

# 30 Jahre Pb-Zn-Forschung in den triadischen Karbonatgesteinen der Ostalpen

Von OSKAR SCHULZ, Innsbruck

(Vorgelegt in der Sitzung der mathem.-naturw. Klasse am 14. Oktober 1983 durch das w. M. W. E. PETRASCHECK)

## Zusammenfassung

Grundlegende Ideen und Argumente für neue genetische Vorstellungen dieses weltweit verbreiteten Lagerstättentyps gehen auf HEGEMANN, SCHNEIDER, TAUPITZ und MAUCHER um 1953/54 zurück. Den Auftakt zu weiteren Beweisführungen brachte die Diskussionstagung 1956 in München durch konstruktive Kritik (besonders von seiten W. E. PETRASCHECK, CLAR, HOLLER) an der bis dahin von einem erweiterten Forscherkreis (SIEGL, SCHULZ, RAINER, POLESNIG) vertretenen Auffassung submarin-hydrothermaler Anreicherung von Zn, Pb, Fe, Ba, F, Si.

Die auf gefügekundliche Untersuchungen der alpidisch-tektonischen Verformungen sowie der Sedimente, Erzkörper und der angereicherten Minerale gestützten Erkenntnisse erhielten durch die Mineral- und Lagerstättengeochemie (SCHROLL, SCHNEIDER), insbesondere aber durch isotopengeochemische Untersuchungen (KÖPPEL, PAK) beträchtliche Erweiterungen und Festigungen der Aussagen.

Nach nunmehr 30 Jahren Pb-Zn-Forschung in triadischen Lagerstätten ergibt sich ein nahezu vollständiges Bild, aus welchem – abgesehen von Besonderheiten in der diagenetischen Weiterentwicklung der einzelnen Lagerstätten oder durch Abtragungszyklen – folgende Tatsachen nicht mehr wegzudenken sind:

Ursprünglich extrusive Lieferung einer außergewöhnlichen Menge von „Fremdelementen“; intern- und extern-sedimentäre Anreicherung der Erzparagenese in mehreren zeitlichen Zyklen während der Triaszeit; Ausfällung von Gelen und Kristallen aus schwach bis mäßig temperierten Lösungen in sedimentär-faziell bedingten geochemischen Fallen unter starker bakterieller Mitwirkung. Umkristallisationen und Neukristallisationen nach vorwiegend, z. B. hypersalinarbedingten, syndiagenetischen Mobilisationen, auch mechanische und chemische Resedimentation. Metallherkunft auf Grund des Beispiels Pb aus mobilisierten Vorräten der konsolidierten tieferen Unterkruste und aus dem Perm: also sekundär-hydrothermal, hydrotogen.

## Summary

The basic ideas and arguments concerning the new genetic conceptions of this type of deposits, which occurs all over the world, go back to HEGEMANN, SCHNEIDER, TAUPITZ, and MAUCHER around 1953/54. At the meeting in Munich in 1956 this conception received further support by useful criticism (voiced above all by W. E.

PETRASCHECK, CLAR, HOLLER) of the concept of the submarine-hydrothermal concentration of Zn, Pb, Fe, Ba, F, Si which was supported by a number of earth scientists (SIEGL, SCHULZ, RAINER, POLESNIG) until then.

The findings, which are based on the fabric studies of the alpidian-tectonic deformations as well as on the fabric studies of the sediments, ore bodies, and concentrated minerals, were considerably extended and corroborated by geochemical mineralogy, mininggeochemistry (SCHROLL, SCHNEIDER), and, above all, by isotop geochemistry (KÖPPEL, PAK).

After 30 years of Pb-Zn research in Triassic deposits we can present an almost complete picture which is – apart from special features in the further diagenetic development of the individual deposits or through erosion cycles – unthinkable without the following facts:

The originally extrusive supply of an extraordinary amount of “alien elements”; the internal and external-sedimentary concentration of the ore paragenesis in several cycles during the Triassic Period; the precipitation of gels and crystals from weakly to moderately tempered solutions in sediment-facies-linked geochemical traps with strong bacterial participation; recrystallisations after mainly, e. g. hypersalinity-linked, syndiagenetic mobilisations, also mechanical and chemical resedimentation; the origin of the metals according to the isotops of Pb from mobilised stocks of the consolidated lower crust and the Permian, i. e. secondary-hydrothermal, hydatogenic.

### Themenstellung

Vor drei Jahrzehnten brachten Forschungsergebnisse über kalk-alpine Pb-Zn-Lagerstätten mit einer neuen Deutung der Genese eine „revolutionäre“ Stimmung in den Kreis der Lagerstättenexperten. Bis dahin als epigenetisch-tertiär bezeichnete Metallanreicherungen in triadischen Kalk-Dolomit-Gesteinen (WILHELM PETRASCHKE, 1945) wurden nun syngenetisch-sedimentär erklärt. Diese Auffassung wurde in der Folgezeit mit so vielen Argumenten untermauert, daß sie nicht nur zu einem durchgreifenden Erfolg wurde, sondern darüber hinaus neue Grundlagen auch für andere, und zwar vor allem schichtgebundene Metallanreicherungen in den verschiedenaltrigen nicht-metamorphen und metamorphen Gesteinen in aller Welt geschaffen wurden. Es ist für Grundlagenforscher und Praktiker interessant, die Diskussion rückblickend zu verfolgen und den Nutzen für die Wissenschaft und die Montanwirtschaft in Erfahrung zu bringen.

### Vorgeschichte

Die Streitfrage, ob die Pb-Zn-(Ba-, F-)Anreicherungen in den Karbonatgesteinen rein sedimentär oder magmatisch-hydrothermal inszeniert wurden, ist alt. Schon bei MOHS (1807, S. 226, 227) findet man nach ausführlichen Schilderungen von Aufschlußbefunden über die

Lagerstätte Bleiberg die bemerkenswerte Feststellung: „Ich glaube nicht, daß es nach dem Bisherigen möglich ist, die *l a g e r a r t i g e N a t u r* dieser sonderbaren Erzlagerstätten zu erkennen. Ich neme daher an, daß in dem *E r z b e r g e* merere übereinander liegende Schichten vorkommen, welche, da sie sich vorzüglich durch ihren Erzgehalt als besondere Lagerstätten auszeichnen, als *w a r e L a g e r* zu betrachten sind, indem nicht nur die auf denselben brechenden Fossilien von völlig gleichzeitiger Entstehung zeugen, sondern sie selbst auch genau zwischen den unhaltigen Gebirgsschichten inne ligen, und mit diesen das oben (§8) erwähnte mächtige Gebirgslager bilden, auf dessen Erstreckung der sämmtliche Erzgehalt und die Hoffnung, durch den Bergbau etwas zu gewinnen, eingeschränkt ist. Ich neme ferner an, daß dieses mächtige Gebirgslager mit den eingeschlossenen Erzschichten von den parallelen, fast verticalen Klüften (*B l ä t t e r* genannt) durchsetzt und die Erzschichten dadurch in schmale Streifen geschnitten werden, und endlich, daß mit diesem Durchsezen zugleich ein Verwerfen verbunden sey, durch welches die prismatischen Erzstreifen in ihre gegenwärtige Lage gebracht worden sind.“

Auch SCHWINNER (1946) äußerte Zweifel an einer unitarischen Genese der ostalpinen Erzlagerstätten mit zonarer Anordnung im Sinne von WILHELM PETRASCHEK (1945) und sieht keinen Grund, die Pb-Zn-Lagerstätten unmittelbar einer, wenn überhaupt, magmatischen Abfolge zuzuordnen. Die Ausbildung von Erzlagern und ihre Faziesgebundenheit wurden schon von ihm erwähnt.

Die Entwicklung zeigt, daß die Beobachtung der Schichtgebundenheit von Erzkörpern die Gedanken der Wissenschaftler zwar schon lange beschäftigt, aber deshalb viele noch lange nicht genug beeindruckt und beeinflußt hat. Man merkt jedoch den Einfluß der klassischen Erklärungen, die sich die magmatische Tätigkeit als Herd für das Geschehen in und auf der Erdkruste zur Grundlage gemacht haben.

Im Jahre 1948 weckte HEGEMANN mit dem Hinweis auf die Schichtgebundenheit von Lagerstättenkörpern an stratigraphischen Niveaus in der alpinen Trias und mit einigen, anfänglich nur spärlichen, chemischen Grundlagen neuerdings Aufmerksamkeit auf das Problem. Doch wurde diese Ansicht damals in den zuständigen Fachkreisen für abwegig erklärt und noch lange nicht ernstgenommen. Zu stark war der Glaube an den Magmatismus als Spender von Metallen, vor allem aber an die Verschiedenzeitigkeit sedimentbildender und lagerstättenbildender Vorgänge verwurzelt. Befunde wie schichtige, feinschichtige Erzlagen, ja sogar typisch sedimentär aussehende Wechsellagerungen von Normalsediment und Fremdmineralen wie  $ZnS$ ,  $PbS$ ,  $CaF_2$ ,  $BaSO_4$ , und  $SiO_2$  vermochten noch keine entscheidende Änderung der Ansichten herbeizuführen.

SCHROLL lieferte 1950, 1951 und 1953 erstmals ausführliche Mitteilungen über geochemische Untersuchungen an Zinkblenden und Bleiglanzen, konnte sich aber auf Grund der Spurenelemente in den

Erzmineralen auch 1954 zu keiner eindeutigen genetischen Aussage entschließen. Die wirtschaftlich wichtige Erkenntnis über oft hohe Cd- und Ge-Gehalte in Zinkblenden fällt in seine damalige Forschungsperiode.

### Die Wende der Ansichten

Eine entscheidende Beeinflussung der Ansichten brachten erst H. J. SCHNEIDER von der Lagerstättenschule MAUCHER, München, und K. CHR. TAUPITZ aus der Schule BORCHERT, Clausthal, ab 1953, sowie MAUCHER selbst 1954 zustande. Die schon anfänglich gut fundierten Studien machten sich vor allem die von SANDER (1936, 1948, 1950) aufgezeigten deskriptiven Merkmale über Anlagerungsgefüge zunutze und leiteten aus den auffallenden Gemeinsamkeiten in Nebengesteinen und Erzkörpern, treffend die mechanische und chemische Anlagerung der Komponenten sowie die Deformation und Kristallisation, entscheidende Folgerungen über die Genese der Lagerstätten ab.

Die umwälzende neue Erkenntnis zeigte die Anreicherung der Metallparagenese im sedimentären Milieu des Triasflachmeeres und sah im ungefähr zeitähnlichen triassischen submarinen Vulkanismus einen wahrscheinlichen Zusammenhang mit lagerstättengesetzlichen Ereignissen. Zu den damals aufgeworfenen Problemen und dem somit stark umstrittenen Thema lieferten auch SCHULZ, seit 1954/55, und SIEGL, 1956, mit Gefügebeobachtungen verschiedener Bereichsgrößen mögliche Interpretationen über sedimentäre Metallanreicherungen.

Die offenbar schwer verständliche Auffassung, daß zusammen mit den so gut wie sterilen Kalk-Dolomit-Gesteinen der Trias auffällige Fremdelemente wie Zn, Pb, Fe, F, Ba und Si sich zu Mineralen und Erzen lagerstättengesetzlich sammeln, führte in den ersten Forschungsjahren zu nur schwer überbrückbaren Meinungsgegensätzen unter den Forschern. Die dann ernsthaft ins Rollen gekommene Diskussion, die sich in den folgenden Jahrzehnten nicht nur auf die Pb-Zn-Probleme konzentrierte, sondern allgemein auf alle schichtgebundenen Erzlagerstätten ausdehnte, wurde schon anfänglich von deutschen, österreichischen und jugoslawischen Forschern so aktuell beurteilt, daß seit 1956 zunächst in fast regelmäßigen Zeitabständen Diskussionstagungen abgehalten wurden.

Wie wenig Verständnis zunächst allgemein wegen Verkennens der tatsächlichen Probleme aufgebracht wurde, geht aus nicht zielführenden Fragestellungen hervor, wie etwa folgender: „Ist die Lagerstätte sedimentär oder metasomatisch?“ oder aus der Gegenüberstellung von „Neptunisten“ bzw. „Sedimentaristen“ und „Plutonisten“. Dieser anfänglich sicher falsche Weg der Kritik läßt die Einseitigkeit des Betrachtungsvermögens und die fehlende Bereitschaft, die Probleme komplex zu sehen, erkennen.

