

Jungalpidische Erzmineralisationen in der Phyllitgneiszone des Arlberggebietes (Tirol/Vorarlberg)

Von J. G. HADITSCH und K. KRAINER^{*)}

Mit 5 Abbildungen, 2 Tabellen und 4 Tafeln

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung/Summary	239
Einleitung	240
Geologischer Überblick	240
Einige Daten zur Bergbaugeschichte der Lagerstätte St. Christoph	241
Erzmineralisationen	243
Megaskopische Beschreibung	243
1. Zinkblende-Gangvererzung St. Christoph	243
2. Schieferungskonkordante Sulfidmineralisation St. Christoph	248
3. Störungsgebundene Magnetkiesvererzung St. Anton	248
Mikroskopische Beschreibung der Erzmineralisationen	248
Geochemische Untersuchungen	251
Diskussion der Ergebnisse	255
Dank	260
Literatur	260

Zusammenfassung

Aus der Phyllitgneiszone des Arlberggebietes (Tirol/Vorarlberg) werden drei verschiedene Erzmineralisationen beschrieben und deren Genese kurz diskutiert.

Die bereits im Mittelalter beschürfte Zinkblende-Gangvererzung westlich von St. Christoph/Arlberg ist an quer zur Schieferung, ungefähr in N-S-Richtung streichende ac-Klüfte gebunden. Spurenelementgehalte und Entmischungen in den Haupterzmineralen Zinkblende und Bleiglanz belegen eine heißhydrothermale Herkunft. Die Zinkblende-Gangvererzung wird als jungalpidisch betrachtet, bezüglich der Herkunft der heißhydrothermalen Lösungen wird ein möglicher Zusammenhang mit der Subduktion des Nordpenninischen Ozeans im Oligozän diskutiert.

Die schieferungskonkordanten, syngenetischen Magnetkiesmineralisationen, die eine variszische metamorphe Überprägung zeigen, erweisen sich somit als prävariszisch (alt-paläozoisch), während die südwestlich von St. Anton/Arlberg an eine Störung gebundene Magnetkiesvererzung dem alpidischen Geschehen zuzurechnen ist.

^{*)} Adressen der Verfasser: Univ.-Prof. Dr. Johann Georg HADITSCH, Mariatroster Straße 193, A-8043 Graz; Dr. Karl KRAINER, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck, Österreich.

Summary

From the Phyllitgneis Zone of the Arlberg area (Tyrol, Vorarlberg, Austria) three different ore mineralizations are described, and their formation is discussed with a few words.

The sphalerite vein mineralization west of St. Christoph/Arlberg was mined as early as the Middle Ages. It is bound to ac-ruptures which run across the schistosity, and in N-S direction. The contents of trace elements and the segregations in the main minerals, sphalerite and galena, respectively, prove the high-hydrothermal ore formation. The sphalerite vein mineralization is thought to be of young Alpidic age. For the origin of the high-hydrothermal ore solutions their connection with the subduction of the North Penninic Ocean of the Tethys during the Oligocene is discussed.

The syngenetic pyrrhotite mineralization of St. Christoph is concordant with the schistosity and was metamorphosed during the Variscan Cycle, thus demonstrating a pre-Variscan (Early Paleozoic) age.

On the other hand, the pyrrhotite mineralization south-west of St. Anton/Arlberg is bound to a fault and to the Alpidic events.

Einleitung

Innerhalb der Phyllitgneiszone des Arlberggebietes (Tirol/Vorarlberg) sind nur von wenigen Stellen Erzmineralisationen bekannt (siehe Zusammenstellung z. B. bei GASSER 1913, v. SRBIK 1929, v. KLEBELSBERG 1935 und Karten von FRIEDRICH 1953, SCHULZ 1977, HADITSCH 1979 und MUTSCHLECHNER 1980), von denen zudem nur die Zinkblende-Gangvererzung westlich von St. Christoph/Arlberg und die Vererzungen vom Bartholomäberg (HADITSCH & MOSTLER 1985) auch eine wirtschaftliche Bedeutung erlangten.

Die Vererzung von St. Christoph wurde zuletzt in den Jahren 1925-1927 abgebaut (vgl. HIESSLEITNER 1929c,d, MUTSCHLECHNER 1956). Ausführliche Bearbeitungen der Erzmineralisationen stammen von MATTHIAS (1960, 1961), VOHRYZKA (1968), ALWASHE (1974) und VAVTAR (1988), wobei sich die beiden zuerst genannten Autoren im wesentlichen auf die Gangvererzung von St. Christoph konzentrierten. Geochemische Analysen einzelner Erzproben dieser Mineralisation (ZnS, PbS) hat bereits SCHROLL (1953, 1954, 1955, 1959) veröffentlicht.

Mit der vorliegenden Arbeit haben die Verfasser den Versuch unternommen, einzelne Mineralisationstypen der Phyllitgneiszone erzmineralogisch und geochemisch zu charakterisieren, ihr Auftreten im umgebenden Gestein zu beschreiben, mit ähnlichen Erzmineralisationen zu vergleichen und daraus eine genetische Interpretation abzuleiten.

Geologischer Überblick

Wie bereits einleitend erwähnt, liegen die in der vorliegenden Arbeit behandelten Erzmineralisationen innerhalb der Phyllitgneiszone. Die Phyllitgneiszone, östlich des Arlbergs in den Landecker Quarzphyllit übergehend, besteht im wesentlichen aus muskowitreichen, teilweise Granat und Epidot führenden Schiefern, Biotitplagioklasgneisen, Muskowitzgranitgneisen und eingeschalteten Orthogneisen („Feldspatknotengneisen“) sowie, selten, Amphiboliten (z. B. SW St. Anton/Arlberg). Das Kristallin der Phyllitgneiszone, das, ebenso wie der Landecker Quarzphyllit, transgressiv von ? oberkarbonen-unterpermissiven Sedimenten überlagert wird (MOSTLER 1972, van AMEROM et al. 1982, STINGL

1982), stellt somit die primäre Unterlage der Nördlichen Kalkalpen in diesem Abschnitt dar und ist dem Oberostalpin zuzurechnen.

Diaphthoritische Kristallingerölle innerhalb der Transgressionssedimente im Montafon zeigen eine bereits präpermisch erfolgte retrograde Metamorphose innerhalb der Phyllitgneiszone an (MOSTLER 1972, van AMEROM et al. 1982).

Im Westabschnitt konnten sowohl in der Phyllitgneiszone als auch innerhalb des Silvretakristallins an Biotiten nur variszische Abkühlungsalter festgestellt werden, womit eine variszische Metamorphose (300-350 Mill. Jahre) mit höherer Grünschieferfazies (Disthen-Granat) bis oberer Amphibolitfazies (Sillimanit-Granat) nachgewiesen ist (THÖNI 1981, KRECY 1981, AMANN 1985). Dagegen konnte im Ostabschnitt eine alpidische (oberkretazische) Überprägung („gemischte Alter“, KRECY 1981, AMANN 1985) in unterer Grünschieferfazies (mit Pyrophyllit und Paragonit, Stilpnomelan, Chloritoid) festgestellt werden. Im Arlberggebiet erreichte die alpidische Metamorphose Temperaturen von ungefähr 300 °C (AMANN 1985).

Die alpidische Überprägung übergreift diskordant die Grenze zwischen Silvrettakristallin (Mittelostalpin sensu TOLLMANN 1977) und Phyllitgneiszone bzw. Landecker Quarzphyllit, was darauf hinweist, daß die Phyllitgneiszone und die transgressiv daraufliegenden Nördlichen Kalkalpen während der kretazischen Überprägung bereits nördlich des Silvretakristallins gelegen waren (vgl. auch Diskussion bei FRANK 1983, 1987). Die alpidische Überprägung hat auch die permoskythischen Klastika an der Basis der Nördlichen Kalkalpen in diesem Raum erfaßt (Neusprossung von Pyrophyllit, STINGL 1982).

Die Kristallingesteine der Phyllitgneiszone zeigen eine ausgeprägte variszische Schieferung und Faltung und, zusammen mit den permotriassischen Sedimenten, eine starke akklüftung.

Die alpidische Metamorphose war auch von einer Schieferung begleitet, die in den Permoskythsedimenten deutlich zu erkennen ist, ebenfalls in E-W-Richtung zeigt und somit dem variszischen Strukturplan folgt.

Eine geologische Übersicht mit der Lage der beschriebenen Erzmineralisationen bringt die Abb. 1.

Einige Daten zur Bergbaugeschichte der Lagerstätte St. Christoph

Bereits im 15. Jh. wurden die silberreichen Bleiglanze dieser Gegend abgebaut und wahrscheinlich in einem Ofen in der Nähe des heutigen Hospizes in St. Christoph verschmolzen. Aus dem 15. Jh. stammen auch die ältesten Berichte dieses Bergbaues (v. DALLA TORRE 1913: „Am 15. November 1464 güthlicher Tag wegen des Streites ,um das Erz auf dem Arlberg“).

WEINZIERL (1972) berichtete von einer Beschwerde des Truchsessen Eberhard von Waldburg im Jahre 1470 beim Herzog Sigismund von Tirol, daß dieser ihn am Silbererzbergbau auf dem Arl behindere, obwohl er dort einen eigenen Bergrichter eingesetzt und den Leuten des Herzogs 200-400 (?) Erzgruben verliehen habe.

In der Folge scheint der Bergbau, möglicherweise im Gefolge des Schwabenkrieges (1499), (sicher nur kurz) eingestellt worden zu sein. Jedenfalls waren bereits im Jahre 1538 die Gewerken mit den bewilligten Terminen für die Bergwerksfreiheiten unzufrieden, weshalb sie um eine Verlängerung einkamen. Dieser Wunsch wurde 1539 von der Regierung in Innsbruck wegen der vielen armen Gewerken und Lehenhäuer dem König Ferdinand

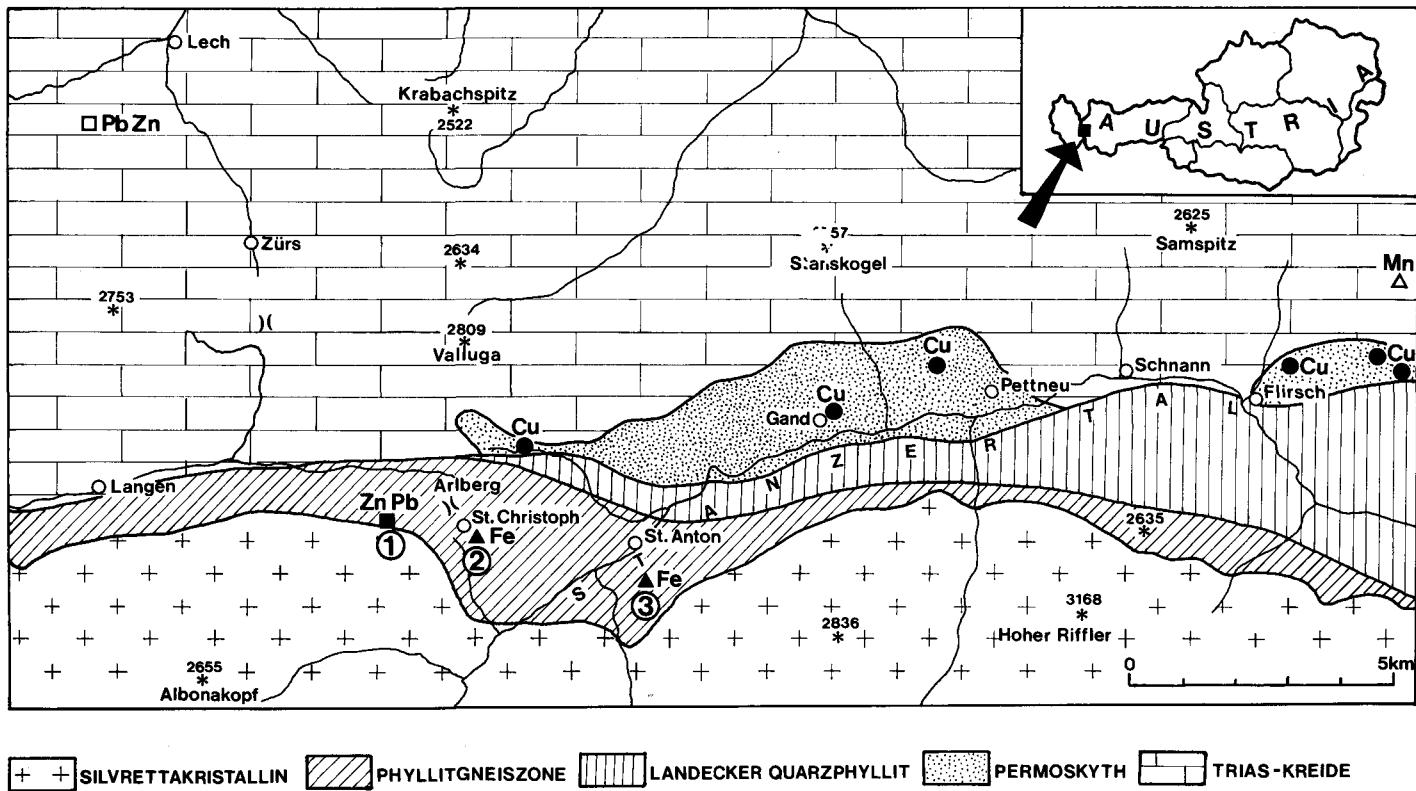


Abb. 1: Geologische Übersichtskarte mit Lage der untersuchten Erzmineralisationen innerhalb der Phyllitgneiszone (1=Gangvererzung St. Christoph, 2=Schieferungskonkordante Sulfidmineralisation St. Christoph, 3=Störungsbundene Magnetkiesvererzung St. Anton). Eingetragen sind auch die Erzmineralisationen im Permoskyth (Fahlerz-Kupferkies-Pyrit), die Pb-Zn-Vererzung der Gsüttter Alpe SW Lech und die Mn-Mineralisation im Bereich der Eisenspitze.

