

Verh. Geol. B-A.	Jahrgang 1978	Heft 3	S. 461-470	Wien, Dezember 1979
Proceed. 3 <sup>rd</sup> ISMIDA (Leoben, Oct. 7-10, 1977)			S. 287-296	Wien, Dezember 1979

## Beitrag der Geochemie zur Kenntnis der Lagerstätten der Ostalpen

VON ERICH SCHROLL\*)

Mit 1 Tabelle und 3 Abbildungen

Schlüsselwörter

Ostalpen  
Erzlagerstätten  
Geochemie  
Spurenelemente  
Sphalerite  
Schwefelisotopen

### Abstract

A short review about the application of geochemistry for the study of ore deposits of the Eastern Alps. Further new results of trace element analysis of sphalerites, sulphur isotope investigations, and geochemical indicator parameters.

### 1. Rückblick

Die ersten geochemischen Arbeiten, die Untersuchungen an ostalpinen Lagerstätten zum Gegenstand hatten, betrafen vor allem die geochemische Charakterisierung einzelner Erzminerale und Gangarten, wie u. a. Fluorite (HABERLANDT 1934-1938, 1949, 1954, HUBER-SCHAUSBERGER 1965), Pyrite (HEGEMANN 1943, HUBER-SCHAUSBERGER 1965), Galenite und Sphalerite (SCHROLL 1950, 1951, 1953, 1955, HEGEMANN 1960, DESSAU/PERNA 1965, FRUTH 1966, DESSAU 1967), Scheelite (HABERLANDT 1954), oxydische Eisenerze (HEGEMANN/ALBRECHT 1954, HEGEMANN 1958), Fahlerze (SCHROLL/IBRAHIM 1957), Magnesite (BRANDENSTEIN/SCHROLL 1960), Baryte (TUFAR 1965) und Siderite (SCHROLL/DOLEZEL 1972).

Diese geochemischen Untersuchungen hatten das Forschungsziel, Kriterien für Charakterisierung von ostalpinen Erzvorkommen zu finden. Die oft ähnlich erscheinende Makroparagenese und das weitverbreitete Vorkommen von vielen Erzmineralen waren nicht zuletzt die Basis für die damals allgemein als gültig angesehenen „unitaristische Theorie“ der Bildung der ostalpinen Erzprovinz. Versuche mit diesen geochemischen Daten diese Lehrmeinung zu stützen, blieben allerdings unbefriedigend. Denn die Aufgabenstellung „geochemische Leitelemente“ für die genetische Zuordnung von Lagerstätten zu finden, mußte zur kritischen Beurteilung und zu Kontroversen mit den vorherrschenden Ansichten der ostalpinen Lagerstättengeologie führen. Unbedingt schlüssige geochemische Kriterien für „sedimentäre“, „sedimentär-vulkanogene“, bzw. „submarin-exhalative“ oder „extrusiv-sedimentäre“, wie man früher sagte, oder „magmatogen-hydrothermale“ Genese von Mineralen konnten allerdings in Ermangelung genetisch richtig erfaßter Prototypen meist nicht erhalten werden (vgl. SCHROLL 1976). Am ehesten gelang dies bei Magnetit und Hämatit (HEGEMANN/ALBRECHT 1954).

\*) Anschrift des Autors: Prof. Dr. E. SCHROLL, Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Ob. 214, 1030 Wien.

Ein weiterer Erfolg wurde frühzeitig in der Frage nach der Herkunft des Molybdäns und Vanadiums in der Oxydationszone erzielt, daß diese beiden Elemente aus bituminösen Sedimenten herzuleiten seien (SIEGL 1947, HEGEMANN 1949, SCHROLL 1949). Der Nachweis des Vorkommens von Molybdänit ist dazu kein Widerspruch.

Ferner wurde erstmals eine Lagerstätte – Bleiberg-Kreuth – im Detail geochemisch untersucht (SCHROLL 1953) und der Versuch einer Gliederung der blei-zink-führenden Vererzungen der Ostalpen auf geochemischer Grundlage unternommen (SCHROLL 1955), der sich als beispielgebend für andere regionale geochemische Bearbeitung von Lagerstättenprovinzen erwiesen hatte. In ähnlicher Weise geschah dies für Vorkommen mit oxydischen Eisenerzen (HEGEMANN 1958).

Die Kenntnis der Verteilungsgesetzmäßigkeiten seltener Elemente in Blei- und Zinkerzen erwies sich für die Gewinnung von Spurenelementen als Beiprodukte, wie Cadmium und Germanium, auch von praktischer Bedeutung für die Rohstoffgewinnung. Eine Studie über die Verbreitung von Selen in sulfidischen Erzen der Ostalpen erbrachte dagegen nur wissenschaftlich auswertbare Ergebnisse (ROCKENBAUER 1957).

Die Geochemie hat so zu Beginn ihrer Anwendung nicht unwesentliche Beiträge zur regionalen Charakterisierung ostalpiner Lagerstätten geliefert und nicht unerhebliche Denkanstöße zum Fortschritt der Vorstellungen über Genese und Alterstellung gegeben. Trotzdem lag der durchschlagende Erfolg zunächst bei der Anwendung der Gefügekunde von SANDER und der Sedimentologie zur Diagnose schichtgebundener Mineralisationen.

