

## Die Entwicklung der Vorstellungen über die Metallogene der Ostalpen

Von WALTHER E. PETRASCHECK\*)

Herrn em. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. O. M. FRIEDRICH  
aus Anlaß der Vollendung seines 85. Lebensjahres  
zugeeignet

*Ostalpen  
Lagerstätten  
Vererzung  
Metallogene*

### Inhalt

Zusammenfassung	53
Abstract	53
1. Die Diskussion der Erzzonen	53
2. Die kalkalpinen Blei-Zink-Lagerstätten	54
3. Die Lagerstätten im Paläozoikum und in den Zentralalpen	55
4. Genetische Schlußbetrachtungen	56
Literatur	58

### Zusammenfassung

Zwei Auffassungen über die Erzzonen in den Ostalpen standen während vieler Jahrzehnte einander gegenüber: Nach der einen sind die Lagerstätten den stratigraphischen und tektonischen Einheiten zugeordnet, nach der anderen den Geoisothermen um einen hypothetischen magmatischen Tiefenherd tertiären Alters.

Die erste Auffassung hat sich als richtig erwiesen. Die Blei-Zink-Erze der Kalkalpen wurden während der Trias teils syngenetisch, teils epigenetisch durch aufsteigende Lösungen längs eines Rifts gebildet. Bei den polymetallischen Lagerstätten der Grauwackenzone und der Zentralalpen stehen mehrphasige Bildung oder Remobilisation zur Diskussion. Der Einfluß metamorphogener Fluide muß in Betracht gezogen werden. Moderne Methoden der Mineralogie und Isotopenforschung können vielleicht Klarheit schaffen.

### Abstract

Two theories on the mineral zones in the Eastern Alps were opposed during several decades: Are the deposits related to stratigraphic-tectonic units, or are they arranged according to the geoisothermes around a deep-seated hypothetical magmatic centre of Tertiary age?

The first opinion has proved to be correct. The lead-zinc deposits of the Limestone Alps have been formed in Triassic time by syngenetic as well as by epigenetic processes from ascending solutions along an incipient rift. For the polymetallic deposits of the Grauwackenzone and the Central Alps a multi-phase formation or remobilization is discussed. The influence of metamorphogenic fluids has yet to be studied. Modern methods of mineralogy and isotope research can perhaps help to clarify this problem.

\*) Anschrift des Verfassers: Univ.-Prof. Dr. WALTHER E. PETRASCHECK, Dionys Andrassy-Straße 16, A-1190 Wien.

Wohl kein anderer Forscher hat seine Lebensarbeit so vollständig und so stetig den Erz- und Minerallagerstätten der Ostalpen gewidmet wie O. M. FRIEDRICH. Er hat diese Untersuchungen nicht nur an zahlreichen Einzelvorkommen durchgeführt, verbunden mit detaillierten Grubenaufnahmen und erzmikroskopischen Studien, sondern er hat von Zeit zu Zeit auch eine Gesamtschau auf Grund vergleichender Betrachtungen gegeben (1942, 1943, 1968). An dem Wandel der Anschauungen hat FRIEDRICH durchaus teilgenommen, zum Teil auch, was seine eigenen Auffassungen betraf. Dieser Wandel soll hier kurz und kritisch geschildert werden.

### 1. Die Diskussion der Erzzonen

Beschreibungen alpiner Erzvorkommen hat es schon seit der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts gegeben, unter denen die von F. POŠEPNY und die späteren von R. CANAVAL als Fundgruben von Beobachtungen zu nennen sind. Vergleichende Gruppierungen wurden von K. A. REDLICH seit 1903 bei den Eisenspat- und Magnetitlagerstätten vorgenommen. Eine erste metallogenetische Übersicht der Ostalpen, verbunden mit einer geradezu modern anmutenden metallogenetischen Karte, wurde 1912 von B. GRANIGG geschaffen.

Die geologische Grundlage dieser ungefähr im Maßstab 1 : 400.000 publizierten Karte ist die seit 1903 auf die Ostalpen übertragene deckentektonische Gliede-

rung. Mit den Deckeneinheiten werden Metallzonen korreliert, das sind mineralparagenetisch verwandte Lagerstättengruppen, die in den österreichischen Alpen zumeist den stratigraphisch-tektonischen Längszonen zugeordnet werden können.

Folgende Metallzonen werden unterschieden:

- 1) Metasomatische Spateisen-Kupferkies-Zinnober-Fahlerzlagerstätten im Paläozoikum zwischen Payerbach und Schwaz.
- 2) Metasomatische Spateisenlagerstätten vom Typus Hüttenberg und Zeyring.
- 3) Aureolen von Gold-, Silber- und Kupferlagerstätten um die Zentralgneiskerne der Hohen Tauern.
- 4) Kieslager vom Typus Öblarn.
- 5) Südalpine Eisenspat- und Zinnoberlagerstätten.
- 6) Pb-Zn-Lagerstätten in den südlichen Kalkalpen.

