

BOHUSLAV CAMEL, JÁN JARKOVSKÝ*

DER MIKROCHEMISMUS VON CHALKOPYRITEN

(Abb. 1–5)

Kurzfassung: In diesem Artikel wird eine Übersicht der quantitativen Gehalte an Mikroelementen (Mn, Pb, Sb, Bi, Mo, Sn, V, In, Cd, Zn, Ti, Ag, Ni, Co) in separierten Chalkopyriten dargeboten. Die gewonnenen Ergebnisse werden mit analogen Angaben in der Weltliteratur verglichen. Auch wird eine Tabelle über die Frequenz der einzelnen Mikroelemente in den analysierten Proben angeführt.

Резюме: В статье подается обзрение средних данных количественного содержания микроэлементов (Mn, Pb, Sb, Bi, Mo, Sn, V, In, Cd, Zn, Ti, Ag, Ni, Co) в отсепарированных халькопиритах и полученные результаты сравниваются с аналогическими фактами в мировой литературе. Приводим также и таблицу фреквенции содержания микроэлементов в каждом анализированном образце.

In der Arbeit werden die durchschnittlichen quantitativen spektrochemischen Werte von Gehalten folgender Mikroelemente veröffentlicht: Mn, Pb, Sb, Bi, Mo, Sn, V, In, Cd, Zn, Ti, Ag, Ni, Co. Auch die Gehalte an Au und Tl wurden bestimmt; da jedoch ihre Gehalte unterhalb der Empfindlichkeitsgrenze der angewendeten Methode liegen, wurde in der Tabelle von der Angabe ihrer konkreten Werte, die überdies nur in vereinzelt Fällen bestimmt wurden, Abstand genommen.

In der vorliegenden Publikation werden in den Tabellen die durchschnittlichen Gehalte an Mikroelementen nur solcher Chalkopyritproben angeführt, deren Reinheit ausreichend war. Es handelt sich hierbei um die Analysen von 196 Proben von Chalkopyriten verschiedener genetischer Lagerstättentypen und verschiedener Gebiete der ČSSR oder des Auslands.

Die Separation der Chalkopyrite wurde je nach Qualität der Probe und nach dem Grade der Verwachsung des Chalkopyrits durch andere Minerale durchgeführt. Vorerst wurde eine Auslese anhand der Binokularlupe durchgeführt; je nach Bedarf wurde die magnetische Separation, sowie auch jene mittels Schwerflüssigkeiten angewendet. Teilweise kamen auch Flotation und chemischer Aufschluss zur Anwendung. Jener Teil an Chalkopyriten, bei dem ein ausreichender Reinheitsgrad nicht erzielt werden konnte — was spektrochemisch beglaubigt wurde — wird in dieser Arbeit nicht angeführt, obwohl die Analysen dieser Proben, zumal vom Gesichtspunkt eines Studiums der Assoziation der den Chalkopyrit begleitenden Mikroelemente, bzw. Minerale interessant sind.

Die Frage einer Steigerung des Reinheitsgrades analysierter Proben soll Gegenstand eines weiteren Studiums sein. Es sollen die weiteren Möglichkeiten der Separation von fein verwachsenen Mineralen in Chalkopyriten erforscht werden. Der Begriff „Reinheitsgrad“ des Chalkopyrits ist nicht streng definiert.

* Univ.-Prof. RNDr. B. Camel, DrSc., RNDr. J. Jarkovský, C.Sc., Lehrstuhl für Geochemie der Naturwissenschaftlichen Fakultät an der Komenský-Universität, Bratislava, Paulínyho Tótha 1.

Die Absicht der Verfasser war es, in der ersten Etappe als Kriterium des „Reinheitsgrades“ analytische Methoden zu verwenden (die nachträgliche photometrische Messung der auserwählten Linie des Kupfers, bzw. Eisens im Spektrogramm, das bei der eigentlichen Spektralanalyse verwendet wurde). Diese Methode weist auf die Gegenwart zumal von Pyrit, bzw. Pyrrhotin und anderer Cu-Mineralen mit höherem Kupfergehalt hin die den Gehalt an weiteren Mikroelementen nicht grundsätzlich erhöhen. Als Kriterium für den Reinheitsgrad dienten auch einige Mikroelemente, deren erhöhter Gehalt der Möglichkeit ihrer homogenen (isomorphen) Vertretung im Gitter des Chalkopyrits nicht entspricht. Aus diesem Grunde bot schon der ledigliche Anblick der spektrochemischen Probenanalyse eine Grundlage für die beiläufige Bestimmung des „Reinheitsgrades“ des Chalkopyrits (Feststellung des erhöhten Gehaltes eines Elements der Sulfide von Pb, Sb, Sn usw.). Es verdient auch hier der Erwähnung, dass bei einer hohen Nachweisgrenze (1000 ppm) einige Arsenminerale (Tenantit und Arsenopyrit) heterogene Beimengungen sein können, welche bei den hier verwendeten analytischen Methoden nicht durch die Erhöhung eines der Mikroelemente, sondern durch den erhöhten Gehalt an Cu zutage treten können.

Da bei der Bestimmung des „Reinheitsgrades“ der separierten Chalkopyrite ein strenger Standpunkt eingenommen wurde, wurde auf Grund der spektrochemischen Analysen nahezu die Hälfte der durchgeführten Analysen eliminiert. Als Anomaliengehalt an Mikroelementen im Chalkopyrit wurde ein Wert bestimmt, der nahe den Maximalwerten der Gehalte an Elementen liegt, die bei den Berechnungen noch in den Durchschnitt einbezogen wurden. Dieser beträgt zufällig annähernd den fünffachen Durchschnittsgehalt an Mikroelementen, wie er in Tab. 2, Rubrik 17 errechnet wurde. Das stimmt mit der statistischen Verwertung der Angaben und mit der Bestimmung der Grenzen der Frequenzkurven-Peaks überein. Es handelt sich hier somit keinesfalls um eine unabänderliche Bestimmung der Grenzen des „Reinheitsgrades“, zumal diese Grenzen bei verschiedenen Lagerstättengruppen und verschiedenen Lokalitäten grundverschieden sind. Infolgendessen wurde ein bedeutender Anteil an Chalkopyritanalysen, der unzureichend separiert war eliminiert.

Erwähnt soll noch werden, dass auch die optische Ermittlung unter dem Mikroskop und auch die Auswahl der Probe anhand des Anschliffs keine vollständige Reinheit des Minerals gewährleistet, da es im Falle einer Auswahl des Minerals anhand des Anschliffs keine Kontrolle darüber gibt, ob diese nicht in jenen Teilen, die unrerhalb der mikroskopisch beobachteten Auschlifffläche liegen, verunreinigt sind (dies gilt auch für die Anwendung des Scanning-Mikroskops). So bleibt als einziges verlässliches Kriterium für die Bestimmung der Form der Verunreinigung von Mineralen die Elektronenstrahlmikrosonde die ausser den Chemismus des Minerals an der Anschlifffläche zu bestimmen, auch die Stellung der einzelnen Elemente charakterisiert. Die Erforschung unter der Elektronenstrahlmikrosonde in Verbindung mit der spektrochemischen Analyse, ermöglicht eine genaueste Entscheidung über Homogenität (Isomorphie) oder das heterogene Auftreten der Mikroelemente im Kristall. Es bestehen hier jedoch Probleme mit der Genauigkeit und der Nachweisempfindlichkeit der quantitativen chemischen Analyse bei Anwendung der Elektronenstrahlmikrosonde und ein Nachteil besteht darin, dass die unter der Elektronenstrahlmikrosonde untersuchte Fläche ziemlich klein ist und das gewonnene Ergebnis nicht einfach auf grössere Gehalte des studierten Minerals extrapoliert werden kann. Deshalb muss auch weiterhin mit der Kombination beider Methoden gerechnet werden, wobei die spektrochemische Analyse der Minerale Angaben über den Durchschnittsgehalt an Mikroelementen in den natürlichen Kristallen des Chalkopyrits bietet, während die Elektronenstrahlmikrosonde

den Chemismus und die Verteilung der Elemente in den einzelnen Punkten, Schnitten oder kleinen Flächen eines Minerals oder deren kleiner Anzahl erörtert.

