Mitt. österr. geol. Ges.	78 (1985) Festschrift W. E. Petrascheck	S. 125–148 14 Abb., 3 Tab.	Wien, 11. März 1986
--------------------------	---	--------------------------------------	---------------------

Zur Mineralogie von Cu-Ni(Co)-Pb-Ag-Hg-Erzen im Revier Schwarzleo bei Leogang, Salzburg, Österreich

Herrn Univ.-Prof. Dr. W. E. PETRASCHECK aus Anlaß der Vollendung seines 80. Geburtstages in Dankbarkeit zugeeignet!

Von W. H. PAAR und T. T. CHEN¹)

Mit 14 Abbildungen und 3 Tabellen

Zusammenfassung

Im Raum Leogang sind seit langem Cu-Ni(Co)-Pb-Ag-Hg-Lagerstätten bekannt, die an obersilurisch-unterdevonische Karbonatgesteine der Grauwackenzone geknüpft sind. Im Rahmen dieser Studie wurden Reicherze des Erasmus-Stollens im Bergrevier Schwarzleo mit auflichtoptischen, röntgenographischen und mikroanalytischen Methoden untersucht.

Die überwiegende Zahl der Proben zeigt eine polymetallische Sulfidassoziation (Typus 1 Erze) in einer Matrix von Mg-Fe-Karbonaten, vor allem Mesitin (~40 Mol.% FeCO₃), untergeordnet Breunnerit bzw. Pistomesit. Sie ist durch folgende Sulfide/Sulfosalze charakterisiert: Bornit, Chalkopyrit, Tetraedrit und Pyrit; untergeordnet: Polydymit, Millerit (wichtige Ni-Träger der Erze), Mawsonit (Sn), Renierit (Ge), Colusit (V), sowie Nukundamit und Luzonit/Stibioluzonit. Myrmekitartige Verwachsungen von Bornit-Mesitin, Chalkopyrit-Mesitin und/oder Polydymit/ Millerit-Mesitin sind verbreitet.

Syngenetisch mit einer jüngeren Dolomitisierung/Silifizierung sind Sulfid-Paragenesen (Typus 2 Erze) mit bemerkenswerten Ag- und Hg-Gehalten. Folgende Mineralphasen wurden nachgewiesen: Amalgam (Kongsbergit), Balkanit (Cu₉Ag₅HgS₈), Betekhtinit (Pb₂ (Cu, Fe)₂₁ S₁₅), Chalkosin, Furutobeit (Cu, Ag)₆PbS₄), Stromeyerit (AgCuS); sowie Bornit, Chalkopyrit, Zinnober, Galenit und Tennantit. Ein Teil dieser Sulfide tritt wiederum in myrmekitartigen Verwachsungen auf (Stromeyerit-Galenit, Stromeyerit-Chalkosin, Chalkosin-Galenit).

Durch Reaktion von (?) ged. Quecksilber mit Polydymit/Millerit der Typus 1 Erze kam es zur Bildung eines Ni-Hg-Sulfides (~Ni₈Hg₃S₈), einem neuen Mineral, dessen Charakterisierung im Gange ist.

Für die Kristallisation der Typus 1 Erze werden Temperaturen $\leq 356^{\circ}$ C, z. T. auch wesentlich darunter ($\leq 282^{\circ}$ C, Polydymit-Millerit-Assoziation), für jene der Typus 2 Erze solche $\leq 150^{\circ}$ C, z. T. auch $\leq 67^{\circ}$ C (Stromeyerit-Chalkosin-Assoziation) angenommen.

¹) Adresse der Verfasser: Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. W. H. PAAR, Institut für Geowissenschaften (Mineralogie) der Universität Salzburg, Akademiestr. 26, A-5020 Salzburg (Austria); Dr. T. T. CHEN, CANMET, Mineral Sciences Division, 555 Booth Street, Ottawa K1A OG1, Canada.

Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Daraus könnte abgeleitet werden, daß die Kristallisation der Typus 1 Erze unter den Bedingungen der im Leoganger Raum nachgewiesenen niedriggradigen Metamorphose (T~350° C, P~2 kb) frühalpidisch erfolgt ist, hingegen die Bildung der Typus 2 Erze anschließend, in einer Spätphase der alpidischen Metamorphose, ablief.

Summary

Cu-Ni(Co)-Pb-Ag-Hg ore deposits occur in the vicinity of Leogang, Salzburg Province, Austria, and had been mined intermittently since the 15th century. The ores occur in the Upper Silurian-Lower Devonian dolomites of the Graywacke Zone, with enrichments near a major thrust fault. High grade ores from the ancient Erasmus mine (Schwarzleo mining district) have been investigated in detail using ore-microscopic and X-ray methods, and the electron microprobe.

Two ore types can be distinguished: The bulk of the samples are Type 1 ores, which show a polymetallic sulfide association in a matrix of Fe-Mg carbonates (mesitite, rarely breunnerite and/or pistomesite). Sulfides are bornite, chalcopyrite, tetrahedrite, and pyrite, with subordinate amounts of polydymite, millerite (both important Ni-carriers of the ores), mawsonite, renierite, colusite, nukundamite and luzonite/stibioluzonite. Myrmekitic intergrowths of bornite-mesitite, chalcopyritemesitite, and/or polydymite/millerite-mesitite can usually be observed.

Type 2 ores with deposition of high-Ag and high-Hg sulfides occurred during a second stage of Leogang mineralization, accompanied by dolomitization and/or silicification of Type 1 ores. The paragenesis of Type 2 ores is: amalgam (kongsbergite), balkanite ($Cu_2Ag_5HgS_8$), betekhtinite ($Pb_2(Cu, Fe)_{21}S_{15}$), chalcocite, furutobeite (($Cu, Ag)_6PbS_4$), stromeyerite, as well as bornite, chalcopyrite, cinnabar, galena and tennantite. Myrmekitic intergrowths of stromeyerite-galena, stromeyerite-chalcocite and chalcocite-galena are frequently observed.

A new mineral ($\sim Ni_8Hg_3S_8$) has been formed by the interaction of native mercury with polydymite/millerite.

The crystallization of Type 1 ores probably occurred at temperatures at or below 356° C (below 282° C for the polydymite-millerite pair). Temperatures at or below 150° C (below 67° C for the stromeyerite-chalcocite pair) are assumed for the formation of Type 2 ores.

There is evidence of a link between the formation of Type 1 ores and the lowgrade, Early Alpidic metamorphism in the Leogang area (T \sim 350° C, P \sim 2 kb) as well as between the formation of Type 2 ores and a late phase of the same metamorphism.

Inhalt

1. Einführung
2. Das Schwarzleo-Revier
3. Erzmineralogie des Erasmusbaues 129
3.1. Mineralogie der Typus 1 Erze 130
3.2. Mineralogie der Typus 2 Erze 136
4. Bildungsbedingungen der Erze 142
5. Schlußbemerkungen
Danksagungen
Literatur

126

Zur Mineralogie von Cu-Ni(Co)-Pb-Ag-Hg-Erzen im Revier Schwarzleo bei Leogang

1. Einführung

Im Bereich der Grauwackenzone westlich der Zeller Furche sind seit langem die Lagerstätten bei Leogang mit den Revieren Nöckelberg, Schwarzleo, Vogelhalte und Inschlagalm bekannt (Abb. 1). Die Bergbaue am Nöckelberg und von Schwarzleo gingen i. w. auf Cu-Ni(Co)-Ag-Erze um, und waren bis 1919 (Nöckelberg) bzw. ~1880 (Schwarzleo) zumindest zeitweise in Betrieb. Die alten Baue der erst kürzlich wiederaufgefundenen Vogelhalte (FEITZINGER und GÜNTHER, 1986) waren im



Abb. 1: Geologie des Leoganger Lagerstätten-Gebietes, Salzburg, Österreich, mit Eintragung der wichtigsten Bergbaue bzw. Erzausbisse (nach HADITSCH & MOSTLER, 1970; mit freundlicher Genehmigung der Autoren).

1 Wildschönauer Schiefer (Ordovizium), 2 Porphyroidtuffeinschaltungen im W. Schiefer (Ordovizium/tief. Silur), 3 Grünschiefer (Ordovizium), 4 Spielberg-Dolomit (Unter-Mittel-Devon), 5 Dolomit der Südfazies (Obersilur-Mitteldevon), 6 Flaserkalke bzw. -Dolomite (Oberdevon), 7 Basalbreccie (Unterrotliegendes), 8 Rote Tonschiefer mit Magnesit-Konkretionen und Permoskyth-Sandstein.

127

18. Jhdt. wegen ihres Silber- und Quecksilber-Reichtums berühmt. Der Spatmagnesit-Bergbau der Inschlagalm wurde erst 1970 eingestellt.

