

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
Band: 39 (1959)
Heft: 1-2

Artikel: Syngenese und Epigenese in Petrographie und Lagerstättenkunde
Autor: Amstutz, G.C.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-30386>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Syngeneses und Epigenese in Petrographie und Lagerstättenkunde¹⁾

Von *G. C. Amstutz* (Rolla, Missouri, USA)²⁾

Summary

Many vital problems of rocks and mineral deposits are presently linked to criteria for syngenetic or for epigenetic origin. Two opposite schools of thought teaching these two different modes of origin have developed with regard to the origin of such major groups of ore deposits as the Mississippi Valley type, the red-bed copper and uranium type, the native coppers in lavas, the Blind River or Witwatersrand type, the porphyry copper, porphyry molybdenum or porphyry iron type, the Lake Superior iron and the Kiruna iron type, the Bushveld type, etc. It is significant that the same two patterns of thought have developed largely independently in the discussion on the origin of granites, spilites, cherts, dolomites, oil deposits, the origin of the continents, the moon craters, etc.

The syngenetic and epigenetic theories or patterns of thought are illustrated and discussed on the basis of the following groups of phenomena:

- A. Sedimentary rocks and ore deposits in them.
- B. Intrusive rocks and ore deposits in them.
- C. Extrusive rocks and ore deposits in them.
- D. Extra-terrestrial and tectonic phenomena.

A comparison of genetic criteria used in discussions on these rocks and mineral deposits and of the two patterns of reasoning showed that the subdivision into a magmatic and a metasomatic or diffusionist school is less significant and basic than is the subdivision into epigenetic and syngenetic patterns of thought. These patterns can also be found in other sciences and in all other domains of human spirit. Light is thrown on the nature and role of these and other patterns, and it is shown that their recognition and analysis will eliminate old dogmatic misunderstandings and misinterpretations.

¹⁾ Die vorliegende Arbeit ist ein erweiterter Zusammenzug zweier Vorträge, gehalten in Zürich und in Heidelberg im August 1958.

²⁾ University of Missouri, School of Mines and Metallurgy, Rolla, Missouri, USA.

Zusammenfassung

Es wird versucht, anhand zahlreicher Beispiele genetischer Probleme der Petrographie und Lagerstättenkunde einen vorläufigen Überblick zu gewinnen über die zur Zeit herrschenden Lehrmeinungen. Es geschieht dies im Bestreben, eine ganzheitliche Betrachtungsweise zu gewinnen, was zur Notwendigkeit führt, aus dem engen Kreise des eigentlichen Fachgebietes etwas herauszutreten und die Theorien, die Erkenntnismethoden und Denkbahnen wie auch die unbewussten Wurzeln unseres geologischen Weltbildes selbst zum Gegenstande der Untersuchung zu machen.

Der zuletzt genannte Schritt ist kaum begonnen in dieser Arbeit und wird vor allem gründliche Kenntnisse der Geschichte der geologischen Wissenschaften voraussetzen.

Es wird die Auffassung vertreten, dass zwar die Erforschung des geologischen Phänomens nach wie vor im Zentrum stehen muss, dass zwar unser Messen und Beobachten weitgehend objektiv sein mag, nicht aber unser Interpretieren.

Wir legen Bilder in unsere Theorien hinein, welche mit logischem, intellektuellem Arbeiten nichts zu tun haben und sind von diesen Bildern oft besessen. Es scheint festzustehen, dass wir in vielen Hinsichten heute nicht mehr weiterkommen, nicht zur objektiveren Wahrheit durchdringen, wenn wir nicht zugleich auch jene Bilder, die wir in die Messungen und Beobachtungen hineinsehen, zu verstehen versuchen.

Inhalt

1. Begriffsumgrenzung	3
2. Beispiele von Lagerstätten- und Gesteinsgruppen	10
A. Sedimente und Lagerstätten in Sedimenten	12
a) Kupferschiefer-Typ	12
b) Uranlagerstätten vom Colorado-Plateau-Typ	14
c) Pyrit-Uran- und Pyrit-Uran-Gold-Lagerstätten vom Typ Blind River und Witwatersrand	17
d) Vanadium in Schichtsedimenten (Mina-Ragra-Typ)	19
e) Kies- und Schwefellagerstätten vom Typus Meggen bis Nairne bis Kuroko-Erze	20
f) Die Lagerstättengruppe vom Typus Rammelsberg, Rhodesia und Katanga, Broken Hill, West-Tasmanien, Mt. Isa, Bathurst, Maubach-Mechernich, Ducktown-Mascot Jefferson City etc., mit Anmerkungen über Franklin, New Jersey	22
g) Der Mississippi-Valley-Bleiberg-Schlesien-Typ	26
h) Die meist präkambrischen Eisenerzlagerstätten vom Typus Lake Superior, Cerro Bolivar, Labrador, Itabira etc.	35
i) Das Hornsteinproblem („the chert problem“)	35
k) Karbonatische Gesteine und Lagerstätten	36
l) Autigene und allothigene Gesteinsbestandteile	40
m) Fossil-Füllungen („replaced or mineralized fossils“)	41
n) Die Genese der Öllagerstätten, Teersande etc.	42

B. Intrusive Gesteine und darin vorgefundene Lagerstätten	45
a) Das Granitproblem	45
b) Die ultrabasischen Gesteine und ihre Lagerstätten	47
c) Die „disseminated copper, iron, molybdenum deposits“	48
d) Vom Ursprung hypogener Erzlösungen	49
C. Extrusive Gesteine und darin auftretende Lagerstätten	51
a) Die propylitischen Lagerstätten	51
b) Spilitische und keratophyrische Gesteine und Lagerstätten	51
c) Die (meist präkambrischen) Goldlagerstätten in basischen Laven, Tuffen und vergesellschafteten Sedimenten.	58
D. Tektonische und extraterrestrische Phänomene	59
3. Die erneute Fragestellung	62
4. Schlussbemerkungen: Rückblick und Ausblick	68
5. Ausgewählte Literaturangaben	73

1. Begriffsumgrenzungen

MOTTO: „Die Absicht der Forschung besteht ja nicht darin, sich im Besitz der alleinrichtigen Theorie zu wähnen, sondern durch Bezweiflung aller Theorien der Wahrheit allmählich näherzukommen.“

(C. G. Jung, Welt der Psyche, 1954, S. 32.)

Die Begriffe syngenetisch und epigenetisch bezeichnen eine Altersrelation zwischen einem Mineral, einer Mineralgruppe, einer Struktur, Textur etc. und dem Gastgestein. Syngenetische Gesteinspartien oder Mineralien — Erzlagerstätten sind ja nur Gesteine spezieller Zusammensetzung, meist angereichert an einem oder mehrerer abbauwürdiger Minerale — werden hier jene genannt, die gleichzeitig mit ihrem Gastgestein entstanden sind. Unter gleichzeitig sind die Bildungsphasen zu verstehen, welche sich durch gleiche Bildungsbedingungen und annähernd gleiche Bildungszeit auszeichnen. Dabei beschränken wir uns einstweilen auf die eigentliche Bildung eines Festgesteins und schliessen vorläufig metamorphe Umbildungen aus.

Für Sedimente umfasst die Syngenese somit die Sedimentation, die Verfestigung oder Diagenese und unter anderem auch frühe Brekzienbildung oder Erosion und Wiederverfestigung durch unmittelbar darüberliegende Lockersedimente. Bei den zuletzt genannten Vorgängen handelt es sich um Übergangstypen, welche von verschiedenen Autoren, zum Beispiel neulich von PANTIN (1958) schon als epigenetisch bezeichnet werden. Für Betrachtungen der gesamten Lagerstätte werden sie jedoch

besser noch zu der syngenetischen Zeitspanne gezählt. Für Eruptivgesteine heißt syngenetische Bildung Entstehung eines Gesteins oder Minerals aus demselben Magma oder Migma wie das Gastgestein und während eines bestimmten abgrenzbaren Erstarrungsvorgangs. Comagmatische oder co-migmatische Nachschübe sind, streng genommen, schon Übergänge zu epigenetischer Bildungsweise und werden auch oft epigenetische Merkmale aufweisen. Grössere Umlagerungen sind ebenfalls als Übergänge zu epigenetischer Natur zu betrachten. Vielleicht lässt sich der Begriff der Syngenese und Epigenese auch auf metamorphe Vorgänge und Gesteine anwenden, wobei man vorsichtig sein muß und den Begriff Epigenese nicht automatisch dem Begriff Stoffzufuhr gleichsetzen, sondern diese beiden Termini trennen und einzeln definieren sollte.

Epigenetische Bildung bezeichnet das Gegenteil: Sie umfasst alle jene Prozesse, bei denen eine Umwandlung mit oder ohne Stoffzu- und/oder -wegfuhr nachzuweisen ist, und zwar zu einer deutlich verschiedenen Bildungsperiode, also epi- oder metachron.

Dass es Übergänge und Grenzfälle gibt, wird sogleich klar, wenn man versucht, die Begriffe Neosom und Paläosom auf syngenetische und epigenetische Vorgänge anzuwenden. Es gibt offensichtlich auch ein syngenetisches Neosom, zum Beispiel bei Stoffumsätzen, die während der Diagenese stattfinden. Es ist jedoch nicht einzusehen, warum man sich über diese Grenzfälle streiten soll. Solange man in Grenzfällen den genauen Sachverhalt angibt, kommen keine Missverständnisse vor, und eine allzu starre Begriffsabgrenzung wird überflüssig.

Es ist in diesem Sinne durchaus zu begrüßen, wenn zum Beispiel PANTIN (1958, S. 368—369) zuerst einmal definiert, wo er die Grenze zieht zwischen syngenetisch, diagenetisch und epigenetisch. Es erweist sich allerdings für unsere Zwecke wie gesagt als vorteilhafter, diagenetische Vorgänge noch in die Syngenese einzuschliessen, und zwar auch submarine Brekzienbildung und wiederholte Zementierung, denn solche Vorgänge geschehen noch innerhalb eines eigentlichen Bildungszyklus. Wir gehen somit mit der Definition von TARR (1921) und WEEKS (1957) einig.

