

**MINERALOGISCHE STREIFZÜGE ZU
EPI-UND MESOTHERMALEN LAGERSTÄTTELN
ARGENTINIENS UND BOLIVIENS**

Werner H. Paar¹, Hubert Putz² & Dan Topa³

¹ Pezoltgasse 46, A-5020 Salzburg

² Friedl ZT GmbH, Rohstoff-und Umweltconsulting, Karl-Lötsch-Str.10, A-4840 Vöcklabruck

³ Naturhistorisches Museum Wien, Burgring 7, A-1010 Wien

Abstract

Ore deposits of the Ag-Sn Formation located within Argentina and Bolivia have been investigated mineralogically and geologically between 1990 and 2007. The projects were financed by the support of the National Research Councils of Austria and Argentina, respectively. The Geological Survey of Bolivia contributed through help with the logistics. The focus of the projects was to draw special attention to the occurrence of high-tech elements (Ga, In, Ge) in the ore which is being mined. The deposits of the Ag-Sn Formation are classified as epi- to mesothermal formations. They occur as veins and disseminations and are polymetallic. They are genetically related to the Tertiary volcanism of the Andes. Depending on the dominant metals and the alteration type (high sulfidation, intermediate sulfidation) gold-, gold-copper-, silver-tin- and silver deposits can be distinguished.

Starting with Argentina, the deposits of Pirquitas and El Quevar (Ag-Sn) as well as Capillitas and Famatina (Cu-Au) were investigated. The exotic ore mineralogy at Pirquitas (Ag-Sn-Zn-Pb) is dictated by the wide-spread occurrence of tin minerals (cassiterite, stannite, kësterite, ferrokësterite, hocartite-pirquitasite), tin-bearing sulfosalts (cylindrite, potosiite, teallite), tellurian canfieldite, Ag-Sb- und Ag-Bi-sulfosalts, associated with sphalerite, galena and numerous other components. Sudraite and the sulfosalt coiraite („Arsen-Franckeite“) are important carriers of tin in the ore and only known from this deposit. A wide-spread anomaly of indium is related to the presence of indium-rich sphalerite, cassiterite, petrukite and sakuraiite.

The polymetallic deposits at Capillitas, Catamarca, have been studied in detail recently (PUTZ, 2005). A significant anomaly of germanium is related to the occurrence of new mineral species such as, putzite, catamarcaite, zincobriartite and omariniite („Ge-Stannoidite“). Spectacular findings of well-crystallized gold at surface-near vein outcrops are worth to be mentioned. The vein-type deposits of the Sierra de Famatina (Mejicana and Upulungus veins) carry gold- and silver-bearing tellurides.

The selenium province at La Rioja is the largest one on earth. The prominent districts

are Sierra de Cacho (previously “Sierra de Umango”) and Los Llantenes. Mineralogically, the deposits are dominated by selenides of copper (umangite, klockmannite and berzelianite), tiemannite, clauthalite, accompanied by numerous other selenide components. The significant contents of precious metals (gold, silver, palladium, platinum) occur in minerals such as, gold, fischesserite, naumannite, eucairite and PGM’s (merenskyite, chrisstanleyite and jagüéite).

Extensive studies of deposits of the Ag-Sn- Province at Bolivia allowed new insights in their mineralogy. Details of these investigations are presented for Oruro, Porco, Potosí, Andacaba, Chocaya and Tasna. A widespread anomaly for germanium and indium was recognized at Porco for the first time. Germanium is bound to the mineral argyrodite, indium is incorporated within sphalerite and roquesite.

Ore from other Bolivian mines frequently carry sulfosalts which are responsible for their silver content. The veins San José and Itos at the famous district of Oruro contain magnificent single crystals and clusters of andorite in association with tetrahedrite-freibergite. Two new sulfosalt species, oscarkempffite and klino-oscarkempffite, belonging to the lillianite homologous series (LHS), were encountered and characterized at the Animas mine at Chocaya in association with aramayoite. Sulfosalts of the pavonite homologous series (PHS) shed some light on the complex ore composition at Cerro Bonete (mines of Bolivar and Restauradora). Large crystals of joseite A, a rare telluride, accompanied by ferberite, bismuthinite, bismuth and arsenopyrite, were discovered at Tasna. Outstanding crystals of emerald-green variscite and clinovariscite detected at Chorolque are promising news about the never-ending potential of significant findings of rare minerals in Bolivia.

The results of these investigations are convincing evidence of the complex mineralogy of deposits of the Ag-Sn Formation and the selenides. Its knowledge can help to better understand the history of their formation and provides information about the presence of valuable high-tech elements like gallium, germanium and indium.

Kurzfassung

In einem Zeitraum von 17 Jahren (1990-2007) wurden Lagerstätten der Ag-Sn Formation und Selenidvorkommen in Argentinien und Bolivien erzmineralogisch und lagerstättenkundlich untersucht. Diese Arbeiten wurden durch österreichische (FWF, ÖAW, Universität Salzburg) und argentinische (CONICET) Forschungsinstitutionen gefördert. Der geologische Dienst Boliviens (SERGEOTECMIN) unterstützte diese Aktivitäten in logistischer Hinsicht. Besonderes Augenmerk galt der Rohstoffmineralogie, vor allem in Hinblick auf seltene Elemente. Die Lagerstätten der Silber-Zinn-Formation zählen zu den epi-mesothermalen Bildungen, sind gangförmig ausgebildet und polymetallisch. Sie stehen in genetischem Zusammenhang mit dem tertiären Vulkanismus der Anden. In Abhängigkeit von den Hauptmetallen und dem Alterationstypus (high sulfidation, intermediate sulfidation) unterscheidet man Gold-, Gold-Kupfer-, Silber-Zinn- und Silberlagerstätten.

In Argentinien werden die Lagerstätten von Pirquitas und El Quevar (beide Ag-Sn-Formation) sowie Capillitas und Famatina (beide epithermale Lagerstätten des Cu-Au Typus) vorgestellt. Die Silber-Zinn-Zink-Blei-Lagerstätte Pirquitas zeichnet sich durch eine besonders komplexe Erzmineralogie aus, die durch das Auf-

treten von Zinnkiesen (Stannit, Kësterit, Ferrokësterit, Hocartit-Pirquitasit), zinn-hältigen Sulfosalzen (Kylindrit, Potosiit, Teallit), Telluro Canfieldit, Ag-Sb- und Ag-Bi- Sulfosalzen neben Sphalerit, Galenit und sehr vielen anderen Komponenten gekennzeichnet ist. Suredait und das Sulfosalz Coirait („Arsen-Franckheit“) sind wichtige Zinnträger in den Abbauerzen und bislang nur aus Pirquitas bekannt. Eine ausgedehnte Indiumanomalie ist auf indiumreichen Sphalerit und Kassiterit sowie auf indiumhältigen Petrukit sowie Sakuraiit zurückzuführen. Die polymetallischen Lagerstätten von Capillitas, Catamarca, wurden im Rahmen einer Dissertation lagerstättenkundlich und erzmineralogisch untersucht (PUTZ, 2005). Dabei wurde eine signifikante Germaniumanomalie diagnostiziert, die auf die neuen Spezies Putzit, Catamarcait, Zinkobriart und Omariniit („Ge-Stannoidit“) zurückgeführt werden kann. Spektakuläre Freigoldfunde aus unverritzten oberflächennahen Gangabschnitten sind hervorzuheben. Die gangförmigen Cu-Au-Lagerstätten der Sierra de Famatina enthalten gold- und silberhältige Telluride als Edelmetallträger.

Neu untersucht wurden die telethermalen Selenlagerstätten in der Provinz von La Rioja. Sie zählen weltweit zu den wichtigsten Anreicherungen dieses Elementes. Es wird auf die Selenvererzungen in der Sierra de Cacho („Sierra de Umango“) und von Los Llantenes eingegangen, die eine komplexe Mineralogie aufweisen. Die dominierenden Selenide sind Umangit, Klockmannit, Berzelianit, Tiemannit und Clausthalit. Die bedeutende Edelmetallführung (Gold, Silber, Platin, Palladium) ist auf Gold, Fischesserit, Naumannit, Eukairit und die PGM's Merenskyit, Chrisstanleyit und Jagüeit zurückzuführen.

In Bolivien wurden Lagerstätten der klassischen Ag-Sn-Provinz, unter Anderem Oruro, Porco, Potosí, Andacaba, Chocaya und Tasna neu untersucht. In Porco wurde erstmals eine ausgedehnte Indium- und Germaniumführung festgestellt. Erstere ist auf indiumreichen Sphalerit und Roquesit, letztere auf den Germaniumträger Argyrodit zurückzuführen.

Die Abbauerze in den anderen bolivianischen Lagerstätten sind durch das häufige Auftreten von Sulfosalzen charakterisiert, an die zumeist die Silberführung gebunden ist. Die Gänge San José und Itos des berühmten Grubenbezirkes von Oruro zeichnen sich durch monströse Einzelkristalle von Andorit und Kristallgruppen davon aus. Andorit neben Tetraedrit und Freibergit ist in vielen Gruben dieses Bezirkes dominanter Silberträger in den Erzen. Aus Chocaya (Grube Animas) werden mit Oscarkempffit und Klino-Oscarkempffit zwei neue Sulfosalz-Spezies in Paragenese mit Aramayoit beschrieben. Zur Pavonit-homologen Reihe gehören Sulfosalze der Gruben des Cerro Bonete (Bolivar und Restauradora). Am Tasna wurden große Kristalle des seltenen Tellurides Joseit A in Begleitung von Ferberit, Bismuthinit und Bismut gefunden, und vom Chorolque stammen prächtige Funde smaragdgrüner Kristalle von Variscit und Klinovariscit.

Die Forschungsergebnisse weisen auf die oft komplexe mineralogische Zusammensetzung der Vererzungen hin. Ihre Kenntnis kann eine wertvolle Hilfe bei der Beurteilung dieser Lagerstätten etwa in Hinblick auf wertsteigernde Begleitelemente (Gold, Germanium, Indium) sein.

Schlüsselwörter: *Ag-Sn-Formation, Selen, Sulfosalze, Indium, Germanium, Gallium, Argentinien, Bolivien*

EINFÜHRUNG

Im Zeitraum von 1990 bis 2007 führte eine Arbeitsgruppe am „Institut für Mineralogie“ an der Universität Salzburg unter der Leitung des Erstautors ausgedehnte Forschungsarbeiten zunächst in Argentinien, später in Bolivien, durch. Diesenlagen Übereinkommen mit CONICET, dem argentinischen Forschungsförderungsfonds, und der Universität Salta (Argentinien) sowie mit SERGEOTECMIN, dem geologischen Dienst Boliviens, zugrunde. Diese Übereinkommen („Convenios“) regelten vor allem die schwierige Logistik der Geländearbeiten in diesen Ländern, was in Salta durch Arbeitsprotokolle dokumentiert worden ist. Der Focus der Forschungen war auf die komplizierte und weithin noch kaum untersuchte Erzpetrologie und Lagerstättengeologie von epithermalen Lagerstätten (SILLITOE & HEDENQUIST, 2003) in diesen Ländern gerichtet.

In Argentinien galten die Untersuchungen den in den Provinzen Jujuy und Salta gelegenen Lagerstätten Pirquitas bzw. El Quevar, die als die südlichsten Ausläufer der klassischen Ag-Sn-Provinz Boliviens zu gelten haben. Eine zweite Gruppe betraf die Lagerstätten von Capillitas und der Famatina (beide in der Provinz Catamarca), die als epithermale Cu-Au-Lagerstätten klassifiziert werden. Ein weiterer Schwerpunkt lag in der Bearbeitung der bedeutenden Selenvorkommen von La Rioja, wo die weltweit größten Anreicherungen dieses Elementes in der Sierra de Cacho und Los Llantenes beheimatet sind.

In Bolivien wurden, basierend auf Anregungen und Wünschen des geologischen Dienstes, die Ag-Sn-Lagerstätten von Porco (mit Tornohuaico) und ausgewählte Teilebereiche der wirtschaftlich bedeutenden Verzerrungen von Oruro, Potosí (Cerro Rico), Colquechaca, Andacaba, Chocaya und Tasna in Projekte einbezogen.

Die Finanzierung der Geländearbeiten in Argentinien sowie der Laborarbeiten, die in Österreich (Salzburg und Leoben) zur Durchführung kamen, erfolgte durch zwei mehrjährige Projekte des Österreichischen Forschungsfonds (FWF-Projekte P 11987 und P 13974) und Subventionen durch CONICET, dem argentinischen Forschungsfonds. Die Projekte in Bolivien und Argentinien (Pirquitas, Rachaite) erfuhrten großzügige Unterstützung durch die Kommission für Mineralrohstoffforschung und ein Dissertantenstipendium der Österreichischen Akademie für Wissenschaften (Wien). Die Universität Salzburg stellte Mittel für Reisekosten und Auslandsaufenthalte zur Verfügung. Die Resultate der langjährigen Forschungstätigkeiten sind in mehreren Dissertationen sowie Publikationen zusammengefasst. Im Folgenden wird ein Überblick über die wichtigsten Ergebnisse der Forschungen gegeben. Die „Streifzüge“ führen zunächst zu den Lagerstätten Argentiniens (Abb. 1), anschließend zu jenen von Bolivien (Abb.2).

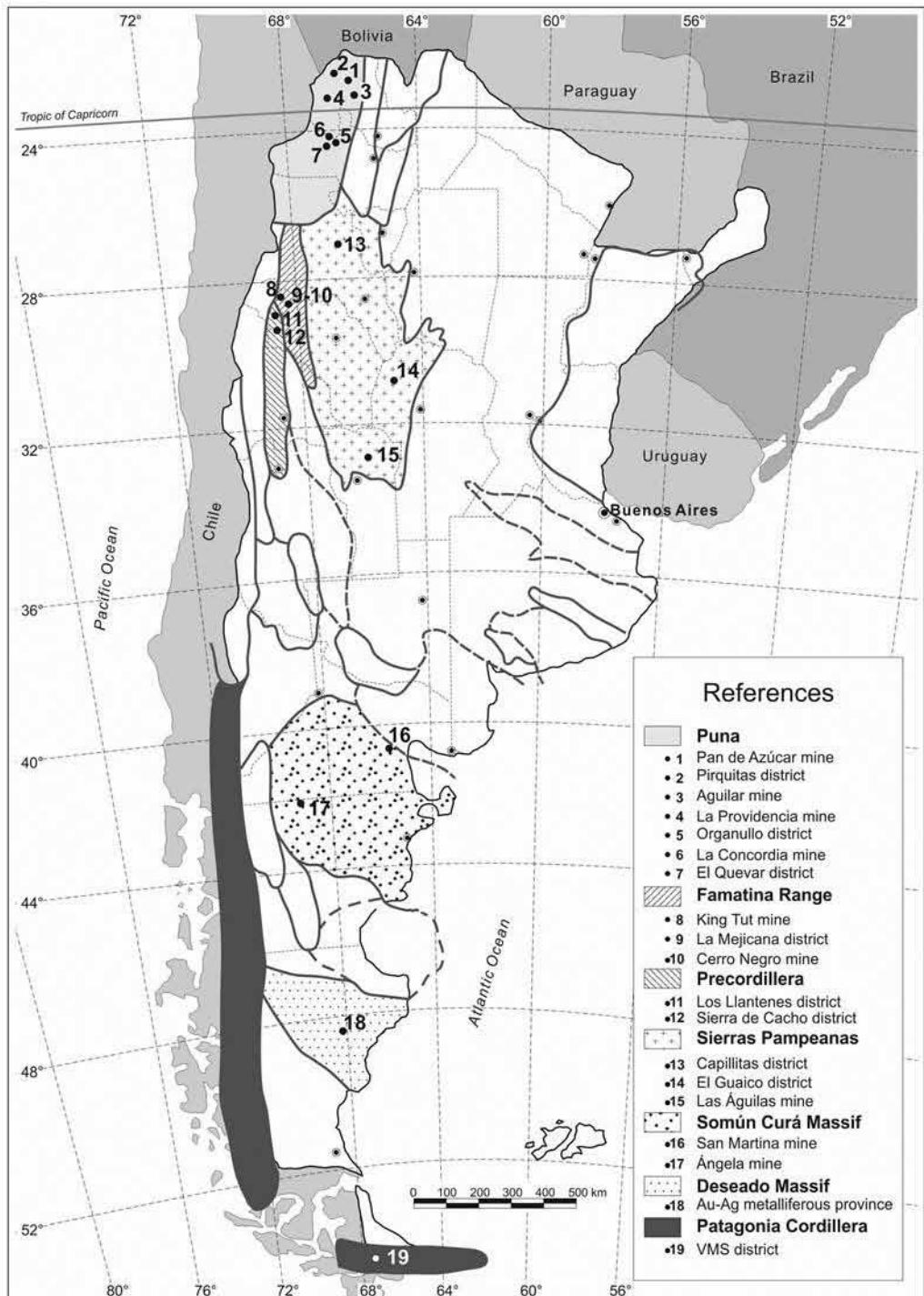
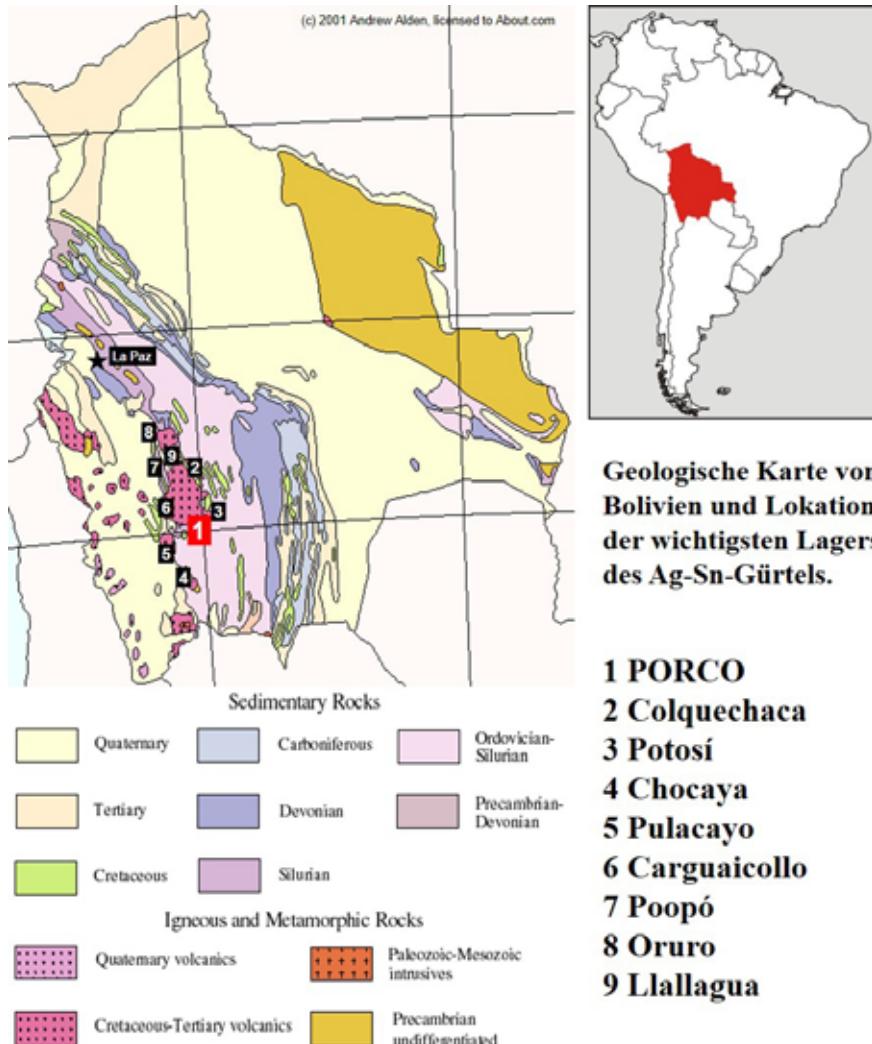


Abb. 1 Großtektonische Einheiten Argentiniens mit Lagerstätten. Neue Projektdaten liegen vor zu den Lokationen mit den Nummern 2, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 16, 17.



Geologische Karte von Bolivien und Lokation der wichtigsten Lagerstätten des Ag-Sn-Gürtels.

- 1 PORCO**
- 2 Colquechaca**
- 3 Potosí**
- 4 Chocaya**
- 5 Pulacayo**
- 6 Carguaicollo**
- 7 Poopó**
- 8 Oruro**
- 9 Llallagua**

Abb. 2 Ausgewählte Lagerstätten der Ag-Sn-Formation in Bolivien und ihre Bindung an überwiegend tertiäre vulkanische Gesteine.

