

Blei-Zink-Lagerstätten in Sedimenten

Von ERICH SCHROLL*)

Mit 5 Abbildungen und 2 Tabellen

*Geochemie
Sedimentgesteine
Pb-Zn-Vererzung*

Zusammenfassung

Das Vorkommen von Blei-Zink-Lagerstätten ist von der Evolution der Erdkruste abhängig. Aus dem Katararchaikum sind nur vulkanogen-exhalative Vorkommen bekannt. Mit der Entwicklung der Sedimenthülle, die zum Auftreten von Ton- und Karbonatgesteinen und Evaporitsedimenten geführt hat, sowie mit der Zunahme biologischer Aktivität, nicht zuletzt auch dem Erscheinen sulfatreduzierender Mikroorganismen, verlagert sich die Konzentration der beiden Buntmetalle in den sedimentären Bereich. Im Proterozoikum haben sich die größten Metallkonzentrationen auf kleinstem Raum vorwiegend in klastischen Sedimenten hydrothermal gebildet. Mit der Entwicklung von Formationswässern etwa seit dem Kambrium reichern sich Blei und Zink auch in tiefthermalen Prozessen (unter 250°C) an, die in den Bereich der Diagenese fallen und die von magmatogenen Prozessen unabhängig sein können. Verwitterungsprozesse können zwar Anlaß zur Vorkonzentration in Sedimenten sein, die Bildung von Großlagerstätten auf direktem Wege ist eher unwahrscheinlich.

Summary

The occurrences of lead-zinc-deposits depend on the evolution of the Earth crust. In the Katararchaikum deposits are restricted exclusively to volcanogenic-exhalative origin. During the evolution of the sedimentosphere and the formation of clay rocks and carbonatic rocks, the occurrences of evaporites and the increasing biological activities including sulphate reducing micro-organisms both metals have been concentrated mostly separated from the third base metal copper in higher amounts in sedimentary milieu. The largest ore deposits are found in clastic sediments of formation waters at temperatures lower than 250°C. These processes can be independent of magmatic activities, caused only by diagenetic processes. Processes of weathering can be made responsible only for pre-concentrations found in sediments. The formation of larger ore deposits seems to be more unlikely.

Blei- und Zinkerze sind weitgehend im sedimentären Milieu konzentriert, wenn man die vulkanogen-exhalative Vererzung aller erdgeschichtlichen Epochen miteinbezieht (vergl. auch SMIRNOV, 1977; TUGARINOV, 1979). Beim Kupfer besteht kein Zweifel, daß in Sandsteinen und Schwarzschiefern mehr als ein Drittel der Weltvorräte konzentriert worden sind. Auch mehrt sich die Erkenntnis, daß die klassischen hydrothermalen Ganglagerstätten, soweit sie in Beziehung zu magmatogenen

Ereignissen wie Granitintrusionen zu setzen sind, ihren Metallbestand oft vorwiegend Metallanreicherungen im sedimentären Milieu zu verdanken haben. Die Sedimente erhalten die Buntmetalle auf verschiedenstem Wege zugeführt: magmatogen, meist durch vulkanogene Ereignisse oder durch Mobilisation aus dem sedimentären Bereich selbst. Während Kupfer und Zink in basischen Magmatiten ihre Hauptanreicherung erfahren, wird Blei in den Feldspäten apikaler Granitintrusion angereichert. Verwitterungsprozesse allein sind offenbar nicht imstande, erhebliche Metallkonzentration auf engerem Raum hervorzubringen, wenn es auch erwiesen ist, daß Verwitterungsprozesse im Zusammenwirken mit salinaren Wässern zu Vererzungen führen können. Sie werden vielmehr in Form von Voranreicherungen wirksam. Verwitterung und Remobilisation von präexistenten Erzlagerstätten und metallreicheren Gesteinen sind als intensivierender Faktor nicht auszuschließen (vgl. SMIRNOV, 1977; ROUTHIER, 1980; KÖPPEL & SCHROLL, 1983). Unter den Bedingungen der Oberflächenverwitterung erweist sich Zink mobiler als Blei; Galenit ist verwitterungsbeständiger als Sphalerit.

Beide Metalle setzen für Stofflaugung und Migration das Vorhandensein chloridhaltiger Solen voraus. Solche bilden sich vor allem bei magmatischen Reaktionen mit Meerwasser, ferner aus evaporitischen Sedimenten und aus marinen Porenlösungen, die im Zusammenhang mit der Umwandlung biogener Substanzen in Erdöl und Erdgas zur Bildung der Formationswässer führen. Geothermische Prozesse jeder Art, von der Diagenese der Sedimente, der Anchimetamorphose bis zu magmatogen bedingten Temperatursteigerungen verstärken die Laugungsfähigkeit mariner und salinärer Wässer. Es ist aber noch eine offene Frage, ob nicht auch Komplexbildungen organogener Verbindungen, wie Pb-Salizylat, für den Metalltransport eine Rolle spielen könnten (GIORDANO & BARNES, 1981).

Es ist daher verständlich, daß die Genese der Blei-Zink-führenden Erzanreicherungen und Lagerstätten im besonderen Maße von der Evolution abhängig sein muß: von der Entwicklung der magmatischen Gesteine und der Sedimente und von einer Geotektonik, die Lagunen und Buchten am Rande von Schelfmeeren, mächtige Sedimentabfolgen mit Klastika, Karbonaten und Evaporiten in Geosynklinalen und auf Kratonen sowie geothermische Systeme ausbildet.

*) Anschrift des Verfassers: HR Prof. Dr. ERICH SCHROLL, Geotechnisches Institut der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, POB 8, A-1031 Wien.

