

Paragenetische und aufbereitungstechnische Untersuchungen silberhaltiger Erze der Baryt-Flussspatgrube „Clara“, Wolfach, Deutschland

Mineralogical compositions and their influence on the extraction of silver containing ores from the barite and fluorite mine "Clara", Wolfach, Germany

Mit 65 Abbildungen und 8 Tabellen

RENÉ VON DER HEYDE

Zusammenfassung

In der weit über die Grenzen des Mittleren Schwarzwaldes hinaus bekannten Grube „Clara“ wird seit über 100 Jahren Schwerspat und seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts auch Flussspat abgebaut. Die Grube „Clara“ ist nicht nur für ihren außerordentlichen Mineralreichtum, sondern auch für ihre technischen Innovationen im Abbau und vor allem in der Aufbereitung der sehr komplex zusammengesetzten Roherze bekannt.

Die mehrphasig mineralisierten Gänge der Grube sind teilweise mit hohen Anteilen sulfidischer Erze durchsetzt. Die vorliegende Arbeit hatte die petrographisch-geochemische Untersuchung der sulfidischen Erze zum Ziel. Dabei lag der besondere Schwerpunkt auf dem in den Sulfiden enthaltenen Silber und einer möglichen optimierten Aufbereitung dieses als Silberspat bezeichneten Teils des Schwerspatganges.

Der Hauptsilberträger im Schwerspatgang ist tennantitisches Fahlerz, welches in den sehr stark sulfidisch vererzten Gangabschnitten Silbergehalte zwischen 0,5 und 2,5% aufweist. Es konnten noch weitere, sehr viel silberreichere Erzphasen identifiziert werden. Diese bestehen zum Teil aus einem antimonreicheren Fahlerz mit Silbergehalten bis über 8%, das von seiner Menge her allerdings weniger bedeutend ist, einer Pearcit-Polybasit-Phase und dem Silber-Bismut-Sulfid Matildit. Pearcit und Matildit enthalten sehr viel höhere Gehalte an Silber von über 40% und tragen deswegen erheblich zum Gesamtsilberanteil des Schwerspatroherzes bei.

Durch sekundäre Oxidationsprozesse und/oder Umlagerungen innerhalb der Lagerstätte entstanden lokale Silberanreicherungen durch Silberglanz, Stromeyerit, gediegen Silber oder Silbereinlagerungen in Covellin und Chalkosin.

Die Silberkonzentration im Fahlerz ist unabhängig vom Arsen-Antimon-Verhältnis. Der deutliche Unterschied im Silbergehalt zwischen den silberreichen rissgebundenen Fahlerzen und dem Gros des Fahlerzes deutet auf eine zweite Fahlerzmineralisationsphase hin, die von dem bekannten Mineralisationsstil der höheren Sohlen abweicht. Die Fahlerzmineralisation entlang von Rissen im Nebengestein des Schwerspatganges tritt in der Grube ebenfalls erstmals unterhalb der 14. Sohle auf. In Chalkopyriten eingewachsene Fahlerze sind, im Gegensatz zu den umgebenden und in Fluorit eingewachsenen, relativ silberarm. Dieser Unterschied deutet auf die Zufuhr silberreicherer Lösungen im Laufe von fluoritischen Mineralisationsphasen hin.

In oxidativ veränderten Zonen sind in Covellin und Chalkosin geringere Silberkonzentrationen bis über 1% möglich. In den nur noch reliktsch vorkommenden und durch Kupfersekundärminerale gekennzeichneten Bereichen des Schwerspatganges kommt das früher in den Primärsulfiden gebundene Silber in elementarer Form von Silberlocken zwischen den Malachiten vor.

Das Fahlerz im Bänderspat ist durch kleine Aggregate gekennzeichnet, die im Gegensatz zu den großflächig vererzten Abschnitten aber silberreicher sind. Pearcit wurde vorwiegend im massiven Sulfiderz gefunden. Matildit tritt sowohl im Bänderspat als auch im massiven Schwerspat auf.

Die Fahlerze im Bänderspat sind sehr klein und daher schlecht mittels Flotation gewinnbar. Sie sind entweder im Inneren von Chalkopyritkristallen oder mit Baryt, seltener mit Quarz, verwachsen. Der zweite Silberträger im Bänderspat ist Matildit (Schapbachit).

Ein geringer Anteil an Metall(hydro)oxiden im Kläranlagesand und im Filterkuchen und die sehr kleine Korngröße der in diesen Bergestoffen enthaltenen reinen Sulfidkörner und ihre feine Verwachsung mit Flussspat oder Schwerspat machen eine Gewinnung schwierig.

Bei dem weiter anhaltenden Trend der stetigen Erhöhung der Silbergehalte im Kupfer-Silber-Konzentrat, der primär durch den höheren Anteil an Silberkomplexsulfiden wie z.B. Pearcit, Polybasit oder Matildit hervorgerufen wird, und der räumlich immer größer werdenden Silberspatvererzung im Schwerspatgang ist zu erwarten, dass das bisher als Nebenprodukt der Schwerspatflotation anfallende Sulfidkonzentrat steigende wirtschaftliche Bedeutung erlangen wird. Die Aufbereitung des Roherzes wird dem Rechnung tragen müssen. Eine Erhöhung des Silbergehaltes im Fahlerz selbst trägt zu dieser Entwicklung nur untergeordnet bei.

Abstract

One of the world-famous mines of the German Central Black Forest is the barite-fluorite mine "Clara". Barite was mined from hydrothermal dykes for more than a century. Fluorite ore was mined since the 70's of the 20th Century. The mine is very famous for its beautiful and sometimes very rare minerals but also for innovative mining techniques and ore extraction methods. Such are of particularly interest because, through time and space, the ore composition and structure is very complex and variable.

The ore comes from a polyphase hydrothermal Mesozoic dyke swarm with different and very complex structures. In several parts of the mine the barite dyke system was also mineralised by partly semi-massive sulphides. In my work I carry out some petrographic and geochemical investigations in relation to that special phase of ore forming mineralisation. Particularly the sulphides are of special interest and should lead to a better understanding of the mineralisation, and especially a better extraction, of such silver rich ores coming from parts of the barite dyke system.

The main mineral that contains silver is tennantite, which contains 0.5 to 2.5% of silver within the semi-massive sulphide parts of the barite dyke. But there are also some other minerals with a much higher amount of silver. One other species is an antimony rich fahlerz with over 8% silver. But this mineral does not occur in many samples and then it is rare. More important are the so called 'noble' silver sulphide minerals like pearceite-polybasite or matildite (silver-bismuth-sulphide). Those minerals contain more than 40% silver and thus these minerals provide much of the silver amount to the bulk barite ores.

During secondary oxidation and/or displacement within the deposit, some local silver enrichment zones were formed. In such zones one finds acanthite, native silver, stromeyerite, and covellite and chalcocite, which also contain small amounts of silver.

The silver concentration within the fahlerz has no significant relationship to the arsenic-antimony ratio of the mineral species. But there is a significant difference between silver-rich fahlerz in veins and the bulk of the fahlerz. The occurrence of the vein ore may hint to a second and silver-rich event within the sulphide mineralisation phases. Such veins were not been observed on the higher floors (11th level and above) of the mine. Mineralisation of the surrounding wall rock was first observed also on the lower levels of the mine (below the 14th level) and stands in contrast to the mineralisation known from the old (upper) parts of the mine. Fahlerz found within chalcopyrite are relatively silver-barren in contrast to the surrounding, and fluorite associated, fahlerz. That difference also hints to a change in chemical composition for the silver carrying fluorite fluids.

In oxidation alteration zones covellite and chalcocite containing silver concentrations up to 1%. If the oxidation process went on, it replaced all the primary sulphides with secondary sulphides and then, later, these minerals with oxides. The process comes to an end when all the sulphide is removed and only native silver remains between secondary copper minerals like malachite and azurite.

The fahlerz in the so called "banded ore" (fluorite-barite-quartz bands) occurs in small to very small species with high silver concentrations. Pearcite was mainly found within massive and semi-massive sulphides. Matildite occurs in both banded and semi-massive to massive barite ore.

The fahlerz individuals in the banded part of the barite dyke are very small and therefore poor extractable from the ore by the rough sulphide flotation process. If they are located within other sulphide minerals it makes no problems from the extraction point of view, but if they occur in non-sulphides like quartz or fluorite/barite they will be very poor or not extractable. They will remain in the waste (if in quartz) or go to the barite/fluorite ores and contaminate them. A second important silver carrier in the banded ore is the matildite (schabpachite).

The sulphides were removed nearly quantitatively from the waste leaving the sulphide flotation. Only a few oxides and hydroxides, and very small and over- and inter-grown sulphides, are left in the coarse (sand) and fine (filter cake) tailings. Because of their very small size they probably will not be removed in the future.

Compared to the past, the increased silver content in the copper-silver-sulphide ore is based on the higher amount of silver rich (so called "noble") minerals. If the trend of the continuous increase of the silver concentration within the ores (coming from the barite dyke) goes on, the economical relevance of silver for the mine will grow. That assessment is also supported by the growth of the massive sulphide mineralised parts of the mine with depth. Maybe with growing financial importance in the future the changing composition of the barite rough ore has to be an influence to the flotation extraction method used.

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die vorliegende Arbeit wurde in einem Gemeinschaftsprojekt zwischen der Fachgruppe Petrologie und Lagerstättenkunde des Institutes für Geologische Wissenschaften und Geiseltalmuseum der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und der Sachtleben Bergbau und Services GmbH erstellt. Die Betreuer und gleichzeitig Gutachter der Arbeit waren Herr Prof. Dr. G. BORG (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg) und Herr Dr. K.-H. HUCK (Sachtleben Bergbau Services GmbH), von dem auch die Idee zu der Arbeit ausging.

Die Arbeit umfasst zwei Teilbereiche: Die petrographische Aufnahme der ab der 12. Sohle auftretenden Mineralparagenese anhand von Handstücken und Bohrkernen und als zweiten Teilbereich die petrographisch-geochemische Untersuchung des Aufbereitungsprozesses in Wolfach, mit Hinblick auf etwaige Veränderung der Anlagenführung zum Zwecke ihrer Optimierung. Dazu wurden am 25. und 26. Oktober 2000 umfangreiche Proben genommen.

Das Hauptaugenmerk in der, bei Mineraliensammlern berühmten und geschätzten Grube lag dabei auf den silberhaltigen Erzen (Sulfide bzw. Sulfosalze). Diese sollten unter dem Blickpunkt der Gewinnbarkeit untersucht werden. Auch die Berge sollte mit dem Fokus auf Weiterverarbeitung (z.B. als Versatzstoff im Landschaftsbau o.ä.) betrachtet werden.

Die erneute Untersuchung der sulfidischen Erze aus der Grube wurde nötig, da sich bei der Analyse in der Grube selbst und auch in den Konzentraten der Aufbereitung mit der Zeit sehr stark schwankende und im Vergleich zu früher abnehmende Silbergehalte zeigten und diese mit den älteren Untersuchungsergebnissen (u.a. HUCK 1984) nicht erklärt werden konnten. Zentrale Punkte zur Lösung der Aufgabe waren dabei die Untersuchungen zur Verwachsung der Erze sowie zur Bindung des Silbers und der anderen Schwermetalle in oxidischer oder sulfidischer Form.

Die Probenahme (mit Ausnahme der Bohrkern), die Probenaufbereitung und ein Großteil der Analytik sind dabei von mir selbst an der Universität Halle durchgeführt worden. Die Mikrosondenmessungen wurden in Hannover bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe durchgeführt. Auch wurden zum Vergleich und zur Verifizierung der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)-Ergebnisse diese sowohl in Halle als auch in Wolfach in dem betriebseigenen Labor der Erzaufbereitung gemessen.

2 Historischer Überblick der Fluss- und Schwespatlagerstätte „Clara“

2.1 Grubengeschichte

In der etwa 13 km nördlich von Wolfach und etwas außerhalb von Oberwolfach Walke im oberen Rangkachtal gelegenen Grube „Clara“ (Abb. 1 und 2), werden heute untertägig hydrothermale Fluorit-Baryt-Quarz-Gangmineralisationen mit teilweise deutlichen Beimengungen an Cu-Ag-As-Sb-Sulfiden abgebaut.

Die Clara-Mineralisation zählt zum Kinzigtäler Bergbaurevier und gehörte damit schon seit dem Mittelalter zu einem der bekanntesten Bergbaurevieren von ganz Europa. Hier wurden in zahlreichen, wenn auch oft geringmächtigen hydrothermalen Gängen (Abb. 7) erst Silber und Kobalt, später auch Blei- und Kupfererze abgebaut. Im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts kam auch die Förderung von Fluss- und Schwespat hinzu. Heute sind viele der alten Gruben und ihre Halden vor allem bei Mineraliensammlern sehr beliebt.

Durch die erzeichen Gruben „Friedrich-Christian“ und „Herrensegen“ rückten wiederholt auch die westlich der Vorkommen gelegenen Clara-Gänge in den Blickpunkt der bergmännischen Erkundung und Prospektion. Der Erzgehalt und die, damals als die mächtigsten im Schwarzwald bekannten, Fluss- und Schwespatgänge ließen einen gewinnbringenden Abbau aber nur selten zu. Im letzten Drittel des 18.

Jahrhunderts (1769 bis 1781) wurden die Gänge kurzzeitig aufgefahnen, dann aber nicht mehr abgebaut. Erst ab der zweiten Hälfte des nächsten Jahrhunderts rückten sie wieder mehr in den Mittelpunkt des Interesses. Durch die fortschreitende Industrialisierung wurden sehr viel größere Mengen an Fluss- und Schwespat benötigt, als



Abb. 1: Lage des in Abb. 2 dargestellten Kartenausschnittes innerhalb Deutschlands (schwarzes Rechteck mit Pfeil).



Abb. 2: Geographische Lage der Grube „Clara“ und der Aufbereitungsanlage (Kartenvorlage: Wanderkarte 1:50000 Freudenstadt-Schramberg). Bildbreite 3,5 km.

das früher der Fall war. Am Anfang war der Abbau noch von zeitweiligen Unterbrechungen gekennzeichnet, ab dem Jahr 1895 aber wurde die Grube kontinuierlich betrieben.

Der Abbau in den anderen Gruben der Region wurde bis Mitte des 20. Jahrhunderts wieder eingestellt. Die letzte aktive Grube neben der Grube „Clara“ war die Grube „Friedrich-Christian“, die 1955 endgültig die Förderung einstellte.

2.2 Eingesetzte Abbautechnik

Der Bergbaubetrieb untersteht heute der Sachleben Bergbau und Services GmbH und ist durch den Einsatz moderner und z.T. innovativer Abbau- und Aufbereitungstechniken sehr leistungsfähig. Im Gegensatz zu dem frühen Abbau, der über Stollen vonstatten ging, wird heute ein Rampentransport des Erzes und der gesamten Technik praktiziert. Die Basis dieses Konzeptes sind zwei Stollen. Die 1,3 km lange Übertagerampe, die vom heutigen Zechenhaus (9. Sohle bei 485 m NN) bis zur 12. Sohle (336 m NN) führt und der 1 km lange Rankachstollen (9. Sohle) sind beide mit einem LKW-Querschnitt aufgefahren und gewährleisten einen zeit- und materialsparenden Transport direkt von untertage zur Aufbereitung in Wolfach.

In der Grube geschieht der Abbau auf Teilsohlen durch die Anlage von Wendeln. Neben den beiden NW-SE streichenden Fluss- und Schwerspätgängen ist auch ein E-W verlaufender Quarz-Fluorit-Gang (Diagonaltrum) in der Grube aufgeschlossen und z.T. im Abbau befindlich. Der Schwerspätgang ist untertage bis auf die 13. Sohle abgebaut und erstreckt sich auf ca. 600 m Länge von der südlichen über die mittlere hin zur nördlichen Linse (Abb. 3). Vertikal wurde das Ende der Gänge noch nicht erbohrt (>15. Sohle), was einen Teufenunterschied von über 620 m ausmacht. Der Gang enthält durchschnittlich ca. 71% BaSO₄ und 11% CaF₂.

Der Flussspätgang wird erst seit 1975 bergmännisch aufgefahren und ist auf 450 m streichender Länge und mit durchschnittlichen Gehalten von 55% CaF₂ und 20% BaSO₄ nachgewiesen.

Das erst seit 1981 näher untersuchte Diagonaltrum weist mit 44% CaF₂ und 23% BaSO₄ ebenfalls abbauwürdige Konzentrationen an Erz auf, welche aber bisher nur untergeordnet genutzt wurden.

Die Gewinnung der Fluss- und Schwerspaterze geschieht heute ausschließlich durch Teilsohlenweitungsbau. Dabei werden von der Wendel aus die abzubauenen Abschnitte durch Teilsohlen im Abstand von 10 m vorgerichtet und dann der vertikal zwischen den Teilsohlen befindliche Gangabschnitt im Rückbau gewonnen. Die dadurch entstandenen Hohlräume wurden früher durch Versatz aus dem Streckenvortrieb und Magerbeton wieder verfüllt. Heutzutage wird der recht teure Beton durch Flugasche aus Kohlekraftwerken ersetzt.

Die Gewinnung des Roherzes geschieht im Teilsohlenweitungsbau. Dabei wird durch Sprengung und die nachfolgende Verbringung durch Radlader in Sturzrollen auf den einzelnen Teilsohlen das Erz gefördert. Die LKW für den Transport befüllen sich dann über Ladestationen auf den Sohlen selbst und bringen das Erz direkt in die 13 km entfernte Aufbereitungsanlage Wolfach. Der Abbau von Fluss- und Schwerspaterz geschieht getrennt und selektiv je nach Marktlage und schwankt daher mit der Nachfrage und

dem sich daraus ergebenden Preis. Die Klassifizierung und Qualitätskontrolle geschieht durch ständige Probenahme am Stoß und Analyse im betriebseigenen Labor in Meggen. Die Produktionszahlen schwanken von Jahr zu Jahr und liegen meist bei ca. 165.000 Tonnen pro Jahr, wobei 2/3 des geförderten Roherzes Schwerspat und 1/3 Flussspat sind, aus denen 54.000 Tonnen Mahlspat-, 4.000 Tonnen Chemiespat- und 25.000 Flussspatkonzentrat produziert werden.

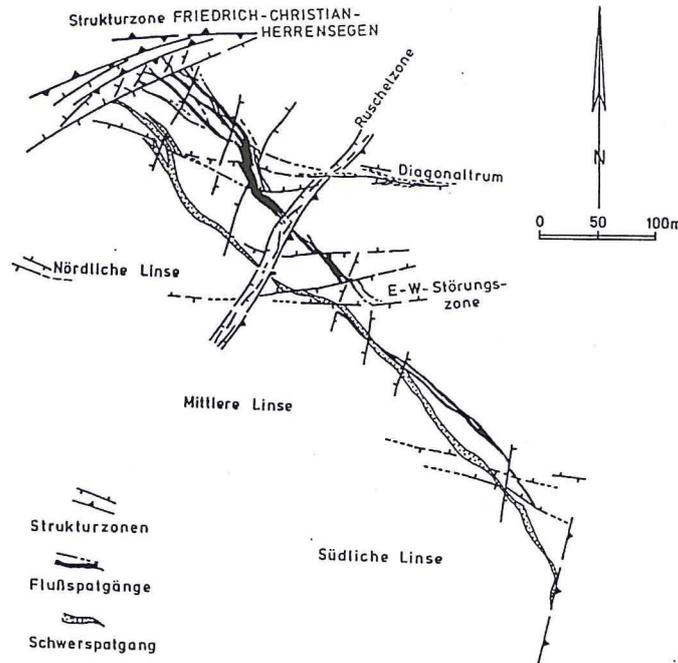


Abb. 3: Räumliche Erstreckung und Lage der Fluss- und Schwerspatgänge und des Diagonaltrums mit den wichtigsten Strukturzonen (verändert nach HUCK 1984).

2.3 Aufbereitung Wolfach

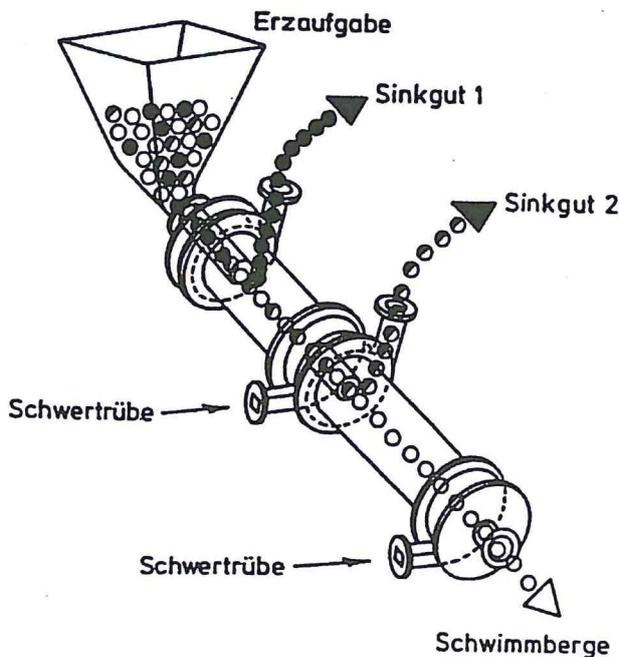


Abb. 4: Prinzipskizze eines mehrstufigen dynamischen Schwertrübescheiders – Triflow-Verfahren (SÖTEMANN 2000).

Das Erz wird in der Grube selektiv abgebaut und somit schon für seine spätere Aufbereitung vorsortiert. Für den Flussspat gibt es an der 13 km von der im Rankachtal gelegenen Grube entfernten Aufbereitungsanlage nur eine Halde. Das Barytroherz dagegen wird in 2 Kategorien unterteilt, den normalen Schwerspat und den sogenannten Silberspat, der durch seine dunkle Farbe gut makroskopisch vom normalen Schwerspaterz zu unterscheiden ist. Der Silberspat ist derjenige Teil des Schwerspates, der hohe Anteile an sulfidischen Mineralen enthält und daher auch das silberreichste Roherz ist. Der Silberspat wird aus anlagen-ökonomischen Gründen separat gelagert, da nur bei der Verarbeitung von sulfidreichem Roherz die Sulfidflotationsanlage in Betrieb genommen wird. Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich ausschließlich mit der Verarbeitung des Silberspates.

Die Roherzaufgabe der Aufbereitungsanlage schwankt je nach Abbauniveau und Vortrieb der jeweiligen Teilsohle. Darum wurde die gesamte Anlage speziell für diese wechselnden und nicht genau vorhersehbaren Bedingungen ausgelegt (Abb. 5). Die Zusammensetzung des Schwerspat-roherzes liegt bei 45-55% Baryt und 10-15% Fluorit.

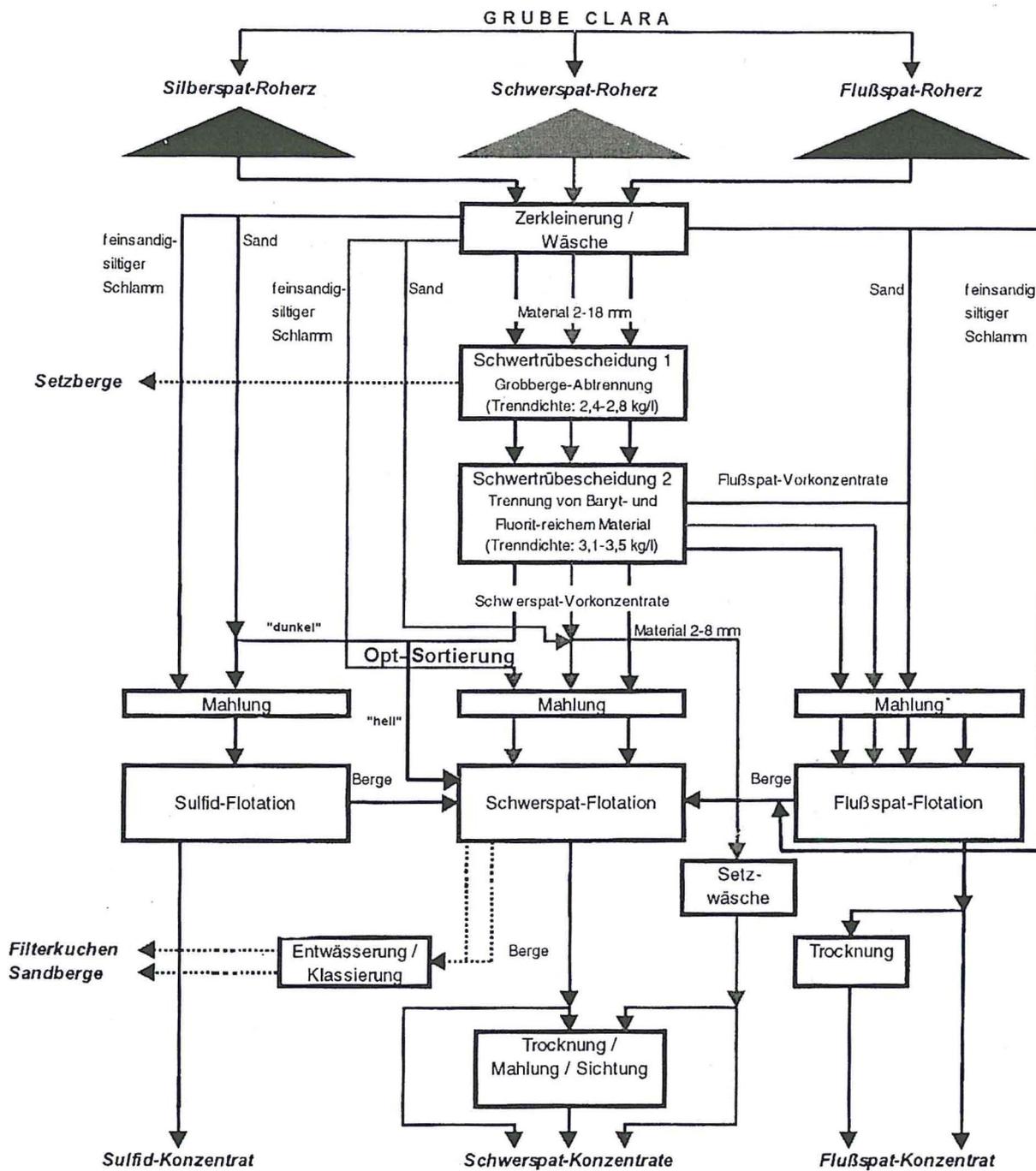


Abb. 5: Schematischer Überblick der Stoffflüsse der verschiedenen Betriebsarten in der Fluss- und Schwerspat-aufbereitungsanlage Wolfach (verändert nach JAKOB 1999). Im linken Teil ist der Silberspatbetrieb dargestellt.

Das Flussspatroherz weist entsprechend 35-45% Fluorit und 5-10% Baryt auf (SÖTEMANN 2000). Bei dem Rest handelt es sich überwiegend um taubes Nebengestein, was aus Gneisen und mit der zunehmenden Teufe immer seltener werdenden sogenannten „Letten“ (tonreiche Einlagerungen) besteht. Karbonate und Zeolithe aus den Gängen sind nicht weiter verwertbar. Bis zu der Erschließung des Flussspatganges Ende der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts wurde in Wolfach nur Schwerspatroherz verarbeitet, das über Dichtesortierung in Setzmaschinen vorsortiert wurde. Mit dem nun ebenfalls zu verarbeitenden Flussspaterz wurde eine effektivere Bergevorabscheidung notwendig. Als Lösung dieses Problems wurde eine dynamische Schwertrübescheidung (STS) eingeführt (Abb. 5). Diese trennt nicht nur die hauptsächlich silikatische Berge von den mineralischen Rohstoffen Flussspat und Schwerspat ab, sondern sorgt seit 1982 auch für eine Vortrennung der beiden Hauptprodukte. Zu diesem Zweck wird ein Triflowscheider eingesetzt (Abb. 4).

Das Roherz wird, nachdem es von losen Verunreinigungen und vom Schmutz über einem Waschsieb durch Wasser gereinigt wurde, in einem Backen- und nachgeschalteten Kegelbrecher zerkleinert und dann auf einem Waschsieb entschlämmt. Im ersten Trennungsschritt wird das leichte Nebengestein bei einer Trenndichte von 2,6-2,8 g/cm³ abgeschieden, und danach im zweiten Schritt bei 3,2-3,4 g/cm³ die Trennung des Schwerspates vom Flussspat durchgeführt. Zur Einstellung der Schwertrübe wird eine Mischung von Ferrosilizium und Magnetit eingesetzt, welche über Waschsiebe und Magnetabscheider zu einem sehr großen Teil rückgewonnen werden können (SÖTEMANN 2000). Durch die sehr effektive Abtrennung des Schwerspates reicht die durch die STS erzielte Aufkonzentration des Roherzes bereits zur Verwendung in Klebstoffen und Lacken sowie für Füllstoffe in der Schalldämmung aus. Da für den erzielbaren Verkaufspreis des Schwerspates nicht nur Reinheit und Mahlfeinheit, sondern auch der Weißheitsgrad ausschlaggebend sind, ist bei der Verarbeitung von sulfidreichem Schwerspat zu hohen Qualitäten eine besondere Behandlung durch optische Sortierung und Sulfidflotation erforderlich (Abb. 5).

Um den Durchsatz der Flotationsanlage so gering wie möglich zu halten, wurde 1998 eine optische Sortierung für den aus der STS kommenden Baryt nachgeschaltet (Abb. 5). Bei dieser optischen Sortieranlage werden die in 3 Korngrößenintervalle sortierten Baryt-Vorkonzentrate im freien Fall von einer digitalen Zeilenkamera erfasst und mittels Druckluftdüsen sortiert. Allein mit dieser in Wolfach zu diesem Zweck erstmals angewandten Methode wurden die Ergebnisse im Weißheitsgrad des Endproduktes erheblich verbessert. Das Fluoritvorkonzentrat der STS muss durch die nachfolgende Flotation in der CaF₂-Konzentration von 55-65% auf über 97% gesteigert werden (SÖTEMANN 2000), damit es als Säurespat verkauft werden kann. Auch die Nebenbestandteile wie Baryt, Quarz, sowie Phosphate, Karbonate und Schwermetallgehalte spielen für den Absatz und somit für die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens eine immer wichtigere Rolle.

Die feinkörnigen Abgänge der Setzwäsche wurden seit 1975 zuerst auf Baryt und ab 1978 auf Fluorit flotiert. Das durch die Flussspatflotation gewonnene Schwerspatkonzentrat hat immerhin noch Füllstoffqualität. Seit dem Jahr 2000 wird auch permanent eine Reinigung auf Sulfid separat durchgeführt, da die Sulfidgehalte in der Grube mit zunehmender Teufe immer weiter zunahmten und dadurch die Qualität der Konzentrate gemindert wurde.

Bei der angewandten Flotationsmethode handelt es sich um die klassische Rührwerksflotation, die für die Schwerspatflotation 2 „Cleaner“-stufen und bei der Flussspatreinigung 5 solcher Stufen aufweist. Als Sammler werden beim Flussspat verschiedene Ölsäureverbindungen und auf der Schwerspatseite Alkylsulfate eingesetzt. Als Hemmer fungieren Ligninsulfonat, Dextrin oder auch Wasserglas. Um einen optimalen Durchsatz und Wirkungsgrad der Anlage zu gewährleisten, ist für den Schwerspat eine Kugelmühle mit Klassiererüberlauf und beim Flussspat zusätzlich noch eine Stabmühle der eigentlichen Flotation vorgeschaltet. Bei der Sulfidflotation werden Xanthate eingesetzt. Die Abgänge der Sulfidflotation gelangen dann in die Flotation auf Schwerspat (SÖTEMANN 2000).

Die Flotationskonzentrate werden durch Klärspitzen eingedickt und dann auf Vakuumtrommelfiltern bis zu einer Endfeuchte von 10% beim Flussspat und 7% beim Schwerspat reduziert. Mit diesen Feuchten wird der Großteil der Konzentrate ausgeliefert, nur für Spezialprodukte wird noch eine Trocknung und evtl. Nachmahlung durchgeführt. Die Bergeabgänge der Flotation werden entwässert und als Kläranlagensand und Filterkuchen verbracht bzw. müssen entsorgt werden.

3 Geologischer Rahmen der Gangmineralisation

Die Clara-Mineralisation befindet sich in einer 20 km breiten und NE-SW verlaufenden Zone metamorphen Grundgebirges, das zum Zentralschwarzwälder Gneiskomplex (Abb. 6) gehört. Diese Zone wird lokal im NW vom Oberkircher Granitmassiv und im SW vom Triberger Granit eingerahmt. Im NE wird das Grundgebirge von permotriassischen Sedimenten diskordant überlagert. Die Einheiten des Zentralschwarzwälder Gneiskomplexes gehören zur Moldanubischen Zone der Mitteleuropäischen Varisziden (KOSSMAT 1927).

Das metamorphe Grundgebirge besteht aus verfalteten und verschuppten Ortho- und Paragneisen (Abb. 7). Bei den Paragneisen handelt es sich größtenteils um Biotit-Plagioklas-Gneise (GERLER 1983, HUCK 1984).

Im Zuge der auf die Platznahme des Triberger Granites zurückgeführten erhöhten magmatischen Aktivität dieses Bereiches des Schwarzwaldes kam es zum Eindringen von spätvaristischen Ganggesteinen (Abb. 7), zu denen verschiedene Arten von Granitporphyren, Quarzporphyren und Apliten gehören (HUCK 1984).

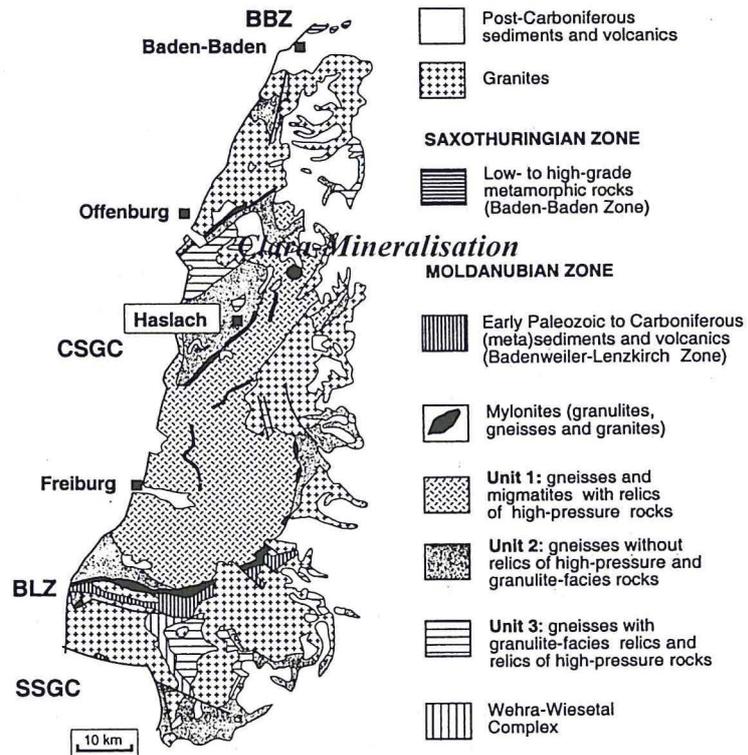


Abb. 6: Vereinfachte geologische Karte des Schwarzwaldes mit Angabe der großen tektonometamorphen Zonen.

BZZ=Baden-Baden Zone, BLZ=Badenweiler-Lenzkirch Zone, CSGC=Central Schwarzwald Gneiss Complex, SSGC=Southern Schwarzwald Gneiss Complex (KALT et al. 2000).

3.1 Grundgebirge

Die Clara-Mineralisation drang in die metamorphen Gesteine des Mittelschwarzwälder Gneiskomplexes ein (Abb. 6). Diese sind in umfangreichen Arbeiten geochemisch mit Hinblick auf eine hydrothermale Alteration untersucht worden (u.a. OKUJENI 1980, SIMIANER 1982).

Die gangnahe Gesteinsabfolge wird durch eine uneinheitliche Abfolge von durch Anatexis und Metamorphose beeinflussten und mit deutlicher Lagentextur ausgestatteten Paragneisen gekennzeichnet. Die Ausbildung der dominierenden Foliation entsteht meist durch Biotiteinregelung im mm- bis cm-Bereich. Die oftmals sehr starken Alterationserscheinungen machen eine genaue Gesteinsansprache recht schwierig.

Im östlich angrenzenden Gneiskomplex wurden durch GERLER (1983) inhomogene Biotitgneise mit einer grobflaserigen bis linsigen Textur ausgehalten. Diese Gesteine zeigen deutliche Anzeichen von beginnender Anatexis. Im Westen dagegen wurden von GERLER (1983) deutlich voneinander abgrenzbare Gesteinstypen unterschieden. Dazu gehören metablastische Paragneise mit Einlagerungen von granulitischen Gneisen und Amphiboliten, Leukogneise und kleinfaserige, massige Gneise (HUCK 1984). Es wurden auch überlagerte Orthogneislinsen ausgehalten. Die Foliation der Paragneisserien fällt mit ca. 40° nach SE ein, dadurch werden in der Grube mit zunehmender Teufe immer neue Serien aufgeschlossen.

In der Grube sind stark schwankende Wechselfolgen von lagig-flaserigen, metablastischen und metatektischen Plagioklas-Biotit-Paragneisen (HUCK 1984) anzutreffen, die immer wieder von Einlagerungen leukokrater, dichter, granulitischer (granatführender) und z.T. hornblendeführender Gneise und Amphibolite unterbrochen werden. Der Übergang zwischen den Gesteinen ist oftmals fließend und nicht klar erkennbar. Die Feldspäte in den Gneisen sind deutlich ausgelängt und rekristallisiert bzw. neu gesprosst.

Die Amphibolite und hornblendeführenden Gneise sind in Gangnähe oft chloritisiert, auch mylonitische Abschnitte sind beobachtbar. Im nördlichen Teil der Lagerstätte sind deutlich kataklastisch beeinflusste Gesteine zu finden, die ihre stärkste Ausbildung in der sogenannten Ruschelzone (Strukturzone Friedrich-Christian) haben.

3.2 Ganggesteine

Im Mittleren Schwarzwald sind varistische Ganggesteine mit überwiegend NE-SW streichenden Richtungen weit verbreitet. E-W verlaufende Strukturen sind, vor allem in der Nähe der Clara-Mineralisation, häufig zu finden (Abb. 7).