LAGERSTÄTTEN IN ARGENTINIEN

Pirquitas, Jujuy

Die Lagerstätte Pirquitas befindet sich in einer geologischen Einheit, die als Puna oder (in Bolivien) als Altiplano bezeichnet wird. Die Puna gehört zusammen mit dem subandinen Gürtel und der Ostkordillere zu den drei morphostrukturellen Regionen im äußersten Nordwesten Argentiniens. Der subandine Gürtel wird durch eine frühkambrische – mittelordovizische Karbonatplattform dominiert, welche einen passiven Kontinentalrand markiert. Die Ostkordillere ist ein 70-130 km breiter „fold and thrust belt“. Hier wird das proterozoische Basement diskordant über-

lagert von paläozoischen Sedimenten, die in einem „back arc basin“ abgelagert wurden. Diese marinen Sedimente werden ihrerseits von silurisch bis devonischen Sedimenten überlagert. Spätordovizische bis devonische Kollision des Arequipa-Antofalla Basements mit dem Pampa Terrane ist für die intensiven Faltungen und Verwerfungen in Pirquitas verantwortlich.

Die Gesteine der Puna sind dieselben wie in der Ostkordillere. Proterozoische Gesteine sind dominant, wozu ordovizische Sandsteine und Pelite der Acoite Formation gehören, an die die Lagerstätte Pirquitas gebunden ist. Das tektonische Regime änderte sich allerdings im Spätmiozän mit Extension und „basin and range“ Morphologie. Das führte zur Entwicklung von andesitischen bis dazitischen Stratovulkanen und riesigen Calderastrukturen.

Die Puna hat eine Erstreckung von ca. 1800 km, eine Breite zwischen 350 und 500 km. Die mittlere Höhenlage beträgt 3650 m. Zahlreiche Edelmetall-, Buntmetall-, Sulfat-, Borat- und Chlorid-Lagerstätten sind hier bekannt, und Gegenstand einer vielfach intensiven bergbaulichen Nutzung.

Der Bergbaudistrikt von Pirquitas befindet sich im Department Rinconada der Provinz Jujuy und liegt 135 km westlich von Abra Pampa (335 km von San Salvador de Jujuy). Pirquitas ist der größte historische Produzent von Silber und Zinn in Argentinien. Es sind primäre und polymetallische Ag-Sn-Zn- und Seifenlagerstätten (Sn, Au) bekannt, die mit Unterbrechungen zwischen 1936 und 1999 abgebaut wurden. Die aufgrund intensiver Exploration durch mehrere Firmen nachgewiese-

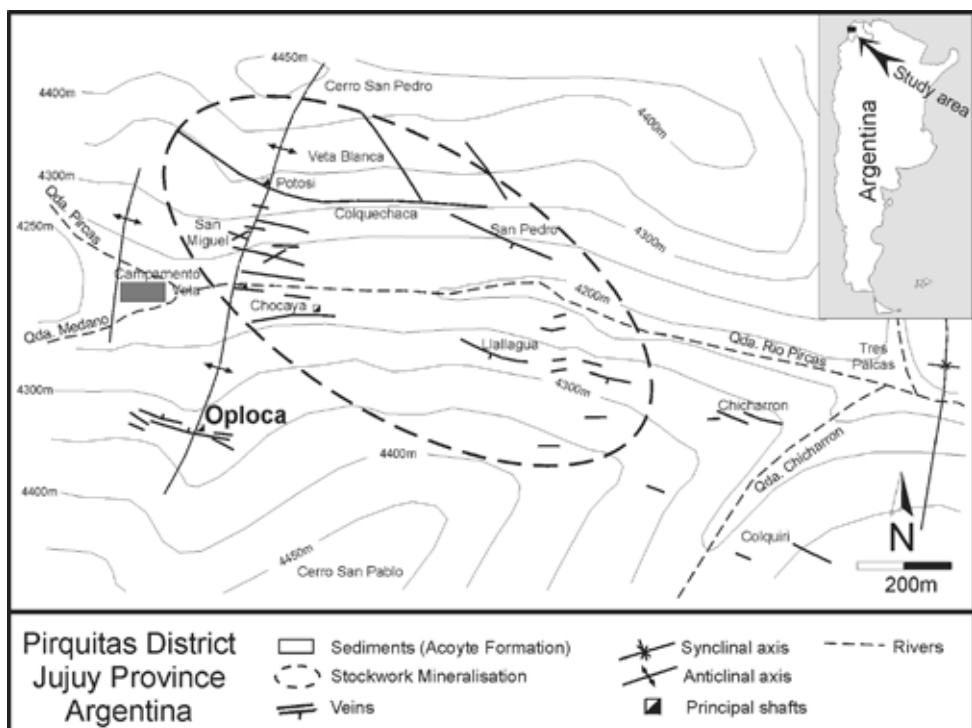


Abb. 3 Gangdistrikt von Pirquitas mit Hauptgängen. Die Reicherze von Oploca sind an der Scharung von Gangstrukturen mit der San Pedro-Antiklinale konzentriert.

nen gesicherten Erzreserven betragen (Stand 2008) 10.7 Mt bei durchschnittlichen Metallgehalten von 195 ppm Ag, 0.26% Sn und 0.70% Zn, die möglichen Vorräte 19.3 Mt mit 202 ppm Ag, 0.20% Sn und 0.90% Zn. Die Gesamtressourcen werden auf 74.2 Moz Ag, 147 Moz Sn und 18.8 Moz Zn geschätzt. Insgesamt wurden 301 Schmantbohrungen (60 000 m) und 98 Diamant-Kernbohrungen (22700 m) zum Nachweis der Erzreserven niedergebracht.

Die Mineralisation von Pirquitas ist gangförmig (AMANN & PAAR, 2001), als Stockwerk und disseminiert ausgebildet und besitzt eine horizontale Ausdehnung von 2000 m Länge und 300 m Breite; die Tiefenerstreckung übersteigt 350 m. Drei dominante Orientierungen der Gangsysteme sind nachgewiesen (Abb. 3).

Die Hauptgänge (meist benannt nach den bolivianischen Lagerstätten der Ag-Sn-Formation) sind Oploca, Potosí, Llallagua, Chocaya, Colquechaca, San Pedro und San Miguel. Sie streichen E-W, WNW-ESE, und fallen subvertikal ein. Zahllose Gänge finden sich zwischen den Hauptgang-Strukturen, was speziell im Sektor San Miguel charakteristisch ist. Hier wurde auch der Tagebau angelegt (Abb. 4).



Abb. 4 Tagebau auf die Stockwerksvererzung von San Miguel (Stand 2012), Pirquitas.



Abb. 5 Nordabhang des Oploca-Sektors mit Antiklinalstruktur, Pirquitas.

Die Scharung von Gangstrukturen mit Achsenebenen sind Zonen der Zerrüttung, wo Reicherze auftreten (AMANN & PAAR, 2001). Dies ist der Fall im Oploca-Gangsystem, wo eine vererzte Brekzie (PAAR et al., 2006a) und sie verquerende Reicherzgänge abgebaut wurden (Abb. 3). Dieses in mineralogischer Hinsicht einzigartige und reich vererzte Gangsystem besteht aus einer Serie von parallelen Extensionsgängen in der Sattelzone der Cerro San Pedro Antiklinale (Abb. 5).

Die Hauptgänge Oploca N und S können vom Ausbißbereich obertage (4370 m SH) über mehrere Zwischensohlen untertege bis auf den Oploca-Querschlag (4250 m)

Abb. 6 Aufschluß eines Erzganges (Mächtigkeit 0.5 m) im Querschlag Oploca der Sohle 9½ (Cortaveta Oploca). Die Gangfüllung besteht aus abwechselnd dunklen (Coirait-Suredait) und hellen Bändern (Sphalerit). Die Grenze zum Nebengestein ist scharf. Pirquitas.



mit zahlreichen Erzaufschlüssen beleuchtet werden (Abb. 6). Hier befinden sich die Fundpunkte von Suredait, PbSnS_3 (Abb. 7-10), und Coirait, $(\text{Pb}, \text{Sn}^{2+})_{12,5}\text{As}_3\text{Fe}^{2+}\text{Sn}_5^{4+}\text{S}_{28}$ (Abb. 7, 21) (PAAR et al., 2000a, 2008), für die Pirquitas die Typuslokalität und bislang das alleinige Vorkommen weltweit ist.

Die Mineralisation in allen Gängen von Pirquitas ist polymetallisch und durch das Spektrum von Ag, As, Au, Bi, Cd, Cu, Fe, Ga, Ge, In, P, Pb, S, Se, Sn, Te, Tl, W und Zn charakterisiert. 75 verschiedene Mineralspezies konnten bislang nachgewiesen werden. Die Vererzung erfolgte in mehreren, sich überlagernden Pulsen, was typisch für viele Lagerstätten der Ag-Sn-Formation ist. Dabei wurden vielfach Sulfide, Sulfosalze und Oxide bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen ausgefällt, was auch durch die häufigen kolloformen Absatzstrukturen dokumentiert ist.

In mineralparagenetischer Hinsicht können vier Hauptgangtypen (A-D) aufgrund ihres Mineralinhaltes unterschieden werden. Die Gänge des Typus A sind zinnreich und enthalten als Hauptkomponenten die Sulfosalze Franckit (Var. Potosiit), Kyndrit, Incit und Coirait sowie untergeordnet Zinnkiese (Mischglieder Hocartit – Pirquitasit und Rhodostannit – Toyohait). Beispiele sind der nördliche Oplocagang („Veta Oploca Norte“) zwischen den Sohlen 6 und $9 \frac{1}{4}$ (Abb. 6). Sehr reiche Ag-Sn-Vererzungen führt der Gangtypus B, mit massiven Gangfüllungen aus Hocartit mit Pyrit-Markasit (südlicher Oplocagang – Veta Oplo-



Abb. 7 Handstück (10 cm breit) mit Suredait-Coirait-Sphalerit-Erz aus dem Oploca-Querschlag, mit sehr schön symmetrischer Bänderung. Pirquitas.



Abb. 8 Drusen (Länge: 20cm) mit freistehenden Suredait-Kristallen in einem Brekzienaufschluß im Oplocasektor (Sohle 7 $\frac{1}{4}$, Teilsohle 4, Gang 4). Pirquitas.

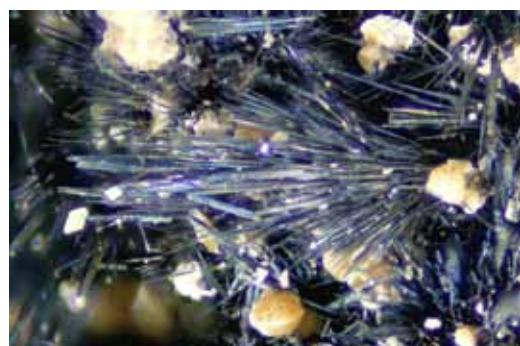


Abb. 9 Garbe von Suredait-xx (Länge: 2 cm) vom Oplocasektor, Pirquitas.

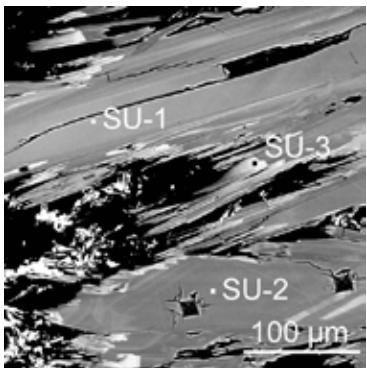


Abb. 10 Bild rückgestreuter Elektronen (BSE Image) von chemisch deutlich zonierten Suredait-Kristallen. Es lassen sich drei im Pb/Sn-Verhältnis unterschiedliche Varietäten unterscheiden (SU-1, 2, 3). Pirquitas.

(PAAR, 2007; PAAR et al., 2006b).

Die wichtigsten Silberträger in den Erzen sind: (1) Ag-(Pb)-Sb- sowie Ag-Pb-Bi-Sulfosalze (Pyrargyrit, Miargyrit, Andorit, Fizélyit, Ramdohrit und Diaphorit (Var. „Brongniardit“) (Abb. 13, 14) bzw. Benjaminit und Pavonit und (2) silberhältige Zinnkiese, die den Mischkristallreihen Hocartit, $\text{Ag}_2\text{FeSnS}_4$ – Pirquitasit, $\text{Ag}_2\text{ZnSnS}_4$ (Abb. 15, 16) bzw. Rhodostannit, $\text{Cu}_2\text{FeSn}_3\text{S}_8$ – Toyohait, $\text{Ag}_2\text{FeSn}_3\text{S}_8$ (Abb. 17, 18) angehören. Hocartit enthält mitunter Entmischungen von Ferrokësterit. Nahezu vollständige Mischkristallbildung ist zwischen Hocartit, $\text{Ag}_2\text{FeSnS}_4$, und Pirquitasit, $\text{Ag}_2\text{ZnSnS}_4$, bzw. zwischen Stannit, $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$, und Kësterit, $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, analytisch nachweisbar. Ein Teil des Silbers ist an Aramayoit und Baumstarkit (EFFENBERGER et al., 2002) bzw. Canfieldit und Te-Canfieldit gebunden. Silber und Akanthit sind in den durch den heutigen Bergbau geschaffenen Aufschlüssen kaum mehr nachweisbar, und dürften auf die oberflächennächsten Gangabschnitte beschränkt gewesen sein (PAAR et al., 1996b, 1998a).

Die wichtigsten Zinnträger in den Erzen sind Kassiterit und Zinnkiese (Stannit-Kësterit, Ferrokësterit, Hocartit-Pirquitasit bzw. Rhodostannit-Toyohait) (Abb. 15-18).



Abb. 11 Brekzienkörper mit Hohlraum (0.5 m), in dem Vererzung (Ag-Sn) und Sphalerit in schaligen, warzenartigen Bildungen vorkommt. Oplocasektor, Sohle 7 ¼, Pirquitas.



Abb. 12 Pyrargyrit in Kristallen (1 cm) in einer Quarzdruse. Pirquitas.



Abb. 13 Tafelige Andorit-xx (5 mm) in kleinen Quarzdrusen. Oplocasektor, Sohle 7 ¼, Pirquitas.

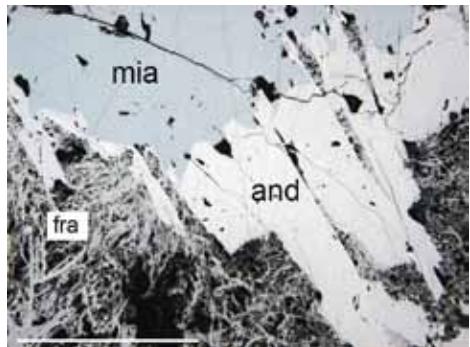


Abb. 14 Leistenförmige Querschnitte von Andorit (and) und Miargyrat (mia) werden von Franckite (fra) verdrängt. Oplocasektor, Sohle 7 ¼, Pirquitas. Anschliff OP93. Luft. 1 Polarisator.



Abb. 15 Hocartit-xx (5 mm) mit parkettierter Oberfläche werden von Pyrit-xx überwachsen. Oploca-Querschlag, Pirquitas.



Abb. 16 Hocartit (hoc) mit charakteristischer lamellarer Verzwilligung, und Entmischungslamellen von Ferrokesterit (fke). Oplocasektor, Sohle 9 ¼, Pirquitas. Anschliff OP96. Luft. x Polarisatoren.



Abb. 17 Toyohait (tombakbraun) in mm-großen pseudokubischen Kristallen mit skelettiertter Oberfläche auf einer Matrix von Kyandrit und Franckit. Oploca, Sohle 7 ¼, Pirquitas.

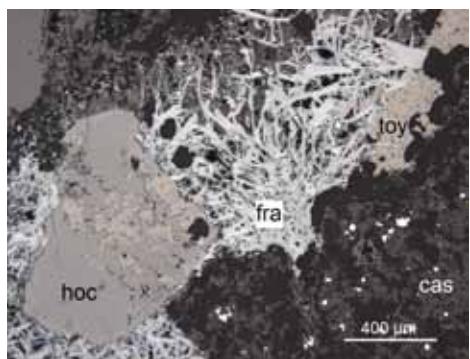


Abb. 18 In einer Matrix aus Kassiterit (cas), Pyrit (py) und Quarz ist ein idiomorphes Korn aus Hocartit (hoc), der von einem Mischkristall Toyohait (toy) – Ag-Rhodostannit verdrängt wird. Deformierte Lamellen von Franckite (fra) kristallisierten zuletzt. Oploca, Sohle 7 ¼, Pirquitas. Anschliff OP 98, Luft, 1 Polarisator.

In den Gängen des Oplocasystems sind zinnhältige Sulfosalze wie Franckit (Abb. 19), Kyllindrit (Abb. 20), Coirait (Abb. 8, 21), Suredait (Abb. 8-11) und Teallit (Abb. 22) wichtige Zinnträger-Mineralen (PAAR et al., 2001). Diese sind durch deutlich schwankenden Chemismus und Zonarbau ausgezeichnet.

Sphalerit (bis 3.6 Gew.%), Sakuraiit (bis 23 Gew.%), Petrukit (bis 1.1 Gew.%) und Kassiterit sind für den Indiumgehalt in den Erzen, Mischkristalle von Argyrodit-Canfieldit für den Germaniumgehalt verantwortlich (PAAR et al., 1996b).

Thallium ist an eine Phase gebunden, deren Charakterisierung noch im Gange ist. Sporadisch kann Freigold in einzelnen Körnern bis zu 20 µm in bismuthaltigen Paragenesen (Matildit) nachgewiesen werden.

Die komplexe Erzmineralogie der Gänge und die mitunter stark verschränkten Verwachsungsgefüge erschweren eine quantitative Abtrennung der Wertminerale, was zu Ausbringungsverlusten („loss of recovery“) führt.



Abb. 19 Rosetten tafeliger Kristalle von Franckit mit aufsitzenden Kriställchen von Wurtzit und Quarz-xx. Oploca, Sohle 7 ¼, Pirquitas.



Abb. 20 Endflächige Kristalle von Kyllindrit (2 mm), Toyohait und verstreute Franckit-Täfelchen sind auf Quarz aufgewachsen. Oploca, Sohle 7 ¼, Pirquitas.



Abb. 21 Coirait in einer 2 cm dicken Lage zeigt kolloidale Absatzstruktur. Das Nebengestein ist ein Metapelit der Acoite-Formation. Oploca, Sohle 7 ¼, Teilsohle 3. Pirquitas.



Abb. 22 Teallit in folienartigen, stark deformierten Kristallen in einem Drusenhohlraum (4 cm) in silizifizierter Matrix. Rampe im Oplocasektor, Sohle 10, Pirquitas.

El Quevar, Salta

Das Epithermal system des Incahuasi-Tales mit dem stillgelegten Ag-Pb-Zn-Bergbau Armonia und den beiden Schurfgebieten Vince und Quespejahuar liegt im südöstlichen Teil des Quevar Stratovulkankomplexes (QSC), der eine Fläche von ca. 1500 km² am Punaplateau einnimmt (ROBL, 2003; ROBL et al., 2006). Die Lagerstätten sind ca. 270 km westlich von Salta, der Provinzhauptstadt, gelegen.

Die Geologie der Region wird bestimmt durch Gesteinsabfolgen, deren Alter vom Präkambrium bis heute reicht. Das Basement besteht aus polymetamorphen präkambrischen Turbiditsequenzen, die von Trondhjemiten und Nb-Ta-Pegmatiten intrudiert werden. Diskordant darüber liegen Turbidite der Coquena Formation mit schichtgebundenen Cu-Pb-Zn-Mineralisationen. Oberordovizische Granite sind im östlichen Grenzgebiet des QSC aufgeschlossen. Vom Eozän bis zum Pliozän wurden mächtige borat- und salzführende Sedimente (Pastos Grandes Gruppe) abgelagert. Während des Miozän trat dazitischer bis andesitischer Vulkanismus entlang NW-SE streichender Korridore auf, der sich in Form mächtiger Ignimbritlagen und Stratovulkane (QSC) manifestierte. Die über 50 km² ausgedehnte Alterationszone ist über eine Vertikaldistanz von 1000 m aufgeschlossen. Kaolinisierung („argillitic alteration“), Alunitisierung („advanced argillic alteration“) und Silizifizierung sind die dominierenden Alterationstypen (Abb. 23, 24).

