

Die Geologie und Genese der pyritischen Cu/Zn-Lagerstätten vom Typus Noranda in sauren Vulkaniten des südlichen Kanadischen Schildes

Bernhard FREE, Toronto

Mit 3 Abbildungen

Zusammenfassung

Die pyritischen Kupfer-Zink-Lagerstätten vom Typus Noranda sind vulkanischer Herkunft, syngenetisch in bezug auf die sie einschließenden Nebengesteine und gebildet unter Bedingungen eines untermeerischen Vulkanismus.

Die Haupterkörper sind in der Regel schichtgebundene, linsenförmige, pyritische Derberzmassen¹ mit unterschiedlichen Gehalten an Kupferkies, Zinkblende und akzessorischen Silber- oder Goldgehalten.

Die, zu einem erkennbaren vulkanischen Komplex oder vulkanischen Feld gehörenden, jedoch räumlich getrennten Lagerstätten sind horizontbeständig und zeitstratigraphische Äquivalente spezifischer Nebengesteine.

Obwohl die hier besprochenen vulkanogenen² Cu/Zn-Lagerstätten archaischen Alters sind, ist der Typ weltweit verbreitet und an keine bestimmte geologische Epoche gebunden.

Es ist eine Eigentümlichkeit, daß Bleiglanz erst in den jüngeren Lagerstätten vom Proterozoikum an als weiterer Hauptgemengeteil auftritt. Es mag dies auf die Neuzufuhr von radio-nem Blei zurückzuführen sein.

Einführung

Abgesehen von wenigen frühen Vermutungen, daß vulkanische Exhalationen die Quelle von Metallen in bestimmten Lagerstätten sein könnten, hat sich die Theorie der epigenetischen, hydrothermal-metasomatischen Vererzung für die archaischen Cu/Zn-Lagerstätten in sauren Vulkaniten bis vor wenigen Jahren erfolgreich behauptet. Die mittlerweile klassisch gewordenen Arbeiten von OFTEDAHL 1958, STANTON 1959/60 leiteten die Ära der „Syngenetiker“ ein, die dann ihren endgültigen Durchbruch mit GILMOUR 1965 und BOLDY 1968 erreichte. Zahlreiche, bis dahin bekannte und seitdem neuentdeckte vulkanogene Cu/Zn-Sulfidlagerstätten sind völlig im Einklang mit dem syngenetischen, vulkanogen-exhalativen Konzept. In diesem Zusammenhang stellt diese Arbeit hauptsächlich eine Zusammenfassung der allgemeingültigen geologischen Parameter dar.

¹ Derberz (massive ore): hat in diesem Zusammenhang keine texturale, sondern lediglich quantitative Bedeutung, wobei üblicherweise 50 Volumsprozent Metallsulfidgehalt als Norm verwendet wird.

² Vulkanogen: betont die genetische Beziehung zwischen diesen Lagerstätten und vulkanischen Prozessen i. w. S.

Wirtschaftliche Bedeutung

Weit über die Hälfte der gesamten Zink- und Silberproduktion sowie ein bedeutender Anteil der Kupfer- und Goldproduktion in Kanada stammt von den vulkanogenen Sulfidzlagern. Von etwa achtzig, im Präkambrium des Kanadischen Schildes bekannten Lagerstätten dieser Art befinden sich etwa zwanzig im Abbau. Die Mehrzahl der restlichen Lagerstätten ist bereits abgebaut oder steht gegenwärtig unter Auswertung.

Die Durchschnittsgröße dieser Lagerstätten liegt zwischen 2 und 5 Mill. Tonnen, obwohl alle Größenordnungen bekannt sind. Die folgenden Beispiele sind typische Vertreter ihrer Art:

Lagerstätte	Delbridge	Lake Dufault	Kidd Creek
Geogr. Lage	Noranda, P. Q.	Noranda, P. Q.	Timmins, Ont.
Größe (Mio. t)	0.326	2.37	> 90.0
Cu-Gehalt (Gew.-%)	1.03	4.0	1.33
Zn-Gehalt (Gew.-%)	11.9	7.2	7.08
Ag-Gehalt (g/t)	117.6	62.4	137.5

Die Möglichkeiten weiterer Vorkommen in jeder Größenordnung sind, selbst auf längere Sicht gemessen, noch nicht annähernd erschöpft.