gegenüber befürwortet und eine Verlängerung um 4 bis 5 Jahre vorgeschlagen. Im Jahre 1539 beantragten auch die Gewerken von St. Elena und Gertrauten bei der Innsbrucker Regierung die Belehnung mit neuen Bergwerken. Am 28. 6. 1541 kam auch Christian Stainleitner um die Belehnung mit dem von ihm aufgefundenen Bergwerk am Arlberg ein (ZÖSMAIR 1922).

Dieser am Tage relativ weit ausgedehnte, aber gegen die Teufe nicht sehr weit reichende Bergbau war nur von kurzer Blüte (ATZL 1957). Wegen des offensichtlich größeren Haltes der Erze an silberreichem Bleiglanz gingen die ältesten Abbaue im westlichen Abschnitt der Lagerstätte, in nächster Umgebung des Albonasees, um.

Bereits im 15. Jh. wurde (allerdings vergeblich) versucht, diese Vererzung durch einen Erbstollen, den 192 m langen, geschrämten Nordstollen, von der Paßstraße gegenüber dem Sonnenkopf aus, zu durchörtern. Aus dem Hochtal südlich der Brunnenköpfe sind Ruinen einer Schmelzhütte und Schlacken bekannt. Auch soll bei der Ortschaft St. Christoph seinerzeit ein Röstofen bestanden haben.

Nach der Blüte im 15. und 16. Jh. kam es zu einem Ruhen des Bergbaues bis in unser Jahrhundert. Im Jahr 1913 war die Lagerstätte im Besitz von Henckel-Donnersmark und wurde kurzzeitig beschürft. Im Jahre 1925 begannen die jüngsten Schurfarbeiten (HRADIL 1925). Die letzte Abbauphase (1925-1927) konzentrierte sich auf den Luisengang und den Barbaragang im östlichen Bereich der Lagerstätte, die durch mehrere Stollen aufgefahren wurden, so durch den Barbara-, Ständer- und die Leonidenstollen (Abb. 2). Vom Barbarastollen aus wurde auch ein 12 m tiefer Schacht abgeteuft, wobei etwa 400 t Zinkerz hereingewonnen und verkauft werden konnten. Die Förderung betrug vom September 1925 bis zum April 1926 bei 15 Mann Belegschaft monatlich 50-80 t Stuferz.

War früher die Bringung der Erze zur Arlbergstraße im Winter nur mit einem Sackzug möglich, was angesichts des Gefälles von rund 200 m auf weniger als 1 km mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden war, so besorgte dies in der letzten Abbauperiode eine Seilbahn (HIESSLEITNER 1929 c, d).

1929 wurden die Mineralisationen von St. Christoph (auch durch HIESSLEITNER 1929 d) im Hinblick auf ihre Bauwürdigkeit untersucht, offenbar führten aber letztlich die Einbrüche der Metallpreise, darunter auch die für das Zink, zur Heimsagung dieses Bergbaues.

Erzmineralisationen

Aus der Phyllitgneiszone des Arlberggebietes werden drei verschiedene Mineralisationsarten beschrieben (Lokalitäten siehe Abb. 1):

1. Zinkblende-Gangvererzung St. Christoph
2. Schieferungskonkordante Sulfidmineralisation St. Christoph
3. Störungsgebundene Magnetkiesvererzung St. Anton

Megaskopische Beschreibung

1. Zinkblende-Gangvererzung St. Christoph

Diese Erzmineralisation liegt WSW der Arlberg-Paßhöhe, knapp 1 km westlich von St. Christoph am Arlberg in rund 2000 m Seehöhe unmittelbar nördlich und östlich des Albonasees (bei den Brunnenköpfen), ziemlich genau über der Tunnelachse des Arlberg-Eisenbahntunnels. Die Vererzung ist auf zirka 800 m E-W-Erstreckung und maximal rund

Zinkblende - Gangverzitung St. Christoph / Arlberg

244

Johann Georg Haditsch und Karl Krainer

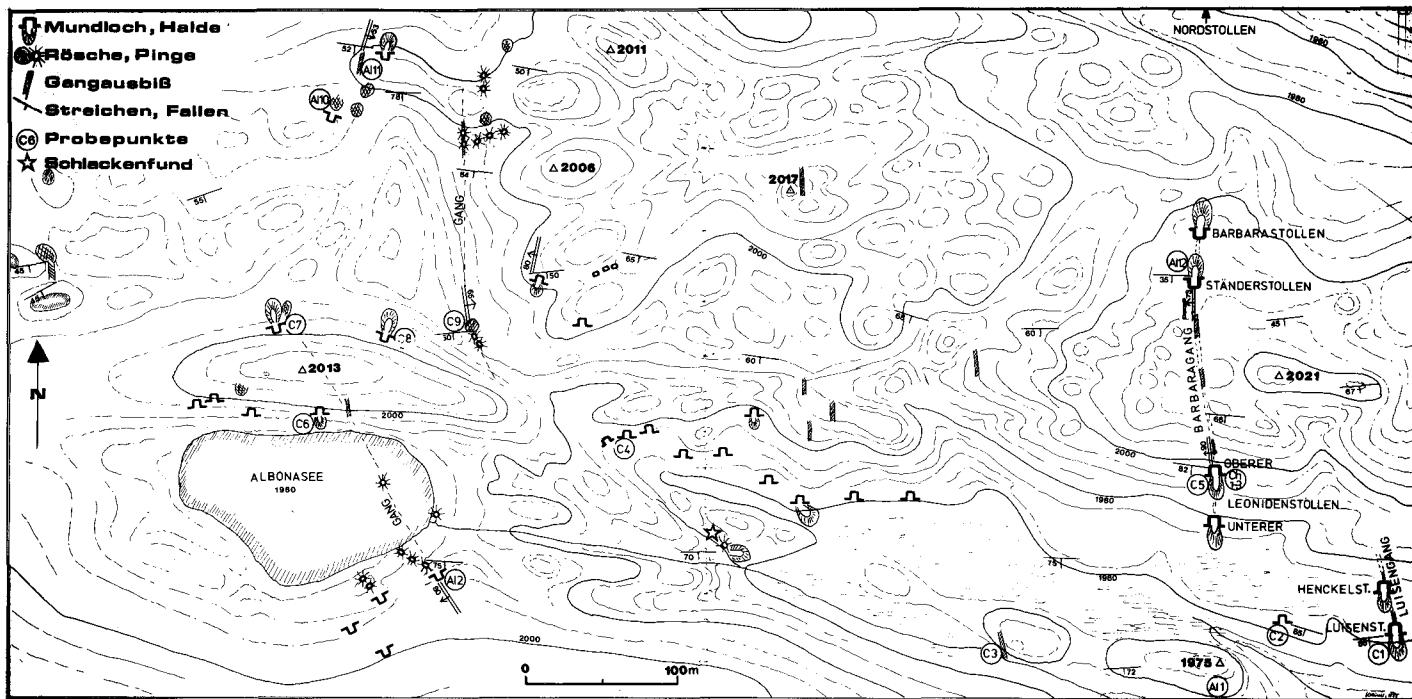


Abb. 2: Verbreitung der Zinkblende-Gangvererzung, zirka 1 km westlich St. Christoph am Arlberg.

400 m N-S-Erstreckung zu verfolgen und durch zahlreiche Stollen, Halden, Röschen und Pingen belegt (Abb. 2, 3).

Die Lagerstätte St. Christoph weist 4 bedeutende Gänge auf. Von W nach E sind dies ein NNW-SSE-streichender, mit rund 80° gegen WSW einfallender Gang, der durch den Albonasee streicht. NNE des Albonasees liegt ein weiterer, ZnS-reicher, etwa N-S-streichender und mit 65° nach E einfallender Gang. Rund 600 m östlich davon liegt der ungefähr N-S-streichende, durch 3 Stollen sowie 3 Schächte und Tonnlagen aufgeschlossene Hauptgang (=Barbaragang), östlich von diesem, ungefähr parallel dazu streichend, verläuft der Luisengang (siehe Abb. 2). Derzeit stehen die Auffahrungen teilweise unter Wasser.

Diese Erzmineralisation ist ident mit der erstmals von v. ISSER erwähnten Lokalität „Maroialpe“ (mit Marmatitblende), die neben der Vererzung St. Christoph immer wieder eigens erwähnt wurde (z. B. GASSER 1913, v. KLEBELSBERG 1935) und auch auf der Lagerstättenkarte von FRIEDRICH (1953) noch eigens eingetragen ist (Blei-Zink-Lagerstätten im Nichtkalkgestein, Vorkommen Nr. 74, „Maroijoch“). Im Bereich des eigentlichen Maroijoches konnte jedoch keine Bleiglanz-Zinkblende-Mineralisation beobachtet werden, lediglich die dort in geringer Mächtigkeit auftretenden Schwarzschiefer (Graphitschiefer) zeigen eine feine konkordante Pyritdurchstäubung und etwas Rutil.

Kurze Erwähnungen fand die Lagerstätte St. Christoph auch durch HIESSLEITNER (1929 a, b, c, d), v. SRBIK (1929), MÜLLER (1929, 1930), SCHROLL (1954, 1955), MATTHIAS (1960, 1961), VOHRYZKA (1968), HADITSCH (1979), SCHULZ (1977, 1983) und SCHULZ & BRIGO (1977). Diese Lagerstätte wurde durch TORNQUIST (1928:235) auch zu einer Typuslagerstätte für Blei-Zink-Vererzungen.

Die Vererzung tritt hauptsächlich in Gangform auf (vgl. auch MATTHIAS 1960, 1961, VOHRYZKA 1968, ALWASHE 1974). Die meist nur cm bis wenige dm, am Tage maximal rund 1 m mächtigen Gänge stehen sehr steil bis saiger, streichen ungefähr N-S, quer zur Schieferung, folgen ac-Klüften und durchziehen diverse, generell E-W-streichende und steil gegen S einfallende Glimmerschiefer (Granatglimmerschiefer, Biotitmuskowitschiefer, Muskowitschiefer) und Gneise der Phyllitgneiszone.

Die Gänge keilen im Streichen rasch aus, sind absetzig. Während die mächtigeren Gänge alle mehr oder weniger N-S-gerichtet sind, treten vor allem in den randlichen Bereichen unregelmäßig verlaufende, bisweilen auch schieferungskonkordante dünne Trümerminerallisationen auf. Auffallend ist, daß in den randlichen Bereichen Bleiglanz scheinbar häufiger vorkommt als in den stärker mineralisierten, zentralen Bereichen.

