

## Die Herkunft der Erzmehalle

Walther E. Petrascheck\*

### Zusammenfassung

Der Hauptgrund für die Annahme, daß die Erzmehalle eher aus der kontinentalen Kruste als aus dem Erdmantel stammen, ist die Tatsache, daß sich metallogenetische Provinzen in den wandernden Kontinenten vererben. Ein weiterer Grund ist das Fehlen größerer Erzlagerstätten in Verbindung mit ozeanischen Basalten oder Plateaubasalten. Sogar die sauren Differenziate auf Island werden lediglich von unbedeutenden Sulfdgängen begleitet. Andererseits muß die während der geologischen Geschichte immer mehr anwachsende Tonnage an Buntmetallen in den Erzlagerstätten mit orogenetischen Ereignissen in Beziehung gebracht werden, mit denen basisches Mantelmagma in die sialische Kruste eintrat. Die flüchtigen Bestandteile dieses Mantelmagmas, besonders Schwefel und Chlor, laugten Elemente wie Zn, Pb, Sb, Sn, W und andere aus den Silikaten der sialischen Kruste heraus und konzentrierten sie. Dieser Vorgang setzte vor allem dann ein, wenn sialisches Grundgebirge der Geosynklinalen aufgeschmolzen wurde, und sich dieses palingene Magma der Kruste mit juvenilem Mantelmagma vermischte. Die Möglichkeit der Extraktion von Metallen aus Silikaten durch Schwefel und Chloride wird durch jüngst durchgeführte Experimente von *Kullerud, Hesp & al.* aufgezeigt. Es ist bemerkenswert, daß Geosynklynaltröge mit sialischem Grundgebirge keratophyrische Laven, die oft reich an polymetallischen Lagerstätten sind, enthalten, während Tröge mit ozeanischem Untergrund ophiolithische Vergesellschaftungen enthalten, die nur Kupfersulfide führen. Die metallogenetische Linie, die einen Kupfergürtel auf der ozeanischen Seite von einem Bleigürtel auf der kontinentalen Seite abtrennt, wie dies jüngst von *Petersen, Laznicka* und anderen für Nord- und Südamerika, und seit mehreren Jahren vom Autor für das alpin-mediterrane Orogensystem gefolgert wird, wird verständlich, wenn man das Kupfer von einer eugeosynklynalen ozeanischen Kruste und das Blei-Zink von der kontinentalen Kruste bezieht. Die regionalen Unter-

\* Prof. Dr. W. E. *Petrascheck*, w. Mitglied d. Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Montanistische Hochschule, A-8700 Leoben, Austria.

schiede der einzelnen metallogenetischen Provinzen können in den meisten Fällen durch „primäre“ Unterschiede im geochemischen background innerhalb dieser sialischen Kruste und einer späteren Wechselwirkung mit dem Mantelmagma erklärt werden. Auf dem Ozeanboden können keine geochemischen Provinzen deutlich voneinander abgegrenzt werden.

### *Abstract*

#### *„The Origin of Ore Metals“*

The main reason for the assumption of an origin of the ore metals from the continental crust rather than from the mantle is the heredity of metallogenic provinces in the wandering continents. Another reason is the absence of remarkable ore deposits in connection with oceanic basalts or with plateau basalts. Even the acid differentiates in Iceland are accompanied by insignificant sulphide veinlets only. On the other hand, the increasing tonnage of base metals in the ore deposits of the world generated during the geological history has to be correlated with orogenic events together with which basic mantle magma was added to the sialic crust. The volatiles of this mantle magma, particularly the sulphur and the chlorides extracted and collected Zn, Pb, Sb, W and others from the silicates of the sialic crust. This happened particularly when the sialic basement of geosynclines became molten and this palingenic magma of the crust became mixed with the juvenile mantle magma. Recent experimental work done by *Kullerud, Hesp* and others demonstrates the possibility of extraction of metals from silicates by sulphur and chlorides. It is noteworthy that geosynclinal troughs with sialic basement contain keratophytic lavas often rich in polymetallic deposits whereas troughs with oceanic underground carry ophiolitic assemblages with coppersulfides only. The metallogenic line, dividing a copperbelt on the ocean side, and a lead belt on the continental side, as established recently by *Petersen, Laznicka* and others for North and South America, and since many years by the author for the Alpine-Mediterranean mountain system, can be understood owing to the origin of the copper from an eugeosynclinal oceanic crust and of lead-zinc from the continental crust. The main regional differences causing the different metallogenic provinces in most cases can be explained by "primary" differences of the geochemical background within this sialic crust and a later interaction with the mantle magma. Geochemical provinces on the ocean floor cannot be clearly distinguished.