GERLER (1983) beschrieb übertage fein- bis mittelkörnige Ganggranite und Granitporphyre. Die Granitporphyre wurden untertage vor allem im Bereich des Diagonlatrums nachgewiesen. Sie zeichnen sich durch eine dichte, fein- bis mittelkörnige, meist rotbraune Matrix aus und sind durch Quarz- und Feldspateinsprenglinge (Orthoklas) gekennzeichnet. Glimmer sind selten und dann meist chloritisiert. Die Grenzen zwischen den Ganggesteinen und dem umgebenden Gneis sind scharf und eine Zonierung der Einsprenglingsgrößen nicht zu beobachten. Die Granitporphyrgänge durchschlagen die Gneise immer diskordant und weisen keinerlei Foliation auf, was sie als postdeformativ ausweist.

3.3 Deckgebirge

Das Rotliegende ist südöstlich des Wolftales noch über 100 Meter mächtig (LAUFHÜTTE 1955), während es im Bereich der Lagerstätte selbst völlig fehlt. Hier liegen die Sedimente des Buntsandsteines diskordant auf dem metamorphen Grundgebirge auf. Die Schichtenfolge der Trias ist allerdings durch Erosion sehr stark reduziert und nur noch rudimentär erhalten. Im Bereich des Oberflächenausstrichs des Schwerspatganges liegt der hier noch 40-45 m mächtige Untere Buntsandstein direkt dem Gang auf (Abb. 7).

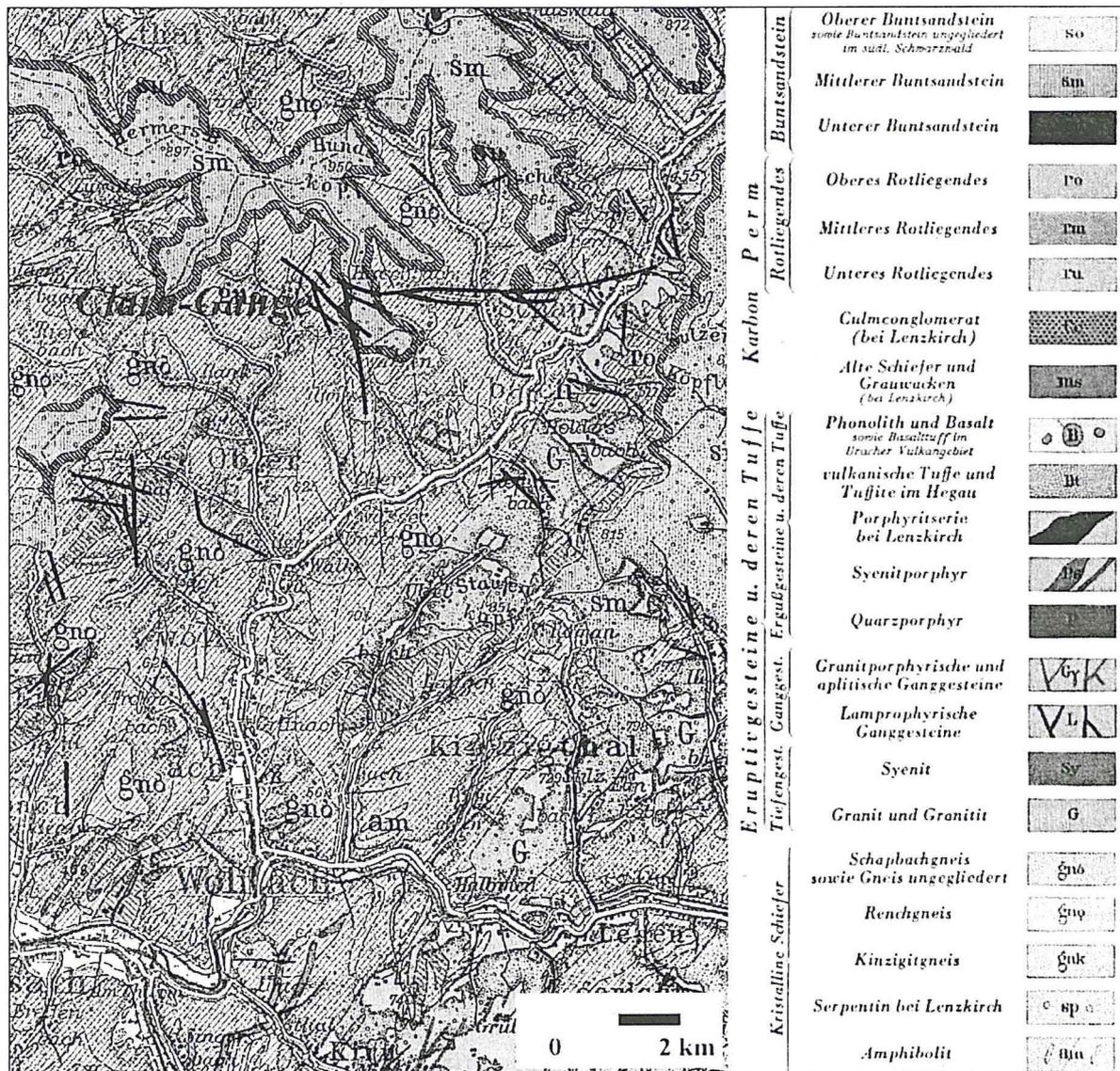


Abb. 7: Geologische Karte der näheren Umgebung der Clara-Mineralisation (Kartenvorlage: Geologische Karte von Baden- Württemberg 1:25000, Blatt 7615, Wolfach, 1995).

4 Tektonik

In den folgenden zwei Abschnitten soll kurz auf die regionale Tektonik in der Umgebung der Grube „Clara“ eingegangen werden und dann, ebenfalls nur überblicksartig, die Bedeutung lokaler Strukturen, die für die Entstehung der Gangstrukturen verantwortlich waren, aufgezeigt werden (nach HUCK 1984).

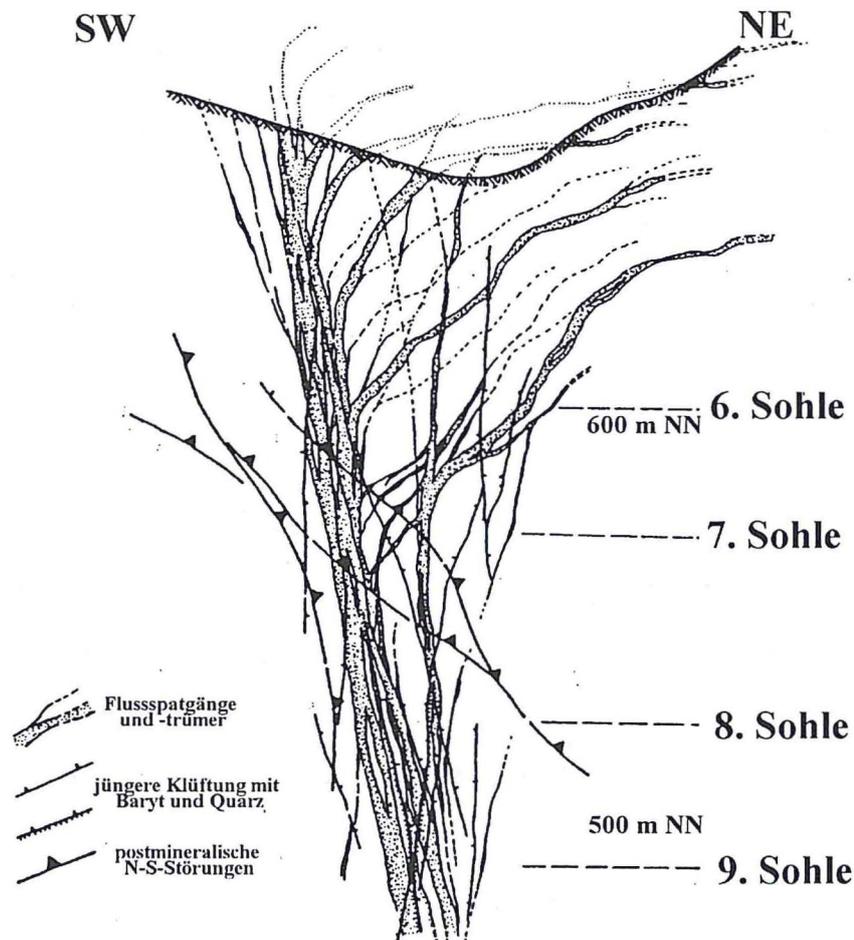


Abb. 8: Querprofil durch die Flussspatgangzone der nördlichen Linse mit abschrende SW einfallenden Trümmern in der Aufblätterungszone (verändert nach HUCK 1984).

4.1 Regionale Tektonik

Allgemein wird für die Entstehung der Baryt-Fluorit-Gänge in Zentraleuropa ein saxonisches Bruchschollenmosaik als Ausgangspunkt gesehen. Die vorherrschenden NW-SE streichenden Strukturen sind heute aus allen Hochschollen des varistischen Grundgebirges bekannt. Dazu gehören neben dem Schwarzwald auch der Harz, das Rheinische Schiefergebirge, der Thüringer Wald, das Erzgebirge und das Böhmisches Massiv. Die Mineralisation in diesen Gebieten ähnelt sich stark.

Die größeren Lagerstätten in diesem Bereich stehen zwar im direkten Zusammenhang mit den erwähnten Großstrukturen, sind aber oft nach den örtlichen Beanspruchungsplänen ausgerichtet. Die Ausbildung hängt auch von den Bruchigenschaften des anstehenden Gesteins und den prä-saxonisch angelegten Störungsmustern ab. Die Prozesse der Lagerstättenbildung gingen dabei von der wiederholten Aktivierung der Strukturen zur Lösungszufuhr aus der Tiefe aus. Die Grube „Clara“ und die durch sie repräsentierte Mineralisation ist ein Beispiel für eine solche mehrphasige, durch tektonische Events induzierte Lagerstätte.

Die über 6 km lange bekannte Hauptscherzone „Friederich-Christian-Herrensegen“ war für die Bildung der Ganglagerstätte von entscheidender Bedeutung. Diese zieht sich in östlicher Richtung bis in das Wolfstal nach Schapbach und setzt sich wahrscheinlich unter der Buntsandsteinüberdeckung noch fort. Westlich der Grube dagegen ist eine solche Störungszone nicht bekannt.

Die Clara-Mineralisation ist die bedeutendste Lagerstätte im Mittleren Schwarzwald, die an einen Kreuzungspunkt zwischen einer ENE-WSW Strukturzone und einer mehrfach mineralisierten NW-SE Schwächezone, die vom Rheintal ausgeht, gebunden ist. In dieser Zone sind noch weitere linsenartige Schwerspatvorkommen zu finden (z.B. Hesselbach, Zifenbach, Wittichen u.a.m.). Für die im südlichen Schwarzwald verbreiteten jüngeren Gangmineralisationen wurde ein Zusammenhang mit postvaristischer bis neogener Bruchtektonik nachgewiesen (WERNER & FRANZKE 2000).

4.2 Lokale Tektonik und die Auswirkungen auf die Gangöffnung

Der Versatzbetrag von Störungen lässt sich im metamorphen Grundgebirge, das sich durch undeutliche bis nicht nachweisbare Schichtung und fehlende Leithorizonte auszeichnet, nur schwer quantifizieren. Die Ruschelzone, eine mehrfach sehr aktive Störungszone im Bereich der Grube, zeigt eine Bewegungsumkehr (HUCK 1984). Vertikaler Versatz ist noch am ehesten im sedimentären Deckgebirge zu finden. Im Gangbereich und an der NNE streichenden und den Gang im SE begrenzenden Störungszone sind Abschiebungsbeträge von ca. 15 m zu beobachten (LIST 1969).

Auch horizontale Bewegungen sind aus dem Bereich der Lagerstätte bekannt (LAUFHÜTTE 1955). Zonen starker Scherungsbewegungen (Mylonitbahnen und Ruschelzonen), wie auch nur gering bewegte Trennbrüche und Großklüfte vervollständigen das Bild.

Nach der varistischen Verfaltung, aber vor noch der ersten Mineralisationsphase, wurde das Gebiet mehrfach bruchtektonisch beansprucht (HUCK 1984). Zeugen dieser prämineralischen Phase sind die weit verbreiteten Vulkanitgänge (Abb. 7). Diese sind in der weiteren Entwicklung undeformiert geblieben.

HUCK unterschied 1984 drei Hauptrichtungen, die für die Gangspaltenöffnung der Grube „Clara“ verantwortlich sind:

1. E-W und ENE-WSW streichende Störungszone, die ursächlich für die Öffnung waren und sowohl prä-, als auch syn- und postmineralisch aktiv waren.
2. Die NE-SW verlaufende Ruschelzone, deren Richtung im Schwarzwald sehr verbreitet ist und der varistischen Tektonik zugeordnet werden kann. Diese Zone ist sehr stark durch Kataklyse zerrüttet worden und aufgrund der starken mechanischen Beanspruchung dafür verantwortlich, dass sich das Ganggefüge in deren Nähe aufspaltet und in eine mehr diffuse Mineralisation übergeht.
3. Die NNE-SSW Strukturzone ist nur postmineralisch aktiv gewesen und ist daher nicht mineralisiert worden.

Die fluoritische Phase, in deren Ergebnis der Flussspatgang entstand, ist die ältere der großen Gangstrukturen der Clara-Mineralisation. Sie kann in mehr als 5 tektonische Subphasen unterteilt werden (HUCK 1984). Hier soll auf diese nicht näher eingegangen werden. Oberflächennah fiedert sich der Flussspatgang stark auf (Abb. 8), was in kausalem Zusammenhang mit der abnehmenden Gebirgsstabilität und der an der Oberfläche wirkenden Spannungsverhältnisse steht.

Im Folgenden soll kurz auf die für den Schwerspatgang durch HUCK (1984) entwickelte Theorie der Spaltenöffnung eingegangen werden (Baryt-Hauptphase). Das Gangspaltensystem der im Verhältnis zu dem Flussspatgang jüngeren barytischen Phasen ist parallel zum Flussspatgang angelegt (Abb. 9) und besteht mit Ausnahme des nördlichen Bereiches, der einige bis 1 m mächtige Fiedertrümer aufweist, nur aus einem einzigen Gang. Auch die barytische Phase wird in 4 Subphasen gegliedert. Die erste Subphase lässt nur unzusammenhängende, dadurch nur kleine und nicht bauwürdige Gänge entstehen, die auch innerhalb des Flussspatganges nachzuweisen sind. In der zweiten Phase entstand erstmals ein zusammenhängender Gangkörper, der hellen bis rötlichen Baryt in mehreren Metern Mächtigkeit führt. Die dritte Phase wird auch als die Hauptphase bezeichnet und durchschlägt die älteren Ganggefüge asymmetrisch. Die Spaltenöffnung nimmt im Lagerstättenbereich von NW nach SE hin ab und erreicht in der südlichen und mittleren Linse eine Mächtigkeit bis zu 6 m. Die vierte Subphase ist wieder sehr viel schwächer ausgeprägt und wird in größeren Linsen als Pegmatitpat bezeichnet, wobei in den Zwickeln der Barytkristalle Fluorit auskristallisierte. Für die Öffnung des Schwerspatganges war nicht zwingend eine Vorzeichnung durch die schon von der Fluoritmineralisation genutzten Schwächezone notwendig (Abb. 9).

Insgesamt erreicht der Schwerspatgang in einigen Bereichen bis zu 12 Meter Mächtigkeit, wobei mit zunehmender Teufe die Gangaufsplitterung, analog zu der des Flussspatganges, abnimmt (Abb. 8).

Nach einer durch veränderte Spannungsfelder gekennzeichneten, eher geringmächtigen barytischen Zwischenphase kommt es zur letzten großen Phase der tektonischen Entwicklung der Mineralisation, der Quarz-Hauptphase (HUCK 1984). Bei ihr entsteht das E-W streichende Diagonaltrum (Abb. 3).

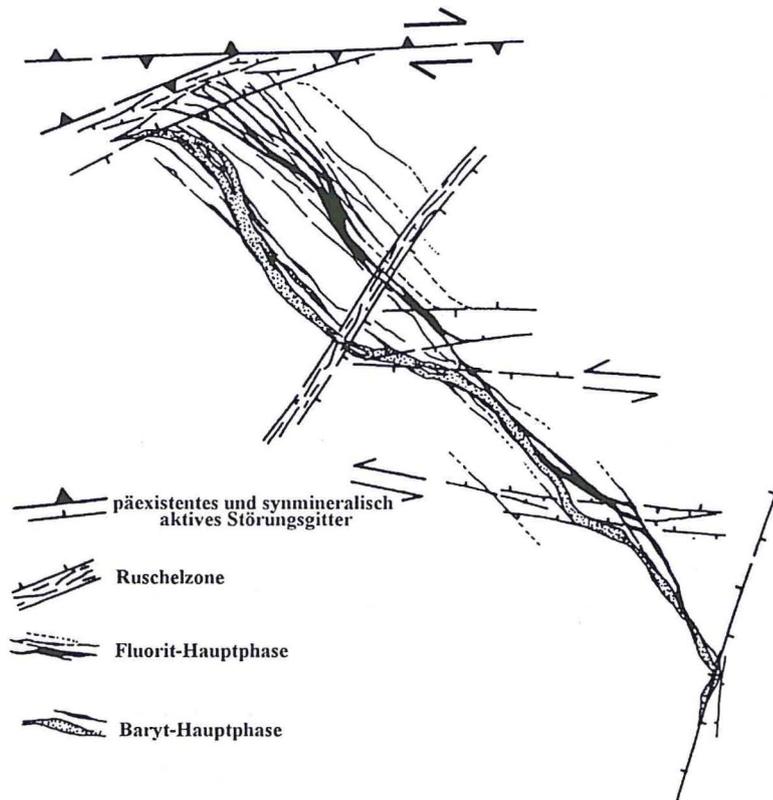


Abb. 9: Gangspaltenöffnung der Baryt-Hauptphase (nach HUCK 1984).

5 Die hydrothermale Clara-Gangmineralisation im Überblick

Regional unterschied VOGELGESANG (1865), nach intensiven Untersuchungen in der Region, folgende Typen der Mineralisation im Kinzigtäler Bergbaurevier:

1. Edle Quarzformation mit As-Sb-Ag-Cu-Pb-Erzen,
2. Kalkspat-Silber-Formation,
3. Silberreiche Blei-Formation,
4. Kupfer-Blei-Formation mit Ag-Bi-Cu-Pb-Erzen,
5. Kobalt-Silber-Formation mit Co-Bi-Pb-Erzen,
6. Roteisenstein-Mangan-Formation (Eiserner Hut von 4.) und
7. Brauneisen-Formation mit Baryt.

„Friedrich-Christian“ wird der Edlen Quarzformation und quarzigen Kupfer-Blei-Formation zugeordnet, wogegen die Clara-Mineralisation der barytischen Kupfer-Blei-Formation, der Kobalt-Silber-Formation und der Brauneisen-Formation angehört. VOGELGESANG (1865) postulierte einen größeren zeitlichen Hiatus zwischen der Edlen Quarzformation und den anderen Mineralisationstypen.

BÄRTLING (1911) und LIST (1969) unterschieden drei bzw. vier unterschiedliche Barytphasen. Verschiedene Bearbeiter (u.a. WALENTA 1975 und MAUS 1977) befassten sich mit der Fluorit-Mineralisation und der bis dahin aus Hydrothermalgängen unbekanntem Verwachsung von Fluorit (CaF_2) und Sellaite (MgF_2). Es wurde im folgenden immer wieder versucht, durch geochemische Kriterien im Flussspat- und Schwerspatgang, sowie im Diagonaltrum, Fluoritvarietäten zu unterscheiden.

Durch HUCK (1984) wurden dann die in direkter Beziehung zu den tektonischen Phasen stehenden Mineralisationsphasen intensiv untersucht. Dabei wird die hydrothermale Aktivität in mehrere Phasen unterteilt. Diese unterschieden sich also nicht nur in strukturellen Elementen voneinander, sondern auch in den chemisch-physikalischen Parametern.

Ist die Tektonik hauptsächlich für die räumliche Anordnung der Gangsysteme verantwortlich, so sind die mineralogisch-petrographischen Unterschiede durch die Zufuhr immer neuer Lösungen zu erklären. Jede der drei Hauptphasen ist prägend für eines der drei Gangsysteme und der barytischen Klüftfüllungen (Tab. 1), deren relative zeitliche Abfolge schon im Kapitel Tektonik angedeutet wurde.

Die Flussspatgänge sind die älteste Struktur und werden diskordant von der Baryt-Hauptphase und dem durch sie entstandenen Schwerspatgang durchschlagen (Abb. 3). Die dritte Hauptphase (Quarz-Hauptphase) wiederum durchdringt die beiden älteren und ist somit die jüngste.

Auf die Fluorit- und die Quarz-Hauptphasen soll im Folgenden nicht genauer eingegangen werden, da diese für die Untersuchungen zu den hauptsächlich im Schwerspatgang vorkommenden silberhaltigen Erzen nur wenig Hinweise enthalten.

Während der jüngeren Gangtektonik reißen die alten Gangstrukturen mehrfach wieder auf und es kommt zur Bildung jüngerer Paragenesen, so dass sehr komplexe Gänge mit Mehrfachmineralisationen und starken Verdrängungs- und Mobilisationszonen entstehen (u.a. REHREN 1985, HUCK 1984).

Tab. 1: Zeitliche Abfolge der Clara-Mineralisationshauptphasen und der durch sie entstandenen Strukturelemente (HUCK 1984). Die vor der Fluoritphase herrschenden prä-Clara-Mineralisationen sind nicht aufgeführt (siehe dazu Tab. 2).

Phase	Strukturelement
1. Fluorit-Hauptphase	Flussspatgangzone
2. Baryt-Hauptphase	Schwerspatgangzone
3. barytische Zwischenphase	Baryt-Klüftung
4. Quarz-Hauptphase	Diagonaltrümer

Die Gneise des Nebengesteins zeigen Alterationserscheinungen (Hämatitisierung, Chloritisierung), Silifizierung und Erzimprägnationen (OKUJENI 1980), die durch Migration von Hydrothermallösungen erklärt werden. Verarmungen oder Anreicherungen bestimmter Elemente in den Gangsalbändern wurden durch OKUJENI (1980) nachgewiesen.

SIMIANER (1981) fand in den Gneisen, die den Schwerspatgang umgeben, mit abnehmender Distanz zum Gang eine Verarmung an MgO, CaO und Na₂O, was im direkten Zusammenhang mit der Zersetzung der Feldspäte und des Biotit steht. Als Folge der diffundierenden Lösungen ins Nebengestein steigen die Gehalte an Fe, K, As, Ba, F, Cu und Zn deutlich in Gangnähe an. Die Gneise sind allerdings prämineralisch schon alteriert (sericitisiert und chloritisiert) und postmineralisch durch den Einfluss meteorischer Wässer weiter verändert worden, so dass die Herkunft und Abfolge der verschiedenen Nebengesteinsveränderungen nicht immer zweifelsfrei geklärt werden kann (HUCK 1984).

Präfluoritisch unterscheidet HUCK (1984) vier Mineralisationen, die aber allesamt lagerstättenkundlich unbedeutend sind und daher, ebenso wie die Mineralisation des Flussspatganges, hier keine genauere Erwähnung finden. Der Sulfidgehalt des Flussspatganges ist relativ gering und beschränkt sich auf etwas Pyrit, der aber älter als der Fluorit zu sein scheint (HUCK 1984). Neben dem Pyrit kommen in Bereichen mit jüngeren Sellait-Fluorit-Zyklen auch Hämatit, Markasit und Kupferkies vor (MARTIN 1978).

Für die Einordnung und Alterstellung der Fluorit-Mineralisation ist von Bedeutung, dass der überlagernde Buntsandstein im Bereich des Gangausstreiches deutliche Verkieselungserscheinungen zeigt (GERLER 1983). Diese Verkieselung des Buntsandsteines nimmt zum Hangenden deutlich ab und hat sich in der Früh- bis Mitteldiagenese ereignet, was den Zeitpunkt der Fluorit-Mineralisation frühestens in den Unteren Buntsandstein stellen würde (GERLER 1983).

Ein Teil des Flussspatganges wurde während der barytischen Phasen überprägt. Aus diesem Grund beinhaltet er abschnittsweise ähnliche Mineralvergesellschaftungen, wenn sie auch weniger mächtig sind als im Schwerspatgang (Tab. 2).

5.1 Die Mineralisation des Schwerspatganges

Der Aufbau des Schwerspatganges wurde von HUCK (1984), LIST (1969) und ZIRNGAST (1978) ausführlich beschrieben. Die beiden letztgenannten Bearbeiter befassen sich in ihren Abhandlungen vor allem mit dem Aufbau bis zur 9. Sohle, wogegen HUCK (1984) diese mit Beobachtungen von der 9. bis zur 12. Sohle ergänzt (Tab. 2, Abb. 10).

Der Schwerspatgang ist durch eine völlig eigenständige Mineralisation entstanden und repräsentiert einen jüngeren Abschnitt in der Gesamtlagerstättenentwicklung der Clara-Mineralisation. Er durchschlägt im Bereich der mittleren und südlichen Linse den älteren Flussspatgang, wogegen er im nördlichen Teil ein eigenständiges Kluft- und Gangsystem benutzt (Abb. 3). Aber auch dort waren schon geringere fluoritische Mineralisationen vorhanden.

Die Mineralisation des Schwerspatganges wird von ZIRNGAST (1978) und HUCK (1984) in vier Phasen unterteilt, wogegen LIST (1969) nur drei unterscheidet. Die Tab. 2 und Abb. 10 fassen die paragenetisch-petrographische Entwicklung der Clara-Mineralisation nach (HUCK 1984) zusammen.

Mineral	Alterations phase	Mineralisationsphasen												
		Fluorit- Hauptphase			Baryt- Hauptphase				Zwischenphase		Quarz- Hauptphase			
		2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	5.1	5.2	5.3	5.4
Quarz														
Fluorit	---													
Sellaite														
Baryt	---													
Karbonate														
Pyrit/ Markasit														
Kupferkies	---													
Fahlerze														
Bleiglanz														

Abb. 10: Schematische Verteilung der wichtigsten primären Mineralkomponenten der Clara-Mineralisation in den einzelnen Mineralisationsphasen (HUCK 1984).

5.1.1 Erste Subphase

Die erste Subphase besteht aus der Verwachsung von grobkristallinem grünem Fluorit und rötlich-gelbem bis weißem Baryt. Fluorit wird immer als erste Phase ausgeschieden (HUCK 1984). Er ist in den Außenbereichen des Ganges bilateral-symmetrisch ausgebildet und aufgrund seiner geringen Mächtigkeit (unter 0,8 m) für sich gesehen nicht wirtschaftlich gewinnbar. Als Sulfide treten nur Pyrit und etwas Kupferkies auf.

5.1.2 Zweite Subphase

Nach einer zweiten Öffnung des Gangraumes setzt sich die Baryt-Fluorit-Mineralisation fort. Fluorit wird nur noch in Form von dünnen Bändern oder in Zwickeln in den Baryt eingelagert (HUCK 1984). Der Baryt der 2. Phase ist von rötlich bis grauer Farbe und kommt mit Mächtigkeiten bis zu einem Meter in der mittleren und südlichen Linse vor.

5.1.3 Dritte Subphase

In der 3. Phase der Barytmineralisation werden die früheren Mineralisationen durchschlagen und teilweise sogar mobilisiert. Der enggebänderte, feinkristalline Baryt hat meist eine graue bis weiße Farbe und wird von vielen, bis 2 cm mächtigen Fluoritlagen durchzogen. Auch hier sitzt der Fluorit in den Zwickeln der idiomorphen Barytkristalle (HUCK 1984). Die Bänderung wird durch die imprägnative Verteilung von feinstkörnigen Sulfiden (Fahlerz und Kupferkies) unterstützt und zeugt von einer rhythmisch wiederkehrenden Lösungszufuhr. Die Mineralisation der 3. Baryt-Subphase wird auch als „Bänderspat“ bezeichnet.

In die laut HUCK (1984) congenetisch verwachsenen Fahlerz-Kupferkies-Aggregate sind kleine langgestreckte idiomorphe Quarzkristalle eingewachsen. Die Erzphasen wurden als Frühphase innerhalb der Subphase bezeichnet (HUCK 1984), was vor allem durch die mechanische Verdrängung von Erzkörnern oder die Umwachsung der Sulfide durch gesprossenen und damit jüngeren Baryt begründet wird.

Da die Fahlerze und deren Umwandlungsprodukte ein zentrales Thema dieser Arbeit sind (siehe Kap. 7), wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Beschreibung verzichtet. Festzuhalten bleibt, dass von HUCK (1984) und anderen Bearbeitern keine Zonierung oder übergreifende Systematik in den Fahlerzen gefunden wurde. Der Anteil des Kupferkieses in den Sulfidaggregaten schwankt stark. Es kommt im Bereich der Sulfidminerale zu mannigfaltigen Sekundärmineralbildungen (u.a. WALENTA 1975) und Verdrängungsreaktionen. Die Bänderung des hauptsächlich in der südlichen Linse vorkommenden Bänderspates ist salbandparallel. In einigen Gangbereichen fehlt der Bänderspat völlig.

Zu der Bearbeitungszeit von HUCK (1984) war der Gehalt an Silber und Kupfer im Bänderspat noch von keiner wirtschaftlichen Bedeutung für die Grubenbetreiber.

5.1.4 Vierte Subphase

In der 4. und letzten Barytmineralisationsphase wurde sehr grobkristalliner Baryt mit etwas grünem Fluorit abgeschieden. Im zentralen Teil der in ihrer Mächtigkeit recht unregelmäßig ausgebildeten Mineralisation ist in der Regel ein sehr mächtiger Barytkörper zu finden. An den Korngrenzen und in den Zwickelfüllungen sind wiederum Fahlerzkörner eingelagert, die aber auch aus der 3. Subphase umgelagert worden sein könnten (HUCK

1984). In den besonders grobkörnigen Bereichen (Barytkristalle bis über 40 cm Länge) wird die Zone der Mineralisation auch als Pegmatitspat bezeichnet. In einigen dieser Bereiche hatte der Pegmatitspat eine primär erhöhte Porosität. Wenn keine Fluoritzwickelfüllungen vorhanden waren, konnten später quarzreiche Lösungen ihren Weg finden und die Hohlräume dann verschließen.

Tab. 2: Parageneseschema der Clara-Mineralisation nach HUCK (1984).

Verwendete Abkürzungen: qtz-Quarz, py-Pyrit, cp-Chalkopyrit, hm-Hämatit, fl-Fluorit, mr-Markasit, sd-Siderit, gn-Bleiglanz.

1. Alterations- u. Silifizierungsphasen	2. Fluorit-Hauptphase	3. Baryt-Hauptphase	4. Barytische Zwischenphase	5. Quarz-Hauptphase	
1.1 qtz-py a) qtz-pyt-Brekzienzonen b) qtz-pyt-cp 1.2 qtz-Amethyst 1.3 qtz-hm (?) qtz-Sericit (?)	Subphase 2.1 qtz-fl Subphase 2.2 qtz-fl-Sellait Subphase 2.3 qtz-fl-Sellait	fl-ba ba ba-Fahlerz (?) ba (?)	ba-(fl)-(cp-Eisenoxide) ba, rosagebändert (fl) ba-(Eisen-Manganoxide)	1. Silifizierungsphase ba-fl-(py-cp) 2. Silifizierungsphase fl-ba	Flusspatgänge
		Subphase 3.1 ba-fl-mr Subphase 3.2 ba-fl Subphase 3.3 ba-(fl)-Fahlerze Subphase 3.4 ba-fl	ba-(Eisen-Manganoxide) ba, rosagebändert (mr) ba-Eisen-Manganoxide-(fl)	Silifizierungsphase mit ba-(fl)-(py-cp) Silifizierungsphase mit ba (?) Silifizierungsphase ba-fl	Schwerspatgang
			Subphase 4.1 ba-sd-(fl-cp) Subphase 4.2 a) ba, rosagebändert (fl-mr) b) ba-Eisen-Manganoxide c) fl-(Eisen-Manganoxide)	Silifizierungsphasen (?) ba-fl	Baryt-Klüftung
				Subphase 5.1 qtz-ba-fl-py-cp Subphase 5.2 qtz-fl-(ba) Subphase 5.3 qtz-ba-(fl)-(cp-gn) Subphase 5.4 qtz-(fl-ba)-(cp-gn)	Diagonallrum

5.1.5 Postbarytische Mineralisationsphasen

Durch wiederholtes Aufreißen des Schwerspatganges drangen immer wieder Lösungen der barytischen Zwischenphase und später die Silifizierungsphasen mit Baryt-Fluorit-Mineralisation der Quarz-Hauptphase ein. Das Diagonaltrum ist das Resultat der Quarz-Hauptphase. Dabei kam es auch immer wieder zur sporadischen Sulfidierzablagerung. Diese ist geprägt durch verbreitete Umkristallisation.

Die Diagonaltrummineralisation ist oft nur geringmächtig und beschränkt sich meist auf Silifizierung und eine Quarz-Fluorit-Baryt-Mineralisation, die geringfügig sulfidische Erze führt (meist Kupferkies, Pyrit und Bleiglanz). Auch sie ist in Subphasen gegliedert (Tab. 2), wobei teilweise ältere Baryt-Paragenesen durch Quarz fast vollständig verdrängt wurden (HUCK 1984). Die Lösungen wurden in den späteren Subphasen (HUCK unterscheidet vier, siehe Tab. 2) immer quarzreicher und sind somit wirtschaftlich unbedeutend.

6 Probenahme

Bei der Probenahme wurde der Zielsetzung der Arbeit dahingehend Rechnung getragen, dass es zwei bzw. drei große Probengruppen gab. Es wurden neben Bohrkernen von der Teilsohle (TS) 14.0 und Handstücken der TS 14.1 (Haldenmaterial), am 25. und 26. Oktober 2000 umfangreiche Proben des gesamten Aufbereitungsprozesses im Normalspat- und im Silberspatbetrieb genommen.

6.1 Bohrkern

Das Bohrkernmaterial stammt aus 4 Bohrungen im Schwerspatgang, die im Mai 2000 vertikal von der TS 14.0 abgeteuft wurden. Es lagen dabei nur die Reicherzpartien (Schwerspatgang) vor.

6.2 Handstücke

In der Grube und vor allem auf der Silberspalthalde und dem Waschsieb wurden mehr als 20 Handstücke genommen. Sie wurden so ausgewählt, dass sie die 3 am häufigsten auftretenden (Silber-)Erztypen repräsentieren:

1. Bänderspaterz, welches in mm- bis cm-Bereich Lagen von Fluorit, Baryt und Quarz aufweist, sowie fein verteilte sulfidische Komponenten enthält,
2. „Massivsulfidierz“, welches aus einigen cm bis dm großen Fahlerzaggregaten besteht und meist mit reinem weißem Baryt und etwas Fluorit verwachsen ist und
3. Oxidische Erze, welche zwar nicht häufig sind, aber vor allem mit Hinblick auf die Flotation von besonderer Bedeutung sind.

Diese Handstücke wurden durch Sägen formatiert. Anschließend konnten dann 24 mm durchmessende polierte Anschliffe hergestellt werden.

6.3 Aufbereitung

In der Aufbereitungsanlage in Wolfach wurden am 25. Oktober 2000 zu Vergleichszwecken im normalen „Schwerspatbetrieb“ je eine Filterkuchen- und ein Kläranlagensandprobe gezogen.

Am darauf folgenden Tag wurden bei einer Schicht, während der Silberspat verarbeitet wurde, über einen halben Tag verteilt Teilproben des gesamten Aufbereitungsprozesses genommen. Dies diente der besseren statistischen Auswertbarkeit des Prozesses, da anlagenbedingt vor allem in der Sulfidflotation erst eine stark zeitversetzte Probenahme möglich war. Die Probenahmepunkte sind in Abb. 11 graphisch dargestellt. Es muss allerdings angemerkt werden, dass es sich bei der Beprobung der Aufbereitungsanlage um einen sehr stark von der Tagesaufgabe (Roherz) abhängige und daher nur bedingt repräsentative Probenahme handelt. Unter anderem war an diesem Tag nur sulfidierzarmes Roherz vorrätig und die Vakuumentrommelfilter waren wegen des geringen Sulfidgehaltes nicht in Betrieb. Das hatte seinen Grund in der im Oktober 2000 herrschenden Abbausituation, die sich noch ca. 100 m von dem potentiell silberhöflichen Lagerstättenbereich entfernt befand.

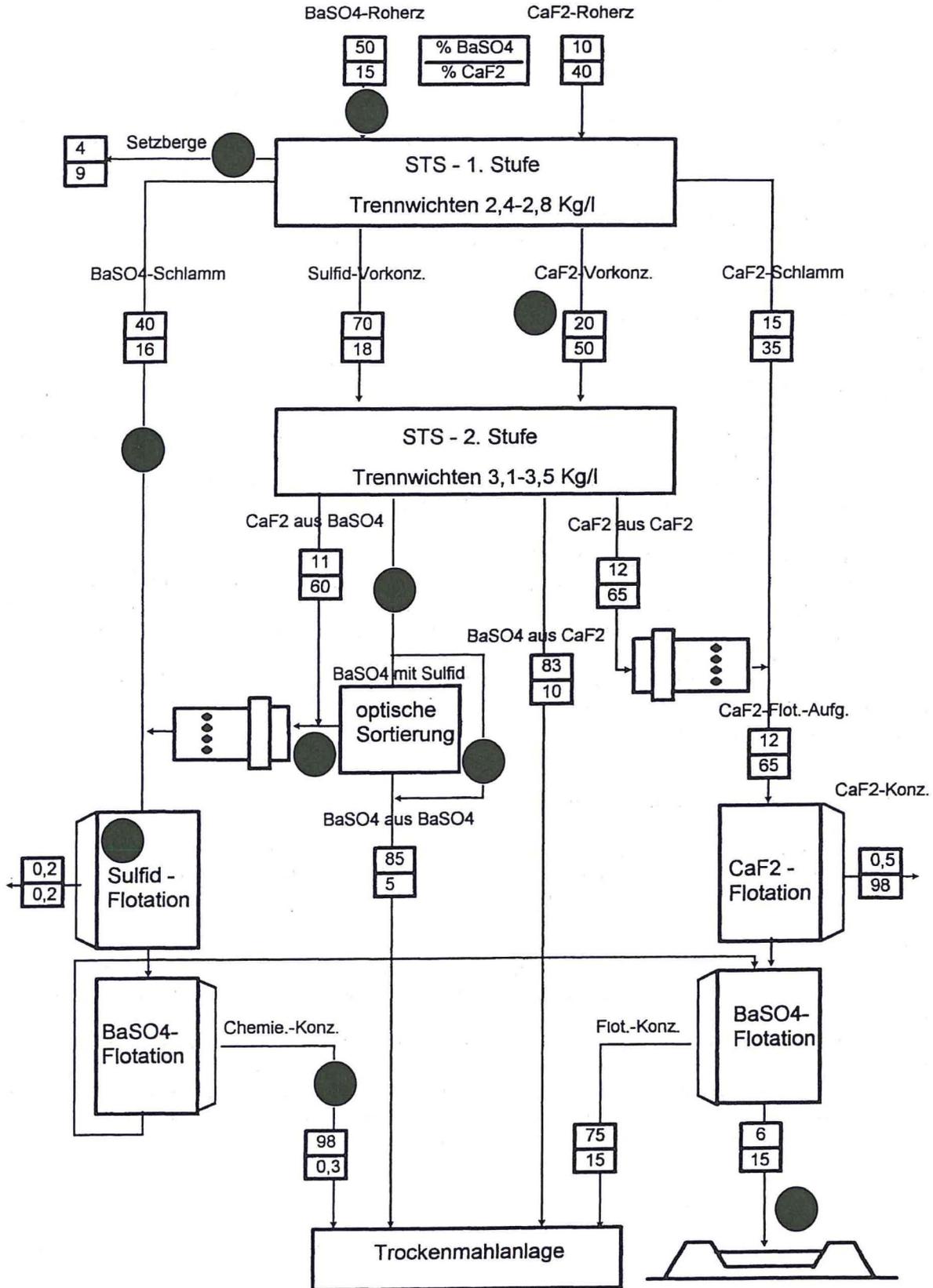


Abb. 11: Probenahmepunkte (schwarze Kreise) innerhalb des Aufbereitungsprozesses am 26.10.2000 im Silberspatbetrieb (ergänzt nach Sachtleben Bergbau Services GmbH 2000). Die Bergeabgänge der Baryt-Flotation (Kläranslagensand und Filterkuchen) sind in der Darstellung als ein Probenahmepunkt angegeben. An den jeweiligen Anlagen- und Prozessabschnitten sind die Gehalte [%] an BaSO₄ (oben) und CaF₂ (unten) angegeben. Der Probenahmepunkt am BaSO₄-Roherz stellt die Handstücke dar.