Über die Erstreckung der Gänge in die Teufe gibt es keine Hinweise, es ist lediglich bekannt, daß beim Bau des Arlberg-Straßentunnels außer etwas Magnetkies keine weiteren, vor allem auch keine Pb-Zn-Erzminerale beobachtet wurden (frdl. mündl. Mitt. Doz. Resch, Innsbruck). Allerdings dürften die Gänge, falls sie überhaupt die entsprechende Teufe erreichen, unmittelbar nördlich des Straßentunnels, etwa im Bereich des Eisenbahntunnels, durchziehen.

Haupterzmineral ist eine dunkelbraune Zinkblende, Bleiglanz tritt stark zurück, ist in den Randbereichen der Lagerstätte bzw. in den kleinen Trümmern und Gängen etwas häufiger zu finden.

Lange Zeit wurde die Zinkblende aufgrund ihrer dunklen Farbe nicht als solche erkannt. So wurde sie 1840 fälschlicherweise als Eisenstein und Eisenglanz bezeichnet (MUTSCHLECHNER 1956), erst um die Jahrhundertwende konnte sie durch v. ISSER richtig bestimmt werden.

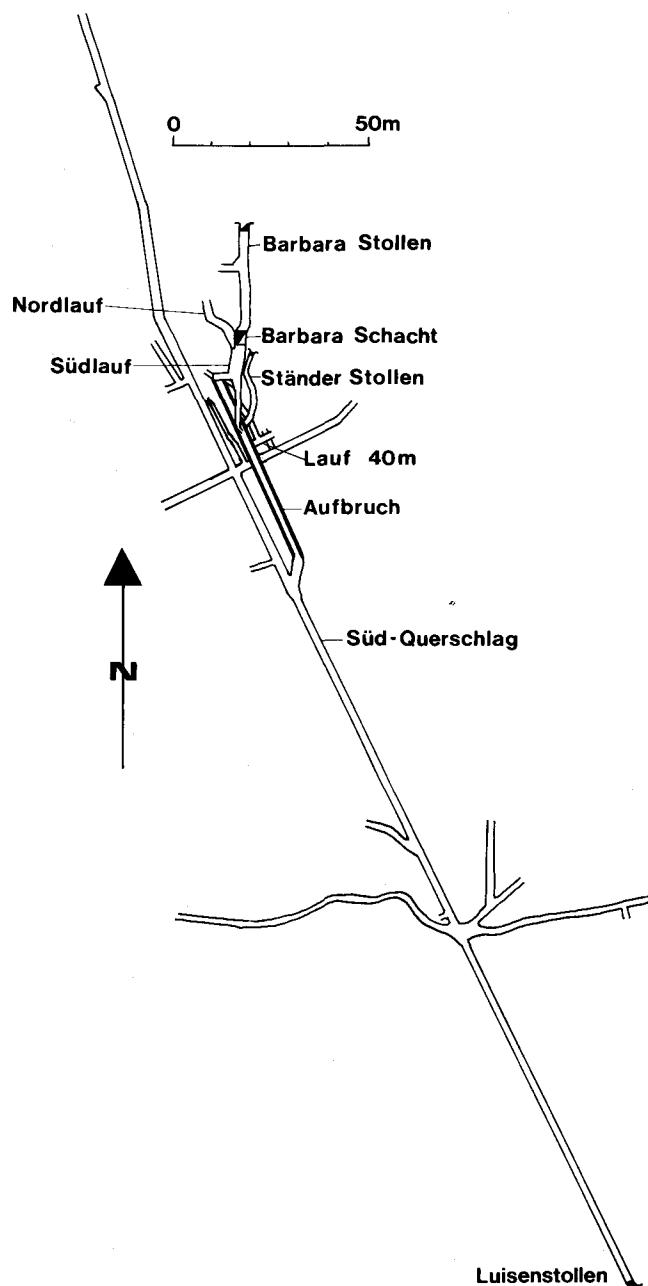
BERGBAU ST. CHRISTOPH - BARBARA-BAU

Abb. 3: Grubenplan (Grundriß) des Barbara-Baues (September 1928), umgezeichnet nach MATTHIAS 1960.

Kupferkies tritt megaskopisch nur selten, und dann nur in kleinen Aggregaten, in Erscheinung. Selten zeigt die Zinkblende Anflüge von Greenockit und Kobaltblüte. Als Gangarten finden sich Quarz und grobspätiger Calcit. Der von einigen Autoren (REITHOFER 1950-51, MUTSCHLECHNER 1956) als Gangart angeführte Magnesit konnte nicht nachgewiesen werden. Desgleichen war es nicht möglich, in den Schliffen den von TUFAR (1974) genannten Hochtemperatur-Kupferkies nachzuweisen.

Der auch als „Hauptgang“ bekannte Barbaragang streicht ziemlich genau N-S und fällt saiger oder steil gegen E oder W ein. Seine Mächtigkeit liegt zwischen einigen cm und 2 m. Er wurde bisher im Streichen auf etwa 200 m verfolgt, seine Erzführung erwies sich als absetzig. Der Gang zeigt einen symmetrischen Aufbau (Abb. 4). Die Grenzen zum Nebengestein, d. h. seine Salzbänder, sind scharf und glatt. Randlich besteht der Gang aus derber Zinkblende mit einzelnen Bleiglanzbutzen. In der Gangmasse schwimmen einige Nebengesteinstrümmer in Form eines nach den Klüften zerlegten Feldspatknotengneises, der durch mm-dicken Quarz, Bleiglanz und etwas Zinkblende ausgeheilt ist. Im zentralen Bereich des Ganges überwiegt Gangart (Quarz und grobspätiger Calcit) neben Zinkblende und etwas Bleiglanz (siehe Abb. 4). Außerdem führt der Gang selten Kupferkies und dessen Oxydationsminerale sowie Kobaltblüte, Greenockit und Hydrozinkit.

Die Zinkblende des Hauptganges (Barbaraganges) ist gegenüber jener der westlich davon gelegenen Mineralisationen heller.

Im Barbaragang fiel zu etwa einem Drittel Derberz (Stuferz) mit 35-40 % Zn an. Der Rest der Erzschrüttung wurde gekuttet. MUTSCHLECHNER (1956) gibt das Verhältnis Zinkblende zu Bleiglanz mit 15:1 an. Eine Zinkblendeanalyse wies 50 Masse-% Zn, 24,8% S, 9,3% Fe₂O₃, 16% SiO₂ und 0,1% CaO nach.

Die Gangmassen zeigen megaskopisch keinerlei Schieferung oder andere postgenetische tektonische Beanspruchungen.

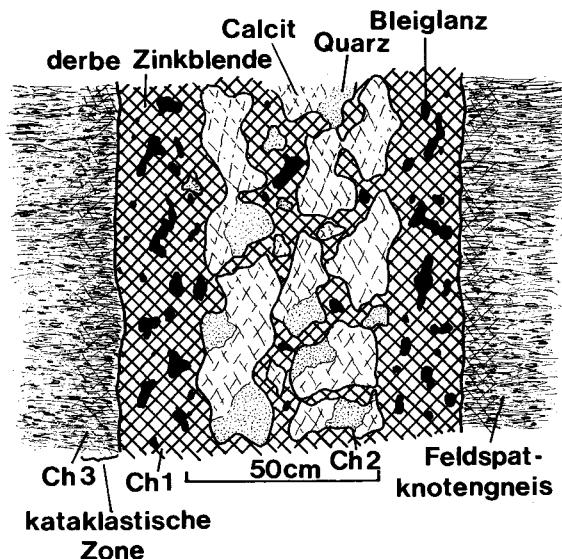


Abb. 4: Zinkblendegang (schematisch), aufgenommen in der Firste des Oberen Leonidenstollens (Barbaragang) im Mundlochbereich. Ch 1, Ch 2 und Ch 3=Probenahmepunkte.

2. Schieferungskonkordante Sulfidmineralisation St. Christoph

Diese Erzmineralisation tritt im selben Gesteinszug auf wie die Zinkblende-Gangvererzung, nämlich innerhalb der Glimmerschiefer der Phyllitgneiszone (vgl. auch ALWASHE 1974). Sie liegt wenige Zehnermeter südlich der Ortstafel „St. Christoph am Arlberg“ direkt in den bergseitigen Felswänden der Arlberg-Paßstraße und tritt in Form mehrerer bis zu rund 3 cm dicker Lagen innerhalb einer Brände auf, die sich lateral über einige Meter verfolgen lassen.

Megaskopisch sind die Erzminerale nicht erkennbar. VAVTAR (1988) nennt von hier Magnetkies, Ilmenit, Rutil, Kupferkies, Markasit, Pyrit, Anatas und Graphit; ALWASHE (1974) erwähnt weiters Bleiglanz, Zinkblende und Molybdänglanzspuren.

Die Erzlagen wurden mit dem Nebengestein mitverfaltet, gehen somit auf eine präalpidische, ursprünglich wohl paläozoische Anlagerung zurück und zeigen mikroskopisch deutlich sichtbare metamorphe Überprägungen.

3. Störung gebundene Magnetkiesvererzung St. Anton

SW von St. Anton am Arlberg konnte direkt neben dem Güterweg, der in das Moosbachtal hineinführt, in ca. 1450 m Seehöhe eine durch den Wegbau freigelegte, an eine Störung gebundene Magnetkiesvererzung gefunden werden.

Diese Erzmineralisation liegt ebenfalls innerhalb der Phyllitgneiszone (siehe Abb. 1), und zwar in teilweise Granat führenden Glimmerschiefern mit eingeschalteten geringmächtigen Amphibolitlagen.

Die Magnetkiesvererzung ist an eine Störung (120/65) gebunden, wird maximal rund 20 cm mächtig, keilt aber im Streichen rasch aus. In einer Reihe von anders orientierten Klüften konnten keine Erzmineralisationen festgestellt werden.

Die Erzmineralisation besteht im wesentlichen aus derbem Magnetkies; als Gangarten treten grobspätiger Calcit und Quarz auf.

Mikroskopische Beschreibung der Erzmineralisationen

1. Zinkblende-Gangvererzung St. Christoph

Im Bereich von St. Christoph treten sowohl konkordante als auch diskordante Erzmineralisationen auf. So liegt beispielsweise ein 3 mm mächtiges, mehr oder weniger s-konkordantes Zinkblendetrum in einem linsig zerscherten Knotengneis, der auch von derben Quarzgängen durchschlagen wird. Im genannten Nebengestein und in den Quarzgängen sind einzelne, bis 1 mm messende Kupferkiesfunken zu erkennen. An einer anderen Stelle wird ein s-konkordantes Zinkblendetrum bis 5 mm mächtig, sein Nebengestein wurde unregelmäßig von bis zu 1 mm mächtigen Bleiglanztrümern durchschlagen. Hier zeigte sich, daß feinste Risse durch Kupferkies und fallweise auch durch Magnetkies ausgeheilt wurden. Beide Minerale sind offensichtlich mobilisiert. Gegenüber diesen Mineralen erwies sich der Pyrit als stabiler. Pyrit, zusammen mit Kupferkies, bildet auch s-konkordante Lagen im Nebengestein.

Die Zinkblende ist unter dem Mikroskop tiefbraun bis fast schwarz und zeigt mm-große Gangarteneinschlüsse. Örtlich ist die dunkle Zinkblende kokardenartig von hellerer Zinkblende umgeben. Die dunkle Zinkblende zeigt reichliche, gewöhnlich mehr oder minder

unregelmäßige Kupferkies- und Magnetkiesentmischungen. Nur fallweise folgen diese Entmischungen kristallographisch vorgezeichneten Richtungen.

Sehr selten konnte in den Anschliffen auch Arsenkies und Fahlerz erkannt werden. Das Fahlerz tritt dabei entweder in Form feiner Tröpfchen im Bleiglanz auf (z. B. in den Probenpunkten C2 und C9) oder heilt Risse der Zinkblende aus (z. B. in Proben vom Henckelstollen).

Im Nebengestein sind Rutil und Titanit allgemein verbreitet, auch Zirkon und Granat konnten in den Anschliffen nachgewiesen werden.

Proben vom Stollen NNW Kote 2013 (Probenpunkt C7) zeigen, daß das Nebengestein hauptsächlich von Bleiglanz und weißem Quarz durchschlagen wird und hier nur wenige, 1-2 mm große Zinkblendekörper auftreten.

In den Proben vom Stollen nördlich der Kote 2013 (Probenpunkt Al 10) tritt neben der tiefbraunen, fast schwarz gefärbten Zinkblende verbreitet auch eine hellere Blende auf. In den Proben Al 11 zeigt sich, daß der hier auftretende Bleiglanz offenbar jünger ist als die Zinkblende mit den reichlichen Magnetkiesentmischungen.