Die wesentliche These GRANIGG's besagt, daß die Lagerstätten geologisch niveaubeständig sind und daß im Hinblick auf die Deckentheorie eine räumliche Fortsetzung der Metallzonen in Richtung auf die Deckenwurzeln, also im Süden zu suchen sei.

Diese stratigraphische, tektonische Niveaubeständigkeit, die in der Folgezeit von Wilhelm PETRASCHECK (1926–1945) bestritten und durch das Modell einer zonenübergreifenden, einheitlich jungen Vererzung ersetzt wurde, ist heute in zahlreichen Abhandlungen von A. MAUCHER, O. SCHULZ, W. TUFAR auf Grund gefügekundlicher Studien erhärtet und als neue Erkenntnis verkündet worden. Die grundlegende Arbeit GRANIGG's blieb bei diesen Autoren meist unerwähnt.

Während die Synthese GRANIGG's ausging von den regional-metallogenetischen Begriffsfassungen L. DE LAUNAY's, gründete sich Wilhelm PETRASCHECK's Konzept auf die temperaturbedingte zonare Anordnung von Lagerstätten um einen intrusiven Herd im Sinne von W. H. EMMONS.

Die Beobachtungsgrundlage dieses Konzepts war die Erscheinung, daß die überwiegende Mehrzahl der großen ostalpinen Erzlagerstätten nicht betroffen erschien von der alpinen Deckentektonik und Durchbewegung; sie seien nur durch Bruchtektonik erfaßt worden und wurden daher altersmäßig ins mittlere Tertiär eingestuft. Es sei aber betont, daß Wilhelm PETRASCHECK's zeitliche Einstufung der alpinen Metallogenese keineswegs so total „unitaristisch“ war, wie von manchen Autoren, besonders von W. TUFAR, wiederholt vorgeworfen wurde. PETRASCHECK schrieb 1932 als Einleitung seiner Abhandlung über die Magnesite und Siderite der Alpen: „Vergleichende Untersuchungen von Minerallagerstätten führten mich zu der Erkenntnis, daß eine große Gruppe jüngerer Lagerstätten zu unterscheiden ist von älteren. Die jüngeren sind entstanden, als die Faltung, bzw. der Deckenbau zur Hauptsache schon fertig waren, während die regionale Metamorphose der älteren erkennen läßt, daß sie prätektonisch sind“. Das ist eine Feststellung, die sich im Prinzip mit der von O. M. FRIEDRICH (1968) deckt. Die metamorphen Gefüge, die SCHULZ, TUFAR und andere beschrieben haben, stammen überwiegend von Kleinstlagerstätten im Paläozoikum, die damit als präalpidisch erwiesen sind.

Eine zweite Feststellung hat neben dem anscheinend jungen Alter zu der Theorie Wilhelm PETRASCHECK's geführt: Die zonare Anordnung der Lagerstätten, die einer Temperaturzonung um die Zentralalpen entspricht, wo-

bei die niedrigthermalen Pb-Zn-Lagerstätten in den südlichen und nördlichen Kalkalpen, die mittelthermalen Eisenspat-, Magnesit-, Kupferlagerstätten in den paläozoischen Zonen und die hochthermalen Gold-, Arsen-, Quarzgänge in den Zentralalpen liegen. Als magmatische Vererzungsquelle nahm PETRASCHECK einen mit dem tertiären Andesitvulkanismus gleichaltrigen Tiefenherd unter der Achse der Zentralalpen an.

Dieses kohärente Modell fand viele Anhänger und ging in Lehrbücher ein; auch der Verfasser hatte diese Auffassung in der ersten und zweiten Auflage seines Lehrbuches (1950, 1961) vertreten und bekannte sich erst in der dritten Auflage gemeinsam mit W. POHL zu den stratigraphisch-tektonischen Zonen.

Die Herleitung der Erze von einem magmatischen Herd fand 1933 und nochmals 1955 eine Modifikation durch E. CLAR und O. M. FRIEDRICH. Diese Forscher betonten eine enge, zeitliche und ursächliche Beziehung zwischen der Erzlagerstättenbildung und der alpidischen Regionalmetamorphose („Tauernkristallisation“), indem sie auf eine mineralparagenetische Verwandtschaft der Metamorphose und der Gangarten in den Lagerstätten hinwiesen. Auch diese Vorstellung bedeutet somit eine junge Vererzung.

1953 veröffentlichte FRIEDRICH seine bekannte Erzlagerstättenkarte der Ostalpen. Auf einem bedacht gewählten geologischen Untergrund wurden rund 1500 Lagerstätten und Vorkommen eingetragen, in 22 Typen gegliedert. Von diesen Vorkommen liegen fast  $\frac{2}{3}$  in paläozoischen Gesteinen. Die Karte und der dazugehörige Text ist zwar keine metallogenetische Synthese, wohl aber bringt sie eine vorzügliche metallogenetische Analyse.

Gegen die einheitliche tertiäre Metallogenese wurden frühzeitig prinzipielle Einwände erhoben. R. SCHWINNER sprach sich schon 1942 gegen diese „unitaristische“ Theorie aus und betonte, daß es keine Beweise für einen tertiären Magmenherd gäbe.