Die zuletzt durchgeführte geologisch-lagerstättenkundliche Bearbeitung des Gebietes erfolgte durch HADITSCH und MOSTLER (1970), die u. a. auf die Faziesgebundenheit der Vererzungen an obersilurisch-unterdevonische Dolomite (Südfazies-Gesteine) hingewiesen haben. – Die mineralogischen Untersuchungen der Lagerstätten durch SCHROLL (1797) bzw. BUCHRUCKER (1891) galten vor allem den gut kristallisierten oder zumindest megaskopisch erkennbaren Mineralien des Erasmusstollens im Schwarzleo-Revier. Die ersten erzmikroskopischen Arbeiten stammen von SCHWARZ (1930), sind aber nur mit Einschränkungen verwendbar. Später haben noch HADITSCH und MOSTLER (1970) sowie SIEGL (1960; persönl. Mitt. 1984) erzmineralogische Bearbeitungen durchgeführt, ihre Angaben beziehen sich jedoch i. w. auf das Nöckelberg-Revier.

Über die Erzmineralogie des Schwarzleo-Revieres (und da im speziellen über die Erze des Erasmus-Bergbaues) ist fast nichts bekannt. Im folgenden wird daher nach einer kurzen Zusammenfassung der ohnehin sehr spärlichen Angaben zur Lagerstätten-Geologie von Schwarzleo auf die Mineralogie der Erasmus-Erze eingegangen werden. Dazu standen neben eigenen (Halden-) Aufsammlungen Proben aus der zu Betriebszeiten des Bergbaues angelegten, und heute teils im Stift St. Peter (Salzburg), teils im Landesmuseum Joanneum (Graz) aufbewahrten Sammlungen des Bergrates M. Mielichhofer (PAAR und FREH, 1982; FREH und PAAR, 1982) zur Verfügung.

Es ist zu einem späteren Zeitpunkt geplant, über die derzeit im Gange befindliche montangeologische Bearbeitung des Leoganger Bergbaugebietes zu berichten.

2. Das Schwarzleo-Revier

Mit HADITSCH und MOSTLER (op. cit.) ist anzunehmen, daß der Bergbau ausschließlich in dem nach S einfallenden, obersilurisch-mitteldevonischen Dolomit und an seiner Grenze gegen die (?) tektonisch hangenden Wildschönauer Schiefer (Ordovizium) umging. Die Erzmittel wurden durch zahlreiche Stollen zwischen den Niveaus des Daniel (1103 m SH) – und des Erasmusstollens (1040 m SH, Talsohle) erschlossen, und von diesem aus noch etwa 36 m in die Teufe verfolgt. Insgesamt würde dies einer saigeren Bauhöhe von nur etwas mehr als 100 m entsprechen.

Der Danielstollen ist der einzige derzeit noch offene Grubenbau, von dem man über alte Strecken Teile des Barbarastollens (1075 m SH) und den dort gelegenen "Gipsschacht" mit fahlerzführenden Gipsen befahren kann, deren Alter aufgrund der S-Isotopen-Zusammensetzung (persönl. Mitt. Prof. Schroll 1985) mit Oberperm anzunehmen ist.

Nach POSEPNY (1880) sind dreierlei Arten von Erzmitteln zu unterscheiden:

- (a) Co-Ni-Erze der "Schiefer" (= Wildschönauer Schiefer)
- (b) Gips-Fahlerz-Mineralisationen ("Typhone des Kalkes")
- (c) Bleiglanz-Kupferkies-"Lagerstätten"

Die Vererzungen waren an N-S streichende Klüfte sowie NE-SW streichende Gänge bis 1,5 m Mächtigkeit gebunden. Die Co-Ni-Erze befanden sich jeweils im Liegenden der Ag-führenden Bleiglanz-Kupferkies-"Lagerstätten". Eine jüngst

129

durchgeführte Durchschnitts-Analyse (Outokumpu Oy, Pori, Finnland) von Erzen des Typus (c) führte zu folgendem Ergebnis (Ag, Au mittels Dokimasie, in g/t; alle übrigen spektralanalytisch, in Gew.%):

Ag	380	Co	0,04
Au	0,04	As	0,30,4
Cu	6–8	Bi	0,003
Pb	0,8–1,2	Te	0,01
Zn	0,02	Ge	0,005
Ni	0,1	Sn	0,005
		V	0,001

Auf die geringen Ge- bzw. Sn-Gehalte in den Erzen Leogangs hat übrigens bereits SCHROLL et al. (1959) aufgrund spektralanalytischer Untersuchungen an Sphalerit (Sn 100 ppm, Ge 300 ppm) bzw. Tetraedrit-Tennantit (Sn 150 ppm, Ge 80 ppm) hingewiesen. –

In den noch heute zugänglichen Teilen des Grubengebäudes sind die beiden erstgenannten Vererzungstypen (a, b) POSEPNYS gut aufgeschlossen. Sb-reiches Fahlerz bildet das Haupterz und tritt sowohl in s-konkordanten Lagen (Tetraedrit-Dolomit-Rhythmite) als auch in diskordanten, gangförmigen Bildungen von mmbis 0,5 m-Mächtigkeit in Dolomit auf. Sekundär-Bildungen von Annabergit bzw. Erythrin deuten auf gelegentliche Ni- bzw. Co-Gehalte (in Form von Ni-Skutterudit, Gersdorffit und Polydymit/Millerit bzw. Skutterudit) hin.

3. Erzmineralogie des Erasmusbaues

Das vorliegende Material (Tab. 1) zeigt megaskopisch eine polymetallische Sulfidassoziation (Bornit, Tetraedrit, Chalkopyrit, Pyrit) in einer meist feinkörnigen, grauschwarzen, auch bräunlichgrau gefärbten, karbonatischen Matrix von überwiegend Mesitin (~40 Mol.% FeCO₃), seltener Breunnerit (~20 Mol.% FeCO₃) bzw. Pistomesit (~50 Mol.% FeCO₃). Die Sulfide treten in Derberznestern, linsig, in Schnüren und fein verteilt auf. Das Material dürfte damit i. w. dem Erzmittel (c) POSEPNYS bzw. den Erzparagenesen (2) und (3) von SCHWARZ entsprechen.

Der Anteil der Sulfide variiert in den einzelnen Handstücken, z. T. liegen jeweils mehrminder monomineralische Proben von Bornit, Tetraedrit, seltener Chalkopyrit oder feinkörnigem Galenit (Typus 1 Erze) vor.

Ein Großteil der Proben läßt eine jüngere Dolomitisierung (seltener Silifizierung) erkennen, mit drusigen Hohlräumen, in denen ein Teil der vorhin genannten Derberz-Sulfide in guten Kristallen auftritt. Im einzelnen sind dies Covellin, Bornit, Chalkopyrit (dieser auch in kugelig-nieriger Ausbildung, "Blisterkupfer"), seltener Zinnober, Stibnit sowie Pseudomorphosen von Bornit – Chalkopyrit – Galenit – Digenit nach einem nadelig-stengeligem Mineral, vermutlich Betekhtinit. Insgesamt drei Proben zeigen in Begleitung des Dolomits bzw. von Quarz eine komplexe Ag-Hg-Cu-Pb-Mineralisation (Typus 2 Erze).

Blauer Cölestin, Aragonit (in Drillingen), Gips (als Marienglas), Covellin und kugeliger Chalkopyrit sind gelegentlich Kristallrasen spitzrhomboedrischer Kalzite aufgewachsen. Tab. 1: Liste von untersuchten Mineralproben der Erasmus-Mine, Leogang, Salzburg, Österreich. Alle Proben waren ursprünglich Teil der berühmten Sammlung des Bergrates M. MIELICHHOFER (Freh & Paar, 1982), von der ein wesentlicher Teil vom Erzstift St. Peter (Salzburg) 1839 erworben wurde, während der 2. Teil an das Landesmuseum Joanneum (Graz, Steiermark) ging. Die jeweilige Herkunft der untersuchten Proben wird durch "S" (Salzburg) bzw. "G" (Graz) angezeigt.

