

# **Zur Korrelation geochemischer Charakteristika der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth mit anderen schichtgebundenen Vererzungen in Karbonatgesteinen**

E. SCHROLL\*)

## **Summary**

Bleiberg-Kreuth. Geochemical correlation of stratiform lead zinc ore deposits

The present knowledge of the geochemistry of the lead zinc ore deposit Bleiberg-Kreuth is displayed in relation to other ore mineralisations of the Eastern Alpine Trias and other ore provinces. The importance of the geochemical datas is discussed with regard to the problems of the ore genesis.

## **Zusammenfassung**

Das derzeitige Wissen\*\*) über die Geochemie der Blei-Zink-Erzlagerstätte Bleiberg-Kreuth wird im Vergleich mit anderen Vorkommen der ostalpinen Trias und anderen Erzprovinzen dargestellt und die Bedeutung dieses Datenmaterials für die Klärung der Lagerstättengengese diskutiert.

## **1.0 EINFÜHRUNG**

In der vorliegenden Abhandlung sollen die bisherigen Kenntnisse über die Geochemie der Blei-Zink-Erzlagerstätte Bleiberg-Kreuth zusammengefaßt und mit anderen schichtgebundenen Lagerstättentypen verglichen werden. Es soll vor allem aufgezeigt werden, welches Datenmaterial für die geochemische Korrelation noch zusätzlich erforderlich ist, und dazu anregen, dieses im Rahmen eines internationalen Korrelationsprogrammes zu schaffen.

Die geochemische Charakterisierung einer Lagerstätte ist zweifellos keine leichte Aufgabe, da unter der Voraussetzung hinreichender Kenntnis der geologischen, stratigraphischen, sedimentologischen und mineralogischen Grundlagen ein umfangreiches geochemisches Datenmaterial erforderlich ist, das den Gesetzen der Statistik genügen soll. Umso mehr ist es notwendig im Rahmen eines Korrelationsprogrammes ein geochemisches Charakterisierungsschema zu erarbeiten.

Erforderlich erscheint u. a.:

- a) Charakterisierung der Geochemie des Nebengesteins.
- b) Qualität und Quantifizierung des chemischen Inhaltes der Erzkörper, total und aufgegliedert nach Mineralarten und deren Mineralisationsabfolge einschließlich des Verhaltens koexistierender Mineralparagenese
  - Haupt- und Nebenelemente
  - Spurenelemente
  - Lösungseinschlüsse in Mineralen.

\*) Prof. Dr. E. SCHROLL, Bundesversuchs- und Forschungsanstalt-Arsenal, Geotechnisches Institut, Objekt 210, A-1030 Wien.

\*\*) Stand 1. Oktober 1976.

- c) Isotopengeochemie (Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff, Strontium, Blei usw.).
- d) Beziehungen zwischen Nebengestein und Erzkörper (Reaktionen, Stoffumlagerungen usw.).
- e) Rekonstruktion der mineralisierenden Lösungen.
- f) Erklärung der Stoffumsätze und der Stoffherkunft bei der Lagerstättenbildung.

## 2.0 GEOCHEMISCHE CHARAKTERISIERUNG

### 2.1 GEOCHEMIE DER NEBENGESTEINE

Eine erste Übersicht über die geochemischen Gesetzmäßigkeiten der oberladinischen und karnischen Gesteinsserie haben SCHROLL (1967, 1971), CARDICH-LOARTE (1971) und CARDICH-LOARTE—SCHROLL (1973) gegeben.

Abgesehen vom Strontium und z. T. auch vom Mangan, wird der Spurengehalt der Kalk- und Dolomitgesteine vom Gehalt an Tonsubstanz und Bitumen bestimmt. Das dominierende Tonmineral ist Illit. Der Kaliumgehalt gibt in Korrelation mit Konzentrationen von Spurenelementen, wie Ba, Pb, Zn, Ti, Mo oder V, an, ob diese an die Tonsubstanz gebunden sind oder ob eine spezifische Mineralisation zu erwarten ist. In bitumenarmen Kalken und Dolomiten ist, soweit keine Beeinflussung durch mineralisierende Lösungen festzustellen ist, eine positive Korrelation Kalium/Spurenmetall nachweisbar (vgl. Abb. 1 u. 2). Im allgemeinen entspricht die Relation Kalium/Spurenmetall der durchschnittlichen geochemischen Häufigkeit. In der karnischen Stufe (Rubland und Raibl) konnten jedoch in den Karbonatgesteinen zwei statistische Gruppierungen beobachtet werden, die von stratigraphischen oder lithologischen Faktoren abhängig erscheinen. Im Karn von Raibl ist z. B. die kalkige Hangendserie, die auch aragonitführend ist, reich an Blei, bei einem geochemischen durchschnittlichen Kalium/Rubidium-Verhältnis, während die dolomitische Liegendserie bei einem anormal hohen Kalium/Rubidium-Verhältnis gleichzeitig an Blei verarmt erscheint. Ähnlich verhalten sich mergelige karnische Kalke von Rubland oder vom Karwendelgebirge.

Illitische grüne Mergelbänke aus dem Erzkalk der Bleiberger Fazies zeichnen sich durch höhere K/Rb-Werte aus. Allerdings erweisen sich Tuffite aus Raibl, aber auch die kaliumreichen Kaltwasserporphyre, in bezug auf Kalium relativ arm an Rb (K/Rb 500). Wie weitere Untersuchungen des Verfassers gezeigt haben, unterscheiden sich detritäre 1 Md-Illite im Spurengehalt von authigenen Illiten. Ob dieser Befund für Stoffkonzentrierungsprozesse von Bedeutung sein kann, bedarf noch eingehender Studien.

Bituminöse Kalke, besonders aber Dolomite, sind relativ reicher an Pb, Zn, Mo, V oder Ni.

Studien über Beziehungen der Zn-Verteilung zwischen Nebengestein und Vererzung wurden von MACK (1958), PETRASCHECK (1966) und KOSTELKA—NIEDERMAYER (1974) durchgeführt. Außer einer geringen Hoffbildung um Erzkörper wurden in mergeligen Einlagerungen, wie in den illitführenden grünen Mergelbänken der lagunaren oberladinischen Erzkalkfazies, schichtbeständig erhöhte Zinkgehalte gefunden. Ebenso konnten in Plattenkalken im Bereich schichtgebundener karnischer Vererzungen allgemein höhere Zinkkonzentrationen gefunden werden. Darüber hinaus konnten keine Zusammenhänge zwischen Erzführung und Zinkgehalten in anderen Bereichen der Triassedimente festgestellt werden. Nach den Untersuchungen von KOSTELKA—NIEDERMAYER (1974) erscheinen die Erzanreiche-

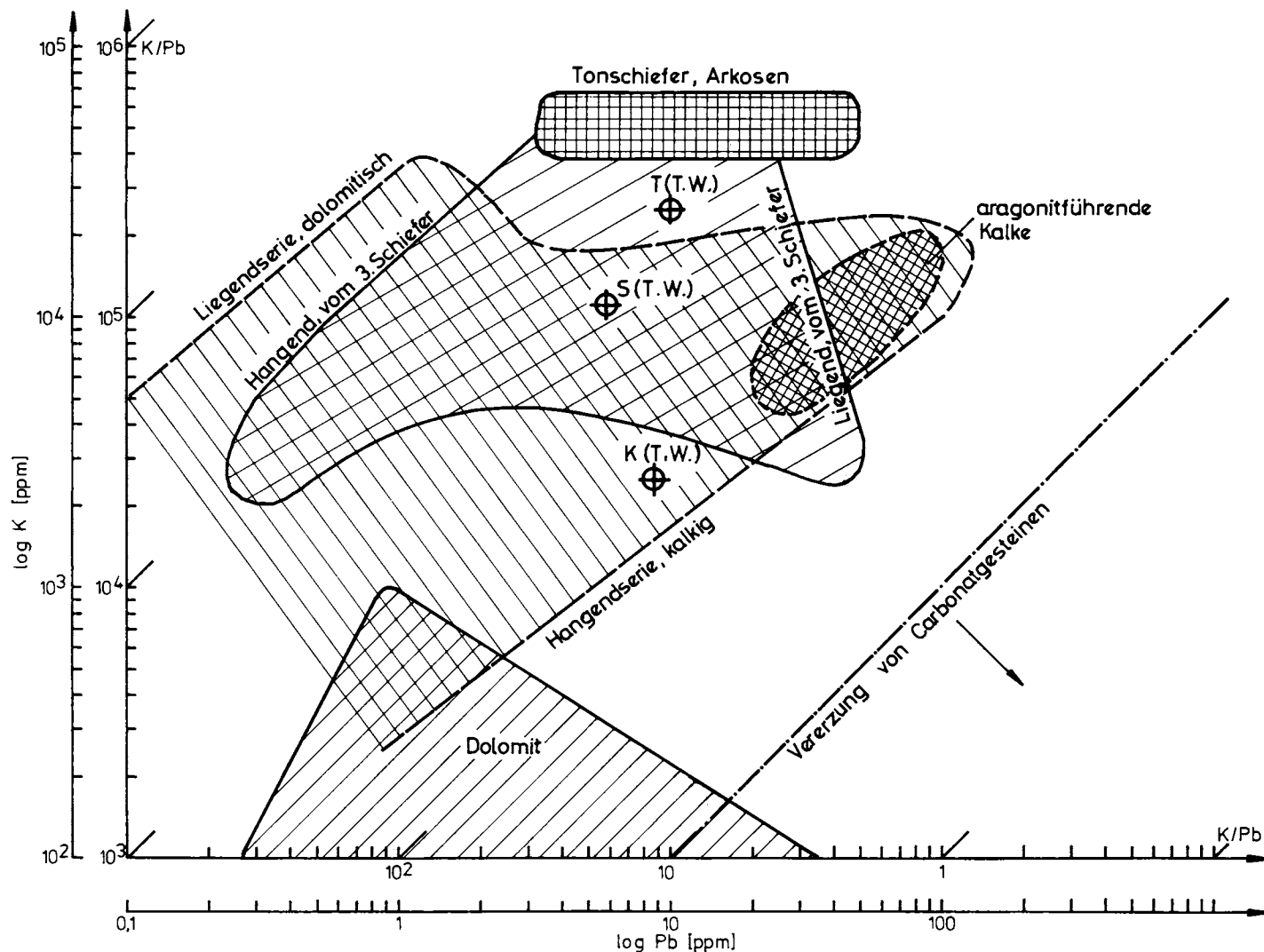


Abb. 1: Korrelationsdiagramm K/Pb in Gesteinen des Karn aus den Profilen Rubland und Raibl (vgl. SCHROLL 1967, bzw. SCHULZ 1970). Karngesteine von Rubland mit Rechtsschraffur, ausgenommen „Tonschiefer und Arkosen“, von Raibl mit Linksschraffur, ausgenommen „aragonitführende Kalke“. Abkürzungen T (T. W.), Tongesteins S (T. W.), Sandsteine und K (T. W.). Karbonatgesteine: Clarkwerte nach TUREKIAN—WEDEPOHL (1961).