7 Petrographie und Geochemie der Roherz- und Aufbereitungsproben

Der zentrale Teil der vorliegenden Arbeit, die der Gewinnung von aufbereitungstechnischen Rückschlüssen bei der Silberspatverarbeitung dient, war es, in einem ersten Schritt eine petrographisch-strukturelle und geochemisch-mineralogische Charakterisierung der Mineralparagenese ab der 12. Sohle zu erarbeiten. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sollen in den Ablauf des Aufbereitungsprozess eingebracht werden und so Rückschlüsse für eine Anlagenoptimierung oder eine Grundlage für eine veränderte Anlagenführung in der Zukunft zulassen.

7.1 Angewandte analytische Methoden

Analytische Methoden, die zur Lösung der Aufgabenstellung Anwendung fanden, sind:

1. Auflichtmikroskopie (unter Luft),
2. Rasterelektronenmikroskopie (REM) mit halbquantitativer EDX,
3. Mikrosondenanalysen,
4. Röntgendiffraktometrie und
5. Röntgenfluoreszenz (XRF).

Bis auf die Mikrosondenanalysen, die freundlicherweise durch die Vermittlung von Herrn Dr. Thomas OBERTHÜR durch Herrn Dr. Frank MELCHER und Herrn LODZIAK bei der BGR in Hannover durchgeführt wurden, fanden alle Messungen am Institut in Halle statt. Allen Rasterelektronenbildern und den auflichtmikroskopischen Bildern in der vorliegenden Arbeit liegt digitales Bildmaterial zugrunde.

7.2 Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

In der folgenden Auswertung wurden zuerst die auftretenden silberführenden Minerale identifiziert. Danach wurden strukturelle und geochemische Zusammenhänge hergestellt und die Bindung des Silbers an bestimmte Minerale und deren Verwachsungen wurde untersucht. Vor allem der räumlich-petrographischen Einordnung der Silbergehalte kam hierbei eine zentrale Bedeutung zu.

Alle mit * gekennzeichneten Angaben von Silbergehalten sind aus der an das REM in Halle angeschlossenen halbquantitativen EDX und daher mit nicht quantifizierbaren Ungenauigkeiten behaftet und können darum nur Größenordnungen der Gehalte angeben.

7.2.1 Roherz

Die Handstücke des Bohrkern- und Silberspathaldenmaterials wurden als erste untersucht. Dabei wurden erst makroskopisch und dann mikroskopisch sichtbare Kriterien unterschieden.

Als Mikrostrukturen werden im zweiten Abschnitt solche Bildungen bezeichnet, die mit bloßem Auge oder der Lupe schwer bis gar nicht erkennbar sind. Eine wesentliche Methode der Aufklärung solcher Strukturen waren die Auflicht- und Rasterelektronenmikroskopie (REM).

7.2.1.1 Makrostrukturen

Die Aufbereitungsaufgabe ist sehr inhomogen bzw. die Zusammensetzung des Roherzes variiert sehr stark. Dies hängt im Wesentlichen von dem aktuellen Abbauniveau und dem Streckenvortrieb auf der jeweiligen Teilsohle ab.

Neben sehr reinen, meist schneeweißen Barytstücken, mit mehr oder weniger deutlich ausgebildeten Sulfidzlagen (bis einige cm mächtig), traten nur wenige, lagenartig verwachsene Baryt-Fluorit-(Quarz)-Bänderspat auf. Massivere Vererzungen mit zum Teil dm breiten Sulfidlagen sind ebenfalls häufiger anzutreffen. Oxidierte Bereiche mit Sekundärmineralbildungen waren im Roherz des Probenahmetages eher selten. Jeder dieser Roherztypen wird im Folgenden getrennt behandelt.

7.2.1.1.1 Grobkristalliner Schwerspat

Ein großer Teil der sulfidischen Erze war in dem meist sehr reinen, weißen bis leicht rosafarbenen, grobkristallinen Baryt anzutreffen. Dieser Schwerspat stellt das beste barytische Roherz in der Grube dar, da mit ihm die besten Helligkeiten im Konzentrat erreicht werden können.

Der grobkristalline Baryt wird immer wieder von zum Teil verfärbten Bändern mit Sulfidz durchzogen (Abb. 12). Neben den meist bis einige mm mächtigen Lagen treten in ihm auch Bereiche mit massiver Vererzung auf (Abb. 13). Diese Massiverzpartien können sich bis über einige dm des Ganges erstrecken. Die mächtigeren Vererzungen sind auf bestimmte Zonen begrenzt oder kommen mehr oder weniger isoliert im sonst wenig verunreinigten Schwerspat vor. Die dünnen intrabarytischen Sulfidbänder bestehen fast nur aus Fahlerz und nur untergeordnet aus Chalkopyrit.

Ein anderer Mineralisationstyp, der erhöhte Sulfidanteile aufweist, sind in den großen Bereichen auftretende Fluorit-Sulfid-Zonen, die nur wenig Baryt enthalten und in die mächtigeren Schwerspatzonen des Schwerspatganges eingeschaltet sind. Hier sind sub-mm bis fast einen cm große Fahlerzester mit schwankenden Chalkopyritanteilen bis zum Teil über 50% anzutreffen. In diesen Bereichen sind die Sulfide mit Fluorit verwachsen (Abb. 14 und 15).

Die verschiedenen Typen der Sulfidvererzung konnten auch in dem Bohrkernmaterial von der Teilsohle 14.0 nachgewiesen werden. In den Kernen sind massive Vererzungen nur auf Abschnitte im Bohrkern Nr. LB 3/00 (2,5-3,0 und 3,65-3,85) und LB 18/00 (3,75-3,95) beschränkt. In diesen Abschnitten ist das Sulfiderz intensiv mit bläulich bis grauem Fluorit verwachsen und nur untergeordnet Baryt eingeschaltet (Abb. 14 und 15). Reiner Baryt tritt nur außerhalb der mit Sulfiden mineralisierten fluoritischen Zonen auf (Abb. 15).

In den Bohrkernen sind zusätzlich mehr oder weniger stark brekziierte Bereiche gefunden worden, die entweder aus einer mit Baryt/Fluorit verheilten Nebengesteinsbrekzie (Abb. 16) oder einer Fluorit-Baryt-Brekzie bestehen. Diese Brekzien enthalten nur wenig bis kein sulfidisches Erz. Falls Sulfide enthalten sind, handelt es sich meist nur um etwas Pyrit/Markasit und Chalkopyrit (Abb. 16).



Abb. 12: Anschliff eines ca. 2 mm breiten Fahlerzbandes im reinen, weißen Schwerspat (Bildbreite 25 mm).

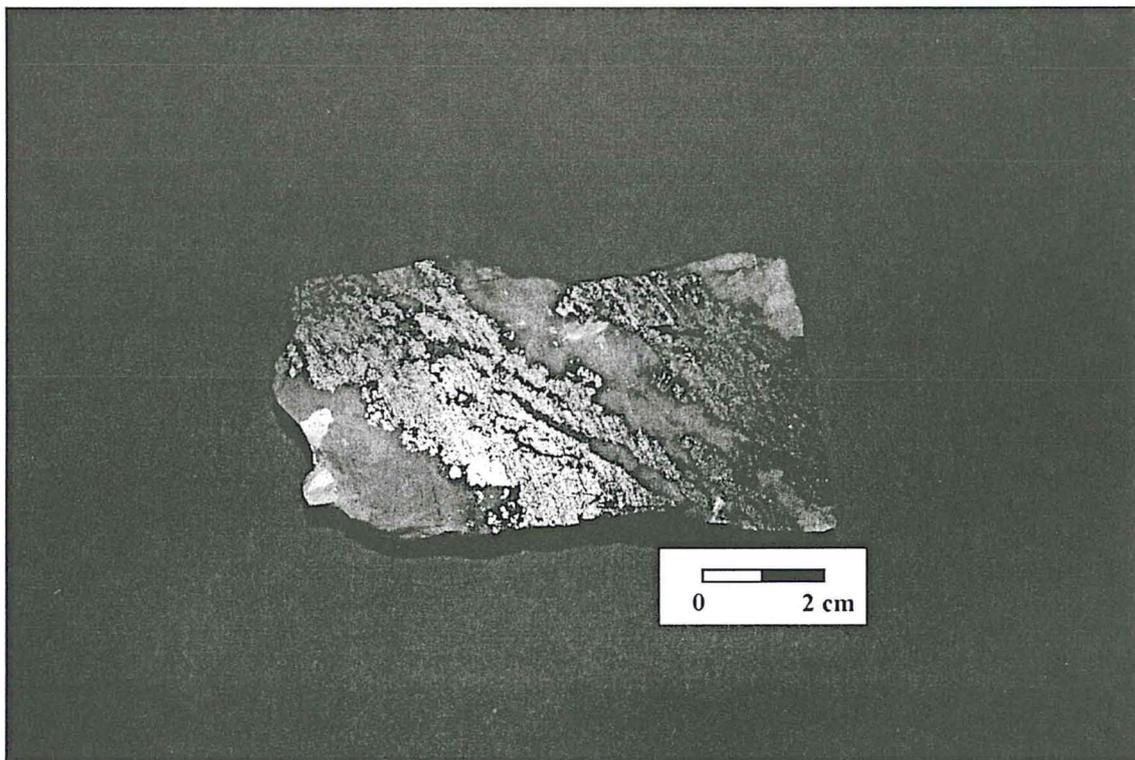


Abb. 13:

Mehrere cm breite Lagen sulfidischer Erze im grobkristallinen Schwerspat. In dem Bereich links oben ist der Anteil an Chalkopyrit im Verhältnis zum Fahlerz sehr viel größer als auf der rechten Seite und im unteren Abschnitt. Foto: C. BÖNSCH, Halle.

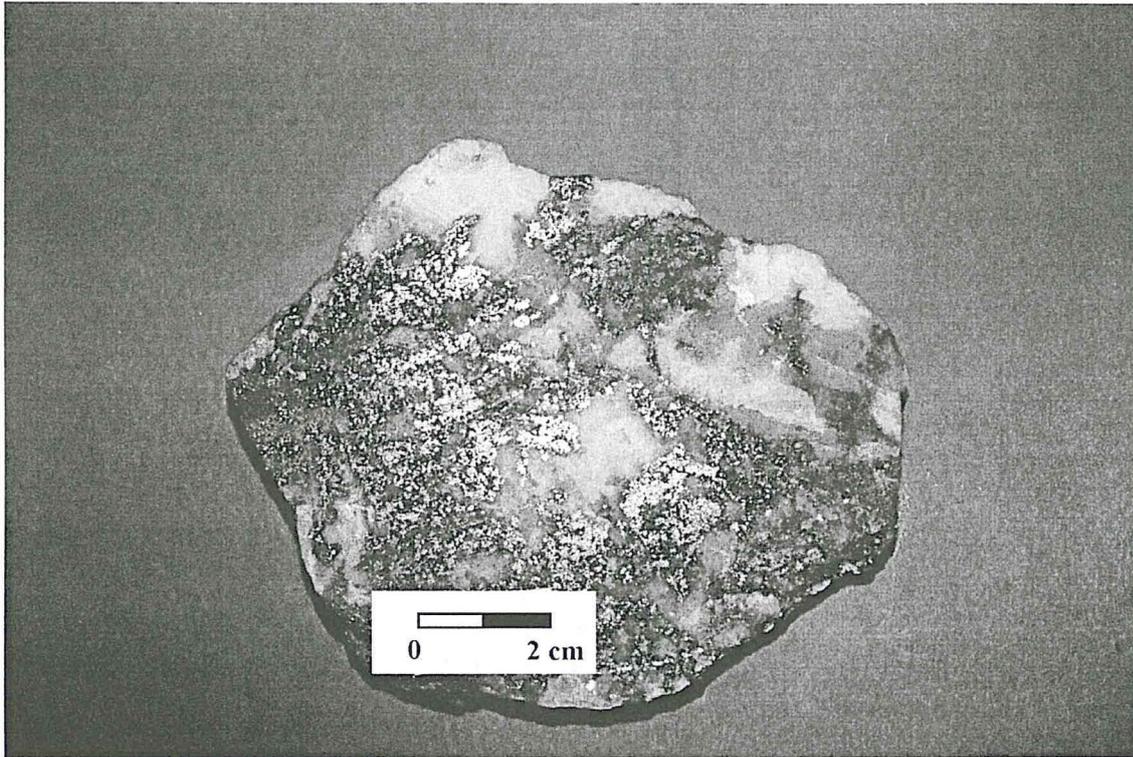


Abb. 14:
Sulfidreicherz, das intensiv mit Fluorit (hellgrau) verwachsen ist und nur einen geringem Anteil an Chalkopyrit aufweist. Foto: C. BÖNSCH, Halle.

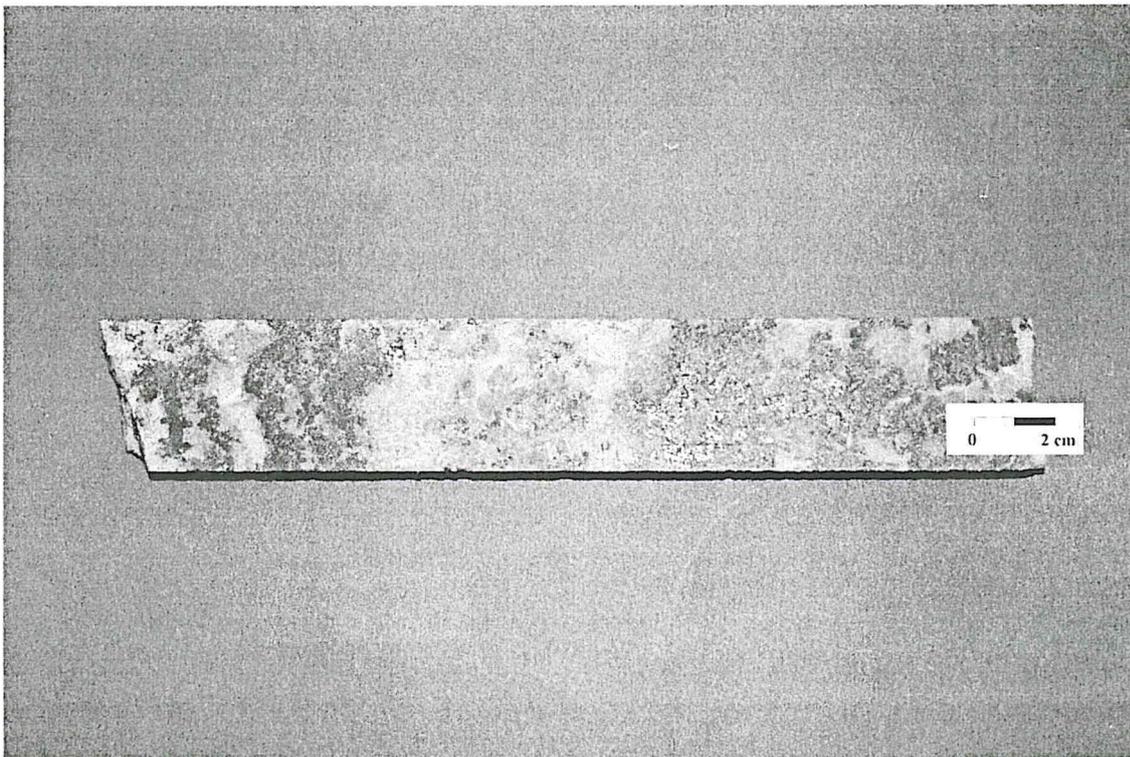
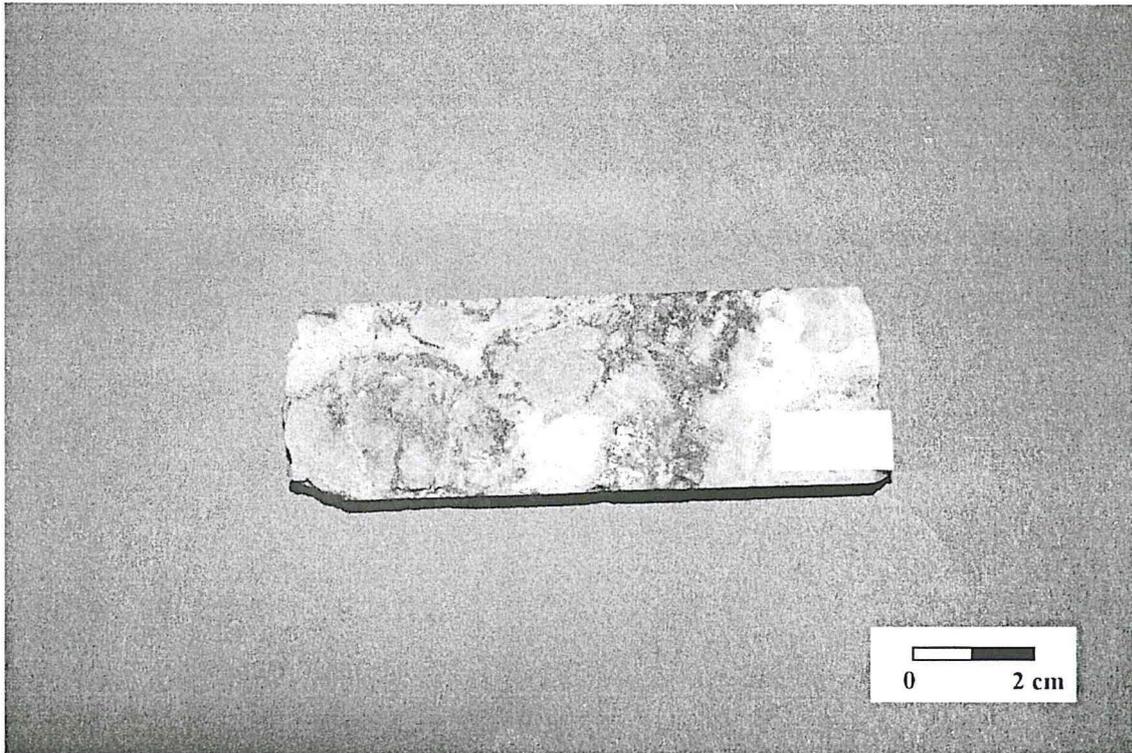


Abb. 15:
Bohrkernabschnitt aus dem Kern LB 3/00 (3,7-3,9), der im Bereich der chalkopyritarmen Fahlerz-mineralisation (rechter und linker Rand) einen deutlichen höheren Fluoritanteiles aufweist. Der Baryt ist weiß gefärbt. Foto: C. BÖNSCH, Halle.

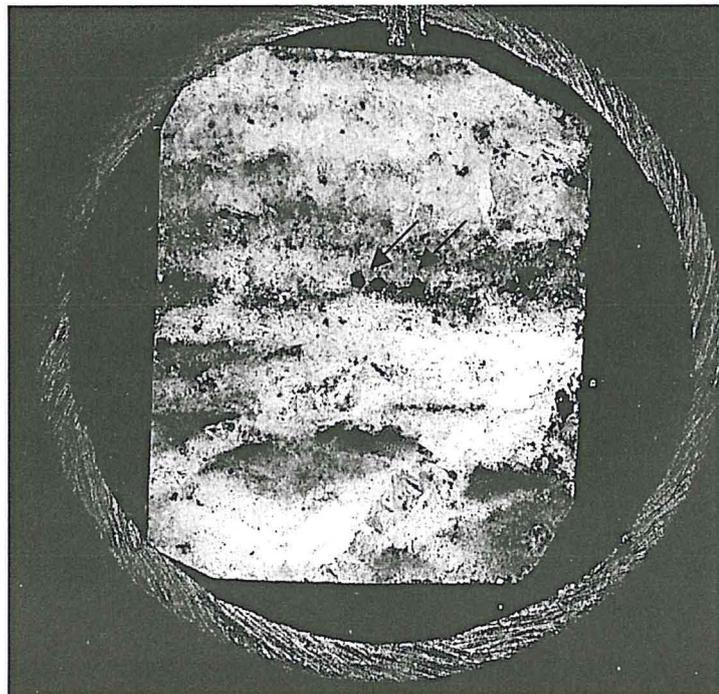
**Abb. 16:**

Nebengesteinsbrekzie im Bohrkern LB 4/00 (1,45-1,55), die mit weißem Baryt und hellgrauem Fluorit verheilt ist. An den Rändern der Gesteinsbruchstücke sind dunkle Zonen mit Chalkopyrit-Pyrit-Mineralisation zu erkennen. Foto: C. BÖNSCH, Halle.

7.2.1.1.2 Bänderspat

Bei den als Bänderspat beschriebenen Bereichen im Schwerspatgang handelt es sich um einen lagenweisen Wechsel von Fluorit und Schwerspat mit quarzreichen Abschnitten. Die einzelnen Bänder sind zwischen wenigen mm bis einigen cm mächtig. Im Bänderspat ist als sulfidisches Erz makroskopisch meist nur Chalkopyrit eindeutig zu erkennen (Abb. 17 und 18). Der Kupferkies tritt immer direkt an die Bänderung gebunden auf und zeichnet diese entlang scharfer Zonen an den Lagengrenzen oder entlang von internen Bahnen nach. Die Chalkopyritkristalle sind fast immer kleiner als 0,5 mm und meist perlenschnurartig aufgereiht im Fluorit oder in quarzreichen Lagen des Bänderspates zu finden (Abb. 17 und 18). Größere (bis 1 mm) Fahlerzindividuen treten meist im Baryt, aber fast nie im Quarz oder im Fluorit auf. Matildit (AgBiS_2 , auch Schapbachit bezeichnet) ist zwar nur selten zu finden, kommt aber in größeren Mengen vor.

Der Fluorit im Bänderspat erhält durch sehr feinkörnige Erzeinlagerungen eine meist graue Farbe. Der Baryt dagegen ist fast immer hellweiß und weist nur wenige

**Abb. 17:**

Polierter Bänderspatanschliff mit entlang von Bahnen supparallel angeordneten Sulfiderzeinschlüssen. Die etwas größeren Erzkörner in der Mitte (Pfeile) sind Chalkopyritkristalle. Bildbreite: 25 mm.

Erzeinschlüsse meist entlang von dünnen und diskreten Bahnen auf (Abb. 18), die parallel bis subparallel zur Flussspat-/Schwerspatbänderung verlaufen. Die meisten im Baryt eingelagerten Fahlerze sind sehr klein, fein verteilt und nur mit Lupe oder Mikroskop erkennbar. In Lagen mit intensiver und feinkörniger Flussspat-Schwerspat-Verwachsung sind auch die sulfidischen Erze stets sehr fein verteilt.

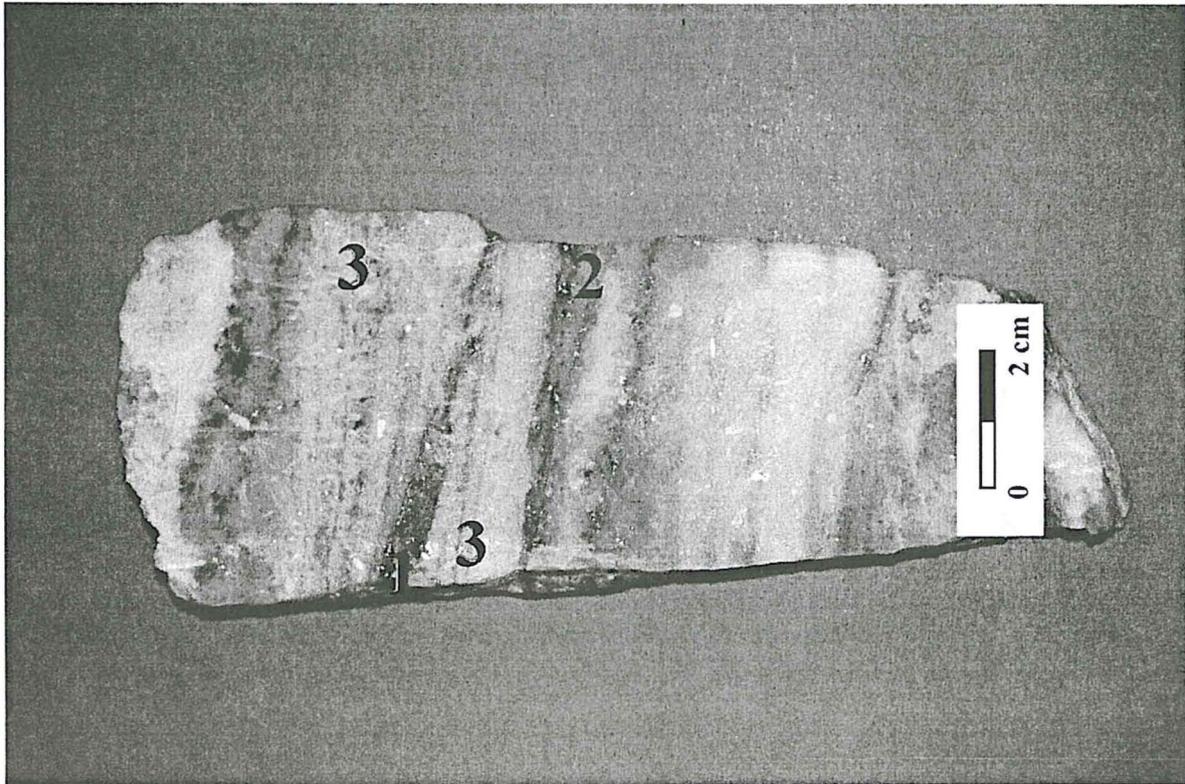


Abb. 18:

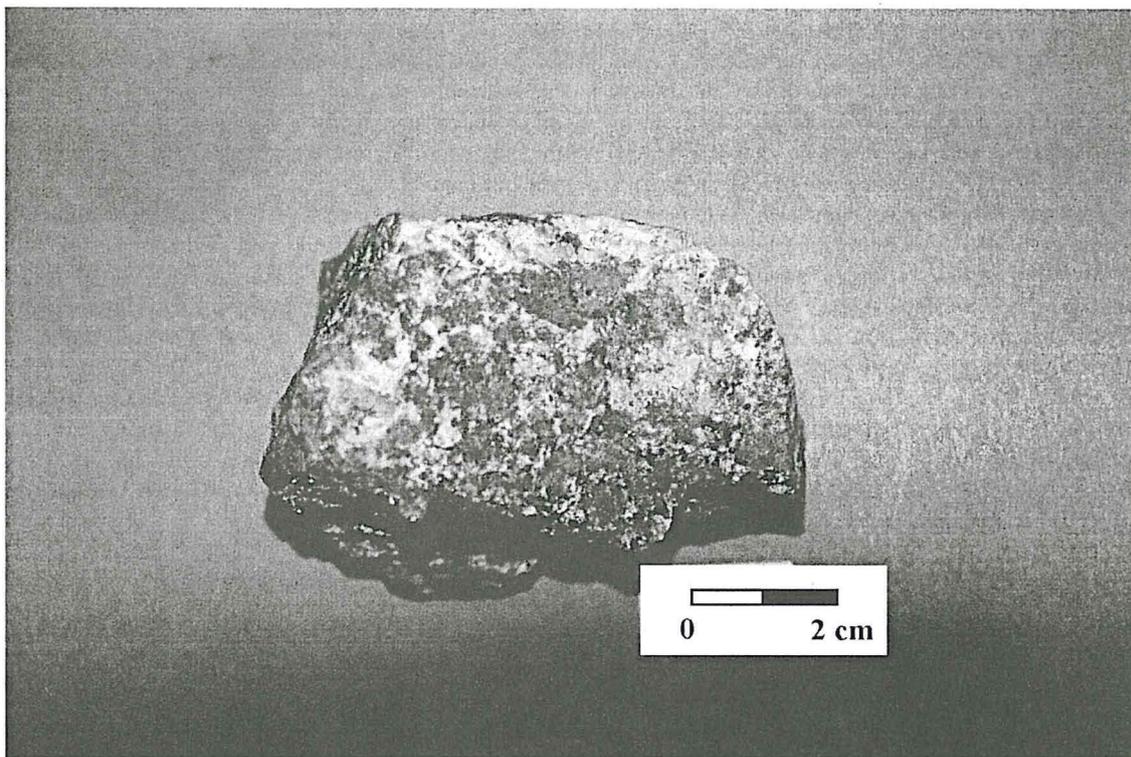
Bänderspat bestehend aus quarzreichen Lagen (1 und 2) und Lagen fast nur aus Baryt (weiß) und Fluorit (graue Farbe, auch hervorgerufen durch Fahlerzeinlagerungen). Der Baryt im linken Bildteil ist sehr fein durch Fahlerzlagen gebändert (3). An den mit Chalkopyrit vererzten Lagen 1 und 2 ist gut das spätere Eindringen des Schwespates erkennbar, der die Lage leicht schräg geteilt hat.

Foto: C. BÖNSCH, Halle.

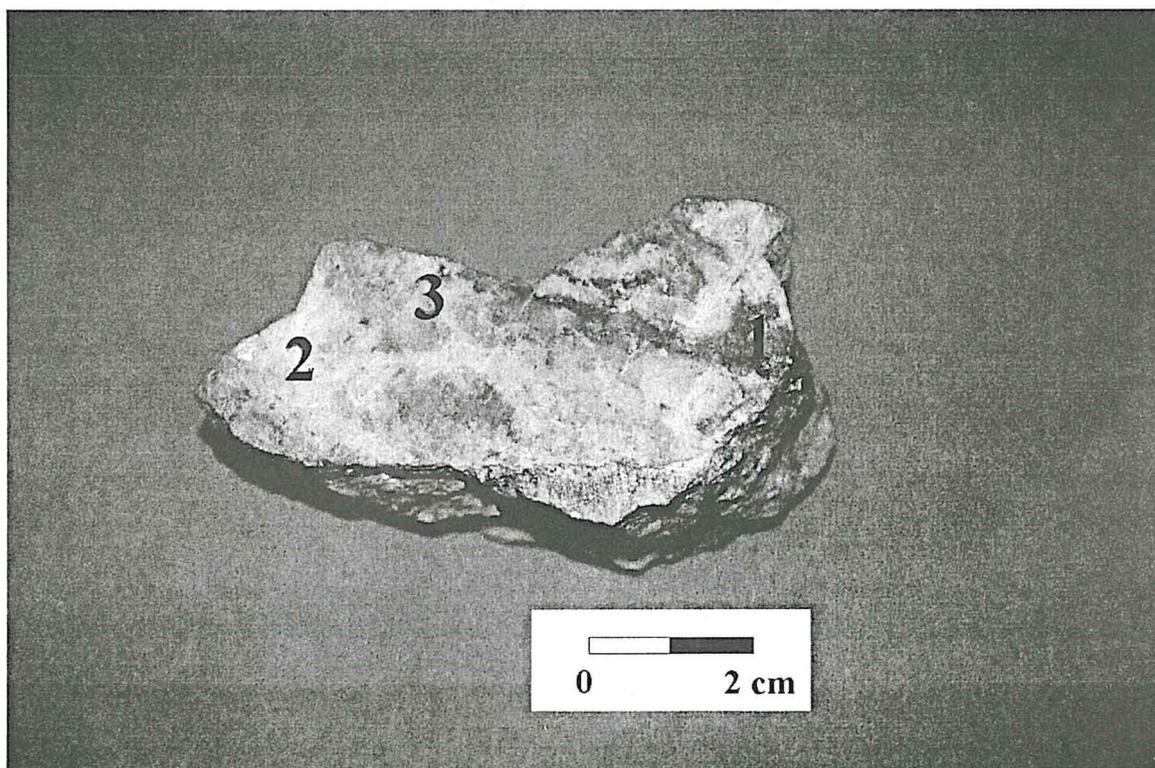
7.2.1.1.3 Oxidationsbereiche

Diese als Oxidationszonen bezeichneten Bereiche im Schwespatgang sind selten und nehmen zur Teufe hin immer weiter ab. Der Grund dafür liegt vor allem in der Abnahme des Einflusses meteorischer Wässer (mündliche Mitteilung HUCK, 2000). Oxidationsbereiche sind generell an offene Störungen bzw. unverheilte Klüfte oder auch erhöhte Wasserwegsamkeiten (z.B. unverheilte Porosität) gebunden und zeigen sich in der Regel durch Kupfersekundärmineralbildungen (z.B. Malachit und Azurit) aus, die durch ihre intensiv grünen und blauen Überzüge leicht zu erkennen sind (Abb. 19).

In vielen Bereichen dieser oxidierten Zonen sind reliktsch sulfidische (Primär)Erze vorhanden. Limonitische Eisenerze, Manganoxide und -hydroxide, wie auch eine sehr große Anzahl anderer Sekundärminerale, wie z.B. Olivenit (Abb. 20), sind in diesen meist nur kleinräumigen Zonen weit verbreitet.

**Abb. 19:**

Handstück mit deutlicher Oxidation zu Malachit, Eisenoxiden und -hydroxiden. Bei den grauen Partien handelt es sich um Reste sulfidischer Erze und dabei meist um Chalkosin oder Covellin. Der im Handstück enthaltene Fluorit erscheint meist auch Grün, da er mit Malachit überzogen oder von haarfeinen malachtigefüllten Rissen durchzogen wird. Baryt ist weiß gefärbt. Foto: C. BÖNSCH, Halle.

**Abb. 20:**

Verwachsung von Fluorit (3) mit Baryt (2), in der entlang einer Schwächezone Olivenit (1) gebildet wurde. Vor allem an den Korngrenzen von Fluoritkristallen ist oft eine durch Malachit hervorgerufene deutliche Grünfärbung zu beobachten. Foto: C. BÖNSCH, Halle.

7.2.1.2 Mikrostrukturen: Verwachsungen der Silberträger mit anderen Mineralen

Verwachsungen bzw. Vergesellschaftungen von verschiedenen Sulfiden sind für die Aufbereitung und Trennung der Erze voneinander sowohl bei der Fluss- und Schwerspatseparation als auch bei der Gewinnung der sulfidischen Erze in den Flotationszyklen von entscheidender Bedeutung. In diesem Abschnitt werden massiv vererzte Bereiche und die Bereiche des Bänderspates unterschieden. Zusätzlich werden die Abschnitte mit fortgeschrittener Oxidations- und Sekundärmineralbildung separat behandelt.

Die erst mikroskopisch erkennbaren Strukturen und Mineralverwachsungen haben sich als sehr aufschlussreich erwiesen, da sie Systematiken erkennen lassen, die auch für die Aufbereitung von Bedeutung sind. Neben den Umwandlungen der primären Minerale und die dadurch hervorgerufenen und kanalisierten Stofftransporte sind viele aufbereitungstechnische Phänomene erklärbar. In den folgenden Abschnitten wird auf Unterschiede in der Mineralisation entlang von Rissen, Umwandlungen und Mineralneubildungen in bestimmten Erzonen und die Mikroverwachsungen der verschiedenen Silberträger dieser Bereiche eingegangen.

Die große Masse der sulfidischen Erze in der Clara-Mineralisation machen die als Fahlerze bekannte Mischkristallreihe zwischen Tennantit und Tetraedrit aus. Diese Erze und andere zu den Komplexsulfosalzen gehörenden Minerale (Tab. 3) weisen meist schwankende Elementgehalte auf (Tab. 3 und Tab. 4). Es war wichtig, die häufigsten Silberträger im Erz zu identifizieren, die Silbergehalte zu quantifizieren und zu versuchen, ihre Verwachsungen und Umwandlungen zu bestimmen.

Tab. 3: Auswahl von Silbermineralen mit ihren jeweils typischen wichtigsten Elementgehalten.