Die Pb-Zn-Ag-Sb-As-Vererzung ist an NE-SW bis ENE-WSW-streichende Strukturen geknüpft und tritt gangförmig und disseminiert auf. Selten sind zumeist kleinräumige Erzfälle („bolsones“) entlang der Strukturen anzutreffen. Der größte abgebaute Erzfall war bis zu 3 m mächtig und an eine silizifizierte Brekzie im Bereich der Armonia Mine gebunden (Abb. 24). Zwei erzführende Perioden können unterschieden werden (ROBL et al., 2006; ROBL, 2009). Die ältere ist durch eine Assoziation zumeist feinkörniger Silbersulfosalze und silberhältiger Sulfide wie Aramayoit (BRODTKORB & AMETRANO, 1978) charakterisiert. Zur ersten Gruppe gehören Miargyrit, Pyrargyrit, Proustit, Owyheeit, Polybasit-Pearceit, Diaphorit, Freieslebenit, Andorit, Zoubekit und Vertreter der Lillianit-homologen Serie

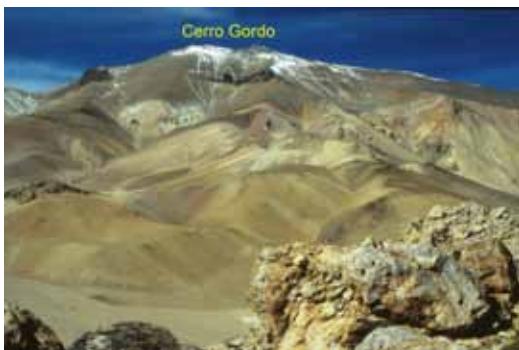


Abb. 23 Der Westabhang des Cerro Gordo (5.630 m SH) im Quevarkomplex setzt sich bis auf eine SH von ca. 5000 m aus stark alterierten Daciten und Rhyodaciten zusammen. Silizifizierung und Argillitisierung sind in wechselnder Intensität ausgeprägt. Der Gipfelaufbau (Schneefelder) besteht aus Dacit.



Abb. 24 Stark alterierter Dacit im Bereich der Armonia Mine (ca. 4500 m SH) mit Argillitisierung und Silizifizierung. Mehrere Stolleneingänge sind von der Kuppe bis zum Tälchen erkennbar. Die Aufschlüsse unterte zeigen silberreiches Gangerz.

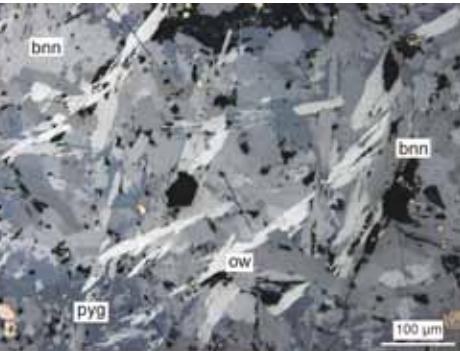


Abb. 25 Komplexe Verwachsung von Owyheeit (ow), Pyrargyrit (pyg) und Bournonit (bnn). Armonia Mine, El Quevar, Salta. Anschliff Q 234. Luft. x Polarisatoren.

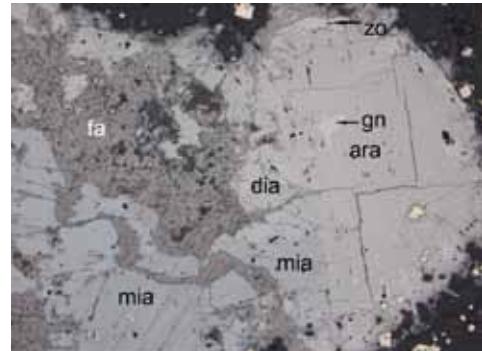


Abb. 26 Ein Aggregat von Aramayoit (ara) mit Relikten von Galenit (ga) und assoziiert mit Diaphorit (dia) und Miargyrit (mia) wird von jüngerem Famatinit (fa) durchdrungen. Randlich um Aramayoit sind Leisten von Zoubekit (zou).

(Gustavit, Eskimoit?) (Abb. 25). Begleiter sind Mischkristalle von Bournonit-Seligmannit, Galenit, Sphalerit, Tetraedrit-Tennantit und Famatinit (Abb. 26).

Mehrere Phasen plotten aufgrund der Analytik in das ternäre Diagramm $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Pb}_2\text{S}_2 - (\text{Bi}, \text{Sb})_2\text{S}_3$ und sind als unbenannte Spezies zu klassifizieren: $\text{Ag}_5\text{PbSb}_5\text{S}_{11}$, $\text{Ag}_4\text{PbSb}_4\text{S}_9$, $\text{Ag}_3\text{PbSb}_3\text{S}_7$, $\text{Ag}_5\text{Pb}_3\text{Bi}_5\text{S}_{13}$, $\text{Ag}_4\text{Pb}_3\text{Bi}_4\text{S}_{11}$. Weit verbreitet ist eine chemische Zonierung von Sulfosalzen mit variierenden Anteilen aller drei Halbmetalle (As, Sb, Bi) (Abb. 27).

Die extreme mineralogische und damit chemische Variabilität der Vererzung indiziert stark wechselnde Kristallisationsbedingungen (p , T , pH) der mineralisierenden Fluide. Jedenfalls sind die komplexen Verwachsungsbeziehungen mit stark verschränkten Strukturen der überwiegend kleinkörnigen Minerale erschwerende Parameter einer Freisetzung von Wertkomponenten.

Eine darauf folgende jüngere Bildungsphase ist nahezu silberfrei und wird durch Galenit, Sphalerit und Pb-Sb- sowie Pb-Sb-As-Sulfosalzen (Boulangerit, Robinsonit, Launayit bzw. Mischkristallen von Jordanit-Geokronit) bestimmt.

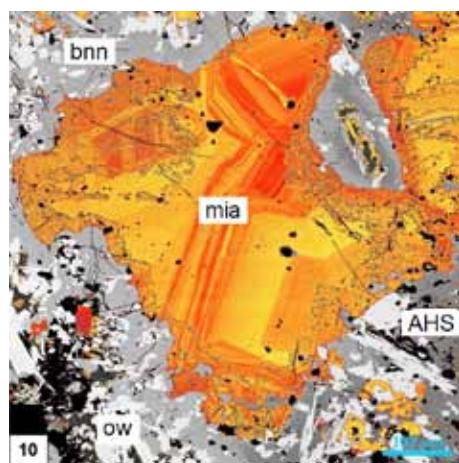


Abb. 27 Ein stark zonierte Korn von Miargyrit (mi) ist eingebettet in eine Verwachsung von Bournonit (bo), Owyheeit (ow) und Phasen der Andorithomologen Serie (AHS). Der wachstumsbedingte Zonarbau zeigt As-reiche Zonen in Gelb und Bi-reiche Zonen in Hellorange. Graphisch nachbearbeitete BSE-Aufnahme. El Quevar, Salta. Anschliff Q 236.

Julio Verne, Organullo und La Concordia, Salta

Zu den gangförmigen Lagerstätten des Distriktes von Julio Verne gehören die Schurfgebiete von Fátima, Diana und Macarena (SUREDA et al., 1994; PAAR et al. 2000c,d; PAAR et al., 2005b). Julio Verne zeichnet sich durch eine exotische Mineralparagenese aus, die durch Fahlerze (Tetraedrit-Tennantit, Goldfieldit), Luzonit-Famatinit (PAAR et al., 2009a), Bornit, Chalkopyrit, bismuthältige Sulfosalze und Zinnmineralien bestimmt ist. Goldgehalte sind nachgewiesen. Mischkristalle von Emplektit-Chalkostibit, Hodrushit, Bismuthinit und Krupkait sowie Benjaminit, Gustavit und (?) Schirmerit sind häufige Assoziationen von Sulfosalzen. Untergeordnet treten Matildit, Tetradymit, Telluro-Canfieldit und Kawazulith auf. Die mit den Fahlerzen assoziierte Zinnmineralisation besteht aus Kassiterit, Stannit-Kesterit, Stannoidit, Mohit, Kuramit und Mawsonit (SUREDA et al., 1994; PAAR et al., 2000d). Bei Schurfarbeiten in Fátima konnten Telluride (Krennerit, Petzit, Sylvanit, Melonit, Altait und Tellurobismuthit) in Begleitung von Gold nachgewiesen werden (PAAR et al., 2000c).

Die nordöstlich von San Antonio de los Cobres gelegene Ganglagerstätte La Concordia (HEIDORN et al., 2002) wurde auf 7 Teilstufen bis zu einer Teufe von 210 m abgebaut. Die blei- und zinkreiche Vererzung wird durch Galenit, Galenit-Matildit, Sphalerit, Fahlerze (Tetraedrit), Chalkopyrit, untergeordnet Arsenopyrit und Markasit dominiert. Sulfosalze (Mischkristalle von Bournonit-Seligmannit, Plagionit, Robinsonit und Zinkenit sowie Aikinit, Friedrichit, Bismuthinit, Cosalit und Gustavit bzw. Bournonit) sind gelegentliche Begleiter (PAAR et al., 2009b).

Capillitas, Catamarca

Der Capillitas Bergbaudistrikt ist Teil des Farallón Negro Komplexes (FNVC) in der Provinz von Catamarca, Argentinien (Abb. 28).

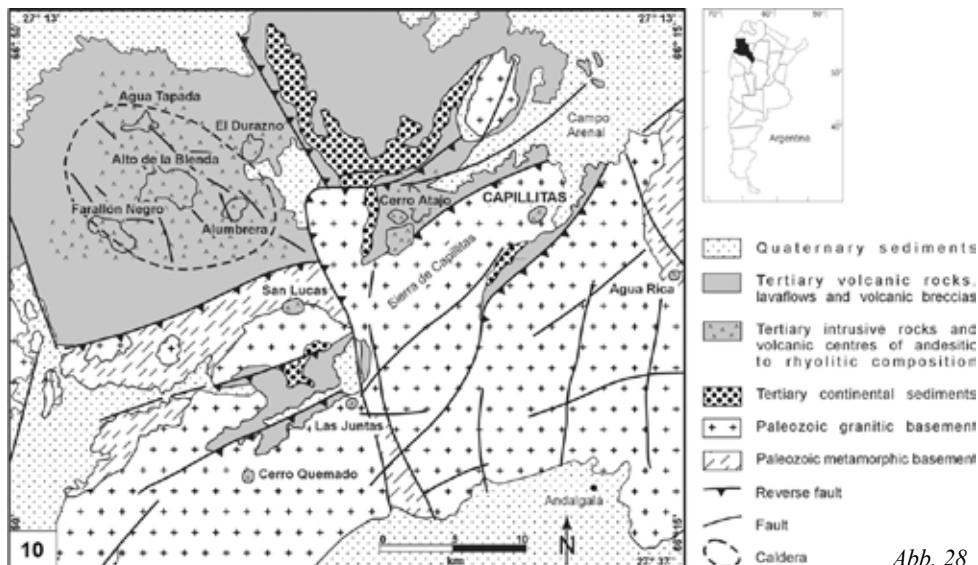




Abb. 29 Capillitas Diatrem (weiss) mit Morro Pan de Azucar, alteriert, dahinter das granitische Basement. Im Vordergrund die Bergbausiedlung.

kanischen Zentren innerhalb des granitischen Basements der Sierra von Capillitas (Abb. 29). Es setzt sich aus intrusiven und vulkanoklastischen Gesteinen (Ignimbrite, Rhyolith- und Dazitporphyre, Tuffe) zusammen und beherbergt die epithermale Ganglagerstätte Capillitas, welche vor allem durch das Vorkommen von Rhodochrosit in hochwertiger und schleifwürdiger Qualität bekannt ist. Die epithermalen Gänge setzen in alterierten Rhyolithen und Graniten auf und zeigen Merkmale, die einem „high sulfidation“ und einem „intermediate sulfidation“ Mineralisationsstadium zugerechnet werden können (Abb. 30).

Dieser besteht aus miozänen extrusiven und intrusiven subvulkanischen Gesteinen im kristallinen Basement (Metapelite und Schiefer der Suncho Formation, Capillitas Granitbatolith). Porphyry Cu-Au Lagerstätten (e.g. Bajo de La Alumbrera, Agua Rica) und epithermale Ganglagerstätten (Capillitas, Farallón Negro, Alto de la Blenda, Cerro Atajo) sind assoziiert mit den Intrusivgesteinen andesitischer, dazitischer und rhyolithischer Zusammensetzung (SASSO, 1997; SASSO & CLARK, 1998).

Das Capillitas Diatrem ist eines von vul-



Abb. 30 Erzgänge und Alteration in Capillitas.

Der polymetallische Charakter der Gänge mit dem Elementspektrum Cu, Pb, Zn, Fe, As, Sb, W, Bi, Sn, Te, Ag, Au und Ge, Cd, In, V, Ni und Tl wird durch eine sehr komplexe Mineralogie mit mehr als 150 Spezies reflektiert (BINDI et al., 2017; MARQUEZ-ZAVALIA, 1999, 1988; PAAR et al., 2004f; PUTZ et al., 2009; PUTZ et al., 2006; PUTZ, 2005; PUTZ et al., 2002a,b).

Das frühe „high-sulfidation“-Stadium (HS I) ist durch die Abscheidung von Pyrit + Enargit + Hübnerit in Quarz-reicher Gangart charakterisiert. Luzonit, Colusit-Nekrasovit, Késterit, Stannoidit und Tellur-hältige Fahlerze (Reihe Tennantit-Goldfieldit) kristallisierten etwas später. Goldfieldit ist charakteristischerweise mit Edelmetall-Telluriden wie Hessit und Calaverit-Krennerit assoziiert. Die oben genannten, früh gebildeten Zinn-Sulfide, wurden von Mawsonit verdrängt und Bismut in Form von Aikinit-Bismuthinit und komplexen Cu-Ag-Pb-Bi-Sulfosalzen (Berryit, Glieder der Cuprobismutit-homologen und Pavonite-homologen Serie) abgeschieden. Die Kristallisation von Bi-hältigem Tennantit, Wittichenit, Emplektit und Matildit beendet dieses Stadium. Dieses frühe Stadium umfasst sowohl disseminierte Erze, die das ausgelaugte Muttergestein imprägnieren oder verdrängen, als auch massive Pyritgänge.

Silberarme Fahlerze der Reihe Tennantit-Tetraedrit und eisenarmer Sphalerit leiten das späte „high-sulfidation“-Stadium (HS II) ein. Chalkopyrit und Galenit kristallisierten später und verdrängten die älteren Sulfide. Gold ist typischerweise mit Tennantit vergesellschaftet. Ag-Bi-hältiger Galenit, Lillianit-Homologe, Tetradymit, Stannit, Vinciennit, Roquesit, Seligmannit, Bournonit und Semseyit bildeten sich während dieses Stadiums; ihre exakte Position in der Abscheidungsfolge ist jedoch fraglich. Massive bis gebänderte Sulfidgänge sind eine typische Erscheinung dieser jüngeren Vererzung. Diese Paragenesen enthalten als große Seltenheit das neue Mineral Ishiharait, $(\text{Cu}, \text{Ga}, \text{Fe}, \text{In}, \text{Zn})\text{S}$ (MARQUEZ-ZAVALIA et al., 2015).

Bornit wurde am Ende des „high-sulfidation“-Stadiums im Zentralbereich der Lagerstätte gebildet. Er enthält üblicherweise zahlreiche Einschlüsse von Pyrit, Colusit-Nekrasovit, Stannoidit, Wittichenit, Tennantit-Tetraedrit-Goldfieldit, Chalkopyrit und Hübnerit, die allesamt den Stadien HS I und HS II angehören. Putzit, Thalcusit, Mawsonit und tröpfchenartige Einschlüsse von Wittichenit und Galenit kristallisierten möglicherweise kogenetisch (PUTZ et al., 2002b).

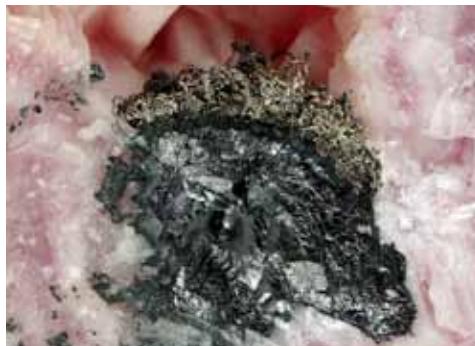


Abb. 31a Schalig ausgebildeter Argyrodit mit einer „Krone“ von Silberdrähntchen, in drusig ausgebildetem Rhodochrosit (Bildlänge 2 cm).

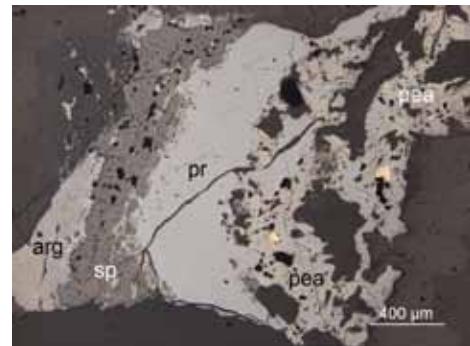


Abb. 31b Argyrodit (arg) assoziiert mit Sphalerit (sph), Proustit (pr) und Pearceit (pea) mit Einschlüssen von Chalkopyrit, in Rhodochrosit.

Die Gänge des „intermediate sulfidation“ Typus enthalten vorwiegend Galenit und Sphalerit. Rhodochrosit ist Hauptgangart. Die Santa Rita Mine enthält kleine, sehr silberreiche Reicherzfälle, die vor allem Silber, Proustit, Pearceit, Akanthit und Argyrodit als Ge-Träger führen (Abb. 31a,b).

PUTZ (2005) entdeckte hier „Arsen-Arkyrodit“, $\text{Ag}_8(\text{As},\text{Ge})\text{S}_6$, ein neues germaniumhaltiges Mineral, das in besser geeignetem Material kürzlich von Uchucchacua, einer peruanischen Silberlagerstätte, als Spryit von der IMA CNMNC anerkannt worden ist (BINDI et al., 2016a,b).

Zementationsprozesse führten zur Bildung von kupferreichen Erzen mit Bornit, Chalkosin und Digenit, welche auf den zentralen Teil der Lagerstätte in der Nähe des La Rosario Ganges konzentriert sind. Einige auf den Halden von dem Zweitautor (HP) aufgesammelte Kupferreicherz-Proben enthalten in einer Bornit-Chalkosin-Matrix vier bislang neue und Ge-hältige Spezies: Putzit ($\text{Cu}_{4.7}\text{Ag}_{3.3}\text{GeS}_6$)_{Σ8} (PAAR et al., 2004f), (Abb. 32), Catamarcait, Cu_6GeWS_8 (PUTZ et al., 2006), (Abb. 33), Zn-reicher Briartit (PUTZ, 2005) und Omariniit, (=„Ge-Stannoidit“) (PUTZ, 2005; PUTZ et al., 2006; BINDI et al., 2016c) (Abb. 34). Zinkreicher Briartit, $\text{Cu}_2(\text{Zn},\text{Fe})(\text{Ge},\text{Ga})\text{S}_4$, konnte kürzlich als neue Spezies (Zincobriartite, MCDONALD et al., 2016a) an Material der Kipushi Mine (Prince Leopold Mine), Kipushi, Katanga (Shaba), Demokratische Republik Kongo (Zaire) charakterisiert werden.

Prächtig kristallisiertes Freigold in Blechen, Drähten und Einzelkristallen bis 10 x 15 mm ist nach PUTZ (2005) ein Produkt der Zementation und an das Ausgehende des Neue Hoffnung-Ganges (Veta Nueva Esperanza) gebunden (Abb. 35). Gold wird von Quarz, Tonmineralien, Jarosit und Goethit begleitet.

PUTZ (2005) entdeckte in den Proben aus der Oxidationszone der Veta La Nueva Esperanza No. 1, ein Sekundärmineral, das von EFFENBERGER et al., (2015) als neue Spezies charakterisiert, und in Anerkennung der Verdienste von Frau Univ. Prof. Elisabeth Kirchner, Mineralogin an der Universität Salzburg, als Lislkirchne-rit, $\text{Pb}_6\text{Al}(\text{OH})_8\text{Cl}_2(\text{NO}_3)_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, von der IMA CNMNC anerkannt worden ist.

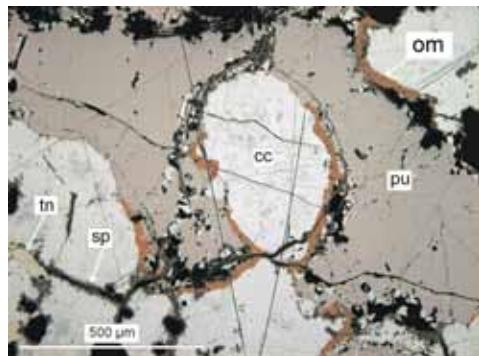


Abb. 32 Putzit (pu) mit einem dünnen Saum von Omariinit (om), und Tennantit (tn) werden durch Chalkosin (cc) verdrängt. Sphalerit (sp) ist jünger als Chalkosin. Rosario Gang, Capillitas. Anschliff CA 234. Luft. 1 Polarisator.