Die prinzipiell wichtige Weichenstellung für die damalige, aber wie sich zeigte, auch künftige Arbeitsrichtung erfolgte bei der Münchner Diskussionstagung 1956. Die grundsätzlich wichtigen Punkte wurden

bereits damals behandelt, und es zeigte sich bei allen nachfolgenden Pb-Zn-Diskussionen (Bleiberg 1958, Mežica 1964, ISMIDA Trento-Mendel 1966, ISMIDA Bled 1971) eine weitgehende Wiederholung der Aussagen und Fragestellungen, wenngleich die laufenden Einwände gegen die neuen Ideen immer aufs Neue eine Herausforderung darstellten. Es spricht positiv für einige damals beteiligte Lagerstättenexperten, die neuen Erkenntnisse durch zum Teil zwingende Beweise untermauert zu haben, ebenso positiv aber auch für einen anderen Teilnehmerkreis, einige Schwachstellen durch konstruktive Kritik aufgezeigt zu haben. Wir kehren gedanklich zur damaligen Diskussionsrunde zurück und versuchen, das damalige Für und Wider zu den neuen Hypothesen durch unsere heutigen Kenntnisse zu beantworten.

## Die heutigen Kenntnisse

### Petrologisch-gefügekundliche Erkenntnisse

Den eigentlichen Anlaß für neue Überlegungen über die Pb-Zn-Lagerstättengenese bildeten Funde *sedimentärer Erze* mit Zinkblende, Bleiglanz und Fluorit. Naturgemäß befaßten sich die ersten Studien (TAUPITZ 1953, 1954 a, b, c, 1957, SCHNEIDER 1953, 1954, 1957, MAUCHER 1954, 1957) mit diesen aussagekräftigen, mengenmäßig aber bescheidenen Makro- und Mikrogefügen, denn nur sie waren ja die maßgeblichen Objekte, von denen die wichtigen Neuerkenntnisse abgeleitet werden konnten. Alle anderen, „unpassenden“ und mehrdeutigen Gefüge aber wurden als sekundär umgebildet bezeichnet und daher nachrangig behandelt. Gerade diese mengenmäßig überwiegenden kolloformen und grobkristallinen derben Erze aber, mit allen möglichen Formen von Lagerstättenkörpern im Sedimentverband, waren für die Verfechter der bisher geltenden Hypothese Zeugen für epigenetische Lösungszufuhr in die Karbonatgesteine und als solche Beweise für eine junge tertiäre Vererzung. Für sie mußten daher insbesondere die relativ seltenen sedimentär aussehenden Erzgefüge auf sonderbare Weise im fertigen Gestein entstanden sein, weshalb der *Abbildungsmetasmommatose* eine besondere Bedeutung beigemessen wurde. Die sedimentär aussehenden Gefüge sollten also durch präzise selektive, ionare Platztauschprozesse zustandegekommen sein. Und es zeigte sich, daß die mehrdeutigen, nach *Verdrängungen* aussehenden, also nicht typisch sedimentären Gefüge bei allen in den nachfolgenden Jahren abgehaltenen Pb-Zn-Diskussionen immer wieder zur Sprache kamen, Meinungsverschiedenheiten auslösten und – es sei vorausgeschickt – bis heute nicht für alle Einzelfälle geklärt sind.

Den zunächst in starren Fronten argumentierenden Forschern kann – heute beurteilt – vor allem vorgehalten werden: der einen Seite, die allgemein dominierenden mehrdeutigen Erzgefüge ohne genügende Beweise einfach als syndiagenetische und postdiagenetisch-tektonische Umlagerungen hingestellt zu haben; der anderen Seite, Details der Sedimentpetrologie nicht zur Kenntnis genommen zu haben. Denn schon

die damaligen Kenntnisse über synsedimentäre Anlagerungsvorgänge, über diagenetische Kristallisationen und Deformationen müßten ausgereicht haben, die tatsächlichen Probleme zielführender zu erkennen.

Warum sedimentäres Gefüge und nicht sekundärer Lagenbau durch Metasomatose? Typische sedimentäre Gefüge (SCHULZ 1976) und der exakte Nachweis extern-sedimentärer Anlagerung sind die Hauptstützen für den Beweis submariner Erzreicherung. Feine rhythmische Schichtung, Schräg- und Kreuzschichtung, Verfaltungen solcher Lagen durch externe Gleitungen und geopetale Überlagerungen der dadurch entstandenen Unkonformitäten und Reliefs, syndiagenetische Deformationsbreccien in mechanisch inhomogenen Sedimenten, mechanische Resedimente mit nachweislich schon schichtig vererzten Komponenten, das alles sind nur durch Zusammenwirken mechanischer und chemischer Anlagerung erklärbare Befunde. Denn derartige Feinheiten in der Erzmineral-Karbonatsediment-Verteilung durch selektiven ionaren Platztausch erklären zu wollen, ist abwegig. Doch sei an jene täuschenden Fälle erinnert, in denen selektive Calcitisierung von Baryttäfelchen und eine totale Fluorit-Durchtränkung von primären Erzfeinschichten nachgewiesen ist (SCHULZ, 1966 a), was für unerfahrene Beobachter einen primären Anlagerungsvorgang vortäuschen kann.

Auch muß immer auf die wesentliche und entscheidende mechanisch angelagerte Komponente geachtet werden, denn viele Lagenbäue, wie z. B. Schalenblenden, entstehen schwerkraftunabhängig durch rhythmische chemische Fällung auf dem Umweg über ursprüngliche Gele. Die Aussagekraft von Schalenblenden, sogar auch lagig, ebenflächig gebauter, durch Farbwechsel feinschichtig aussehender kolloformer Zinksulfide, ist daher für sich allein betrachtet, im Hinblick auf die Frage sedimentärer Entstehung, äußerst bescheiden. Sie gewinnt erst in Verbindung mit typischen, mechanisch angelagerten Erz- und bzw. oder Karbonatschlämmen an Bedeutung (SCHULZ, 1976, 1978).

Wenn nun die Existenz von relikten Erzschlämmen schon 1956 anerkannt wurde (W. E. PETRASCHECK, 1957, CLAR, 1957), so bestand doch von Anfang an der Zweifel an externer Anlagerung. Denn die bisher erwähnten Befunde könnten – so die Auffassung vieler Forscher – auch als Internsedimente in Hohlräumen verschiedener Größe und Formen zustandegekommen sein. Diese Erklärung nahm SIEGL (1956, 1957) als Grundlage und machte damit, wie sich in der Folgezeit bestätigte, auf durchaus häufig vorkommende Erzkörper aufmerksam. Manche der Lagererzkörper sowie apophysenförmige und s-diskordant vererzte Gänge, stellen nämlich tatsächlich Internanlage rungen dar, welche im Rahmen weiterer Studien durchwegs als submarin-syndiagenetische Bildungen identifiziert werden konnten. Die Entfernung zur ehemals freien Bauzone aber, nämlich die Grenze zum Wasser, kann recht verschieden weit entfernt gewesen sein. In diesem Zusammenhang müssen als Hohlräume auch oberflächennahe Erosions-

kammern gewertet werden, die bereichsweise direkt oder indirekt mit dem Meeresboden in Verbindung standen. Eine derartige Situationsschilderung gab z. B. SCHULZ (1960b) für die Erzlager im 1. Zwischendolomit der Raibler Schichten in der Lagerstätte Bleiberg-Kreuth.

Eine grundsätzlich wichtige Aufschlußbeschreibung in derselben Lagerstätte teilt RAINER 1956 (1957) am Beispiel der vererzten Gangklüfte im Oberen Wettersteinkalk mit, welche mit den lagerförmigen Erzen manchmal mit einem im Querschnitt trichterförmigen Einschnitt zusammenhängen, in diese zum Teil mit geopetal eingemuldetem Sedimentärerz („Bodenerz“, SIEGL 1956) überleiten und somit die synsedimentäre Tektonik, also Spaltenbildung und Vererzung wahrscheinlich machen. Ergänzende exakte Beweise für diskordante syndiagenetische Erzgänge vom „Typus Bleiberg“ lieferte SCHULZ (1966b) mit der Beschreibung von Befunden verschiedener Bereichsgrößen und ihrer genetischen Interpretation als submarin, intratriadisch: Ein Großteil der in den Gängen ausgefällten Erze ist zwar chemisch angelagert, aber seltene geopetale mechanische Ablagerungen und Erzschlamm in zum Teil tieferen Gangabschnitten ermöglichen die entscheidenden Aussagen. Mehrere Autoren sehen die Erzgänge als Zufuhrspalten von Metallösungen an, andere fassen sie nur als Zirkulationswege bei der Elementumlagerung durch hydatogene Lösungen auf und wieder andere sehen darin Paläokarstphänomene.

Das Nebeneinander von Erzen „sedimentären und hydratischen Gefüges“ einerseits in den Erzlagern, andererseits in diskordanten Erzgängen und Lösungshohlräumen sieht POLESNIG 1956 (1957) als Hinweis für einen „einmaligen“ Vererzungsvorgang. Somit zielte POLESNIG gemeinsam mit SIEGL auf die alleinige Bedeutung der Internvererzungen. Damit ist aber auch schon die unglückliche Verflechtung von verschiedenen Problemen bei der Erklärung infolge einer Verallgemeinerung von zum Teil zweifellos ganz richtigen Aussagen aufgezeigt, die sich bis in die heutigen Tage als fortschritthemmend bemerkbar macht.

Zu den in den ersten Forschungsjahren erzielten Ergebnissen aus den Nordtiroler Kalkalpen und den Gailtaler Alpen muß auch eine von ZORC 1956 (1957) abgegebene Erklärung in Erinnerung gerufen werden. ZORC erwähnt neben den Ähnlichkeiten zwischen der in den Karawanken gelegenen Lagerstätte Mežica und Bleiberg in den Gailtaler Alpen im Hinblick auf stratigraphische Lage und Metallverhältnisse „Erzbrekzien“ mit 10 bis 20 cm langen Fragmenten, „die sehr oft noch die charakteristische schichtige Vererzung der primären Lager aufweisen“ (1957, S. 235); also eine prädeformative schichtige, vermutlich synsedimentäre Erzanreicherung, die (nach heutigen Kenntnissen) wahrscheinlich schon durch triadische Tektonik brekziert worden sein könnte.

Außer den viel diskutierten Internvererzungen, mit der auch heute noch immer aktuellen Frage „aszendenter“ oder „deszendenter“, war bzw. ist die generell wichtigste Entscheidung „syngenetisch“ i. e. S. oder

„diagenetisch“ zu treffen. Sie steht und fällt mit dem präzisen Nachweis extern-sedimentärer Erzanlagerung. Aber gerade diese Klärung ist am schwierigsten, weil exakte Befunde selten sind. Das hängt teils mit der Reliefbildung der auf den Karbonatschlamm einwirkenden aggressiven Metallsolen zusammen, teils mit der großen Neigung einiger Minerale zur Sammelkristallisation (Bleiglanz, Fluorit, Baryt), teils auch mit den schon primär scharfen Grenzen, welche durch Oberflächenspannung der aus den Metallsolen ausfallenden Gele, z. B. besonders zwischen Schalenblende und Karbonatgestein entstehen. Es ist auch anzunehmen, daß chemische Resedimentation in dem reaktionsbereiten Medium die wichtigen sedimentären Externgefüge in sehr vielen Fällen zerstört hat; aber dies ist zunächst eine Annahme, erforderlich sind Beweise.

Als zwingender Beweis für *Extern an Lagerung des Erzschlammes* müssen allmähliche Übergänge zu erzfreiem Sediment im Streichen sowie im Hangenden, unter Beibehaltung von Raumrhythmen der mechanischen Anlagerung gelten. Solche Befunde mit unscharfen Grenzen, mit allmählichen Übergängen von Erzkörpern ins Karbonatsediment bzw. umgekehrt stellen klar, daß die erste Anlage von Lagererzkörpern zumindest zum Teil extern erfolgt sein muß; es kann sich daher nicht um nachträglich entstandene epigenetische Lagergänge handeln. Dies widerlegt allerdings nicht die beobachtete Tatsache, daß auch von Erzgängen und Lagern abzweigende Erzspalten und Apophysen in ein und demselben Bereich vorliegen.

