

GEOSYNKLINALBILDUNG UND LAGERSTÄTTEN

von

O. M. FRIEDRICH (Leoben)

Es werden die in Geosynklinalen ablaufenden Vorgänge besprochen, die Lagerstätten bildend wirken können.

The processes are discussed, which are able to form mineral deposits.

Les processus formant les dépôts et gisements minéraux sont discutés.

Übersicht:

Geosynklinalräume enthalten meist viele und oft auch große Lagerstätten verschiedenster Art. Ihre Entstehung und ihre Umformungen hängen mit der Bildung der Geosynklinalen ursächlich zusammen.

Der Stoffbestand dieser Lagerstätten kann

- A.) aus dem Hinterland stammen und in der Geosynklinale angereichert werden. Die Zufuhr kann dabei
- 1.) entweder rein klastisch erfolgen, wie bei den Seifenlagerstätten. In der nächsten Gruppe bringen
 - 2.) echte oder kolloidale Lösungen die Stoffe ins Geosynklinalbecken, wo sie durch Änderungen der P-T-X Bedingungen ausfallen. Hierher gehören Eisen-, Mangan-, Aluminium (Bauxit-) und ähnliche Lagerstätten, ebenso wie viele Tone usw.
 - 3.) Schließlich können Spurenelemente des Beckens - oft unter Mithilfe von Organismen, also biogen - zu Lagerstätten angereichert werden; dies wird für Kupferschiefer, sowie für bestimmte Lagerstätten von Uran und Vanadium angenommen.

B.) Der Stoffbestand gehört dem Geosynklinalzyklus selbst zu, kann auf verschiedenste Weise chemisch

oder sehr oft unter Mitwirkung von Organismen, also biogen ausgefällt werden: Salzlagerstätten, nutzbare Kalk- oder Dolomit-, Diatomeen- (Kieselgur-) u. a. Lagerstätten, ferner Erdöl, Erdgas, auch gewisse Kohlen und vieles andere.

Die Lagerstätten dieser Gruppen sind so bekannt und allgemein verbreitet, daß Erörterungen hierüber nicht nötig sind.

C.) In sehr großen Mengen werden den Geosynklinalbecken aber Stoffe aus der Tiefe zugeführt, wie Blei, Zink, Barium, Fluor, Eisen, Mangan, Kupfer, Schwefel (Kiese) und viele andere. Diese Stoffe können aus versenkten Gesteinsmassen freigemacht (mobilisiert) worden sein, sie können aus echten oder aus palingenen Magmen stammen oder auch aus der Tiefe (Mantel) hochgedrungen sein.

Als Zufuhrwege dienen Setzungsrisse am Rande der Geosynklinalen und damit zusammenhängende Störungsbereiche, wie Ruscheln, Verwerferspalten, Auflockerungszonen usw. In den unten liegenden Schichten entstehen dabei Ganglagerstätten und metasomatische Bildungen; ein dort nicht ausgefallter Teil wird im Becken sedimentär abgeschieden.

D.) Der in große Tiefen versenkte Untergrund rekristallisiert dort (Metamorphosen in den verschiedenen Tiefenzonen). Die darin vorhandenen Metalle und anderen Stoffe werden dabei entweder "mobilisiert" und fallen höher oben wie vorstehend angedeutet wieder aus, während "robuste" Lagerstätten, wie solche des Eisens oder Mangans, aber auch Kiese, umgeprägt werden und metamorphe Lagerstätten bilden.

E.) Übersteigerte Metamorphose führt zu Migmatitbildungen, zu Granitisierung, Palingenese usw. Die zugehörigen Vorgänge können wieder Lagerstätten bilden, die sehr oft von echt primärmagmatischen nur schwierig unterscheidbar sind.

1. Einleitung

Der uralte Streit unter den Gesteinskundlern zwischen den "Plutonisten" und den "Neptunisten" verdichtete sich in unserem Fach auf die Frage, ob die Blei-Zink- (Baryt-, Fluorit-) lagerstätten der Kalkalpen hydrothermal, also gangförmig bzw. metasomatisch oder aber sedimentär zusammen mit den umgebenden Gesteinen entstanden seien. 1963 erkannte ich (9), daß beide Möglichkeiten gegeben sind. Der Schlüsselpunkt lag im Zufuhrweg und im Erzspeicher für die betreffenden Stoffe. Als Zubringer wurden für viele Fälle Setzungsrisse, also Tiefenbrüche, die weit in den Untergrund hinabreichen, erkannt.

Die aus der Tiefe zugeführten Stoffe können

1. aus der Sedimenthülle frei gemacht worden sein, teilweise unter den Bedingungen von Metamorphosen.

2. Sie können palingenen Herden entstammen, die durch übersteigerte Metamorphosen zu Pseudomagmen umgeprägt wurden.

3. Sie können echten Magmen zugehören und schließlich

4. aus großen Tiefen, etwa aus den Grenzen zwischen Sial und Sima, aus dem Übergangsbereich zwischen Kruste und Mantel stammen.

2. Zufuhrwege, Kluftbildung

Erzgänge und Gänge von technisch wichtigen Mineralien, wie beispielsweise Flußspat, Schwerspat usw. stellen auch heute noch einen wichtigen Lagerstättentyp dar, wengleich dessen Bedeutung gegenüber anderen in letzter Zeit dadurch etwas zurückgedrängt wurde, daß sich Gangvorkommen schwieriger mechanisiert, d. h. im Großbetrieb maschinell abbauen lassen.

Damit es zu einer Ganglagerstätte kommen kann, muß vorerst eine Kluft, eine Spalte vorhanden sein, die auf recht verschiedene Weise entstanden sein kann.

In Falten, Gewölben oder Antiklinalen entstehen vielfach Scheitelrisse, die auch häufig zur Erklärung von Erzgängen herangezogen werden, aber nicht günstig sind, weil sie nach der Tiefe rasch auskeilen und das Gestein darunter zusammengepreßt, dadurch abgedichtet ist. Kuppelförmig hochbrechendes Magma erzeugt im Deckgebirge ebenfalls ein Kluftsystem, vielfach germanotyper Art, teilweise aus einem Netz sich mehr oder weniger kreuzender Spalten bestehend, oder auch aus Radial- und Tangentialspalten, je nach der Tiefenlage, der Form und der Art des Hochbrechens der Magmenkuppeln und des Deckgebirges. Solche Verhältnisse sind längst hinreichend bekannt.