Mineral	Formel	Ag (%)	Cu (%)	As (%)	Sb (%)	S (%)	Anmerkung
Tetraedrit	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$		45,8		29,2	25,0	s. Tab. 4
Tennantit	$Cu_{12}As_4S_{13}$		51,6	20,3		28,1	s. Tab. 4
Pyrargit	Ag_3SbS_3	50,8			27,5	21,8	
Proustit	Ag_3AsS_3	56,8		18,9		24,3	
Polybasit-Pearcit	$(Ag,Cu)_{16}(Sb,As)_2S_{11}$	62,1-74,9	3-10	0-7	0-10,7	15,4	(RÖSLER 1991)
Silberglanz	Ag_2S	87				13	
Schapbachit	$AgBiS_2$	28,3				16,8	54,9% Bismut

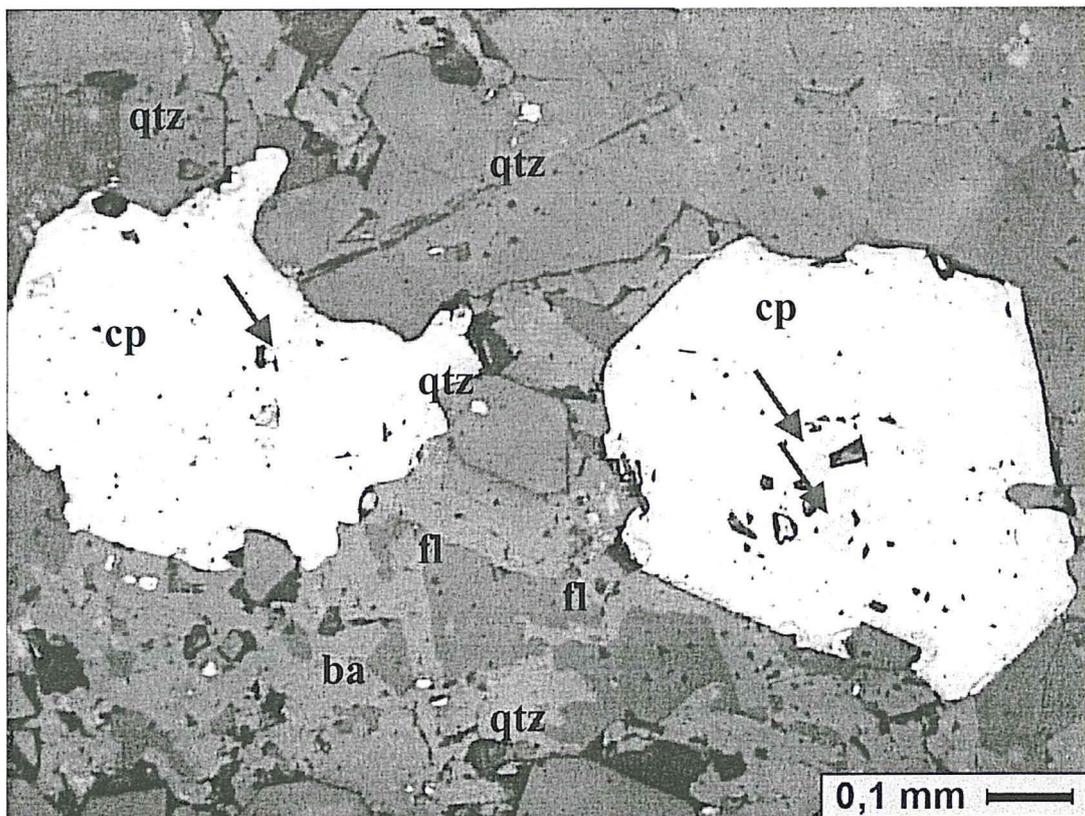


Abb. 21: Auflichtmikroskopisches Bild zweier Chalkopyritkristalle (cp) aus Abb. 17 mit mehreren im Inneren eingeschlossenen Verunreinigungen (Quarz) und mit hellgrauen Fahlerzen (Pfeile). Diese Chalkopyrite sind in einer Fluorit(fl)-Baryt(ba)-Lage eingewachsen, die von zwei quarzreichen (qtz) Lagen begrenzt wird. (|| Nic.)

Tab. 4: Nach BETECHTIN bestehen in natürlichen Mineralphasen von Fahlerzen folgende Elementschwankungen (in Masse-%, aus RÖSLER 1991).

Cu	22.....53	Hg	0.....17	As	0..... 20
Ag	0.....36	Ni	0.....3,5	Sb	0..... 29,2
Zn	0.....9	Co	0..... 4,2	Bi	0..... 4,5 (13,07)
Fe	0.....13	Mn	0.....1,5	S	20,6... 29,1

7.2.1.2.1 Bänderspaterz

Der nicht so stark mit Sulfiden vererzte Bänderspat ist, wie in 7.2.1.1.2 beschrieben, aus mm- bis cm-Lagen von Quarz, Fluorit und Baryt aufgebaut. Die Anteile der drei Minerale schwanken, aber Quarz ist meist untergeordnet. Die sulfidischen Erzkörner sind in andere Kristalle eingeschlossen und mit der Ausnahme von Chalkopyrit alle meist kleiner als einen Millimeter.

Im Bänderspat sind die Fahlerze in idiomorpher Kristallform mit oft typischem, tetraedrischem Habitus im Chalkopyrit eingewachsen (Abb. 21) oder in kugelförmigen Aggregaten mit Bleiglanz im Fluorit vergesellschaftet (Abb. 22). Die starken Verunreinigungen (Abb. 21) in den zentralen Bereichen der Chalkopyritkristalle deuten auf ein schnelles Kristallwachstum in der frühen Phase ihrer Kristallisation hin.

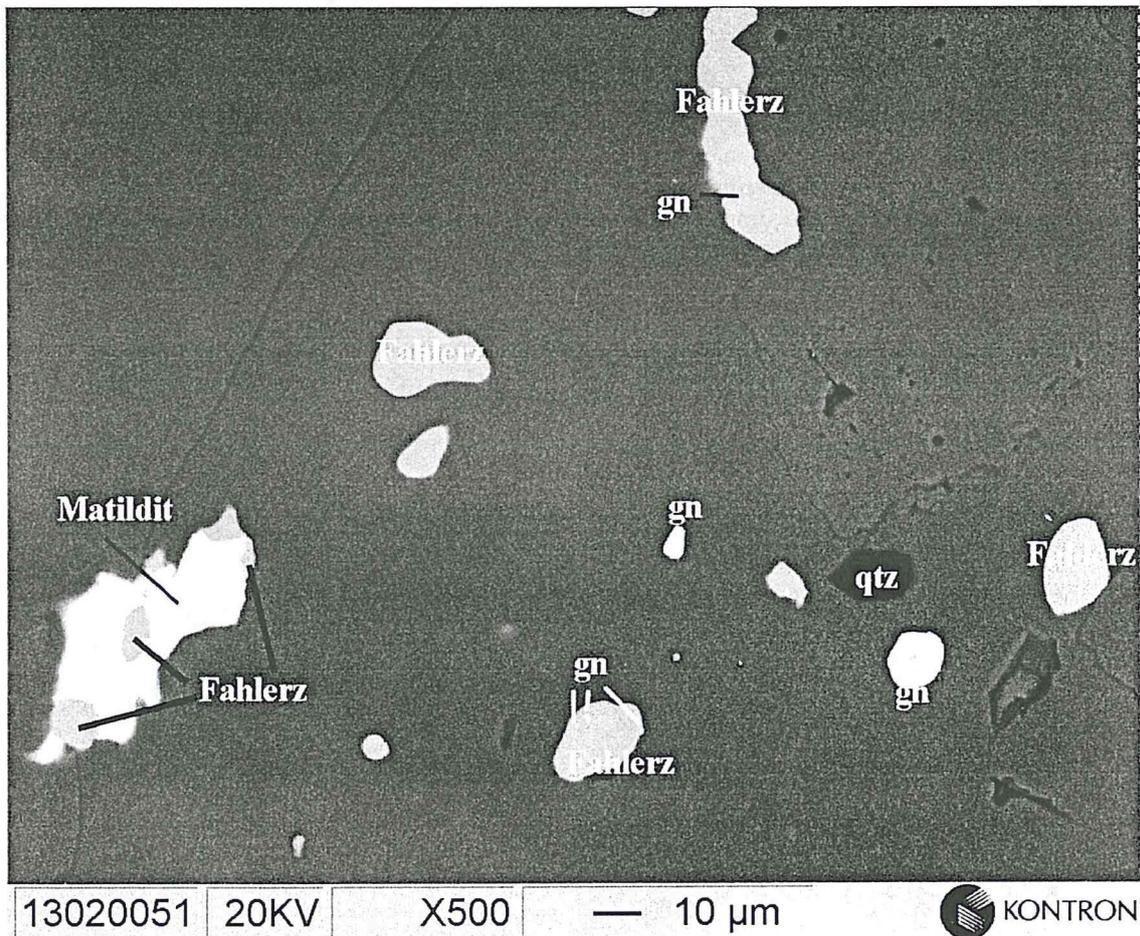


Abb. 22: REM-Aufnahme (BSE) von im Fluorit des Bänderspates eingeschlossenen kugel- und amöbenförmigen Fahlerz-, Fahlerz-Matildit-, Fahlerz-Galenit(gn)- bzw. Galenitaggregaten.

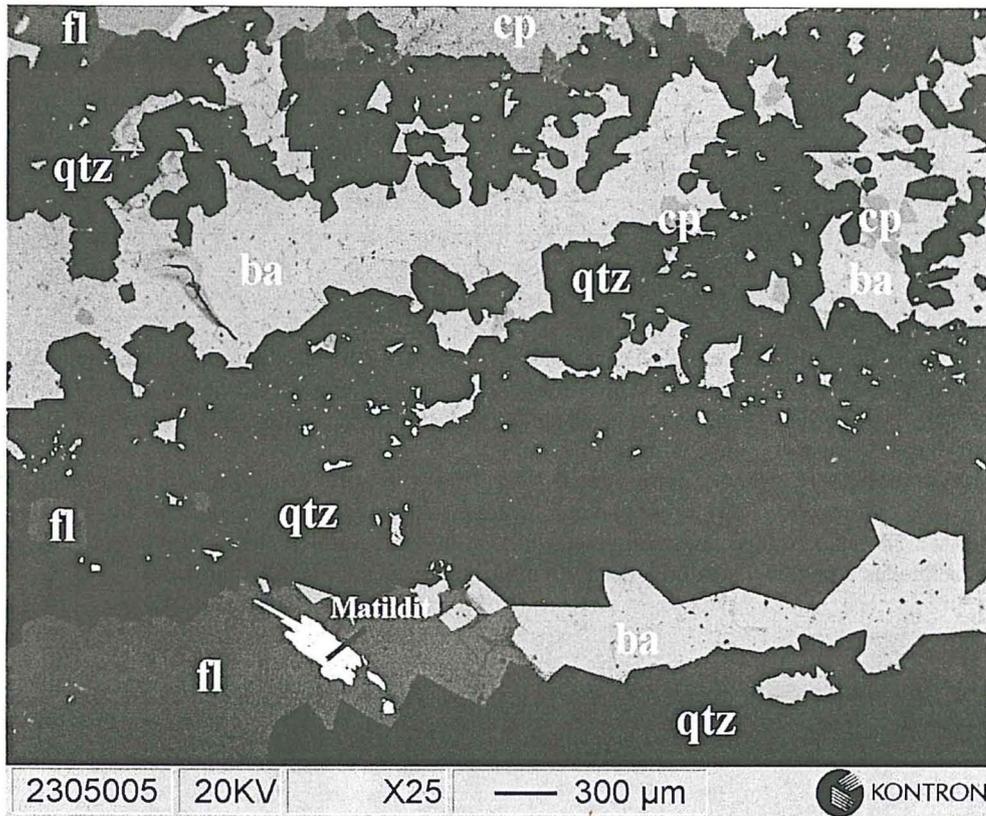


Abb. 23:
BSE-Aufnahme eines Bänderspaterzes, bei dem die Baryt(ba)-Fluorit(fl)-Quarz(qtz)-Bänderung gut zu erkennen ist. Im unteren Bildteil ist ein ca. 400 µm großer Matilditkristall in einem Fluorit eingewachsen (siehe dazu auch Abb. 24).

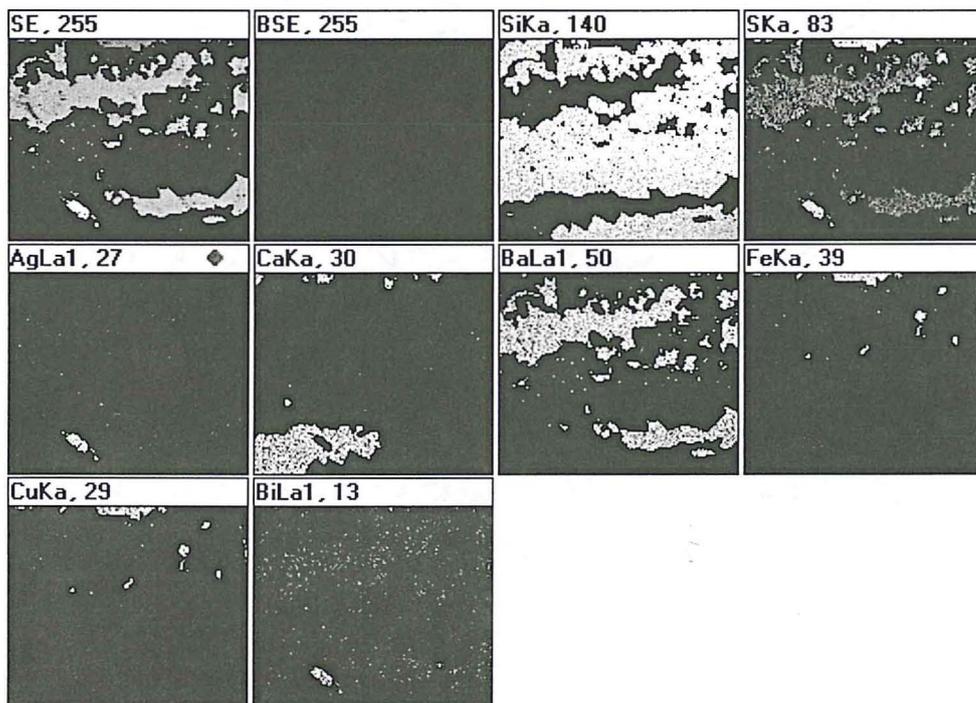


Abb. 24:
Elementverteilungen der REM-Aufnahme aus Abb. 23. Flusspat, Quarz und Baryt lassen sich sehr gut unterscheiden. Chalkopyrit wird eindeutig durch das Auftreten von Eisen und Kupfer sichtbar. Der Matildit (Schapbachit) im unteren linken Teil des Ausschnittes ist das einzige Mineral, das Silber enthält (Maßstab siehe Abb. 23).

Die kugelförmigen, im Fluorit eingeschlossenen Galenit-Fahlerz-Verwachsungen sind ausschließlich im Fluorit zu finden und haben maximale Durchmesser von ca. 20 μm (Abb. 22). Die idio- bis xenomorphen Fahlerzeinschlüsse im Inneren von Chalkopyritkristallen können auch etwas größer sein (Abb. 21). Das Fahlerz in den Chalkopyriten und auch im Flussspat weist hohe Gehalte an Silber auf (siehe dazu auch Kap. 7.3). Es wurden semiquantitativ bis über 15% Ag gemessen.

Matildit ist der zweite wichtige Silberträger im Bänderspat der Grube „Clara“ (Abb. 22 und Abb. 23). Bei dem auch als Schapbachit bezeichneten Matildit handelt es sich um ein Silber-Bismut-Sulfid mit der Formel AgBiS_2 . Es kommt meist in sehr kleinen bis 30 μm langen und nur wenige μm breiten Schüppchen im Fluorit und seltener auch im Quarz des Bänderspates vor (Abb. 23). Die Matilditkristalle können in Ausnahmefällen bis fast einen halben Millimeter Kristallgröße erreichen. Matildit ist zwar weit seltener im Bänderspat anzutreffen als Fahlerz, hat aber aufgrund seines hohen Silberanteiles von 28% Gewichtsprozent einen nicht zu unterschätzenden Anteil am gesamten Silber der gebänderten Bereiche des Schwerspatganges. Auch Verwachsungen von Schapbachit und Fahlerz sind zu finden (Abb. 22), wobei diese Fahlerze mit bis zu 15% Ag sehr silberreich sind. Idiomorpher Arsenopyrit ist in einigen Fluoritlagen des gebänderten Schwerspates sehr häufig, enthält aber keinerlei Silber.

7.2.1.2.2 Massivsulfiderz

Im Bereich der massiven Sulfidmineralisation sind die sulfidischen Erze mit Baryt aber auch mit Fluorit verwachsen. Die Barytkristalle sind meist idiomorph ausgebildet und ihre Zwischenräume und Zwickel sind mit Fluorit gefüllt. Auch Quarz tritt auf, ist aber bezogen auf den gesamten Mineralinhalt des Schwerspatganges hier viel seltener als im Bänderspat. Im Fahlerz selbst und in den direkt angrenzenden Bereichen sind xeno- bis hybridomorpher Fluorit und Quarz zu finden (Abb. 25). Die Flussspat- und Quarzkristallite sind, ähnlich denen im Bänderspaterz, entlang von Bahnen im Sulfiderz wie an einer Kette aufgereiht. Bei geringem Anteil an Chalkopyrit sind die Kupferkieskristalle klein und vor allem in den Randbereichen der derb ausgebildeten Fahlerze in Zwickeln von Fluoriten zu finden (Abb. 25). Der Anteil an Kupferkies schwankt sehr stark und kann in einigen Abschnitten fast die gesamten Sulfide ausmachen.

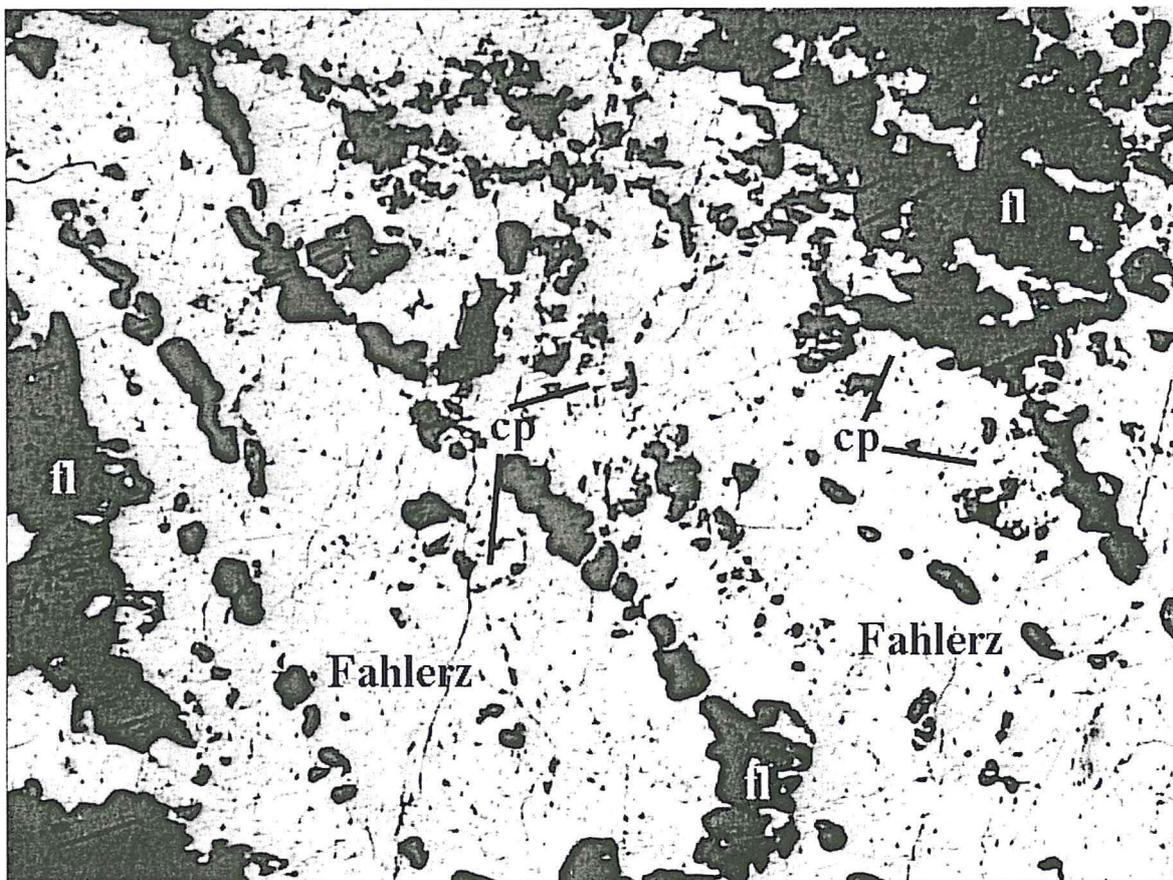


Abb. 25:

Auflichtmikroskopisches Bild eines polierten Massiverzanschliffes. Die sulfidischen Komponenten bestehen in diesem Beispiel aus über 90% Fahlerz, das in seinen Randbereichen mit etwas Chalkopyrit (cp) verwachsen ist. Im Fahlerz sind z.T. idiomorphe Quarze, aber vor allem Fluorit (fl), eingewachsen. In der Fahlerzgrundmasse ist ein netzartiges Muster von Haarrissen zu erkennen. (|| Nic.)

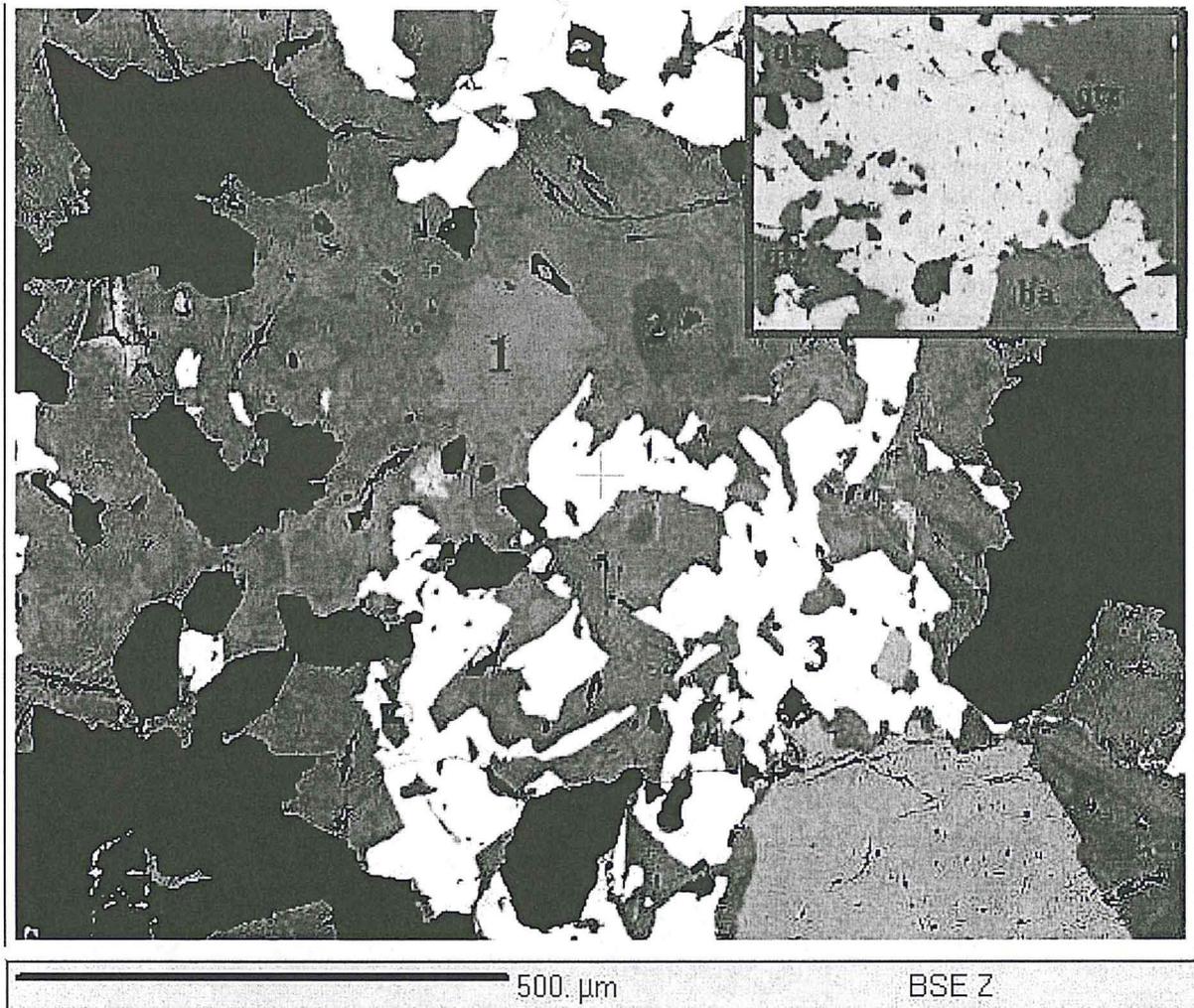


Abb. 26: BSE-Bild eines Massivsulfides, das neben dem Fahlerz auch größere Mengen von „edlen“ Silbererzen enthält. Diese sind im BSE-Bild an ihrer weißen Farbe gut zu erkennen. Im auflichtmikroskopischen Bild (rechts oben) dagegen sind sie nicht erkennbar. Auch das Fahlerz zeigt einen deutlichen hell-dunkel Wechsel (z.B. zwischen Punkt 1 und 2), der sich mit unterschiedlichen Silbergehalten begründen lässt (Tab. 5).

Chalkopyrit weist ebenso wie in allen anderen beprobten Bereichen keine messbaren Gehalte an Silber auf. Vereinzelt treten im Fahlerz unregelmäßig begrenzte oder kugelförmige Einschlüsse von Bleiglanz auf (Abb. 27). Die Fahlerzgrundmasse der großräumiger vererzten Abschnitte enthält zwischen 0,3 und 4% Silber (siehe Kap. 7.3) und mehr Arsen als Antimon. In einigen Fahlerzpartien sind Polybasit-Pearcite zu finden (Abb. 26). Diese lassen sich vor allem unter dem Rasterelektronenmikroskop sehr gut erkennen.

Tab. 5: Mikrosondenanalysen der in Abb. 26 dargestellten Messpunkte (Erläuterung im Text).

Element (in Masse %)	1	2	3
S	26,9	27,9	16,6
Mn	<0,1	<0,1	<0,1
Fe	4,3	5,2	<0,1
Cu	38,6	42,5	12,47
Zn	3,2	2,5	<0,1
As	11,1	17,1	4,81
Ag	4,7	2,4	61,32
Sb	12,4	4,0	3,0
Summe	101,0	101,6	99,0

Bei dem in Abb. 26 analysierten Silbersulfid (Analysedaten in Tab. 5) handelt es sich um einen Mischkristall von 50% Pearcit und 50% Polybasit. Die beiden Fahlerze (Punkte 1 und 2 in Abb. 26) zeigen deutliche Unterschiede im Silbergehalt und im Arsen/Antimon-Verhältnis. Die Silberkonzentration ist in dem silberreichen Fahlerz mit 4,7% fast doppelt so groß wie in den relativ silberarmen Fahlerzen. Die As/Sb-Verhältnisse zeigen mit 0,9 zu 4,28 einen deutlichen Unterschied. In dem silberreichen Erz ist mehr Zink enthalten, obwohl Zink kristallographisch an der Gitterposition von Silber sitzt, aber offensichtlich nicht durch Silber ersetzt wird. In den Fahlerzen wird Silber durch Kupfer ausgetauscht (siehe Kap. 7.3.2).

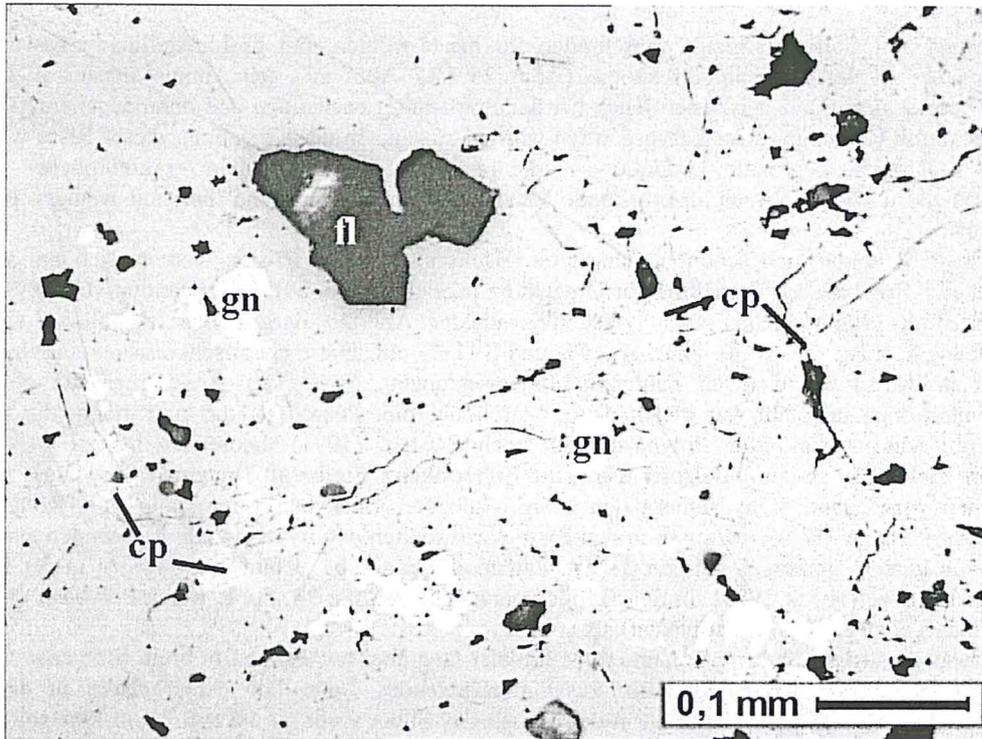


Abb. 27:
 Auflichtmikroskopische Aufnahme von Fahlerz mit xenomorphen Einschlüssen von Chalkopyrit (cp) und Galenit (gn). In diesem Beispiel sind die Risse, die sowohl das Fahlerz als auch den Chalkopyrit durchschneidenden, auf der rechten Seite und in der Mitte gut zu erkennen. (|| Nic.)

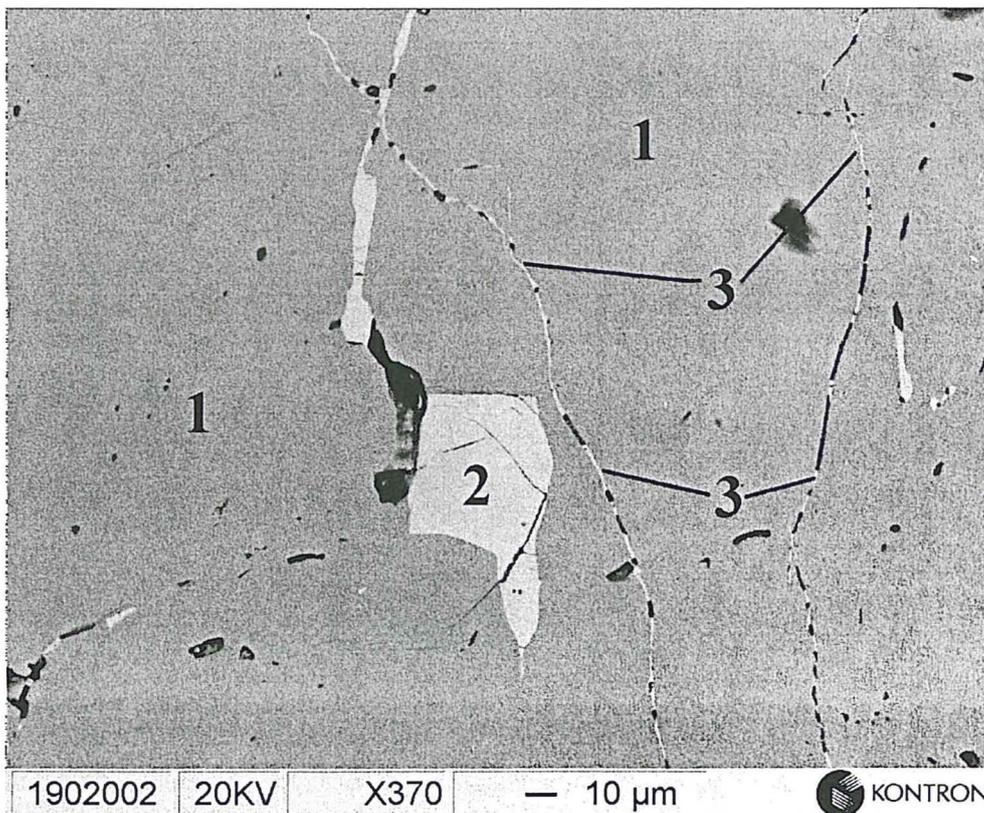


Abb. 28:
 REM-Aufnahme (BSE) eines Fahlerzes (1), das von zwei unter 1 µm breiten Rissen durchzogen wird (3). Gut zu erkennen ist, dass die Risse trotz ihrer geringen Breite stark ausgebrochen sind. Die Risse auf der rechten Seite sind senkrecht angeschnitten, der in der Mitte (2) dagegen in der Rissebene.

7.2.1.2.3 Risse

In den massiv mit Sulfid vererzten Abschnitten im meist weißen und grobkristallinen Schwerspat des Barytganges waren in der Auflichtmikroskopie (Abb. 25 und Abb. 27) sehr dünne lineare Elemente zu beobachten. Diese schienen auf den ersten Blick bei der Präparation entstanden und durch Spannungen bei der Polierung oder durch Reibungswärme hervorgerufen worden zu sein. In der Umgebung dieser Risse waren aber nach einiger Zeit lokal begrenzte Oxidationen erkennbar. Für die Auflösung herkömmlicher Auflichtmikroskope war die in diesen Rissen anzutreffende Mineralkomponente aufgrund ihrer nur wenigen μm Breite nicht bestimmbar.

Unter dem REM zeigte sich schon in den ersten Backscatterbildern (BSE), dass es sich um schwerere Elemente in dieser Erzphase im Verhältnis zur Umgebung handelte (Abb. 28). Halbquantitative EDX-Analysen stellten einen stark erhöhten Silbergehalt fest. Die in der Abb. 28 dargestellte Rissfüllung weist eine Zusammensetzung von $\text{Ag}^* 55\%$, $\text{Cu}^* 22\%$, $\text{As}^* 6\%$ und $\text{S}^* 17\%$ auf. Diese chemische Zusammensetzung passt nicht zu den in Tab. 4 aufgelisteten Fahlerzzusammensetzungen. Nach Tab. 3 stimmen die gemessenen Elementkonzentrationen ungefähr mit denen eines Pearcit überein. Pearcit ist das arsenreiche Endglied der Polybasit-Pearcit Mischkristallreihe. Polybasit kann nach RÖSLER (1991) theoretisch bis zu 74,9% Silber enthalten, sehr viel mehr als zum Beispiel das reine Silberfahlerz Freibergit (maximal 36% Ag). Polybasit-Pearcit kommen vorwiegend in hydrothermalen Gängen niedriger Entstehungstemperatur vor (RÖSLER 1991, RHAMDOHR 1960). Die As/Sb-Verhältnisse in den Rissen schwankten, wobei in einigen Messungen auch As/Sb-Verhältnisse von unter 1 gemessen wurden. In den Fahlerzen der Grube „Clara“ überwiegen in der Regel die arsenreicheren Fahlerze (HUCK 1984). In der Sulfidzerparagenese von der 14. Sohle treten Polybasit und Pearcit meist zu gleichen Teilen auf (Arsenopolybasit).

Die Arsenopolybasitrisse sind bis zu mehrere Millimeter lang aber nur einige μm breit. Sie verzweigen bzw. schneiden sich sporadisch und bilden kein zusammenhängendes Netz. Die Silbergehalte in den Rissen schwanken zwischen 50 und 60%, damit ist in den Rissen das Silber mehr als 10 mal höher konzentriert als in dem umgebenden Fahlerz. Die Arsenopolybasitrisse enthalten meist keine weiteren Mineralphasen.

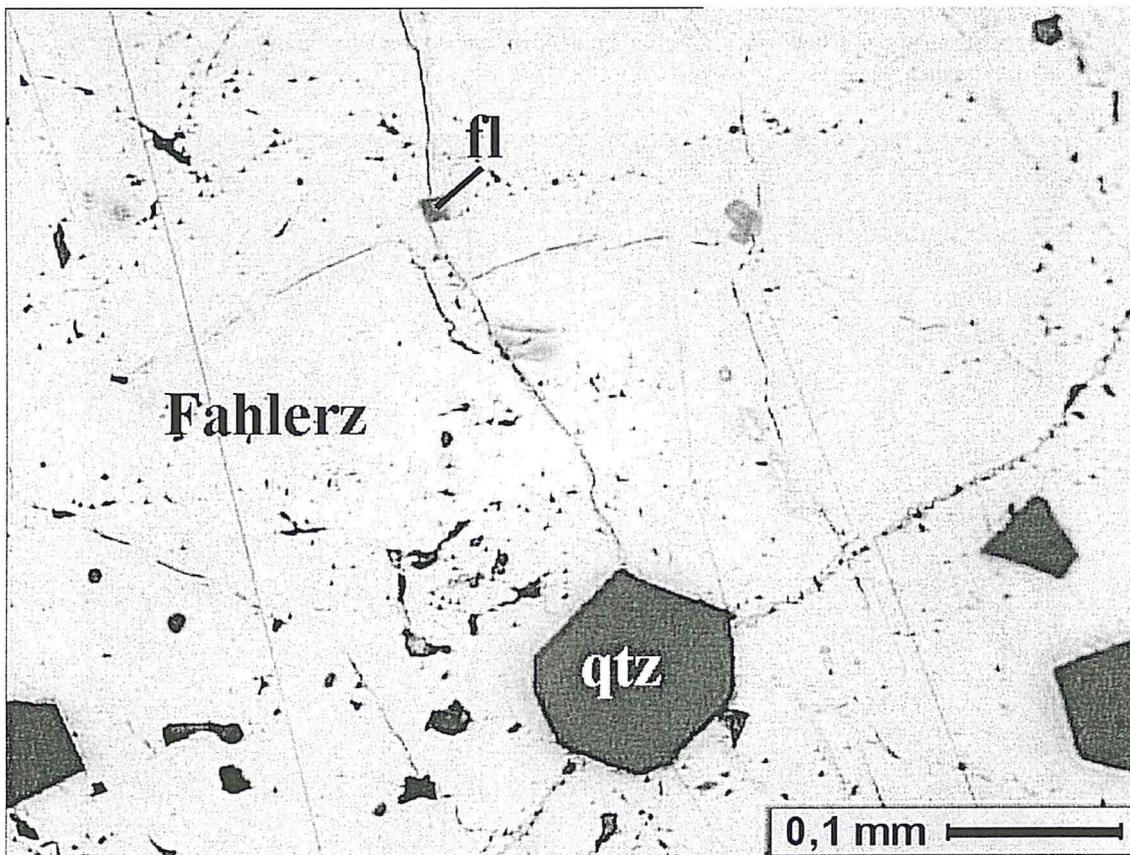


Abb. 29:

Von den Mineralkanten eines Quarzkristalls (qtz) ausgehende, mit Polybasit-Pearcit gefüllte Mikrorisse in Fahlerzgrundmasse. In einem der Risse ist später ein idiomorpher Fluorit gesprosst (fl). Dieser ist eindeutig nach dem Riss gewachsen, da er von ihm nicht durchschlagen oder umgangen wurde. (|| Nic.)

Größere Arsenopolybasite sind meist nur Anschnitterscheinungen verschiedener Rissebenen. Diese Risse zeigen keinerlei Anzeichen von tektonischer Beanspruchung oder Bewegung. Auch brekziierte Bereiche sind nicht zu finden. Die Mikrorisse sind stets auf die massiven Fahlerzbereiche beschränkt, sie treten also nie in den angrenzenden Quarzen, Fluoriten oder Barytkristallen auf. An einigen Stellen gehen die Risse von den Kanten im Fahlerz eingeschlossener idiomorpher Quarze aus (Abb. 29). Vereinzelt wurden auch größere Polybasit-Pearcit-Kristalle gefunden, die unabhängig von den Rissen gebildet wurden (Abb. 26).