Die bisherigen Schilderungen zeigten, wie vielfältig die Naturbilder sind und wie vielfältig demnach auch die Erklärungen im einzelnen ausfallen müssen. Jedes starre Festhalten an einer einheitlichen Erklärung ist auf alle Fälle falsch, und eine für einen Fall richtige Erkenntnis darf nicht ohne weiteres verallgemeinert werden.

Die heutigen Kenntnisse berechtigen zur Ansicht, daß die diskutierten großen Pb-Zn-Lagerstätten nicht durch eine einzige Mineralisationsphase, sondern in mehreren stratigraphisch definierbaren Zeitabschnitten entstanden sein müssen.

Immerhin sind für mehrere stratigraphische Horizonte der Lagerstätten Bleiberg und Mežica, vereinzelt für Raibl sowie für mehrere Vorkommen in den Nordtiroler Kalkalpen zweifelsfreie Beweise für die Existenz externer Erzsedimente erbracht worden.

Ein besonders umstrittenes Thema bildet heute noch jenes über Ausmaß und Bedeutung *sekundärer Lösungsumsätze*. Die schon 1956 vorgebrachten Einwände, daß nicht einfach alle unpräzis erklärbaren Erzgefüge als Umlagerungen deklariert werden können, haben ihre Berechtigung. So forderte unter einer Reihe von Autoren vor allem CLAR (1957, S. 255) „Belege über die Verdrängung von älteren Sedimentärgefügen“ Die Möglichkeit syn- und postdiagenetischer Stoffmobilisationen war freilich nicht nur theoretisch vertretbar, sondern es boten schon die frühen Arbeiten den einen oder anderen konkreten Beweis für die Verwischung sedimentärer Primärstrukturen durch

Nachfolgekristallitate an. Eine bemerkenswerte und wohl schon in Vergessenheit geratene Aussage brachte REHWALD (1957, S. 255) mit Beobachtungen von starken Auslaugungen in der Sulfiderzgrube Bad Ems durch den Einfluß einer Therme, nämlich eines heißen Kohlensäuerlings sowie von Sulfidneubildungen.

Eine Menge von theoretischen Möglichkeiten für Mobilisierungen durch die Einwirkung des Mg im Meerwasser, verbunden mit Dolomitisierung und Erzausfällung, zeigt SEIDL (1958, 1959 a, b) auf, und vermutet in der triadischen Tektonik auch die Anlage möglicher Aufstiegswege für Salz- und Metallösungen, wobei deren salinarer Charakter beim Durchströmen der permischen Salzhorizonte verursacht worden wäre (1959 a). Das sind sehr bemerkenswerte Feststellungen, die in neuester Zeit wieder unter dem Thema „thermische Mobilisation“ ins Gespräch kamen.

Viele weitere Forscher sahen in Stoffmobilisationen nie ein Hindernis für die Erklärung der heutigen Erzgefüge (z. B. SCHNEIDER, 1969, SCHROLL, 1976); allerdings: die exakten, zwingenden Beweise am Objekt, und zwar in verschiedenen Bereichsgrößen zu erbringen, fiel immer schon schwer. Immerhin wurden für Kleinbereiche folgende zweifelsfreie Beispiele erwähnt (SCHULZ, 1960 a, b, 1964, 1968, 1976, 1978): Die unterschiedlichen Sammelkristallisationen von Bleiglanz, Zinkblende, Eisensulfid, Fluorit und Baryt in den inhomogenen Parallelgefügen der Erzschlämme, wobei sich die verschiedenen Übergangsstadien von separiert liegenden Einzelkörnern bis zu grobkristallinen, entsprechend in Feinlaminae angeordneten Aggregaten verfolgen lassen; auch das lokal diskordante Eingreifen kolloformer Aggregate, wie z. B. Schalenblenden in Vorgängergefüge, mit Verdrängung typisch feinschichtiger Erzschlämme innerhalb des im gesamten doch sedimentären Erzes bei Erhaltung von Relikten der primären Laminae.

Wie schwierig aber die exakte Beweisführung von Objekt zu Objekt ist, soll daraus erkannt werden, daß innerhalb der mechanisch angelagerten Erzfeinschichten auch chemisch angelagerte, z. B. lokal gesproßte Kristalle, polare Kristallrasen, insbesondere Schalenblendenlagen aufscheinen, welche auf Grund von Erosionskonturen und geopetalen Erzpelitüberlagerung, oder auch als vom Baugrund beeinflußte polare Gelkappen, als synsedimentäre, ursprünglich freie Gelausscheidungen identifiziert sind. Da nun beide an sich mehrdeutigen synsedimentären, nur im Gefügeverband voneinander genetisch unterscheidbaren Schalenblenden miteinander in schichtigen Erzlagern vorkommen, wird verständlich, daß auch dem in die Problematik eingelesenen Forscher eine exakte Erklärung – wenn überhaupt – nur nach entsprechendem Zeitaufwand für Makro- und Mikrountersuchungen möglich ist.

Allgemein gesehen aber sollte kein grundsätzlicher Zweifel an der Glaubhaftigkeit von Mobilisationen in den Primärerzen bestehen, da doch aus der stratigraphischen Abfolge mehrfach ablesbare fazielle

Bereitschaft zu chemischer Resedimentation infolge der Einwirkung hypersaliner Flachwässer auf externe und interne Erzsedimente erschließbar ist. Wesentliche Beiträge zum Verständnis fazieller Besonderheiten im Aufbau der erzführenden triadischen Sedimente lieferte vor allem BECHSTÄDT in mehreren Studien, z. B. 1973, 1974, 1975a, b, c, 1979.

Zusammenfassend ist festzustellen: Dem Sedimentologen sind zwar Sammelkristallisation mit Kornvergrößerung und Resedimentation ein vertrautes Bild, allein im Erzmilieu wird eine viel differenziertere Schritt-für-Schritt-Erklärung gewünscht. Diese gelang im Laufe der vielen Forschungsjahre. Die vielen, für jeden Einzelfall untersuchenswerten, entscheidenden Gefügedetails mit sich überlagernden Veränderungen vom ursprünglichen Zustand der Sedimentbauzonen bis zum heutigen Bild, ermöglichen in manchen Fällen eine konkrete Erklärung. Doch kann deshalb in der Menge der verschiedenen Befunde keine Pauschalerklärung gegeben werden. So wird dem Thema „Stoffumlagerung“ auf Grund mehrdeutiger Gefüge so manche Unsicherheit immer haften bleiben.

Trotz aller dieser Errungenschaften bleiben Antworten auf einige schon 1956 beim Symposium in München gestellte Fragen noch offen. So werden die Aussagen um so unsicherer, je selbständiger die mehrdeutigen Gefüge im Karbonatgestein verband auftreten. Es ist immer noch umstritten, ob die kolloformen Strukturen und derben, grobkristallinen Erze in diskordanten Gängen, in apophysenförmigen Abzweigungen und in anderen Hohlräumen sowie im Fugennetzwerk der Karbonatgesteine etwa durch Mobilisation deszendent oder lateralsekretionär oder durch eine Erstausscheidung aus Hydrothermen zustande kamen. Womit auch die Frage der ursprünglich zuführenden, aszendenter metalltransportierenden Lösungen angeschnitten ist.

Die nahestliegende Erklärung war schon in den fünfziger Jahren die, welche Zusammenhänge mit mitteltriadischem Vulkanismus und Lagerstättenbildung im Sinne telemagmatischer Genese durch epi- bis anathermale Metallösungen annahm, die im geeigneten geochemischen Milieu abhängig von Faziesbereichen in „Erzfallen“ zur Ausfällung gelangten. Abgesehen davon, daß unmittelbare Zusammenhänge mit vulkanischen Ereignissen nie behauptet, sondern indirekte Zusammenhänge mit einem magmatischen Herd (HEGEMANN, 1960) durch telemagmatische Thermen oder auch nur durch hydatogene Lösungen vermutet wurden, brachten erst Forschungsergebnisse um 1980 (KÖPPEL, 1981) durch Vergleiche von Pb-Isotopenverhältnissen sehr wichtige genetische Aspekte in die Diskussion. Allein die Annahme extrusiver metallführender Lösungen machte eine erste Annäherung der kontroversen genetischen Ansichten möglich; freilich stand zu Beginn die große Zeitdifferenz im Wege: triadisch-submarin einerseits, tertiär-alpidisch andererseits.

Für den Verfasser steht außer Zweifel, daß eine extrusive Stoffzufuhr mit extern-sedimentärer bzw. auch eine intrusive

Mineralisation im Meeresboden als Internanlagerung entlang von submarinen Klüften und anderen Hohlräumen für die oft enormen s-konkordanten und diskordanten Metallanreicherungen verursachend war. Daß damit Lösungserosion und metasomatische Platztauschvorgänge im reaktionsbereiten Kalk-Dolomit-Gestein verbunden waren, muß als selbstverständlich gelten. Das wurde ja seit eh und je im Zusammenhang mit Hydrothermen akzeptiert.

Wenngleich sich zur Unterscheidung thermaler Elementzufuhren und syndiagenetischer Mobilisate in den Mineralgefügen noch keine Differenzen finden ließen, so erlaubt doch in gewissen Fällen die gemeinsame Auswertung von tektonischen Gefügen und Anlagerungsgefügen eine wesentliche Aussage. Es kann nicht einfach bequemerweise jede s-diskordante Vererzung im kleinen, jeder diskordante Erzkörper im großen, durch Mobilisation irgendwelcher Sedimentärerze erklärt werden. Und wir sind damit bei einem ganz wesentlichen Diskussionspunkt nicht nur des Münchener Symposiums 1956, sondern auch der Gegenwart. Außer acht sollen hier die, bezogen auf die alpine Orogenese syn- bis posttektonischen Sekundärmineralisationen bleiben, deren Identifizierung dem gefügekundlich versierten Petrographen keine Schwierigkeiten bereiten sollten.

Als kennzeichnend für allenfalls belteropore Aufstiegs- und Zirkulationswege von Metallsolen können meines Erachtens nach bisherigen Kenntnissen gewertet werden: allein auftretende s-diskordante Erzgänge und vererzte Gangsysteme, Beispiel Obernberg/Brenner (WERTMANN, 1966, 1969); an 200–300 m tiefe, s-diskordante Kluftsysteme gebundene Lagererze mit jeweils nur kurzer s-parallel er Anreicherung, Beispiel Lafatsch-Reps (SCHULZ, 1981); s-diskordante bis 200 m tiefe Gangerzsysteme vom Typ Bleiberg, unmittelbar genetisch zusammenhängend mit sedimentären, in der Schichtung oblongen Erzrinnen, Reviere Bleiberg-Rudolf, -Stefanie, -Franz-Josef (RAINER, 1957, SCHULZ, 1966b); der diskordante Erzgang im Wettersteinkalk der Beckenfazies des alten Bergbaues Rubland im Drautal (KOSTELKA-SCHULZ, 1969).

Natürlich gehört im Rahmen der Ganglagerstätten vor allem auch Raibl (Cave del Predil) in den Julischen Alpen erwähnt. Grundlegende Studien gehen auf DI COLBERTALDO (1948, 1967) zurück. Allerdings hielt er (auch DI COLBERTALDO-SCHNEIDERHÖHN, 1958) die Anlage des die Vererzung diktierenden, einige hundert Meter diskordanten Kluftsystems für alpidisch-tertiär. Ordnet man aber dessen Entstehung triadisch-tektonischen Bewegungen im Riffkomplex des Metallifero-Dolomits bzw. dem Grenzhorizont zu den Raibler Schichten zu (ROMAGNOLI, 1966, SCHULZ, 1966c, ZELLER, 1970), so bestehen offensichtlich zu den Gangvererzungen anderer kalkalpiner Lagerstätten keine unüberbrückbaren Gegensätze in den Befunden. Dem widersprechen meines Erachtens auch nicht die häufigen stockförmigen, säulenförmigen Vererzungen in oblongen Lösungshohlräumen und Breccien-

zonen, in welchen man nach meiner Auffassung eine vorwiegend primäre interne Erzplaznahme verbunden mit Lösungserscheinungen erwarten darf. Eine sehr untergeordnete Rolle spielen extern- und intern-sedimentäre Erzfeinschichten. Bemerkenswert ist hiezu aber die Auffassung von BRIGO-OMENETTO (1976), welche den Erzinhalt der großen Erzkörper im wesentlichen als Produkt starker diagenetischer Lösungs-umsätze deuten. Diese sollen nämlich durch besondere paläohydrologische Ereignisse in der triadischen Karbonatplattform entlang „synogenetischer Klüfte“ („faglie singenetiche“ 1976, S. 55) ausgelöst worden sein. (Anm. d. Verf.: Es müßte sich um die submarin entstandenen, in bezug auf die Sedimentgenese wohl „syn- oder paradiagenetischen“ Klüfte handeln.)

