

Die Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth

Stand der geowissenschaftlichen Forschung 1976, Projekte 2437, 2776 S*)

VON OSKAR SCHULZ¹⁾, Innsbruck und ERICH SCHROLL¹⁾, Wien

Mit 1 Abbildung

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blatt 200

Schlüsselwörter

<i>Gailtaler Alpen, Bleiberg-Kreuth</i>	<i>Trias</i>
<i>Pb-Zn-Lagerstätten</i>	<i>Gefügekunde</i>
<i>Vererzung, synsedimentär</i>	<i>Petrologie</i>
<i>Vererzung, schichtgebunden</i>	<i>Geochemie</i>

INHALT

Zusammenfassung	375
Summary	376
1. Einleitung	376
2. Stratigraphie	377
3. Tektonik	379
4. Mineralbestand	379
5. Erzkörper, stratigraphische Lage, Gefügetypen	380
6. Geochemische Daten	381
6.1. Nebengestein	381
6.2. Erzmineralisation	382
6.3. Bildungstemperatur und mineralisierende Lösungen	383
6.4. Sekundäre Mineralisation	383
7. Genetische Deutung	384
Literaturverzeichnis	385

Zusammenfassung

Im Rahmen des „International Geological Correlation Programme“ (IGCP), Projekt 73/I/76 wurden die geowissenschaftlichen Forschungen über die Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Gailtaler Alpen, Kärnten) neuerdings aufgenommen. Es wird versucht, den Stand der stratigraphischen, tektonischen, mineralogischen, petrologischen, gefügekundlichen und geochemischen Kenntnisse in Kurzform mitzuteilen.

Die Erzanreicherungen entstanden in der mittleren Trias synsedimentär in hauptsächlich vier zeitlich getrennten stratigraphischen Horizonten. Die schichtförmigen Erzlager, schichtgebundenen Erzgänge und Breccienerkörper verschiedener Form und Ausdehnung haben — abgesehen von den Veränderungen in der Oxydationszone — ihr wesentliches Gepräge im syngenetischen und diagenetischen Sedimentstadium erhalten. Die alpidische Gebirgsbildung verformte die Kalk-Dolomitgesteine samt ihren Erzkörpern durch Faltungen und Zerschertungen.

¹⁾ Anschrift der Verfasser: Univ.-Prof. Dr. OSKAR SCHULZ, Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck, Abteilung Geochemie und Lagerstättenlehre, Universitätsstraße 4, A-6020 Innsbruck;

W. Hofrat Univ.-Prof. Dr. ERICH SCHROLL, Geotechnisches Institut der BVFA-Arsenal, A-1030 Wien.

*) Projekte des FONDS ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG.

Die Erzmineralisation sollte bei Temperaturen überwiegend unter 150° C erfolgt sein. Dies zeigt die Mitwirkung von Mikroorganismen bei der Fraktionierung der Schwefelisotopen und unter anderem auch die Strontiumverteilung zwischen Calcit und Anhydrit an.

Über die Herkunft der lagerstättenbildenden Hauptelemente Zn, Pb, Fe, Ca, Mg, Ba, Si, F und S läßt sich generell noch keine eindeutige Aussage machen. Das Sulfat der Anhydrite und Baryte ist auf Grund der Isotopenzusammensetzung des Schwefels vom Meerwassersulfat abzuleiten. Die Isotopenzusammensetzung des Bleis ist für den gesamten Lagerstättenbereich vom Cordevol bis Jul innerhalb des Meßfehlers konstant, so daß für einen längeren geologischen Zeitraum eine homogene Bleizufuhr krustaler Herkunft angenommen werden muß. Die Pb-Zn-Mineralisation ist durch ein auffallendes Defizit an Cu, Ag, Hg, Ga, In und Sb und eine Konzentration an Ge, Tl und As gekennzeichnet.

Eine primäre extrusive Stoffzufuhr ist nach dem gegenwärtigen Stand nicht auszuschließen. Der Stoffinhalt der Lagerstätte ist über das normale Sedimentationsmaterial hinaus am ehesten von kaliumreichen sauren bis intermediären Gesteinen abzuleiten. In der Oxydationszone der Lagerstätte sind noch Mo und V als Mineralbildner sowie Cr und Re als Spurenelemente nachweisbar. Diese Elemente sind aus bituminösen Kalken und Dolomiten abzuleiten.

Summary

In the beginning of the geoscientific research work regarding the Pb-Zn-deposit Bleiberg-Kreuth (Gailtaler Alpen, Carinthia) advanced by the UNESCO-IGCP-project 73/1/76 the present knowledge of stratigraphy, tectonics, structural petrography, sedimentpetrology, mineralogy, and geochemistry is condensed briefly.

The ore mineralisation was formed in the Middel Trias syndesimally in four stratigraphic horizons. The stratiform ore beds, stratabound ore veins and bodies of brecciated ores in different forms and dimensions have conserved their original state essentially excepting changes of the oxidation zone. The Alpidic orogenesis deformed the limestone and dolomit bearing rocks inclusive the ore bodies by folding and shearing.

The ore mineralisations should be deposited at temperatures lower than 150° C. This shows the biochemical fractionation of the sulphur isotopes of the sulphides and amongst other indications the distribution of strontium between calcite and anhydrite. However, it is still impossible, to make definite statements about the origin of the main elements of the ore mineralisation. It is evident that the sulphur of the sulfate minerals can be derived from the sea water sulphate related to the Middel Triassic age according the results of isotopic investigations. The isotope composition of the lead seems to be constant within the error of the used mass spectrometric method for the whole area of the ore deposit and for all ore beds from Cordevol up to the Jul. Therefore it may be emphasized, that the supply of a lead of crustal origin comes from a homogenous source. The ore mineralisation is characterised by the remarkable deficit of Cu, Ag, Hg, Ga, In and Sb and the enrichment of Ge, Tl and As.