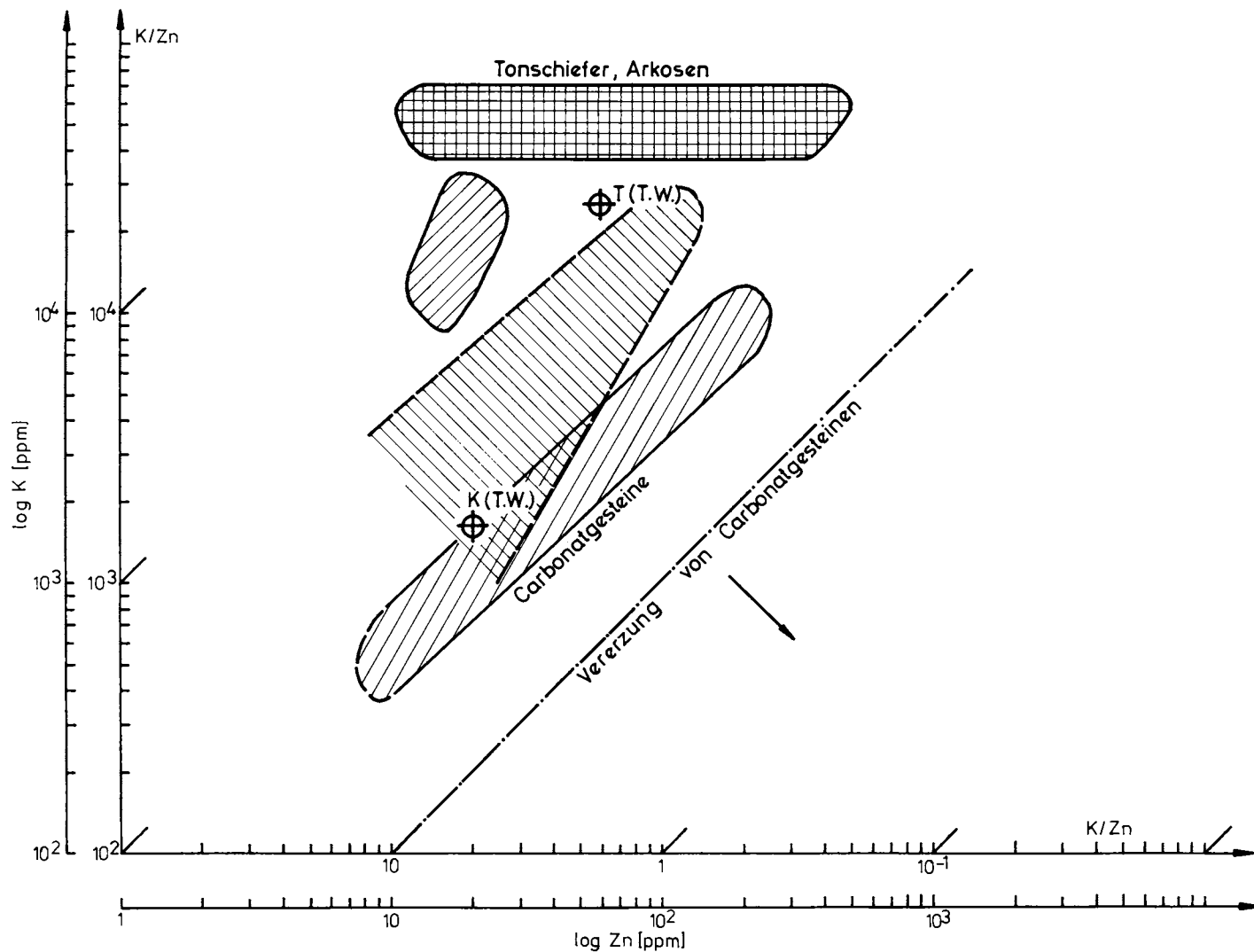


Abb. 2: Korrelationsdiagramm K/Zn in Gesteinen des Karn aus den Profilen Rubland und Raibl. Abkürzungen und Zeichengebung wie Abb. 1.

rungen „als ein lokales Ereignis ohne erkennbaren Zusammenhang mit dem geochemischen Untergrund des Nebengesteines“.

KRANZ (1976) gibt für unvererzte Gesteine der Mitteltrias Mittelwerte von 24 ppm Zn und 1,5 ppm Pb an, die durchaus den bekannten Clarkwerten von Karbonatgesteinen entsprechen. Bei Annäherung an das Karn erhöhen sich die Metallkonzentrationen der lagunaren Fazies des Oberladin anormal auf  $\text{Zn} > 150 \text{ ppm}$ ,  $\text{Pb} > 15 \text{ ppm}$ . Höhere Zinkgehalte findet man vor allem in Lösungsbrekzien und metasomatischen Dolomitgesteinen an der Grenze großer Erzkörper. Die primäre Hofbildung reicht bis in Entfernung von 10 bis 20 m. Weitere geochemische Profile wurden von CARDICH-LOARTE—SCHROLL (1973) und KRANZ (1973) veröffentlicht. Eine von der „Arbeitsgruppe Ostalpen“ angeregte systematische Untersuchung geochemischer Profile auf Mg, Sr, K, Si, Fe, Zn, Pb u. a. ist noch nicht abgeschlossen.

Die Geochemie der Karbonatgesteine der Trias ist erst in ihren Anfängen bekannt. Die Metallzufuhr weist jedenfalls episodischen Charakter auf, ganz gleich, auf welche Weise sie tatsächlich erfolgt sein sollte. Die diagenetischen Mineralisationslösungen zeigen jedoch nur eine geringe Tendenz zur Metasomatose des Nebengesteins.

## 2.2 GEOCHEMIE DER HAUPTELEMENTE

Die quantitative Erfassung des mineralogischen und geochemischen Inhalts von Erzkörpern ist ungleich schwieriger als die von Massengesteinen, deren Bearbeitung Gegenstand der Petrologie ist, obwohl der Aufschluß durch die Bergbautätigkeit dem Petrologen vorteilhaft erscheinen muß. Der Bergbaubetrieb beschränkt sich aber aus ökonomischen Gründen auf Reicherze und bevorzugt bestimmte Erztypen. Dazu kommen die Geheimhaltung von Datenmaterial mit wirtschaftlicher Bedeutung, aber auch Schwierigkeiten bei der Diagnose von Vorräten. Die Datenerfassung läßt sich überdies in erster Linie vom Standpunkt der Bergbautechnologie leiten. Man darf dabei auch nicht das Phänomen der Oxidationszone übersehen, das zu Fehlbeurteilungen führen kann. Zinkerze oxidieren eher als Bleierze, und Zink vermag in Verwitterungslösungen weiter zu migrieren.

Bei den mesozoischen Blei-Zink-Lagerstätten der Ostalpen — soweit es sich um primäre Mineralisationen handelt — variiert das Pb/Zn-Verhältnis von etwa 2/1 bis 1/20. Fluorreiche Erze sind in der Regel zinkreicher, schwerspatführende bevorzugen Blei. Es gibt aber auch zahlreiche Erzvorkommen ohne Flußspat und Schwerspat. So sind in Großlagerstätten, wie Mežica und Salafossa, beide Gangartminerale, wenn überhaupt, nur untergeordnet vorhanden. Visuell erkennbare Mineralaggregationen sind eine ausgesprochene Seltenheit. Das Vorkommen von Karbonaten (Calcit, Dolomit) als Gangart erscheint in bezug auf den Metallinhalt eines Erzkörpers unsignifikant.

In Bleiberg-Kreuth läßt sich zwischen Blei und Zink bezogen auf die gesamte Lagerstätte keine Korrelation feststellen. In der Bleiberger Lagunarfazies des Oberladins nimmt der Gehalt an Zink von Ost nach West zu (von 2 : 1 bis 1 : 10 nach HOLLER (1936) und von 6 : 2,5 auf 2 : 9 nach KOSTELKA—PETRASCHECK (1967) unter Einschluß der neu aufgeschlossenen Vererzungstypen im Karn und Ladin). Mit dem Zinkgehalt steigt der Fluorgehalt an von einigen Prozenten bis über 25% Fluorit im Hauwerk. Mit dem Erreichen eines maximalen Fluorgehaltes nimmt auch der Schwerspatgehalt ab. Die Vererzungen im Westen der Lagerstätte führen nur einige

Prozente Flußspat, aber keinen Schwerspat. Mit dem Auftreten von Flußspat ist auch eine intensivere Quarzführung verbunden.

Tab. 1 soll einen Überblick über die Metallverhältnisse in einigen mesozoischen Lagerstätten der Ostalpen im Vergleich zu anderen stratiformen Blei-Zink-Lagerstätten in Karbonatgesteinen geben.

Tabelle 1: Pb/Zn-Verhältnisse in einigen stratiformen Lagerstätten in Karbonatgesteinen

Bleiberg-Kreuth	Pb/Zn 2:1 bis 1:10 (HOLLER 1936)
Mežica	1,5:1 und 1:8 bis 1:12 (im Grabenrevier) STRUCL (1970)
Raibl	1:7 bis 1:4 (COLBERTALDO 1967)
Salafossa	1:6 (ESPOURTELLE u. Mitarb. 1966)
Oberschlesien	1:4 bis 1:6 (GAYKIEWICZ 1967)
Tri-State-Vorkommen	1:5 bis 1:6 (COLBERTALDO 1967)
Oberes Mississippi-Tal	1:11 (COLBERTALDO 1967)

Eine größenordnungsmäßige Vorstellung über die mineralisierten Metallmengen sollen nachfolgende Zahlenangaben geben. Bis 1972 wurden in Bleiberg-Kreuth 2,5 Mill. t Pb + Zn-Metall abgebaut. Davon lieferte der lagunare Typ rund 2,1 Mill. t, dessen Vererzungsquerschnitt mit 80 m<sup>2</sup> und dessen Vererzungsdichte mit 0,4 Mill. t/km<sup>2</sup> angegeben wird. Die neu aufgefundenen Vererzungen im Westen der Lagerstätte weisen einen wesentlich höheren Vererzungsquerschnitt von 6000 m<sup>2</sup> mit einer Vererzungsdichte von 12 Mill. t/km<sup>2</sup> auf (KOSTELKA 1973).

### 2.3 „SPURENELEMENTE“ DER BLEI-ZINK-ERZE

Abb. 2 und 3 sollen einen Überblick über die Spurenelementverteilung in Bleiglanz und Zinkblende von Bleiberg-Kreuth geben. Auffällig ist die außerordentlich große Variationsbreite der Gehalte an Neben- und Spurenelementen (SCHROLL 1953 und 1955, HEGEMANN 1960, RAZMY—SCHROLL 1974). FRUTH (1966) findet in Zinkblenden der Nördlichen Kalkalpen gleichfalls eine große Konzentrationsbreite, meist auch auf ein und derselben Lagerstätte.

Der Bleiglanz von Bleiberg-Kreuth ist arm an Ag, Cu, Sb, Bi und Sn. Die charakteristischen Spurenelemente sind nur Arsen und Thallium (Abb. 2).

Die Zinkblende ist arm an Mn, Fe, Co, Cu, Hg, In, Ga und Sn, aber meist reich an Tl (1—3000,  $\phi$  100 ppm), an Ge (0,3—3000,  $\phi$  200 ppm) und an As (unter 10 bis 5000 ppm). Der Cadmiumgehalt liegt im Mittelwert über 0,2%. Der Gehalt an Silber und Kupfer in der Zinkblende ist höher als im Bleiglanz (Abb. 3).

Erste Versuche zur Feststellung der Spurenelementverteilung zwischen koexistierenden Bleiglanzen und Zinkblenden ergaben für Ag, As und Tl keine eindeutige Korrelation. Sollte sich dieser erste Befund bewahrheiten, so würde dies auf das Fehlen eindeutiger chemischer Gleichgewichte deuten. Die Zinkblenden zeigen fast durchwegs eine gute positive Korrelation für Ge/As (etwa 1:1) und eine abgeschwächte für Ge/Tl. Starke Änderungen in der Steigung der Regressionsgeraden wurden bei den Korrelationspaaren Tl/Ga und As/Ga erhalten. Die Tl/As- und Ge/Ga-Verhältnisse zeigen mineralogenetische, lokale und provinzielle Unterschiede an.