Nach O. AMPFERER werden Geosynklinalen ausgelöst durch Strömungen im tiefen Untergrund. Neuestens hat H. BORCHERT (3) den Motor für das Absinken eines Geosynklinaltroges noch wesentlich tiefer verlegt. In den Geosynklinaltrögen sinkt der Beckenboden gegenüber dem Vorland ab. Die üblichen Profile durch solche Tröge stellen die Verhältnisse meist sehr stark schematisiert dar, meist als stetiges Abbiegen in Art von Flexuren. Dies ist aber durch die geringe Scher- und Zugfestigkeit der Gesteine in dieser Form nicht möglich, denn es muß dabei zwangsläufig zu Scherrissen kommen, an denen das Beckeninnere gegenüber dem Vorland absinkt und es entsteht ein Bruchsystem, das ich Setzungsrisse genannt habe und das etwa einem Grabenbruch vergleichbar ist, wenn es auch durch eine grundsätzlich andere Bewegungsursache ausgelöst wird: Bei Grabenbrüchen haben wir bekanntlich das Auseinanderklaffen, das Voneinanderstreben zweier Schollenteile als Grundursache, beim geosynklinalen Absinken aber das Abströmen von Massen, einen Massenschwund. Dement-

sprechend wirkt sich bei Grabenbrüchen die geringe Zugfestigkeit der Gesteine aus, die entstehenden Spalten sind also Zerrklüfte, beim geosynklimalen Absinken hingegen vor allem deren geringe Scherfestigkeit. Da auch die Zerrklüfte, die beim Abwandern von Kontinentblöcken entstehen, durch die Kruste bis in den mobilen Unterbau hinabreichen, also echte Tiefenbrüche darstellen, können auf solchen Zerrklüften mineralisierende Lösungen aufsteigen, Metalle und andere Stoffe bringen. Münden solche Zerrspalten in Meeresbecken, so können sie in diesen eine sedimentäre, schichtgebundene Vererzung auslösen. Ich halte dies für die heißen, hydrothermalen, aber sedimentären Metallfällungen des Roten Meeres für durchaus möglich.

Beispiele für Setzungsrisse habe ich mehrfach gebracht, so in (10). Da die Scherrisse nach diesen Vorstellungen durch das Abströmen der Massen im Untergrund ausgelöst werden, reichen diese Risse auch tief hinab; SMIRNOW spricht von Tiefenbrüchen, ich halte aber den Ausdruck Setzungsrisse für zutreffender. Diese Setzungsrisse können im Streichen sehr lange anhalten, theoretisch auf die Länge der Geosynklinale. Die auffallende Häufung von Blei- und Zinklagerstätten im Drauzug vom Gailtal bis zum Ursulaberg, also einen Großteil der kärntner Pb-Zn-Lagerstätten umfassend, läßt sich gut verstehen wenn man annimmt, daß die vererzenden Lösungen aus dem Untergrund an Setzungsrisse aufsteigen, die dieser großen Narbe im Alpenbau zu Grunde liegen. Auch die vor allem von W. POLESNIG (18) aufgefundenen "Wasserwaagen" in Internsedimenten von Bleiberg sind dadurch leicht erklärlich geworden. Auch ist dadurch verständlich, daß einzelne Erzgänge, wie etwa der Mitterberger Hauptgang, kilometerweit streichen können.

In schiefrigen oder tonigen Gesteinen aber oder im plastischen Bereich der Tiefe können solche Setzungs-

risse auch zu feinen Ruschelzonen entarten. Diese lassen sich, ähnlich wie Gangschwärme bzw. -bündel ebenfalls weithin verfolgen. Aber auch sie bilden für die unter hohem Druck stehenden Lösungen den "Weg des geringsten Widerstandes" auf dem sie aufsteigen können. Die Auflockerung des Gefüges auch in solchen schieferholden Gesteinen durch den Massenschwund in der Tiefe, das durch das Abströmen im Sinne AMPFERERS bedingte Massendefizit, hält die Wegsamkeit offen. Dadurch können auch tonige oder plastische Schichten, wie etwa die Partnachsichten an diesen Stellen für die Lösungen durchlässig bleiben.

Eine solche Auflockerung in der Tiefe dieser Risse ist durch den Bergbau mehrfach schön aufgeschlossen worden, beispielsweise in den tiefen Schichten von Mieß (Kärnten), wo schöne Kokardenerze an solche locker gebauten tektonischen Breschen gebunden sind, oder auch in der Magnesitlagerstätte der Inschlagalm bei Leogang. Diese Auflockerung in großer Tiefe ist für den Vererzungsvorgang eine sehr wichtige Voraussetzung, vor allem, wenn man sie mit dem Druckbereich vergleicht, den eine so große Gangspalte wie sie in Mitterberg vorliegt, verlangen würde, wenn sie der Scheitelriß einer Falte oder Antiklinale wäre. Dieser Druck müßte die Gangspalte nach unten gegen vererzende Lösungen abdichten.

Daher unterscheiden sich die Setzungsrisse in ihrem Teufenverhalten grundsätzlich von den Zerrklüften in (h01)-Lagen und (bc)-Klüften im Scheitel einer Falte (Antiklinale). Diese Scheitelklüfte öffnen sich nach oben sehr stark, keilen andererseits in der Teufe sehr bald aus, an die Stelle der Spalte tritt im Faltenkern eine Pressungszone, die jede offene Spalte zudrückt und Lösungen jeden Aufstieg verwehrt. Solche Scheitelklüfte sind also für die Bildung großer, weithin streichender und sich in bedeutende Teufen erstreckender Erz- und Gesteinsgänge weitaus ungeeigneter, als die Setzungsrisse

in Geosynklinalgebieten, deren Wände von oben bis in große Teufen mehr oder weniger parallel hinabsetzen. Scheitelrisse in Falten werden daher vorzugsweise durch Zuwandern von Stoffen aus den Seiten, also durch Lateralsekretion gefüllt.

Nur auf Setzungsrisen und den großen Zerrklüften von Kontinentdriften kann man ein Anhalten des Erzganges bis in beträchtliche Teufen bei einigermaßen befriedigenden Mächtigkeiten erwarten, wie sie uns in den großen Erzgängen entgegen treten. Die Vererzung ist auf diesen Klüften nach unten nur durch die P- und T-Bedingungen für die Mineralausscheidung ("taube Wurzeln der Gänge") begrenzt, nicht aber durch das Ende der Spalte an sich. In den tiefsten Sohlen von Mieß sehen wir die Vererzung noch 500 m unter den Raibler Schichten, auf der Jauken 400 m über diesen. Da die Raiblerschichten vielfach als Höhenbezug angesehen werden, umfassen die Pb-Zn-Lagerstätten in diesen Triassedimenten einen Höhenbereich von mindestens 900 m.

Diese Tiefenbrüche zapfen dabei den magmatischen oder den Metamorphose erzeugenden Bereich an und ermöglichen es deren fluiden Anteilen aufzusteigen und an geeigneter Stelle ihren Gehalt an mitgeführten Stoffen ausfallen zu lassen und so die Mineral- und Erzlagerstätten zu bilden.

Zumindest zu Beginn der Geosynklinalbildung ist die Verbindung mit tief liegenden Herden durch den basischen Initialmagmatismus und den Gehalten an "basischen Elementen" bezeugt. Neben dem Hauptelement Mg sind hier fast immer Cr, Ti, P, Fe, Cu, Ni und Co zugegen, während die typisch "sauren" Elemente fehlen. Ich führe die erste Magnesiazufuhr, die unsere Spatmagnesitlagerstätten bildete, darauf zurück.

Als Beweis dafür, daß diese Tiefenbrüche magmatische Herde anschneiden, können Ganggesteine gelten,

die auf Erzgängen aufgedrungen sind. Dies hat G. HIESS-LEITNER (13) als erster erkannt und auf die Bedeutung dieses "Diabaspropylites" sowohl in Mitterberg wie auch in Tösens (Tirol) und Rabant hingewiesen und betont, daß dieser Gangdiabas in Mitterberg jünger als die ältere Erzgeneration, aber älter als die jüngere Erzabfolge sei. Er ist dort seit etwa 1948 bekannt, tritt nur im Westfeld auf und dort auch nur in der Tiefe. Diese Gesteinsgänge halten sich streng an den Bereich des Hauptganges, schneiden die alte Erzführung ab und umschließen Schollen davon. Die Schmelze war dabei vermutlich recht kühl, daher "träge", denn sie bewirkte keine Kontaktmetamorphosen, war aber vermutlich sehr wasserreich (propylitische Umsetzungen!).