Proben vom Stollen ENE der Kote 2013 (Probenpunkt C8) zeigen einen stark aufgelösten Gneis, dessen Klüfte durch Erz (Zinkblende mit Magnetkiesentmischungen, etwas Bleiglanz und zонарer Pyrit) ausgeheilt wurden.

Auch in einem anderen Stollen (Probenpunkt C9) wurde der Gneis unregelmäßig diskordant durch dunkelbraune Zinkblende durchtränkt. Die Zinkblende enthält einzelne, mehrere mm messende Bleiglanzbutzen und Einschlüsse von Quarz. Bleiglanz zeigt mitunter Einschlüsse von Fahlerz; aufgrund von Mikrosondenuntersuchungen handelt es sich um ein Cu-Fe-Sb-Ag-Fahlerz. Die Zinkblende enthält hier neben relativ wenig Magnetkiesentmischungen auch solche von Kupferkies. Jüngerer Bleiglanz enthält Einschlüsse von Magnetkies. Die Zinkblende wurde kataklastisch zerlegt, die Risse wurden durch Quarz und jüngeren Kupferkies ausgeheilt.

Der Barbaragang zeigt derbe, dunkelbraune Zinkblende, reich an Magnetkies- und Kupferkiesentmischungen und mit wenig Gangart (Calcit; Proben Ch 1, Al 13, siehe Abb. 2). Daneben treten in diesem Bereich auch kleine Bleiglanzkörper und idiomorphe Arsenkieskristalle auf. Mit der Mikrosonde konnte auch ein μm -großes Sn-Mineral (? Zinnkies) festgestellt werden. Die Probe Ch 3 (Abb.4) zeigt im Dünnschliff eine s-konkordante Vererzung in Form einer Magnetkies führenden Zinkblende.

Das Nebengestein zeigt in diesem Bereich eine konkordant eingelagerte Erzmineralisation in Form einer bis zu 1 cm messenden brandigen Lage, die durch eine zarte, schleierartige Zinkblendemineralisation durchstäubt ist. Diese s-konkordante Lage wurde später (postgenetisch) teilweise durch eine grobkörnige Zinkblende verdrängt. Als s-konkordante Einsprengungen im Nebengestein können auch Kupferkies und Pyrit auftreten.

Die Proben des Oberen Leonidenstollens (C5) enthalten ältere Zinkblende mit Magnetkiesentmischungen, daneben auch Pyrit und mobilisierten Magnetkies, der Risse eines etwas älteren Calcites ausheilt. Das relative Alter des Calcites ergibt sich aus dem Umstand, daß dieser Klüfte der Zinkblende und Zwickel eines Mörtelsaumes, der die Blende umgibt, erfüllt.

Proben vom Henckelstollen (C2) enthalten derbe Erzbrocken, die hauptsächlich aus Bleiglanz bestehen, in dem bis zu 0,5 cm große Nebengesteineinschlüsse schwimmen. Der Bleiglanz enthält Magnetkies. Dieser kommt auch in Form von amöboiden, bis 7 mm großen Butzen innerhalb eines weißen bis gelblichen Gangquarzes vor.

Die Zinkblende dieses Ganges hat unregelmäßige Kornformen und wird an ihren Rändern von Bleiglanz umgeben. Bleiglanz und, untergeordnet, Kupferkies kommen auch in isolierten, mm-großen Körnern in der Gangart vor. Unter dem Mikroskop ist zu erkennen, daß der Magnetkies nicht nur als Entmischung innerhalb der Zinkblende vorkommt, sondern auch Risse innerhalb der Zinkblende ausheilt und auch als Einschluß im Bleiglanz auftreten kann. In der Zinkblende selbst oder an ihren Korngrenzen kann auch Pyrit auftreten. Für die Genese von Bedeutung sind offensichtlich junge, im Bleiglanz aufgesproßte Glimmerpakete.

Erzproben vom Luisenstollen sind durch dunkelbraune Zinkblende charakterisiert, die hauptsächlich länglich geformte, linsige Nebengesteinsbruchstücke umfließt. Insgesamt erscheint das Nebengestein dieses Ganges sehr stark aufgelöst und von dunkelbrauner Zinkblende durchtränkt. Das Nebengestein selbst zeigt vereinzelt s-konkordante Erzlagen.

Die Zinkblende zeigt die üblichen Magnetkiesentmischungen und wird durch jüngeren Kupferkies, Quarz und Calcit durchschlagen. Ein einige mm mächtiges Zinkblendetrum weist an seinen Salbändern auch Kupferkies auf, außerdem treten hier in der Zinkblende frisch aufgesproßte Phyllosilikate (Muskowit, Chlorit) auf.

Zusammenfassend ergibt sich somit der folgende Ablauf der Erzmineralisation:

Konkordante Vererzung: Zinkblende (+Magnetkies)+Kupferkies+Pyrit+Arsenkies?

xxxxx

Diskordante Vererzung: Zinkblende (+Kupferkies+Magnetkies)

Zinkblende

xxxxx

Bleiglanz+Magnetkies

xxxxx

Bleiglanz+Fahlerz+Pyrit

xxxxx

Kupferkies+Magnetkies

2. Schieferungskonkordante Sulfidmineralisation St. Christoph

Die Probe SC1 zeigt ein schichtiges, s-konkordantes Kieserz in Form einer schleierartigen Sulfidvererzung und einzelne, sammelkristallisierte bzw. rekristallisierte grobe Pyritkörner. Der Schleier besteht aus Magnetkies. Pyrit tritt auch im Granat auf, vereinzelt findet sich Zinkblende mit Magnetkiesentmischungen.

Auch die Probe SC2 ist durch eine s-konkordante Magnetkiesvererzung charakterisiert. Zusätzlich enthält diese Probe Kupferkies, porigen und glatten Pyrit, sowie Markasit. Der porige Pyrit tritt häufig als Zwickelfüllung zwischen den anderen Mineralen auf. Das Nebengestein dieser Vererzung ist braun bis gelblich verfärbt (Brande). Die eigentliche Erzlage hat eine Mächtigkeit von rund 5 mm, die größten Pyritkörner erreichen eine Korngöße von 0,5 mm.

Die Probe SC3 zeigt eine s-konkordante, zeilenförmige Vererzung mit unterschiedlich mächtigen, bis zu 4 mm dicke messenden Lagen. Auch hier ist teilweise eine schleierartige Erzdurchtränkung mit einzelnen größeren Pyritkörnern zu beobachten. Magnetkies, Kupferkies, z. T. poröser Pyrit sowie Granat und die Phyllosilikate markieren das schieferige Gefüge.

3. Störungsgebundene Magnetkiesvererzung St. Anton

Das Erz besteht aus cm-dicken Magnetkieslagen mit Gangart einschlüssen. Der Magnetkies enthält, offenbar längs zweier kristallographisch vorgegebener Richtungen, Pyritstreifen und daneben auch etwas Kupferkies. Der Pyrit kann stellenweise zerbrochen sein, seine Klüfte wurden dann durch jüngeren Magnetkies, Kupferkies und Quarz verheilt. Die jüngste Ausheilung erfolgte offensichtlich durch Calcit.

Pyrit tritt hier in zwei Generationen auf: einerseits in Form eines zerbrochenen und angelösten Kieses, der älter als der Magnetkies ist, und andererseits teilweise idiomorph mit Magnetkieseinschlüssen. Auch der Calcit scheint in mehreren Generationen vorzuliegen. Eine ältere Generation wird durch Pyrit verdrängt.

Damit zeigt die Erzmineralisation folgenden Ablauf:

Magnetkies

xxxxx

Pyrit

xxxxx

Magnetkies+Kupferkies

Pyrit

Geochemische Untersuchungen

Untersuchungsmethodik

Neben mit den üblichen erzmikroskopischen Untersuchungsmethoden wurde eine Reihe von Proben auch mit der Mikrosonde (ARL-SEMQ mit angeschlossenem qualitativen energiedispersivem System KeVex) auf Einschlüsse und Verwachsungen untersucht.

Für die geochemischen Untersuchungen wurden unter dem Binokular zunächst reine Zinkblenden und Bleiglanze herauspräpariert. Auf Grund der relativ geringen Bleiglanzführung und der starken Verwachsungen konnten von der Zinkblende-Gangvererzung St. Christoph jedoch nur zwei Bleiglanzkonzentrate gewonnen werden. Die separierten Erzproben wurden durch Behandlung mit HCl vom Calcit und durch Schweretrennung vom Quarz befreit.

Alle Konzentrate erwiesen sich nach Untersuchungen von Stichproben als sehr rein (über 98% Erzminerale); als taube Beimengung konnte nur etwas Quarz nachgewiesen werden. Die Erzkonzentrate wurden vier Stunden bei 110°C getrocknet und 0,5 g jeder Probe mit 3 ml HNO₃ (suprapur, konz.) in 50 ml-PTFE-Bomben (Berghof-Design) vier Stunden lang bei 150°C aufgeschlossen. Die Lösung wurde auf 100 ml verdünnt; hierauf wurden mit dem Atom-Absorptions-Spektrometer (SP-9, Philips-Pye Unicam) die folgenden Spurenelemente erfaßt: Ag, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn (mit gewöhnlicher Flammentechnik), As, Bi, Ga, Ge, In, Se, Sb, Te, Tl (mit der Graphitrohre) und Hg (mit der Kalt-Gas-Methode). Background-Störeffekte wurden mittels der Deuterium-Background-Kompensation korrigiert.

Unter Verwendung der internationalen Referenz-Standards CZN-1 (Zink-Konzentrat) und CBP-1 (Blei-Konzentrat) vom CCRMP (Canadian Center for Mineral and Energy Technology) wurden Eichkurven erstellt. Bei jenen Elementen, für die keine Standard-Daten erhältlich sind (Co, Ga, Ge, Tl), wurde die Standard-Additions-Methode angewen-

det. Zur Überprüfung der Aufschlußqualität und Meßgenauigkeit wurden einige Proben zweimal aufgeschlossen und gemessen.

Ergebnisse

Gemessen wurden 14 Zinkblendeproben der Gangvererzung St. Christoph, als Vergleich dazu sechs Zinkblendeproben der PbS-ZnS-Vererzung Lafatsch (Nördliche Kalkalpen), sowie zwei Bleiglanzproben der Gangvererzung St. Christoph und als Vergleich je drei Bleiglanzproben der PbS-ZnS-Vererzungen Lech (Gstüter Alpe SW Lech am Arlberg) und Lafatsch (beide in Mitteltriaskarbonatgesteinen der Nördlichen Kalkalpen). Die Spurenelementgehalte der Zinkblenden und Bleiglanze sind in Tab. 1 und 2 zusammengefaßt.

Zinkblende

Die Zinkblende der Gangvererzung St. Christoph erweist sich als Fe-reich (durchschnittlich 5,16 % Fe), was auf die Magnetkiesentmischungen in der Zinkblende zurückzuführen ist. Weiters ist die Zinkblende durch einen hohen Cd-Gehalt (1740 ppm) charakterisiert, was angesichts der Greenockit-Anflüge nicht überrascht, weiters durch relativ hohe Co-(220 ppm) und Cu-Werte (226 ppm, Kupferkiesentmischungen), sowie erhöhte Mn- (292 ppm) und Hg-Werte (183 ppm). Die As-Gehalte sind gering (32 ppm), sehr gering sind die Gehalte an Ge, In, Se, Te, Tl (alle unter 10 ppm). Charakteristisch für die Zinkblende der Gangvererzung St. Christoph ist auch, daß die einzelnen Spurenelementgehalte nur geringen Schwankungen unterworfen sind.

Die Pb-Gehalte variieren sehr stark (77 ppm – 3,10%), was auf teilweise starke Verwachungen mit PbS zurückzuführen ist.