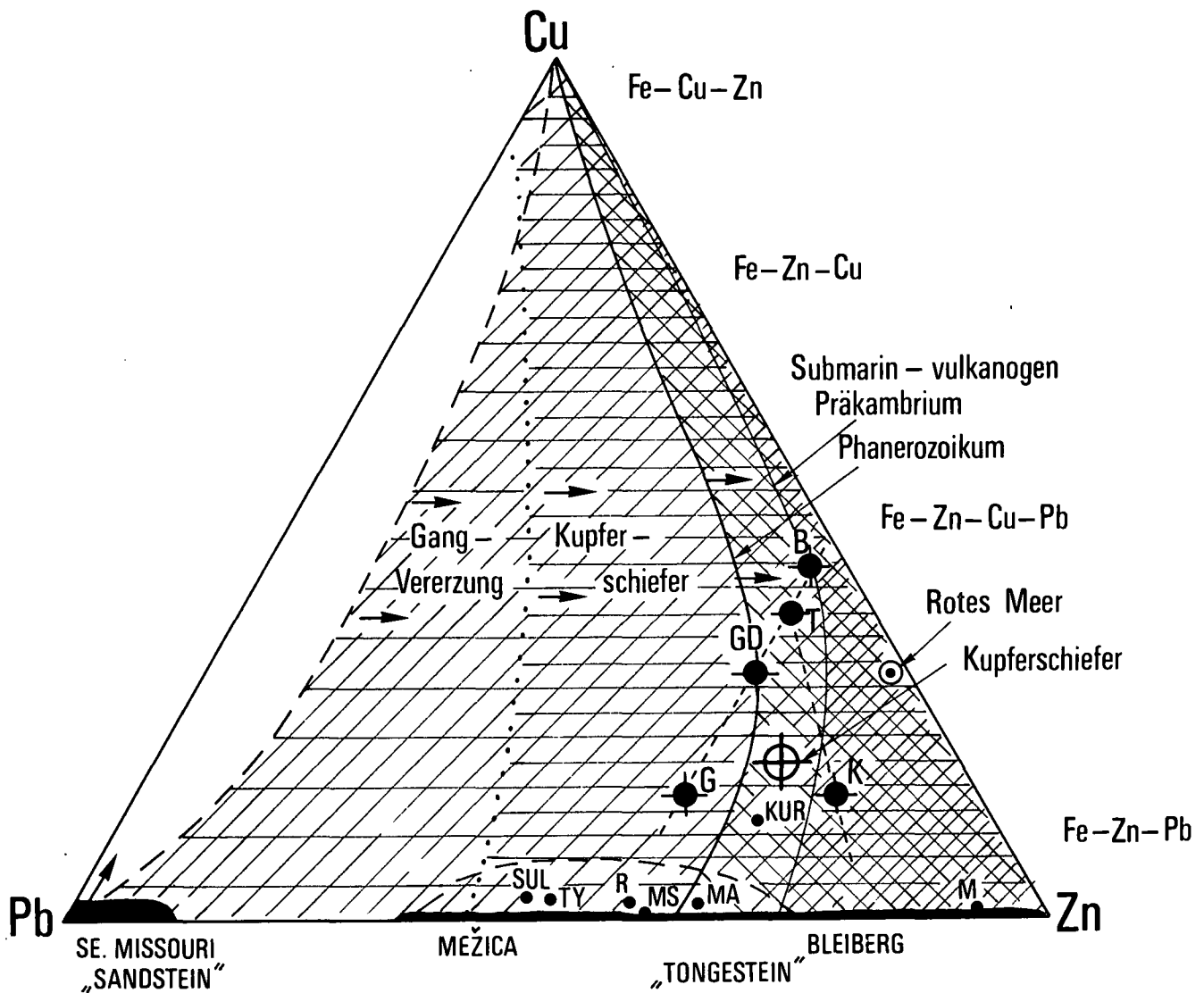


Abb. 1: Dreiecksdiagramm Cu – Zn – Pb schichtgebundener Pb-Zn-Lagerstätten. Im Vergleich dazu hydrothermale Ganglagerstätten (ergänzt nach STANTON, 1981).
 Geochemische Durchschnittsgehalte nach TUREKIAN & WEDEPOHL (1961): B = Basalte; GD = Granodiorite; G = Granite; T = Tongesteine; K = Kalksteine.
 Lagerstättendaten nach WOLF (ed., 1981), MAYNARD (1983): KUR = Kuroko; M = Meggen; MA = McArthur River; MS Mt. Isa; R = Rammelsberg; SUL = Sullivan; TY = Tynagh.

Das Element Blei hat außerdem die besondere Eigenschaft, daß sich sein Gehalt in der Erdkruste während der Evolution der Erdkruste durch Zuwachs an radiogenem Blei als Endprodukt der drei radioaktiven Zerfallsreihen des Urans und Thoriums nicht unerheblich erhöht hat. Das radiogene Blei hat auch die besondere Eigenschaft, bei Laugungsprozessen einen höheren Mobilitätsgrad als das vorwiegend an Feldspäte gebundene Gesteinsblei aufzuweisen.

Hochthermale Laugungsvorgänge verursachen die Mobilisation anderer Buntmetalle, wie Kupfer und Silber, sowie des Eisens und seiner Begleitelemente, wobei der hohe Clarkwert des Eisens zum anteilmäßigen Überwiegen beim Absatz führt. Oft ist eine Abtrennung von Blei und Zink einerseits und Kupfer andererseits zu beobachten.

Das Dreiecksdiagramm Cu-Pb-Zn (Abb. 1) zeigt Häufungen in den binären Elementbeziehungen Cu-Zn und Pb-Zn. Die vulkanogen-sedimentären Vererzungen lassen in der Metallverteilung deutliche Beziehungen zu den Hauptgesteinstypen erkennen. Die Erze der prä-

kambrischen massiven Sulfidlagerstätten sind durch geringere Bleigehalte gekennzeichnet als die des Phanerozoikums. Die höherthermalen Ganglagerstätten weisen die stärkste Streuung auf. Ein Zn/Pb-Verhältnis von Zwei ist häufig (STANTON, 1972). Der sedimentäre Kupferschiefer zeigt in seinen Profilen starke Streuung, die Mittelwerte rücken jedoch in den Bereich der Clarkwerte der Hauptgesteinstypen und kommen dem Bereich der massiven Sulfidlagerstätten nahe. Die tiefthermalen Pb-Zn-Vererzungen in den Karbonatgesteinen tendieren bei fast völligem Zurücktreten des Kupfers zu einer binären Verteilung, die drei Häufungsmaxima bei den Zn/(Pb+Zn)-Verhältnissen 0,75–1, 0,5–0,75, und 0–2 erkennen lassen (SANGSTER, 1983). Mit dem Kupfer wird auch das seltenere Silber abgetrennt.