Häufiger noch als magmatische Schmelzen, die auf solchen Setzungsrisen Ganggesteine bilden, werden vulkanische Lockermassen gefördert, wenn diese Klüfte solche Herde anzapfen. Sie treten uns im sedimentären Anteil als Tuffe oder Tuffite entgegen (Radnig usw.). Mehrfach ist auf Zusammenhänge zwischen Bleizinkvererzungen und vulkanischen Erscheinungen hingewiesen worden; sie werden durch diese Erkenntnisse leicht verständlich.

3. Ursprung der Stoffe der Lagerstätten

Die magmatischen Äußerungen in Form etwa der Gangdiabase werden dem "Initialen Magmatismus" (STILLE) zugeordnet. Der Vulkanismus ist in diesen Fällen bestenfalls Bringer, wenn nicht nur Begleiter der Vererzung, nicht der Metallspender, den ich für die meisten Fälle in größerer Tiefe vermute.

W. E. PETRASCHECK sprach sich zwar jüngst (17) dagegen aus, daß das Sima Stoffe für Erzlagerstätten abgebe, doch halte ich meine Gründe für hinreichend, um

trotz dieser Einwände meine Vorstellungen für zutreffend zu halten. Weltweit ist ja auch der initiale Magmatismus eindeutig basisch und von der Tiefe herzuleiten, auch der Gangdiabas von Mitterberg ist basisch.

Die den Boden des Geosynklinaltroges bildenden Gesteine, vor allem jene der Sedimenthülle, geben beim Absinken viel Wasser ab, beladen mit allerlei sonstigen Stoffen, wie Bor, Halogene, S-Verbindungen, CO₂ usw., die ihrerseits wieder Metalle lösen und auf den Klüften nach oben fördern können.

Im Verlauf des späteren Geschehens in der Geosynklinale kommt es zu Umbauerscheinungen des Geosynklinalbodens in großem Ausmaße, zu Metamorphosen, Granitisationen usw., wobei dann selbstverständlich auch Stoffe beweglich werden, die zur Mineral- und Erzlagerstättenbildung beitragen, den umgeprägten Gesteinen entstammen und nicht echten Magmen. Es ist längst hinreichend bekannt, daß bei Metamorphosen jene Stoffe zuerst beweglich (mobil) werden, die bei Magmenerstarrung als letzte fest werden. Dies habe ich in meiner Studie über die Vererzung der Ostalpen (10) klar ausgesprochen und die Lagerstätten des Gefolges der Periadriatika davon hergeleitet.

So weit im Einflußbereich der Setzungsrisse echte, juvenile Magmen vorhanden sein sollten, können auch sie angezapft werden und Stoffe abgeben. Schließlich werden aus großer Tiefe, aus der Grenze Kruste/Mantel bzw. Sial/Sima Stoffe heraufgebracht werden können (1. Magnesia-Mobilisation!).

Zeit und Dauer der Mineralisationen

Die Füllung des (alpidischen) Geosynklinaltroges mit Sedimenten vom Perm bis in die Unterkreide zeigt

an, daß das Absinken der Geosynklinale auch geologisch lange Zeit währt. Damit steht den dabei ablaufenden Vererzungsvorgängen ebenfalls diese Zeitspanne zur Verfügung. Dies läßt auch einfach verstehen, warum Erze in verschiedenen Stufen der Trias abgesetzt wurden und andererseits, eine epigenetische, an Scherzonen und Risse gebundene Vererzung manchmal an bestimmte Schichten geknüpft sein kann, wie in Bleiberg an den Horizont des "Erzkalkes" im Wettersteinkalk. Diese Bindung ist aber kein Beweis für eine deszendente oder eine mobilisierte Erzzufuhr, auch wenn dies von mancher Seite und immer wieder behauptet wird. Die lange anhaltende Vererzung läßt auch verstehen, warum in tieferen kalkigen Schichtgliedern schon metasomatische Verdrängungen ablaufen und Erzschläuche entstehen konnten, als in oberen Schichten sich sedimentäre Erzlagen abschieden.

Innerhalb der großen alpidischen Kettengebirgszüge, wie sie vom Atlas über Pyrenäen, Appennin, die Alpen, den Karpathenbogen und weiterhin bis nach Zentralasien streichen, können bei grundsätzlich gleichsinnigem Ablauf die einzelnen Vererzungsphasen in den einzelnen Trögen zeitlich etwas verschieden von anderen einsetzen. So bildeten sich die Blei-Zinklagerstätten in den Alpen in der mittleren Trias, im Atlasvorland (Bou Beker) im Lias; in den Alpen wurde Mangan vorwiegend im Jura, im Atlas erst in der Kreide ausgeschieden. In den Alpen entstanden die Spatmagnetitlagerstätten zwischen Perm und unterer Mitteltrias, in den Pyrenäen sind sie jünger als Muschelkalk und im Atlasvorland wurde bei El Heimar Malmkalk metasomatisch zu Magnetit umgesetzt. Dabei zeigt dieses Vorkommen prächtige metasomatische Verdrängungsbilder, gleich wie wir solche aus den Alpen kennen. In Spuren wurde hier bei der Metasomatose auch Bleiglanz und Realgar zugeführt.

Solche geringe Altersunterschiede dürften ver-

breiteter sein, als es heute bekannt ist. Sie sind leicht verständlich, weil die Massen im Untergrund sich nur sehr langsam verlagern und manche Stoffe vorzugsweise bei bestimmten, unter sich gleichen oder ähnlichen Zuständen abgegeben werden.

4. Arten der Abscheidung

Die Erze werden von den Setzungsrissen, den Tiefenbrüchen ausgehend, recht verschiedenartig abgeschieden. Ist das Gestein chemisch widerstandsfähig, wie es manche Sandsteine oder Schiefer sind, so wird die Mineralisation vorzugsweise in Gängen oder Gangschwärmen, in einem Adernetz oder als Sonderfall als Kokardenerz erfolgen.

Wenn aber die Erzlösungen auf leicht lösliche, beispielsweise Karbonatgesteine treffen, so lösen sie weit verbreitet Metasomatosen aus. Daß dabei vorzugsweise junge, wenig verfestigte Kalke besonders empfindlich sind, ist leicht verständlich. So erklärt es sich zwanglos, daß Karbonalkalke ganz besonders von der Magnesiame-tasomatose bevorzugt worden sind, denn sie waren zu der Zeit, in der diese einsetzte (Perm bis Anis) noch relativ jung und daher recht reaktionsfreudig.

Dies läßt auch leicht verstehen, warum bestimmte Triasschichten, wie der Erzkalk innerhalb des Wettersteinkalkes so auffallend reich epigenetisch mit Blei, Zink, Fluor, Barium usw. vererzt sein können. Denn als sich der Geosynklinaltrogl weiter mit Triassedimenten füllte, war der Erzkalk schon diagenetisch verfestigt, aber chemisch noch sehr reaktionsfreudig und konnte leicht metasomatisch verdrängt werden. Dabei entstanden die bekannten Erzschläuche, -nester und -stöcke.

