anhaftendem Quarz umschlossen und durchwachsen waren. Ihre geringe Größe und ihre Unreinheit erlaubten nur, eine Bestimmung des Achsenwinkels vorzunehmen. So wurde in einem Körnchen mit guter basaler Absonderung ein dieser Basis parallel laufendes Plättchen von 1/2 mm Dicke angefertigt und auf wenige Minuten genau orientiert. Einige Messungen im Natriumlicht ergaben als Mittelwert:  $2 W^{na} = 104^{\circ} 30'$ , aus dem sich mit  $\beta = 1,5391$  (s. Tab. XIII)  $2V_{ne} = 86^{\circ}26'$  berechnet.

#### 9. Cordierit vom Ural.

Neuerdings hat G. HOVERMANN (20) zum Zwecke der Beobachtung der optischen Verhältnisse bei Einwirkung von Radiumstrahlen die Brechungsexponenten eines Cordierits vom Ural mit dem Totalreflektometer festgestellt und gefunden:

Lichtart	9.	β	ĩ	2 V <sub>a</sub>	y-a	· 7-3	3-0.
Li Na Ti	1,5369 1,5407 1,5422	1,5429 1,5464	1,5453 1,5486 1,5514	64º 24' 62º 32'	0,0084 79 81	0,0024	0,0060 57 57

Tabelle XIV.

Dieser Cordierit ist also nach Achsenwinkel, Licht- und Doppelbrechung zwischen das Vorkommen von Haddam und Guilford County zu stellen.

19

Verhandl. d. Heidelb. Naturh.-Med. Vereins. N. F. XIII. Bd.

# Zusammenfassung der optischen Bestimmungen.

Zum Vergleich sind in Tabelle XV, S. 291, alle bis jetzt gemessenen optischen Konstanten des Cordierits für Natriumlicht, nach der Größe des Achsenwinkels geordnet, zusammengefaßt. Die Werte des gleichen Vorkommens sind, auch wenn sie stark voneinander abweichen, untereinander gestellt. Unter 2 W ist der Achsenwinkel in Wasser, oder bei Nr. 11 und Nr. 20 in öl, angegeben. Der wirkliche Achsenwinkel ist überall, auch da, wo in der Literatur nur der scheinbare angegeben war, berechnet. Die nicht in der Literatur angegebenen von mir berechneten Werte sind in Klammern gesetzt.

Aus Tabelle XV ist ersichtlich, daß die Größe der Achsenwinkel über der spitzen Bisektrix wächst, wenn die Lichtbrechung abnimmt. Und zwar steigt 2 V von 40° bis 86°, während die Lichtbrechung im mittleren Werte  $\frac{\alpha + \beta + \gamma}{3}$  von 1,5588 bis 1,5390, also um 0,0198 fällt. Auch bei der Doppelbrechung läßt sich trotz mancher Unregelmäßigkeit sagen, daß  $\gamma - \alpha$  bei steigendem Achsenwinkel ungefähr konstant ist,  $\gamma - \beta$  zunimmt,  $\beta - \alpha$  abnimmt.

Alle diese Verhältnisse sollen durch die Figur 3 deutlicher gemacht werden.



