

## Montangeologie stratiformer Buntmetallvererzungen am Schwemmberg bei Radstadt (Grauwackenzone, Salzburg)

Von GERHARD FEITZINGER & WERNER H. PAAR\*)

Mit 16 Abbildungen und 1 Tabelle

Österreichische Karte 1 : 50.000  
Blatt 126

Salzburg  
Grauwackenzone  
Sulfidische Vererzungen  
Buntmetalle  
Genese

### Inhalt

Zusammenfassung .....	5
Abstract .....	5
1. Einleitung .....	7
2. Frühere Bergbautätigkeiten .....	7
3. Geologischer Überblick .....	9
4. Tektonischer Überblick .....	11
5. Vererzung .....	12
6. Bildungsbedingungen .....	15
7. Lagerstättengenetische Aspekte .....	16
Dank .....	17
Literatur .....	17

### Zusammenfassung

Im östlichen Abschnitt der Salzburger Grauwackenzone wurde am Schwemmberg nördlich von Radstadt im Pongau bereits im 15. Jh. ein Kupferbergbau auf stratiforme Buntmetallvererzungen betrieben, welche in Serizitquarziten (sogen. Brandenschiefer) und Kieselschiefern auftreten. Die Erzträgergesteine sind Bestandteil einer vulkanosedimentären Abfolge (Porphyroide, tonige bis siltige Metasedimente) der Höheren Wildschönauer Schiefer (Silur), die heute infolge alpidischer Tektonik mehrfach verschuppt und von einer schwachen Metamorphose überprägt vorliegt.

Ein Großteil der Mineralisation ist in Form monotoner Kiesimprägnationen (Pyrit bzw. Pyrit-Phyrrhotin-Chalkopyrit) in mehreren Brandenhorizonten lateral über einige hundert Meter, manchmal auch länger, im Streichen verfolgbar; untergeordnet finden sich in kohlenstoffreichen Lagen dunkler Kieselschiefer millimeterdünne Erzrhythmite (Chalkopyrit vorherrschend, daneben Phyrrhotin-Tetraedrit). Besonders im ehemaligen Bergbauareal stößt man auf nestartige Erzanreicherungen

in den Brandenschiefern, begleitet von einer erhöhten Quarz- und Karbonatführung des Nebengesteins. Die Mineralisation liegt hier als komplexe Cu(Ag,Hg)-Fe-Co(Ni)-Pb(Zn)-As-Sb-Sulfidparagenese vor und setzt sich folgendermaßen zusammen: Pyrit, Cobaltin, Phyrrhotin (Markasit), Sphalerit, Arsenopyrit (Danait), Gudmundit, Tetraedrit, Chalkopyrit, Ullmannit, Breithauptit, Antimonit, ged. Antimon, Jamesonit, Boulangerit, Bournonit, Galenit, Covellin.

Beginnend mit Fe-Co-As-reichen Erzen (Fahlbänder?) wird die Paragenese gegen Ende der Ausscheidungsfolge mit abnehmenden Temperaturen immer Pb-Sb-betonter, wobei Reaktionen mit Phyrrhotin ablaufen.

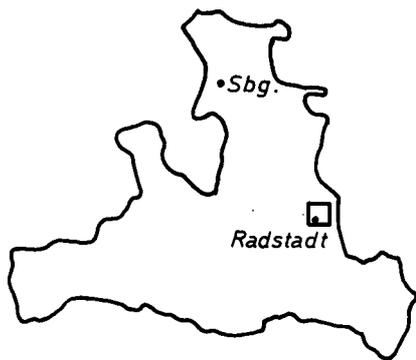
Beobachtungen an den Sulfidparagenesen sowie ein unmittelbarer räumlicher Zusammenhang mit sauren pyroklastischen Gesteinen im Hangenden bzw. Liegenden der erzführenden Horizonte deuten auf eine Erzabscheidung aus niedrig temperierten Hydrothermallösungen im Gefolge eines sauren silurischen (?) Vulkanismus hin.

\*) Anschrift der Verfasser: cand. phil. GERHARD FEITZINGER, Ao. Prof. Dipl.-Ing. Dr. WERNER H. PAAR, Institut für Geowissenschaften der Universität Salzburg, Abteilung Mineralogie, Petrographie und Lagerstättenkunde, Hellbrunnerstraße 34, A-5020 Salzburg.

### Abstract

In the eastern section of the Salzburg Graywacke Zone stratiform base metal deposits had been mined for copper at Schwemmberg in the north of Radstadt in Pongau from the

# TOPOGRAPHISCHE ÜBERSICHTS- SKIZZE



1 km

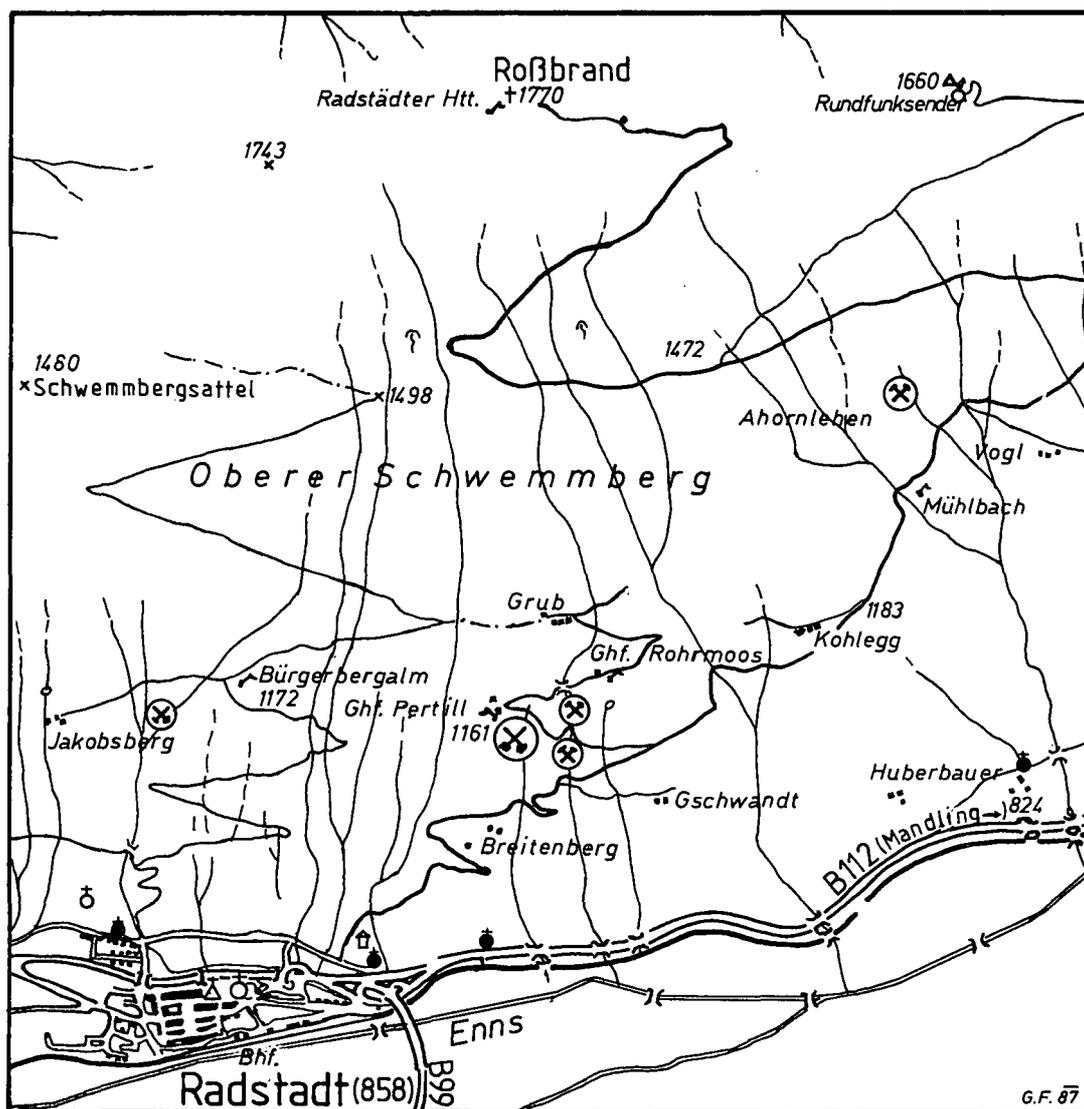
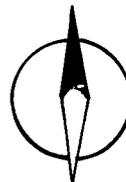


Abb. 1.  
Topographische Übersichtsskizze.

15<sup>th</sup> century until 1924. These mineralizations occur within sericitic quartzites (so called "Branden") and lydites which are part of a volcanosedimentary sequence (porphyroids, pelitic-siltic metasediments) typical for the Silurian Höhere Wildschönauer Schiefer unit.

Tectonic events during Alpidic orogeny effected intensive imbrication and low-grade metamorphism of the ore-bearing sequence.

Within the Branden horizons monotonous kiesimpregnations containing mainly pyrite or pyrite-pyrrhotite-chalkopyrite continue laterally over a few hundred meters or even more. Minor amounts of banded chalkopyrite, subordinate pyrrhotite and tetrahedrite, are associated with graphitic slates and lydites.

Especially in the former mining area a complex Cu(Ag,Hg)-Fe-Co(Ni)-Pb(Zn)-As-Sb-sulphide paragenesis assembles local ore concentrations consisting of pyrite, colbaltite, pyrrhotite (partially transformed to marcasite), sphalerite, arsenopyrite (danaite), gudmundite, tetrahedrite, chalkopyrite, ullmanite, breithauptite, stibnite, native antimony, jamesonite, boulangierite, bournonite, galenite and covellite.

Starting with FeCo-As-rich phases the assemblage becomes enriched in Sb and Pb towards decreasing temperatures at the end of ore-formation resulting reactions with pyrrhotite. As well sulphide paragenesis features as a close correlation to pyroclastic rocks indicate ore-formation from low temperature hydrothermal solutions coherent with an acid Silurian(?) volcanism.

## 1. Einleitung

Im Bereich des Schwemmberges unmittelbar nördlich von Radstadt trifft man in ca. 1100 m SH auf Überreste alter Schurftätigkeiten. Das ehemalige Bergbauareal ist im Waldbereich östlich des Alpengasthauses Pertill unmittelbar ober- bzw. unterhalb der dorthin führenden Abzweigung der Roßbrandstraße gelegen (Abb. 1).

## 2. Frühere Bergbautätigkeiten

Auf das Erzvorkommen am Schwemmberg dürfte aller Wahrscheinlichkeit nach bereits im 15. Jahrhundert ein kleinerer Bergbau umgegangen sein. Die bestehenden Einbaue wurden in den Bauernkriegen zerstört und später nicht mehr in Betrieb genommen. Über die erst in diesem Jahrhundert wieder aufgenommenen Schurfarbeiten, die jedoch nicht erfolgreich verliefen, gibt folgende Zusammenstellung Aufschluß, die dem Verfasser freundlicherweise von Herrn Dr. W. GÜNTHER zur Verfügung gestellt wurde:

1919 wurden von einem gewissen E. PILNAY, Bergdirektor des Wiener Bergbauunternehmens Egon Alma, Freischürfe angemeldet, worauf 1920 Untersuchungsarbeiten aufgenommen sowie drei bestehende Stollen befahrbar gemacht wurden; zwei Stollen wiesen eine Länge von je 70 m auf, der dritte 58 m. Letzterer zeigte Erzandrübe und wurde mit fünf Arbeitern belegt.