Aus dem Gefüge des Metasom. läßt sich auch auf die Tiefenlage schließen, in der der Vorgang ablief: In

großer Tiefe ist das Metasom, also etwa der Magnesit oder Siderit kompakt, Drusenräume treten kaum auf; läuft aber der Vorgang in geringer Tiefe ab, ist der neu gebildete Magnesit voller Drusenräume, wie wir beim Vorkommen im Kaswassergraben sehen. Die höchste Lage hatten wohl die Kalkgerölle in der Brunnsinkbresche, die bei der Metasomatose weitgehend zu den "hohlen Geröllen" mit einer Fülle aus lockeren, sandartigen Magnesitkörnchen umgebildet wurden. Auch die Begleitminerale, wie verschiedene Sulfide und Silikate stimmen damit überein. Kürzlich wurden diese hohlen Gerölle von H.MOSTLER(1970) anders gedeutet (Verwitterung von Dolomit), doch sprechen die bis mehrere Zentimeter dicken und bis zu einem halben Meter langen Spatüderchen für die von mir vorgebrachte Deutung, wobei ein Ablauf nach MOSTLER durchaus stattgefunden haben kann.

Einen interessanten Übergang zwischen echten Gangbildungen und metasomatischen Umsetzungen kennt man vom Mitterberger Kupfererzgang: Hier sind bis einige dm mächtig werdende Lagen aus gut gerundeten, vorwiegend nuß- bis eigroßen Kalkgeröllen in den "grünen Werfener Schieferen" nahe am Erzgang metasomatisch in grobspätige Mesitin- bis Sideritknollen umgesetzt, eingebettet in den kaum metamorphen Schiefer. Sie sind auch als Zeitmarke für den Vererzungsvorgang wichtig.

Ein durch aufsteigende Erzlösungen ausgewaschener Schlot, bauwürdige Erzmugel führend, war in Zelidja bei Oujda aufgeschlossen. Die an Schwefel und Metallen reichen Lösungen vergifteten die Tierwelt des darüber befindlichen Meeres, deren Reste gaben die vielen im Schlot vorhandenen Fossilien(Fische!)und das reichliche Bitumen. Dieser Schlot beweist, daß sich Erzschläuche und -schlote in diagenetisch schon verfestigten Kalken durchaus schon zu Zeiten bilden können, in denen noch das Meer über den betreffenden Kalken vorhanden war und

sich die Erze sowohl im Schlot (Erzschlauch) wie auch sedimentär außerhalb dieses schichtig abschieden.

Das Absacken, Nachsitzen an den Scherrissen bedingt auch die immer wieder beobachtbare "Bodenunruhe" der betreffenden Geosynklinalsedimente, deren Anzeichen man auf diesen Lagerstätten immer wieder trifft. Diese Bodenunruhe läßt auch jene syndiagenetischen Breschen entstehen, wie sie von Unken, aber auch vom Jaukenkalk usw. reichlich bekannt sind, oft von mehrfachen Resedimentationen usf. begleitet.

Sie leiten ohne scharfe Grenze zu jenen Breschen über, die durch untermeerische Rutschungen, Schlammströme, "turbidity currents" usw. entstanden und in diesen Bereichen allgemein verbreitet sind. Wo nämlich diese Setzungsrisse den Meeresboden schneiden, entstehen - oft vielleicht nur geringe - Höhenunterschiede, die im kaum oder nur ganz schwach verfestigten Sediment durch Abgleiten als Trübe- oder Schlammstrom ausgeglichen oder gemildert werden. Solche kaum verfestigte Sedimente gleiten oder fließen noch viel leichter als durchnäßte Böden oder Naßschnee. Dabei entstehen jene Schlammströme, ja auch gewaltige Massen sonst kaum erklärbarer, oft Erze führender klastischer Sedimente mit allen Anzeichen untermeerischer, strandferner Bildung, Olisthostrome (11), auch Gleitdecken, Slumpings usw. Ebenso gehören die "edlen Flächen" von H. HOLLER (14) aus Bleiberg hierher, z. T. auch Resedimentationen und viele andere, oft schwierig deutbare Erscheinungen.

Beim Symposium über schichtgebundene Blei-Zinklagerstätten in Touissit und Zelidja bei Oujda in Marokko waren prächtige Aufschlüsse solcher Bildungen zu sehen, auch wenn man deren Entstehung dort noch anders zu deuten versuchte. Dieses Atlasvorland ist von späteren einengenden Orogenphasen viel weniger verändert worden als etwa die entsprechenden Gebiete der Ostalpen. Daher

sind dort die verschiedenen Erscheinungsformen einer solchen, von Setzungsrissen ausgehenden sedimentären Vererzung viel klarer erhalten geblieben. Dazu gehören nicht nur die Riff- (heute richtiger Algenbank-) vererzungen und die sandig-tonigen Ablagerungen, sondern auch Olisthostrome, Quellschläuche und vieles andere.

Das sich nach oben bis an die Oberfläche des festen Gesteins (Erdoberfläche bzw. Meeresboden der Geosynklinale) erstreckende Absacken an diesen Setzungsrissen erzeugt jene "Rinnen", auf die besonders in den Arbeiten über die sedimentären Blei-Zinklagerstätten beispielsweise von H. J. SCHNEIDER und TAUPITZ immer wieder hingewiesen wurde.

Auf den Setzungsrissen, den Erzgängen, den Erzschläuchen und metasomatischen Ausscheidungen wird aber nicht der gesamte Stoffgehalt der Hydrothermalen ausgefällt. Die Reste und die "Ablaugen" gelangen in das darüber befindliche Meer der Geosynklinale und können dort sedimentär ausgefällt werden, wie ich dies schon 1963 darlegte. Dabei ergeben sich mehrere Möglichkeiten, je nachdem, ob die Mineralbildung noch in den bodennahen Lockerschichten - allenfalls unter leichter Mitwirkung metasomatischer Vorgänge ausfallen, wie die Magnesitanteile in der Brunnsinkbresche, Eisenspäte im Präbichl-konglomerat am Polster, oder ob die Stoffe ins Meerwasser selbst gelangen, dort in mehr oder weniger geschlossenen Schichten oder Lagen ausfielen, wie in Radnig, wobei sehr häufig ein deutliches Pulsieren der Stoffzufuhr durch den schichtig-rhythmischen Wechsel der Erzlagen angezeigt wird. Gar nicht selten fallen dabei die Erze als gemischtes Sulfid-Karbonat- usw. Gel aus, wobei es zu mannigfachen diagenetischen Umsetzungen oder Entmischungen kommen kann. Nahe der Austrittsstelle von Hydrothermalen ins Meer können auch recht heiß gebildete Mineralgesellschaften durchaus sedimentär gefällt werden .

Auch können in ufernahen Sanden die Quarzkörnchen durch Metallsulfide verkittet werden, wie ich dies schon vor vielen Jahren für einen kupferführenden Perm-sandstein als wahrscheinlich ansah. Ein sehr schönes Beispiel ist auch der Bleisandstein von Zeida in Marokko. Durch Bleiglanz verkittete permotriadische Arkosen liegen hier über Granit als eine vom Untergrund durchgepauste, schichtförmige (stratiforme) Imprägnation.