Seltener sind Risse auch im Chalkopyrit ausgebildet. Sie können sowohl Fahlerz (Abb. 30) als auch Polybasit-Pearcit (Abb. 31) enthalten. Bei der in Abb. 30 dargestellten Rissfüllung handelt es sich um ein antimonreiches tetraedritisches Fahlerz der Zusammensetzung 42% Cu*, 22% Sb*, 25% S*, 6% Zn*, 3% Fe* und 2% As*. Dieser Tetraedrit weist ein As/Sb-Verhältnis von 1:11 auf. Die Haarrisse verzweigen sich netzartig in den Kupferkies hinein. In einem solchen Haarriss konnte ein unter 1 µm großes idiomorphes Zinnmineral mit tetraedrischem Habitus gefunden werden (Abb. 30). Zinnminerale wurden, von diesem Fall einmal abgesehen, sonst nicht in Vergesellschaftung mit Fahlerz gefunden. Das Auftreten des im Riss eingewachsenen Zinnsulfides und der ungewöhnliche Antimon- und Zinkreichtum des Fahlerzes deutet auf eine andere Fahlerzmineralisation hin. Ähnliche Beobachtungen konnten in den anderen untersuchten Anschliffen allerdings nicht nachgewiesen werden. Der Durchmesser der feinen Rissfortsätze ist um einiges geringer als bei den Rissen in den Massiverzen.

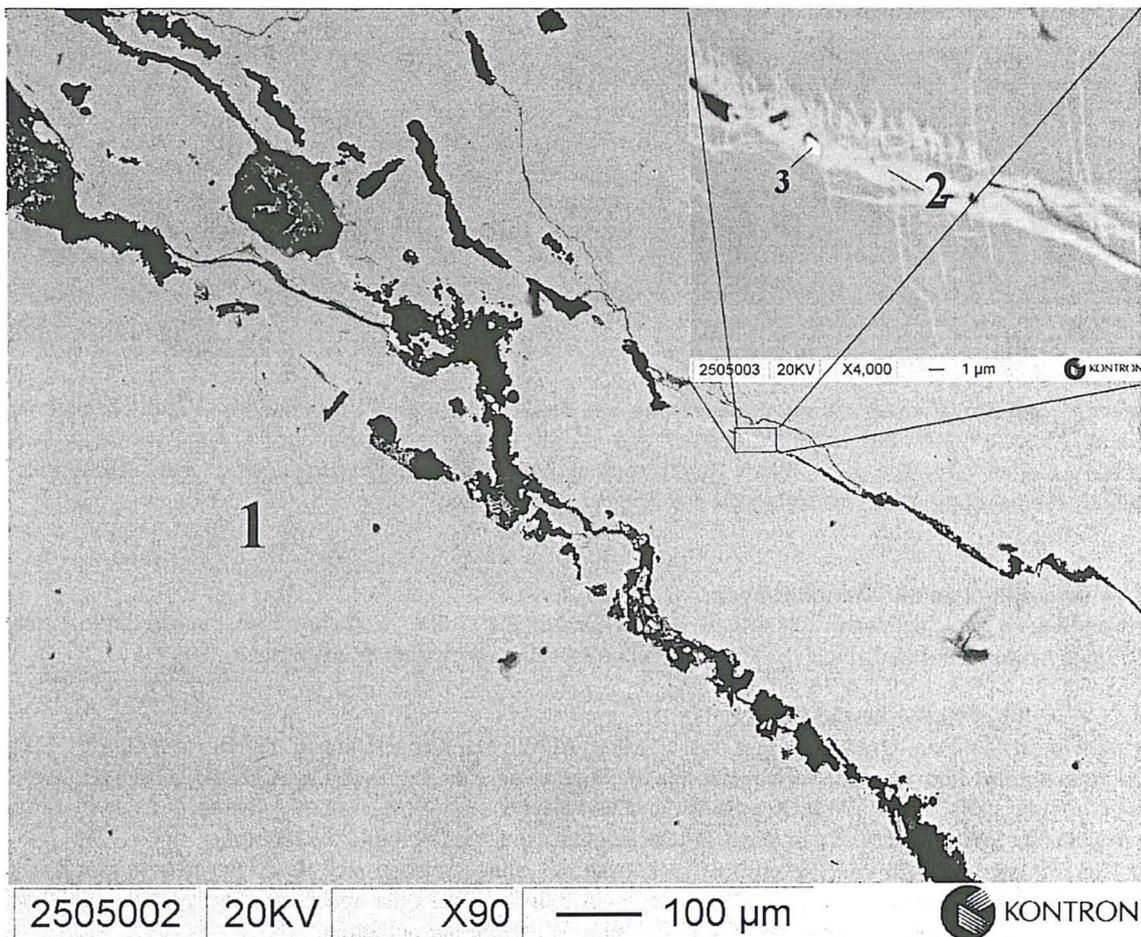


Abb. 30:

Ausgebrochene Risse in einem Chalkopyrit (1), die am Rand und in ihren sub-µm großen Fortsätzen Fahlerz (2) enthalten. In der Detailabbildung rechts oben sind solche netzartigen Haarrisse dargestellt. In der Vergrößerung ist auch ein Zinnmineral (3) mit 64% Sn*, 19% Cu*, 6% Fe* und 11% S* (+1% Ti*) zu erkennen.

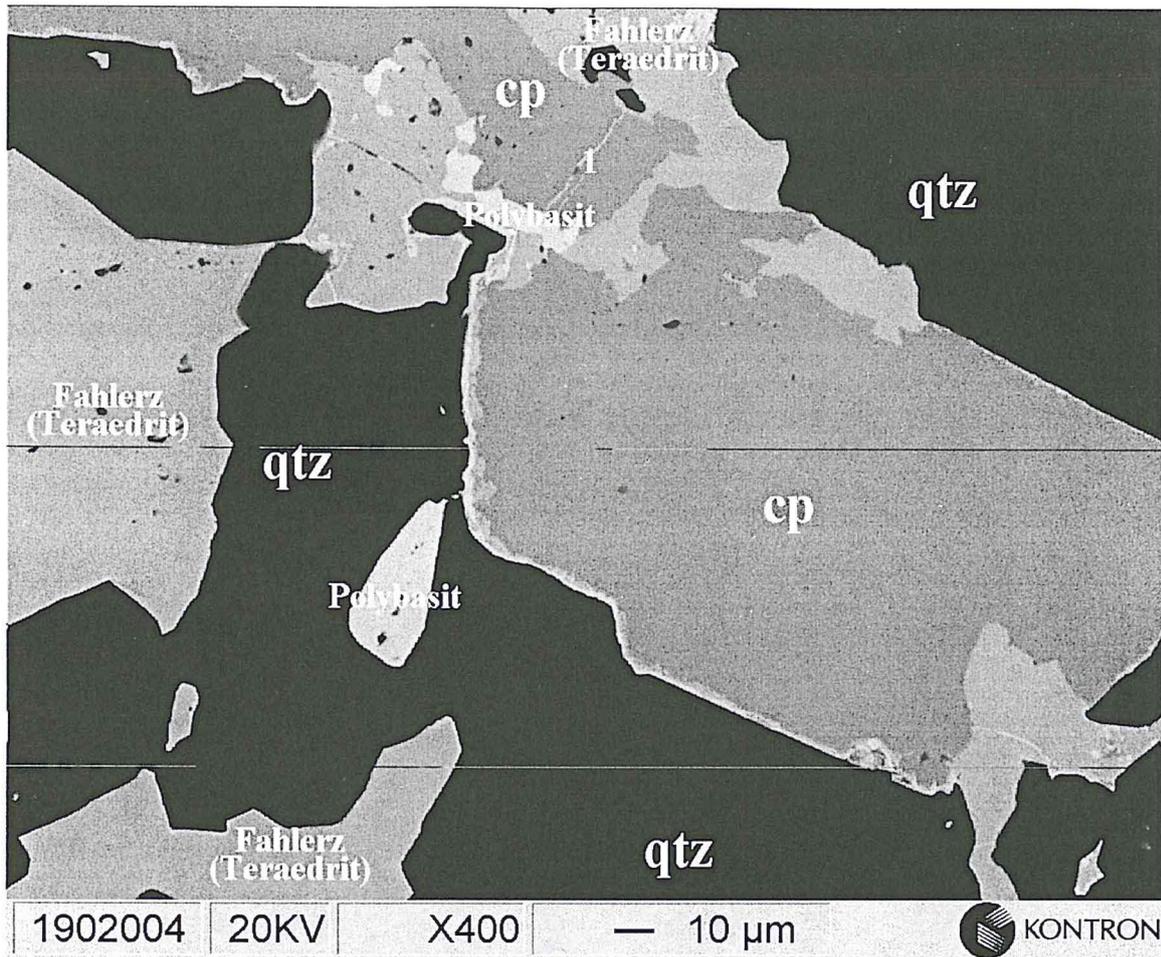


Abb. 31:

Fahlerz-Quarz(qtz)-Chalkopyrit(cp)-Verwachsung im Randbereich eines Sulfidbandes. Randlich sind im Fahlerz (44% Cu*, 20% As*, 27% S*, 6% Fe* und 3% Sb*) kleinere Polybasite (55% Ag, 21% Cu, 17% S und 6,5% As) zu erkennen, die in feinen Rissen auch in den Chalkopyrit eindringen. Am Quarz-Kupferkies-Kontakt ist eine dünne Zone von Polybasit und Fahlerz zu erkennen.

7.2.1.3 Umwandlungen und Neubildungen

Umwandlungen verschiedenster Art sind in den Sulfiderzen der Grube „Clara“ sehr weit verbreitet. Sie treten oft auf Zonen begrenzt auf und zeigen z. T. wesentliche Anzeichen von Stoffumlagerungen.

7.2.1.3.1 Covellin, Chalkosin und Bornit

Weit verbreitet sind die Umwandlungen von Chalkopyrit in Covellin, Chalkosin und Bornit (Tab. 6). Dabei wird Eisen abgeführt und es verbleiben meist poröse Zonen von Covellin und/oder Chalkosin im Randbereich des Chalkopyritkristalls zurück (Abb. 32). Bornit und Stromeyerit sind weniger häufig. Stromeyerit ist in einigen Zonen der einzige Silberträger und tritt vermehrt entlang der Kontakte Fahlerz-Covellin auf.

Die Covellinisierung geht von Rissen im Chalkopyrit aus und verzweigt sich dann netzartig in den Kristall hinein (Abb. 32). Im Chalkopyrit wurde kein messbarer Anteil an Silber oder anderen Schwermetallen gefunden, auch in dem aus dem Kupferkies umgewandelten Covellin ist kein Silber enthalten.

Tab. 6:

Chemische Zusammensetzung der 5 wichtigsten an Umwandlungen und Neubildungen beteiligten Kupfer(-Eisen)-Sulfide (Angaben in Masse-%).

Name	Formel	% Cu	% Fe	% S	% Ag
Chalkopyrit	CuFeS ₂	34,6	30,5	34,9	selten Spuren
Covellin	CuS	66,1	Spuren	22,9	Spuren
Chalkosin	CuS ₂	79,8	Spuren	2,2	Spuren
Bornit	Cu ₅ FeS ₄	63,3	11,1	25,6	Spuren
Stromeyerit	CuAgS	31,2	Spuren	15,7	53

Im Bänderspat wurden, von vereinzelt und auf die äußersten Randbereiche von Chalkopyritkristallen beschränkten leichten Covellinisierungen abgesehen, keine weiteren Umwandlungen gefunden. In den Abschnitten des Silberspates, in denen der Anteil an Chalkopyrit relativ hoch ist und der Kupferkies bis zu einigen mm große idiomorphe Kristalle ausbildet, sind die Umwandlungen zu Covellin am stärksten. Im zentralen Bereich eines solchen Mineralkorns ist der Chalkopyrit bis auf von Rissen ausgehende Covellinbildung nicht verändert und auch die Fahlerzeinschlüsse zeigen keinerlei Umwandlungen (Abb. 32). Am Rand der Chalkopyrite ist eine mehrschichtige Umwandlungszone ausgebildet. Diese Zone ist durch einen inneren Saum von Chalkosin und Bornit und einem sich daran nach außen anschließende Covellinzone gekennzeichnet (Abb. 32). Im Chalkopyrit eingeschlossene Fahlerze werden dabei nicht umgewandelt und verbleiben als Einsprenglinge im Chalkosin/Covellin zurück.

Der größte Teil des Silberspates ist mit wenig Kupferkies durchsetzt und von Covellinisierung oder Bildung von Chalkosin nicht beeinflusst. Auch der Chalkopyrit in den Fahlerzpartien ist nicht umgewandelt worden. Geringe Zersetzungserscheinungen treten vor allem in Randbereichen und in Abschnitten mit tektonisch stärkerer Beanspruchung und Brekzienbildung auf. In diesen brekzierten Bereichen wird das Fahlerz verstärkt in Covellin umgewandelt.

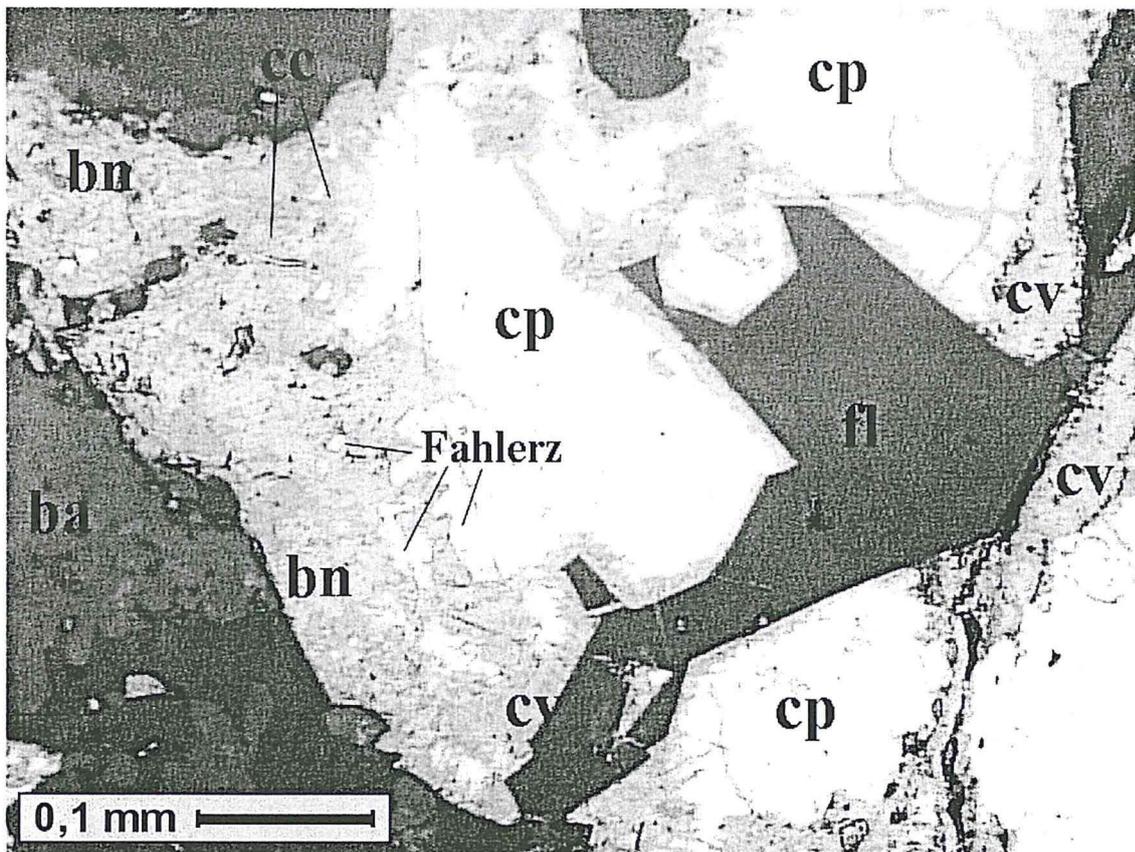


Abb. 32:

An den Rändern und auf Rissen in Covellin (cv), Bornit (bn) und Chalkosin (cc) umgewandelte Chalkopyritkristalle (cp). Die Fahlerzeinschlüsse im Inneren der Kupferkieskristalle sind nicht korrodiert, sondern werden von den aus dem Wirtsmineral umgewandelten Kupfer-(Eisen)-Sulfiden umwachsen. (|| Nic.)

7.2.1.3.2 Oxidativ veränderte Zonen

Die hier als oxidativ veränderte Zonen benannten Abschnitte des Schwerspatganges (Abb. 35), die immer mit Wasserwegbarkeiten zusammenfallen, sind durch ihre intensive Grün- und Blaufärbung leicht zu erkennen. Diese Farben rühren von den Kupfersekundärmineralen wie Malachit (dunkelgrün), Azurit (tiefblau) oder auch Olivenit (olivgrün) her.

Sie entstehen aus den „einfachen“ Kupfersulfiden Covellin, Bornit oder Chalkosin, die ihrerseits aus den primären Sulfiden Chalkopyrit und Fahlerz gebildet wurden. Die Sekundärminerale sind die Endprodukte der oxidativen Prozesse, die aus Komplexsulfiden erst einfacher strukturierte Sulfide entstehen lassen, um aus diesen dann wiederum Oxide oder Karbonate zu bilden. Im Fall von silberreichen Erzen wird aus dem Silberglanz kein Oxid, sondern das reine Metall – gediegenes Silber – entstehen (Abb. 33 und Abb. 34). Die Oxidationszonen sind in der Lagerstätte nicht mehr häufig, da sie zumeist bereits abgebaut wurden. Die genaue Mineralidentifika-

tion der Sekundärminerale ist durch die große Anzahl verschiedener Minerale und ihrem hohen Anteil an leichten Elementen und chemischen Gruppen sehr schwierig und aufwendig. Die karbonatischen Kupferminerale enthalten kein Silber, sind aber, je nach Grad der Oxidation, mit Anteilen von Fahlerz, Covellin oder Chalkosin durchsetzt, die noch nicht völlig umgewandelt wurden. Die sulfidischen Kupfererze und vor allem die reliktsichen Fahlerze können Silber enthalten.

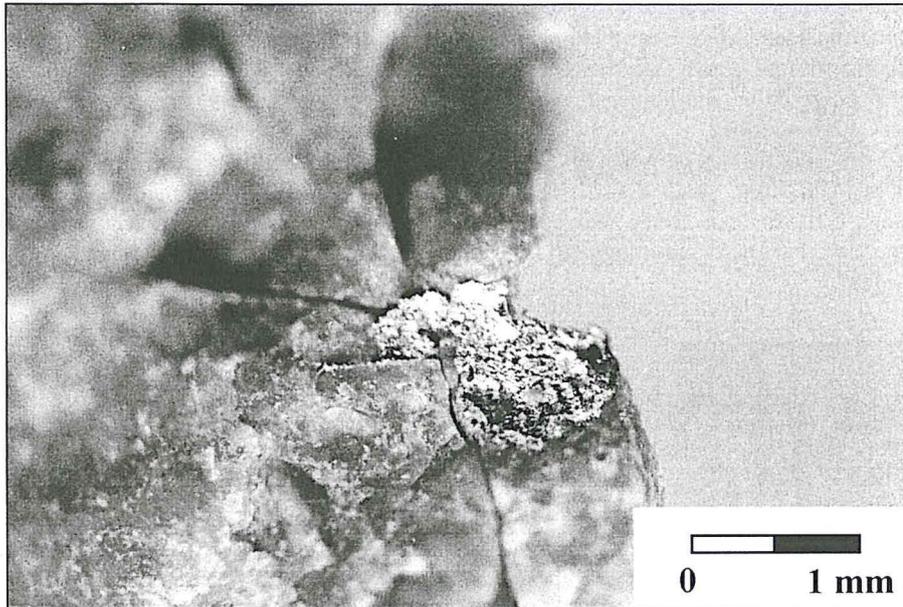


Abb. 33:
Binokularaufnahme eines ca. 1,3 mm großen, in Malachit eingewachsenen Silberaggregates. Das linke Teil des Silberstückes füllt einen kleinen Riss aus.

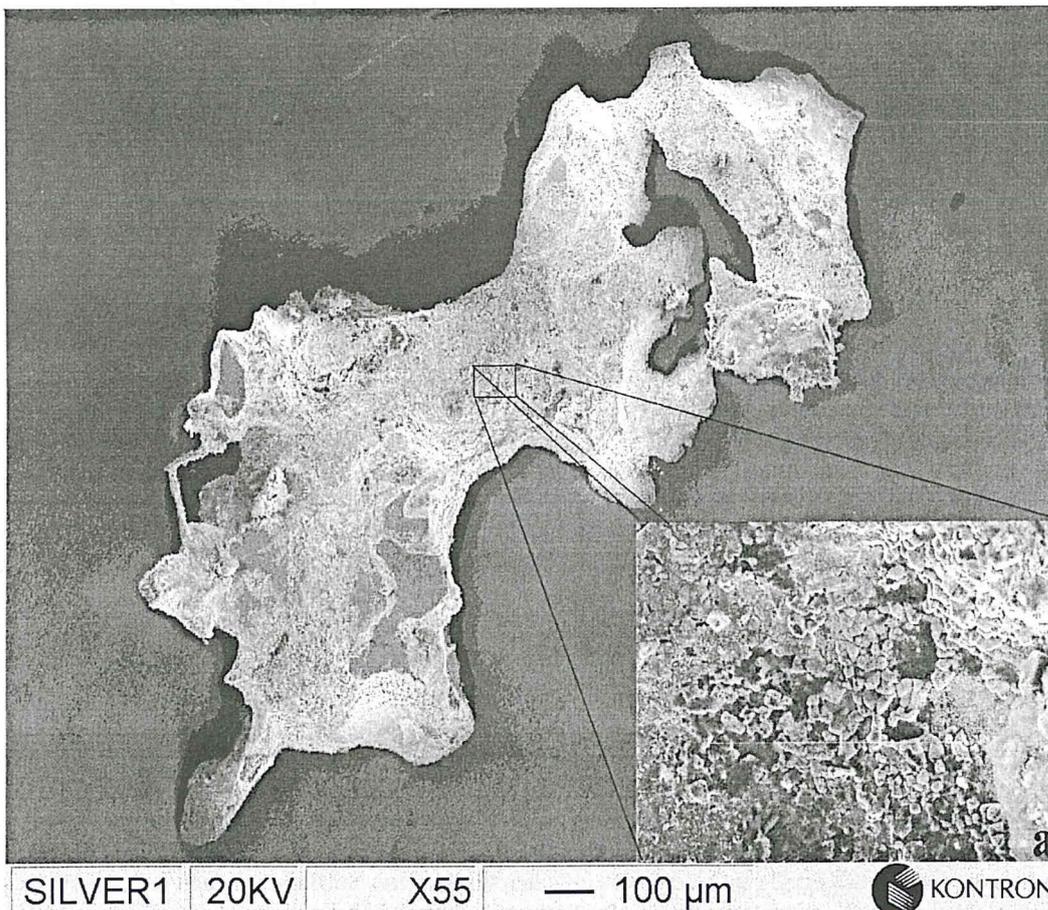


Abb. 34:
SE-Bild einer Silberlocke mit „genoppter“ Oberfläche. a - Detailabbildung.

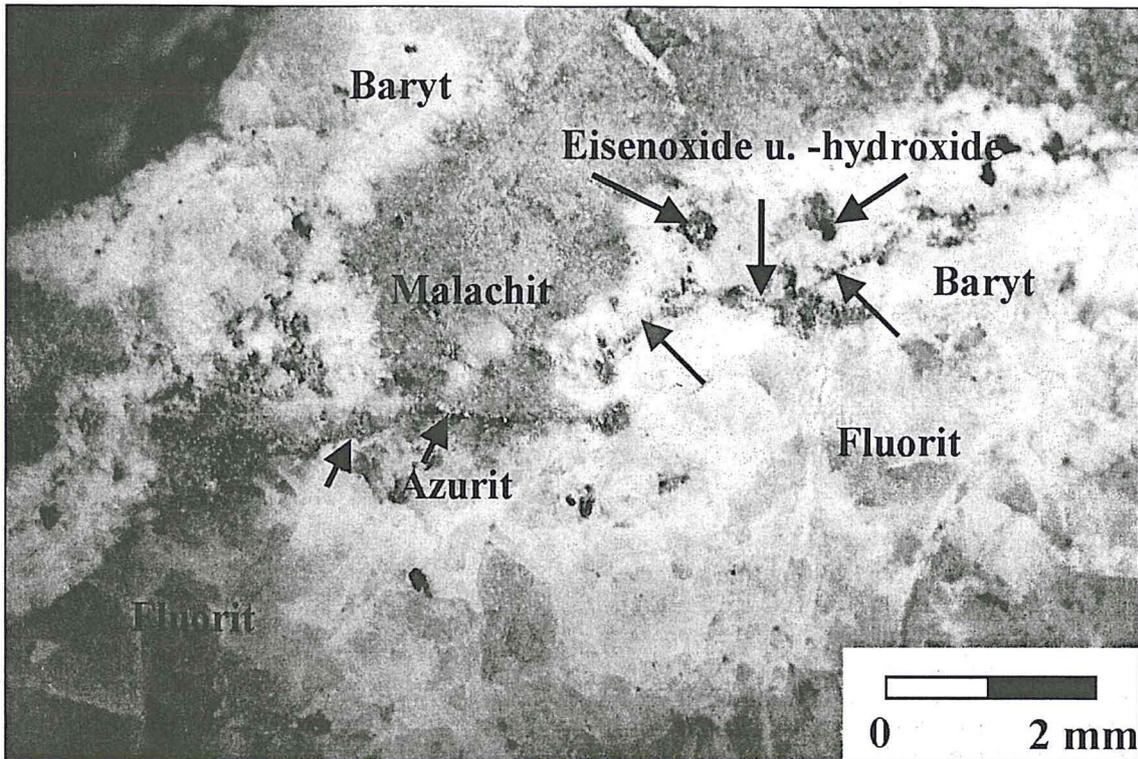


Abb. 35:

Binokularfoto eines gesägten Handstückes. Die Sulfide sind vollständig in Malachit, Azurit und Eisenoxide bzw. -hydroxide umgewandelt. In den Fluoriten ist der Malachit im Handstück entlang von Korngrenzen durch die grüne Farbe gut zu erkennen. An den Stellen, wo nur noch braune Eisenoxide zu sehen sind, ist das Kupfer z.B. durch Porosität oder entlang von Rissen abtransportiert worden (graue Pfeile).

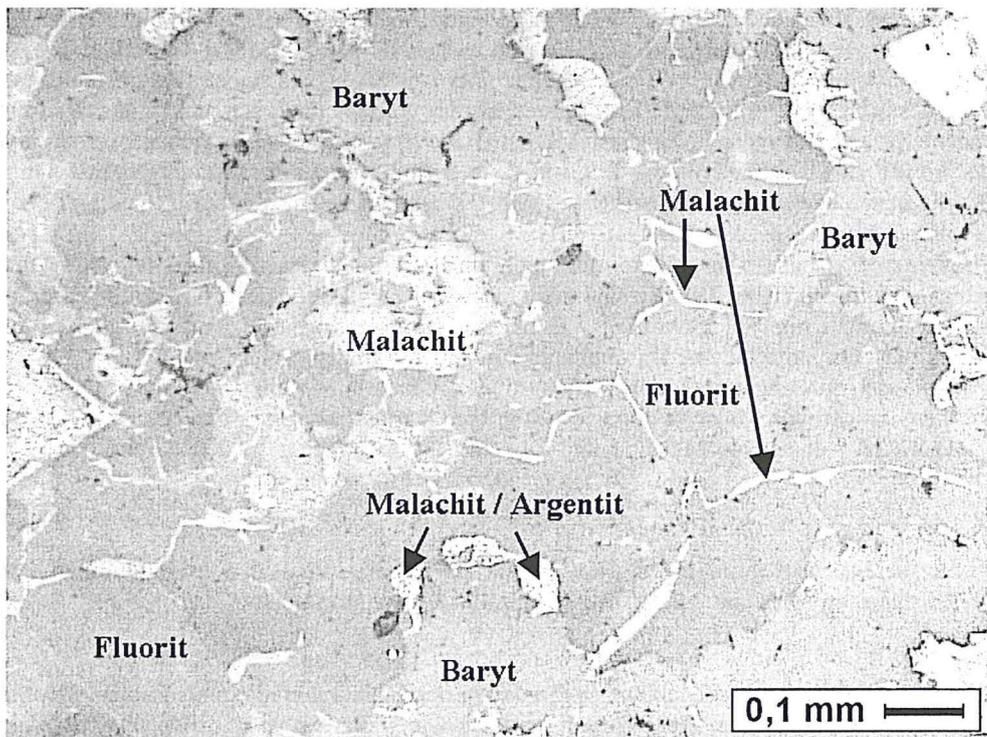
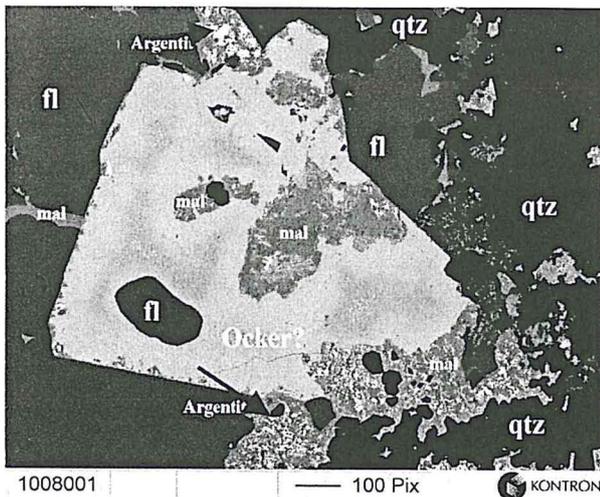
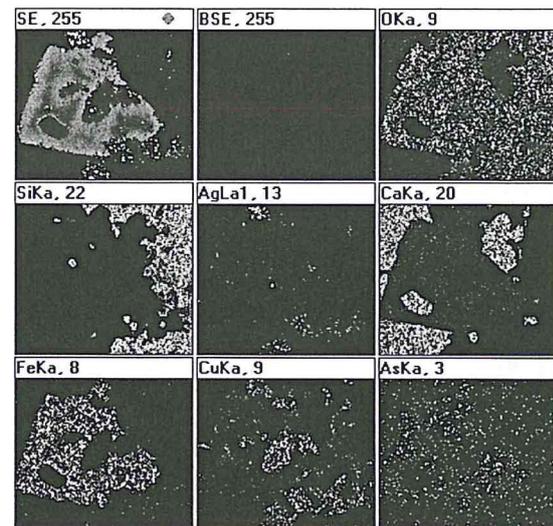


Abb. 36:

Auflichtmikroskopisches Bild mit Malachit durchsetzten Fluss- und Schwerspat. Typisch ist die Ausbildung des Malachites entlang von Korngrenzen zwischen Baryt und Fluorit oder im Fluorit entlang von Rissen. Argentit ist vor allem in größeren Malachitaggregaten im Baryt oder an Baryt-Fluorit-Kontakten eng mit dem Malachit verwachsen. Der Silberglanz ist z.T. sehr viel silberreicher als es seine kristallchemische Stöchiometrie zulässt, tendiert also zu gediegenem Silber. (|| Nic.)

**Abb. 38:**

BSE-Bild eines in Fe-Sb-Ocker und Malachit umgewandelten Chalkopyrites, der in einigen Malachitzonen fein verteilten Argentit enthält. Sehr gut zu erkennen ist die recht komplexe und fein strukturierte Verwachsung der einzelnen Oxidationsprodukte (in diesem Fall vor allem Malachit und Argentit). Im linken Bildteil ist ein Malachit entlang eines Risses im Fluorit zu sehen. Diese Ausbildung ist ebenfalls typisch (siehe auch Abb. 36) und verleiht dem Fluorit eine oft starke Färbung.

**Abb. 37:**

Elementverteilungen aus Abb. 38. Antimon ist aufgrund der Linienüberschneidungen mit Calcium (an Ca-Ka-Linie erkennbar) nicht dargestellt. Man erkennt den im Malachit eingeschlossenen silberreichen Argentit. Der Fe-Sb-Ocker konnte nicht zweifelfrei bestimmt werden, zeigt aber einen relativ antimonarmen Zentralbereich. Das als SE-Bild benannte Fenster stellt ein BSE-Bild dar.

In einigen Handstücken konnten bis einige mm große Silberschuppen und -locken gefunden werden (Abb. 33 und Abb. 34). Diese aus gediegenem Silber mit einem geringen Anteil an Kupfer und Schwefel (jeweils unter 1%*) bestehenden Aggregate sind entlang von Korngrenzen zwischen Fluorit- und Barytkristallen bzw. direkt im Malachit zu finden. Das elementare Silber ist das Resultat einer Ausfällung aus einer silberionenreichen Lösung. Zur Anreicherung des Silbers in der fluiden Phase kam es, als das vormals im Fahlerz und anderen silberhaltigen Sulfiden gebundene Silber nicht mehr in die entstehenden Oxide bzw. Karbonate eingebaut werden konnte. Da diese Lösungen immer silberreicher wurden, erreichten sie irgendwann ihre vollständige Sättigung und das Silber fiel an Korngrenzen oder entlang kleiner Risse (Abb. 33) aus. Gediegenes Silber ist eine typische Bildung der Oxidations- bzw. Zementationszone (RÖSLER 1991).

In vielen Proben sind vor allem in größeren und nicht an Risse gebundenen Malachiten sehr fein verteilte Silberglanzaggregate zu finden (Abb. 38). Sie sind noch nicht vollständig in reines Silber umgewandelt worden. Dieser „Silberglanz“ enthält nur 8%* Schwefel, was nur der Hälfte eines normalen Silberglanzes entspricht. Dieser Silberreichtum ist ein Indiz für eine Umwandlung von Argentit in gediegen Silber.

Der meist klare und durchsichtige Fluorit erhält in den Oxidationszonen eine grüne Farbe, die durch Überzüge und Einlagerungen von Malachit und anderen grünen Kupferkarbonaten hervorgerufen wird (Abb. 35 und Abb. 36). Azurit ist seltener als Malachit und Olivenit und fast immer in den barytischen Abschnitten anzutreffen.

7.2.2 Aufbereitungsproben

Viele der untersuchten Aufbereitungsproben waren in ihrem mineralogisch-petrographischen Inhalt sehr ähnlich und werden daher im Abschnitt 7.2.2.2 Zwischenprodukte zusammengefasst.

7.2.2.1 Berge

Die Setzberge der Schwere-Trübe-Scheidung (STS) wurde nur anhand von makroskopischen Identifikationskriterien bemustert. Sie enthält in den Nebengesteinsanteilen keinerlei sichtbare Sulfide, was sich in Zukunft ändern könnte, da im Juli 2001 auf der TS 14.2 Fahlerzmineralisationen auch direkt im Nebengestein gefunden wurden. Solche Mineralisationen waren von den höheren Sohlen bisher nicht bekannt. Sulfidische Erze treten in der STS-Berge nur als Beimengungen in Schwerspatskörnern und untergeordnet im Flussspat auf. In der untersuchten Setzberge konnten, abgesehen von Quarz-Limonit-Verwachsungen, keine Oxidationsminerale gefunden werden, was auch einen Hinweis auf die nur sehr untergeordnete Rolle in der Gesamtbilanz gibt.

In den Kläranlagensanden und Filterkuchenrückständen sind die chemischen Zusammensetzungen sehr ähnlich (Abb. 39 und Abb. 40). Die An- und Abreicherungen der Haupt- und Nebenbestandteile hängt ursächlich mit der Wertstoffausbringung in der Flotation zusammen. Die Gewinnung ist im Wesentlichen von der Aus-

gangszusammensetzung der Roherzaufgabe, den zu flotierenden Korngrößen und dem Verwachsungsgrad des Fluorites, Barytes, Quarzes und der Sulfide abhängig (STEINKAMM 1999, JAKOB 1998).

Bei den in der Abb. 39 dargestellten Hauptkomponenten zeigen sich sowohl im Vergleich der Filterkuchenmaterialien als auch der Kläranlagensande vom 25. und 26. Oktober weitgehend die gleichen Trends ab. Im Kläranlagensand sind die Fluoritgehalte des „Normalspatbetriebes“ vom 25.10. etwas niedriger als im Silberspatbetrieb des 26. Oktobers. Der Fluorit im Filterkuchen zeigt den gleichen Trend. Das SiO_2 ist in den Normalspatproben immer etwas höher als in denen des Silberspatbetriebes. Der Anteil an SiO_2 ist in der Feinfraktion aufgrund der dort konzentrierten Tonminerale höher als im Grobkornanteil des jeweils gleichen Tages. Die Barytkonzentration im Filterkuchen des Silberspates liegt deutlich unter der vom Vortag, wogegen im Sand des 26.10. mehr Baryt als in der Probe vom 25. enthalten ist.

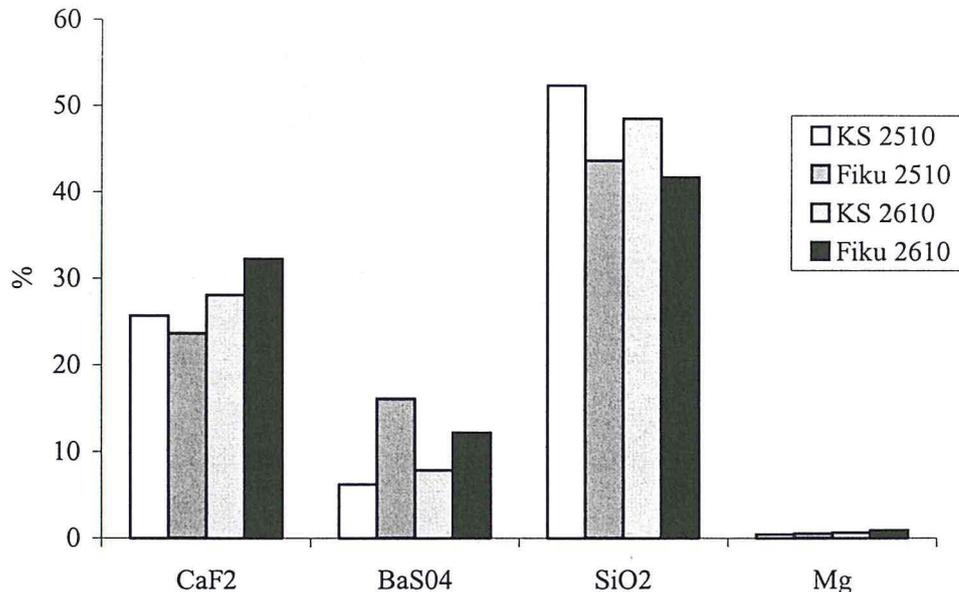


Abb. 39:

Hauptkomponentenkonzentrationen im Filterkuchen (Fiku 2510 und 2610) und in Kläranlagensanden (KS 2510 und 2610) vom 25.10. und 26.10.2000 (Erläuterungen im Text).