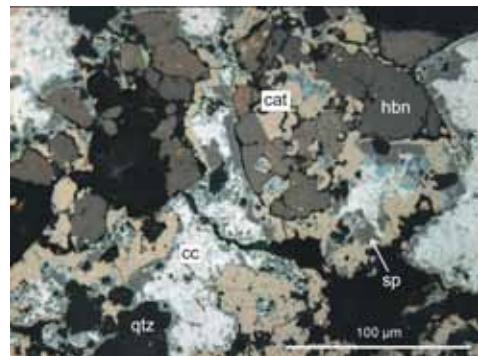


Abb. 33 Catamarcait (cat) ist verwachsen mit Hübnerit (hbn). Beide werden verdrängt durch Chalkosin (cc) mit Einschlüssen von Sphalerit (sp) und Digenit. Die „Gangart“ ist Quarz (qtz). Rosario, Capillitas. Anschliff CA 134. Luft. 1 Polarisator.

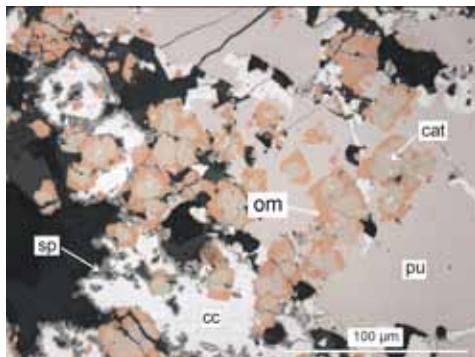


Abb. 34 Omarinit (om) ummantelt subhedrale Kristalle von Catamarcait (cat). Diese bilden Einschlüsse in Putzit (pu). Alle werden verdrängt durch Chalkosin (cc) mit jüngerem Sphalerit (sp). Rosario Gang, Capillitas. Anschliff CA 246. Luft. 1 Polarisator.



Abb. 35 Goldblech (15 mm) mit Wachstumsindikation nach {111} (growth hillocks).

Cerro Atajo, Catamarca

Die Lagerstätten des Cerro Atajo gehören zum Farallón Negro Komplex. Die gangförmigen Vererzungen treten mineralparagenetisch in zwei Gruppen auf. Die Gänge des Carmensektors enthalten eine wolframdominierte und goldführende Mineralisation mit Hübnerit, Scheelit, Pyrit, Chalkopyrit und Quarz als Gangart. Die Gänge María Eugenia, Grande Largo und Triunfo führen polymetallische Sulfiderze mit Pyrit, Tetraedrit, Galenit, Sphalerit und Gold. In geringen Mengen kommen Colusit, Bournonit, Luzonit und Zinnkiese (Késterit, Stannoidit, Mawsonit und Chatkalit) vor. Eine Besonderheit ist der Nachweis von Watanabeit, $\text{Cu}_4(\text{As,Bi,Sb})_2\text{S}_5$, in Vergesellschaftung mit Luzonit, bismuthältigem Tetraedrit und von kupferreichem, nicht substituierten Tennantit, $\text{Cu}_{12.5}\text{As}_4\text{S}_{13}$ (PAAR et al., 2002c; MAKOVICKY et al., 2005) (Abb. 36).

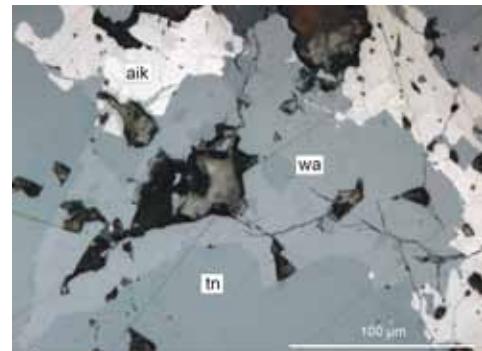


Abb. 36 Watanabeit (wa) mit Einschlüssen von Aikinit (aik) wird verdrängt durch Tennantit (tn) mit Verdrängungsresten von Luzonit (luz). Triunfo Mine, Cerro Atajo, Capillitas. Anschliff CAT 34a. Luft. 1 Polarisator.

Famatina, La Rioja

Im zentralen und südlichen Teil der Sierra de Famatina in der Provinz von La Rioja sind eine Reihe unterschiedlicher Lagerstätten bekannt. Es sind dies Cu-Mo porphyries (Abb. 37) sowie gangförmige „epithermal“, zu denen die Cu-Au-Gänge von La Mejicana („high sulfidation“), jene von Cerro Negro und La Caldera („low sulfidation“) sowie Los Bayos, Ofir, El Pararrayo und Santa Rosa zählen. Sie befinden sich in Seehöhen zwischen 2500 und 4800 m.

Der Erzdistrikt von La Mejicana, der ca. 35 km nordwestlich von Chilcito liegt, wird durch zwei Gangsysteme – San Pedro und Upulungus – dominiert. Erz mit 3-10% Cu, 8-20 ppm Au und 70-300 ppm Ag wurde hier bis 1925 gewonnen. Die dominanten Lithologien sind ordovizische Metasedimente der Negro Peinado Formation, die von devonischen Graniten der Nuñorco Formation und Daziten der tertiären Mogote Formation intrudiert wurden. Die Alteration der Intrusiva mit K-Silikat-Metasomatose, Quarz-Serizit-Bildung, Alunit- und Tonmineral-Paragenesen führte zur Bleichung der dunkelgefärbten Gesteine der Negro Peinado Formation und hat eine Ausdehnung von über 50 km² (Abb. 38).

Die Erzmineralogie des La Mejicana Gangsystems ist sehr komplex. LOSADA-CALDERÓN (1992) und LOSADA-CALDERÓN & MCPHAIL (1996) unterscheiden drei unterschiedliche Vererzungsphasen. Untersuchungen durch BRODT-KORB & PAAR (2002, 1993a, 1987) und PAAR et al. (1998b, 1997) zeigen die



Abb. 37 Gebleichte (alterierte) Bereiche einer indizierten porphyry Cu-Mo Mineralisation. Die Stützen der Materialseilbahn zwischen Chilcito (im Hintergrund) und dem Bergbau von La Mejicana sind zu erkennen.



Abb. 38 Die Nebengesteine der Gangvererzung von La Mejicana zeigen Alteration mit Bleichungen, die auf Silizifizierung, Tonmineralalteration und Alunitisierung zurückzuführen sind.

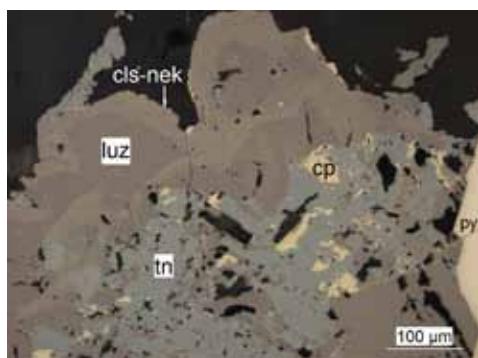


Abb. 39 Mischkristalle von Colusit – Nekrasovit (cls-nek) verdrängen eine Verwachsung von Luzonit (luz)-Tennantit (tn) mit Einschlüssen von Chalkopyrit (cp). Upulungus Gang, La Mejicana, Famatina. Anschliff FA 345/1. Luft. 1 Polarisator.

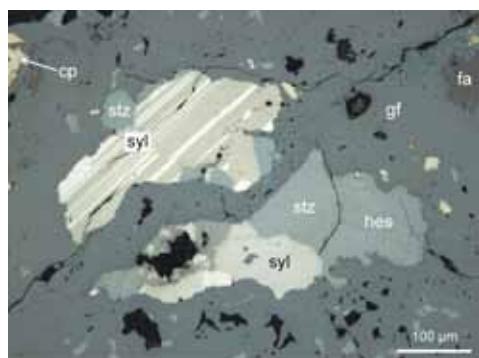


Abb. 40 Telluride (syl Sylvanit; stz Stützit; hes Hessit) in Goldfeldit (gf), der inselartige Einschlüsse in Famatininit (fa) – Chalkopyrit (cp) bildet. Banco de Nación Halde, Upulungus Gang, La Mejicana, Famatina. Anschliff FA 345/1. Luft. 1 Polarisator.

Vorherrschaft von Mischkristallen der Reihen Enargit-Stibioenargit bzw. Luzonit-Famatinit in Paragenese mit Fahlerzen (Goldfieldit und teilweise bismuthältige Glieder von Tetraedrit-Tennantit) und Chalkopyrit. Andere Begleiter sind Aikinit, Bornit, Colusit, Sb-Colusit, Covellin (in z.T. grobblättrigen Aggregaten), Galenit, Hemusit, Hübnerit, Molybdänit und Sphalerit (Abb. 39).

Die Edelmetallgehalte sind (1) auf die Präsenz von Gold, Uytensogaardit, Akanthit und Pearceit und (2) auf gold- und/oder silberhältige Telluride (Sylvanit, Krennerit, Calaverit, Stützit und Hessit) zurückzuführen (PAAR et al., 1998b) (Abb. 40).

Die Selenvorkommen von La Rioja

Die weltweit bedeutendste Konzentration von Selen in Erzlagerstätten ist in der Provinz La Rioja, wo in drei Distrikten Selen in Verbindung mit Kupfer, Blei, Quecksilber und Edelmetallen (Au, Ag, PGE) in zahlreichen, zumeist aber kleinen Vorkommen dokumentiert ist (BRODTKORB & CROSTA, 2010) (Abb. 41, 42).

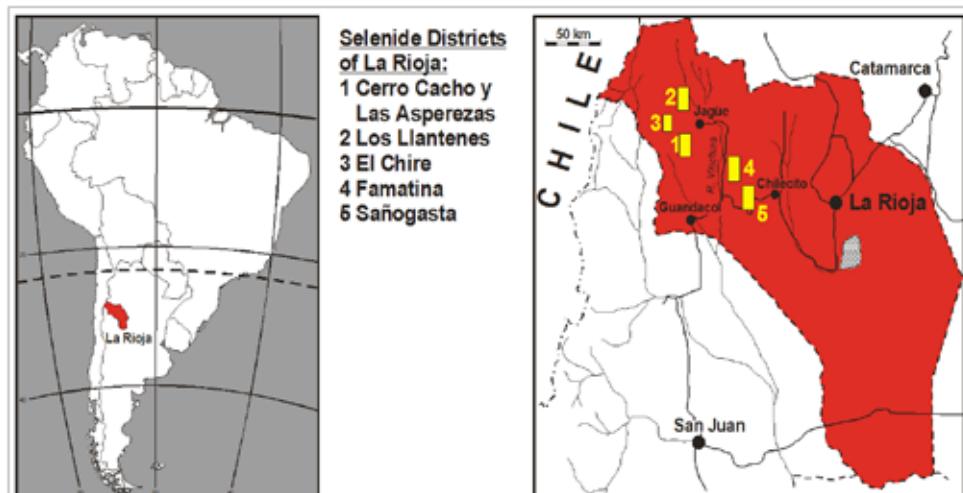


Abb. 41 Vorkommen von Seleniden in Distrikten von La Rioja, Argentinien.

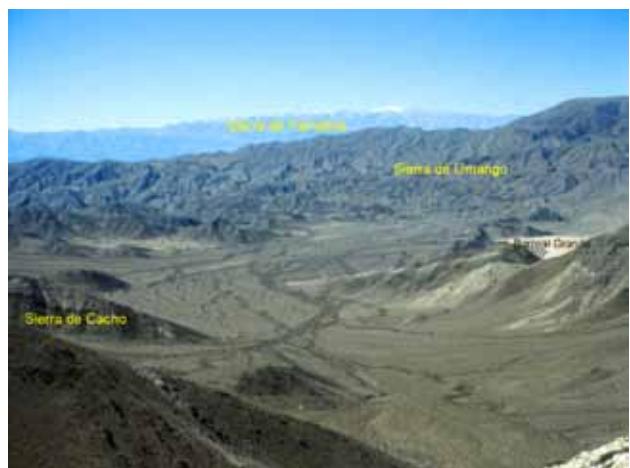
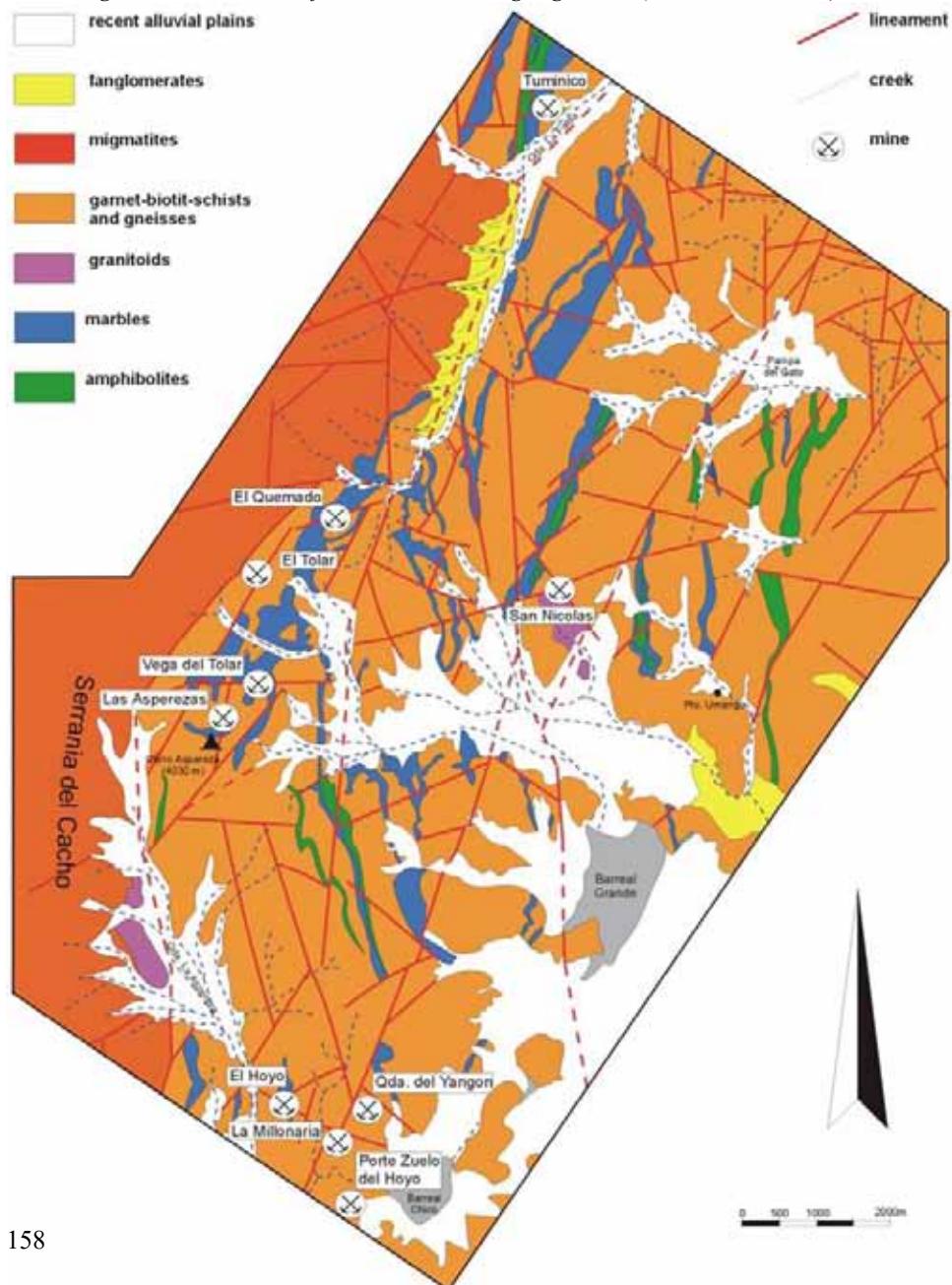


Abb. 42 Sierra de Cacho mit deformierten Lagen von Karbonaten (im Bild unterhalb Barreal Grande), und den Sierren von Famatina und Umango (ohne Selenidvererzungen).

Die Selenvererzungen treten in metamorphen Gesteinen (Marmore, Amphibolite, Glimmerschiefer, Orthogneise) der Sierras Pampeanas, dem präkambrischen Basement des Prækordillere Terranes auf. Die Lagerstätten sind in drei Distrikten konzentriert: Sierra de Cacho, Los Llantenes (mit El Chire) und Sierra de Famatina (mit Santa Brígida („Sañogasta“) und San Francisco bei Puerto Alegre). Die Selenvorkommen in der Sierra de Cacho (GUERRERO, 1969) lassen sich in einen nördlichen Teil (mit Pichanas und Tumiñico), einen mittleren Abschnitt (mit Las Asperezas, El Quemado, El Tolar und Vega del Tolar) und in einen südlich gelegenen Sektor (mit La Millonaria, El Hoyo, Portezuelo del Hoyo und Quebrada del Yangón) gliedern (Abb. 43).

Abb. 43 Selenvorkommen in der Serranía del Cacho (Sierra de Cacho). Alle Vorkommen sind an Marmore gebunden, die in Schiefern und Gneisen eingelagert sind (GUERRERO, 1969).



Es ist bemerkenswert, daß in der Sierra del Umango, nach der das Kupferselenid Umangit, Cu_3Se_2 , benannt worden ist (Abb. 44), keine Selenvorkommen nachgewiesen werden konnten (BRODTKORB & CROSTA, 2010).



Abb. 44 Umangit-Gang (1 cm) mit Malachit in alteriertem Amphibolit mit Hämatit und breziertem Marmor. Tumiñico, Cerro Cacho, La Rioja.



Abb. 45 Geringmächtiger und tagnaher Gang (5 cm, Geologenhammer) mit Seleniden (Tiemannit-Naumannit) von El Chire, Jagüé, La Rioja.

Die Selenvererzungen sind strukturkontrolliert (AMANN et al., 1999) und an Calcit-dominierte Gänge gebunden (Abb. 45). Die heute noch auffindbaren Aufschlüsse lassen erkennen, daß zu Zeiten des Bergbaues oder Schurfbetriebes bis einen Meter mächtige Reicherzkörper abgebaut wurden, die Selenide in größerer Konzentration enthielten. Die Ausdehnung im Streichen und Einfalten war aber in allen Fällen auf mehrere Meter bis Meterzehner beschränkt. Die Rücklässe sind fast immer bescheiden, und nur in Ausnahmsfällen sind noch größere Erzbutzen, Erzgängchen und disseminiertes Erz nachweisbar.

Die Selenvererzungen von Los Llantenes (BRODTKORB et al., 1993b; PAAR et al., 2000b; PAAR et al., 1996a,c; RAMACCIONI & OLSACHER, 1962; TOSEL-LI & ACEÑOLAZA, 1971) mit den Gruben San Pedro, La Ramada, El Portezuelo, Clemente, Luis, Las Champas, El Yuyo, Mónica, Virgen del Carmen und El Chire zeigen ähnliche Charakteristika wie jene der Sierra de Cacho. Die Dimensionen von Schurfstollen, Schächten und die kleinen erzarmen Halden bezeugen relativ unbedeutende Bergbauaktivitäten.