Regionale Verteilung und Alterseinstufung

Alle Typuslagerstätten sind an individuelle vulkanische Komplexe gebunden, die sich aus Tausenden von Metern mächtigen Akkumulationen von hauptsächlich basischen und sauren Vulkaniten mit ihren primären vulkanodetritischen Verwitterungsprodukten aufbauen. Dicht gruppierte oder gereichte vulkanische Komplexe bilden die sogenannten vulkanischen- oder Grüngesteinsgürtel (Fig. 1), die als Erosionsreste der, bis auf die Gesteine des initialen Vulkanismus reduzierten Orthogeosynklinalen oder ozeanischen Inselbögen gedeutet werden.

Das archaische Alter der Vulkanite stimmt mit dem für die Metallsulfide ermittelten Alter von $2,9-3,0 \times 10^9$ Jahren (ROSCOE 1965) überein.

Basaltische Kissenlaven, aquagene Tuffe und Tuffite sowie feingebänderte Cherts und geschichtete Grauwacken lassen auf untermeerische Bildungsbedingungen schließen.

Struktur und Metamorphose

Während der spät-archaischen Kenorischen Orogenese ($2,5 \times 10^9$ Jahre) wurde ein vorwiegend symmetrischer, einphasiger Baustil mit Ost-West streichenden Großachsen geschaffen. Die schwachmetamorphen Effekte dieser, eher moderaten, Deformation spiegeln sich in der epizonalen Mineralfazies der Gesteine wider. Die Sulfide der Derberze reagierten auf die Metamorphose lediglich mit Kornvergrößerung durch Sammelkristallisation ohne nennenswerte Veränderung der Mineralogie und der Textur.

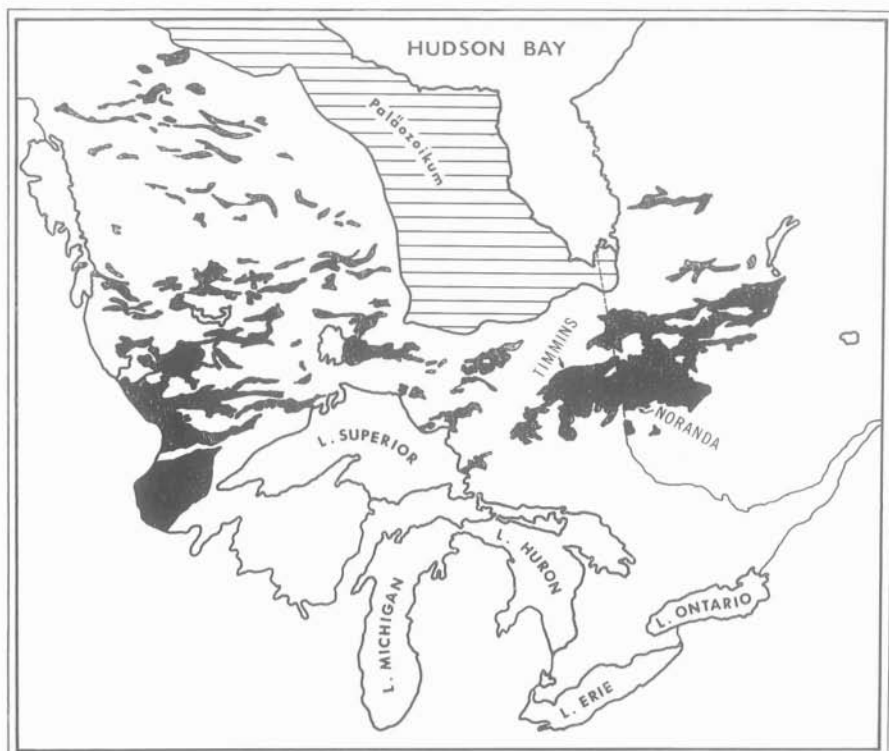


Fig.1 - Lageskizze der Archaischen Vulkanite und Sedimente im Südlichen Kanadischen Schild (nach H.G. Stockwell)