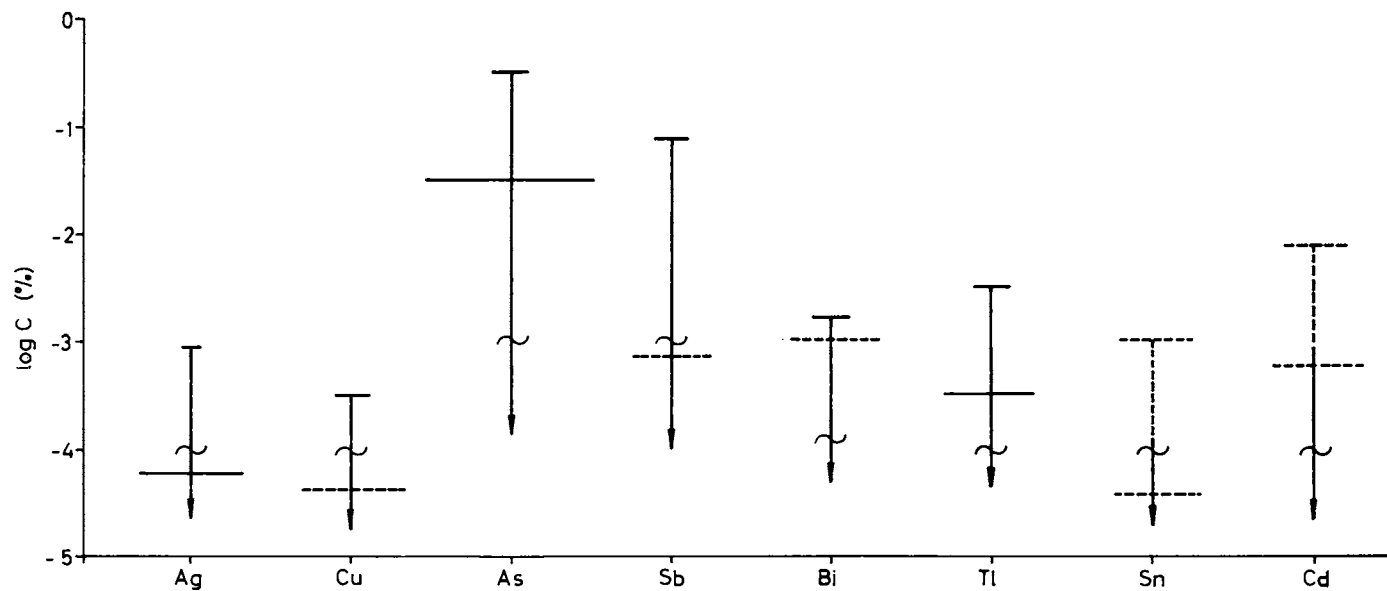


Abb. 3: Spurenelemente im Bleiberg-Kreuth (Mittelwerte Querstriche. Nachweisgrenzen ~)

Die geochemische Charakteristik der Blei-Zink-Erze von Raibl und Mežica ist der von Bleiberg ähnlich. Allerdings erreichen die Gehalte an Tl, Ge und As in Raibl ihr Maximum.

TERŽIC (1972) bestimmte Gehalte an As, Tl, Hg, Cu, und Mn in einigen Zinkblenden aus Mežica. In Schalenblenden wurde ein Hg-Gehalt von maximal 1 ppm erhalten; der Mittelwert für Hg liegt aber im Bereich von 0,2 ppm. Das Zinkerz aus dem östlichen Teil der Lagerstätte weist einen Spurengehalt von etwa 2,3% Fe, 0,1 bis 0,2% Cd und rund 250 ppm Ge auf, während solche aus dolomitisierten Riffgesteinen 0,3% Fe, 0,3 bis 0,5% Cd und 50 bis 100 ppm Ge enthalten (STRUČL 1970).

Die Erze von Bleiberg-Kreuth, Mežica und Raibl fallen durch extreme Armut an folgenden Begleitelementen auf: Cu, Ag, Hg, Ga, In und Sb. Der Lagerstättentyp Gorno in den Bergamasker Alpen, dessen Genese noch am ehesten mit vulkanischen Ereignissen in Zusammenhang gebracht werden kann, ist relativ reich an Hg und Sb; As und Tl treten zurück. Die Gehalte an Ga können auch größer sein als die an Ge. FRUTH—MAUCHER (1960) findet in der „Schwellenfazies“  $Ge > Ga$  und in der Beckenfazies  $Ga > Ge$ . Die Erze von Nordtirol unterscheiden sich von Vorkommen im Drauzug, Karawanken und Südalpen nicht nur durch höhere Gehalte an Ag, sondern auch an Cu, Hg, Ga und Sb. Ihr Spurenelementgehalt nähert sich dem der Blei-Zink-Erze von Oberschlesien, die sich jedoch durch höhere Cadmiumgehalte auszeichnen.

In Tab. 2 sind die „Spurenelementgehalte“ in Zinkblende und Bleiglanz von verschiedenen Lagerstätten bzw. Lagerstättenprovinzen schichtgebundener Blei-Zink-Lagerstätten in Karbonatgesteine miteinander verglichen.

Tabelle 2: „Spurenelemente“ in Zinkblenden in Beziehung zum Spurengehalt im Bleiglanz verschiedener Typen und Provinzen schichtgebundener Blei-Zink-Lagerstätten in Karbonatgesteinen. (Angabe als Mittelwerte. Werte für Bleiberg-Kreuth vorläufig.)

### Zinkblende

Element	Bleiberg-Kreuth	Gorno (FRUTH/ MAUCHER 1966)	Nordtirol (FRUTH 1966 ergänzt)	Oberschlesien (HARANCZYK 1957)	Trochitenkalk NW-Deutschland (HOFMEISTER u. Mitarb. 1972)
Cd	2400	1500	1670	6180	8000
Hg	< 1	55	max. 30 ?	< 10	n. b.
Ag	3	30	200	(570)	~ 1
Cu	< 1 ?	?	450	360	< 100
Ga	3	230	85	23	10
In	< 1	?	max. 1	< 10 ?	10
Tl	90	< 10	70	122	< 10
Ge	200	130	210	70	< 10
As	200 ?	< 100	(450)	637	?



# Bleiglanz

		(SCHROLL 1953)	(SCHROLL 1953)		
Ag	< 1 (max. 30)	500	max. 5000	324	< 1—28
Cu	< 1 (max. 5)	?	(1—500)	?	10—1000
As	200	10	max. 1000	430	< 100
Sb	< 10 (max. )	1000	max. 3000	322	< 10—200
Bi	< 10 (max. )	30	3—5	?	< 30
Tl	3 (max. )	3	(5)	7	< 10

Bemerkung: Über Spurengehalte der Erze der Mississippi Valley-Provinz liegen nur Daten von STÖIBER (1940) sowie bei FLEISCHER (1955), vgl. auch SCHROLL (1953), vor. Die Zinkblenden zeigen bevorzugt hohe Gehalte an Ga, Ge, geringe Spuren an In und Tl, die Bleierze  $\pm$  Ag, Sb, Bi.

Zwischen den Spurenelementen und der Vererzung ergibt sich in Bleiberg-Kreuth ein deutlicher Zusammenhang mit dem Nebengestein. Die reinsten Zinkblenden findet man in den sehr reinen Wettersteinkalken. Auf Grund des sehr geringen Eisengehaltes zeigen solche Zinkblenden, die oft vom Nebengestein visuell nicht immer leicht unterscheidbar sind, deutliche Lumineszenzerscheinungen. Mit steigendem Tonanteil und Eisengehalt der mineralisierten Sedimente steigt in der Regel der Gehalt an Fe, Mn und anderen Spurenelementen in der Blende an.

Die Abhängigkeit der Neben- und Spurenelemente vom Charakter der mineralisierenden Lösungen verlangt noch eine moderne Interpretation. Unterschiede in der Bildungstemperatur dürften dabei nicht die Rolle spielen, wie man früher angenommen hat, eher das Angebot an Elementen, pH- und Eh-(Redoxpotential-)Werte, Chlorgehalt, Komplexbildung u. ä. Bisher sind allerdings nur die Verteilungskoeffizienten von Cd zwischen Zinksulfid und Lösung bekannt (MOOKHERJEE 1962). Der Verteilungskoeffizient erscheint vom Chlorgehalt der Lösung abhängig zu sein, so daß mit steigender Salinität höhere Cadmiumgehalte zu erwarten sind (vgl. auch den hohen Mittelwert für Cd für die Zinkerze aus Oberschlesien). Frisch gefälltes Zinksulfid zeigt ferner eine außerordentliche Sorptionsfähigkeit für viele chalkophile und besonders oxychalkophile Elemente, wie As, Ge oder Tl. GAYKIEWICZ (1967) gibt an, daß in den ober-schlesischen Zinkblenden Fe, As, Tl, Ge und Mo vornehmlich in den als Mineralgel abgeschiedenen Schalenblenden angereichert wird, Cd, Ag, Cu, Ga und Sb hingegen in Zinkblenden, die im normalen Kristallisationsprozeß entstanden sind.

Ferner muß das Verhalten der Spurenelemente bei der Diagenese in Betracht gezogen werden. Bei Rekristallisation im offenen System gehen Spurenelemente verloren, die Zinkblenden werden reiner.

Erste Versuche, die Abhängigkeit der Spurengehalte von den Zinkblendegenerationen zu studieren, wurden von SCHROLL (1953) (vgl. dazu HARAŃCZYK—GAYKIEWICZ (1970) durchgeführt. Während des gesamten Mineralisationsprozesses

erscheint der Gesamtgehalt an seltenen Elementen, bezogen auf Blei bzw. Zink konstant. Die synsedimentären Zinksulfide dürften in ihren Spurengehalten, soweit keine früh- oder spätdiagenetische Rekristallisation im offenen System erfolgt ist, am ehesten dem Durchschnittsgehalt der Gesamtlagerstätte entsprechen. Diagenetische Zinksulfide können entweder extreme Anreicherungen, so in diagenetischen Schalenblendeabsätzen, oder Verarmungen an Ge, Tl, As aufweisen.

Analytisch und experimentell ist noch sehr viel Arbeit erforderlich. Es mangelt noch sehr an vergleichbarem Datenmaterial. Für die geochemische Charakterisierung der Zinkblende bieten sich die Elementverhältnisse Ga/In/Tl, Tl/Ga, Ge/Ga und Tl/As an.

## 2.4 MOLYBDÄN UND VANADIUM

Molybdän und Vanadium sind charakteristische Bestandteile der Nebengesteine. Wettersteinkalk enthält 2—3 ppm V und 0, x ppm Mo. In bitumenarmen Gesteinen sind beide Elemente an die Tonsubstanz gebunden und mit Kalium korrelierbar. In bituminösen Kalken und Dolomiten kann der Überschuß an V über 20 ppm und an Mo bis zu 6 ppm betragen.

Der Molybdängehalt ist auch lokal verschieden. So enthalten die Gesteine des Karn des Karwendelgebirges unter 1 ppm, von Rubland 2 ppm und von Raibl 2—5 ppm. Die Hangendschichten tendieren allgemein zu höheren Konzentrationen.

Die Annahme, daß Molybdän aus dem Nebengestein selbst mobilisiert wird und entweder in Form von Molybdänglanz (z. T. Jordisit) oder nach dessen Oxydation bzw. aus dem Nebengestein selbst in Form von Wulfenit mineralisiert wird, besteht sicherlich zu Recht (SIEGL 1947, HEGEMANN 1949, SCHROLL 1953). Die Molybdänsulfidvererzung ist in Bleiberg-Kreuth stets absätzig von der Blei-Zink-Vererzung und meist an bituminöse Karbonatgesteine gebunden. Die Vanadiummineralisation (Vanadinit, Deskloizit, Wulfenit mit bis 1 % V) ist ausschließlich an die Oxydationszone gebunden. Nur in Mežica wurde Molybdänglanz direkt neben Bleiglanz angetroffen (DUHOVNIK 1954). Dies ist kein Gegenargument für die sedimentäre Herkunft des Molybdäns, sondern nur ein weiterer Hinweis, daß auch das Blei schichtgebunden mineralisiert ist.

Zur Ergänzung erscheint noch ein eingehendes Studium der Geochemie der Molybdäniden Wolfram und Rhenium erforderlich. Über Wolframgehalte liegen noch keine Daten vor, außer daß in einem norischen Ölschiefer vom Woschackgraben (westl. Kreuth) 1,2 ppm W (Mo/W ~ 30) nachgewiesen werden konnte. Der Rheniumgehalt in Molybdänsulfiden aus Bleiberg und Kreuth liegt sicher unter 1 ppm Re. Im Wulfenit von Bleiberg wurde von GEILMANN und Mitarb. (1945/48) 1 ppm Re nachgewiesen.

## 2.5 STRONTIUM

Arbeiten zur Geochemie des Strontiums liegen von CARDICH-LOARTE (1971) und CARDICH-LOARTE—SCHROLL (1972) vor. Der Strontiumgehalt der grauen Anhydrite entspricht mit 800—1200 ppm Sr den Strontiumgehalten evaporitischer Erstausscheidungen von Calciumsulfat. Blauer Anhydrit ist etwas strontiumreicher (Ø 1370 ppm Sr) und kommt den Strontiumkonzentrationen in den Baryten nahe. Zuckerkörniger Gips läßt bereits an Hand der Strontiumgehalte erkennen, daß er aus blauem Anhydrit gebildet worden ist.

