

# Die Mineralogie und Genese der Elektrum-Arsenopyrit Vererzung am Straßegg, Breitenau am Hochlantsch/Gasen (Steiermark, Österreich)

Von Hans-Peter BOJAR\*, Aberra MOGESSIE\*\* und Oskar THALHAMMER\*\*\*

Mit 8 Abbildungen und 4 Tabellen

Angenommen am 30. Juli 1998

**Summary:** The mineralogy and genesis of the electrum-arsenopyrite mineralisation at Straßegg, Breitenau am Hochlantsch/Gasen (Styria, Austria). – The electrum-arsenopyrite mineralisation Straßegg lies within a greenschist facies metavolcanic series, in the north-east of the Graz Paleozoic. The host rocks belong to the lowermost nappe of the Graz Paleozoic. Two different types of mineralisation can be distinguished. A mylonite hosted arsenopyrite mineralisation without gold, and a polymetallic, sub-concordant vein mineralisation with electrum. The polymetallic mineralisation can be divided in two distinct phases: Phase 1 is arsenic rich and Phase 2 is Pb-Sb rich. Electrum is mainly in paragenesis with pyrite and arsenopyrite.

**Zusammenfassung:** Die in grünschieferfaziell überprägten Metavulkaniten gelegene Elektrum-Arsenopyritvererzung am Straßegg, Steiermark liegt in der tiefsten Deckeneinheit im Nordosten des Grazer Paläozoikums. Unterschieden werden können 2 Typen von Vererzungen: Eine an Mylonite gebundene Arsenopyritvererzung ohne Edelmetallgehalte und eine polymetallische subkonkordante Gangvererzung mit Elektrum. Die Mineralisation der gangförmigen Vererzung kann in zwei Bildungsphasen unterteilt werden: Eine As-betonte Bildungsphase 1 und eine Pb-Sb-betonte Bildungsphase 2. Elektrum ist vor allem an Pyrit und Arsenopyrit gebunden.

## 1. Geologischer Rahmen

Das oberostalpine Deckensystem des Grazer Paläozoikums besteht aus drei Decken von niedriggradig metamorphen Sedimenten und Vulkaniten, welche von ihrem primären Basement abgetrennt sind. Das Grazer Paläozoikum wird durch das Gleinalmkristallin im Norden, das Koralmkristallin im Westen und den Raabalpenkomplex im Osten begrenzt. Im Süden ist das Grazer Paläozoikum von tertiären Sedimenten des steirischen Beckens überlagert.

Die alpidische Orogenese führte zur Ausbildung eines Deckensystems. Die hangendste Decke stellt die Hochlantsch-, bzw. Rannachdecke dar. Die Schöckeldecke ist an der Basis und die Laufnitzdorf-, bzw. Kalkschieferdecke sind in einer intermediären Position oder an der Basis.

Die Decken unterscheiden sich in der sedimentären Fazies, im stratigraphischen Umfang der Sequenzen und im Metamorphosegrad.

Während die oberen und die mittleren Decken nur eine sehr schwache Metamorphose aufweisen, erreichte die Metamorphose in der Schöckeldecke vor allem in den nordöstlichen Anteilen Grünschieferfazies, teilweise auch Amphibolitfazies (NEUBAUER 1981; GSELLMANN 1987).

Die Sedimentation umfaßt den Zeitraum vom späten Silur bis in das Devon wobei die basalen Anteile der stratigraphischen Sequenz von silurischen, alkalinen Vulkanoklastika dominiert sind. Diese, heute als Grünschiefer vorliegenden Gesteine, stellen die

\* Referat für Mineralogie, Landesmuseum Joanneum, Raubergasse 10, 8010 Graz.  
e-mail: hans-peter.bojar@stmk.gv.at.

\*\* Institut für Mineralogie, Kristallographie und Petrologie, Karl-Franzens-Universität Graz,  
Universitätsplatz 2, 8010 Graz. e-mail: aberra.mogessie@kfunigraz.ac.at.

\*\*\* Institut für Geowissenschaften, Montanuniversität Leoben, Peter Tunnerstraße 5,  
8700 Leoben. e-mail: thalhamm@unileoben.ac.at

Trärgesteine der Elektrum-Arsenopyrit Vererzung dar. Vom Silur bis in das frühe Devon kam es zur Ablagerung von karbonatischen bis klastischen Sedimenten. Darauf folgen pelagische Sedimente des Mitteldevons. Diese Sequenzen zeigen die Evolution eines passiven Kontinentalrandes, vom Aufbrechen eines silurischen Kontinentes mit alkalinem Vulkanismus bis zur Formung von Plattform- und Schelfsedimenten im Devon (FRITZ & NEUBAUER 1988; LOESCHKE 1988).

Der ehemalige Bergbau am Straßegg befindet sich im Bereich zwischen Zuckenhutgraben (Gemeinde Breitenau am Hochlantsch, nordöstlich der Paßhöhe Straßegg) und südlich des Pramerkogel (Gemeinde Gasen) (Abb. 1).

Die Vererzung am Straßegg liegt in den Heilbrunner Phylliten, einer für die Basis des Grazer Paläozoikums typischen Schieferabfolge: Glimmerschiefer werden von Metavulkaniten überlagert. Darüber liegen Schwarzschiefer und karbonatische Gesteine. Die eigentliche Vererzung liegt in den Metavulkaniten. Die Grad der Metamorphose läßt sich an Hand der Paragenese Chlorit - Epidot - Albit ± Aktinolith ± Biotit als grünschieferfaziell abschätzen.

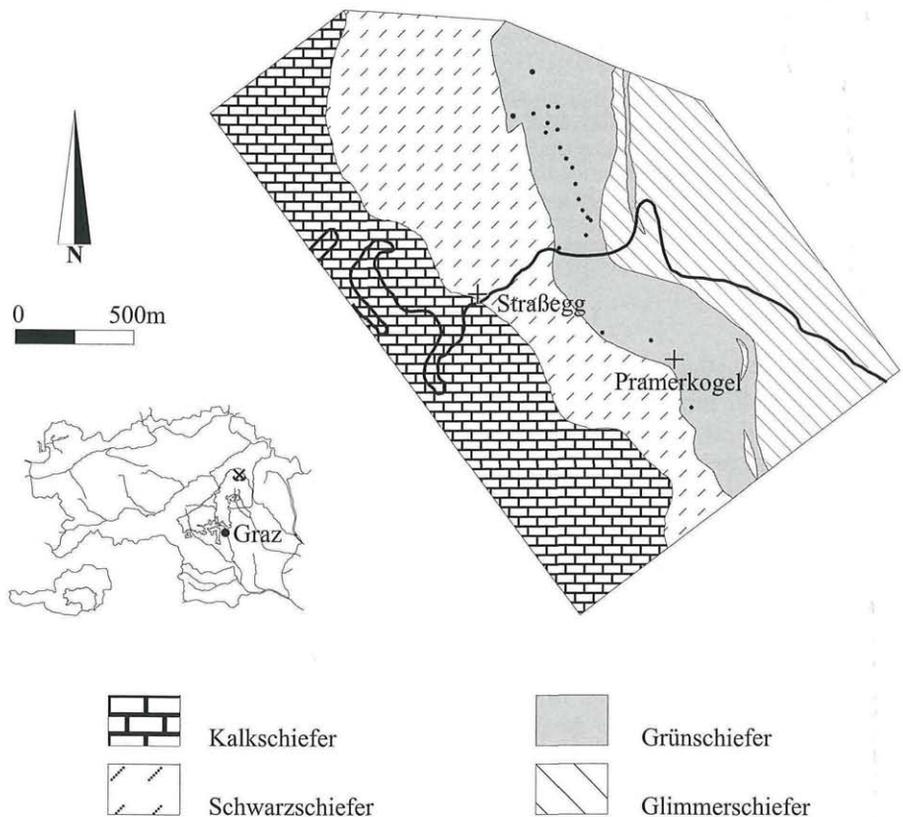


Abb. 1: Geographische Position des Grazer Paläozoikums (graue Signatur) und der Elektrum-Arsenopyritvererzung Straßegg (Bergwerkszeichen). Vereinfachte geologische Karte des Arbeitsgebietes. Die Punkte markieren Bergwerksspuren und anstehende Vererzungen. Geographic position of Graz Paleozoic (grey shading) and of electrum-arsenopyrit-mineralisation Straßegg (mining symbol). Simplified geological map of the area. The dots mark the position of old mines and outcrops with mineralisations.

## 2. Die Vererzung am Straßegg

Berichte aus dem 19. Jahrhundert über das Bergbaugebiet am Straßegg sind spärlich. So wird aus einem verlassenen Silberbergbau am „Strasseck bei Gasen“ von „bis 2 mm messenden Kryställchen von Arsenkies und körnigen Partien mit Schwefelkies in derbem Quarz“ berichtet (HATLE 1885), bzw. wird die Wiederaufnahme des „Arsenikkiesvorkommen von Gaasen westlich von Birkfeld“ empfohlen (HARTNIGG 1886).

Aus der auf einer Länge von 1 km und NNW-SSO verlaufenden dichtgereihten Pingengängen und Halden wird auf einen nahezu N-S verlaufenden Gangzug geschlossen. Die stellenweise auffällige Breitenausdehnung des Pingenzuges deuten auf ein enggereihtes System von mehreren Parallelgängen oder ein Klufnetz hin (CZERMAK & SCHADLER 1933).

Anhand von Haldenfunden wird der mineralogische Charakter beschrieben: „Die Gangart ist vorwiegend Quarz, untergeordnet Ankerit und Siderit. Die Erzführung besteht hauptsächlich aus Arsenkies, Bleiglanz, Blende, untergeordnet Kupferkies, Fahlerz und Pyrit. Zwei weitere Sulfidminerale sind Bournonit und Jamesonit.“ (CZERMAK & SCHADLER 1933).

Auf Grund von Salbändern und Harnischen, sowie Schleppung und Zertrümmerung von Nebengesteinspartien wird Gangcharakter der Lagerstätte betont (CZERMAK & SCHADLER 1933).