Eine eingehende Literaturstudie über die Entwicklung der Definitionen von syngenetisch oder Syngenese und epigenetisch oder Epigenese muss hier unterbleiben. Es sollte vielleicht immerhin darauf hingewiesen werden, dass auch andere Ausdrücke in Gebrauch sind. RICHARDSON (1921) beispielsweise brauchte „contemporaneous“, „pene-contemporaneous“ und „subsequent“, wo er die Bildungszeit von Konkretionen bespricht. — Im Einzelfalle genügen die allgemeinen Definitionen von

LINDGREN, HOLMES oder JOHANNSEN oft nicht, was diesen Autoren durchaus bewusst war, wie ihre Anwendungen zeigen.

Während nun der zeitliche Verlauf durch die kurz umschriebenen Begriffe Syngenesese und Epigenese bezeichnet wird, lassen sich die räumlichen Beziehungen durch das Begriffspaar allothigen und autigen beschreiben. Autigen werden jene Bestandteile genannt, die an Ort und Stelle entstanden sind, allothigen jene Teile, welche als Festbestandteile von aussen eingewandert sind. Diese beiden Begriffe sind somit bedeutend enger als „syngenetisch“ und „epigenetisch“, da sie einen bestimmten physikalisch-chemischen Zustand voraussetzen. Um alle Möglichkeiten einer räumlichen Herkunft zu beschreiben, müssen wir oft zu Umschreibungen greifen, besonders dort, wo es sich um syngenetisch oder epigenetisch eingewanderte Lösungen oder Gase handelt.

„Die Herstellung der geologischen Geschichte“ ist nun aber nicht nur „eine Art Zusammenspiel in Zeit und Raum“. Wenn wir auf der Raum-Zeit-Ebene hantieren ohne zu beachten, welche Gesetze sonst noch die Existenz, das So-und-nicht-anders-Sein der geologischen Körper bestimmt, sind wir Herumirrende und verlieren auch wichtige Kriterien für die Standortsbestimmung auf der Zeit-Raum-Ebene selbst. Wir müssen wenigstens noch eine dritte Komponente, eine dritte Achse im System berücksichtigen: die mineralogisch-chemische Variabilität und damit die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Systems. Eine dreiachsige, dreidimensionale Darstellung des geologischen Geschehens, worin Raum, Zeit und physikalisch-chemischer Zustand und Zusammensetzung die drei Parameter sind, dürfte wesentlich zur Klärung genetischer Begriffe beitragen.

Es ist notwendig, sich Rechenschaft zu geben, auf welcher Ebene und in welcher Richtung man sich bewegt in diesem genetischen Koordinatensystem. Es steht wohl fest, dass die meisten genetischen Fehlschlüsse ganz einfach „Koordinatenverwechslungen“ sind, das heisst, dass beispielsweise ein räumliches Phänomen gedankenlos und somit ohne Kriterien mit einer Zeitverschiebung oder einer Änderung der Zusammensetzung in Verbindung gebracht wird. Beispiele dafür sind zur Genüge vorhanden und bilden den zentralen Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Wie oft wird beispielsweise automatisch von Metasomatose („replacement“) gesprochen, wenn es sich zeigt, dass sich in einem Gestein epigenetisch Veränderungen abgespielt haben. Dass einem Gestein eine gewisse „Polymorphie“ zukommt, dass mit anderen Worten bei gleichem Chemismus andere Mineralien, Korngrössen und Kornformen auftreten können, wird oft einfach übersehen.

Bevor etwas eingehender auf die Bedeutung der drei genannten Parameter eingegangen wird, soll kurz eine weitere Gruppe von Begriffen angeführt werden, welche sich auf den Ursprung von gelöstem syngenetisch oder epigenetisch zugeführten Material bezieht. Allothigen und autigen bezeichnen den Bildungsort; zur Bezeichnung der Herkunft oder Quelle gelöster Stoffe bestehen andere Begriffe. Hat eine Stoffzufuhr von unten stattgefunden, so spricht man von aszendendem, endogenem oder hypogenem, im entgegengesetzten Fall von deszendendem, exogenem oder supergenem Ursprung. Es lässt sich somit folgendes Schema aufstellen, das die vier grundsätzlichen, einfachen Möglichkeiten der Genese eines Gesteinskörpers oder einzelner Teile davon, z. B. einer Erzlagerstätte umfasst:

A. syngenetisch	I. supergen
B. epigenetisch	II. hypogen.

Das Begriffspaar autigen und allothigen lässt sich an Stelle oder als Ergänzung von supergen und hypogen setzen, wenn es sich darum handelt, den Ort der Mineralbildung festzulegen (z. B. bei Albiten oder Pyrit-Gold-Erzen in Sedimenten).

Da die Begriffe „supergene“ und „hypogene“ auch im englischen Sprachgebrauch üblich sind und sie überdies eindeutiger definiert sind als exogen und deszendend und endogen oder aszendend, werden sie den letzteren vorgezogen. Lateral sekretionäre Bildungen sind Übergänge zwischen supergener und hypogener Genese. Auch synchron und metachron sind gelegentlich anzutreffen. In der Tektonik sind die Begriffe autochthon und allochthon üblich. Vom Begriffspaar Autolith und Xenolith ist nur der zweite Ausdruck noch allgemein üblich. Autometamorphose (z. B. Autohydratation) steht der Allometamorphose gegenüber und anderes mehr.

Das Bedeutungsfeld aller dieser Ausdrücke variiert allerdings von Autor zu Autor und von Generation zu Generation. — Die vier grundsätzlichen Möglichkeiten der Bildung von Gesteinsbestandteilen oder Minerallagerstätten sind somit:

A - I: syngenetisch - supergen, d. h. Bildung in und während der Bildung des umgebenden Gastgesteins und Zufuhr des Materials aus supergenen Prozessen, wie z. B. der Verwitterung. Sicheres Beispiel: Seifenlagerstätten.

A - II: syngenetisch - hypogen, d. h. Bildung wie unter A-I, aber mit Zufuhr aus dem Innern, wie z. B. vulkanischen Exhalationen. Sicheres Beispiel: Schwefel-Gips-Pyritlagerstätten an Vulkanen.

- B - I: epigenetisch - supergen, d. h. Bildung später als die Bildung des umgebenden Trägergesteins, aber Zufuhr aus supergenem Ursprung, z. B. durch Grundwasser. Sicheres Beispiel: „Eiserner Hut“ und Zementationszonen im Grundwasserbereich.
- B - II: epigenetisch - hypogen, d. h. Bildung wie unter B - I, aber aus Stoffzufuhr aus der Tiefe, z. B. aus magmatischen oder palingenen Zufuhrquellen. Sichere Beispiele: Viele Erzgänge in Intrusivas.

Aus dieser Einteilung ergeben sich nun weitere Möglichkeiten der Unterteilung, welche erst vorgenommen werden sollten, wenn wir bereits wissen, ob wir es mit A - I, A - II, B - I, B - II zu tun haben. Wenn es sich um magmatische Lagerstättenbildung handelt, kann die Einteilung in intramagmatisch bzw. extramagmatisch angewendet werden, wobei Verfasser den Begriff extramagmatisch als Sammelbegriff von tele-, krypto-, apo- und peri-magmatisch aufgefasst haben möchte.

Diese Einteilung bezieht sich auf das Verhältnis zwischen Ablagerungs-ort und Ursprungsgestein des mineralisierenden Stoffes. Sie ist bisher nur für magmatische Gesteine gegeben worden, lässt sich aber durchaus auch auf Sedimente und metamorphe Gesteine anwenden. Für Sedimente könnte man vielleicht die Begriffe (c) intra- bzw. (d) extraformationell anwenden, wenn es von Bedeutung ist, herausgelöstes und gewandertes Material zu betrachten. Diese Einteilung ist brauchbar in Betrachtungen über Stofftransporte durch Grundwasser oder bei Lateralsekretionen, wie sie zum Beispiel das sogenannte „Sourcebed concept“ vertritt (KNIGHT, 1957), eine auf syngenetischem Ursprung und epigenetischer Anreicherung fussende Auffassung.

Die Betonung der Genese steht im Gegensatz zu einigen Lehrbüchern, die eine rein formale Klassifikation einer genetischen vorziehen. Es braucht wohl sechzig Jahre nach Veröffentlichung von POŠEPNÝS Buch „Genesis der Erzlagerstätten“ (1895) nicht mehr betont zu werden, dass der Erfolg der Exploration für neue Lagerstätten weitgehend von einer brauchbaren genetischen Hypothese abhängt und dass man es sich deshalb in der Praxis nicht leisten kann, die Genese zu vernachlässigen. Fehlexplorationen auf Grund genetischer Fehlschlüsse, von welchen vielleicht die Mehrzahl ins Kapitel Syngenese-Epigenese gehören, sind zahlreich (Mina Ragra, Michigan Copper etc.). Darauf wurde schon 1893 mit Nachdruck hingewiesen (siehe beispielsweise RICKARDS Würdigung von POŠEPNÝS Arbeit, 1893—1902, S. 190—192).

Da unserer Auffassung nach die meisten genetischen Fehlschlüsse

ganz einfach „Koordinatenverwechslungen“ sind beim Analysieren, soll nochmals auf das vorgeschlagene Koordinatensystem zurückgekommen werden. Dieses Sezieren und Auseinanderhalten von Raum und Zeit sowie der physikalisch-chemischen Eigenschaften mag überspitzt erscheinen. Die folgenden Kapitel werden jedoch zeigen, dass dadurch viele unbewusste unrichtige Nebenbedeutungen von geologischen Begriffen bewusst gemacht werden.

Wenn wir die Zeitachse mit T , die Raumachse mit S und die Achse der Zusammensetzung und/oder des physikalisch-chemischen Zustandes mit C bezeichnen, so sind die Zeitpunkte t_1, t_2, t_3, \dots oder die Zeitintervalle $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \dots$ in welchen, bzw. während welchen geologisch etwas geschieht, an sich unabhängig von den Orten s_1, s_2, s_3, \dots oder Wegstrecken und Räumen $\Delta r^1, \Delta r^2, \Delta r^3, \dots$ an, bzw. in welchen geologisch etwas vor sich geht. Dasselbe gilt auch in bezug auf die Zusammensetzungen oder die Zusammensetzungsänderungen, bzw. die physikalisch-chemischen Bedingungen. c_1, c_2, c_3, \dots oder $\Delta c_1, \Delta c_2, \Delta c_3, \dots$ sind nicht a priori abhängig von Raum und Zeit. Derartige Abhängigkeiten können bestehen, müssen aber nicht. Mathematisch gesehen bestehen dogmatische Theorien immer aus Verwechslungen dieser Achsen oder aus willkürlicher oder auch unbewusster Verringerung der an sich bestehenden Freiheitsgrade. Im Falle von geologischen Theorien sind Freiheitsgrade gleichbedeutend mit möglichen Interpretationen.