Der Strontiumgehalt in Baryten ist mit dem anderer aus Meerwasser ausgeschiedenen Schwerspäten (Meggon, Rammelsberg, Grazer Paläozoikum) vergleichbar

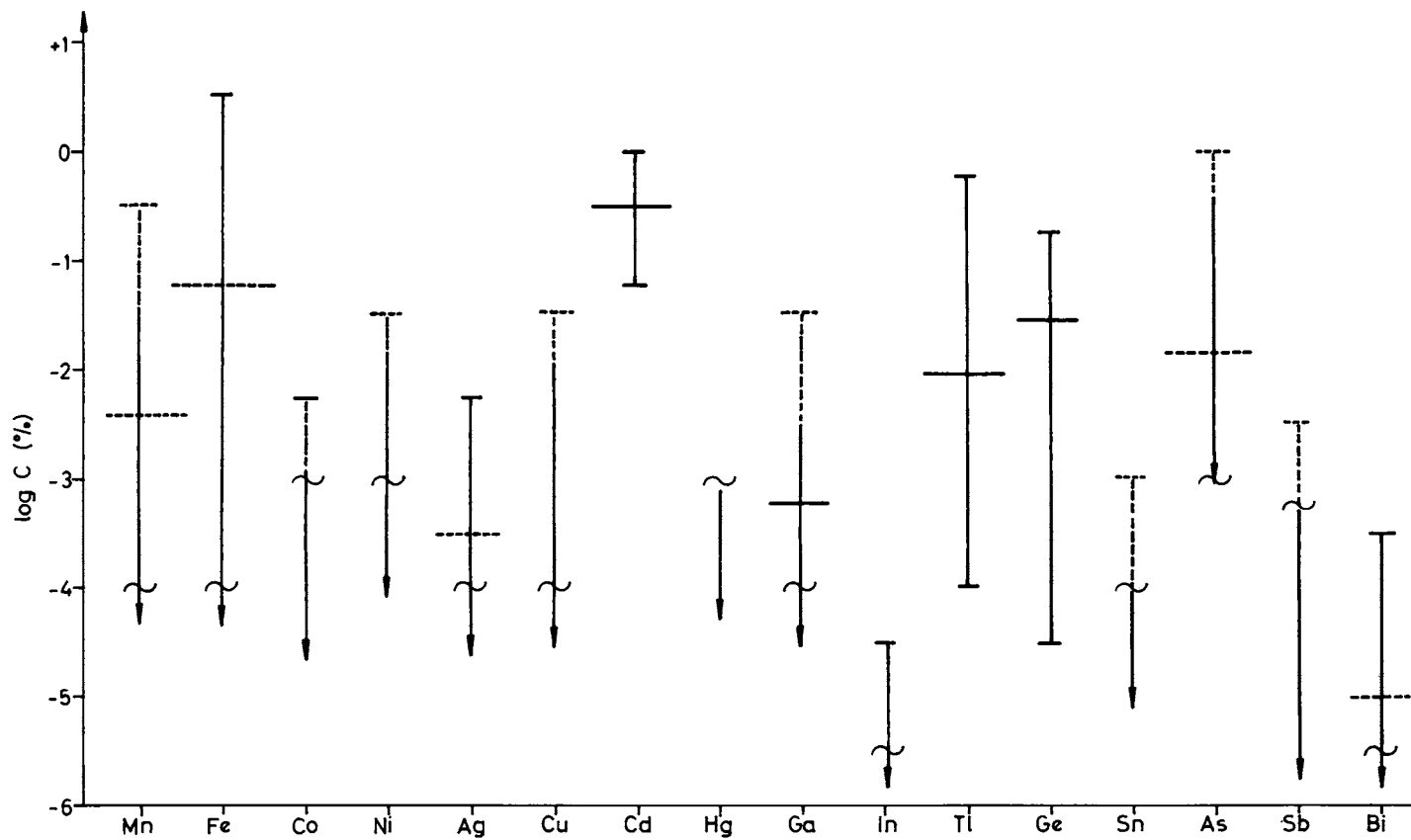


Abb. 4: Neben- und Spurenelemente in Zinkblenden von Bleiberg-Kreuth (Mittelwerte Querstriche, Nachweisgrenzen ~).

Überdurchschnittliche Gehalte sind selten. Spätdiagenetische Baryte erscheinen Sr-reicher. Es sind Verwachsungen mit Strontianit zu beobachten. Coelestin kommt vereinzelt in den obersten „Edlen Flächen“, selten in unmittelbarer Verbindung mit Erzen, vor.

Der Strontiumgehalt der Calcite ist durch den Strontiumgehalt der Karbonatsedimente bestimmt. Er nimmt beim Übergang von der Skalenodertracht zum Kanonenspat ab. Die Strontiumkonzentrationen in Bildungen der Oxydationszone (Kalzit, Baryt, Gips) ist stets merklich niedriger (vgl. auch Abb. 5).

Die Geochemie des Strontiums in der Lagerstätte ist durch das Sediment bestimmt, wie auch ein Vergleich mit der Strontiumverteilung in Mežica beweist. Eine Strontiumzufuhr durch „Hydrothermen“ ist nicht nachweisbar. Die mineralisierenden Lösungen müssen einen Strontiumgehalt aufgewiesen haben, der etwa dem des Meerwassers entsprochen hat. Mit fallender Temperatur nimmt der Verteilungskoeffizient Mineral/Lösung für Strontium ab, vermutlich aber auch die Strontiumkonzentration der mineralisierenden Lösung selbst.

## 2.6 SELTENE ERDEN

Die Verteilung der Seltenen Erden wurde von BRÄTTER u. Mitarb. (1972), SCHNEIDER—MÖLLER—PAREKH (1975) und MÖLLER—PAREKH—SCHNEIDER (1976) in Flußspäten und Karbonatsedimenten der ostalpinen Trias mit Hilfe der Neutronenaktivierungsanalyse untersucht. Alle bisherigen Untersuchungen, bei denen die Lumineszenzanalyse (HABERLANDT 1949) oder die optische Spektralanalyse (HUBER—SCHAUSBERGER 1965) eingesetzt worden waren, brachten keinen Nachweis der Seltenen Erden, ausgenommen geringe Gehalte an Yttrium. Nach den letzten Ergebnissen liegt die Summe der Seltenen Erden in Fluoriten der Nördlichen Kalkalpen zwischen 0,17 bis 11 ppm. Bei den syndimentären Fluoriten der ersten Generation entspricht die Verteilung der Seltenen Erden den Verteilungsgesetzmäßigkeiten zwischen Calciumkarbonat und Fluorit unter marinen Bedingungen. Zur Charakterisierung wird das Korrelationsdiagramm Tb/Ca-Tb/La herangezogen. Während der diagenetischen Mobilisation ist eine Fraktionierung der Seltenen Erden festzustellen. Die leichten Cererden werden abgereichert, die schweren Yttererden bleiben erhalten oder werden sogar angereichert. Damit konnte der Beweis für den sedimentären Absatz der Flußspäte abgegeben werden.

## 3.0 Flüssigkeitseinschlüsse, Bildungstemperatur und chemische Beschaffenheit der Erzlösungen

Zur Zeit gibt es noch keine Studien über Flüssigkeitseinschlüsse in Mineralen (z. B. in Quarz, Flußspat, Zinkblende). Die Analyse von Flüssigkeitseinschlüssen in Sulfiden der oberschlesischen Lagerstättenprovinz ergaben Bildungstemperaturen von 60—120° C (ERMOKOV 1966).

Ein erster Versuch, die Bildungstemperatur in Bleiberg-Kreuth mit Hilfe des Strontiumgehaltes in Kalkspat, Flußspat, Schwerspat und Anhydrit abzuschätzen, wurde von CARDICH-LOARTE (1971) unternommen. Demnach sollte die Bildungstemperatur 150° C auf keinen Fall überschritten haben. Allerdings könnte die Lagerstätte durch Tiefenversenkung im Jura oder in der Kreide eine Aufwärmung in dieser Größenordnung erfahren haben.

Das mineralisierende Medium war ohne Zweifel Meerwasser oder durch Diageneseprozesse degeneriertes Meerwasser. Auch „vulkanogene“ Wässer würden

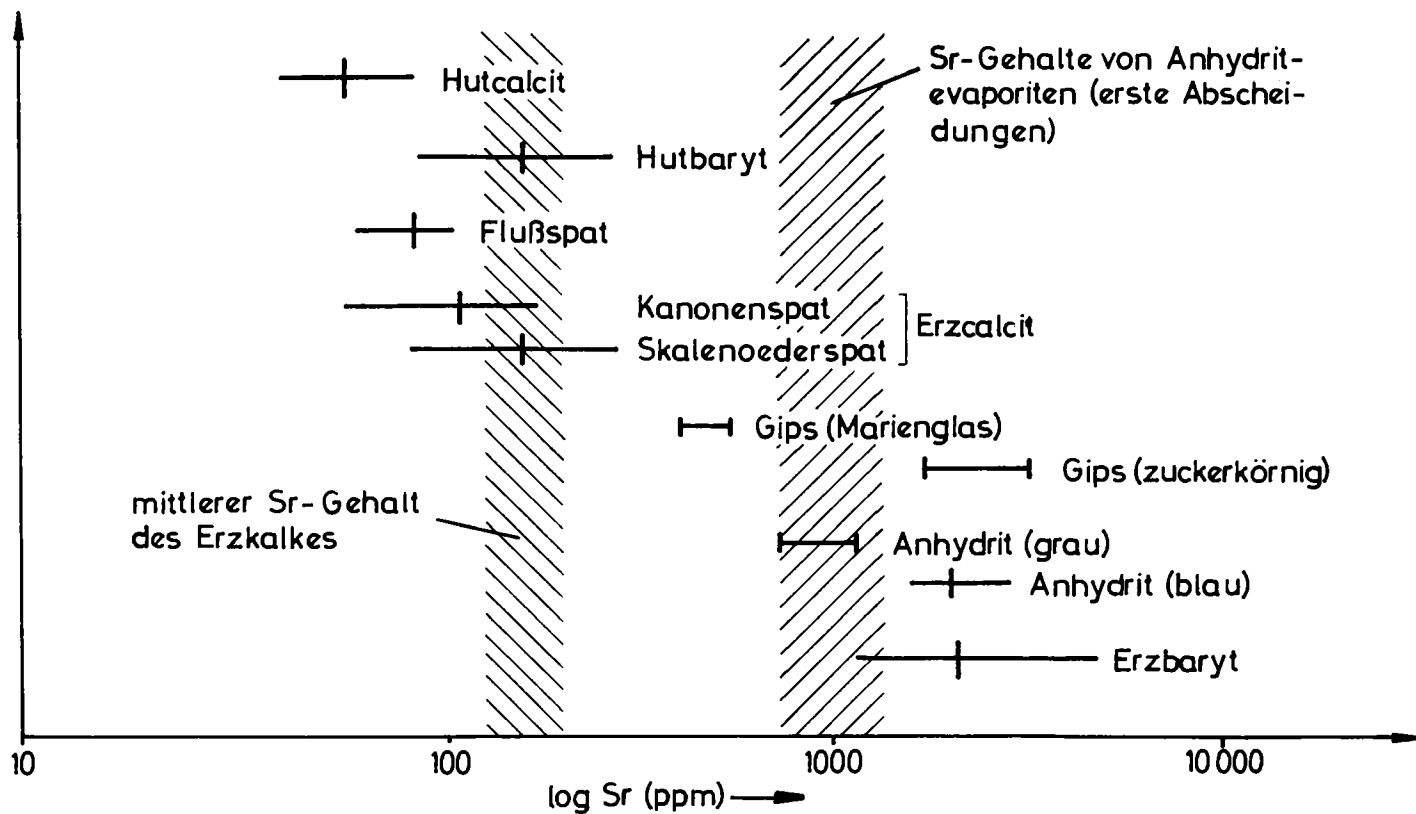


Abb. 5: Strontiumgehalte im Nebengestein und Calciummineralen der Gangart von Bleiberg-Kreuth (nach CARDICH-LOARTE (1971), CARDICH-LOARTE —SCHROLL (1973)).

sich vom Meerwasser ableiten. Hochsalinare Formationswässer waren zwar gleichfalls in Frage zu ziehen, scheiden aber im Falle von Bleiberg-Kreuth als Lösungsmedium aus.

SCHNEIDER (1969) versuchte durch analytischen Nachweis von Natrium und Chlorid im Nebengestein auf die Salinität der Erzlösungen rückzuschließen. Er nimmt an, daß bei den diagenetischen Prozessen Connate-Wässer wirksam gewesen sind. Es scheint, daß im Bereich der Vererzungen der ostalpinen Trias diesbezüglich Unterschiede bestanden haben könnten.

