

FORMEL UND KRISTALLSTRUKTUR DES TETRAEDRITES

VON
FELIX MACHATSCHKI

MIT 1 TEXTFIGUR

Auf einen Vorschlag des Herrn Prof. Dr. V. M. GOLDSCHMIDT hin habe ich den Versuch unternommen, Formel und Struktur der Fahlerze zu ermitteln.

Auf Grund von chemischen Analysen allein die Formel des Tetraedrites zu finden, wurde schon mehrmals versucht. Die Forscher, die sich mit diesem Gegenstande befaßten, kamen zu teilweise verschiedenen Ergebnissen. Im Rahmen dieser kurzen vorläufigen Mitteilung kann aber auf eine Diskussion derselben nicht eingegangen werden. (Man vergl. die einschlägigen neueren Arbeiten von PRIOR u. SPENCER, KRETSCHMER u. s. w.)

Es wurden zunächst einige Debye-Scherrer-Diagramme von Tetraedritmaterial verschiedener Vorkommen hergestellt. Diese Diagramme ließen in allen intensiven Linien große Ähnlichkeit mit den Diagrammen der Zinkblende erkennen. Das und der Umstand, daß in der Natur gesetzmäßige und sogar Parallelverwachsungen von Fahlerz und Zinkblende¹ einerseits, von Fahlerz mit dem der Zinkblende strukturell so nahe verwandtem² Kupferkies¹ andererseits, ebenso wie von Kupferkies und Blende¹ vorkommen, veranlaßte Prof. V. M. GOLDSCHMIDT, mir zu raten, aus den Fahlerzanalysen die zweiwertigen Metalle — es kommen Zink, Eisen und Quecksilber in Betracht (Bleifahlerzanalysen von zweifellos einwandfreiem Material finden sich in der Literatur nicht) — als isomorph beigemischt anzunehmende Sulfide herauszurechnen. Es ist ja bekannt, daß ZnS mit FeS Mischkristalle vom Zinkblendetypus mit ziemlich hohem Eisengehalte zu bilden³

¹ SADEBECK, Ztschr. d. geol. Ges. 1872, 24, p 438-- 441.

² R. u. N. GROSS, Neues Jb. f. Min., Blg. Bd. 48, 1923, p. 113 ff.

³ RINNE, Ztschr. f. Kr. 59, 1924, p 230. — V. M. GOLDSCHMIDT, Geoch. Vert.-Ges. VIII, 1927, p 89.

vermag, und daß das in manchen Fahlerzen auftretende Quecksilber mit Schwefel als Metacinnabarit eine Kristallart mit Zinkblendestruktur bildet, deren Gitterkonstante nach den Messungen von W. LEHMANN¹, T. BARTH², W. HARTWIG³ und V. M. GOLDSCHMIDT⁴ allerdings um rund 7% höher ist als die der Zinkblende.

Die Berechnung ausgewählter Analysen aus der Literatur, bei denen bezüglich Reinheit des Materiales und sorgfältiger Ausarbeitung keine Zweifel möglich waren, ergab nun unter Anwendung des ange deuteten Berechnungsvorganges, mit großer Annäherung konstant das Verhältnis $R^I : R^{III} : S = 3 : 1 : 3$. Gewöhnlich verbleibt ein kleiner Überschuß von Schwefel und etwas dreiwertigem Metall. Es erschien nicht zweckmäßig, ein diesen wechselnden Überschüssen Rechnung tragendes unwahrscheinliches, komplizierteres Verhältnis anzunehmen.

In dieser kurzen Mitteilung muß auf eine nähere Diskussion der erhaltenen Berechnungsergebnisse (hauptsächlich wurden Analysen von G. T. PRIOR in Betracht gezogen) verzichtet werden.

Die Auswertung des Debye-Scherrer-Diagrammes, das vom Silberfahlerz von Colquechaca in Bolivien erhalten wurde, ergab eine Gitterkonstante von $a = 10,41 \text{ \AA}$ (siehe Tabelle), für das Fahlerz von Felsobanya ergab sich $a = 10,29 \text{ \AA}$. Die Kantenlänge des Elementarparallelepipedes ist somit fast doppelt so groß als die der Elementarzelle der Zinkblende ($a = 5,418 \text{ \AA}$). Da die Differenz zwischen der verdoppelten Kantenlänge der Zinkblendezelle und der Zellenkante des Fahlerzes nur etwa 4–5% beträgt, ist unter der Voraussetzung analogen Baues weitgehende Mischbarkeit der beiden Kristallarten wohl zu erwarten und die bekannte orientierte Verwachsung von Fahlerz, Zinkblende und Kupferkies durchaus verständlich.