Die Analysen von As, Pb, Cu und Ag sind in Abb. 40 dargestellt. Die As-Konzentrationen sind in allen 4 Proben in etwa gleich. Blei ist in den Flotationsabgängen des sulfidischen Roherzes ca. 50% höher angereichert als in der Berge des sulfidärmeren Erzes. Die Kupferkonzentration in den Proben liegt zwischen 900 und 1100 ppm und ist 5 mal größer als die von Arsen und Blei und mehr als 10 mal größer als die Silberkonzentration. Bei einer Verarbeitung von sulfidarmen Roherz ohne Sulfidflotation liegen die Kupfergehalte im Kläranlagensand über denen im Filterkuchen, im Silberspatbetrieb mit Sulfidflotation ist es genau umgekehrt. Die Silbergehalte korrelieren mit denen des Kupfers und zeigen exakt die gleichen Verteilungen sowohl zwischen Silberspat-/Normalspatbetrieb als auch im Filterkuchen/Kläranlagensand.

Die Bindungsform von Kupfer, Blei, Arsen und Silber kann hier nur abgeschätzt werden. Der überwiegende Teil der Flotationsberge besteht aus Quarz und Baryt-Fluorit-Kristallen bzw. Verwachsungen dieser drei Minerale. Oxidationsminerale sind, abgesehen von Eisenoxiden (Abb. 42), selten in den verschiedenen Bergen zu finden. Die meisten Sulfidzerkörner sind mit der Gangart verwachsen und liegen nur selten isoliert vor (Abb. 41 und Abb. 42).

Vereinzelt treten im Kläranlagensand und Filterkuchen Kupferkarbonate auf. Unter dem REM waren in einem etwa 20 mm durchmessenden Anschliff nur ein Covellinkorn und wenige größere und unverwachsene Fahlerzkörner zu finden. Verwachsen und vollständig in Baryt eingeschlossen sind sie häufiger. Verwachsungen mit Quarz oder Fluorit sind seltener und in ihnen sind die Sulfide meist nur wenige μm groß (Abb. 42).

Die Verwachsungen der Sulfide im Filterkuchenmaterial sind gleich denen im Kläranlagensand. Die Korngrößen der isolierten und damit „reinen“ Sulfidzerkörner sind im Filterkuchen sehr viel geringer. Der Anteil an Tonmineralen und Glimmern ist aufgrund der Korngröße im Filterkuchen sehr viel höher als in der Sandberge. Trotz dieser Verdünnung der sulfidischen und auch der oxidischen Minerale ist der Anteil an Schwermetallen wie Kupfer, Silber, Blei und auch Arsen im Filterkuchen höher als im Kläranlagensand (siehe Abb. 40). Der Grund dafür liegt vor allem in der schlechten Ausbringung der Sulfide (JAKOB 1999, STEINKAMM 1998) bei der Flotation von Feinstkornmaterial.

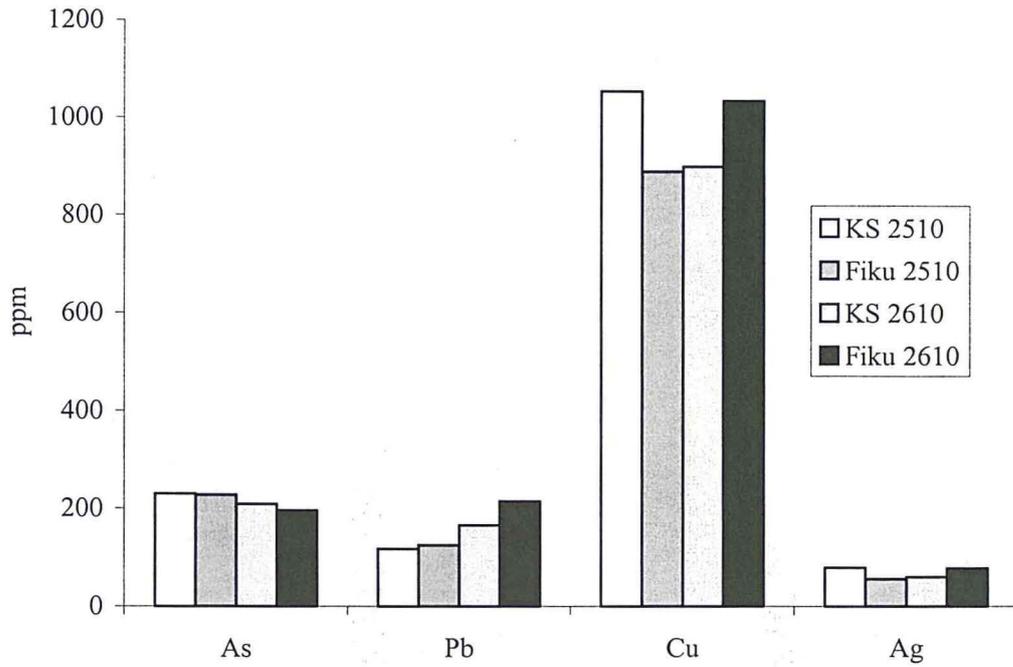


Abb. 40: Spurenelementgehalte im Filterkuchen und in Kläranlagensanden (Erläuterung im Text).

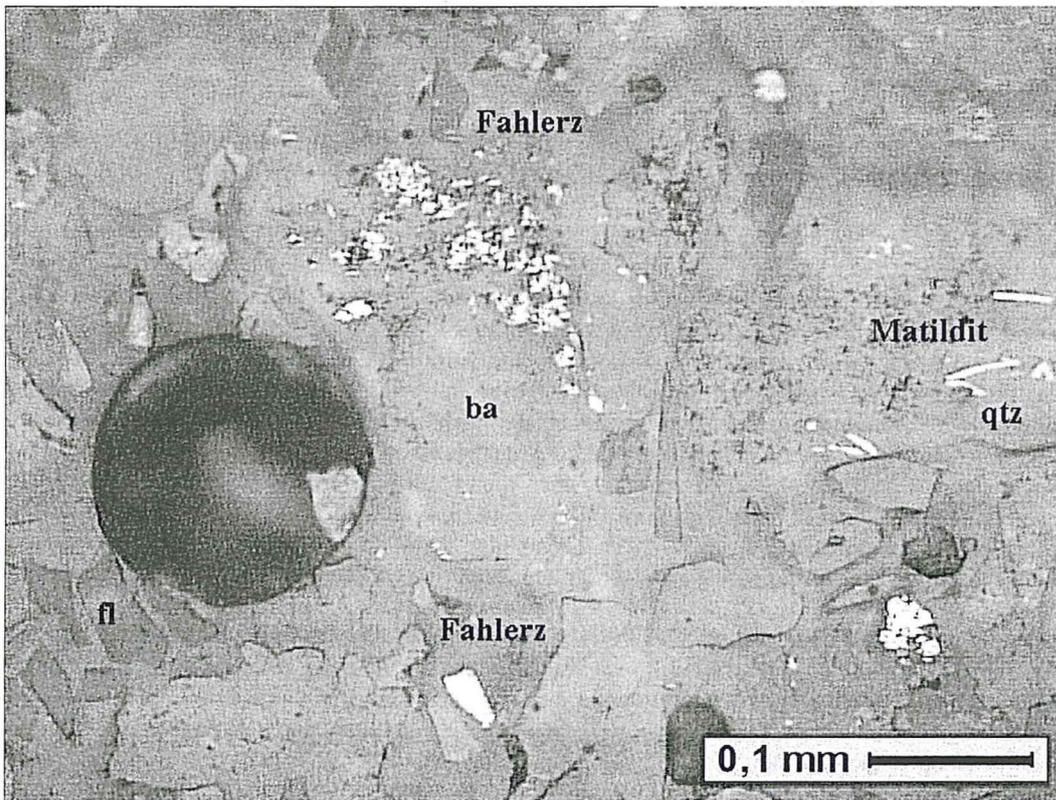


Abb. 41: Sulfidverwachsungen im Kläranlagensand. Matildit ist meist in kleinen Schüppchen in Quarz (qtz) oder Fluorit (fl) eingeschlossen. Fahlerze können sowohl frei in kleineren Bruchstücken als auch verwachsen mit Baryt (ba) und selten auch in Fluorit oder Quarz auftreten. (|| Nic.)

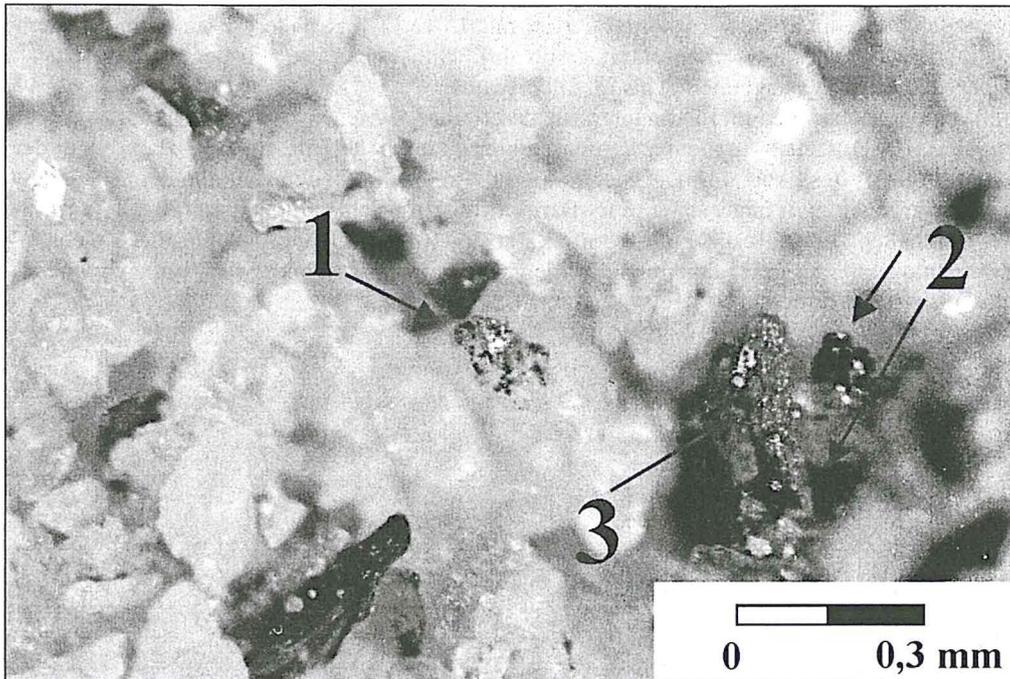


Abb. 42:
Ein mit Fluorit verwachsenes (1) und zwei isoliert vorliegende Sulfide im Kläranlagensand neben einem unverwachsenen Eisen(hydro)oxidkorn (Binokularfoto).

7.2.2.2 Zwischenprodukte

Silber und alle anderen an Sulfide gebundenen Schwermetalle sind in den Zwischenprodukten aus der STS und den Sorterseparaten in gleichen Verhältnissen wie im Roherz zu finden.

Wie im vorangegangenen Kapitel gezeigt, ist der Silbergehalt der Flotationsabgänge direkt proportional zum Kupfergehalt. Bei einem Vergleich des Cu-Ag-Verhältnisses der verschiedenen Aufbereitungsproben (Abb. 43) zeigte sich, dass die Korrelation nicht linear ist, d.h. das Verhältnis von Kupfer zu Silber ist in den Bergproben nicht konstant. In den Abgängen mit weniger Silber ist das Verhältnis geringer, es ist also mehr Silber im Vergleich zum Kupfer enthalten. Der Kläranlagensand der Silberspatverarbeitung ist ähnlich zusammengesetzt wie der Filterkuchen bei der Verarbeitung von sulfidarmen Roherz. Bei den jeweils anderen Flotationsbergfraktionen dieser Tage gilt dies ebenso.

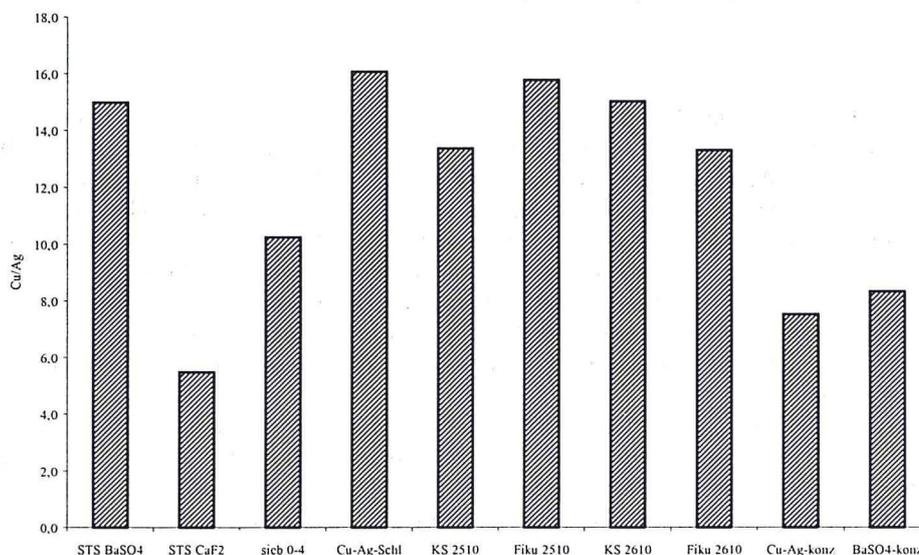


Abb. 43:
Cu-Ag-Verhältnis in den Silberspatbergstoffen, einigen Prozesszwischenprodukten und den Konzentraten.

Das Cu-Ag-Verhältnis im BaSO₄-Vorkonzentrat ist mit 15 ca. 3 mal höher als in dem, aus dem gleichen Roherz abgetrennten, STS-CaF₂-Vorkonzentrat (Abb. 43). Silber ist also in dem fluoritischen Teil des Silberspates in größerem Maße angereichert als im Silberspatbaryt.

Aufgrund von Verwachsungen und geringerer Dichtedifferenz zwischen Quarz und Fluorit im Vergleich zu Quarz-Baryt ist der SiO₂-Gehalt in dem Flussspatvorkonzentrat höher als im STS-Baryt und der 0-4 mm Siebfraction des STS-Barytes (Abb. 44). Die Siebfraction 0-4 mm zeigt in den Hauptkomponenten keine großen Unterschiede im Vergleich zum ungesiebten STS-Baryt. Im Cu-Ag-Schlamm sind ca. 20% Fluorit, 30% Baryt und 40% SiO₂ enthalten. Er stellt die Feinstkornfraction der Roherzaufgabe dar. Da diese nicht in der STS verarbeitet werden kann, muss sie abgetrennt werden. Der Cu-Ag-Schlamm wird nach einem zwischengeschalteten Eindicker direkt flотиert.

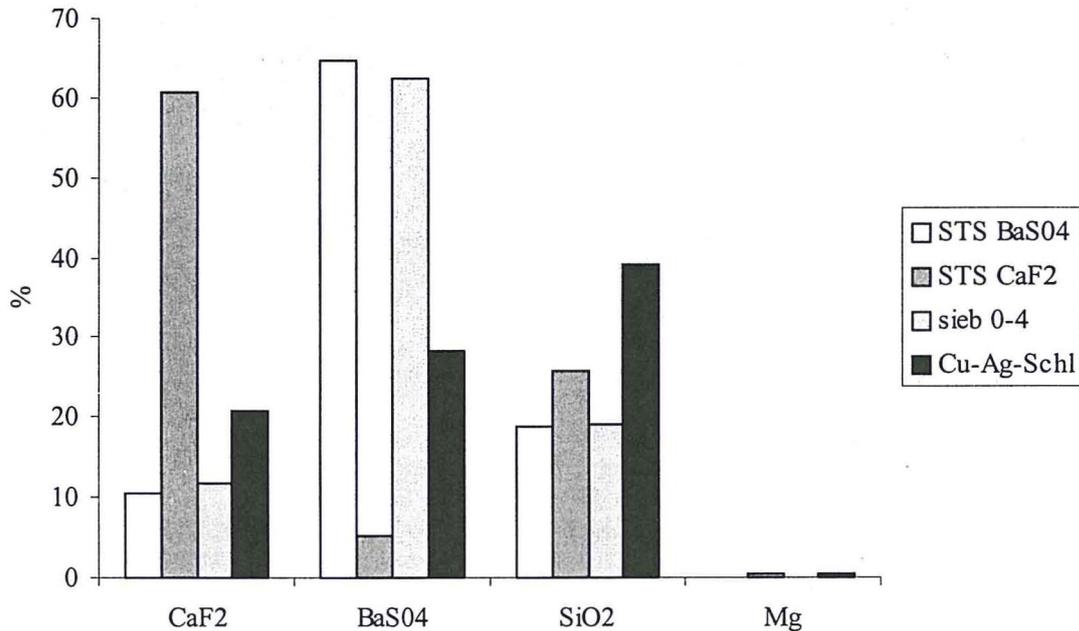


Abb. 44:

Hauptkomponenten im STS-BaSO₄, der Siebfraction 0-4 mm des STS-BaSO₄, im STS-Fluorit und dem Cu-Ag-Schlamm. Der Cu-Ag-Schlamm ist die Feinfraction, die vor der STS abgetrennt wird.

Arsen ist in den beiden Barytproben und im Cu-Ag-Schlamm in der gleichen Konzentration (340-360 ppm) enthalten und nur im STS-Fluorit etwas erhöht (400 ppm). Der Grund dafür liegt im gehäuftem Auftreten von Arsenopyrit in einigen Flussbändern des Bänderspates (Kap. 7.2.1.2.1). Die sich in den Hauptelementen kaum unterscheidenden beiden barytischen STS-Proben zeigen in ihrem Schwermetallinhalt (Abb. 45) deutliche Abweichungen voneinander. Kupfer, Blei und Silber sind in der feineren Siebfraction im Verhältnis zum Vorkonzentrat angereichert. Der Grund für die höheren Gehalte an Schwermetallen in dieser Kornfraction konnte nicht ermittelt werden. Beide Proben stimmen in ihren Hauptbestandteilen (Abb. 44) fast überein und daher sind unterschiedliche Trennungsraten von Baryt, Fluorit oder Quarz und damit verbundene Anreicherungen der verwachsenen Sulfide auszuschließen. Vor allem der Bleigehalt ist gegenüber der STS-Baryt-Gesamtprobe stark erhöht.

Das Verhältnis von Kupfer zu Silber (Abb. 43) ist im Baryt der STS und im Cu-Ag-Schlamm mit 15,0 bzw. 16,1 im Vergleich zu 5,5 im Fluoritsetzspat (STS CaF₂) sehr hoch. Der Baryt und der Schlamm liegen mit ihrem Cu-Ag-Verhältnis im Bereich der Filterkuchen- und Sandberge (Abb. 43). Im Cu-Ag-Schlamm sind unter dem Binokular nur wenige Sulfide zu erkennen (Abb. 46), diese sind meist sehr klein und unverwachsen.

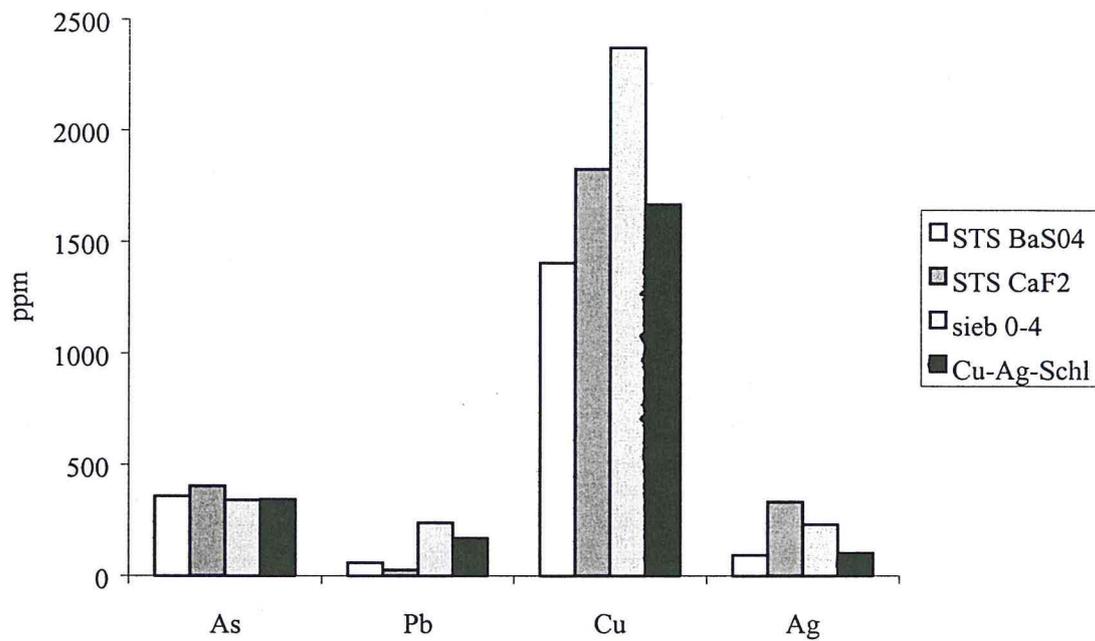


Abb. 45:
Spurenelementgehalte im STS-BaSO₄ und -CaF₂, der kleinsten Siebfraction des STS-Barytes und dem Cu-Ag-Schlamm.

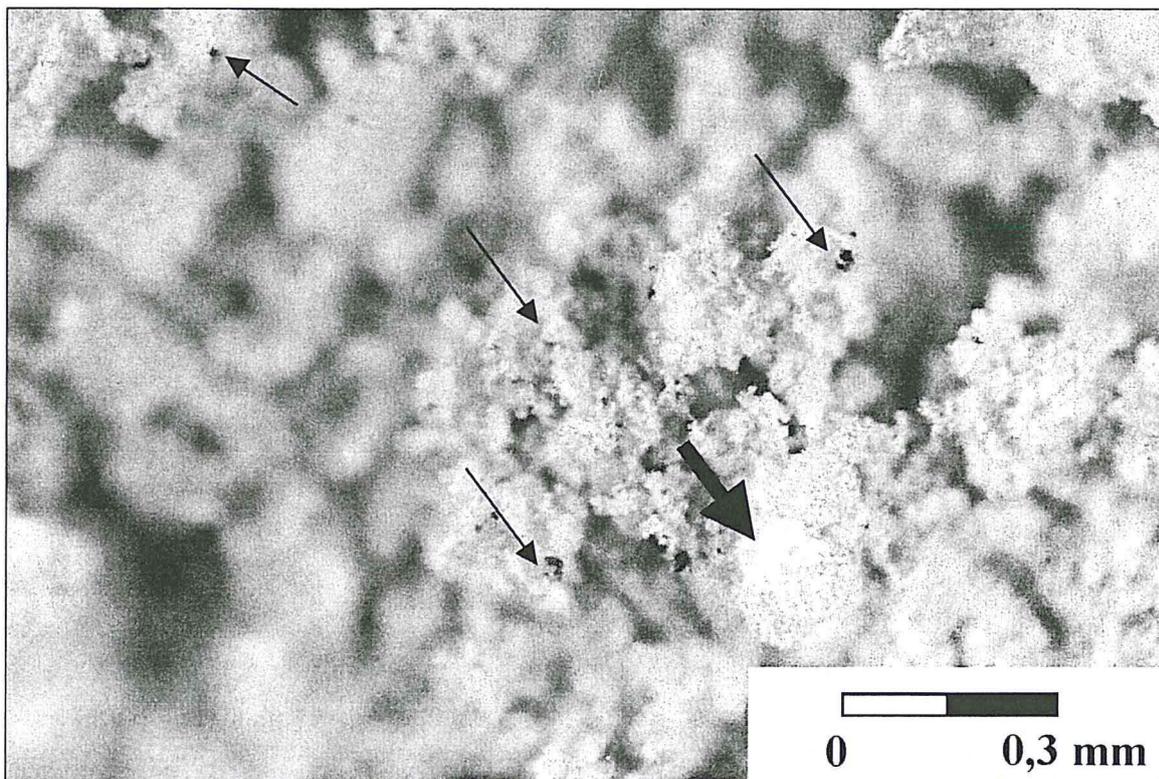


Abb. 46:
Binokularfoto des Cu-Ag-Schlammes mit einem ca. 0,1 mm großen Sulfiderzkorn (dicker Pfeil), das wegen seiner hohen Lichtreflektion im Bild hell erscheint. Im Feinstkorn des Cu-Ag-Schlammes sind viele, wenige µm große unverwachsene Sulfide enthalten (kleine Pfeile).

7.2.2.3 Konzentrate

Es wurden neben dem Cu-Ag-Konzentrat des 26.10.2000 auch das Chemiespatkonzentrat des gleichen Tages gesamtchemisch (Tab. 7) und mikroskopisch (Abb. 4) untersucht.

Tab. 7: Quantitative RFA-Analysen des Cu-Ag- und des BaSO₄-Konzentrates (Chemiespat). Die Analyse des Cu-Ag-Konzentrates weist nur eine Summe von etwas über 50% auf, weil z.B. Schwefel und Eisen nicht mitbestimmt wurden.

	Cu-Ag-Konz.	BaSO ₄ -Konz.
CaF ₂ (%)	3,0	0,6
BaSO ₄ (%)	1,9	98,6
Cu (ppm)	326000	204
Ag (ppm)	43400	24
Pb (ppm)	10370	48
As (ppm)	61000	116
Sb (ppm)	23160	k.a.
Hg (ppm)	100	k.a.
Bi (ppm)	1932	k.a.
SrSO ₄ (%)	k.a.	2,8
Fe ₂ O ₃ (%)	k.a.	0,03
Summe (%)	51,48	102,07

Das Cu-Ag-Verhältnis im Sulfidkonzentrat liegt mit 7,5 deutlich unter dem des STS-Barytes mit 15,0 und über dem Verhältnis im STS-Fluorit mit 5,5 (siehe Abb. 43). Das Verhältnis von As zu Sb im Sulfidkonzentrat ist 2,6. Bismut ist mit fast 2000 ppm nachgewiesen und bei Blei wird ein Anteil von ca. 1% erreicht.

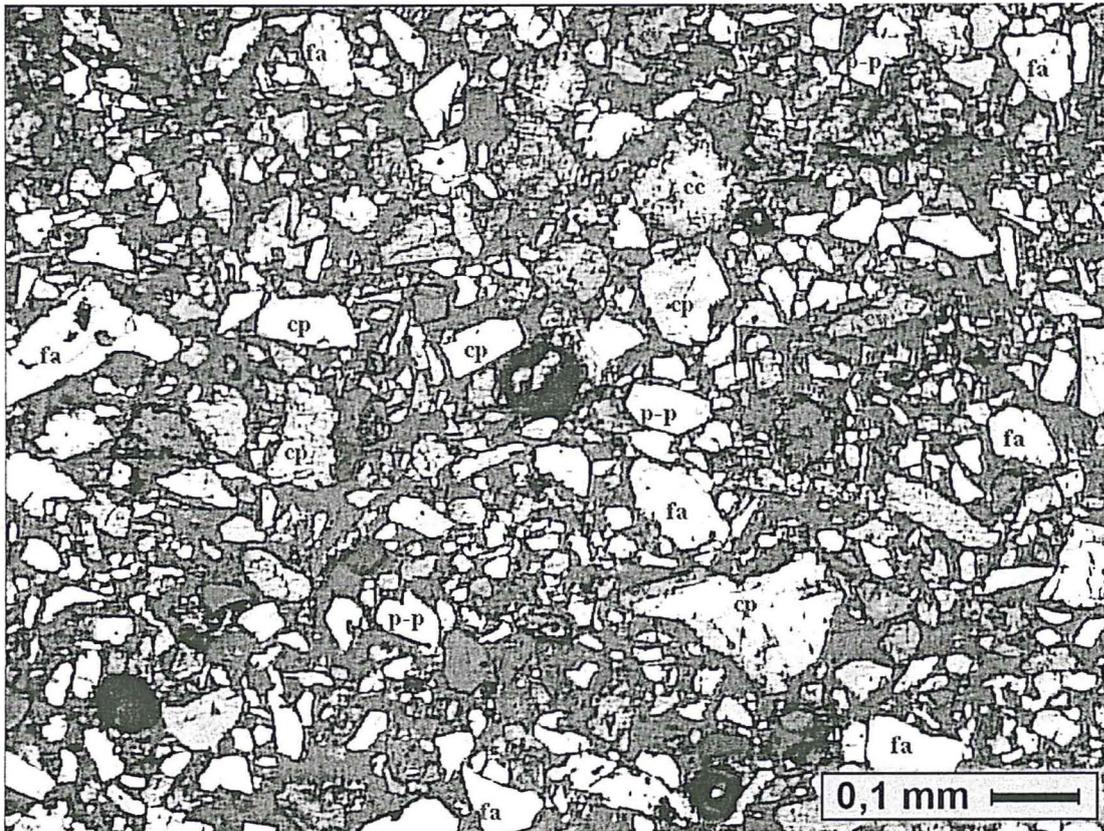


Abb. 47:

Auflichtmikroskopisches Bild des Cu-Ag-Konzentrates. Die wichtigsten enthaltenen Mineralphasen sind: Fahlerz (fa), Chalkopyrit (cp), Covellin (cv), Polybasit-Pearcit (p-p) und Chalkosin (cc). Selten sind die unter 100 µm großen Erzminerale mit Baryt, Fluorit oder Quarz verwachsen. (|| Nic.)

Der mineralogische Inhalt des Sulfidkonzentrates entspricht dem Angebot im Roherz, d.h. es setzt sich im Wesentlichen aus Fahlerz, Chalkopyrit, Polybasit-Pearcit und Covellin zusammen (Abb. 47). Untergeordnet sind Pyrit, Chalkosin, Bornit und Arsenopyrit vertreten. Argentit kommt fein verteilt in Chalkosin oder Covellin vor. Die Sulfide im Konzentrat sind nur selten mit der Gangart aus Baryt, Fluorit oder Quarz verwachsen. Verwachsungen der Sulfide untereinander findet man dagegen häufiger (Abb. 47). Die innige Verwachsung der Sulfide miteinander ist vor allem in den Umwandlungszonen der Primärsulfide zu Covellin, Chalkosin, Chalkopyrit und Argentit häufig. Die maximale Korngröße im Cu-Ag-Konzentrat ist 100-150 µm, der Durchschnitt liegt mit ca. 20-30 µm allerdings weit darunter.

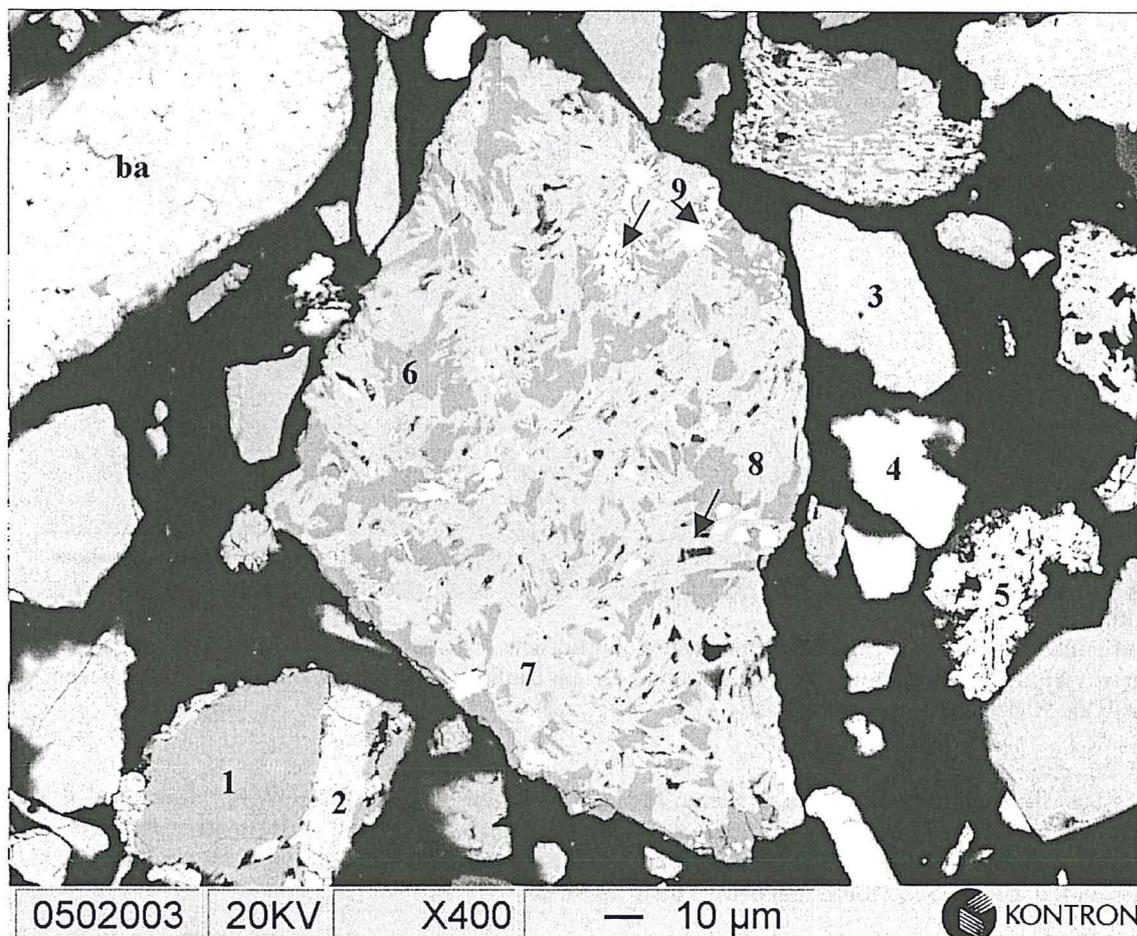


Abb. 48:
BSE-Aufnahme des Cu-Ag-Konzentrates. Die halbquantitativen EDX-Analysen der 9 markierten Mineralphasen und ihre Mineralnamen sind in Tab. 8 angegeben.

Tab. 8:

Semiquantitative Analysenergebnisse der Mineralphasen aus Abb. 48 (alle Angaben in Masse-%). Bei den Messpunkten handelt es sich um folgende Minerale: 1=Pyrit mit Verunreinigungen, 2=Chalkopyrit, 3=tennantitisches Fahlerz, 4=Pearcit, 5=Argentit, 6=Skorodit (?), 7=Covellin, 8=Cu-reicher Argentit oder Jalpait, 9=unbekanntes Mineral, evtl. den Ockern zugehörig.

Element	1	2	3	4	5	6	7	8	9
O						37,4			18,9
S	50,7	34,5	26,9	15,7	10,8		32,0	12,7	1,3
Fe	44,3	30,6	4,4			23,0	0,5	0,6	6,0
Cu	0,7	34,5	43,2	13,2	3,1	2,4	66,5	15,1	5,1
As	4,0	0,5	19,5	5,9	0,5	37,1			1,7
Ag	0,3		1,0	65,9	85,2		0,7	71,1	
Sb			2,9						58
Bi									9,0
Summe	99,7	99,8	97,9	100,7	99,6	99,9	99,7	99,5	100,0

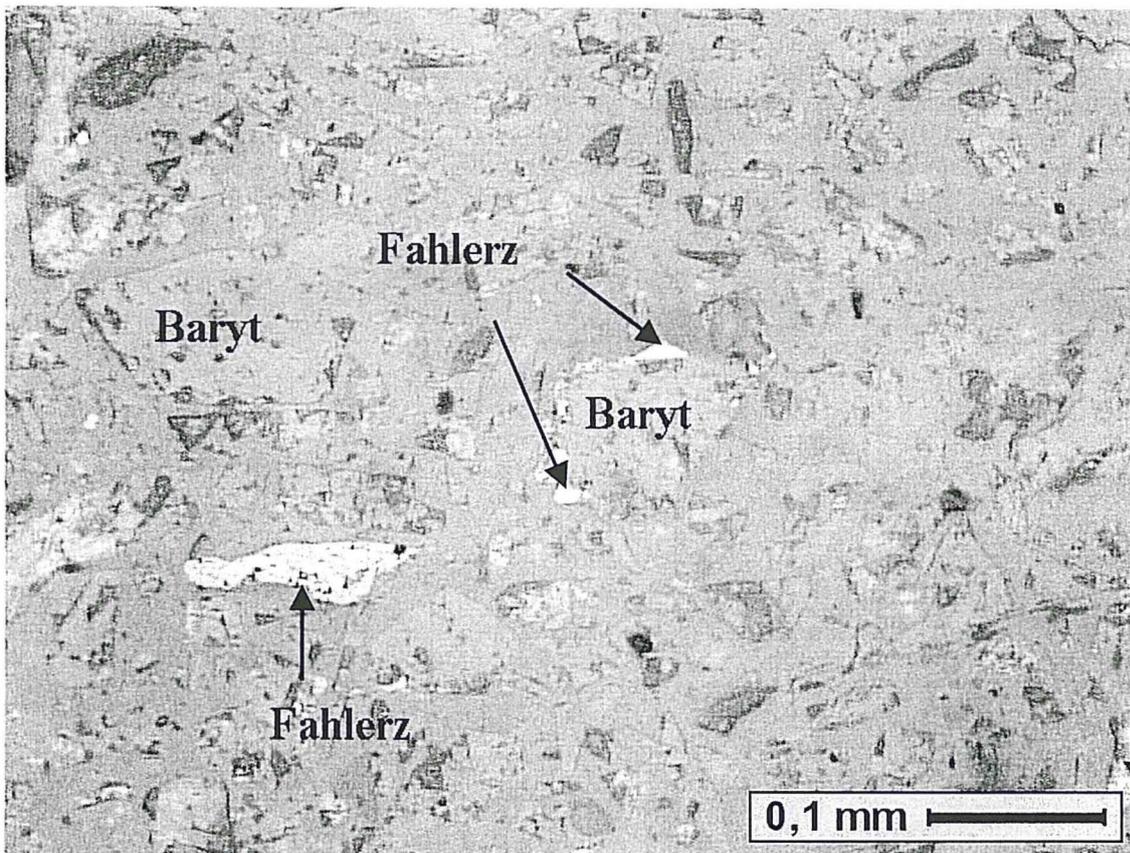


Abb. 49:

Auflichtaufnahme des Chemiespatkonzentrates. Sulfidische Erze kommen nur vereinzelt vor. Sie sind meist viel kleiner als $100\mu\text{m}$. Die Fahlerze sind die am häufigsten vorkommenden Sulfide und liegen zu mehr als 90% unverwachsen vor. (|| Nic.)