Basing on the present knowledge a extrusive supply of materials can't be excluded. The geochemical content of the ore deposit can be traced back probable from a acid up to a intermediäre potassium rich rock. The oxidation zone of the ore deposit contains Mo and V as mineral forming elements and Cr and Re as trace elements. This elements can be derived from the bituminous carbonate rocks, although there are known the occurrence of molybdenite.

1. Einleitung

Die Metallanreicherungen der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth liegen in mehreren stratigraphischen Horizonten mitteltriadischer Sedimentgesteine der Gailtaler Alpen. Die erzführenden Schichten gehören den Geosynklinalsedimenten nordalpiner Fazies an und treten in folgenden vier Abschnitten auf (Abb. 1): 1. Oberer Wettersteindolomit (etwa 250—200 m im Liegenden der Raibler Schichten), wahrscheinlich schon frühes Cordevol; 2. Oberer Wettersteinkalk (120—0 m, auch bis 200 m unter den Raibler Schichten), Cordevol; 3. Erste Karbonatgesteinserie (Zwischendolomit) der Raibler Schichten (ca. 5—25 m unter 2. Schiefer), Jul; und 4. Dritte Karbonatgesteinserie der Raibler Schichten, Jul (nahe dem Übergang zum Hauptdolomit).

Die genannten Schichten wurden samt ihren Erzkörpern durch die alpidische Orogenese in sehr verschiedene orographische Höhenlagen verstellt und sind demnach auch unterschiedlich erodiert. Die Faltungs- und Scherungstektonik kommt trotzdem im heutigen Landschaftsbild als Gefügerelief zum Ausdruck: Als Nordgrenze des Gailtales (570 m ü. d. M.) der Höhenzug der Villacher Alpe, Dobratsch (2166 m), nördlich davon das Hochtal von Bleiberg (925 m) und der Höhenzug des Bleiberger Erzberges (1583 m). Daran schließen die Höhenrücken des Altenberges (1287 m) und des Kellerberges (1167 m) an, die nach Norden in das Drautal auf 500 m abfallen.

2. Stratigraphie

Verfolgt man die Ausbildung der Sedimente in dem E—W-verlaufenden Berg-Tal-Relief von S nach N, so erkennt man im Wettersteinkalk, nicht aber in den darüberfolgenden Raibler Schichten bemerkenswerte Faziesunterschiede. Während im Dobratschmassiv (Dobratsch-Einheit) die in zwei übereinandergeschobenen tektonischen Schollen enthaltenen Wettersteindolomite und -kalksteine hauptsächlich eine Riff- und Riffschuttfazies darstellen, handelt es sich bei den an einem tektonischen Kontakt im N anschließenden äquivalenten, aber erzführenden Sedimenten im Bleiberger Tal und im Erzberg (Bleiberger Einheit) um Lagunensedimente. Weitere gleich alte, aber petrologisch anders geartete Sedimente der Wettersteinkalkserie treten im nördlich anschließenden, ebenfalls durch Störungen begrenzten Gebirgsabschnitt (Rubland-Einheit) auf. Sie gelten als Beckensedimente in Kellerberg-Fazies. Auch sie sind Pb-Zn-Erzträger und liegen im Bereich der Nachbarlagerstätte Rubland im Drautal. Die überlagernden Sandstein-, Ton-, Mergel-, Kalk- und Dolomitsedimente der Raibler Schichten sind in allen genannten Bereichen weitgehend ähnlich ausgebildet.

Eine erwähnenswerte stratigraphische Besonderheit sind die im Dobratschmassiv vom Anis bis an die Grenze Langobard (Ladin)—Cordevol (Karn) mehrfach auftretenden basischen Vulkanite und Tuffe, die auf zyklische Tätigkeit des Geosynklinalvulkanismus hinweisen.

Von der rund 900 m mächtigen Wettersteindolomit- und -kalkserie der Bleiberger Einheit sind hinsichtlich der Vererzung die oberen 250 m von Interesse. Es handelt sich um Bildungen in einem vielleicht maximal 20 m tiefen Seichtwasser. Das Auftreten von aussagekräftigen Zwischenschichten in Sedimentationszyklen und -rhythmen macht Meeresspiegelschwankungen mit Trockenlegungen wahrscheinlich. Charakteristische Sedimente sind Algenstromatolithe (inter- bis supratidal), grüne Mergel, Resedimentbreccien und -psammite und Feinschichtbänke, die alle innerhalb von massigen, grobbankigen, z. T. Megalodonten-führenden Ca-Mg-Peliten (subtidal) auftreten. Für einen Teil der grünen Mergel, nämlich im stratigraphischen Niveau 250—200 m unter den Raibler Schichten, wird auf Grund des Mineralbestandes (u. a. Dihexaederquarz, Apatit, Zirkon, Perovskit) Tuffitherkunft vermutet.

Eine merkwürdige Besonderheit für den oberen Wettersteinkalk stellen lokal begrenzte resedimentierte Blockwerksbreccien sowie auch ausgedehnte Areale mit Deformationsbreccien dar. Beide Bildungen sind auch stellenweise im 1. Zwischendolomit der Raibler Serie, und Resedimentbreccien weitverbreitet im Grenzbereich zum Hauptdolomit entwickelt.

Die Raibler Schichten („Cardita-Schichten“) beginnen über dem Wettersteinkalk mit einer 20 m mächtigen Schiefertonsserie (= 1. Schiefer), die sich in ähnlicher Form innerhalb der etwa 260 m mächtigen Abfolge noch zweimal wiederholt (2. und

3. Schiefer). Diese Tonhorizonte sind durch rund 70 m mächtige Karbonatgesteins-serien voneinander getrennt: Erster Zwischendolomit; Plattenkalk und Zweiter Zwischendolomit; dritte Karbonatgesteinsserie. Der Übergang zum Hauptdolomit ist infolge weitgehend ähnlicher Kalk-Dolomitgesteine unscharf.