Das spez. Gewicht der Fahlerze wird gewöhnlich zwischen 4,6 (arsenreich) und 5,1 angegeben.

Die Größe der Elementarzelle, verglichen mit dem spez. Gewichte ließ es somit als wahrscheinlich erscheinen, daß in ihr 8 Moleküle $R^I R^III S_3$ unterzubringen seien, also insgesamt 56 Atome. Eine Zinkblendezelle von entsprechender Größe enthält 64 Atome. Gewisser-

¹ Diss. Hamburg 1924.

² Zit. in V. M. GOLDSCHMIDT, Geoch. Vert.-Ges. VII, 1926, p. 22.

³ Stz. Ber. preuß. Ak. Wiss. 1926, No. 11, p. 79.

⁴ Geoch. Vert.-Ges. VIII, 1927, p. 32.

Fahlerz, Colquechaca, Bolivien.

Kameradurchmesser 57,85 mm. Eisenstrahlung: Fe $K\alpha = 1,934 \text{ \AA}$.

2d-s	ϑ	ϑ (k = 0,6)	$\sin^2 \frac{\vartheta}{2}$	$(h_2^2 + k_2^2 + l_2^2) \chi, K\alpha$	$(h^2 + k^2 + l^2) \chi, K\beta$	Indizes $K\alpha$	Ind. $K\beta$	Int. ber.	Int. beob.
31,6	31,10	30,5	0,0692	8 × 86,5		220		0,6	s s s
35,0	34,6 ³	34,1	0,0860	10 × 86,0	12 × 71,7	310	222	5	s
38,6	38,24	37,6	0,1039	12 × 86,6		222		20,0	st st st
40,0	39,62	39,0	0,1114		16 × 70,0		400	3	s s s ¹
41,6	41,20	40,6	0,1204	14 × 86,0		321		2,5	s s ²
42,4	42,0	41,4	0,1249		18 × 70,0		411, 330	3	s s s ²
44,6	44,18	43,6	0,1379	16 × 85,6		400		3,6	s
47,6	47,14	46,5	0,1558	18 × 86,5		411, 330		2,3	s
50,0	49,52	48,9	0,1713	20 × 85,7		420		0,1	s s s ²
52,4	51,90	51,3	0,1874	22 × 85,2		332		0,3	s s s ²
55,5	54,98	54,4	0,2089	24 × 87,0		422		0,1	s s s ²
57,9	57,36	56,8	0,2262	26 × 87,0	32 × 70,7	431, 510	440	3,0 + 5	st
62,4	61,80	61,2	0,2591	30 × 86,4		521		1,0	s
63,9	63,30	62,7	0,2707		38 × 71,2		611, 532	3	s s s ²
64,7	64,08	63,5	0,2769	32 × 86,5		440		16,5	st st st
66,9	66,26	65,7	0,2942	34 × 86,5		530, 433		1,9	s
69,0	68,34	67,7	0,3103	36 × 86,2	44 × 70,5	600, 442	622	0,1 + 3	s
71,2	70,52	69,9	0,3283	38 × 86,4		611, 532		3,4	st
73,2	72,50	71,9	0,3447	40 × 86,2		620		0,1	s s s ²
75,3	74,58	74,0	0,3622	42 × 86,2		541		0,7	s s s ²
77,4	76,66	76,1	0,3799	44 × 86,3		622		12,8	st st st
79,4	78,64	78,0	0,3960	46 × 86,1		631		1,5	s s
81,5	80,72	80,1	0,4140	48 × 86,3		444		1,1	s s
83,7	82,90	82,3	0,4330	50 × 86,6		550, 710, 543		1,1	s s
86,4	85,58	85,0	0,4564		64 × 71,3		800	5	s s s ²
87,9	87,06	86,5	0,4695	54 × 86,9	66 × 71,1	633, 721, 552	811, 741, 554	1,7 + 3	s s
89,9	89,04	88,4	0,4860	56 × 86,8		642		0,3	s s s
92,0	91,12	90,5	0,5043	58 × 86,9		730		0,7	s s s
96,0	95,08	94,5	0,5392	62 × 87,0	76 × 70,9	651, 732	662	1,3 + 3	s
97,7	96,78	96,2	0,5540	64 × 86,6		800		3,1	st
99,5	98,56	98,0	0,5696	66 × 86,3		811, 741, 554		2,2	s
101,7	100,74	100,1	0,5877	68 × 86,4		820, 644		0,6	s s s ²
103,7	102,72	102,1	0,6048	70 × 86,4	86 × 70,5	653	921, 655, 761	1,3 + 3	s
105,7	104,70	104,1	0,6218	72 × 86,4		660, 822		0,4	s s s ²
108,0	106,96	106,4	0,6412	74 × 86,7	90 × 71,2	831, 743, 750	930, 754, 851	2,6 + 3	st
109,8	108,76	108,2	0,6562	76 × 86,4		662		6,9	st st
112,1	111,02	110,4	0,6743	78 × 86,5		752		1,4	s s
114,4	113,30	112,7	0,6930	80 × 86,6		840		1,0	s s s
116,6	115,48	114,9	0,7105	82 × 86,6		910, 833		0,7	s s s
118,8	117,66	117,1	0,7278	84 × 86,6		842		0,5	s s s
121,0	119,84	119,2	0,7439	86 × 86,5	104 × 71	921, 655, 761	1020, 862	1,0 + 3	s
123,5	122,32	121,7	0,7627	88 × 86,7		664		0,4	s s s ²
126,0	124,80	124,2	0,7810	90 × 86,8		930, 754, 851		2,3	st