Proben Nr. ¹)	Mineralbestand der vorherrschend	r Proben²) zurücktretend	weitere Begleiter, Bemerkungen
S – 1447	cp, py, td, bo	ga, di	Aragonit-Drillinge
S = 1464	td, cv, cp, py	ga, bo, mw, po, mi	ha ha in Kuistallan
S = 1468 S = 1486	py, cp, do, da	ci td th may co be	bo, ba in Kristanen
5 - 1400	py, bo, cp, ga	str. fu	
S - 1487	ga	td, po, mi	
S – LE 2/1, 2/2 ⁺	py, bo, cp, td, ga,	mw, po, mi, ba, str	am in kleinen Drähten
	cc, ci, am	- 	
$S - LE 3^+$	bo, cp, cc	tn, di, be	cp traubig nierig
$3 - LE /^{+}$	py, cp, cv	td, bo, mw, po, mi,	Colestin-Kristalle
G = 1227 (7042)	ci	co	
G = 1230 (7041)	ci		
G – 1238 (7040)	ci, pv	ga, sph, ma	
G – 1269 (6384)	bo, cp	0 / 1 /	
G – 1272 (6385)	bo, tn, cc	mw, re, str, be	1
G = 1280 (648)	cv	1	haarähnliche Kristalle
G – 1297 (6294)	py, ga, cp	td	cp traubig nierig, Gips als
G = 1299 (6292)	cn		cn traubig nierig
G = 1301 (6295)	cp. pv		cp traubig nierig. Gips als
	-P, P)		Marienglas
G – 1319 (7347)	td, cp	py, stlz	U U
G – 1331 (7348)	td		feinkörniger Gips
G – 1561 (6559)	ga	py, td, cp _.	
G = 1603 (6/43)	td, stb	cp, po, mi	StiDnit-Kristalle
G = 1002 G = (6365)	bo cn	the number of the mi	i yin-ixiistaii, [111]
(000)	00, CP	w, py, ga, po, m	

¹) Die erste Nr. ist die alte Inventarnummer nach MIELICHHOFER, die 2. Nr. (in Klammern) jene des Landesmuseums (Graz); Mineralproben ohne Inventarisierung (mit "+" bezeichnet) erhielten eine interne Arbeitsbezeichnung.

²) Abkürzungen für Sulfide bzw. Sulfosalze, die in dieser Tabelle und den Abbildungen dieser Arbeit Verwendung finden:

am (Amalgam), ba (Balkanit), be (Betekhtinit), bo (Bornit), cc (Chalkosin), ci (Zinnober), co (Colusit), cp (Chalkopyrit), cv (Covellin), di (Digenit), fu (Furutobeit), ga (Galenit), ma (Markasit), mw (Mawsonit), mi (Millerit), nu (Nukundamit), po (Polydymit), py (Pyrit), re (Renierit), sph (Sphalerit), stb (Stibnit), stlz (Stibioluzonit), str (Stromeyerit), tn (Tennantit), td (Tetraedrit).

3.1. Mineralogie der Typus 1 Erze

Mit den bereits genannten Hauptkomponenten Bornit, Chalkopyrit, Tetraedrit, Galenit und Pyrit sind im mikroskopischen Bereich fast immer weitere Sulfide assoziiert. Es sind dies die Ni-Träger Polydymit und Millerit, ferner Renierit (Ge), Mawsonit (Sn), Colusit (V), sowie Covellin, Nukundamit und (in Spuren) Luzonit/ Stibioluzonit.

130



Abb. 2: Myrmekitische Verwachsungen von Bornit-eisenhältigem Magnesit (Mesitin) bzw. Chalkopyrit-Mesitin; Bornit als Verdränger des Pyrits. S-LE 8, 1 Polarisator.



Abb. 3: Myrmekitische Verwachsung von Chalkopyrit (+ Covellin + Nukundamit) – Mesitin; die Sulfidassoziation könnte aufgrund der Verwachsungsbeziehungen als Zerfallsprodukt von Bornit betrachtet werden. S-LE 7, 1 Polarisator. Für diesen Paragenesetypus sind myrmekitische Verwachsungen einzelner Komponenten (Abb. 2, 3) charakteristisch, wobei bis zu drei Myrmekitpaare unmittelbar nebeneinander auftreten können: Bornit-Mesitin, Chalkopyrit-Mesitin, Pyrit-Mesitin, Polydymit/Millerit-Mesitin sowie extrem feinkörnige Myrmekite von Bornit-Digenit bzw. Galenit-Tetraedrit.

Bornit als wahrscheinlich wichtigster Kupferträger der Erze und mitunter reich an Verdrängungsresten älterer Sulfide (Pyrit, Tetraedrit, Chalkopyrit, etc.) enthält häufig Entmischungsspindeln von Chalkopyrit und wird (selten) durch rhombischen Chalkosin (G-6385) verdrängt. Weitverbreitet sind Einschlüsse von Mawsonit (Abb. 6) in maximal bis mm-großen xenomorphen Körnern (im Durchschnitt 20–100 µm), der damit zum Sn-Träger der Erze wird (SCHROLL und AZER IBRAHIM, 1959). Sowohl Bornit als auch Mawsonit sind durch geringe Ge-Gehalte (0,1 bzw. 0,2 Gew.%) ausgezeichnet (Tab. 2 a).

Bornit enthält mitunter *Renierit* in Einschlüssen 20–30 μ m großer Körner (Tab. 2 a, Abb. 7), der damit neben Colusit als weiterer Ge-Träger (im Durchschnitt 3,8 Gew.%) nachgewiesen ist. Die chemische Zusammensetzung (in Gew.%) zeigt nur geringfügige Variation von Korn zu Korn (in Klammern die entsprechenden Werte für Renierit von Tsumeb, Namibia; SPRINGER, 1969): Cu 43,9–44,9 (41,6–42,0), Fe 13,7–14,4 (11,8–13,1), Zn 0,1–0,2 (1,8–2,7), Ge 3,6–4,2 (7,2–7,3), As 4,4–4,5 (2,0–2,9), S 32,2–33,1 (31,7–32,7), Sn 0,6–0,9. Renierit ist nach neuesten Untersuchungsergebnissen auch in den Cu-reichen Erzen der genetisch gleichartigen Ni-Co-Lagerstätte des Nöckelberges (Abb. 1) verbreitet, und tritt dort in durchschnittlich 10–15 μ m großen Körnchen konzentriert in Chalkopyrit und/oder Pyrit auf.



Abb. 4: Hypidiomorpher Kristall von Polydymit mit entmischtem Millerit, in Galenit. S-1487, Bild rückgestreuter Elektronen = BRE.



Abb. 5: Komplexe Verwachsung von Polydymit (+ entmischtem Millerit) mit Chalkopyrit-Covellin-Nukundamit (vgl. Abb. 3); die letztere Assoziation weist Bornitrelikte auf. S-LE 7, 1 Polarisator.

Polydymit ist der Haupt-Nickel-Träger der Derberze. Er kommt in \pm isometrischen, idiomorphen bis hypidiomorphen Körnern (30–140 µm) und in Kornaggregaten (bis 0,5 mm) als Einschlußmineral in Galenit (S-1487), Chalkopyrit (S-LE 7,8), Tetraedrit (G-6743) sowie in isolierten Einzelkriställchen in Dolomit (G-6365) bzw. einem ölgrünen zinnoberführenden Phyllit vor. Polydymit zeigt vielfach ein Netzwerk von *Millerit*-Entmischungskörperchen, die parallel (100) dem Wirt eingelagert sind (Abb. 4), teilweise ist eine vollständige Umwandlung in Millerit festzustellen. Seltener werden Verdrängungen durch Chalkopyrit entlang (100) beobachtet.

Die chemische Zusammensetzung des Polydymits bzw. Millerits (Tab. 2 a) zeigt nach vorliegenden Daten nur sehr geringfügige Schwankungen von Kristall zu Kristall: Polydymit: Co 3,5–3,8, Ni 52,3–52,7, Fe 0,6–1,4, S 42,0–42,8 Gew.%; Millerit: Co 0,2–0,4, Ni 63,0–64,5, Fe 0,3–0,4, S 35,3–35,8 Gew.%.

Nukundamit (RILEY, 1979) ist nur in Proben mit hohem Covellin-Gehalt (S-LE 7) in Assoziation mit Chalkopyrit sowie Polydymit/Millerit zugegen (Abb. 3, 5). In leistenförmigen Schnitten tafeliger Kriställchen bis 10 μ m bildet er mit Covellin netzartige Verwachsungsstrukturen in Chalkopyrit, und zwar nur dort, wo dieser an grobtafelige Covellin-Aggregate angrenzt. Aufgrund der Inhomogenität der Kernbereiche und der geringen Korngröße von N. gibt die Mikrosonden-Analyse (Tab. 2 a) den Pauschal-Chemismus, und zwar im Verhältnis Nukundamit : Chalkopyrit = 3 : 1, an.