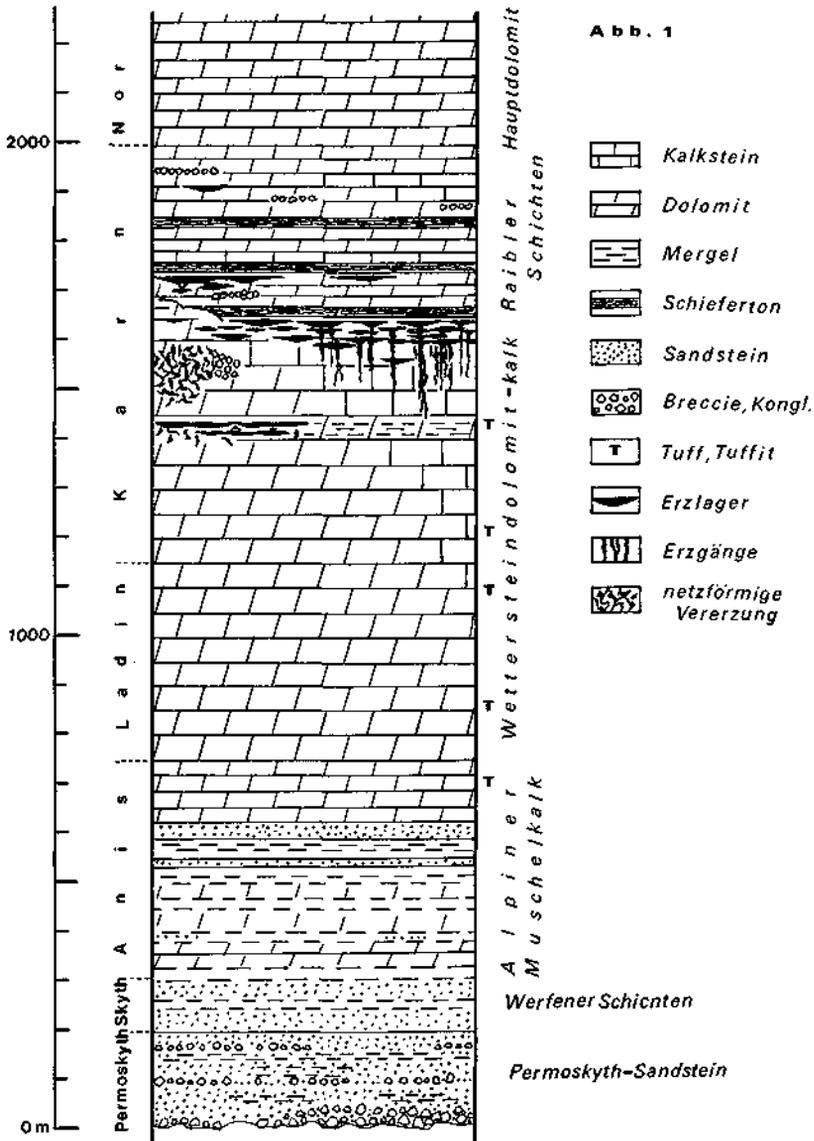


Abb. 1: Schematisches Säulenprofil durch die unter- und mitteltriadische Schichtfolge bei Bleiberg; unter der Vererzung nach Befunden außerhalb der Lagerstätte (nach COLINS und NACHTMANN 1974)

3. Tektonik

Faltungen und Zerschuerungen mit Blockbewegungen haben den gesamten Sedimentkomplex mit Wettersteindolomit, Wettersteinkalk, Raibler Schichten und Hauptdolomit samt seinem Inventar an Schicht-, Gang-, und Breccienerkörpern gemeinsam erfaßt. Es sind zwei Hauptformungsakte zu unterscheiden.

Im gesamten, E—W mindestens 10 km langen Lagerstättenbereich herrscht als statistisch bevorzugtes Schichtstreichen WNW—ESE bis NW—SE. Aus dem kontinuierlich sich ändernden SW-Einfallen innerhalb einzelner Schollen und auch aus den unterschiedlichen s-Neigungswinkeln untereinander gestörter Teilbereiche zeigt sich eine fast durchgehend nachweisbare Tautozonalität der Schichten um die β -Achse NW—SE, mit Streuung bis WNW—ESE, horizontal. Mit großer Wahrscheinlichkeit ergeben sich diese β durch Einengungen mit den Hauptformungsebenen SW—NE bzw. SSW—NNE und entsprechen demnach symmetrologisch einer Großfaltung mit Achse B = NW—SE bis WNW—ESE, horizontal. An diesem tektonischen Formungsakt sind auch Scherkluffgruppen der Lagen hOl und hK0 beteiligt.

Eine nachfolgende, also jüngere S—N-Einengung wirkte sich hauptsächlich im schon existierenden Kluffgefüge sowie mit der neuerlichen Anlage vor allem von hOl und hK0-Kluffen dieses zweiten Formungsaktes aus. Dadurch kam eine Zerstückelung in Blöcke, Schollen und Schuppen zustande. Dieser Formung mit B = E—W, horizontal, sind die heute morphologisch auffallenden E—W-streichenden „Längskluffe“ sowie die NW- und NE-streichenden „Diagonalkluffe“ des Bleiberger Hochtales und des Erzberges mit ihren jüngsten und morphologisch wirksamen Verschiebungen zuordenbar. In der Faltungstektonik des Lagerstättenbereiches dagegen war dieser Formungsakt nur von geringem Einfluß: Umschwenkungen des Schichtstreichens von NW auf E—W sind in relativ wenigen Abschnitten geprägt.

Bemerkenswert sind außerdem, vor allem im westlichen Kreuther Bereich, steilachsige Verformungen, die im Grundriß betrachtet zu wellenförmigen Verbiegungen und S-förmigen Verfaltungen der Schichtung geführt haben. Die im Dobratschmassiv analysierbaren B-Achsen mit 30° E- und 45° NE-Einschieben wirken sich offenbar in der Bleiberger Lagerstätte nicht merklich aus.