1 ? bedeutet, daß die betreffenden Linien so schwach angedeutet sind, daß eine genauere Ausmessung unmöglich ist.

2 *Unterstrichen*, wenn etwas stärker, als sonst unter der betreffenden Bezeichnung verstanden.

maßen müssen in einer 8 fachen Zinkblendezelle infolge Verminderung der Wertigkeit eines Teiles der Bausteine 8 Gruppen ZnS durch 8^{III} R ersetzt werden, die übrigen S verbleiben und die restlichen 24 Zn sind durch R^I ersetzt. Dieser Auffassung entspricht der später zu erörternde Aufbau des Gitters.

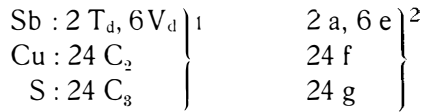
Auf Grund dieser Annahme und unter Zugrundelegung einer Elementarparallelepipedkante von 10,35 Å ergeben sich folgende theoretischen spez. Gewichte für die beobachteten extremen Glieder der Fehlerreihe:

$$\begin{aligned} \text{Cu}_3 \text{Sb S}_3 : \text{s} & 4,88. \\ \text{Cu}_3 \text{As S}_3 : \text{s} & 4,34. \\ 75 \text{Cu}_3 \text{Sb S}_3 + 25 \text{Ag}_3 \text{Sb S}_3 : \text{s} & 5,28. \\ 75 \text{Cu}_3 \text{As S}_3 + 25 \text{Ag}_3 \text{As S}_3 : \text{s} & 4,74. \end{aligned}$$

Diese Werte stimmen gut mit den beobachteten Werten. Die Übereinstimmung ist bei den Antimonfahlerzen vorzüglich, bei den Arsenfahlerzen aber sind die beobachteten Werte etwas größer als die angegebenen theoretischen. Die Ursache hiefür ist darin zu suchen, daß bisher kein typisches Arsenfahlerz ausgemessen wurde und bei diesem eine geringere Kantenlänge zu erwarten ist, wodurch auch das berechnete spez. Gewicht höher würde als oben angegeben. So deutet z. B. ein nicht sehr gutes Diagramm des Tennantites von Cornwall auf eine schätzungsweise einige 0/0 kleinere Kantenlänge hin.

Lauediagramme senkrecht zur dreizahligen Achse zeigen zweifellos holoedrische Symmetrie. Somit war kein Anlaß vorhanden, die Zugehörigkeit des Tetraedrites zur hexakistetraedrischen Kristallklasse zu bezweifeln. Weiters sind, wie die beigegebene Tabelle zeigt, alle von Flächen mit geradzahligem Indizessumme stammenden Reflexe und zwar nur solche im Debye-Scherrer-Diagramm zu beobachten. Die für die Lage der 56 Atome maßgebende Raumgruppe kann somit nur T_d^3 sein.