Erste Analysen zweier Zinkblendeproben auf ihren Spurenelementgehalt hat bereits SCHROLL (1954:26) veröffentlicht. Diese Analysen zeigen als Besonderheit eine gegenüber anderen Lagerstätten desselben oder ähnlichen Typs (wie Schneeberg in Tirol, Tösens, Eggental, Sterzing, Pflersch, Pfunderer Berg, Rabenstein/Sarntal) extreme Armut an Sn. Auch hinsichtlich der Elemente Ga, In, Ge und Mn ergaben die Analysen sehr niedrige Werte. Germanium konnte SCHROLL nur in einer sehr eisenreichen Zinkblende nachweisen. Jüngere Analysen (SCHROLL 1959:25) bestätigen mit 0,0001-0,0003 % Ge diesen Befund, der diese Arlberger Blenden im Vergleich zu den Zinkblenden des Drauzuges, der Nördlichen Kalkalpen, auch anderer Vorkommen (wie beispielsweise Leogang, Kulmberg, Metnitz, auch Tösens) als sehr Ge-arm ausweist. SCHROLL (1955) gibt für Ge maximal 10-100 g/t ZnS und für Hg max. 100-1000 g/t ZnS an. Nach seiner Auffassung würde die Vererzung von St. Christoph zu den (älteren) präalpin-tauriden gehören.

Die eigenen Untersuchungen bestätigen im wesentlichen die von SCHROLL veröffentlichten Befunde, zeigen aber auch, daß die von SCHROLL angeführten Spurenelementgehalte generell als zu hoch zu betrachten sind.

Die Zinkblende aus Lafatsch zeigt dagegen starke Schwankungen im Spurenelementgehalt (vgl. auch FRUTH 1966, PIMMINGER 1983) und ist charakterisiert durch hohe As- (bis 4100 ppm) und Tl-Gehalte (bis 912 ppm) sowie geringe Gehalte an Co (max. 10 ppm), Fe (max. 3269 ppm), Ga (max. 7 ppm), Hg (max. 3 ppm) und Mn (max. 23 ppm). Ag, Bi, Cd, In, Sb, Se zeigen keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 1: Spurenelemente von Zinkblenden der Gangmineralisation St. Christoph (Proben Al 10 bis C 5b) und von der Pb-Zn-Vererzung Lafatsch/Nördliche Kalkalpen (Proben SS, 800 m und SII), Fe und Pb-Werte teilweise in %, ansonsten in ppm.

	St. Christoph												Lafatsch							
	Al 10	Al 10	Ch 1a	Ch 1b	Ch 1c	Ch 1d	Ch 2	C 1d	C 1f	C 4a	C 4a	C 4a	C 5b	Mean	SS	SS	800m	800m	SH	SH
Ag	41	<3	4	15	<3	<3	6	<3	34	23	31	33	30	21	<3	<3	9	36	51	63
As	5	6	71	50	22	13	17	74	19	61	41	40	24	32	4100	n.d.	76	85	148	458
Bi	<3	<3	14	8	22	45	15	42	26	10	13	15	12	16	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Cd	1955	1933	1865	1743	1600	1856	1591	1690	1822	1392	1434	1474	1413	1740	736	746	3015	3105	4074	5450
Co	84	110	269	229	210	155	259	361	306	227	218	222	255	220	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cu	117	112	64	99	123	388	54	126	217	262	346	335	557	226	<10	<10	118	116	104	124
Fe	5,36	5,63	5,56	5,07	5,36	5,48	5,01	5,82	5,67	5,34	5,34	5,42	4628	5,16	3269	3118	119	231	261	498
Ga	31	108	12	14	13	30	5	10	8	38	42	46	8	47	2	2	<1	2	7	5
Ge	6	8	3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	<1	<1	<1	2	2	3
Hg	279	212	228	183	181	208	178	183	182	124	126	135	168	183	<1	<1	2	2	2	3
In	3	4	4	4	2	7	2	2	3	5	4	4	<1	3,4	3	3	5	3	4	7
Mn	137	143	279	245	369	194	385	170	189	439	422	430	366	292	23	21	<10	<10	<10	<10
Pb	77	518	1653	153	820	3,1%	282	2789	1364	2512	5026	5089	731	4037	1,67	1,69	792	657	1042	1369
Sb	21	28	11	9	5	19	8	16	9	20	45	50	75	34	250	241	7	5	7	5
Se	2	2	2	2	<1	<1	<1	<1	2	2	<1	<1	<1	-	4	4	3	2	2	3
Te	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Tl	3	<1	2	2	2	<1	2	<1	2	4	38	35	2	-	893	912	4	8	48	73

Tabelle 2: Spurelementgehalte einiger untersuchter Bleiglanze (C 2b=Zinkblende-Gangvererzung St. Christoph; L 4a, L 4b, L 4c=Pb-Zn-Vererzung Gstüttler Alpe bei Lech/Nördliche Kalkalpen; 800 m=Pb-Zn-Vererzung Lafatsch/Nördliche Kalkalpen)

C 2b	C 2b	L 4a	L 4b	L 4c	800m	800m
Ag	1044	1313	<3	<3	15	81
As	34	22	71	98	912	975
Cd	25	166	22	33	13	7
Cu	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Fe	868	5678	1485	2851	469	<10
Mn	<10	27	<10	<10	15	<10
Sb	1.57%	7290	54	54	19	4512
Tl	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Bleiglanz

Bleiglanze der Gangvererzung St. Christoph (zwei Analysen) sind reich an Ag (max. 1313 ppm), Sb (max. 1,57 %) und auch an Fe (max. 5678 ppm), was im wesentlichen auf Fahlerzeinschlüsse zurückzuführen ist. Auffallend gering sind die As-Gehalte (max. 34 ppm).

Bleiglanze der PbS-ZnS-Vererzung Lech und Lafatsch zeigen dagegen wieder relativ starke Schwankungen im Spurenelementgehalt und sind gekennzeichnet durch geringe Ag- (max. 81 ppm) und Sb-Gehalte (max. 5644 ppm), sowie hohe As-Gehalte (max. 975 ppm). Die aus den Untersuchungen der Zinkblende und Bleiglanze der Nördlichen Kalkalpen (Lafatsch, Lech) gewonnenen Daten decken sich recht gut mit den bereits bekannten Ergebnissen (z. B. SCHROLL 1950, 1955, PIMMINGER 1983).

Nach SCHROLL (1976, 1979, 1985) lassen Spurenelementgehalte von Zinkblenden und Bleiglanzen Rückschlüsse auf deren Bildungstemperaturen zu. So sind Zinkblenden heißhydrothermaler Entstehung im Vergleich zu den tiefhydrothermalen bzw. sedimentären

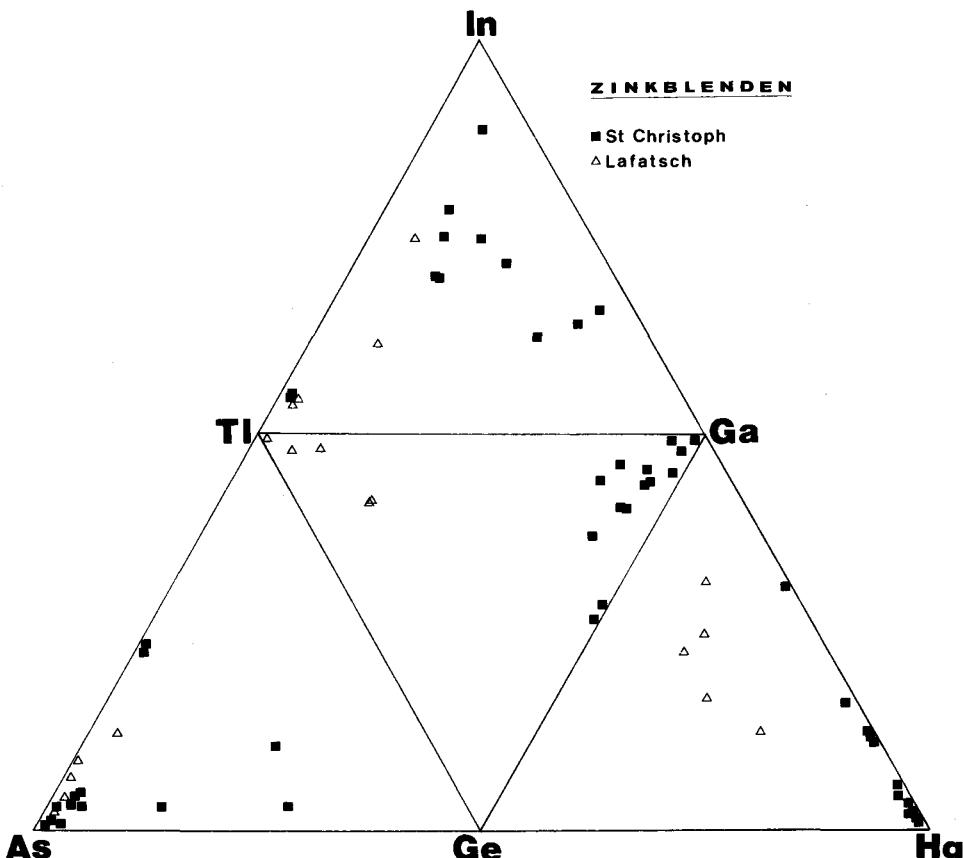


Abb. 5: Spurenelemente untersuchter Zinkblenden in der multiplen Dreieksdarstellung nach SCHROLL (1979). Hinsichtlich ihrer Spurenelementgehalte zeigen die Zinkblenden der Gangvererzung St. Christoph und von Lafatsch (Nördliche Kalkalpen) deutliche Unterschiede (siehe dazu auch Tab. 1).

Zinkblenden durch hohe Fe-, Mn-, Co-, Sn-Gehalte und niedrige Ga-, Ge- und Tl-Gehalte charakterisiert. Bleiglanze heißhydrothermaler Bildung weisen im Vergleich zu jenen sedimentärer Entstehung hohe Ag-, Sb- und Bi-Gehalte ($> 1000 \text{ ppm}$) auf.

Aus den Tab. 1 und 2 geht hervor, daß die Zinkblenden und Bleiglanze der Gangmineralisation St. Christoph aufgrund ihrer Spurenelementgehalte als heißhydrothermal zu betrachten sind und sich deutlich von jenen der Lagerstätten Lafatsch und Lech unterscheiden (siehe auch Abb. 5). Teilweise orientierte Magnetkiesentmischungen in den Zinkblenden der Gangvererzung St. Christoph weisen ebenfalls auf eine heißhydrothermale Entstehung hin.

Nach MÖLLER et al. (1983) und DULSKI et al. (1985) ist das Ga/Ge-Verhältnis der Zinkblenden temperaturabhängig und gibt somit ebenfalls Hinweise auf die Bildungstemperaturen. Für Zinkblenden der Lagerstätte Gorno/Italien weist das Verhältnis $\lg(\text{Ga}/\text{Ge})$ von +0,5 bis +0,9 auf $T > 200^\circ \text{C}$ hin, während Zinkblenden aus Bleiberg-Kreuth ein Verhältnis $\lg(\text{Ga}/\text{Ge})$ von -1,5 bis -0,5 zeigen, was auf Temperaturen von rund 50°C schließen läßt (MÖLLER et al. 1983). Zinkblenden der Gangvererzung St. Christoph zeigen ein Verhältnis $\lg(\text{Ga}/\text{Ge})$ von +1,4, was auf Temperaturen von weit über 200°C hinweist.

Zusammenfassend läßt sich somit aus der Spurenelementparagenese, dem Ga/Ge-Verhältnis und den Magnetkiesentmischungen der Zinkblenden sowie aus den Spurenelementen der Bleiglanze der Gangvererzung St. Christoph eindeutig eine heißhydrothermale Entstehung ableiten.

Diskussion der Ergebnisse

Einleitend sei festgehalten, daß es sich bei den beschriebenen Erzmineralisationen um genetisch unterschiedliche Typen handelt.

In der Literatur wurde bisher vor allem zur Genese der Zinkblende-Gangvererzung Stellung bezogen. MATTHIASS (1960, 1961) und VOHRYZKA (1968) erklären diese Gangvererzung als Folge der „alpinen Metallogenese“, fassen sie also als alpidisch entstanden auf. ALWASHE (1974) deutet die s-konkordante Sulfidvererzung St. Christoph als syngenetisch mit dem Nebengestein (somit präalpidisch) entstanden und die Zinkblende-Gangvererzung als während der alpidischen Metamorphose von der primär schichtgebundenen Vererzung mobilisiert. Dagegen handelt es sich bei der Zinkblende-Gangvererzung nach VAVTAR (1988) nicht um alpidische ac-Klüfte, sondern um „eine variszisch metamorphe Vererzung von Reißklüften in ac-Lage zu voralpidischen B-Achsen“.