Es sei schon hier betont, daß die im Ostteil der Lagerstätte (Reviere Bleiberg-Rudolf, Stefanie, Franz Josef) existierenden Erzgänge symmetrologisch keinem der analysierbaren, alpidischen Formungspläne zuordenbar sind und ihre Anlage schon submarintriadischer Tektonik verdanken.

4. Mineralbestand

Nach den Makro- und Mikrogefügen der s-konkordanten und diskordanten Erzkörper und nach dem Auftreten der Minerale im Sedimentverband vor, während und nach syndiagenetischen Verformungen gelingt es, ein Schema der Mineralparagenesen der einzelnen Abschnitte zu geben. Sichere posttektonische Kristallisation der für die Lagerstätte typischen „Primärminerale“ scheint eine große Seltenheit zu sein.

Zu den submarinen Primärausscheidungen gehören: Zinkblende, ZnS, und Wurtzit, ZnS, z. T. Ge- und Cd-reich; Bleiglanz, PbS; Markasit, FeS₂, und Pyrit, FeS₂, Melnikovit („Gelpyrit“); Quarz, SiO₂; Fluorit, CaF₂; Baryt, BaSO₄; Calcit, CaCO₃, und Dolomit CaMg (CO₃)₂. In den Rahmen syndiagenetischer Bildungen gehören außer den genannten Mineralen noch Anhydrit, CaSO₄; Coelestin, SrSO₄; Strontianit, SrCO₃, Calciostrontianit = Emmonit.

Syn- bis posttektonisch treten in jüngsten Scherklüften in Mg-reichen Gesteinsarealen auf: β -Palygorskit; Jordisit und Molybdänglanz, MoS_2 ; vielleicht auch Gips.

In der geologisch und morphologisch sehr verschieden tief reichenden Oxydationszone gibt es viele der bekannten Kristallstufen von Bleiberg. Mineralisationen in z. T. karstartigen, schlauchförmigen Hohlräumen reichen vor allem im Ostteil der Lagerstätte bis 300 m, in Einzelfällen auch bis zu 500 m unter die Talsohle: Cerussit, PbCO_3 ; Plumbo-Calcit; Anglesit, PbSO_4 und Baryto-Anglesit; Wulfenit, PbMoO_4 ; Ilsemannit Mo_3O_8 (+aq. + H_2SO_4); Ferrimolybdit, $\text{Fe}_2[\text{MoO}_4]_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; Descloizit, $\text{PbZn}[\text{OH}/\text{VO}_4]$; Vanadinit, $\text{Pb}_5[\text{Cl}(\text{VO}_4)_3]$; Hemimorphit, $\text{Zn}_4[(\text{OH})_2/\text{Si}_2\text{O}_7] \cdot \text{H}_2\text{O}$; Smithsonit, ZnCO_3 ; Hydrozinkit, $\text{Zn}_3[(\text{OH})_3/\text{CO}_3]_2$; Loseyit, $\text{Mn}, \text{Zn}, \text{Mg}[(\text{OH})_3/\text{CO}_3]_2$; Greenockit, CdS ; Leadhillit, $\text{Pb}_4[(\text{OH})_2/\text{SO}_4(\text{CO}_3)_2]$; Schwefel, S; Goethit, $\alpha\text{-FeOOH}$ und Lepidokrokit, $\gamma\text{-FeOOH}$; Calcit, CaCO_3 ; Gips, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; Baryt, BaSO_4 ; Melantherit, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; Rozenit, $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; Bianchit, $(\text{Zn}, \text{Fe})\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; Epsomit $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; Pyrolusit, $\beta\text{-MnO}_2$; Manganomelan (Psilomelan, $(\text{Ba}, \text{H}_2\text{O})\text{Mn}_5\text{O}_{10}$ und Wad); Woodruffit (Zn -Todorokit), $(\text{Mn}, \text{Zn})_8(\text{O}, \text{OH})_{16} + 2\text{H}_2\text{O}$; Groutit, MnHO_2 .

Das Verhältnis $\text{Zn} : \text{Pb}$ liegt für die Gesamtlagerstätte etwa wie 5 : 1 und entspricht demnach auch annähernd dem der CLARKE-Werte. Primäre Teufenunterschiede in den Erzgängen des obersten Wettersteinkalkes sind mineralogisch angedeutet. Diesbezügliche Spurenelementuntersuchungen können eine präzisere Aussage liefern. Wohl aber sind in den stratigraphisch-zeitlich verschiedenen Erzkörpern Unterschiede in der Mineralparagenese und in den Gefügen festzustellen. Auch gewisse regionale Unterschiede scheinen vorhanden zu sein.

5. Erzkörper, stratigraphische Lage, Gefügetypen

Die Erzführung liegt regional gesehen nicht überall in allen prädestinierten stratigraphischen Horizonten vor. Eine nahezu vollständige Entwicklung der Sediment- und Erzabfolge gibt es in den Grubenrevieren von Kreuth, wo mit Ausnahme des höchsten Erzhorizontes der Raibler Serie alle anderen prädestinierten Niveaus als erzführend bekannt sind. Die Mineralisation kann grob eingeteilt werden in die Gefügetypen schichtförmige Erzlager, s-diskordante, aber an ein Schichtpaket gebundene Erzgänge und Breccienerzkörper, doch sind die Ausbildungen in den einzelnen Horizonten doch sehr vielgestaltig.

Im Oberen Wettersteindolomit sind mehrere Lagererzkörper mit Mächtigkeiten von z. T. über einen Meter und flächiger Ausdehnung von gut 100 m im Bereich zwischen den tuffverdächtigen grünen Mergelbänken („Maxer Bänke“) entwickelt. Dazu gibt es in deren Nahbereich auch netzförmige Mineralisationen in den Fugen einer Deformationsbreccie.