Die geologische Zuordnung ergibt sich aus dem Bezug zur Metallquelle und aus der tektonischen Position der Vererzung. Bleireiche Mineralisationen deuten auf die Herkunft aus Sandsteinen, Zink-Blei-reiche auf Bekkenpositionen und zinkreiche auf kratonferne Absätze, wobei vor allem Tongesteine als Metallquelle in Frage

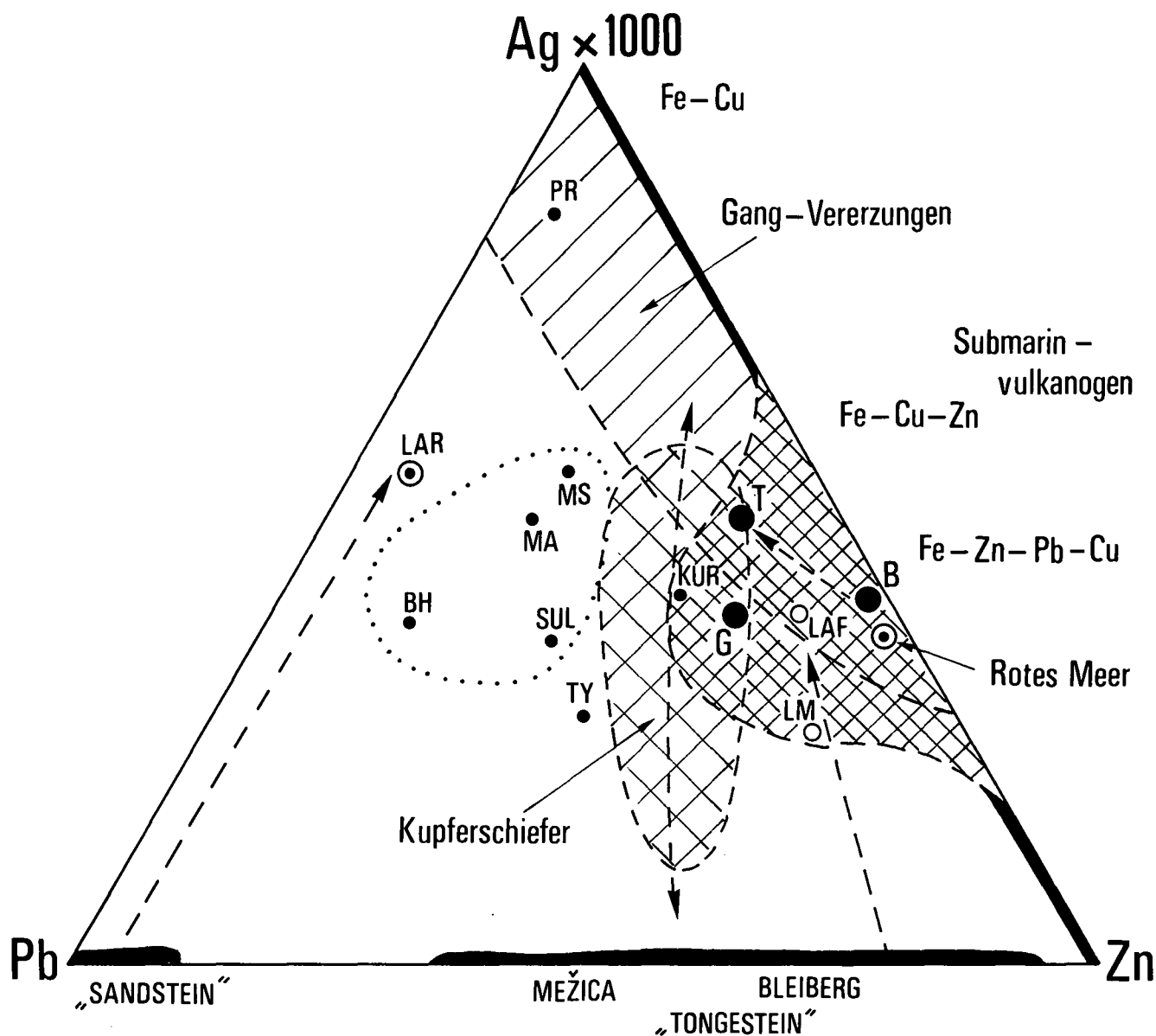


Abb. 2: Dreiecksdiagramm Ag – Zn – Pb. Abkürzungen wie Abb. 1.

kommen. Die binäre Cu-Pb-Verteilung stellt sich als eine Lücke dar, die jedoch im sedimentären Bildungsbereich durch Mineralisationen besetzt wird, die mit klastischen Sedimenten, wie Sandsteinen, in Verbindung zu bringen sind.

Im frühen Präkambrium sind nur vulkanogen-sedimentäre (exhalative) Vererzungen bekannt, die an Pyroklastika und Grauwacken gebunden sind. Die primitive ozeanische Kruste war arm an Blei, sodaß Kupfer- und Kupfer-Zink-betonte Lagerstätten überwogen haben, deren Bildung rezent in ozeanischen Riftgebieten zu beobachten ist. Bleireiche Vererzungen treten erst mit der weiteren Entwicklung der Sedimenthülle im Proterozoikum, etwa ab 2000 Ma auf. Zu dieser Zeitepoche bilden sich die ersten bedeutenderen Evaporitsedimente aus, und die sulfatreduzierenden Bakterien werden wirksam. Bakteriogene Reduktion ist wenigstens seit 2700 Ma in archaischen Sedimenten feststellbar (GODWIN et al., 1976; MONSTER et al., 1979). Eine Erhöhung der Konzentration organogenen Kohlenstoffs dürfte gleichfalls, verbunden mit der Zunahme des Sauerstoffgehaltes der Erdatmosphäre, von Bedeutung sein

(Abb. 3). Im Proterozoikum findet man die wirtschaftlich bedeutendsten Pb-Zn-Lagerstätten der Erdkruste, die die höchsten Metallkonzentrationen auf kleinstem Raum aufweisen. Sie sind im kontinentalen Bereich an Riffe gebunden. Dieser Lagerstättengruppe fehlt die eindeutige und unmittelbare Bindung an vulkanogene Ereignisse. Man hat sie auch als „sedimentär-exhalativ“ bezeichnet (MAYNARD, 1983).