1921 erreichte dieser Stollen bereits eine Länge von 120 m, und es wurden kleinere Erzgänge angefahren. Zwei verquerende Strecken von 18 m und 25 m wurden fortgesetzt. Weiters wurden die Vortriebsarbeiten in den beiden anderen Stollen fortgeführt.

1922 bestand der Bergbau aus einem Hauptstollen und zwei Zubaustollen. Hierbei wurden vier Auslängen und ein Steigschacht errichtet; die Gesamtlänge betrug 380 m. Bei den Arbeiten wurden mehrere Erzgänge mit Kupferkies durchfahren.

Ein Probenschein von 1923 (nußgroße Kupferkiesprobe) zeigte:

Kupfer	4,9 %
Eisen	20,9 %
Nickel	0,0 %

In 1000 kg Hauwerk sind 47 g Silber und kein Gold enthalten (Probenschein vom 30. 11. 1923, Generalprobieramt Wien).

Eine andere Untersuchung einer Erzprobe durch die Geologische Staatsanstalt vom 20. 1. 1920 ergab:

Kupfer	1,01 %
Silber	18,8 ppm
Gold	0,4 ppm.

1924 wurden die Arbeiten eingestellt, 1927 befand sich die Firma in Liquidation; seitdem wurden keinerlei bergmännische Arbeiten mehr durchgeführt.

PILNAY, um dessen Glaubwürdigkeit es nicht zum besten bestellt war, beschreibt das Schwemmburger Erzrevier allzu optimistisch:

„Uralter reicher Bau auf Kupfer mit hohem Silbergehalt, eben nur in den drei oberen Horizonten abgebaut. Der Bau stammt aus dem 15. Jahrhundert und wurde, in den Bauernkriegen devastiert, seither nicht mehr in Betrieb gesetzt.

Ein Unterbaustollen ist 400 m tiefer im Tale noch möglich, da der Taltiefe zu nicht gearbeitet wurde. Sehr schöne, reiche Erze, eine mutmaßlich große Lagerstätte in der Fortsetzung eines Konzentrationslagers, welches später beschrieben wird.

Dieses Bergbauterrain, wo auch anstehende Erze zu sehen sind, und zwar als bedeutende Mächtigkeit, 1–20 m, kann auf 650 m, bis zum Erzvorkommen befahren werden.

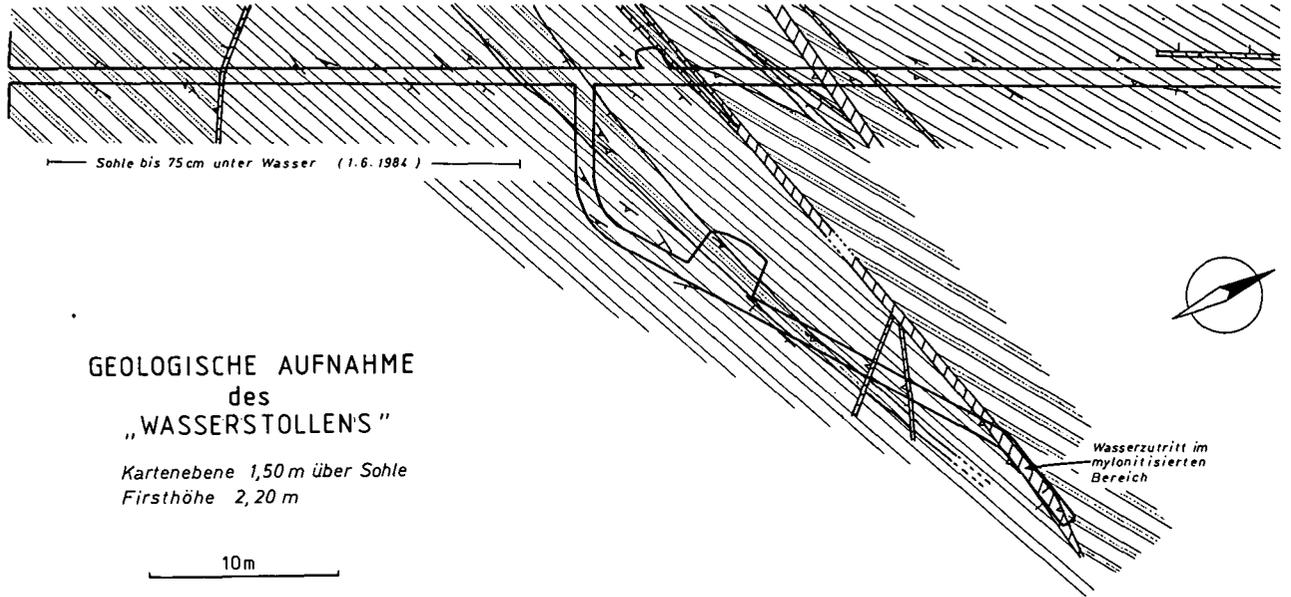
Dies ist einer der günstigsten Punkte für Kupfergewinnung, da die Bahn unterhalb des Bergbaues verläuft und die Luftlinie bergab zur Bahn nur eine Seilförderung von 2½ km, von einem zu bauenden Unterbaustollen aber nur 1 bis 1½ km erfordern würde.“

Heute sind nur mehr die beiden Zubaustollen befahrbar; der höher gelegene „Glück Auf“-Stollen ist in ca. 1120 m SH gleich oberhalb der Straße in steil nach S einfallenden Brandenschiefern angeschlagen und noch auf eine Länge von 75 m befahrbar. Die ersten 20 m sind nach N, die restliche Strecke 335° NW vorgetrieben; nach ca. 60 m ist der Stollen an einem Mylonit am NE-Ulm verbrochen, wo ursprünglich ein Steigschacht nach obertage führte (von dem Schacht ist nur mehr eine Pinge im Wald zu sehen). Die Gesamtlänge des Schurfstollens, der noch zwei Auslängen hatte, betrug ca. 140 m (Abb. 2).

Der tiefer gelegene „Wasserstollen“ ist im Wald unterhalb der Straße in ca. 1090 m SH gleichfalls in Brandenschiefern angeschlagen und auf die gesamte Länge von 108 m in Schlägel und Eisen vorgetrieben. Das erklärt neben dem geringen Querschnitt von 70–80 cm den guten Erhaltungszustand im gebrächen Gebirge. Die Strecke verläuft 75 m ca. 35° NE und folgt schließlich dem Streichen der Schiefer. 30 m vom Mundloch ist der Stollen nach 60° NE ausgelängt, endet aber bereits nach 37 m in stark mylonitisierendem Gebirge (Abb. 2).

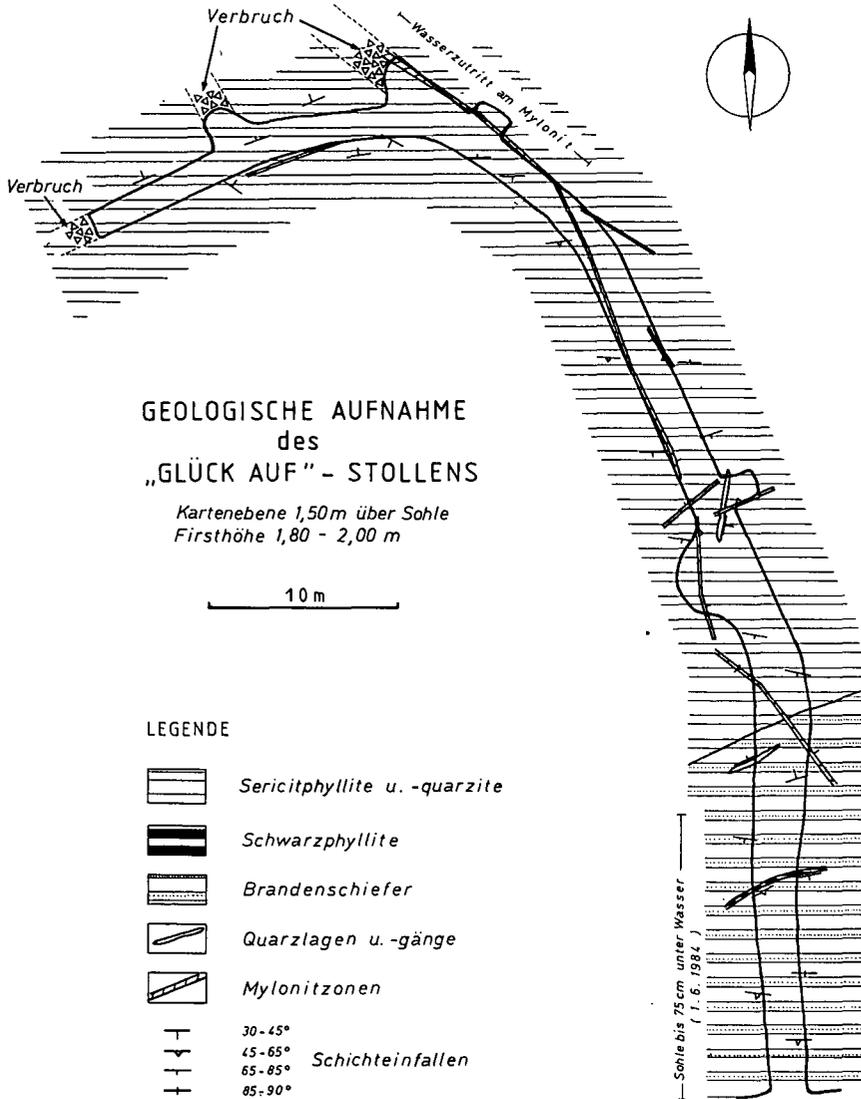
Keiner der beiden Zubaustollen weist nennenswerte Erzandrübe auf, es sind lediglich feinkörnige schichtparallele Pyritimpregnationen zu beobachten.

Von den erwähnten Hauptstollen zeugen nur noch Einsturzpingen in 1100 m bzw. 1120 m SH sowie die davor befindlichen, großteils stark überwachsenen Halden. Hier aufgesammelte Erzproben lassen darauf schließen, daß die reicheren Erze aus diesem Revier



GEOLOGISCHE AUFNAHME  
des  
„WASSERSTOLLENS“

Kartenebene 1,50m über Sohle  
Firsthöhe 2,20 m



GEOLOGISCHE AUFNAHME  
des  
„GLÜCK AUF“ - STOLLENS

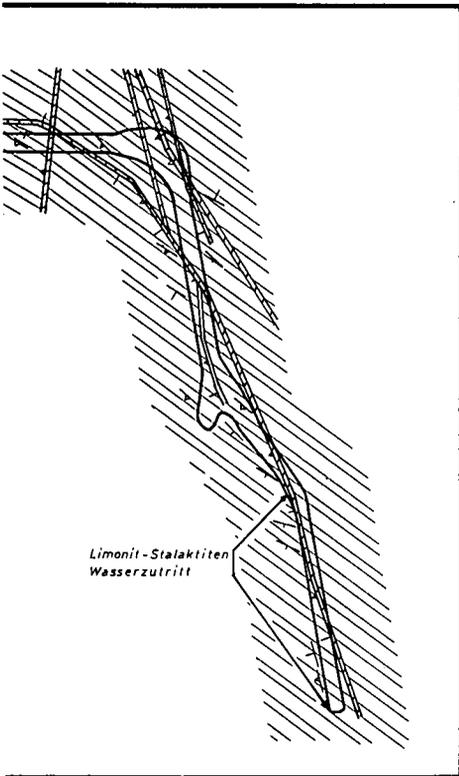
Kartenebene 1,50m über Sohle  
Firsthöhe 1,80 - 2,00 m

LEGENDE

-  Sericitphyllite u. -quarzite
-  Schwarzphyllite
-  Brandschiefer
-  Quarzlagen u. -gänge
-  Mylonitzonen
-  30 - 45°
-  45 - 65°
-  65 - 85°
-  85 - 90°

G.F. 87

Abb. 2.  
Kupferbergbau Schwemmburg.  
Geologische Aufnahme des „Wasserstollens“ und des „Glück Auf-Stollens“.



stammten. Aus einem Grubenkärtchen von PILNAY (1936) geht hervor, daß die Stollen eine Länge von ca. 250-260 m bzw. 190 m hatten und mehrmals ihren Verlauf änderten, was in der Absetzigkeit der Erzführung begründet sein mag.