Es könnte somit, objektiv gesehen, für ein geologisches Phänomen P die folgende Gleichung aufgestellt werden:

$$P = f\left(S, C, T; \Delta s, \Delta c, \Delta t; \frac{\partial c}{\partial s}, \frac{\partial s}{\partial t}, \frac{\partial c}{\partial t}; \frac{\partial^2 c}{\partial s \partial t}\right) \quad (1)$$

womit ausgedrückt werden soll, dass zur Kennzeichnung eines geologischen Phänomens die Kenntnis der Zeit an sich (z. B. präkambrisches Alter), des Ortes (z. B. Kanadischer Schild) und der Zusammensetzung notwendig sind, dann aber auch der Zeitintervalle Δt , während welchen zum Beispiel eine Orogenese stattgefunden hat, der Dislokationsstrecke und der allfälligen stofflichen Veränderungen. Diese zeitlichen, örtlichen und stofflichen Veränderungen können, müssen aber nicht kausal oder akausal verbunden werden. Derartige Zusammenhänge bilden schliesslich den nächsten Schritt einer Untersuchung.

Wer nun annimmt, dass die naturwissenschaftliche Forschung sich in der Bemühung um die oben skizzierte Gleichung erschöpfe, muss, wie MACH, nach B. RUSSEL (1914, 1926, S. 132) einer Täuschung verfallen, wonach „the sensation as a mental event is identified with its objects as

a part of the physical world“. Ein Versuch, das Wesen einer wissenschaftlichen Theorie oder Hypothese in einer einfachen Gleichung auszudrücken, müsste somit wenigstens einen menschlichen „Unsicherheits-“ oder „Relativitätsfaktor“ einsetzen, welcher die Beobachtungen als einzelne und in ihrer Gesamtheit beeinflusst. Man müsste somit etwa schreiben:

$$T = f \left[U \left(S, C, T; \Delta s, \Delta c, \Delta t; \frac{\partial c}{\partial s}, \frac{\partial s}{\partial t}, \frac{\partial c}{\partial t}, \frac{\partial^2 c}{\partial s \partial t} \right) \right] \quad (2)$$

Der Faktor U ist schon oft und ausgiebig zum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen gemacht worden. Die Einführung dieses Faktors ist an sich nichts anderes als eine vereinfachte Berücksichtigung verschiedener Prädikate menschlichen Erkennens, die hier nicht ausführlich erörtert werden können. Dieser Faktor U wird beispielsweise der Tatsache gerecht, dass der physikalische Raum und der Raum der Erfahrung nicht identisch sind (vgl. BERTRAND RUSSEL, 1914—1926, S. 121). Durch die von C. G. JUNG und seiner Schule entwickelten Methoden ist jedoch eine vorher nie erreichte schrittweise Annäherung an eine objektivere Erfassung dieses täuschenden und relativierenden Faktors U erreicht worden. Die vorliegende Arbeit möchte u. a. auch eine ganz vorläufige Bestandesaufnahme sein, welche den Erfahrungsbereich und einige Zusammenhänge zwischen geologischen Theorien einer genaueren forschungsgeschichtlichen und geschichtspsychologischen Untersuchung zugänglich macht.

Bei Untersuchungen wie der vorliegenden muss man sich im klaren sein, dass man sich nicht etwa durch die Untersuchung von Leitbildern, Denkartens usw. automatisch von diesen befreit. Man ist ihnen auch dabei noch unterworfen, genau so wie man durch eine Untersuchung der Luftzusammensetzung nicht vom Atmen befreit wird. Es ist deshalb wohl kaum richtig, zu unterscheiden „zwischen den geschlossenen Systemen von Theorien einerseits und den offenen Leitbildern andererseits“. Es gibt kaum „geschlossene und offene Archetypen“, sondern wohl nur mehr oder weniger Abhängigkeit, Hörigkeit von diesen Grundformen des Lebens, und der Grad der Freiheit davon ist in erster Linie eine Funktion der Bewusstmachung. Wenn wir beispielsweise unser eigenes Denken als Produkt offener Leitbilder hinstellen, dasjenige unserer ideellen Widersacher aber als geschlossenes System von Theorien bezeichnen, so sind wir doch vielleicht eher noch mehr leitbildhörig geworden und haben aus Selbstschutz einen eigenen Schatten auf unseren Widersacher projiziert.

Vielleicht die wichtigste Methode wissenschaftlichen Forschens ist

das Unterscheiden und somit der Versuch, ein System aufzustellen, welches den beobachteten Naturgegebenheiten am besten entspricht. Wer am klarsten denkt und differenziert, kann das klarste System aufstellen. Klares Denken ist auch abhängig vom Grade der Freiheit von starken Leitbildern. Wissenschaftliche Theorien sind somit auch von der Geschichte abhängig, wie die Kultur im allgemeinen. Unser wissenschaftliches Wissen und Weltbild kann somit auf der Höhe der Zeit stehen oder in unüberwundenen Bindungen der allgemeinen oder der persönlichen geschichtlichen Entwicklung stecken geblieben sein. Diese Geschichtsbedingtheit hat PAUL NIGGLI (1938, S. 16) in den folgenden, deutlichen Worten ausgedrückt, die auch den Grundgedanken des dieser Arbeit vorausgesetzten Mottos enthalten:

„Da uns im Grunde genommen nicht der Besitz der wissenschaftlichen Wahrheit, sondern das erfolgreiche Suchen nach tiefer Erkenntnis beglückt, so grosses ästhetisches Befriedigtsein die Zwischensynthese bereitet, freuen wir uns, dass ‚es in der Wissenschaft keine ewigen Theorien gibt‘, dass die Wirklichkeit von gestern und morgen kraft unserer Arbeit eine andere ist als die von heute, dass, um mit WOELFFLIN zu reden, ‚was heute lebendig erscheint, es morgen schon nicht mehr ganz sein wird‘. In dem stets sich erneuernden Strom der Erkenntnis bleibt ja als Teillösung bestehen, was wir an echten Zusammenhängen erkannt haben, die gewonnene Sachkenntnis und die Ideenläuterung sind die Grundlage jeder neuen schöpferischen Gedankenarbeit, die weitere für das Verständnis wesentliche Züge entdeckt. Der Forscher fühlt sich als Glied einer Kette, er beugt sich vor der Fäktizität, dem Besseren, dem klareren Begriff, der tieferen Einsicht. Ein ALBERT HEIM hat sich jahrelang dem Gedanken des alpinen Deckenbaues verschlossen gezeigt, um von der Fülle neuer Erkenntnis überwältigt zu dessen hervorragendstem Interpreten zu werden.

Die Wissenschaft, die den Weltinhalt nach der begrifflichen Seite zu erfassen sucht, hat die Gefahr erkannt, die dem Wort und Wortspiel zukommt, weil sie mit den selbstgeschaffenen Begriffen ringt, stets von neuem deren Sinn und Geltungsbereich, deren Bedeutung und Geschichte zu erforschen sucht. So weiss sie auch, dass es in der Hauptsache antiquierte Vorstellungen sind, die so vielen den Zugang zu Sinn und Wesen wissenschaftlichen Wollens wehren.“

2. Beispiele von Lagerstättengruppen und Gesteinen

für welche sowohl epigenetische wie syngenetische Bildung vorgeschlagen wurde

Als Resultat der Beschäftigung mit Fragen der Granitbildung, der Spilitgenese, der Erzgenese und mit anderen genetischen Fragen, die zum Teil im Literaturverzeichnis unter dem Namen des Verfassers angeführt sind, bildet sich in langsam steigendem Masse der Eindruck

heraus, dass hinter all diesen Teilfragen eine tiefere, einfachere Frage steht: die Frage nach der Zeitrelation zwischen geologischen Körpern oder ihren Bestandteilen, also die Frage nach der Synchronizität oder Syngene und der Epichronizität oder Epigene, und die Frage nach der Raumrelation, also nach der „Allothigene und Autigene“.

Bei dieser Polarität der genetischen Deutung scheint es sich um eines der geologischen Leitbild-Paare zu handeln. Auch andere Leitbilder tauchen auf, die hier nur kurz gestreift werden konnten, und die weitgehende Analogie mit dem, was der Psychologe JUNGscher Schulung Archetypen nennt, reizte zu einem Versuch, die in der Entwicklung der geologischen Wissenschaften aktiven Leitbilder oder Archetypen aufzusuchen und abzugrenzen. Es zeigt sich dabei unter anderem, dass zum Teil die genau gleichen Leitbilder auch in anderen Wissenschaften, darüber hinaus aber auch im Religiösen, Ästhetischen und Ethischen anzutreffen sind. Es lag auch nahe, anzunehmen und konnte bereits mit grosser Sicherheit bestätigt werden, dass wir diesen Leitbildern in unserer Arbeit, nämlich dann, wenn wir zur Interpretation schreiten, recht oft ausgeliefert sind. Die Resultate dieser Vergleiche wurden anderswo veröffentlicht.

Im Verlaufe der oben genannten genetischen Untersuchungen und dem daraus hervorgewachsenen Versuch „sich über sich selbst, über die Methoden und Denkweisen Rechenschaft zu geben“, zeichneten sich zwei Resultate oder Befunde besonders überraschend ab. Einmal scheint sich dieselbe Polarität der Interpretation immer wieder zu wiederholen in den verschiedensten Gebieten und bei den verschiedensten Gelegenheiten, aber auch zu den verschiedensten Zeiten in der Geschichte der geologischen Wissenschaft und an verschiedensten Orten, und zwar ohne gegenseitiges Wissen der Beteiligten. Dabei scheint die Neigung zu einer Theorie, einem Leitbild auch charakteristisch zu sein für die Person des Forschers, die geschichtliche Periode und die Kultur des Landes.

Ferner erschienen einige bisher im Vordergrund stehende Diskrepanzen und Differenzen in anderem Lichte und verloren an Gewicht, so zum Beispiel der Streit um die Granitgene. Es ist deshalb zu hoffen, dass eine Klärung der Natur der Frage nach Syngene und Epigene und auch die Frage nach allothigener oder autigener Entstehung befruchtend sein wird für die Entwicklung der petrographischen und erzgenetischen Theorien.