Die Analysen der Chalkopyrite wurden im spektrochemischen Laboratorium des Geologischen Instituts der Komenský-Universität in Bratislava durch den Analytiker J. Chudý nach einer Methode durchgeführt, die in der Zeitschrift *Geochemical Data*, Nr. 1 veröffentlicht wird und deren Autoren J. Jarkovský, E. Plško, V. Streško 1971 sind. Im Prinzip handelt es sich um eine auf dem Gitterspektrographen Zeiss PGS-2 durchgeführte spektrochemische Analyse. Die Standarde wurden auf der Basis natürlichen Chalkopyrits zubereitet. Dieser enthielt keines der verfolgten Mikroelemente. Es wurden drei Varianten der spektrochemischen Methode ausgearbeitet, bei denen verschiedene Generatoren verwendet wurden. Die ermittelten Ergebnisse wurden bei einigen Elementen (Zn, Pb, Mn, Cd, Ag) mittels Atomabsorptions-Spektralphotometrie kontrolliert. Die Nachweisgrenze der einzelnen Elemente gemäss der jeweiligen Methode ist in Tabelle 3 hinter dem Zeichen < (weniger als) angeführt.

Die Frage der Stellung der Mikroelemente im Gitter des Chalkopyrits wird erst später, nach Konfrontation der chemischen Analyse mit den Ergebnissen der optischen Methoden und jener vermittels Elektronenstrahlmikrosonde möglich sein. Deshalb soll in diesem Artikel nicht darüber diskutiert werden, welche Stellung die Elemente im Gitter des Chalkopyrits einnehmen und dies schon aus diesem Grunde nicht, da sich die Autoren darüber im klaren sind, dass das Gitter der Kristalle vielerlei Möglichkeiten für eine mechanische Bindung verschiedener Elemente bietet (Epitaxie, Oberflächen- und innere Adsorption, Anreicherung in Rissen und Störungen der Kristalle usw.).

Die optischen Methoden können nur in jenen Fällen über heterogene Verwachsung der Minerale Informationen bieten, wenn es sich bereits um sichtbare Ausmasse der einzelnen Mineralphasen handelt. Es ist auch bekannt, dass ein und dasselbe Element im gleichen Mineral verschiedene Stellungen einnehmen kann. Deshalb ist die Entscheidung über die homogene oder eine andere Stellung der Mikroelemente im Gitter der Kristalle eine äusserst schwierige Aufgabe, die eine Forschung unter Anwendung mehrerer kombinierter Methoden erfordert. Diese Aufgabe hängt auch mit der Möglichkeit einer Bestimmung darüber zusammen, ob ein bestimmtes Mineral vor seiner Verwendung zur chemischen Analyse für „rein“ betrachtet werden kann, d. h., ob es ohne heterogene Beimengungen anderer Minerale ist oder nicht. Der Reinheitsgrad der Separation kann nicht absolutisiert werden, da gänzlich ideal „reine“ Mineralaggregate nicht erzielt werden können.

In der vorliegenden Arbeit wurden alle jene Analysen ausgeschlossen, bei denen hohe Gehalte mindestens eines solchen Elements bestimmt wurden von dem angenommen werden konnte, dass er keine verbreitetere isomorphe Vertretung, d. h. echte feste Lösungen bilden könnte. Deshalb werden in den Tabellen 1 und 2 lediglich solche Analysen von Chalkopyriten angeführt, die den Kriterien der Autoren nach ausreichend rein separiert sind. Lediglich in die Tabelle der Gehaltsfrequenz (Tab. 3) der einzelnen Elemente sind auch die Werte jener Analysen eingetragen, bei denen der Wert eines Elements anomale Grösse erreichte.

Sogenannter „rein“ separierter Proben Chalkopyrits wurden 196 gewonnen und solche mit erhöhten Gehalt eines Elements waren 59. Tabelle 2 bringt separat die Durchschnitte der Gehalte an Mikroelementen aus „reinen“ Chalkopyriten („a“) und zum Vergleich unter „b“ auch solche Berechnungen von Durchschnitten, wo zu den „rein separierten“ Chalkopyriten auch jene, die weniger gut separiert waren hinzugegerechnet wurden. Beim Vergleich der Rubriken „a“ und „b“ ist auch ersichtlich, welche Anzahl solcher weniger gründlich separierter Chalkopyrite zu den „reinen

Tabelle 1. Die Durchschnittsgehalte an Mikroelementen in ppm von Chalkopyriten der einzelnen Lagerstättengruppen

Nr.	Lokalität	Analysen- anzahl	Mn	Pb	Sb	As	Bi	Mo	Sn	V	In	Cd	Zn	Ti	Ag	Ni	Co
1	St. Ransko	2	27	35	—	—	1	8	5	29	8	—	170	110	45	3580	200
2	Liqu. Auslnd.	6	31	47	—	—	5	11	18	16	8	50	505	6	70	2652	276
3	Böhmen	42	22	24	—	—	41	3	48	7	4	—	68	35	112	16	2
4	Zálesí	8	68	18	—	—	2	5	28	36	14	—	63	4	24	37	41
5	Borovec	5	4	46	—	—	2	10	3	15	—	—	196	2	208	3	—
6	Gebiet Brno	6	28	11	—	—	—	4	57	11	3	—	25	28	36	2	1
7	Tatroveporiden	4	31	24	—	—	8	9	31	28	11	38	250	50	52	50	55
8	Špania dolina	2	—	—	—	—	20	—	50	—	—	—	—	—	2	—	—
9	Polkanová	4	7	1	—	—	1	8	45	25	—	—	88	5	9	15	49
10	Gelnica	7	4	41	—	—	6	11	44	46	4	—	189	16	17	8	3
11	Dobšina	2	3	8	—	—	5	10	73	27	—	—	95	10	5	8	15
12	Prakovec	5	5	7	—	—	3	28	31	36	18	30	298	11	164	13	—
13	Helmanovce	9	11	11	—	—	4	8	132	16	3	56	400	7	22	2	4
14	Rudňany	10	105	9	20	—	7	17	9	15	8	—	215	12	8	19	5
15	Novoves. Huta	4	21	8	—	—	4	11	22	38	—	—	38	11	2	4	9
16	Žlovinky	11	22	27	—	—	9	10	45	26	7	—	136	9	55	14	1
17	Christi St.	3	17	53	—	—	22	10	142	33	5	57	350	10	20	57	10
18	Lucia baňa	3	7	—	—	—	2	—	313	17	50	—	560	—	34	30	5
19	Krásnh. Podhr.	2	15	—	—	—	—	—	—	—	15	—	—	—	40	25	—
20	Karol St.	3	—	—	—	—	—	2	42	3	5	—	17	2	4	—	—
21	Spis-Gemer rudoh.	41	39	2	—	—	16	55	114	15	14	—	237	5	61	41	12
22	Auslnd. Dischld.	13	53	8	—	—	2	7	40	26	9	—	141	3	31	73	3
23	Auslnd. UdSSR	4	93	1	—	—	1	8	96	25	8	13	158	31	15	1	8
24	Vatambre (Kuba)	3	—	—	—	—	—	—	43	—	—	—	103	—	8	17	5
25	B. Stianica	13	47	6	—	—	12	12	5	23	5	45	447	10	135	1	4
26	Hodruša	5	56	22	—	—	21	13	50	41	12	—	50	13	69	3	7
27	Bulgarien	5	3	6	—	—	66	9	4	40	—	—	210	4	22	—	9
28	Rumänien	5	10	3	—	—	2	3	29	10	10	—	51	3	45	7	3
29	Zlaté Hory	3	170	40	—	—	5	—	10	17	40	—	320	22	140	2	83
30	Smolník	4	6	4	—	—	3	15	203	50	36	50	392	13	80	4	4
31	Balan, Rumänien	2	65	5	—	—	115	15	115	15	23	—	505	450	20	41	35
32	Sulitjelma	4	83	27	—	—	9	15	38	33	8	25	3328	210	63	28	50