Erzmikroskopische Bearbeitungen (FRIEDRICH 1936) zeigen, daß „die weitaus meisten Stücke Quarz und ankeritisches Karbonat mit mehr oder minder reicher Arsenkiesführung enthalten. Dieser ist nester-, putzen- und aderförmig im Quarz verteilt. Viele Stücke enthalten Bleiglanz, Pyrit und Kupferkies. Recht häufig sind große Bleiglanzstufen, seltener größere Kupferkies, Fahlerz- oder Antimonerzstücke.“

Weiters beschreibt FRIEDRICH 1936 einen mehrphasigen, syntektonischen Vererzungsablauf: „Bewegung mit Aufreißen der Klüfte, Zufuhr großer Mengen von Quarz mit beigemengtem Pyrit und Arsenkies. Fortschreitende Bewegungen zerreiben früher gebildete Minerale während die Quarzzufuhr anhält. Dann erfolgt die Zufuhr von Karbonat, Magnetkies, Zinkblende, Kupferkies. Dieser Abschnitt wird durch eine Antimonzufuhr abgelöst. Früher gebildete Sulfide werden durch nachfolgende teilweise aufgelöst und umgebildet. Fortschreitende Bewegungen verschiefern die Antimonerze (Jamesonit). Als letztes Erz erscheint Bleiglanz, Kalzit beendet in geringer Menge den gesamten Vorgang.“

Prospektionsarbeiten der Firma MINEREX (1986) zeigten zweierlei Vererzungstypen innerhalb der Metavulkanite: Einerseits treten gangförmige Vererzungen auf (Gangmächtigkeiten bis 1.5 m mit Erzlagen bis 20 cm), andererseits existieren Vererzungen mit knollenförmig bis plattig ausgebildetem Arsenopyrit. Diese Bildungen treten parallel zur Schieferung auf, wobei die Mächtigkeit der vererzten Bereiche bis zu 2.5 m beträgt und die einzelnen Knollen bis zu 20 Zentimeter Durchmesser erreichen können.

Neben den quergreifenden, erzführenden Gängen, tritt auch eine Reihe tauber Quarzmobilisatlagen auf, welche teils parallel, teils aber auch quergreifend zur dominierenden Schieferung liegen (GSELLMANN 1987).

Weiters beschreibt GSELLMANN 1987 einen schichtgebundenen Typus: Die makroskopisch als derber Arsenopyrit angesprochenen Erze treten am Kontakt der Chloritphyl-lite zu den Schwarzphylliten auf. Begleitet wird dieses Bild von mehreren tauben Quarzmobilisatgängen die meist subparallel zur Schieferung liegen. Aufgrund dieses Aufschlußbildes wird die Entstehung der Vererzung als syndementär interpretiert.

KARG 1988 unterscheidet eine feinkörnige und eine grobkörnige Arsenopyrit Generation. Risse in Arsenopyrit sind von Boulangerit, Bournonit, Fahlerz, Galenit und gediegen Gold verheilt. Ebenso wie Arsenopyrit zeigt auch Pyrit zwei Korngrößengenerationen. Die

größere Pyritgeneration weist Einschlüsse von Boulangerit, Bournonit, Fahlerz und Gold auf. Die kleinere schwimmt in einer Matrix von Boulangerit und Bournonit. Jamesonit ist als dünne Nadeln in Quarz und Chalkopyrit eingewachsen. Bei dem Fahlerz wird vermutet, daß es sich um Tetraedrit handelt. Galenit tritt selten als Zwickelfüllung in Arsenopyrit oder als Einschluß in Bournonit oder Boulangerit auf. Pyrrhotin und Sphalerit sind nur selten zu beobachten. Rutil ist als Büschelchen in Quarz enthalten. Magnetit ist selten in Quarz anzutreffen. Gold ist als Elektrum vorhanden. Zumeist ist es mit Boulangerit, Bournonit, Fahlerz und Bleiglanz in Rissen von Arsenopyrit und Pyrit anzutreffen. Es kommt aber auch zwickelfüllend vor. Weiters werden in dieser Arbeit Atom-Absorptions-Spektroskopie-Analysen von Königswasserauszügen von Arsenopyrit angeführt. Der Goldgehalt von Arsenopyrit, dessen Risse ausschließlich von Karbonat und Quarz verheilt sind, wird mit 1,78–3,53 ppm und von Arsenopyrit dessen Risse mit Boulangerit, Bournonit, Fahlerz und Galenit verheilt sind, mit 5,00–21,56 ppm angegeben.

Eine Bildungstemperatur wird aus dem KRETSCHMAR & SCOTT 1976 Arsenopyrit Thermometer mit 365°C bis 395°C, für eine Paragenese mit Pyrit abgeleitet. Der Druck wird mit 1–2 kbar angegeben. Der Arsengehalt wurde mit 31,1% bestimmt (Röntgendiffraktometrie, Neutronenaktivierung).

Als genetischen Ablauf wird folgendes Bild angeführt:

I. Sedimentation eines vulkanogen betonten Sedimentes mit gleichzeitiger Bildung submariner Vulkanite. Infolge des Vulkanismus kam es durch Tuffe, Tuffite und/oder Hydrothermenaustritte zu einer Zufuhr von Metallen in das Meerwasser. Die Metalle wurden als Sulfide gefällt.

II. Im Anschluß an die synsedimentäre Anlage der Lagerstätte erfolgte eine Metamorphose im Zusammenhang mit der variszischen Orogenese. Es kam zu Rekristallisation und Mobilisation des primären Stoffbestandes des Kieslagers. Eine alpidische Überprägung folgte. Es wurden z.T. diskordante vererzte Quarzmobilisatgänge, ausgehend vom primären Sulfidlager, angelegt. Mobilisate konnten sich in Spalten und Klüften absetzen und diese vererzen.

Sowohl eine Lager- als auch eine gangförmige Vererzung wird wegen der schlechten Aufschlußverhältnisse zur Diskussion gestellt (WEBER 1990). Gegen eine Ganglagerstätte spricht demnach der Umstand, daß die Vererzungen an einen bestimmten lithologischen Horizont innerhalb der Grüngesteinsfolge gebunden sind. Bei Ganglagerstätten müßte es bei einer so langen horizontalen Erstreckung zu einer zwangsläufigen Winkeldiskordanz zum Nebengestein kommen. Hierdurch interpretiert er diese Lagerstätte als metamorph überprägte, in den Gesteinsabfolgen der Heilbrunnerphyllite liegende Lagervererzung.

### 3. Methodik

55 An-/Dünnschliffe wurden mikroskopisch untersucht. Analysen dieser Schliffe wurden mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) (JEOL 6310 mit Link-Oxford energiedispersivem Analysensystem und Microspec wellenlängendispersivem System) angefertigt. Pb und S wurden wellenlängendispersiv, bei Phasen welche Ag und Cd enthielten wurden auch Ag und Cd wellenlängendispersiv untersucht. Alle anderen Elemente sind energiedispersiv gemessen. Die Bezeichnungen BSE und SE in Text und bei Abbildungsunterschriften sind Abkürzungen für back scattered electrons (rückgestreute Elektronen) und secondary electrons (sekundäre Elektronen). Die Proben stammen sowohl aus anstehenden Vererzungen, als auch aus Material von alten Bergbauhalden. In der Beprobung wurde die gesamte Ausdehnung des ehemaligen Bergbaugebietes einbezogen. Folgende Standards wurden benutzt: Calaverit, Chalkopyrit, Galenit, Pyrit, Sphalerit, sowie Ag, Cd und Co metallisch, NiSb und PtAs<sub>2</sub>.

Als Anregungsspannung wurde 20 kV bei einem Probenstrom von ca. 5 nA gewählt.

## 4. Vererzungen

Im folgenden werden die zwei unterschiedlichen Typen von Vererzungen, an Mylonite gebunden und gangförmig, detailliert beschrieben.

### 4.1 An Mylonite gebundene Vererzungen

Diese Vererzungen sind im Gelände durch die oberflächliche Verwitterung ausgelöste Braunfärbung zu erkennen. Die Vererzung befindet sich in einem mylonitisierten Metavulkanit-Bereich wenige Meter vom lithologischen Kontakt zu den hangenden Schwarzschiefer. Subkonkordant sind einige Zentimeter mächtige, boudinierte Quarzgänge eingeschaltet. Weiters sind noch diskordante Karbonatgänglichchen zu beobachten. Die Quarzgänge sind mit Arsenopyrit vererzt. Einzelne voneinander getrennte Arsenopyritknollen und -platten sind in das mylonitisierte Gestein eingeschaltet. Die Sulfidknollen erreichen Größen bis zu mehreren Dezimeter Durchmesser. Arsenopyrit ist zumeist intensiv zu amorphen Eisen-Arsenat(en) und Goethit verwittert.

Die von GSELLMANN 1986 als stratiforme beschriebene Vererzung, welche beim Neubau der Landesstraße angeschnitten wurde, dürfte diesem Aufschluß entsprechen.

Im Erzanschliff ist ein stark brekzierter, grobkörniger Arsenopyrit zu erkennen. Auffallend ist das Fehlen weiterer sulfidischer Phasen neben Arsenopyrit.

### 4.2 Gangförmige, polymetallische Vererzungen

Die paragenetische Abfolge ist deutlich in zwei Bildungsphasen unterteilt. Bildungsphase 1 ist durch eine Fe-As-S dominierte Paragenese gekennzeichnet. Diese frühe Vererzungsphase führte zur Bildung von Arsenopyrit, Pyrit und untergeordnet Pyrrhotin und Gersdorffit. Elektrum ist hauptsächlich an Sulfide dieser Bildungsphase gebildet.

Die darauf folgende Bildungsphase 2 ist reich an Pb- und Sb-hältigen Erzen und ist As arm. Hauptsächlich wurden Boulangerit, Bournonit, Chalkopyrit, Galenit, Jamesonit, Pyrit, silberhaltiger Tetraedrit und untergeordnet Ullmannit, sowie Sphalerit, einer Ag-hältigen Phase A, Diaphorit, Benleonardit, Hessit und zwei unbekannte Cd-Ag-Sb-Pb-S-Phasen gebildet. Elektrum ist selten in diesen Paragenesen vorhanden.