Colusit tritt assoziiert mit Chalkopyrit in Adern in Mesitin in hypidiomorphen bis

	gang, Jan	zburg (Typu	s I LIZe)				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Co Ni Fe S Cu	3,6 (0,2) 52,6 (0,2) 1,1 (0,4) 42,8 (0,2)	0,3 (0,1) 63,7 (0,7) 0,4 (0,1) 35,6 (0,3)	11,2 26,2 62,9	12,9 29,4 44,0	14,7 33,9 50,2	2,3 32,0 49,0	14,1 (0,3) 32,7 (0,5) 44,6 (0,5)
Sn Ge			0 1	13,6		0,3	0,8(0,1) 3 8 (0 2)
As			0,1	0,2		9,9	4,4 (0,1)
Ag Zn					1,2		0.1
V						2,5	0,1
Total	100,1	100,0	100,4	100,1	100,0	99,7	100,5
			Atompro	portion	en		
	S = 4	$\Sigma M + S = 2$	$\Sigma M + S = 10$	$\Sigma M + S =$	=17	$\Sigma M + S = 66$	$\Sigma M + S = 8$
Co Ni	0,18 2,68	0,005 0,98					
Fe	0,06	0,007	0,99	2,01		1,33	0,96
S Cu		1,01	4,07	7,96		32,2 24.8	3,89
Sn			т, УЗ	0.99	•	0,1	0.02
Ge			0,01	0,02		1,65	0,2
As						4,2	0,22
Ag Zn							0,01
V						1,6	
 Po Mi Bo Bo Ma Ma Pa etv Co Ref 	lydymit (Ein: illerit (Entmis ornit, S-LE 7 awsonit (Eins uschal-Zusam wa 3 : 1; S-LI olusit (Verwaa nierit (Einsch	schlüsse in G schungslamel chlüsse in Bo mensetzung E 7 chsungen mit ilüsse in Bor	Galenit), S-148 len in Polydy prnit), S-1464 von Nukund : Chalkopyrit nit, verwachs	37 mit), S-14 damit (~(), S-LE 7 en mit Ch	487 Cu₅FeS6) ui nalkopyrit.	nd Chalkopy Mawsonit), (rit (CuFeS ₂), 5-1272

Tab. 2 a:	Elektronenstrahl-Mikrosonden-Analysen ¹) von	Sulfiden	der	Erasmus-Mine,	Leo-
	gang, Salzburg (Typus 1 Erze)	·				

Chemische Formeln:

(1) $(Ni_{2,68}Co_{0,18}Fe_{0,06})_{\Sigma 2,92}S_4$

(2) $(Ni_{0.98}Co_{0.005}Fe_{0.007})_{\Sigma 0.99}S_{1.01}$

(3) $Cu_{4,93}Fe_{0,99}Ge_{0,01}S_{4,07}$

(4) $Cu_{6,01}Fe_{2,01}Sn_{0,99}Ge_{0,02}S_{7,96}$

(6) $(Cu_{24,8}Fe_{1,33})_{\Sigma 26,13}V_{1,6}(As_{4,26}Sn_{0,08}Ge_{1,65})_{\Sigma 5,99}S_{32,2}$ (7) $Cu_{2,68}(Fe_{0,96}Zn_{0,01}Ge_{0,2})_{\Sigma 1,17}(S_{3,9}As_{0,22})_{\Sigma 4,12}$

¹) Elektronen-Mikrosonde MAC Modell 400, bei 20 kV. Standards (alle synthetisch, ausgenommen Enargit) und Emissionslinien: (1,2)-CoAs2 (CoKa), NiS (NiKa, SKa), AgFe2S3 (FeKa); (3,4)-Cu2FeSnS4 (FeKa, CuKa, SKa, SnLa), FeAs, (Ska, Ska), Ge-Metall (GeKa); (5)-Cu₅FeS₄ (CuKa, FeKa, SKa), AgFe₂S₃ (AgLa); (6)-Enargit (CuKa, AsKa, SKa), AgFe₂S₃ (FeKa), Cu₂ZnSnS₄ (SnLa), Ge-Metall (GeKa), V-Metall (VKa); (7)-Cu₂FeSnS₄ (FeKa, CuKa, SKa) Enargit (AsKa), Cu₂ZnSnS₄ (ZnKa, SnLa), Ge-Metall (GeKa), V-Metall (OKA), V-Metall (VKa), Computer Programm: EMPADR VII (Rucklidge und Gasparrini, 1969).



Abb. 6: Bornit und Mawsonit werden durch spindelförmigen Stromeyerit und Chalkosin verdrängt. G-1272, 1 Polarisator.



Abb. 7: Renierit mit Säumen von Chalkopyrit, in Bornit. G-1272, BRE.

xenomorphen Körnern ($50 \times 80 \ \mu m$) auf. Bei Vergleich mit Colusit-Analysen verschiedener Vorkommen (ORLANDI et al., 1981) sind sein niedriger Sn- sowie der bis dato höchste Ge-Gehalt (0,8 bzw. 3,7 Gew.%) bemerkenswert.

3.2. Mineralogie der Typus 2 Erze

Die im folgenden besprochenen Paragenesen sind nur an den Proben S-1468, 1486, LE 2/1, 2/2 nachgewiesen worden; im einzelnen sind folgende Assoziationen charakteristisch:

- Balkanit Betekhtinit Bornit Chalkopyrit Chalkosin Zinnober Galenit -Stromeyerit (S-1468),
- Betekhtinit Bornit Chalkosin Zinnober Furutobeit Galenit Stromeyerit – Tennantit (S-1486),
- Amalgam (Kongsbergit) Balkanit Bornit Chalkosin Zinnober Stromeyerit (S-LE 2/1, 2/2).

Amalgam (Kongsbergit), α -(Ag, Hg), ist megaskopisch mit Chalkosin assoziiert, und z. T. lockenförmig ausgebildet. Inselförmige Einschlüsse stark verzahnter Stromeyerit – Balkanit – Aggregate (bis maximal 40 × 100 µm) sind verbreitet (Abb. 8). Die einzelnen Amalgamlocken zeigen deutlich schwankenden Chemis-



Abb. 8: Amalgam (Kongsbergit) mit Einschlüssen von Balkanit-Stromeyerit-Verwachsungen. S-LE 2/1, BRE.

mus; der Variationsbereich wird durch die in zwei Schliffen analysierten Körner angezeigt: Ag 71,2–78,2, Hg 21,2–28,0, Cu 0,6–1,3 Gew.% (LE 2/1) bzw. Ag 70,9–75,4, Hg 24,2–28,7, Cu 0,4–0,7 Gew.% (LE 2/2). Aufgrund des Ag-Gehaltes (im Mittel 73,6 Gew.%, Tab. 2 b) liegt α -Amalgam (Kongsbergit) vor (SEELIGER und MÜCKE, 1972).

Zur Mineralogie von Cu-Ni(Co)-Pb-Ag-Hg-Erzen im Revier Schwarzleo bei Leogang 137

Balkanit, Cu₉Ag₅HgS₈, stellt den Zweitfund dieses sehr seltenen Minerals in einer dem bulgarischen Erstfund identischen Paragenese dar (ATANASSOV et al., 1973). Nach der Art des Auftretens sind zu unterscheiden: (a) maximal mm-lange längsgekerbte und teilweise terminierte Kristallnadeln (Abb. 9), deren rauhe Oberflächen-



Abb. 9: Prismatische Balkanit-Kristalle, gestriemt und gekerbt entlang [001]; einige davon zeigen pyramidenähnliche Endflächen. SEM-Foto, S-1486.

beschaffenheit eine goniometrische Vermessung nicht zuläßt; die Nadeln sind undeutlich ausgebildeten Bornit-Kristallen aufgewachsen (S-1468); Typus (b) liegt in bis 5 mm langen, brettartigen Kristallen vor, die aufgrund ihrer Morphologie möglicherweise als Pseudomorphosen von B. nach Chalkosin anzusehen sind. Die Leisten bestehen zum größten Teil aus homogenen Balkanit-Bereichen sowie Arealen aus Chalkosin mit Balkanit-Entmischungsspindeln; die größeren Balkanitbereiche enthalten meist kleine Körnchen von Zinnober und weisen einen randlichen Bornitsaum auf (Abb. 10 b). – Andere Bereiche des Balkanit-führenden Hohlraumes zeigen in einer Chalkosin-Matrix zwei altersmäßig unterschiedliche Generationen spindeliger Balkanitlamellen, in ganz ähnlicher Weise, wie sie von der bulgarischen Typuslokalität beschrieben worden sind (Abb. 10 a). Typus (c) sind Verwachsungen von Balkanit mit Stromeyerit in inselartigen Einschlüssen in Kongsbergit.

Die chemischen Zusammensetzungen (Tab. 2 b) bzw. Debye-Scherrer-Aufnahmen der einzelnen Balkanit-Typen sind i. w. identisch, und zeigen gute Übereinstimmung mit den entsprechenden Daten des bulgarischen Fundes. Die etwas abweichende Analyse des Typus (c) (Tab. 2 b, Anal. 1 b) ist wahrscheinlich auf die sehr innige Durchwachsung mit Stromeyerit (s. d.) zurückzuführen.