Ferner existieren noch zwei fragwürdige Einbaue, von denen der eine zur Gänze, der andere bereits nach wenigen Metern verürzt ist. Aus letzterem tritt reines Trinkwasser aus, das vom Mühlbachgut mittels einer Quelfassung genutzt wird.

### 3. Geologischer Überblick

Die Vererzung des Schwemmberges befindet sich am Südrand der Grauwackenzone, deren Westabschnitt östlich von Mandling/Stmk. im Süden von der triadischen Mandlingschuppe, im Norden von einem Ausläufer des Werfener-St. Martiners Schuppenlandes keilförmig abgeschnitten wird. Das betrachtete Gebiet wird von einer mehrfach wiederkehrenden vulkanosedimentären Abfolge aufgebaut, die sich im wesentlichen aus pelitischen Sedimentgesteinen (Sericitphyllite bis -quarzite, Schwarzphyllite mit eingeschalteten dunklen Kieselschiefern, lokal Metasiltsteine) abwechselnd mit sauren pyroklastischen Gesteinen (Porphyroide und Tuffite) zusammensetzt (Abb. 3).

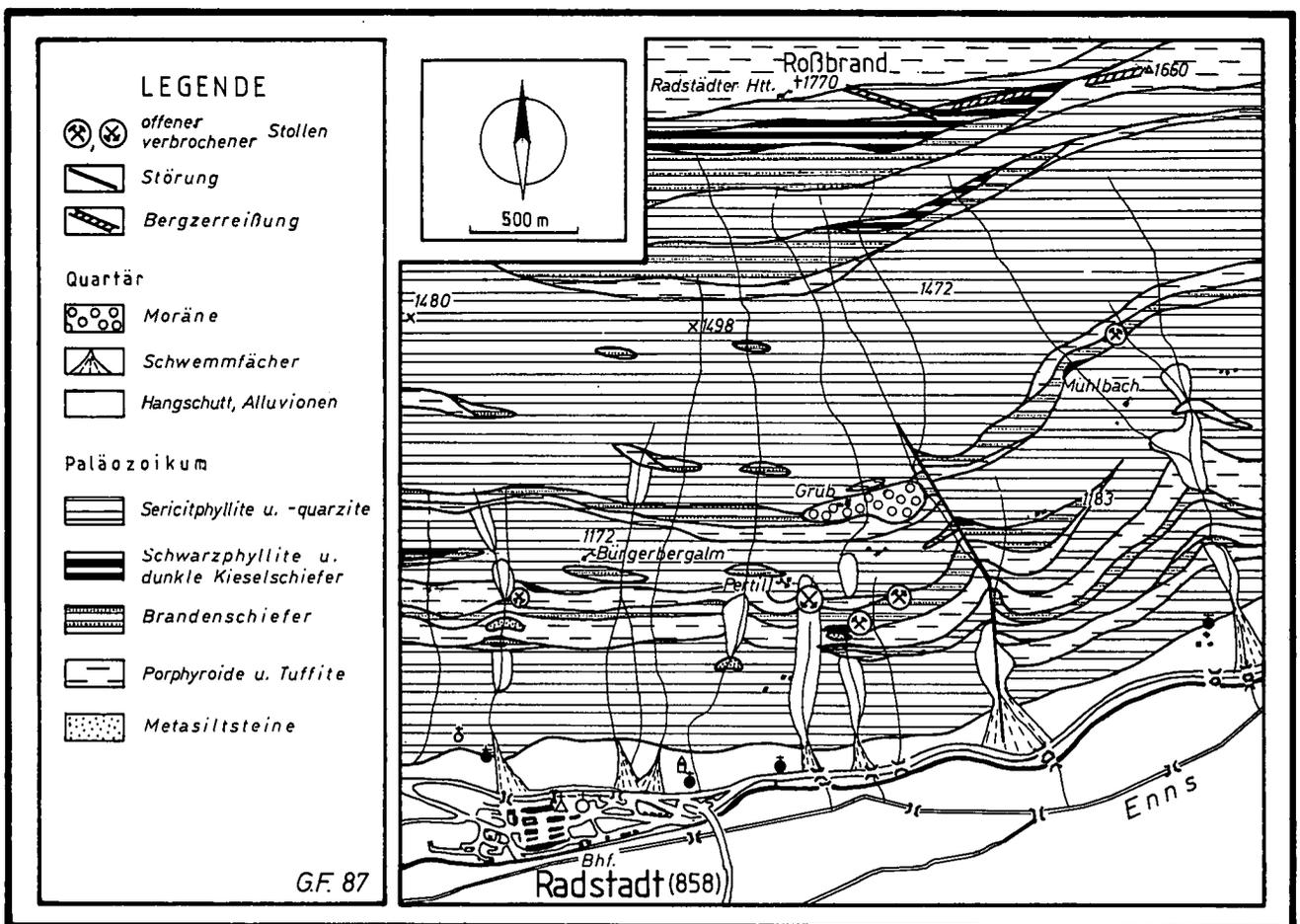


Abb. 3. Geologische Karte der Grauwackenzone im Bereich Radstadt - Schwemmberg.

Stratigraphisch ist die Abfolge aufgrund der an mehreren Stellen auftretenden Kieseliefer, die nach MOSTLER (1968, 1972) ins mittlere Silur (Wenlock/Ludlow) zu stellen sind, den höheren Wildschönauer Schiefer zuzuordnen.

Die Gesteine wurden variszisch und alpidisch von einer schwachen Regionalmetamorphose überprägt (vgl. BRANDMAIER et al., 1985).

Den Hauptanteil der Gesteinsabfolge bilden Serizitphyllite bis -quarzite, sehr feinkörnige graue bis braungraue, deutlich geschieferte Pelite mit typischem Seidenglanz auf den Schieferungsflächen. An Handstücken und unter dem Mikroskop ist eine Kleinfältelung erkennbar.

Muskovit und Quarz in wechselnden Anteilen bilden die Hauptgemengteile, Chlorit kommt untergeordnet in Form meist büscheliger Aggregate vor. Durch den vorherrschenden Gehalt an Phyllosilikaten ist eine straffe Einregelung in der Hauptschieferungsrichtung ( $s_1$ ) gegeben. Größere Quarzkörner (0,7–2,2 mm) zeigen deutlich tektonische Druckbeanspruchung, die sich in Knickbänderung und beginnender Rekristallisation äußert.

Im Gegensatz zu diesen relativ hellen Phylliten sind durch kohlenstoffreiches Pigment dunkel gefärbte Schwarzphyllite nur untergeordnet aufgeschlossen, und zwar stets mit dunklen Kieseliefer vergesellschaftet. Letztgenannte bestehen praktisch monomineralisch aus Quarz, der Lagen unterschiedlicher Korngrößen aufbaut, wobei das kohlige Pigment jeweils zwischen einzelnen Quarzlagen fein verteilt angereichert ist.

Trotz geringer Mächtigkeit und Lateralerstreckung sind diese Gesteine für die Buntmetallvererzung von Bedeutung, denn zum einen ist eine Chalkopyrit-betonte Mineralisation an die Kieseliefer gebunden, zum anderen stellen sie gewissermaßen einen Leithorizont für die stets im Hangenden erscheinenden erzführenden Brandenschiefer dar.

Es sind dies rostigbraun anwitternde Serizitquarzite mit schichtkonkordanten Kiesimprägnationen vorwiegend aus Pyrit, in geringerem Ausmaß an Pyrrhotin und Chalkopyrit. Die Sulfidimprägnation geht mit einer Quarzanreicherung einher; solche Kies-Quarz-Bänder geben das sedimentäre Gefüge ( $ss$ ) wieder, welches in spitzem Winkel (15–30°) von einer jüngeren Transversalschieferung ( $s_2$ ) durchschert wird.

Die Brandenschiefer bilden Horizonte von 10–50 m Mächtigkeit zumeist im Liegenden vulkanischer Metasedimente. Sie können über Kilometer im Streichen anhalten oder bereits nach wenigen hundert Metern wieder auskeilen und ohne scharfe Begrenzung in unvererzte Gesteine übergehen. Im mächtigsten Horizont, der in ca. 1100 m SH W-E-streichend mit 45–60° steil nach S einfällt, haben die alten Bergleute ihre Stollen eingetrieben.

Von ähnlicher räumlicher Ausdehnung wie die Brandenschiefer sind saure vulkanische Metasedimente (Porphyroide bis Tuffite), die sich im Gelände von den Phylliten durch eine weniger intensive Schieferung und Verfaltung unterscheiden; sie verhalten sich eher spröde, was sich unter anderem in einer deutlicheren Klüftung äußert. Die Färbung der Handstücke variiert je nach Chloritgehalt von braungrau bis grünlichgrau.

Die Hauptgemengteile sind Quarz, Plagioklas, Muskovit, Chlorit und etwas Biotit. Accessorisch können

Apatit, Zirkon und Turmalin beobachtet werden. Im Dünnschliff fallen folgende Charakteristika auf, die für einen vulkanogenen Ursprung des Gesteins sprechen:

- 1) Bis 2,5 mm große, zum Teil idiomorphe Quarzporphyroblasten (Abb. 4) mit ausgeprägten magmatischen Korrosionsbuchten und -schlächten, welche mit rekristallisierten Quarzkörnern, Muskovit- und Biotitplättchen gefüllt sind. Die Porphyroblasten sind durchwegs tektonisch zerbrochen und zu Subkörnern rekristallisiert.

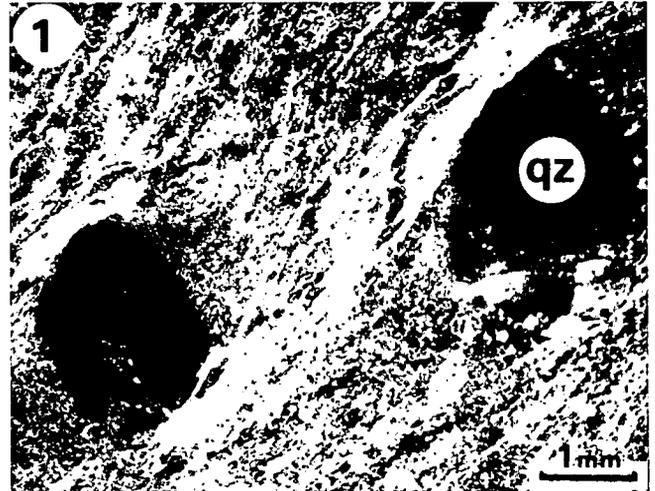


Abb. 4.