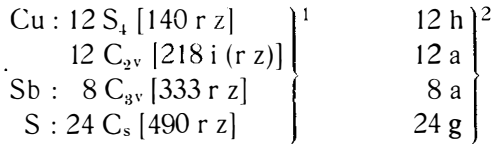
Für die Auswahl der Punktlagen war in erster Linie der Umstand maßgebend, daß aus früher angegebenen Gründen große Ähnlichkeit mit der Anordnung der Atome im Zinkblendegitter zu erwarten war. Eine Reihe darauf begründeter Annahmen, z. B.:



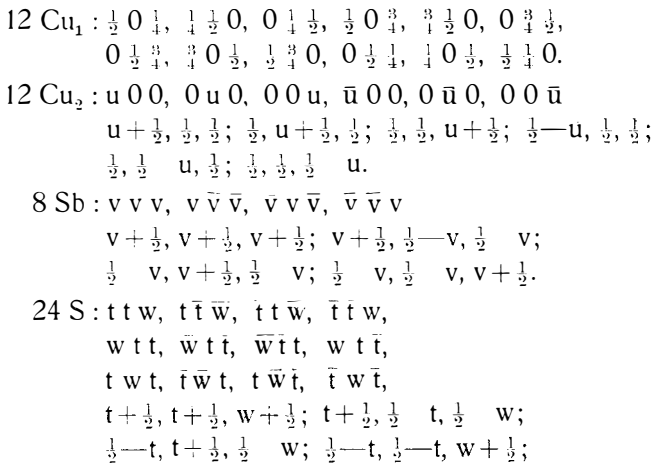
ließen sich auf Grund von Intensitätsberechnungen ausschließen.

Sehr unterstützt wurden die Versuche zur Ermittlung der Positionen der Atome in der Elementarzelle durch den Vergleich der beobachteten Intensitäten mit der von W. ZACHARIASEN³ für die C-Modification des $Tl_2 O_3$ (und der Sesquioxyde der seltenen Erden) angegebenen Tabelle der beobachteten und berechneten Intensitäten. Die Intensitäten der Linien der Fehlerdiagramme zeigen nämlich eine sehr weitgehende Übereinstimmung mit jenen.

Auf diese Weise wurden schließlich folgende Punktlagen für die in Betracht kommenden Atome ermittelt:



Die Koordinaten der Atomschwerpunkte sind somit:



¹ Bezeichnung nach den Tabellen von P. ROSBAUD in H. MARK'S bekanntem Werk „Verwendung der Röntgenstrahlen in Chemie und Technik“. Leipzig 1926.

² Nach RALPH W. G. WYCKOFF „The analytical expression of the results of the theory of space groups“. Washington 1922.

³ Norsk Geol. Tidsskr., bd. IX, h. 3-4, 1927; p. 315.

$$\begin{aligned}
 &w + \frac{1}{2}, t + \frac{1}{2}, t + \frac{1}{2}; \frac{1}{2} \quad w, t + \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \quad t; \\
 &\frac{1}{2} - w, \frac{1}{2} - t, t + \frac{1}{2}; w + \frac{1}{2}, \frac{1}{2} - t, \frac{1}{2} \quad t; \\
 &t + \frac{1}{2}, w + \frac{1}{2}, t + \frac{1}{2}; \frac{1}{2} - t, \frac{1}{2} - w, t + \frac{1}{2}; \\
 &t + \frac{1}{2}, \frac{1}{2} - w, \frac{1}{2} - t; \frac{1}{2} - t, w + \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \quad t.
 \end{aligned}$$

Die Angaben über die berechneten Intensitäten (siehe Tabelle) gründen sich auf folgende Wahl der Parameter:

$$u = \frac{1}{4}, v = \frac{5}{18}, t = \frac{1}{8}, w = \frac{3}{8}.$$

Die berechneten Intensitäten stimmen mit den beobachteten sehr befriedigend überein.