Die lithologische Cu/Zn-Sulfid-Assoziation

Die offensichtlich vulkanogene Beziehung der sulfidischen Erzkörper führte zu intensiven petrologischen Untersuchungen der Gesamtheit der Vulkanite, die folgende Gesetzmäßigkeiten erbrachte: Nennenswerte Vererzung findet sich vorwiegend in rhyolithischen Gesteinen der ozeanisch-tholeitischen Serie. Das fallweise Auftreten von „kalk-alkalischen“ Vulkaniten, besonders in der Nähe von Vererzungen, ist eher auf chemische Reaktion unter Zufuhr von K_2O , Na_2O und MgO aus dem Meerwasser zu erklären, denn als Abstammung von einem primär kalk-alkalischen Magma. Obwohl quantitativ stark zurücktretend ($< 10\%$) sind die Rhyolithe neben den tholeitischen Basalten und weniger häufigen Andesiten ($\sim 70\%$) die Hauptvertreter der vulkanischen Gesteine (DESCARREAU 1972, et al.). Auffallend ist das abnormal niedrige Volumen an intermediären Vulkaniten.

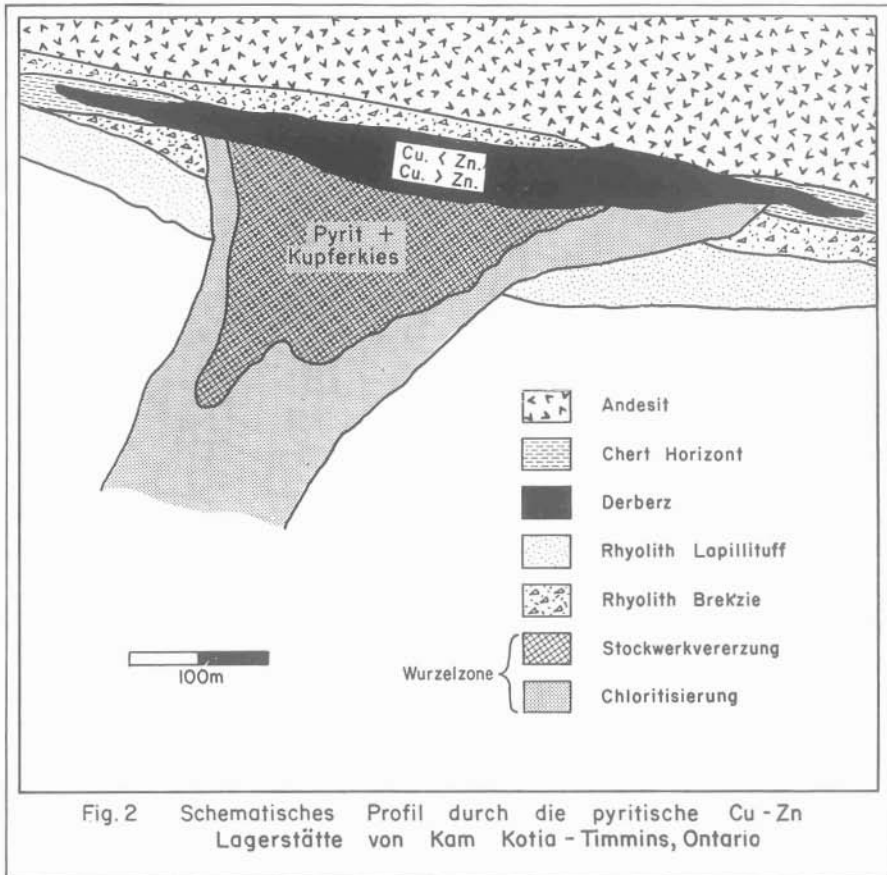
Die jüngsten Ergebnisse petrographischer und petrologischer Untersuchungen durch GELINAS und Mitarbeiter (Ecole Polytechnique Montreal, seit 1972) am vulkanischen Komplex von Noranda, Québec, lassen auf die Koexistenz un-

mischbarer basischer und saurer Magmen als Quelle der Eruptiva schließen. Diese Erkenntnisse erleichtern die Beilegung der Kontroverse über die Entstehung der sogenannten „sauren Endglieder“ durch kontinuierliche Differentiation durch Kristallisationsfraktionierung eines basaltischen oder andesitischen Ausgangsmagmas.