Vorkom	nen	8	В	٠.	ъ-).	γ-β	8–8	2 Ena	2 W <sub>иа</sub>	2 V <sub>па</sub> aus 2 E (2W)	$2 V_{na}$ aus $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$	Autor
1. Haddan	n	1,5523	1,5615	1,5627	0,0104	0,0012	0,0092	63•30′	(46°30')	(39°24')	39°36'	Des Cloizeaux
2. Haddar	n	1,5520	1,5599	1,5610	90	Ħ	62	70°30′	51°18′	43°26′	$40^{\circ} 46$	Oppenheimer
3. Ural		1,5407	1,5464	1,5486	62	83	57	I	I	]	62°38′	Hövermann
4. Guilford	ų	1,5403	1,5460	1,5483	80	23	57	112°26′	77° 2'	64°57′	$64^{\circ}36'$	<b>Oppenheimer</b>
5. Ceylon		1,5377	1,5430	1,5452	74	21	53	108°27′	75°17′	63°24′	64°58′	:
6,	<u>.</u>	1,537	1,542	1,543	60	10	50	124°44′	(84°24')	(71° 0′)	70°23′	Des Cloizeaux
7. Bodenn	nais	1,536	1,540	1,544	80	<del>1</del> 0	0F	1	ļ	I		Schmidt, Ed. (Koch-
												sche Präp.)
8. "(Ma	ucher)	1,5400	1,5460	1,5486	98	26	09	113° 45'	77 • 50'	65°36′	$66 \circ 24'$	Oppenheimer
9. ,,		1,5349	1,5400	1,5440	16	0 <del>1</del>	51		1	1	(83°2')	Zimanyi
10. " (Hu	(llbg.)	1,5332	1,5397	1,5429	97	32	65	123°26′	89° 4'	74°48′	69 • 48'	Oppenheimer
11. "		1,535	1,541	1,546	110	50	60	I	(101 ° 16')	83°57'	84°28′	Des Cloizeaux
12. Ibity		1,5400	1,5458	1,5479	62	2	58	116°38′	79°30′	66°56′	61°42′	Oppenheimer
13. "		1,5394	1,5446	1,5479	85	ŝ	52	(122°24′)	(86°39') <sup>2</sup>	72°37′	74° 0'	Dupare, Sabot, Wunder
14. Twedes	trand	1,5358	1,5406	1,5428	20	<u></u> ?}	48	122°40'	82°20'	69 • 26'	67°36′	Oppenheimer
15. "		1,532	1,536	1,539	20	30	40	I	1	1	(81°44')	Michel-Lévy u. Lacroix
16. Urijärv		1,5332	1,5381	1,5411	62	30	49	148°42'	92°30'	77°31′	75°20'	Onnenheimer
(Hdlb <sub>l</sub>	g.)										ì	
17. "		1,5337	1,5375	1,5400	3	25	38	150°28′	(92°44') <sup>3</sup>	(77° 44')	77°57′	Des Cloizeaux
18. " (11	elsing-	1,5330	1,5372	1,5406	76	34	다 다	161°34′	) 95°32'	79° 54'	83°35′	Oppenheimer
fors)												
19. ('abo d	e Gata	1,5346	1,5391	1,5432	86 8	Ħ	<u>45</u>	I	103°18'	85°34′	87°12′	:
t 20. ,		I	1,5438	1	ł	1	I	1	(104° 6') <sup>4</sup>	85°50'	I.	Osann
<b>*</b> 21. " (K.	rantz)		ļ	1	1		1	I	104.30	86•26'	I	Oppenheimer
Anı in Mandelö	merkun il (n =	gen: <sup>1</sup> G 1,4725):	emessen i 91°6'.	n Ül: 89°	25'	Gemessen	ı in Bron	ınaphthalin	: 64° 42′.	<sup>3</sup> Gemess	sen in Öl:	82° 21′. — <sup>4</sup> Gemessen

Untersuchungen an Cordierit.

.

35]

Tabelle XV.

291

# Der Pleochroismus des Cordierits.

Der erste Forscher, der sich mit dem deutlich hervortretenden Pleochroismus des Cordierits beschäftigte, war W. HAIDINGER (14, 15). Die Veröffentlichungen geschahen in zwei, im Jahre 1846 kurz aufeinanderfolgenden Abhandlungen. In der ersten Schrift (14) gibt HAIDINGER eine Absorption c > b > a an, wonach in der Richtung des kleinsten Vektors der Indikatrix das Licht am stärksten absorbiert werde. In der zweiten Arbeit (15) veröffentlicht er eine Reihe von Untersuchungen verschiedener Cordierite, aus denen das Verhältnis der Absorption b > c > a hervorgeht (s. obige Figur 1, S. 262) und verbessert den Irrtum, der der ersten Veröffentlichung zugrunde gelegen habe, ausdrücklich mit der Bemerkung, er sei lediglich dem Umstande zuzuschreiben, daß bei den zuerst untersuchten Stücken die kristallographische Orientierung gefehlt habe und eine optische Orientierung unterlassen worden sei. Durch spätere in der Literatur gemachte Angaben ist eine neue Unklarheit über die Absorption bei Cordierit entstanden. So finden sich bei A. v. LASAULX über den Cordierit vom Laacher See (25) folgende Angaben:

> a = hellgelb, fast farblos, b = gelblich-graublau, c = leicht himmelblau.

wo man im Zweifel sein kann, ob der gelblich-graublaue oder der leicht himmelblaue Ton für die stärkere Absorption anzusprechen ist. Wahrscheinlich ist c > b > a gemeint. Ferner sagt O. B. BOGGILD (1) von dem in einem grönländischen Pegmatit von Ujordlersuak vorkommenden Cordierit:

> $\mathfrak{a} = \mathrm{schwach}$  gelblichweiß,  $\mathfrak{b} = \mathrm{lichtgraublau},$  $\mathfrak{c} = \mathrm{dunkelblau}.$

was auch zu der Auffassung  $c > \mathfrak{b} > \mathfrak{a}$  führen kann. Bei beiden Angaben handelt es sich wohl um Bestimmungen an Dünnschliffen, die aus cordierithaltigem Gestein hergestellt sind. Auch wenn die Kriställchen genau senkrecht zu den optischen Symmetrieachsen getroffen sind, so mögen bei Dünnschliffdicke die Unterschiede in den Farbentönen wohl so gering werden, daß eine Verwechslung nicht ausgeschlossen ist. Sicherlich auf

einem Irrtum beruhen die Angaben in den beiden ältesten Auflagen der ROSENBUSCH'schen Physiographie (31), die in den späteren Auflagen verbessert wurden, denn dort ist für alle erwähnten Vorkommen, nämlich von Bodenmais, Orjärvi, Arendal, Haddam, Smiutak, c > b > a verzeichnet, und noch in der neuesten Auflage von DANA'S System of Mineralogy (4) sowie bei HINTZE (19) findet man die gleiche ältere HAIDINGER'sche Bestimmung. Diese schwankenden Angaben in der Literatur mögen G. Höver-MANN veranlaßt haben (20, Anm. S. 384), die Absorption des Cordierits im allgemeinen als c > b > a anzunehmen und sowohl eigene Bestimmungen (b > c > a), wie auch solche von E. Hus-SAK (21), OSANN (29), BRAUNS (3), wozu dann auch noch die Angaben von DUPARC etc. (9) und H. V. GRABER (13) zu stellen wären, als Ausnahmen darzustellen. Es wird also von G. Höver-MANN angenommen, daß verschiedenen Cordieriten nicht allein eine verschiedene Tönung der Achsenfarben zukommt, sondern daß auch zwei verschiedene Arten der Absorption auftreten. Um hierüber Gewißheit zu erlangen, habe ich an sechs von den acht untersuchten Cordieriten qualitative Absorptionsbestimmungen an dicken Präparaten gemacht. Überall wurde die Absorption b > c > a gefunden. Zur genauen Festlegung der Absorptionsverhältnisse wurden von allem einigermaßen reinen und brauchbaren Material möglichst umfangreiche -- 2 bis 6 mm große --- Würfelchen bzw. Parallelepipede geschliffen, deren Flächen den Pinakoiden parallel laufen. Nach Feststellung der Lage der optischen Achsenebene verglich ich dann sowohl die Flächen-farben, wie auch mit Hilfe eines NIKOL'schen Prismas die Achsenfarben mit den Farbentafeln von P. KLINKSIECK und TH. VALETTE (23). Die Zahlen in Tabelle XVI, S. 294 beziehen sich auf diesen KLINKSIECK und VALETTE'schen "Code des Couleurs".

(Siehe Tabelle XVI, Seite 294.)

## Chemische Untersuchungen.

In der Literatur sind wohl zahlreiche Analysen von Cordieriten der verschiedensten Fundorte angegeben, die alle eine ziemliche Übereinstimmung im Kieselsäure- und Tonerdegehalt, eine etwas größere Schwankung im Eisen- und Magnesiagehalt und auch im Wassergehalt aufweisen. Manche der Analysen wurden