#### Bildungsphase 1

Arsenopyrit tritt häufig als wenige Millimeter breite Bänder in Gangquarz auf. Arsenopyrit ist teils tektonisch zerrieben. In tektonisch nicht so stark beanspruchten Bereichen können bis Zentimeter große Arsenopyritkristalle auftreten. Als häufiger Begleiter von Arsenopyrit kommt Pyrit vor. Weiters können auch Paragenesen von Pyrit, Pyrrhotin und Arsenopyrit beobachtet werden. Teilweise treten Einschlüsse von Galenit, Chalkopyrit, Pyrit und selten Elektrum und Pyrrhotin auf. Pyrit zeigt ebenfalls Galenit, Chalkopyrit und Arsenopyrit, selten Pb-Sulfosalze als Einschluf.

Kataklastisch zerbrochener Arsenopyrit und Pyrit wird von Quarz, Karbonat und/oder Sulfiden verheilt. Arsenopyrit verdrängt kein früher gebildetes Sulfid und tritt auch nicht als Rißfüllung auf. Pyrit findet sich in Paragenese mit Arsenopyrit und auch als Rißfüllung in Arsenopyrit. Hierdurch würde man von zwei Generationen von Pyrit sprechen.

In einer Probe ist idiomorpher Arsenopyrit in einer Pyrrhotinmatrix eingebettet. Weiters sind Chalkopyrit, Galenit und Markasit assoziiert.

Im REM zeigen BSE Aufnahmen von Arsenopyrit häufig eine Sektorzonierung. Die Zonierung ist durch einen schwankenden As/S Gehalt und teilweise durch einen Co-Fe Ersatz definiert.

Der Kobaltgehalt tritt vorwiegend in der Paragenese mit Pyrrhotin auf und schwankt zwischen der Nachweisgrenze (ca. 0,2%) und 4,4 Atom%.

Gersdorffit konnte nur in einer Probe mit hauptsächlich Galenit-Bourbonit-Boulangerit in größeren Mengen nachgewiesen werden. Gersdorffit ist genauso wie Arsenopyrit und Pyrit tektonisch zerbrochen und von jüngeren Sulfiden und Gangart wieder verheilt. Die Analysen zeigen, daß es sich um ein Mischglied im System NiAsS-CoAsS-FeAsS handelt. Gersdorffit hat 16% CoAsS, 55% NiAsS und 29% FeAsS Komponente. Der Chemismus schwankt leicht, vor allem im Verhältnis Ni/Co. Die Verhältnisse Ni/Fe und Co/Fe zeigen hingegen keinen eindeutigen Trend.

## Bildungsphase 2

Boulangerit, Bourbonit, Chalkopyrit, Galenit, Jamesonit und Ag-hältiger Tetraedrit verkitten in wechselnden Verhältnissen zueinander früher gebildeten Arsenopyrit, Pyrit und Gersdorffit.

Galenit, Boulangerit und teilweise auch Jamesonit bilden größere Massen in welchen Arsenopyrit und Pyrit als Einschlüsse vorhanden sein können.

Auffallend sind die unterschiedlichen Paragenesen von isolierten Sulfidanhäufungen in den Gängen. Sie bestehen hauptsächlich aus Eisensulfiden mit untergeordnet Chalkopyrit und Galenit oder aus Galenit mit nur wenigen  $\mu\text{m}$  großen Einschlüssen von Pb/Sb-Sulfosalzen, unbekanntem Cd-Phasen mit Sb und Ag, sowie Telluriden. In Haldenproben konnten Sulfidnester aus Boulangerit und/oder Jamesonit, bzw. Pyrit-Arsenopyrit-Tetraedrit-Chalkopyrit beobachtet werden.

Im Folgenden werden die einzelnen getrennt auftretenden Paragenesen beschrieben.

### 4.2.1. Galenit mit Silber-, Antimon-, Blei-, Tellur- und Kadmium hältigen Einschlüssen

Galenit (PbS) tritt grobkörnig kristallisiert auf. Im Auflicht sind bei hohen Vergrößerungen und teilweise gekreuzten Polarisatoren zahlreiche, winzige Einschlüsse von Phasen zu erkennen welche, durch ein etwas geringeres Reflexionsvermögen als Galenit gekennzeichnet sind.

Folgende Einschlüsse konnten identifiziert werden:

#### Boulangerit ( $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$ )

Boulangerit bildet die größten Einschlüsse in Galenit (bis zu 1 mm), zeigt die normale stöchiometrische Zusammensetzung (Tab. 1) und ist mit keinem anderen Mineral in Paragenese.

##### Phase A

Diese Phase hat beinahe die Pauschalzusammensetzung von Boulangerit aber einen Silbergehalt von etwa 4–4,5 Mol% (Tab. 1). HALL & CZAMANSKE 1972 berichten über eine Ag-Pb-Sb-S Phase von der Wood River Lagerstätte, Idaho und vermuten, daß es sich dabei um einen Ag-hältigen Boulangerit handelt. Die Analysen dieser Boulangerite zeigen einen deutlichen Pb und Sb Überschuss verglichen mit der idealen Zusammensetzung. Auch die Mineralphase A vom Straßegg weicht von der Boulangerit Formel ab. Werden alle bis dato bekannten Ag-Pb-Sb-S Phasen im ternären Diagramm PbS-Ag<sub>2</sub>S-Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> geplottet (Abb. 2) so ist eine starke Häufung der Phasen im Bereich von 58–65% PbS und 5–10% Ag<sub>2</sub>S zu erkennen. Die von HALL & CZAMANSKE 1972 beschriebene Phase fällt nahezu mit Zoubekit (MEGARSKAYA 1986) zusammen. Phase A von Straßegg ist allerdings etwas Richtung PbS verschoben.

Tab. 1: Repräsentative REM Analysen von Einschlüssen in Galenit.  
 Representative SEM analyses of inclusions in galena.

| Gew. % | Benleonardit | Boulangierit | Phase A | Cd-Phase I | Cd-Phase II | Diaphorit | Greenockit | Freibergit | Hessit | Sphaalerit |
|--------|--------------|--------------|---------|------------|-------------|-----------|------------|------------|--------|------------|
| S      | 6.60         | 19.00        | 18.92   | 22.61      | 20.72       | 17.74     | 22.44      | 20.63      | 2.03   | 30.94      |
| Te     | 19.91        | n.g.         | n.d.    | n.d.       | n.d.        | n.g.      | n.g.       | n.g.       | 35.37  | n.g.       |
| Ag     | 63.97        | n.d.         | 3.76    | 24.66      | 5.56        | 21.28     | n.g.       | 34.35      | 53.55  | n.g.       |
| Cd     | n.g.         | n.g.         | n.d.    | 23.69      | 5.28        | n.d.      | 76.85      | n.g.       | n.d.   | 13.83      |
| Cu     | n.d.         | n.g.         | n.d.    | n.d.       | n.g.        | n.d.      | n.g.       | 15.87      | n.g.   | n.g.       |
| Fe     | n.d.         | n.g.         | n.d.    | n.d.       | n.d.        | n.d.      | n.d.       | 4.38       | n.g.   | 7.35       |
| Pb     | n.d.         | 55.98        | 49.60   | 2.07       | 35.19       | 32.73     | n.g.       | n.g.       | 6.92   | n.g.       |
| Sb     | 9.76         | 26.53        | 25.72   | 29.43      | 32.77       | 25.41     | n.g.       | 23.87      | n.g.   | n.g.       |
| Zn     | n.g.         | n.g.         | n.d.    | n.d.       | n.g.        | n.g.      | n.d.       | 1.96       | n.g.   | 46.31      |
| Summe  | 100.24       | 99.66        | 98.01   | 102.46     | 99.52       | 97.16     | 99.29      | 101.06     | 97.87  | 98.43      |
| Atom % |              |              |         |            |             |           |            |            |        |            |
| S      | 19.89        | 54.83        | 54.86   | 50.50      | 54.24       | 49.52     | 50.58      | 42.44      | 7.28   | 50.05      |
| Te     | 15.07        | n.g.         | n.d.    | n.d.       | n.g.        | n.g.      | n.g.       | n.g.       | 31.84  | n.g.       |
| Ag     | 57.10        | n.d.         | 3.24    | 16.37      | 4.33        | 17.66     | n.g.       | 21.00      | 57.04  | n.g.       |
| Cd     | n.g.         | n.g.         | n.d.    | 15.10      | 3.94        | n.g.      | 49.42      | n.g.       | n.d.   | 5.94       |
| Cu     | n.d.         | n.g.         | n.d.    | n.d.       | n.g.        | n.g.      | n.g.       | 16.47      | n.g.   | n.g.       |
| Fe     | n.d.         | n.g.         | n.d.    | n.d.       | n.g.        | n.g.      | n.d.       | 5.18       | n.g.   | 6.82       |
| Pb     | n.d.         | 25.00        | 19.64   | 0.72       | 24.26       | 14.14     | n.g.       | n.g.       | 3.84   | n.g.       |
| Sb     | 7.74         | 19.17        | 22.26   | 17.31      | 13.23       | 18.68     | n.g.       | 12.93      | n.g.   | n.g.       |
| Zn     | n.g.         | n.g.         | n.d.    | n.d.       | n.g.        | n.g.      | n.d.       | 1.98       | n.g.   | 36.74      |