Die Mineralogie der Selenvererzungen (Abb. 46) wird durch das Vorherrschen von Kupferseleniden (Umangit, Klockmannit und Berzelianit) bestimmt. Einzelne Vorkommen sind durch lokale Anreicherungen von Tiemannit und Clausthalit ausgezeichnet. Eine Ausnahme bildet die Grube Tumiñico (Abb. 47) wo eine Vielzahl

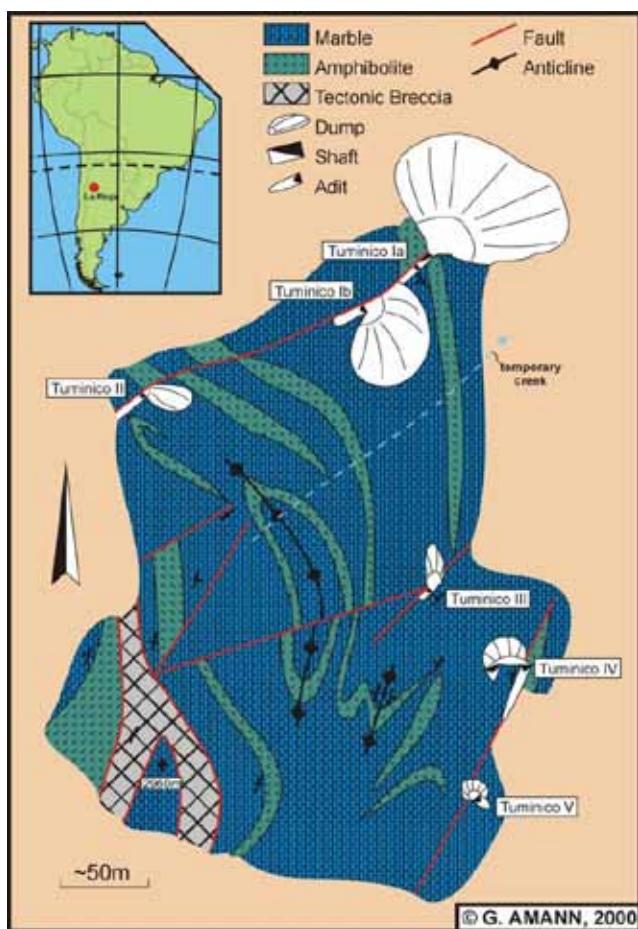
SPECIES	LOCATION						
	La Millinaria	Yangon	Las Asperezas	El Quemado	Tuminico	Pichanas	El Chire
Uraninite UO_2	XX	XX					
Morenskyite PdTe_2			XX				
Christanleyite $\text{Ag}_2\text{Pd}_3\text{Se}_4$							XXX
Jagueite $\text{Cu}_2\text{Pd}_3\text{Se}_4$							XXX
Umagite Cu_3Se_2	XX	XXXX	XXXX	XXX	XXXX	XXXX	X
Klockmannite CuSe	XXX	XXX	XXX	XX	XXX	XX	X
Berzelianite Cu_2Se	XXXX						
Bellidoit Cu_2Se					XX		
Krutaite $(\text{Cu},\text{Co},\text{Fe})\text{Se}_2$					X		
Eskebornite CuFeSe_2				XX	X		
Ferroselite FeSe_2				XXX	XX		
Trotalite $(\text{Co},\text{Cu},\text{Fe})\text{Se}_2$				X	X		
Tiemannite HgSe							
Hakite $(\text{Cu},\text{Hg})_2\text{Sb}_2\text{Se}_3$					X		
Brodtkorbit Cu_2HgSe_2					XX		
Cadmoselite CdSe					XX		
Crookesite $\text{Cu}_7(\text{Ta},\text{Ag})\text{Se}_4$					XX		
Bukovite $\text{Ti}_2(\text{Cu},\text{Fe})_4\text{Se}_4$					XX		
Chameanite $(\text{Cu},\text{Fe})_4\text{As}(\text{Se},\text{S})_4$					XX		
Clausthalite PbSe	XX			X	XX		XX
Eucairite CuAgSe	X	XX	XXX	XX	XX	X	
Naumannite Ag_2Se			XXX			XX	XXXX
Fischesserite AgAuSe_2			XX				
Native Gold (Au,Ag)			XX				XXX
Chalcocite Cu_2S		XXXX		XX	X		
Digenite Cu_3S_2		XXX		XX			
Covellite CuS		XXX		X			
Bornite Cu_5FeS_4				XX			
Chalkopyrite CuFeS_2					X		
Native Selenium Se							
Chalcomenite $\text{CuSeO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	XXXI	X	XXX	XX	XXX	XX	XXX

XXXX common; XXX less common; XX minor; X traces

Abb. 46 Selenvorkommen in La Rioja und deren mineralogische Zusammensetzung.

von seltenen Seleniden (Bellidoit, Chaméanit, Crookesit, Eskebornit, Ferroselit, Hakit, Trogtalit-Krutait Mischglieder und Tyrrellit) nachgewiesen werden konnte. Von hier wurde auch das neue Mineral Brodtkorbit, Cu_2HgSe_2 , beschrieben (PAAR et al., 2002a) (Abb. 48). Die Charakterisierung unbenannter Phasen in den Systemen Cd-(Cu)-Hg-Se bzw. (Co,Ni,Cu)-As-Se scheiterte bislang an den ungenügenden Korngrößen dieser Minerale.

Abb. 47 Geologie von Tumiñico mit Lokationen der wichtigsten Grubenbaue. Das Nebengestein der Selenide ist überwiegend Marmor mit Einschaltungen von Amphibolit. Die Selen-verzerrungen sind an NE bis NNE streichende Störungen gebunden.



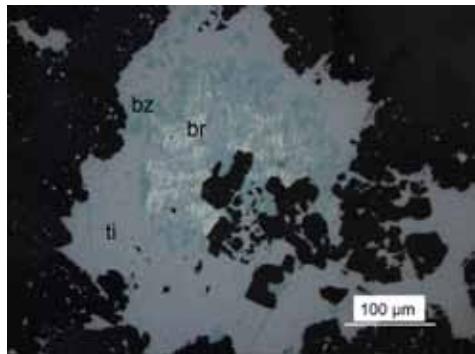


Abb. 48 Brodtkorbit (br) in Paragenese mit Berzelianit (bz) in Tiemannit (ti). Tumiñico, Cerro Cacho, La Rioja. Anschliff TU 97/6. Luft. I Polarisator.

Die meisten Selenvererzungen enthalten die Silberträger Eukairit, AgCuSe und Naumannit, Ag_2Se , derentwegen sie in der Vergangenheit beschürft bzw. abgebaut wurden. Die Goldgehalte sind auf Gold-Silber-Legierungen und Fischesserit, Ag_2AuSe_3 , zurückzuführen (PAAR et al., 1996a) (Abb.49).

Die in zwei Vorkommen (El Chire und Las Asperezas) nachgewiesenen Pd- und Pt-Gehalte sind an die Platingruppen-Minerale Chrisstanleyit, $\text{Ag}_2\text{Pd}_3\text{Se}_4$,

dem Cu-Analogon Jagüéit, $\text{Cu}_2\text{Pd}_3\text{Se}_4$, und Merenskyit, PdTe_2 , gebunden (PAAR et al., 2004b,d, 2002b) (Abb. 50).

Eine unbenannte Phase hat die chemische Formel $(\text{Ag,Cu})_6\text{Hg}_2\text{Pd}_2\text{Se}_3$ (PAAR et al., 2004a,b,c).

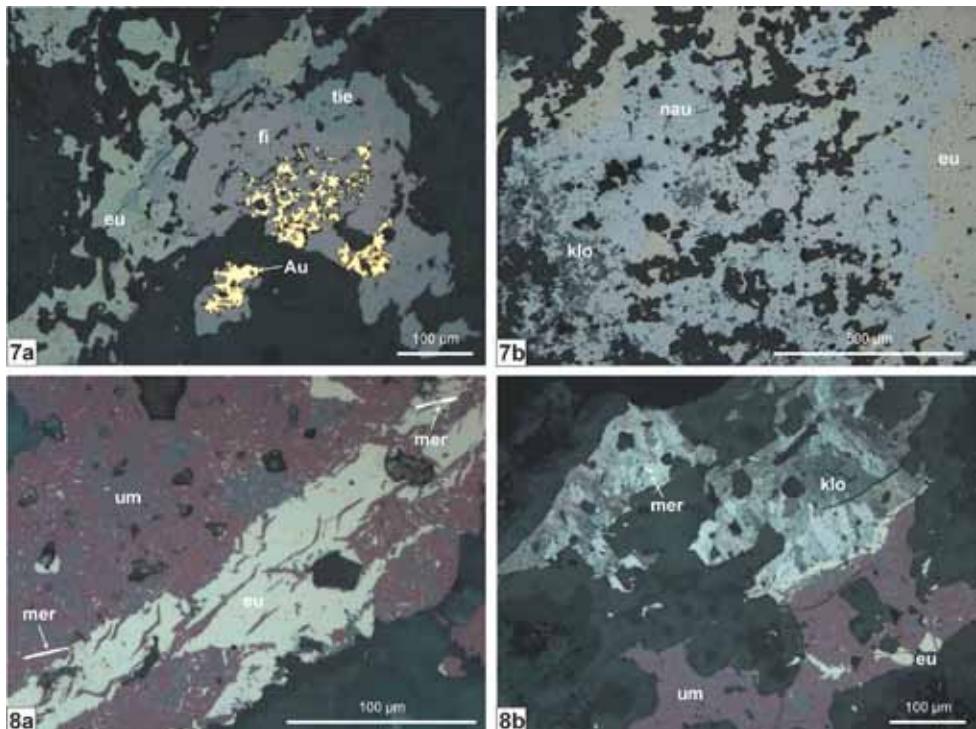


Abb. 49 Die Edelmetallführung (Au, Ag, PGE) ist auf Gold (Au), Fischesserit (fi), Eucairit (eu), Naumannit (nau) bzw. Merenskyit (mer) zurückzuführen. Die Begleiter sind Klockmannit (klo), Umangit (um) und Tiemannit (tie). Las Asperezas Mine, Sierra de Cacho, La Rioja.

Die Selenidmineralisationen von anderen Selenvorkommen außerhalb Argentiniens werden von SIMON et al. (1997) genetisch den telethermalen Lagerstätten zugerechnet. Ein Genesemodell, das von selenreichen und oxidierenden Fluiden im Stabilitätsfeld des Hämatits ausgeht, wird angenommen. Die Herkunft der Metalle ist nach wie vor nicht bekannt. Die häufige Bindung der Selenvererzungen an Amphibolite deutet auf einen genetischen Zusammenhang hin. Doleritgänge im Bereich der Selenidvorkommen von El Tolar, Sierra de Cacho, sind in ihrer Relation zu den Selenvorkommen noch zu interpretieren.

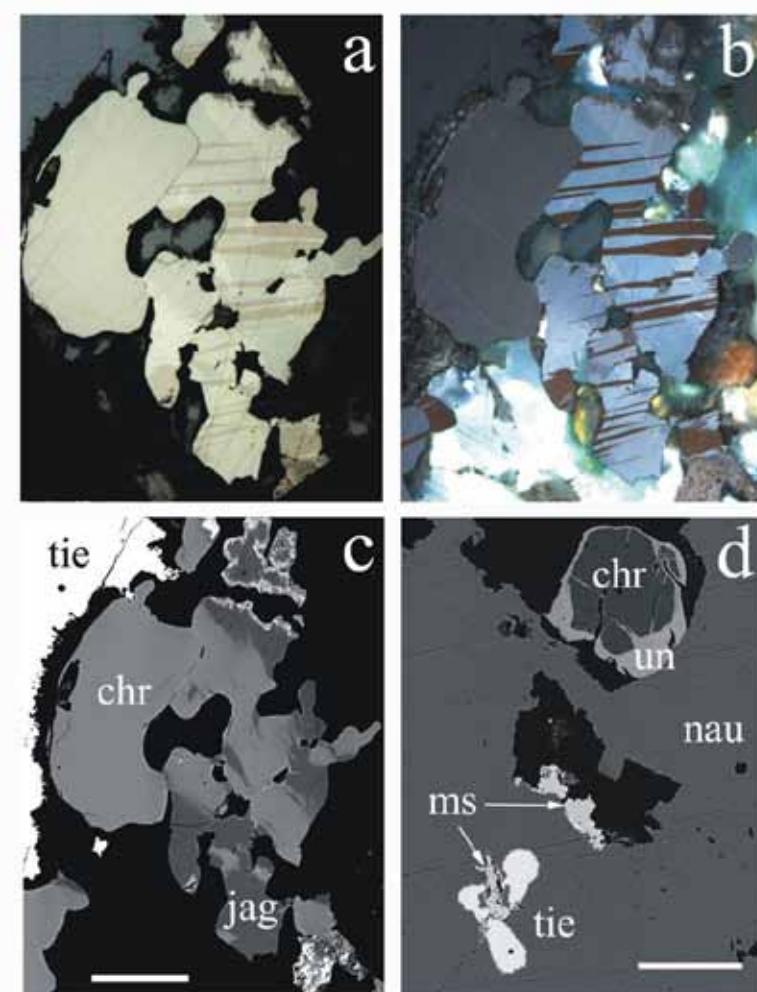


Abb. 50 Orientierte Verwachsung von Jagüéit (jag) und Chrisstanleyit (chr), beide mit gleich orientierter Zwillingslamellierung. Begleiter sind Tiemannit (tie), Naumannit (nau), Moschellandsbergit (ms) und eine unbenannte Phase (un). El Chire, Jagüé, La Rioja. Anschliff EC 2002, 1 bzw. x Polarisator(en) (a,b); BSE Aufnahmen (c,d). Balkenlänge 50 µm.

LAGERSTÄTTEN IN BOLIVIEN

Oruro-Huanuni-Poopó

Die Gänge Itos und San José in **Oruro** (AHLFELD & SCHNEIDER-SCHERBINA, 1964; KEMPFF et al., 2009, 2003) liefern reiche Silber- und Zinnerze, wobei als Silberträger Andorit dominiert. Dieses Sulfosalz wurde in spektakulären Kristallen (bis 10 cm Größe) und Kristallgruppen angetroffen (Abb. 51). Die Abbauerze enthalten als weitere Silberträger Ag-Tetraedrit und Miargyrit, die von Sulfosalzen (Boulangerit, Zinkenit, Plagionit, zinnhaltigem Jamesonit, Jordanit und Geokronit) begleitet werden (Abb. 52). Kassiterit, Zinnkiese (Stannit-Kësterit und Rhodostannit) sowie Franckeit sind die wirtschaftlich wichtigen Zinnminerale (Abb. 53). Jamesonit enthält zwischen 3 und 7, im Mittel 5.4 Gew. % Zinn.

In der Goldlagerstätte **Kori Kollo** bei Oruro wurden lokal Nester von Sulfosalzen entdeckt, die neben Bournonit grobstrahligen, bismutreichen Jamesonit (7.7 Gew. % Bi) führen.

Die Ag-Sn- Erze der Grube **Bolívar** unweit von Oruro enthalten im Erzgang Poma-bamba (- 260 m Sohle) als Silberträger Pyrargyrit, Miargyrit, Fizelyit und Diaphorit in Begleitung von Boulangerit sowie Zinnkies und sporadisch Franckeit.

Die Grube María Francisca bei **Huanuni** baut auf zinkreiche Silbererze, die Pyrargyrit-Miargyrit, Zinnkiese (Stannit-Kësterit-Ferrokësterit) und Jamesonit in langstrahligen Aggregaten führen.

Der kleine Bergbau von San Francisco bei **Poopó** baut auf komplexe Silber-Zinn- erze, die i.W. aus Andorit, Ag-Rhodostannit, Stephanit und Jamesonit bestehen. Anbrüche von Kylindrit sind auf kleinräumige Erzfälle beschränkt.



Abb. 51 Andorit-Kristall („floater“), Größe: 10 cm, und nadelige Zinnwalditekristalle. Itosgang, Oruro, Bolivien.



Abb. 52 Plagionit, Gruppe (4 cm) tafeliger Kristalle mit Jamesonit und Zinnwaldite. San José Mine, Oruro, Bolivien.



Abb. 53 Franckeit-Kristalle. San José Mine, Oruro, Bolivien. Ausschnitt: 2 x 1.4 cm.

Porco

Die Ganglagerstätte Porco (Ag-Pb-Zn) zählt zu den großen, derzeit in Betrieb befindlichen Ag-Pb-Zn-Lagerstätten Boliviens. Mehrere Aufenthalte in den Jahren 2001-2005 dienten der Untersuchung einer im Zuge der montangeologischen Bearbeitung festgestellten Germanium- und Indiumanomalie in der Lagerstätte (PAAR, 2007; PAAR et al., 2004g; PAAR & PUTZ, 2005a; PAAR et al., 2006c).

Die Lagerstätte Porco befindet sich etwa 35 km südwestlich der Stadt Potosí in der Cordillera Oriental in Südwestbolivien (Abb. 54). Geologisch handelt es sich um einen Calderakomplex mit zwei dazitischen Hauptintrusionsstöcken, dem Cerro Apo Porco und dem Cerro Huayna Porco (Abb. 55). Diese intrudierten in einen Schwarzschiefer ordovizischen Alters, der diskordant vom kretazischen Sandstein der Toro Toro Formation überlagert wird. Die Calderafüllung besteht im Wesentlichen aus dem dazitischen Porco-Tuff, der hohe Gehalte von Porphyroklasten (Biotit, Quarz, Sanidin, Plagioklas) aufweist, daneben noch mitgerissene Klasten des unterlagernden Schwarzschiefers. Die beiden Stöcke sind unterschiedlichen Alters (Apo Porco 12 Ma, Huayna Porco 8,6 Ma). Die Caldera ist grob kreisförmig mit einem Durchmesser von 3-4 km, etwa mittig darin befindet sich der Stock des Huayna Porco, am südlichen Rand gelegen jener des Apo Porco.

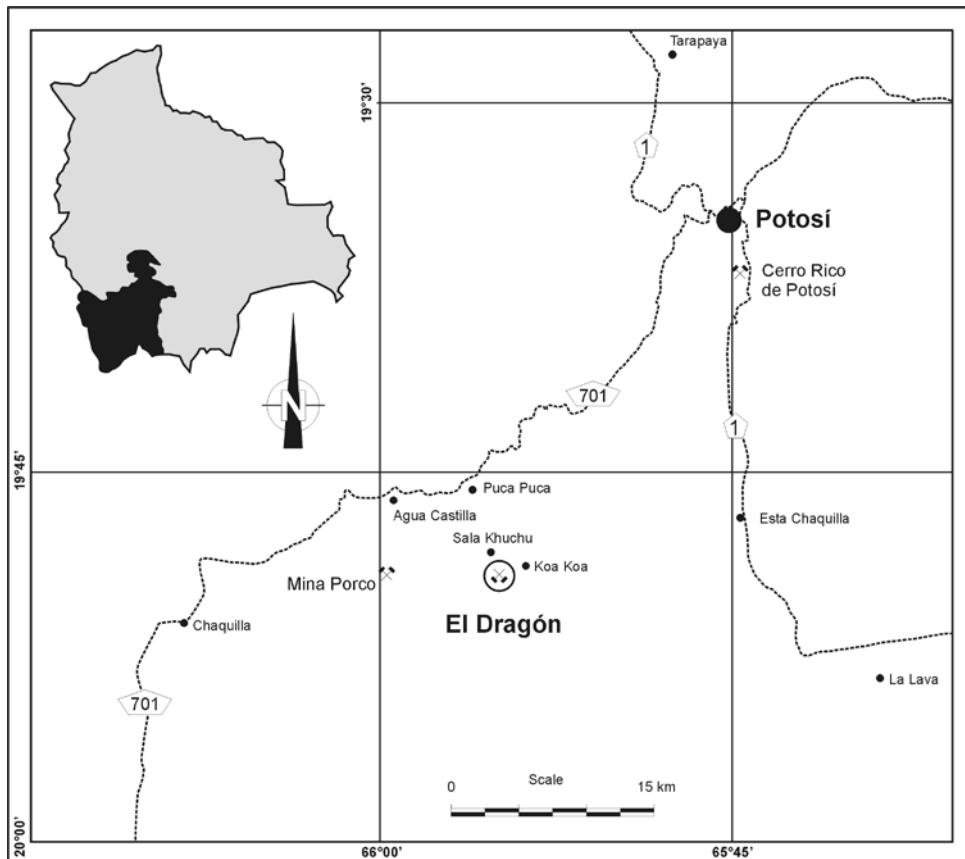


Abb. 54 Lage der Grube Porco und der Selen-Mine El Dragón SW von Potosí.

Die Lagerstätte ist eine strukturgebundene, gangförmige Vererzung innerhalb des Calderakomplexes und folgt i.W. den radialen und konzentrischen Störungen der Caldera. Die moderne Grube der Bergbaufirma Glencore plc befindet sich in dem Tal zwischen dem Apo Porco und dem Huayna Porco auf einer Basishöhe von 4100 m SH.



Abb. 55 Das Bergaugebiet von Porco mit der Bergbausiedlung Agua Castilla und den Intrusionsstöcken Huayna und Apo Porco. Die Veta Hundimiento ist der silberreichste Teil der Lagerstätte.

Der von Glencore plc abgebau te Haupterzgang ist der Gang „San Antonio Principal“, der auf 9 Sohlen angefahren wurde und somit eine große Teufenerstreckung besitzt (Abb. 56). Der Gang weist auf allen Sohlen das gleiche Erscheinungsbild auf: randlich massiver, grobkristalliner, schwarzbrauner Sphalerit, dann eine oder mehrere Lagen von derbem Pyrit und mittig noch eine Lage von hellerem, fein gebändertem Sphalerit mit kolloformer Ausbildung. Greenockitführung ist verbreitet. Die Mächtigkeit schwankt von 0.5 bis ca. 1 m, an einigen Stellen werden 6 m erreicht. Das umgebende Gestein ist alterierter Porco-Tuff, der stockwerkartig von feinen Sphaleritgängchen durchzogen ist. Wechselnde Gehalte von fein disseminiertem Pyrit, Arsenopyrit und Galenit sind die Begleitsulfide. Brekzien und kokardenähnliche Strukturen sind häufig anzutreffen (Abb. 57).