Physiographie der Lagerstätten

1. DIE GEOLOGIE DER ERZKÖRPER

Die Erzlager treten als tafelförmige oder linsenförmige Derberzmassen auf, die nicht selten Mächtigkeiten von mehreren Zehner Metern erreichen. Die anderen beiden Hauptdimensionen der Sulfidkonzentrationen sind konkordant zum einschließenden Nebengestein. Die Derberzkörper selbst sind räumlich und genetisch eng mit pyroklastischen Eruptiva rhyolithischer Herkunft vergesellschaftet (Fig. 1, 2). Zum Teil seitlich überlappend, setzt sich von den dichten Erzmassen die Kieselfazies der Cherts oder Jaspilite fort. Die letzteren bilden gewöhnlich geringmächtige, aber ausgedehnte Ablagerungen, die als zeitstratigraphisch äquivalenter Fazieshorizont Anzeigewert für die Sulfidlagerstätten besitzen.



Die Kontakte der Derberzkörper sind nach allen Seiten scharf und besonders zum stratigraphisch Hangenden bis in den Spurenmetallbereich.

Bei den „primären“ Lagerstätten findet sich, vom Liegenden des Derberzkörpers fortsetzend, eine diffuse Gesteinsveränderung mit vorwiegend pyritischer Mineralisation. Diese sogenannte „Wurzelzone“ (alteration pipe von GILMOUR 1965, BOLDY 1968, ANDERSON 1969) steht in diskordanter Lagebeziehung zum Nebengestein (Fig. 2).

2. INTERNE STRUKTUREN UND TEXTUREN

Die Bezeichnung „Dichterz“ oder „Derberz“ im Zusammenhang mit den vulkanogenen, pyritischen Cu/Zn-Sulfidlagerstätten bezieht sich ausschließlich auf das Gewichts- und Volumsverhältnis von Erz zu Ganggestein und ist ohne jegliche Bedeutung für die Lagebeziehung der Gemengteile des Erzkörpers.

Je nachdem, ob es sich entweder um die primär chemische oder subsequent mechanische Ablagerung der Sulfide und Gangkomponenten handelt, ist in allen Erzkörpern eine diffuse bis deutliche Bänderung bzw. Schichtung der Metallsulfide parallel zum Lagerstättenkontakt zu beobachten.

Während die Bänderung vorwiegend durch wechsellagernde Zinkblende und Pyritlagen verursacht wird, ist die Schichtung meist das Resultat mechanischer Ablagerung der klastischen Sulfide und Ganggesteine.

Die Dicke der Bänderung liegt im Zentimeter- und Dezimeter-Bereich, ohne nennenswerte laterale Ausdehnung individueller Bänder, während die Schichtung wesentlich geringere Dicke aufweist und nicht selten über die gesamte Ausdehnung der Lagerstätte aushält.

Subsequent mechanische Ablagerung trifft auch für die häufig auftretenden Brekzien- oder Agglomeraterze zu, die aus einer chaotischen Vergesellschaftung von Sulfid- und Eruptivgesteinsfragmenten bestehen.

Es ist ein weiteres Charakteristikum, daß die prätektonisch, mechanisch verlagerten Erzkörper beinahe übergangslos, aber konkordant, auf ihrem Liegenden liegen (Fig. 3), während die primär chemogenen Derberzkörper auf einer sich nach unten trichterförmig verjüngenden, diskordanten „Wurzelzone“ aufsetzen (Fig. 2). Diese Wurzelzone besteht aus stark hydrothermal veränderten, meist völlig chloritisiertem Nebengestein, das mit einem Stockwerk von anastomisierenden Quarz- und Pyrit-Gängchen durchsetzt ist (stringer ore). Der Gesamtgehalt an Sulfiden in der Wurzelzone beträgt selten mehr als 25%. Kupferkies, gewöhnlich weniger als 5%, findet sich im Pyrit im oberen Teil der Wurzelzone und nimmt mit zunehmender Tiefe ab, bis nur mehr Quarz und Pyrit vorherrschen, wobei letzterer ebenso allmählich zurücktritt, bis nur mehr Silifizierung vorherrscht.

Offensichtlich handelt es sich bei den Wurzelzonen um Abzugssysteme und in manchen Fällen nachgewiesenermaßen um echte vulkanische Schlote, durch die die erzbringenden Lösungen aufstiegen, um ihren Metallgehalt unter Reaktion mit dem Meerwasser auszuscheiden.

