

**FLUID INCLUSION-UNTERSUCHUNGEN AN GOLDBERZEN DER
GOLDZECHEN, SONNBLICKGRUPPE, (HOHE TAUERN, KÄRNTEN)**

von

Klaus Robl⁺ und Werner H. Paar⁺

(eingelangt am 15. 3. 1994, angenommen am 15. 4. 1994)

Kurzfassung

Im Bereich der Goldzeche in der westlichen Sonnblickgruppe treten NNE-SSW streichende Erz-Quarzgänge auf, die dem Typus der Tauerngoldgänge (PAAR, 1994/95) zuzurechnen sind. Im Auflichtmikroskop können eine ältere Pyrit-Arsenopyrit-Gold betonte Vererzung von einer jüngeren Pb-Ag-Zn-Cu-Sb-Sulfid/Sulfosalz Mineralisation unterschieden werden. Zwischen diesen beiden Vererzungsphasen vermittelt ein an Edelmetallen reicher Vererzungsschub (Glaserz). Lediglich in der Quarzgangart konnten Fluid Inclusions untersucht werden. Es treten 5 Typen von Flüssigkeitseinschlüssen in Erscheinung, welche mit den einzelnen Vererzungsphasen korrelierbar sind. Die Totalhomogenisations-Temperaturen betragen 380 - 275° C bzw. 110 - 180° C bei Drucken von 0,7 - 1,3 kbar bzw. 0,4 - 0,8 kbar. Die Salinität sank im Laufe der Zeit von zunächst 11 Gew.% NaCl Äquivalenten auf 4 Gew.% und schließlich auf 1 - 3 Gew.%. Für die Erzausfällung sind vermutlich sinkende pT-Bedingungen, sowie möglicherweise ein verstärktes Hinzutreten meteorischer Wässer verantwortlich.

Stichworte: Kärnten, Hohe Tauern, Sonnblickgruppe, Tauerngoldgänge, Paragenese, Genese

⁺ Klaus Robl, Prof. Dr. Werner H. Paar
Institut für Mineralogie der Universität Salzburg
Hellbrunnerstr. 34/III
A-5020 Salzburg

Abstract

Numerous NNE-trending gold bearing structures occur in the western part of the Penninic Tauern window. The Goldzeche represents the westernmost of the four more important mining districts (Radhausberg, Siglitz-Erzwies, Goldberg, Goldzeche) and is located at elevations between 2600 and more than 3000 m. The steeply to the west or east dipping faults, which penetrate Variscan I-type granitoids of the Sonnblick mountain range, contain isolated, but sometime bonanza grade ore bodies with gold silver mineralization associated with a variety of sulphides, sulphosalts and gangue minerals. The ore-controlling faults can be traced for several km along strike and the maximum width of the mineralization is 1,5 m. Wall rock alteration is present as sericitisation and silicification.

Two main ore forming stages can be distinguished. The earlier one is dominated by pyrite, arsenopyrite and quartz. Gold preferably is included as droplets within pyrite or fills cracks of pyrite. The diameter of the gold inclusions that are mostly rich in silver (more than 20 wt.%) rarely exceeds 30 μm . The later ore mineralization is characterised by Ag-Pb-Zn-Cu-Sb-sulphides, namely galena, sphalerite, chalkopyrite and tetrahedrite. Galena contains a variety of Ag-sulphosalts which are the main reason for the sometimes high Ag-grade of the ore! The gangue mineral is formed by an Fe-Mg-carbonate. Another, quantitatively less important, but high grade ore assemblage was formed between the two main stages. Gold (less than 15 wt.% silver), gustavite as well as calcite and drusy quartz are the main components.