Die Rekonstruktion der Erzlösungen und des chemischen Reaktionsablaufes ist noch ausständig und wird einen wertvollen Beitrag zur endgültigen Abklärung der Genese darstellen.

## 4.0 Isotope

### 4.1 SCHWEFELISOTOPE

Alle bisherigen Schwefelisotopenbestimmungen an Sulfaten Bleiberg-Kreuth (SCHROLL—WEDEPOHL 1972) ergaben, daß der syngenetisch abgelagerte graue Anhydrit im Schwefelisotopenverhältnis dem des Meerwassers zur Zeit Ladin/Karn entspricht:  $\delta^{34} + 16,1\%$ . Grauer Anhydrit von Mežica stimmt mit  $+15,7\%$  überein. Blauer Anhydrit ergibt einen merklich positiveren Wert von  $+18,9\%$ . Der blaue Anhydrit ist in seinem Stoffinhalt sicherlich evaporitischer Herkunft und keinesfalls — wie man ursprünglich meinte — durch ein Sulfat erklärbar, das durch Oxydation von Sulfiden entstanden wäre.

Syngenetisch ausgeschiedener Baryt zeigt gleichfalls eine Schwefelisotopenzusammensetzung, die dem des Meerwassers nahekommt ( $+17,5\%$ ). Baryte aus diagenetischen Paragenesen und „Gangmineralisationen“ tendieren zu schwach erniedrigtem  $\delta^{34}\text{S}$  (bis  $+14,8\%$ ).

Die Sulfide (vgl. auch GRINENKO u. Mitarb. 1975) weisen durchwegs negative  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte auf: Bleiglanz  $>$  Zinkblende  $>$  Pyrit, Markasit.

Syngenetische Kügelchen und Oolithbildungen von Zinkblende enthalten bevorzugt leichte Schwefelisotope. Spätdiagenetische und epigenetische Schalenblenden haben stark negative  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte. Soweit Sulfide in einem geschlossenen System durch Reduktion von Sulfat gebildet worden sind, kommen auch schwach negative Werte vor.

Die bisher bekannten Schwefelisotopenwerte lassen sich nur auf biogenem Wege, d. h. mikrobakterielle Reduktion von Meerwassersulfat aufklären. Abb. 6 gibt einen Überblick über die bisher gemessenen  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte von Bleiberg-Kreuth.

DROVENIK u. Mitarb. (1970) finden in schichtgebundenen Sulfiden von Mežica  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte von  $-7$  bis  $-23\%$ , in Sulfiden aus Kluftvererzungen  $+2$  bis  $-8\%$ .

Die Bleiberg-Zinkvererzungen von Gorno zeigen nach FRUTH—MAUCHER (1966) in der „Schwellenfazies“ einen mittleren  $\delta^{34}\text{S}$ -Wert von  $+2,4\%$  ( $0,0$  bis  $+3,8\%$ ) und in der „Beckenfazies“ einen solchen von  $-4,5\%$  ( $+1,3$  bis  $-9,7\%$ ). Dagegen werden im Trochitenkalk stark negative Werte ( $\text{ZnS} -25,9\%$  und  $\text{Pb} -27\%$ ) und in einem Fall auch ein positiver Wert von  $+15,7\%$  gefunden, der auf einen Anreicherungsprozeß des schweren Schwefels in einem geschlossenen System deutet (HOFMEISTER u. Mitarb. 1972). Positive Werte zeigen auch die Sulfide (Pyrite bis  $+67\%$   $\delta^{34}\text{S}$ ) in der obereschlesischen Erzprovinz auf (VON GEHLEN 1969). Nach HARANCZYK (1973) und HARANCZYKLIS (1973) findet man positive Werte bei Sulfiden, die sekundär in Hohlräumen abgesetzt worden sind. Die erste Erzgeneration besitzt dagegen  $\delta^{34}\text{S}$ -



Werte um Null. ( $\delta^{34}\text{S}$  —1,4 bis +6,0.) Zementative Bildungen, wie Brunckit (feinkristalline weiße Zinkblendeabsätze), besitzen dagegen eine stark negative Schwefelisotopenzusammensetzung ( $\delta^{34}\text{S}$  —30‰). Die Sulfide der Blei-Zink-Vererzungen in mesozoischen Karbonatgesteinen des Französischen Zentralplateaus und Marokkos zeichnen sich durchwegs durch negative  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte aus (Franz. Zentralplateau —1 bis —44‰, Marokko —20 bis —40‰). Eine Ausnahme bilden nur die Gangvererzungen von Tizin'Firest/Marokko mit +10 bis —8‰ (LANCELOT u. Mitarb. 1971).

Die Schwefelisotopenzusammensetzung beweist jedenfalls, daß die Mineralisation überwiegend im tiefthermalen Bereich (max. 150° C auf Grund der Existenzfähigkeit der Schwefelbakterien) vor sich gegangen sein muß. Die  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte von Sulfaten bestätigen, daß Meerwassersulfate der Trias zur Ausfällung gekommen sind.  $\delta^{34}\text{S}$ -Streuwerte um Null sind dagegen noch kein zwingender Grund für die Annahme einer magmatogenen Herkunft des Schwefels. In geschlossenen Systemen kann durch bakteriogene Schwefelisotopenfraktionierung auch eine Anreicherung des schweren Isotops herbeigeführt werden. Daher tendieren spätdiagenetische Kluftvererzungen meist zu positiveren  $\delta^{34}\text{S}$ -Werten.

#### 4.2 STRONTIUMISOTOPE

Eine Bestimmung der Isotopenzusammensetzung von Strontium in Mineralen und Gesteinen ist noch nicht erfolgt. Es ist aber zu erwarten, daß das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis der des Meerwassers oder auch zum Teil der stofflich-terrigenen Zufuhr zur Zeit der Trias entspricht.

#### 4.3 BLEIISOTOPE

Das Blei von Bleiberg wurde schon bei den ersten systematischen massenspektrometrischen Untersuchungen von natürlichem Blei als ein besonderer Typ erkannt und als Typ „B(leiberg)“ bezeichnet, da das berechnete Modellalter dieses Bleis älter erschien als das stratigraphische Alter der Sedimentgesteine, in der die schichtgebundene Erzmineralisation vorkommt (HOUTERMANS 1946).

Die Analysen der Bleiisotopen ergaben für das Bleiberger Blei

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	
18,50	18,50	38,82	(EBERHARDT u. Mitarb. 1962)
18,54	15,84	39,02	(GRÖGLER u. Mitarb. 1961)

Nach dem Modell von HOLMES—HOUTERMANS und unter Zugrundelegung der damals bekannten Daten des „Urbleis“ und der Zerfallskonstanten von Uran und Thorium erhielt man ein Modellalter von  $350 \pm 60$  M a. Nach den Vorstellungen von STANTON u. Mitarb. (1959) sollte man jedoch ein Modellalter von 210 M a annehmen können, so daß die Anomalität des Bleis dieser Lagerstätte wieder in Frage gestellt war.

Eine Überprüfung mit Bezug auf einen Standard und unter Verwendung einer präziseren Meßmethodik ergibt nach KÖPPEL—KOSTELKA (1976) folgende Bleiisotopenverhältnisse:



Bleiglanze aus sedimentären Texturen (14)	18,378 ± 0,007	15,674 ± 0,007	38,558 ± 0,029
Bleiglanze aus diskordanten Texturen (6)	18,379 ± 0,005	15,670 ± 0,010	38,554 ± 0,028

Insgesamt zeigen 22 Bleiglanzproben innerhalb der Fehlergrenzen der verfeinerten Meßmethodik keine signifikanten Unterschiede in der Bleisotopenzusammensetzung. Das Bleiberger Blei ist demnach aus Mineralisationen im Unterladin bis zu solchen im Karn, gleichwie syngenetischer oder diskordanter Natur, innerhalb des Lagerstättenbereiches als homogen zu bezeichnen. Nach den Modellvorstellungen von STACEY—KRAMERS (1975) erhielt man ein Modellalter von 300 Ma.

Die älteren Werte von GRÖGLER u. Mitarb. (1961), die auch andere Bleiglanze der ostalpinen Trias betreffen, wären demnach in bezug zu den neuen Werten für das Bleiberger Blei zu korrigieren bzw. zu überprüfen (vgl. Abb. 7). Man kann aber schon jetzt sagen, daß sich die Isotopenzusammensetzung der Bleie aus den Großlagerstätten des Drauzuges und der Karawanken sowie der Südalpen, Bleiberg-Kreuth, Mežica (Mieß) und Raibl nicht allzusehr unterscheiden sollte. In den Nordalpen dürften die Modellalter niedriger sein und bis zu N-, vielleicht auch schwachen J-Typen variieren; das Blei läßt sich aus einem krustalen geochemischen Milieu mit durchschnittlichen U/Pb- bzw. U/Th-Verhältnissen ableiten. Es bleibt noch zu untersuchen, ob neben regionalen Unterschieden Differenzen zwischen anisischen und ladinisch-karnischen Bleivererzungen feststellbar sind.

In der Trias Oberschlesiens kommt überwiegend derselbe schwache B-Typ krustaler Herkunft vor wie in den Ostalpen. Allerdings konnte auch in einigen Lagerstätten (Olkusz, Trzebionka) ein anormaler J-Typ des Bleis nachgewiesen werden, dessen Isotopenzusammensetzung auf ein Herkunftsmilieu mit niedrigen U/Pb- bzw. U/Th-Verhältnissen schließen ließe, etwa typisch für die Unterkruste oder ozeanisches Mantelmateriale. Blei vergleichbarer anomaler Isotopenzusammensetzung wurde in Galeniten festgestellt, die im Paläozoikum in Diabasgängen bei Mrzyglód/Zawiercie vorkommen (HARAŃCZYK 1969, 1971).

Das Blei der Mississippi Valley-Provinz reicht von extremen J-Typen (Modellalter —2000 Ma) bis zu schwachen J-Typen. Von DOE—DELEVAUX (1972) konnten mit Hilfe der Isotopenanalyse von Erz- und Gesteinsblei nachgewiesen werden, daß das Blei und dementsprechend auch die anderen Metalle vorwiegend durch Reaktion heißer salinarer Formationswässer mit Sandsteinen, die klastisches Material präkambrischen Alters enthalten und die als Paläowasserträger in Frage kommen (z. B. Lamotte-Sandstein), mobilisiert worden sind. Die Isotopenzusammensetzung des Bleis einer Lagerstätte, ja selbst eines Bleiglanzkristalles, kann Unterschiede aufweisen.

Die Bleiglanze aus dem Mesozoikum des Französischen Zentralplateaus besitzen normale oder schwach negative Modellalter, während die aus dem marokkanischen Atlasgebirge mit jurassischem Mineralisationsalter ausgeprägtere B-Typen als das Blei von Bleiberg-Kreuth aufweisen (LANCELOT—SARAZIN—ALLEGRE 1971).

Wie schon CAHEN u. Mitarb. (1958), SCHROLL (1965) u. a. festgestellt haben, scheint eine Beziehung zwischen Spurenelementgehalten und Modellaltern zu bestehen. B-Typen sind meist arm an Ag, Cu, Sb, Bi, Se u. a.; die Zinkblendensind arm an Hg, Ga, In u. a. Dafür treten Spurenelemente wie Tl oder As stärker hervor.