Es wird im folgenden versucht, in knappen Zusammenfassungen, zum Teil unter Einschluss der Interpretation des Verfassers, einen Querschnitt

durch einige Hauptprobleme der Erz- und Gesteinsgenese zu geben. Es könnten natürlich noch beliebig viele weitere Beispiele angeführt werden, die ebensogut die Begriffs- oder Leitbildpolarität Syngenese-Epigenese widerspiegeln würden. Wir müssen uns aus Platzmangel auf wenige Beispiele beschränken, und es kann nur ab und zu auf Einzelkriterien eingegangen werden.

Es gibt trotz PLANCK, EINSTEIN, PAULI, JUNG, PORTMANN und vielen anderen noch Naturwissenschaftler, die ein Interesse an der Methode, an der Psychologie der Intuition oder sogar an der Philosophie der Naturwissenschaften als unwissenschaftlich bezeichnen. Um diesen Erben der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts einige Elemente der Skepsis aus der Hand zu nehmen, wird ein umfangreiches Literaturverzeichnis beigelegt, in der Hoffnung, der Leser möge sich davon überzeugen, dass intensiv und von vielen auf möglichst unvoreingenommene Weise nach sauberen, eindeutigen genetischen Kriterien gesucht wurde. Nur auf Grund und als Folge langjährigen Suchens in verschiedenen Zweigen der geologischen Forschung sind diese jenseits des üblichen Messens und Wägens liegenden Zusammenhänge gesehen und hier einer vorläufigen Untersuchung unterzogen worden.

A. SEDIMENTE UND LAGERSTÄTTEN IN SEDIMENTEN

a) Kupferschiefer-Typ („red bed copper type deposits“)

Kupferlagerstätten vom Kupferschiefer-Typ sind recht häufig und haben sowohl eine syngenetische wie eine epigenetische Erklärung erfahren. GRODDECK (1885, zit. POŠEPNÝ, 1893 — 1895 — 1902, S. 125) und andere vor ihm deuteten den Ursprung als unbedingt syngenetisch. POŠEPNÝ (S. 126) warf GRODDECK vor, dogmatisch zu sein, und gab Kriterien für Epigenese an. Dieser Streit dauert noch heute an; beispielsweise um die riesigen Kupferschieferlagerstätten, welche im Nonesuch-shale in Michigan auftreten, der spilite Partien der Keweenaw-Laven überlagert (AMSTUTZ, 1950a, 1956a, 1957b, e, 1958b, e; WHITE and WRIGHT, 1954; RAND, 1956). Hier hat nach der Ansicht der Epigenetiker eine nachträgliche Infiltration aus hydrothermalen, unsichtbaren Spalten stattgefunden. Wie vom Verfasser kürzlich gezeigt wurde, sind wohl zu viele Kriterien vorhanden, die für syngenetisch-hydrothermalen Ursprung sprechen, also für exhalativ-sedimentäre Genese im Anschluss an die extrusive Tätigkeit, welche die Keweenaw-Spilite förderte, einfach als fortgesetztes Entweichen der leichtflüchtigen Bestandteile des basaltischen Magmas.

Eine Übersicht über die Kupferlagerstätten in den Sedimenten der Weststaaten der USA hat FINCH (1933) in dem auch sonst erzgenetisch wichtigen Band über die Lagerstätten der Weststaaten gegeben.

Unter den syngenetischen Erklärungsversuchen für die Genese der Kupferschieferlagerstätten können im wesentlichen drei Varianten unterschieden werden: 1. Erklärung der Metallgehalte durch Zufuhr aus Festlandzuflüssen, u. a. durch den Vergleich des Kupfergehaltes im gesamten Kupferschiefer mit den Kupfergehalten rezenter Oberflächenwässer (MESSER, 1955, u. a.) 2. Durch aride Konzentration (verschiedene Autoren). 3. Durch Hydrothermen des basischen bis intermediären Vulkanismus als Erzlieferanten (HUTH, 1955; SCHÜLLER, 1958; der Verfasser in verschiedenen Arbeiten; und viele andere). SCHÜLLER hat diese letzte Auffassung kürzlich mit genauen Kriterien belegt, zeigt aber, dass der überlagernde Dolomit durch epigenetisch mobilisierte Lösungen vererzt wurde, was auch für das vom Verfasser untersuchte Permokarbon der Ostschweiz und die überlagernden Triasdolomite zutreffen mag.

Auch in diesem Zusammenhang mögen einige neuere Arbeiten angeführt werden, die durch Übereinstimmung experimenteller und beobachteter Erscheinungen auffallen. ROSENTHAL (1956) berichtet über Versuche zur Darstellung von Markasit, Pyrit und Magnetkies aus wässrigen Lösungen bei Zimmertemperatur. GEIS (1958) vertritt für die norwegischen Kieslagerstätten, welche Verfasser (unabhängig, 1958e) als exhalativ-spilitisch bezeichnet hat, vulkanisch-exhalativen, syngenetischen Ursprung. OFTEDAHL (1958) gibt eine Übersicht über Möglichkeiten exhalativ-sedimentärer Erzbildung, wobei allerdings die vielleicht nicht unwichtige Tatsache unbeachtet blieb, dass exhalativ-sedimentäre und auch anderswie syngenetische Erzgenesen bereits seit über zweihundert Jahren vertreten wurden, bald stärker und bald weniger deutlich. Eine wichtige Brücke zwischen Beobachtungen in der Lagerstätte selbst und dem Experiment ist durch die umfassende Übersicht von BARTHOLOMÉ (1958) „On the paragenesis of copper ores“ gegeben worden.

Dass Übergänge bestehen zwischen dem Kupferschiefer-Typ und dem Colorado-Plateau-Uran-Typ ist bemerkenswert, besonders in genetischer Hinsicht. Eine derartige Übergangslagerstätte beschrieb BRUMMER (1958) von Nova Scotia und zeigte, dass die heutige Erzanordnung vor allem durch sekundäre Anreicherung aus ursprünglich syngenetischen Lagerstätten zu deuten ist. Wie in vielen Fällen, z. B. wohl oft auch auf dem Colorado-Plateau, hat hier eine Überlagerung von späteren epigenetisch-supergen auf ursprünglich oder primär syngenetisch-supergene oder syngenetisch-hypogene Lagerstätten stattgefunden. Am sorgfältigsten

hat wohl GRUNER (1956) diese Vorgänge beschrieben und dadurch auch für die praktische Explorationsarbeit brauchbare Leitlinien herausgearbeitet. (Die reichliche und wertvolle ältere Literatur über Lagerstätten vom Kupferschiefertyp ist u. a. von SCHNEIDERHÖHN [1955] zusammengefasst worden.)

b) Uranlagerstätten vom Colorado-Plateau-Typ

Es gibt wohl in den Vereinigten Staaten kaum einen Lagerstätten-typus, der in der letzten Zeit mehr diskutiert wurde, als die Uranvererzungen in Sedimenten des Colorado-Plateaus. Wenn von diesen Lagerstätten gesprochen wird, so ist den Geologen die Polarität oder gar die „Vierfältigkeit“ der genetischen Theorien weit mehr bewusst als bei irgend einer anderen Lagerstättengruppe. Die Genese wird hier auch von den meisten Geologen bewusst mit der Explorationsmethode in Verbindung gebracht.

Wo KERR (1956, 1957, 1958) und seine Schule eine epigenetische Idee vertreten, finden wir dieselben Kriterien für Epigenese vorgebracht wie für andere Lagerstätten, besonders die vom Kupferschiefertyp. BAIN hat 1957 nochmals kurz die Hauptkriterien seiner in verschiedenen Arbeiten belegten, auch wie die von GRUNER (1956) komplexen Hypothese zusammengefasst. Sie nimmt ursprünglich syngenetischen Ursprung der Uranmineralien an, die aber heute im wesentlichen epigenetisch-supergen umgelagert vorliegen. Er schreibt abschliessend: „Considered from all points of view the evidence bearing upon emplacement of the uranium indicates that the Plateau ores owe their present position to solutions that were mildly hydrothermal but not hypogene“ (S. 195).

Während für diese Plateau-Lagerstätten eher mehr Arbeiten epigenetisch-hydrothermalen Ursprung bevorzugen, haben die Kolmlagerstätten in Schweden fast nur eine syngenetische Deutung erfahren. Auch hier wird, wie schon früher betont (1958a), die Sedimentpetrographie ein wichtiges Wort zu reden haben, sobald genauere mikroskopische und stratigraphische Untersuchungen vorliegen. Es wird auch hier immer wieder von der Anwesenheit von Bruchsystemen direkt auf epigenetische Vererzungen geschlossen und vergessen, dass auch ausserhalb der Lagerstätten meist die gleiche Art und Zahl von „channelways“ vorhanden ist, diese also an sich noch kein genetisches Kriterium liefern, und dass andererseits ja ein Bruch auch bis an die Oberfläche reichen kann und somit eine Erzzufuhr, die nachgewiesenermassen tatsächlich entlang Spalten heraufgedrungen ist, an die Oberfläche austreten kann.

An Versuchen, die Tatbestände und die verschiedenen Interpretationswege übersichtlich darzustellen, hat es nicht gefehlt. Die umfassendste Arbeit dieser Art ist das Buch von HEINRICH (1958) über „Mineralogy and Geology of radioactive raw materials“. Es wäre zwar zu begrüßen gewesen, wenn HEINRICH der gegenwärtigen Unsicherheit der genetischen Interpretation Rechnung getragen hätte. Anstatt seine eigene Auffassung als eine der gegenwärtig existierenden Interpretationen vorzubringen, hat er sich zu der festgelegten, dogmatisch anmutenden Alternative entschlossen und seine epigenetische Auffassung schon der Einteilung des Buches zugrunde gelegt. Die Colorado-Plateau-Lagerstätten beschreibt er unter dem Titel „Epigenetic stratiform deposits in sedimentary rocks“. Es kann immer wieder festgestellt werden, wie von epigenetischer Seite angenommen wird, dass sich Mineralien, deren oft kaum bekanntes Stabilitätsfeld vermutlich in das P-T-Feld „hydrothermaler“ Lösungen fällt, a priori und automatisch aus epigenetisch eingewanderten Lösungen gebildet haben.