Fluid inclusion were only studied in quartz because of the difficulty to observe suitable inclusions in the carbonate gangue. The oldest quartz generation contains five types of low saline fluid inclusions which can be correlated with the ore forming stages. The initial mineralization is represented by primary inclusions that homogenize from 330 to 380° C. The estimated pressure at the time of trapping ranges from 0,7 to 1,3 kbar. The gold-gustavite-quartz-calcite mineralization shows fluid inclusion homogenization temperatures from 275 to 320° C. Pressure estimations vary from 0,7 to 0,9 kbar. It proved to be difficult to characterize the latest ore forming period by fluid inclusions as the intergrown carbonate does not bear inclusions that are worth to be measured. Due to repeated shear movements within the veins it is assumed that those inclusions that were formed during primary growth of the carbonate also sealed post-crystallization fractures of quartz. The homogenization temperatures range from 150 to 180° C. Another fluid inclusion generation homogenizes from 150 to 110° C.

The salinity of the fluids gradually decreased from 11 wt.% NaCl equiv. down to 5 and finally to 2 wt.%. Major changes of pressure are most probably caused by seismic pumping.

Cooling and decompression of the metal-carrying fluids and the mixing with meteoric water are assumed to be reasons for the precipitation of ores. Boiling of the fluids can be excluded due to the high pressures calculated.

Einführung

Im Herzen der Sonnblickgruppe - zwischen Hocharn (3254 m) und Hohem Sonnblick (3105 m) auf Kärntner Seite gelegen - befindet sich der einstmals bedeutende

Au-Ag-Bergbau der Goldzeche. Bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts wurden hier NNE - SSW streichende vererzte Strukturen - die sogenannten Tauerngoldgänge - im Untertagebau beschürft (ROCHATA, 1878; POŠEPNY, 1880). Die an den Zentralgneis gebundene Vererzung tritt sehr absätzig auf und weist nur in den bis zu 1,5 m mächtigen Veredelungszonen - das sind steil einfallende Erzfälle - bauwürdige Edelmetallgehalte auf. Die vererzten Strukturen sind das Ergebnis jungtertiärer postmetamorpher Bruchtektonik. Sie sind, wie das etwa aus dem Gasteiner Raum belegt ist, tiefreichend und bildeten somit ideale Wegsamkeiten für den Aufstieg erzbringender Fluide.

Heute sind die Stollen, die sich zwischen 2740 m und 2950 m Seehöhe befinden, verbrochen. So mußte die Bemusterung auf die ausgedehnten Halden beschränkt bleiben. Beim Aufsammeln der Proben konnte festgestellt werden, daß in den höher gelegenen Bereichen eine silberreiche Buntmetallvererzung neben Pyrit und Arsenopyrit dominiert, während sie in größeren Teufen stark zurücktritt. Im tiefstgelegenen Abbau, dem Annastollen, tritt eine interessante Sulfosalz-Gold-Mineralisation auf.

Auflichtmikroskopische Beobachtungen

Bereits im Auflichtmikroskop können zwei Hauptvererzungsphasen unterschieden werden. Es handelt sich zunächst um eine ältere von *Pyrit* und *Arsenopyrit* dominierte Paragenese. Intensive Gangtektonik verursachte eine starke bruchhafte Deformation der beiden spröden Erzminerale. Das *Gold* tritt hier fast immer tröpfchenförmig in Pyrit, in Rissen von Pyrit oder in Zwickel zwischen Pyrit und Arsenopyrit auf (Abb. 1). Die meist zwischen 5 und 30 μm großen Goldkörner enthalten in der Regel mehr als 20 Gew. % Ag. Die Gangart dieser älteren Vererzungsphase ist Quarz. Stark silifizierter und serizitisierter und teilweise vererzter Gneisfragmente begleiten die Paragenese und unterstreichen den initialen Charakter dieser Vererzung.