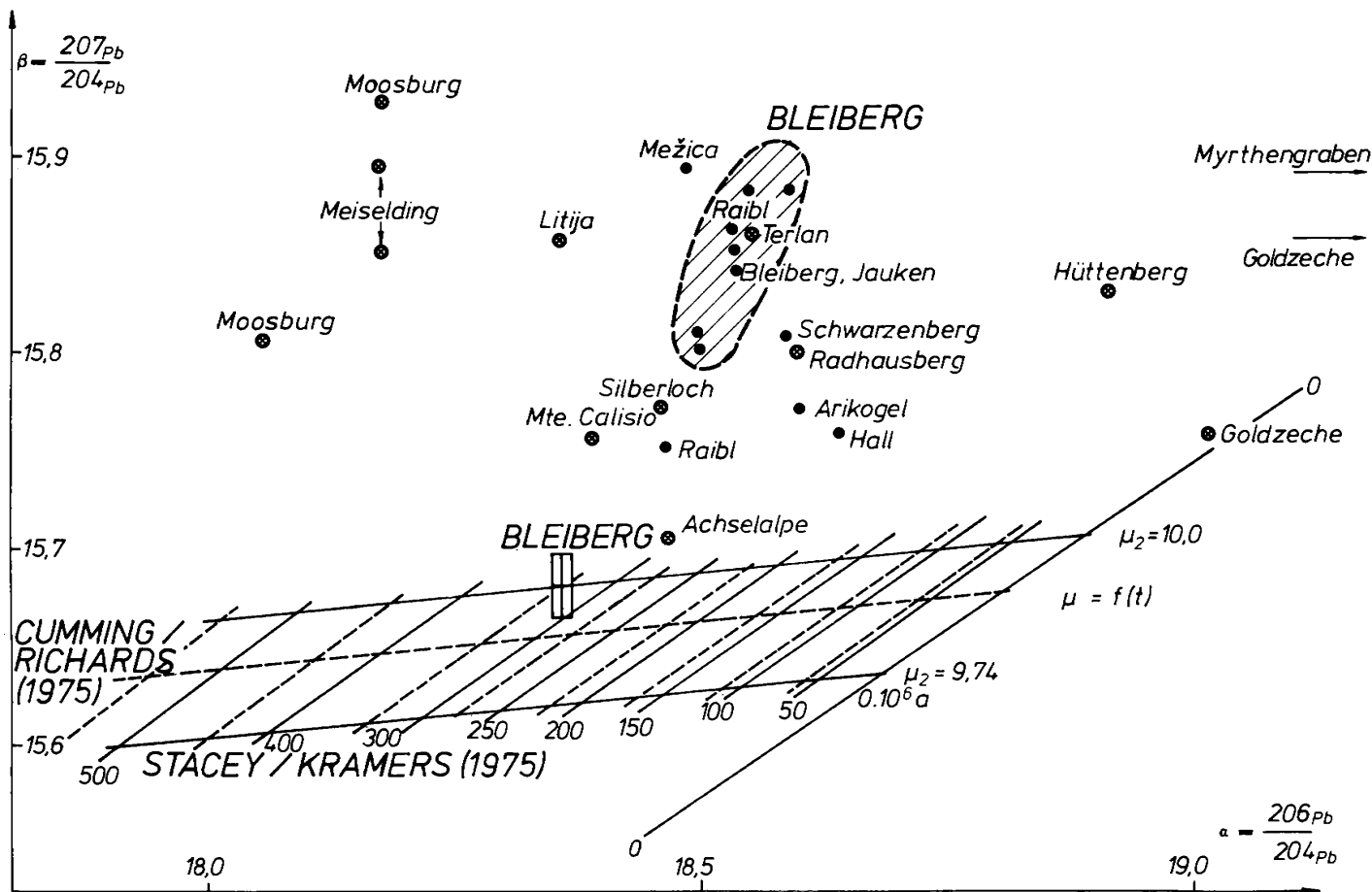


Abb. 7: Isotopenzusammensetzung des Bleis von Bleiberg-Kreuth nach älteren Analysen (s. a. GRÖGLER—GRÜNENFELDER—SCHROLL 1965) im Vergleich zu neueren Bestimmungen von KÖPPEL—KOSTELKA (1976). Die Daten anderer Bleie ostalpiner Lagerstätten dürften analog zu korrigieren sein, wobei sich aber eine grundsätzliche Änderung im Verhältnis der Modellalter abzeichnet. (Blei aus dem ostalpinen Mesozoikum als schwarze Punkte!) Isochronen und Entwicklungskurven ( $\mu_2$ ) des Modells nach STACEY/KRAMERS (1975)<sup>1)</sup> sind als ausgezogene und die des Modells nach CUMMING/RICHARDS (1975)<sup>1)</sup> als strichlierte Linien eingezeichnet.

<sup>1)</sup> Siehe Earth & Planet. Sci. Lett. 26, 207—221, bzw. 155—171.

J-Typen verhalten sich invers. GRÄSER (1969) konnte an den metamorphosierten Triasvererzungen des Binnatales (Schweiz) zeigen, daß der Gehalt an Wismut mit steigendem Anteil an radiogenem Blei zunimmt.

## 5.0 Herkunft der mineralisierenden Lösungen und ihres Metallinhaltes

Entgegengesetzt zur Meinung einiger Lagerstättenforscher ist die Herkunft der mineralisierenden Lösungen und ihres Stoffinhaltes von wesentlicher Bedeutung, wenn auch nicht ohne Beziehungen zu den Ergebnissen der übrigen erdwissenschaftlichen Disziplinen. (Vgl. auch Diskussionsbemerkung MAUCHER 1971.)

Nach jahrzehntelanger Diskussion über die Genese der Blei-Zink-Lagerstätten vom Typ Bleiberg-Kreuth haben jene Hypothesen recht behalten, die basierend auf den Erkenntnissen der Sedimentologie, nicht zuletzt befruchtet durch das Lebenswerk von SANDNER, behaupteten, daß diese Lagerstätten schichtgebunden und synsedimentär angelegt sind (u. a. TAUPITZ 1954, SCHNEIDER 1953, MAUCHER 1954, MAUCHER—SCHNEIDER 1967, zahlreiche Arbeiten von SCHULZ 1960, 1968, 19 usw., siehe auch 1973). Den Geochemikern fiel die Eigenart der Elementvergesellschaftung auf, so daß selbst die Annahme einer nichtmagmatogenen Genese diskussionswert erschien (vgl. SCHROLL 1953 u. 1965). Von HEGEMANN (u. a. 1948, 1960) wurde eine „vulkanogen-exhalative“ Genese (heute würde man besser von „vulkanogen-sedimentären“ Lagerstätten sprechen) angenommen, wie dies im übrigen auch von der erstgenannten Forschergruppe bis heute in Erwägung gezogen wird.

Neuere Hypothesen stellen auch eine rein sedimentäre Genese zur Diskussion (u. a. BERNARD—FOGLIER 1967, BECHSTÄDT 1976). Untersuchungen in Wattenmeeren, wie die von HALLBERG (1974) oder aber auch lagunaren Bereichen mit tropisch-aridem Klima waren für diese nicht von der Hand zu weisende Hypothese richtungsweisend.

Ebenso ungelöst bleibt die Frage nach der Bedeutung des Vulkanismus für die Vererzung (KOSTELKA—SIEGL 1965) oder nach dem Aufstieg metallführender Lösungen aus einem Paläowasserträger, etwa dem Permoskyth (SEIDL 1959, SCHROLL 1954). Eine Herkunft aus dem Paläozoikum oder gar dem Altkristallin im Sinne einer Lagerstättenregeneration ist sicher auszuschließen.

Mit großer Wahrscheinlichkeit sind jene Hypothesen auszuschneiden, wonach diese Lagerstätten aus Hydrothermen entstanden wären, die ihren Ursprung einem Tiefenmagmatismus, z. B. Alkalimagmen, zu verdanken hätten. Allein schon die Wegsamkeit für den Aufstieg bedeutender Wassermassen aus großen Tiefen innerhalb relativ kurzer Zeiträume würde ein geologisches Problem für sich darstellen. Dasselbe gilt für die hydrothermale Umlagerung älterer Lagerstätten im unterliegenden Paläozoikum oder Altkristallin.

Grundsätzlich sind deshalb überhaupt nur drei Varianten ernstlich in Erwägung zu ziehen:

1. Warme, mehr oder weniger salinare Wässer, die aus einem Aquifer Stoffe lösen und assendent im Karbonatgestein oder durch Austritt am Meeresboden zum Absatz bringen.
2. Verwitterungslösungen aus alten Landoberflächen, die vor allem bei Klimaumschwüngen Metalle in sehr flache großräumige Meeresteile einspeisen, die durch Wattenmeerbildung und Evaporitausscheidungen gekennzeichnet sind („Sab-

kaprozeß“, RENFRO 1974). Die Stoffe werden sedimentär konzentriert und diagenetisch umgelagert.

3. Stoffabgabe aus vulkanogenem Material (Tuffen, Laven u. ä.) durch über- und untermeerische Verwitterungsprozesse oder auch Zersetzung durch postvulkanische Prozesse.

Man darf auf keinen Fall übersehen, daß in der Trias in ganz Europa, im allgemeinen mit geringerer Intensität — mit Ausnahme der oberschlesischen Vorkommen — auf der Plattform „Germanische Trias“ im deutschen Raum, im Gebiet des Französischen Zentralplateaus, des pannonischen Zwischengebirges u. a. und meist in größerer Intensität im Bereich der mediterranen Geosynklinale („Alpine Trias“) Blei-Zink-Mineralisationen in Karbonatgesteinen sehr verbreitet vorkommen. Diese Tatsache schließt eine variante Genese nicht aus.

Eine genetische Deutung nach Variante 1 hieße schwache J-Typen — extreme J-Typen sind nur bei großem zeitlichen Hiatus zwischen der Bildung des Wasserträgers und des Mineralisationsprozesses zu erwarten —, weiters eine buntere Metallvergesellschaftung (Pb, Zn + Cu, Ag, Sb usw.), stärkeren Kieselsäureabsatz, geringe Homogenität der Bleiisotopenzusammensetzung, positive  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte u. dgl.

Die Variante 2 entspräche noch am ehesten einer Blei-Zink-Mineralisation, die extrem arm an Begleitelementen ist (Ag-, Cu-, Fe-Armut usw.), eine intensive Beziehung zum Nebengesteinschemismus, stark biogen beeinflusste Schwefelisotopenfraktionierung, homogene Bleiisotopenzusammensetzung u. ä. aufweist.

Die Variante 3 wäre unter Annahme einer rein sedimentären Stoffmobilisation aus nicht zu basischen kalireichen Tuffen, am ehesten mit Variante 1 und 2 zu kombinieren. Magmatogene Prozesse führen zur Bildung von Kieslagerstätten vom Typ Meggen oder Rammelsberg, die durch eine stärkere Konzentration von Eisen und chalkophilen Begleitelementen, wie Cu, Ag, Sb, Hg u. ä. charakterisiert sind. Ob der Nachweis der Isotopenzusammensetzung des Schwefels ( $\delta^{34}\text{S} = 0\%$ ) allein als Beweis für die vulkanogene Herkunft des Schwefels gelten darf, ist bereits in Frage gestellt worden.

Das geochemische Datenmaterial reicht zur Zeit noch nicht aus, um aus der geochemischen Charakteristik der ostalpinen triassischen Blei-Zink-Vererzungen bindende genetische Schlüsse ziehen zu können. Ergänzende Untersuchungen, vor allem auch des Gesteinschemismus und Isotopengeochemie des Nebengesteins (Vulkanite, Plattformkristallin), Rekonstruktionsversuche der mineralisierenden Lösungen einschließlich experimenteller Untersuchungen über Mobilisierbarkeit und Absatz von Stoffen werden im Zuge der Korrelation mit anderen mesozoischen oder auch jüngeren und älteren Blei-Zink-Vererzungen in Karbonatgesteinen dazu beitragen, die Gruppe der „telethermalen Blei-Zink-Lagerstätten“ besser genetisch verstehen und klassifizieren zu können.

Geochemisch besteht wohl kein Zweifel, daß das Element Blei, einschließlich seiner kristallchemischen Begleitelemente Tl, Ba und z. T. Sr vornehmlich aus den Kalifeldspäten, das Zink mit seinen Begleitelementen Fe und Cd, sowie das Fluor aus Glimmern abzuleiten ist, Ge und Ga werden bei der Zerstörung der Alumosilikate frei.

Eine zusammenfassende Übersicht über die geochemische Charakteristik einiger schichtgebundener Blei-Zink-Lagerstätten und -provinzen in Karbonatgesteinen gibt Tab. 3.