## 2. Lagerstättengeochemie

Vielmehr haben die ersten positiven Ergebnisse der praktischen Anwendung geochemischer Methode in der Lagerstättenprospektion (s. u. a. MAC 1958, PETRASCHECK 1953, 1967, KOSTELKA 1962, KOSTELKA/NIEDERMAYR 1974) die Bedeutung dieses Fachgebietes unterstrichen. Die moderne Entwicklung der Geochemie auf analytischem und experimentellem Gebiet eröffnet aber die Möglichkeit, eine noch tiefere Einsicht in die Herkunft der Stoffe und die Bildungsgeschichte lagerstättenmäßiger Stoffanreicherungen auf physikochemischer Grundlage zu erhalten, wobei weltweites Beobachtungsmaterial, einschließlich das rezenter Prozesse und detaillierter Untersuchungen des regionalen und lokalen geologischen Milieus mit geotechnischen und geochronologischen Methoden einen entsprechenden datenmäßigen Unterbau zu liefern vermag. Die Genese von Lagerstätten kann somit rational erfaßt werden und braucht nicht mehr länger Objekt einer spekulativen, und damit einer fast dogmatischen Betrachtungsweise bleiben. Tabelle 1 gibt eine kurze Übersicht über die Möglichkeit der angewandten Geochemie zur Charakterisierung von Lagerstätten.

Die Existenz von Stoffanreicherungen ist nur aus der geologischen Evolution der Erdkruste, d. h. der Abfolgen magmatogener und sedimentärer Ereignisse zu verstehen. Die Bedeutung der Metamorphose erscheint wohl eher überschätzt. Hydrothermale Stoffzufuhren aus der Oberkruste oder gar dem oberen Erdmantel sind allein wegen der erforderlichen Wegsamkeit für wässrige Lösungen nicht vorstellbar. Dagegen kann das Eindringen von Magmen in die Oberkruste mit Wasseraufnahme und Reaktion der Erstarrungsprodukte mit Tiefen-, Grund und Oberflächenwässern verbunden sein. Die Suche nach Paläoaquiferen, zu der auch geochemische Methoden beitragen können, sollte nicht übersehen werden. In den Ostalpen ist die Bedeutung des relativ mächtigen Permoskyths oder anderer mesozoischer Schichtfolgen mit höherer Permeabilität für Mineralisationen zu untersuchen, die in die Zeit der alpidischen Geosynklinale und Orogenese zu stellen sind.

**Tabelle 1: Geochemische Charakterisierung von Lagerstätten.**  
(Geologisches Milieu, Nebengestein, Lagerstättenmineralisation und ihre Abfolge)

Geochronologie	Biostratigraphische und geophysikalische Altersbestimmungsmethoden (Alter des Nebengesteins, Mineralisationsalter, Metamorphosealter)
Chemischer Inhalt der Primärmineralisation ( $\pm$ Sekundärmineralisationen, wie als Folge von Oxydations- und Zementationsprozessen qualitativ und quantitativ und/oder relativ in Elementverhältnissen). Zeitliche Abhängigkeit des Chemismus	Chemische Analyse von Hauwerk, Konzentrat, Erzmineralen und Gangart auf Haupt-, Neben- und Spurenelemente.
Stoffherkunft	Chemische Analyse der Generationen von Erzmineralen und Gangartmineralen. Chemische Beziehungen zum Nebengestein, bzw. zu „Muttergestein“ oder zum geologischen Milieu.
Transportmedium	Isotopenanalyse (C, S, Sr und Pb) Rückschlüsse aus chemischen Daten (leichtflüchtige Elemente, Leitelemente für Meerwasser (z. B. B, $[\text{SO}_4^{-2}]$ ). Lösungseinschlüsse bzw. leichtlösliche Salzsuren.
Bildungsbedingungen (C, p, T, Eh, pH, Komplexbildung, biogene Einflüsse)	Isotopendaten (H, O und S) Mineralparagenese. Chemische Daten (Verteilungskoeffizienten!). Valenzanalyse. Isotopendaten (H, O, C, S)

### 3. Neuere Beiträge und Ergebnisse der Geochemie

In der Folge sollen über einige neuere Ergebnisse der geochemischen Lagerstättenforschung in den Ostalpen berichtet werden, vor allem auch über neuere eigene Arbeiten, die erst in Teilresultaten vorliegen.

#### 3.1 „Spurenelemente“

Das bessere Verständnis der physikochemischen Grundlagen der Spurenelementverteilung zwischen Kristall und Lösungsmedium, bzw. koexistierenden Mineralen erlaubt Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der mineralisierenden Lösungen und die Bildungsbedingungen (vgl. SCHROLL 1976).

Strontiumanalysen von Baryten können Hinweise liefern, daß das Sulfat aus Meerwasser ausgefällt worden ist. Darauf deuten die niedrigen Strontiumkonzentrationen in den Schwerspäten aus dem Grazer Paläozoikum, die altersmäßig und genetisch mit dem Schwerspat von Meggen vergleichbar sind (TUFAR 1965).

Die Untersuchung des Strontiumhaushaltes der Lagerstätte Bleiberg-Kreuth zeigt, daß für diese Elemente eine wesentliche Stoffzufuhr nicht angenommen werden muß. Die Strontiumverteilung in koexistenten Kalziten, Anhydriten und Schwerspäten deutet auf eine niedrige Bildungstemperatur (CARDICH-LOARTE/SCHROLL 1972).