Die Elementarzelle der Fahlerze stellt somit einen 8 fachen Zinkblendeelementarkomplex dar, dessen Koordinatenanfangspunkt einem Punkte $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$ einer einfachen Zinkblendezelle entspricht. In dieser 8 fachen Zinkblendezelle sind 24 Atome Zn durch 24 Atome Cu vertreten, die restlichen 8 Zn-Atome sind samt je einem Atome S durch ein Atom Sb bzw. As ersetzt, und zwar liegt dieses Sb (As)-Atom auf der diagonalen Verbindungslinie der vertretenen Zn und S-Atome, stark genähert der Position des Zinkatoms.

Diese Anordnung bringt es mit sich, daß man, wenn man sich den Koordinatenanfangspunkt des Fahlerzgitters um $\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4}$ verschoben denkt, per Elementarzelle 2 einander diagonalgegenüberliegende Oktanten findet, die keine S-Atome enthalten, während die übrigen 6 Oktanten, abgesehen von der leichten Verschiebung der Sb (As)-Eckpunkte, auch bezüglich Zahl und Anordnung der S-Atome je einer Elementarzelle der Zinkblende entsprechen. Die Oktanten ohne S-Atome sind jene, deren Innenraum durch die diagonale Verschiebung von 4 tetraedrisch angeordneten Sb (As)-Atomen eingeengt erscheint. Es ist nicht unmöglich, daß die Zentren dieser Oktanten als Sitz der, wie eingangs bemerkt, bei der Analysenberechnung sich ergebenden überschüssigen S-Atome aufzufassen sind. Dieser Überschuß beträgt maximal etwa 2 S-Atome pro 24, was dieser angedeuteten Möglichkeit entspricht. Es würde sich natürlich nicht um stöchiometrisch gebundene, sondern gewissermaßen vagabundierende S-Atome handeln.

Es ist aber auch möglich, daß die, wie eingangs erwähnt, meist vorhandenen überschüssigen Atome der dreiwertigen Metalle an Stelle einzelner Cu-Atome auftreten. Dann müßten auch einzelne benachbarte Punkte, an denen beim Tetraedrit im Gegensatze zur Zinkblende

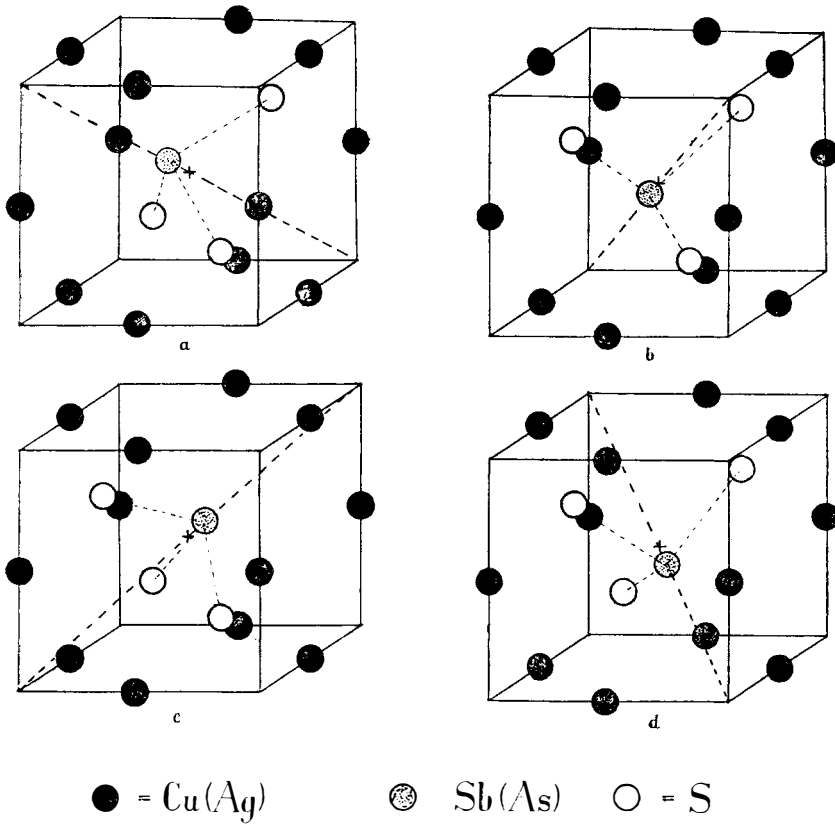


Fig 1.