Mit dem verstärkten Auftreten von Kalksteinen und mächtigeren Karbonatgesteinsablagerungen im Paläozoikum und Mesozoikum (600–200 Ma) werden bedeutendere Metallinhalte in neuen Lagerstättentypen gebunden. Es scheint, als ob die geochemische Anreicherung des Calciums mit der der beiden Buntmetalle einherginge. Diese Vererzungen erreichen nicht mehr die Intensitäten des Präkambriums. Der Metallreichtum verteilt sich auf größere Flächen. Die postkambrischen Vererzungen in Karbonatgesteinen zeichnen sich oft durch eine extreme Abtrennung von Eisen, Silber und Kupfer aus (Abb. 2). Der Eisengehalt der Vererzungen wird mit dem des Nebengesteins vergleichbar. Oft sind mit den beiden Buntmetallen keine nennenswerten

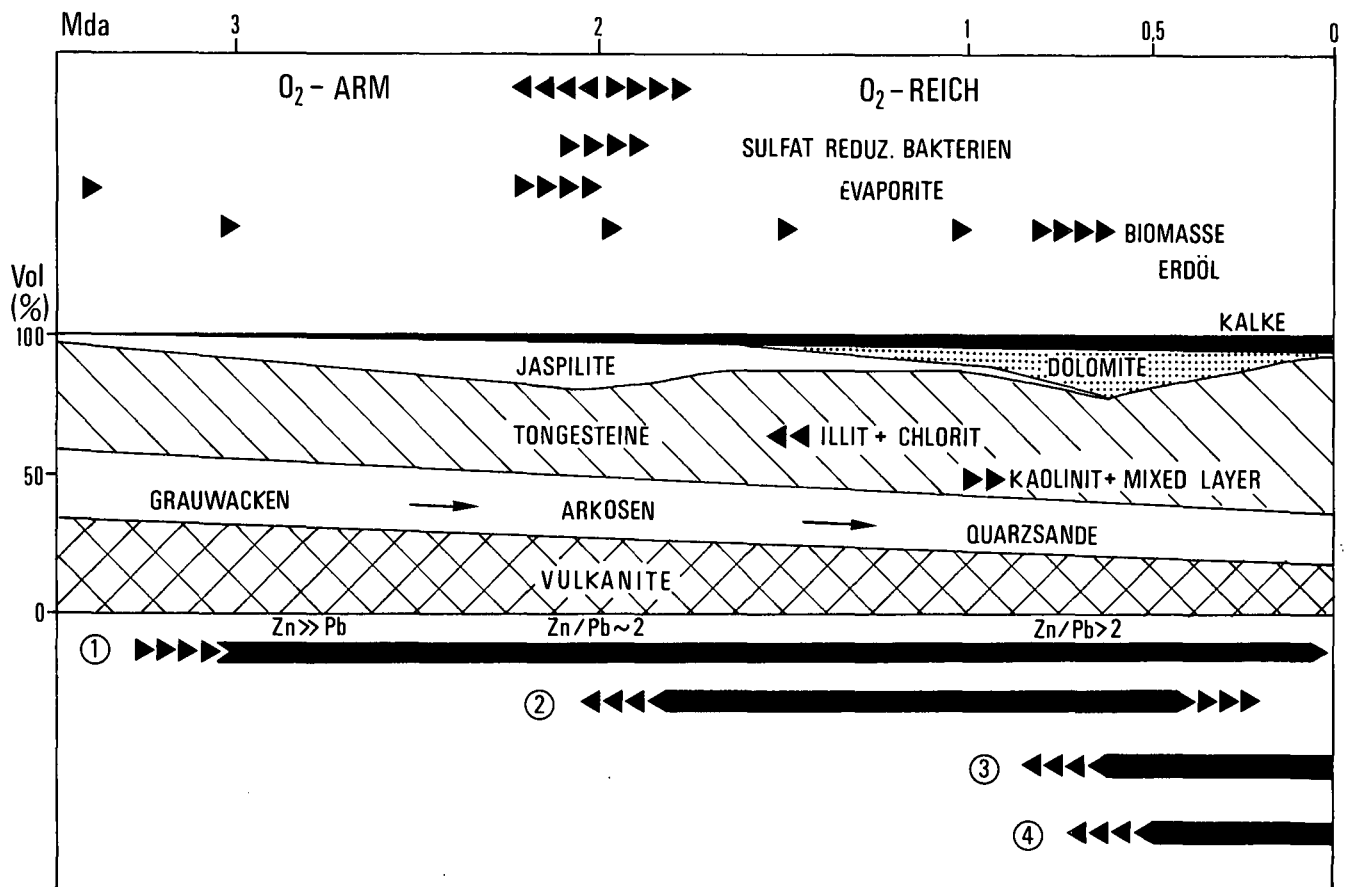


Abb. 3: Entwicklung der schichtgebundenen Blei-Zink-Lagerstätten als Folge der Evolution der Atmo-, Bio- und Sedimentosphäre (nach RONO, 1964; GARRELS & MACKENZIE).
 1 = Vulkanogen-sedimentäre Lagerstätten; 2 = Exhalativ-sedimentäre Lagerstätten; 3 = Hydrothermal-sedimentäre Lagerstätten, spätdiagenetisch - epigenetisch; 4 = Sedimentäre Lagerstätten in ungeklärtem Zusammenhang mit vulkanogenen Ereignissen und sedimentäre Vererzungen des Verwitterungskreislaufes.