Porphyroid.

Quarzporphyroblasten in einer feinkörnigen Grundmasse aus Serizit und Quarz. Die Porphyroquarze zeigen deutliche Korrosionsschlächten.

Nicols +.

Abkürzungen der in dieser und den folgenden Abbildungen verwendeten Mineralnamen: qz = Quarz; cb = Cobaltin; po = Pyrrhotin; mc = Markasit; sp = Sphalerit; td = Tetraedrit; ap = Arsenopyrit; ap(Co) = Co-haltiger Arsenopyrit (Danait); gu = Gudmundit; ul = Ullmannit; st = Antimonit; ant = ged. Antimon; cp = Chalkopyrit; ja = Jamesonit.

- 2) Im Schnitt 0,4–1,2 mm große, max. 2,6 mm große Plagioklase, die Komplexverzwillingung aufweisen, d. h. eine Kombination von Karlsbader- mit Albit- bzw. Periklingesetz. Die Plagioklase sind keineswegs mehr frisch, die Zwillinglamellen sind unscharf, außerdem sind zahlreiche Einschlüsse stengel- und plättchenförmiger Minerale (teilweise Muskovit und Chlorit) vorhanden. Häufig ist eine weitgehende Umwandlung zu Muskovit zu beobachten. Manche Plagioklaskörner zeigen ein Schachbrettmuster; röntgenographisch wurde ein Anorthitgehalt von 0–3 Mol% ermittelt, es handelt sich also um nahezu reinen Albit.

Neben diesen magmatogenen Plagioklasen sind vereinzelt in Quarzlagen wesentlich kleinere (0,03–0,23 mm) mit scharf begrenzter Zwillinglamellierung zu finden; es dürfte sich hierbei um diagenetische oder metamorphe Neubildungen handeln.

- 3) Eine Inhomogenität der Korngrößen mit bis zu 2,5 mm großen Quarz- und Feldspatporphyroblasten in einer feinkörnigen Matrix vorwiegend aus Muskovit, Chlorit und Quarz bestehend (0,10–0,25 mm).
- 4) Ein am Handstück und im Dünnschliff zu sehender Lagenbau, bei dem Millimeter-dünne Lagen stark verzahnter Quarzkörner mit Muskovit- oder Chloritreichen alternieren, in welchen die Quarze wesentlich feinkörniger sind (Muskovit hemmt das Größenzwachstum von Quarz).

Vor allem porphyrisches Gefüge und lagiger Aufbau lassen auf eine mögliche ignimbrische(?) Entstehung des Gesteins schließen. Eine genauere Zuordnung, ob es sich um Porphyroide s. str. oder eher um Tuffe bzw. epiklastisch beeinflusste Pyroklastika (Tuffite) handelt, wird durch die metamorphe und tektonische Überprägung erschwert.

An wenigen Stellen des kartierten Gebietes sind graugrüne massige Metasiltsteine aufgeschlossen, von geringer Mächtigkeit und lateral nicht verfolgbar. Die Hauptgemengteile sind Quarz, Albit, Chlorit und Muskovit. In dieser recht gleichkörnigen Matrix (0,02–0,10 mm) sind deutlich größere Karbonatrhomboeder (0,30–0,37 mm) eingebettet, und zwar Calcit und Mischkristalle der Dolomit-Ankerit Reihe mit ca. 30–40 Mol%  $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$ . Die Karbonatidioblasten sind – aus diagenetischen Porenlösungen abgeschieden – als jüngste Bildung zu betrachten, denn sie umwachsen Quarz und bilden teilweise dünne Äderchen aus, die das Gestein durchschwärmen.

#### 4. Tektonischer Überblick

Von Bedeutung für den tektonischen Aufbau des bearbeiteten Gebietes ist die Einengung der Grauwackenzone in diesem Bereich durch tektonisch stark überprägte Einheiten wie Werfener–St. Martiner Schuppen-

zone im Norden und Mandlingschuppe im Süden. Als wichtigstes bruchtektonisches Element findet die Salzach-Längsstörung – über den Wagreiner Sattel von Westen herüberziehend – in der Längsstörung des Ennstales ihre Fortsetzung (MOSTLER, 1963).

Die Lagerungsverhältnisse der Gesteine weisen ein generelles Schichtstreichen etwa W–E auf, bei einem Einfallen nach S, und zwar vom Roßbrand (1770 m) zum Ennstal (830 m) stets steiler werdend. Dies geht konform mit der Morphologie des Schwemmberges, dessen Hangneigung ebenfalls von oben nach unten zunimmt. Die Steilstellung der Schichten im tieferen Bereich könnte mit der unmittelbar südlich verlaufenden Ennstalstörung in Zusammenhang stehen. Die Maxima der Schieferungsflächen-Pole scharen hauptsächlich um S- und N-Lagen, untergeordnet um WSW- bzw. ENE-Lagen. Die gemessenen B-Achsen tauchen relativ flach (10–20°) nach W oder E ab; sie stimmen damit gut mit solchen aus N- bzw. S-scharenden Flächenpolen konstruierten überein.

Für die Entstehung der bereits erwähnten mehrfach wiederkehrenden vulkanosedimentären Abfolge kommen grundsätzlich zwei Möglichkeiten in Betracht:

Zum einen eine Reihe vulkanischer Ereignisse, zeitlich intermittierend mit einer Ablagerung überwiegend toniger Sedimente, zum anderen aber eine Verschuppung der Gesteinsstapel im Zuge der alpidischen Orogenese (Überschiebung und Ferntransport der Nördlichen Kalkalpen und der Grauwackenzone nach Nor-

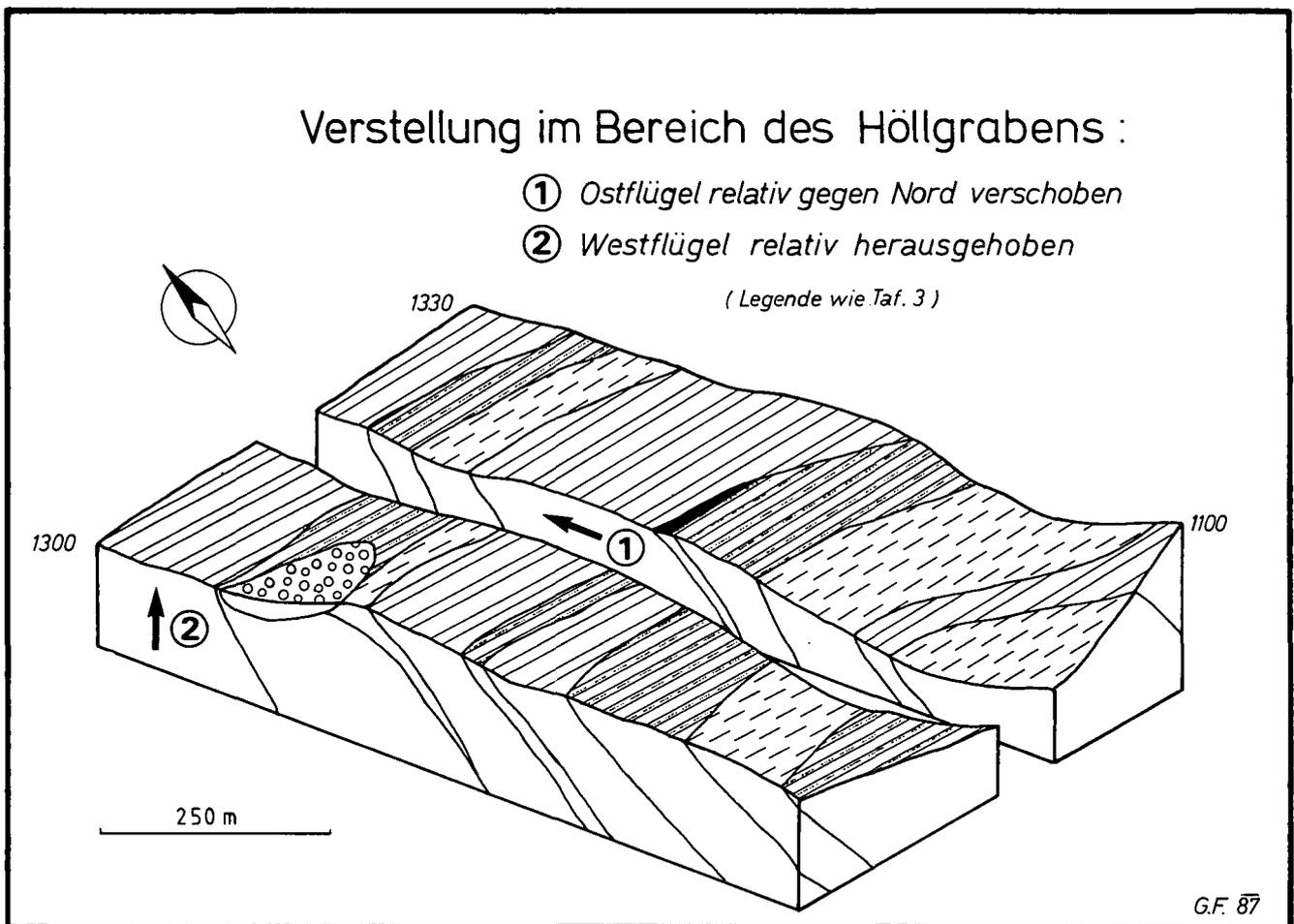


Abb. 5.  
Möglichkeiten tektonischer Verstellungen im Mittelteil des Höllgrabens.

den), wie sie offensichtlich auch weiter östlich, nämlich im Bereich der Ochsenalm (vgl. BRANDMAIER et al., 1985) in ähnlicher Weise in Erscheinung tritt. Die tektonische Interpretation erscheint aus folgenden Gründen naheliegender:

- 1) Eine intensive Beanspruchung der Gesteine in diesem sehr schmalen und keilförmig eingeklemmten Abschnitt der Grauwackenzone (so sind z. B. die Schwarzphyllite samt zugehörigen dunklen Kiesel-schiefern stark boudiniert und außer am Roßbrand praktisch nirgends im Streichen verfolgbar).
- 2) Morphologisch erkennbare N-vergente Strukturen vom Salzachlängstal bis ins Ennstal herüber.
- 3) Südlich des Arbeitsgebietes ist der Mandlingzug als von den Kalkalpen abgetrennter „Span“ zwischen Grauwackenzone und Radstädter Unterostalpin eingeschuppt; im Norden liegt zwischen Grauwackenzone und Nördlichen Kalkalpen noch das Werfener – St. Martin Schuppenland als intensiv tektonisierte Zone vor.
- 4) Die leichte Deformierbarkeit und hohe Gleitfähigkeit der Gesteine sowohl vom Stoffbestand her (hoher Anteil an Phyllosilikaten) als auch infolge der Gefügestellung (S-Einfallen, Abdachung des Schwemmberges nach Süden).
- 5) Jüngste Bewegungen am Roßbrand manifestieren sich z. B. in Form von Bergzerreißung und Mehrfachgratbildung.