Die Untersuchung der Verteilung der Seltenen Erden im Flußspat brachte ebenso den Hinweis auf Ausscheidung aus Meerwasser und sedimentäre Entstehungsgeschichte (BRÄTTER u. Mitarb. 1972, SCHNEIDER/MÖLLER/PAREKH 1975, SCHNEIDER u. Mitarb. 1977).

Die Charakterisierung von Zinkblenden durch Spurenelemente ist in Abbildung 1 in Form multipler Dreiecksprojektionen dargestellt.

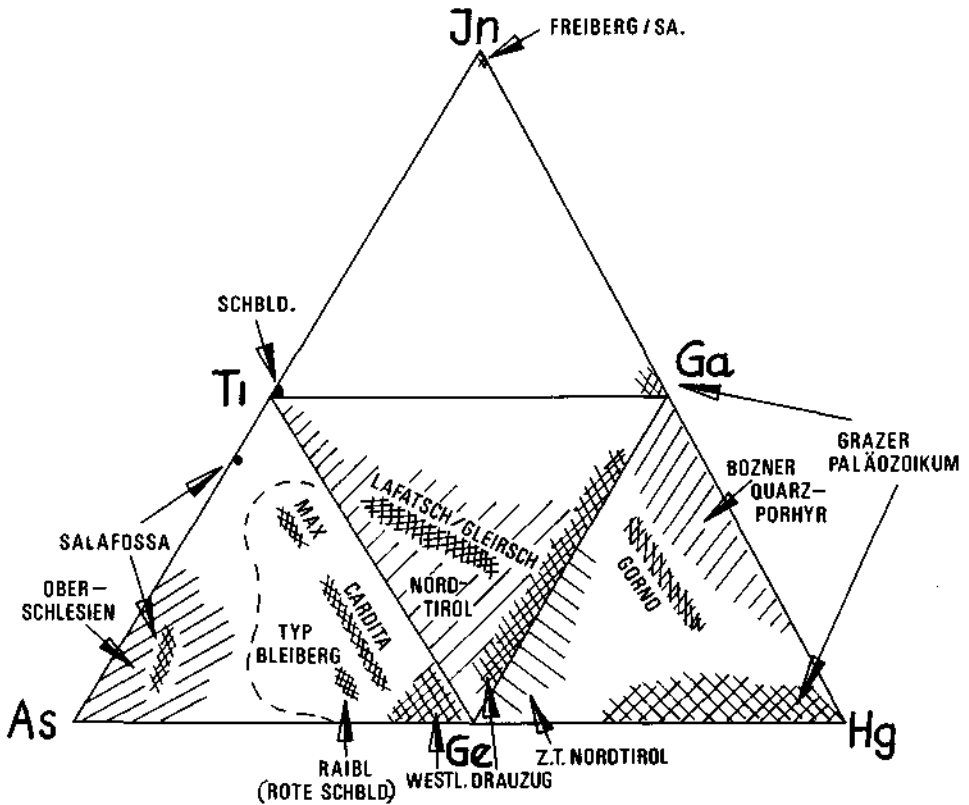


Abb. 1: Multiple Dreiecksprojektion der wichtigsten Spurenelemente von Sphaleriten: As-Tl-Ge, Ge-Tl-Ga, Ge-Hg-Ga und Tl-Ga-In.

Wie schon das erste Dreiecksdiagramm As-Tl-Ge andeutet zeigen Sphalerite aus der Trias der Ostalpen und Oberschlesiens eine signifikante Verteilung von As, Tl und Ge. Die Sphalerite der nördlichen Kalkalpen sind in Ermangelung der Arsenwerte nicht eingetragen.

Bei den Zinkblenden der nördlichen Kalkalpen ist eine stärkere Betonung des Galliums zu vermerken. Quecksilber erscheint vor allem an vulkanogen-sedimentären Vorkommen gebunden, während Indium bei Zurücktreten der anderen Spurenelemente hochthermale Blenden charakterisiert.

Es lassen sich vor allem für die schichtgebundenen Blei-Zink-Mineralisationen Differenzierungen aufzeigen.

Weitere geochemische Aktivitäten, die ihre Schwerpunkte in der geochemischen Charakterisierung von Bleiberg-Kreuth und anderer Vorkommen dieses Typs in den Ostalpen haben, sind einer Zusammenstellung von SCHROLL (1978) zu entnehmen.

Über die bisherigen Ergebnisse des Studiums der Geochemie von Sideriterzen wird von DOLEZEL/SCHROLL (ibid) berichtet.

### 3.2 Schwefelisotope

Die Isotopenzusammensetzung des Schwefels in Sulfiden und Sulfaten vermag nicht nur Auskunft über die Herkunft des Schwefels, sondern auch über die mineralisierenden Lösungen und den Bildungsablauf einer Lagerstätte zu geben. Im marin-sedimentären Milieu wird die Schwefelisotopenzusammensetzung des Meerwassersulfates in Sulfatmineralen bis in den Wirkungsbereich der Metamorphose fixiert, so daß die bekannte zeitliche Abhängigkeit der Isotopenzusammensetzung des Sulfatschwefels im Meerwasser – allerdings mit der Einschränkung der nötigen kritischen Einschätzung – als Hinweis auf die stratigraphische Zuordnung wie Altpaläozoikum, Karbon, Perm, Skyth und Mitteltrias benutzt werden kann (vgl. Abb. 2).