**Tabelle 3: Vergleich der geochemischen Charakteristik einiger schichtgebundener Pb-Zn-Lagerstätten-Typen und -Provinzen in Karbonatgesteinen**

	Bleiberg-Kreuth	Gorno	Nordalpen	Oberschlesien	Trochitenkalk NW-Deutschland	Mississippi Valley
Stratigraphie	Trias Ladin/Karn	Trias Ladin	Trias Anis bis Ladin	Trias Anis	Trias Anis	Devon. Karbon
Lagerstätten- inhalt	groß	mittel	klein bis mittel	groß	klein	groß
Metallinhalt	Zn, Pb; As, Ge, Tl (Mo, V)	Zn, Pb; Ag, Sb, Ga, Ge, Hg	Zn, Pb; $\pm$ Ag, Cu, As, Sb, Ga, Ge, As, Tl, Mo	Zn, Pb; Ag, Cu, As, Sb, Ge, As, Tl, Mo	Pb, Zn; Ag, Cu, Sb	Zn, Pb; Ag, Cu, Ge, Ga
Gangart	Karbonate, Fluorit, Baryt, Anhydrit, Strontianit	Karbonate, Fluorit	Karbonate, Fluorit, selten Sulfate (Anhydrit)	Karbonate, (Dolomitisie- rung !) Baryt (meist jüngster Erzgeneration)	Karbonate, Baryt	Karbonate, (Dolomitisie- rung) z. T. Ba- ryt, Fluorit, Si- lifizierung
S-Isotope	Sulfate Meerwasser $\delta^{34}\text{S} < 0$ (bis stark negativ)	Sulfide $\delta^{34}\text{S} \geq 0$	(Sulfate Meerwasser) Sulfide $\delta^{34}\text{S} < 0$ (bis stark negativ)	Sulfate $\delta^{34}\text{S} > 0$ variierend Sulfide, stark variierendes $\delta^{34}\text{S} < 0$ (schwach negativ bis stark positiv)	Sulfide $\delta^{34}\text{S} \geq 0$	Sulfide $\delta^{34}\text{S} \geq 0$

	Bleiberg- Kreuth	Gorno	Nordalpen	Oberschlesien	Trochitenkalk NW-Deutsch- land	Mississippi Valley
Pb-Isotope	Schwacher B-Typ, homogen	Schwacher B-Typ ( ? )	Schwacher B-Typ/ schwacher J-Typ	Schwacher B-Typ/ schwacher anormaler J-Typ	Schwacher J-Typ/ N-Typ	Starker J-Typ bis N-Typ, oft inhomogen
Charakter der mineralisierenden Lösungen	Meerwasser bis schwach sali- nar, offenes Sys- tem	Meerwasser offenes System	Meerwasser bis schwach sali- nare Connate- wässer	salinare Formations- wässer, geschlossenes bis offenes System	Meerwasser Formations- wässer, offenes bis geschlossenes System	hochsalinare Formations- wässer, offenes bis geschlossenes System
Zusammen- hang mit Vulkanismus	Tuffverdächtige Sedimente, Vul- kanite in Distanz	Montmorillo nitische Tufflagen, Zusammen- hang behauptet	Nicht beobachtet	Kein	Kein	Kein ( ? )
Möglicher Paläoaquifer	Permoskyth/ Karn ?	Permoskyth ?	Permoskyth/ Karn ?	Perm ?	?	Sandsteine (Lamotte u. a.)
Mineralisa- tionszeit	Trias bis Kreide vorstellbar	?	Trias bis Kreide vorstellbar	Trias bis Miozän	Trias bis jünger	Devos bis Karbon
Metall- herkunft	?	?	?	?	?	Sandsteine auf prä- kambrischem Altkristallin u. a. Quellen

## 6. Schlußbemerkung

So theoretisch die Betrachtung der Geochemie dieser Lagerstättengruppe auch erscheinen möge, so ergeben sich trotzdem nicht unwesentliche praktische Aspekte. Es wird nicht nur das Problem der Genese einer endgültigen Lösung nähergebracht, sondern es ergeben sich auch wertvolle Erkenntnisse für die Lagerstättenprospektion. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß man über bessere Kenntnisse von Chemismus und Isotopenzusammensetzung auch Aussagen über Höffigkeit und zu erwartende Lagerstätteninhalte erhalten kann, wie etwa, daß Großlagerstätten an einen bestimmten Typ der Bleiisotopenzusammensetzung gebunden sind (vgl. DOE—STACEY 1974). Nach dem bisher bekannten Datenmaterial wäre zu folgern, daß in den ostalpinen Trias größere Lagerstätteninhalte nur in Bereichen silberarmer Blei-Zink-Vererzungen zu erwarten sein sollten, die eine Bleiisotopenzusammensetzung von B-Typ aufweisen.

## Literatur

- BECHSTÄDT, T.: Lead zinc ores dependent on cyclic sedimentation. Mineral. Deposita 10 (1975) 234.
- BERNARD, A., FOGlierini, F.: Étude methologique sur la genese des gisements stratiformes du plomb-zinc en environnement carbonate. Econ. Geol. Monograph. 3 (1967) 267.
- BRÄTTER, P., JACOB, K. H., MÜLLER, P., RÖSICK, U.: Verteilungsmuster der Lanthaniden in Fluorit der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg in Österreich. 2nd Intern. Symp. on the Mineral Deposits of the Alps (Bled). Geologija 15 (1972) 329.
- BROWN, S. J.: Isotopic zoning of lead and sulfur in Southeast Missouri. Econ. Geol. Monogr. 3 (1967) 410.
- CAHEN, T. P., EBERHARDT, J., GEISS, J., HOUTERMANS, F. G., EDWAB, J., SIGNER, P.: On a correlation between common lead model age and trace element content of galenas. G. C. A. 14 (1958) 134.
- CARDICH-LOARTE, L. A.: Geochemie des Strontiums in der Blei-Zink-Erzlagerstätte Bleiberg-Kreuth. Diss. Univ. Wien 1971.
- CARDICH-LOARTE, L. A., SCHROLL, E.: Zur Geochemie des Strontiums in den Blei-Zink-Mineralisationen vom Typ Bleiberg-Kreuth und ihre Beziehung zur Erzgenese. Proceedings of the 2nd Intern. Symp. on the Mineral Deposits of the Alps. Geologija (Ljubljana) 15 (1972) 337.
- CARDICH-LOARTE, L. A., SCHROLL, E.: Die Verteilung und Korrelation einiger Elemente in einem Erzalkprofil der Bleiberger Fazies (Bleiberg/Kärnten — Rudolfschacht). T. M. P. Mitt. 20 (1973) 59.
- COLBERALDO, D.: Giacimenti Minerari: Vol. I, Giacimentologia generale giacimenti di Pb-Zn (e Ag). Cedan, Padova 1967.
- DESSAU, G.: Gli elementi minori nelle blende e nella galena dello miniera Salafossa (S. Pietro e S. Stefano di Cadore, Alpi Orientali Italiane). Confronti con i giacimenti del Bergamasco e di Raibl. Giornata di Studi Geominerari (Agordo) (1967) 123.
- DOE, B. R., DELEVAUX, M. H.: Source of lead in Southeast Missouri galena ores. Econ. Geol. 67 (1972) 409.
- DOE, B. R., STACEY, J. S.: The application of lead isotopes to problems of ore genesis and ore prospection evaluation. A Review. Econ. Geol. 69 (1974) 757.

- DROVENIK, M., LESKOVSEK, H., PEZDIĆ, J., STRUČL, I.: Sulfur-isotope composition in sulfide of some Yugoslavian ore deposits. *Rud.-met. Sbornik* (1970) 153.
- DUHOVNIK, J.: Über die Herkunft von Molybdän in der Blei-Zink-Erzlagerstätte Mežica (Slow.). *Geologija* (Ljubljana) 2 (1954) 113.
- ESPOURTEILLE, F., FOGLIERINI, F., LAGNY, PH.: Le gisement plombo-zincifere de Salafossa (Alpes Carniques Occidentales-Italie): une breche sedimentaire mineralisée sur le talus d'un recif triasique). In: *Atti del Symp. intern. su i giacimenti minerari delle Alpi Vol. 1* (1966) 83.
- ERMAKOV, N. P.: Analysed some sulfide samples collected by T. Galiewicz — fide T. GALKIEWICZ, geneza ślasko-krakowskich zboz cynkowo-olowiowych. *Rudy Metale Nieżelazne* (Katowice) 6 (1966) 285.
- FLEISCHER, M.: Minor elements in some sulfide minerals. *Econ. Geol.* 50<sup>th</sup> Anniversary Vol. Part. II (1955) 970.
- FRUTH, I.: Spurengehalte der Zinkblenden verschiedenen Pb-Zn-Vorkommen in den nördlichen Kalkalpen. *Chemie d. Erde* 25 (1966) 105.
- FRUTH, I., MAUCHER, A.: Spurenelemente und Schwefelisotope in Zinkblenden der Blei-Zink-Lagerstätte Gorno/Bergamasker Alpen. *Mineral. Deposita* 1 (1966) 238.
- GAYKIEWICZ, I.: Genesis of the Silesian-Cracovian zink-lead deposits. In: *Genesis of the stratiform lead-zinc-baryte-fluorite deposits.* (BROWN, S. J. ed) *Monograph* 3 *Econ. Geol.* 1967.
- GEHLEN, K. v., MELSEN, H.: Schwefel-Isotope aus Blei-Zink-Erzen von Oberschlesien. *Mineral. Dep.* 4 (1969) 308.
- GEILMANN, W., LANGE, G., BARTLINCK, H.: Über Rheniumgehalte einiger Molybdänminerale. *N. Jb. Mineral. Abt.* 4 (1945—48) 3.
- GEISS, J.: Isotopenanalyse an gewöhnlichem Blei. *Z. f. Naturforschung* 90 (1954) 217.
- GRAESER, S.: Minor elements in spalerite and galena from Binnatal. Relation to correlation problem isotopic composition. *C. M. P.* 24 (1969) 156.
- GRINENKŌ, V. A., ZAIRI, N. M., ŠADLUN, T. N.: Polygenetische Natur der Sulfidframboide in stratiformen Lagerstätten (russ.) *Geologija rud. mest., Moskva* 1974, 66—77.
- GRÖGLER, M., GRÜNENFELDER, SCHROLL, E.: Bleiisotopenhäufigkeiten in Bleiglanzen der Ostalpen. *Anzeiger Öst. Akad. Wiss.* (1961) 106.
- HABERLANDT, H.: Neue Fluoreszenzuntersuchungen an Fluoriten und anderen Mineralien. IV, math.-naturw. Kl. *Österr. Akad. Wiss.* 158 (1949) 609.
- HALLBERG, R. O.: Metal distribution along a profile of inter-tidal area. *Estuarine and Coastal Marine Science* 2 (1974) 153.
- HARAŃCZYK, Cz.: Pierwiaski sladowe u minerallach kruszowych z ślasko-krakowskich cynkowo-olowiannych. *Biul. Inst. Geol.* (1957) 63.
- HARAŃCZYK, Cz.: Die Entwicklung der Hypothesen über den Ursprung der Zn-Pb-Lagerstätten des Gebietes von Śląsk-Krakow. *Geologie* 20 (1971) 429.
- HARAŃCZYK, Cz., GAYKIEWICZ, T.: Consanguinity of the European zinc-lead ore deposits of Silesian-Cracovian type an their relation to alkali-basic-volcanites. In: *Problems of Hydrothermal Ore Deposits.* (POUBA, Z., STEMPROCK, M., eds.) *Schweizerbart, Stuttgart* (1970) 61.
- HARAŃCZYK, Cz.: Isotope Composition of lead from European zinc and lead deposits of Silesian-Cracovian type. *Rudy Metale, Nieżelazne* 2 (1969) 69.