Die Frage nach der Herkunft der Erzmehalle wird oft alternativ gestellt: Kruste oder Mantel? Ich möchte die Frage und die zugehörigen Begriffe etwas spezifizieren: es soll diskutiert werden, welche Metalle stammen vorwiegend aus der Kruste und welche vorwiegend aus dem Erdmantel; ferner sollen Erdmantel + Ozeanische Kruste gegenüber der Kontinentalen Kruste betrachtet werden; schließlich soll die Frage nach der Entstehung der kontinentalen (sialischen)

Kruste selbst nicht behandelt werden, sondern sie soll nur jene geologischen Zeiträume umfassen, in denen eine sialische Kruste mit ihrem differenzierten Stoffbestand bereits existierte.

Die Frage hat schon vor mehr als 40 Jahren eine Antwort erfahren, als V. M. *Goldschmidt* von chalkophilen und von lithophilen Elementen sprach. Sie wurde später von verschiedenen Autoren behandelt — vom Standpunkt der Lagerstättenforschung in der breitesten Weise von V. I. *Smirnow* (1968), der basaltophile (= juvenile), grantiophile (= assimilierte) und filtrierte (= migrierte) Elemente unterschied. Sie stellte sich neu, als die Beziehungen zwischen Kontinentaldrift und Erzprovinzen und schließlich zwischen Plattentektonik und Erzprovinzen studiert wurden.

Unabhängig voneinander und fast gleichzeitig kamen R. D. *Schuiling* (1967) und W. E. *Petracheck* (1968) zu der Auffassung, das Erzprovinzen mit wiederholtem Auftreten derselben Metalle, also mit metallogenetischer Vererbung („Metallprovinzen“) nur erklärt werden können, wenn der Vorrat der betreffenden Metalle in den wandernden Kontinenten und nicht in dem darunterliegenden Erdmantel beheimatet ist. *Schuiling* hat deutlich gezeigt, daß die geochemische Anomalie der Zinn Gürtel beiderseits des Atlantik alt und kontinuierlich angelegt war und nur durch die Drift zerrissen wurde. Dasselbe gilt für die praekambri-schen Goldgürtel und für die Pegmatitprovinzen im Bereich der östlichen Gondwanakontinente (*Petracheck*, 1972).

Dabei sind die Lagerstätten dieser Metallgürtel von unterschiedlichem Alter und teils vor, teils nach Einsetzen der Drift entstanden. Die Zinn-Wolfram-Lagerstätten Süd-Amerikas sind teils praekambrisch, teils paläozoisch, teils jurassisch, teils tertiär; jene von Afrika sind teils alt-praekambrisch, teils jung-praekambrisch, teils jurassisch. In der nördlichen Fortsetzung des Wolframgürtels von Ost-Brasilien-Nigeria dürften nicht nur die herzynischen W-Bezirke von Portugal und Frankreich-Cornwall liegen, sondern vielleicht auch die große silurische Scheelitlagerstätte von Mittersill in den Ostalpen. Doch gilt, was *Schuiling* sagt: aus dem Bereich der geochemischen Anomalie kann erst ein „geologisches Ereignis“ eine Lagerstätte machen — und zwar zu verschiedenen Zeiten.