In diesem Sinne versucht zum Beispiel LANGE (1956, S. 5) zu zeigen, dass sich RAMDOHR (1954—1955) widersprochen habe, wenn er epigenetische Bildung wegen des Fehlens von Gradienten, d.h. sogenannten „Teufenunterschieden“, und von Zufuhrkanälen ablehnt, dann aber später darauf hinweist, dass eben höhere T und P nicht nur durch migrierende hydrothermale Lösungen entstehen. Es ist dies ein Beispiel, wie physikalisch-chemische Bedingungen nicht einfach nur für einen und nur einen geologischen Prozess reserviert werden dürfen.

Andererseits geht es wohl oft zu weit, wenn auf dem Vergleich zwischen Erdgas und Erdöl einerseits und magmatischen Erzlösungen andererseits Beweisführungen basiert werden (LANGE, 1956, S. 7). Derartige Vergleiche verfangen und unterlaufen uns besonders bei der Anstrengung, den Unterricht anschaulich zu gestalten. Aber sie sind Paradiesäpfel, denn sie führen zu etwas, was ursprünglich nicht beabsichtigt war. Der Vergleich hat ja nur ausserordentlich beschränkte Gültigkeit. Ganz abgesehen davon, dass schon die chemische Natur ganz verschieden ist, handelt es sich ja beim Erdöl wohl kaum um etwas, was aus „unbekannten“ Tiefen kommt. Erdöl ist etwas zuerst einmal syngenetisch Gebildetes, das dann wandern mag oder nicht (siehe Abschnitt A., n). Wenn Migration des Erdöls stattfindet, dann entspricht doch das einer sekundären Verlagerung primär syngenetischer Natur, und dass solche Wanderungen im Grundwasserbereich stattfinden können, bestreitet wohl kein Syngenetiker.

Sowenig wie die Existenz von Bruchsystemen, sowenig gestattet

die Existenz von Porosität a priori die Annahme, dass Migration des Öls stattgefunden haben muss — besonders dann nicht, wenn keine Anzeichen dafür bestehen. Noch weniger lässt sich aber aus der Existenz von Porosität direkt auf eine hypogene Erzzufuhr schliessen. Mit anderen Worten: Die Existenz von Durchlässigkeiten ist ein vieldeutiges Kriterium und macht eine Wanderung nur möglich, beweist sie aber nicht.

Zudem zeigte eine Durchsicht derjenigen Arbeiten, die von „highly porous units“ sprechen und sich darauf als „convincing field evidence for epigenetic origin“ stützen, dass *fast ausnahmslos* jegliche quantitativen Messungen und Beweise dafür fehlen, dass jene Schichten auch tatsächlich porös oder wenigstens poröser als die umgebenden Gesteine sind. Gröberes Korn wird oft als Beweis für erhöhte Porosität angegeben. Dabei hängt die Porosität viel mehr ab von der Natur des oft auch mikroskopisch schwer beobachtbaren Zementes zwischen den Körnern und der Zahl und Grösse der Poren in diesem Zement.

Als letztes Beispiel der häufigen „constriction of thought“, die uns bei festgelegtem dogmatischen Ausgangspunkt befällt, seien nur noch die ausfallenden Eigenschaften der organischen Bestandteile der Gesteine erwähnt. Diese werden oft als epigenetische Kriterien der Erzbildung angeführt. Wie viel aktiver sind diese organischen Stoffe jedoch während der Sedimentation und Diagenese, besonders im Vergleich zum Endprodukt: Kohlenstoff in Form von Graphit. In syngenetisch-sedimentärer Umgebung gibt es zudem die Möglichkeit — wie zum Beispiel aus Beobachtungen und Experimenten an rezenten Sedimentationsmilieus hervorgeht —, dass Säuren, Fäulnisstoffe etc. existieren, die sich mit dem Wasser vor oder bei der Diagenese zurückziehen oder zerfallen und auflösen, bei der syngenetischen Ausfällung von Stoffen aber eine ganz wesentliche katalytische Rolle spielen können. Dadurch sind syngenetische Lagerstättenteile ohne oder mit nur wenig organischen Restsubstanzen leicht erklärt, während man bei epigenetischer Erklärung zu allerhand Annahmen Zuflucht nehmen muss.

Es kann, wie für die meisten in dieser Arbeit besprochenen Lagerstätten, hier nicht auf die Einzelheiten der syngenetischen und epigenetischen Kriterien oder Colorado-Plateau-Lagerstätte eingegangen werden. Es scheint immerhin festzustehen, dass langsam doch qualitativ und quantitativ die syngenetischen Kriterien zunehmen. Beispielsweise hat neulich RAMDOHR in Mustern der Mi-Vida-Mine himbeerartige Gruppen von Bakterienstrukturen gefunden. Derartige Kriterien, die wiederum einer genauen erzmikroskopischen und sedimentpetrographischen Arbeitsweise entstammen und sich unterscheiden von nur regionaltekto-

nischen „considerations“ und „evidences“, nehmen langsam überhand. Eine Übersicht über die von Syngenetikern und von Epigenetikern gebrauchten Kriterien ist in der M. S. thesis von CHICO gegeben (1959). Darin wird unter anderem auch darauf verwiesen, dass die syngenetische Denkweise durchaus nicht etwas Neues ist, sondern nur etwas von vielen Schulen Verdrängtes und Verschwiegenes.

Im Jahre 1935 schrieb beispielsweise ein Schüler in Princeton eine vorzügliche Arbeit über die Vanadium- und Uranlagerstätten des Plateaus, worin die folgenden, leider in den letzten zwanzig Jahren nicht beachteten Sätze stehen: FREEMANN sagt auf Seite 90, 91 und 92:

„The main point in favor of a syngenetic origin of the ore deposits is their apparent persistency of occurrence at approximately the same stratigraphic horizon over widespread areas. . . . There is the question of a favorable bed in which material, concentrated by meteoric waters, could be deposited to form the present ore-bodies, as is proposed by the „epigenetic school“. It has already been emphasized by this writer that there is no reason to believe that one horizon in the La Plasa, or one massive layer in the Morrison is more favorable than any other. For the most part, the sandstones of both these formations are remarkably well sorted and always show an evenness of grain. Broadly speaking, one cannot lay his finger on any particular sandstone bed of either formation and say that it is more porous than any other.

Many authorities claim that the organic remains in the Carnotite bed of the Morrison made this particular part of the formation a favorable locus for redeposition of the metals. It is significant that equally as much organic material is to be found in sandstone layers above the Carnotite horizon.

Furthermore, there are no impervious beds in the close vicinity of the ore horizon anywhere which could possibly dam circulating mineralizing waters. True, there occur a number of shaly layers in the sandstones of the Morrison but these are everywhere local and not continuous for any great extent.

Regarding the question of structure as an agent in the concentration of disseminated vanadium and uranium by meteoric waters, it has already been emphasized that nowhere do fault planes show any sign of mineralization.“

c) Die Pyrit-Uran- und Pyrit-Uran-Gold-Lagerstätten vom Typ Blind River und Witwatersrand

Auch hier sehen wir den Streit um die Epigenese oder Syngenese hin und her branden, wobei es wiederum anregend ist, zurückzublättern in der Geschichte und zu sehen, dass bereits im Jahre 1839 SAWYER und dann 1893 auch wieder POŠEPNÝ syngenetisch-detritischen Ursprung annehmen, so wie heute LIEBENBERG (1956) und RAMDOHR (1955, 1958), während Epigenetiker wie DAVIDSON (1957) syngenetische Ideen energisch bekämpfen.

Ein kurzer Besuch in Blind-River-Bergwerken, das Studium von Mustern von Blind River und Witwatersrand und das Literaturstudium weisen, wie uns scheint, deutlich auf syngenetische Bildung hin, und mit POŠEPNÝ (1893—1902, S. 163) möchten wir sagen: „I suppose the gold to have been deposited at the same time as the detritus.“

Wie an anderer Stelle schon betont wurde, ist es ratsam, wenn der Lagerstättenkundler auch sedimentpetrographische und geochemische Kriterien in Betracht zieht. LYELL hat das Aktualitätsprinzip sicher nicht so steif aufgefasst, dass er, würde er heute leben, nicht auch einsehen würde, dass vermutlich die präkambrische Atmosphäre arm an Sauerstoff oder ohne Sauerstoff war, eine Möglichkeit, die DAVIDSON kategorisch ablehnt, um dem Aktualitätsprinzip nicht zu nahe zu treten. Vermutlich hätte LYELL durchaus zustimmend genickt, wenn er RUSSELS Presidential Address von 1957 in Atlantic City gehört hätte (1958, S. 5):

„The stratigrapher and sedimentologist are most concerned with the consequences of erosion. In deciphering the record, however, they should“

und hier darf man wohl heute mit besonderem Nachdruck beifügen: auch die Erzlagerstättengenetiker —

„bear in mind the probability that the earth's landscapes, together with all erosional and depositional processes, have undergone at least four great changes which were related to the vegetational cover of the land, and hence to the soil development... The naked earth which existed prior to the middle Paleozoic certainly was without soils in the modern sense... The Cenozoic... completed the change to the earth's surface we know today. Never before has the earth been armed so well against processes of weathering and erosion. Effects of this armoring must exist in sedimentary deposits to a degree which makes it a *bit hazardous to press too far any interpretation of the remote past on the basis of the present.*“ (Hervorhebung durch den Verfasser.)

Um nur ein sedimentpetrographisches Beispiel anzufügen, das aber gleich auch einfach „common sense“ ist, sei die Behauptung der Epigenetiker erwähnt, dass die runden Pyritkörner verdrängte detritische Quarzkörner seien. Man findet jedoch keine Übergänge zu halb verdrängten Körnern. Wo wir als Epigenetiker auftreten, dürfen wir nicht vergessen, dass eines der unentbehrlichsten Kriterien immer das Auftreten, das Auffinden und Vorweisen von Gradienten ist. Mit anderen Worten: wenn eine Umwandlung von einem Zustand A über Zwischenzustände B, C und D zu einem Endzustand E vermutet wird, sollten wir die Zwischenzustände B, C und D finden können oder gute Gründe angeben, warum diese nicht mehr auffindbar oder erhalten sind. Diese Notwendigkeit kann wohl kaum genug betont werden. Übergänge, Gra-

dienten, Zonen sind meist ein „sine qua non“ für Epigenese, beweisen sie aber allein nur selten oder nie.