An die oberen 200 m, vor allem aber an die obersten 120 m der Wettersteindolomit- und -kalkserie gebunden, treten einerseits eine Reihe von s-konkordanten stratiformen, rinnenförmigen Erzlagern auf, mit Ausdehnungen bis zu mehreren hundert Metern Länge, bis etwa 30 m Breite und bis zu mehreren Metern Mächtigkeit; andererseits gibt es subparallele diskordante Erzgänge und damit zusammenhängende Zerrüttungszonen gelegentlich mit Mächtigkeiten bis zu 20 m, bis 150 m stratigraphischer Tiefe und bis zu einigen hundert Metern Längserstreckung. Lager und Gänge stehen in mannigfacher Weise miteinander in Beziehung, vor allem münden die Gänge symmetrisch oder asymmetrisch in die Lager. Es fällt auf, daß dieses System von erzführenden Rinnen und Gängen so gut wie nur im 6 km langen östlichen Bleiberger Erzrevier entwickelt ist, während die westlichen Abschnitte zwar dieselben oblongen

Lagererkörper enthalten, jedoch nicht von Erzgängen begleitet werden. Lokal sind Gangbereiche netzförmig wegsamkeitsbedingt mineralisiert.

Regional beschränkt gibt es auch reichlich ZnS-Vererzungen in nachweislich triadisch-syndiagenetisch zu Deformationsbreccien zerbrochenen Sedimentarealen. Dieser bevorzugt im Westen der heute erschlossenen Lagerstätte in jüngster Zeit wirtschaftlich genutzte Vererzungstyp ist eine wesentliche Stütze des derzeitigen Bergbaues.

Einen weiteren wirtschaftlichen Schwerpunkt bilden die flächig primär auf einige hundert Meter ausgedehnten, oft über 5 m mächtigen stratiformen Erzlager im 1. Zwischendolomit der Raibler Schichten. Hier begleiten teils vererzte Deformationsbreccien, teils grobklastische Resedimentbreccien die Erzlager im Liegenden.

Eine abermalige Vererzung in der Art des zuletzt genannten stratiformen Typs tritt, bisher nur im Rubland-Stollen und in diesem zugehörigen Obertagsgelände bekannt, in den obersten Dolomitgesteinen der Raibler Schichten auf. Sie ist erst in Aufschließung begriffen.

Neben der Form und Lage der Erzkörper sind die Erzgefüge im kleinen sowie ihre Beziehungen zu den Anlagerungsgefügen des Begleitsedimentes von ausschlaggebender Bedeutung für genetische Betrachtungen. Wenn auch mehrdeutige Gefüge wie kolloforme Lagenbaue ursprünglicher Gele, diagenetische Sammelkristallite und Verdrängungen weitaus überwiegen, so kommt den in den Erzlagern doch oft nachweisbaren typischen sedimentären Erzgefügen die wichtigste Stellung zu.

Die gesamten primären Erz- und Begleitminerale, nämlich Zinkblende und Wurtzit, Bleiglanz, Markasit, Pyrit, Calcit, Dolomit, Quarz, Baryt, Fluorit, auch Tonminerale und Bitumen, bilden oft Feinschichten, Schräg- und Kreuzschichten, auch raumrhythmische Parallelgefüge, resedimentäre und polare Abfolgen. Geopetale Anordnung mancher feinschichtiger Erzschlamm erlaubt die genetisch wichtige Feststellung, daß vor ihrer Anlagerung keine orogen-tektonische Verstellung der Schichten erfolgt war.

Eine heikle Frage ist die nach interner oder externer Erzsedimentation. Tatsächlich sind beide an für sie typischen Merkmalen erkennbar, doch wird in vielen Fällen infolge Umkristallisationen, Metasomatosen und lokalen Lösungsstoffumsätzen eine entscheidende Beurteilung erschwert oder verhindert. Als genetisch besonders wichtiger Befund gilt die seltene feinschichtig-geopetale Internanlagerung von Erzschlamm im Gangspaltensystem des oberen Wettersteinkalkes in Bleiberg und in Lösungshohlräumen innerhalb netzförmig mineralisierter Deformationsbreccien. In beiden Fällen konnte daraus das intratriadische Vererzungsereignis abgeleitet werden.

Ein für die Deutung als Externsediment wesentliches Kriterium ist der, wenn auch relativ selten geglückte Nachweis allmählicher Übergänge von feinschichtigem Erzschlamm in erzfreien Karbonatschlamm u. zw. im Liegenden, Hangenden und in der streichenden Fortsetzung von Erzlagern, z. T. auch unter Beibehaltung der Feinschichtung.

Schöne Beweise für die ursprüngliche Zusammengehörigkeit von Metallausscheidungen und normalem Sediment liefern die gemeinsamen syndiagenetischen Verformungen gefalteter und ruptueller Art sowie weiters die polaren und geopetalen Sedimentbauzonen mit wechselnden Abfolgen von Erzpelit und Karbonatpelit und mit Erzpeliten verschiedener mineralogischer Zusammensetzung.

6. Geochemische Daten

6.1. Nebengestein

Die sedimentären Nebengesteine besitzen durchschnittliche Gehalte an jenen Elementen, die die Erzmineralisation charakterisieren. Je nach Tonanteil und Bitumengehalt

erhöht sich der Gehalt an Spurenmetallen. Bitumöse Kalke, vor allem aber Dolomite, sind relativ reicher an Blei, Zink, Molybdän, Vanadium oder Nickel.

Die Gesteine des oberen Wettersteinkalkes in Lagunefazies, die sowohl konkordante als auch diskordante Erzmineralisation aufweisen, zeichnen sich durch erhöhte Strontiumgehalte aus. Um die Erzmineralisation ist eine verschieden weit ausgebildete primäre geochemische Höfen festzustellen: in der flächigen Verlängerung der Leitstruktur bis 100 m und mehr, quer zur Leitstruktur 0—5 m. Dagegen konnten in mergeligen Einlagerungen, wie den grünen illitführenden Mergelbänken der lagunaren Erzkalkfazies oder im bitumösen, schwach tonigen Dolomit im Bereich schichtgebundener Erzlager der Raibler Schichten schichtbeständig erhöhte Zinkkonzentrationen gefunden werden. Ähnlich verhält sich Fluor. Auch um Erzkörper in Deformationsbreccien lassen sich z. B. Zn, Fe, F, Si sogar in Mineralform nachweisen.