	Dicke des Präpa-	ł	Jächenfarben auf:			Achsenfarben :	
Vorkommen	rates in der Richtung der:	001	100	010	a	þ	c
Haddam .	$ \begin{array}{c} \text{a-Achse} \\ \text{b-} \\ \text{c-} \\ \end{array} \right) 2,5 \text{ mm} $	462 Hellblauviolett mit einem Stich ins Graue	453 <b>A</b> weißlich blau- grau	472 hellblaugrau	128 A hellorange mit einem Stich ins Graue	456 dunkelblauviolett	471 hellblauviolett
Guilford	a Achse b- " } 4 mm c- "	476 intensiv blau- violett mit viel Violett	497 hellblaugrau- violett	222 gelblichgrau	146 hellorange	477 $\langle \mathfrak{b} \langle 478$ dunkelblaugrau- violett mit viel Schwarz	476 intensiv blau- violett mit viel Violett
Bodenmais .	a-Achse = 4 mm b- , = 5 , c- , = 2,5,	477 intensiv dunkel- blauviolett mit etwas Schwarz	522 hellgrauviolett m. reichlich Violett	128 D hellorange mit Stich ins Graue	128 G etwas heller	478 dunkelblauviolett mit viel Schwarz	477 < c < 478 etwas weniger Schwarz vor- handen
Ibily	a-Achse) b- " 6 mm c- "	477 intensiv dunkel- blauviolett mit etwas Schwarz	128 C hellorange mit einem Stich ins Graue	128 D ctwas dunkler	128 D ebenso	477 intensiv dunkel- blauviolett mit etwas Schwarz	476 intensiv blau- violett mit viel Violett
Twedestrand	a-Achse) b- "   4 mm c- "	477 < 001 < 478 dunkelblauviolett mit viel Schwarz	222 gelblichgrau mit einem Stich ins Grüne	248 dunkelgelbgrau mit einem Stich ins Grüne	242 dasselbe wie 248, doch weniger gelb	478 dunkelblauviolett mit viel Schwarz	477 intensiv dunkel- blauviolett mit etwas Schwarz
Orijārvi .	$\left. \begin{array}{c} a - A chse \\ b - & \\ c - & \\ \end{array} \right\} \in mm$	476 intensiv dunkel- blauviolett mit viel Violett	522 hellgrauviolett mit reichlich Violett	498 hellblauviolett mit viel Grau	128 C hellorange mit einem Stich ins Graue	478 dunkelblauviolett mit viel Schwarz	477 intensiv dunkel- blauviolett mit etwas Schwarz

294

Tabelle XVI.

allem Anschein nach an Material von unreiner Beschaffenheit ausgeführt und lassen also den Wassergehalt sehr wohl auf Zersetzungsprodukte zurückführen, wie das bei der Aufstellung der Formeln durch RAMMELSBERG (30), SHIMIDSU (22), ROSEN-BUSCH-WULFING (32) geschehen sein mag. Andere Analysen ent-stammen einer Zeit, wo auf die Bestimmung der Oxydationsstufe des Eisens noch nicht allzuviel Rücksicht genommen wurde. So mag wohl in manchen Fällen alles Eisen analytisch als Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bestimmt und nachher in FeO umgerechnet worden sein. Auch die Bestimmung der Alkalien ist früher nur vereinzelt vorgenommen worden, obgleich mit großer Wahrscheinlichkeit in allen Cordieriten Alkalien vorhanden sind. Eine besondere Aufmerksamkeit mußte der Frage nach dem Wassergehalt zugewandt. werden, die nur durch Anwendung der besten analytischen Methoden an einwandfrei frischem Material beantwortet werden konnte. Da der jüngst verstorbene Prof. Dr. M. DITTRICH in Heidelberg die Analysen übernommen hatte, war an der Richtigkeit der Methoden nicht zu zweifeln, hat sich doch DITTRICH um die Mineralanalyse überhaupt (7) und den Ausbau der so ausgezeichneten SIPOCZ'schen Wasserbestimmungsmethode ein besonderes Verdienst erworben (8).