Das Barytkonzentrat enthält keine größeren Mengen an sulfidischen Mineralkörnern. Meist handelt es sich bei den unverwachsenen Erzkörnern um Fahlerz, Pearcit oder Chalkopyrit (Abb. 49). Die geochemische Analyse (Tab. 7) zeigt, dass mit 24 ppm Silber und 204 ppm Kupfer nur sehr geringe Konzentrationen enthalten sind. Der Anteil von Baryt im BaSO_4 -Konzentrat beträgt mehr als 98%.

7.3 Mikrosondenanalysen

Die Mikrosondenanalysen wurden an 5 ausgewählten Proben bei der BGR in Hannover durchgeführt. Sie sollten die Zusammensetzungen der Fahlerze verschiedener Verwachsungen und Ausbildungen quantifizieren, weil die semiquantitativen EDX-Messungen nur begrenzte Genauigkeiten erreichen. Die Proben wurden in Hinblick auf die häufigsten Verwachsungen und strukturellen Ausbildungen der Fahlerze ausgewählt.

Zu den gemessenen Proben gehörten:

- Wo7; stark sulfidisch mineralisierte Probe mit geringem Chalkopyritanteil und über die gesamte Probenfläche verteilten Fahlerzen,
- Wo11; Bänderspaterz mit isolierten kleinen Fahlerzen und Fahlerzeinschlüssen in Chalkopyrit (Abb. 17),
- Pr5; intensiv mit Chalkopyrit mineralisierter Anschliff mit Einschlüssen in Chalopyrit und kleinen zwischen den Kupferkiesen gelegenen Fahlerzkörnern, Chalkopyrit randlich von Chalkosin, Bornit und Covellin verdrängt,
- Wo8; isoliertes und vom Rand her covellinisierendes Fahlerzbruchstück in Baryt,
- Wo4; Massiverzpartie mit nur wenigen Verunreinigungen von Chalkopyrit und Gangart, häufig fahlerzinterne Risse,
- Pr3; ähnlich Pr5, doch mit weniger Chalkopyrit und mehr Fahlerzen, die nicht mit Chalkopyrit, sondern mit Fluorit verwachsen sind.

Weil es in dieser Arbeit in erster Linie um die Silbergehalte im Schwespatgang und die Beziehungen des Silbers zu anderen Elementen geht, sind die meisten der folgenden Diagramme gegen Ag abgetragen.

7.3.1 Arsen-Antimon-Verhältnis

Die intensiv und großflächig mit Fahlerz mineralisierte Probe Wo4 zeigt im BSE-Bild in der Fahlerzgrundmasse eine Hell-dunkel-Zonierung (Abb. 50). Die unterschiedlichen Helligkeiten entstehen durch den Austausch leichterer Elemente gegen schwerere. Das kann bei Fahlerzen im Wesentlichen auf zwei Arten geschehen. Die erste Möglichkeit ist der Austausch von Kupfer gegen Zink, Eisen oder Silber. Diese vier Elemente nehmen die gleichen Gitterstellen im Kristallgitter ein. Der Austausch eines der Elemente gegen Silber hat zum Beispiel eine deutliche Aufhellung im elektronenmikroskopischen Bild zur Folge. Eine alternative Möglichkeit das Fahlerz „schwerer“ zu machen, ist, das Arsen durch Antimon zu ersetzen. Wie die Abb. 50 zeigt, ist der Helligkeitsunterschied relativ hoch, und die Zonierung ist entlang scharfer Kanten gut zu erkennen.

Die durchschnittlichen Silbergehalte in den Fahlerzen der Probe Wo4 liegen bei 0,2 bis 0,4% bei einem As/Sb-Verhältnis von 3-5 (Abb. 51). In der ebenfalls stark mit Fahlerz mineralisierten Probe Wo7 sind As/Sb-Verhältnisse von 1-2 vorherrschend (Abb. 52). Die Silbergehalte sind breit gefächert, liegen aber immer über 1% und maximal bei 5% (Abb. 52). Beide Proben haben nur geringe Anteile an Kupferkies.

Das Fahlerz in den Proben Wo4, Wo7 und Wo8 zeigt keine Korrelation zwischen Arsen-Antimon und dem Silbergehalt. Die Probe Wo4 ist zu fast 80% mit Fahlerz mineralisiert und deutlich silberärmer als das Fahlerz in der mit Fluorit verwachsenen Probe Wo7. Eine Zonierung der massiven Fahlerze geschieht in der Regel durch den Austausch von Arsen gegen Antimon, weniger durch den Einbau von Silber.

Die Messungen an den hauptsächlich mit Chalkopyrit verwachsenen Fahlerzen der Proben Pr3 und Pr5 ergaben ebenfalls keine Korrelation zwischen Silber und Arsen bzw. Antimon (Abb. 53). Bei diesen Analysen enthielten die im Fluorit eingeschlossenen Fahlerze hohe Silbergehalte von 1 bis 4,5%. Die mit Chalkopyrit assoziierten sind generell silberärmer als die in der Gangart eingewachsenen. Das Arsen/Antimon-Verhältnis beider Proben liegt im wesentlichen zwischen 1 und 3. Für Wo8 gilt das gleiche wie für Wo4 und Wo7 (Abb. 54). Hier wurden die höchsten As/Sb-Verhältnisse mit über 15 gemessen.

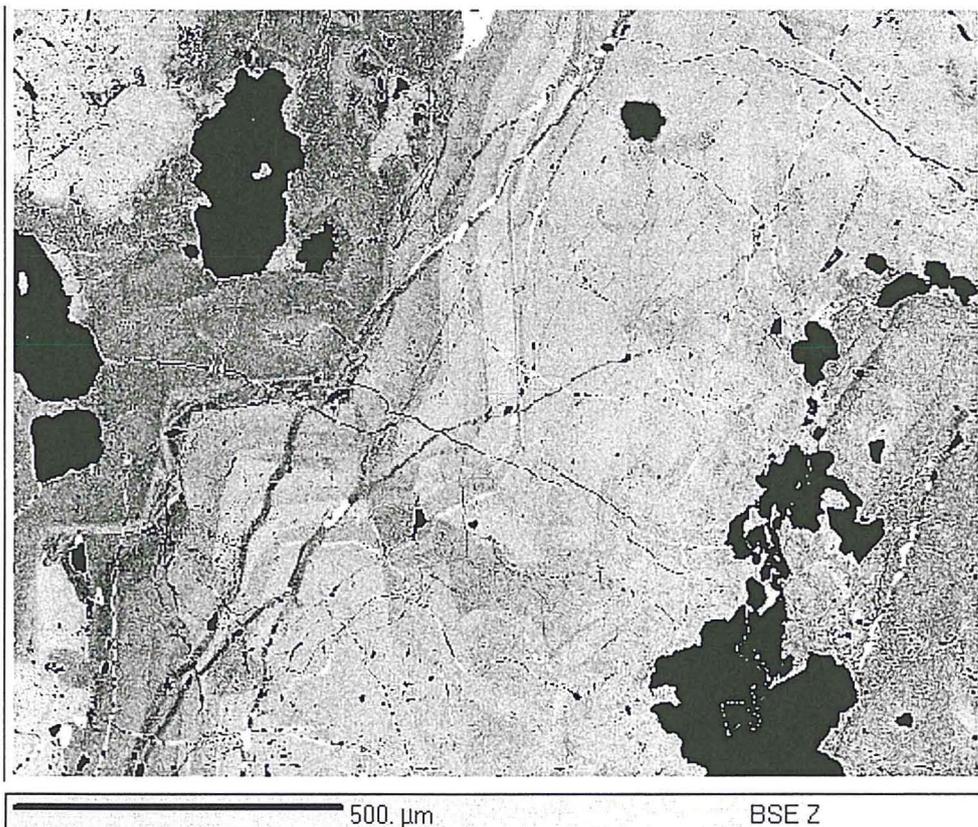


Abb. 50:

Massivsulfidierzprobe Wo4 mit gut erkennbarer Zonierung im Fahlerz, die querschlägig von zwei Rissmineralisationen durchzogen wird. Die älteren Risse sind sehr dünn, stark ausgebrochen und gefüllt mit Pearcit-Polybasit, die viel mehr Silber enthalten als das Fahlerz und deshalb im BSE-Bild heller erscheinen. Die Risse durchziehen das Stück von links unten nach rechts oben und sind mit einer hellen Phase (Pearcit-Polybasit?), vor allem aber mit einem dunklen silberarmen und arsenreichen Fahlerz (Tennantit) gefüllt.

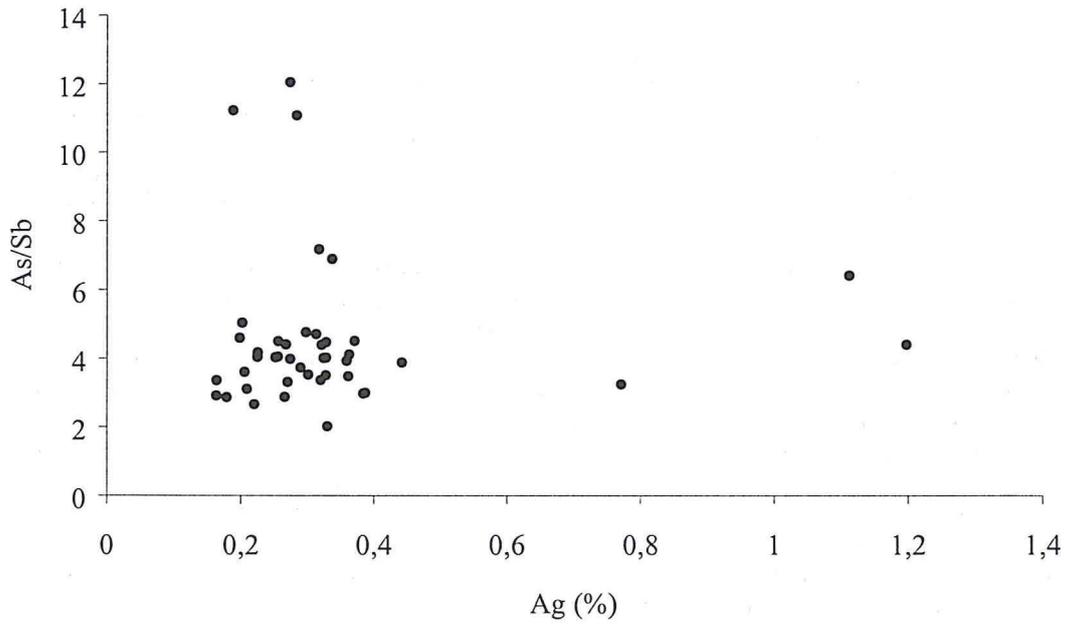


Abb. 51:

As/Sb gegen Silber in einer massiv mit Fahlerz mineralisierten Partie der Probe Wo4 (n = 43). Das Fahlerz in dieser Probe ist in einer zusammenhängenden Fläche mineralisiert und kaum mit Gangart verunreinigt und nicht verwachsen.

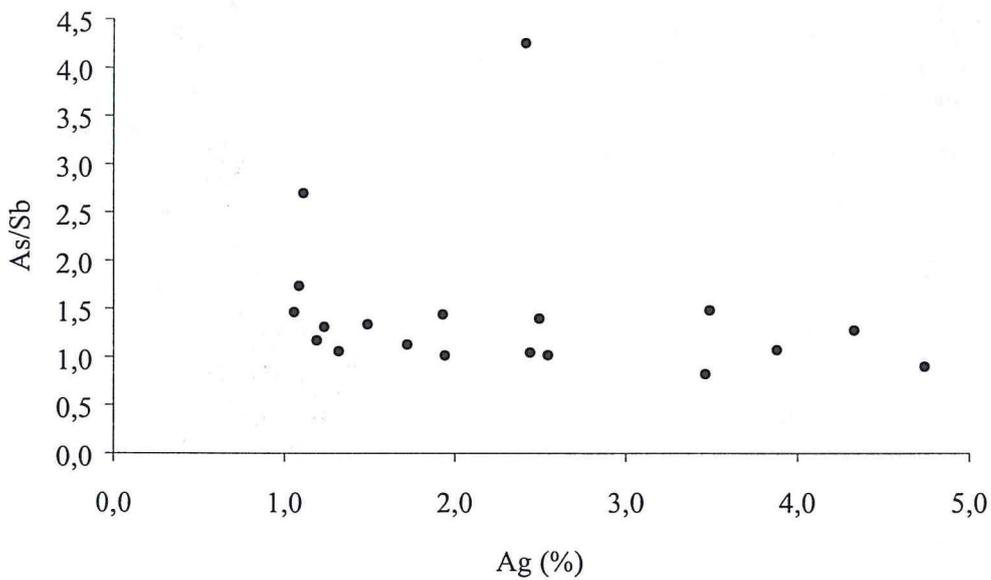


Abb. 52:

As/Sb-Verhältnis einer intensiv mit Fahlerz mineralisierten Probe (Wo7, n = 19), in der aber das Erz keine geschlossene Fläche bildet, sondern mit Fluorit oder vereinzelt Quarz verwachsen ist. Der Unterschied in den gemessenen Silberkonzentrationen im Vergleich zu Abb. 51 ist deutlich zu erkennen.

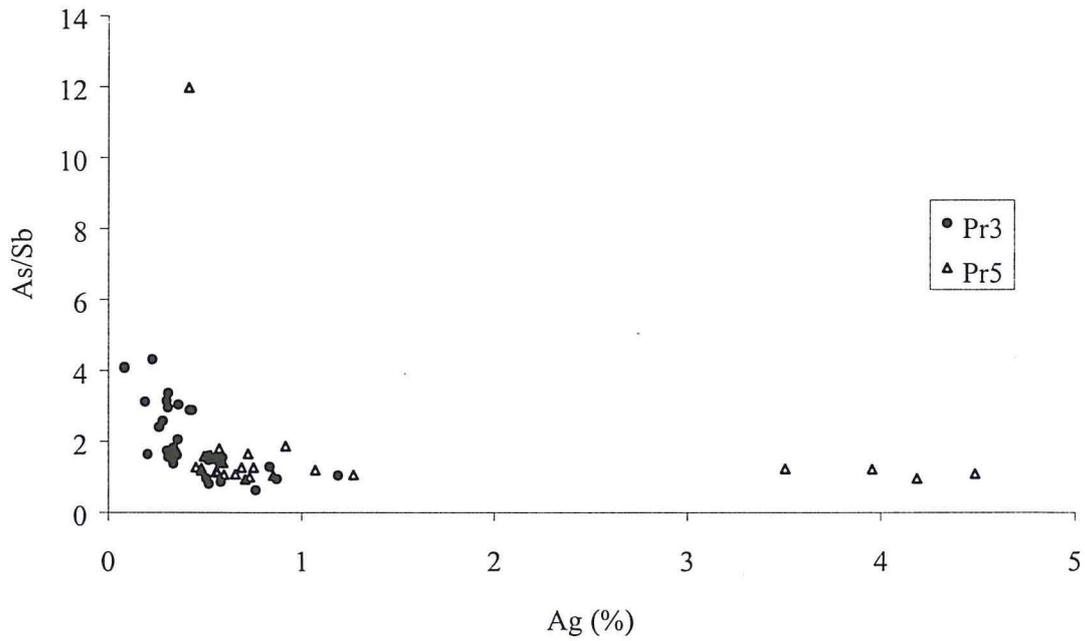


Abb. 53:

As/Sb gegen Silber in Fahlerzen zweier nicht großflächig mit Fahlerz dafür mit Chalkopyrit mineralisierten Proben Pr3 (n = 32) und Pr5 (n = 27). Die Analysen der Probe Pr5 mit Silbergehalten über 1% sind alle an in Fluorit eingewachsenen Fahlerzen gemessen. Die anderen Analysen in der Probe Pr5 und alle der Probe Pr3 wurden an in Chalkopyrit eingewachsenen Fahlerzen gemessen und zeigen sehr geringe Silbergehalte von unter 0,8%.

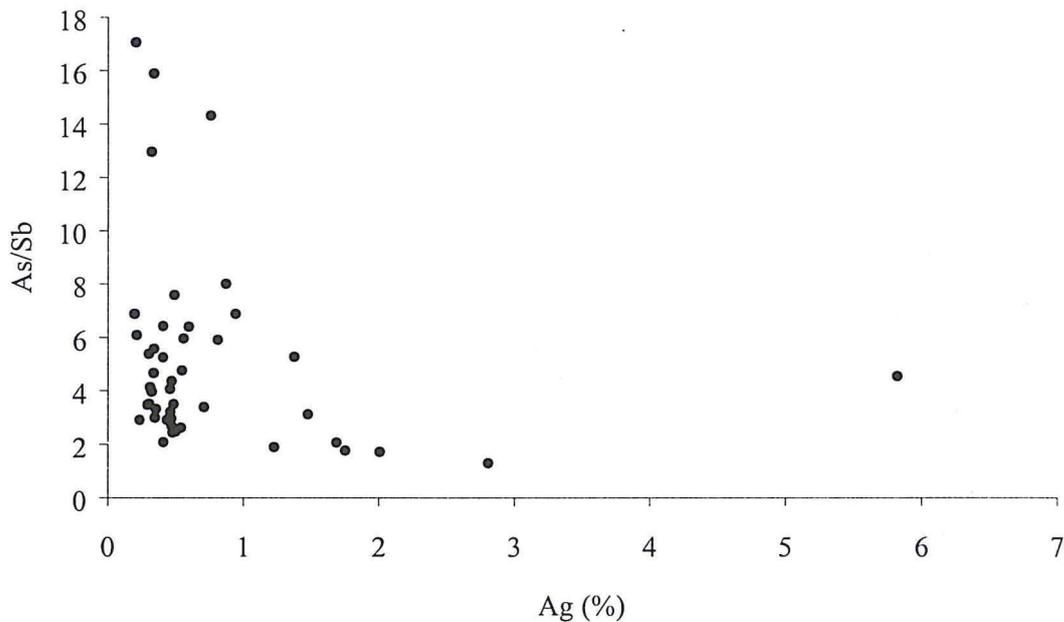


Abb. 54:

As/Sb-Verhältnis eines randlich in Covellin und Chalkosin umgewandeltem großen Fahlerzbruchstückes (Probe Wo8), das vor der Umwandlung wahrscheinlich zu einem Massiverzabschnitt gehörte. (n = 45)

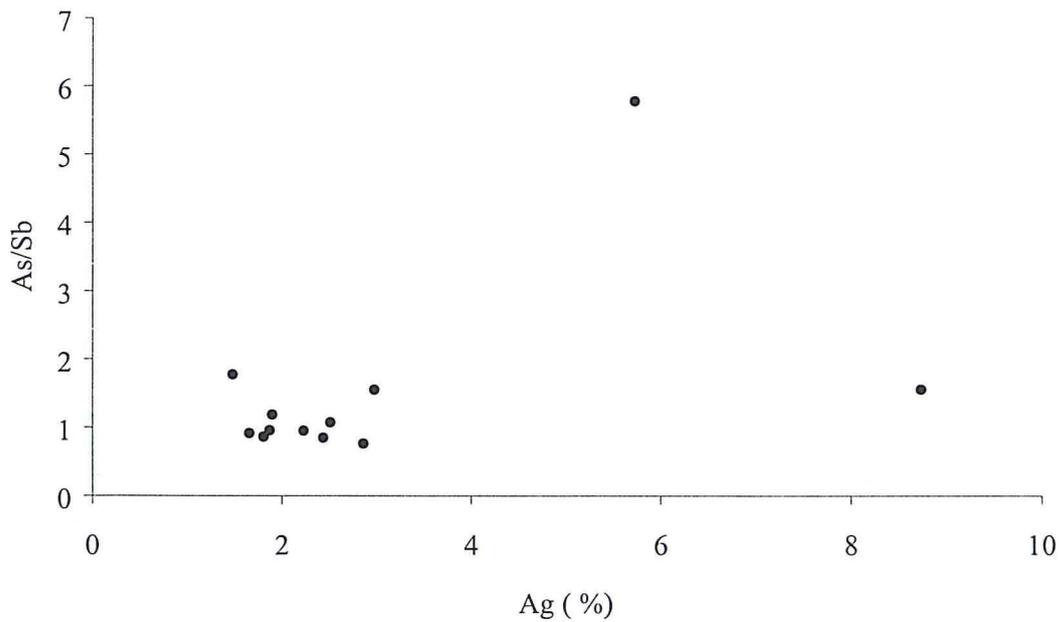


Abb. 55: As/Sb im Verhältnis zum Silbergehalt in der Bänderspatprobe Wo11. (n = 12)

Die Silbergehalte und das Verhältnis von Arsen zu Antimon in den Fahlerzen des Bänderspates wurden durch Messungen an der Probe Wo11 ermittelt (Abb. 55). Bis auf wenige Ausnahmen liegt der Silbergehalt zwischen 1 und 3% bei einem Arsen/Antimon-Verhältnis von 1-2. Die mit 8,7 und 5,7 maximalen Silbergehalte in dieser Probe wurden in sehr kleinen, isoliert liegenden Fahlerzen im Fluorit gemessen. Die meisten Analysen im Bänderspat wurden in mit Chalkopyrit verwachsenen Fahlerzen durchgeführt, wobei diese etwas silberreicher sind und tendenziell geringere As/Sb-Verhältnisse aufweisen als die aus den Proben Pr3 und Pr5 (Abb. 53).

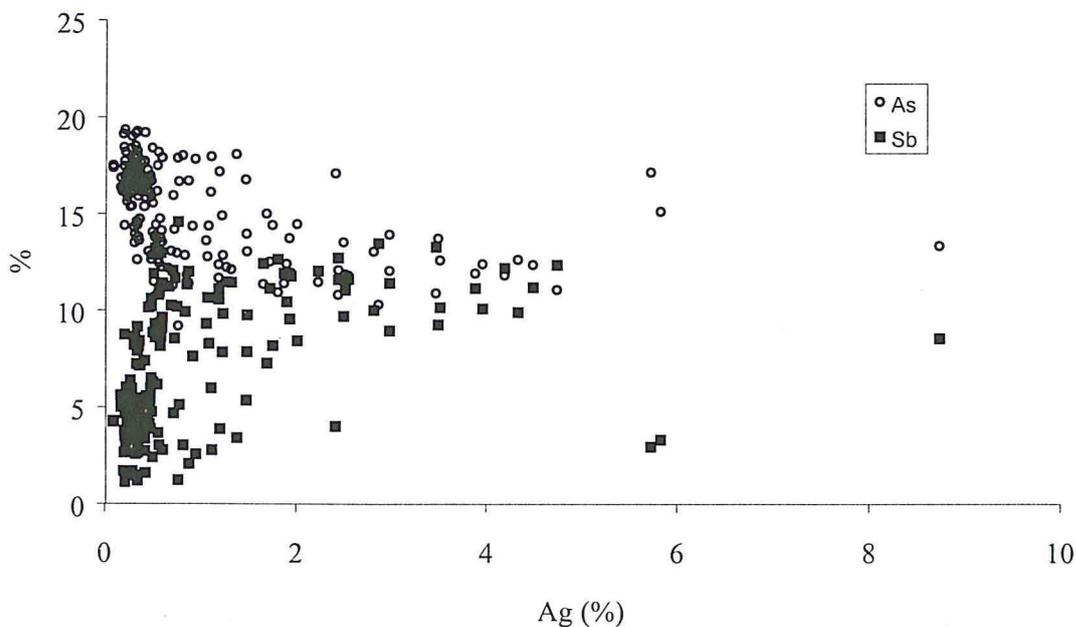


Abb. 56:

Die As- und Sb-Gehalte aller mit der Mikrossonde untersuchten Fahlerze zeigen keinen Zusammenhang mit den Silbergehalten. (n = 179)

Generell kann in keiner Einzelprobe oder in der Gesamtparagenese aus dem As/Sb-Verhältnis ein Rückschluss über den Silbergehalt gezogen werden. Alle mit Fluorit verwachsenen Fahlerze sind im Gegensatz zu den Erzen in unverwachsenen massiven Abschnitten deutlich silberreicher. In Chalkopyrit eingewachsene Fahlerze, die Mineralisationen früherer Phasen darstellen, sind dagegen silberarm. Die geringsten Silberkonzentrationen wurden in großflächig vererzten Bereichen gemessen.

Für alle Proben zusammen ergibt sich keine Korrelation von Silber zu Antimon oder Arsen (Abb. 56). Erstaunlicherweise kann ein linearer Zusammenhang aber zwischen Kupfer und Arsen bzw. Kupfer und Antimon festgestellt werden (Abb. 57). Ein Grund dafür kann in dem nicht stöchiometrischen Austausch von Silber und Kupfer begründet liegen.

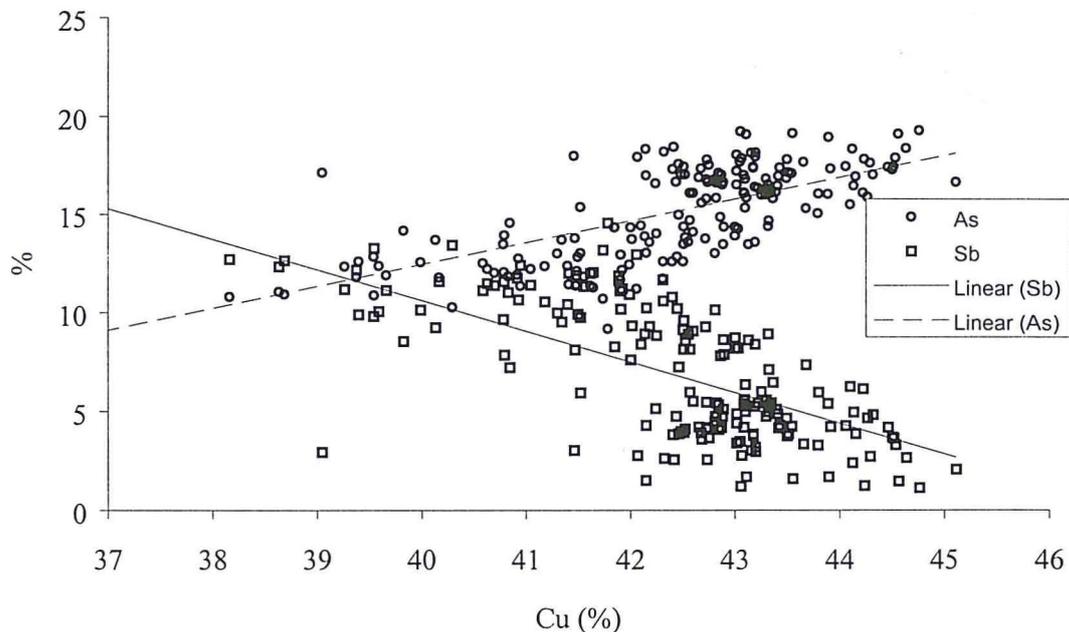


Abb. 57:

Arsen-Antimon gegen Kupfer. Im Gegensatz zu den in Abb. 55 abgetragenen Gehalten an As und Sb gegen Silber zeigt sich beim Kupfer eine Abhängigkeit. (n = 179)

7.3.2 Kupfer, Zink und Eisen

Neben Arsen, Antimon, Kupfer und Silber enthalten die Fahlerze der Grube „Clara“ noch Anteile von Eisen und Zink im Prozentbereich. Die Gehalte an Eisen und Zink zeigen keine deutliche Korrelation zum Silber (Abb. 58). Es besteht zwischen Eisen und Zink ein linearer Zusammenhang, bei dem mit steigenden Gehalten des einen Elementes der des jeweils anderen abnimmt (Abb. 59). Der Grund dafür liegt in ähnlichen Atomradien, Ladungen und anderen atomphysikalischen Eigenschaften von Eisen und Zink, die dafür sorgen, dass sie um gleiche Gitterpositionen im Fahlerzkristall konkurrieren. Ähnliches gilt auch für Kupfer/Silber (Abb. 60), nur ist die Korrelation hier nicht so gut, da auch Zink und Eisen dem Kupfer recht ähnlich sind.

Bei einem Großteil der Mikrosondenmessungen wurde auch Quecksilber in Maximalkonzentrationen von 0,19% nachgewiesen. Der durchschnittliche Gehalt lag bei 0,08%.

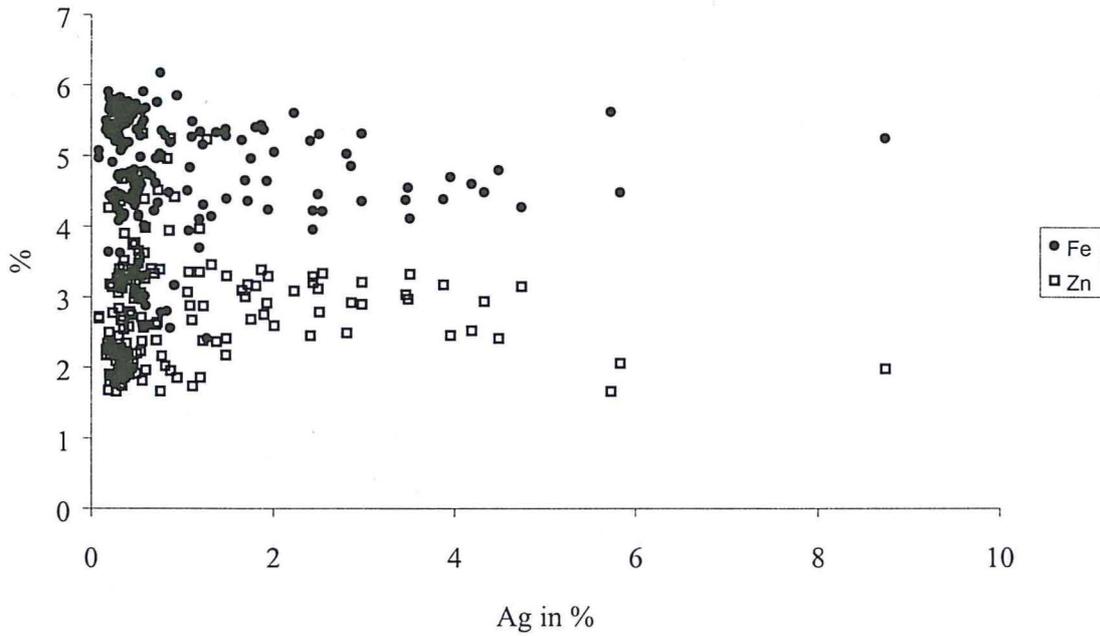


Abb. 58:
 Die Gehalte von Eisen und von Zink gegen Silber zeigen keine Korrelation. Es ist aber zu erkennen, dass Eisen und Zink untereinander eine umgekehrt proportionale Beziehung aufweisen (siehe dazu auch Abb. 59). (n = 179)

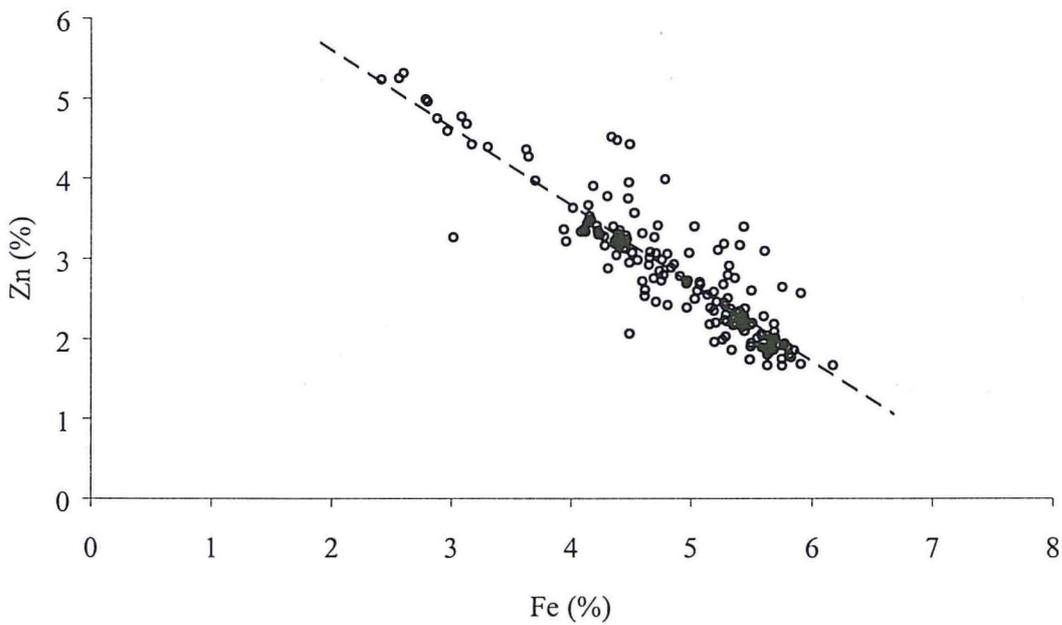


Abb. 59:
 Die Zink- und Eisengehalte im Fahlerz zeigen einen klaren linearen, umgekehrt proportionalen Zusammenhang. D.h., nimmt der Gehalt an Eisen im Fahlerz zu, so geht der Gehalt an Zink zurück und umgekehrt. (n = 179)

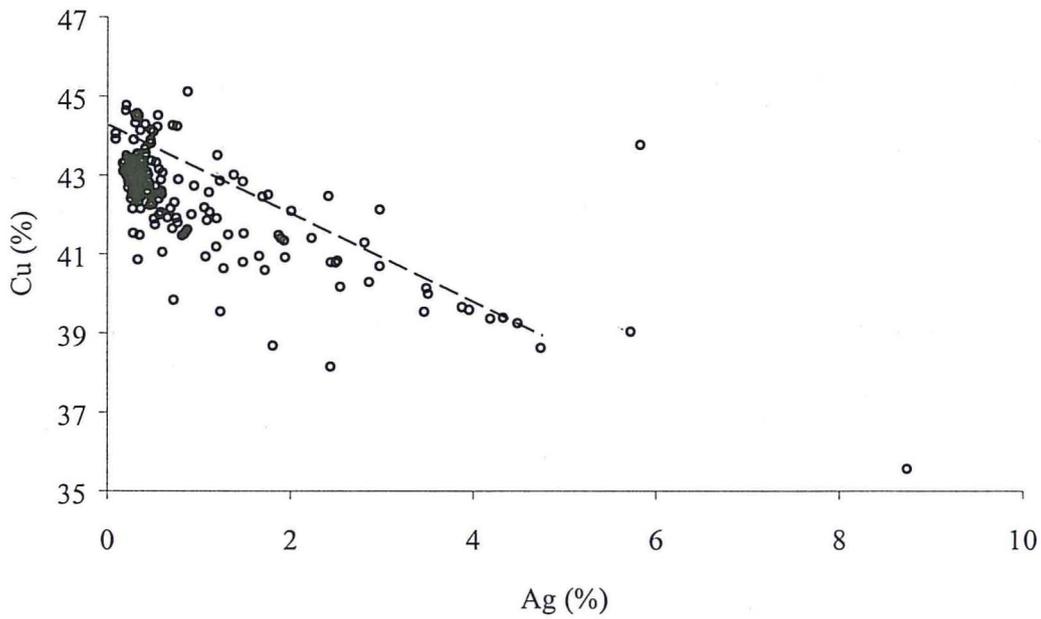


Abb. 60: Kupfergehalt in Abhängigkeit vom Silber im Fahlerz. Ein linearer Zusammenhang wird auch hier sichtbar (ähnlich wie bei Eisen und Zink in Abb. 59). (n = 179)

7.3.3 Vergleich mit früheren Messdaten

Beim Vergleich der Mikrosondenmessungen von STEINKAMM aus dem Jahr 1998 und den im Rahmen dieser Arbeit erstellten werden deutliche Unterschiede sichtbar (Abb. 61). Die Messungen von oberhalb der 14. Sohle (STEINKAMM 1998) weisen im Verhältnis von Arsen zu Antimon im Bereich der mittleren Silbergehalte zwischen 2 und 4% eine viel größere Streuung auf. Es wurden generell viel höhere Arsen-Antimon-Verhältnisse gemessen als in den neuen Analysen von der 14. Sohle.

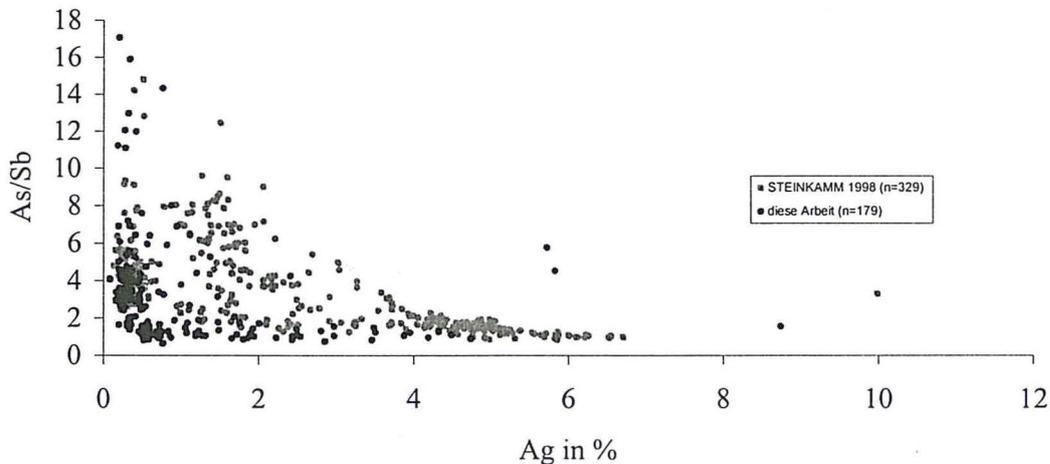


Abb. 61: Vergleich von Mikrosondenmessungen (As/Sb gegen Ag) an Fahlerzen aus der Diplomarbeit von STEINKAMM (1998) und dieser Arbeit.

Bei den Messungen von STEINKAMM (1998) zeichnet sich eine Zunahme des Silbergehaltes mit gleichzeitiger Verringerung des Arsen/Antimon-Verhältnisses ab. Dieser Trend konnte bei den Messungen in der vorliegenden Arbeit nicht voll bestätigt werden, auch wenn teilweise in den neuen Messungen bei hohen Silbergehalten im Fahlerz nur selten As/Sb-Verhältnisse von über 1,5 zu finden sind (Abb. 61).