Inwieweit sich das „Union“-Erzgangsystem der Lagerstätte Mežica, welches den Wettersteinkalk und -dolomit 650 m diskordant durchsetzt, als Lösungszufuhrspalte deuten läßt, wage ich mangels einer eingehenden Studie nicht zu beurteilen. Es gibt auch schichtgebundene Erzgänge und vererzte Breccienzonen. ŠTRUCL (1970, 1971, 1974, 1981) neigt weniger zur Auffassung hydrothermaler Metallzufuhr, als viel mehr zu rein sedimentären Anreicherungsursachen und sieht in synsedimentären Stoffbewegungen wesentliche Ursachen für die Form und Gefüge der heute mehrdeutigen Erzkörper. Ein erwähnenswerter, von ŠTRUCL 1970 beschriebener Befund an der Grenze des erzführenden Wetterstein-riffdolomits zu tonigem Erzschlamm zeigt eine konkordant geopetale evaporitische feinschichtige Erzsedimentauflage mit resedimentierten Dolomittrümmern auf einem Erosionsrelief.

Auch der mindestens 200 m s-diskordante „Dirstentrüffler Haupt-gang“ (TAUPITZ, 1954 b, GSTREIN-HEISSEL, 1982, SIDIROPOULOS, 1980, 1983) läßt im Rahmen der Pb-Zn-Mineralisation in mittleren Abschnitten des Riff-Riffschutt-Wettersteinkalkes (nach GSTREIN) bei Nassereith (Tirol) einen meines Erachtens zumindest teilweise aszendenten Lösungs-transport vermuten. Analoge, bisher offenbar viel zu wenig gefügeanalytisch untersuchte diskordante Erzgänge gibt es in den kleinen Lagerstätten am Südabhang der Heiterwand bei Nassereith, dort im Obersten Wettersteinkalk.

Von dieser Problematik etwas abseits liegen walzenförmige, schlauchförmige Erzbreccienkörper, wie z. B. die Lagerstätte Salafossa. Der mit den Begrenzungskonturen diskordant, aber doch annähernd in der Schichtung des mitteltriadischen Dolomits (Mittelabschnitt „Dolomia Infraraibiana“, ASERETO et al., 1976) liegende, auf Grund seiner geopetalen Erzschlämme aber doch zweifellos triadisch-sedimentäre, oblonge Erzschlach mit den Ausmaßen 700 × 50–200 × 50–100 m (BRIGO et al., 1977) wurde von LAGNY (1969, 1974, 1975) als Paläo-Karsterzbildung durch Emersion erklärt.

Das Thema Erosion und Karst als Ursache für Metallan-reicherungen ist in der Lagerstättenliteratur keineswegs neu (SCHNEIDER-HÖHN, 1962, CISSARZ, 1965, PETRASCHECK, 1961, PETRASCHECK-POHL,

1982) und betrifft bekanntlich die Elemente Fe, Mn, Mg, Al, Cu, Pb, Zn, Ni, Ag, Au, V, U, P. Seit 1964 stellen Forscher wie BENZ, CALLAHAN (1965), TAMBURRINI-VIOLA (1965), LELEU (1966) u. a. ihre Meinungen über die Anreicherung der Paragenese Pb, Zn, Fe, F, Ba, Si in Kalk- und Dolomitgesteinen vor. Von den Erkenntnissen über Elementkonzentrationen an sardischen Landschaftsreliefs verschiedener geologischer Epochen ausgehend, übernahmen dann französische Kollegen diese, meines Erachtens an einigen Objekten berechtigten Erklärungen auch für Interpretationen von schichtigen Pb-Zn-Ba-Lagerstätten in jurassischen Karbonatgesteinen im Atlasgebirge Nordafrikas. Und schließlich versuchen Sedimentologen, wie BECHSTÄDT seit 1973, 1974, 1975 a, b, c, 1979, diesen vermeintlich überall wirkenden Entstehungsmechanismus auch auf die kalkalpinen Pb-Zn-Lagerstätten zu übertragen. Rein auf die Emersions-Karst-Hypothese aufgebaut, entwickeln dann ASSERETO et al. (1976), OMENETTO-VAILATI (1977), RODEGHIERO-VAILATI (1978), OMENETTO (1979) und JADOU-OMENETTO (1980) Vorstellungen über die Pb-Zn-Lagerstätten der Bergamasker Alpen. Sie stehen damit im Widerspruch zu den Ansichten von HEGEMANN (1960) und FRUTH-MAUCHER (1966), welche eine vulkano-sedimentäre Genese für die Lagerstätten um Gorno für richtig halten.

So anerkennenswert nun derartige Diskussionsanregungen sein mögen, so leistungsverfälschend ist eine allzu voreilige, kritiklose Verallgemeinerung derartiger Hypothesen (vgl. SCHULZ, 1982). Man geht entschieden zu weit, wenn man in jedem Emersionshorizont Erzanreicherungen erwartet, in jeder Deformationsbreccie, ohne Beachtung petrologischer Gefügemerkmale, nur mehr „Karstbreccien“ sieht und Erzgänge nur als Karstschlote verdächtigt. Hiezu ist die Bemerkung angebracht, daß polnische Forscher (DŽULYŃSKI-SASS GUSTKIEWICZ, 1977, 1978, 1980, SASS GUSTKIEWICZ, 1975) mit ihren Ansichten über „hydrothermalen Karst“ (ungünstiger Ausdruck! pers. Anm.) der Wirklichkeit näher liegen. Demnach schaffen Hydrothermen in den reaktionsbereiten Kalk-Dolomit-Gesteinen geleitet von Wegsamkeiten Lösungshohlräume und damit Raum für interne Erzanlagerung.

Der Verfasser konnte sich durch Besichtigungen der Lagerstätten Aquaresi (Masua Nebida), Marx, Campo Pisano, Barega, Gutturu Pala und San Giovanni in Südwest-Sardinien und der Lagerstätten Deglen, El Abed, Kherzet Youcef, Djebel Gustar und Ain Khala in Algerien eine eigene Meinung bilden, die für die Beurteilung auch kalkalpiner Pb-Zn-Lagerstätten von Einfluß ist. Demnach sind jene, aber nur jene schichtigen, auf Erosionsflächen und damit verbundenen sackförmigen Vertiefungen und Schloten lagernden Konzentrationen von Erzmineralen (Bleiglanz, Zinkblende, Fe-Sulfide und Begleiter Baryt, Fluorit) berechtigterweise als Emersionsbildungen und gegebenenfalls als Paläokarstvererzungen zu erklären. Die Befunde stützen sich zum Teil auf diskordante Lagerung mit Geopetalgefügen. Weitere wesentliche Kennzeichen sind Detritusanlagerung von Erz-, Begleitmineralen sowie von allothigenen Psammit- und Pelitkomponenten, zum Teil auch mechani-

sche Resedimentation im Sinne SANDERS (1936, 1948, 1950). In einem derartigen Schichtverband mitenthaltene authigen chemisch ausgefällte Minerale sind als Verwitterungsmobilisate anzuerkennen, mitunter auch als chemische Resedimente deutbar. Solche Erklärungen (BONI, 1979, 1980, BONI-AMSTUTZ, 1982) halte ich z. B. für die Lagerstätte Barega im Iglesias-Sulcis-Bereich Sardiniens für richtig. Auch der hangende Erzhorizont der Lagerstätte El Abed an der algerisch-marokkanischen Grenze lässt nachweisbare Anzeichen mechanischer und chemischer Resedimentation an einer typischen Erosionsfläche, etwa 1–4 m über einem flächig weit ausgedehnten, schichtigen Pb-Zn-Erzlager erkennen.

BRIGO-DI COLBERTALDO (1972) bieten mit vielen Lokalitäten in den Karnischen Alpen bis in die Karawanken Beispiele für Erzanreicherungen ( $ZnS$ ,  $PbS$ ,  $FeS_2$ , Fahlerz,  $(CoNi)As_{3-2}$ ,  $BaSO_4$ ,  $CaF_2$ ,  $SiO_2$ ) auf einem Abtragungsrelief der Karbonzeit auf Devonkalk und -dolomit an. Diese sedimentären Konzentrationen werden als Aufarbeitungsprodukte älterer, aber offenbar nicht direkt nachweisbarer Voranreicherungen gedeutet.

Wir haben auch im Rahmen der „Cardita-Vererzung“ im Bergbau Bleiberg-Kreuth innerhalb der Raibler Schichten mehrfach Beispiele für Resedimentation in den stratiformen Erzlagern, ausgelöst von lokalen Erosionsvorgängen, kennengelernt (SCHULZ, 1960b, 1982). Hingegen erweisen sich die zum Teil ausgedehnten Dolomit- und Kalk-Breccienkörper als submarine Deformationsbreccien (SCHULZ, 1973), also sicher nicht als „Karstbreccien“. Und die flächig meist ausgedehnten grobklastischen Resedimentbreccien, welche teils submarine Blockhalden, teils Emersionshorizonte anzeigen (SCHULZ, 1975), sind nur in seltenen Fällen erzführend.

Es ist zu empfehlen, Emersions- und Karstphänomene nicht allgemein zu „Erzbringern“ zu machen. Und in diesem Punkt gehen einige Meinungen phantasiegeleitet ohne exakte Beweise entschieden zu weit. Freilich kann man rein theoretische Überlegungen anstellen und – z. B. Meter mächtige Kalk-Dolomit-Bänke verschwinden lassen, um auf Grund der darin enthaltenen Spurenmetalle Metallanreicherungen zu errechnen. Aber ein Wirklichkeitsnahes, den Anlagerungsgefügen entsprechendes Modell ist daraus nicht zwangsläufig ableitbar. Auch nicht, wenn man zu den sterilen Karbonatgesteinen Tonminerale mit ihren adsorptiv gebundenen Metallen mitheranzieht, und die höheren Metallgehalte von mergeligen Kalken, Mergelkalken usw. bezieht.

Allgemein gibt es sehr zahlreiche Fälle von Trockenlegungen, z. B. in den triadischen Kalk-Dolomit-Abfolgen, ohne daß nur die geringste Anreicherungstendenz von Erzmineralen oder auch nur erhöhte Metallgehalte feststellbar wären. An Emersions- und Karstoberflächen konnten Erzkörper also nur dort entstehen, wo in einer liegenden Sedimentabfolge bereits bemerkenswerte Mineralanreicherungen als Primärlagerstätten entwickelt waren (SCHULZ, 1983). Und das ist z. B. bei einigen sardischen und nordafrikanischen Lagerstätten der Fall. Es ist aber nicht berechtigt,

auf Grund erzführender Verwitterungshorizonte tiefer liegende Erzlager oder Erzgänge ebenfalls als Verwitterungsbildungen zu erklären (wie BONI, 1979, ZUFFARDI, 1976).

Unberührt von dieser Problematik bleibt aber die mögliche Einwirkung hypersaliner Flachwässer, z. B. in Lagunen, vor und nach Emersionen, auf extern und diagenetisch-intern entstandene Erzkörper infolge Auslösung von Mobilisationen, chemischer Resedimentation und Umkristallisation. Die dadurch verursachte mehr oder weniger starke Verwischung ursprünglich typischer, sedimentärer Erzgefüge ist durch das Erkennen verschiedener Zwischenstadien gesichert und auf sehr viele Beispiele von schichtigen Pb-Zn-Lagerstätten verschiedensten Alters in aller Welt anwendbar. Zu den Beispielen gehören meines Erachtens außer vielen schichtigen alpinen Lagerstätten der Triaszeit auch einige der sardischen (Kambrium) und nordafrikanischen (Jura) Lagerstätten. Auch manche in den oberschlesisch-polnischen Erzlagern der außeralpinen Trias (Muschelkalk) schwer verständliche erzgenetische Probleme dürften durch frühdiagenetische Gefügeumwandlungen unter Beibehaltung der Lagerposition erklärbare sein.