Zum Schuppenbau kommt als vermutlich jüngstes Element noch eine Bruchtektonik, die sich in der W–E verlaufenden Ennstalstörung und in den mehr oder minder N–S angelegten Gräben (Abb. 5) der vom Roßbrand herabfließenden Bachläufe widerspiegelt. Im ober- und untertägigen Aufschluß werden diese Lineamente in einer Gebirgsklüftung mit entsprechender Gefügestellung deutlich.

## 5. Vererzung

Wie in Kap. 2 und 3 bereits angedeutet, treten die stratiformen Erzmineralisationen des Schwemmberges überwiegend in Serizitquarziten (Brandenschiefer), untergeordnet in dunklen Kiesel-schiefern auf; lokal – und hier besonders im ehemaligen Bergbauterrain – ist eine nestartige Buntmetallanreicherung mit geringen Silbergehalten zu beobachten. Im Detail können folgende Vererzungstypen unterschieden werden:

- 1) Monotone Pyritimprägnationen in Brandenschiefern: die Pyritkörner sind zumeist idiomorph ausgebildet, mehr oder minder kataklastisch beansprucht und erreichen Korndurchmesser von durchschnittlich 0,1–0,3 mm.
- 2) Stratiforme Kiesvererzungen in Brandenschiefern, die vorwiegend aus Pyrrhotin – Chalkopyrit – Pyrit bestehen.
- 3) Stratiforme Erzrhythmite in mittelsilurischen dunklen Kiesel-schiefern; Haupterz ist Chalkopyrit, daneben Tetraedrit sowie Pyrrhotin. Einen Hinweis auf vulkanogene Beeinflussung liefert Rutil, der relativ häufig in Form 0,03–0,1 mm langer, z.T. stengeliger Querschnitte in kohlenstoffreichen Lagen des Gesteins zu beobachten ist. Selten findet man Covellin als Umwandlungsprodukt der Primärkupfererze. Dieser Typus dürfte aufgrund der Halden-

funde einen erheblichen Anteil des Hauwerks ausgemacht haben und liefert uns den einzigen Hinweis für eine zeitliche Einstufung der Mineralisation.

- 4) Eine komplexe Cu(Ag,Hg)-Co(Ni,Fe)-Pb-As-Sb-Paragenese, die lediglich von den Halden der beiden verbrochenen Hauptstollen belegt ist. Diesem Typus galt aller Wahrscheinlichkeit nach das Hauptinteresse des Bergbaues. Die Mineralisation erscheint hier nestartig angereichert, z. T. diskordant in stark durchbewegten Brandenschiefern, begleitet von reichlich Quarz und Ankerit (ca. 25 Mol%  $\text{CaFe}[\text{CO}_3]_2$ ). Geringe Silbergehalte sind ausschließlich an diesen Vererzungstyp gebunden, auf den im folgenden näher eingegangen werden soll.

Pyrit und Cobaltin sind sicher einer frühen Ausscheidungsphase zuzuordnen, beide Minerale sind fast immer idiomorph ausgebildet, Cobaltin vor allem in würfeligen bzw. durch {111} oder {210} abgestumpften würfeligen Kristallen, die durchschnittlich 40–80  $\mu\text{m}$  Größe erreichen (Abb. 6). Neben geringen Eisengehalten enthält er noch Spuren von Antimon (Tab. 1). Pyrit erreicht Korngrößen von 0,1–0,3 mm, wobei hauptsächlich die größeren Körner deutliche Ka-

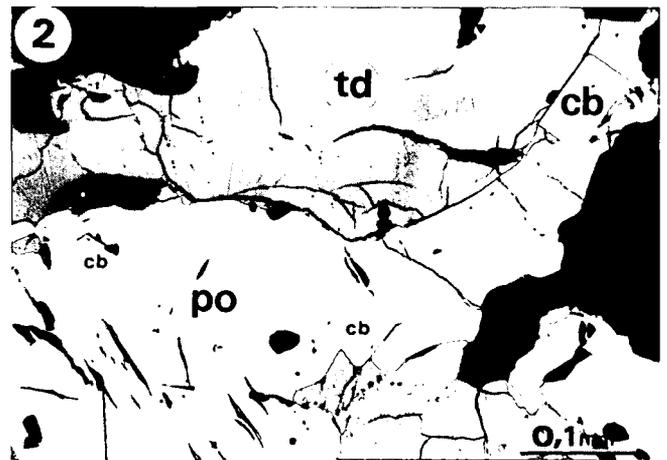


Abb. 6. Idiomorphe Cobaltin-Kristalle ({100} vorherrschend) in Pyrrhotin und Tetraedrit.  
Abkürzungen siehe Abb. 4.



Abb. 7. Deformation bei Pyrrhotin.  
Erkennbar sind Knickbänderung und Zwillingslamellierung.  
Abkürzungen siehe Abb. 4. Nicols +.

Tabelle 1.  
Elektronenstrahl-Mikrosondenanalysen an Sulfiderzen vom Schwemmerberg bei Radstadt [Gew.-%].  
Analytiker: Univ.-Prof. Dr. M. TARKIAN, Univ. Hamburg.

	Cobaltin		Arsenopyrit		Co-hältiger Arsenopyrit (Danait)				Tetraedrit
Fe	2,821	2,542	34,606	31,666	28,485	30,500	25,356	25,242	5,855
Co	33,305	32,107	0,196	0,762	6,250	4,461	9,310	9,772	
Ni		0,001	0,428	2,190			0,351	0,347	
Cu									38,282
Ag									0,020
Hg									0,075
Zn									1,123
As	42,761	43,989	34,606	31,666	44,038	44,359	41,969	42,072	0,771
Sb	0,056	0,075	0,167	0,428	0,119	0,161	0,755	0,737	29,020
S	21,268	20,585	21,555	20,561	20,308	19,869	21,246	21,057	25,457
Σ	100,211	99,299	100,416	99,663	99,200	99,350	98,987	99,227	100,603

F o r m e l n

Cobaltin	$(\text{Co}_{0,85}\text{Fe}_{0,08})_{0,93} (\text{As}_{0,86}\text{Sb}_{0,0007})_{0,8607} \text{S}_{1,075}$ $(\text{Co}_{0,85}\text{Fe}_{0,07})_{0,92} (\text{As}_{0,91}\text{Sb}_{0,001})_{0,911} \text{S}_{1,058}$
Arsenopyrit	$(\text{Fe}_{0,92}\text{Co}_{0,005}\text{Ni}_{0,01})_{0,985} (\text{As}_{0,863}\text{Sb}_{0,002})_{0,865} \text{S}_{1,07}$ $(\text{Fe}_{0,88}\text{Co}_{0,02}\text{Ni}_{0,06})_{0,96} (\text{As}_{0,916}\text{Sb}_{0,006})_{0,922} \text{S}_{1,04}$
Co-hältiger Arsenopyrit (Danait)	$(\text{Fe}_{0,80}\text{Co}_{0,17})_{0,97} (\text{As}_{0,928}\text{Sb}_{0,001})_{0,929} \text{S}_{1,034}$ $(\text{Fe}_{0,88}\text{Co}_{0,12})_{1,00} (\text{As}_{0,955}\text{Sb}_{0,002})_{0,957} \text{S}_{1,013}$ $(\text{Fe}_{0,68}\text{Co}_{0,24}\text{Ni}_{0,01})_{0,95} (\text{As}_{0,84}\text{Sb}_{0,01})_{0,85} \text{S}_{1,08}$ $(\text{Fe}_{0,69}\text{Co}_{0,25}\text{Ni}_{0,01})_{0,95} (\text{As}_{0,85}\text{Sb}_{0,01})_{0,86} \text{S}_{1,07}$
Tetraedrit	$(\text{Cu}_{9,88}\text{Ag}_{0,003})_{9,883} (\text{Fe}_{1,72}\text{Zn}_{0,282}\text{Hg}_{0,006})_{2,008} (\text{Sb}_{3,77}\text{As}_{0,16})_{3,93} \text{S}_{13,02}$

taklase- und Korrosionserscheinungen zeigen; so werden z. B. Risse und Korrosionsschläuche häufig von Pyrrhotin, Tetraedrit oder Chalkopyrit verheilt.

Auf diese Kiesmineralisation folgt die Abscheidung großer Mengen Pyrrhotin, der im Anschluß deutlich Zwillingslamellierung und Knickbänderung erkennen läßt (Abb. 7). Eine z. T. intensive Umsetzung zu Markasit ist typisch, zumeist von Spaltrissen oder Korngrenzen ausgehend. Sie kann vom Erscheinen einzelner Markasit-Litzen oder -Spindeln (Abb. 8) bis zur

Ausbildung eines dichten Markasit-Netzwerks führen, wo nur mehr wenig Pyrrhotin in den Zwickeln erhalten ist (sogen. „birds-eye“-Texturen).

Mit der Abscheidung von Tetraedrit – neben Chalkopyrit einst wichtigstes Kupfererz am Schwemmerberg – setzt erst die eigentliche Buntmetallvererzung ein. Tetraedrit verdrängt teilweise Pyrrhotin und enthält zahlreiche hypidiomorphe Einschlüsse hauptsächlich von Arsenopyrit und Chalkopyrit, seltener solche von Pyrrhotin oder Sphalerit (Abb. 9). Geringe Silber- und

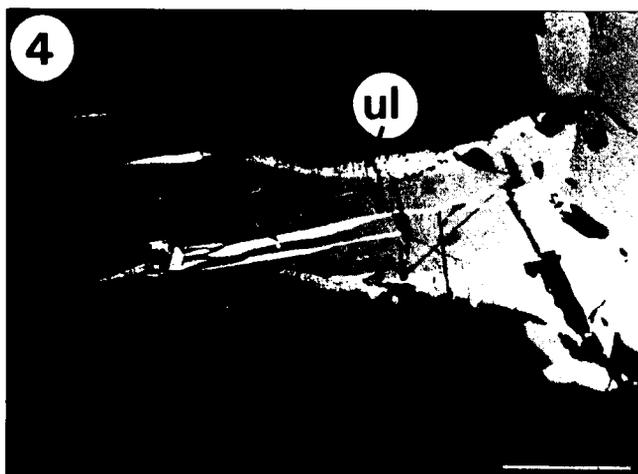


Abb. 8.  
Reaktionssäume an den Korngrenzen Pyrrhotin/Tetraedrit.  
Die graphische Verwachsung von Ullmannit – Pyrrhotin – Tetraedrit ist im Bild nicht mehr auflösbar. Nachträgliche Umwandlung von Pyrrhotin zu Markasit (Spindeln).  
Abkürzungen siehe Abb. 4.

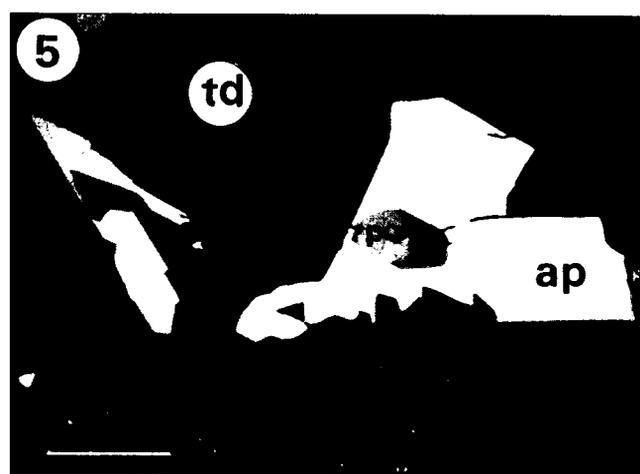


Abb. 9.  
Gleichgewichtsparagenese Arsenopyrit – Pyrrhotin – Sphalerit als Einschlüsse in Tetraedrit.  
Abkürzungen siehe Abb. 4.