Die Geochemie der Karbonatgesteine der Trias ist erst in ihren Anfängen bekannt. Metallzufuhren episodischen Charakters sind nachweisbar. Diagenetische Mineralisationslösungen verschiedener genetischer Stadien führten zu lokaler, manchmal starker metasomatischer Veränderung des Begleitsedimentes.

6.2. Erzmineralisation

Die primäre sulfidische Erzmineralisation ist durch eine erhebliche Anreicherung der Metalle Zn und Pb gekennzeichnet. Bis 1976 wurden rund 2,6 Millionen Tonnen Zn- und Pb-Metall abgebaut. An Begleitmetallen dieser Sulfide sind in relativ höheren Konzentrationen enthalten vor allem Fe mit rund 2% (als Marakasit und Pyrit) oder im Zinksulfid (von fast Fe-frei bis 1%), ferner Cd und Ge (im Zinksulfid), As und Tl (in allen Sulfiden, ohne bisher nachweisbare Erzminerale); in geringeren oder sehr geringen Konzentrationen sind enthalten im Bleiglanz: Sb, Ag, Cu, Bi und Sn, in der Zinkblende: Mn, Ni, Cu, Ag, Ga, In und Sn sowie in Eisensulfiden: Ni, Co, Mo. Der Gehalt an Ag und Cu ist im Zinksulfid in der Regel größer als im Bleierz.

Gegenüber der Mineralisation vulkanogen-sedimentärer Kieslagerstätten oder intrusiv magmatogen-hydrothermalen Vererzungen fällt der geochemische Inhalt der Lagerstätte durch das außerordentliche Defizit an Cu, Ag, Hg, Ga, In und Sb auf.

Abgesehen von Calcit und Dolomit, deren Mineralausscheidung mit dem jeweiligen Nebengestein in Verbindung zu setzen ist, wird in der Gangart Ba, F und Si angereichert. Eine Sr-Mineralisation ist ausschließlich an die Lagunafazies gebunden. Der Strontiumgehalt der Gangartkarbonate erscheint überwiegend vom Nebengestein bestimmt, so daß Sr durch ein besonderes Ereignis nur untergeordnet zugeführt worden sein sollte. Barium wird fast nur in der Erzmineralisation des obersten Wettersteinkalkes und in der dritten Karbonatgesteinsserie der Raibler Schichten mineralisiert. Fluor fehlt keiner Erzmineralisation und ist zusammen mit Zink am intensivsten in den westlichen Teilen der Lagerstätte (Lagunafazies des Wettersteinkalkes sowie Raibler Schichten) angetroffen worden. Quarz ist in Form meist nur dezimikronkörniger Kriställchen und hypidiomorphkörniger Aggregate vor allem in allen Erzpeliten angereichert.

Die Neben- und Spurenmetalle zeigen in den Erzmineralien erhebliche Konzentrationsschwankungen, die oft über mehrere Zehnerpotenzen gehen können, wie z. B. Ge von 0,00005 bis 0,3%. Sulfidanreicherungen, die nur in geringem Maße von diagenetischen Veränderungen betroffen worden sind, tendieren zu Gehalten, die dem Lagerstättendurchschnitt eher entsprechen. Es zeichnen sich sowohl geochemische Unterschiede zwischen stratigraphisch-zeitlich verschiedenen Erzkörpern als auch lokal, bzw. regional ab.

Die Analyse der Bleiisotopen hat für alle Bleiglanzproben, gleich ob sie aus sedimentären oder diskordanten Erzkörpern stammen, vom Wettersteindolomit bis zur 3. Karbonatgesteinsserie der Raibler Schichten, innerhalb der Fehlergrenzen keine signifikanten Unterschiede ergeben. Das Blei ist daher innerhalb des gesamten Lagerstättenbereiches als isotopisch-homogen zu bezeichnen und von einem Milieu und Ereignis abzuleiten, das eine solche Homogenisierung ermöglicht. Da der Uran- und Thoriuminhalt des Nebengesteins gering ist, dürften sich auch bei spät- oder postdiagenetischen Umlagerungsmineralisationen keine Veränderungen in der Bleiisotopenzusammensetzung nachweisen lassen. Je nach Entwicklungsmodell ergäbe sich für das Blei ein Modellalter von 300 Ma, so daß der schwache B-Typ (Typ Bleiberg) bestätigt erscheint. Die Isotopenzusammensetzung entspricht einem Blei krustaler Entwicklung.

Die Schwefelisotopen-Untersuchung ergab für grauen Anhydrit mit sedimentären Strukturen ein Schwefelisotopenverhältnis von $\delta^{34}\text{S} + 16\text{‰}$, entsprechend dem Schwefelisotopenverhältnis im Meerwassersulfat zur Zeit des Ladin/Karn. Blauer Anhydrit gibt einen positiveren Wert (bis 3‰ mehr). Baryte aus diagenetischen Paragenesen und Gangmineralisationen tendieren zu erniedrigten $\delta^{34}\text{S}$ -Werten (bis $+ 7,8\text{‰}$). Die Schwefelisotopenverteilung in den Sulfiden weist auf mikrobakterielle Mitwirkung bei der Sulfatreduktion. Syngenetische Kügelchen und ooidähnliche Aggregate von Zinkblende enthalten bevorzugt leichte Schwefelisotope. Diagenetische Schalenblenden weisen stark negative Werte auf und deuten auf ein offenes System für späte Primärmineralisationen.