Eine deszendente Herleitung der Lagerstättenelemente aus den potentiellen Metallträgern wie dem Raibler Schieferton (KRANZ, 1974) mit z. B. (keine Durchschnittswerte) 90 ppm Ba, 13 ppm Cu, 300–400 ppm F; 1000 ppm Mn, 6 ppm Pb, 100 ppm V, 100 ppm Zn, ist schon deshalb nicht akzeptabel, weil damit die vielen, voneinander stratigraphisch unabhängigen, unterhalb der Schiefertonpakete lagernden stratiformen Erzfeinschichten nicht erklärt werden können. Ihr Metallreservoir könnte nur für jüngere Erzkörper einen Zuschuß liefern.

Zum Thema extrusiver Stoffzufuhr sei abschließend vermerkt, daß es eigentlich als logisch gelten sollte, wenn eventuell vorhandene, submarin angelegte Spaltensysteme wegsamkeitsbedingt von Erzlösungen mitbenutzt wurden und diese nicht nur auf diskreten Wegen das Meer erreichten. Der banale Fall belteroporer Gas- und Thermentransporte kann an rezenten Beispielen, z. B. Vulcano (SCHULZ, 1970), Santorin, gesehen werden.

Betreffend die ausgefällte Elementparagenese in den Lagerstätten sollte man an die möglichen topomineralischen Reaktionen der Erzlösungen mit dem durchströmten Sediment, an den Einfluß fällender Agentien, wie Lipide, Kerosin, Bitumina u. a. denken.

Zur Mitteilung von Forschungsergebnissen und damit zur raschen Entwicklung der Fortschritte über schichtgebundene Erzlagerstätten leisteten die Sammelwerke von AMSTUTZ, 1964, AMSTUTZ-BERNARD, 1973, WOLF, 1976, KLEMM-SCHNEIDER, 1977, und AMSTUTZ et al., 1982, wertvolle Dienste.

### Geochemische Befunde

Die Analysen des Mineral- und Gesteinsgefüges sowie des tektonischen Gefüges weisen in eine Richtung, in der die Lagerstätten-

genese ohne extrusive, submarine Metallzufuhr nicht erkläbar ist. Neben den für die Genese von Pb-Zn-Lagerstätten in Karbonatgesteinen entscheidenden Beobachtungen an aussagekräftigen Anlagerungsgefügen verhalf die *geochemische Forschung* bei der Beurteilung des Sedimentationsmilieus und der Metallherkunft zu weiteren, zum Teil entscheidenden Fortschritten. Wohl war längst bekannt, daß auf Grund von Mineralgefügen und der Spurenelementvergesellschaftung in den Erzmineralen höchstens mit mäßig-, bis hauptsächlich schwachtemperierten Metallsolen gerechnet werden darf. Aber rezente Beispiele lassen erkennen, daß bei extrusiven Gas- oder Lösungstransporten schon in unmittelbarer Umgebung der Austrittsstellen, infolge der Durchmischung mit normalem Meerwasser, mit einem starken Temperaturgefälle zu rechnen ist. Dadurch verliert die Bedeutung der Temperatur des eigentlichen transportierenden Mediums etwas an Aussagekraft.

Mit der Geochemie ostalpiner Lagerstätten, insbesondere über Spurenelemente in der Erzparagenese und Charakterisierung der Begleitgesteine befaßte sich in vielen Studien SCHROLL (zusammenfassend 1978). Die wirtschaftliche Bedeutung der Cd- und Ge-Gehalte in den Zinkblendekonzentraten sei nochmals hervorgehoben.

Die von der Arbeitsgruppe H. J. SCHNEIDER seit 1975 bekanntgemachten Ergebnisse über Seltene Erden und die Tb/Ca-, Tb/La-Verhältnisse in Fluoriten und koexistierenden Karbonatgesteinen bestätigen indirekt die Herkunft des gesamten außergewöhnlichen, periodisch auftretenden lagerstättenbildenden Elementangebotes durch untermeerische warme Quellen (SCHNEIDER et al., 1975, MÖLLER-PAREKH-SCHNEIDER, 1976, SCHNEIDER-MÖLLER, 1979). Daran kann auch die zwischen BECHSTÄDT (1978) und MÖLLER-SCHNEIDER (1978) ausgebrochene Polemik nichts ändern. Auf Grund der Tb/Ca- und Tb/La-Verhältnisse vermögen die Autoren Fluorite verschiedener Bildungsprozesse zu unterscheiden (pegmatitisch-pneumatolytisch, hydrothermal, sedimentär) und auch SE-Verschiebungen in verschiedenen Fluoritgenerationen zu deuten.

In allerletzter Zeit liefert die Berliner Arbeitsgruppe SCHNEIDER auch Neuergebnisse über Fluor und Fluoritverteilungen in den Nebengesteinen der Lagerstätten und findet das Zusammengehen mit Zink (HEIN, 1981); weitere Forschungen befassen sich mit Solerelikten in Karbonatgesteinen und mit den Ga/Ge-Verhältnissen in Zinkblenden, woraus paläothermometrische Daten zu erhalten sind. Der Stand bisheriger Untersuchungen führt zu dem Schluß, daß wahrscheinlich mit vulkanisch inszenierter Fluor- und damit Metall-Belieferung zu rechnen ist, wobei offen bleiben muß, ob diese „echt“ oder vulkanisch-thermisch mobilisiert erfolgt ist (pers. Mitt. SCHNEIDER).

Die Heranziehung der  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ -Isotopenverhältnisse zur Aussage über die Schwefelherkunft ist schon alt. Für alpine Pb-Zn-Lagerstätten gaben erstmals FRUTH-MAUCHER, 1966, und GRINENKO-ZAIRI-ŠADLUN, 1974, Daten bekannt. Obwohl damals nur wenige Sulfiderzproben analysiert wurden, ist um so bemerkenswerter, daß der Trend der  $\delta^{34}\text{S}$ -

Werte schon zur Geltung kam, wie er sich in der Folgezeit durch zahlreiche Analysen in verschiedenen Lagerstätten statistisch ergab (SCHROLL, 1978, DROVENIK–DUHOVNIK–PEZDIŽ, 1979, SCHULZ, 1981, SCHROLL–SCHULZ–PAK, 1983, SIDIROPOULOS, 1983). Allgemein ist die große Streuung der  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte von Pb-Zn-Sulfiden charakteristisch, wobei stark negative Werte bis über  $-25\text{‰}$  reichen, verschiedentlich aber auch nahe dem Troilit-Standardwert ( $^{22}\text{S}/^{24}\text{S} = 22.21 = \delta^{34}\text{S} 0\text{‰}$ ) streuen. Dies kann dahingehend interpretiert werden, daß die Mineralausscheidungen in einem bakteriell stark beeinflußten sedimentären Milieu (auch über  $100^\circ\text{C}$  möglich!) stattgefunden haben und daß eine Mitbeteiligung von hydrothermal zugeführtem Schwefel nicht ganz auszuschließen ist. Die  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte der Sulfatminerale geben allerdings zu erkennen, daß Meerwassersulfate der Triaszeit zur Fällung gelangt sind (SCHROLL, 1978).

Zum Vergleich sei an die S-Isotopenverhältnisse in der zwischen vulkanischen Zyklen eingebauten, zweifellos hydrothermalen Hg-Lagerstätte Idrija (Slowenien) erinnert. DROVENIK–DUHOVNIK–PEZDIŽ (1979) geben für Zinnober und Pyrit Streuungen zwischen  $+8,6$  und  $-21,3\text{‰}$  bekannt.

Untersuchungen einer persönlich entnommenen rezenten Pyritkruste im Unterwasser-Solfatarenfeld von Vulcano ergaben  $-2,8\text{‰}$ , für den Sulfidanteil eines tonigen Sedimentes  $-7,2\text{‰}$  und für dessen Sulfatanteil  $+0,5\text{‰}$ . Für den kolloidalen Schwefel am Meeresboden in 10 m Tiefe wurden  $-0,8\text{‰}$  (Sulfat  $+19,5\text{‰}$ ), für solchen Schwefel im Seichtwasser in Ufernähe  $+4,5\text{‰}$  (Sulfat  $+18,7\text{‰}$ ) bei Anwesenheit von reichlich Schwefel- und Eisenbakterien festgestellt. Für Schwefelkristalle am Kraterrand des Gran Cratere ergaben die allesamt von E. PAK (Institut für Radiumforschung und Kernphysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien) durchgeführten Analysen  $-4,6\text{‰}$ , für den Sulfidanteil eines Gesteinszersetzungsproduktes  $-5,9\text{‰}$  und für dessen Sulfatanteil  $+1,4\text{‰}$ . Eine Meerwassersulfatprobe lieferte den  $\delta^{34}\text{S}$ -Wert  $+18,3\text{‰}$ .

Zusammenfassend ergibt sich, daß die aus den Gefügen der Pb-Zn-Erzlagerstätten ableitbare Genese durch die S-Isotopenanalyse zwar nicht exakt bestätigt, aber ihr auch nicht widersprochen wird.

Nach allen diesen wertvollen Erkenntnissen bleibt aber immer noch die den Wissenschaftler interessierende Antwort auf die Frage nach der Metallherkunft offen. In allerletzter Zeit scheint nun durch die Untersuchungen an Pb-Isotopen durch KÖPPEL die Lücke im Fragenkomplex so gut wie geschlossen zu werden.

Schon 1946 befaßte sich HOUTERMANS mit solchen Analysen an Bleiglanzen von Bleiberg (zitiert bei KÖPPEL–SCHROLL, 1979) und erhielt nach damaligen Modellvorstellungen ein, im Vergleich zum erzführenden Nebengestein, zu hohes Alter, nämlich  $330–360$  ( $\pm 40$ ) Ma (nach EBERHARD–GEISS–HOUTERMANS–SIGNER, 1962, GRÖGLER–GRÜNENFELDER–SCHROLL, 1961). Diese Anomalie wurde als Typ B (Bleiberg) bezeichnet.

In späteren Jahren führten Verbesserungen in der massenspektrometrischen Methodik zu einer besseren Reproduzierbarkeit der Werte. So gelangt KÖPPEL nach neu entwickelten Modellen zu einem  $207\text{Pb}/206\text{Pb}$ -Alter von 300–350 Ma nach dem Modell von STACEY–KRAMERS (1975) bzw. 300 Ma nach dem Modell von CUMMING–RICHARDS (1975) und bestätigt damit das Bleiberger Erzblei sowie das von Raibl, Mežica, Salafossa als B-Typ (KÖPPEL–SCHROLL, 1979). Auch damit ist also das Pb-Alter wesentlich höher als das Alter der sedimentären Erzlager im oberen Wettersteinkalk (CORDEVOL) und in den Raibler Schichten (JUL) mit ca. 200 Ma. Übrigens findet KÖPPEL, daß die Bleierze verschiedenen Alters und verschiedener s-konkordanter und diskordanter Gefüge eine so gut wie homogene und konstante Pb-Isotopenzusammensetzung aufweisen (KÖPPEL–KOSTELKA, 1976). Das Blei der mesozoischen Vererzungen in den Kalkalpen kann nach KÖPPEL nicht aus dem oberen Erdmantel hergeleitet werden, wodurch eine magmatogen-hydrothermale Genese aus alkali-basaltischen Magmen auszuschließen ist. KÖPPEL–SCHROLL (1979) haben die Folgerung abgeleitet, daß die großen Lagerstätten, z. B. Mežica, Auronzo, Raibl, Bleiberg, Gorno, alle recht ähnliche, aber nicht identische Isotopenverhältnisse aufweisen. Kleine Lagerstätten und Vorkommen aber weisen größere Variationen der Pb-Isotopenverhältnisse auf.

1979 zieht KÖPPEL die Pb-Isotopenverhältnisse in verschiedenen alpinen Bleiglanzen und in deren Nebengesteinen zum Vergleich heran und findet für das Erzblei der ostalpinen paläozoischen Vorkommen, der triassischen Pb-Zn-Lagerstätten in den Ost- und Südalpen sowie von Ganglagerstätten im südalpinen Perm fast ausnahmslos Übereinstimmungen; und zwar in bezug auf hohe  $\mu$ -Werte ( $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ ), hohe W-Werte ( $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ ) und oft hohe  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Modellalter. Daraus leitet KÖPPEL die Entwicklung des Lagerstätten-Bleis aus einem Milieu mit hohen U/Pb-Verhältnissen ab, welches sich auch durch überdurchschnittlich hohe Th/Pb-Werte auszeichnet. Allerdings wird in einer jüngeren Entwicklungsphase mit einem Milieuwechsel gerechnet, durch welchen sich zwar das U/Pb-Verhältnis erniedrigte, aber das Th/Pb-Verhältnis weiterhin hoch blieb.