Die Messungen an Fahlerzen von der 14. Sohle ergaben eine Aufteilung der Fahlerzpopulation in zwei große Gruppen. Die erste Gruppe stellen die „low-grade“-Fahlerze mit Silbergehalten unter einem Prozent dar. In ihnen ist das Verhältnis von Arsen zu Antimon relativ weit gestreut mit Werten meist zwischen 1 und 8 (maximal 17). Dem gegenüber stehen die Fahlerze mit Silbergehalten von über einem Prozent, die fast ausschließlich Arsen/Antimon-Verhältnisse von 1-2 aufweisen. Man kann also vom Silbergehalt auf das zu erwartende Arsen/Antimon-Verhältnis schließen, nicht aber umgekehrt.

7.3.4 Pearcit-Polybasit

In 13 Mikrosondenmessungen wurden auch Pearcit-Polybasite bestimmt. Auch in diesem Komplexsulfid wird, ähnlich wie in den Fahlerzen, im begrenzten Maße Kupfer gegen Silber ausgetauscht (Abb. 62). Das As/Sb-Verhältnis entspricht in fast allen Messungen einem Arsenpolybasit, einem Mischkristall aus 50% Polybasit und 50% Pearcit (Abb. 63). Messungen wurden in allen Proben durchgeführt. Aber aufgrund ihrer geringen Anzahl kann über genaue Korrelationen keine Angabe gemacht werden.

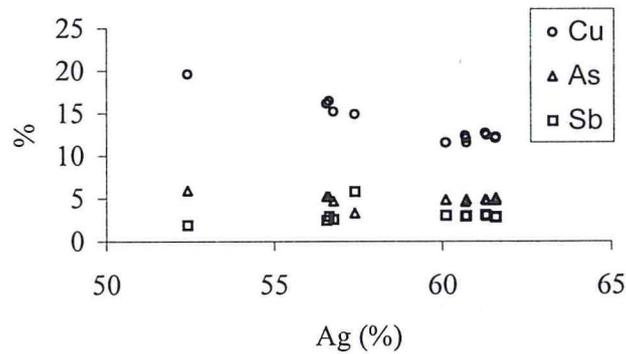


Abb. 62: Kupfer-, Arsen- und Antimongehalte in Pearcit-Polybasit-Mischkristallen. Die indirekte Korrelation zwischen Ag und Cu wird in dem Diagramm deutlich, während die Anteile an Arsen und Antimon relativ konstant sind. (n = 13)

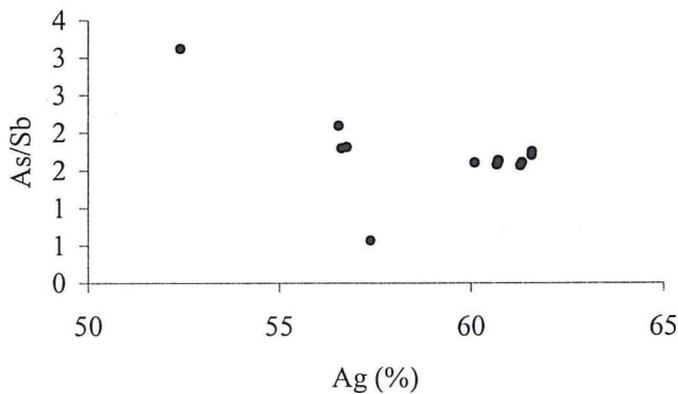


Abb. 63: Das As/Sb-Verhältnis in den Pearcit-Polybasiten liegt um 1,5. Das entspricht ungefähr dem Arsenpolybasit, dem genauen Mittelglied in der Polybasit-Pearcit-Mischreihe. (n = 13)

8 Schlussfolgerungen

*Auch wenn alle einer Meinung sind,
so können doch alle Unrecht haben.
Bertrand Russel*

8.1 Metallogenetische Schlussfolgerungen

Die chemische Zusammensetzung und die mineralogische Ausbildung der Fahlerze auf der 14. Sohle unterscheiden sich deutlich von den Ausbildungen auf den höheren Sohlen. Mit zunehmender Teufe wird der Bereich des Schwerspatganges, der mit Fahlerz stark mineralisiert ist, immer größer. Gleichzeitig nimmt der Silbergehalt im Kupfer-Silber-Konzentrat der Aufbereitung zu. In den Anfängen der Sulfidflotation lag er bei etwa 1%, heute liegt er bei mehr als 4%. Früher waren die Silbergehalte im Konzentrat relativ konstant, heute schwanken sie stärker.

Diese Veränderungen spiegeln sich auch in der Erzparagenese wieder. Es wurden zwei unterschiedlich ausgebildete und zusammengesetzte Fahlerzphasen identifiziert. Die erste Phase bildet den Großteil der Sulfidmineralisation, die zweite silberreichere ist meist kleinräumig auf Risse begrenzt. Andere silberhaltige Mineralphasen, die sehr viel mehr Silber, als die Fahlerze enthalten, kommen zusätzlich in größerem Umfang in der Schwerspatgangmineralisation unterhalb der 14. Sohle vor. Die genetischen Fragen sind dabei, ob:

1. es sich um eindeutig trennbare Mineralisationsevents handelt,
2. es nur Mobilisierungen tieferer oder höherer Zonen sind,
3. es sich nur um lokale Mobilisierungen handelt,
4. die Lagerstätte aus verschiedenen Zonen mit unterschiedlichen Mineralisationsstilen aufgebaut ist oder
5. es noch andere Prozesse gibt, durch die Silber angereichert worden ist.

Auf einige dieser Punkte können nach diesen Untersuchungen Antworten gegeben werden, bei anderen bleiben noch Fragen offen.

Die „Fahlerzgrundmasse“ und auch die nicht in Covellin oder Chalkosin umgewandelten Fahlerzeinsprenglinge im gebänderten Schwerspat werden als primär angesehen. Im Bänderspat sind viele der xenomorphen Fahlerzeinschlüsse mit dem, genetisch von HUCK (1984) der späten Quarz-Hauptphase zugeordneten, Galenit verwachsen. Der Bleiglanz wird der Phase der Bildung des Diagonaltrums zugeschrieben (Abb. 10). Damit ist ein erster Hinweis auf eine späte und silberreichere Fahlerzmineralisation gefunden. Bleiglanz in den relativ silberarmen und großflächig mineralisierten Abschnitten des Schwerspatganges ist selten zu beobachten.

Ein weiteres Indiz für eine polyphase Fahlerzmineralisation geben auch die auf Rissen ausgebildeten Fahlerzphasen. Auch sie sind meist silberreicher als das sie umgebende frühe Fahlerz. Diese beiden Umstände allein reichen noch nicht aus, um eine zweite Fahlerzmineralisationsphase eindeutig zu identifizieren, doch kommen Pearcit und Polybasit ebenfalls häufig allein oder mit Fahlerz zusammen auf diesen Rissen vor. Pearcit und Polybasit hatten am sulfidischen Erz der höheren Sohlen nur einen geringen Anteil.

In der jüngsten Zeit wurden auf der TS 14.2 eindeutig an Risse gebundene Fahlerzmineralisationen im gangnahen Nebengestein gefunden. Auch dieser Wechsel des Mineralisationsstiles ist ein Hinweis auf Veränderungen der Mineralisationsbedingungen mit zunehmender Teufe. Sulfidische Vererzungen im Nebengestein waren oberhalb der 12. Sohle nicht bekannt.

Eine Erklärung des Phänomens der späteren silberreicheren Fahlerze ist, neben der Möglichkeit des separaten (späteren) Eindringens der Lösungen aus der Tiefe, eine Umlagerung durch Ab- bzw. Anreicherung im Bereich der Lagerstätte. Dabei müsste in größeren, bisher nicht aufgefahrenen oder erbohrten Tiefen eine Abreicherungszone der Fahlerze an Silber liegen. Bei dem Prozess der Mobilisierung des Silbers aus den Fahlerzen kann es sich um eine „Reinigung“ des Fahlerzes handeln. Das würde die relativ konstanten Gehalte an Zink und Eisen erklären, die keine Abhängigkeit vom Silbergehalt zeigen. Größere Zonen mit Silberanreicherungen im Fahlerz wurden in den untersuchten Proben nicht nachgewiesen. Die einzige Umwandlung von Fahlerz in andere sulfidische Mineralphasen ist die Covellinisierung, durch diesen, als postmineralisch eingestuftem Prozess wird ebenfalls Silber mobilisiert. Häufiger tritt Covellinisierung beim Chalkopyrit auf, der durch Covellin und auch Chalkosin verdrängt wird. Chalkopyrit und die aus Chalkopyrit entstandene Covellin-Chalkosin-Bornitparagenese enthält kein Silber. Covellinisiertes Fahlerz ist selten. Der das Fahlerz verdrängende Covellin kann bis ca. 1% Silber enthalten.

Das Verhältnis von Arsen zu Antimon in allen Fahlerzen zeigt keine Korrelation zum Silbergehalt. Das im Fahlerz enthaltene Zink und Eisen wird hauptsächlich gegeneinander im Kristallgitter ersetzt, gleiches gilt für Kupfer und Silber.

Da sich die Silbergehalte im Fahlerz im Vergleich zu früher nicht wesentlich erhöht haben, muss die Steigerung mit dem Auftreten anderer Mineralparagenesen zusammenhängen. Mit den Fahlerzen assoziiert sind andere, sehr viel silberreichere Sulfide, wie Pearcit-Polybasit oder Schapbachit. Diese kommen auch außerhalb von den geringmächtigen Rissfüllungen vor und sind der Grund für den starken Anstieg des Silbergehaltes im Sulfidkonzentrat (Abb. 64). Das ausgeglichene Arsen-Antimon-Verhältnis in den Arsenopolybasiten ist ein Hinweis auf eine eigenständige Mineralisation innerhalb der Sulfide des Schwerspatganges. Wenn man davon

ausgeht, dass der Arsenopolybasit eine Abscheidung bzw. ein Mobilisat der Fahlermineralisation ist, dann würde als Mobilisationsquelle nur das relativ silberarme Fahlerz in Frage kommen, weil es der am weitesten im Schwerspatgang verbreitete Silberträger ist. Dieses Fahlerz hat aber ein hohes Arsen-Antimon-Verhältnis, ist also als Ursprung der „edleren“ Silbererze eher unwahrscheinlich. Als Resultat eines solchen Fahlerzmobilisationsprozesses wäre auch ein arsenreicher Pearcit zu erwarten. Aufgrund der großen Bandbreite an Arsen-Antimon-Verhältnissen in den Fahlerzen insgesamt und der nur geringen Anzahl an Arsenopolybasitmessungen muss die Herkunft der silberreichen Sulfide noch näher untersucht werden. Diese Silber-Kupfer-Sulfide sind hauptverantwortlich für die höheren Silberanteile im Silberspat auf der 14. Sohle (Abb. 64).

STEINKAMM (1998) schlussfolgerte aus der Abhängigkeit der Silber- und Kupfergehalte im Fahlerz und einer nicht nachweisbaren Korrelation beider im Sulfidkonzentrat, dass ein hoher Anteil von Nichtfahlerzen das Gesamtsilber in der Grube beinhaltet. Diese Vermutung wird durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigt. Bei den Betrachtungen von Arsen und Antimon im Silber-Kupferkonzentrat muss aber auch berücksichtigt werden, dass diese Gehalte nicht nur vom Fahlerz und von Pearcit-Polybasit, sondern auch vom Chalkopyrit abhängen.

Aufgrund der zu erwartenden höheren Anteile fahlerzreicher Abschnitte, der Geometrie des sulfidisch mineralisierten Teiles der Lagerstätte und der höheren Gehalte an Silber im Nebengestein wird der wirtschaftliche Anteil des Sulfidkonzentrates an der Gesamtbilanz der Grube in Zukunft zunehmen. Auch könnte in Zukunft ein Abbau der mineralisierten Gneise wirtschaftlich werden, wenn diese Nebengesteinsmineralisation nicht nur vereinzelt angetroffen wird, sondern weiter verbreitet ist.

Die oxidativ in Malachit, Azurit, Olivenit und andere (Kupfer)Sekundärminerale umgewandelten Abschnitte der Sulfidmineralisation sind in ihrem Anteil am insgesamt gefördertem Erz von geringer Bedeutung, enthalten aber auch partiell geringe Mengen an Silber, meist in gediegener Form vorliegend. In einigen Bereichen mit fortgeschrittener Oxidation kommen bis über 1 cm große Silberlocken vor. Dieses elementare Silber entstand bei Oxidationsprozessen, bei denen es nicht im Malachit eingebaut werden konnte. Das gediegene Silber stellt eine sehr späte und durch meteorische Wässer induzierte Bildung dar.

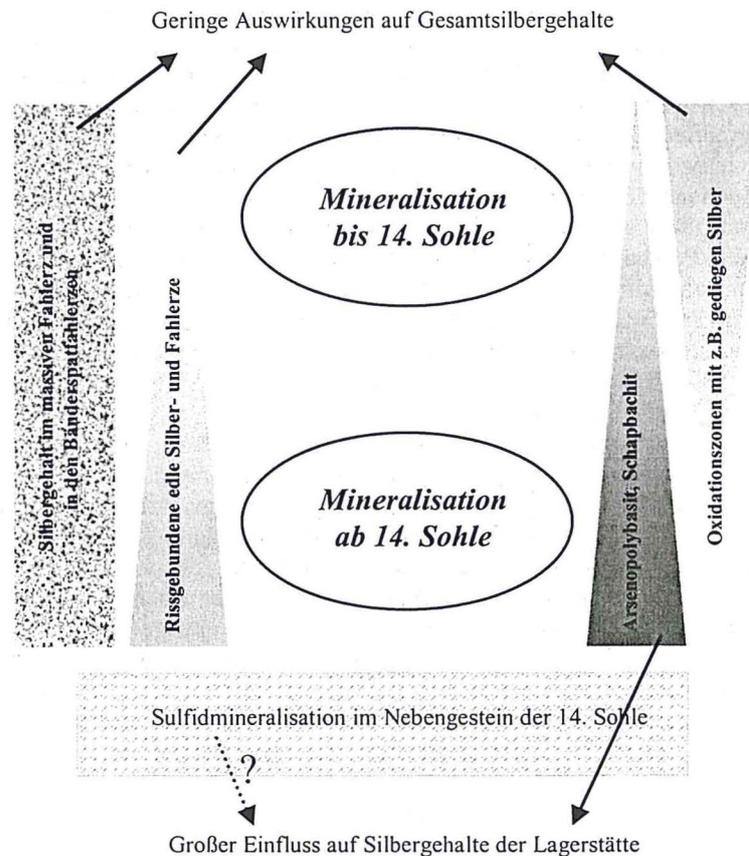


Abb. 64:

Schematisierte und vereinfachte Entwicklungen der Silbermineralisation im Schwerspatgang ab der 14. Sohle im Vergleich zu den höheren Sohlen.

8.2 Schlussfolgerungen für die Aufbereitung

Die Gehalte an Silber in den Cu-Ag-Konzentraten stiegen in den letzten Monaten deutlich an. Der Grund für diese Entwicklung liegt in dem Angebot an Silber in der Gesamtparagenese, nicht aber am Silbergehalt im Fahlerz (Abb. 65).

Die porösen Rissfüllungen mit dem silberreichen Fahlerz und mit Pearcit-Polybasit, die das umgebende Erz netzartig durchziehen, stellen vorgegebene Schwächebereiche im Gestein dar. Entlang dieser Risse wird das Gestein in Vorbrechern der Aufbereitungsanlage zerkleinert und die silberreiche Phase im Cu-Ag-Schlamm angereichert. Durch den zeitweiligen Ausfall einer Kugelmühle im Juli 2001 wurde ausschließlich Cu-Ag-Schlamm flotiert, dieser enthielt sehr hohe Silbergehalte mit über 4,5% (SCHMELTZER, mündl. Mitteilung 2001). Ein anderer Punkt bei der Einschätzung der Gewinnbarkeit der Sulfidkörner aus dem Cu-Ag-Schlamm ist die zu erwartende Korngröße der Erzpartikel. Da die im Roherz auftretenden gefüllten Risse nur sehr dünn sind und die Mineralisation darin mechanisch recht instabil ist, liegt ein Großteil des Silbererzes in sehr kleinen Korngrößen vor. Diese Feinfraktion ist schlecht flotierbar und damit nur bedingt gewinnbar (JAKOB 1999). Hier liegt also mit Sicherheit noch ein bisher ungenutztes Potential zur Ausbringung von silberreichen Sulfiden.

Ähnliche Auswirkungen haben auch die porösen Umwandlungsbereiche der Primärerze, in denen z.B. Covellin, Chalkosin oder Stromeyerit auftreten (Abb. 65). Diese Zonen verhalten sich mechanisch ähnlich den Rissen und bilden Bereiche erniedrigter Gesteinsfestigkeit. Der Covellin enthält, je nachdem ob er Fahlerz oder Chalkopyrit verdrängt, wenig bis gar kein Silber. Da sich der überwiegende Teil des Covellins und des Chalkosins aus Chalkopyrit gebildet hat, sind diese meist silberarm. In aus Fahlerz umgewandeltem Covellin dagegen können in einigen Bereichen höhere Anreicherung von Silber gefunden werden, die z.T. bis über 1% erreichen können. Solch hohe Silbergehalte werden vor allem in direkten Kontaktbereichen zwischen Fahlerz und Covellin erreicht. Wenn entlang dieser Zonen Stromeyerit auftritt, ist der Silbergehalt lokal sogar noch höher als nur einige Prozent.

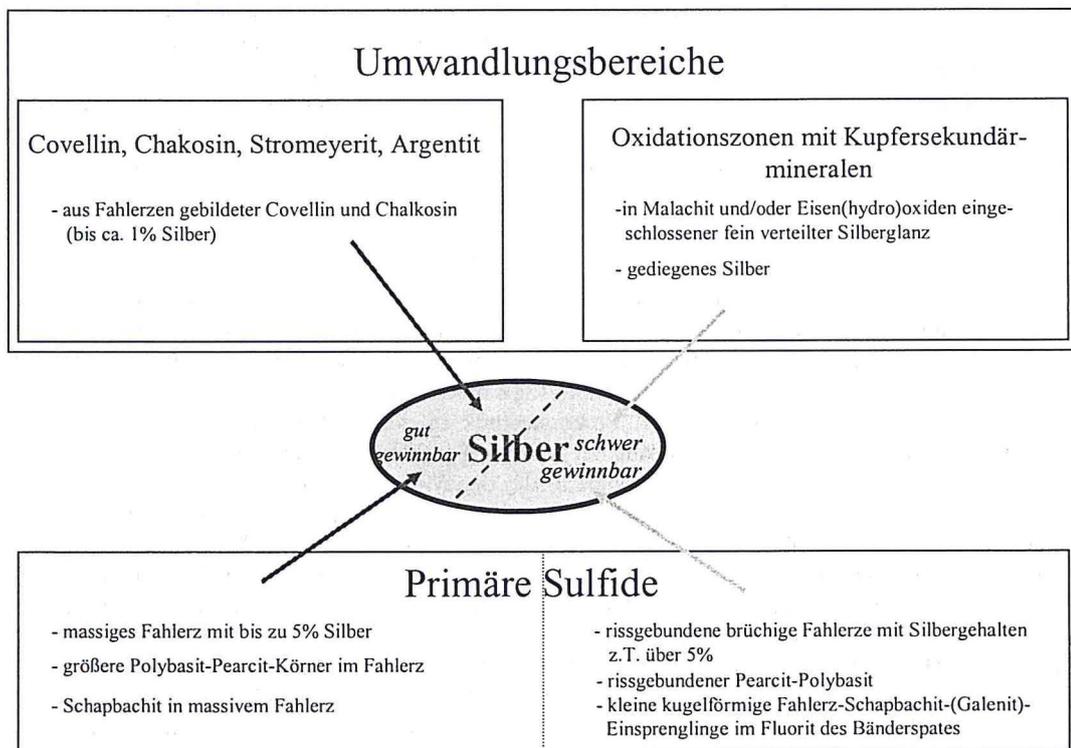


Abb. 65: Vereinfachte Darstellung von gut und weniger gut gewinnbaren silberhaltigen Vererzungen im Schwespatgang. Der „schwer gewinnbare“ Teil des Silbers ist zum Teil im Filterkuchen und/oder im Kläranlagensand der Aufbereitung zu finden.

Das in den Oxidationszonen vorkommende elementare Silber ist durch die angewandte Sulfidflotation nicht gewinnbar. Der Anteil an diesem nicht sulfidisch gebundenem Silber wird in Zukunft immer weiter zurück gehen, weil die Oxidationsbereiche mit der Teufe an Bedeutung verlieren werden.

In der Grobfraktion der Berge (Kläranlagensand) werden die Sulfide, soweit sie in unverwachsener Form vorliegen, nahezu vollständig durch die Flotation abgetrennt. Der Anteil der nicht durch Sulfidflotation gewinnbaren Oxide ist nur gering und beschränkt sich fast ausschließlich auf limmonitische Eisenerze. In den Eisen-(hydro)oxiden ist kein Silber enthalten. Malachit tritt in den Bergestoffen nur sehr untergeordnet auf, was die zurückgehende Bedeutung der Oxidationsprozesse unterstreicht. Elementares Silber konnte, wahrscheinlich aufgrund seiner sehr geringen Konzentration, bislang in den Bergestoffen nicht nachgewiesen werden.

Zu einer weiteren Reinigung des Kläranlagensandes gäbe es einen möglichen Ansatz, der darin bestehen könnte, die Oxide in Sulfide umzuwandeln. Dabei würden die zusätzlich gewinnbaren Silbermengen nur gering ausfallen, aber durch die Ausbringung der Schwermetalle könnte die Verwertbarkeit des Kläranlagensandes gesteigert werden.

Für den Filterkuchen gilt das Gleiche wie für den Kläranlagensand, nur dass die Korngröße der noch vorhandenen Sulfide und auch Oxide viel kleiner als im Sand sind und damit die technischen Voraussetzungen für eine effektive Flotation noch geringer als beim Sand sind. Die Konzentration an Schwermetallen im Filterkuchen ist größer als die im Kläranlagensand, was in der geringeren Ausbringung der sehr kleinen Erzkörner begründet liegt. Der Verwachsungsgrad der sulfidischen Erze ist aufgrund der Korngröße geringer als im Sand, was seinerseits die Ausbringung erhöhen würde, wenn die Korngröße nicht so gering wäre.

Die auf der 14. Sohle erstmals auftretenden verzerrten Nebengesteinsbereiche könnten in Zukunft für eine gezielte Gewinnung von Silbererz Bedeutung erlangen. Dabei ist es vor allem die Größe der Fahlerzvenen entscheidend. Sehr fein verteiltes Erz kann in der STS durch die geringe Dichte der Nebengesteinsgneise abgetrennt werden und damit gar nicht erst in die Sulfidflotation gelangen. Je unverwachsener und größer die mit Sulfid mineralisierten Bereiche im Nebengestein wären, um so besser wären sie aufbereit- und gewinnbar.

Der wirtschaftliche Anteil des Silbers an der Gesamtbilanz der Grube „Clara“ könnte in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen und einen Ausbau der Sulfidflotationsanlage erfordern. Eventuell könnte auch eine gesonderte Flotation des Kupfer-Silber-Schlammes von Vorteil sein. Sowohl die Menge an sulfidischem Erz als auch der Anteil an Silber im Erz wird noch weiter steigen bzw. sich zumindest auf höherem Niveau stabilisieren. Durch die höhere Wertschöpfung des Kupfer-Silber-Konzentrates als Nebenprodukt könnte sich die Rentabilität der gesamten Anlage erhöhen, weil eine Steigerung des Silberanteiles und/oder der Menge an Cu-Ag-Konzentrat einen sehr viel höheren wirtschaftlichen Wert als die gleiche Menge Fluss- oder Schwespat darstellt.

Dank

Ich danke Herrn Prof. Dr. Gregor BORG und Herrn Dr. Karl-Heinz HUCK für die Anregung dieser Diplomarbeit und ihre intensive Unterstützung und Betreuung. Ich möchte mich bei meinen Betreuern auch für die vielen wichtigen Hinweise bedanken. Die Diskussionen und Anregungen haben mir sehr weitergeholfen. Herrn Dr. Jörg SÖTEMANN und Herrn Dr. SCHMELTZER möchte ich für die Vorortbetreuung in der Aufbereitung und die Einführung in die Anlagen- und Prozesstechnik in der Aufbereitungsanlage Wolfach und die sehr fruchtbaren Diskussionen und Denkanstöße zu diesem Teilthema danken. Durch sie wurde ein praxisnaher Bezug der Arbeit für mich überhaupt erst möglich. Bei den Mitarbeitern der Sachtleben Services GmbH auf der Grube „Clara“ in Oberwolfach, wie auch in der Aufbereitungsanlage in Wolfach, möchte ich mich für die Hilfsbereitschaft, Freundlichkeit und für die mir entgegengebrachte Geduld danken.

Vor allem den Herren Dr. Thomas OBERTHÜR, Dr. Frank MELCHER und LODZIAK vom Referat für Lagerstättenkunde der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover danke ich für die durchgeführten Mikrosondenmessungen.

Ich danke Herrn Dr. Christoph GAUERT und Herrn Dr. Jürgen GÖSKE für die kritischen Anmerkungen zur Methodik und Vorgehensweise, sowie der konstruktiven Kritik und den fachlichen Anregungen, die mir immer sehr weitergeholfen haben. Herrn Dr. Jürgen GÖSKE danke ich des weiteren für die Hilfe bei der Röntgendiffraktometrie. Frau Carola BÖNSCH möchte ich für das Korrekturlesen der Manuskriptfassungen und für die Handstückfotos sehr herzlich danken. Frau Dorothee WOLTER danke ich für die Präparation und Politur meiner Anschliffproben und die vielen guten Ideen in diesem Zusammenhang.

Den Familien FLEIG in Oberwolfach und HEIL in Wolfach danke ich für die Unterbringung und die herzliche Aufnahme während meiner Geländetätigkeit im Schwarzwald.

Literatur

- BÄRTLING, R. (1911): Die Schwerspatlagerstätten Deutschlands.- 188 S.; Stuttgart (Enke Verlag).
- GERLER, J. (1983): Geologische Kartierung in der Umgebung der Lagerstätte „Clara“ bei Oberwolfach (Mittlerer Schwarzwald).- Diplomkartierung, Univ. Göttingen; Göttingen. [unveröff.]
- HUCK, K.-H. (1984): Beziehungen zwischen Tektonik und Paragenese unter Berücksichtigung geochemischer Kriterien in der Fluss- und Schwerspatlagerstätte „Clara“ bei Oberwolfach/Schwarzwald.- 177 S., Dissertation, Univ. Heidelberg; Heidelberg.
- JAKOB, U. (1999): Mineralogisch-chemische Charakterisierung und Verwendungsmöglichkeiten von Fluss-/ Schwerspat-Aufbereitungsrückständen.- 130 S., Diplomarbeit, Univ. Mainz; Mainz. [unveröff.]
- KALT, A., ALTHERR, R. & HANEL, M. (2000): The variscian basement of the Schwarzwald.- Ber. Deutschen Min. Ges., Beiheft European J. Min., 12, 2, Stuttgart (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- KOSSMAT, F. (1927): Gliederung des varistischen Gebirgsbaues.- Abh. sächsischen geol. LA., Heft 1, 39 S.; Leipzig.
- LAUFHÜTTE, D. (1955): Der Bleierzgang Friedrich-Christian im Wildschapbachtal.- Dissertation, Univ. Freiburg; Freiburg.
- LIST, K. H. (1969): Die Mineralisation der tieferen Sohlen der Grube Clara.- Diplomarbeit, Univ. Freiburg; Freiburg. [unveröff.]
- MARTIN, M. (1978): Der Flussspatgang der Grube „Clara“ in Oberwolfach, Mittlerer Schwarzwald.- Diplomarbeit, Univ. Freiburg; Freiburg. [unveröff.]
- MAUS, H. J. (1977): Violetter Fluorit und Sellait von der Grube Clara, Oberwolfach, Mittlerer Schwarzwald.- Aufschluß, 28: 161-167; Heidelberg.
- OKUJENI, C.D. (1980): Geochemische Untersuchungen an den Gesteinen der Fluorit/Barytgrube Wolfach im Schwarzwald.- Dissertation, TU Berlin; Berlin.
- RAMDOHR, P. (1960): Die Erzminerale und ihre Verwachsungen.- 1089 S.; Berlin (Akademie-Verlag).
- REHREN, T. (1985): Untersuchungen zur Mineralogie und Aufbereitbarkeit verschiedener Erzproben der Grube Clara.- Diplomarbeit, TU Clausthal; Clausthal. [unveröff.]
- RÖSLER, H.-J. (1991): Lehrbuch der Mineralogie.- 845 S., 5. Aufl.; Leipzig (Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).
- SIMIANER, H. (1981): Geochemische und petrographische Untersuchungen von Alterationsvorgängen im Nebengestein des Schwerspatganges der Grube Clara (Oberwolfach) im Mittleren Schwarzwald.- Diplomarbeit, Univ. Karlsruhe; Karlsruhe. [unveröff.]
- SÖTEMANN, J. (2000): Aufbereiten von Schwerspat und Flussspat - Sortierung komplexer Roherze bei steigenden Qualitätsanforderungen.- Aufbereitungstechnik, Juni 2000: 271-277; Wiesbaden (Bauverlag).
- STEINKAMM, U. (1998): Reinigung des Schwerspatflotationsvorlaufes durch Abtrennung der sulfidischen Minerale aus Cu/Ag-haltigem Setzspat der Grube Clara, Wolfach, mittels Flotation.- 93 S., Diplomarbeit, TU Clausthal; Clausthal. [unveröff.]
- VOGELGESANG, W. M. (1865): Geognostisch-bergmännische Beschreibung des Kinzigthaler Bergbaues.- Beitr. Statist. inner. Verwalt. Großherzogthum Baden, 21, 146 S.; Karlsruhe.
- WALENTA, K. (1975): Die Sekundärminerale des Schwerspatganges der Grube Clara bei Oberwolfach im Mittleren Schwarzwald.- Aufschluß, 26: 369-411; Heidelberg.
- WERNER, W. & FRANZKE, H.-J. (2000): Postvaristische bis neogene Bruchtektonik und Mineralisation im südlichen Schwarzwald. Manuskriptfassung. [unveröff.]
- ZIRNGAST, M. (1978): Zur Geologie und Geochemie der Schwerspatlagerstätte „Clara“ bei Wolfach (Mittlerer Schwarzwald).- Dissertation, Univ. Braunschweig; Braunschweig.
- Geologische Karte von Baden-Württemberg (1995): 1:25000, Blatt 7615, Wolfach, mit Erläuterungen.
- Sachtleben Bergbau Services GmbH (2000): Präsentation.
- Wanderkarte mit Radwanderwegen (1993): 1:50.000, Blatt 5, Freudenstadt-Schramberg; Stuttgart (Landesvermessungsamt Baden-Württemberg).

Anschrift des Autors

Dipl.-Geol. René von der Heyde

Könnernsche Straße 6

D-06420 Dornitz

e-mail: vonderheyde@yahoo.de

Beiheft 13 (2001)

HELLMUND, M. & WILDE, V. [eds.] (2001): Das Geiseltal-Projekt 2000 – erste wissenschaftliche Ergebnisse.- 99 S., 19 Abb., 10 Tab. u. 13 Taf.; Halle (Saale).

Beiheft 14 (2001)

CLAUSING, A. (2001): Primärproduktion und Laminationsbildung ausgewählter lakustriner Environments im Tertiär und Permokarbon Deutschlands.- 183 S., 57 Abb., 16 Tab. u. 15 Taf.; Halle (Saale).

Alle Hefte der Reihe B können über das Institut – Anschrift innenseitig – bezogen werden.

Drucktechnische Hinweise

Titelangaben: Titel in deutscher Sprache
ggf. Untertitel
Titel in englischer Sprache
Angabe der Zahl der Abbildungen, Tabellen, Tafeln u.a.
Vor- und Nachname(n) des Autors/der Autoren

Zusammenfassungen in deutsch und englisch. Textgliederung nach Dezimalklassifikationssystem. Wörtliche Zitate werden in der Originalschreibweise – auch mit eventuellen Fehlern – wiedergegeben und in Anführungszeichen gesetzt.

Die Richtlinien für Literaturangaben entsprechen denen der Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft. Das Literaturverzeichnis soll nur Literatur enthalten, die im Text namentlich erwähnt ist. Am Ende des Aufsatzes wird die Anschrift des Autors bzw. der Autoren in der Reihenfolge ihrer Nennung im Titel angegeben.

Abkürzungen und Fußnoten sollten vermieden werden. Anmerkungen zum Text sind durch hochgestellte fortlaufende arabische Ziffern ohne Klammer zu kennzeichnen und am Ende des Textteils – vor dem Literaturverzeichnis – unter Angabe der jeweiligen Ziffer geschlossen aufzuführen.

Fettdruck = doppelt unterstrichen,

S p e r r u n g = einfach unterstrichen,

Kapitälchen (nur für Autoren-Namen) = unterstricheln,

kursiv (für fossile und rezente Art- und Gattungsnamen) = unterschlängeln.

Abbildungen und Tabellen

Abbildungen (Fotos, Karten, Profile, Zeichnungen, Tafeln u. a.) und Tabellen werden in der Regel nur im Schwarzdruck wiedergegeben. Farbige Darstellungen können bei Übernahme der Kosten durch die Autoren gedruckt werden. Der Satzspiegel ist 160 mm x 250 mm. Originalvorlagen sollten möglichst im **Endformat** oder max. in doppelter Größe eingereicht werden. Dabei ist der Platz für die Unterschriften zu berücksichtigen. Die Schrift in den Vorlagen darf nach dem Druck nicht kleiner als 1 mm sein. Originalvorlagen sind zweifach einzureichen und jeweils mit Autorennamen, Abbildungsnummer, der Angabe „oben“ und evtl. mit Angaben zur Verkleinerung zu versehen. Die Position für die Abbildungen und Tabellen muss aus dem Text hervorgehen. Karten und Profile sind mit einer Maßstabsleiste zu versehen. Numerische Maßstabsangaben sind nicht zu verwenden. Fotos und Tafeln sind auf weißem Papier mit Mattglanz und glatter Oberfläche einzureichen.

Abbildungen und Tabellen in einem größeren Format als dem Satzspiegel können als Beilage gedruckt werden, wobei der finanzielle Rahmen vorher mit dem Autor geklärt werden muss.

Unterschriften für Abbildungen und Tabellen sind im Block geschlossen am Ende des Aufsatzes gesondert aufzuführen.

Das **Hallesche Jahrbuch für Geowissenschaften** erscheint ab **Band 17 (1995)** getrennt in

Reihe A: Geographie und Geoökologie und **Reihe B: Geologie, Paläontologie, Mineralogie**

Als Vorläufer der jetzigen Reihen ist erschienen:

Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften Bd. 1 (1976) - Bd. 16 (1994)

Zur **Reihe B** werden **Beihefte** herausgegeben. Bisher sind erschienen:

Beiheft 1 (1996)

BLUMENSTENGEL, H., KRUTZSCH, W. & VOLLAND, L. (1996), m. Beitr. v. KNOTH, W. (Kap. 4) & KNUTH, G. (Kap. 8): Revidierte Stratigraphie tertiärer Ablagerungen im südlichen Sachsen-Anhalt - Teil 1: Raum Halle-Merseburg.- 101 S., 44 Abb., 3 Tab. u. 5 Taf.; Halle (Saale).

Beiheft 2 (1997)

DEGEN, T. J. (1997): Deformation und Metamorphose im Gebiet zwischen Borgafjäll und Børgefjell in den nördlichen Kaledoniden Skandinaviens (Jämtland/Västerbotten).- 100 S., 25 Abb., 3 Tab., 6 Taf. u. 5 Probenkarten; Halle (Saale).

Beiheft 3 (1998)

ECKER, M. (1998): Diadochiebeziehungen in Calciumaluminatferraten und deren Hydratationsprodukten.- 100 S., 66 Abb. u. 35 Tab.; Halle (Saale).

Beiheft 4 (1998)

Geologie und Umweltschutz in Halle und Umgebung.- Vorträge zum Kolloquium des Umweltamtes der Stadt Halle (Saale) vom 22. Mai 1996, 103 S.; Halle (Saale).

Beiheft 5 (1998)

BACHMANN, G. H. [ed.] (1998): Epicontinental Triassic. International Symposium. Halle (Saale), Germany September 21-23, 1998, Abstracts.- 202 pp.; Halle (Saale).

Beiheft 6 (1998)

BACHMANN, G. H., BEUTLER, G. & LERCHE, I. [eds.] (1998): Excursions of the International Symposium on the Epicontinental Triassic. Halle (Saale), September 1998.- 250 pp., Halle (Saale).

Beiheft 7 (1999)

GÖSKE, J. (1999): Die mineralogisch-chemische Barriere. Fixierung der Anionen SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- und CrO_4^{2-} in Speichermineralen, unter dem Aspekt verschiedener Rohstoffmischungen, Abmischungen und Modellkonzentrationen.- 134 S., 126 Abb., 51 Tab. u. 40 S. Anhang; Halle (Saale).

Beiheft 8 (1999)

SIEBER, R. (1999): Untersuchungen zur Konstitution eines Portlandzementklinkers bei unterschiedlichen Brennbedingungen.- 100 S., 78 Abb., 23 Fotos u. 44 Tab.; Halle (Saale).

Beiheft 9 (1999)

BALASKE, P. H. (1999): Die marin beeinflussten Sande im Tertiär von Nachterstedt-Schadeleben in der östlichen Subherzynen Senke – Sedimentologie, Fazies und stratigraphische Bewertung.- 92 S., 42 Abb., 12 Tab. u. 9 Anl.; Halle (Saale).

Beiheft 10 (2000)

KLÖCK, W. (2000): Korrelierte mineralogische und chemische Untersuchungen an interplanetaren Staubteilchen und an Mikrometeoriten.- 156 S., 94 Abb. u. 30 Tab.; Halle (Saale).

Beiheft 11 (2000)

DEHNER, U. (2000): Ermittlung geogener Hintergrundwerte umweltrelevanter Spurenelemente im Flußgebiet der unteren Saale auf der Basis stratigraphisch bodenkundlich orientierter Untersuchungen.- 136 S., 33 Abb., 26 Tab. u. 27 S. Anhang; Halle (Saale).

Beiheft 12 (2000)

HELLMUND, M. & KOEHN, C. (2000): Skelettrekonstruktion von *Propalaeotherium hassiacum* (Equidae, Perissodactyla, Mammalia) basierend auf Funden aus dem eozänen Geiseltal (Sachsen-Anhalt, Deutschland).- 41 S., 5 Abb., 8 Tab., 7 Taf. u. 14 S. Anhang; Halle (Saale).

ERFURT, J. (2000): Rekonstruktion des Skelettes und der Biologie von *Anthracobunodon weigelti* (Artiodactyla, Mammalia) aus dem Eozän des Geiseltales.- 85 S., 17 Abb., 28 Tab. u. 12 Taf.; Halle (Saale).