Tab. 1. Die Durchschnittsgehalte an Mikroelementen in ppm von Chalkopyriten der einzelnen Lagerstättengruppen. Erläuterungen: 1 — Staré Ransko. 1 Analyse, liquidmagmatische Pyrrhotin-Pentlandit-Chalkopyritlagerstätte in basischen und ultrabasischen Gesteinen (Gabbro, Troktolit). Sklené (erste Analyse) SSO von Svitavy. Körniger Chalkopyrit mit Pyrrhotin und Hornblendit. 2 — Chalkopyrite aus liquimagmatischen Lagerstätten des Auslands (Sudbury-Kanada, Sohland-DDR, Norilsk-UdSSR). 3 — Chalkopyrite verschiedener hydrothermal-plutonogener Lagerstätten des Böhmisches Massivs (Prachatice, Zadní Chodov, Tři Sekery, Týnec nad Labem, Ludvíkov, Dědova Hora, Mutěnin, Prostřední Lhota, Radlík, Hřímeždice). 4 — Zálesí, SW vom Javorník, Schlesien, CSSR, hydrothermal-plutonogene Lagerstätte mit Chalkopyrit und stellenweise mit Pechblende. 5 — Borovec bei Stepánov, östlich von Bystrice nad Perštejnem. Chalkopyrit in hydrothermalen Quarzgängen. 6 — Region von Brno (Brünn). Hydrothermale Quarzgänge oder Gänge mit Chalkopyritgehalt, gewöhnlich in magmatischen Gesteinen (Brünn Eruptivkomplex), oder in basischen Metamorphiten (Želežice, Komín, Tetčice). 7 — Tatrovporiden. Chalkopyrite aus hydrothermal-plutonogenen Lagerstätten des Tatrovporiden-Kristallinikums. 8 — Spania Dolina bei Banská Bystrica. Chalkopyrit in Quarzgängen und Imprägnationen im Verrucano und in der Untertrias. 9 — Polkanová. Wie unter Nr. 8. 10 — Gelnica, Spišsko-Gemerské rudohorie (Zips-Gömörer Erzgebirge¹). Siderit-Quarzgänge in phyllitischen Gesteinen. 11 — Dobšiná. Siderit-Quarzgänge mit Chalkopyrit in kristallinem Schiefer. 12 — Prakovec. Siderit-Quarzgänge mit Chalkopyrit, Tetraedrit in phyllitischen kristallinen Schiefen. 13 — Hečmanovce. Siderit-Quarz-Chalkopyritgänge mit Pyrit in kristallinen Schiefen. 14 — Rudňany. Siderit-Quarz- und Barytgänge mit Chalkopyrit, Tetraedrit in phyllitischen und chloritischen kristallinen Schiefen. 15 — Novoveská Huta. Chalkopyrit-Quarz-Vererzung in Verrucano-Sedimenten. 16 — Slovinky. Hydrothermale Quarz-Sideritgänge mit Chalkopyrit, Pyrit und stellenweise mit Tetraedrit. 17 — Nižný Medzev, Stollen „Himmelfahrt Christi“, Chalkopyrit in Siderit-Quarzgangen in Phylliten. 18 — Lucia baňa. Chalkopyrit in Siderit-Quarzgangen. 19 — Krasnohorské Podhradie. Siderit-Baryt-Chalkopyritgänge in der porphyroiden Serie. 20 — Smolník. Stollen „Karol“. Siderit-Quarzgänge mit Chalkopyrit, Tetraedrit, Baryt und Specularit. 21 — Chalkopyrit aus weiteren gangförmigen Siderit-Quarzlagerstätten. (Hnilčík, Bindt, Smrčí lom). 22 — Chalkopyrit aus hydrothermal-plutonogenen Lagerstätten der DDR und BRD. (Clausthal, Freiberg, Siegen, Salgendorf, Erzgrube Bad Niederschelden Ernst Rheinpolussen, Maubach. 23 — Chalkopyrite aus hydrothermalplutonogenen Lagerstätten auf dem Gebiete der UdSSR (Kaukasus, Boguslavsk). 24 — Matahambre, Kuba. Hydrothermal-plutonogene Lagerstätte. 25 — Banská Stiavnica (Schemnitz). Hydrothermal-subvulkanische polymetallische Ganglagerstätte in Vulkaniten (Andesite). 26 — Hodruša. Wie bei Nr. 25. 27 — Hydrothermal-subvulkanische polymetallische Lagerstätten Bulgariens (Kreidevulkanismus). (Vrli Briag, Mina Rosen). 28 — Hydrothermalsubvulkanische gangförmige polymetallische Lagerstätten mit Chalkopyrit in Vulkaniten (Rumänien — Ilba, Baia Sprie). 29 — Zlaté Hory, Region von Jeseníky, Schlesien, CSSR. Quarz-Pyrit-Chalkopyrit polymetallische, gangförmige und linsenförmige (geosynklinale) Vererzung in kristallinen Schiefen. Verschiedene metamorph rekristallisierte Erze. 30 — Smolník, Spišsko-gemerské rudohorie (Zips-G. Erzgeb.). Chalkopyrite in syngenetischer Pyritvererzung in Phylliten und Chloritschiefern. 31 — Balan, Gebiet Hargita, Rumänien. Pyrit-Chalkopyriterz der Kiesformation in Chlorit und Serizit Schiefen (ähnlich denen von Smolník). 32 — Sulitjelma. Chalkopyrite aus metamorphierten Kieslagerstätten.

Analysen“ hinzugerechnet wurden. Es handelt sich hierbei um die Rubriken 2b, 5b, 6b, 11b, 12b, 13b und 14b in der Tabelle 2.

In Tabelle 2 sind die Durchschnittswerte an Gehalten von Mikroelementen aus Chalkopyriten angeführt, die aus grösseren Gesamtheiten oder Lagerstättengruppen genommen wurden. Die Verfasser verweisen darauf, dass beim Vergleich der nebeneinander angeführten sogen. „reinen“ Chalkopyrite, bezeichnet mit dem Symbol „a“ und der wenig „verunreinigten“, bezeichnet mit dem Symbol „b“ eindeutig zu sehen ist, dass die Zugabe dieser weiteren Analysen die Werte der arithmetischen

¹ Bei den Lagerstätten unter den Nummern 10 bis 21 handelt es sich um solche des Zips — Gömörer Erzgeirges (Spišsko-Gemerské rudohorie).