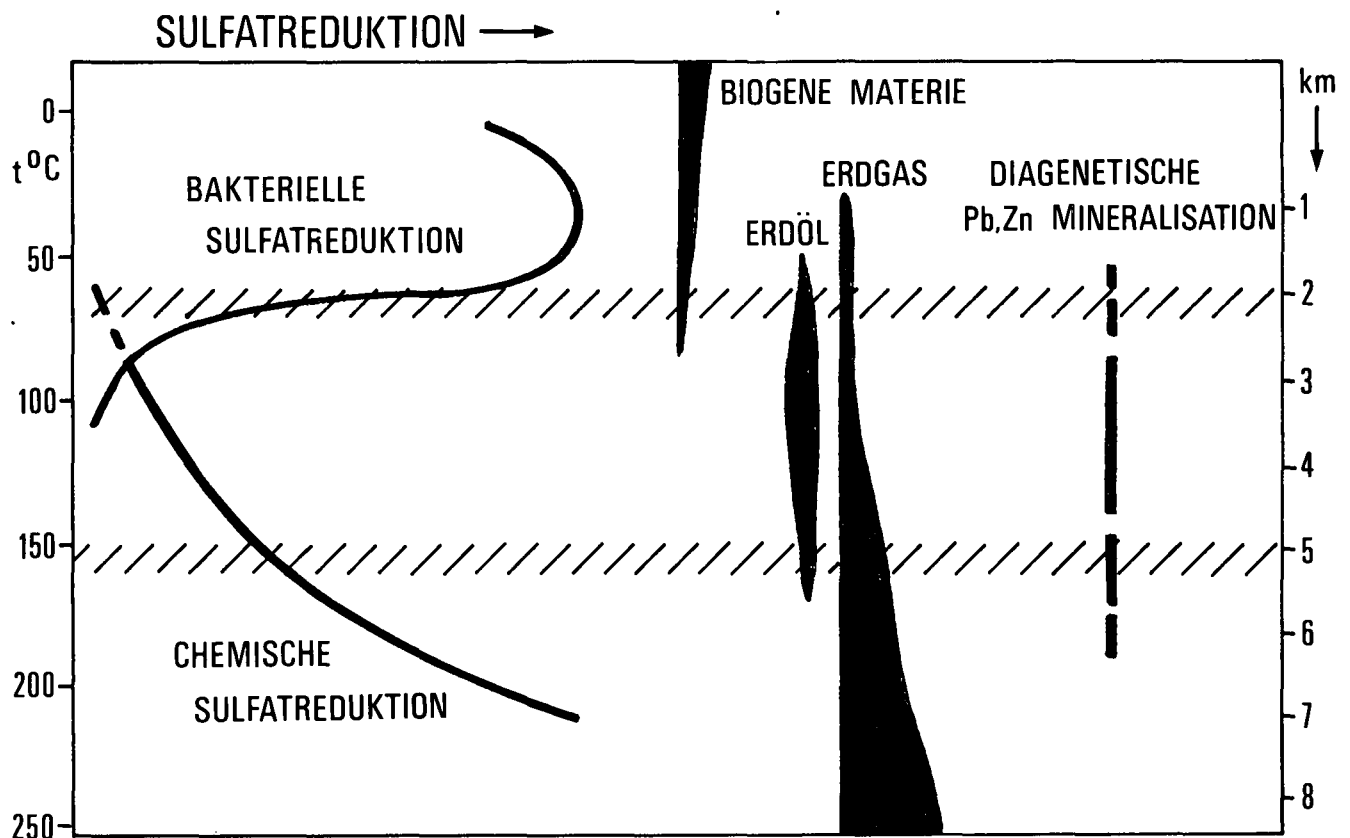


Abb. 4: Biogene und abiogene Sulfatreduktion im Ablauf der Diagenese (nach DUNSMORE, 1975).

Mengen an Eisen zugeführt worden. Die Temperaturen der metallbringenden Laugen überschreiten selten 250°C. Das sind Temperaturbereiche, die noch Diagenese Prozessen zugeordnet werden können. Die Genese der karbonatgesteinsgebundenen Vererzungen ist verschiedenartig. Man faßt sie oft unter der Bezeichnung „Mississippi Valley“-Typ (MV) zusammen, obwohl man doch sehr differente Typen zu unterscheiden hat.

Die Mineralisationsprozesse reichen von syngenetischen Absätzen, in denen der frühdiagenetische Zustand des Erzschlammes noch bewahrt worden ist, bis zu Zufuhren und Konzentrationen im spätdiagenetischen Milieu, deren Abgrenzung von hydrothermal bzw. magmatogen verursachten Zufuhren ohne gründliche geochemische Untersuchungen kaum möglich erscheint. Die Vererzungen könne auch durch komplexe Umlagerungsprozesse