3. DIE ZONARE VERTEILUNG DER METALLE — PRIMÄRE TEUFENUNTERSCHIEDE

Eine außerordentlich wichtige und charakteristische Eigenschaft dieser Lagerstätten ist die vertikalzonare Verteilung bestimmter Metalle und Sulfide.

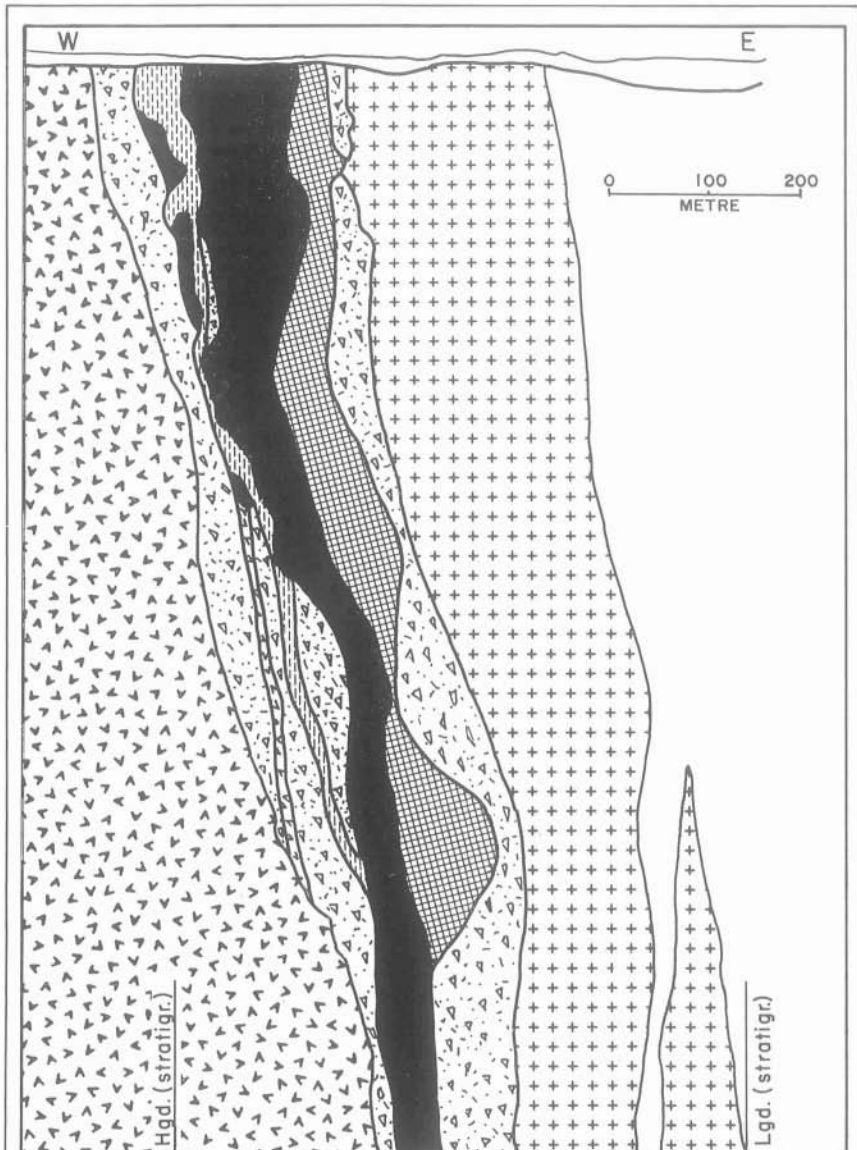


Fig. 3 - Profil durch die Kidd Creek Cu / Zn / Ag Lagerstätte (nach A. Matulich, 1974)

- | | | | | | |
|--|---|--|---------------------------------|--|---------------------------------------|
| | Andesit | | Rhyolith | | Rhyolithbrekzie |
| | Stockwerkvererzung
($\text{FeS}_2 + \text{CuFeS}_2$) | | Graphitischer
Chert-Horizont | | Derberz
(geschichtet
Klastisch) |

So verlässlich und konstant sind diese primären Teufenunterschiede, daß sie bei gestörten Lagerungsverhältnissen Aufschluß über die ursprüngliche stratigraphische Orientierung des Gesteinsverbandes geben können.