Tabelle 2. Die Durchschnittsgehalte an Mikroelementen (in ppm) in Chalkopyriten aus grösseren Lagerstättengruppen

Nr.	Lokalität	Analysen- anzahl	Pb	Sb	As	Bi	Mo	Sn	V	In	Cd	Zn	Ti	Ag	Ni	Co
1	Liquations-Ch.	8	44	—	—	4	10	15	19	8	38	421	32	64	2884	257
2a	Böhmen	12	24	—	—	11	3	18	7	4	—	68	35	112	16	2
2b	Böhmen	15	22	—	—	10	2	16	5	4	3	98	42	108	16	3
3	Zálesí + Borovce	11	21	—	—	3	8	31	33	10	—	159	4	131	28	8
4	Mähren + Schlesien	10	14	—	—	4	9	19	15	6	19	284	32	37	27	21
5a	Mähren + Schlesien	27	16	—	—	3	7	32	21	7	7	176	20	75	22	11
5b	Mähren + Schlesien	32	17	—	—	3	7	37	18	8	33	153	34	62	21	9
6a	Böhmen + Mähren	39	18	—	—	5	6	28	17	6	5	142	24	87	20	8
6b	Böhmen + Mähren	48	18	—	—	29	5	30	14	7	23	131	36	73	19	17
7	Tatroveporiden	4	24	—	—	8	9	31	28	11	38	250	50	52	50	55
8	Špania dol. + Polkanová	6	1	—	—	7	5	47	17	—	—	58	2	7	10	12
9	7 + 8	10	10	—	—	7	7	40	21	5	15	134	22	25	26	30
10	Novoveská Huta	4	8	—	—	4	11	22	38	—	—	38	11	2	4	9
11a	Spis-Gemer	70	16	3	—	7	10	75	20	9	12	226	9	40	18	5
11b	Spis-Gemer	89	11	36	—	10	9	81	20	12	9	205	8	46	13	6
12a	Ausländische	27	9	—	—	6	6	48	20	7	4	124	7	35	39	4
12b	Ausländische	31	18	—	—	7	9	47	24	9	8	391	5	44	24	8
13a	B. Štiav. + Hodruša	18	49	—	—	16	13	17	28	7	11	337	11	117	2	5
13b	B. Štiav. + Hodruša	38	100	—	—	42	12	13	24	5	13	359	19	125	6	93
14a	Auslnd. subvulk.	10	5	—	—	34	6	17	25	—	—	130	4	34	4	6
14b	Auslnd. subvulk.	14	4	—	—	30	5	20	25	2	4	153	4	39	8	5
15	ČSSR + Auslnd., hydroth.	150	15	2	—	6	8	53	20	8	8	174	13	49	22	8
16	ČSSR + Auslnd. subvulk.	28	31	—	—	22	10	17	27	4	7	263	8	9	2	5
17	Hydr. + subvulk.	178	17	2	—	9	8	48	21	7	8	188	13	55	19	7
18	Sedim., metamorph.	9	27	—	—	28	10	119	31	24	22	393	46	87	5	37

Tab. 2. Die Durchschnittsgehalte an Mikroelementen (in ppm) in Chalkopyriten aus grösseren Lagerstättengruppen. Erläuterungen:² 1 — Chalkopyrite aus liquidmagmatischen Lagerstätten (Tab. 1, Nr. 1, 2). 2a — Chalkopyrite von hydrothermal-plutonogenen Lagerstätten aus dem Gebiete Böhmens (Tab. 1, Nr. 3). 2b — Dasselbe; 3 — Chalkopyrit hydrothermal-plutonogener Lagerstätten von Zálesí und Borovec (Tab. 1, Nr. 4, 5). 4 — Chalkopyrit einiger weiterer hydrothermal-plutonogener Lagerstätten des Gebietes Mähren und Schlesiens (ČSSR) der Lokalitäten Bohutín, Mladoňov, Hrabůvka, Heroltice, Dol. Rožinka, Javorník, Lesní Čtvrť, Bukov, Klepáčov, Vrbno. 5a — Chalkopyrite hydrothermal-plutonogener Lagerstätten Mährens und Schlesiens (ČSSR). 5b — Dasselbe. 6a — Sämtliche Chalkopyrite hydrothermalplutonogener Lagerstätten Böhmens, Mährens und Schlesiens (ČSSR). 6b — Dasselbe. 7 — Chalkopyrite hydrothermal-plutonogener Lagerstätten der Tatrovporiden (Tab. 1, Nr. 7). 8 — Chalkopyrite hydrothermal-plutonogener Lagerstätten von Špania Dolina und Polkanová (Tab. 1, Nr. 8, 9). 9 — Chalkopyrite hydrothermal-plutonogener Lagerstätten der Tatrovporiden, Špania Dolina und Polkanová (Tab. 1, Nr. 7, 8, 9). 10 — Novoveská Huta. Chalkopyrite hydrothermal-plutonogener Lagerstätten von Permsedimenten des Spišsko-gemerské rudohorie (Žips-G. Erzgeb. Tab. 1, Nr. 15). 11a — Sämtliche Chalkopyrite hydrothermal-plutonogener Lagerstätten des Spišsko-gemerské rudohorie (Žips-G. Erzgeb.). 11b — Dasselbe. 12a — Chalkopyrite hydrothermal-plutonogener Lagerstätten des Auslands, 12b — Dasselbe. 13a — Chalkopyrite hydrothermal-subvulkanischer Lagerstätten des Gebietes Banská Štiavnica (Schemnitz) und Hodruša. 13b — Dasselbe. 14a — Chalkopyrite hydrothermal-subvulkanischer Lagerstätten des Auslands. 14b — Dasselbe. 15 — Sämtliche, von Autoren der ČSSR und des Auslands analysierte Chalkopyrite hydrothermal-plutonogener Lagerstätten. 16 — Sämtliche Chalkopyrite hydrothermal-subvulkanischer Lagerstätten. 17 — Sämtliche, von den Autoren analysierte Chalkopyrite hydrothermal-plutonogener und subvulkanischer Lagerstätten. 18 — Chalkopyrite syngedimentärer metamorphierter Lagerstätten vom Kiestyp (Zlaté Hory, Smolnik, Balan-Rumänien).

Durchschnitte der Gehalte an Mikroelementen in den Chalkopyriten unwesentlich veränderten, und deshalb können auch diese gering verunreinigten Chalkopyrite wertvolle Informationen über den Gehalt an Mikroelementen liefern. Genannte Tatsache zeugt auch davon, dass die heterogene Beimengung einer kleinen Menge eines bestimmten Minerals, z. B. Galenits, Sphalerits oder Pyrits in vielen Fällen den Gesamtcharakter der quantitativen Mengen weiterer Mikroelemente, die in ihnen nicht mehr als im Chalkopyrit, akkumuliert sind — sodass sie die Gehalte nicht erhöhen, nicht grundlegend beeinflussen. Deshalb genügt es für gewöhnlich, bei der Berechnung des Durchschnittsgehaltes lediglich den Gehalt jenes Elementes zu eliminieren, das für das assoziierte Mineral grundlegend ist und anomale Werte erreicht.

Der Erläuterung der beigelegten Tabellen sollen folgende Informationen dienen:

In Tabelle 1 sind die Durchschnittswerte an Gehalten von Mikroelementen in Chalkopyriten der einzelnen Lagerstätten oder der einzelnen genetischen Vererzungstypen, gegebenenfalls der einzelnen geographischen Gebiete der ČSSR oder aber auch von Lagerstätten des Auslands angeführt (nähere Erläuterungen befinden sich unterhalb der Tabellen).

In Tabelle 2 werden die Durchschnittswerte grösserer Analysengesamtheiten aus einer grösseren Anzahl von Lagerstätten angegeben und zum Vergleich sind auch die Durchschnitte angeführt, bei welchen auch die Analysen mit geringer Verunreinigung eines Mikroelements hinzugerechnet wurden, so wie dies bereits vormeläutert wurde.

Aus den einzelnen Analysen, aus denen die Durchschnittsgehalte an Mikroelementen errechnet wurden, wurde auch eine Tabelle der Gehaltsfrequenzen zusammengestellt

² In den Rubriken mit dem Symbol „b“ wurden bei den Berechnungen der Durchschnitte auch solche Chalkopyritproben mit geringer heterogener Beimengung eines Minerals miteinbezogen.