Das eben Gesagte gilt sowohl für die telemagmatisch-diffusionistische Interpretation von sogenannten „Imprägnationslagerstätten“, wo wir die Zustände A, B und C oft vermissen infolge des Fehlens von Kriterien für Metasomatose („replacement“) und von Zufuhrgängen, als auch für sogenannte Granitisationsvorgänge, wo „Mineralisationen“ auch oft ohne Wurzeln und ohne Gradienten zur Quelle sind. Wo diese Gradienten fehlen wie in den Lagerstätten Witwatersrand und Blind River gilt das, was WIEBOLS kürzlich über DAVIDSONS Kritik von RAMDOHRS Arbeit schrieb: „The ‚Deus ex Machina‘ is clearly on the other foot“ (1958, S. 759).

d) Vanadium in Schichtsedimenten (Mina-Ragra-Typ)

Ein didaktisch ganz hervorragendes Beispiel bietet die Vanadium-Lagerstätte Mina Ragra in Peru, die Verfasser 1956 besuchen konnte. Mina Ragra war während mehreren Jahrzehnten der Hauptlieferant an Vanadium (früher über 50% der Weltproduktion). Die auf etwa 4800 m ü. M. gelegene Lagerstätte besteht aus einer konkordanten Linse von Sulfiden, symmetrisch eingelagert in kohligen bis sandig-lehmigen Sedimenten. Die alte Theorie war stark an die Grundhaltung: „wo Erz ist, ist etwas intrudiert und metasomatisch verändert worden“, oder: „ore deposits are normally replacements“ gebunden. Es wurde deshalb nicht nur vom Bergingenieur von einer Ader gesprochen — was meist nur geometrisch gemeint ist, nicht aber genetisch —, sondern auch vom Geologen. Es gibt sogar Arbeiten, die versuchen, die Rhyodazitgänge, welche das Erzlager senkrecht durchschneiden, mit der Vererzung in Verbindung zu setzen.

Auf Grund der alten, epigenetischen Theorie hat man zum Teil in der Nähe der zahlreichen anderen Dazitgänge gesucht. Auf Grund der sedimentär-syngenetischen Auffassung hat dies keinen Sinn, sondern man muss den typischen stratigraphischen Horizont verfolgen, um zu sehen, ob noch anderswo Linsen mit ähnlichen Ablagerungsbedingungen und vielleicht ähnlichem Erzgehalt auftreten, was denn auch der Fall ist.

Es soll jedoch auch hier wiederum darauf hingewiesen werden, dass die syngenetische Auffassungsweise durchaus nicht, wie etwa behauptet wurde, eine „Errungenschaft der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts ist“, sondern bereits seit langem neben der epigenetischen Denkweise existierte. So hat beispielsweise PHILLIPS (1918) über die Möglichkeit

einer syngenetischen Anreicherung von Vanadium durch Echinodermen berichtet. Das Beispiel Mina Ragra ist nur eines unter vielen, die angeführt werden können, um zu zeigen, wie sehr die praktische Exploration auf eine gesunde Vorstellung von der Genese angewiesen ist, wenn sie auf die Dauer Erfolg haben will.

e) Kies- und Schwefellagerstätten vom Typus Meggen, bis Nairne (Australien), bis Kuroko-Erze (Japan und Formosa)

Überwiegend syngenetische Deutung finden wir in bezug auf Lagerstätten vom Typus Meggen in Deutschland, Nairne in Australien, den schwarzen, sandigen Pyritschiefern auf Formosa und Japan und anderen mehr. Meggen ist neuerdings wieder von SEIFERT, NICKEL und BRUCKMANN (1952) und von NICKEL (1956) untersucht und als syngenetisch gedeutet worden, wie ja schon früher zum Teil. Nairne wurde 1950 von RIDGWAY als epigenetisch-metasomatisch, 1957 von KNIGHT und neuerdings noch mit mehr Belegmaterial von SKINNER (1958) als syngenetisch bezeichnet.

Ho (1953) beschreibt Schwefel, Kupferkies und Pyritlagerstätten in schwarzen Schiefern von Formosa, wo vulkanische Aktivität festgestellt werden kann. Dasselbe trifft offenbar zu für die wichtigen japanischen Kuroko-Erze sowie für japanische und zentralitalienische Schwefellager. Die Lagerstättengenese hat unter anderem vor allem den Stoffhaushalt in sedimentärem Milieu zu untersuchen, also nochmals vermehrt Sedimentpetrographie zu treiben und nicht nur Petrographie magmatischer Gesteine.

Dabei hat sich bereits gezeigt — und wird sich wohl immer mehr und deutlicher zeigen —, dass der vulkanisch-exhalative Anteil der im Meerwasser gelösten Stoffe ganz beträchtlich ist. Dies geht unter anderem aus Arbeiten von BERNAUER (1934, 1939), KRAUME, RAMDOHR et al. (1955), ZIES (1929), ALLEN und ZIES (1923), CISSARZ (z. B. 1956), TAUPITZ (1954/55), STANTON (1958) hervor. Auch nach Untersuchungen des Verfassers (1950a, 1952b, 1954c, 1956a, 1958b, e) erscheint es wahrscheinlich, dass verschiedene Lagerstätten, die zum Teil bisher als epigenetisch erklärt wurden, eher aus syngenetisch zugeführten Exhalationen erklärt werden müssen. Ross (1947) spricht vulkanischen Emanationen die Fähigkeit zu, metallische Elemente transportieren zu können, geht jedoch an der quantitativen Betrachtung vorbei und somit auch an den praktischen Konsequenzen. Dasselbe ist von BATEMANS Lehrbuch zu sagen, in welchem zwar zahlreiche Beispiele sulfidischer, exhalativer

Erzmineralabsätze aufgezählt werden, die Konsequenz jedoch zurückgewiesen ist (in anderem Zusammenhang, nämlich bei der Beurteilung der NIGGLISchen und der SCHNEIDERHÖHNSchen Klassifikation der Erz-lagerstätten). Den eingehenden Arbeiten von P. NIGGLI (1912, 1929) wird erst heute wieder Beachtung geschenkt, da er in verschiedenen Hinsichten seiner Zeit vorausgeeilt war.

In bezug auf die Ausmasse der Lagerstättenbildung im Zusammenhang mit submarinem, vor allem geosynklinalen Vulkanismus bleibt noch manches zur Abklärung übrig. Auf Grund neuester Untersuchungen ist beispielsweise auch die Quecksilberlagerstätte von Idrija einem triasischen Geosynklinal-Magmatismus verbunden, also syngenetisch (CIS-SARZ, 1956). Diese Deutung lässt es möglich, wenn nicht wahrscheinlich erscheinen, dass auch die sehr ähnliche peruanische Lagerstätte von Huancavelica und andere geosynklinal extrusiv gebildet wurden.

Typische Beispiele euxinischer Milieus sind immer die Kohlenlager, wo sich oft massenhaft Pyritlagen und -konkretionen oder „-imprägnationen“ und andere Sulfide befinden. In Sapropelen können Bakterien leben, die Sulfide in ähnlicher Weise aufbauen wie von andern Meertieren Karbonatschalen gebildet werden. Solche sulfidbildende Mikro-Organismen wurden neulich von LOVE (1958) sehr gut abgebildet und beschrieben. Auch in heutigen Meeren herrschen euxinische Bedingungen und werden wohl in Nähe submariner Exhalationen besonders genährt.

Der Barytgehalt der Meggener Lager wie vieler anderer Sedimente wurde 1936 von ENGELHARDT als nur supergen gedeutet. Dass sich oft Übergänge zu vulkanisch-exhalativem Ursprung nachweisen lassen, zeigten unter anderen TAUPITZ (1954/55) und Verfasser (1958g). Dass die grössten Barytlagerstätten, nämlich diejenigen in den Dolomiten und Kalken von Missouri, oft als epigenetische Metasomatoseprodukte gedeutet, diesbezüglich aber auch schon sehr früh syngenetische Ideen vertreten wurden, ist in Abschnitt g erwähnt.

Es sei hier nur noch kurz auf frühe experimentelle Arbeiten zur Lösung der Barytgenese hingewiesen. Es gelang FISCHER (1916) BaSO_4 kolloidal und in periodischen Schichten auszufällen. Wir nehmen gelegentlich fälschlicherweise an, dass die experimentelle Geologie ein moderner Einfall sei. Dabei haben schon seit jeher viele Geologen sowohl von PAULIS Denktypus wie vom Fühltypus (1952, S. 161) das Experiment als wichtiges Instrument auf dem Wege zu neuen Erkenntnissen benutzt; man denke nur zum Beispiel an GOETHES und an LIESEGANGS Experimente (CARL und AMSTUTZ, 1958j) und auch an HALLS Versuche vor 1805 zum Beweis der Theorien seines Freundes LYELL. Auch hier lohnt

sich das Studium früher Arbeiten, wenn wir nicht frühere Erkenntnisse als Neuentdeckungen hinstellen wollen.

f) Die Lagerstättengruppe vom Typus Rammelsberg, Rhodesia und Katanga, Broken Hill, West-Tasmania, Mount Isa, Bathurst in New Brunswick, Maubach-Mechernich, Ducktown und Mascot-Jefferson City in Tennessee u. a. m., mit Anmerkungen über Franklin, New Jersey

Über alle diese Lagerstätten besteht eine ausführliche Literatur, die wiederum die gleiche verblüffende Polarität von Epigenese und Syngenese aufweist und oft bis in kleine Einzelheiten ohne Kenntnis der anderen Gebiete gleiche Kriterien für und gegen die jeweilige verfochtene bzw. bekämpfte Idee vorbringt.

Am anschaulichsten ist dieses Hin und Her der Theorien wohl für die Lagerstätte Rammelsberg dargestellt worden (KRAUME, RAMDOHR et al., 1955).

Die Kupferlagerstätten von Nord-Rhodesia und Katanga haben zur gleichen Auseinandersetzung Anlass gegeben, wobei BRUMMER (1955) auf der syngenetischen und DAVIDSON (1931, 1954, 1955), GARLICK (1955) und früher auch BATEMAN (1930) auf der epigenetischen Seite stehen. BATEMAN und JENSEN (1956) zeigten neulich, dass die Schwefel-isotopenmessungen noch keinen endgültigen Schluss für die eine oder die andere Seite gestatten. Dabei wurde allerdings vergessen, dass vulkanisch-exhalativer Ursprung wohl auch $S^{32/34}$ -Verhältnisse liefern muss, welche ins hydrothermale Feld fallen, weil bei starken Exhalationen die Fraktionierung im Meerwasser kaum stark genug ist um die Verhältnisse vollständig zu ändern. In der genannten Arbeit wurde wieder einmal hydrothermal mit epigenetisch gleichgestellt, was doch wohl sorgfältig zu vermeiden ist. Auf Zusammenhänge zwischen dem sedimentären und dem exhalativen Feld für $S^{32/34}$ -Verhältnisse hat Verfasser kürzlich hingewiesen (1958l).