Wesentlich für eine genetische Deutung der Zinkblende-Gangvererzung sind folgende Punkte:

- Die Gänge streichen quer zur variszischen und alpidischen Schieferung, durchschlagen diese und folgen ac-Klüften (ähnlich den „Goldquarzgängen“ bzw. „alpinen Klüften“ der Hohen Tauern).

- Die Gangmassen zeigen megaskopisch keine Schieferung, sind nur mikroskopisch teilweise kataklastisch überprägt, zeigen somit keine Spuren einer metamorphen Überprägung.

- Zinkblende und Bleiglanz der Gangmineralisation sind aufgrund ihrer Spurenelementgehalte und Entmischungen als heißhydrothermale Bildungen aufzufassen.

Zu dem von VAVTAR (1988) angeführten Argument, daß die Partnachsichten (Nördliche Kalkalpen), die nördlich der Arlbergstraße an das Kristallin der Phyllitgneiszone gren-

zen, ein anderes Deformationsmuster aufweisen als die metamorphen Gesteine der Phyllitgneiszone im Bereich der Gangvererzung, daher die Gangvererzung nicht alpidisch sein kann, sei bemerkt, daß Karbonatgesteine bei einer tektonischen Deformation generell ein anderes Verhalten als metamorphe Gesteine zeigen, die Nördlichen Kalkalpen vielfach einen anderen Deformationsplan als die südlich benachbarten Kristallingesteine aufweisen, und schließlich auch zu berücksichtigen ist, daß die alpidische Deformation mehrphasig ablief.

Auch die teilweise kataklastisch überprägten Erze der Gangmineralisation sprechen nicht von vornherein gegen eine alpidische Entstehung der Gänge. Beispielsweise sind in den jungen Goldquarzgängen der Hohen Tauern die älteren, Gold und Silber führenden Gangmassen aus Arsenkies, Pyrit und Quarz infolge leichter tektonischer Nachbewegungen entlang der Klüfte kataklastisch überprägt worden, wobei es nachfolgend sogar zu jüngeren Lösungsnachschrüben und zur Bildung von Kupferkies, Bleiglanz, Zinkblende etc. kam (FRIEDRICH 1953).

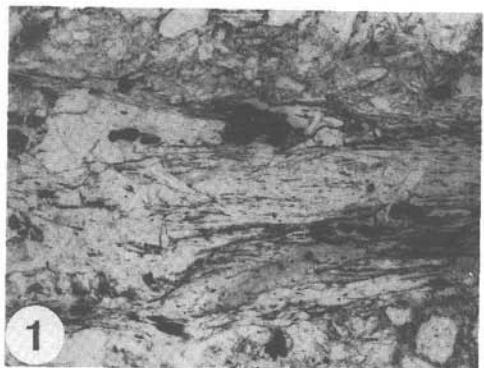
Hinsichtlich der Genese der Zinkblende-Gangvererzung von St. Christoph kommt auch den von HADITSCH & MOSTLER (1985) beschriebenen Gangmineralisationen der Phyllitgneiszone im Bereich Bartholomäberg (Montafon/Vorarlberg) eine gewisse Bedeutung zu. Es handelt sich dabei um eine Kupferkies-Fahlerz-Gangmineralisation, die altalpidisch angelegte tektonische Strukturen durchschlägt und daher als post-alpidisch, heißhydrothermal aufgefaßt werden muß. Abgesehen von der unterschiedlichen Erzmineralparage- nese sind die Ähnlichkeiten dieser nur rund 20 km voneinander entfernten Gangmineralisationen von St. Christoph und Bartholomäberg nicht zu übersehen.

Zusammenfassend ergeben sich für die Zinkblende-Gangvererzung St. Christoph folgende Fakten: Eine variszische Entstehung der Gangmineralisation im Sinne von VAVTAR (1988) scheidet eindeutig aus. Auch ein Zusammenhang mit der altalpidischen Metamorphose, die im Arlberggebiet Temperaturen von maximal rund 300 °C erreicht hat (AMANN 1985), scheint nicht gegeben. Einerseits sind diese Temperaturen für die Bildung heißhydrothermaler Lösungen zu niedrig, zum anderen kann auch eine metamorphe Überprägung der Erzminerale durch diese alpidische Metamorphose nicht beobachtet werden. So kommt man zwangsläufig zur Auffassung, daß die Zinkblende-Gangmineralisation von St. Christoph analog jener im Montafon als jungalpidisch einzustufen ist. Die kataklastische Überprägung der Gangminerale läßt sich durch jüngste tektonische Bewegungen erklären.

Tafel 1 →

- Fig. 1: Stratiform in den Glimmerschiefer eingelagerte Opazite und Zinkblende. $s =$ waagrecht. Durchlicht, 1 Pol., ca. 15 \times . — Gangvererzung St. Christoph, Luisenstollen (Probenahmepunkt C 1).
- Fig. 2: Dasselbe wie Fig. 1, + Pol.
- Fig. 3: Stratiforme Lage von Opaziten und dunkler Zinkblende. Im Liegenden hauptsächlich Quarz und Feldspat, im Hangenden verzwillingter Calcit. Calcit und Quarz auch in den Rissen der Zinkblende (gröbere, dunkle Körner in der Bildmitte). $s =$ waagrecht. Durchlicht, 1 Pol., ca. 15 \times . -Gangvererzung St. Christoph, Luisenstollen (Probenahmepunkt C 1).
- Fig. 4: Dasselbe wie in Fig. 3, +Pol.
- Fig. 5: Quarz- und glimmerreiche Lage. In Zwickeln und in einem diskordant durchsetzenden Riß mobilisierte Zinkblende. $s =$ waagrecht. Durchlicht, 1 Pol., ca. 15 \times . — Gangvererzung St. Christoph, Luisenstollen (Probenahmepunkt C 1).
- Fig. 6: Dasselbe wie in Fig. 5, +Pol.

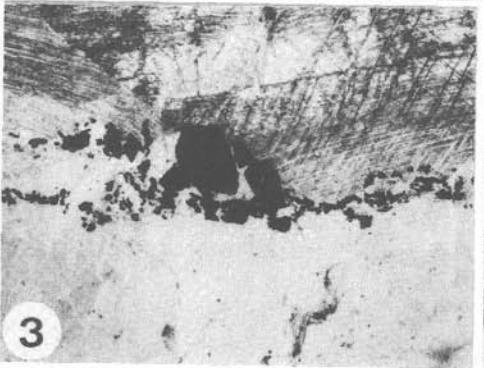
TAFEL 1



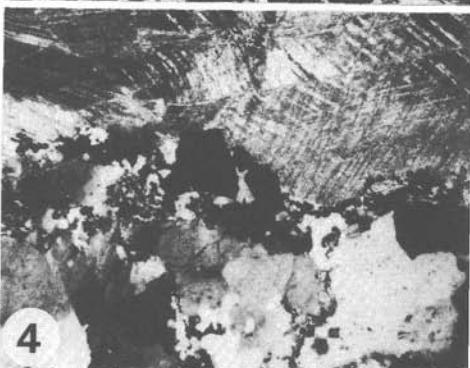
1



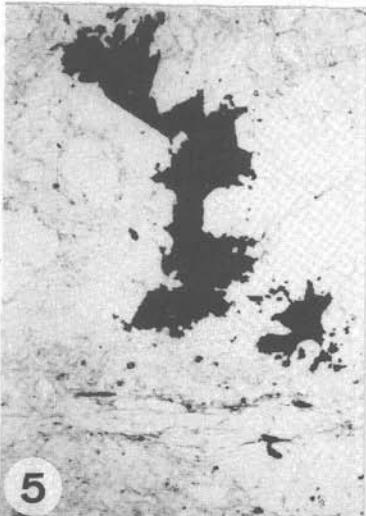
2



3



4



5



6

In der Phyllitgneiszone gibt es keinen Hinweis auf eine spätalpidische Metamorphose, sodaß die entsprechende Wärmequelle für die heißhydrothermalen Lösungen in größerer Tiefe zu suchen ist. Möglicherweise besteht dabei ein Zusammenhang mit der fortschreitenden Subduktion des Nordpenninikums und den damit verbundenen hohen Druck/Temperatur-Bedingungen in der Tiefe. Dieses thermische Ereignis entspricht der „Dritten alpidischen Kristallisationsphase“ (der eigentlichen Tauernkristallisation) im Oligozän, die auch für die Entstehung der Golderzgänge in den Hohen Tauern verantwortlich gemacht wird (OBERHAUSER 1978).

Bei der s-konkordanten Sulfidvererzung von St. Christoph handelt es sich im Gegensatz zur Gangvererzung um eine primär präalpidische, alpaläozoische syngenetische (stratogene) Mineralisation. Diese Mineralisation wurde mit dem Gestein mitverfaltet (im cm – dm-Bereich). Nach der Verfaltung der Erzlagen wurden diese metamorph überprägt, wobei es zur Neubildung von almandinreichem Granat und Epidot sowie Verdrängung der Erzminerale gekommen ist. Die neugebildeten Mineralphasen greifen quer über die Faltung hinweg, im neugesproßten Granat sind relikтив noch Erzminerale enthalten.

Nachdem die Temperaturen der alpaläidischen Metamorphose (max. rund 300°C, AMANN 1985) für die Neubildung von Granat nicht ausreichten, eine jungalpidische Metamorphose nicht bekannt ist, muß diese Metamorphose variszischen Alters sein. Eine variszische Metamorphose in oberer Grünschieferfazies bis oberer Amphibolitfazies ist für diesen Raum auch belegt (THÖNI 1981, KRECY 1981, AMANN 1985). Entsprechend sind die s-konkordanten Erzlagen als prävariszisch (alpaläozoisch) aufzufassen.

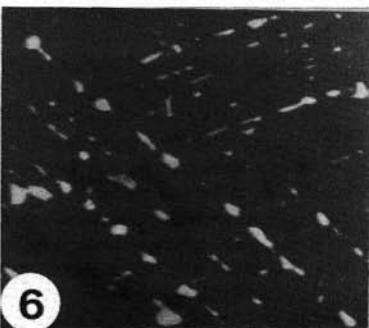
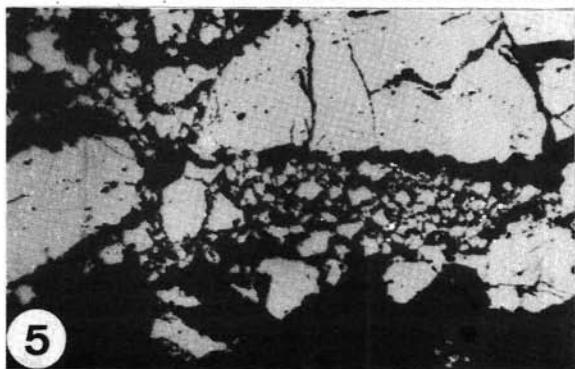
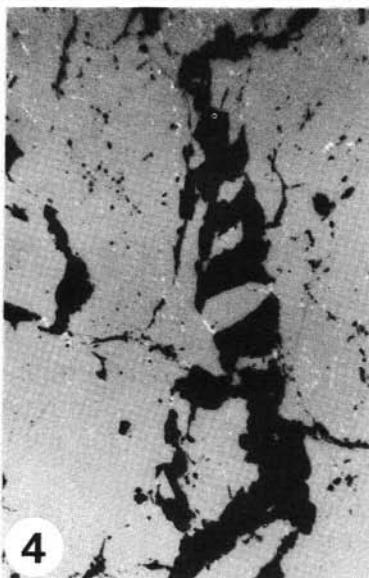
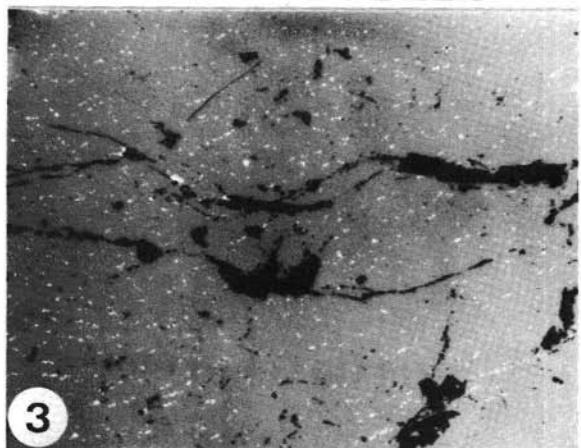
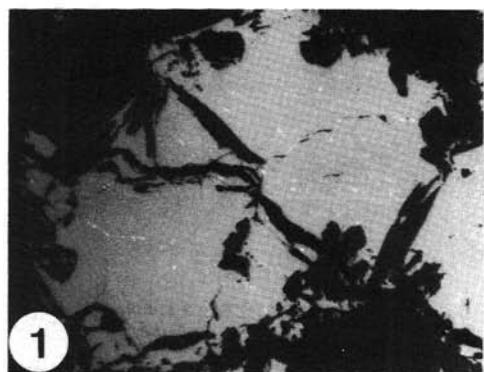
Möglicherweise handelt es sich bei den Erzmineralen der Zinkblende-Gangvererzung um lokale Mobilisate dieser auch im Bereich der Gangvererzung auftretenden s-konkordanten (stratigenen) Erzmineralisationen.