- HARAŃCZYK, Cz.: Izotopy siarki w złożach kruszowych. *Przegląd Geologiczny* 5 (1973) 255.
- HARAŃCZYK, Cz., LIS, J.: Skład izotopowy siarki, typomorfizm i ontogeneza siarczoków i siarczanów ze skał mezo-i paleocenoicznych obszaru śląsko-krakowskiego. *Przegląd Geologiczny* 5 (1973) 259.
- HARAŃCZYK, Cz.: Skład izotopowy ołowiu europejskich złóż. *Rudy i Metale Nieżelazne* 14 (1969) 69.
- HARAŃCZYK, Cz.: Geneza dolomitów kruszczonośnych w świetle badań składu izotopowego siarki. *Przegląd Geologiczny* 5 (1973) 262.
- HARAŃCZYK, Cz., LIS, J.: Zróżnicowanie składu izotopowego siarki w kruszczach powstałych w warunkach krasu hydrotermalnego. *Przegląd Geologiczny* 5 (1973) 264.
- HARAŃCZYK, Cz., RUZINOWSKI, Zb., LIS, J.: Skład izotopowy siarki w barytach i galenach ze świątokryzyskich złóż kruszczowych. *Przegląd Geologiczny* 5 (1973) 268.
- HEGEMANN, F.: Über extrusive-sedimentäre Erzlagerstätten der Ostalpen. Teil II. Blei-Zinklagerstätten. *Erzmetall* 13 (1960) 79 u. 122.
- HEGEMANN, F.: Über sedimentäre Lagerstätten mit submariner vulkanischer Stoffzufuhr. *Fortschr. Mineral.* 27 (1948) 54.
- HEGEMANN, F.: Geochemische Untersuchungen über die Bildungsweise einiger ostalpiner Erzlagerstätten. *Tschermaks M. P. Mitt.* 6 (1958) 432.
- HEYL, A. V., LANDIS, G. P., ZARTMAN, R. E.: Isotope evidence for the origin of Mississippi Valley — Type mineral deposits: A Review. *Econ. Geol.* 69 (1974) 992.
- HOLLER, H.: Der Blei-Zink-Bergbau Bleiberg, seine Entwicklung, Geologie und Tektonik. *Carinthia II*, 143 (1953) 35.
- HOUTERMANS, F. G.: The isotope frequency in natural lead and the age of uranium. *Naturwissenschaften* 33 (1946) 185.
- HOFMEISTER, E., SIMON, P., STEIN, V.: Blei und Zink im Trochitenkalk (Trias, oberer Muschelkalk 1) Nordwest-Deutschlands. *Geol. Jb. (Hannover) Reihe D/Heft 1* (1972) 1.
- HUBER-SCHAUSBERGER, I.: Zur Geochemie der Fluorite. Diss. Univ. Wien, 1965.
- JACOB, K. H.: Deutung der Genese von Fluoritlagerstätten anhand ihrer Spurenelemente — insbesondere an fraktionierten seltenen Erden. Ph. D. Thesis, Techn. Univ. Berlin 1974.
- KÖPPEL, V., KOSTELKA, L.: The isotopic composition of ore lead from Bleiberg, Austria. Vortrag und Preprint. Amsterdam 1976.
- KOSTELKA, L.: Eine genetische Gliederung der Blei-Zink-Vererzungen südlich der Drau. *Carinthia II*, 155 (1965) 29.
- KOSTELKA, L., SIEGL, W.: Der triadische Geosynklinalvulkanismus und die Blei-Zink-Vererzung in den Drau-Kalkalpen. *Atti del symp. intern. giacm. min. d. Alpi* (1966) 127.
- KOSTELKA, L., PETRASCHECK, W. E.: Genesis and classification of triassic lead-zinc deposits in the Austrian region. In: Genesis of stratiform lead zinc baryte fluorite deposits (BROWN, J. S. ed) Monograph 3 Econ. Geol. 1967.
- KOSTELKA, L.: Hat der alpine Bergbau eine Chance? *Z. Deutsch. Geol. Ges.* 124 (1973) 93.

- KOSTELKA, L., NIEDERMAYR, E.: Mögliche Beziehungen zwischen der Verteilung der Zn-Halte und den Pb/Zn-Vererzungen in der Trias der Drau-Kalkalpen in Österreich. Metallogenetische und geochemische Provinzen. Symp. Leoben 1972. Schriftenreihe der Erdwiss. Komm. Öst. Akad. Wiss. Bd. I. Wien 1974, 120.
- KRANZ, J. R.: Petrographische und geochemische Untersuchungen von Nebengestein und Vererzung der Blei-Zink-Vorkommen Gstütalpe—Lech in Vorarlberg. Dipl. Arb. Freie Univ. Berlin 1970.
- KRANZ, J. R.: Die Strontium-Verteilung in den Arlbergsschichten (Oberes Ladin) des Klostertales (Vorarlberg/Nördliche Kalkalpen). Neues Jb. Geol. Paläont. Mh. (1973) 170.
- KRANZ, J. R.: Stratiforme and diskordante — Zink-Blei-Anomalien im erzhöflichen Oberen Wettersteinkalk (alpine Mitteltrias). Mineral. Deposita 11 (1976) 6.
- LANCELOT, J., SARZIN, G., ALLÈGRE, C. J.: Composition isotopique du plomb et du soufre des galènes liés aux formations sédimentaires. Interprétation géologiques et géophysiques. C. M. P. 32 (1971) 315.
- MACK, E.: Geochemische Untersuchungen am Nebengestein und an den Begleitwässern ostalpiner Blei-Zink-Lagerstätten. Berg- u. Hüttm. Mh. 103 (1958) 61.
- MAUCHER, A.: Zur „alpinen Metallogenese“ in den bayrischen Kalkalpen zwischen Loisach und Salzach. T. M. P. Mitt. N. F. 4 (1954) 454.
- MAUCHER, A., SCHNEIDER, H. J.: The Alpine lead-zinc ores. Econ. Geol. Monogr. 3 (1967) 71.
- MAUCHER, A.: Discussionremark on a paper of G. C. AMSTUTZ. Observational criteria for the classification of Mississippi Valley—Bleiberg-Silesia type deposits. Internat. Symp. on the Mineral Deposits of the Alps, Bled 1971. Geologija Razprave 15 (1972) 214.
- MINCEVA-STEFANOVA, J.: The genesis of the stratiform lead zinc ore deposits of the „Sedmochislenitsi“ type in Bulgaria. Econ. Geol. Monogr. 3 (1967) 147.
- MÖLLER, P., PAREKH, P. P., SCHNEIDER, H. J.: The application of Tb/La- Tb/La abundance ratios to problems of fluorspar genesis. Mineral. Dep. 11 (1976) 111.
- MOOKHERJEE, A.: Certain aspects of the geochemistry of cadmium. Geochem. Cosmochim. Acta 26 (1962) 351.
- OMENETTO, P.: Revisione dei metodi di studio dei giacimenti stratiformi a Pb-Zn. Bollettino della associazione mineraria subalpina 7 (1970) 3.
- PETRASCHECK, W. E.: Die Herkunft der Erzmetalle. Schriftenreihe der Erdwiss. Komm. Öst. Akad. Wiss., Bd. I. Wien (1974) 174.
- PETRASCHECK, W. E.: Geochemische Untersuchungen im kalkalpinen Bleizinkerzbezirk. Geol. Rdsch. 55 (1966) 398.
- RASMY, M., SCHRÖLL, E.: Indium und Gallium in Zinkerzen aus Bleiberg-Kreuth. Öst. Anz. Akad. Wiss. (1974) 153.
- RENFRO, A. R.: Genesis of evaporite-associated stratiform metalliferous deposits — sabkha process. Econ. Geol. 69 (1974) 33.
- RENTSCH, I.: Zur Entstehung der Blei-Zink-Kupferlagerstätten in triassischen Karbonatgesteinen des Nordwestbalkans. Freiberg. Forschh. R. C. 160 (1963) 1.
- SCHNEIDER, H. J.: Neue Ergebnisse zur Stoffkonzentration und Stoffwanderung in Blei-Zink-Lagerstätten der Nördlichen Kalkalpen. Fortschr. Mineral. 32 (1953) 26.
- SCHNEIDER, H. J.: Facies differentiation and controlling factors for depositional lead-zinc concentration in the Ladinian geocyclone of the Eastern Alps, Development of Sedimentology 2 (1964) 29.

- SCHNEIDER, H. J., MÖLLER, P., PAREKH, P. P.: Rare earth element distribution in fluorites and carbonate sediments of the East-Alpine Mid Triassic sequences in the Nördliche Kalkalpen. *Mineral. Deposita* 10 (1975) 330.
- SCHNEIDER, H. J.: The influence of connate water on ore mobilization of lead-zinc deposits in carbonate sediments (Summary). Meeting on Remobilization of Ores and Minerals, Cagliari (1966) 1.
- SCHROLL, E.: Über die Anreicherung von Mo und V in der Hutzzone der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth. *Verhandlungen der Geol. Bundesanst. Wien* (1949) 138.
- SCHROLL, E.: Über Minerale und Spurenelemente, Vererzungen und Entstehung der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten, Österr.). *Mitt. d. Öst. Mineral. Ges. Sonderheft Nr. 2* (1953) 1.
- SCHROLL, E.: Ein Beitrag zur geochemischen Analyse ostalpinen Blei-Zink-Erze. *Mitt. d. Österr. Mineral. Ges., Sonderheft 3* (1955) 1.
- SCHROLL, E.: Bemerkungen zur „alpinen Metallogenese“ der kalkalpinen Blei-Zink-Lagerstätten. *T. M. P. Mitt.* 5 (1954) 96.
- SCHROLL, E.: Anomalous compositions of lead isotopes in the lead-zinc deposits of Calcareous Alps sediments. *Rud.-met. Sbornik* 2 (1965) 139.
- SCHROLL, E.: Über den Wert geochemischer Analysen bei stratigraphischen und lithologischen Untersuchungen von Sedimentgesteinen am Beispiel ausgewählter Profile der ostalpinen Trias. *Acta Geol. Geogr. Univ. Comenia (Bratislava)* 18 (1967) 315.
- SCHROLL, E.: Beitrag zur Geochemie des Bariums in Karbonatgesteinen und klastischen Sedimenten der ostalpinen Trias. *T. M. P. Mitt.* 15 (1971) 258.
- SCHROLL, E., WEDEPOHL, K. H.: Schwefelisotopenuntersuchungen an einigen Sulfid- und Sulfatmineralen der Blei-Zink-Erzlagerstätte Bleiberg/Kreuth, Kärnten. *T. M. P. Mitt.* 17 (1972) 286.
- SCHULZ, O.: Die Pb-Zn-Vererzung der Raibler Schichten im Bergbau Bleiberg-Kreuth (Grube Max) als Beispiel submariner Lagerstättenbildung. *Carinthia* II, 22. Sonderheft (1960) 1.
- SCHULZ, O.: Die synsedimentäre Mineralparagenese im oberen Wettersteinkalk der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten). *T. M. P. Mitt. N. F.* 12 (1968) 230.
- SCHULZ, O., 1970: Vergleichende petrographische Untersuchungen an karnischen Sedimenten der Julischen Alpen, Gailtaler Alpen und des Karwendels. *Verh. Geol. Bundesanst. (Wien)*, Jg. 1970, 165—229.
- SCHULZ, O.: Die syngenetische Mineralparagenese im oberen Wettersteinkalk der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten). *T. M. P. Mitt.* 12 (1968) 2 und 230.
- SCHULZ, O.: Erdwissenschaftliche Forschung im Dienste des Bergbaues Bleiberg. *Berg- u. Hüttenm. Mh.* 120 (1973) 10.
- SEIDL, K.: Grundsätzliche Betrachtungen zur Blei-Zink-Vererzung der Kalkalpen. *Erzmetall* 12 (1959) 76.
- SIEGL, W.: Zur Wulfenitbildung in manchen Blei-Zink-Lagerstätten. *Berg- u. Hüttenm. Mh.* 92 (1947) 49.
- SNYDER, F. G.: Criteria of origin of stratiform ore deposits. In: *Genesis of stratiform lead-zinc-baryte-fluorite deposits. Monograph 3 Econ. Geol.* 1967.
- STACEY, J. S., KRAMERS, J. D.: Approximation of terrestrial lead isotope evolution by two stage model. *E. Pl. Sci. Letters* 27 (1975) 207.

- STANTON, R. L., RUSSEL, R. D., FARQUHAR, R. M. : Anomalous leads and the origin of lead sulphide deposits. *Econ. Geol.* 54 (1959) 5881.
- STOIBER, R. E. : Minor elements in sphalerite. *Econ. Geol.* 35 (1940) 501.
- STRUČL, K. C. : Die Zn-Pb-Vererzungen des Grabenreviers. — Ein besonderer Typ der Lagerstätte von Mežica. *Geologija (Ljubljana)* 13 (1970) 5.
- TAUPITZ, K. C. : Erze sedimentärer Entstehung auf alpinen Lagerstätten des Typs „Bleiberg“. *Erzmetall* 7 (1954) 343.
- TERZIČ, S. B. : Thallium and mercury from minerals of the Pb-Zn-deposits of Mežica. 2nd Internat. Symp. on the Mineral Deposits of the Alps (Bled) 1971. *Geologija* 15 (1972) 361.