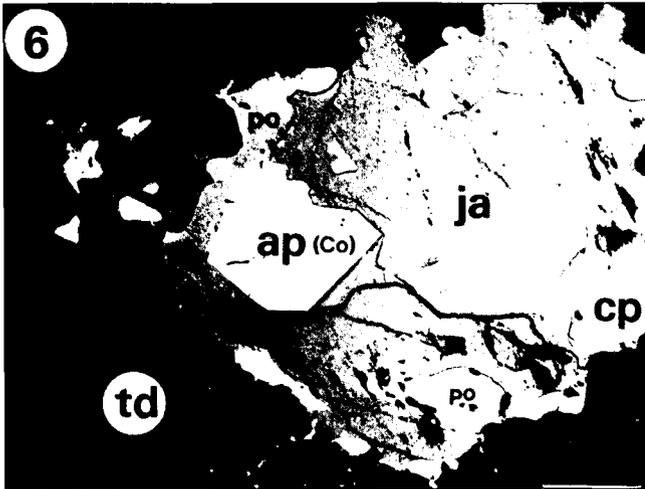


Abb. 10.  
Jamesonit verdrängt Pyrrhotin; daneben Chalkopyrit und Tetraedrit. Jamesonit umwächst einen hypidiomorphen Kristall von Co-hältigem Arsenopyrit (Danait).  
Abkürzungen siehe Abb. 4.

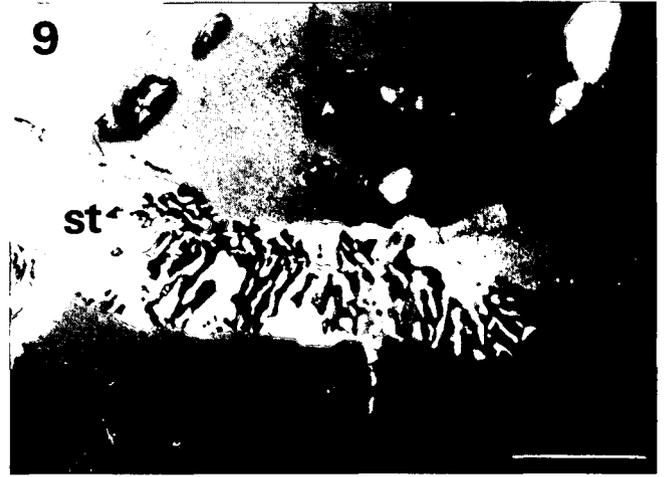


Abb. 13.  
Myrmekitbildung bei Antimonit – ged. Antimon (im Bild nicht erkennbare winzige Tröpfchen) – Pyrrhotin, daneben Tetraedrit.  
Abkürzungen siehe Abb. 4. Nicols +.

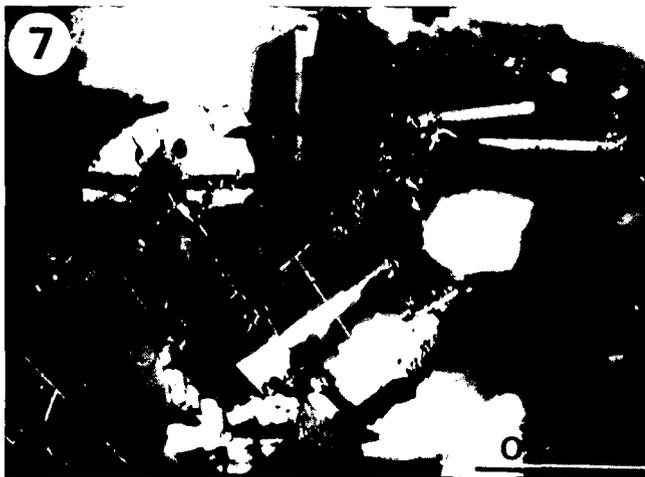


Abb. 11.  
Teilweise idiomorphe Gudmundit-Kristalle mit charakteristischer Zwillingslamellierung neben Chalkopyrit in Quarz.  
Abkürzungen siehe Abb. 4. Nicols +.

Quecksilbergehalte der Erze sind ausschließlich an Tetraedrit gebunden (Tab. 1), da sonst keinerlei Silberträger in der Paragenese vorliegen (Galenit ist frei von Ag-hältigen Einschlußmineralen).

Die Arsenopyrit-Einschlüsse wurden im Hinblick auf eine Thermometrie analysiert, erwiesen sich jedoch wegen zu hoher Ni-, Co- und Sb-Gehalte als nicht geeignet. Von diesen Einschlüssen unterscheidet sich ein Arsenopyrit-Typ, der deutlich mehr Kobalt und Antimon ins Gitter einbaut (Danait, Tab. 1) und bis 0,18 mm große idiomorphe Kristalle bildet (Abb. 10).

Neben den verschiedenen Arsenopyrit-Typen findet man Gudmundit, FeSbS, der kein Arsen einbaut (BORODAEV et al., 1983) in Form mehr oder weniger idiomorpher, deutlich verzwilligter 0,1–max. 0,5 mm großer Kristalle meist zusammen mit Chalkopyrit und etwas Pyrrhotin in Quarz eingewachsen (Abb. 11).

An den Korngrenzen Pyrrhotin/Tetraedrit beobachtet man häufig nur wenige Mikrometer-dünne Reaktions-säume aus Pyrrhotin, Tetraedrit und einer grauen isotropen Phase, Ullmannit, (Ni, Co)SbS, sowie winzi-



Abb. 12.  
Myrmekitbildung zwischen Pyrrhotin und Tetraedrit.  
Abkürzungen siehe Abb. 4. Nicols +.

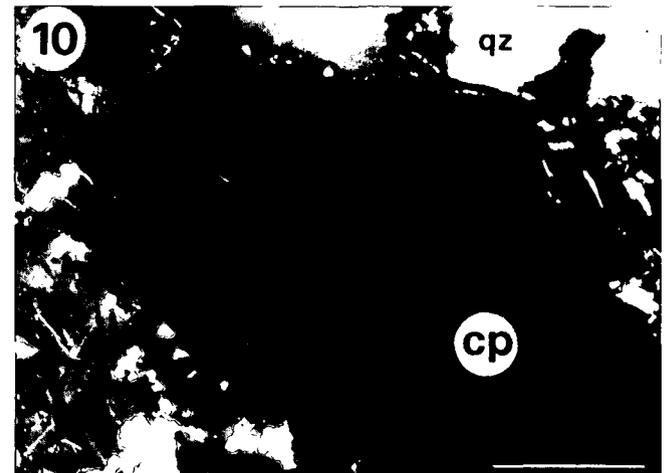


Abb. 14.  
Zwillingslamellierung bei Chalkopyrit.  
Abkürzungen siehe Abb. 4. Nicols +.

gen Tröpfchen von ged. Antimon in z.T. inniger graphischer Verwachsung (Abb. 8, 12), wobei Pyrrhotin bereichsweise weitgehend zerfallen ist und Hohlräume zurückläßt. In gleicher Weise findet man Myrmekite von Pyrrhotin – Tetraedrit – Antimonit – ged. Antimon (Abb. 13).

Chalkopyrit war in der Zeit des alten Bergbaues sicherlich wichtigstes Kupfererz und ist neben Tetraedrit und Pyrrhotin das häufigste Mineral der Paragenese; unter gekreuzten Polarisatoren erkennt man eine deutliche oleanderblattähnliche Zwillingslamellierung (Abb. 14).

Jamesonit (Abb. 10), Boulangerit, Bournonit und Galenit verdrängen als relativ am spätesten abgeschiedene Phasen Pyrrhotin; Jamesonit bildet mitunter spießige Kristalle bis zu einigen Millimetern Länge aus und ist gegenüber Boulangerit bei weitem vorherrschend.

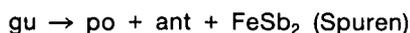
Vereinzelst stößt man in Boulangerit bzw. Jamesonit auf einige Mikrometer-große Einschlüsse von Breithauptit, NiSb, assoziiert mit ged. Antimon und Antimonit in ähnlicher Weise wie bei den Myrmekiten an den Korngrenzen Pyrrhotin/Tetraedrit.

## 6. Bildungsbedingungen

Pyrrhotin kristallisiert oberhalb 254°C ausschließlich in der hexagonalen Struktur 1C (NiAs-Gittertyp, unmagnetisch), in sämtlichen untersuchten Proben konnte jedoch röntgenographisch nur die monokline Modifikation 4C (ferrimagnetisch; RISING, 1973; KISSIN, 1974) identifiziert werden, die bei Unterschreiten der Inversionstemperatur unter gleichzeitiger Sauerstoffaufnahme (bis 0,01 Mol%; MOH, pers. Mitt.) entsteht. Da in einigen Erzproben schön ausgebildete, bis Zentimeter-große hexagonale Pyrrhotintafeln in Quarz eingewachsen gefunden wurden, liegen hier also Paramorphosen von monoklinem nach hexagonalem Pyrrhotin vor. Zwillingslamellierung und Knickbänderung sind hingegen Phänomene, die auf eine Deformation bei Temperaturen über 300°C schließen lassen (CLARK & KELLY, 1973), welcher die Erze möglicherweise bereits während der variszischen, jedenfalls aber zur Zeit der alpidischen Regionalmetamorphose ausgesetzt waren (die Zwillingslamellierung bei Chalkopyrit dürfte gleichermaßen auf Deformation zurückzuführen sein). Die Strukturinversion muß daher erst während der Abkühlphase, also bereits nach dem Metamorphosemaximum, erfolgt sein.

Die Bildung von monoklinem Pyrrhotin, vor allem aber die intensive Markasitisierung deuten auf ein Ansteigen der S-Aktivität hin (die Verwitterung der kiesführenden Branden führt zu einem erhöhten S-Angebot).

Gleichsam als Vorläufer der Cu(Ag,Hg)-Pb-Sb-Sulfosalze könnte man Gudmundit interpretieren. Die obere Stabilitätsgrenze des Minerals liegt bei  $280 \pm 10^\circ\text{C}$  ( $\log a_{\text{S}_2} = -19$ ; CLARK, 1966), darüber läuft nachstehende Zerfallsreaktion ab:



Es müssen also die Sb-reichen Erze aus relativ niedrig temperierten Lösungen abgeschieden worden sein.

Da Gudmundit keinerlei Zerfallerscheinungen zeigt, ist anzunehmen, daß er – quasi von Quarz gepanzert – die alpidische Metamorphose, die hier doch deutlich 300°C überschritt, metastabil überdauerte. Inwieweit ein eventueller Einbau von Kobalt bzw. Nickel den Stabilitätsbereich im System Fe-Sb-S beeinflusst, muß dahingestellt bleiben; ebenso muß die Möglichkeit einer Gudmundit-Neubildung im Zuge von alpidischen Remobilisationen in Erwägung gezogen werden.

Tetraedrit, der in der stöchiometrischen Zusammensetzung  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  unterhalb 250°C zerfallen würde, bleibt durch den Einbau von Eisen auch bei Raumtemperatur mit allen bi- und ternären Phasen im System Cu-Fe-Sb-S stabil (TATSUKA & MORIMOTO, 1977); mit zunehmendem Fe-Gehalt vergrößern sich dabei die Gitterkonstante  $a_0$  und die Mikrohärtigkeit VHN (Abb. 15).