Die erste Anwendung der Schwefelisotopenanalyse in Österreich wurde an Sulfaten und Sulfiden der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth vorgenommen. Es konnte eindeutig – im übrigen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Strontiumverteilung – nachgewiesen werden, daß der Sulfatschwefel im Baryt und Anhydrit die Isotopenzusammensetzung des Meerwassersulfates zur Zeit der Mitteltrias entspricht (SCHROLL/WEDEPOHL 1972). Nach weiteren Untersuchungen trifft dies auch für den Coelestin und für Sulfate in gleichaltrigen schichtgebundenen Lagerstätten wie Raibl, Mežica oder Lafatsch zu.

Neuere Untersuchungen betrafen Schwerspäte aus dem Perm, Skyth, den Eisenspatlagerstätten der Grauwackenzone, aus dem Devon des Grazer Paläozoikums und aus Lagerstätten des ostalpinen Altpaläozoikums. Alle schichtgebundenen Baryte weisen  $\delta^{32}\text{S}$ -Werte auf, die sich den stratigraphisch entsprechenden  $\delta^{34}\text{S}$ -Werten des Meerwassersulfates zuordnen lassen (Abb. 2). Perm und Skyth lassen sich unterscheiden, wie der Vergleich von Baryten aus dem Perm der Südalpen und dem Werfener Schichten der Gailtaler Alpen zeigt. Die Schwerspäte aus dem Semmeringmesozoikum mit  $\delta^{34}\text{S}$ -Werten, die dem Skyth entsprechen, heben sich deutlich von niedrigeren  $\delta^{34}\text{S}$ -Werten der Baryte aus dem Perm in der benachbarten nördlichen Grauwackenzone (Grillenbergl, Priggwitz, Hirschwang, Altenbergl) ab. Die schichtigen Baryte des Grazer Paläozoikums lassen sich zwanglos dem Altpaläozoikum zuordnen (SCHROLL/PAK 1974) ebenso wie die Baryte des Fahlerzorkommens von Brixlegg, das von SCHULZ (1972) als schichtgebundene Mineralisation devonischen Alters erkannt worden ist. Größenordnungsmäßig vergleichbare Schwefelisotopenverhältnisse lieferten überraschender Weise Baryt, Coelestin und Gips aus dem Marmor von Hüttenbergl und Baryt von Oberzeiring. Wie Abb. 2 zeigt, erscheint unter der zunächst nicht absolut gesicherten Annahme einer marinen Herkunft des Sulfatschwefels die Altersordnung zweideutig. Das vorliegende Datenmaterial sollte jedoch dazu anregen, weitere geochemische Kriterien zu suchen.

Umfassendere Schwefelisotopenanalysen von Sulfiden und Sulfaten aus Bleiberg-Kreuth sollen eine bessere Charakterisierung der Sulfidergenerationen und einen Einblick in die diagenetischen Umlagerungsprozesse der Großlagerstätten Bleiberg-Kreuth, Raibl und Mežica ermöglichen, die durch das Auftreten mehrerer Erzgenerationen gekennzeichnet sind.

Im übrigen sei auch auf die Untersuchungen der Schwefelisotopen slowenischer Erzvorkommen verwiesen, die noch vor der Bearbeitung österreichischer Lagerstätten begonnen worden sind (DROVENIK u. Mitarbeiter 1970 und *ibid.*).

### 3.3 Bleiisotope

Bereits die erste Bestimmung der Isotopenzusammensetzung des Bleis von Bleiberger Bleierzzen durch HOUTERMAN (1946), die im Vergleich zum Nebengestein ein anormal erhöhtes Modellalter des Bleis andeutete, gab zu Spekulationen über die Altersstellung dieser Pb-Zn-Vererzung in der ostalpinen Genese Anlaß (SCHWINNER 1949).