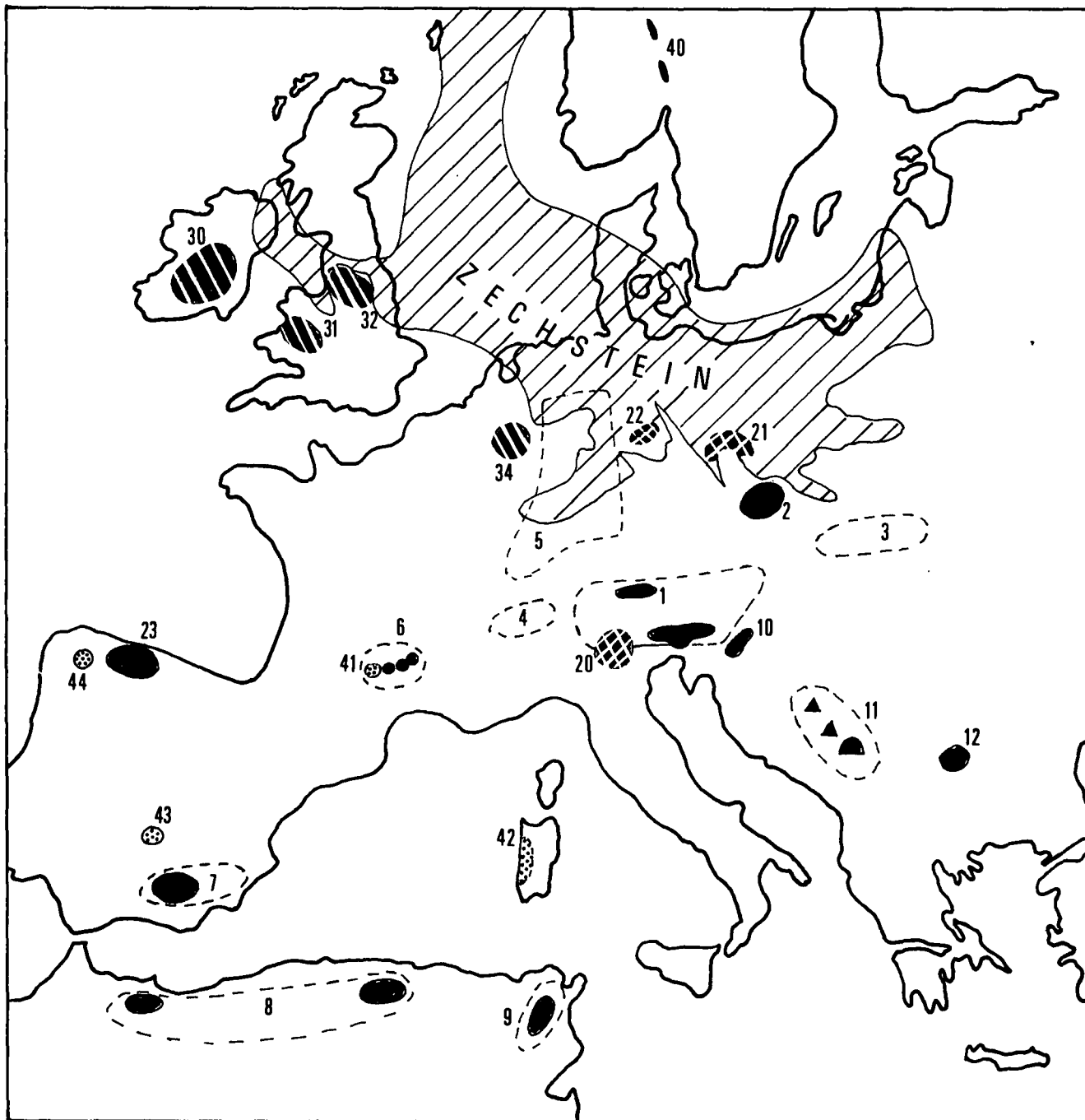


Abb. 5: Übersichtskarte an Karbonat- oder Sandsteinfazies schichtgebundener Pb-Zn-Lagerstätten Europas und des angrenzenden mediterranen Raumes (unter Verwendung von Daten von WOLF, 1981; FONTBOTÉ & AMSTUTZ, 1983 u. a.).

Mesozoische Provinzen: 1 = Ost- und Südalpen (Trias, Anis bis Karn); 2 = Oberschlesien (hauptsächlich Trias, Anis); 3 = Karpathen (Trias, unbedeutend); 4 = Westalpen (Trias, unbedeutend); 5 = Germanische Plattform (Trias); 6 = Cevennen (Trias bis Kreide); 7 = Betische Cordillere (Trias); 8 = Hoher Atlas (Jura, Kreide); 9 = Tunis (Trias bis Tertiär); 10 = Savefalten (Trias ab Skyth); 11 = Dinariden (Trias); 12 = Balkan (Trias, Anis); 13 = Santander (Kreide).

Permische Provinzen: 20 = Südalpen – Savefalten; 21 = Kupferschiefer, Harzvorland; 22 = Kupferschiefer, Sudetenvorland (Zechsteininformation als Träger einer großräumigen, schichtigen Vererzung).

Karbon-devonische Provinzen: 30 = Irland (Karbon); 31 + 32 = Nord- und Südpenniden (Karbon); 33 = Südbelgien – Aachen (Devon, Karbon); 34 = Santander (Karbon).

Alte Provinzen: 40 = Baltischer Schild (Spätkambrium bis Kambrum); 41 = Montagne Noir (Kambrium); 42 = Sierra Morena (Ordoviz); 44 = Rubiales (Kambrium–Devon).

verändert werden, die von Resedimentationen bis zur Stoffwanderung in vorgegebenen Wegsamkeitsbahnen und Aufstieg in jüngere Sedimentauflagerungen reichen können. Großlagerstätten bilden sich oft durch Wiederholung schichtgebundener Vererzungen und durch Umlagerungsprozesse. Die Herkunft der Metalle ist oft umstritten. Die Annahme von Aufstiegswegen fällt oft leichter, als solche zu beweisen. Kontemporärer Vulkanismus ist bisweilen vorhanden, ohne daß man einen unmittelbaren genetischen Zusammenhang auch eindeutig nachweisen kann.

Es darf als sicher angenommen werden, daß für Migration und Konzentration auch Verwitterungsprozesse in Frage zu ziehen sind, wobei Erzmineralisationen und Lagerstätten den regionalen Durchschnittswert der beiden Metalle in Sedimenten anheben können. Es ist eine Tatsache, daß in der Abfolge: kristalliner Untergrund – Klastika – Evaporite – Karbonatgesteinsserien, die liegenden Karbonatausscheidungen, wie etwa im Anis (Muschelkalk), in ausgedehnten Verbreitungsräumen – etwa vergleichbar dem permischen Kupferschiefer – positive Zink-Blei-Anomalien aufweisen, auch dort, wo keine unmittelbaren Verbindungen mit kontemporären vulkanischen Ereignissen hergestellt werden können.

Die geotektonische Entwicklung der kontinentalen Kruste ist in Perm und Trias durch eine tiefgreifende Verwitterung, verbunden mit Sandsteinen des Red-Bed-Typs, mariner Transgression und intensiver Evaporitausscheidung gekennzeichnet. Gleichzeitig beginnt die Pangea zu zerbrechen und die Kontinentalschollen auseinanderzudriften. Dieser Zeitraum ist durch großflächige, extensive sedimentäre Vererzungen gekennzeichnet. Veränderungen in der Sulfat/Sulfid-Verteilung im kontinentalen und marinen Bereich werden durch starke Veränderungen in den Schwefelisotopenzusammensetzungen des Meerwassersulfates angezeigt. Es erscheint erwähnenswert, daß das Auftreten der Pb-Zn-Lagerstätten reichere Metallkonzentrationen vom Typ Bleiberg mit der Normalisierung der Isotopenzusammensetzung als Meerwassersulfat verbunden erscheint.

Metallführende Formationswässer und das Vorkommen von Bitumina in Erzmineralisationen machen Beziehungen zur Erdölbildung sehr wahrscheinlich (DAVIS, 1977, Abb. 4). Es ist nicht abwegig anzunehmen, daß metallreiche Tongesteine ebenso als Muttergesteine

anzusprechen sind wie bitumenreiche Sedimente als Muttergesteine des Erdöls oder Erdgases. Die Verbindung sedimentär-hydrothermalen Mineralisationen mit Salzdiapirismus ist gleichfalls bekannt (u. a. PRICE et al., 1983).