Der zweite und sehr silberreiche Lagerstättengang ist die Veta (=Gang) Hundimiento, der von den „cooperativas“, das sind Zusammenschlüsse lokaler Bergleute, abgebaut wird. Dieser Erzgang wurde in drei übereinanderliegenden Stollenhorizonten (Santiago bajo, Santiago alto, Santiago mas alto) zwischen 4100 und 4200 m

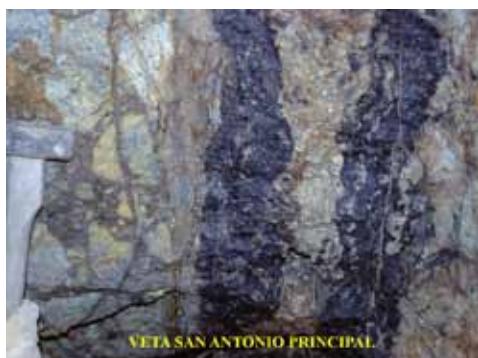


Abb. 56 Pb-Zn-(Ag) reicher Erzgang (Mächtigkeit: 0.3 m) mit symmetrischer Struktur. Das brekzierte Nebengestein enthält eine stockwerksartige/imprägnative Zinkvererzung.

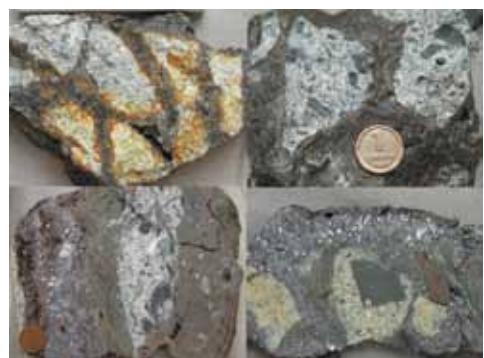


Abb. 57 An brekziertes Nebengestein geknüpfetes Pb-Zn-Erz. Die Hauptsulfide sind Sphalerit (mehrere Generationen) und silberreicher Galenit.

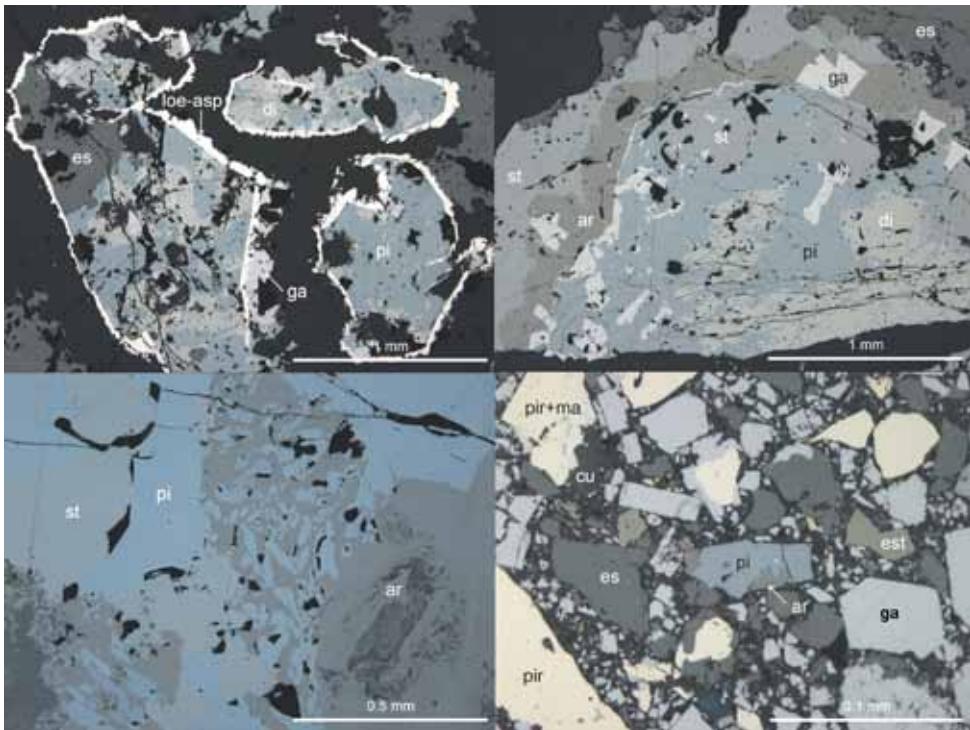


Abb. 58 Charakteristische Mineralparagenesen des Hundimientoganges. Die Abkürzungen bedeuten: ar Argyrodit, cu Quarz, di Diaphorit, es Sphalerit, est Stannit, ga Galenit, loe-asp Löllingit-Arsenopyrit, pi Pyrargyrit, pir+ma Pyrit + Markasit und st Stephanit. Das Foto rechts unten zeigt ein silberreiches Bleikonzentrat mit einem Korn von Pyrargyrit-Argeyrodit.

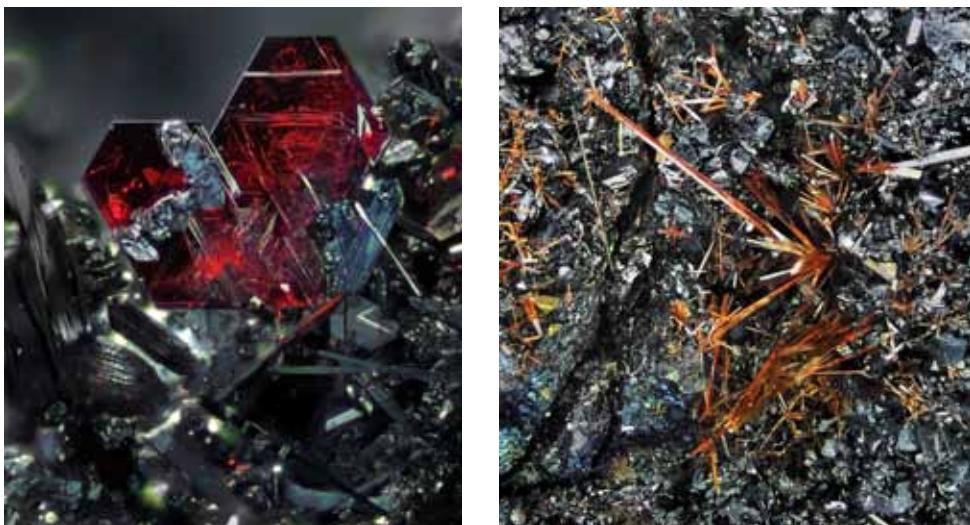


Abb. 59 Polybasit in leuchtend rot durchscheinenden pseudohexagonalen Kristallen (5 mm), begleitet von lanzenförmigen Akanthit-Kristallen. Ramo Kakchu, Porco.

Abb. 60 Nadelige Pyrostilpnit-Kristalle (der längste Kristall misst 4 mm) auf Sphalerit. Ramo Kakchu, Porco.



Abb. 61 Ausschnitt aus einer Stufe (10 cm) mit lockenförmigen Silber. Ramo Kakchu, Porco.



Abb. 62 Pseudomorphose von Akanthit nach prismatischen Stephanit-Kristallen (2 cm). Ramo Kakchu, Porco.

SH angefahren. Die Veredelungszonen („bonanzas“, „clavos“) der strukturgebundenen Vererzung sind über eine Vertikalerstreckung von 100 m und eine ebensolche Distanz im Streichendverlauf nachgewiesen.

Die Silberparagenese (Abb. 58) besteht aus Verwachsungen von Pyrargyrit („rosicler oscuro“ der Bergleute), Miargyrit, Stephanit, Polybasit und Diaphorit, die in Hohlräumen auch in Kristallen ausgebildet sind (Abb. 59). Pyrostilpnit ist ein seltener Begleiter (Abb. 60). Vielfach sind langäulige Kristalle von Stephanit durch eine spätere Zementation, bei der auch Silber in Drahtform (Abb. 61) und als „Haarsilber“ („millmabarra“) gebildet wurde, zu Akanthit (Abb. 62) umgewandelt worden.

In silberreichem Probenmaterial, das bei einem der ersten Besuche in Porco entnommen wurde, konnte ein Mineral mit Fahlerzähnlichkeit festgestellt werden, dessen Untersuchung überraschenderweise Argyrodit, Ag_8GeS_6 , ergab (Abb. 58). Dieses germaniumhältige Mineral (ca. 6% Ge) tritt als Derberz und in lokal großen, pseudooktaedrischen Kristallen auf. Das Vorkommen von Argyrodit wurde mittlerweile auch in anderen Erzgängen Porcos (California, Colorada, Chivato) und in der benachbarten Grube Tornohuaico festgestellt.

Die mineralogische Zusammensetzung der Abbauerze ist in (Abb. 63) wiedergegeben (PAAR et al., 2017).

Die Verteilung von Indium ist unregelmäßig und an die kolloidale Sphaleritgeneration gebunden. Eine gezielte Probenahme auf den Tiefbausohlen -60, -150, -195 und -240 m des Hauptbergbaues dokumentiert variierende Gehalte zwischen 87 und 1800 ppm In, wobei keine Abhängigkeit von der Teufe festgestellt werden kann. Vorläufige Untersuchungen zeigen, daß Indium in einzelnen Zonen des Sphalerits angereichert ist und in Form von Roquesit, CuInS_2 , in kleinen Einschlüssen auftritt (Abb. 64).

In den Aufbereitungskonzentraten sind Ga, In und Ge in höherer Konzentration

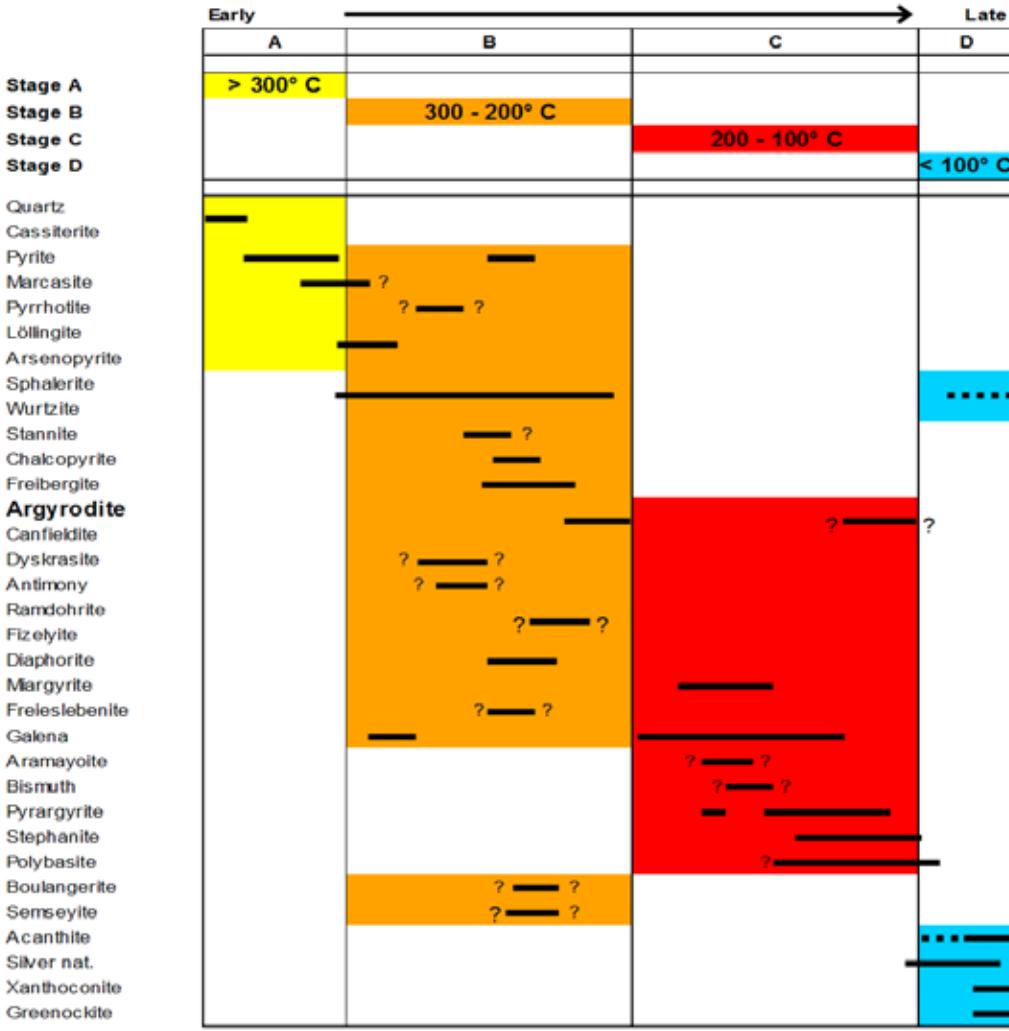


Abb. 63 Kristallisationsfolge und Bildungstemperaturen der Erzparagenesen von Porco. Es werden vier Abfolgen unterschieden (A-D), die durch die Gangtektonik und mehrere, separate Mineralisationsschübe erklärt werden.

enthalten. Das Zinkkonzentrat mit 32.8% Zn enthält 1130 ppm In und 245 ppm Ga. Germanium ist in silberreichen Bleikonzentraten angereichert (1710 ppm) (Abb. 58).

Das kleine Selenvorkommen von El Dragón unweit von Porco (Abb. 54; GRUND-MANN et al., 1990) wurde aufgrund eines goldhältigen Ganges mit vorwiegend Krutait, CuSe₂, beschürft. Die Untersuchung führte zum Nachweis von Eldrágonit, Cu₆BiSe²⁻₄(Se₂)²⁻, einer neuen Spezies, in Begleitung von Tiemannit, Clausthalit, Umangit, Klockmannit, Watkinsonit und Petrovicit und zumindest zwei weiteren unbenannten Cu-Pb-Hg-Bi Seleniden (Abb. 65) (PAAR et al., 2012).



Abb. 64

Bild rückgestreuter Elektronen Indiumreichen Sphalerits. Indium ist vor allem in bestimmten Wachstumszonen des Sphalerits konzentriert. Die divergentstrahligen Kristalle sind vermutlich Pseudomorphosen von Sphalerit (indiumreich) nach (älterem) Wurtzit.

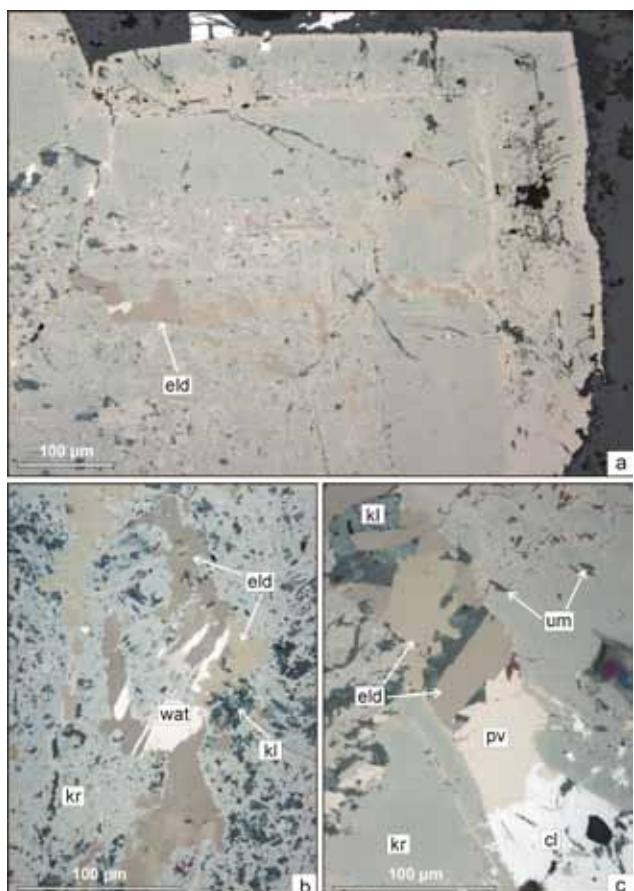


Abb. 65 Eldragonit (eld) als Einschlüsse in Krutaiterz (kr). Die assoziierten Selenide sind Watkinsonit (wat), Petrovicit (pv), Klockmannit (kl), Umangit (um) und Clausthalit (cl).

Epi- und mesothermale Lagerstätten in Südbolivien

Südbolivien weist eine Vielzahl von epithermalen Ag-Sn-Lagerstätten mit Übergängen zu mesothermalen Vererzungen der (Ag)-Sn-W-Bi-Formation auf. Bedeutende Bergbauzentren sind unter Anderem Carguaicollo, **Chocaya**, Colquechaca, **Potosí (Cerro Rico) mit Andacaba**, Pulacayo, San Cristobal, San Antonio de Lipez (Cerro Bonete), Tatasi-Portugalete (Ag-Sn) bzw. **Tasna**, **Chorolque** und Ubina ((Ag)-Sn-W-Bi).

Eine Vielzahl von ausgewählten Proben, zumeist Abbauerze, wurde untersucht. In allen Fällen zeigt sich eine komplexe Erzmineralogie und Verwachsungsbeziehungen, deren Kenntnis für die aufbereitungstechnische Beurteilung der Erze eine wichtige Information darstellt.

Chocaya, Mina Animas

Dieser historisch berühmte und wichtige Bergbaudistrikt nordwestlich von Atocha im Potosí Department ist in der Nähe des tektonischen Lineamentes, welches paläozoische Gesteine der Zentralanden vom Altiplano trennt, situiert. Die gangförmigen Ag-Sn-Lagerstätten setzen in dacitischen Gesteinen einer subvulkanischen Intrusion auf, die einen Durchmesser von 9 km hat und sich gegenüber dem Altiplano um fast 900 m erhebt.

Colorado ist der Hauptgang. Er folgt einer Verwerfungszone auf mehr als 1800 m. Arturo und Animas gegen W und Burton und Judios gegen E sind Parallelgänge.



Abb. 66 Aramayoit in cm-großen Einschlüssen mit charakteristischer Spaltbarkeit in Freibergerit-Pyrit-Erz. Das Probenmaterial stammt von W. Vaux, der die Stücke bei seinen Expeditionen (1929-1930) in Chocaya (Grube Animas) gesammelt hatte.

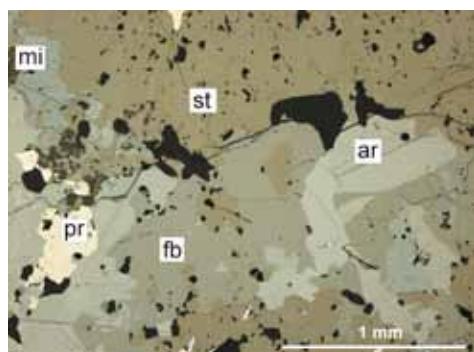


Abb. 67 Aramayoit (ar), Freibergerit (fb) und Miargyrit (mi) sind wichtige Silberträger in den Abbauerzen von Grube Animas. Begleiter sind Zinnkiese (Stannit-Kësterit, st) und Pyrit (pr). Anschliff CH23. Luft. 1 Polarisator.

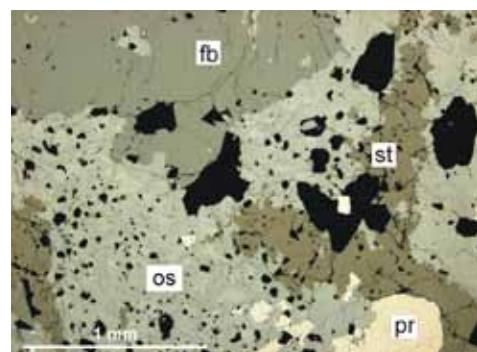


Abb. 68 Oscarkempffit (os) verdrängt als jüngere Phase Freibergerit (fb), Stannit (st) und Pyrit (pr). Anschliff OS34. Luft. 1 Polarisator.

Der Colorado Gang wurde bis zu einer Teufe von 750 m im nördlichen bzw. 600 m im südlichen Abschnitt abgebaut. In den höheren Gangsegmenten dominierten Kassiterit, Freibergit und Zinnkiese (Stannit-Kësterit). Gebänderte Strukturen, Krusten- und Kokardenstrukturen sind eindeutige Indikatoren für Hohlraumfüllungen.