Die daraus von KÖPPEL weiter abgeleiteten Aussagen lauten dahingehend, daß in dem wahrscheinlich letzten Stadium des Bleis vor der Abtrennung in eine Lagerstätte die für einen konsolidierten tieferen Erdkrustenabschnitt typischen Bedingungen geherrscht haben müssen.

Eine weitere bemerkenswerte, genetisch außerordentlich wichtige Aussage erzielt KÖPPEL mit dem Ergebnis, daß die Pb-Isotopenverhältnisse im Erzblei nicht identisch sind mit denen des spurenhaft im Karbonatgestein getarnten Bleis: „Demnach stammt das Erzblei von diskreten Quellen, und die Lösungen, welche für den Erzabsatz verantwortlich waren, verhielten sich als mehr oder weniger geschlossene Systeme. Eine Durchmischung des Meerwassers mit den Erzlösungen über größere Bereiche hat nicht stattgefunden.“ (KÖPPEL, 1983, und pers. Mitt.).

Nach KÖPPELS letzten Ergebnissen könnte es sich bei unserem Erzblei der Triasvererzungen um eine Mischung von Pb (Lagerstätten- und Gesteinsblei) aus permischen Porphyren, Grödener Sandstein sowie einer anderen Komponente, hauptsächlich aus dem Altkristallin handeln.

Metallparagenetisch betrachtet muß darauf hingewiesen werden, daß mit dem Auftreten von Fahlerz in der Pb-Zn-Paragenese, wie dies in einigen kleinen Lagerstätten der Nordtiroler Kalkalpen nachgewiesen ist, die Mobilisierung, z. B. devonischer oder permischer Erzbestände, als sehr aktuell gesehen werden kann; zumal im Raum Brixlegg-Wörgl solche komplexe Kupferminerale sowohl im Paläozoikum als auch in Triasdolomiten enthalten sind.

Auch dem Thema „Dolomitisierung und Vererzung“ wird man noch gewisse Beachtung schenken müssen, weniger im Zusammenhang mit diagenetischen Stoffverschiebungen, als viel mehr wegen möglichen primären Zusammenhängen mit Metallzufuhren. In den polnischen Lagerstätten Oberschlesiens sind diese auffällig vorhanden.

### Schlußbemerkung

Somit liegt heute ein sedimentologisch, lagerstättenkundlich und geochemisch weitgehend gefestigtes Bild über die Genese der Pb-Zn-Lagerstätten in der ostalpinen Trias vor, in welchem folgende Grundsätze nicht mehr wegzudenken sind:

Triadisch externe und interne Erzanreicherung speziell in geochemischen Fallen (Beweise: Typisch sedimentäre Erz-Anlagerungsgefüge, geopetale Erzschlämme konkordant im Sedimentverband und in diskordanten submarinen Zerrspalten, Fugennetzwerk, Lösungshohlräumen).

Diagenetische Umkristallisationen in prädestiniertem geochemischen Milieu, z. B. durch stark salinare Einflüsse im Seichtwassermilieu (Beweise: schrittweise zu verfolgende Umkristallisationsstadien und Lösungerscheinungen an ursprünglich typischen Sedimentärerzen, verschieden starke Verwischung der Primärgefüge; weit vorherrschend postkristalline Deformationen).

Schwach bis mäßig temperierte extrusive Erzlösungen im triadischen Sedimentationsraum in mehreren Zyklen, ausgelöst durch thermische Mobilisation: sekundär-hydrothermale (hydatalogene) Lösungen (im Sinne SCHNEIDERHÖHN, 1962). (Beweise: Pb-Isotopenverhältnisse im Erzblei verschieden vom Karbonatblei; Erzblei ein Mischblei aus permischen Vulkaniten bzw. Erzvorkommen und wahrscheinlich mobilierte Unterkruste; typische Spurenelemente in Pb-Zn-Sulfiden und Fluorit.)

Der regionalgeologisch auffällige Befund, daß die bedeutenden Pb-Zn-Lagerstätten Mežica und Topla, Bleiberg-Kreuth, Raibl, Auronzo und Salafossa im Nahbereich und beidseits des Periadriatischen Lineaments gereiht sind und durch eine horizontale Verschiebung um

90–100 km mit dem Relativsinn Südliches nach E, Nördliches nach W paarweise in Nachbarschaft zu bringen wären – was den Vorstellungen der Alpengeologen über die paläogeographische Entwicklung durchaus entsprechen würde (SCHÖNLAUB, 1980) – veranlaßte KOSTELKA, 1972, zu der lagerstättengenetisch beachtenswerten Aussage, aus diesem offensichtlich nicht zufälligen Befund genetische Zusammenhänge im Rahmen gemeinsamer Aufstiegswege von metalltransportierenden Lösungen zu vermuten. Derartige Möglichkeiten für aszendente Metallquellen sollte man auch für die vielen anderen Lagerstätten, z. B. in den Nördlichen Kalkalpen, aus dem paläogeographischen Entwicklungssystem aufzudecken versuchen.

Wenn aus dieser Abhandlung neben den großen Forschungsfortschritten einige Differenzen in der Interpretation merkbar wurden, so ist doch zu hoffen, daß auch für die umstrittenen Befunde eine in den Rahmen der allgemeinen Erkenntnisse passende glaubhafte Erklärung gefunden werden kann.

Vielleicht lassen sich die Meinungsverschiedenheiten über Erzreicherungen an Emersions- und Karsthorizonten dahingehend beseitigen, daß man sowohl die Existenz von primären, intrusiv- und extrusiv-thermal entstandenen Erzgängen und -lagern akzeptiert, als auch die solche Regionen erfassenden Emersionen als Ursache von sekundären mechanischen und chemischen Erzreicherungen an Verwitterungshorizonten bzw. als Paläokarstbildungen gelten läßt.

Abschließend ist noch die Frage nach dem wirtschaftlichen Nutzen der wissenschaftlichen Neuerkenntnisse berechtigt. Die Bedeutung des Mineralchemismus im Hinblick auf eventuelle schädliche oder nützliche Spurenelemente in den Erzkonzentraten liegt auf der Hand. Für alle ostalpinen triadischen Pb-Zn-Lagerstätten ist die Gewinnung der Nebenmetalle Cd und Ge aus der Zinkblende ökonomisch wichtig. Ihre regionale Verteilung oder eventuelle Bindung an bestimmte Erztypen ist von Interesse.

Die Grundlage für den laufenden Erzbergbau und für den Hoffnungsbau bilden aber die Kenntnisse über Position, Gestalt, Ausdehnung, Anzahl, Verteilung und Typ der Erzkörper, über deren flächige oder lineare Anordnung und Frequenz im Gesteinsverband, über die prädestinierten, eventuell faziesbedingten Sedimentzonen in den Kalk-Dolomit-Abfolgen, und bildet die Kenntnisnahme über postkristalline Deformationen der Erzkörper, wie Achsenlagen von Faltungen und die Beeinflussung durch das Scherluftnetz. Das sind Fragen, die nur durch gefügeanalytische Untersuchungen beantwortet werden können und von Lagerstätte zu Lagerstätte verschiedene Vorgangsweisen erforderlich machen. Kenntnisse über das Lagerstättengefüge bilden schließlich auch die Grundlage für die Interpretation geophysikalischer Daten.

Es sollte Ziel der Geowissenschaftler sein, nicht nur das bergmännisch oft ideal aufgeschlossene Lagerstättenobjekt zur Forschung zu

nützen und die Forschung zum Selbstzweck durchzuführen, sondern auch praxisbezogene Erkenntnisse vornehmlich so anzubieten, daß ein wirtschaftlicher Nutzen gezogen werden kann.

Die Studien der Arbeitsgruppe Innsbruck wurden im Rahmen des Schwerpunktes S 21 der ÖRK durch das Wissenschaftsfonds-Projekt 4435 dankenswerterweise gefördert.

### Literatur

- AMSTUTZ, G. C.: *Developments in Sedimentology, Vol. 2: Sedimentology and Ore Genesis.* (Editor Amstutz), Elsevier Publishing Company, Amsterdam – London – New York, 185 S. (1964).
- AMSTUTZ, G. C., BERNARD, A. J.: *Ores in Sediments* (Editors Amstutz, Bernard), Springer-Verlag Berlin – Heidelberg – New York, 350 S. (1973).
- AMSTUTZ, G. C., GORESY, A. E., FRENZEL, G., KLUTH, C., MOH, G., WAUSCHKUHN, A., ZIMMERMANN, R. A. (Editors): *Ore Genesis. The State of the Art.* Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 804 S. (1982).
- ASSERETO, R., BRIGO, L., BRUSCA, C., OMENETTO, P., ZUFFARDI, P.: *Italian Ore/Mineral Deposits Related to Emersion Surfaces, a Summary.* Mineral. Deposita (Berl.) 11, 170–179 (1976).
- BECHSTÄDT, T.: Zyklotheme im hangenden Wettersteinkalk von Bleiberg-Kreuth (Kärnten, Österreich). Veröff. Univ. Innsbruck, 86, 25–55 (1973).
- BECHSTÄDT, T.: Sind Stromatactis und radial axial fibröser Calcit Faziesindikatoren? N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 11, 643–663 (1974).
- BECHSTÄDT, T.: Zyklische Sedimentation im erzführenden Wettersteinkalk von Bleiberg-Kreuth (Kärnten, Österreich). N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 149, 73–95 (1975 a).
- BECHSTÄDT, T.: Lead-Zinc Ores Dependent on Cyclic Sedimentation (Wetterstein-Limestone of Bleiberg-Kreuth, Carinthia, Austria). Mineral. Deposita (Berl.) 10, 234–248 (1975 b).
- BECHSTÄDT, T.: Sedimentologie und Diagenese des Wettersteinkalkes von Bleiberg-Kreuth. Ein Hinweis zur Genese der Blei-Zink-Erze. – Berg- u. Hüttenm. Mh. 120, 466–471 (1975 c).
- BECHSTÄDT, T.: Discussion on the Publication by H.-J. Schneider et al.: Fluorine Contents in Carbonate Sequences and Rare Earths Distribution in Fluorites of Pb-Zn-Deposits in East Alpine Mid-Triassic, Mineralium Deposita 12, 22–36 (1977). Mineral. Deposita (Berl.) 13, 281–284 (1978).
- BECHSTÄDT, T.: The Lead-Zinc Deposit of Bleiberg-Kreuth (Carinthia, Austria): Palinspastic situation, Paleogeography and Ore Mineralisation. 3<sup>rd</sup> ISMIDA Leoben 1977. Verh. Geol. B.-A. 1978, 3, 221–235 (1979).
- BENZ, J. P.: *Les gisements plombo-zincifère d'Arenas (Sardaigne).* Thèse de doctorat, Fac. Sci. Univ. Nancy, 123 S. (1964).
- BONI, M.: Zur Paläogeographie, Mineralogie und Lagerstättenkunde der Paläokarst-Erze in Südwest-Sardinien (Iglesiente-Sulcis). Diss. Univ. Heidelberg, 260 S. (1979).