Bei der störungsgebundenen Magnetkiesvererzung von St. Anton handelt es sich mit Sicherheit um eine alpidische Mineralisation, wobei der Magnetkies als Mobilisat aus dem Nebengestein aufzufassen ist.

Tafel 2

- Fig 1: Zinkblende mit mehr oder minder unregelmäßiger Magnetkiesentmischung und syngenetisch aufgesproßtem Glimmer (dunkel). Auflicht, 1 Pol., ca. 55x. — Gangvererzung St. Christoph, Luisenstollen (Probenahmepunkt C 1).
- Fig. 2: Pyrit und Bleiglanz (beide hell) und Glimmer (dunkel). Die Risse des Glimmers sind durch Bleiglanz ausgeheilt. Auflicht, 1 Pol., ca. 150x. — Gangvererzung St. Christoph, Henkelstollen (Probenahmepunkt C 2).
- Fig. 3: Zinkblende mit nur z. T. geregelten Magnetkiesentmischungen, daneben (rechts oben) auch Glimmer (dunkel). Auflicht, 1 Pol., ca. 55x. — Gangvererzung St. Christoph, Luisenstollen (Probenahmepunkt C 1).
- Fig. 4: Zinkblende (mit Magnetkiesentmischung) zeigt eine fiederspaltenartige Struktur, welche auf eine syngenetische Durchbewegung hindeutet. Auflicht, 1 Pol., ca. 55x. — Gangvererzung St. Christoph, Luisenstollen (Probenahmepunkt C 1).
- Fig. 5: Zinkblende (mit Magnetkiesentmischung) wird von einem Mörtelsaum umgeben. Die Gangart besteht aus Calcit. Auflicht, 1 Pol., ca. 55x. — Gangvererzung St. Christoph, Oberer Leonidenstollen (Probenahmepunkt C 5).
- Fig. 6: Orientierte Magnetkiesentmischung in Zinkblende. Auflicht, 1 Pol., ca. 330x. — Gangvererzung St. Christoph (Probenahmepunkt C 8).

TAFEL 2



Dank

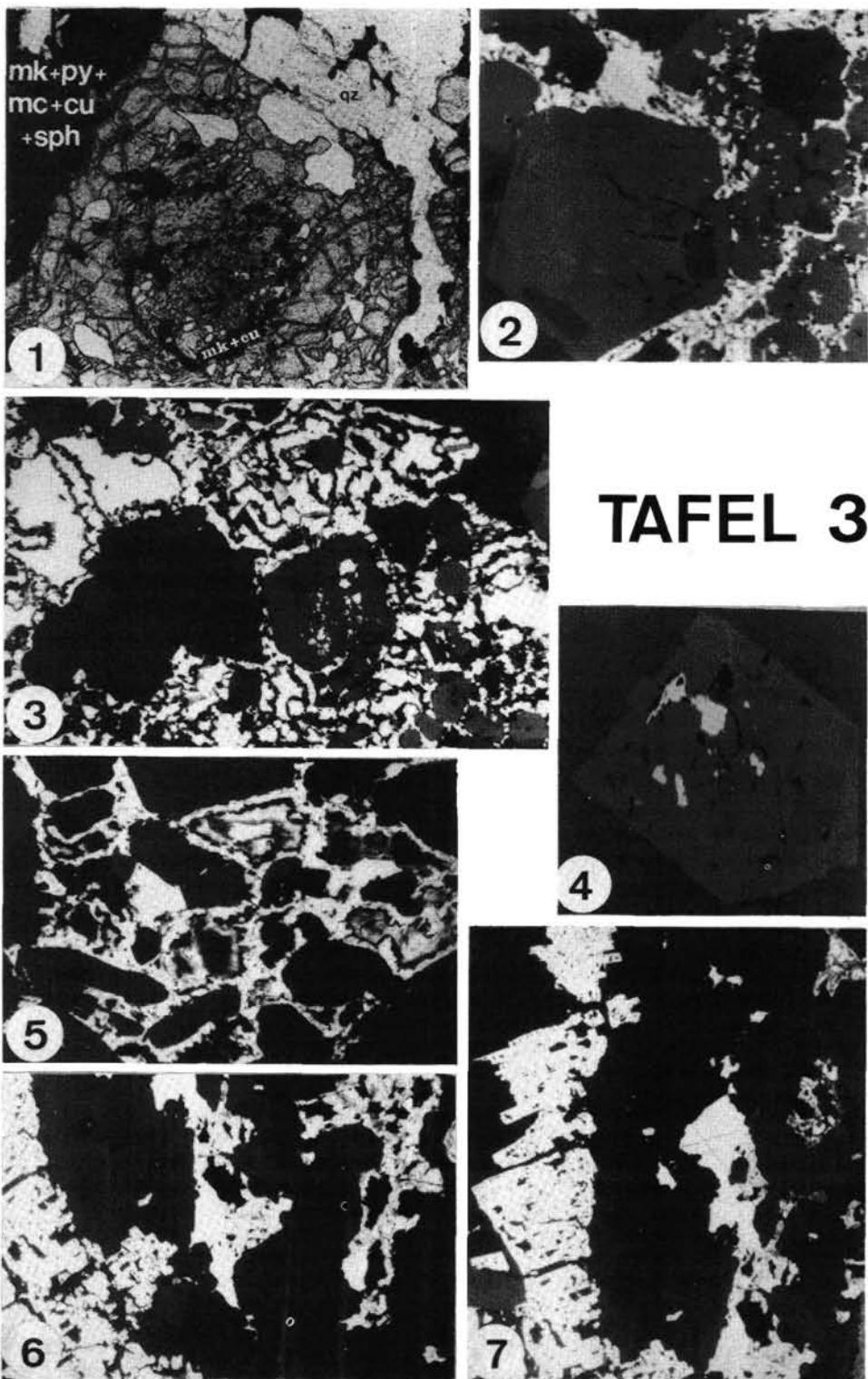
Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Rohstoffprojektes TC 7c F/1984 „Erfassung des Rohstoffpotentials im Raum Imst-Arlberg“ durchgeführt. Für die Durchführung der geochemischen Analysen und Mikrosondenuntersuchungen danken wir sehr herzlich Herrn Dr. Richard TESSADRI, Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck, für Diskussionsbeiträge und kritische Hinweise sind wir Herrn Univ.-Prof. Dr. H. MOSTLER, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Innsbruck, zu Dank verpflichtet.

Literatur

- ALWASHE, M. A. (1974): Die Anwendung geochemischer Prospektionsmethoden im Bereich der Buntmetallvererzungen im Kristallin E und W von St. Christoph/Arlberg (Vorarlberg/Tirol). — Diplomarbeit FU Berlin, Fachbereich 24 (Geowissenschaften), 94 S.+Anhang.
- AMANN, A. (1985): Zur Metamorphose des nördlichen Silvretta-Kristallins. — Unveröff. Diss. Naturwiss. Fak. Univ. Innsbruck, 117 S.
- AMEROM, H. W. J. van, ANGERER, H. & MOSTLER, H. (1982): Über eine Autuno-Stephanische Flora aus den Kristbergschichten im Montafon, Vorarlberg (Österreich). — Jb. Geol. B.-A., **124**, 2, 283-323, Wien.
- ATZL, A. (1957): Die Verbreitung des Tiroler Bergbaues. — Anschnitt, 9, 1/2, 42-48.
- DALLA TORRE, K. W. v. (1913): Tirol, Vorarlberg und Liechtenstein. — Junk's Natur-Führer, 486 S.
- DULSKI, P., MÖLLER, P. & SZACKI, W. (1985): Temperature controlled minor element content in sphalerite (abstract). — Fortschr. Mineral. **63**, Beih. 1, 51.
- FRANK, W. (1983): Argumente für ein neues Entwicklungsmodell des Ostalpins. — Jber. 1982 Hochschulschwerpunkt S 15, H. 4, 249-262, Graz.
- FRANK, W. (1987): Evolution of the Austroalpine Elements in the Cretaceous. — In: FLÜGEL, H. W. & FAUPL, P. (eds.): Geodynamics of the Eastern Alps, 379-406, Deuticke, Wien.

Tafel 3

- Fig. 1: Granatkorn mit einem s_i aus Magnetkies und Kupferkies. mk=Magnetkies, py=Pyrit, mc=Markasit, cu=Kupferkies, sph=Zinkblende, qz=Quarz. Durchlicht, 1 Pol., ca. 33x. — Schieferungskonkordante Magnetkiesvererzung St. Christoph.
- Fig. 2: Neugesproßte, idiomorphe Granatkristalle (Almandine) verdrängen Erzminerale (hauptsächlich Magnetkies; hell). Im Granat noch Reste des Altbestandes (auch Magnetkies). Auflicht, 1 Pol., ca. 33x. — Schieferungskonkordante Magnetkiesvererzung St. Christoph.
- Fig. 3: Granat mit eingeschlossenem Magnetkies. Daneben Magnetkies (hell, glatt) und Pyrit (hell). Auflicht, 1 Pol., ca. 55x. — Schieferungskonkordante Magnetkiesvererzung St. Christoph.
- Fig. 4: Neugesproßter idiomorpher Granat; darin Reste des Altbestandes (auch Magnetkies). Auflicht, 1 Pol., ca. 33x. — Schieferungskonkordante Magnetkiesvererzung St. Christoph.
- Fig. 5: Stratiformer, z. T. zersetzer Magnetkies, daneben auch etwas Kupferkies (heller, glatt). s=waagrecht. Auflicht, 1 Pol., ca. 55x. — Schieferungskonkordante Magnetkiesvererzung St. Christoph (Probe SC 3).
- Fig. 6: Poriger Pyrit (links), z. T. zersetzer Magnetkies (Bildmitte und rechts) und Kupferkies (heller, glatt; Bildmitte und rechts). Auflicht, 1 Pol., ca. 55x. — Schieferungskonkordante Magnetkiesvererzung St. Christoph (Probe SC 3).
- Fig. 7: Poriger Pyrit, Magnetkies, Kupferkies. Auflicht, 1 Pol., ca. 55x. — Schieferungskonkordante Magnetkiesvererzung St. Christoph (Probe SC 3).