Die jüngere Erzmineralisation bilden Ag-Pb-Zn-Cu-Sb-Sulfide bzw. Sulfosalze (Abb. 2). *Galenit*, *Chalkopyrit* und *Sphalerit* sind der Reihe nach die dominierenden Erze. Galenit ist ausgesprochen reich an Silberträgern, wie zum Beispiel *Ag-Tetraedrit* - *Freibergit*, *Polybasit*, *Pyrrargyrit* oder *Akanthit*. Daneben findet sich sehr häufig *Bourbonit* in Galenit. Als Gangart tritt ein Fe-Mg-(Mn)-Karbonat (Sideroplesit) auf. Es muß damit gerechnet werden, daß zwischen diesen beiden Vererzungsschüben der metallbringende Fluidfluß nie gänzlich zum Erliegen kam. Wiederholter Gangtektonik zufolge dürften immer wieder Wegsamkeiten geschaffen worden sein, die einer erhöhten Fluidaktivität förderlich waren. Es kam zu einer zwar quantitativ eher unbedeutenden, in Bezug auf Edelmetallgehalte aber sehr interessanten Mineralisation, die wahrscheinlich das Haupterz der alten Abbautätigkeit darstellte und mit dem "Glaserz" (SIEGL, 1951) im Gasteiner Raum vergleichbar ist. Silberarmes (10 - 16 Gew.% Ag), grobkörniges (bis 5 mm) Gold tritt gemeinsam mit *Gustavit*, einem Ag-Pb-Bi-Sulfosalz auf. Die Gangart wird zuerst von Quarz, dann von Calcit gebildet.

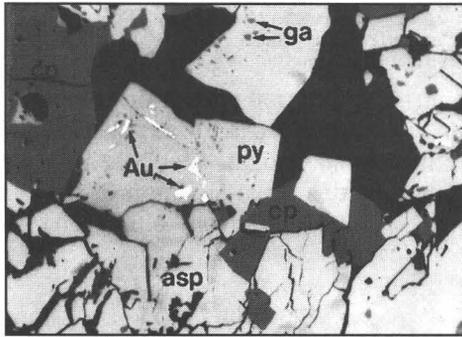


Abb. 1: Tröpfchenförmige Einschlüsse von Ag-reichem Gold, Galenit und Chalkopyrit in Pyrit und Arsenopyrit.
Lange Bildkante: 0,54 mm.

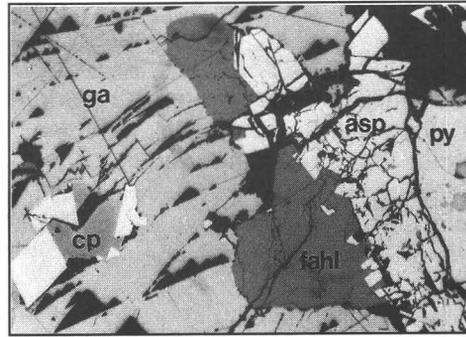


Abb. 2: Zonierte Fahlerzkörner zwischen Galenit und stark deformiertem Arsenopyrit.
Lange Bildkante: 0,54 mm.

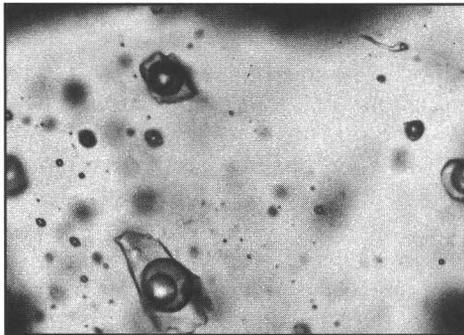


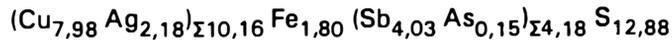
Abb. 3: Typische bis zu 50 μm große la Einschlüsse. Deutlich sind die beiden CO_2 -Phasen erkennbar.
Lange Bildkante: 0,22mm.

Abkürzungen: asp = Arsenopyrit, Au = Gold, cp = Chalkopyrit, fahl = Fahlerz (Tetraedrit-Freibergit), ga = Galenit, py = Pyrit.