Zu den Elementen Sn, W, Au, Nb, Ta, Be, U, die sich als alt eingesessene, durch Drift transportierte kontinentale Elemente dokumentieren, gehört aber auch das wegen seiner Affinität zum Schwefel als chalkophil bezeichnete Blei und ein Großteil des Zinks. Wiederholt habe ich darauf hingewiesen, daß der südliche Stamm des alpin-mediterranen Orogens von Spanien — Nordafrika über die südlichen Alpen, die Dinariden bis in die Ketten des Taurus sehr reich an Pb-Zn-Lagerstätten ist, während die nördlichen Ketten des Orogens die meisten Cu-Lagerstätten enthalten. Neben vielen mesozoischen und tertiären Pb-Zn-Lagerstätten gibt es auch solche herzynischen Alters (z. B.: Sierra Morena, Sardinien, z. T. Marokko). In diesen Schollen des süd-europäisch-nordafrikanischen Krustenbereiches sind also Blei und Zink beheimatet. Der Metallinhalt der Lagerstätten zwischen Gibraltar und Euphrat liegt in der Größenordnung von 20 Millionen

Tonnen Pb + Zn. Auch der berühmte „Silbergürtel“ von J. *Spurr* ist ein solch kontinentales Inventarium.

Führt uns somit die Erkenntnis der gewanderten Kontinente in Verbindung mit der metallogenetischen Vererbung zur Vorstellung eines frühzeitigen Vorhandenseins sehr vieler Erzmehalle in der sialischen Kruste, so bringen uns andere Lagerstättentypen zur Annahme ihrer Herkunft aus dem basischen Magma des Erdmantels. Das gilt unbestritten für die Cu, Ni, Pt und Cr-Lagerstätten, die an die großen basischen Intrusionen in den alten Schilden gebunden sind (Sudbury, Bushveld, Great Dyke, u. a. m.). Das Verhältnis der Schwefelisotopen beweist eindeutig rein magmatische Abkunft.

Das Problem eines Mantelursprunges vieler Erzmehalle stellt sich aber auch bei der Betrachtung der Metallogenese in den Orogenen. Viele Autoren, als erster F. *Blondel* (1936), später C. J. *Sullivan* (1948), J. A. *Bilibin* (1955) u. a. haben darauf hingewiesen, daß die Menge der chalkophilen Buntmetalle Cu, Pb, Zn, Sb zunehmend in den jüngeren Orogenen in Erscheinung tritt und sie haben dies auch quantitativ zu belegen sich bemüht.

Nach J. A. *Bilibin* sind 71 % des Kupferinhaltes der Lagerstätten der Erde nach dem Praecambrium gebildet, entsprechend der Weltlagerstättenkarte P. *Lafitte* und P. *Rouveyrol* (1964) sind 80 % des Cu, 78 % des Pb+Zn, 80 % des Pyrit, 85 % des Sb und 86 % des W in relativ jüngeren Lagerstätten, also seit der letzten jungpraekambrischen Orogenese konzentriert. Beim Zinn beträgt der „junge“ Anteil rund 96 % (J. *Sarcia*, 1966).

Darüber hinaus glauben J. *Pereira* und C. J. *Dixon* (1965) auch einen Trend in der Zunahme des bauwürdigen Metallgehaltes der Buntmetallagerstätten in jüngerer Zeit feststellen zu können. Diese für die Erzkonzentration so ergiebige Zeitspanne von rund 1000 Millionen Jahren umfaßt weniger als ein Drittel der überschaubaren geologischen Geschichte.

Die Konzentration der wichtigen Erzmehalle zu Lagerstätten im Laufe der Erdentwicklung ist in den beiliegenden kumulativen Diagrammen dargestellt. Die Werte, die den jeweiligen Lagerstättenbildenden Metallinhalt, bestehend aus bisheriger Produktion + Reserven, in einzelnen geologischen Zeitabschnitten darstellen, sind aus der erwähnten Karte von *Lafitte* und *Rouveyrol* abgeleitet worden.\* Aus diesen Diagrammen ist ersichtlich, daß Cr, Ni, Ti, Pt, Au, U zu den alten Lagerstättenmetallen gehören, während Cu, Pb, Zn, W, Sn, Sb und Hg vorwiegend und successive in nach-proterozoischer Zeit in Form von Lagerstätten in Erscheinung traten. (Allerdings können diese Zahlenwerte, die an und für sich seit 1964 wohl einer Korrektur bedürfen, durch Abtragung der praecambrischen magmenfernen Lagerstättenniveaus und andererseits durch sedimentäre Überdeckung tieferer jüngerer Niveaus verfälscht erscheinen — ein Einwand, den H.