Anordnung der Atome in den vier vorderen Oktanten der Elementarzelle des Tetraedrites. Es ist in jedem Oktanten jene Diagonale eingezeichnet, auf der Sb vom Mittelpunkte des betreffenden Oktanten (+) aus verschoben erscheint. Von den rückwärtigen Oktanten besitzt der linke untere die Anordnung b, der rechte untere die Anordnung a, der linke obere die Anordnung d und der rechte obere die Anordnung c. Zwecks Erhöhung der plastischen Wirkung wurden Verbindungslinien der Sb mit den S-Atomen angedeutet.

kein S-Atom sitzt, mit den überschüssigen S-Atomen besetzt sein. Diese Annahme würde somit sowohl den Überschuß an dreiwertigem Metall als auch an S begreiflich erscheinen lassen¹.

¹ N. ALSÉN (Geol. För. i Stockh. Förh. 47 (1925) p. 31) nimmt für den Magnetkies teilweise Vertretung von Fe durch S an. — V. M. GOLDSCHMIDT (Geoch. Vert. Ges. VIII (1927), p. 38, Fußnote 3) fand, daß die Verbindungen Mn_xSb_y und Fe_xSb_y feste Lösungen von R in RSb darstellen.

Und schließlich ist es auch möglich, daß einzelne Cu-Atome durch Atome von zweiwertigem Metall ersetzt sind, was wieder gleichzeitig eine Vermehrung der S-Atome zur Folge hätte.

Wenn ich eingangs die Formel des Tetraedrites mit $R_3^I R_3^{III} S_8$ angenommen habe, so war dies zunächst eine notwendige Vereinfachung, um überhaupt an eine Strukturbestimmung denken zu können. Es soll damit aber nicht gesagt sein, daß der Tetraedrit — abgesehen von der sehr wahrscheinlichen Beimengung von isomorphen Sulfiden unbedingt genau dieser Formel entsprechen muß. Abweichungen von diesem Normaltypus sind häufig, aber es ist ihnen erfahrungsgemäß eine relativ enge Grenze gesetzt. Der eigenartige Bau der Fahlerz-Zelle läßt diese von vornherein solchen Abweichungen zugänglich erscheinen. Diese sind aber strukturell nicht eindeutig und es hätte meines Erachtens keine Bedeutung, ihnen das Kleid einer bestimmten stöchiometrischen Formel (einer zweiten Mischungskomponente) geben zu wollen.

Jedem Sb (As)-Atom sind drei S-Atome nächst zugeordnet, die Zuordnung ist einseitig, die S-Atome bilden die Eckpunkte eines gleichseitigen Dreieckes mit der Seitenlänge $3,64 \text{ \AA}^{1,2}$.

Der Abstand Sb-S beträgt $2,45 \text{ \AA}$.

Die Kupferatome zerfallen in zwei Gruppen. In der Punktlage ohne Freiheitsgrad sind sie tetraedrisch von 4 S-Atomen umgeben, in der Punktlage mit einem Freiheitsgrad aber nur einseitig von 2 S-Atomen. Der Abstand Cu-S beträgt in jedem Falle $2,24 \text{ \AA}$.

Der kürzeste Abstand Cu-Sb beträgt $3,25 \text{ \AA}$, der kürzeste Abstand Cu-Cu $3,65 \text{ \AA}$, der Abstand Sb-Sb (Tetraederecken) $6,58 \text{ \AA}$.

Die Abstände Sb-S und Cu-S entsprechen sehr gut den von V. M. GOLDSCHMIDT³ für neutrale Atome angegebenen Werten. Nach V. M. GOLDSCHMIDT würden die Abstände der neutralen Atome betragen:

Sb-S	$2,38 \text{ \AA}$.
Cu-S	$2,31 \text{ \AA}$.

Auch die der Zinkblende sehr verwandte Anordnung spricht dafür, daß man im Fahlerzgitter Abstände zu erwarten hat, die mit

¹ Man vergl. die ähnliche Anordnung der O-Atome in $Sb_4 O_6$ und $As_4 O_6$ (R. M. BOZORTH), Journ. Am. Chem. Soc. vol XLV, No. 7, 1923; p. 1631 ff.