Tabelle 3. Tabelle der Gehaltsfrequenzen an Mikroelementen

Element	0	< 3	< 10	< 30	< 100	< 300	0—20	20—40	40—60	60—80	80—100
Mn	60	15	21	2	—	—	69	28	11	8	10
Pb	105	—	23	62	—	—	4	20	9	8	4
Bi	99	31	74	—	—	—	25	11	10	4	2
Zn	34	—	—	1	55	35	—	—	—	—	1
Ag	12	39	2	—	—	—	86	35	17	12	17
Ni	103	35	43	—	—	—	31	21	8	4	6
Co	147	—	32	41	—	—	12	6	10	2	5
Ti	90	—	86	52	—	—	10	8	7	1	2
Sb	235	—	—	—	4	14	—	—	—	—	—
Sn	36	—	123	—	—	—	12	21	17	19	9
V	91	—	22	66	86	—	7	1	—	—	—
In	160	—	4	99	—	—	—	5	6	1	1
Cd	231	—	—	—	32	9	—	—	—	—	1
Mo	97	—	35	140	—	—	—	—	—	1	1

Tab. 3. Tabelle der Gehaltsfrequenzen an Mikroelementen in von den Autoren analysierten Chalkopyriten. Erläuterungen: In die Tabelle sind auch jene Werte der Gehalte an Mikroelementen eingetragen worden, die von sogenannten verunreinigten Chalkopyriten stammen, d. h. auch jene Gehalte von Elementen, die bei der Berechnung des arithmetischen Mittels dieser Gruppe als anomal ausgeschlossen wurden. Arsen wird in der Tabelle nicht angeführt, da sein Grenzwert der analytischen Nachweisempfindlichkeit hoch ist (≈ 1000 ppm). In der Tabelle

(Tabelle 3). In diese Tabelle wurden auch Analysen miteinbezogen, die geringe Verunreinigungen mit erhöhtem Gehalt eines Mikroelements aufwiesen, wobei auch der eigentliche Wert des Gehaltes dieses Mikroelements in der Tabelle angegeben wird.

Zum Vergleich der so gewonnenen Ergebnisse seien hier einige publizierte Angaben ausländischer Autoren über chemische Analysen von Chalkopyriten angeführt (Tab. 4, 5).

Es muss konstatiert werden, dass bisher in der ČSSR quantitative Analysen von Chalkopyriten nicht durchgeführt und veröffentlicht wurden und in den Publikationen werden lediglich qualitative oder semiquantitative Angaben gemacht. Auch diesen Analysen nach ist zu sehen, dass entgegen anderen Minerale Chalkopyrit verhältnismässig wenig analysiert wurde und dies zumal seines sporadischen und verstreuten Vorkommens wegen, sowie wegen der bei der Separation anfallenden Schwierigkeiten. Deshalb wurde ein bedeutender Teil der semiquantitativen Analysen von Proben gemacht, die obzwar peinlich unter der Lupe separiert, dennoch ziemlich verunreinigt waren; dies geht daraus hervor, dass in den Analysen verhältnismässig hohe Gehalte von Elementen angeführt sind, die nicht Bestandteil des Chalkopyritgitters sein können (Ca, Mg, Si usw.).

Aber auch in den Laboratorien der übrigen Welt wurde der quantitativen Erforschung der Elemente des Chalkopyrits bisher keine erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet. Dem-

in von den Autoren analysierten Chalkopyriten

100—200	200—300	300—400	400—500	500—700	700—1000	1000—5000	5000—10000	> 10000
25	14	3	1	2	—	3	—	—
8	4	6	2	4	2	11	—	—
11	2	1	—	—	1	2	—	—
14	11	24	20	22	18	21	11	10
25	14	5	2	1	2	2	—	14*
5	6	—	1	—	—	14	—	—
7	2	—	1	3	4	5	—	—
13	5	2	—	1	—	2	—	—
1	2	—	1	2	3	4	—	—
16	11	5	4	4	—	3	—	—
—	1	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	1	—	—	—	—	—
4	1	1	1	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—

sind gleichzeitig auch die Grenzwerte der analytischen Nachweisempfindlichkeit der spektrochemischen Methode für die einzelnen Elemente angegeben (Die Zahlen hinter dem Symbol „<“ — kleiner als). Diese Methode ist im Hinblick auf die angewendeten drei Varianten unterschiedlich; der Unterschied besteht im Typ der angewendeten Energiequelle und in der Art der Anregung (Selengeleichrichter und Motor-Generator).

zufolge können aus der Weltliteratur nur wenige Autoren angeführt werden, die ähnliche Analysen publizierten. Zum Vergleich werden hier in Tabellenform und auch im zugehörigen Text die Ergebnisse spektrochemischer Analysen einiger ausländischer Autoren zitiert (M. Fleischer 1955; F. Hegemann 1943; F. Hegemann, G. Sybel, G. Wilk 1955; S. Gavelin, S. Gabrielson 1947; J. F. Hawley und I. Nichol 1961; S. T. Badalov, A. S. Povarennych 1969).

Die Arbeit M. Fleischers (1955) umfasst alle existierenden Analysen von Sulfiden, die bis zum Jahre 1955 publiziert wurden. Diese Tabelle (Tab. 4) wird auch hier wiedergegeben und es sind in ihr die Gehaltswerte an Mikroelementen in Gruppen eingeteilt, sodass die Frequenz ihrer Gehalte bestimmt werden kann.

P. E. Auger (1941) führt in seiner Arbeit keine konkreten Werte der Analysen an, sondern nur ein Diagramm, in welchem er die Angaben der einzelnen spektrochemischen Analysen ins Verhältnis zur Tiefe der Lagerstätte setzt. Zu einer solchen Analyse bei der Lagerstätte Noranda in Quebec, Kanada, bot sich insofern Gelegenheit, da diese 3.200 Fuss tief liegt.

Nach P. E. Auger wird das Maximum an Zink und Silber in Chalkopyriten bei einer Tiefe von 2 500 Fuss erreicht. Die übrigen Mikroelemente steigern in Richtung zu grösseren Tiefen hin die Gehaltsstreuung im Chalkopyrit. Der Gehalt an Kobalt steigert sich in den Chalkopyriten mit zunehmender Tiefe, während Nickel sehr konstant

Tabelle 4. Tabelle der Gehaltsfrequenzen an Mikroelementen im Chalkopyrit nach M. Fleischer (1955)

Element	Maximale Konzentration in ppm	Anzahl der Proben in den jeweiligen Konzentrationsgruppen								Gesamtanzahl der Proben	Grenzwert der Nachweisempfk. in ppm		
		1 % oder mehr	5.000—9.999 ppm	1.000—4.999 ppm	500—999 ppm	200—499 ppm	100—499 ppm	50—99 ppm	10—49 ppm			nicht gefunden	
Co	1.000 2.000	—	—	2	1	6a	1	5	13b	—	60	88	10
In	1.000	—	—	4	3	—	—	5	2	6	13	33	1—10
Mn	1—2 %	2	—	1	1	5	2	1	16	5	3	36	10
Ni	1.000 2.000	—	—	2	—	11c	4	3	22d	4	39	85	10—15
Se	2.100	—	—	2	2	7	5	4	22	1	—	43	1—10
Ag	2.300	—	—	1	2	1e	1	1	2	—	—	8	?
Sn	770	—	—	—	1	1	3	2	2	—	1	10	10

Tabelle 5. Tabelle der Gehaltsfrequenzen von Co und Ni in 50 Chalkopyriten nach F. Hegemann (1943)

ppm	Co	Ni
10	in 39 Analysen	in 21 Analysen
10—90	in 6 Analysen	in 17 Analysen
100—900	in 4 Analysen	in 10 Analysen
1 000—2 000	in 1 Analyse	in 2 Analysen

und verhältnismässig hoch ist und dies sowohl in Chalkopyriten als auch in Pyrrhotinen. Titan ist bei Chalkopyriten niedrig.