\* Die Umrechnung der graphischen Mengendarstellung der Karte zu einer Tabelle entnehme ich einer freundlichen Zusendung von Herrn Prof. A. *Maucher* (München); deren Transponierung in die kumulativen Kurven hat auf meine Bitte Herr Dr. P. *Walser* durchgeführt.

*Pelissonnier* (1971, p. 333) im Zusammenhang mit der Frage einer zeitlichen Evolution der Kupferlagerstätten machte. Dennoch ist das quantitative Prinzip dieser Kurven zutreffend, da ja gerade in den mesozoisch-tertiären Orogenen auch reichlich heißthermale Lagerstätten des Cu, Zn, Sn, W, u. a. freigelegt vorkommen). (Abb. 1—4)

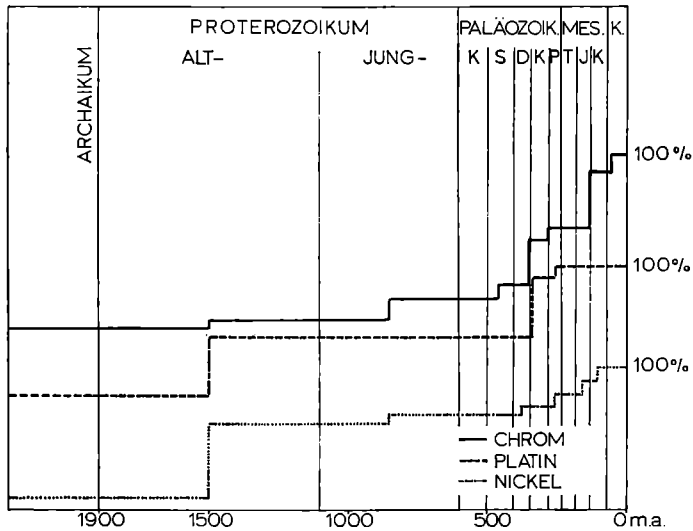


Abb. 1. Konzentration der alten Mantelmetalle Cr, Pt, Ni zu Lagerstätten im Laufe der Erdgeschichte.

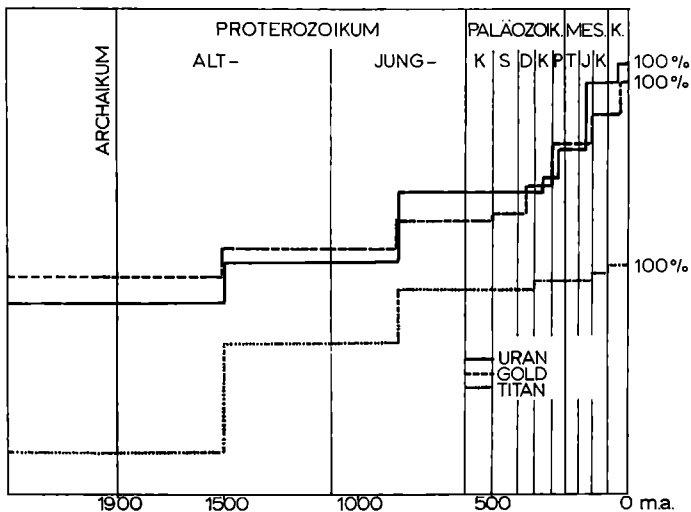


Abb. 2. Konzentration der alten Krustenmetalle U, Au, Ti zu Lagerstätten.