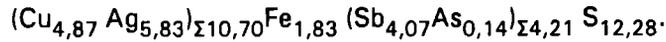
Mikrosonden-Untersuchungen

Neben den auflichtmikroskopischen Beobachtungen wurden die einzelnen Erzminerale mittels Elektronenmikrosonde auch auf ihren Chemismus hin untersucht. Auf diese Weise wurde bei den im Auflichtmikroskop sehr homogen erscheinenden *Fahlerzen* ein äußerst komplexer Zonarbau erkannt. Die einzelnen untersuchten Fahlerzkörner werden dabei nicht von konzentrischen Zonen mit ähnlichem Chemismus aufgebaut. Vielmehr verteilen sich die Zonen scheinbar regellos. Teilweise kann ein Trend zu Ag-reicheren Randpartien und Cu-reicheren Kernen hin festge-

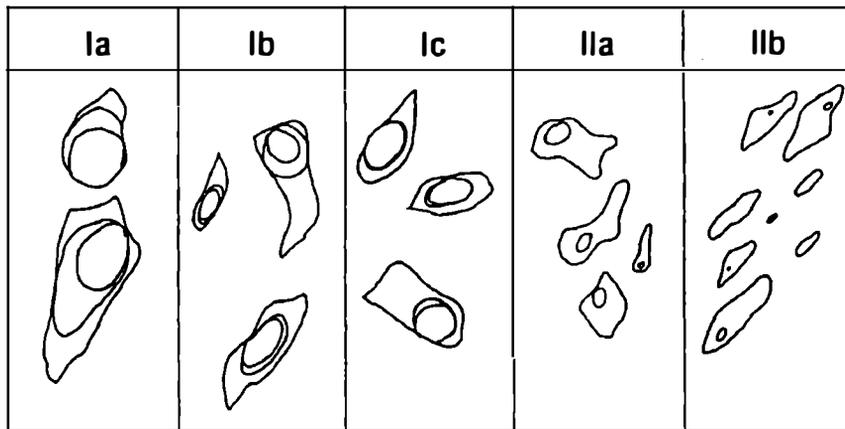
stellt werden. Die Fahlerz-Zusammensetzungen reichen von Ag-Tetraedrit mit der chemischen Formel:



bis hin zum Freibergit mit der Formel:



Zink ist meist nur in geringer Menge vertreten oder fehlt ganz. Weiters läßt der geringe Schwefelanteil auf eine niedrigere Schwefel-Fugazität bei der Erzabscheidung schließen. Neben den Fahlerzen wurden auch die Mineralphasen der Lillianit-homologen Reihe näher untersucht. Sämtliche Objekte erwiesen sich als *Gustavit*. Die chemische Zusammensetzung variiert zwischen $\text{Pb}_{1,83}(\text{Bi}, \text{Sb})_{2,45} \text{Ag}_{0,49} \text{S}_{5,88}$ und $\text{Pb}_{1,58}(\text{Bi}, \text{Sb})_{2,51} \text{Ag}_{0,57} \text{S}_{5,79}$. Der Substitutionsgrad berechnet nach MAKOVICKY & KARUP-MØLLER (1977) beträgt zwischen 0,52 und 0,65. Variabel ist ebenso die Zusammensetzung von *Polybasit*, welcher bis zu 9 Gew.% Cu enthalten kann. Bemerkenswert ist auch der Zonarbau, den das silberarme grobkörnige *Gold* des mittleren Vererzungsschubes aufweist. Die Randbereiche eines untersuchten Kornes weisen Ag-Gehalte von bis zu 18 Gew.% auf. Im Zentrum wurden lediglich 12 Gew.% Ag gemessen.



Tab. 1: Genetisch unterschiedliche Flüssigkeitseinschlußtypen.

Untersuchungen an Flüssigkeitseinschlüssen

FEITZINGER (1989) konnte für die Tauerngoldgänge in der benachbarten Zirknitz anhand der Pyrit - Pyrrhotin - Arsenopyrit - Gleichgewichtsparagenese eine Erzbildung bei 365 - 400° C bei einer Schwefelfugazität von $\log a(\text{S}_2) = 6,7 - 8,2$ berechnen. Diese Gleichgewichtsparagenese war aber in keinem der zahlreichen Erzanschliffe des Goldzecher Materials gegeben.

Hierauf blieben die geothermometrischen bzw. geobarometrischen Untersuchungen auf Flüssigkeitseinschlüsse beschränkt. Es wurden mehr als 300, meist primäre, Flüssigkeitseinschlüsse zu Messungen herangezogen.