Besonders umfangreiche Arbeiten zur geochemischen Erforschung von Pyrit, Pyrrhotin und Chalkopyrit leistete F. Hegemann (1943). Die Ergebnisse der 50 Analysen von Chalkopyriten seien in der folgenden Tabelle 5 angeführt.

F. Hegemann, G. Sybel und G. Wilk (1955) führen am Ende ihrer methodischen spektrochemischen Arbeit über die Bestimmung von Mikroelementen in Chalkopyriten eine Anzahl von Chalkopyritanalysen an, deren Proben aus verschiedenen Lagerstätten Deutschlands stammen. Die Durchschnittswerte der Gehalte an Mikroelementen in Chalkopyriten (in ppm) werden in der folgenden Tabelle 6 wiedergegeben.

Tabelle 6. Tabelle der Analysen von Mikroelementen in Chalkopyriten. Die Durchschnittswerte errechnet nach F. Hegemann, G. Sybel und G. Wilk (1955).

Nr.	Probenanzahl	Co	Ni	Mn	Zn	Pb	Sn	As	Bi	Ti	Ag	Mo
1	8	116	137	126	90	215	83	187	—	50	52	—
2	7	22	1119	166	574	53	20	711	—	254	57	36

Bei der Berechnung des Durchschnitts wurden die anomalen Werte nicht einberechnet. Erläuterungen: 1 — Verschiedene Lokalitäten Deutschlands und des Auslands (Atacama, Dermbach, French Creek Mine, Gosenbach bei Siegen, Heinrichsseggen bei Hüsen, Littfeld — Grube Viktoria, Nassau, Wölsendorf). 2 — Mühlbach Salzburg. Sb, Tl, Ge, Au sind in den untersuchten Proben nicht gefunden worden.

In der Arbeit S. Gavelins und O. Gabrielsons (1947) werden die Ergebnisse der Analysen von Proben aus dem Erzgebiet von Skellefte (Nordschweden, nordwestlicher Teil des Bottnischen Busens) wiedergegeben. Es handelt sich hierbei um Pyrit-Pyrrhotin-Erze, als auch um Arsenopyrit-, Chalkopyrit- und Sphaleriterze.

S. Gavelin und O. Gabrielson verfolgten die Mikroelemente Ni, Co, Mn und teilweise auch Bi und Sn in Eisensulfiden der verschiedenen oben angeführten, in den gleichen Lagerstätten vorkommenden Erztypen.

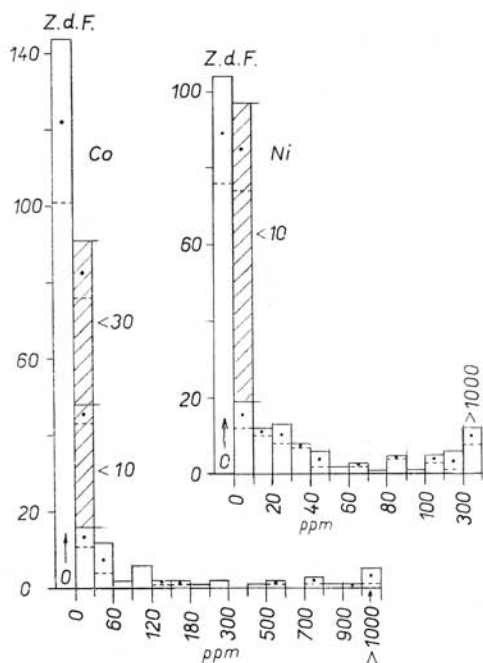


Abb. 1—5. Histogramme der Gehalte an Mikroelementen in Chalkopyriten. Auf der vertikalen Achse wurde die Anzahl der Fälle, auf der horizontalen die Gehalte an Mikroelementen im ppm aufgetragen. Die mit Punkt bezeichneten Spalten stellen die Analysenanzahl von Chalkopyriten mit geringer Verunreinigung eines Minerals dar. Die schraffierten Spalten stellen Werte dar, die unterhalb der Nachweisgrenze der Methode liegen.

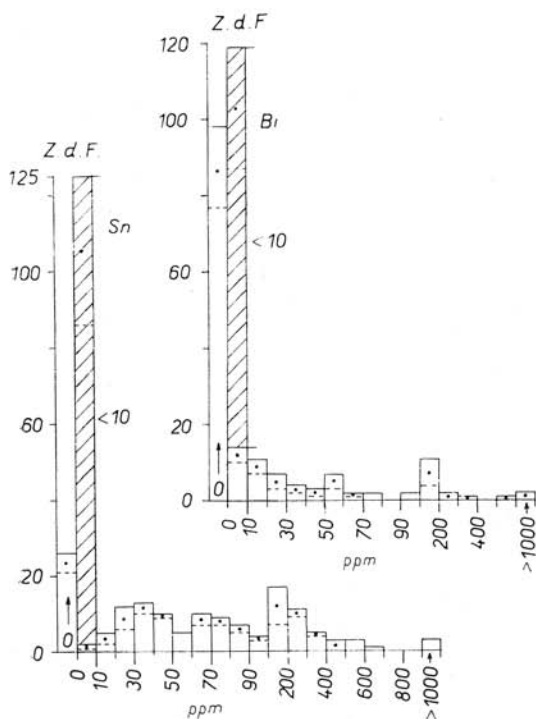


Abb. 2

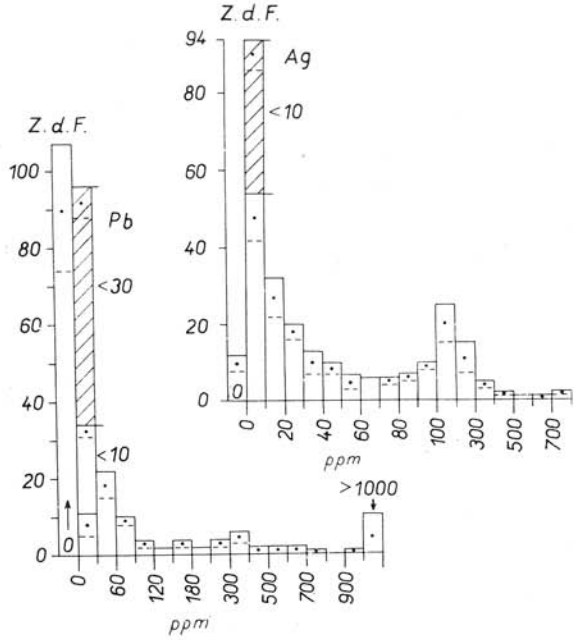


Abb. 3

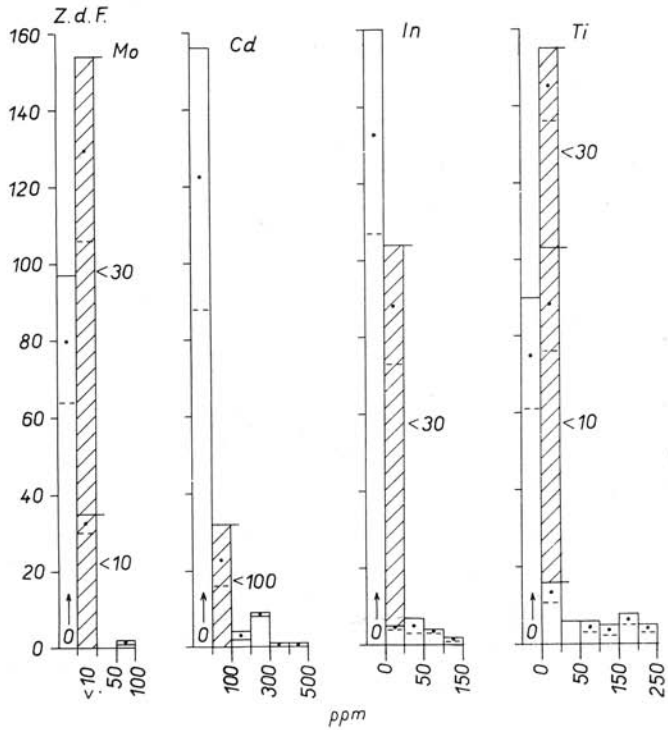


Abb. 4

Sie stellten fest, dass von den 31 Chalkopyriten an die 60 % Zinn enthielten. Sie setzten voraus, dass es sich um Stannin handelt.