Balkanit wurde von ATANASSOV et al. (1973) als neues Mineral von der Sedmochislenitsi Mine (Bulgarien) in insgesamt vier Anschliffen in (a) Körnern bis zu 3 mm und (b) stabähnlichen prismatischen Kristallen von 0,01–0,02 mm erstbeschrieben.



Abb. 10 a: Spindelförmige Balkanit-Lamellen, entmischt aus Chalkosin. S-LE 2, BRE.



Abb. 10 b: Leistenförmiger Chalkosin-Kristall (Bornit-Einschluß) zeigt Entmischung sehr feiner Balkanitspindeln. Daneben Balkanit mit Zinnober-Einschlüssen. Die Altersbeziehung der beiden Balkanit-Bildungen ist fraglich. S-LE 2, BRE.

Zur Mineralogie von Cu-Ni(Co)-Pb-Ag-Hg-Erzen im Revier Schwarzleo bei Leogang 139

Betekhtinit, $Pb_2(Cu, Fe)_{21}S_{15}$, (S-1486), tritt (a) in idiomorphen, nadelig-säuligen Kristallen von maximal 60 µm Länge und (b) in bis einige mm-großen Kornaggregaten in einer i. w. aus Bornit und Galenit bestehenden Matrix auf. Einschlüsse rundlicher oder tropfenartiger Galenitkörner, komplexer Myrmekite von Chalkosin-Galenit bzw. Stromeyerit-Galenit (letztere mit Verdrängungsresten von Furutobeit) sowie von Bornit und Mawsonit sind ebenso charakteristisch, wie eine Durchäderung von Stromeyerit \pm Galenit (Abb. 11, 12, 14). Diese Betekhtinite (Typen a,



Abb. 11: Grob- bis feinkörnige Myrmekite (Chalkosin-Galenit, Chalkosin-Stromeyerit bzw. Stromeyerit-Galenit) in Galenit. Begleiter sind kavernöser Betekhtinit und ein längliches Korn von Furutobeit. S-1486, BRE.

b) lassen keinen Zerfall in Galenit + Fe-Digenit + Chalkosin erkennen, wie dies vor allem von den Djeskasgan-Funden bekannt ist (SATPAEWA, 1959; MUKANOW et al., 1960).

Bis 1 cm lange Kristalle auf jener Stufe, die freigewachsene Balkanit-Kristalle enthält (S-1468), bestehen nach dem mikroskopischen Befund aus den Myrmekitpaaren Galenit-Bornit, Digenit-Bornit und Digenit-Chalkopyrit, und dürften als Pseudomorphosen nach Betekhtinit-Kristallen gedeutet werden.

Die chemische Zusammensetzung des B. ist in Tab. 2 b angegeben. Sie zeigt mit Ausnahme der für ihn anomal hohen Ag- und Bi-Gehalte (1,5 bzw. 0,6 Gew.%) weitestgehende Übereinstimmung mit Analysen der derzeit bekannten B.-Vorkommen. Die röntgenographischen Daten sind in d-Werten und Intensitäten fast identisch mit den entsprechenden Werten des PDF 13-235, aber deutlich anders als jene von Larosit, (Cu_{17,7}Ag_{3,3}) ₂₂₁ (Pb_{1,0}Bi_{1,0}) ₂₂S₁₃; diese Phase besitzt zwar ein ähnliches Metall : Schwefel Verhältnis wie Betekhtinit, aber weist deutlich höhere Agund Bi-Gehalte auf (PETRUK, 1972). Betekhtinit wurde als neues Mineral von Schüller und Wohlmann (1955) aus dem Mansfelder Kupferschiefer, BRD, erstbeschrieben, und ist seither von mindestens vier weiteren Fundorten genannt worden.

Chalkosin, Cu₂S, tritt in folgenden Paragenesen auf:

(a) In unregelmäßigen Körnern zusammen mit Bornit, Chalkopyrit, Tennantit etc., wobei diese Phasen deutliche Verdrängung durch Chalkosin zeigen; dabei werden vielfach Einschlußminerale, wie Mawsonit, Renierit, Betekhtinit (G-6385) übernommen. Als Resultat zementativer Verdrängung sind die Pseudomorphosen von Chalkosin nach kugelig-nierigem Chalkopyrit zu deuten (S-LE 3).

(b) In xenomorphen Körnern, begleitet von Galenit, Stromeyerit, Betekhtinit, Furutobeit (S-1486), wobei insbesondere graphische Verwachsungsstrukturen mit Galenit und/oder Stromeyerit (Abb. 11, 14) charakteristisch sind.

(c) In leisten- oder brettförmigen, z. T. drillingsartig verwachsenen Kristallen bis 5 mm (LE 1, 2), mit Einschlüssen von Balkanit, Stromeyerit (Abb. 13) und Zinnober sowie Aufwachsungen von Amalgam (Kongsbergit).

Mikrosondenanalysen (Tab. 2 b) der Kristalle des Typus (c) weisen auf Ag-Gehalte zwischen 1,6-2,7 Mol.% (S-LE 1) bzw. 0,6-1,3 Mol.% (S-LE 2) hin.

Furutobeit, (Cu, Ag)₆PbS₄, tritt in unregelmäßigen Körnern (maximal $0,5 \times 0,2$ mm) sehr selten als Einschlußphase in Galenit, Betekhtinit oder in Bornit auf. Vielfach wird er von komplexen Myrmekiten vollständig umgeben, von denen Stromeyerit-Galenit eine innere und Chalkosin-Galenit eine äußere Zone bilden. Nur ausnahmsweise ist ein randlicher (?) Zerfall in Chalkosin + Stromeyerit + Galenit zu beobachten (Abb. 12).



Abb. 12: Einschluß von Furutobeit (der randlich geringfügigen Zerfall zu Galenit-Stromeyerit-Chalkosin zeigt) in Betekhtinit. S-1486, BRE.



Abb. 13: Xenomorpher Stromeyerit in orientierten Einschlüssen in Chalkosin. S-LE 2, BRE.

Die analysierten Furutobeit-Körner weisen sehr gleichartigen Chemismus auf, und kein Unterschied konnte zwischen den Vorkommen in Galenit bzw. Betekhtinit festgestellt werden. Eine typische Analyse ist in Tab. 2 b enthalten.

Furutobeit wurde als neues Mineral in bornitreichen Erzen der Furutobe Mine, Japan, einer dem Kuroko-Typus zugerechneten Lagerstätte, in kleinen Körnchen (<0,3 mm) in Paragenese mit Stromeyerit, Galenit, Sphalerit und Tennantit erkannt (SUGAKI et al., 1981).

Stromeyerit, $Cu_{1+x}Ag_{1-x}S$, ist eine wesentliche Komponente in den Proben S-LE 2/1, 2/2 bzw. S-1486, und war mit sehr großer Wahrscheinlichkeit einer der wichtigsten (wenn nicht *der* wichtigste) Silberträger des alten Leoganger Ag-Bergbaues.

Nach der Art des Auftretens sind zu unterscheiden:

- (a) orientierte Einschlüsse (bis zu $40 \times 10 \mu m$) in Chalkosin-Leisten (Abb. 13);
- (b) stark verzahnte Verwachsungen mit Balkanit, eingebettet in Amalgam (Kongsbergit);
- (c) in Äderchen (≤1 mm), die Betekhtinit, Galenit oder Bornitkörner durchsetzen bzw. in Säumen um diese Phasen;
- (d) in Aggregaten xenomorpher Körner oder isolierten spindelförmigen Lamellen, assoziiert mit Chalkosin; sowie
- (e) als eine Komponente relativ grobkörniger Myrmekite mit Galenit (Abb. 14).

Stromeyerit der einzelnen Assoziationen (a-e) entspricht i. w. der bekannten Zusammensetzung (Tab. 2 b). Unterschiede im Chemismus sind lediglich zwischen Stromeyeritkörnern der Assoziationen (b) und (e) feststellbar: Stromeyerit (b) weist höhere Cu- aber niedrigere Ag-Werte auf, und enthält etwas Hg. Diese Abweichung



Abb. 14: Graphische Verwachsungen von Stromeyerit-Galenit bzw. Chalkosin-Galenit angrenzend an Betekhtinit, in Galenit. S-1486, BRE.

dürfte auf analytisch bedingte Kontamination zurückzuführen sein, da die extrem feinkörnigen ($<5 \mu m$) Stromeyerit-Bereiche innig mit Balkanit (s. d.) verwachsen sind.