1946 wies er darauf hin, daß die angeblich telemagmatischen Pb-Zn-Lagerstätten der Südalpen rein faziesgebunden seien. Auch F. HEGEMANN kritisierte mehrfach die alpidische Metallogenese (1957, 1969) und deutete eine große Zahl der ostalpinen Lagerstätten als extrusiv-sedimentär.

## 2. Die kalkalpinen Blei-Zink-Lagerstätten

Die grundsätzliche Demontage des Gebäudes der metallogenetischen Tiefenstufen setzte 1954 ein mit der Kritik an der telemagmatischen Deutung der Blei-Zinkzonen in den nördlichen und südlichen Kalkalpen. K. TAUPITZ beschrieb die Konkordanten Erzlager in den bayrisch-tirolischen Alpen und erklärte sie als triassisch-sedimentär. Die diskordanten Gänge wurden als Mobilisate aufgefaßt. H. J. SCHNEIDER und alsbald auch A. MAUCHER schlossen sich dieser Meinung an und übertrugen sie auf die Südalpen. Daraus erwuchs eine über mehrere Jahre dauernde fruchtbare Diskussion, wobei im Lager der tertiären Hydrothermalisten H. HOLLER, E. CLAR, Dino DI COLBERTALDO und der Verfasser standen, im Lager der triassischen Sedimentaristen die Mitarbeiter von A. MAUCHER, F. HEGEMANN, O. SCHULZ, zum Teil W. SIEGL.

Die Diskussion ist zusammenfassend wiedergegeben in Band 102 der Berg- und Hüttenmännischen Monatshefte. Sie gab Anlaß zu neuen Forschungen. W. SIEGL erkannte schichtige, sedimentäre Erze in Lösungshohlräumen des Wettersteinkalkes, also hydrothermal gebildete Internsedimente. W. POLESNIG erschloß aus der gleichen Lage der Schichtung in den Internsedimenten und dem umgebenden Kalkgestein, daß das intern sedimentierte Erz noch zur Zeit der horizontalen Lagerung des Wettersteinkalkes, also während der Trias gebildet wurde. V. KÖPPEL erkannte aus den Blei-Isotopen, daß diese weder aus dem Herd des Diabas-Magmatismus, noch aus dem Nebengestein stammen, sondern aus älteren Gesteinen der Unterkruste. FRIEDRICH faßte die Beobachtungen zu der Vorstellung zusammen, daß zur Triaszeit in Setzungsrisen der Geosynklinale Erzlösungen aufstiegen und ihren Inhalt teils metasomatisch oder als Internsedimente im kalkigen Untergrund, teils sedimentär am Meeresboden absetzten.

Zusammenfassend und mit reichen Literaturangaben ist der heutige Stand der Forschung in einer Abhandlung von O. SCHULZ (1983) dargestellt worden: Die Erzbildung ist triassisch, teils epigenetisch, teils syngenetisch auf unruhig bewegtem Meeresboden im Nahbereich der periadriatischen Narbe; die erzbringenden Lösungen sind aszendenter Natur, niedrig temperiert; unbekannt ist die Metall-Herkunft – jedenfalls nicht mit dem triassischen Diabas-Vulkanismus in Zusammenhang stehend. Eine Erzmobilisation ist nach I. CZERNY (1983) nur im Nahbereich von Dolomitisierungsgrenzen feststellbar.

Diese Deutung ist auch nur dann möglich, wenn die Nordtiroler Kalkalpen aus dem Süden hergeleitet werden.

Ebenso wie die alte genetische Auffassung der Lokalisierung der Erzkörper an den Schnittstellen bestimmter Schichten mit tektonischen Zufuhrspalten im Wettersteinkalk die Erzsuche wirkungsvoll geleitet hatte (H. HOLLER, 1936), so hat auch die neue sedimentäre Theorie durch das Studium der Faziesgrenzen, und besonders durch die Erkenntnis von Schwellen im Cardita-Horizont zur Auffindung großer Erzkörper geführt (I. CZERNY u. L. KOSTELKA, 1987). Es sei bei dieser Gelegenheit dankbar des kürzlich verstorbenen Prof. Dr. Ludwig KOSTELKA gedacht, der als langjähriger Chefgeologe der BBU entscheidend zur theoretischen und praktischen Erforschung der Lagerstätten beigetragen hat.