Sucht man nach einer Erklärung für die im vorigen Kapitel beschriebenen graphischen Verwachsungen an den Korngrenzen Pyrrhotin/Tetraedrit, scheint es plausibel, daß diese schmalen Myrmekitsäume durch Reaktionen zwischen Pyrrhotin und den Sb-reichen Erzlösungen zustande kamen, wobei die zur Bildung von Ullmannit notwendigen Ni(Co)-Gehalte ohne weiteres aus dem Pyrrhotingitter zu beziehen wären. Auf der anderen Seite muß jedoch auch an die Möglichkeit der

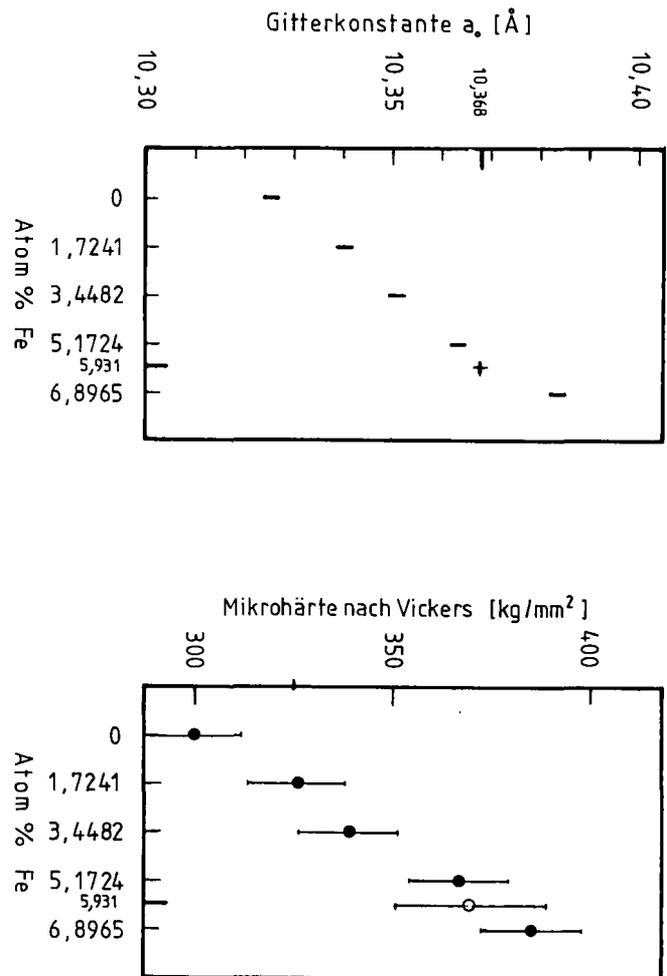


Abb. 15. Mikrohärtigkeit und Gitterkonstante von Tetraedrit verändern sich in Abhängigkeit vom Fe-Einbau ins Gitter.

●, ○ = TATSUKA & MORIMOTO (1977).

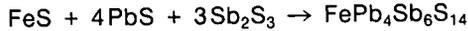
+, ⊕ = Tetraedrit vom Schwemmburg.

Remobilisierung bereits vorhandener Sulfidphasen während der alpidischen Metamorphose gedacht werden.

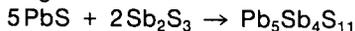
Die Kristallisation von Jamesonit wird durch Eisenüberschuß in den erzbringenden Lösungen begünstigt, was aufgrund des reichlichen Vorhandenseins Fe-hältiger Phasen (Pyrit, Pyrrhotin, Arsenopyrit, Gudmundit, Fe-reicher Tetraedrit, Chalkopyrit) in der Paragenese naheliegt.

Die Bildung der Pb-Sb-Sulfosalze kann formal wie folgt angeschrieben werden:

Jamesonit:



Boulangerit:



Jamesonit koexistiert im Temperaturintervall 400–500°C mit Boulangerit und Pyrrhotin, unterhalb 400°C bildet er auch eine stabile Paragenese mit Galenit (CHANG & KNOWLES, 1977), ein weiteres Indiz für tiefere Bildungstemperaturen.

Abfolge berechtigen zur Annahme, daß es sich bei der Lagerstätte Schwemmburg um syngenetische Erzabscheidungen im Gefolge eines sauren silurischen(?) Vulkanismus handelt. Die Frage, inwieweit die Mineralisationen wie auch die Bildung der Kiesel-schiefer mit Exhalationen im Zuge basaltischer Magmen assoziiert werden können – wie dies für einige stratiforme Kieslagerstätten der Grauwackenzone angenommen wird (UNGER, 1971; SCHLÜTER et al., 1984) – ist für die Verwertung Schwemmburg nach dem derzeitigen Kenntnisstand nicht zu beantworten, zumal im bearbeiteten Gebiet keine Grüngesteine angetroffen wurden; eine genauere Zuordnung in plattentektonischer Hinsicht muß eingehenden petrogenetischen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Die Sulfidparagenesen deuten auf einen Erzabsatz aus meso- bis epithermalen Fe-Co(Ni)-Cu(Ag,Hg)-Pb-As-Sb-S-reichen Lösungen hin, wobei die Erze in der Spätphase der Ausscheidungsfolge – vermutlich mit abnehmender Temperatur – immer Sb- und Pb-betonter werden (vgl. BRANDMAIER et al., 1985) und teilweise mit Pyrrhotin reagieren, was zur Entstehung myrmekit-artiger Texturen führt.

Alpidische (und variszische?) Ereignisse, die in diesem Abschnitt der Grauwackenzone den Grad einer schwachen Metamorphose erreichten (vgl. BECHTOLD et al., 1981; BRANDMAIER et al., 1985), bewirkten eine Deformation und evtl. geringfügige Remobilisation der Erze.

Abschließend sei noch bemerkt, daß die Lagerstätte aus heutiger Sicht vor allem wegen zu geringer Erzmengen, nicht zuletzt aber aufgrund der Absetzigkeit und tektonischen Zerstückelung der Erzkörper als unbauwürdig eingestuft werden muß.

## 7. Lagerstättengenetische Aspekte

Eine Mineralisierung in der Art stratiformer Erzrhythmite in mittelsilurischen Kiesel-schiefern sowie ein unmittelbarer räumlicher Zusammenhang mit Porphyroiden und Tuffiten innerhalb einer vulkanosedimentären

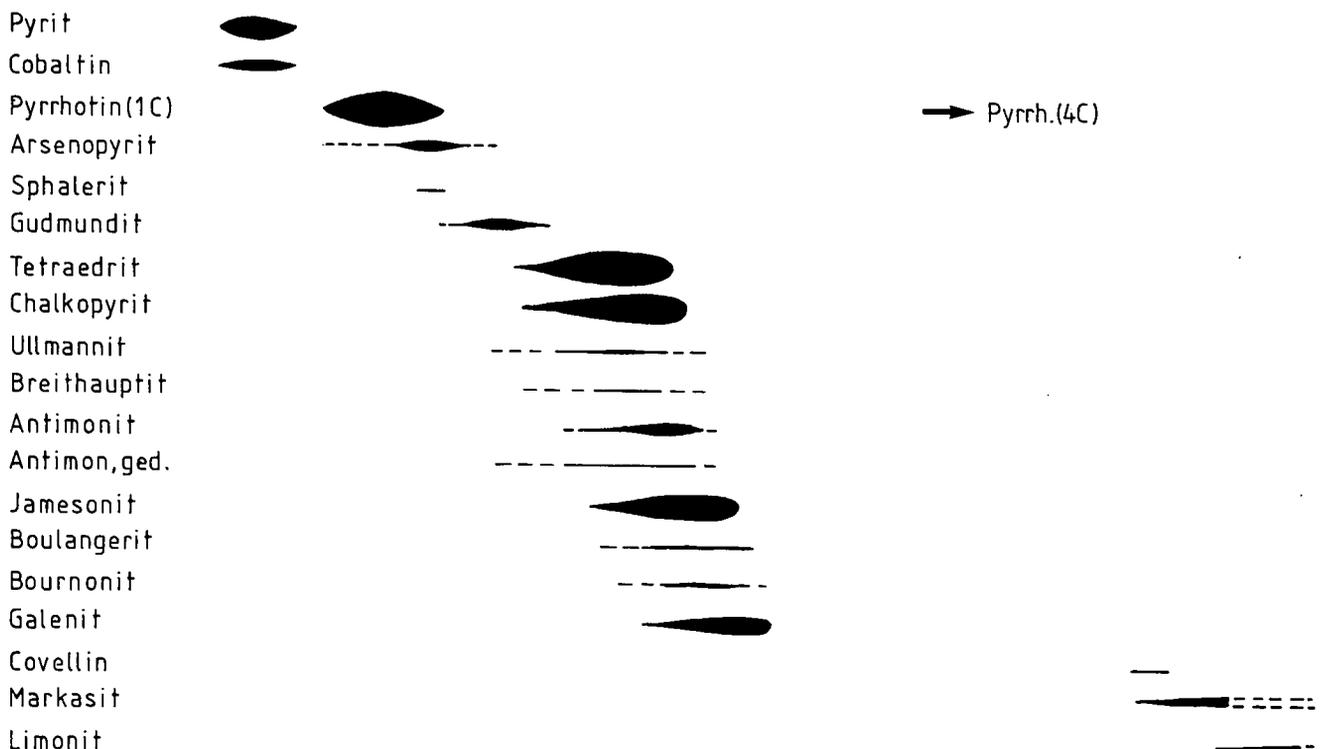


Abb. 16.  
Kristallisationsschema der komplexen Cu(Ag,Hg)-Fe-Co(Ni)-Pb(Zn)-As-Sb-Sulfidparagenese.  
Die Dicke der Linsen soll die relative Häufigkeit des jeweiligen Minerals andeuten.

## Dank

Ihren besonderen Dank aussprechen möchten die Autoren Herrn Univ.-Doz Dr. J.-M. SCHRAMM für wertvolle Informationen zur Metamorphose und Tektonik, den Herren Dr. W. GÜNTHER für die Beschaffung bergbauhistorischer Daten, cand. phil. Ch. LENGAUER für die röntgenographische Bestimmung von Gudmundit und Dr. P. DANNER für die Hilfeleistung bei der Gewinnung von Geländedaten.

Besondere Anerkennung verdient der Laborant unseres Instituts, Herr W. WALDHÖR, für die Herstellung ausgezeichneter auflichtoptischer Präparate, ohne die ein Zustandekommen der vorliegenden Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Bedanken möchten wir uns nicht zuletzt bei der Firma MINEREX, Wien, für die finanzielle Unterstützung der Geländetätigkeit.