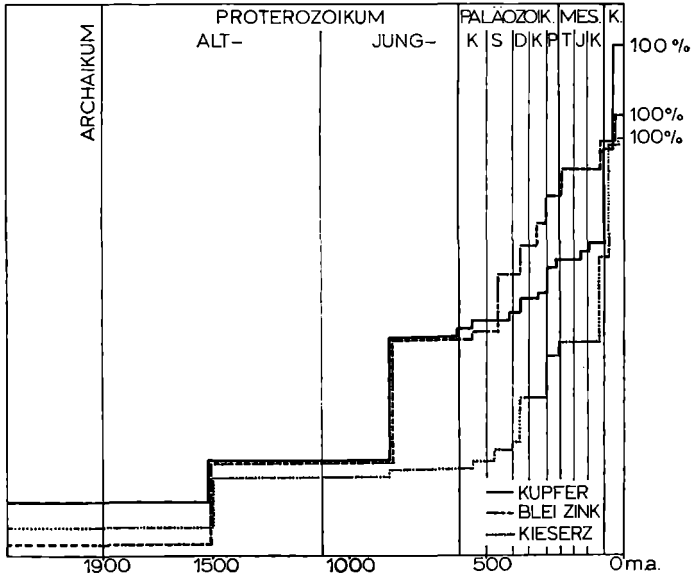


Abb. 3. Successive Konzentration der Buntmetalle Pb, Zn, Cu zu Lagerstätten.

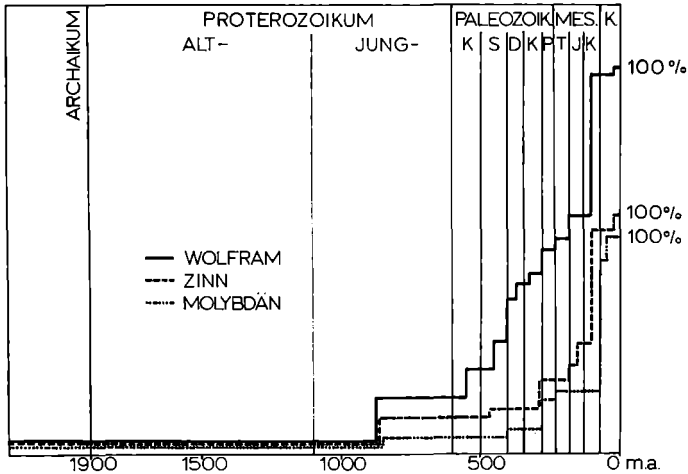


Abb. 4. Successive Konzentration der Krustenmetalle Sn, W, Mo zu Lagerstätten

*Sullivan* hat den lagerstättenbildenden Zuwachs der Buntmetalle mit der zunehmenden Beteiligung juvenilen basischen Magmas aus dem Mantel, bzw. der ozeanischen Kruste erklärt. Diese Beteiligung ist aus den orogenen Vorgängen an den unterschobenen Plattenrändern (consuming margins) verständlich.

Hier aber stellt sich ein Widerspruch ein, wenn man die aus weltweiter Erfahrung bekannte metallogenetische Sterilität der Basalte bedenkt — sowohl der ozeanischen Tholeitbasalte wie der kontinentalen Plateau- und Spaltenfüllungsbasalte. Zwar liegt der durchschnittliche Spurenmetallgehalt der Basalte bei Cu (87 ppm), Zn (39 ppm), Ni (200 ppm) wesentlich höher als bei Granit; bei Sn, W, Pb ist er niedriger. In dieses Durchschnittsbild passen die jüngst von S. Jankovic bekannt gemachten Werte von basischen Magmatiten in SE-Island mit Cu 20—300 ppm und Zn 10—200 ppm. Die saureren Differentiate (Rhyolit, Granophyr), die rund 10 % der magmatischen Gesteine SE-Islands einnehmen und die nach S. Jankovic (1972) als Differentiate des oberen Mantels aufzufassen sind, haben ein niedrigeres Cu-Maximum bei 20 ppm, aber ein ähnliches Zn-Maximum wie die Basalte; eine gründliche Prospektions-Campagne hat nur unbedeutende Gängchen mit Kupferkies sowie accessorischer Zinkblende und Bleiglanz im Bereich der Granophyrint intrusionen aufgedeckt.