Wismut kommt in Chalkopyriten aus Erzen mit Zinkgehalt vor. Gesamtheitlich ist jedoch Bi in den von den Autoren analysierten Proben ein seltenes Element der Chalkopyrite. Von 33 Chalkopyriten enthielten lediglich 4 Proben Wismut und das jene, welche aus Kupfererzen stammten. Die Durchschnittsgehalte an Co, Ni und Mn sind in der folgenden Tabelle 7 wiedergegeben, wobei die Zahl im Nenner die Anzahl der Analysen bedeutet.

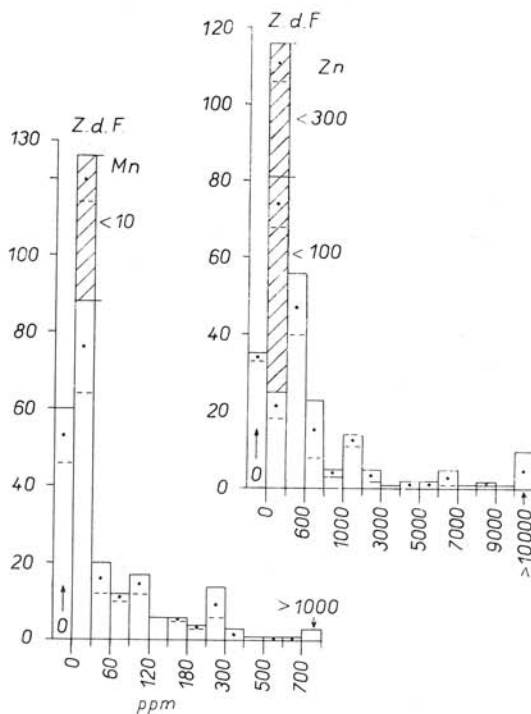


Abb. 5

Tabelle 7. Die Durchschnittsgehalte an Co, Ni und Mn nach S. Gavelin und O. Gabrielson (1947).

Probennummer	Lokalität	Co	Ni	Mn	Probennummer	Lokalität	Co	Ni	Mn
1	Bjurträsk	—	1/4	30/4	5	Karlsson	—	5/2	10/2
2	Kristineberg	—	—	9/4	6	Lindsköld	17/3	8/3	83/4
3	Rävliden	—	—	153/2	7	Laver	37/9	58/9	133/7
4	Adak Mine	40/5	—	38/5					

Des weiteren folgt eine Tabelle der Gehaltsfrequenzen von Co, Ni, Mn in 32 Chalkopyriten aus dem Gebiete von Skellefte (Tab. 8, 9).

J. E. Hawley und I. Nichol (1961) studierten die Mikroelemente in Pyriten, Pyrrhotinen und Chalkopyriten dreier Lagerstättentypen Kanadas und zwar aus magmatogenen Nickelerzen, aus hydrothermalen Kupfererzen und aus pyrittragenden Goldlagerstätten. Die Durchschnittswerte der Analysen ohne Anomalwerte sind in der folgenden Tabelle 10 zusammengefasst.

Beim Vergleich der hier gewonnenen Ergebnisse mit den Analysen von J. E. Haw-

Tabelle 8. Gehaltsfrequenzen von Co, Ni in 32 Chalkopyriten von Skellefte nach S. Gavelin, O. Gabrielson (1947).

Element	Co				Ni		
ppm	< 10	10—90	400—900	> 900	< 10	10—90	100—300
D. s. % der Analysenanzahl	53,5	31	12,5	3	59,5	25	15,5

Tabelle 9. Gehaltsfrequenzen von Mn in 32 Chalkopyriten von Skellefte nach S. Gavelin, O. Gabrielson (1947).

Element	Mn				
ppm	< 10	10—90	100—900	1000—9000	> 9000
Analysenanzahl	6	15	8	1	2
D. s. % der Analysenanzahl	19	47	25	3	6

Tabelle 10. Tabelle der Durchschnittsgehalte an Mikroelementen aus Chalkopyriten verschiedener Erztypen (nach J. E. Hawley, I. Nichol 1961).

Nr.	Probenanzahl	Co	Ni	Pb	Sn	Ti	Ag
1	28	154	370	190	n	310	180
2	44	192	29	198	223	100	190
3	1	360	48	180	n	150	165

Erläuterungen: 1 — Ni-Erze (Sudbury); 2 — Cu-Erze (Flin Flon, Chiboungamau, Queмонт, Noranda, Normetal, Manitouwadge); 3 — Au-Erze (Mc Intyre); n — nicht bestimmt worden.

Tabelle 11. Die Distribution der Beimengungselemente in Chalkopyriten endogener Lagerstätten von Karamazara (UdSSR, in ppm) nach E. T. Badalov und S. Povarennyh (1969)

Erzformation	Anzahl d. ermittelten Lagerst.	Silber	Gallium	Indium	Selen	Kadmium	Thallium	Wismut	Tellur
Skarn-magnetitisch mit Bi	2	$\frac{6}{10}$ (2)	0	0	$\frac{35}{60}$ (12)	0	0	$\frac{450}{400}$ (13)	$\frac{30}{50}$ (12)
Skarn-molybdänitisch mit Schellit	1	0	$\frac{1,8}{15}$ (15)	0	$\frac{37}{65}$ (15)	0	0	$\frac{720}{1030}$ (27)	$\frac{200}{350}$ (15)
Skarn-chalkopyritisch mit Au	1	$\frac{29}{50}$ (7)	$\frac{1}{5}$ (7)	$\frac{13}{30}$ (7)	$\frac{320}{700}$ (7)	$\frac{136}{250}$ (7)	0	0	$\frac{78}{210}$ (7)
Quarz-molybdänitisch	1	150 (1)	0	4 (1)	30 (1)	25 (1)	0	0	5 (1)
Quarz-molybdänit-chalkopyritisch	14	$\frac{200}{500}$ (46)	$\frac{9}{40}$ (26)	$\frac{6}{14}$ (73)	$\frac{51}{140}$ (79)	$\frac{21}{30}$ (8)	$\frac{7}{23}$ (44)	$\frac{240}{1100}$ (53)	$\frac{7}{26}$ (79)
Skarn-polymetallisch	9	$\frac{510}{1200}$ (45)	0	0	$\frac{12}{40}$ (22)	0	$\frac{4,8}{6}$ (10)	$\frac{440}{1}$ (1)	$\frac{7}{31}$ (12)
Aderförmig eingestreut mit Zinn	1	$\frac{200}{360}$ (8)	0	$\frac{210}{260}$ (2)	$\frac{55}{160}$ (4)	$\frac{270}{300}$ (2)	0	0	$\frac{4,5}{55}$ (4)
Gangförmig polymetallisch	2	$\frac{220}{240}$ (3)	0	0	10 (1)	0	4 (1)	0	10 (1)
Quarz-Golderz	2	140 (1)	0	32 (1)	$\frac{3}{6}$ (2)	0	$\frac{0,7}{1,5}$ (2)	0	Spuren (2)
Maximalgehalte im Mineral		3300	70	450	1000	1200	50	2500	500

Erläuterung: Im Zähler sind die Durchschnittsgehalte der Mikroelemente, im Nenner ihre Maximalgehalte und in Klammer ist die Anzahl der Analysen angeführt.