## Literatur

- BARNES, H. L. (ed.): *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits* (2nd. edition). – 798 p., New York (Wiley Intersc.) 1979.
- BARTON, P. B. Jr.: The Fe-Sb-S System. – *Econ. Geol.*, **66**, 121–132, 1971.
- BECHTOLD, D., KLEBERGER, J., SCHRAMM, J.-M.: Zur Metamorphose der Grauwackenzone in Salzburg/Österreich – Ein Exkursionsführer. – *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck*, Bd. 10, H. 11, 305–353, Innsbruck 1981.
- BORODAEV, Y. S., BORTNIKOV, N. S., MOZGOVA, N. N., OZEROVA, N. A., OIVANEN, P. & YLETYINEN, V.: Associations of Ore Minerals in the Deposits of the Seinäjoki District and the Discussion on the Ore Formation. – *Bulletin of the Geological Society of Finland*, No. 55, pt. 1, 3–23, 1983.
- BRANDMAIER, P., PAAR, W. H., SCHRAMM, J.-M., CHEN, T. T.: Geologie und edelmetallführende Kiesvererzungen der Grauwackenzone nördlich von Mandling (Steiermark/Österreich). – *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck*, Bd. 13, H. 9, 201–222, Innsbruck 1985.
- CANAVAL, R.: Das Kiesvorkommen von Kalwang in Obersteier und die darauf bestehenden Bergbaue. – *Mitt. naturw. Ver. Stmk.*, **31**, 3–109, Graz 1894.
- CHANG, L. L. Y. & KNOWLES, Ch. R.: Phase Relations in the Systems  $PbS-Fe_{1-x}S-Sb_2S_3$  and  $PbS-Fe_{1-x}S-Bi_2S_3$ . – *Can. Min.*, Vol. 15, 374–379, 1977.
- CLARK, A. H.: Heating Experiments on Gudmundite. – *Min. Mag.*, Vol. 35., 1123–1125, 1966.
- CLARK, B. R. & KELLY, W. C.: Sulfide Deformation Studies: I. Experimental Deformation of Pyrrhotite and Sphalerite to 2,000 bars and 500°C. – *Econ. Geol.* **59**, 1241–1269, 1973.
- CRAIG, J. R. & VAUGHAN, D. J.: *Ore Microscopy and Ore Petrography*. – 406 S., New York (Wiley Intersc.) 1981.
- CRAIG, J. R.: Metamorphic Features in Appalachian Massive Sulphides. – *Min. Mag.*, Vol. 47, 515–525, London 1983.
- DACHS, E.: Geologie des Gebietes um Hachau (östlich Filzmoos, Salzburg). – Unveröff. Vorarbeit am Inst. f. Geowiss. d. Univ. Salzburg, 56 S., 29 Abb., 3 Beil., 2 Kt., Salzburg 1981a.
- DACHS, E.: Metamorphose-Untersuchungen an klastischen Sedimentgesteinen südwestlich des Dachsteins (Grauwackenzone/Nördliche Kalkalpen). – *Jber. 1980, Hochschulschwerpkt. S 15*, 93–95, Graz 1981b.
- DACHS, E. & PAAR, W. H.: Schichtgebundene goldführende Buntmetall-Mineralisationen der Grauwackenzone zwischen Filzmoos, Radstadt und Mandling (Salzburg, Steiermark). – *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck*, Bd. 13, H. 5, 113–123, Innsbruck 1984.
- DEL NEGRO, W.: Geologie des Landes Salzburg. – *Schriftenreihe des Landespressebüros, Sonderpubl.*, Nr. 45, 152 S., 25 Abb., Salzburg 1983.
- EBERHARDT, N. & MOSTLER, H.: Ein Beitrag zur Alterseinstufung der Wildschönauer Schiefer (Grauwackenzone, Tirol). – *Österr. Akad. d. Wiss., mathemat.-naturw. Kl.*, Jg. 1966, Nr. 1, 3–8, Wien 1966.
- FEITZINGER, G.: Geologie und Erzmineralisationen des Schwemmerberges bei Radstadt (Grauwackenzone, Salzburg, Österreich). – Unveröff. Vorarbeit am Inst. f. Geowiss. d. Univ. Salzburg, 41 S., 17 Abb., 3 Tab., 5 Beil., Salzburg 1985.
- GANNS, O., KÜMEL, F. & SPENGLER, E.: Erläuterungen zur geologischen Karte der Dachsteingruppe (mit kleineren Beiträgen von A. MAIER und O. SCHAUBERGER). – *Wiss. Alpenvereinshefte*, H. 15, 1–82, 3 Abb., 1 geol. Kt., 3 Profiltaf., 3 Taf., Innsbruck 1954.
- GRUBER, F. & LUDWIG, K. H.: *Salzburger Bergbaugeschichte – ein Überblick*. – 140 S., 15 Abb., Übersichtskt., Salzburg – München (Pustet) 1982.
- GÜNTHER, W.: Die Kupferkiesbaue der Kupfergewerkschaft Larzenbach bei Hütttau (Fritztal), Salzburg. – *Der Aufschluß*, **29**, 365–372, Heidelberg 1978.
- HADITSCH, J. G. & MOSTLER, E.: The Succession of Ore-Mineralization of the Lower Austroalpine Innsbruck Quartzphyllite. – *Begleitheft zur IV. ISMIDA (4.–10. 10. 1981)*, Berchtesgaden 1981.
- HEINISCH, H.: Zum ordovizischen „Porphyroid“-Vulkanismus der Ost- und Südalpen, Stratigraphie, Petrographie, Geochemie. – *Jb. Geol. B.-A.*, **124/1**, 1–109, 28 Abb., 17 Tab., 3 Fototaf., Wien 1981.
- HIRSCHBERG, K. J.: Die Geologie des Mandlingzuges (Oberes Ennstal, Österreich). – *Inaugural-Dissertation*, 110 S., 19 Abb., Marburg 1965.
- KISSIN, S. A. & SCOTT, S. D.: Phase Relations of Intermediate Pyrrhotites. – *Econ. Geol.*, **67**, 1009 (abstr.), Lancaster 1972.
- KISSIN, S. A.: Phase Relations in a Portion of the Fe-S System. – *Ph. D. Thesis, Univ. of Toronto/Canada*, Toronto 1974.
- KRETSCHMAR, U. & SCOTT, S. D.: Phase Relations Involving Arsenopyrite in the System Fe-As-S and their Application. – *Can. Min.*, Vol. 14, 364–386, 1976.
- MAUCHER, A.: Die schichtgebundenen Erzlagerstätten in den Ostalpen. – in WOLF, H.: *Handbuch der schichtgebundenen und schichtförmigen Erzlagerstätten*, 1–36, Amsterdam 1976.
- MEIXNER, H.: Die Erz- und Minerallagerstätten Salzburgs. – *Berg- und Hüttenmänn. Monatshefte*, Jg. 119 (Sonderabdruck), H. 12, 503–512, Wien (Springer) 1974.
- MOSTLER, H.: Zur Einstufung der „Kieselschiefer“ von der Lachtal-Grundalm (Fieberbrunn/Tirol). – *Verh. Geol. B.-A.*, **1/2**, 157–170, 2 Abb., 1 Tab., Wien 1966.
- MOSTLER, H.: Das Silur im Westabschnitt der Nördlichen Grauwackenzone (Tirol/Salzburg). – *Mitt. Geol. Bergbaustud.*, Bd. 18, 89–150, 41 Abb., Wien 1968.
- MOSTLER, H.: Struktureller Wandel und Ursachen der Faziesdifferenzierung der Ordoviz-Silur-Grenze in der Nördlichen Grauwackenzone (Österreich). – *Festbd. Geol. Inst. 300-Jahr-Feier Univ. Innsbruck*, 507–522, 5 Abb., Innsbruck 1970.
- PILNAY, E.: Exposé über die Erzlagerstätten im Lande Salzburg und deren Entwicklung. – *Lagerstättenarchiv Prof. Dr. Ing. O. M. Friedrich*, Unveröff. Maschinschrift, 6 S., Leoben 1936.
- RAMDOHR, P.: Die Erzminerale und ihre Verwachsungen (4. Aufl.). – Berlin (Akademie-Verlag) 1975.
- RISING, B. A.: Phase Relations among Pyrite, Marcasite and Pyrrhotite below 300°C. – *Ph. D. Thesis, Penn. State University*, 1973.
- SCHÄFFER, U. & TARKIAN, M.: Die Genese der stratiformen Sulfidlagerstätte Kalwang, der Grünschistschicht und einer assoziierten Banded Iron Formation. – *Tschermaks Min. Petr. Mitt.*, **33**, 169–186, Wien 1984.
- SCHLÜTER, J., TARKIAN, M. & STUMPFL, E. F.: Die stratiforme Sulfidlagerstätte Walchen, Steiermark, Österreich; Geochemie, Genese. – *Tschermaks Min. Petr. Mitt.*, **33**, 287–296, 6 Abb., 2 Tab., Wien 1984.

- SCHRAMM, J. M.: Über die Verbreitung epi- und anchimeta-morpher Sedimentgesteine in der Grauwackenzone und in den Nördlichen Kalkalpen (Österreich) – ein Zwischenbericht. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, **7/2**, 3–20, 8 Abb., Innsbruck 1977.
- SCHRAMM, J. M.: Bemerkungen zum Metamorphosegeschehen in klastischen Sedimentgesteinen im Salzburger Abschnitt der Grauwackenzone und der Nördlichen Kalkalpen. – Mitt. Öst. Geol. Ges., **71/72**, Jg. 1978/79, 379–384, 2 Abb., Wien 1980.
- SCHRAMM, J. M.: Bericht für 1980 über Metamorphoseerscheinungen in Gesteinen der Grauwackenzone und der Nördlichen Kalkalpen. – Jber. 1980 Hochschulschwerpkt. S 15, 91–99, 1 Abb., Graz 1981.
- SCHRAMM, J. M.: Über den Einfluß der Verwitterung auf die Illitkristallinität. – Karinthin, Nr. 84, 238–249, 5 Abb., Salzburg 1981.
- SCOTT, S. D.: Chemical Behaviour of Sphalerite and Arsenopyrite in Hydrothermal and Metamorphic Environments. – Min. Mag., Vol. 47, 427–435, 9 Fig., London 1983.
- SHARP, Z. P., ESSENE, E. J. & KELLY, W. C.: A Re-Examination of the Arsenopyrite Geothermometer: Pressure Considerations and Applications to Natural Assemblages. – Can. Min., Vol. 23, 517–534, 1985.
- STUMPFL, E. F.: Stratabound Ore-Deposits and Metamorphism: New Aspects. – 25th. Int. Geol. Congr. Sidney, Abstr. **1**, 194–195, 1976.
- STUMPFL, E. F.: Sediments, Ores and Metamorphism: New Aspects. – Phil. Trans. R. Soc. Lond., **A286**, 507–525, 8 Fig., 1 Taf., 3 Sk., London 1977.
- STUMPFL, E. F.: Manganese Haloes Surrounding Metamorphic Stratabound Base metal Deposits. – Min. Deposita, **14**, 207–217, 2 Fig., 4 Tab., Berlin 1979.
- TATSUKA, K. & MORIMOTO, N.: Tetrahedrite Stability Relations in the Cu-Fe-Sb-S System. – Am. Min., Vol. 62, 1101–1109, 1977.
- UNGER, J.: Walchen im Oberpinzgau, Salzburg. Ein Kupfer- und Schwefelkies-Bergbau. – Arch. Lagerst.forsch. Ostalpen, **12**, 63–67, Leoben 1971.
- VAUGHAN, D. J. & CRAIG, J. R.: Mineral Chemistry of Metal Sulphides. – 493 S., Cambridge (Cambr. Univ. Press) 1978.
- WINKLER, H. G. F.: Petrogenesis of Metamorphic Rocks. – 5. Aufl., 248 S., New York – Heidelberg – Berlin (Springer) 1979.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 6. November 1987.