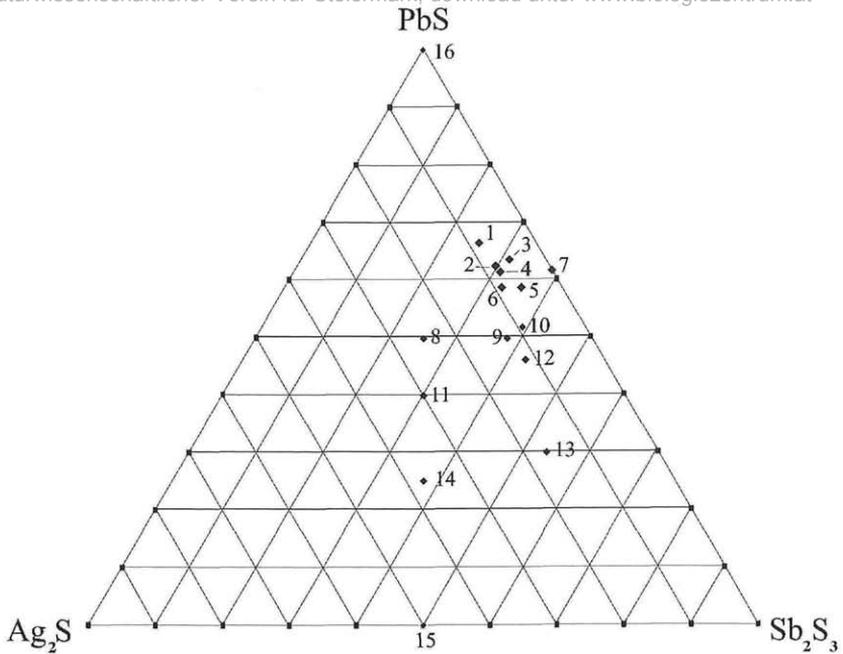


Abb. 2: Pseudoternäres Diagramm PbS-Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-Ag<sub>2</sub>S.: 1: ohne Namen, 2: Woodriver „Ag-Boulangerit“, 3: Straßegg Phase A, 4: Zoubeckit, 5: Sterryit, 6: Owyheeit, 7: Boulangerit, 8: Freieslebenit, 9: ohne Namen, 10: Fizelyit, 11: Diaphorit, 12 Ramdohrit, 13: Andorit/Roshchinit, 14: Brongniardit, 15: Myargyrit, 16: Galenit.  
 Pseudoternary diagram PbS-Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-Ag<sub>2</sub>S: 1: unnamed, 2: Woodriver “Ag-boulangerite”, 3: Straßegg phase A, 4: zoubeckite, 5: sterryite, 6: owyheeite, 7: boulangerite, 8: freieslebenite, 9: unnamed, 10: fizelyite, 11: diaphorite, 12 ramdohrite, 13: andorite/roshchinite, 14: brongniardite, 15: myargyrite, 16: galena.

### Diaphorit (Pb<sub>3</sub>Ag<sub>5</sub>Sb<sub>5</sub>S<sub>12</sub>)

Diaphorit (Abb. 3, Tab. 1) überschreitet selten die Größe von 5µm. Teilweise sind Diaphoriteinschlüsse parallel [100] von Galenit orientiert. Diaphorit ist häufig in Paragenese mit Cd-Phase I und Phase A.

Cd-Phase I (Ag<sub>1,94</sub>Cd<sub>1,79</sub>Sb<sub>2,06</sub>Pb<sub>0,09</sub>S<sub>5</sub>)

Diaphorit wird teilweise von einer noch nicht beschriebenen Cd-Phase (Abb. 3, Tab. 1), welche im folgenden als Cd-Phase I bezeichnet wird, begleitet. Diese Phase enthält zu etwa gleichen Teilen Kadmium, Silber, Antimon und ca. 50 Atom% Schwefel. Häufig bildet diese Phase schmale Lamellen in Phase A oder tritt an der Korngrenze zu Galenit auf. Teilweise werden Diaphorit und Cd-Phase I, noch von Freibergit oder Phase A begleitet. Selten tritt Cd-Phase I als einzelne Phase in Galenit auf.

Cd-Phase II (Ag<sub>2,00</sub>Cd<sub>1,80</sub>Pb<sub>11,23</sub>Sb<sub>6,13</sub>S<sub>25</sub>)

Eine weiteres, unbekanntes Mineral, hier als Cd-Phase II bezeichnet, bildet ebenfalls längliche Körner von bis 20µm Länge und 4µm Breite im Galenit. Es handelt sich um ein Pb-Sb-Ag-Cd-Sulfid, mit einem Cd-Gehalt von etwa 4 Atom% (Tab. 1). Cd-Phase II ist selten mit einer anderen Phase vergesellschaftet; beobachtet wurde die Paragenese mit Benleonardit.

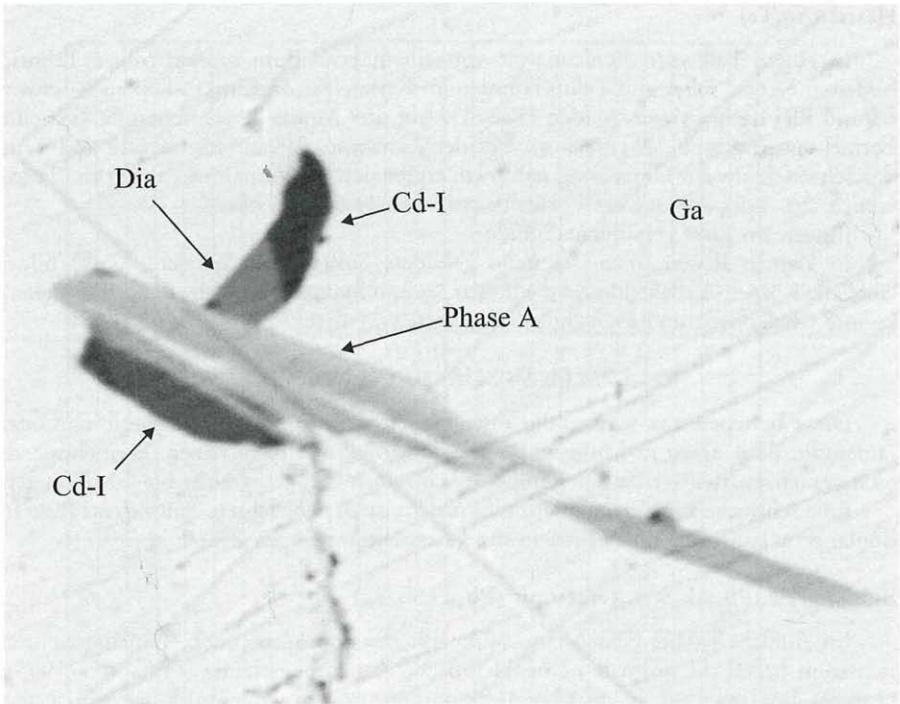


Abb. 3: Cadmium Phase 1 (Cd-I), Phase A und Diaphorit (Dia) als Einschluß in Galenit (Ga). SE-Bild, horizontale Bildkante 20µm.  
Cadmium phase 1 (Cd-I), phase A and diaphorite (Dia) as inclusion in galena (Ga). SE-picture, width of field 20µm.

### Greenockit (CdS)

Als weiteren Cd-Träger konnten winzige, meist unter 5µm kleine Einschlüsse von Greenockit identifiziert werden. Greenockit enthält geringe Anteile von Zink und Eisen (Tab. 1). Greenockit ist selten mit einer anderen Phase vergesellschaftet; beobachtet wurde die Paragenese Diaphorit-Greenockit.

### Benleonardit ( $\text{Ag}_8\text{SbTe}_2\text{S}_3$ )

Als häufigster Einschluß der Te-Phasen tritt ein Mineral mit der chemischen Zusammensetzung ( $\text{Ag}_{8,17}\text{Sb}_{1,11}\text{Te}_{2,16}\text{S}_{2,84}$ ) (Tab. 1) auf, das nahezu Benleonardit ( $\text{Ag}_8\text{SbTe}_2\text{S}_3$ ) entspricht. Allerdings ist das Verhältnis S:Te von 3:2 zu Gunsten von Tellur verschoben. Benleonardit wurde bisher nur von wenigen Fundpunkten weltweit beschrieben (STANLEY & al. 1986; KARUP-MOLLER & al. 1989; SPRY & THIEBEN 1996). Im Unterschied zu den beschriebenen Vorkommen ist Benleonardit von Straßegg nicht mit silberreichen Phasen wie Silber ged., Hessit, Fahlerz oder Pyrargyrit vergesellschaftet. Bereits bei der Erstbeschreibung (STANLEY & al. 1986) wird auf den Umstand hingewiesen, daß die Mikrosonden-Analysen etwas von der Struktur abgeleiteten Formel abweichen. Die in der Literatur beschriebenen Benleonardite zeigen alle einen deutlichen Schwefelüberschuß bei einem Tellurdefizit. Diese Ergebnisse sind unabhängig von den benutzten Standards. Benleonardit von Straßegg hat hingegen bezogen auf die Idealformel zuwenig Schwefel und zuviel Tellur.

Kontakparagenesen von Benleonardit sind Phase A, Hessit und Cd-Phase II.

## Hessit ( $\text{Ag}_2\text{Te}$ )

In einem Fall wird Benleonardit von einem etwa  $3\mu\text{m}$  großen Silber Tellurid begleitet. Neben Silber und Tellur konnten im Rasterelektronenmikroskop auch Schwefel und Blei nachgewiesen werden (Tab. 1). Auf drei Atome berechnet ergibt sich eine Formel von  $(\text{Ag}_{1,46}\text{Pb}_{0,10})(\text{Te}_{0,81}\text{S}_{0,18})$ . Mit der Annahme, daß die Pb-Gehalte und Teile des Schwefels aus der Umgebung stammen, ergibt sich ein Verhältnis von Ag zu (Te+S) von ca. 2:1. Dies läßt auf das Vorhandensein von Hessit schließen.

Jüngere an Risse gebundene Sulfide

In kleinen Rissen treten sekundär gebildete Sulfide auf. Sphalerit ( $\text{ZnS}$ ) bildet längliche Körner. Auffallend sind die hohen Kadmium und Fe-Gehalte (Tab. 1). Weiters konnte Chalkopyrit und Freibergit nachgewiesen werden.

### 4.2.2 Pb-Sb-Sulfosalz Paragenesen

Diese bestehen aus wirrstrahlig miteinander verwachsenen Boulangerit und/oder Jamesonit. Boulangerit ist häufiger als Jamesonit. Makroskopisch zeigen sie einen metallisch grauen, matten Glanz. Die Größe der einzelnen Stengel erreicht bis 5 Millimeter.

Eine schwache Einregelung der Sulfidnadeln ist zu beobachten. Sulfideinschlüsse in Boulangerit/Jamesonit sind häufig in der Faserrichtung eingeregelt.