4. Bildungsbedingungen der Erze

Die in den vorangegangenen Kapiteln angeführten Mineralparagenesen sind grundsätzlich einer älteren (und vermutlich höher temperierten) Cu-Fe-Ni (Co) – (Pb) – Sb – betonten (Typus 1 Erze) sowie einer jüngeren Pb-Ag-Cu-Hg- führenden (niedrigtemperierten) Kristallisationsfolge (Typus 2 Erze) zuzuordnen.

Vereinfachend läßt sich nach dem derzeitigen Kenntnisstand folgendes Kristallisationsschema der Typus 1 Erze annehmen: Paläosom (Dolomit etc.) <u>Kataklase</u> Pyrit – Fe-Mg-Karbonate <u>Kataklase</u> Tetraedrit (Tennantit) <u>Kataklase</u> Stibioenargit (Stibioluzonit) – Bornit (+ Mawsonit, Renierit, Colusit) – Polydymit (+ Millerit) <u>Kataklase</u> Chalkopyrit – Bornit (2. Generation) – Galenit.

Die für den Großteil der Typus 1 Erze charakteristischen durchdringungsartigen (und oft im gleichen Schliff unmittelbar aneinander angrenzenden) Verwachsungen von Bornit bzw. Chalkopyrit mit Fe/Mg-Karbonaten unterschiedlicher Zusammensetzung weisen (1) auf eine syngenetische Bildung dieser Sulfid-Karbonat-Assoziation und (2) auf im (!) mm-Bereich stark variablen Chemismus der mineralisierenden Lösungen hin.

Die typisch oleanderblattartige Umwandlungslamellierung anisotroper Bornitbereiche ist ein Indiz für dessen Kristallisation (als kubische Phase) >228° C, jedoch

		(1)	Geologische Gesells	schaft/Austria; downloa	d unter www.geol-ges.a	at/ und www.biologie	zentrum.at (4)	(5)	(6)
	(a)	(*) (b)	(a) (-	́ (b)	(a) (1	(b)		(-)	(-)
Cu Ag Hg	37,1 34,0 14,0	36,2 (1,5) 36,9 (0,8) 11,2 (1,6)	34,8 (0,7) 48,9 (2,0) 1,4 (1,8)	31,1 (0,2) 53,0 (0,4)	77,3 (0,6) 3,1 (0,6)	78,9 (0,8) 1,1 (0,4)	40,2 (0,3) 16,0 (0,3)	58,3 (0,4) 1,5 (0,2)	0,7 (0,3) 73,6 (2,6) 25,9 (2,8)
S Bi	17,3	15,9 (0,3)	15,6 (0,3)	15,1 (0,1)	20,0 (0,2)	20,8 (0,2)	16,0 (0,1) 1,0 (0,2)	19,6 (0,1) 0,6 (0,2)	,. (-,-,
Pb Fe				0,2 0,1			27,2 (0,2) 0,1	$\begin{array}{c} 18,2 \ (0,5) \\ 2,5 \ (0,1) \end{array}$	
Total	102,4	100,2	100,7	99,5	100,4	100,8	100,5	100,7	100,2
				Atomp	roportionen				
	S :	= 8	S =	1	S =	1	$\Sigma M + S = 11$	$\Sigma M + S = 36$	$\Sigma M = 1$
Cu Ag Hg S Bi Pb Fe	8,65 4,67 1,04	9,19 5,53 0,9	1,12 0,93	1,04 1,04	1,95 0,046	1,91 0,015	4,91 1,15 3,87 0,04 1,02 0,02	19,67 0,3 13,11 0,06 1,89 0,97	0,83 0,16
 Balka: Strom Strom und C Chalk Furut Betek 	nit: (a) nadeli heyerit. S-LE heyerit: (a) Ein Chalkosin. S- cosin: (a, b) le obeit, verwac htinit. verwac	ger Kristall, mit 2/1 1schlüsse in Kor 1486 eistenförmige K hsen mit Betek bsen mit Furui	Einschlüssen v ngsbergit, verw ristalle, selten htinit, als Eins obeit, mit Ein	von Bornit, Zi rachsen mit Ba Stromeyerit-E chluß in Gale schlüssen von	nnober und Str lkanit, S-LE 2/ Cinschlüsse. S-J nit. S-1486 Galenit. S-148	romeyerit; (b) /1, 2/2; (b) in LE 2/1, 2/2 86) Einschlüsse in myrmekitische	n Kongsbergit, vo	erwachsen mi en mit Galeni

Tab. 2 b. Elektronenstrahl Mikrosonden-Analysen 1) von Sulfiden der Frasmus-Mine. Leogang, Salzburg (Typus 2 Frze)

(6) Amalgam (Kongsbergit). S-LE 2/1, 2/2

Chemische Formeln:

- (1) $Cu_{8,65}Ag_{4,67}Hg_{1,04}S_8$ (a); $Cu_{9,19}Ag_{5,53}Hg_{0,9}S_8$ (b) (2) $Cu_{1,125}Ag_{0,93}S$ (a); $Cu_{1,04}Ag_{1,04}S$ (b) (3) $Cu_{1,95}Ag_{0,046}S$ (a); $Cu_{1,91}Ag_{0,015}S$ (b) (4) $(Cu_{4,91}Ag_{1,15}Fe_{0,02})_{26,08}$ (Pb_{1,02}Bi_{0,04})_{21,06} S_{3,87} (5) $(Cu_{19,67}Fe_{0,97}Ag_{0,3})_{220,94}$ (Pb_{1,89}B1_{0,06})_{21,95} S_{13,11}

- (6) $Ag_{0,83}Hg_{0,16}$

¹) Standards (alle synthetisch, ausgenommen Zinnober) und Emissionslinien: (1,2)-AgFe₂S₃ (AgLa), CuS (SKa, CuKa), Pd₃HgTe₃ (HgMa); (3)-AgFe₂S₃ (AgLa), Cu₂S (SKa, CuKa); (4,5)-AgFe₂S₃ (AgLa, FeKa), CuS (SKa, CuKa), Bi₂S₃ (BiMa), PbS (PbMa); (6) Ag-Metall (AgLa), Cu-Metall (CuKa), Zinnober (HgMa).

<385° C, der oberen Stabilitätsgrenze der Einschlußphase Mawsonit. – Der Polydymit Leogangs, in seinem Chemismus nahezu Ni₃S₄ entsprechend, ist durch teilweisen bis vollständigen entmischungsartigen Zerfall in Millerit charakterisiert; bei vollständigem Zerfall erinnern nur mehr die Kornumrisse an Polydymit. Aufgrund experimenteller Befunde (KULLERUD und YUND, 1962) ist Polydymit nur stabil <356° C; die Koexistenz von Polydymit und Millerit legt den Schluß nahe, daß ihre Kristallisation im Zuge einer Erwärmungsphase bei leicht steigendem a_{S_2} erfolgte, dabei jedoch 282° C nicht überschritten worden sind.

Die Paragenese Covellin-Nukundamit-Chalkopyrit (Abb. 3, 5), häufig in Begleitung von Polydymit-Millerit, und immer benachbart covellinreicher Bereiche, könnte als das Sulfidierungsprodukt von Bornit bei Temperaturen zwischen 260 und 290° C (WANG, 1984) angesehen werden.

Zur Abschätzung der Bildungsbedingungen der Typus 2 Erze sollen die Paragenesen Balkanit – Zinnober – Kongsbergit – Stromeyerit – Chalkosin bzw. Stromeyerit – Furutobeit – Galenit – Chalkosin – Betekhtinit – Bornit getrennt betrachtet werden, da sie nicht gemeinsam an einem Handstück beobachtet werden konnten.

(a) Die Präsenz von Balkanit, Kongsbergit, Stromeyerit, etc., ist grundsätzlich ein Hinweis auf niedrigtemperierte Bildungsbedingungen, vermutlich in einem Spätstadium der Lagerstättenbildung. Die Balkanit-Lamellen in Chalkosin (Abb. 10 a), die in ganz analoger Weise bereits von ATANASSOV (1973) am Originalmaterial beobachtet worden waren, werden als mögliche Entmischungen aus einer Hochtemperatur-Modifikation von Chalkosin ("high temperature hexagonal phase"; SKINNER, 1966) mit wesentlichen Ag- und Hg-Gehalten gedeutet. Die lamellare Struktur einzelner Balkanitkörner dürfte auf Phasenumwandlungen zwischen 90 und 150° C hinweisen (ATANASSOV, 1973).

Der Ag-Gehalt des mit Stromeyerit koexistierenden (orthorhombischen) Chalkosins (1,6–2,7 bzw. 0,6–1,3 Mol.% Ag₂S) deutet unter Zugrundelegung experimenteller Daten (SKINNER, 1966) auf Temperaturen um $\pm 63^{\circ}$ C hin.