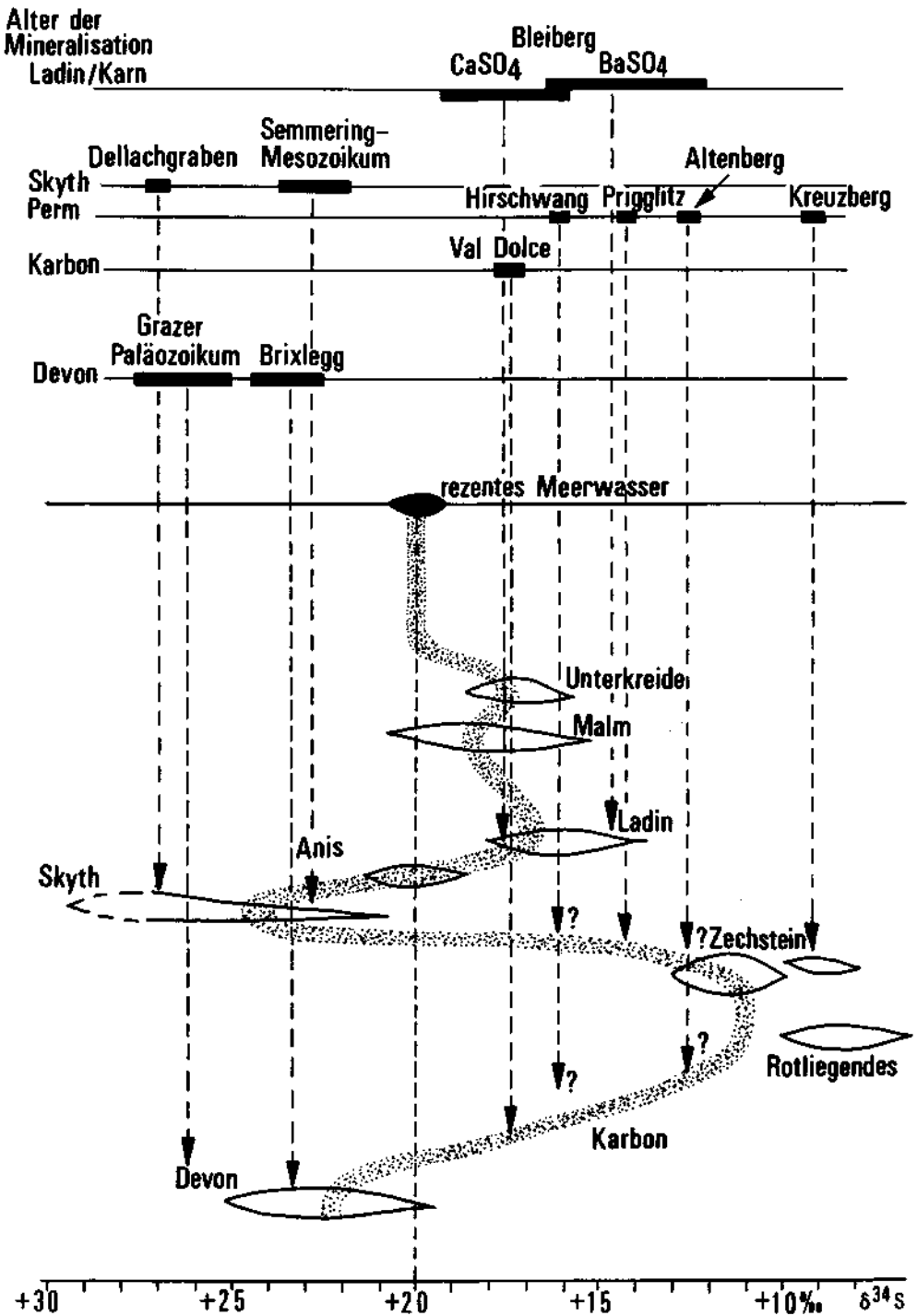


Abb. 2: Schwefelisotopenverhältnis  $\delta^{34}\text{S}$  in Baryten ostalpiner Vorkommen im Verhältnis zum stratigraphischen oder vermuteten Alter der Lagerstätte und die Variation der  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte des Meerwassersulfates seit dem Altpaläozoikum.

Erste Untersuchungen größeren Umfangs wurden in den Ostalpen von GRÜGLER/GRÜNENFELDER/SCHROLL (1961, 1965) durchgeführt. Wie in den Westalpen sind Bleierze mit geologisch vertretbaren Modellaltern und anormale Typen (zu alte wie Bleiberg [B-Typ] oder auch zu junge als Folge eines Überschusses an radiogenem Blei [J (oplin)-Typ]) zu beobachten.

Über Ergebnisse mit verbesserten massenspektrometrischen Methoden, die jetzt eine viel genauere Bestimmung der Bleisotopenverhältnisse und damit eine bessere Unterscheidung von Bleien mit niederen Modellaltern erlauben, berichten KÖPPEL/SCHROLL (ibid.).

### 3.4 Geochemische Indikatoren und Indikatorenparameter

Zwischen Stoffkonzentrationen und dem geologischem Milieu muß primär ein Zusammenhang erkennbar sein, der es ermöglicht diesen in qualitativem, wenn nicht auch in quantitativem Sinne zur Prospektion zu nutzen.

So wurde in granitischen Gesteinen der Böhmisches Masse und der Alpen ein K/Rb-Verhältnis von unter 150 als indikativ für Intrusionen erkannt, an die Pegmatite mit Seltenelementmineralisationen oder Mineralisationen hydrothormaler Art gebunden sein können (SCHROLL/GROHMANN 1965). Weitere Untersuchungen an Pegmatiten bestätigen dieses Ergebnis (KHALILI 1972). Pegmatitoiden Bildungen, die keine Seltenelementmineralisationen erwarten lassen, zeigen K/Rb-Werte etwa über 150. Daneben lassen sich auch höhere Gehalte an anderer leichtflüchtiger Elemente wie Li, Be, Ga oder Sn nachweisen.

Die geochemische Analyse von basischen Magmatiten deutet gleichfalls an, daß vor allem Alkalibasalte zu einer Spezialisierung in ihrem Spurenelementgehalt fähig sind. (AGIORGITIS 1967, SCHROLL/JANDA 1976, 1978). Dies trifft beispielsweise etwa für W und Mo zu (vgl. Abb. 3). Wenn die Basite auch nicht direkt als Metallspender in Frage kommen, so kann dies zweifellos bei Prozessen der magmatischen Differentiation, Palingenese oder hydrothormaler – einschließlich vulkanogen-sedimentärer – Art der Fall sein.

Die Analyse von Sedimentgesteinen, vor allem von „Kollektorsedimenten“ wie Kohlen, bituminösen Gesteine, Graphiten und Schwarzschiefern, Bauxiten u. dgl. kann eine Vorstellung von der Stoffmobilisation bei Verwitterungsprozessen von Lagerstätten und Konzentrationen seltener Elemente in magmatogenen Massengesteinen geben (vgl. u. a. SCHROLL 1961).