Das Wasser und die Metalle — überwiegend Mn und Fe — der warmen Salzseen und Erzschlämme im Roten Meer werden entsprechend dem Deuterium-Gehalt exogen und durch Auslaugung von Nebengestein erklärt (D. E. White, 1968).

Der Mangel an Erzlagerstätten, die unmittelbar mit dem Basaltmagmatismus verknüpft sind, steht im Gegensatz zu zahlreichen vulkano-sedimentären Erzlagern, die mit dem basischen Geosynklinalvulkanismus in Zusammenhang stehen. Das sind bekanntlich nicht nur oxydische Eisen- und Manganzlager mit ausgeschiedener Kieselsäure, sondern auch polymetallische Sulfidlager aller Art. Die Bereitwilligkeit, mit der heute keineswegs nur mehr Schwefelkies mit Kupfer, sondern auch Bleiglanz, helle Zinkblende, Fluorit, Stibnit, Zinnober, Scheelit, Molybdenit, Gold, Magnesit und Siderit, teils zusammen, teils monomineralisch auf einen submarinen Diabasvulkanismus zurückgeführt werden, hat bei manchen Lagerstättenforschern im alpin-mediterranen Raum ein großes Ausmaß angenommen. In einigen dieser Fälle war die vulkanosedimentäre Entstehung durch die Struktur der Erze beweisbar.

*Der oben genannte Widerspruch scheint mir dann gelöst, wenn man die besprochenen Metalle aus der sialischen Kruste, die sie zu Erzen konzentrierenden flüchtigen Bestandteile dagegen aus dem Mantelmagma bezieht.* Diesen Gedanken habe ich schon 1968 angedeutet — er ist durch die Beachtung neuerer experimentieller Arbeiten sowie durch plattentektonische Vergleiche wahrscheinlicher geworden.

Der Metallgehalt der sialischen Gesteine ist zumeist an silikatische Mineralien gebunden. Nach K. Wedepohl ist weit mehr Zink in den Mg-Fe-Silikaten der Gesteine als in den Lagerstätten enthalten. Olivin hat einige 1000 ppm Zink, Pyroxen, Amphibol und Biotit und einige 100 ppm. Zn. In Biotit ist Cu bis zu 1000 ppm enthalten, in Kalifeldspat Pb bis zu 10 ppm. Ebenso ist Sn im Biotit bis zu 300 ppm angereichert. Die basaltischen Magmen enthalten reichliches Cu. In submarinen ozeanischen Basalten wurden 700—900 ppm Schwefel be-

stimmt. (J. G. Moore und B. P. Fabbi, 1971). Vor allem aber exhalierten sie in Gasform neben Wasserdampf  $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$  und Halogenide.

Wenn nun an den unterschiebenden Plattenrändern bei der Bildung von Kettengebirgen des Cordillere-Typs Teile der kontinentalen Kruste zusammen mit der ozeanischen Kruste in die Tiefe gezogen und aufgeschmolzen werden, entstehen hybride Mischmagmen; ebenso entstehen solche, wenn in intrakontinentalen Geosynklinalen (wie etwa der herzynischen Geosynklinale Europas oder der alpidischen der Ostalpen und Karpathen), deren sialischer Boden in den palinogenen Schmelzbereich eingetaucht wird. Dann können die in der kontinentalen Kruste — und natürlich auch in den geosynklinalen Sedimenten — diffus verteilten Metalle von den flüchtigen Bestandteilen des Mantelmagmas extrahiert und zu Lagerstätten konzentriert oder zumindest präkonzentriert werden.