Der stoffliche Einfluß des kristallinen Untergrundes als präexistenter Teil der Erdkruste auf den Inhalt von Erzanreicherungen in den auflagernden Sedimenten ist nicht in Frage zu stellen.

Es ist eine Beobachtungstatsache, daß im alpinen Krustenbereich die an Karbonatgesteinsserien schichtgebundenen Pb-Zn-Mineralisationen vom Perm bis zur Mitteltrias in der Zeitabfolge an Cu und Ag verlieren und die Isotopenzusammensetzung des Bleis im Ladin-Karn vor allem in den großen Lagerstätten nördlich und südlich des Periadriatischen Lineamentes eine charakteristische Homogenisierung erfahren hat.

Man kann im Fall des alpinen Typs Bleiberg das Modell einer hydrothermalen Konzentration zwar nicht abweisen, man muß sich aber bewußt bleiben, daß die Prämissen einer tiefthermalen Stoffmobilisation und unverkennbar sedimentärer Erzabsätze unabdingbare Tatsachen sind. Zum Unterschied vom Mississippi-Valley-Typ im eigentlichen Sinne ist der Typ Bleiberg an das Geosynklinalstadium gebunden. Erdölbildung und Formationswässer dürften bei genetischen Überlegungen auszuschließen sein.

Noch aber fehlen wesentliche Kriterien, um eine von Vorurteilen unbeeinflusste eindeutige und zwingende Aussage über die tatsächlichen geologischen und geochemischen Prozesse geben zu können, die zur Bildung solcher Metallkonzentrationen geführt hat, wie man sie in Bleiberg vorfindet.

Eine vereinfachte Klassifikation schichtgebundener Blei-Zink-Lagerstätten ist abschließend in Tab. 1 dargestellt. Im folgenden Beitrag (SCHROLL, *ibid.*) soll anhand geochemischer Daten der Versuch einer geochemischen Klassifikation unternommen werden. Die postpräkambrischen schichtgebundenen Blei-Zink-Lagerstätten des europäischen und mediterranen Raumes sind in einem Übersichtskärtchen (Abb. 5) dargestellt. Metallinhalte von sedimentgebundenen Blei-Zink-Lagerstätten sind in Beispielen aus allen geologischen Epochen in Tab. 2 zusammengestellt.

Tabelle 1: Versuch einer systemanalytischen Darstellung der genetischen Klassifikation von Blei-Zink-Vererzungen in Sedimenten.

Typ	Genetischer Bereich	Geochemische Quelle	Laugungs-medium	Laugungs-temperatur	Absatz-temperatur	Absatz-milieu
Vulkanogen-exhalativ	Vulkanische Laven	Basite	Meerwasser		hoch- bis tieftemperierte	bis sedimentär
	und Pyro-klastika	Felsite	Evaporitische Wässer	meist über 350° C		
	+ klastische Sedimente im bes. Tone	Sedimente + vulkanogene Gase und Dämpfe	(Süßwasser + gelöste Evaporite)	(+ Brüden/Wasserdampf)		
Geothermal-exhalativ bis hydro-thermal	Bindung an geothermische Systeme	Basite	Meerwasser		hoch- bis tieftemperierte	Gang-systeme + later-al-sekre- tonische Prozesse
	mit erkennbaren Zuführungssystemen (tektonische Störungssysteme)	Felsite	Solwässer	wie oben		
	bedingt durch magmatische Ereignisse	Sedimente und deren metamorphe Äquivalente	Süßwasser, metamorphogene Wässer			bis sedimentär

Tabelle 1 (Fortsetzung).

Typ	Genetischer Bereich	Geochemische Quelle	Laugungs-medium	Laugungs-temperatur	Absatz-temperatur	Absatz-milieu
sedimentär-diagenetisch	Vorwiegend oder ausschließlich in Sedimentabfolgen oft verbunden mit Erdölgenese und Salzdiapiren	Tuffite Klastika (Sandsteine) Tone Karbonat-gesteine	Meerwasser Connate-wässer Formations-wässer (Mischwässer/ Süßwasser ?)	unter 250° C	unter 250° C	synsedimentär und/oder Wegsamkeiten im karbonatischen Milieu, (Karst- u. Gangsysteme)
sedimentär-unbekannter Herkunft	Vorwiegend in Karbonatgesteinen mit Ton und Mergel-einlagerungen + Evaporiten	Zufuhr unbekannt	Tone, Tuffite ?	unter 100 bis 150° C	unter 50° C, Temperatur-anstieg während der Diagenese	marine Sedimentation mit diagenetischen Mobilisationen
sedimentär-bekannter Herkunft	Synsedimentäre Metallkonzentration in Klastika, Tone, Karbonate, Dolomite	Zufuhr meist geringer Metallkonzentrationen ableitbar	diagenetische Wässer	unter 200° C		synsedimentäre Konzentration, lateralsekretorische Bildungen (Gängchen bis Geoden)

Tabelle 2: Blei-Zink-Kagerstätten in Sedimenten.

Alter (Ma)	Bezeichnung der Lagerstätte oder des Distriktes	Sediment	Metallinhalt Pb + Zn (+Cu) in 10 ⁶ t	Lagerstättentyp, bzw. besondere Bemerkung
über 2500	Flin-Flon/CAN	vulkanische Klastite, Grauwacken	10	massive polymetallische Sulfidvererzungen
1800-2000	Svekofenniden (S, SF)	Grauwacken, Pelite, Dolomite, Vulkanoklastite	je Lagerstätte 0,5 - 1	
1700	Broken Hill/AUS		50	
1400-1600	Mt. Isa/AUS Mc Arthur/AUS		15 30	2 - 3 km ² !
1300	Sullivan/CAN	Argillite, Turbidite	> 18	
650	Laisvall/N	Sandstein	2,4	
500-600	Sardinien/I	Grauwacken, Pelite, Dolomite	10	
	Montagne Noir/F		1 ?	
400-500	Kaledonien		je Lagerstätte 0,5 - 1	
400	Rammelsberg/D		7	
	Grazer Paläozoikum/A		über 1	
350	Mittelirland	Dolomite, Tonschiefer, Sandsteine	50	
	Navan		9	

Tabelle 2 (Fortsetzung).