Bei der Auswahl der vier der Analyse unterworfenen Cordierite von Haddam, Bodenmais, Twedestrand und Orijärvi leiteten mich besonders die optischen Befunde. Ganz besondere Schwierigkeiten stellten sich bei der Auslese von reinem Material des Cordierits von Twedestrand in den Weg. Nach Zerkleinerung eines 3 ccm großen Brockens und einiger kleinerer Stücke auf 1 mm Korngröße waren die meisten Körnchen noch mit zersetzten braunen Cordieriten verwachsen, die erst bei einer Korngröße von 1/2 mm wenigstens zu einem größeren Teil getrennt werden konnten. Von der Annahme ausgehend, daß diese etwas bräunlich, gelblich, oft auch grünlich gefärbten Splitter mit der augenscheinlich beginnenden Zersetzung schon eine merkbare Änderung im spezifischen Gewicht erlangt haben könnten, wurden an diesem Pulver Trennungsversuche mit THOULET'scher Lösung und auch mit Bromoform unternommen. Indessen gelangte ich zu keinem brauchbaren Resultat und war daher gezwungen, das zur Analyse geeignete Material durch mühsames Auslesen zu gewinnen. Hierzu wurde ein angefeuchtetes, zugespitztes Streich-hölzchen mit einem Körnchen in Berührung gebracht und dann

in ein Schälchen mit Wasser getaucht, wo das anhaftende Körnchen alsbald zu Boden fiel. So gelang es, nach 40 Stunden  $3\frac{1}{2}$  g äußerst reines Material des Cordierits von Twedestrand zu isolieren.

Etwas leichter gestaltete sich diese Isolierung bei den drei anderen Cordieriten von Haddam, Bodenmais und Orijärvi, weil die Zersetzung das Material noch nicht so innig durchdrungen hatte. Es genügte eine Zerkleinerung auf 2-3 mm Korngröße, um verhältnismäßig schnell zu je vier Gramm vollkommen einwandfreiem Material zu gelangen. Zu der Wahl gerade dieser vier Cordierite von Haddam, Bodenmais, Twedestrand, Orijärvi sei noch bemerkt, daß sie, wie schon S. 261 gesagt, unter Berücksichtigung der daran gefundenen optischen Eigenschaften erfolgte, daß aber auch noch andere Gründe in Betracht kamen. Von dem Twedestrander Cordierit war überhaupt noch keine Analyse vorhanden, von den Cordieriten von Bodenmais und Orijärvi existieren nur ganz alte Analysen von STROMEYER (34) aus dem Jahre 1821 und von GMELIN (12) aus dem Jahre 1815. Der Cordierit von Haddam ist zwar 1892 von O. C. FARRINGTON sorgfältig untersucht worden (10), aber das an meinen Stücken bestimmte spezifische Gewicht (2,660) zeigte gegenüber dem von FARRINGTON ge-fundenen (2,610) eine im Verhältnis zu der geringen Abweichung der spezifischen Gewichte in der ganzen Cordieritreihe (2,571 bis 2,660) bemerkenswerte Abweichung. In der Tat war auch mein Material etwas anders zusammengesetzt, insofern dem höheren spezifischen Gewicht entsprechend auch ein etwas höherer Eisengehalt ermittelt werden konnte. Sehr erwünscht wäre noch eine Analyse des Cordierits von Cabo de Gata gewesen, weil dieses Vorkommen sich durch einen ungewöhnlich großen Achsenwinkel auszeichnet. Jedoch war es unmöglich, brauchbares Material von diesem Vorkommen zu erhalten. In der folgenden Tabelle XVII sind alle Resultate der DITTRICH'schen Analysen aufgeführt, denen zum Vergleich auch noch die FARRINGTON'schen Analysen des Cordierits von Haddam und von Guilford County (10) sowie die DUPARC, SABOT, WUNDER'sche Analyse des Cordierits vom Ibity (9) beigefügt sind.

Zu der DITTRICH'schen Analyse von Haddam (Tab. XVII, S. 297) sei bemerkt, daß die FeO-Bestimmung doppelt ausgeführt wurde und die Werte 6,63 % und 5,53 % FeO ergab. Da aber die Summe der Zahlen für FeO + MgO bei allen obigen Analysen sehr konstant, etwa 15,5 % ist, so habe ich den hiermit übereinstimmenden größeren Wert für FeO bevorzugt und ihn in der Tabelle XVII eingeführt.