Die "Grünen Werfener Schiefer von Mitterberg" lassen sich durch reduzierende Ablaugen der dortigen Gangvererzung leicht verstehen. Die vererzenden Lösungen hatten ausgesprochen reduzierende Eigenschaften, wie man daraus ersieht, daß als Gangarten Ferrokarbonate, Ankerit, Sideroplesit bis Siderit vorhanden sind und früher ausgeschiedener Eisenglanz zu Magnetit reduziert wurde. Die Kiesführung der grünen Werfener Schiefer von Mitterberg ist von J.G.HADITSCH schon vor Jahren als wichtige Zeitmarke für die dortige Kupfervererzung erkannt worden.

Jüngst wurde im Südrevier von Mitterberg, also nicht im Bereiche des Mitterberger Kupfererzerganges ein anscheinend sedimentär gebildeter Lagerstättenteil aufgefunden (21). Da diese Vererzung in älteren Schichten des Paläozoikums auftritt und nicht in den "Grünen Werfener Schichten", könnte sie zu einer alten schichtigen Kupfervererzung im Sinne von O. SCHULZ gehören, die durchaus nicht mit der Mitterberger Gangvererzung zusammenhängen braucht. Dann wäre aber zu erwarten, daß der nicht im Erzgang ausgeschiedene Kupfer- und Eisenanteil vorhanden, aber noch nicht aufgefunden ist.

Es ist durchaus möglich und sogar wahrscheinlich, daß die bei Spätvererzungen (Magnesit, Siderit, Kupfererzgänge) frei gewordenen Ca- und Mg-reichen Ablaugen die weit verbreiteten Dolomitierungen der betreffenden Triassedimente ausgelöst oder wenigstens beeinflusst haben. Allerdings würde für solche Dolomitisie-

rungen auch bloße Zufuhr von Ca und CO₂ ausreichen, denn Magnesia ist ja bekanntlich im Meerwasser in sehr großen Mengen zugegen. Meist reicht aber die CO₂-Menge nur aus, um das wenige, biologisch angereicherte Ca abzusättigen, sodaß sich das Mg in den Restlaugen der Salzabscheidung ansammelt und in die Abraumsalze geht.

Da sich entlang der Setzungsrisse der Meeresboden langsam und rhythmisch senkt, können bei entsprechenden klimatischen Bedingungen Algenbänke und Korallenriffe entstehen. Treten aus den Setzungsrisse dabei mineralische Stoffe aus wie F, Ba, Pb, Zn usw., so können diese die Lebewesen vergiften; auf und in die Algenbänke als "Erzfallen" setzen sich die betreffenden Minerale, wie Flußspat, Schwerspat, Dolomit, Ankerit, Quarz, Bleiglanz, Zinkblende, Markasit usw. Da sowohl das Absinken des Meeresbodens wie auch die Stoffzufuhren ausgesprochen rhythmisch erfolgen, können Algenbänke und Erzlagen im cm-, aber auch mm- und sogar im Meterrhythmus vielfach wechseln. Ein sehr schönes Beispiel dafür bilden die "Rifferte" der Bleizinkgruben Touissit und Zelidja/Bou Beker bei Oujda in Marokko. Hierüber liegen ja sehr eingehende Unterlagen vor.

Eine sehr typische, hierher gehörige Blei-Zink-Barytlagerstätte wurde 1971 von W. PAAR am Breithornsüdgrat in den Wernerbergen Ostgrönlands aufgefunden und bearbeitet. Von einer im Nordteil der Lagerstätte gut aufgeschlossenen Ganglagerstätte ausgehend, ergossen sich Blei-, Ba- und Zn- und etwas Cu-Lösungen in eine permische Meeresbucht. Das Bioherm wirkte dabei ausfällend, sodaß es zu einer recht ansehnlichen Baryt-Bleilagerstätte kam mit sehr auffallenden rhythmischen Absätzen (Veröffentlichung im Druck).

Zu vielen gangartigen oder metasomatischen Lagerstätten an Setzungsrisse in Geosynklinalen gibt es also zugehörige sedimentäre Lagerstätten (-teile). Weder

die Deutung dieser Lagerstätten als Gang, noch jene als metasomatische oder rein sedimentäre Bildung allein können die auftretenden Vorgänge erklären, sondern erst zusammen ergeben sie das wechselvolle Bild dieser Lagerstätten in den Geosynklinalen.

Entfernt von der Eintrittsstelle ins Meer kann der Metallgehalt so verdünnt sein, daß vereinzelt nur ganz dünne Erzlagen oder gar nur einzelne Knoten oder Knollen ausfielen, wie dies beispielsweise von der Bleiglanzbank der mitteldeutschen Trias bekannt ist.

Kieslager, Baryt-, Eisen- und Manganlagerstätten sind als "exhalativ-sedimentäre Gruppe" schon lange bekannt. Durch die Vergiftung der Kleinlebewelt in abgeschnürten Meeresbecken durch die aufdringenden Stoffe (F, S, Pb, Ba usw.) kann es im Verein mit den reduzierenden Eigenschaften der Hydrothermen in abgeschnürten Becken zu "reduzierendem Milieu" mit der bekannten Schwarzschieferbildung kommen, die ihrerseits weiter dazu beitragen kann, daß Metalle, auch solche die aus dem Hinterland etwa aus Verwitterungslösungen ins betreffende Becken gelangen, ebenfalls ausgefällt werden. Diese Möglichkeit ist neben der herkömmlichen Deutung solcher Schwarzschieferbildungen durchaus gegeben.

5. Lagerstätten der Orogenese

Das Absinken der Geosynklinale übersteigert sich schließlich derart, daß es zu großen Gleitungen einzelner Decken, zu Orogenesen mit allen ihren Begleiterscheinungen kommt. Dabei werden ältere, z. B. sedimentäre Lagerstätten metamorph umgeprägt und neue entstehen.

a.) Mg-Mobilisation aus Ultrabasiten und Basiten: Zunächst werden durch diese Bewegungen basische und

ultrabasische Magmenteile aus der Tiefe hoch geschleppt. Die Ultrabasite dringen während dieser Bewegungsphasen in die wassergesättigten Sedimente ein, nehmen Wasser auf und werden zu Serpentin umgewandelt. Sie geben aber auch Magnesia an die Umgebung ab, wobei es zu allerlei Wechselreaktionen kommt, aus denen einerseits der jüngere Spatmagnetit, andererseits die Serpentinhofgesteine hervorgehen, beispielsweise Soapstone- und verbreitet Talklagerstätten, aber auch solche von Hornblendeasbest usw. Durch sehr eingehende Grubenaufnahmen konnte am Rabenwald gezeigt werden (7), daß diese Mg-Mobilisation der Talkbildung synorogen ablief in P- und T-Bereichen, die der Epi-/Mesozone entsprechen.