Alter (Ma)	Bezeichnung der Lagerstätte oder des Distriktes	Sediment	Metallinhalt Pb + Zn (+Cu) in 10 ⁶ t	Lagerstättentyp, bzw. besondere Bemerkung
300-500	Laurentische Tafel	Dolomite, Kalke	>50	
	Tristate/USA		15	
	Old Lead Belt/USA		10	
	Upper Missouri/USA		10	5700 km ²
	Tennessee/USA		1	
	Pine Point/CAN		6	
200-270	Pennin/GB			
250	Europäischer Kupferschiefer	Tongesteine, Dolomite	>1000	Fläche 6.10 ⁵ km ² , etwa 10 ³ t/km ² einschließlich der unvererzten Bereiche ("Fäulen")
	Mansfelder Kupferschiefer		350-450	500 km ² ; max. 9.10 ⁵ t/km ²
200	Mechernich/D Maubach/D	Sandstein, Konglomerate	3 0,3	
180-210	Oberschlesien/PL	Dolomite	46	
200	Nördliche und südliche Kalkalpen/A,YU,I,D	Kalke, Dolomite, Tongesteine, Tuffite	>10	
	Bleiberg/A		>3	
	Salafossa/I		0,6	
150-200	Cevennen/F		>2	
	Les Malines L'Argentiere	Dolomite, Kalke Sandsteine	>0,8 0,5	
15-200	Maghreb (Atlas) / AL,TU		>5	

Zum Vergleich: Ganglagerstätten in Sedimenten

Harzer Ganglagerstätten/D 6,5

St. Salvy/F >0,3

Ganglagerstätten im Kristallin

Freiberg/Sa /DDR 14

Anmerkung: +) Bezeichnungen von Ländern (Nationen) sind in der Form offizieller Abkürzungen (postalisch, Autokennzeichen) gebracht.

++) Bei den Angaben über Metallinhalte muß man sich bewußt sein, daß es sich meist um Minimalwerte handelt. Die Angaben resultieren aus bisher gefördertem Erz, Erzreserven, bzw. Metallproduktion. Sie vermitteln jedoch Vorstellungen über die Größenordnung geochemischer Stoffkonzentrationen. Die Angaben stammen aus verschiedenen Quellen, u.a. ROUTHIER (1980), WOLF (1981), MAYNARD (1983) u.a.

Literatur

- DAVIS, G. R. (ed.): Proceed. Forum on oil and ore in sediments. - Imperial College London, 205 pp, London 1977.
- DUNSMORE, H. E.: Origin of lead zinc ores in carbonate rocks: a sedimentary-diagenetic model. - Ph. D. Thesis, Univ. London, 227 pp, London 1975.
- FONTBOTÉ, L. & AMSTUTZ, G. C.: Facies and sequence analysis of diagenetic crystallization rhythmites in strata-bound Pb-Zn- (Ba-F-) deposits in the Triassic of Central and Southern Europe. In: SCHNEIDER, H. J. (ed): Mineral deposits of the Alps. - Proceed. IV ISMIDA 1981, Berlin (Springer) 1983.

GARRELS, R. M. & MACKENZIE, F. T.: Evolution of sedimentary rocks. - New York (Norton & Co) 1971.

GIORDANO, T. H. & BARNES, H. L.: Lead transport in Mississippi Valley type ore solutions. - Econ. Geol., 76, 2200-2211, Berlin 1981.

GOODWIN, A., MONSTER, J. & THODE, H. C.: Carbon and sulfur isotope abundance in Archean iron formation and Early Precambrian life. - Econ. Geol., 71, 870-891, Lancaster 1976.

KÖPPEL, V. & SCHROLL, E.: Bleiisotope und Remobilisation in Erzlagerstätten. In: PETRASCHKE, W. E (Ed.): Remobilization

- in the Alps and in SE-Europe. — Österr. Akad. Wiss., *Schriftreihe der Erdwiss. Komm.*, **6**, 39–52, Wien 1983.
- MAYNARD, J. B.: *Geochemistry of sedimentary ores.* — 305 pp., Heidelberg (Springer) 1983.
- MONSTER, J., APPEL, P. W., THODE, H. G., SCHIDLOWSKY, M., MICHAEL, C. M. & BRIDGEWATER, D.: Sulfur isotope studies in early Archean sediments from Issua, Westgreenland, implications for the antiquity of bacteria reduction. — *Geochim Cosmochim Acta*, **43**, 405–413, Oxford 1979.
- PRICE, P. E., KYLE, J. R. & WESSEL, G. R.: Salt dome related zinc-lead ore deposits. In: KISVARSANYI, G. et al. (eds.): *Internat. Conf. Mississippi Valley Type Lead-Zinc Deposits*, Univ. Missouri-Rolla. — 558–572, Rolla Miss. 1983.
- RONOV, A. B.: Common tendencies in the chemical evolution of the Earth's crust, ocean and atmosphere (russ.). — *Geokhimiya*, **8**, 715–743, Moskau 1964.
- ROUTHIER, P.: *Où sont les métaux pour l'avenir.* — *Memoir BRGM Orléans*, **105**, 410 pp, Orléans 1980.
- SANGSTER, D. F.: Mississippi Valley-type deposits: a geological mélange. In: KISVARSANYI, G. et al. (eds.): *Internat. Conf. Mississippi Valley Type Lead-Zinc Deposits*, 7–19, Rolla Miss. 1983.
- SMIRNOV, V. J.: Factor of time in formation of strata-bound ore deposits. In: KLEMM, D. D. et al. (eds.): *Time and strata-bound ore deposits*, 1–18, Berlin (Springer) 1977.
- STANTON, R. L.: *Ore petrology.* — 712 pp., New York (MacGraw Hill Book Co.) 1972.
- TUGARINOV, A. I.: Evolution of the ore formation in the history of the earth. In: AHRENS, L. H. (ed.): *Origin and Distribution of the Elements.* — *Proc. 2nd Symp. Paris 1977*, 553–564, Oxford (Pergamon Press) 1979.
- TUREKIAN, K. K. & WEDEPOHL, K. H.: Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. — *Bull. Geol. Soc. America* **72**, p. 175, New York 1961.
- WOLF, K. H. (ed.): *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits*, Vol. **10**, 576 pp., Amsterdam (Elsevier) 1981.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 15. August 1984.