I. Ley und I. Nichol ist ersichtlich, dass hier die Mengen an Co, Ni, Ag und Pb höher sind. Sie erachten die Proben als genügend rein und die Reinheit wurde durch den RTG-spektrographischen Vergleich mit einem reinen Chalkopyritstandard durchgeführt.

Schliesslich verdient die Arbeit von S. T. Badalov und A. S. Povarennych (1969) der Erwähnung; diese führten eine Tabelle (Tab. 11) mit Gehalten an Mikroelementen in Chalkopyriten verschiedener genetischer Typen an. Innezufolge sind in den Chalkopyriten von den Mikroelementen als isomorphe Beimengungen lediglich die Elemente Ag, Ga, In und Se, wogegen die übrigen anwesenden Elemente im Chalkopyrit Bestandteile selbstständig auftretender Minerale sind. Die Ergebnisse der Analysen von S. T. Badalov und A. S. Povarennych sind in Tab. 11 zusammengefasst.

Ein Vergleich der von den Verfassern dieses Beitrags gemachten Analysen mit jenen ausländischer Autoren lässt es offenkundig werden, dass hier die Kriterien an die Gründlichkeit der Separation anspruchsvoller gestellt wurden, und dass mehrere der zitierten Chalkopyritanalysen die vorher publiziert wurden, in die Kategorie „b“, d. h. die verunreinigten, bzw. ungenügend separierten Chalkopyrite fielen. Weitere Studien werden notwendig sein, um das Verhältnis und die Stellung der einzelnen Mikroelemente im Chalkopyrit zu klären, um Verfahren der Separation von reinen Mineralfraktionen zu finden, damit der Begriff des „rein separierten“ Minerals sich decke mit dem Begriff der tatsächlichen Reinheit des Minerals ohne heterogene Beimengungen fremder Minerale. Mag diese Reinheit wenschon nicht absolut, so doch real sein.

Schlussfolgerung

1. Die Arbeit bietet einen Überblick vom Mikrochemismus der Chalkopyrite. Es wurden die Durchschnittswerte aus 196 Analysen verhältnismässig „reiner“, gut separierter Chalkopyrite und aus 59 Chalkopyriten mit erhöhtem Gehalt eines Elements berechnet. Die Erhöhung eines Elements schreiben die Autoren der Assoziation eines Minerals mit dem Chalkopyrit zu.

2. Bei Chalkopyriten hydrothermaler Lagerstätten ist der Mikrochemismus annähernd gleichartig, oder aber er schwankt nur unwesentlich, falls es sich um die erste Gruppe der „reinen Chalkopyrite“ handelt. Die grösste Unterschiedlichkeit haben Chalkopyrite der liquidmagmatischen Lagerstätten und metamorphogene Chalkopyrite. Ein bedeutender Teil der durchgeführten Analysen an Mikroelementen von Chalkopyriten wurde ausgeschlossen, weil die Autoren in diesen Chalkopyriten einen erhöhten Gehalt an heterogenen Bestandteilen zweier oder mehrerer Minerale voraussetzten. Diese Proben werden einer weiteren separationsmässigen, optischen und spektrochemischen Forschung unterzogen.

3. Die hier gewonnenen Ergebnisse der Analysen auf Mikroelemente in Chalkopyriten unterscheiden sich von den in der ausländischen Literatur zitierten Analysen dadurch, dass sie verhältnismässig niedrigere Gehalte an Mikroelementen aufweisen und dies zumal jener, die als isomorph betrachtet werden können. Es zeigte sich, dass in den meisten Fällen die heterogenen Beimengungen einfacher Sulfide (Galenit, Sphalerit, Pyrit, Arsenopyrit und weiterer), falls sie im Chalkopyrit in geringen Mengen vorhanden sind, die Gehalte der übrigen Mikroelemente grundsätzlich auf keine Weise beeinflussen.

4. Die spektralanalytische Kontrolle auf Reinheit der Chalkopyritproben ist äusserst vorteilhaft, da anhand der ausgewählten Linie des Kupfers, Eisens oder sonst welcher

anderer Elemente (Si, Ca, Mg und weiterer), auf den Reinheitsgrad des separierten Minerals geschlossen werden kann.

5. Die Autoren bestimmten, ausgehend von 196 und in einigen Fällen von 255 Chalkopyritanalysen, die Durchschnittsgehalte der einzelnen Mikroelemente, wobei sie den Maximalwert der in die Berechnungen der Durchschnitte einbezogenen Elemente schon für ein Kriterium der erhöhten Verunreinigung betrachten. Zufälligerweise macht dieser Gehalts-Grenzwert für die einzelnen Elemente ungefähr eine fünffache Erhöhung der von den Autoren errechneten Durchschnittswerte der Mikroelemente aus (Tab. 2, Nr. 17). Diese Grenzwerte wurden auch anhand von Histogrammen, welche die Reinheitsgrenze noch einengen beglaubigt. Die Art der Bewertung des Reinheitsgrades von separierten Chalkopyriten soll in der weiteren Etappe durch die optische Methode, anhand des Scanning-Microscops und der Elektronenstrahlmikrosonde beglaubigt werden.

6. Die vorliegende Arbeit weist auf die Notwendigkeit einer wirkungsvollen Separation monomineraler Fraktionen der einzelnen Minerale hin, zumal diese Frage häufig vernachlässigt und unterschätzt wird und die Autoren, die Chalkopyritanalysen anführen, sich oftmals nicht einmal äussern über die Separationsmethoden und den erreichten Reinheitsgrad der analysierten Probe.

7. Die Gesetzmässigkeiten der Distribution der Mikroelemente in Chalkopyriten kann der Leser anhand der Abbildungen 1–5 verfolgen.

8. Die von den Verfassern gewonnenen Ergebnisse von Gehalten an Co und Ni sind derart niedrig, dass anhand ihrer genetische Probleme nicht so erfolgreich gelöst werden können, wie dies die bisherige Erforschung von Co und Ni in Pyriten und Pyrrhotinen ermöglichte. In den genannten Mineralen stellen Co und Ni im Hinblick auf ihre isomorphe Stellung Indikatoren der Genese dieser Sulfide dar.

Übersetzt von E. Walzel.

SCHRIFTTUM

Auger P. E., 1961: Zoning and district variations of the minor elements in pyrite of Canadian gold deposits. *Econ. Geol.* 36, Lancaster. — Badalov S. T., Povarennych A. S., 1969: Izomorfnyje elementy-primesi chalkopyritov. *Geol. žurnal* 29, 6, Kyjev. — Fleischer M., 1955: Minor elements in some sulfide minerals. *Econ. Geol.*, Fiftieth Anniv., Vol., Lancaster. — Gavelin S., Gabrielson O., 1947: Spectrochemical investigations of sulphide minerals from the ores of the Skellefte district. *Sver. Geol. Undersökn.*, 491, Stockholm. — Hawley J. E., Nichol I., 1961: Trace elements in pyrite, pyrrhotite and chalkopyrite of different ores. *Econ. Geol.* 56, 3, Lancaster. — Hegemann F., 1943: Die geochemische Bedeutung von Kobalt und Nickel im Pyrit. *Zeitschrift f. angew. Min.*, 4, Berlin. — Hegemann F., Sybel G., Wilk G., 1955: Spektralanalyse von Pyrit und Kupferkies, *Metallwissenschaft und Technik* 9,21/22, München. — Jarkovský J., Plško E., Streško V., 1971: Spektrochemické metody stanovenia mikroelementov v chalkopyritoch. *Geochemical Data* 1, Praha (im Druck).

Zum Veröffentlichung empfohlen von I. Rojko vič.