Bei den Wechselreaktionen zwischen den Ultrabasiten und den wasserreichen Hüllgesteinen, die unter den Bedingungen einer epizonalen Metamorphose ablaufen, wird ein Teil der Magnesia zur Talkbildung verbraucht, ein großer Teil aber auch für die final-retrograde Metamorphose der Gesteine verfügbar. Bei dieser wird, wie F. ANGEL (1) zeigte, in eisenhaltigen Mineralien das Fe durch Mg weitgehend verdrängt. Dieses überreiche Mg-Angebot halte ich, vereint mit den großen in diesen Gesteinsfolgen verfügbaren Wassermengen neben den entsprechenden P- und T-Bedingungen für die Hauptursache dieser Umbildungen. Aus den Ultrabasiten werden dabei auch geringe Mengen an Cr, PO_4 , Ti usw. mobilisiert, die uns als Fuchsit, Chromdiopsid, Apatit, Titanit, Anatas usw. entgegentreten.

b.) Lagergänge: Die im Untergrund der Geosynklinale in die Tiefe gebrachten Massen rekristallisieren, werden teilweise auch zu palingenen Graniten, Tonaliten usw. umgeformt. Diese Massen steigen als synorogene Granite hoch und erzeugen einen Hof metamorpher Gesteine. Dabei werden wieder metallführende Lösungen mit hochgebracht, zum Teil aus den versenkten Gesteinen freige-

macht. Sie bilden, wenn sie in der Tiefe während der Orogenese abgeschieden werden, die typischen Lagergänge, also mehr oder minder in die Schieferung des Nebengesteins eingeschichtete Erze. Sie zeigen durch ihr Gefüge, daß sie syntektonisch abgeschieden worden sind unter den Bedingungen der Metamorphose des betreffenden Gebietes. Diese ist auch ein Maß für die Tiefenlage dieses Vorganges. Deshalb werden diese Lagergänge vielfach zu den metamorphen Lagerstätten gestellt, doch halte ich es für richtiger, wenigstens teilweise - also so weit nachweisbar - von Lagerstätten zu sprechen, die auf Bewegungsflächen unter den P- und T-Bedingungen einer Metamorphose gebildet worden, also nicht nur passiv umkristallisiert sind. E. CLAR hat sich in (4) eingehend damit auseinandergesetzt.

Das schönste, mir bekannte Beispiel für eine Lagerstättenbildung auf Überschiebungsbahnen unter den Bedingungen einer erststufigen Metamorphose stellen die Talklagerstätten des Rabenwaldes dar. (7). Die von der liegenden und der überfahrenden Decke abgescherten Teile, vom feinsten Zerreibsel bis zu viele Meter große Schollen sind als "tektonische Gerölle", "Knödel", "Walzen" in die Talkmasse eingeknetet, diese selbst ist wild verfalltet, gestaucht, bald angeschopt, dann wieder ausgequetscht worden. Es wäre jedem Tektoniker zu wünschen, eine solche Überschiebungsbahn sehen zu können. Wenn diese Möglichkeit einer Mineralisation geleugnet wird, zeigt dies nur die Unkenntnis des Betreffenden.

Auch die Eisenerzlagerstätten von Innerkrems nach Turrach sind an eine ausgesprochene Überschiebungsbahn gebunden, davon kann man sich leicht am Steinbachtal überzeugen.

Es ist aber auch möglich, daß ursprünglich sedimentäre Lagerstätten durch die anderen Festigkeitsverhältnisse der Erzlager bei der Tektonik zu Bewegungs-

flächen werden und dabei metamorphes Gefüge aufgeprägt erhielten. In manchen Fällen kann etwa eine Bindung an bestimmte Gesteinslagen, wie Serizitquarzite, Hinweise auf eine ursprünglich schichtgebundene Lagerstätte geben.

Daß große Deckenüberschiebungen die Vererzung ursächlich beeinflussen, sieht man deutlich an den Lagerstätten um das Engadiner Fenster. Ihr Gefüge weist auf synorogene Bildung.

c.) Mobilisation an älteren Lagerstätten: Erzlagerstätten, die mit ihren Nebengesteinen in Bereiche metamorpher Umprägungen gelangen, können aber auch ohne starke Durchbewegungen mobilisiert werden, wobei das ursprüngliche Gefüge, etwa der Lagenbau schichtiger Bildungen teilweise erhalten bleiben kann. Unmittelbar daneben kann es aber zu pegmatoiden Umformungen sowie zu ausgedehnten Zufuhren kommen und dadurch die Erkennung der Genese sehr erschwert sein. Dies trifft höchstwahrscheinlich für die Goldlagerstätten des Typus Schellgaden zu: Schichtparallele Quarzlagen mit Scheelit, Pyrit, Kupferkies, Magnetkies zeigen Übergänge zu pegmatitischen Anschoppungen mit viel Scheelit, Albit, Ankerit und sind mit den Tauernhüllgesteinen metamorph verschweißt (6).

Vor 40 Jahren hatte ich diese Lagerstätten als eigenen Typus erkannt, von den Tauerngoldgängen abgetrennt und gezeigt, wie eine schichtige Erzführung plötzlich in Gangquarzmugel, oft große Turmalinsonnen enthaltend, übergeht, wie andererseits die Schiefer durch die Gangquarzmassen aufgespalten werden, wobei Sulfide sich an die Glimmerlagen ansetzen.

In der Zusammenfassung betonte ich: "Tatsächlich erwecken einige Vorkommen, besonders jenes im Radlgraben durch die bänderige Anordnung der Erze, durch ihre flache, fast söhlige Lagerung und der kondordanten

Einschaltung in die Nebengesteine sehr lebhaft den Eindruck einer syngenetischen Quarzlagermasse."

Inzwischen ist von MAUCHER und HÖLL gezeigt worden, daß Scheelit führende Quarzite sedimentär angelegt sein können und weit verbreitet sind. Auch im Stübelbau zu Schellgaden kommen solche Lagen vor und es ist möglich, daß die mächtigen, an pegmatoide Ausweitungen gebundenen, bis kopfgroßen Scheelite des Südfeldes daraus mobilisiert sein können, daß also Mobilisationen hier in wesentlichem Umfange stattgefunden haben.

Die von mir eingehend behandelten Aufspaltungen des Nebengesteins mit dem Eindringen von Kupferkies, Zinkblende, Turmalin, Albit und vielen anderen Mineralien sprechen wohl dafür, daß sehr bedeutende Anteile der Lagerstättenmasse vom Zentralgneis zugebracht sind, zumal ja das Nebengestein tauernmetamorph ist, wie die geologischen Aufnahmen von Ch. EXNER zeigen.

Es kann daher Schellgaden als Musterbeispiel dafür gelten, daß trotz Metamorphose und weitgehender Stoffzufuhr im Gefolge der Zentralgneisintrusion der ursprüngliche Charakter der sedimentären Lagerstättenteile erhalten bleiben und schon früh (1935!) erkannt werden konnte.

d.) Metamorphe Lagerstätten: Die im Untergrund der Geosynklinale vorhandenen (alten) Lagerstätten werden in der Tiefe gemeinsam mit den Gesteinen umgeprägt, metamorph. Dabei können Stoffe in wesentlichen Mengen ab(weniger zu-)geführt werden und treten an anderer Stelle wieder auf. Wie bei den Gesteinen lassen sich auch hier verschiedene Stufen der Umprägung unterscheiden. Auch sieht man mehrfach, daß die Erze kristallisationsfördernd, gewissermaßen wie Kristallisatoren wirkten, daß also der unmittelbare Erzbereich größer kristallisiert sein kann, als davon entferntere Gesteinsbereiche (Rammingstein, Schneeberg i. T.).