Die Geschichte der Anschauungen über australische Lagerstätten von ähnlicher Lagerung und Erznatur wie die oben angeführten, ist in vielen Arbeiten in dem von EDWARDS (1953) redigierten Werk über die Struktur und Geologie australischer Lagerstätten dargestellt.

Unsere These, dass an vielen Orten und von verschiedensten Autoren und mit Bezug auf verschiedenste Lagerstättentypen immer wieder, also auch zeitlich gestaffelt, die gleichen Kriterien und Diskussionen auftreten — diese These wird von vielen der zitierten Arbeiten indirekt gestützt. Vielleicht am auffallendsten ist die Arbeit von KNIGHT (1957), der offenbar in vollkommener Unwissenheit darüber, dass bereits vor hundert

Jahren dieselben Probleme erwogen und in langen, sorgfältigen Arbeiten ausführlich diskutiert wurden, einfach sein „source bed concept“ konzipiert. Es ist dies kein Vorwurf. Man muss KNIGHT eher dankbar sein, dass er den Beweis der Persistenz der Denkgefüge („patterns of thinking“) oder der Leitbilder so sauber geliefert hat. Es wird darauf in dem Versuch über die archetypischen Wurzeln geologischer Ideen näher eingegangen.

Mit Bezug auf die Arbeit von KNIGHT mag hier darauf hingewiesen werden, dass JOHN WOODARD (vgl. WINCHELL in POŠEPNÝ, 1893—1902, S. 192) bereits im Jahre 1723 und dann im 18. Jahrhundert vor allem SANDBERGER die Idee der lateralsekretionären Bildungen von Erzgängen ausgebaut und verfochten haben. Die damals angeführten Kriterien sind sogar bedeutend differenzierter als viele heute veröffentlichte. Eine knappe, nicht sehr objektive und vollständige Darstellung einiger wichtiger geschichtlicher Entwicklungen auf dem Gebiet der Lagerstättengenese ist in englischer Sprache von CROOK (1933) gegeben worden. Etwas vollständiger ist die Übersicht von ADAMS (1938) und die Sammlung von Biographien von FENTON and FENTON (1952).

Die Lagerstätte von Maubach-Mechernich wurde von BEHREND (1950) und neuerdings die von Tellig von CUP (1955) beschrieben. Beide machten eine ähnliche Wandlung der Interpretation durch wie der Rammelsberg. Mascot-Jefferson City wie auch Ducktown, Tennessee sind recht ähnlich wie der Rammelsberg. Mascot-Jefferson City wurde neulich von BRIDGE und ROGERS (1956) ausführlich beschrieben. Verfasser hat kürzlich auf die Wahrscheinlichkeit hingewiesen, dass die Tennessee-Lagerstätten auch syngenetisch-sedimentär erklärt werden können (1958b), und neulich hat nun der Minengeologe von Ducktown — unabhängig vom Verfasser — Detailkriterien dafür geliefert (KENDALL, 1958).

Da sozusagen alle diese Lagerstätten leichte bis stärkere Metamorphosen durchgemacht haben, mag es am Platze sein, einen Blick auf die Folgen der Metamorphose dieser Lagerstätten zu werfen; denn auch in der Bewertung dieser Folgen besteht wiederum eine ausgesprochene Polarität der Auffassungen. Während BACKLUND (1941), WEGMANN (1956) u. a. und neuerdings auch SCHNEIDERHÖHN (1952, 1953) eine Mobilisation während des Tiefganges und Erhitzens der Sedimentpakete annehmen, zeigten RAMDOHR (1953), BORCHERT (1954/55) und andere, dass eine derartige Annahme viel gegen sich hat und dass ein Abrösten oder Remobilisieren wohl nur unter palingenem Aufschmelzen auftreten kann (BORCHERT und TRÖGER, 1950). Diese Überlegungen grenzen ans Granitproblem und sollen dort eingehender erwähnt werden.

Es soll indessen schon hier, im Anschluss an die erwähnten Arbeiten von RAMDOHR, BORCHERT, BACKLUND und SCHNEIDERHÖHN — um wiederum nur einige zu nennen —, gezeigt werden, was dann in den abschliessenden Bemerkungen als ein Hauptmerkmal wieder aufgegriffen wird: dass man nämlich, wenn man versucht, unvoreingenommen an beide Theorien heranzugehen, nicht darum herum kommt, festzustellen, dass die syngenetische Erklärung viel anschaulicher, einfacher, weniger konstruiert und weniger hypothetisch ist. Die Behauptung vieler Epigenetiker, dass die „field evidence“ ihrer Auffassung recht gebe, hat nur rein rhetorischen Charakter, da es ja klar ist, dass beide Seiten, die epigenetische und die syngenetische, Beobachtungen machen und dass beide wohl in gleicher Weise der Gefahr ausgesetzt sind, Beobachtung und Interpretation nicht sauber genug auseinanderzuhalten und eine vorgefasste Interpretation in einen Befund in der Natur hineinzuschauen.

Der Weg von der Beobachtung oder Bestandesaufnahme bis zur Erklärung oder Interpretation eines geologischen Phänomens führt über verschiedene Schritte, und wenn wir schon gleich im Feld „sehen“, wie sich etwas gebildet hat, so ist das oft ein Zeichen dafür, dass wir eine Vorstellung fertig mit ins Feld gebracht haben. Unter diesen Schritten sind die wichtigsten wohl die:

1. Eigentliche Bestandesaufnahme, Messungen, Zeichnungen und andere Beobachtungen: Eigentliche Analyse.

2. Logische Synthese dieser Daten, z. B. zu Gruppen gleicher Art, z. B. Diagramme etc., welche noch keine einseitige Interpretation bedeuten (z. T. oft noch eher Analyse).

3. Fortführung der Synthese durch Vergleich mit Bekanntem in unserer Erinnerung und in unserer Umwelt (Literatur, andere Aufschlüsse, Muster, Analysen etc. und — was besonders wichtig ist — Vergleich mit den Erfahrungen der physikalischen Chemie). — 2. und 3. sind der Beginn der Interpretation.

4. Hauptinterpretation: Das was die Einzelstücke der vorangehenden Schritte zu einem Ganzen, einem Gesamtbild zusammenführt. Dies kommt, wenn es sich nicht um etwas schon anderswo Bekanntes handelt, aus uns heraus, ist unsere schöpferische Tat und ist ein Stück von uns selbst, nämlich das von uns in die Naturgegebenheiten hineingesehene Prinzip. Es ist deshalb dem Wandel der Geschichte unterworfen und wird, wenn es auf der Höhe der Zeit steht, eine gewisse Lebensdauer haben und dann überwunden werden. (Weiteres über den Charakter und die geschichtliche Natur unserer Ideen oder Theorien steht in einer anderen Arbeit.)

Grosse Prinzipien sind im allgemeinen einfacher als was vorher an Daten und Ideen vorhanden war. Man denke nur an das periodische System und an das Durcheinander von einzelnen Eigenschaften, die der

Student früher auswendig lernen musste. Dasselbe gilt für das Gebiet der Mineralogie vor dem Auffinden der Kristallsysteme und -klassen.

BERTRAND RUSSELL (1946) hat dies sehr einfach ausgedrückt in seinem Vorwort zu CLIFFORDS „The common sense of the exact sciences“:

„The other thing that must be done“ — im Unterricht und in der Forschung — „is to discover the point of view from which a subject is most easily surveyed. A wood in which the trees are planted in rows looks regular when viewed along a row from one end of it, but may appear completely higgledy-piggledy when viewed on a slant. The same sort of thing is true of a mathematical subject...“ (S. ix).

Wer sich in bezug auf diese und andere Lagerstättengruppen davon eine Meinung bilden will, wer „die Ordnung im Walde sieht“ und welche der Lehrmeinungen auf weniger Annahmen angewiesen ist, lese die epigenetischen und syngenetischen Arbeiten und Vergleiche unter anderem auch BORCHERTS „kritische Anmerkungen zu zwei neuen Arbeiten über Outukumpu“, versäume dabei natürlich auch nicht, zuerst nach Möglichkeit die Lagerstätte selbst, typische Muster und Anschliffe zu studieren.

Es ist ganz offensichtlich und ist wohl kaum je in einer Arbeit bezweifelt worden, dass Lagerstätten wie Cerro de Pasco, Casapalca, Morococha, Grund, Butte und viele andere ganz oder weitgehend epigenetisch gebildet sein müssen. Wenn aber die Übertreibung, das heisst das In-Gegensätzen-, In-Extremen-Denken so vielen unter uns entspricht, so müssen wir wohl einen Schritt zurücktreten und uns fragen, warum dem so ist. Dies wird hier nur begonnen und in einer anderen Arbeit weitergeführt.

An dieser Stelle sei noch eine weitere Lagerstätte besprochen, da ja bereits metamorphe Vorgänge berührt wurden. Die Franklin-Lagerstätte in New Jersey, die seit der neulichen Entdeckung einer ähnlichen Lagerstätte in Russland nicht mehr die einzige ihrer Art ist. Auch sie hat bereits recht viele Interpretationen erfahren und auch hier zerfallen die Ideen im wesentlichen in zwei Gruppen und wurden neulich von METSGER et al. (1958) kurz zusammengefasst. Auf der einen Seite ist man geneigt, anzunehmen, dass es sich um eine hochmetamorphe „Imprägnationslagerstätte“ handelt, die während der Metamorphose den leichtflüchtigen Schwefel abgab, wie vom Verfasser in einer kleinen Arbeit über das Rösten von Zinkerzen als Vergleichsmöglichkeit angegeben wurde (1957f). Damit ist natürlich das genetische Problem nur zurückverlegt und nicht eigentlich gelöst. Andererseits könnte es sich um eine spätere Einwanderung von Zinksulfid oder -oxyd handeln. Im allgemeinen ist man jedoch noch sehr zurückhaltend mit endgültigen Schlussfolgerungen.

g) Der Mississippi-Valley-Bleiberg-Schlesien-Typ

Es steht heute auch die Genese der Mississippi-Valley-Lagerstätten wieder vermehrt zur Diskussion, vor allem deshalb, weil seit wenigen Jahren eine intensive Exploration für die Fortsetzungen des Lead Belts und des Tri-State Districts eingesetzt hat. Vielleicht aber auch ein wenig deshalb, weil das, was in diesen Lagerstätten an genetischen Kriterien vorlag, mit dem besten Willen nicht mit den bestehenden Theorien in Einklang gebracht werden konnte und versucht wurde „durch Bezweiflung aller Theorien der Wahrheit allmählich näher zu kommen“³⁾.