Die Bildungsbedingungen der Subparagenese (b) der Typus 2 Erze werden vor allem durch die Stabilität von Betekhtinit, Furutobeit und Stromeyerit, sowie der damit häufig assoziierten und miteinander verwachsenen drei Myrmekitpaare Chalkosin-Galenit, Stromeyerit-Galenit sowie Stromeyerit-Chalkosin bestimmt. Wie SLAVSKAYA (1963) gezeigt hat, ist Betekhtinit stabil <150° C, darüber ist er instabil und zerfällt in Digenit und Galenit. Furutobeit (SUGAKI et al., 1981) ist nur stabil unterhalb 95 ± 2° C. Darüber (100 ± 2° C) tritt Zerfall in Galenit und Cu₅AgS₃ (SKINNER, 1966) ein (Cu₅AgS₃ ist nicht abschreckbar und entmischt in Stromeyerit und Chalkosin). Stromeyerit ist nach SKINNER (1966) stabil unterhalb 93,3° C, das Stromeyerit-Chalkosin-Paar unterhalb ±67° C.

Das Myrmekit-Paar Chalkosin-Galenit (Abb. 11, 14), das häufig (aber nicht ausschließlich) mit Betekhtinit assoziiert ist, kann weder als dessen Zerfallsprodukt gewertet werden (es müßte anstelle des Chalkosins Fe-Digenit vorliegen!), noch sind diese Myrmekite als Zerfallsprodukte der im Pb-Cu-S System nur zwischen 486 und 523° C stabilen Phase "A" (CRAIG und KULLERUD, 1968) anzusehen. Derartig hohe Bildungstemperaturen haben aus nicht nur geologischen Gründen auszuscheiden.

Die mit Furutobeit (aber nicht ausschließlich) assoziierten Myrmekit-Paare Stro-

meyerit-Galenit bzw. (extrem selten) Stromeyerit-Chalkosin können nicht als dessen Zerfallsprodukte interpretiert werden, da im jeweiligen Myrmekit-Paar die dritte Zerfallskomponente (Chalkosin bzw. Galenit) fehlt.

Vielmehr werden die verschiedenen Myrmekit-Paare dieser Subparagenese als in der Kristallisationsfolge zuletzt entstandene, niedrigtemperierte und \pm syngenetische Bildungen aus vermutlich übersättigten Lösungen angesehen. Für diese Annahme sprechen auch die texturellen Beziehungen (Verwachsungsgrenzen) und die homogenen Internbereiche von Betekhtinit bzw. Furutobeit, die ganz im Gegensatz zu entsprechenden Zerfallsmyrmekiten stehen (etwa solche nach Betekhtinit von Dzeskasgan, UdSSR; PAAR, 1986).

In der Altersfolge dürften die Stromeyerit-Galenit-Myrmekite nach den Chalkosin-Galenit-Myrmekiten kristallisiert sein; dafür sprechen u. a. netzartige Durchwachsungen des zweit- durch das erstgenannte Myrmekitpaar. –

Damit kann zusammenfassend angenommen werden, daß die Abscheidung der (relativ älteren) Typus 1 Erze bei Temperaturen unterhalb $\pm 356^{\circ}$ C (teilweise auch unterhalb 282° C) stattgefunden hat, während der Großteil der (jüngeren) Typus 2 Erze Kristallisations-Temperaturen unterhalb 150° C, z. T. sogar unterhalb 67° C belegt.

5. Schlußbemerkungen

Die im vorangegangenen Abschnitt abgeleiteten Temperaturen der Erzbildung deuten eine markante Zweiphasigkeit des Vererzungsablaufes an. Der Kristallisation der Typus 2 Erze muß eine Zerbrechung und Auflockerung der die Typus 1 Erze beherbergenden Karbonatgesteine vorausgegangen sein.

Die jüngere und niedrigtemperierte Mineralisationsphase, in deren Verlauf die Ag-Reicherze kristallisierten, ist mit größter Wahrscheinlichkeit einer Spätphase der alpidischen Metamorphose ("late Alpine metamorphic event"; HOSCHEK et al., 1980) zuzuordnen. Wie bereits dargelegt, ist auch die Hg-Vererzung dieser jüngeren Phase zugehörig. Dabei kam es offensichtlich durch Reaktion von (?) ged. Quecksilber mit Ni-Sulfiden (Polydymit, Millerit) zur Bildung eines Ni-Hg-Sulfides der Zusammensetzung ~Ni₈Hg₃S₈, dessen Charakterisierung im Gange ist.

Daß im Zuge dieser jüngeren Mineralisationsphase wesentliche tektonische Bewegungen bereits abgeklungen sein müßten, wird durch den großteils ausgezeichneten Erhaltungszustand der z. T. mit den Typus 2 Erzen assoziierten und in großen Drusen kristallisierten Mineralien wie Cölestin, Aragonit, Strontianit, Gips, Covellin, etc., angezeigt.

Inwieweit die Kristallisation der vermutlich im Nahbereich der Überschiebungszone (HADITSCH und MOSTLER, 1970) in den Karbonaten situierten Typus 1 Erze gleichfalls im Zuge des alpidischen Ereignisses erfolgt ist, kann noch nicht mit Sicherheit entschieden werden. Die nahe dem Leoganger Lagerstättenbereich nachgewiesene niedriggradige Metamorphose mit Temperaturen um $\pm 350^{\circ}$ C und Drucken um 2 kb (DIMOULAS, 1979; HOSCHEK et al., 1980; BECHTOLD et al., 1981) ließen grundsätzlich eine Erzbildung unter den Bedingungen dieser Metamorphose möglich erscheinen. – Mineralparagenetische Vergleiche mit österreichischen Buntmetall-Vererzungen in altpaläozoischen oder mesozoischen Karbonatgesteins-Ab-

W. H. Paar und T. T. Chen

folgen sind aufgrund der komplexen Zusammensetzung der Leoganger Erze nur bedingt möglich. Am ehesten scheinen Parallelen mineralparagenetischer Charakteristik zu bulgarischen, polymetallischen Buntmetall-Vererzungen anzumerken sein (MINČEVA-STEFANOVA, 1978), die allerdings an triadische Karbonate geknüpft sind.

Danksagungen

Wir sind der Erzabtei St. Peter, insbesondere dem Erzabt Dr. F. Bachler und dem P. Prior Beda Winkler, durch deren Hilfe ein Studium der Mineraliensammlung erst ermöglicht wurde, zu allergrößtem Dank verpflichtet. Aufrichtiger Dank gebührt dem derzeitigen Kurator der Sammlungen, Herrn Hofrat Dr. W. Freh (Salzburg), für seine unermüdliche Hilfe bei der Suche nach dem Leogang-Sammlungsmaterial sowie für wertvolle Hinweise. Wir danken ferner dem Kurator der mineralogischen Sammlungen am Landesmuseum Joanneum, Herrn Dr. W. Postl, und seinem Mitarbeiter Dr. F. Walter, für die Möglichkeit der Durchsicht des Grazer Materials aus Leogang.

Den Professoren Dr. V. Höck (Salzburg) und Dr. J. G. Haditsch (Leoben) sowie Herrn Univ.-Doz. Dr. J. M. Schramm (Salzburg) sind wir für wertvolle Diskussionen sowie für die kritische Durchsicht des Manuskriptes besonderen Dank schuldig. Prof. Dr. E. Kirchner (Salzburg) fertigte Pulveraufnahmen von Betekhtinit und Balkanit an, Univ.-Doz. Dr. P. Simonsberger stellte das SEM-Foto von Balkanit zur Verfügung.

WHP ist speziell Herrn Dr. W. Günther (Salzburg), der schwierig erreichbare Literatur und Kartenmaterial des Leoganger Gebietes zur Verfügung stellte, zu Dank verpflichtet, des weiteren den Studenten M. Bergmair, P. Brandmaier, G. Feitzinger, H. Ferstl und Chr. Lengauer (alle Salzburg), die ihn bei zahlreichen Untertage-Befahrungen des Daniel-Revieres begleitet hatten, Dank schuldig. R. Mrazek und A. Strasser (beide Salzburg) führten WHP zu besonders interessanten Untertage-Aufschlüssen des Schwarzleo-Revieres. W. Waldhör ist für die Herstellung ausgezeichneter Anschliff-Präparate verantwortlich.

Die Arbeiten wurden durch eine großzügige Subvention des Akademischen Senats der Universität Salzburg im Rahmen des Forschungsvorhabens "Bearbeitung der Mineraliensammlung des Stiftes St. Peter" gefördert, wofür ganz besonders gedankt werden soll.