	Haddam (Dittrich)	Haddam (Farring- ton)	Guilford (Farring- ton)	Ibity (Duparc etc.)	Boden- mais (Dittrich)	Twede- strand (Dittrich)	Orijärvi (Dittrich)
SiO <sub>2</sub> TiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> FeO MnO CaO MgO K <sub>2</sub> O Na <sub>2</sub> O Li <sub>2</sub> O H <sub>2</sub> O bis 110 <sup>9</sup> H <sub>2</sub> O bis 110 <sup>9</sup>	48,17 % 	49,14 % 32,84 , 0,63 , 5,04 , 0,19 , 10,40 , 	49,50 % 	49,05 % 33,08 , 0,83 , 4,38 ,  11,04 ,  1.64 -	48,58 % 	49,18 % 	49,47 % 33,18 , 1,15 , 4,53 , 10,80 , 0,04 , 0,04 , 1,16 , 1,16 ,

Т	ab	elle	• X'	VII
-	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	0110	_	

Summe . . 100,51 % 100,08 % 100,34 % 100,02 % 99,79 % 99,80 % 100,54 %

Diese Analysenergebnisse gewähren mehrfach interessante Aufschlüsse über die chemische Natur des Cordierits. Es kann nicht mehr daran gezweifelt werden, daß das Eisen in beiden Oxydationsstufen, zum kleineren Teil in der Oxydstufe, zum größeren Teil in der Oxydulstufe, auftritt. Auch sind Kalium und Natrium in vielen Cordieriten vorhanden, und Lithium wenigstens spurenweise nachweisbar. Ferner ist das von FAR-RINGTON (10) zuerst an frischen Cordieriten gefundene Wasser hier von neuem aufgedeckt worden und wird wohl nun nicht mehr aus der Cordieritreihe verschwinden.

Wie aber lautet diese Formel im einzelnen nach den Ergebnissen der neuen Analysen? — Vereinigt man

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

FeO mit MgO und MnO,

K<sub>2</sub>O mit Na<sub>2</sub>O und H<sub>2</sub>O,

so stellen sich die auf 100 % umgerechneten Analysen und deren Molekularproportionen folgendermaßen dar:

Tabelle XVIII.

	1	Gewichts	prozente		Mo	olekularpı	roportione	en
	Haddam	Boden- mais	Twede- strand	Orijärvi	<b>Ha</b> ddam	Boden- mais	Twede- strand	Orijärvi
SiO <sub>2</sub>	50,32 %	50,30 º/o	50,59 º/o	50,50 %	8345	8342	8389	8376
$Al_2O_3$	34,85 "	33,81 "	33,25 "	34,63 "	3410	3308	3254	3399
MgO	13,14 "	13,90 ,	13,91 "	13,62 "	3259	3449	3449	3378
$H_{2}O$	1,69 "	1,99 "	2,25 "	1,25 "	939	1103	1250	691

Knüpft man an die bis dahin aufgestellten Cordieritformeln an, so müssen solche ohne Wassergehalt ausscheiden, oder nach dieser Richtung hin ergänzt werden. Es sind also zu streichen:

$8 \operatorname{SiO}_2 \cdot 3 \operatorname{Al}_2 \operatorname{O}_3 \cdot 3 \operatorname{MgO}$	Osann (29)
$7^{1}_{2}$ SiO <sub>2</sub> · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 3 MgO	Rosenbusch-Wülfing I $(32)$
$5 \operatorname{SiO}_2 \cdot 2 \operatorname{Al}_2 \operatorname{O}_3 \cdot 2 \operatorname{MgO}$	Rammelsberg $(30)$ , Shimidsu $(22)$ ,

und es bleibt im Anschluß an die Molekularproportionen der Tabelle XVIII nur die Entscheidung zwischen folgenden Formeln übrig:

I.  $10 \text{ SiO}_2 \cdot 4 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{ MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$  Farrington (10) II.  $8 \text{ SiO}_2 \cdot 3 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{ MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ III.  $15 \text{ SiO}_2 \cdot 6 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{ MgO} \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$ .

Zum besseren Vergleich sind in Tabelle XIX diese drei besten Formeln in Gewichtsprozente umgerechnet und den Mittelwerten aus sieben Analysen gegenübergestellt.