Die Metallurgen verneinen zwar die technische Möglichkeit einer Gewinnung von Buntmetallen aus silikatischer Schmelze durch Schwefel. G. Kullerud und H. S. Yoder haben jedoch 1963 Fe und Ni aus Olivin mit Schwefel bei  $800^\circ C$  und 2000 bar zu Magnetkies und Pentlandit umgesetzt. Später konnten in einer Anzahl von Experimenten Fe, Ni, Co, Pb, Zn und Hg in Form von Sulfiden aus Silikaten und Carbonaten extrahiert werden (G. Kullerud & G. H. Moh, 1972). Sn wurde kürzlich von W. R. Hess und D. Rigby durch eine  $NH_4 Cl$ -Lösung bei  $500^\circ C$  aus einem Biotit eines SW-australischen Granits mit 60 ppm Sn herausgelöst. Es ist also möglich, Erzmetalle aus Silikatmineralien und Silikatschmelzen durch flüchtige Bestandteile eines Magmas zu extrahieren. Immerhin enthält 1  $km^3$  sialische Kruste mehrere Zehntausend Tonnen der Buntmetalle.

Nach einer solchen Vorkonzentration der Metalle in der Kruste durch den Sammler-Effekt des Schwefels und anderer flüchtiger Bestandteile des Mantels treten jene „geologischen Ereignisse“ ein, die Schuiling für die eigentliche Lagerstättenbildung voraussetzt. Diese Ereignisse können die ganze Variationsbreite der lagerstättenbildenden Vorgänge umfassen. Die dabei auftretenden Metalle kommen teils aus dem juvenilen Mantelmagma, darunter besonders das Kupfer, zum größeren Teil aber aus dem palinogenen Magma der sialischen Kruste.

Damit deutet sich auch eine Erklärung für den erwähnten erzbringenden Geosynklinalvulkanismus an: die vulkano-sedimentären polymetallischen Lagerstätten finden sich vor allem an die splitisch-keratophyrische Gesteinsgruppe geknüpft, während die rein ophiolithische höchstens Kupferlagerstätten brachte. Nun enthält nach dem Modell der Plattentektonik der kontinentseitige Trog mit sialischem Boden die Keratophyre, der ozeanseitige Trog mit basaltischem Boden die diabasischen Pillowlavas und eventuell hochgeschleppte Gabbroide und peridotitische Gesteine. Somit ist auch die reiche Erzführung des initialen Vulkanismus mancher Geosynklinalen — z. B. der variscischen Deutschlands — trotz der primären Sterilität des juvenilen basaltischen Magmas eigentlich von sialischer Herkunft.

Aus der ozeanischen Kruste dagegen, vor allem wohl aus ihrer differenzierten gabbroiden tiefen Lage 3, stammen das meiste Kupfer, Mangan und Eisen. Pelis-



sonier hat in seiner hervorragenden quantifizierten Übersicht über die Kupferlagerstätten festgestellt, daß 15 % der Welt-Tonnage von Kupfer direkt mit basischen Gesteinen verknüpft sind, aber 40—45 % — darunter eben die „Porphyries“ — indirekt vom Mantel abzuleiten sind.

In dieses Bild der Herkunft der Buntmetalle fügt sich auch die neuerdings vielfach hervorgehobene Grenzlinie zwischen Kupferzone und Bleizone in den jüngeren Orogenen, besonders der beiden Americas ein (U. Petersen, 1964, P. Laznicka & H. D. B. Wilson, 1972). Die ozeanseitige Kupferzone wird vom Mantel, die kontinentseitige Bleizone von der Kruste abgeleitet. Ich selbst hatte eine solche Zonengliederung für das alpin-mediterrane Orogen seit 1955 betont und hatte diese Differenzierung mit einem primären Unterschied des Stoffbestandes der tieferen Unterkruste zu erklären versucht. Ich möchte dies heute umdeuten, indem die nördliche Kupferzone (mit großen Lagerstätten von Fe und Mg und accessorischen Begleitmineralien von Ni und Cr) mit der nördlich des alten afrikanischen Kontinents gelagerten penninischen Eugeosynklinale in Zusammenhang steht, während die angrenzenden Partien dieses afrikanischen Kontinentes eine hohe geochemische Pb-Zn-Anomalie aufwiesen und darum zu verschiedenen Zeiten die Geburtsstätte von Pb-Zn-Lagerstätten waren. Die spätere alpine Überschiebungstektonik hat diese räumlichen Beziehungen komplizierter gemacht.