Literatur

146

ATANASSOV, V. A. & KIROV, G. N.: Balkanite, Cu₉Ag₅HgS₈, a new mineral from the Sedmochislenitsi Mine, Bulgaria. – Amer. Min., **58**, 11–15, 1973.

BACHTIGER, K.: Die Kupfer- und Uranmineralisation der Mürtschenalp. – Beitr. Geol. Schweiz, Geotech. Ser., 38, 113, 1963.

BECHTOLD, D., KLEBERGER, J. & SCHRAMM, J. M.: Zur Metamorphose der Grauwackenzone in Salzburg/Österreich – Ein Exkursionsführer. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 10, 305–353, 1981.

BUCHRUCKER, L.: Die Mineralien der Erzlagerstätten von Leogang im Kronlande Salzburg. – Z. Krist., 19, 113–166, 1891.

CRAIG, J. R. & KULLERUD, G.: Phase relations and mineral assemblages in the copper-leadsulfur system. – Amer. Min., 53, 145–161, 1968.

Zur Mineralogie von Cu-Ni(Co)-Pb-Ag-Hg-Erzen im Revier Schwarzleo bei Leogang 147

- DIMOULAS, A.: Geologische Untersuchungen im Bereich um Leogang, Land Salzburg (Österreich). – Diss. Naturwiss. Fak. Univ. Salzburg, 146 S, 1979.
- FEITZINGER, G. & GÜNTHER, W.: Der alte Hg-Ag-Bergbau der Vogelhalte, Leogang, Salzburg, Austria. – Carinthia II, in Vorber., 1986.
- FREH, W. & PAAR, W. H.: Die Mineral- und Gesteinssammlung des Stiftes St. Peter zu Salzburg. – Katalog zur 3. Salzburger Landesausstellung "St. Peter in Salzburg, das älteste Kloster im deutschen Sprachraum, Schätze europäischer Kunst und Kultur", 201–205, 1982.
- HADITSCH, J. G. & MOSTLER, H.: Die Kupfer-Nickel-Kobalt-Vererzung im Bereich Leogang (Inschlagalm, Schwarzleo, Nöckelberg). – Arch. Lagerst. Forsch. Ostalpen, 11, 161–209, 1970.
- HOSCHECK, G., KIRCHNER., E. Ch., MOSTLER, H. & SCHRAMM, J. M.: Metamorphism in the Austrialpine units between Innsbruck and Salzburg (Austria) – A synopsis. – Mitt. österr. geol. Ges., 71/72, 335–341, 1980.
- KULLERUD, G. & YUND, R. A.: The Ni-S system and related minerals. J. Petrol. 3, 126–175, 1962.
- MARKHAM, N. L. & LAWRENCE, L. J.: Mawsonite, a new copper-iron-tin sulfide from Mt. Lyell, Tasmania and Tingha, New South Wales. Amer. Min., 50, 900–908, 1965.
- MARKHAM, N. L. & OTTEMANN, J.: Betekhtinite from Mt. Lyell, Tasmania. Min. Deposita, 3, 171–173, 1968.
- MINČEVA-STEFANOVA, J.: Geological position and mineralogy of the polymetallic deposits in the Western Balkan Mountains confined to Triassic sediments. – Schriftenr. erdwiss. Kommiss., österr. Akad. Wiss., 3, 111–123, 1978.
- MÜCKE, A. & SEELINGER, E.: Para-Schachnerit, Ag_{1,2} Hg_{0,8}, und Schachnerit, Ag_{1,1} Hg_{0,9}, vom Landsberg bei Obermoschel, Pfalz. N. Jb. Miner. Abh., 117, 1–18, 1972.
- MUKANOW, K. M., NARKELJUN, L. F. & JAKOWLEWSKAYA, T. A.: Über Betechtinit aus Djeskasgan [Russ.]. Dokl. Akad. Nauk SSSR, 103, 404–407, 1960.
- ORLANDI, P. & MERLINO, St.: Colusite: A new occurrence and crystal chemistry. Canad. Min., 19, 423–427, 1981.
- OTTEMANN, J. & GEIER, B. H.: New secondary tin-germanium and primary tungsten-(molybdenum-, vanadium-)germanium minerals from the Tsumeb ore deposit. – N. Jb. Miner. Abh., 114, 89–107, 1970.
- PAAR, W. H.: Betekhtinite from Djeskasgan: crystal chemistry and paragenesis. In Vorbereitung, 1986.
- PAAR, W. H. & FREH, W.: Zum Bergbau Salzburgs und seiner Nachbargebiete. Katalog zur
 Salzburger Landesausstellung "St. Peter in Salzburg, das älteste Kloster im deutschen Sprachraum, Schätze europäischer Kunst und Kultur", 206–210, 1982.
- PETRUK, W.: Characteristics of the sulphides. Canad. Min., 11, 196-231, 1971.
- : Larosite, a new copper-lead-bismuth sulphide. Canad. Min., 11, 886-891, 1972.
- POSEPNY, F.: Die Erzlagerstätten von Kitzbühel in Tirol und den angrenzenden Theilen Salzburgs. – Archiv prakt. Geol., I, 257–440, 1880.
- RICE, C. M., ATKIN, D., BOWLES, J. F. W. & CRIDDLE, A. J.: Nukundamite, a new mineral, and Idaite. Min. Mag., 43, 193–200, 1979.
- RUCKLIDGE, J. C. & GASPARRINI, E. C.: Electron microprobe analytical data reduction. EMPADR VII. Dept. Geol. Univ. Toronto, 1969.
- SATPAEWA, T. A.: Betechtinit aus der Lagerstätte des Djeskasgan [Russ.]. Isw. An. Kas. SSR, 95–103, 1959.
- SCHROLL, K. M.: Grundriß einer Salzburgischen Mineralogie, oder kurzgefaßte systematische Anzeige der bis jetzt bekannten Mineralien des Fürstenthums und Erzstifts Salzburg. – Jb. Bg. – Hüttenkunde (K. E. F. von Moll), 1, 95–196, 1797.
- SCHROLL, E., AZER IBRAHIM, N.: Beitrag zur Kenntnis ostalpiner Fahlerze. Tschermaks miner. petr. Mitt. (3) 7, 70–105, 1959.
- SCHÜLLER, A. & WOHLMANN, E.: Betechtinit, ein neues Blei-Kupfer-Sulfid aus den Mansfelder Rücken. – Geologie, 4, 535–555, 1956.
- SCHWARZ, F.: Beitrag zur mineralogischen und geologischen Charakteristik der Lagerstätte Leogang., BH. Jb., 78, 60–69, 1930.

	W.	H.	Paar	und	Τ.	T.	Chen
--	----	----	------	-----	----	----	------

SIEGL, W.: Zur Erzmineralogie der Leoganger Lagerstätten. – Unveröff. Manuskript, 1960. SKINNER, B. J.: The system Ag-Cu-S. – Econ. Geol., 61, 1–26, 1966.

- SPRINGER, G.: Microanalytical investigations into germanite, renierite, briartite, and gallite. N. Jb. Min. Mh., 435–441, 1969.
- STRUNZ, H. & TENNYSON, Ch.: Schaurteit, ein neues Germanium-Mineral von Tsumeb/SW-Afrika und seine Paragenese. – Festschrift Dr. Werner T. Schaurte, 33–47, 1967.
- SUGAKI, A., KITAKAZE, A. & ODASHIMA, Y.: Furutobeite, a new copper-silver-lead sulfide mineral. Bull. Mineral., 104, 737–741, 1981.
- VOKES, F. M.: Linnaeite from the Precambrian Raipas Group of Finnmark, Norway. Min. Deposita, 2, 11–25, 1967.
- VOKES, F. M. & BERGSTÖL, S.: Stromeyerite and mckinstryite from the Godejord polymetallic sulphide deposit, Central Norwegian Caledonides. Min. Deposita, 9, 325–337, 1974.
- WANG, N.: A contribution to the Cu-Fe-S system: The sulfidization of bornite at low temperatures. N. Jb. Min. Mh., 8, 346–352, 1984.
- WINKLER, H. G. F.: Petrogenesis of metamorphic rocks. 5. Aufl., 348 S., New York etc. (Springer Verl.), 1979.

148

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Austrian Journal of Earth Sciences

Jahr/Year: 1985

Band/Volume: 78

Autor(en)/Author(s): Paar Werner H., Chen T. T.

Artikel/Article: <u>Zur Mineralogie von Cu-Ni(Co)-Pb-Ag-Hg-Erzen im Revier Schwarzleo</u> <u>bei Leogang, Salzburg, Osterreich. Herrn Univ.-Prof. Dr. W. E. PETRASCHECK, aus</u> <u>Anlaß der Vollendung seines 80. Geburtstages in Dankbarkeit zugeeignet! 125-148</u>