## Boulangerit ( $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$ ), Jamesonit ( $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$ )

Im Auflicht ist bei beiden eine starke Bireflexion zu erkennen. Boulangerit und Jamesonit haben die normale nomenklatorische Zusammensetzung (FLEISCHER 1995), (Tab. 2). Boulangerit ist häufig ohne Jamesonit anzutreffen. Jamesonit hingegen ist stets mit Boulangerit in Paragenese. Boulangerit ist weiters häufig mit Galenit verwachsen. In Jamesonit/Boulangerit ist Chalkopyrit-Tetraedrit-Ullmannit-Sphalerit und Elektrum mosaikartig eingewachsen. Diese Sulfidkörperchen sind bis einige  $100\mu\text{m}$  lang, wobei die Größen der einzelnen Phasen stark schwankt. Sie können nur wenige  $\mu\text{m}$  lang (vor allem Sphalerit und Elektrum), aber auch über  $100\mu\text{m}$  groß (v.a. Tetraedrit, Chalkopyrit) werden. Diese gelängten Aggregate scheinen eine spätere Bildung als Boulangerit/Jamesonit zu sein.

## Tetraedrit ( $\text{Cu,Ag}_{10}(\text{Fe,Zn})_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ )

Das Fahlerz ist ein Ag-hältiger Tetraedrit. Der Arsengehalt liegt stets unter der Nachweisgrenze (etwa 0.5 Atom%). Der Silbergehalt schwankt zwischen 5.2 und 12.5 Atom% (Tab. 2).

## Sphalerit ( $\text{ZnS}$ )

Der Chemismus von Sphalerit ist ziemlich konstant. Er hat einen Eisengehalt von 4 Atom% (Abb. 4, Tab. 2).

## Ullmannit ( $\text{NiSbS}$ )

Ullmannit bildet ähnlich große Kristalle wie Tetraedrit. Er ist nahezu das reine  $\text{NiSbS}$  Endglied (Abb. 4, Tab. 2). Es konnten nur wenige Zehntel Prozent Eisen als Ersatz für Nickel nachgewiesen werden. Arsen erreichte nur in einer Analyse die Größe von 0.4 Atom%.

Tab. 2: Repräsentative REM Analysen von Sulfiden.  
Representative SEM analyses of sulphides.

| Gew.% | Boulangerit | Bourmonit | Jamesonit | Meneghinit | Sphalerit | Tetraedrit | Ullmannit | Gersdorffit |
|-------|-------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-------------|
| S     | 18.87       | 19.92     | 21.24     | 18.74      | 33.08     | 23.06      | 14.20     | 18.87       |
| As    | n.g.        | n.g.      | n.d.      | n.g.       | n.g.      | n.d.       | 0.44      | 44.95       |
| Ag    | n.g.        | n.g.      | n.d.      | n.g.       | n.g.      | 17.71      | n.d.      | n.g.        |
| Co    | n.g.        | n.g.      | n.d.      | n.g.       | n.g.      | n.g.       | n.g.      | 6.27        |
| Cu    | n.g.        | 13.81     | n.d.      | 1.38       | n.g.      | 25.07      | n.d.      | n.d.        |
| Fe    | n.g.        | n.g.      | 2.75      | n.g.       | 3.98      | 4.55       | 0.32      | 10.21       |
| Ni    | n.g.        | n.g.      | n.d.      | n.g.       | n.g.      | n.g.       | 26.57     | 18.79       |
| Pb    | 25.55       | 42.21     | 40.43     | 61.62      | n.g.      | n.g.       | n.g.      | n.g.        |
| Sb    | 56.56       | 24.35     | 36.87     | 19.97      | n.g.      | 27.62      | 56.15     | n.d.        |
| Zn    | n.g.        | n.g.      | n.d.      | n.g.       | 61.70     | 1.58       | n.d.      | n.g.        |
| Summe | 100.98      | 100.29    | 101.29    | 101.71     | 98.76     | 99.59      | 97.68     | 99.09       |
| Atom% |             |           |           |            |           |            |           |             |
| S     | 54.93       | 50.00     | 54.77     | 54.72      | 50.41     | 44.66      | 32.70     | 32.73       |
| As    | n.g.        | n.g.      | n.d.      | n.g.       | n.g.      | n.d.       | 0.43      | 33.38       |
| Ag    | n.g.        | n.g.      | n.d.      | n.g.       | n.g.      | 10.19      | n.d.      | n.g.        |
| Co    | n.g.        | n.g.      | n.d.      | n.g.       | n.g.      | n.g.       | n.d.      | 5.91        |
| Cu    | n.g.        | 17.50     | n.d.      | 2.03       | n.g.      | 24.50      | n.d.      | n.g.        |
| Fe    | n.g.        | n.g.      | 4.07      | n.g.       | 3.48      | 5.07       | 0.45      | 10.18       |
| Ni    | n.g.        | n.g.      | n.d.      | n.g.       | n.g.      | n.g.       | 33.08     | 17.80       |
| Pb    | 19.59       | 16.10     | 16.13     | 27.90      | n.g.      | n.g.       | n.g.      | n.g.        |
| Sb    | 25.48       | 16.40     | 25.03     | 15.36      | n.g.      | 14.08      | 33.70     | n.g.        |
| Zn    | n.g.        | n.g.      | n.d.      | n.g.       | 46.11     | 1.50       | n.d.      | n.g.        |

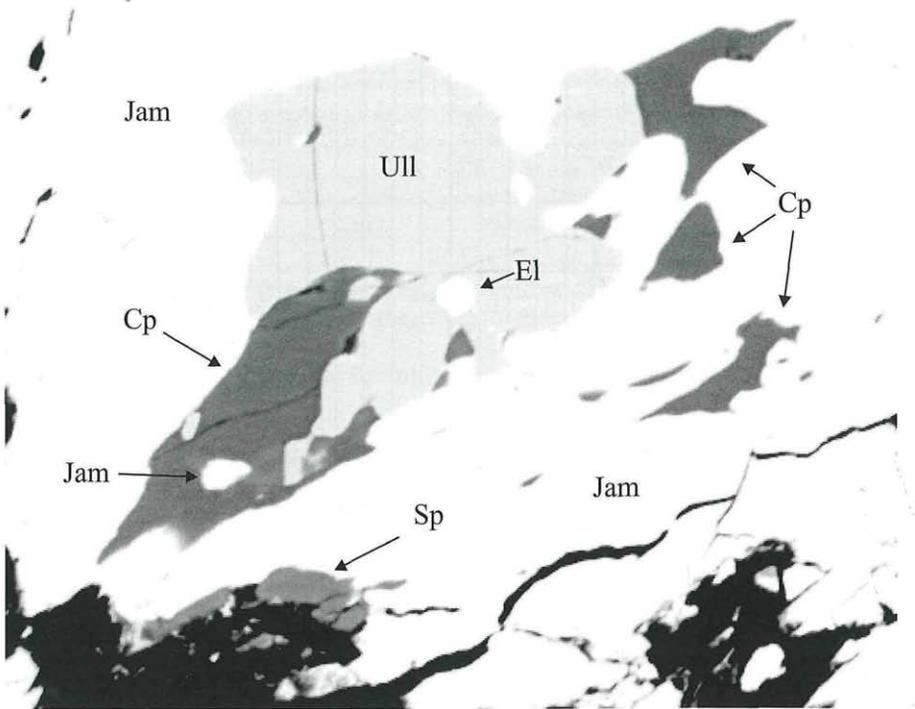


Abb. 4: Ullmannit (Ull), Chalkopyrit (Cp) und Sphalerit (Sp) in Jamesonit (Jam). In Ullmannit ist Elektrum (El) eingeschlossen. SE Bild, horizontale Bildkante 55µm. Ullmannite (Ull), chalcopyrite (Cp) and sphalerite (Sp) in Jamesonite (Jam). In ullmannite is electrum (El) as inclusion. width of field 55µm.

### Elektrum (Au,Ag)

Wenn sich Elektrum in diesen Paragenesen befindet, dann immer in oder in unmittelbarer Umgebung zu Ullmannit. Ein Einschluß in Ullmannit zeigt kristallographische Umrisse (Abb. 4, Tab. 2). Die Größe der Körner überschreitet nicht 3µm. Der Silbergehalt von Elektrum beträgt im Durchschnitt 36 Atom%.

### Chalkopyrit (CuFeS<sub>2</sub>)

Ist mit allen anderen Sulfiden in Kontaktparagenese und hat die übliche stöchiometrische Zusammensetzung (Abb. 4).

### Gersdorffit ((Ni,Co,Fe)AsS)

Ein einzelnes Korn eines Mischgliedes der Cobaltit Gruppe wurde in einem Quarzeinschluß in Jamesonit gefunden. Es hat ca. 40% CoAsS, 35% NiAsS und 25% FeAsS Komponente.

#### 4.2.3. Galenit (PbS)-Boulangerit (Pb<sub>5</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>11</sub>)-Meneghinit (Pb<sub>13</sub>CuSb<sub>7</sub>S<sub>24</sub>)-Bournonit (PbCuSbS<sub>3</sub>) Verwachsungen

Ein Erzgemenge in silikatischer Matrix konnte diffraktometrisch als Galenit, Boulangerit und Meneghinit identifiziert werden. Im REM sind myrmekitarartige Verwach-

sungen von Boulangerit und Galenit zu erkennen. Zur Paragenese tritt Meneghinit hinzu. Galenit tritt entweder in Boulangerit oder an der Korngrenze Meneghinit/Boulangerit auf. Seltener ist er in Meneghinit. Durch das Auftreten von Galenit an den Korngrenzen ist Meneghinit und Boulangerit häufig durch eine kleine Schicht von Galenit getrennt (Abb. 5).