- BONI, M.: Postherzynische Paläokarst-Erze in SW-Sardinien. *Erzmetall*, 33, 169–172 (1980).
- BONI, M., AMSTUTZ, G. C.: The Permo-Triassic Paleokarst Ores of Southwest Sardinia (Iglesiente-Sulcis). An Attempt at a Reconstruction of Paleokarst Conditions. In: *Ore Genesis. The State of the Art* (Editors: Amstutz et al.), 73–82 (1982).
- BRIGO, L., COLBERTALDO, D. Di: Un nuovo orizzonte metallifero nel Paleozoico delle Alpi Orientali. 2nd ISMIDA Bled 1971, *Geologija* 15, Ljubljana, 109–124 (1972).
- BRIGO, L., OMENETTO, P.: Le mineralizzazioni piombo-zincifere della zona di Raibl. Nuovi aspetti giacimentologici. *L'Industria Mineraria*, XXVII, 49–56, Faenza (1976).
- BRIGO, L., KOSTELKA, L., OMENETTO, P., SCHNEIDER, H. J., SCHROLL, E., SCHULZ, O., ŠTRUCL, I.: Comparative Reflections on Four Alpine Pb-Zn Deposits. In: *Time-and Strata-Bound Ore Deposits* (Editors: Klemm-Schneider), Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg, 273–293 (1977).
- CALLAHAN, H. W.: Paleophysiographic permises for prospecting for strata-bound base metal mineral deposits in carbonate rocks. *Symp. Min. Geol. Base Metals* (Ankara 1964). Cento Treaty Organiz, Ankara, 191–248 (1965).
- CISSARZ, A.: Einführung in die allgemeine und systematische Lagerstättenlehre. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 228 S. (1965).
- CLAR, E.: Diskussionsbeitrag in „Entstehung von Blei-Zink-Lagerstätten in Karbonatgesteinen“. München 1956, Berg- u. Hüttenmänn. Mh. 9, 234, 242, 247 (1957).
- COLBERTALDO, D. Di: Il giacimento piombo-zincifero di Raibl in Friuli (Italia). Memoria di pp. 137 presentata alla 18a Sess. del Congr. Intern. di Geologia, Londra 1948 e pubblicata a cura della S. A. Miniere Cave del Predil (Raibl), Roma (1948).
- COLBERTALDO, D. Di: Giacimenti minerari – Vol. I: Giacimentologia generale e giacimenti di Pb-Zn (e Ag), CEDAM, Padova, pp. 383 (1967).
- COLBERTALDO, D. Di, SCHNEIDERHÖHN, H.: Die Blei-Zink-Erzlagerstätte von Raibl. N. Jb. Miner., Mh. 10, 217–224 (1958).
- CUMMING, G. L., RICHARDS, J. R.: Ore lead isotope ratios in a continuously changing world. *Earth Plan. Sci. Let.* 28, 155–171, Amsterdam (1975).
- DROVENIK, M., DUHOVNIK, J., PEZDIČ, J.: Schwefelisotopenuntersuchungen in slowenischen Erzlagerstätten. 3rd ISMIDA Leoben 1977, Verh. Geol. B.-A. 1978, 3, 301–309 (1979).
- DŻULYSKI, S., SASS-GUSTKIEWICZ, M.: Comments on the genesis of the Eastern-Alpine Zn-Pb deposits. *Mineral. Deposita* (Berl.), 12, 219–233 (1977).
- DŻULYSKI, S., SASS-GUSTKIEWICZ, M.: Ore Breccias in the Triassic Rocks of the Cracow-Silesian Region (Poland). *Österr. Akad. Wiss., Schriftenr. Erdwiss. Komm.*, 3, 125–130 (1978).
- DŻULYSKI, S., SASS-GUSTKIEWICZ, M.: Dominant Ore-Forming Processes in the Cracow-Silesian and Eastern-Alpine Zinc-Lead Deposits. Proceedings of the Fifth Quadrennial IAGOD Symposium. E. Schweizerbart'sche Verlagsbh. 415–429 (1980).

- EBERHARDT, P., GEISS, J., HOUTERMANS, F. G., SIGNER, P.: Age determinations on lead ores. *Geol. Rdsch.* 52, 836–852 (1962).
- FRUTH, I., MAUCHER, A.: Spurenelemente und Schwefel-Isotope in Zinkblenden der Blei-Zink-Lagerstätte von Gorno. *Mineralium Deposita*, 1, 238–250 (1966).
- GRINENKO, V. A., ZAIRI, N. M., ŠADLUN, T. N.: Poligennaja priroda globuljornyh sulfidov v stratiformnih mestoroždenijah. *Geologija rudnyh mestoroždenij* (Moskva), 1, 66–77 (1974).
- GRÖGLER, N., GRÜNENFELDER, M., SCHROLL, E.: Bleiisotopenhäufigkeiten in Bleiglanzen der Ostalpen. *Anz. Österr. Akad. Wiss. math.-naturwiss. Kl.* 98, 106–111 (1961).
- GSTREIN, P., HEISSEL, G.: Blei-Zink-Lagerstätten in den Nordtiroler Kalkalpen. BBU-Projekt TA 8, Bericht 1981/82. Archiv BMHGI, Archiv Berghauptmannschaft Innsbruck (nicht publiziert, 1982).
- HEGEMANN, F.: Über sedimentäre Lagerstätten mit submariner vulkanischer Stoffzufuhr. *Fortschr. Mineral.*, 27, 54–55 (1948).
- HEGEMANN, F.: Die Entstehung der kalkalpinen Blei-Zink-Erzlagerstätten. *N. Jb. Miner. Mh.* 7/8, 170–185 (1960).
- HEIN, U. F.: Rapporti tra anomalie di fluoro e geochimica delle fluoriti nell'ambito delle serie carbonatiche mineralizzate a Zn-Pb-F-Ba del Triassico Alpino. *Mem. Soc. Geol. It.*, 22, 83–99 (1981).
- JADOU, F., OMENETTO, P.: Diagenetic evolution of ore-bearing internal sediments in karst cavities: examples from the Triassic of the Bergamasco Alps (Gorno District, Northern Italy). *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.* 1, 17–32 (1980).
- KLEMM, D. D., SCHNEIDER, H. J.: Time- and Strata-Bound Ore Deposits (Editors Klemm, Schneider). Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 444 S. (1977).
- KOSTELKA, L.: Die Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth in Zeit und Raum. In: Blei und Zink in Österreich. *Veröff. Naturhist. Museum, Wien*, 6, 8–14 (1972).
- KOSTELKA, L., SCHULZ, O.: Die Tektonik des Blei-Zink-Erzreviers Rubland (Östliche Gailtaler Alpen). *Berg- und Hüttenmänn. Mh.* 12, 440–445 (1969).
- KÖPPEL, V.: Pb-Isotopes and Genetic Constraints for the Pb-Zn Deposits in Triassic Carbonates of the Alpes. 4th ISMIDA, Berchtesgaden 1981. Abstracts, (Proceedings), 77 (1981).
- KÖPPEL, V., KOSTELKA, L.: The isotopic composition of ore lead from Bleiberg, Austria. Vortrag und Preprint (1976).
- KÖPPEL, V., SCHROLL, E.: Bleiisotopenzusammensetzung von Bleierzen aus dem Mesozoikum der Ostalpen. 3rd ISMIDA Leoben, 1977, Verh. Geol. B.-A., 3, 403–409, 1978 (1979).
- KRANZ, J. R.: Geochemische Charakteristik des erzhöflichen Oberen Wetterstein-kalkes (alpine Mitteltrias) der Ostalpen. *Diss. Freie Univ. Berlin*, 219 S. (1974).
- LAGNY, Ph.: Minéralisations plombo-zincifères triasiques dans un paléo-karst (gisement de Salafossa, province de Belluno, Italia). *C. R. Acad. Sci. Ser. D.*, 268, 1178–1181 (1969).

- LAGNY, Ph.: Émersions médico-triasiques et minéralisations dans la région de Sappada (Alpes orientales italiennes). Le gisement de Salafossa: un remplissage paléokarstique plombo-zincifère. Thèse Doct. Sci. Nat. Nancy, 1, 366 S. (1974).
- LAGNY, Ph.: Le gisement plombo-zincifère de Salafossa (Alpes italiennes orientales): Remplissage d'un paléokarst triassique par des sédiments sulfures. Mineral. Deposita (Berl.), 10, 345–361 (1975).
- LELEU, M.: Le karst et ses incidents metallogeniques. Sci. Terre 11, (4), 385–413 (1966).
- MAUCHER, A.: Zur alpinen Metallogenese in den bayerischen Kalkalpen zwischen Loisach und Salzach. Tschermaks mineral. petrogr. Mitt., 4, 454–463 (1954).
- MAUCHER, A.: Die Deutung des primären Stoffbestandes der kalkalpinen Pb-Zn-Lagerstätten als syngenetisch-sedimentäre Bildung. Und Diskussionbeitrag in „Entstehung von Blei-Zink-Erzlagerstätten in Karbonatgesteinen“. München 1956, Berg- u. Hüttenm. Mh. 9, 226–229, 234 (1957).
- MOHS, F.: Die Villacher Alpe und die dieselbe zunächst umgebenden Gegenden; eine geognostische Skizze. Efemeriden der Berg u. Hüttenkunde (C. E. Freih. v. Moll), 3 Bd., 2. Lieferung, 161–228, Nürnberg (1807).
- MÖLLER, P., SCHNEIDER, H. J.: Reply to the Discussion of T. Bechstädt on the Publication by H. J. SCHNEIDER et al.: Fluorine Contents in Carbonate Sequences and Rare Earths usw., Mineralium Deposita 12, 22–36 (1977). Mineralium Deposita (Berl.) 13, 285–287 (1978).
- MÖLLER, P., PAREKH, P. P., SCHNEIDER, H. J.: The Application of Tb/Ca-Tb/La Abundance Ratios to Problems of Fluorspar Genesis. Mineral. Deposita (Berl.), 11, 111–116 (1976).
- OMENETTO, P.: Significant Ore Fabric Relationships in the Lead, Zinc, Fluorite and Barite Deposits of the Triassic Province (Italian Southern Alps). Annales de la Société Géologique de Belgique, T. 102, 519–529 (1979).
- OMENETTO, P., VAILATI, G.: Ricerche geominerarie nel settore centrale del distretto a Pb, Zn, fluorite e barite di Gorno (Lombardia). L'Industria Mineraria, 25–44 (1977).
- PETRASCHECK, W.: Die alpine Metallogenese. Jb. Geol. B. A., 90, 129–149 (1945).
- PETRASCHECK, W. E.: Lagerstättenlehre. Springer-Verlag, Wien, 374 S. (1961).
- PETRASCHECK, W. E.: Die Gesichtspunkte für eine hydrothermale Entstehung der kalkalpinen Blei-Zink-Lagerstätten. Und Diskussionsbeitrag in „Entstehung von Blei-Zink-Erzlagerstätten in Karbonatgesteinen“, München 1956. Berg- u. Hüttenm. Mh. 9, 229–233, 248–255 (1957).
- PETRASCHECK, W. E., POHL, W.: Lagerstättenlehre. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 341 S. (1982).
- POLESNIG, W.: Diskussionsbeitrag in „Entstehung von Blei-Zink-Erzlagerstätten in Karbonatgesteinen“. München 1956. Berg- und Hüttenm. Mh. 9, 240–241 (1957).
- RAINER, H.: Diskussionsbeitrag in „Entstehung von Blei-Zink-Erzlagerstätten in Karbonatgesteinen“. München 1956. Berg- und Hüttenm. Mh. 9, 235–237, 249 (1957).

- REHWALD, G.: Diskussionsbeitrag in „Entstehung von Blei-Zink-Erzlagerstätten in Karbonatgesteinen“. München 1956. Berg- u. Hüttenm. Mh. 9, 255 (1957).
- RODEGHIERO, F., VAILATI, G.: Nuove osservazioni sull'assetto geologico-strutturale del settore centrale del distretto piombo-zincifero di Gorno (Alpi Bergamasche). L'Industria Mineraria, 298–302 (1978).
- ROMAGNOLI, P. L.: Contributo alla conoscenza del giacimento di Raibl. 1st ISMIDA Trento-Mendel, 1966, Arti Grafiche Saturnia, Trento, 135–147 (1966).
- SANDER, B.: Beiträge zur Kenntnis der Anlagerungsgefüge (Rhythmische Kalke und Dolomite aus der Trias). Tschermaks mineral. petrogr. Mitt. 48, 27–139 (1936).
- SANDER, B.: Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. 1. Teil. Springer-Verlag, Wien, 215 S. (1948).
- SANDER, B.: Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. 2. Teil. Springer-Verlag, Wien, 409 S. (1950).
- SASS-GUSTKIEWICZ, M.: Zinc and Lead Mineralization in Collapse Breccias of the Olkusz Mine (Cracow-Silesian Region, Poland). Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, XLV, 303–326 (1975).
- SCHNEIDER, H. J.: Neue Ergebnisse zur Stoffkonzentration und Stoffwanderung in Blei-Zink-Lagerstätten der Nördlichen Kalkalpen. Fortschr. Mineral., 32, 26–30 (1953).
- SCHNEIDER, H. J.: Die sedimentäre Bildung von Flußspat im Oberen Wettersteinkalk der Nördlichen Kalkalpen. Abh. Bayer. Akad. Wiss. Math. nat. Kl., N. F., 66, 1–37 (1954).
- SCHNEIDER, H. J.: Diskussionsbeitrag in „Entstehung von Blei-Zink-Erzlagerstätten in Karbonatgesteinen“. München 1956. Berg- u. Hüttenm. Mh. 9, 238–240, 242–244, 246, 248, 256 (1957).
- SCHNEIDER, H. J.: The influence of connate water on ore mobilization of lead-zinc deposits in carbonate sediments (Summary). Convegno sulla rimobilizzazione dei minerali metallici e non metallici. Tip. Mulas, Cagliari, 315–322 (1969).
- SCHNEIDER, H. J., MÖLLER, P.: Nukleare Analysenmethoden für geochemische Kriterien zur genetischen Beurteilung von Minerallagerstätten. Schriftenreihe GDMB, 33, 215–224, Vortrag München 1978, Clausthal-Zellerfeld (1979).
- SCHNEIDER, H. J., MÖLLER, P., PAREKH, P. P.: Rare Earth Elements Distribution in Fluorites and Carbonate Sediments of the East-Alpine Mid-Triassic Sequences in the Nördlichen Kalkalpen. Mineral. Deposita (Berl.) 10, 330–344 (1975).
- SCHNEIDERHÖHN, H.: Erzlagerstätten. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 371 S. (1962).
- SCHÖNLAUB, H. P.: Die Gailtallinie. In: Der Geologische Aufbau Österreichs. Springer-Verlag, Wien – New York. 422–425 (1980).
- SCHROLL, E.: Spurenelementparagenese (Mikroparagenese) ostalpiner Zinkblenden. Österr. Akad. Wiss. Math. nat. Kl., 1–5 (1950).
- SCHROLL, E.: Spurenelementparagenese (Mikroparagenese) ostalpiner Blei-glanze. Österr. Akad. Wiss. Math. nat. Kl., 1–6 (1951).