Einschlußtyp	Ia	Ib	Ic	IIa	IIb
Füllungsgrad	0,4 - 0,7	0,6 - 0,9	0,75 - 0,9	0,9 - 0,97	0,95 - 1,0
Gew.% NaCl Aquiv.	5 - 11	5 - 11	4 - 6	2 - 5	1 - 3
Th Tot.	340 - 380	310 - 345	275 - 310	150 - 180	110 - 150
Druck Abschätzung in Kbar	0,7 - 1,1	1,1 - 1,35	0,7 - 0,9	0,5 - 0,8	0,4 - 0,6

Tab. 2: Durch Untersuchungen an Flüssigkeitseinschlüssen gewonnene thermobarometrische Daten.

Es können 5 Typen von Einschlüssen, kurz als Typus Ia, Ib, Ic, IIa und IIb bezeichnet, unterschieden werden. Diese Einschlüsse unterscheiden sich nicht nur optisch (Tab. 1), sondern auch in ihren Bildungsbedingungen (Tab. 2). Die Typen Ia (Abb. 3) und Ib werden durch primäre 3-phasige Einschlüsse repräsentiert, die sich lediglich in ihren volumetrischen Proportionen unterscheiden. Typus Ic (Abb. 4) wird durch eine jüngere Generation primärer 3- oder 2-phasiger Einschlüsse charakterisiert, wobei das flüssige CO₂ oft nur einen dünnen Saum um das gasförmige CO₂ bildet. Ic-Einschlüsse finden sich auch als sekundäre Einschlüsse in der älteren Quarzgeneration neben Ia und Ib. Die Gruppe IIa bildet meistens Fluid Inclusion Trails. Sowohl die Homogenisationstemperaturen als auch die Salinität heben sich deutlich vom Typus IIb ab. IIb-Einschlüsse besetzen flächenhaft die jüngsten Risse. Häufig kann beobachtet werden, daß die H₂O-Gasblase nach der Gesamt-Homogenisation nicht wieder erscheint. Dieses metastabile Verhalten zeigt sich ebenso beim Schmelzen der wässrigen Phase, welches gelegentlich erst im positiven Temperaturbereich beendet ist.

Aufgrund der intensiven Gangtektonik war eine Zuordnung der einzelnen Einschlußtypen zu einer bestimmten Vererzungsphase nicht immer einfach. Trotzdem können mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit die Typen Ia und Ib der ältesten Vererzungsphase zugeordnet werden, während die Fluide des Typus Ic für die Abscheidung der Gold-Gustavit-Quarz-Calcit-Paragenese verantwortlich sind. Auffallend bei Ia und Ib sind die variable Salinität aber auch der unterschiedliche Füllungsgrad. Der Druckanstieg zwischen Ia und Ib weist auf "Seismic Pumping" hin. Die Ic-Einschlüsse weisen sowohl auf niedrigere Temperaturen und Drucke als auch auf eine geringere Salinität zum Zeitpunkt ihrer Platznahme hin.

Schwierig war die Charakterisierung der Ag-Pb-Zn-Cu-Sb-Sulfid/Sulfosalz-Mineralisation, da sich im begleitenden Fe-Mg-Karbonat keine brauchbaren Einschlüsse fanden. Aufgrund der bruchhaften Gangtektonik kann aber angenommen werden, daß die metallbringenden Fluide der zweiten Hauptvererzungsphase feinste Risse in den älteren Quarzgangarten füllten und sich dort als sekundäre Einschlüsse manifestierten. Zu bedenken ist auch, daß die Homogenisationstemperaturen dieser Sekundäreinschlüsse von 150 - 180° C lediglich Mindesttemperaturen darstellen. Nach erfolgter Druckkorrektur nach BOWERS & HELGESON (1983a, b) erhält man tatsächliche Einschlußtemperaturen von 190 - 230° C bei Drucken von maximal 800 Bar. Diese Temperaturen decken sich auch ausgezeichnet mit den Bildungstemperaturen der im Galenit enthaltenen Sulfosalze.