Im Bergbau Animas wurde in 70 m Teufe ein extrem silberreicher Erzkörper angefahren. In einer Teufe von 125 m hatte diese Veredelungszone eine Länge von 30 m, eine Mächtigkeit von 2 m und der durchschnittliche Silbergehalt betrug 3.5%. Das dominierende Silbermineral war Freibergit. In einer Teufe von 235 m enthielt das silberreiche Erz die neue Spezies Aramayoit, $\text{Ag}(\text{Sb},\text{Bi})\text{S}_2$, in Begleitung von Manganit, Pyrargyrit, Freibergit und Stannit-Kësterit (SPENCER & MOUNTAIN, 1926) (Abb. 66, 67).

In diesem Material von W. Vaux konnten kürzlich die beiden neuen Sulfosalze Oscarkempffit, $\text{Ag}_{10}\text{Pb}_4\text{Sb}_{17}\text{Bi}_9\text{S}_{48}$, und Kino-Oscarkempffit, $\text{Ag}_{15}\text{Pb}_6\text{Sb}_{21}\text{Bi}_{18}\text{S}_{72}$, als neue Sb-Bi-Glieder der Lillianit-homologen Serie definiert werden (Abb. 68) (TOPA et al., 2016a,b; TOPA et al., 2011).

Die Untersuchung von Abbauerzen aus größeren Teufen einer Probenahme im Jahre 2004 zeigt eine silberreiche Paragenese mit Ag-Tetraedrit und Freibergit als Hauptkomponenten, assoziiert mit Andorit-Gustavit, Diaphorit, Stephanit, Owyheit und Bi-Jamesonit. Die Grube Oploca, Chocaya, baut reiche Erze mit Franckit und Semseyit ab.

Cerro Rico, Potosí

Der Cerro Rico gilt als die reichste Silberlagerstätte der Welt. Mehr als 30 000 t Silber wurden bereits in alter Zeit abgebaut, und ebensoviel könnte der Berg noch an Reserven haben. Der neogene Vulkan besteht aus Tuff und Explosionsbrekzien, die einen Mantel um Dacitporphyrr bildnen. Das Basement sind ordovizische



Abb. 69 Pyrargyrit, begleitet von Diaphorit und Pyrit, vom Cerro Rico, Potosí. Der größte Kristall misst 2 cm.

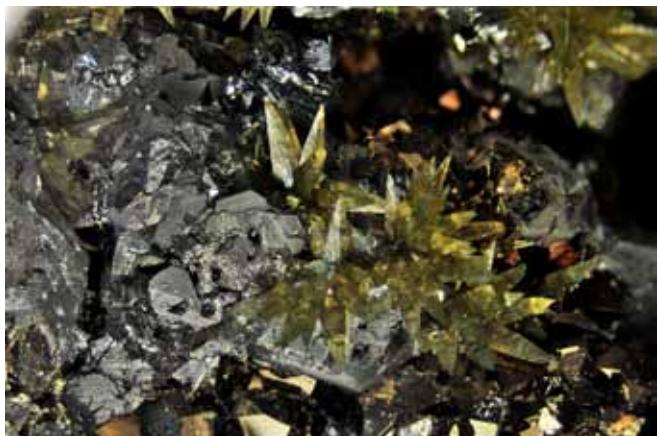


Abb. 70 Druse mit Diaphorit (maximal 2 cm) und spitzrhomboedrischen Kristallen von Siderit. Cerro Rico, Potosí.



Abb. 71 Andorit in einer Quarzdruse (ca. 5 x 5 cm). San Germán, Cerro Rico, Potosí.



Abb. 72 Nach [010] gelängte Kristalle von Arsenopyrit werden begleitet von Stannit-Kësterit und Quarz. San Germán, Cerro Rico, Potosí.

Schiefer. In diesen hydrothermal alterierten Gesteinen setzten zahllose Gänge auf, deren Mineralinhalt eine deutliche Vertikalzonierung aufweist (Ag-Sn, Sn-Ag und zutiefst Sn-(W)-(Bi)).

Abbauerze aus folgenden Gruben wurden untersucht (PAAR et al., 2017): San Germán, 6 de Agosto, Balcanes, Esforzada, Hambre, Lariva, Monte Christo und Porvenir. Der Mineralbestand ist in allen Proben ähnlich, wobei Sulfosalze überwiegen. Die Silberträger der Erze sind Zinnkiese (Hocartit-Pirquitasit), Mischkristalle von Andorit-Gustavit, Fizélyit-Ramdohrit, Owyheeit, Pyrargyrit, Miargyrit, Ag-Tetraedrit-Freibergit und Matildit (Abb. 69, 70).

Feinkörniger Kassiterit, Stannit-Kësterit und Ferrokësterit sind für den Zinngehalt der Erze verantwortlich. Die Silber-Zinnvererzung wird begleitet von Pb-Sb-(Cu)-Sulfosalzen (Boulangerit, Füllöppit, Plagionit, Semseyit, Zinkenit und Mischkristalle von Bournonit-Seligmannit). Famatinit und Luzonit kommen sporadisch vor.

Die beprobten Erze aus der Mine San Germán in einer SH von 4400 m stammen aus dem Tajopologang. Andorit (Abb. 71) in über 15 mm großen flächenreichen Kristallen ist assoziiert mit Stannit-Kësterit, Arsenopyrit (Abb. 72), Ag-Tetraedrit, Jamesonit, Semseyit, Zinkenit und Pyrit.

Andere Erzgänge des Cerro Rico enthalten große Kristalle von Pyrargyrit, Miargyrit und Diaphorit (Maurizio Gang), Stannit-Kësterit (Monjitas Uno Gang) sowie von Valentinit (Cotamitos Mine, Porvenir Gang).

Kordillere von Andacaba

Südlich von Potosí sind eine Reihe von Ag-Pb-Lagerstätten in der Sierra de Andacaba bekannt. Die Bergbaue (San Lorenzo, Colquechaquita; San Juan) liegen zumeist in einer Seehöhe zwischen 4200 und 4800 m. Die gangförmigen Lagerstätten setzen in silurischen-ordovizischen Grauwacken und Sandsteinen auf. Die untersuchten Abbauerze bestehen aus Galenit, Sphalerit, Chalkopyrit und Sulfosalzen (Franckit, Semseyit-Kristalle, Fizélyit) (Abb. 73). Die Gangart ist Siderit.

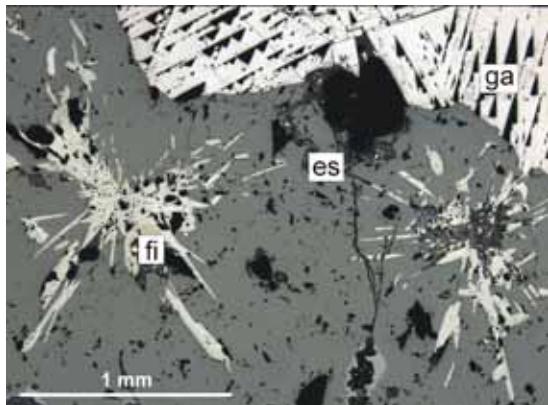


Abb. 73 Fizélyit (fi) in nadeligen Kristallen einschlußartig in Sphalerit (es). Assoziiert ist Galenit (ga). Andacaba, Potosí.

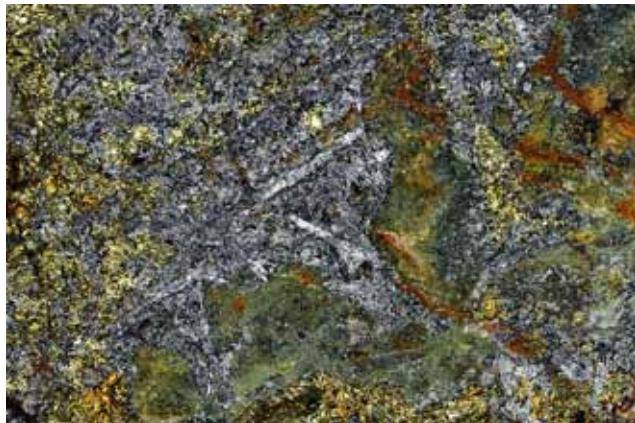


Abb. 74 Pavonit-Homologe und Bismuthinit in Chalkopyrit. Cerro Bonete, Lipez. Das Stück mißt 10 x 7 cm.

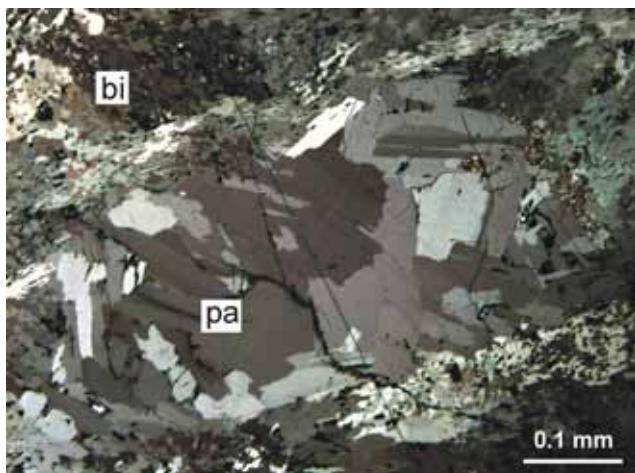


Abb. 75 Pavonit (pa) in zwillingsslamellierten Aggregaten wird begleitet von Bismuthinit (bi). Cerro Bonete, Lipez. Anschliff CB 345. Luft. Gekreuzte Polarisatoren.

Cerro Bonete, San Pablo de Lipez

Der Bergbau im Gebiet des Cerro Bonete in der Kordillere von Lipez mit den stillgelegten Gruben Bolívar und Salvador in 4700 bzw. 4400 m SH ging auf Erzgänge mit silberreichen Sulfosalzen („Alaskait“) um (Abb. 74).

Die noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen weisen Pavonit und Pavonit-homologe Phasen (Cu-Makovickyt, Mummeit) als Haupterze (Abb. 75) in Begleitung von Emplektit, Bismuthinit-Derivaten sowie Chalkopyrit, Arsenopyrit und Pyrit aus (PAAR & TOPA, 2016b).

Tasna und Chorolque, Potosí

Der Tasna ist eine Bismut-, Wolfram und Zinnlagerstätte. Er enthält die weltweit größte Konzentration des Elementes Bismut. Der bismutreiche Sektor Rosário (4500 - 4650 m SH) hat eine Erstreckung von 1500 x 500 m und besteht aus zahlreichen Gängen, deren Mächtigkeit zwischen 0.3 und 0.9 m schwankt. Der Mineralinhalt der Gänge besteht aus Pyrrhotin/Pyrit, Wolframit, Bismuthinit, Chalkopyrit, Arsenopyrit, Sphalerit, Stannit-Kësterit, Siderit, Quarz und Turmalin.

Die Untersuchung von Abbauerzen zeigt als Hauptkomponenten Bismut in großen Spaltstücken, assoziiert mit Ferberit, Bismuthinit, Arsenopyrit und Pyrit. Bis mehrere Zentimeter große Kristalle eines joseitähnlichen Minerals (Joseit-A, Bi_4TeS_2) und Folien von Freigold sind mit Bismut vergesellschaftet. Silberträger in den Reicherzen sind Mischkristalle Andorit-Gustavit, meist in Begleitung von Bismuthinit und Chalkopyrit.

Die Zinnlagerstätten des Chorolque (Abb. 76) weisen im Sektor Chimborazo (4720 m SH) in einem stark alterierten (silizifizierten) Vulkanit Hohlräume auf, die mit cm-großen smaragdgrünen Kristallen von Variscit und Klinovariscit belegt sind (Abb. 77).

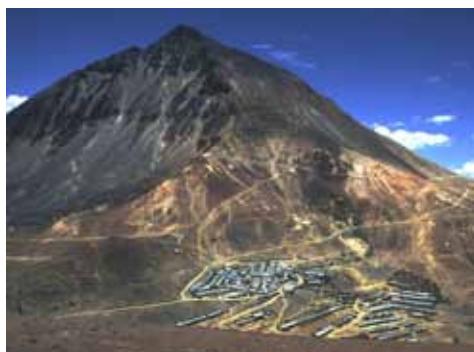


Abb. 76 Chorolque (5614 m SH) mit Bergbau-siedlung.



Abb. 77 Variscit (1 cm) in einer Quarzdruse. Chimborazo, Chorolque.

ZUSAMMENFASSUNG

Anhand ausgewählter Beispiele wurden Teilergebnisse mineralogischer Untersuchungen an Erzparagenesen argentinischer und bolivianischer Lagerstätten mitgeteilt. Aufgrund des enormen Umfangs an Probenmaterial sind mit Sicherheit auch in Zukunft neue Ergebnisse zu erwarten.

Die bisherigen Untersuchungen zeigen, daß erst durch den Einsatz moderner Untersuchungsmethoden komplexe Paragenesen verlässlich charakterisiert werden können. Dies betrifft vor allem alle Lagerstätten der Ag-Sn-Formation (z.B. Pirquitas, El Quevar, Argentinien; Potosí, Porco, Bolivien) und die Selenidvorkommen von Tumiñico, Argentinien.

Die Ergebnisse der umfangreichen und über viele Jahre durchgeführten Arbeiten sind in wissenschaftlicher Hinsicht bedeutungsvoll, da nunmehr die Auswertung der Phasenanalytik in den besprochenen Lagerstätten auf einer fundierten und

nachvollziehbaren Basis ruht. Das kann für genetische Fragestellungen, Abschätzung der Bildungsbedingungen etc. von großer Bedeutung sein. Die gesammelten Ergebnisse können darüberhinaus eine wertvolle Hilfe bei der Beurteilung dieser Lagerstätten in Hinblick auf wertsteigernde Begleitelemente (Gold, Germanium, Indium) sein. Und – last but not least – ist die Kenntnis des Mineralbestandes eine wichtige Information in der Rohstoffaufbereitung.

Die neuen Mineralspezies, von denen bisher in Argentinien 9, in Bolivien 4 charakterisiert werden konnten, bereichern das Spektrum in diesen Lagerstätten. Es sind dies aus argentinischen Lagerstätten Suredait (2000), Brodkorbit (2002), Ángelait (2004), Jagüéit (2004), Lislkirchnerit (2015), Putzit (2004), Catamarcait (2006), Coirait (2008), Zinkobriartit (2005 bzw. 2016) und Omarinit (2016c, 2017) bzw. (aus Bolivien) Braithwaiteit (2009), Eldrágonit (2012), Oscarkempffit (2016) und Klino-Oscarkempffit (2017).

DANK

Die vorliegenden Ausführungen betreffen die erweiterte Fassung eines Vortrages, den der Erstautor anlässlich der MinPet 2015 in Leoben gehalten hat, und die auf Einladung von Frau Univ. Prof. Dr. H. Effenberger verfaßt wurde. Herrn Univ. Prof. Dr. F. Melcher und Dr. R. Krickl sei für die Durchsicht und Endredaktion der Arbeit herzlich gedankt. Unser besonderer Dank gilt allen KollegenInnen, die die Forschungsarbeiten in Südamerika durch ihren Einsatz und Beiträge unterstützt haben (in alphabetischer Reihenfolge): Florian Albrecht, Dr. F.J. Culeotto, Dr. Gerald Daxner, Univ.Prof. Dr. Fritz Ebner, Univ.Prof. Dr. Herta Effenberger, Dr. Rodrigo Heidorn, Dr. Johannes Horner. In Argentinien gab es großartige Unterstützung durch Frau Univ.Prof. Dr. Milka K. de Brodkorb, Universität von Buenos Aires, und Herrn Univ.Prof. Dr. Ricardo Sureda (Universität Salta). Ohne ihren besonderen Einsatz hätte nur ein Teil des Programmes durchgeführt werden können. In Bolivien wurden wir von Dipl.Ing. Oscar Kempff-Bacigalupo und seinem Mitarbeiter Dr. Sohrab Tawackoli bestens betreut. Sie stellten die Kontakte zu den Bergbaufirmen her und halfen bei der schwierigen Logistik.

Wir sind den österreichischen und argentinischen Fördereinrichtungen (FWF, CONICET, ÖAW) zu großem Dank für die großzügige Förderung der Projekte verpflichtet. Die Universität Salzburg (Rektor Univ. Prof. Dr. Haslinger und Rektor Univ. Prof. Dr. Schmidinger) unterstützte die Projekte. Herr Univ. Prof. Dr. G. Amthauer, Leiter des Fachbereiches Materialwissenschaften, stand den Projektarbeiten positiv gegenüber und ermöglichte die Benützung der Gerätschaften.

Nicht zuletzt möchten die Autoren ihren Familien für die Unterstützung danken, die sie den Forschungen im fernen Ausland entgegengebracht haben.

Hinweise zu den Abbildungen:

Die Abbildungen mit den Nummern 4, 5, 8, 14-17, 20-22, 24, 29, 31b, 33, 35, 37-40, 52, 59, 62, 74 und 75 sind dem „Atlas“ (PAAR et al., 2016) entnommen. Die Mineralogical Association of Canada erteilte die Genehmigung zur Reproduktion der Abb. 28, 50, 54 und 65:

Abb. 28: *The Canadian Mineralogist* 42, p. 1760, Fig.1 (2004)

Abb. 50: *The Canadian Mineralogist* 42, p. 1749, Fig.2 (2004)

Abb. 54: *The Canadian Mineralogist* 50, p. 283, Fig.1 (2012)

Abb. 65: *The Canadian Mineralogist* 50, p. 286, Fig.2 (2012)

SCHRIFTTUM

- AHLFELD, F. & SCHNEIDER-SCHERBINA, A. (1964): Los yacimientos minerales y de hidrocarburos de Bolivia. Boletín de Departamento Nacional de Geología del Ministerio de Minas y Petróleo **5** (Especial), 1-388.
- AMANN, G. & PAAR, W.H. (2001): Structural control of Ag-Sn Vein-Type Mineralization at the Pirquitas Mine (Prov. Jujuy, NW-Argentina). - Ore Precipitation during Fold and Thrust Belt Evolution. European Union of Geosciences (EUG XI) Strasbourg, France, April 8-12. Abstracts Vol. **6/1**, 266.
- AMANN, G., PAAR, W.H., ROBL, K. & SUREDA, R.J. (1999): Late Cenozoic structural evolution of the western Sierras Pampeanas and selenium-mineralization of Sierra de Cacho area (Province of La Rioja, Argentina). - EUG 10, Abstracts Vol. **4/1**, 416.
- BINDI, L., KEUTSCH, F.N. & ZACCARINI, F. (2016a): Spryite, IMA 2015-116. CNMNC Newsletter No. 30, April 2016, page 412. Mineralogical Magazine **8**.
- BINDI, L., KEUTSCH, F.N., MORANA, M. & ZACCARINI, F. (2016b): Spryite, $\text{Ag}_8(\text{As}^{3+})_{0.5}\text{As}^{5+}_{0.5}\text{-S}_6$: structure determination and inferred absence of superionic conduction of the first As^{3+} -bearing argyrodite. Physics and Chemistry of Minerals, **43** (in press).
- BINDI, L., PUTZ, H., PAAR, W.H. & STANLEY, C.J. (2016c): Omariniite, IMA 2016-050, CNMNC Newsletter No. 33, October 2016, page 1140; Mineralogical Magazine **80**, 1135-1144.
- BINDI, L., PUTZ, H., PAAR, W.H. & STANLEY, C.J. (2017): Omariniite, $\text{Cu}_8\text{Fe}_2\text{ZnGe}_2\text{S}_{12}$, the germanium analogue of stannoidite: a new mineral species from Capillitas, Argentina. Mineralogical Magazine.
- BRODTKORB, M.K. DE & CROSTA, S. (2010). Sobre los yacimientos de Se de la "Sierra de Umango", provincia de La Rioja. Revista de la Asociación Geológica Argentina **67**(2), 272-279.
- BRODTKORB, M.K. DE & PAAR, W.H. (2002): Nuevos hallazgos mineralógicos en la mina La Mejicana, La Rioja, Argentina. - Mineralogía y Metalogenia, Artículo, 43-49.
- BRODTKORB, M.K. DE, GAY, H.D. & SUREDA, R.L. (1993b): Polymetallic selenide-sulfide minerals of the Los Llantenes mining district, La Rioja, Argentina. 8º Quadrennial IA-GOD Symposium, 119-125.
- BRODTKORB, M.K. DE & PAAR, W.H. (1993a): New data on the ore mineralogy of the Upulungus mine, La Mejicana district, Sierra de Famatina, Argentina. - In: Current research in Geology Applied to Mineral Deposits. Fenoll Hach-Ali, Torres-Ruiz & Gervilla (eds), 57-59.
- BRODTKORB, M.K. DE & PAAR, W.H. (1987): Presencia de colusita y consideraciones mineralógicas en el distrito La Mejicana, Provincia de La Rioja, Argentina.- XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas Tº V. 87-89.
- BRODTKORB, M.K. DE & AMETRANO, S. (1978): Contribución al conocimiento mineralógico del yacimiento El Quevar, provincia de Salta. Revista de la Asociación de Mineralogía, Petrografía y Sedimentología **9**(3-4), 75-87.
- EFFENBERGER, H., LENGAUER, C.L., LIBOWITKY, E., PUTZ, H. & TOPA, D. (2015): Lisikirchnerite, IMA 2015-064. CNMNC Newsletter No. 27, October 2015, page 1230. Mineralogical Magazine **79**, 1229-1236.
- EFFENBERGER H., PAAR, W.H., TOPA, D., CRIDDLE, A.J. & FLECK, M. (2002): The new mineral baumstarkite and a structural reinvestigation of aramayoite and miargyrite. - American Mineralogist **87**, 753-764.