### **3. Lagerstätten im Paläozoikum und in den Zentralalpen**

Sehr viel problematischer und bis heute verschieden gedeutet, ist die Gruppe der Eisenspat-Kupferkies-Fahlerzlagertstätten in der Grauwackenzone. Die Typuslagerstätte im Ostabschnitt ist der Steirische Erzberg, im Westabschnitt der Kupfererzgang von Mitterberg. Die Eisenspatlagerstätten sind ursprünglich von SCHOUPEE (1854), VACEK (1900), SCHWINNER (1925), HIESSLEITNER (1929) und anfangs auch von REDLICH (1901) als paläozoisch-sedimentär aufgefaßt worden, später von REDLICH (1903), Wilhelm PETRASHECK (1932), ANGEL (1939) als alpidisch-metasomatisch. Für die erstere Ansicht spricht die konstante Bindung an altpaläozoische Kal-

ke, für die letztere die unverkennbar metasomatische, tektonisch unversehrte Struktur und das örtliche Übergreifen der Vererzung auf Schichten der Permo-Trias. Wie in solchen Fällen üblich, werden die letztgenannten Erscheinungen von den Anhängern einer alten sedimentären Entstehung als jüngere Mobilisation gedeutet. Einige neuere Beobachtungen haben etwas Klarheit gebracht. F. THALMANN und A. BERAN fanden am Erzberg und in der Radmer lokal kleine Partien von Bändererz, wobei die sedimentäre Entstehung dieser Bänder durch Mikrosondenuntersuchungen bewiesen wurde, weil die einzelnen Ankeritkörner in den Lagern, oder auch die einzelnen Lagen selbst, chemisch unterschiedlich zusammengesetzt waren. Andererseits sind die großen Massen von quergreifendem Siderit und Ankerit einheitlich zusammengesetzt; die Fe-reichen Ankeritgesteine weisen nach experimentellen Studien BERAN's auf eine Bildungstemperatur von 400°C hin. Die in das permische Präbichl-Konglomerat übergreifenden Eisenspatmassen waren örtlich mit reichlichem grobschuppigem Chlorit durchsetzt. Die quer zur alpidischen Schieferung die Werfener Sandschiefer durchquerenden Eisenkarbonatgänge sind von Bleichungshöfen umgeben. Bei der Leobener Hütte ist stark deformiertes Präbichlkonglomerat von spätigen Sideritadern durchsetzt; Siederitgerölle sind in den auf den Spatlagerstätten transgressiv auflagernden Präbichlkonglomeraten nur sehr selten und vereinzelt gefunden worden.

Es ist also sicher, daß eine umfassende postkinematische alpidische Vererzung stattgefunden hat; ob diese auf die Remobilisation eines altpaläozoischen Eisenspatstockes zurückzuführen ist, oder ob es sich um eine davon unabhängige Vererzungsphase handelt, ist derzeit noch ungeklärt. Es ist jedenfalls unwahrscheinlich, daß bei einer solch umfassenden hydrothermalen Umlagerung oder Neuvererzung die ganz lokalen Vorkommen von Sedimenten mit ihrer chemischen Differenzierung von Korn zu Korn als Reliktgefüge unversehrt geblieben sind. Die Auffassung H. MOSTLER's (1984), daß es sich um umgelagerte Internsedimente in Karsthohlräumen handelt, ist viel wahrscheinlicher. Diese Auffassung findet auch durch das Verhältnis der Strontium-Isotopen eine Bestätigung, das beim Bändererz ebenso wie bei der Hauptmasse des spätigen Siderits von dem des umgebenden Kalkes deutlich im Sinne einer Erhöhung von <sup>87</sup>Sr abweicht; damit fehlt diesen Sideritarten das Merkmal einer synsedimentären Entstehung (H. FRIMMEL, 1986).

Im Hinblick auf die Mehrdeutigkeit der Beobachtungen am Erzberg veranlaßte der Verfasser drei Detailaufnahmen in der östlichen Fortsetzung des Lagerstättenzuges zwischen dem Seeberg und Payerbach (W. BAUMGARTNER, 1976; A. HORKEL, 1977; L. WEBER, 1977). Aus allen diesen Studien geht hervor, daß die zahlreichen kleinen Eisenspatlagerstätten, die einst die Grundlage der Eisenwerke des Mürtztales waren, zum Teil paläozoisch, zum Teil postskytisch gebildet wurden, daß also eine mehrphasige Vererzung vorliegt. Ob die jüngere Vererzung ein Mobilisat aus der älteren ist, bleibt unentschieden.

Dieselbe Fragestellung gilt für den Westteil des Lagerstättenzuges in Salzburg und Tirol. Der Mitterberger Kupfererzgang, dessen streichende Länge über 3,5 km bergmännisch aufgeschlossen und über weitere 3,5 km

geochemisch indiziert ist, setzt zur Hauptsache in silurischen Schiefen auf und schneidet sogar deren Transversalschieferung; in die transgressiv auflagernden oberkarbonisch-permischen violetten Schiefer tritt der Gang mit reduzierter Mächtigkeit und verarmtem Mineralinhalt über. Uranerzknollen, die nur in diesem oberen Gangstück auftreten, zeigen ein Bildungsalter von 90 Mill. Jahren. Es ist sehr gut möglich, daß dieses Gangstück eine mobilisierte Fortsetzung des älteren Hauptganges ist (W. E. PETRASCHECK, 1972). Zum Unterschied von den Lagerstätten in der Steiermark ist im Mitterberger Gang Eisenkarbonat jünger als Kupferkies. Zinnober ist in allen Fällen ein überall erscheinendes Begleitmineral.