Zusammenfassung

Steilstehende, NNE-SSW streichende vererzte Bruchstrukturen, die sogenannten Tauerngoldgänge, bildeten die Au-Ag-Lagerstätte der Goldzeche. Unter dem Erzmikroskop sind zwei Erzbildungs-Phasen erkennbar. Eine ältere Phase ist für eine Pyrit-Arsenopyrit-Gold Paragenese verantwortlich. Die maximal 30 µm großen Goldtröpfchen, die zumeist im Pyrit enthalten sind, erwiesen sich als silberreich. Die jüngere Vererzungs-Periode wird von einer Pb-Ag-Zn-Cu-Sb-Sulfid/Sulfosalz Mineralisation gebildet, wobei die Gangart ein FeMg-Karbonat darstellt. Zwischen diesen beiden Vererzungsphasen vermittelt ein an Edelmetallen reicher Vererzungs-schub. Silberarmes Gold und Gustavit wird hier von Quarz bzw. Calcit begleitet.

Untersuchungen mit der Mikrosonde zeigten, daß die Fahlerze der jüngeren Vererzungsphase stark, das Ag-arme Gold schwach zoniert sind. Weiters konnten die stöchiometrischen Verhältnisse von Gustavit und Polybasit teilweise geklärt werden. Lediglich in der Quarzgangart konnten Fluid Inclusions untersucht werden. Es treten 5 Typen von Flüssigkeitseinschlüssen in Erscheinung, welche mit den einzelnen Vererzungsphasen correlierbar sind. Die Total-Homogenisationstemperaturen betragen 380 - 275° C bzw. 110 - 180° C bei Drucken von 0,7 - 1,3 kbar bzw. 0,4 - 0,8 kbar. Die Salinität sank im Laufe der Zeit von zunächst 11 Gew.% NaCl Äquivalenten auf 4 Gew.% und schließlich auf 1 - 3 Gew.%. Jede Fluidaktivität war mit einer rupturellen Gangtektonik verbunden. Durch "Seismic Pumping" kam es zu starken Druckschwankungen. Für die Erzausfällung sind vermutlich sinkende pT-Bedingungen, sowie ein verstärktes Hinzutreten meteorischer Wässer verantwortlich. Ein Kochen der Fluide kann aufgrund der zur Zeit der Erzbildung herrschenden Drucke als unwahrscheinlich angesehen und somit als Grund für die Erzabscheidung ausgeschlossen werden.

Literatur

BOWERS, T. S., HELGESON, H. (1983a): Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of nonideal mixing in the System H₂O-CO₂-NaCl on phase relations in geological systems: Equation of state

- H₂O-CO₂-NaCl fluids at high pressures and temperatures. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 1247 - 1275.
- BOWERS, T. S., HELGESON, H. (1983b): Calculations of thermodynamic and geochemical consequences of nonideal mixing in the system H₂O-CO₂-NaCl on phase relations in geological systems; metamorphic equilibria at high pressures and temperatures. - *Am. Mineral.*, 68, 1059 - 1075.
- FEITZINGER, G. (1989): Lagerstättenkundliche Untersuchungen an gangförmigen Gold-Silber Vererzungen der Sonnblickgruppe (Hohe Tauern, Kärnten). - Unveröff. Diss. Nw. Fak. Univ. Salzburg, 191 p.
- MAKOVICKY, E., KARUP-MØLLER, S. (1977): Chemistry and crystallography of the lillianite homologous series. Part I: General properties and definitions. - *N.Jb.Mineral.Abh.*, 130, H.3, 264 - 287.
- PAAR, W.H. (1994/95): New data on the ore mineralogies of structurally controlled gold mineralization of Salzburg and Carinthia provinces in Austria. - *Mineralogy and Petrology*, in Vorbereitung.
- POŠEPNY, F. (1880): Die Goldbergbaue der Hohen Tauern. - *Archiv für Practische Geologie*, 1, Wien (Hölder).
- ROCHATA, C. (1878): Die alten Bergbaue auf Edelmetalle in Oberkärnten. - *Jb. k.u.k. Geol.R.-A.*, 28, H. 2, 213 - 368.
- SIEGL, W. (1951): Erzmikroskopische Studie des Glaserzes vom Radhausberg bei Gastein. - *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* 2, 375 - 388.