² Diese und die folgenden Angaben über Atomabstände sind mit der Gitterkonstante $a = 10,29 \text{ \AA}$ (Fahlerz von Felsöbanya) berechnet.

³ Geoch. Vert. Ges. VII, 1926, p. 20, 26, 35.

den entsprechenden Abständen in Kristallen mit Zn-S-Struktur kommensurabel sind.

Doch zeigt die ganze Anordnung der Gitterbausteine, daß man das Gitter des Fahlerzes nicht als normales Koordinationsgitter betrachten darf. Es stellt einen Übergang zu den Molekülgittern dar. Zur Elementarzelle sind 8 Moleküle zusammengefügt, die abwechselnd mit der Sb-Fläche und der Cu-Fläche im Zentrum des Elementarkörpers zusammenstoßen. Die einzelnen Moleküle treten aber noch nicht scharf getrennt hervor.

Die Berechnung der Intensitäten erfolgte vorläufig nach der Formel $I = \frac{A^2 + B^2}{h^2 + k^2 + l^2} \cdot H$. Das Streuvermögen wurde proportional

der Atomnummer gesetzt und vorläufig die Änderung¹ des Streuvermögensverhältnisses mit zunehmendem Werte für ϑ nicht in Rechnung gezogen. Einzelne Berechnungen unter Berücksichtigung des letzteren Umstandes haben gezeigt, daß bei den Linien mit hohen Indizes quadraten, wo diese Änderung vorwiegend zum Ausdruck kommt, die Übereinstimmung zwischen den berechneten und den gefundenen Intensitäten noch besser abgestimmt werden kann. Der Silbergehalt des Fahlerzes von Bolivien, der sich nur in jenen sehr schwachen Linien merkbar äußert, deren Intensität vorwiegend durch die Wirkung der einwertigen Metalle bedingt ist, wurde nicht berücksichtigt. Es zeigt sich aber hier z. B., daß als Wirkung des Eintretens von größeren Mengen Ag die Intensität der derartigen Linie 56 etwas stärker erscheint als die der Linie 58, im praktisch silberfreien Fahlerz von Brixlegg dagegen der Berechnung entsprechend etwas schwächer². Andererseits sind die wesentlich durch die Atome der dreiwertigen Metalle bedingten Linien 14, 18, 70, 74 u. s. w. im Diagramm des Tennantites von Cornwall merklich schwächer als in den Diagrammen der Antimonfahlerze, soweit man dies aus dem bisher vorliegenden, schlechten Diagramm des Arsenfahlerzes von Cornwall beurteilen kann.

Die hier angeführten Umstände, die die Intensitäten in verschiedener Weise beeinflussen, die nicht rechnerisch exakt erfaßt werden kann, weiters die relativ große Zahl der Parameter lassen es ganz gut möglich erscheinen, daß die letzteren etwas von den angegebenen

¹ D. R. HARTREE, Phil. Mag. vol. L, 1925, p. 289 ff.

² Ähnlich ist es bei den Linien 40 und 42.

Werten abweichen. Es wird versucht werden, an geeignet erscheinendem Material dieser Frage beizukommen.

Eine Debye-Aufnahme des Fahlerzes von Bolivien mit Cu-Strahlung bestätigte die mit Eisenstrahlung gefundenen Intensitätsverhältnisse.

Sehr zu Dank verpflichtet bin ich Herrn Prof. Dr. V. M. GOLDSCHMIDT für die Anregung zur Arbeit und dafür daß er sowie Herr Assistent E. BROCH sich die Mühe nahmen, mich in die Anwendung der vorzüglichen Apparaturen des Mineralogischen Institutes der Universität in Oslo einzuführen.

Diesen beiden Herren sowie den Herren I. OFTEDAL und W. ZACHARIASEN habe ich auch für manchen wertvollen Ratschlag zu danken.

Herr Prof. J. SCHEDELIG hat mir als Direktor des Min.-Geol. Museums in Oslo in entgegenkommender Weise Fahlerzmaterial aus der ihm unterstellten Sammlung zur Auswahl überlassen, wofür ich ihm auch an dieser Stelle danken möchte.

Durch die Verleihung eines Stipendiums des International Education Board wurde mir ein Studienaufenthalt in Oslo ermöglicht.

Mineralog. Institut der Universität in Oslo,
am 28. Oktober 1927.

=====