Auch bei der Silber-Quecksilberlagerstätte von Schwaz in Tirol tritt die gleiche Frage einer jüngeren Vererzung oder nur Mobilisierung auf. Die Hauptvererzung liegt als Gang- und Kluffmineralisation im devonischen Schwazer Dolomit. Die Fahlerzführung in der nahegelegenen Trias könnte entweder eine Altersindikation für die gesamte Vererzung, oder ein Mobilisat aus der alten Lagerstätte, oder eine neue unabhängige Mineralisation bedeuten (P. GSTREIN, 1983). Nach den hydrometallurgischen Erfahrungen ist eine Auflösung und Wiederabsetzung von Fahlerz nicht möglich (WÖBKING, 1983).

Auch die Eisenspatlagerstätte von Hüttenberg ist ein weiteres Beispiel für die „alpinotype“ Metallogenese-diskussion. E. CLAR und H. MEIXNER (1981) erklärten das Erz für metasomatisch und posttektonisch, O. SCHULZ et al. (1986) für paläozoisch und sedimentär. Die im tektonisierten Marmor überwiegend auftretenden nicht deformierten Siderite werden von den Epigenetikern als Beweis ihrer Auffassung angeführt und gefügegeregelt Sideritpartien durch Abbildungskristallisation erklärt, während umgekehrt die Syngenetiker das tektonisierte Erz als das ursprüngliche ansehen und das intakte als rekristallisiert. Ein gewichtiges Argument für die junge, epigenetische Auffassung scheint mir die Tatsache zu sein, daß die den Marmor verquerenden Pegmatitgänge nur im Bereich der Siderite kaolinisiert sind.

Analog wie die verschiedenen kleinen Eisenspatlagerstätten östlich des Steirischen Erzberges klarere Entscheidungen über die Vererzung ermöglichen als der Erzberg selbst, so sind auch im zentralalpinen Eisenspatbezirk die zahlreichen kleinen Spatvorkommen im Glimmerschiefer, bisweilen mit Au-haltigem Arsenkies verbunden, ein Beleg für eine epigenetische Vererzung. Bei Innerkrems sind nach FRIEDRICH (1968) die Erzvorkommen streng an die posttriadische Überschiebung der Gurktaldecke gebunden.

Die Lagerstätte von Oberzeyring, die schon von B. GRANIGG zur Gruppe Hüttenberg gestellt worden war, hatte im Mittelalter ihren wirtschaftlichen Schwerpunkt in der Förderung von silberreichem Fahlerz. Mn-haltiger Siderit tritt metasomatisch im Marmor auf. Nach der sehr eingehenden Untersuchung von G. HADITSCH (1967) ist eine Zufuhr der erzbringenden Lösungen aus dem Osten, der Fortsetzung der Görtschitzalstörung anzunehmen.

W. POHL (1986)-gab eine vergleichende Übersicht der Sideritlagerstätten vom Typ Erzberg und kam zum Schluß, daß sie epigenetisch sind bei unbekannter Herkunft des zugeführten Eisens.

Die Entstehung und das Alter der Spatmagnetitlagerstätten sind nach wie vor umstritten. Für die

Lager in der östlichen Grauwackenzone, deren Alter durchaus in das obere Unterkarbon fällt, haben FELSER und SIEGL gute Argumente für lagunär-sedimentäre Bildung beigebracht (1973, 1977, 1984). Von den Magnesiten der Turracher Höhe hat FRIEDRICH (1958) überzeugende Belege für eine metasomatische Entstehung geliefert. Bei den Tiroler Magnetitlagerstätten haben O. SCHULZ und F. VAVTAR (1977) altpaläozoische, sedimentäre Strukturen festgestellt; dagegen wurden von H. MOSTLER (1973) diese Magnesite für variszisch-epigenetisch erklärt. Auch die Herkunft des Magnesiums wird sowohl bei der sedimentären, wie bei der epigenetischen Deutung verschieden erklärt. Im ersteren Falle wird eine salinare Präkonzentration und spätere diagenetische Anreicherung oder auch ein Herleitung des Magnesiums aus Crinoiden zur Diskussion gestellt. Im letzteren Falle werden Mg-reiche hydrothermale Lösungen angenommen, die bei der Serpentinisierung der penninischen Ultramafica in der Tiefe freigesetzt worden seien.

Es gibt also keine einheitliche Auffassung über die Entstehung der Spatmagnetite ebenso wenig wie über die der kryptokristallinen Magnetite (W. POHL, 1978; W. E. PETRASCHECK, 1972). Jedenfalls gehören die Magnetitlagerstätten nicht in die genetische Gruppe der Eisenspat- und Kupferlagerstätten, wie früher allgemein angenommen war.