	Mittel aus den sieben Analysen der Tabelle XVII auf S. 297	I. 10SiO <sub>2</sub> •4Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> • 4MgO•H <sub>2</sub> O	II. 8 SiO₂•3 Al₂O₃• 3 MgO•H₂O	III. 15 SiO₂•6 Al₂O₃• 6 MgO•2 H₂O
$\begin{array}{c} \mathrm{SiO_2} \\ \mathrm{Al_2O_3} \\ \mathrm{MgO} \\ \mathrm{H_2O} \end{array}$	50,40 % 34,14 , 13,69 , 1,77 ,	50,63 % 34,32 , 13,54 , 1,51 ,	51,98 % 33,04 , 13,04 , 1,94 ,	50,37 % 34,15 , 13,47 , 2,01 ,
	100,00 %	100,00 º/o	100,00 º/o	100,00 °/ <sub>0</sub>

Tabelle XIX.

298

Die Unterschiede zwischen diesen drei Formeln sind nicht sehr bedeutend. Auch wegen der Einfachheit der Molekularverhältnisse möchte ich der Formel I

## $10 SiO_2 \cdot 4 Al_2O_3 \cdot 4 MgO \cdot H_2O$

den Vorzug geben. Indessen sei gleich bemerkt, daß eine einzige solche Formel die chemischen Verhältnisse bei Cordierit doch wohl nicht ganz genau wiedergeben kann, da der Wassergehalt auch bei den aus reinstem Material bestehenden Cordieriten, die den DITTRICH'schen Analysen zugrunde liegen, recht erheblichen Schwankungen unterworfen ist. F. ZAMBONINI (40) hat die Vermutung ausgesprochen, dieser wechselnde Wassergehalt sei darauf zurückzuführen, daß nur ein Teil des Wassers Konstitutionswasser, der übrige Teil aber durch irgendwelche komplizierte, noch unbekannte Vorgänge in dem Material adsorbiert sei. Diese Verhältnisse lassen sich aber wohl nur aufklären, wenn außer dem Wassergehalt auch der Gehalt an Alkalien noch bei vielen anderen Cordieriten genau ermittelt worden ist.

## Ergebnisse.

Bei der geringen Schwankung in der Zusammensetzung der Cordierite ist es nicht leicht, Beziehungen zwischen dem stoff-lichen Bestand, dem spezifischen Gewicht und dem optischen Verhalten aufzudecken. Indessen kann man doch trotz vieler Unregelmäßigkeiten im Verlauf dieser Beziehungen so viel erkennen, daß auch hier wie bei so vielen anderen Mineralien das spezifische Gewicht mit dem Eisengehalt zunimmt. Da ferner das optische Verhalten, wie es besonders in der Größe des Achsenwinkels und der Brechungsexponenten zum Ausdruck kommt. eine zwar deutliche, aber wegen nicht genügender analytischer Untersuchungen doch nicht stetig verlaufende Funktion des Eisengehaltes ist, so muß sich auch das spezifische Gewicht verwerten lassen, um die Beziehungen zwischen Eisengehalt und Achsenwinkel aufzudecken. Die Ermittlung des spezifischen Gewichtes geschah an jeweils ungefähr zwanzig Körnern, 12-2 mm groß, mittels THOULET'scher Lösung. Die untere Grenze wurde festgelegt, wenn 2-3 Körnchen in der Flüssigkeit schwebten und die übrigen am Boden lagen, die obere Grenze, wenn auch hier wieder wenige Körnchen schwebten, die übrigen auf der Flüssigkeit schwammen. Auf diese Weise wurden Grenzen bis

zu ± 0,005 erhalten. Bei diesen Ermittlungen ist aber die Frage, ob der Achsenwinkel von Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, oder von FeO, oder von beiden zusammen, also vom Element Eisen abhängt, wegen der Kürze der untersuchten Cordieritreihe - es können hier nur die DITTRICH'schen Analysen in Betracht kommen — einstweilen nicht zu entscheiden. Wir wollen die Achsenwinkel jeweils mit dem ganzen Eisengehalt vergleichen. Kleine Schwankungen wird man nicht zu hoch anschlagen dürfen, weil der ganze Verlauf der Untersuchung wohl deutlich gezeigt hat, mit welchen ungewöhnlichen Schwierigkeiten man bezüglich der Homogenität des Materials zu kämpfen hatte, kamen doch Schwankungen in den Achsenwinkeln bis zu 3º an nahe benachbarten Stellen ein und desselben Cordieritbruchstückes vor und stiegen doch diese Schwankungen bis auf 20º bei ein und demselben Fundort. Man müßte also, um die Funktion klar zum Ausdruck zu bringen, eigentlich am gleichen Stück die verschiedenen Bestimmungen vornehmen