GRUNDMANN, G., LEHRBERGER, G. & SCHNORRER-KÖHLER, G. (1990): The El Dragón mine, Potosí, Bolivia. *The Mineralogical Record* **21**, 133-146.

GUERRERO, M.A. (1969): Estudio geológico-económico y prospección geoquímica orientativa del Distrito Minero Cerro Cacho - Sierra de Umango. Dirección Nacional de Geología y Minería. Unveröffentlichter Bericht („Informe inédito“).

HEIDORN, R., PAAR, W.H. & NEUBAUER, F. (2002): Structural development of epithermal deposits along crustal-scale transverse faults of the Puna, NW-Argentina: examples from the Chocaya (~22°S) and La Concordia deposits (~24°S).- From: Applied Structural geology for Mineral Exploration and Mining. International Symposium (23rd to 25th September 2002, Kalgoorlie, Western Australia), *Boletín* **36**, Abstract Volume, 78-80.

KEMPFF, O., PAAR, W.H. & TAWACKOLI, S. (2009): *Minerales de Bolivia*.- SPC Impresores, La Paz, Bolivia (2., aktualisierte und erweiterte Auflage), 115 S.

KEMPFF, O., TAWACKOLI, S. & PAAR, W.H. (2003): *Minerales de Bolivia*.- SPC Impresores S.A., La Paz, Bolivia, 121 S.

LOSADA CALDERÓN, A. (1992): Geology and geochemistry of Nevados del Famatina and La Mejicana deposits. Ph.D. thesis, Monash University, Clayton, Australia.

LOSADA CALDERÓN, A. & MCPHAIL, D.C. (1996): Porphyry and high sulfidation epithermal mineralization in the Nevados de Famatina Mining District, Argentina. New discoveries, mineralization styles and metallogeny. *Economic Geology, Special Publication* **5**, 91-118.

MAKOVICKÝ, E., KARANOVIČ, L., POLETI, D., BALIČ-ŽUNIČ, T. & PAAR, W.H. (2005): Crystal Structure of copper-rich unsubstituted tennantite, Cu_{12.5}As₄S₁₃. *The Canadian Mineralogist* **43**, 679-688.

MÁRQUEZ-ZAVALÍA, M. F., GALLISKI, M. A., DRÁBEK, M., VYMAZALOVÁ, A., WATANABE, Y., MURAKAMI, H. & BERNHARDT, H.-J. (2015): Ishiharaite, (Cu,Ga,Fe,In,Zn)S, a new mineral from the Capillitas mine, Northwestern Argentina. *The Canadian Mineralogist* **52**, 969-980.

MÁRQUEZ-ZAVALÍA, M. F. (1999): El yacimiento Capillitas, Catamarca. In *Recursos minerales de la República Argentina* (O. Zappettini, ed.). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, *Anales* **35**, 1643-1652.

MÁRQUEZ-ZAVALÍA, M. F. (1988): Mineralogía y genesis del yacimiento Capillitas (Catamarca, República Argentina). Ph.D.thesis, University of Salta, Salta, Argentina.

MCDONALD, A.M., STANLEY, C.J., ROSS, K.C. & NESTOLA, F. (2016a): Zincobiartite, IMA 2015-094. CNMNC Newsletter No. 29, February 2016, page 203. *Mineralogical Magazine* **80**, 199-205.

PAAR, W.H., PUTZ, H. & TOPA, D. (2017): New data on the ore mineralogies of Ag-Sn deposits at Bolivia. *Mineralogy & Petrology*, in Vorbereitung.

PAAR, W.H., BRODTKORB, M.K.DE, PUTZ, H. & MARTIN, R.F. (2016a): ATLAS OF ORE MINERALS: Focus on Epithermal Deposits of Argentina. *The Canadian Mineralogist*, Spec. Publication **11**, 1-402.

PAAR, W.H. & TOPA, D. (2016b): Pavonite type sulfosalts at the mines Bolívar and Restauradora, Cerro Bonete, Lipez, S-Bolivia. - *Mineralogy and Petrology*, in Vorbereitung.

PAAR, W.H., COOPER, M.A., MOËLO, Y., STANLEY, C.J., PUTZ, H., TOPA, D., ROBERTS, A.C., STIRLING, J., RAITH, J. & ROWE, R. (2012): Eldragónite, Cu₆BiSe₄(Se₂), a new mineral species from the El Dragón mine, Potosí, Bolivia, and its crystal structure. *The Canadian Mineralogist* **50**, 1227-1240.

- PAAR, W.H., SUREDA, R. & BRODTKORB, M.K. DE (2009a): Nuevos datos de famatinita-luzonita y de enargita presentes en el distrito Julio Verne, Salta. 10° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, 367-8.
- PAAR, W.H., SUREDA, R. & BRODTKORB, M.K. DE (2009b): Aporte al conocimiento de tetraedrita s.l. y minerales de Bi en la mina La Concordia, Salta. 10° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, 365-6.
- PAAR, W.H., MOELO, Y., MOZGOVA, N.N., ORGANOWA, N.I., STANLEY, C.J., ROBERTS, A.C., CUETTO, F.J., EFFENBERGER, H.S., TOPA, D., PUTZ, H., SUREDA, R.J. & BRODTKORB, M.K. DE (2008): Coiraite, $(\text{Pb}, \text{Sn}^{2+})_{12.5} \text{As}_3 \text{Fe}^{2+} \text{Sn}_5 \text{S}_{28}$: A franckeite-type new mineral species from Jujuy Province, NW Argentina. Mineralogical Magazine, **72(5)**, 1083-1101.
- PAAR, W.H. (2007): Lagerstättenmineralogische Charakteristik epithermaler Ag(Au)-Sn-Zn-Vererzungen Boliviens und Argentiniens. Gastvortrag an der Montanuniversität Leoben, Jänner 2007.
- PAAR, W.H., PUTZ, H., TOPA, D., SUREDA, R.J., BRODTKORB, M.K. DE & LÜDERS, V. (2006a): Breccias with high-grade Ag-Sn mineralization at Pirquitas, Argentina.- 19th General Meeting of the International Mineralogical Association, Kobe, Japan. Abstract Volume, 193.
- PAAR, W.H., PUTZ, H., SUREDA, R. & IRADI, P. (2006b): Ore deposit mineralogy of high-grade silver-tin-zinc- mineralization at the Oploca vein- and breccia system, Pirquitas, Province of Jujuy, Argentina. Internal report for Silverstandard, 28p.
- PAAR, W.H., PUTZ, H., ALBRECHT, F. & EBNER, F. (2006c): Informe sobre los contenidos de germanio y indio en las menas de plata y estaño de Porco, Departamento de Potosí, Bolivia. Interner Firmenbericht (COMSUR-GLENCORE Internacional AG), 35 p.
- PAAR, W.H. & PUTZ, H. (2005a): Germanium associated with epithermal mineralization: examples from Bolivia and Argentina. Eighth Biennial SGA Meeting (Beijing), Proc.3, 48-51.
- PAAR, W.H., PUTZ, H., TOPA, D., BRODTKORB, M.K. DE & SUREDA, R.J. (2005b): Occurrence and paragenesis of tellurium in mineral deposits of Argentina. - Eighth Biennial SGA Meeting (Beijing), Proc.2, 1419-1422.
- PAAR, W.H., TOPA, D., MAKOVICKY, E., SUREDA, R.J., BRODTKORB, M.K. DE, NICKEL, E.H. & PUTZ, H. (2004b): Jagüéite, $\text{Cu}_2 \text{Pd}_3 \text{Se}_4$, a new mineral species from El Chire, La Rioja, Argentina. The Canadian Mineralogist **42**, 1745-1755.
- PAAR, W.H., ROBERTS, A.C., BERLEPSCH, P., ARMBRUSTER, T., TOPA, D. & ZAGLER, G. (2004f): Putzite, $(\text{Cu}_{4.7} \text{Ag}_{3.3}) \text{Ge}_8 \text{S}_6$, a new mineral from Capillitas, Catamarca, Argentina: Description and crystal structure.- The Canadian Mineralogist **42**, 1757-1769.
- PAAR, W.H., SUREDA, R.J. & TOPA, D. (2004c): Chrsstanleyita, $\text{Ag}_2 \text{Pd}_3 \text{Se}_4$, y su analogo cupífero jagüéita, $\text{Cu}_2 \text{Pd}_3 \text{Se}_4$, de la mina El Chire, Departamento Gral. Lamadrid, Provincia de La Rioja, Argentina.- 7th Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Artículo, 109-112.
- PAAR, W.H., TOPA, D., SUREDA, R.J., STUMPF, E.F. & MÜHLHANS, H. (2004d): Merenskyita, PdTe_2 , en las menas de selenio, cobre y plata de la mina Las Asperezas, Distrito Minero Sierra de Umango, Provincia de La Rioja, Argentina.- 7th Congreso Mineralogía y Metalogenia, Artículo, 113-118.
- PAAR, W.H., BRODTKORB, M.K. DE & SUREDA, R.J. (2004a): Palladium, platinum, gold and silver in selenide districts of NW-Argentina. - 32nd IGC Florence, abstract (part 1): 277.
- PAAR, W.H., PUTZ, H., TOPA, D. & ZAMBRANA MOGRO, J.M. (2004g): High grade silver-germanium mineralization at Porco, Department of Potosí, Bolivia.- 32nd IGC Florence, (part 1): 1068.

- PAAR, W.H., TOPA, D., ROBERTS, A.C., CRIDDLE, A.J., AMANN, G. & SUREDA, R.J. (2002a): The new mineral species brodkorbite, Cu_2HgSe_2 , and the associated selenide assemblage from Tumiñico, Sierra de Cacho, La Rioja, Argentina.- The Canadian Mineralogist **40**, 225-237 (989-990).
- PAAR, W.H., TOPA, D. & SUREDA, R.J. (2002c): Watanabeita, $Cu_4(As,Bi,Sb)_2S_5$, con una nueva fase mineral „ Cu_3AsS_4 “ en Cerro Atajo, Provincia de Catamarca, Argentina.- Mineralogía y Metalogenia 2002, Artículo, 329-332.
- PAAR, W.H., AMANN, G., SUREDA, R.J. & BRODTKORB, M.K.DE (2002b): Selenium mineralization associated with precious metals in the Sierra de Umango, Argentina. - Eighteenth Gen. Meeting, Int. Mineral. Assoc. (Edinburgh), Abstracts, 265-266.
- PAAR, W.H., BRODTKORB, M.K.DE, SUREDA, R.J. & TOPA, D. (2001): Mineralogía y químico de sulphuros y sulfosales de estaño y plomo en las vetas de Mina Pirquitas, Jujuy, Argentina (22°41'S - 66°28'W). - Revista Geologica de Chile **28**, 259-268.
- PAAR, W.H., AMANN, G., TOPA, D. & SUREDA, R.J. (2000b): Gold and palladium in the Sierra de Umango and Los Llantenes selenide districts, La Rioja, Argentina. Mem.XIV Congreso Geologico Boliviano (La Paz), 465-469.
- PAAR, W.H., MILETICH, R., TOPA, D., CRIDDLE, A.J., BRODTKORB, M.K.DE, AMTHAUER, G. & TIPPELT, G. (2000a): Suredaite, $PbSnS_3$, a new mineral species, from the Pirquitas Ag-Sn deposit, NW-Argentina: Mineralogy and crystal structure. - American Mineralogist **85**, 1066-1075.
- PAAR, W.H., SUREDA, R.J., TOPA, D. & BRODTKORB, M.K.DE (2000c): Los telururos de oro y plata, krennerita, petzita y silvanita, del prospecto Fátima, distrito minero Organullo, Provincia de Salta.- Mineralogía y Metalogenia, INREMI, La Plata, Publicacion 6, 369-373.
- PAAR, W.H., TOPA, D., BRODTKORB, M.K.DE & SUREDA, R.J. (2000d): Gladita, $PbCuBi_5S_9$, Hodrushita, $Cu_8Bi_{12}S_{22}$, Kawazulita, Bi_2SeTe_2 , Krupkaita, $PbCuBi_3S_6$, Kuramita, Cu_2SnS_4 , Mohita, Cu_2SnS_3 , Vinciennita, $Cu_{10}Fe_4Sn(As,Sb)S_{16}$, nuevos minerales en la veta polimetálica de Julio Verne, Salta.- Mineralogía y Metalogenia, INREMI, La Plata, Publicacion 6, 374-380.
- PAAR, W.H., BRODTKORB, M.K.DE, SUREDA, R.J. & TOPA, D. (1998a): A microprobe study of complex Ag-Sn ores from Pirquitas, Jujuy Province, Argentina. 17th General Meeting of the International Mineralogical Association, Toronto, Canada. Abstract Volume, A 118.
- PAAR, W.H., BRODTKORB, M.K.DE & TOPA, D. (1998b): Los telururos de oro y plata de la mina La Mejicana, Provincia de La Rioja, Argentina.- IV Reunión der Mineralogía y Metalogenia, Universidad Nacional del Sur - Bahia Blanca, MINMET'98 - EDIUNS: 207-211.
- PAAR, W.H., BRODTKORB, M.K.DE, TOPA, D. & AMETRANO, S. (1997): Cu-Au veins of la Mejicana ore district, Argentina: Mineralogical aspects. - In: Mineral Deposits: Research and exploration - Where do They Meet? Proceedings of the Fourth Biennial SGA Meeting, Turku/Finland (11-13 August 1997), 273-276.
- PAAR, W.H., SUREDA, R.J. & BRODTKORB, M.K. DE (1996a): Oro y plata en los yacimientos de selenio de La Rioja, Argentina. Hallazgo de fischesserita, Ag_2AuSe_2 , 3º Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Instituto de Recursos Minerales. Universidad Nacional de La Plata. Publicación **5**, 177-185.
- PAAR, W.H., BRODTKORB, M.K. DE, TOPA, D & SUREDA, R.J. (1996b): Caracterización mineralógica y química de algunas especies metalíferas del yacimiento Pirquitas, Provincia de Jujuy, República Argentina: Parte 1. XIII Congreso Geológica y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas III, 159-172.

- PAAR, W.H., SUREDA, R.J. & BRODTKORB, M.K.DE (1996c): Mineralogia de los yacimientos de selenio en La Rioja, Argentina. Krutaita, tyrrellita y trogtalita de Los Llantenes. - Revista de la Asociación Geológica Argentina, **51(4)**: 304-312.
- PUTZ, H., PAAR, W.H. & TOPA, D. (2009): A contribution to the knowledge of the mineralization at Capillitas, Catamarca. Revista de la Asociación Argentina **64(3)**, 514-524.
- PUTZ, H., PAAR, W.H., TOPA, D., MAKOVICKY, E. & ROBERTS, A.C. (2006): Catamarcaite, Cu₆GeWS₈, a new germanium sulfide mineral species from Capillitas, Catamarca, Argentina: Description, paragenesis and crystal structure. - The Canadian Mineralogist **44**, 1481-1497.
- PUTZ, H. (2005): Mineralogy and Genesis of Epithermal Ore Deposits at Capillitas, Catamarca Province, NW-Argentina. Ph.D. thesis, Salzburg Univ., Salzburg, Austria.
- PUTZ, H., PAAR, W.H. & SUREDA, R.J. (2002b): Talcusita, Tl₂Cu₃FeS₄, en las vetas epitermales de Mina Capillitas, Provincia de Catamarca, Argentina. - Mineralogía y Metalogenia 2002, Artículo, 361-364.
- PUTZ, H., PAAR, W.H., SUREDA, R.J. & ROBERTS, A.C. (2002a): Germanium mineralization at Capillitas, Catamarca Province, Argentina.- Int. Mineral.Assoc., 18th Gen.Meeting (Edinburgh), Abstr., 265.
- RAMACCIONI, D. & OLSACHER, J. (1962): Los yacimientos de minerales de mercurio y selenio de Cuesta de Los Llantenes. Anales de Las Primeras Jornadas Geológicas Argentinas, 3, 295-305. Buenos Aires.
- ROBL, K. (2009): La mineralizacion epithermal miocena del complejo estratovulcan Quevar, Salta. Parte 1: Geología y petrología. Parte 2: Robl, K., Brodtkorb, M.K.de y Ametrano, S.: La mineralizacion. Revista de la Asociación Argentina **64(3)**, 325-339.
- ROBL, K., PAAR, W.H., TOPA, D., SUREDA, R.J. & BRODTKORB, M.K.DE (2006): Ore mineralogy of a high-grade epithermal silver mineralization at El Quevar, Argentina.- 19th General Meeting of the International Mineralogical Association, Kobe, Japan (July 23-28). Abstracts Volume, 196.
- ROBL, K. (2003): Miozäne Ag-Pb Mineralisationen des El Quevar Stratovulkan Komplex, Salta, Argentinien. Unpubl. Ph.D. thesis, Salzburg Univ., Salzburg, Austria. 262 p.
- SASSO, A.M. & CLARK, A.H. (1998): The Farallón Negro group, northwest Argentina: magmatic, hydrothermal and tectonic evolution and implications for Cu-Au metallogeney in the Andean back-arc. Soc. Econ. Geol., Newsletter **34**, 1-18.
- SASSO, A.M. (1997): Geological Evolution and Metallogenetic Relationships of the Farallón Negro Volcanic Complex, NW Argentina. Ph.D.thesis, Queen's Univ., Kingston, Ontario.
- SILLITOE, R.H. & HEDENQUIST, J.W. (2003): Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. Soc. Econ., Geol., Spec. Publ. **10**, 315-343.
- SIMON, G., KESLER, S.E. & ESSENE, E.J. (1997): Phase relations among selenides, sulfides, tellurides and oxides: II. Applications to selenide-bearing ore deposits. Economic Geology **92 (4)**, 468-484.
- SPENCER, L.J. & MOUNTAIN, E.D. (1926): Aramayoite, a new mineral from Bolivia. Mineralogical Magazine **21**, 156-162.
- SUREDA, R. J., PAAR, W.H. & BRODTKORB, M.K.DE (1994): Aikinita, Benjaminita, Emplectita, Matildita y Tetradymita en la paragenesis mineral bismutífera de la mina Julio Verne, Provincia de Salta, Argentina.- Congreso Geológico Chileno 1994 (17 al 21-Octubre), Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra, Tercera Circular, 5S.

- TOPA, D., MAKOVICKY, E. & PAAR, W.H. (2017): The definition and crystal structure of clino-oskarkempffite $\text{Ag}_{1.27}\text{Pb}_{0.49}\text{Sb}_{1.68}\text{Bi}_{1.54}\text{S}_6$. European Journal of Mineralogy, in Druck.
- TOPA, D., PAAR, W.H., MAKOVICKY, E., STANLEY, C.J. & ROBERTS, A.C. (2116a): Oscarkempffite, $\text{Ag}_{10}\text{Pb}_4(\text{Sb}_{17}\text{Bi}_9)_{\Sigma 26}\text{S}_{48}$, A new Sb-Bi member of the lillianite homologous series. Mineralogical Magazine **80(5)**, 809-817.
- TOPA, D., MAKOVICKY, E. & PAAR, W.H. (2016b): Clino-oskarkempffite, IMA 012-086. CN-MNC No.16, August 2013, page 2696. Mineralogical Magazine **77**, 2695-2709.
- TOPA, D., MAKOVICKY, E., PAAR, W.H., STANLEY, C.J. & ROBERTS, A.C. (2011): Oscarkempffite, IMA 2011-029. C. Newsletter No.10, October 2011. Mineralogical Magazine **75**, 2601-2613.
- TOSELLI, A.J. & ACEÑOLAZA, F.G. (1971): La mineralización cuproselenífera con mercurio de la Precordillera de Jagüé, provincia de La Rioja. Consideraciones petrogenéticas y edad de mineralización. 1º Simposio Nacional de Geología Económica **2**, 367-378. San Juan.

received: 02.03.2016

accepted: 13.04.2016