Eine neue und aussichtsreiche Methode der Unterscheidung von syngenetischen und epigenetischen Karbonaten wird derzeit von H. FRIMMEL auf Anregung von W. FRANK in Angriff genommen. Es handelt sich um den Vergleich der Strontium-Isotopenverhältnisse im Karbonat und im Nebengestein. Bei den Sideriten und Ankeriten des Erzberges, der Radmer und des Müritzgebietes war das Verhältnis von  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  höher als im umgebenden Kalk, bei den Magnesiten der östlichen Grauwackenzone etwa gleich wie im Kalk und Dolomit. Das spricht für epigenetisch zugeführtes Eisenkarbonat und für gleichzeitig mit dem Kalk sedimentiertem Magnetit.

Auch die zahlreichen kleineren Lagerstätten von Schwefelkies, Antimon und Quecksilber im Bereich des Drautales und der Kreuzeckgruppe haben eine verschiedene Deutung erfahren. Während FRIEDRICH (1963) diesen Erzbezirk zusammen mit den vielen Porphyritgängen für Abkömmlinge eines seichten tonalitischen Herdes hält, sehen spätere Autoren (MAUCHER, HÖLL, STUMPFL) darin eine Gruppe paläozoischer vulkano-sedimentärer Erzlager. Die vulkano-sedimentäre Erzbildung ist auf Grund der Erfahrungen bei Ozeanböden das heute bevorzugte Erklärungsmodell vieler stratiformer Lagerstätten. Hier war F. HEGEMANN ein wenig gewürdigter Vorläufer.

Unbestritten jung sind seit POSEPNY's Zeit nur die Goldquarzgänge der Hohen Tauern, unbestritten paläozoisch nur die polymetallischen Kieslager der Schladminger Tauern und der Grauwackenzone, sowie die Scheelitvorkommen in der Umrahmung der Tauern.

#### 4. Genetische Schlußbetrachtungen

Die vorangegangenen Ausführungen haben gezeigt, daß die allenthalben zum Ausdruck kommenden, abweichenden Altersdeutungen auf eine unterschiedliche Bewertung einer Remobilisation der Erze zurückgehen.

Aus diesem Grunde habe ich im Rahmen des IGCP-Projektes 169 im Jahre 1981 in Leoben eine international besuchte Tagung „Ore Mobilization in the Alps and in South Eastern Europe“ veranstaltet. Es sollte an konkreten Beispielen gezeigt werden, welches die physiko-chemischen Bedingungen für eine Mobilisation sind und wie weit sie reicht. Die in den Proceedings der Tagung 1983 (Schriftenreihe der Erdwiss. Komm. d. Österr. Akad. d. Wiss., Bd. 6, Wien 1983) veröffentlichten Artikel der Tagung zeigen, daß eine Mobilisation bei manchen Mineralien unter bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen möglich ist, bei anderen nicht; ferner, daß die mobilisierten Mineralien chemisch meist etwas verschieden sind von den ursprünglichen und daß die angenommenen Transportweiten nicht über wenige Zehner von Metern hinausgehen. Größere Bedeutung hat m. E. ein weiter Transport von Metallen bei der Regionalmetamorphose. Hiezu gehört der Transport von Magnesium bei der Bildung der alpidischen Weißschiefer-Vorkommen, und das häufige Auftreten von Fuchsit in völlig chromfreien Gesteinen dürfte ein Indiz für die Migration von Chrom aus Ophiolithen sein; zum Teil sind diese Wirtgesteine weiße Kalke und Quarzite triadischen Alters.

Seitdem die Vorstellung einer einheitlichen tertiären Metallogenese aufgegeben ist, haben verschiedene Autoren versucht, das Ereignis räumlich und zeitlich zu gliedern. Wegen der oben geschilderten Unsicherheiten bei den einzelnen Lagerstättengruppen ist natürlich auch das Gesamtbild unsicher. In einem Aufsatz „Zur zeitlichen Gliederung der ostalpinen Metallogenese“ (1966) habe ich die Mineralisierungsphasen vom Perm bis zum Miozän aufgezählt und dabei auch mehrere Sideritphasen unterschieden – als wichtigste eine kretazische. Diese Phasen wurden mit den Vererzungsphasen in anderen Gebirgsabschnitten des ostmediterranean Kettensystems zeitlich korreliert und hinsichtlich der Metallführung verglichen.

Wenig später (1968) erschien FRIEDRICH's Band „Die Vererzung der Ostalpen gesehen als Glied des Gebirgsbaues“. Neben variszischen und variszischen Lagerstätten werden die alpidischen im Sinne der tektonisch-magmatischen Evolution der Geosynklinalen gegliedert. Dabei unterscheidet auch FRIEDRICH zwei Eisenspatvererzungen, wobei er die ältere ins Perm legt. H. MOSTLER und G. HADITSCH sehen überhaupt einen beachtlichen Teil der alpinen Vererzung als permisch an.