In metamorphem Kleide treten uns einerseits "robuste" Lagerstätten entgegen, mit Hämatit, Magnetit, Manganerzen, manchmal aus den entsprechenden Hydraten (Limonit) hervorgegangen. Es können aber auch Sulfidlagerstätten in den metamorphen Zustand übergehen ("Kieslager"), dies vor allem dann, wenn sie "trocken" rekristallisieren, d. h. wenn kein Herd benachbart ist, der viel Wasser oder Restlaugen abgibt. Zu erwähnen sind hier aber auch jene Lagerstätten, die unter den Bedingungen einer Metamorphose entstanden sind, wie beispielsweise die Talklagerstätten.

e.) Regenerierte Lagerstätten: Wie bei der Metamorphose von Gesteinen ist auch bei Lagerstätten zu erwarten, daß der Stoffbestand von Lagerstätten in solchen abgesunkenen Krustenteilen ebenfalls leicht umgeformt, verfrachtet und an anderer Stelle (meist höher oben) wieder abgesetzt wird. H. SCHNEIDERHÖHN hat diesen Gedanken zuerst ausgesprochen (20) und vertreten. Er mag für viele alte Lagerstätten zutreffen und für solche, die während der Orogenese und später entstanden sind, also vor allem für die Lagerstätten der syntektonischen und der subsequenter Vererzung. Der Nachweis aber, daß eine Lagerstätte so entstanden ist, läßt sich kaum erbringen, weil die Gesteine und noch viel leichter die Erze dabei völlig umgebaut werden und nicht einmal radiometrische Altersbestimmungen zutreffende Werte geben. Höchstens können durch verarmte Mineralgesellschaften, durch Relikte, Elementspuren, Isotope oder ähnliche Erscheinungen indirekte Hinweise aufgefunden werden. Da aber zu den mobilisierten Stoffen noch neue aus der Tiefe hinzutreten können, erhöhen sich die Schwierigkeiten beträchtlich. Gleich schwierig lassen sich derartige Behauptungen, wie sie in letzter Zeit mehrfach aufgestellt werden sind widerlegen.

Von diesen von Tiefenbereichen ausgehenden Um-

lagerungen sind jene abzutrennen, die z. B. schichtige Bleizinklagerstättenanteile zu den Erzschläuchen, -stöcken umlagern sollen. Solche Umlagerungen werden zwar vielfach behauptet, aber nicht irgendwie belegt. Sie dienen den "unitaristischen Sedimentaristen" dazu, diese Lagerstättenformen zu erklären, weil sie diese nicht als Zufuhrwege anerkennen. In kleinem Ausmaß können solche Umlagerungen wohl stattfinden, die großen Erzstöcke etwa von Raibl oder Bleiberg so zu deuten, halte ich für abwegig. Selbstverständlich sind die Umlagerungen der Oxydations- und der Zementationszone hierbei nicht gemeint.

H. SCHNEIDERHÖHN hatte darauf hingewiesen, daß Lagerstätten der Tiefe durch Umlagerungen nach oben verlegt, dort als "durchgepauste" Lagerstätten wieder auftreten können. In orogenetisch stark verformten Geosynklinalen, wie eine solche in den Ostalpen vorliegt, halte ich es für sehr unwahrscheinlich, daß sich solche durchgepauste Lagerstätten finden lassen, weil der Deckenbau die höher liegenden Lagerstätten längst von ihren "Wurzeln" als den Matrizen der Pause entfernt hat. In weniger orogenetisch beanspruchten Geosynklinalen mag dies aber möglich sein, wie Zeida (Marokko) zeigt.

Mit Umlagerungen alter, variskischer Lagerstätten der Slowakei durch alpidische Metamorphosen befassten sich neuerdings ILAVKSY und NOVAK (15). Derartige Vorgänge dürften in jungen Kettengebirgen, also den "alpidischen" unseres Sprachgebrauches, auch in den Alpen selbst mehrfach abgelaufen sein und sich bei eingehender Bearbeitung größerer Gebiete erkennen lassen. Erst, wenn diese Fragen geklärt sein werden hat es einen Sinn, von metallogenetischen Epochen und dergleichen zu sprechen. In der Slowakei (15) oder in Rumänien (16) hat man schon viel mehr erarbeitet, als dies in den Alpen bisher möglich war.

6. Abfolgen, Stoffherleitungen

Die Quellen, von denen die in geosynklinalen Lagerstätten vorhandenen Stoffe letzten Endes stammen, sind noch weitgehend unbekannt oder umstritten. Das gilt vor allem für jene alten Lagerstättenteile, die vor dem initialen Magmatismus vorhanden waren und durch die Ereignisse der Geosynklinale weitgehend umgeformt worden sind. Für die alpidische Geosynklinale habe ich versucht (10), den Inhalt der Lagerstätten den einzelnen magmatischen Ereignissen zuzuordnen, darauf sei verwiesen. Ähnliches gilt wohl auch für andere Geosynklinalen, selbstverständlich mit jeweils eigenen Zügen.

Ich habe bewußt offen gelassen, ob und wie weit die Metalle der Geosynklinal-Lagerstätten tiefen Schichten der Erdkruste oder dem Boden der Geosynklinale entstammen, bei den metamorphen Vorgängen frei gemacht und an anderer Stelle wieder abgesetzt wurden, oder der Mantel als Metallspender anzusehen ist. Wahrscheinlich wirken beide Vorgänge mit, denn die mobilisierten Erze sprechen für die eine Möglichkeit, während die Spatmagnesite m. E. eher aus dem Mantel herzuleiten sind. Ob dies auch für die "Kieslager" gilt, die oft von Grünschiefern begleitet werden, ist möglich, aber noch nicht bewiesen. Ein großer Teil dürfte beiden Quellen entstammen, in der Form, das 1. Magmen durch ihren Wärmeverrat in den Sedimenten Metalle frei machen und diese mit den magmatischen Reststoffen gemeinsam wandern. Oder 2. daß bei einem mobilisierten Stoffbestand weitere Stoffe aus dem Mantel dazu treten, wobei beide auf den gleichen Aufstiegswegen hoch wanderten. Dies könnte etwa für den Mitterberger Gang mit seinen beträchtlichen Gehalten an Mg, Fe, Ni, und P der Fall sein. W. E. PETRASCHECK (17) hat sich mit solchen Fragen beschäftigt.

Sehr eingehend hat sich W. J. SMIRNOW (19) mit

solchen Herleitungen befaßt und darauf hingewiesen, daß sich häufig bestimmte Metalle vererben, wenn ein Gebiet nacheinander von mehreren Geosynklinalzyklen erfaßt wird. Dies spricht sehr für ein jeweiliges Beweglichwerden und Wiederausfallen eines einmal vorhandenen Metallinhaltes.

Wie vorstehend ausgeführt, sind viele Lagerstätten ursächlich an die Geosynklinale gebunden. Erst seitdem deren Werden einigermaßen bekannt ist, können die Zusammenhänge von Lagerstätten mit dem Großraum verstanden werden. Ähnlich, wie die Alpen im Bau der großen Kettengebirge eine Sonderstellung einnehmen, sind auch die alpinen Lagerstätten sehr verwickelt entstanden und gebaut; dies behindert den Hergbau oft sehr. Immerhin werden die in den Alpen gesammelten Erfahrungen sich für einfacher gebaute Geosynklinalen als nutzbringend erweisen, denn in den Grundzügen wiederholt sich der Bau von so großen Einheiten, wie es die Geosynklinalen sind, immer wieder in seinen Grundzügen.