Die zonare Mineral- und Metallverteilung ist durch die beinahe gesetzmäßige Veränderung des Verhältnisses Pyrit : Kupfer : Zink + Silber in stratigraphischer Reihenfolge gegeben.

In einer typischen „primären“ Lagerstätte herrscht in der unteren Wurzelzone Pyrit (manchmal auch Pyrrhotin, sekundär aus Pyrit gebildet) mit allmählich zunehmendem Kupferkiesgehalt vor, der seinen Höchstwert gegen das Liegende des Derberzkörpers erreicht. Im unteren Teil des pyritischen Derberzkörpers herrscht Kupfer über Zink. Im mittleren Teil verschiebt sich das Verhältnis Cu : Zn zugunsten von Zink und im oberen Teil dominiert Zink. Hier tritt auch das Silber in Erscheinung, das stets mit dem Zink vergesellschaftet ist (Fig. 2).

In dieser Reihenfolge kann sich Cu : Zn + Ag wie

$$3 : 1 + 0 \rightarrow 2 : 2 + x \text{ Ag} \rightarrow 1 : 6 + n \times \text{Ag} \text{ verhalten.}$$

Die Prävalenz dieser Beziehung, die durch keine tektonischen Einflüsse gestört zu werden scheint, ist einer der Hauptparameter des syngenetischen Konzeptes dieser Lagerstätten.

Diskussion zur Genese

Die stereotype Wiederholung des selben geologischen Rahmens aller Lagerstätten des Arbeitsgebietes führte unvermeidlich zu dem konzeptuellen geologischen Modell von der vulkanogenen Beziehung der pyritischen Derberzkörper.

Offensichtlich geschieht die Förderung des metallisierenden Mediums sowie die unmittelbare Niederlage der Sulfide und der paragenetischen Silikatfazies auf hydrothermalen Basis, während einer erlöschenden oder „stillen“ vulkanischen Phase. Wenn nicht selbst, so doch vergleichbar mit der fumarolischen, speziell der solfatarischen Phase nach vorhergehender, explosiver Förderung saurer Eruptiva. Dadurch ist die Metallisation und Ablagerung der paragenetischen, nichtmetallischen Fazies in einem charakteristischen zeitstratigraphischen Intervall räumlich und zeitlich fixiert.

Geomorphologisch und stratigraphisch gesehen spielen sich diese Vorgänge in einem vulkanischen Feld am Meeresboden ab. Zersetzung von feinpyroklastischem Material, Ionenaustauschreaktionen und Verwitterung von Effusiva unter untermeerischen Bedingungen findet ohne bedeutende Zufuhr von allochthoner Fazies statt.

Mechanische Oberflächenveränderungen durch vorwiegend exogen-dynamische Vorgänge, wie Rutschungen von unverfestigtem Material an Hängen, herrschen vor.

Die Paläo-Oberfläche wird zur lithostratigraphischen Konkordanz, sobald erneute vulkanische Tätigkeit oder stärkere Sedimentation einsetzt. Bedeutende Erosion scheint sehr selten während dieser „Ruhepause“ aufzutreten und fortzudauern.

Wo saure Vulkanite vorherrschten, finden sich die entsprechenden Gesteine im Liegenden; ansonsten kann dieser Gesteinskontakt jede andere mögliche Variation aufweisen. In jedem Falle aber markiert er dasselbe, die Metallisation enthaltende zeitstratigraphische Intervall.

Für die Lokalisierung der Metallsulfide und chemogenen Silikate ist anzunehmen, daß sie als Kolloide in einem hydrothermalen Medium (FRANCK 1969, FYFE 1973) die Oberfläche erreichen und unter Reaktion mit dem kühlen Meerwasser gefällt oder ausgeflockt werden und so ein präkristallines, gelförmiges Sulfid bzw. Chertvorläuferstadium bilden. Weitverbreitete kolloforme Texturen und Gelformen in den Sulfiden, besonders in Pyritlagen, unterstützen diese Annahme.

Als Aufstiegs- und Transportwege der hydrothermalen Phasen dienen inaktive Vulkanschlote, Caldera-Randverwerfungen, Radialspalten und Entgasungszonen in rhyolithischen Stoß- oder Querkuppen.