Seit dem Eintritt der Plattentektonik in die alpine Weltanschauung ist auch deren Beziehung zur Metallogenese ein Diskussionsthema geworden. Der Verfasser dieser Zeilen hat wohl als erster bei dem IAGOD-Symposium in Varna 1974 diesen Versuch unternommen, allerdings mit Vorbehalten, die er auch heute noch hegt. Andere, z. B. TISCHLER & FINLOW-BATES (1980) waren in dieser Hinsicht unbesorgter. Nach meinem im Band des Varna-Symposiums (1977) veröffentlichten Vortrag sind die Pb-Zn-Lagerstätten in den südlichen Kalkalpen Produkt einer in der Trias beginnenden, aber später komprimierten Riftzone im Bereich der heutigen periadriatischen Naht (incipient rift), während die Lagerstätten von Cu, Fe und Mg aus den penninischen Ophiolithen während der mittelkretazischen Aufschiebung des Austroalpins herausmobilisiert und in die oberen Stockwerke transportiert wurden. Die Kontinent-Kontinent-Kollision von Europa mit dem apulischen Block hatte im Tertiär die Bildung von grani-

tisch-tonalitischen Schmelzen zur Folge, deren Abkömmlinge die Tauerngoldgänge und die Porphyrite und Erzgänge der Kreuzeck-Gruppe sind.

Fast gleichzeitig veröffentlichte A. M. EVANS (1974) in Mineralium Deposita einen Artikel mit der Fragestellung, warum die Alpen so arm an Lagerstätten seien. Er führt das auf das Fehlen tiefreichender Subduktionszonen zurück. Der Verfasser möchte hiezu – auch gegenüber einer Bemerkung von TISCHLER & FINLOW-BATES – darauf hinweisen, daß es in den Ostalpen immerhin einige Lagerstätten von ansehnlicher Größe, selbst im Weltmaßstab, gibt:

Mittersill 35.000 t W  
Schlaining 36.000 t Sb  
Bleiberg-Kreuth 3,700.000 t Pb + Zn  
Koralpe 250.000 t Li  
Steirischer Erzberg 150,000.000 t Fe

Unter diesen Ziffern sind die geschätzten Gesamt-vorräte, einschließlich der früheren Produktion verstanden. Diese Metalle sind vorwiegend Krustenelemente. In dem eben erwähnten Aufsatz von TISCHLER & FINLOW-BATES werden Skizzen einer plattentektonischen Entwicklung mit den zugehörigen metallogenetischen Phasen gebracht. Es werden südwestliche und nordwestliche Subduktionen des penninischen Ozeanbodens angenommen; die tertiäre Vererzung (Tauerngoldgänge, Schlaining) wird auf tiefzirkulierende vadosse Wässer zurückgeführt. Die magmatischen Herde der Kreuzeckporphyrite und der Tauerngänge finden in dem Bild keinen Platz. Neueste Untersuchungen an den analogen Golderzstätten der Westalpen lassen eine metamorphogene Bildung in Betracht ziehen (V. KÖPPEL).

In einer jüngsten Arbeit (W. E. PETRASCHECK, 1986) hat der Verfasser nochmals seinen Standpunkt dargestellt, dabei aber anstelle eines kretazischen Magmatismus die seither durch W. FRANK nachgewiesene thermische Regionalmetamorphose mit verbreiteter Erzmobilisierung angenommen.

Für die paläozoischen Vererzungsphasen hat W. POHL (1984) anhand gut begründeter paläometallogenetischer Karten eine plattentektonische Entwicklung des Nordrahmens der Prototethys skizziert. Die Mehrzahl der Lagerstätten wird mit den Dehnungsphasen, also dem Riftmagmatismus, verbunden. Der synorogene Magmatismus des Oberkarbon hat als einziges wirtschaftlich interessantes Produkt den Lithiumpegmatit der Koralpe geliefert.

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen, daß jeder Versuch einer tektonisch-metallogenetischen Gesamtschau der Ostalpen auf mehrdeutigen Elementen aufgebaut ist. Gesichert ist nur die Fülle der Beobachtungen, die O. M. FRIEDRICH und seine Mitarbeiter, unter ihnen besonders auch G. HADITSCH gesammelt und dokumentiert haben.

Für die Gewinnung neuer Erkenntnisse über die bisherige geologische Argumentation hinaus, die sich schon vielfach wiederholt, werden neue Methoden eingesetzt werden müssen. Die Lage und Neigung älterer Subduktionszonen wird vielleicht durch tiefreichende Reflexionsseismik, wie sie in Österreich vor allem von F. WEBER betrieben wird, erkennbar werden. Die Dicke der kontinentalen Kruste, die nach ILAVSKY in den Karpathen ein maßgeblicher Faktor für das Auftreten von Lagerstätten ist, wird gleichfalls von der Geophysik zu präzisieren sein. Die Paläomagnetik, in Österreich be-