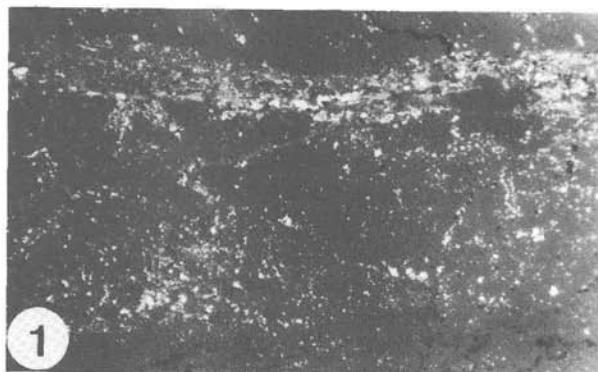
TAFEL 3

- FRIEDRICH, O. M. (1953): Zur Erzlagerstättenkarte der Ostalpen. — Radex-Rundsch., H. 7/8, 371-407, Karte 1:500000, Radenthein.
- FRUTH, I. (1966): Spurengehalte der Zinkblende verschiedener Pb-Zn-Vorkommen in den Nördlichen Kalkalpen. — Chemie der Erde, 25, 105-125, Berlin.
- GASSER, G. (1913): Die Mineralien Tirols einschließlich Vorarlbergs und der Hohen Tauern. — 549 S., Innsbruck.
- HADITSCH, J. G. (1979): Erze, feste Energierohstoffe, Industriemineralen, Steine und Erden. — Grundlagen der Rohstoffversorgung, 2, Lagerstätten fester mineralischer Rohstoffe in Österreich und ihre Bedeutung, 5-45, BMHGul, Wien.
- HIESSLEITNER, G. (1929a): Das Nickelkobalterzvorkommen Zinkwand-Vöttern in den Niederen Tauern bei Schladming. — BHjb, 77, 3, 104-123.
- HIESSLEITNER, G. (1929b): Sulfidisch-arsenidisches Ni-Co auf alpinen Erzlagerstätten. — Z. prakt. Geol., 37, 8, 152-159.
- HIESSLEITNER, G. (1929c): Bergbau St. Christof: Werksbericht. — Unveröff. Ber., 3 S.
- HIESSLEITNER, G. (1929d): Bergmännisch-geologischer Bericht über den Grubenbetrieb. — Unveröff. Ber., 4 S.
- HRADIL, G. (1925): Zinkerze in Tirol. — Metall und Erz, 22 (N. F. 13), 580-581.
- ISSER, R. v. (1888): Die Montanwerke und Schurfbäue Tirols der Vergangenheit und Gegenwart. — Berg- u. Hüttenmänn. Jb., 36, 226-324, Wien.
- KLEBELSBERG, R. v. (1935): Geologie von Tirol. — 872 S., Borntraeger, Berlin.
- KRECZY, L. (1981): Seriengliederung, Metamorphose und Altersbestimmung in der Region der Thalspitze SW Landeck, Tirol. — Unveröff. Diss. Formal- und Naturwiss. Fak. Univ. Wien.
- MATTHIAS, E. P. (1960): Die metallogenetische Stellung der Erzlagerstätten im Bereich Engadin und Arlberg. — Unveröff. Diss. Mont. Hochschule Leoben.
- MATTHIAS, E. (1961): Die metallogenetische Stellung der Erzlagerstätten im Bereich Engadin und Arlberg. — BHM, 106, 1-13 und 45-55, Wien.
- MÖLLER, P., DULSKI, P. & SCHNEIDER, H. J. (1983): Interpretation of Ga and Ge content in sphalerites from the Triassic Pb-Zn-deposits of the Alps. — In: SCHNEIDER, H. J. (ed.): Mineral Deposits of the Alps, Proc. 4th ISMIDA 1981, 213-222, Springer, Berlin.
- MOSTLER, H. (1972): Postvariszische Sedimente im Montafon (Vorarlberg). — Verh. Geol. B.-A., 1972, 171-174, Wien.
- MÜLLER, J. (1929): Geologische Gedanken am Arlberg. — Festschrift Sekt. Ulm des DÖAV, 39-48.
- MÜLLER, J. (1930): Genesis und Wirtschaftlichkeit ostalpiner Erzvorkommen. — Mont.-Rundsch., 22, 8, 7 S.
- MUTSCHLECHNER, G. (1956): Erzvorkommen und Bergbaue im Bezirk Landeck. — Landecker Buch I, Schlern-Schriften, 133, 15-37, Innsbruck.

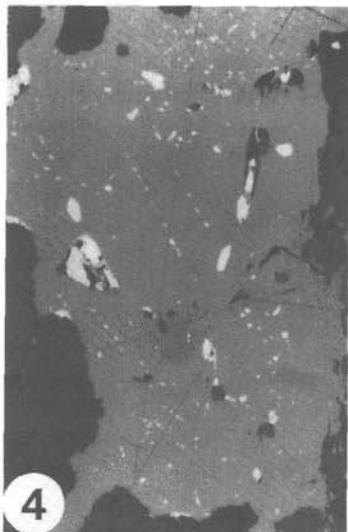
Tafel 4

- Fig. 1: s-konkordante Zinkblende in feinen und gröberen (sammelkristallisierten) Körnern. s=waagrecht. Auflicht, 1 Pol., ca. 55x. — Gangvererzung St. Christoph, Oberer Leonidenstollen (Probenahmepunkt C 5).
- Fig. 2: Zinkblende, z. T. zusammen mit Kupferkies mobilisiert. s=waagrecht. Auflicht, 1 Pol., ca. 55x. — Gangvererzung St. Christoph, Oberer Leonidenstollen (Probenahmepunkt C 5).
- Fig. 3: Krümelige, s-konkordante Zinkblende (hell). s=waagrecht. Auflicht, 1 Pol., ca. 55x. — Gangvererzung St. Christoph.
- Fig. 4: Zinkblende, mit z. T. orientierter Magnetkies- und Kupferkiesentmischung. Auflicht, 1 Pol., ca. 84x. — Schieferungskonkordante Magnetkiesvererzung St. Christoph.
- Fig. 5: Pyrit (heller) und (jüngerer) Magnetkies (dunkler). Auflicht, 1 Pol., ca. 28x. — Störungsgbundene Magnetkiesvererzung St. Anton.
- Fig. 6: Deformationslamellen im Magnetkies. Auflicht, 1 Pol., ca. 28x. — Störungsgbundene Magnetkiesvererzung St. Anton.

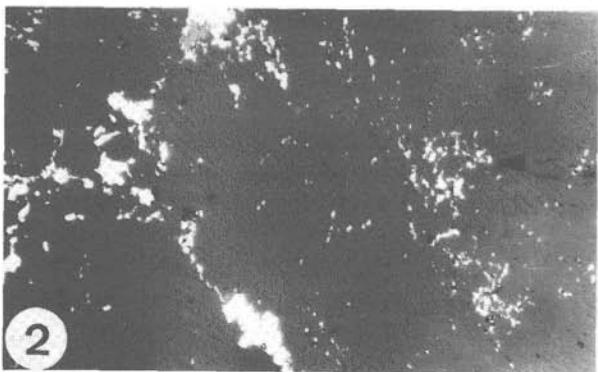
TAFEL 4



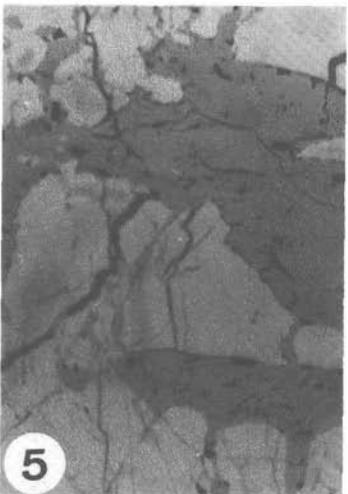
1



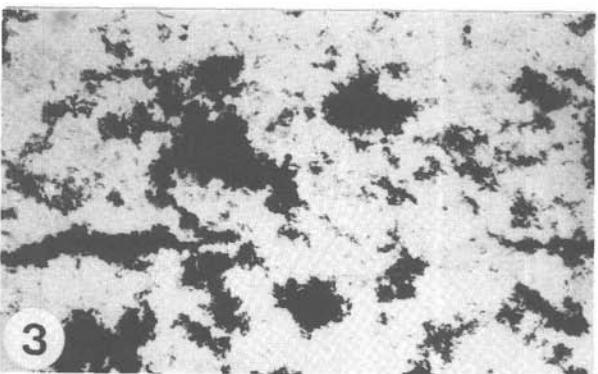
4



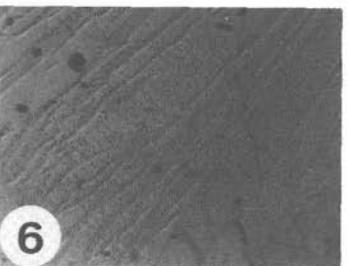
2



5



3



6

- MUTSCHLECHNER, G. (1980): Tirol-Atlas, C 8: Bergbau in Vergangenheit und Gegenwart, Karte 1:300 000 und Begleittext. — Universitätsverlag Wagner, Innsbruck.
- PIMMINGER, M. (1983): In situ Spuren- und Isotopenanalysen mit der Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS). — Unveröff. Diss. TU Wien, 137 S.
- REITHOFER, O. (1950-51): Bericht (1949) über geologische Feldarbeiten. — Verh. Geol. B.-A., 1950-51, 1, 110-111, Wien.
- SCHROLL, E. (1950): Spurenelementparagenese (Mikroparagenese) ostalpiner Zinkblenden. — Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., 1950, 2, 21-25, Wien.
- SCHROLL, E. (1953): Über Unterschiede im Spurengehalt bei Wurtziten, Schalenblenden und Zinkblenden. — Sber. Österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., Abt. I, 162, 5, 305-332, Wien.
- SCHROLL, E. (1954): Ein Beitrag zur geochemischen Analyse ostalpiner Blei-Zink-Erze. Teil I. — Mitt. Österr. Min. Ges., Sh. 3, 85 S., Wien.
- SCHROLL, E. (1955): Über das Vorkommen einiger Spurenmetalle in Blei- und Zinkerzen der ostalpinen Metallprovinz. — TMPM, 5, 183-208, Wien.
- SCHROLL, E. (1959): Germanium in mineralischen Rohstoffen Österreichs. — Montan-Rundschau, 1959/2, 23-26.
- SCHROLL, E. (1976): Analytische Geochemie, Bd. II: Grundlagen und Anwendung. — 374 S., Enke, Stuttgart.
- SCHROLL, E. (1979): Beitrag der Geochemie zur Kenntnis der Lagerstätten der Ostalpen. — Verh. Geol. B.-A., 1978, 3, 461-470 (Proceed. 3rd ISMIDA, Leoben 1977), Wien.
- SCHROLL, E. (1985): Geochemische Parameter der Blei-Zink-Vererzung in Karbonatgesteinen und anderen Sedimenten. — Arch. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., 6, 167-178, Wien.
- SCHULZ, O. (1977): Tirol-Atlas, C 8: Mineralische Rohstoffe, Karte 1:300 000 und Begleittext. — Universitätsverlag Wagner, Innsbruck (5. Lieferung).
- SCHULZ, O. (1983): Beiträge zur Lagerstättenforschung. Projekt 4435 (Fortsetzung des Projektes S 21 der österreichischen Rektorenkonferenz). Teilbericht IV (1982) der Arbeitsgruppe Universität Innsbruck. — Arch. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., 3, 121-125, Wien.
- SCHULZ, O. & BRIGO, L. (1977): Zusammenstellung der Lagerstätten mineralischer Rohstoffe in Nord-, Ost- und Südtirol. — Tiroler Heimat, Jb. f. Geschichte und Volkskunde, 41, 25-38, Innsbruck.
- SRBIK, R. v. (1929): Überblick des Bergbaues von Tirol und Vorarlberg in Vergangenheit und Gegenwart. — Ber. naturwiss.-mediz. Verein Innsbruck, 41, 113-279, Innsbruck.
- STINGL, V. (1982): Sedimentologie und Vererzung des Alpinen Verrucano im Stanzertal (Tirol). — Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 12, 3, 71-80, Innsbruck.
- THÖNI, M. (1981): Degree and Evolution of the Alpine Metamorphism in the Austroalpine Unit W of the Hohe Tauern in the light of K/Ar and Rb/Sr Age Determinations on Micas. — Jb. Geol. B.-A., 124, 111-174, Wien.
- TOLLMANN, A. (1977): Geologie von Österreich, Band I, Die Zentralalpen. — 766 S., F. Deuticke, Wien.
- TORNQUIST, A. (1928): Die geologischen Probleme der Blei-Zink-Vererzung der Ostalpen. — Verh. Geol. B.-A., 1928, 12, 234-240, Wien.
- TUFAR, W. (1974): Zur Altersgliederung der ostalpinen Vererzung. — Geol. Rundsch., 63, 1, 105-124, Stuttgart.
- VAVTAR, F. (1988): Die Erzanreicherungen im Nordtiroler Stubai-, Ötztal- und Silvrettakristallin. — Arch. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., 9, 103-153, Wien.
- VOHRYZKA, K. (1968): Die Erzlagerstätten von Nordtirol und ihr Verhältnis zur alpinen Tektonik. — Jb. Geol. B.-A., 111, 3-88, Wien.
- WEINZIERL, W. (1972): Über den alten Bergbau in Vorarlberg. — 55 S., Jochum, Dornbirn.
- ZÖSMAIR, J. (1922): Zur Bergwerksgeschichte Vorarlbergs. — Vorarlberger Tagblatt, 18 S.