Der Chemismus des geologischen Milieus kann so erhebliche Informationen möglicher Stoffanreicherungen liefern.

Lagerstätten selbst sind geologische Körper mit meist komplexer und individueller Bildungsgeschichte. Der Chemismus reicht daher oft nicht mehr aus um die Stoffanreicherung geochemisch zu charakterisieren.

„Leitelemente“ oder „Indikatorenelemente“ zur Bestimmung der Lagerstättengeneese erweisen sich in ihren Aussagen nicht immer eindeutig. Es wurde daher vorgeschlagen, Chemismus und Isotopendaten in Form von „Indikatorenparametern“ zusammenzufassen, um die physikochemischen Parameter des Bildungsvorganges, die Herkunft des Lösungsmediums und des Stoffinhaltes besser zu integrieren (SCHROLL 1978).

Im Rahmen des IUGS-Korrelationsprogrammes (Projekt 73/1/6) soll versucht werden die Blei-Zink-Vorkommen der ostalpinen Trias unter Anwendung einer Kombination von geochemischen und isotopengeochemischen Methoden zu charakterisieren.

Die Bleisotopenzusammensetzung scheint Informationen über die Höflichkeit des erzführenden Sedimentationsraumes geben zu können, wobei der Gehalt bestimmter seltener Elemente in der Mineralisation einen weiteren Parameter abgeben sollte (vgl. KÖPPEL/SCHROLL ibid.).

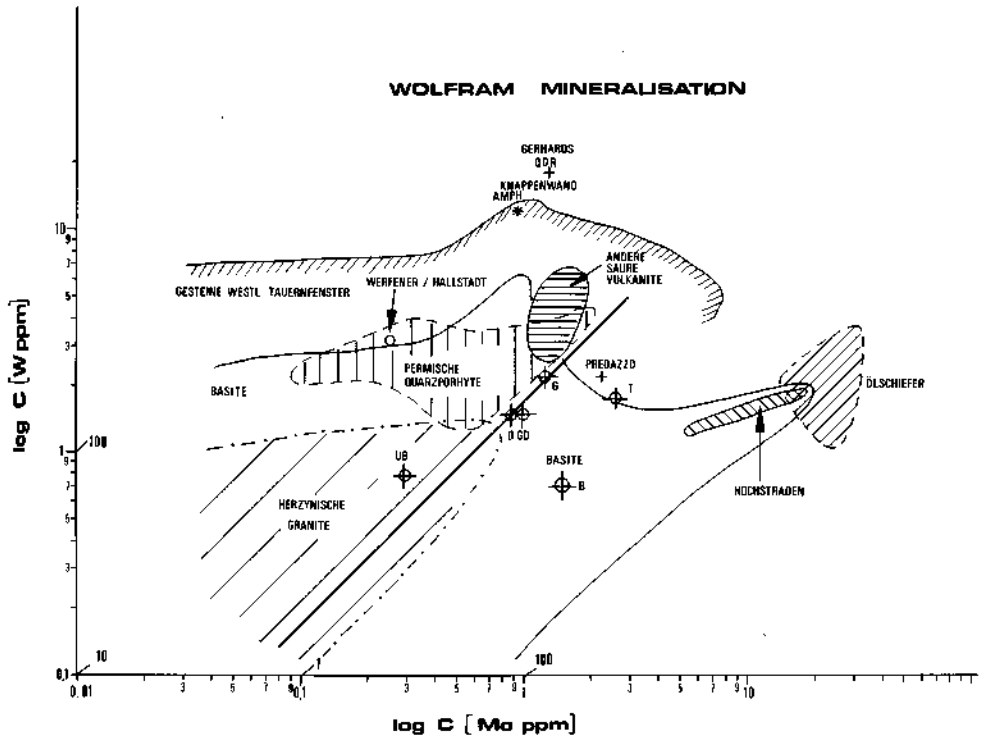


Abb. 3: Variationsdiagramm Wolfram-Molybdän ostalpiner Gesteine nach dem bisherigen Datenmaterial. (SCHROLL/JANDA 1976, 1978 und NIEDERMAYR/SCHROLL u. Mitarb. unveröffentlicht).

#### 4. Ausblick

Die Anwendung der Geochemie in der Erzprospektion beschränkt sich heute nicht mehr auf den Einsatz geochemischer Methoden zur Erfassung der primären Hofbildung um Erzkörper oder der oft ausgedehnteren sekundären Indikationen, die durch den Verwitterungskreislauf und biologische Aktivitäten hervorgerufen werden. Vielmehr vermag das Studium des geochemischen Inhaltes eines Teiles der Erdkruste wie etwa der Ostalpen, Rückschlüsse auf die Qualität der zu erwartenden Stoffanreicherungen erlauben, wobei Abschätzungen von Quantitäten nicht ausgeschlossen erscheinen. Mit der Bewertung der Höflichkeit durch geochemische Untersuchung eröffnet sich ein neues Anwendungsgebiet der analytischen Geochemie.

Die noch weitgehend ausständige Kenntnis der geochemischen Charakteristik der ostalpinen Magmatite, Plutonite und Vulkanite, von „Kollektorsedimenten“ und metamorphen Äquivalenten wird als Grundlage erforderlich werden. Die geochemische Charakterisierung von Erzen, Gangarten und Nebengesteinen von Lagerstätten und Mineralvorkommen muß ebenso wie der Einsatz der Geochemie bei der Aufklärung ihrer Genese mit zu den unabdingbaren Methoden von Prospektion, Erschließung und Abbau von Lagerstätten gehören, da nur eine ganzheitliche Erforschung und Bewertung des geologischen Geschehens den Erfolg für die Praxis gewährleistet.