Es ist selbstverständlich, daß sich der Charakter der vererzenden Lösungen in den langen Zeiten des geosynklinalen Geschehens wesentlich ändern kann. Zunächst sind, dem basischen initialen Magmatismus entsprechend, sehr Mg-reiche Lösungen aufgedrungen, die die Magnesia-Metasomatose unserer Spatmagnesitlagerstätten auslöste. Allmählich nimmt der Eisengehalt dieser Lösungen zu, sodaß eisenhaltige Magnesite, später Breunnerit, Mesitin gebildet werden. Wie verschiedene Lagerstätten zeigen, tritt dabei schon etwas Kupfer in den Lösungen auf, das dann in den Kupferkiesgängen von Mitterberg vorherrscht, wobei als Gangart schon Pistomesit entsteht, der dann zu den "Siderit"-Lagerstätten überleitet, in denen ebenfalls Pistomesit und Sideroplesit gegenüber Siderit vielfach vorherrschen.

In den späteren Abfolgen treten mit den eisenreichen Karbonaten teilweise störende Blei- und Zinkge-

halte auf (Teltschen), die zu den Blei-Zinklagerstätten überleiten, die in der Mitteltrias entstanden.

Dadurch ergeben sich die großen Altersfolgen in den verschiedenen Lagerstättengruppen solcher Geosynklinalegebiete. In den Ostalpen ist es die Folge Spatmagnetit, Kupfererzgänge, Eisenspat, Blei-Zinkerze, Mangan, als Bildung des ruhigen Geosynkinalstadiums. Sie werden überlagert von Lagerstättenbildungen der Bewegungsphasen (synorogener Magmatismus) mit ihren vielfach mobilisierten Inhalten und enden mit den letzten Äußerungen des finalen Magmatismus (Kluftminerale).

Deshalb ist es für die jüngeren Abfolgen, angefangen von den Blei-Zinkerzen bis zu den jüngsten, nachtektonischen Golderzgängen schwierig, sie sicher den einzelnen magmatischen Ereignissen zuzuordnen. Geochemisch zeigen diese vielfach einen Mischtyp aus basischen, dem Sima entstammenden Anteilen und sauren, durch Granitisation der Sialkruste mobilisierten Stoffen.

Aber auch kleine Änderungen im Stoffbestand lassen sich immer wieder feststellen. Sie erzeugen die verschiedenen "Erzgenerationen" wie sie schon seit langem von vielen Gängen bekannt sind. Zwischen solchen Generationen kann, wie in Mitterberg, auch Gesteinsschmelze aufdringen, Ganggesteine, wie den "Gangdiabas" bildend. Schließlich endet die ganze Mineralisation mit tauben Mineralklüften, den alpinen Zerrkluftmineralien entsprechend.

Abbildungen der Belege für die hier kurz zusammengefaßten Angaben finden sich in verschiedenen Aufsätzen des Verfassers, sodaß hier darauf verzichtet werden kann, sie neuerdings zu bringen. Ich verweise vor allem auf die Nummern 6 bis 10 des nachfolgenden Schriftenverzeichnisses.

Der Aufsatz gibt im wesentlichen einen Vortrag wieder, der auf der Tagung der Geologischen Vereinigung am 3.3.1973 in Salzburg gehalten worden war.

Schrifttum

- (1) ANGEL, Fr.: Retrograde Metamorphose und Diaphthoresis. - N. Jb. Min. Abh. 102, 1965 : 123 - 176.
- (2) BEMMELEN, R. W. van -- J. E. MEULENKAMP: Beiträge zur Geologie des Drauzuges. - Jb. Geol. BA.Wien, 108, 1965 : 213 - 268.
- (3) BORCHERT, H.: Zusammenhänge zwischen Lagerstättenbildung, Magmatismus und Geotektonik. - Geol. Rdsch. 50, 1961 : 131 - 165.
- (4) CLAR, E. : Ostalpine Vererzung und Metamorphose. - Verh. Geol. BA. Wien, 1945 : 29 - 37.
- (5) EMERY K. O. -- J. M HUNT -- E. E. HAYS: Summary of hot brines and heavy metal deposits in the Red Sea. Wood Hole Oceanographic Inst. Contrib. 2203, 1971.

- (6) FRIEDRICH, O.M.: -- K.MATZ:Der Stübelbau zu Schellgaden. - Bg.hm.Moh.,87, 1939 : 34 - 39.
- (7) - : Die Talklagerstätten des Rabenwaldes, Oststeiermark, - Bg. hm. Moh. (Leoben), 92, 1947 : 66 - 85.
- (8) - : Die Lagerstätten der Kreuzeckgruppe. - Archiv Lagerstättenforschung i.d.Ostalpen, Leoben, 1,1963 : 1 - 220.
- (9) - : Zur Genesis der Blei- und Zinklagerstätten in den Ostalpen. - N. Jb. Min. Mh., 1964: 33 - 49.
- (10) - : Die Vererzung der Ostalpen, gesehen als Glied des Gebirgsbaues.- Archiv Lagerstättenforschung i. d. Ostalpen. 8, 1968 : 1 - 136.
- (11) GÖRLER, K. -- K. J. REUTER: Entstehung und Merkmale der Olisthostrome. - Geol. Rdsch.,57, 1968 : 484 - 513.
- (12) HADITSCH, J. G.: Die Cu - Ag - Lagerstätte Seekar (Salzburg). - Archiv Lagerstättenforschung i. d. Ostalpen (Leoben), 2, 1964: 76 - 120.
- (13) HIESSLEITNER, G.: Ostalpine Erzmineralisation in Begleitung von vor- und zwischenmineralisatorisch eingedrungenen Eruptivgestein. - Erzmetall 6, 1954 :321 - 330.
- (14) HOLLER, H.: Die Tektonik der Hleiberger Lagerstätten. - Car. II. 1936, 7. Sonderheft : 1 - 82.
- (15) ILAVSKY, J. -- Fr. NOVAK: Processus de régénération métallogénétique d'age alpin dans les Monts Métallifères du pis et du Gemer. - Trav. Lab. Geol. Grenoble, 38,1962: 119 - 229.

- (16) KRÄUTER, H. und Mitarbeiter : Atlas géologique. Carte des substances minérales utiles. Inst. Géol. Bucarest 1969.
- (17) PETRASCHECK, W. E.: Ore Metals From The Crust Or Mantle. - Econ. Geol., 64, 1969 : 576-578.
- (18) POLESNIG, W.: Studien der Erzstrukturen in der Grube Bleiberg-Kreuth. - Leoben 1965, Kurzauszug im Archiv f. Lagerstättenforschung i. d. Ostalpen, 2, 1969 : 73 - 106.
- (19) SMIRNOW W.L.: Probleme der Metallgenese von Geosynklinalen. - Zt. angew. Geol. 8, 1962, 351 - 357.
- (20) SCHNEIDERHÖHN, H.: Genetische Lagerstättengliederung auf geotektonischer Grundlage. - N. Jb. Min. Mh., 1952 : 47 - 89.
- (21) WEBER, L. und Mitautoren: Zur Mitterberger Kupfervererzung im Südevier (Arthurstollen). Mitt. Geol. Ges. Wien, 64, 1971:209-218.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Ing. O. M. FRIEDRICH, Institut für Mineralogie und Gesteinskunde, Montanistische Hochschule, 8700 Leoben.