### 4.3. Elektrum (Au,Ag) führende Paragenesen

Gold liegt als Legierung mit Silber vor. Der Ag-Gehalt im Elektrum schwankt zwischen 15 und 74 Atom% (Abb. 8 und Tab. 3). Laut Definition (BOYLE 1979) handelt es sich demnach um Elektrum. Elektrum ist häufiger in Paragenese mit Mineralen der Bildungsphase 1 (v.a. Pyrit und Arsenopyrit) zu finden, als mit Mineralen der Bildungsphase 2 (immer mit Ullmannit vergesellschaftet. Teilweise ist es auch als Freigold in Quarz/Silikat anzutreffen. Häufig ist Elektrum an der Korngrenze oder in Rissen von Pyrit/Arsenopyrit. Als Einschuß ist es in Pyrit häufiger als in Arsenopyrit. Zu der Paragenese Arsenopyrit/Pyrit treten teils weitere Sulfide hinzu: Chalkopyrit, Galenit, Bournonit und Ag-hältiger Tetraedrit. Elektrum erreicht Korngrößen bis zu 0.1 Millimeter. Bereits im Auflicht ist erkenntlich, daß Elektrum keineswegs homogen aufgebaut ist. Es wechseln sich hellgelbe mit silberweißen Bereichen ab. Im BSE Bild können zwei Typen von Zonierungen unterschieden werden. Erstens eine ungleichmäßige, verlaufende Ag/Au Zonierung (Abb. 6). Zweitens eine Zonierung welche scharfe Korngrenzen

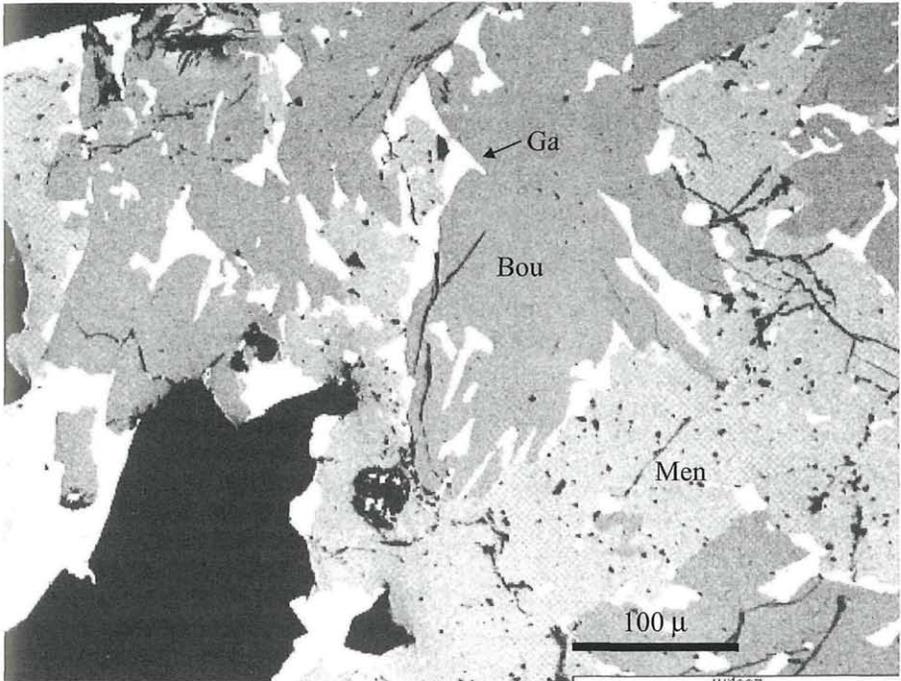


Abb. 5: Galenit (Ga) an der Korngrenze von Meneghinit (Men) und Boulangerit (Bou), SE-Bild, Horizontale Bildkante 540μm.

Galenit (Ga) at the grain boundary to meneghenite (Men) and boulangerite (Bou), SE-picture, width of field 540μm.

Tab. 3: Repräsentative REM Analysen von Elektrum.

Representative SEM analyses of electrum.

|         | Minimum Au<br>(55 Analysen) | Maximum Au<br>(55 Analysen) | Elektrum zoniert<br>Au hoch | Elektrum zoniert<br>Au niedrig |
|---------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Gew.%   |                             |                             |                             |                                |
| Ag      | 60.26                       | 8.83                        | 26.09                       | 51.75                          |
| Au      | 38.69                       | 91.37                       | 72.73                       | 47.40                          |
| Σ Gew.% | 98.95                       | 100.20                      | 98.82                       | 99.15                          |
| Atom%   |                             |                             |                             |                                |
| Ag      | 73.99                       | 15.00                       | 60.70                       | 66.42                          |
| Au      | 26.01                       | 85.00                       | 39.30                       | 33.58                          |

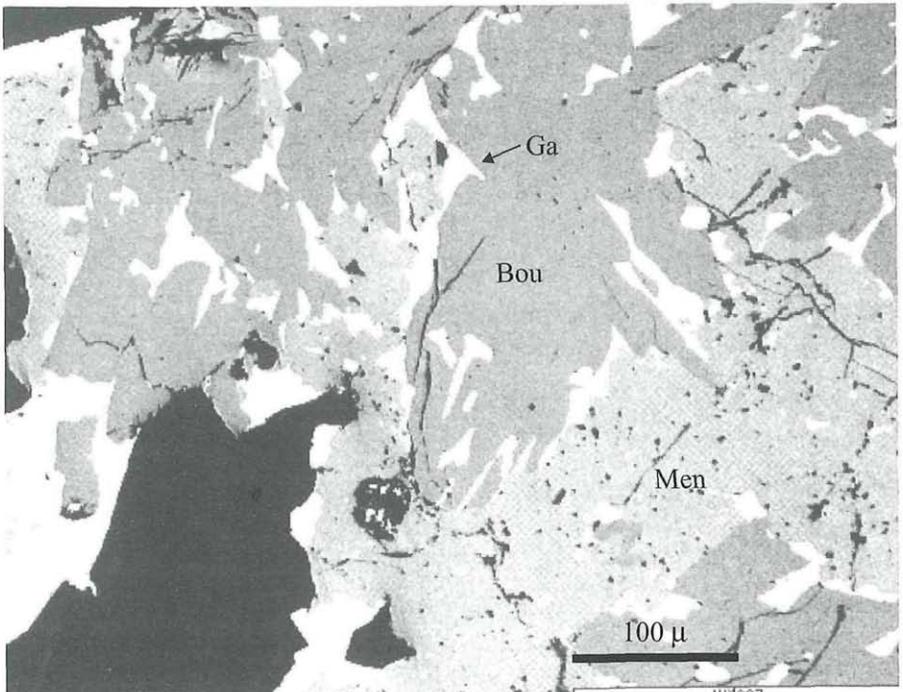


Abb. 6: zoniertes Elektrum in Quarz. El1: Ag-reiches Elektrum (62,63 Atom% Ag), El2: Au-reiches Elektrum (30,81 Atom% Ag). Die Ag-reichen Bereiche sind randlich. BSE-Bild, horizontale Bildkante 120μm.

Electrum with zonation in Quartz. El1: Ag-rich Electrum (62,63 at.% Ag), El2: Au-rich Electrum (30,81 at.% Ag). The silver rich areas are at the rim. BSE-picture, width of field 120μm.

aufweist und Bereiche mit hohem und niedrigem Silbergehalt abgrenzt. Generell gilt, daß die goldarmen Bereiche am Rand zu liegen kommen (Abb. 7). Die silberreichen Bereiche haben 60–75 Atom% Silber und die silberarmen Gehalte von 25–40 Atom% Ag.

Die starken Schwankungen im Ag/Au Gehalt könnten durch Änderungen im Transportmedium (z.B. Chloridfugazität/Schwefelfugazität verursacht worden sein) worden sein.

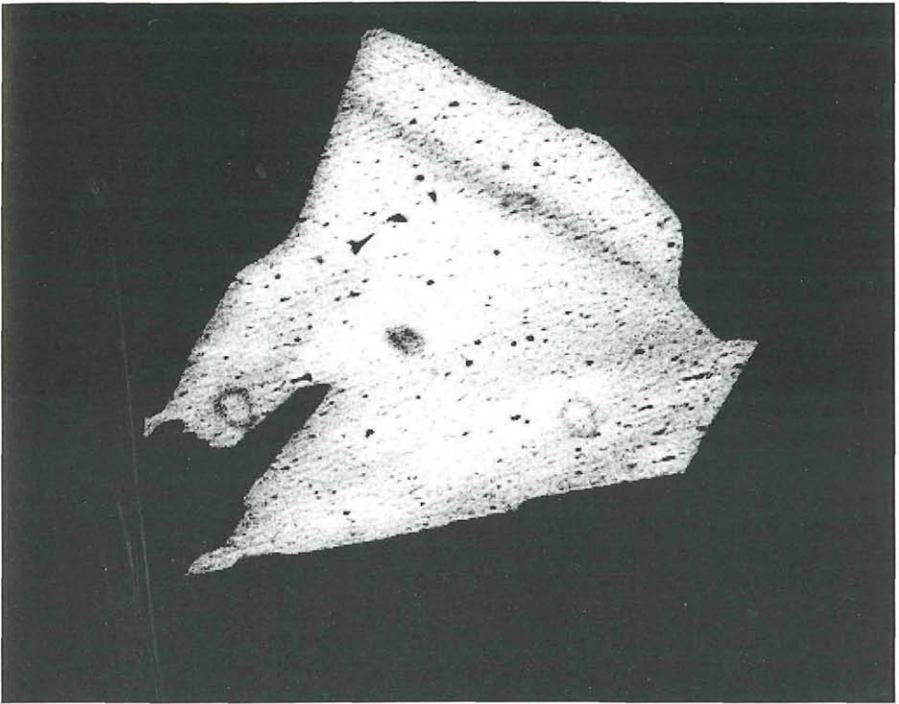


Abb. 7: zoniertes Elektrum mit verlaufender Zonierung. Ag-reichen (61.53 Atom% Ag) Anteile sind am Rand, die Au-reichen (55.18 Atom% Ag) sind im Kern. BSE-Bild, horizontale Bildkante 60µm. Electrum with a continuous zonation. Electrum is Ag rich (61.53 at.% Ag) at the rim and Au-Rich in the core (55.18 at.% Ag): BSE-picture, width of field 60µm.

## 5. Diskussion

Die verschiedenen Sulfidparagenesen in den Gängen lassen eine Eingrenzung der Bildungstemperatur zu.

Für Bildungsphase I bietet sich das Geothermometer von KRETSCHMAR & SCOTT 1976 an. Entsprechend der Voraussetzung der Anwendung dieses Thermometers, wurden Proben ausgewählt welche keine nachweisbaren Gehalte an Co, Ni und Sb haben. Die Anwendung des Arsenopyrit Thermometers auf Lagerstätten wurde von SHARP & al. 1985 diskutiert. In dieser Arbeit wurde festgestellt, daß die errechneten Temperaturen bei Lagerstätten, welche grünschiefer- bis amphibolitfaziell überprägt sind, gut mit anderen kalibrierten Geothermometern übereinstimmen. Der Druckeinfluß wird mit 14°C/km abgeschätzt. Im allgemeinen werden die Temperaturen des Arsenopyritthermometers auf Grund der refraktären Natur von Arsenopyrit als Bildungstemperatur interpretiert.