Die Entstehung der sauren Fragmente der vulkanogenen Brekzien als umschließendes Nebengestein ist teils echt pyroklastisch (BOLDY 1968), teils durch Abplatzen bei der Abschreckung durch das Meerwasser der hochviskosen extrusiven Lavamassen (HORIKOSHI in WATANABA & HORIKOSHI 1970) zu verstehen.

Die Herkunft der Metalle wird allgemein als primär magmatisch in juvenilen Restlösungen gedeutet. Eine Alternative bietet das Modell der Metall- und Silicalaugung am älteren Nebengestein durch Thermokonvektion von Gesteins- oder Meerwasser, verursacht durch starke Isothermengradienten um und über extrusiv-intrusiven felsischen Lavamassen (ANDERSON 1969, OHMOTO 1973, FYFE 1973). Keines der beiden Modelle bietet eine Lösung zum Problem der Exklusivität des Kupfers und des Zinks, erklärt aber zufriedenstellend die Entstehung des „hydrothermalen Schlotess“ (Wurzelzone, alteration pipe) durch hydrothermal-chemische Chloritisierung (Mg-Zufuhr) des betroffenen Nebengesteins.

Entsprechend der topographischen Situation an der Austrittsöffnung des hydrothermalen Schlotess verbleiben die Sulfidvorläufer und werden kristallin in situ oder sie verlagern sich hangabwärts. Im ersten Falle präsentiert sich dann das Derberzlager in der klassischen Konfiguration der Auflage auf der Schlotessöffnung und Wurzelzone (Fig. 2) oder es ist disloziert und findet sich, meist vergesellschaftet mit ebenso allochthoner Lithofazies, entfernt von seiner Wurzelzone meist als Lagenerz (Fig. 3). Einen Sonderfall stellt die Verlagerung des schon kristallinen Erzes durch subsequekte explosive Tätigkeit dar. Die Erzkörper werden dann aus pyroklastischen Sulfiden mit pyroklastischem Ganggestein gebildet und weisen typische mechanisch-sedimentäre Strukturen und Texturen auf.

Für die Präzisierung der genetischen Klassifikation wird vorgeschlagen, die vulkanogenen pyritischen Cu/Zn-Sulfid-Derberzkörper mit den geläufigen Begriffen *autochthon*, *allochthon* zu bezeichnen, je nachdem, ob sie entweder in *Kontakt* mit ihrer Wurzelzone sind oder *disloziert* wurden.

Danksagung

Der Autor ist COMINCO Ltd. für die Erlaubnis zur Veröffentlichung dieser Arbeit zu Dank verpflichtet. In dankenswerter Weise bemühte sich Dr. W. GRÄF, Graz, um die kritische Durchsicht des Manuskripts. Besonders anregende Diskussionen zum Thema Vulkanologie und Metallogenese verdankt der Verfasser den Herren Dr. A. R. KINKEL, ehem. USGS., Prof. R. W. HUTCHINSON und Prof. F. R. S. FYFE, Universität Western Ontario, Dr. D. F. FISHER, Universität von Toronto, Dr. E. HORIKOSHI, Tokio, sowie Prof. A. GELINAS, Ecole Polytechnique, Montreal.