6.3. Bildungstemperatur und mineralisierende Lösungen

Wie schon die Mitwirkung von Mikroorganismen bei der Lagerstättenbildung erkennen läßt, sollte die Bildungstemperatur niedriger als 150°C gewesen sein. Auf einen niedrigen Temperaturbereich deutet auch die Strontiumverteilung im Calcit und Anhydrit. Temperaturbestimmungen mit Hilfe von Flüssigkeitseinschlüssen oder der Verteilung leichter Isotope fehlen zur Zeit allerdings noch. Dieser Temperaturbereich stünde auch nicht mit der Annahme im Widerspruch, daß die Lagerstätte nach ihrer synsedimentären Anlage einer thermischen Belastung durch Überlagerung oder Tiefenversenkung ausgesetzt gewesen sein könnte, in deren Gefolge auch spät- und postdiagenetische Umlagerungsprozesse etwa bis zur Kreide nicht unmöglich wären. Allerdings sollte man dann eher ein geschlossenes System und eine Anreicherung der schweren Schwefelisotope erwarten.

Es ist wahrscheinlich, daß als unmittelbar mineralisierende Lösungen Meerwasser, bzw. von subsalinarem Charakter und diagenetisch verändertem Meerwasser in Betracht kommen. Der in der primären Erzmineralisation ausgeschiedene Stoffinhalt ist über das normale Sedimentationsgut hinaus von kaliumreichen, sauren bis intermediären Gesteinen abzuleiten: aus Feldspäten Blei, Barium und Thallium oder aus Glimmern Zink und Fluor.

6.4. Sekundäre Mineralisationen

In der sekundären Mineralisation der Oxydationszone kommen neben den Elementen der primären Erzmineralisation noch Molybdän und Vanadium und als Spurenelemente Chrom und Rhenium hinzu. Wie die Spurenanalyse der Blei- und Zinkerze zeigt, sind vor allem Mo und V in der primären Mineralisation nicht angereichert. Sie sind aber Spurebestandteile des Nebengesteins. Sie sind vorwiegend an die Tonsubstanz bzw. an das Gesteinsbitumen gebunden. Bituminöse Kalke und Dolomite können bis zu

20 ppm V und 6 ppm Mo enthalten. Das Molybdän erscheint ohne unmittelbaren Zusammenhang mit den Erzlösungen mobilisiert und dürfte entweder durch Reduktion als Sulfid vorangereichert oder ähnlich wie Vanadium oder Chrom allein durch Oxydation zur Bildung von Wulfenit Anlaß gegeben haben.

7. Genetische Deutung

Nach heutigen Kenntnissen ist es noch nicht möglich, alle bisher geäußerten Ansichten zu einer einheitlichen Auffassung zu vereinen. Zur möglichen Klärung wurden schließlich die Pb-Zn-Forschungen im Rahmen des IGCP-Projektes 73/I/6 *) angesetzt.

Allgemein wird heute eine triadische Metallanreicherung nicht mehr angezweifelt. Reichliche sedimentäre Erzgefüge und enge, z. T. auch gemeinsame sedimentologische Beziehungen von Erzsediment und Begleitsediment bestätigen das Auftreten der Erz- und Begleitminerale als Fremdparagenese in vier stratigraphisch getrennten, also voneinander unabhängigen Vererzungszeiträumen. Chemische Erzanlagerungsgefüge dominieren weitaus gegenüber mechanischer Anlagerung. Die diskordanten Erzgänge und auch alle anderen Hohlraumvererzungen sind als syndiagenetische Bildungen i. w. S. identifizierbar. Somit ist die Vererzung, ausgenommen die Sekundärbildungen der Oxydationszone, fast ausnahmslos vortektonischer Entstehung, bezogen auf die alpidische Orogenese.

Verschiedene Auffassungen bestehen z. T. noch über die externe oder interne Konzentration der Metalle zu Erzkörpern, über die Ursache der submarinen, diskordanten Gangspaltenbildungen, vor allem aber über die Herkunft der Metalle.

Es liegt nahe, den zeitlich vor der Vererzung in nah und fern in Erscheinung getretenen Geosynklinalvulkanismus für eine mehrmalige Hydrothermenzufuhr in ein Flachmeer verantwortlich zu machen, doch können im Falle einer extrusiven Stoffanlieferung höchstens indirekte Zusammenhänge mit einem Magmenherd in der Tiefe bestehen. Zumindest eine Mitwirkung von vulkanogenem CO₂ ist zu erwägen. Auch die Sammlerwirkung von in Fugensystemen zirkulierenden salzreichen warmen Wässern könnte zu metallhaltigen Lösungen geführt haben, die dann intern oder extern ihren Stoffbestand zur Ausfällung gebracht haben könnten; auch in diesem Fall wäre ein indirekter Zusammenhang mit einem magmatischen Herd möglich. Über die Bedeutung des periadriatischen Lineaments in der Trias, in dessen Nahbereich heute die Pb-Zn-Großlagerstätten (von W nach E) Salafossa, Raibl, Bleiberg und Miß gelegen sind, können erst Vermutungen geäußert werden.

Die Frage nach der Wirksamkeit eines Paläowasserträgers, etwa im Permoskyth, ist für Bleiberg-Kreuth noch nicht abgeklärt, wenn auch wenig wahrscheinlich. Weiters wurde noch die Möglichkeit der Metallherkunft, nach gewisser Voranreicherung, aus dem Sediment selbst, nämlich durch Residualbildungen als Folge von Trockenlegungen unter evaporitischen Bedingungen erwogen. Die Ansicht, daß die die Lagerstätte bildenden Elemente ausschließlich vom Festland durch Verwitterungslösungen zu beziehen seien, müßte erst glaubhaft gemacht werden. Allenfalls wird auch die Mitwirkung von Porenwässern zu berücksichtigen sein, insbesondere im Rahmen von diagenetischen Elementverschiebungen und Stoffumsätzen.

*) Base metals in Middle Europe (Alps and adjacent platforms) and the Mediterranean. Seit 1977 erweitert: Correlation of diagenetic features in ore-occurrences of base metals in dolomites and limestones: L. KOSTELKA.