Der Arsengehalt in Atomprozent von Arsenopyrit in Paragenese mit Pyrit und Pyrrhotin schwankt zwischen 31.74 und 32.61%. Angewendet auf das Arsenopyrit Thermometer ergibt, daß einen Temperaturbereich von 355°C bis 465°C bei einem Mittelwert von 405°C (Mittelwert aus 26 Analysen).

Für Bildungsphase II können die geothermometrischen Bedingungen an Hand der Sulfosalzparagenesen eingeschränkt werden. Auffallend sind die Verwachsungen von Bournonit-Meneghinit-Galenit (Abb. 5). Solche Gefüge werden auch von der Pinnacle Mine bei Broken Hill, Australien beschrieben (McQUEEN 1984). Die detaillierteste

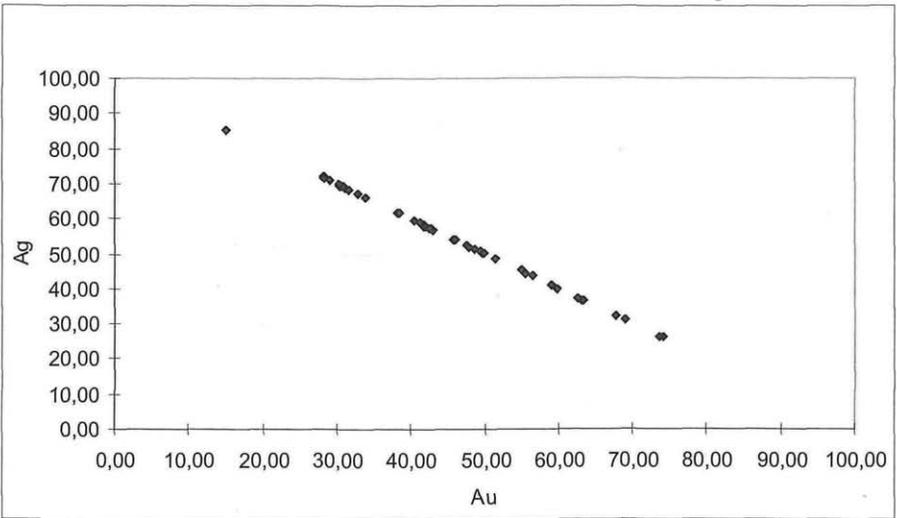


Abb. 8: Chemische Variation (Atom%) von Elektrum. Gesamte Daten, 55 Datenpunkte.  
Chemical variation (at.%) of electrum. Whole data, 55 datapoints.

Bearbeitung des System  $\text{CuS}_2\text{-PbS-Sb}_2\text{S}_3$  bzw. des Systems  $\text{PbS-Sb}_2\text{S}_3$  stammen von PRUETH & al. 1997 und von SALANCI 1979. PRUETH & al. 1997 zeigten durch experimentelle Untersuchungen, daß Meneghinit bei  $500^\circ\text{C}$  eine ausgedehntes Mischungsfeld zwischen etwa 45 und 80 Mol% PbS hat. Der  $\text{Cu}_2\text{S}$  Gehalt schwankt zwischen 2 und etwa 10 Atom%. Dieses Feld verringert sich zusehends mit sinkender Temperatur. Bei  $400^\circ\text{C}$  schränkt sich dieses auf etwa 65–80 Atom% PbS ein. Bei  $300^\circ\text{C}$  ist Meneghinit nicht mehr stabil. Bei einer Temperatur von  $605^\circ\text{C}$  schmilzt Meneghinit mit wenigen Prozent  $\text{Cu}_2\text{S}$  Gehalt zu Galenit plus Schmelze (HODA & CHANG 1975b. SALANCI 1979 untersuchte das  $\text{PbS-Sb}_2\text{S}_3$  System. Bei den Experimenten wurde ein Cu-freier Meneghinit hergestellt. Die Stabilität dieses ist stark gegenüber Cu-hältigen eingeschränkt. So ist Meneghinit nur zwischen  $640$  und  $633^\circ\text{C}$  stabil. Da natürlicher Meneghinit stets etwas Kupfer enthält, ist er auch bei tieferen Temperaturen stabil.

Boulangerit entsteht bei  $637^\circ\text{C}$  im System  $\text{PbS-Sb}_2\text{S}_3$  aus Cu-freien Meneghinit oder bei  $633^\circ\text{C}$  aus der Zerfallsreaktion, der von SALANCI 1979 als bezeichneten Phase II, unter Bildung von Boulangerit + Galenit.

MCQUENN 1984 interpretierte die myrmekitartigen Verwachsungen von Boulangerit und Galenit als Zerfallsreaktion von Phase II oder einer Reequilibration von Hochtemperatur- $\text{Sb}_2\text{S}_3$  angereichertem Meneghinit und Galenit bei sinkender Temperatur.

In einer weiteren Probe ist die Paragenese Bournonit-Galenit-Boulangerit verwirklicht. Dieser Vergesellschaftung ist bei tieferen Temperaturen stabil als die Paragenesen mit Meneghinit. Diese Paragenese könnte aus dem Zusammenbruch von Meneghinit oder Phase Z zu Boulangerit; Bournonit und Galenit bei Temperaturen zwischen  $440$  und  $300^\circ\text{C}$  (PRUETH 1997) entstanden sein.

Experimentelle Untersuchungen im System  $\text{PbS-Ag}_2\text{S-Sb}_2\text{S}_3$  (HODA & CHANG 1975a) zeigen eine Mischbarkeit zwischen PbS und  $\text{AgSbS}_2$  bei  $500^\circ\text{C}$ . Bei  $300^\circ$  reduziert sich die Mischbarkeit auf die Bereiche zwischen 50–52 Atom% PbS und 25–40 Atom% PbS. Die letztere Mischbarkeit umfaßt den Bereich von Diaphorit bis Brogniardit. Experimente der selben Autoren bei  $250^\circ\text{C}$  ergaben kein einheitliches Ergebnis, so daß

Tab. 4: Repräsentative Analysen von Arsenopyrit in Paragenese mit Pyrit und Pyrrhotin  
 Representative analyses of arsenopyrite in paragenesis with pyrite and pyrrhotite.

|       | Minimum As<br>(26 Analysen) | Maximum As<br>(26 Analysen) | Mittelwert<br>(26 Analysen) |
|-------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Gew.% |                             |                             |                             |
| S     | 21.75                       | 20.09                       | 20.94                       |
| As    | 44.03                       | 45.60                       | 44.75                       |
| Fe    | 36.08                       | 35.25                       | 35.49                       |
| Summe | 101.86                      | 100.94                      | 101.18                      |
| Atom% |                             |                             |                             |
| S     | 35.48                       | 33.57                       | 34.63                       |
| As    | 30.74                       | 32.61                       | 31.67                       |
| Fe    | 33.78                       | 33.82                       | 33.70                       |

keine eindeutigen Aussagen über die Mischbarkeit bei niedrigeren Temperaturen getroffen werden können.

Die Kristallstruktur von Diaphorit kann aus Galenit durch Substitution von Sb und Ag gegen Pb dargestellt werden. Hierdurch ergeben sich ähnliche Zellabmessungen für Galenit und Diaphorit. Dies führt zu kristallographisch kontrollierten Entmischungen in Galenit. Die Orientierung der C-Achse von Diaphorit ist parallel der [100] Richtung in Galenit. Die a und b Achse liegt in der (110) Ebene von Galenit (SHARP & BUSECK 1993).

Daher wird angenommen, daß Diaphorit sich als Entmischung aus Galenit bei sinkender Temperatur gebildet hat.

Zusammenfassend läßt sich für die geothermometrischen Daten folgendes sagen:

Der Hauptteil der Bildungsphase 1 wird von Arsenopyrit/Pyrit bei Temperaturen um 405°C und 455°C gebildet.

Für die Minerale der Bildungsphase 2 können nur Mindesttemperaturen bzw. Temperaturbereiche angegeben werden. Meneghinit ist sicherlich über 300°C gebildet worden. Die Paragenese Bournonit/Galenit/Boulangerit bei Temperaturen zw. 300–440°C.

Teils sind die Paragenesen bei sinkender Temperatur entstanden (Meneghinit-Galenit, Entmischungen aus Galenit, womöglich auch die Paragenese von Bournonit/Galenit/Boulangerit).

Auffallend ist bei Paragenesen der Bildungsphase 2 und auch in den massiven Galenitvererzungen die geringen Anteile von Arsen. Es gibt weder in den massiven Boulangerit/Jamesonit noch in den massiven Galenit-Vererzungen kogenetisch auftretende Phasen, welche höhere Arsenanteile haben. Selbst Phasen, welche im allgemeinen häufig As in die Struktur einbauen, wie Fahlerz oder Ullmannit, sind praktisch Arsen frei. Auch alle Sulfosalze sind Antimon-Glieder. Während Silber in Freibergit oder als Bestandteil von Tetraedrit, in Telluriden oder Sulfiden in Bildungsphase 2 recht häufig anzutreffen ist, ist Gold/Elektrum selten. Wenn, dann kommt es in Verbindung mit Ullmannit vor, dann als nur wenige Mikrometer große Kristalle.

Stratiforme Sulfidvererzungen in paläozoischen Abfolgen sind in den Ostalpen häufig anzutreffen. Eine am Straßegg gelegene schichtgebundene Arsenopyritvererzung wird von GSELLMANN (1986) als synd sedimentär interpretiert.

HIRSCHMANN & al. 1979 beschreiben eine Vererzung in den Wildschönauer Schiefer. Diese stellen eine paläozoische, vulkanosedimentäre Abfolge in der Salzburger Grauwackenzone dar. Die Vererzung besteht aus linsenförmigen, s-konkordanten Körpern, welche hauptsächlich aus Pyrit, Chalkopyrit und untergeordnet aus Pyrrhotin, Arsenopyrit, Galenit und Sphalerit bestehen. Die Nebengesteine sind metallreiche Schwarzschiefer. Die Metallanreicherung wird im wesentlichen einem syngenetischen Vererzungsakt zugeordnet, bei dem submarine hydrothermale Lösungszufuhr von Bedeutung war. Erwärmt konvektierendes Meerwasser reichert sich in Wechselwirkung mit Sedimenten und Vulkaniten an Metallen an. Die physikochemischen Verhältnisse der Schwarzschiefer bedingen dann die Fällung der Sulfide (HIRSCHMANN 1990).