- SCHROLL, E.: Über Minerale und Spurenelemente, Vererzung und Entstehung der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth/Kärnten in Österreich. Mitt. Österr. Min. Ges. Sonderh. 2, 67 S. (1953).
- SCHROLL, E.: Ein Beitrag zur geochemischen Analyse ostalpiner Blei-Zink-Erze. Teil I. Mitt. Österr. Mineralog. Ges., Sonderheft Nr. 3, 1-83 (1954).
- SCHROLL, E.: Analytische Geochemie II: Grundlagen und Anwendungen. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 374 S. (1976).
- SCHROLL, E.: Zur Korrelation geochemischer Charakteristika der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth mit anderen schichtgebundenen Vererzungen in Karbonatgesteinen. Österr. Akad. Wiss. Schriftenr. Erdwiss. Komm. 3, 131-158 (1978).
- SCHROLL, E., SCHULZ, O., PAK, E.: Sulphur Isotope Distribution in the Pb-Zn-Dposit Bleiberg (Carinthia, Austria). Mineral. Deposita 18, 17-25 (1983).
- SCHULZ, O.: Gefügekundlich-tektonische Analyse des Blei-Zink-Bergbaugebietes Lafatsch (Karwendelgebirge, Tirol). Berg- u. Hüttenm. Mh. 5, 85-95 (1954).
- SCHULZ, O.: Montangeologische Aufnahme des Pb-Zn-Grubenreviers Vomperloch, Karwendelgebirge, Tirol. Berg- u. Hüttenm. Mh. 9, 259-269 (1955).
- SCHULZ, O.: Beispiele für synsedimentäre Vererzungen und paradiagenetische Formungen im älteren Wettersteindolomit von Bleiberg-Kreuth. Berg- u. Hüttenm. Mh. 1-11 (1960a).
- SCHULZ, O.: Die Pb-Zn-Vererzung der Raibler Schichten im Bergbau Bleiberg-Kreuth (Grube Max) als Beispiel submariner Lagerstättenbildung. Carinthia II, 22. Sonderh. 1-93, Klagenfurt (1960b).
- SCHULZ, O.: Mechanische Erzanlagerungsgefüge in den Pb-Zn-Lagerstätten Mežica-Mieß (Jugoslawien) und Cave del Predil = Raibl (Italien). Berg- u. Hüttenm. Mh. 12, 385-389 (1964).
- SCHULZ, O.: Pseudomorphe Verdrängungen von Baryt durch Calcit und Fluorit. N. Jb. Miner. Mh. 11, 342-345 (1966a).
- SCHULZ, O.: Die diskordanten Erzgänge vom „Typus Bleiberg“ syndiagenetische Bildungen. 1st ISMIDA, Trento-Mendel, Arti Grafiche Saturnia Trento, 149-161 (1966b).
- SCHULZ, O.: Meeting sul giacimento di Raibl (19 settembre 1966). Beitrag Schulz, S. 71-72, 1st ISMIDA, Trento-Mendel, Arti Grafiche Saturnia Trento (1966c).
- SCHULZ, O.: Die synsedimentäre Mineralparagenese im oberen Wettersteinkalk der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten). Tschermaks Miner. Petrogr. Mitt. 12, 230-289 (1968).
- SCHULZ, O.: Unterwasserbeobachtungen im sublitoralen Solfatarenfeld von Vulcano (Äolische Inseln, Italien). Mineral. Deposita (Berl.) 5, 315-319 (1970).
- SCHULZ, O.: Wirtschaftlich bedeutende Zinkanreicherung in syndiagenetischer submariner Deformationsbreccie in Kreuth (Kärnten). Tschermaks Min. Petr. Mitt. 20, 280-295 (1973).
- SCHULZ, O.: Resedimentbreccien und ihre möglichen Zusammenhänge mit Zn-Pb-Konzentrationen in mitteltriadischen Sedimenten der Gailtaler Alpen (Kärnten). Tschermaks Min. Petr. Mitt. 22, 130-157 (1975).

- SCHULZ, O.: Typical and Nontypical Sedimentary Ore Fabrics. In: *Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits* (K. H. Wolf), 7, 295–338 (1976).
- SCHULZ, O.: Kolloforme ZnS-Lagengefüge und ihre Genese in Karbonatgesteinen. *Österr. Akad. Wiss. Schriftenr. Erdwiss. Komm.* 3, 159–168 (1978).
- SCHULZ, O.: Die Pb-Zn-Erzlagerstätte Lafatsch-Vomperloch (Karwendelgebirge, Tirol). *Veröff. Museum Ferdinandeum, Innsbruck* 61, 55–103 (1981).
- SCHULZ, O.: Karst or Thermal Mineralizations Interpreted in the Light of Sedimentary Ore Fabrics. In: *Ore Genesis – The State of the Art* (Editors: G. C. Amstutz et al.) Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg, 108–117 (1982).
- SCHULZ, O.: Pb-Zn-Erz in der Kiesonkolithbank (Grenze Wettersteinkalk/Raibler Schichten) der Lagerstätte Bleiberg-Kreuth. *Tschermaks Mineral. Petrogr. Mitt.* 32, 135–151 (1983).
- SCHWINNER, R.: Ostalpine Vererzung und Metamorphose als Einheit? *Verh. Geol. B.-A.*, 4–6, 52–61 (1946).
- SEIDL, K.: Dolomitisierung und Erzbildung in Karbonatgesteinen unter der Einwirkung von Salzsolen. *N. Jb. Miner. Mh.* 2/3 (1958).
- SEIDL, K.: Das Problem der Bleizinkvererzungen der Kalkalpen unter Berücksichtigung von Großtektonik und Salzsolenwirksamkeit. *N. Jb. Miner. Abh.* 92, 3, 279–313 (1959 a).
- SEIDL, K.: Grundsätzliche Betrachtungen zur Bleizinkvererzung der Kalkalpen. *Zeitschr. f. Erzbergbau u. Metallhüttenwesen* 12, 1–3 (1959 b).
- SIDIROPOULOS, L.: Blei-Zink-Vererzungen in Breccienzonen der Nordtiroler Kalkalpen (zwischen Telfs, Biberwier, Nassereith und Imst). Dissertation Universität Innsbruck (1980).
- SIDIROPOULOS, L.: Pb-Zn-Vererzungen in Breccienzonen der Nordtiroler Kalkalpen zwischen Telfs, Biberwier, Nassereith und Imst. *Veröff. Landesmuseum Ferdinandeum Innsbruck*, 63, 115–133 (1983).
- SIEGL, W.: Zur Vererzung der Pb-Zn-Lagerstätten von Bleiberg. *Berg- u. Hüttenm. Mh.* 5, 108–111 (1956).
- SIEGL, W.: Diskussionsbeitrag in „Entstehung von Blei-Zink-Erzlagerstätten in Karbonatgesteinen“, München 1956. *Berg- u. Hüttenm. Mh.* 9, 237–238 (1957).
- STACEY, J. S., KRAMERS, J. D.: Approximation of terrestrial lead isotope by a two-stage model. *Earth. Planet. Sci. Lett.* 26, 207–221 (1975).
- ŠTRUCL, I.: Poseben tip mežiškega svinčeve cinkovega orudnenja v rudišču Graben. *Geologija*, 13, 21–34 (1970).
- ŠTRUCL, I.: On the Geology of the Eastern Part of the Northern Karawankes with Special Regard to the Triassic Lead-Zinc-Deposits. *Sedimentology of Parts of Central Europe. Guidebook VIII, Intern. Sediment. Congr.* 285–301 (1971).
- ŠTRUCL, I.: Nastanek karbonatnih kamenin in cinkovo svinčeve rude v anizičnih plasteh Tople. *Geologija*, 17, 299–397 (1974).
- ŠTRUCL, I.: Die schichtgebundenen Blei-Zink-Lagerstätten Jugoslawiens. *Mitt. österr. geol. Ges.*, 74/75, 307–302 (1981).
- TAMBURRINI, D., VIOLO, M.: Il giacimento di Baritina di Monte Barega-Monte Arcau (Iglesiente, Sardegna). *Ric. Sci. Parte 2, Sez A*, 35, 814–848 (1965).

- TAUPITZ, K. C.: Die verschiedene Deutbarkeit von „metasomatischen“ Gefügen auf „thermalen“ Blei-Zink-Lagerstätten. *Fortschr. Mineralogie*, 32, 30–31 (1953).
- TAUPITZ, K. C.: Erze sedimentärer Entstehung auf alpinen Lagerstätten des Typs „Bleiberg“. *Zeitschr. für Erzbergbau und Metallhüttenwesen* 8, 1–7 (1954 a).
- TAUPITZ, K. C.: Die Blei-Zink- und Schwefelerzgerüste der Nördlichen Kalkalpen westlich der Loisach. *Diss. Bergakad. Clausthal* (1954 b).
- TAUPITZ, K. C.: Über Sedimentation, Diagenese, Metamorphose, Magmatismus und die Entstehung von Erzlagerstätten. *Chemie der Erde*, 17, 104–164 (1954 c).
- TAUPITZ, K. C.: Diskussionsbeitrag in: „Entstehung von Blei-Zink-Erzlagerstätten in Karbonatgesteinen“. München 1956. *Berg- u. Hüttenm. Mh.* 9, 241, 247, 248, 253 (1957).
- WERTHMANN, E.: Die Blei-Zink-Lagerstätten Hochgleiersch (Nördliche Kalkalpen) und Obernberg (Brennermesozoikum). Ein Vergleich. Dissertation Universität Innsbruck (1966).
- WERTHMANN, E.: Gefügekundliche und genetische Untersuchungen an der Blei-Zink-Erzlagerstätte „Obernberg“ am Brenner. *Radex Rundschau* 4, 681–689 (1969).
- WOLF, K. H.: *Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits*. Vol. 3: *Supergene and Surficial Ore Deposits; Textures and Fabrics* (Editor Wolf). Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam – Oxford – New York, 353 S. (1976).
- ZELLER, M.: Tektonik, Gebirgsschläge und Vererzung im Blei-Zinkbergbau Raibl (Cave del Predil), Italien. Dissertation Fr. Univ. Berlin (1970).
- ZORC, A.: Diskussionsbeitrag in: „Entstehung von Blei-Zink-Erzlagerstätten in Karbonatgesteinen“. München 1956: Über die Genesis der Lagerstätte Mežica. *Berg- u. Hüttenm. Mh.* 9, 235 (1957).
- ZUFFARDI, P.: Karsts and Economic Mineral Deposits. – *Handbook of Stratabound and Stratiform Ore Deposits* (K. H. Wolf), Vol. 3, 175–212 (1976).

Anschrift des Verfassers: Univ.-Prof. Dr. O. SCHULZ, Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck, Abt. Geochemie und Lagerstättenlehre, Universitätsstraße 4, A-6020 Innsbruck.