arbeitet von G. MAURITSCH, dient zur Altersbestimmung mancher Erzminerale und zur Lagebestimmung einstiger Krustenschollen. Besonders wichtig ist das Alter und der Chemismus von Fluiden, die zu verschiedenen Epochen das Gebirge durchströmt haben. Hierzu haben die neueren Arbeiten von W. FRANK und seinen Mitarbeitern mit den Methoden der Isotopenforschung wesentliche Erkenntnisse beigebracht, indem Art und Menge der bei den einzelnen Metamorphosephasen freigesetzten Fluide abgeschätzt und mit der Bildung und Umbildung von Lagerstätten korreliert werden. Das bei den Magnesiten und Sideriten angeführte Beispiel der genetischen Unterscheidung ist ein solcher Fall der Anwendung. Das systematische Studium der Flüssigkeitseinschlüsse und der Spurenelemente ist weit mehr als bisher in der ostalpinen Lagerstättenforschung anzuwenden. Grundgedanken, die ANGEL, CLAR und FRIEDRICH vor 50 Jahren ausgesprochen haben, lassen sich mit den modernen Methoden der Geophysik, Geochemie und Mineralogie überprüfen und mit den klassischen geologischen Erkenntnissen zu einem geschlossenen Bild der alpinen Metallogenese zusammenfügen.

#### Literatur

Die große Menge von Veröffentlichungen, auf die hier direkt oder indirekt Bezug genommen wird, würden ein außerordentlich langes Literaturverzeichnis erfordern. Aus diesem Grund sind im Folgenden nur einige grundlegende zusammenfassende Arbeiten angeführt, aus deren langen Referenzlisten die Zitate entnommen werden können. Besonders sei hier auf den auch metallogenetisch inhaltsreichen Einleitungsartikel zum Band 3 der „Mineral Deposits of Europe“ von H. HOLZER (1986) verwiesen.

CERNY, I. & KOSTELKA, L.: The development of the geological groundwork as basis for ore prospecting at Bleiberg-Kreuth, Austria. – In: JANKOVIC, S. (Ed.): Mineral Deposits of the Tethyan Eurasian Metallogenic Belt between the Alps and the Pamirs, 62–68, Belgrad (Faculty of Mining and Geology) 1987.

- CLAR, E. & FRIEDRICH, O. M.: Über einige Zusammenhänge zwischen Vererzung und Metamorphose in den Ostalpen. – Z. f. prakt. Geol., **41**, 73–79, Halle 1933.
- EVANS, A. M.: Mineralization in geosynclines – the alpine enigma. – Min. Dep., **10** 254–260, 1975.
- FRIEDRICH, O. M.: Die Vererzung der Ostalpen, gesehen als Glied des Gebirgsbaues. – Archiv f. Lagerst.forsch., **8**, 1–136, Leoben 1968.
- FRIEDRICH, O. M.: Geosynklinalbildung und Lagerstätten. – Archiv f. Lagerst.forsch. der Ostalpen, **13**, Leoben 1972.
- FRIMMEL, H.: Strontiumisotopen-Untersuchungen ostalpiner Eisen- und Magnesiumkarbonat-Lagerstätten. – Unveröff. Ber. Geol. Inst. Univ. Wien 1986.
- GRANIGG, B.: Über die Erzführung der Ostalpen. – Mitt. Geol. Ges., Wien, **5**, 458–544, Wien 1912.
- HADITSCH, J. G. & MOSTLER, H.: Mineralisationen im Perm der Ostalpen, Carinthia II, Bd. **84**, 63–71, Klagenfurt 1974.
- HOLZER, H.: Austria. – In: Mineral Deposits of Europe, vol. **3**, 15–40, London 1986.
- MOSTLER, H.: An jungpaläozoischen Karst gebundene Vererzungen mit einem Beitrag zur Genese der Siderite des Steirischen Erzberges. – Geol. Pal. Mitt., Univ. Innsbruck, **13**, S. 97, 1984.
- PETRASCHECK, W.: Metallogenetische Zonen in den Ostalpen. – C. R. 14. Internat. Geol. Kongr. Madrid, 1–13, 1928.
- PETRASCHECK, W. E.: Alpine Metallogenesis and Plate Tectonics – still a Problematic Correlation. – Problems of Ore Deposition, JAGOD Symposium, 504–509, Varna 1974.
- PETRASCHECK, W. E.: The Metallogeny of the Eastern Alps in Context with the Circum-Mediterranean Metallogeny. – Schriftenr. Erdwiss. Komm. Österr. Akad. Wiss., **8**, 127–134, 1986.
- POHL, W.: Metallogenic evolution of the East Alpine basement. – Geol. Rdsch., **73**, 131–147, 1984.
- SCHULZ, O.: 30 Jahre Pb-Zn-Forschung in den triadischen Karbonatgesteinen der Ostalpen. – Sitzber. Österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., **192/10**, 239–266, 1983.
- SIEGL, W.: Reflections on the origin of Sparry Magnesite Deposits. – In: WAUSCHKUHNETAL: Syngensis and Epigenesis in the Formation of Mineral Deposits, Berlin – Heidelberg 1984.
- TISCHLER, S. E. & FINLOW-BATES, T.: Plate Tectonic Processes that governed the Mineralization of the Eastern Alps. – Min. Dep., **15**, 19–31, 1980.
- TUFAR, W.: Die Vererzung der Ostalpen und Vergleiche mit Typlokalitäten anderer Orogengebiete. – Mitt. Österr. Geol. Ges., **74/75**, 265–306, 1981.