Die hier dargelegten Ergebnisse stammen einerseits aus den derzeit im Gang befindlichen Forschungen (KOSTELKA-SCHROLL-SCHULZ), andererseits aus den Publikationen von BECHSTÄDT, HOLLER, KANAKI, KÖPPEL, KOSTELKA, MEIXNER, RAINER, SCHROLL, SCHULZ und SIEGL. In den nachfolgend genannten Arbeiten sind noch weitere Hinweise auf einschlägige Literatur zu finden.

Literaturverzeichnis

- BECHSTÄDT, TH.: Lead-Zinc Ores Dependent on Cyclic Sedimentation (Wetterstein-Limestone of Bleiberg-Kreuth, Carinthia, Austria). — Mineral. Deposita, 10, S. 234—248, Berlin 1975.
- BECHSTÄDT, TH., BRANDNER, R. und MOSTLER, H.: Das Frühstadium der alpinen Geosynklinalentwicklung im westlichen Drauzug. — Geol. Rundschau, 65, 2, S. 616—648, Stuttgart 1976.
- CARDITSCH-LOARTE, L. A. und SCHROLL, E.: Zur Geochemie des Strontiums in den Blei-Zink-Mineralisationen vom Typ Bleiberg-Kreuth und ihre Beziehung zur Erzgenese. — Proceedings of the 2nd International Symposium on the Mineral Deposits of the Alps. Geologija, 15, S. 337—342, Ljubljana 1972.
- COLINS, E. und NACHTMANN, W.: Die permo-triadische Schichtfolge der Villacher Alpe (Dobratsch), Kärnten. — Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 4, 2, S. 1—43, Innsbruck 1974.
- HOLLER, H.: Der Blei-Zinkerzbergbau Bleiberg, seine Entwicklung, Geologie und Tektonik. — Carinthia II, 143, S. 35—46, Klagenfurt 1953.
- KANAKI, F.: Die Minerale Bleibergs (Kärnten). — Carinthia II, 82./162, S. 7—84, Klagenfurt 1972.
- KÖPPEL, V. and KOSTELKA, L.: The isotopic composition of ore lead from Bleiberg, Austria. — Preprint, Amsterdam 1976.
- KOSTELKA, L. und SIEGL, W.: Der triadische Geosynklinalvulkanismus und die Blei-Zinkvererzung in den Drau-Kalkalpen. — Atti del Symposium Internazionale sui Giacimenti Minerari delle Alpi, Vol. 1, S. 127—134, Arti grafiche „Saturnia“, Trento 1966.
- KOSTELKA, L.: Beiträge zur Geologie der Bleiberger Vererzungen und ihrer Umgebung. — Carinthia II, Sonderheft 28, Festschrift Kahler, S. 283—289, Klagenfurt 1971.
- MEIXNER, H.: Zur Moybdänmineralführung in Kärntner Pb-Zn-Lagerstätten. — Der Karinthin, 31/32, S. 133—138, Klagenfurt 1956.
- MEIXNER, H.: Die Minerale Kärntens, 1. Teil. — 21. Sonderheft Carinthia II, pp 147, Verlag des Naturw. Vereins für Kärnten, Klagenfurt 1957.
- RAINER, H.: Diskussionsbemerkungen zu „Entstehung von Blei-Zinkerzlagerstätten in Karbonatgesteinen“. — Diskussionstagung München 1956. Berg- und Hüttenm. Monatsh., 102, S. 235—237, Wien 1957.
- SCHROLL, E.: Über die Anreicherung von Mo und V in der Hutzzone der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth in Kärnten. — Verh. Geol. B.-A. 4—6, S. 1—20, Wien 1949.
- SCHROLL, E.: Über Minerale und Spurenelemente, Vererzung und Entstehung der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth/Kärnten in Österreich. — Mitt. Österr. Mineral. Ges., Sonderheft 2, S. 1—60, Wien 1953.
- SCHROLL, E.: Zur Korrelation geochemischer Charakteristika der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth mit anderen schichtgebundenen Vererzungen in Karbonatgesteinen. — Schriftenreihe der Erdwissensch. Komm. Band 3, Österr. Akad. Wiss. (im Druck).
- SCHROLL, E. und WEDEPOHL, K. H.: Schwefelisotopenuntersuchungen an einigen Sulfid- und Sulfatmineralen der Blei-Zink-Erzlagerstätte Bleiberg/Kreuth, Kärnten. — Tschermaks Min. Petr. Mitt. 17, S. 286—290, Wien 1972.
- SCHULZ, O.: Die Pb-Zn-Vererzung der Raibler Schichten im Bergbau Bleiberg-Kreuth (Grube Max) als Beispiel submariner Lagerstättenbildung. — Carinthia II, 22. Sonderheft, S. 1—93, Verlag des Naturw. Vereins für Kärnten, Klagenfurt 1960.
- SCHULZ, O.: Beispiele für syndimentäre Vererzungen und paradiagenetische Formungen im älteren Wettersteindolomit von Bleiberg-Kreuth. — Berg- und Hüttenm. Monatsh. 105, 1, S. 1—11, Wien 1960.
- SCHULZ, O.: Die diskordanten Erzgänge vom „Typus Bleiberg“ syndiagenetische Bildungen. — Symposium Internazionale sui Giacimenti Minerari delle Alpi. Vol. 1, S. 149—162. Arti grafiche „Saturnia“. Trento 1966.

- SCHULZ, O.: Die synsedimentäre Mineralparagenese im oberen Wettersteinkalk der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten). — *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* 12, S. 230—289, Wien 1968.
- SCHULZ, O.: Erdwissenschaftliche Forschung im Dienste des Bergbaues Bleiberg. — *Berg- und Hüttenm. Monatsh.*, 120, 10, S. 463—465, Wien 1975.
- SIEGL, W.: Zur Vererzung der Pb-Zn-Lagerstätten von Bleiberg. — *Berg- und Hüttenm. Monatsh.* 101, S. 108—111, Wien 1956.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 1. 2. 1977.