UNGER 1971 ordnet die schichtgebundenen alpinen Kieslagerstätten der Nördlichen Grauwackenzone einer altpaläozoischen syngenetischen Genese zu. Die hydrothermale Tätigkeit kann als ein prävulkanisches, submarines Ereignis aufgefaßt werden, da die Grüngesteine eindeutig älter sind als die Erzkörper. Die Erzkörper haben eine linsig-lagige Form und sind in niedriggradig metamorphe Phyllite eingelagert. Pyrit ist im allgemeinen das Hauptmineral, Chalkopyrit und weitere Erzminerale sind in untergeordneter Menge vorhanden. Regional kann Chalkopyrit auch stärker hervortreten. Quarz und ankeritisches Karbonat sind die Lagerart. Gangförmige Kiesvererzungen werden als zweiter Vererzungszyklus angesehen. Chalkopyrit ist hier die Hauptphase.

Der Vergleich der schichtgebundenen Vererzung am Straßegg mit Kieslagern in den paläozoischen Serien der Nördlichen Grauwackenzone zeigt folgende Unterschiede:

1. Die stratigraphische Position. Am Straßegg sind die Sulfidkörper innerhalb der Metavulkanite eingelagert, während in den Grauwacken Lagerstätten diese in den Schwarzschiefern zu liegen kommen.
2. Die Mineralogie: Die Erzkörper am Straßegg sind eine reine Arsenopyrit Vererzung, während diese in der Grauwackenzone vor allem Pyrit mit untergeordnet Chalkopyrit aufweisen. Arsenopyrit tritt in der Grauwackenzone nicht in größeren Mengen auf.
3. HIRSCHMANN & al. 1990 bezeichnet die Schwarzschiefer als metallreich. Geochemische Analysen der Straßegger Schwarzschiefer zeigen deutlich, daß diese keine Schwermetallanreicherungen führen. Hingegen sind die Metavulkanite angereichert (MINEREX 1986)

Wären die schichtgebundenen Vererzungen am Straßegg syngenetischer Herkunft so sind die Sulfidkörper eher in den Schwarzschiefern zu erwarten. Auch die Mineralogie, Arsenopyrit als einziges Sulfid ist für so einen Vererzungstypus eher ungewöhnlich.

Deswegen teilen wir nicht die Ansicht von GSELLMANN 1987, daß es sich hierbei um eine sedimentäre Vererzung handelt.

Der lateral eng begrenzte, stark geschieferte Bereich spricht deutlich für einen Mylonithorizont.

Dadurch wird dieser Vererzungstypus als strukturgebunden interpretiert.

## Dank

Die Arbeit wird vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Arbeit in Österreich (FWF) Projektnummer: 12180-TEC finanziert.

Bei Univ.-Prof. Dr. H. FRITZ, Univ.-Doz. Dr. L. WEBER und Dr. A.-V. BOJAR möchten wir uns für die zahlreichen Diskussionen bedanken. Für den Statusbericht der Fa. Minerex bedanken wir uns bei Dr. I. CERNY. Bei Hr. D. JAKELY, J. TAUCHER und V. SACKL (alle Graz) bedanken wir uns für die Überlassung von Probenmaterial. Bei Hr. F. FÜRNRATT und K. POCK bedanken wir uns für die Herstellung der An- und Dünn-schiffe.

## Literatur

- BOYLE R.W. 1979: The geochemistry of gold and its deposits. – Canada Geological Survey Bulletin 280, 540 pp.
- CZERMAK F. & SCHADLER J. 1933: Vorkommen des Elementes Arsen in den Ostalpen. – Mineralogische und Petrographische Mitteilungen 44: 1–67.
- FRIEDRICH O. 1936: Beiträge zur Kenntnis steirischer Erzvorkommen. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark 73: 10–18.
- FRITZ H., NEUBAUER F. 1988: Geodynamic aspects of the Silurian and Early Devonian Sedimentation in the Paleozoic of Graz (Eastern Alps). – Schweizer Mineralogische und Petrographische Mitteilungen 68/3: 359–367.
- FLÜGEL H.W., NEUBAUER F. 1984: Steiermark, Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefaßten Einzeldarstellungen. – Geologische Bundesanstalt Wien, 127 S.
- FLEISCHER M., MANDARINO J.A. 1995: Glossary of Mineral Species. – The Mineralogical Record Inc., Tucson, 280 S.
- GSELLMANN H. 1987: Zur Geologie am Nordostrand des Grazer Paläozoikum (im Bereich Hochschlag – Plankogel – Heilbrunn). – Diss. naturwiss. Fak. Univ. Graz, 202 S.
- HALL W.E., CZAMANSKE G.K. 1972: Mineralogy and trace-element content of the Wood River lead-silver deposits, Blaine County, Idaho. – Economic Geology 67: 350–361.
- HARTNIGG P. 1886: Das obere Feistritzthal der Gerichtsbezirke Weitz und Birkfeld sammt den angrenzenden Bezirk Vorau des Grazer Kreises in bergmännisch-technologischer Beziehung. – Österreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 9: 137–139, 161–163.
- HATLE E. 1885: Minerale des Herzogthums Steiermark. – Verlag Leuschner & Lubensky, Graz, 212 S.
- HIRSCHMANN G., GARBE C.-D., TARKIAN M. 1990: Geochemie von Schwarzschiefern und assoziierten Metavulkaniten im Bereich der Pyritlagerstätte Schwarzenbach bei Dienten (Salzburger Grauwackenzone, Österreich). – Geologische Rundschau 79/2: 417–432.
- HODA S.N., CHANG L.L.Y. 1975a: Phase Relations in the Systems  $PbS-Ag_2S-Sb_2S_3$  and  $PbS-Ag_2S-Bi_2S_3$ . – American Mineralogist 60: 621–633.
- HODA S.N., CHANG L.L.Y. 1975b: Phase Relations in the pseudo-ternary system  $PbS-Cu_2S-Sb_2S_3$  and the synthesis of meneghinite. – Canadian Mineralogist 13: 388–393.
- LOESCHKE J. 1988: Zur Geochemie basischer Vulkanite aus dem Grazer Paläozoikum. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark 118: 95–105.
- KARG F. 1988: Geologische Kartierung im Gebiet um das Straßegg (Steiermark/Österreich) und lagerstättenkundliche-geochemische Untersuchung der Gold-Arsenikies-Lagerstätte Straßegg. – Diplomarbeit der Phillips Universität Marburg/Lahn, 196 S.
- KARUP-MOLLER S. & al. 1989: Mineralogy of the sulphosalt zone at the Langdal deposit, Boliden district Sweden. – Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen 160(3): 299–327.
- KRETSCHMAR U., SCOTT S.D. 1976: Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their applications. – Canadian Mineralogist 14: 364–386.
- MCQUEEN K.G. 1984: Meneghinite, Boulangerite and associated minerals from the Pinnacles mine, Broken Hill, New South Wales. – Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte 7: 323–336.
- MEGARSKAYA L. & al. 1986: Zoubekite,  $AgPb_7Sb_4S_{10}$ , a new mineral from Příbram, Czechoslovakia. – Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte 1: 1–7.
- MINEREX Mineral Explorationsgesellschaft m.b.H. 1987: Statusbericht – Projekt: Gold-Straßegg Berichtszeitraum VII–XII/1986 (unveröff.) 13 S.
- NEUBAUER F. 1981: Bericht 1980 über geologische Aufnahmen auf Blatt 134 Passail. – Verhandlungen der geologischen Bundesanstalt 1980: 77–79.
- PRUSETH K.L., MISHRA B., BERNHARDT H.J. 1997: Phase Relations in the  $Cu_2S-PbS-Sb_2S_3$  System: An Experimental Appraisal and Application to Natural Polymetallic Sulfide Ores. – Economic Geology 92: 720–732.
- SALANCI B. 1979: Beiträge zum System  $PbS-Sb_2S_3$  in Beziehung zu natürlichen Blei-Antimon-Sulfominerale. – Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen 135: 132–141.
- SHARP T.G., BUSECK P.R. 1993: The distribution of Ag and Sb in galena: Inclusions versus solid solution. – American Mineralogist 78: 85–95.
- SHARP Z.D., ESSENNE E.J., KELLY W.C. 1985: Reexamination of the arsenopyrite geothermometer: pressure conditions and application to natural assemblages. – Canadian Mineralogist 23: 517–534.
- SPRY P.G., THIEBEN S.E. 1996: Two new occurrences of benleonardite, a rare silver-tellurium sulphosalt, and a possible new occurrence of cervelleite. – Mineralogical Magazine 60: 871–876.
- STANLEY C.J. 1986: Benleonardite, a new mineral from the Bambolla mine, Moctezuma, Sonora, Mexico. – Mineralogical Magazine 50: 681–686.
- UNGER J. 1971: Die Kupfer- und Schwefelkies-Lagerstätten (Alpine Kieslager). – Archiv für Lagerstättenforschung in den Ostalpen 12: 119–130.

- WEBER L. 1990: Die Blei-Zinklagerstätten des Grazer Paläozoikums und ihr geologischer Rahmen. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt 12, 289 S.
- WERNICK J.H. 1960: Constitution of the  $\text{AgSbS}_2$ -PbS,  $\text{AgBiS}_2$ -PbS, and  $\text{AgBiS}_2$ - $\text{AgBiSe}_2$  systems. – American Mineralogist 45: 590–598.
- WOLLAK O. 1930: Geologie der Bleizinkerzlagerstätten im Paläozoikum von Graz. – Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch 78: 133–147.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark](#)

Jahr/Year: 1998

Band/Volume: [128](#)

Autor(en)/Author(s): Bojar Hans-Peter, Mogessie Aberra, Thalhammer Oskar

Artikel/Article: [Die Mineralogie und Genese der Elektrum-Arsenopyrit Vererzung am Straßegg, Breitenau am Hochlantsch/Gasen \(Steiermark, Österreich\). 57-76](#)