Für die vorliegende Arbeit wurde Datenmaterial aus Forschungsaufträgen des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung Nr. 2224, 2578, 2273 und 2699 verwendet.



## Literatur

- AGIORGITIS, G.: Beitrag zur Geochemie einiger seltenen Elemente in basaltischen Gesteinen. – *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* 3. F. 12, 204, Wien 1966.
- BRÄTTER, P., JACOB, K. H., MÜLLER, P., RÜSICK, U.: Verteilungsmuster der Lanthaniden in Fluoriten der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg in Österreich. – 2nd. Intern. Symp. on the Mineral Deposits of the Alps (Bled) = *Geologija, razprave in pogočila* 15, 329ff. Ljubljana 1972.
- BRANDENSTEIN, M. & SCHROLL, E.: Borgehalte in Magnesiten. – *Radex-Rundschau* 1960, 150ff., Radenthein 1960.
- 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 (Bled) = Geologija: razprave in pogočila* 15, 337ff., Ljubljana 1972.
- CARDICH-LOARTE, L. A. & SCHROLL, E.: Die Verteilung und Korrelation einiger Elemente in einem Erzkalkprofil der Bleiberger Fazies (Bleiberg/Kärnten – Rudolfschacht). – *T. M. P. Mitt.* 3. F. 20, 59ff., Wien 1973.
- DESSAU, G. & PERNA, G.: Le mineralizzazioni a galena e blenda del Trentino-Alto Adige e loro contenuto in elementi accessori. – *Atti del symposium internat. Giacimenti minerali delle Alpi (Trento)* 3 (1965) 567.
- DESSAU, G.: Gli elementi minori nelle blende e nella galena della miniera Salafosse (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 S.
- DOLEZEL, P. & SCHROLL, E.: Zur Geochemie der ostalpinen Siderite. *Proceed. 2nd Internat. Symp. Min. Dep. Alps, Bled 1972*, 343f = *Geologija: razprave in pogočila* 15, Ljubljana 1972.
- DROVENIK, M.: On the geochemistry of eruptive rocks and ores of Slovenia (Slov.) *Rud.-met. Zbornik*, S. 145f. Ljubljana 1972.
- DROVENIK, M., DUHOVNIK, J., PEZDIČ, J.: The Sulfur isotope composition of sulfides from ore deposits in Slovenia (Slov.) *Rud.-Metal. Zbornik*, S. 193ff Ljubljana 1976.
- DROVENIK, M., LESKOVSEK, H. et al.: Sulfur-isotope composition in sulfide of some Yugoslavian ore deposits. – *Rudarsko-metal. Sbornik 1970*, 153ff., Ljubljana 1970.
- FURTH, I.: Spurengehalte der Zinkblenden verschiedenen Pb-Zn-Vorkommen in den nördlichen Kalkalpen. – *Chemie d. Erde* 25, 105ff, Berlin 1966.
- HABERLANDT, H.: Lumineszenzuntersuchungen in Fluoriten und anderen Mineralen I–III, IV und V. *Sitzber. Akad. Wiss. math. naturw. Kl. IIa (1934–1937)* 37, I 158 (1949) 609, I 163 (1954) 375. Wien 1934–1954.
- HABERLANDT, H.: Über die gesetzmäßige Differentiation von Spurenelementen in Mineralen. – *T. M. P. Mitt.* 3. F. 1. 134ff., Wien 1948.
- HEGEMANN, F.: Die geochemische Bedeutung von Kobalt und Nickel im Pyrit. – *Z. angew. Min.* 4, 122ff., Berlin 1943.
- HEGEMANN, F.: Die Herkunft des Mo, V, As und Cr in Wulfeniten. – *Heidelberger Beitr. Min. Petr.* 1, 690ff., Heidelberg 1949.
- HEGEMANN, F.: Über extrusiv-sedimentäre Erzlagerstätten der Ostalpen. Teil I Magnetit- und Hämatitlagerstätten. – *Erzmetall* 11, 209ff., Stuttgart 1958.
- HEGEMANN, F.: Über extrusiv-sedimentäre Erzlagerstätten der Ostalpen. II. Teil: Blei-Zinklagerstätten. – *Erzmetall* 13, 79 und 122. Stuttgart 1960.
- HUBER-SCHAUSBERGER, I.: Beitrag zur Geochemie der Flußspate. – Diss. Univ. Wien 1965.
- KHALILL, H.: Zur Geochemie einiger Pegmatite der Ostalpen. – *T. M. P. Mitt.* 3. F. 18, 79, Wien 1972.
- KOSTELKA, L.: Geochemische Untersuchungen im alpinen Buntmetallbergbau. *Carinthia* II 72, 97–105, Klagenfurt 1962.
- KOSTELKA, L. & NIEDERMAIR, E.: Mögliche Beziehungen zwischen der Verteilung der Zn-Halte und den Pb/Zn-Vererzungen in der Trias der Draukalkalpen in Österreich. – *Schriften. erdwiss. Komm., Österr. Akad. Wiss.* 1, 120ff., Wien 1974.