Literatur

- ANDERSON, C. A. (1969): Massive Sulfide Deposits and Volcanism. — *Bull. Soc. Econ. Geol.*, vol. 64, No. 2, pp. 141—142.
- BISCHOFF, J. L. & MANHEIM, F. T. (1969): Economic potential of the Red Sea heavy metal deposits. — in — *Hot brines and Recent heavy metal deposits in the Red Sea*, Springer-Verlag, N. Y., pp. 535—541.
- BOLDY, J. (1968): Geological Observations on the Delbridge Massive Sulphide Deposit. — *Transact. CIMM.*, 1968.
- BRETZEL, de P. & FOGLIORINI, F. (1971): Les gites sulfurés concordants dans l'environnement volcanique et volcano-sédimentaire. — *Min. Deposita*, 6, No. 1, pp. 65—76.
- DEGENS, E. T. & ROSS, D. A. (1959): Hot brines and Recent heavy metal deposits in the Red Sea: Springer-Verlag, N. Y., pp. 363—366.
- DESCARREAU, Jean (1972): A Lithogeochemical Crossection of the Abitibi Volcanic Belt. — Paper presented 14th. Ann. Meet. CIMM., Ottawa.
- FISHER, D. F. (1970): Origin of the No. 5 Zone, Horne Mine, Noranda Quebec. — M. Sc. thesis Univ. of Western Ontario, London, Ont., 44 p. (unveröffentl.).
- FRANCK E. v. (1969): Ions in aqueous solutions in high temperatures and pressures. — *Chim. Phys.*, vol. 66, pp. 9—18.
- FYFE, F. R. S. & HENLEY, R. W. (1973): Some Thoughts on Chemical Transport Processes, with Particular Reference to Gold. — *Miner. Sci. Eng.*, vol. 5, No. 4.
- GILMOUR, F. (1965): The origin of massive sulphide mineralization in the Noranda District, Northwestern Quebec. — *Proc. Geol. Assn. of Canada*, vol. 16, pp. 65—81.
- GOODWIN, A. M. (1962): Volcanic complexes and mineralization in Northeastern Ontario. *Can. Min. Jour.*, vol. 83, No. 4.
- HONNOREZ, J. (1969): La formation actuelle d'un gisement sousmarin de sulfures fumaroliens à Vulcano (mer tyrrhénienne) — Partie 1, Les minéraux sulfurés des tufs immergés à faible profondeur. — *Min. Deposita*, vol. 4, No. 2, pp. 114—131.
- HUTCHINSON, R. W. (1965): Genesis of Canadian massive sulphides reconsidered by comparison to Cyprus deposits. — *Trans. CIMM.*, vol. LXVIII, pp. 286—314.
- JENKS, W. F. (1971): Tectonic Transport of Massive Sulphide Deposits in Submarine Volcanic and Sedimentary Host Rocks. — *Econ. Geol.*, vol. 66, pp. 1215—1224.
- KALLIOKOSKI, J. (1965): Metamorphic Features in North American massive sulphide deposits. — *Econ. Geol.*, vol. 60, No. 3, pp. 485—505.
- KINKEL, A. R. (1966): Massive pyritic deposits related to volcanism, and possible methods of emplacement. — *Econ. Geol.*, vol. 61, pp. 673—694.
- MATULICH, A. et al. (1974): *THE ECSTALL STORY*. — The Geology Department. — *CIMM. BULL.*, vol. 67, No. 745, p. 59.
- MCDONALD, J. A. (1957): Metamorphism and its effects on sulphide assemblages. — *Min. Deposita*, vol. 2, No. 3, pp. 201—220.
- OFTEDAHL, C. A. (1958): A theory of exhalative-sedimentary ores. — *Geol. fören. i Stockholm förh.*, No. 492, Bd. 80, 1, pp. 1—19.
- OHMOTO, H. (1973): Origin of Hydrothermal Fluids Responsible for the Kuroko Deposits in Japan. — Paper given at the AIME annual meeting Chicago, 1973.
- ROSCOE, S. M. (1965): Geochemical and isotopic studies, Noranda and Matagani areas. — *Trans. CIMM.*, vol. LVIII, pp. 279—335.
- SPENCE, C. D. (1966): Volcanogenetic setting of the Vauze base metal deposit, Noranda District, Quebec. — unpublished paper presented at CIMM. Annual Meeting, Quebec.

- , (1967): The Noranda Area. — in — Guidebook, CIMM., Centennial Field Excursion, Northwestern Quebec and Northern Ontario, pp. 36—39.
- STANTON, R. L. (1959): Mineralogical features and possible mode of emplacement of the Brunswick Mining and Smelting orebodies, Gloucester County, New Brunswick: — Trans. CIMM., v. LXII, pp. 337—349.
- , (1960): General features of the conformable „pyritic“ orebodies. — Trans. CIMM., vol. LXIII, pp. 22—36.
- , (1964): Mineral interfaces in stratiform ores. — Trans. CIMM., vol. 74, pp. 45—79.
- VOKES, F. M. (1966): On the possible modes of origin of the Caledonian sulphide ore deposit at Bleikvassli, Nordland, Norway. — Econ. Geol. vol. 61, pp. 1130—1139.
- WATANABE, T. & HORIKOSHI, E. (1970): Volcanism and ore genesis. — in the volume of the same name, ed., T. TATSUMI, U. Tokyo Press, pp. 423—432.

Anschrift des Verfassers: Dr. Bernhard FREE, Cominico Ltd., 120 Adelaide St.W., Toronto, M5H 1T1, Ont., Canada.