Erze aus dem Erdmantel selbst haben wir nur dort, wo dieser durch Tektonik tief aufgepflügt wurde. So sind die alpinotypen Chromerzlagerstätten der von großen Deckenbewegungen erfaßten ophiolithischen Subduktionszonen der Balkanhalbinsel und Vorderasiens zu deuten. Ruhiger Aufstieg von Mantelmaterie in ozeanischen Rücken oder in Rift-Valleys bringt neben H<sub>2</sub>S und CO<sub>2</sub> — Exhalationen vorwiegend nur Wärmestrom, der zur Metallauflösung aus Sedimenten und Ausfällung durch „sekundäre Hydrothermen“ führt.

Die regionale Correlation der metallogenetischen Provinzen der Erde im Hinblick auf Plattentektonik und Drift zeigt, daß die großen Provinzen durch das Zusammenwirken von Kruste und Mantel gebildet wurden. Die stofflichen Unterschiede liegen primär vorwiegend in der kontinentalen Kruste begründet — die ozeanische Kruste scheint, wie E. Ingerson in seinem Vortrag bei diesem Symposium mit aller Vorsicht gesagt hat, gleichmäßig zusammengesetzt zu sein. Auch aus den Manganknollen ließen sich keine unterschiedlichen primären Provinzen abgrenzen — das Verhältnis Fe/Mn und das der Spurenmetalle ist von sehr vielen Faktoren bestimmt (D. S. Cronan, 1972).

#### Literaturhinweise

- Cronan, D. S. (1972): Regional geochemistry of the ferromanganese nodules in the world ocean. — In: Ferromanganese deposits on the ocean floor, ed. D. R. Horn, Lamont Observatory New York.
- Heirtzler, J. R. (Editor) (1972): Understanding of the Mid Atlantic Ridge. — Nat. Ac. Sc. Ocean Science Comm., Washington.
- Hesp, W. R. & Rigby, D. (1972): The Transport of tin in acid igneous rocks. — Pacific Geology 4, p. 135—152, Tokyo.

- Jankovic, S.* (1972): The origin of base metal mineralization on the Mid Atlantic Ridge. — C. Rend. 24. Int. Geol. Congr. Sect. 4, p. 326—335, Montreal.
- Kullerud, G. & G. H. Moh* (1972): Das Problem Erz-Nebengestein, erläutert an ausgewählten Beispielen im Experiment. — Min. Dep. 7, p. 271—279, Berlin.
- Laznicka, P. & Wilson, H. D. B.* (1972): The significance of a Copper-Lead Line in Metallogeny, C. Rend. 24. Int. Geol. Congr. Sect. 4, p. 25—36, Montreal.
- Moore, J. G. & Fabbi, B. P.* (1971): An estimate of the juvenile sulfur content of basalt. — Cont. Min.-Petro. 33, p. 118—127.
- Pelissonier, H.* (1972): Les dimensions des gisements de cuivre du monde. — Mem. du B.R.G.M. 57, p. 1—405, Paris.
- Petersen, U.* (1972): Geochemical and tectonic implications of South American Metallogenic provinces. — Ann. New York Ac. Sc. 196/1, p. 1—38.
- Petrascheck, W. E.* (1963): Die alpin-mediterrane Metallogenese. — Geolog. Rundsch. 53, p. 376—389.
- Petrascheck, W. E.* (1968): Kontinentalverschiebung und Erzprovinzen. — Min. Dep. 3, p. 56—65.
- Petrascheck, W. E.* (1973): Some aspects of the relations between Continental Drift and Metallogenic Provinces. — In: Implications of Continental Drift to the Earth Sciences, ed. by D. H. Tarling and S. K. Runcorn, Vol. 1, 567—572.
- Schuiling, R. D.* (1967): Tin belts on the continents around the Atlantic Ocean. — Econ. Geol. 62, p. 540—550.
- Smirnov, V. I.* (1968): The sources of ore forming materials. — Econ. Geol. 65, p. 380—389.
- White, D. E.* (1968): Environments of Generation of some base metal ore deposits. — Econ. Geol. 63, p. 301—335.