- MACK, E.: Geochemische Untersuchungen am Nebengestein und an den Begleitwässern ostalpiner Blei-Zink-Lagerstätten. – Berg- u. hüttenm. Mh. 103, 51 ff., Wien 1958.
- PETRASCHECK, W. E.: Zur Anwendung der geochemischen Erzsuche in Österreich. – Berg- u. hüttenm. Mh. 98, 194 ff., Wien 1953.
- PETRASCHECK, W. E.: Die Anwendung neuerer Prospektionsmethoden im Österreichischen Erzbergbau. – Z. Erzbergbau u. Metallhüttenwesen 7, 295 ff., Stuttgart 1967.
- ROCKENBAUER, W.: Zur Geochemie des Selens in Ostalpinen Erzen. – T. M. P. Mitt. 3. F. 7, 149 ff., Wien 1957.
- SCHNEIDER, H. J., MÖLLER, P. et al.: Fluorine contents in carbonate sequences and rare earth distribution in fluorites of Pb-Zn-deposits in East-Alpine Mid-Triassic. – Mineral. Dep. 12, 22 ff., Berlin 1977.
- SCHROLL, E.: Über die Anreicherung von Mo und V in der Hutzone der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth in Kärnten. – Verh. GBA Wien 1949, 138 ff., Wien 1949.
- SCHROLL, E.: Spurenelementparagenese (Mikroparagenese) ostalpiner Zinkblenden. – Anz. Öst. Akad. Wiss., math. naturw. Kl. 87, 21–25, Wien 1950.
- SCHROLL, E.: Spurenelementparagenese (Mikroparagenese) ostalpiner Bleiglanze. Anz. Österr. Akad. Wiss., math. naturw. Kl. 88, 6–12, Wien 1951.
- SCHROLL, E.: Über Minerale und Spurenelemente, Vererzungen und Entstehung der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten, Österr.). – Mitt. d. Österr. Mineral. Ges. Sonderheft Nr. 2, Wien 1953.
- SCHROLL, E.: Ein Beitrag zur geochemischen Analyse ostalpiner Blei-Zink-Erze. – Mitt. d. Österr. Mineral. Ges. Sonderheft 3, Wien 1955.
- SCHROLL, E.: Über das Vorkommen einiger Spurenmetalle in Blei-Zink-Erzen der Ostalpen. – T. M. P. Mitt. 3. F., 5, 183 ff., Wien 1955.
- SCHROLL, E., IBRAHIM, N. A.: Beitrag zur Kenntnis ostalpiner Fahlerze. T. M. P. Mitt. 3. F., 7, 70 ff., Wien 1959.
- SCHROLL, E.: Anomalous compositions of lead isotopes in the lead-zinc deposits of Calcareous Alps sediments. – Rud. met. Zbornik 2, Ljubljana 1965.
- SCHROLL, E. & GROHMANN, M.: Beitrag zur Kenntnis des K/Rb-Verhältnisses in magmatischen Gesteinen. – Geol. Rdsch. 55, 261 ff., Stuttgart 1966.
- SCHROLL, E.: Über den Wert geochemischer Analysen bei stratigraphischen und lithologischen Untersuchungen von Sedimentgesteinen am Beispiel ausgewählter Profile der ostalpinen Trias. – Acta Geol. Geogr. Comenia 18, Bratislava 1967.
- SCHROLL, E.: Beitrag zur Geochemie des Bariums in Karbonatgesteinen und klastischen Sedimenten der ostalpinen Trias. T. M. P. Mitt. 3. F., 15, Wien 1971.
- SCHROLL, E. & WEDEPOHL, K. H.: Schwefelisotopenuntersuchungen an einigen Sulfid- und Sulfatmineralen der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth/Kärnten. – T. M. P. Mitt. 3. F., 17, 286 ff., Wien 1972.
- SCHROLL, E.: Analytische Geochemie Bd. II: Grundlagen und Anwendungen. – Stuttgart: Enke 1976.
- SCHROLL, E.: Zur Korrelation geochemischer Charakteristika der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth mit anderen schichtgebundenen Vererzungen in Karbonatgesteinen. – Ber. Erdwiss. Kommission, Öst. Akad. Wiss. 3 (im Druck), Wien 1978.
- SCHROLL, E.: Progress in the knowledge of indicator elements. – 2<sup>nd</sup> Symp. Origin. and Distribution of the Elements. IAGC Paris. Pergamon Press. (1978 in Druck).
- SCHULZ, O.: Unterdevonische Baryt-Fahlerz-Mineralisationen und ihre steilachsige Verformung im Großkogel bei Brixlegg (Tirol). – T. M. P. Mitt. 3. F., 18, 114 ff., Wien 1972.
- SCHWINNER, R.: Gebirgsbildung, magmatische Zyklen und Erzlagerstätten in den Ostalpen. – BHM 94, 134 ff., Wien 1949.
- SIEGL, W.: Zur Wulfenitbildung in manchen Blei-Zink-Lagerstätten. – Berg- u. Hüttenm. Mh 92, 184 ff., Wien 1972.
- TUFAR, W.: Die Erzlagerstätten des Wechselgebietes. – Mineral. Mitteilungsblatt Joanneum 1963, Graz 1963.
- TUFAR, W.: Geochemische Untersuchungen an österreichischen Baryten. – T. M. P. Mitt. 3. F., 9, 242 ff., Wien 1965.