Bei diesen schwierigen Verhältnissen kann man sich des spezifischen Gewichtes bedienen, um mit dessen Hilfe die Beziehungen zwischen Eisengehalt und Achsenwinkel darzustellen. In der nachfolgenden Tabelle XX beziehen sich also die Zahlen für die Eisengehalte nicht immer genau auf die Werte, die rechts daneben angeführt sind, während die Zahlen für die spezifischen Gewichte sehr genau dem gleichen Material entnommen wurden, an denen auch die optischen Bestimmungen erfolgten. Man sieht



		Natrin
		für
	f	
XX.		
elle	-	
Tabe		

				2		für	Natriumli	cht		
Vorkommen	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe	spez. Gewicht	2 Λ	$\frac{\alpha+\beta+\gamma}{3}$	χ_α	°-8 8-7	β-α	Pleochrois- mus
Haddam	1.21 %	6.63 %	6.00 %	2 660	430 96'	1 5570	00000	1000		
			0/ 00/0		07 GE	1,000	ດຈາກຈາກ	1100,0	67.00,0	sehr schwach
Haddam (Farrington)	0,63 ,	5,04 ,	4,36 "	2,610	I	1	1	1	1	1
Ceylon		1		2,585	63º 24'	1,5420	74	21	53	mittel
Guilford (Farrington) .	0,38 "	5,12 ,	4,25 ,	2,607	I	[	1		1	_
Guilford	1	1	1	2,605	64° 57′	1,5449	80	53	57	stark
Bodenmais	1,85 "	4,90 "	5,10 ,	2,603	65° 36′	1,5449	86	26	60	stark
Ibity	1			2,600	66° 56′	1,5446	62	21	58	stark
Twedestrand	0,08	4,05 ,	3,71 "	2,581	69° 26′	1,5397	20	22	48	mittel
Ibity (Duparc etc.)	0,83 "	4,38 ,	3,99 "	2,593	72º 37'	1,5440	85	33	52	stark
Orijärvi	1,15 ,	4,53 ,	4,33 ,	2,581	79° 54′	1,5369	92	34	42	stark
Cabo de Gata		1		2,571	85° 34′	1,5390	86	41	45	schwach
						-				
						-				

deutlich, wie mit abnehmendem spezifischen Gewicht der Achsenwinkel über a größer und die Lichtbrechung kleiner wird, während die Doppelbrechung  $\gamma - \alpha$  ziemlich konstant bleibt,  $\gamma - \beta$  eine deutliche Zunahme,  $\beta - \alpha$  eine deutliche Abnahme mit Abnahme des spezifischen Gewichtes erfährt. Man wird keine Bedenken tragen, diese klare Beziehung, die bei Ceylon und Twedestrand kleine Ausnahmen erfährt und die auch in Figur 4 einen graphischen Ausdruck erhalten hat, vom spezifischen Gewicht auf den Eisengehalt zu übertragen.

Die Dispersion der Doppelbrechung, die für den ganzen sichtbaren Teil des Spektrums, von A bis K, gemessen wurde, ist auffallend gering. Der Cordierit kann als typisches Beispiel für normale Dispersion angesehen werden.

(Siehe Tabelle XX, Seite 301.)

Die Art der Abhängigkeit des Pleochroismus von der Zusammensetzung hat sich nicht aufdecken lassen, da die Stärke des Pleochroismus, wie es scheint, schon durch ganz geringe chemische Veränderungen eine sehr bemerkenswerte Beeinflussung erfährt. Trotz aller Schwankungen in der Stärke und auch in der Art des Pleochroismus gilt aber für alle Cordierite das Absorptionsschema b > c > a.

......

# **ZOBODAT - www.zobodat.at**

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: <u>Verhandlungen des Naturhistorisch-</u> medizinischen Vereins zu Heidelberg

Jahr/Year: 1914-1917

Band/Volume: 13

Autor(en)/Author(s): Oppenheimer Leopold

Artikel/Article: Untersuchungen an Cordierit 257-302