Die Mississippi-Valley-Lagerstätten haben ihren Namen davon erhalten, dass nicht nur stratigraphisch, sondern auch nach dem Gefüge ähnliche Lagerstätten über ein Gebiet verstreut liegen, welches fast durchwegs innerhalb des Einzugsgebietes des Mississippi liegt.

Produktionsmässig liefert dieses Gebiet etwa zwei Drittel der gesamten Blei- und der gesamten Zinkproduktion der Vereinigten Staaten. Dabei stammt etwas mehr als ein Drittel dieser Gesamtproduktion an Zn aus dem Tri-State-Gebiet allein und etwas mehr als ein Drittel der Gesamtproduktion an Pb aus dem Lead-Belt. Das Tri-State Field liegt im Grenzgebiet Missouri, Oklahoma, Kansas und Arkansas, sollte also eigentlich Quadru-State heissen. Der Tri-State District und der Lead-Belt sind übrigens auch die grössten Zn- bzw. Pb-Produzenten der Welt.

Es ist genetisch bereits recht bedeutsam, sich zu vergegenwärtigen, dass die Hauptlagerstätten sich vom kambrischen Dolomit, im Lead-Belt, bis in unterkarbonische Kalke, im Tri-State-Gebiet, erstrecken, also stratigraphisch über eine weite Zeitspanne. Der vertikalen Ausdehnung sozusagen über das ganze Paläozoikum steht die riesige räumliche Ausdehnung gegenüber. Kleinere und grössere Mississippi Valley Type deposits erstrecken sich von Wisconsin über Illinois, Tennessee, Kentucky, Arkansas, Missouri, Oklahoma, Kansas und Texas.

Allein auf dem Raume von Missouri lassen sich über 300 Pb-, Zn-, Pb-Zn-, Pb-Zn-Schwerspat- oder Schwerspat-Lagerstätten eintragen, die früher abgebaut oder untersucht wurden oder zur Zeit noch abgebaut werden. Das Gastgestein variiert sehr stark und unregelmässig; lithologisch ist die Vererzung *weder* ausschliesslich an die Sandsteine, Kalke,

³⁾ Es ist eine angenehme Pflicht, auch hier den Chefgeologen und Mine Managers der Eagle Picher Company im Tri-State-Gebiet, der St. Joseph Lead Company im Lead Belt und der National Lead Company in Fredricktown, am genetisch bedeutsamen Süden des Lead Belts, für das Entgegenkommen zu danken, das der Verfasser bei zahlreichen Minenbesuchen und Diskussionen immer wieder erfahren durfte.

Dolomite, Hornsteine, Tonschiefer, *noch* an bestimmte Facieswechsel gebunden. Die Hauptmasse der Bleierze tritt allerdings in Dolomiten auf, während die Zinkerze in teilweise dolomitischen und verkieselten Kalken vorwiegen. Bei dieser Feststellung muss man sich jedoch vergegenwärtigen, dass Dolomite und Kalke ganz allgemein weitaus vorwiegen. Die unterkambrischen Sandsteine und Konglomerate sind nur selten abbauwürdig, während zahlreiche Schieferlagen in den Dolomiten und Kalken stellenweise hohe Bleiglanzgehalte aufweisen.

Das Gefügebild zeigt die Sulfide fast durchwegs als texturhomologe Gefügekörner, die in Kornform, Korngrösse und Kornanordnung dem Dolomit, Kalk, Hornstein, Ton etc. entsprechen, abgesehen von Grenzfällen, die meist genetisch vieldeutig sind.

Es wäre eine ausserordentlich reizvolle Beschäftigung, die Einzelheiten der Korngefüge aufzuzeigen, vorerst einmal ohne jegliche genetische Interpretation, um diese jedem Einzelnen zu überlassen. Da dies hier aus Platzgründen nicht möglich ist, muss auf eine im Abschluss stehende Arbeit verwiesen werden, die diese Details systematisch aufzeigt und interpretiert. Die Resultate können hier nur zusammenfassend wiederholt werden:

Die Gefügeregelung der einzelnen Erzkörner und Korngruppen lassen eindeutig auf syngenetische Sedimentation und syndiagenetisches Kristallwachstum schliessen. Dieses prä- und syndiagenetische Kristallwachstum kann nicht mit epigenetischen Auflösungs- und Wiederverfestigungserscheinungen oder gar mit mimetischen Metasomatosen verwechselt werden. Dies geht auch deshalb nicht, weil nämlich geopetale, deutlich syngenetisch sedimentäre Texturen vorliegen, wie sie vergleichsweise von SHROCK im Buche „Sequence in layered rocks“ auf Grund von minutiöser Detailarbeit beschrieben werden.

Es hat beispielsweise während der Sedimentation oder während der Diagenese eine Sulfidblastese stattgefunden. Über den Sulphidporphyroblasten legen sich dann die nächsten Tonschieferschichten ab wie über einem eingeschwemmten Geröll. Gelegentlich bilden diese Sulfideinsprenglinge Dendrite (z. B. Chalcopyrit in Fredericktown) oder Sterne (z. B. Bleiglanz in der National-Mine). Auch die zahlreichen konzentrischen, konkretionären geopetalen Gelstrukturen von Bleiglanz, Markasit, Kupferkies und Linneit lassen sich besonders wieder in ihrer Beziehung zu den umgebenden Tonschiefen nur syngenetisch-sedimentär deuten.

Es liessen sich, wie gesagt, unzählige Detailgefüge aufzeigen, die alle darauf hinweisen, dass der Hauptprozess der Lagerstättenbildung nicht epigenetische Metasomatose sein konnte, sondern dass die Erzminerale

gefügehomolog sind und somit von Anbeginn im Gestein waren. Die Entgegnung der extremen Epigenetiker ist natürlich die, dass wir es hier mit mimetischer Metasomatose zu tun hätten. Dass dieser Einwand gegenstandslos ist, geht aus dem Fehlen epigenetischer Kriterien hervor. Es liegen insbesondere jene allmählichen Übergänge nicht vor, die für epigenetische Metasomatose unerlässlich sind.

Eines sollte jedoch noch hervorgehoben werden. Es fehlen nicht nur die mikroskopischen Kriterien für Metasomatose, sondern es fehlen auch die megaskopischen Gradienten oder Zonierungen, die für eine epigenetische Erklärung nicht fehlen dürfen. Was an Stoffkonzentrations- oder Korngrößenunterschieden vorhanden ist, lässt sich mühelos und einfach aus syngenetischen Verteilungsbahnen erklären. Und wo zur Seltenheit einmal eine vertikale Anordnung vorliegt, in Form einer kleinen kurzen sogenannten „Ader“ oder einer vertikalen Imprägnation, da ist nicht einzusehen, warum für Sulfide eine andere Genese angenommen werden soll als für Calcit, Dolomit oder Hornsteine, welche auch ab und zu vertikale Launen aufweisen und deshalb noch lange nicht epigenetisch-hypogen-hydrothermal erklärt werden.

Überhaupt ist es sehr merkwürdig, dass wir geneigt sind, ein Sulfidgefüge anders zu bewerten als ein Ganggesteingefüge, auch wenn es sich rein geometrisch um dasselbe handelt. Diese Suggestivkraft überträgt sich von den Sulfiden sogar auch auf die Hornsteine und die Dolomit-zonen. Wo keine Sulfide vorhanden sind, da werden oft im gleichen Horizont die Dolomite und die Hornsteine als syngenetisch gedeutet. Sobald Sulfide auftreten, glaubt man, die genau gleichen Hornsteine und Dolomit-zonen epigenetisch erklären zu müssen.

Während die Geologen des „Lead-Belt“ in Missouri und auch viele im Tri-State-Gebiet von Oklahoma etc. und von Wisconsin nach der erst vor wenigen Jahren erfolgten Entdeckung ausgedehnter Korallenriffe im Dolomit die Dolomitisierung nunmehr nicht mehr als epigenetisch-hydrothermalen Metasomatosevorgang betrachten, wird von anderen Geologen in anderen Gebieten noch vollständig epigenetische Dolomitisierung vertreten, trotz des prekären Platzproblems bei der Metasomatose, welches offensichtlicher ist als das Platzproblem der magmatischen Granitbildung. So vertritt z. B. LANGE (1956) in der Besprechung von Arbeiten von HLAUSCHECK über das französische Ölfeld Parentis unter Bezugnahme auf Arbeiten von BEHREND und BERG (1927) wenigstens für den Grossteil der Dolomite noch vollständig epigenetischen, metasomatischen Ursprung.

Die syngenetische Erklärung hebt auch diese Widersprüche auf.

Durch die Diskussion über syngenetische oder epigenetische Bildung haben wir uns also vorerst einmal nur über den Zeitpunkt der Lagerstättenbildung unterhalten und haben gesehen, dass der syngenetischen Bildung mehr Wahrscheinlichkeit zukommt. Die angeführten Kriterien stammen vor allem aus dem Lead-Belt. Ganz ähnliche gefügeanalytische Resultate treten im Tri-State, dem Flusspatgebiet von Illinois, dem Barytgebiet im Lead-Belt, in Wisconsin und den anderen Erzgebieten der Mississippi-Valley-Lagerstättenfamilie auf. Die „Pitches und Flats“ in Wisconsin lassen sich beispielsweise als spät-diagenetische Zerrisse deuten oder als tektonische Zerrisse mit lokalen lateral-sekretionären Umlagerungen von PbS , CaCO_3 , SiO_2 , $(\text{Mg}, \text{Ca}) \text{CO}_3$ etc., und die Brekzien im Tri-State weisen nicht nur keine nennenswerten Metasomatosespuren auf, sondern zahlreiche vererzte syngenetische Erosionszonen und submarine Erosionsformen.

Bevor wir zur Diskussion der Stoffzufuhr übergehen, soll eine Warnungstafel aufgestellt werden. Obgleich es erwiesen erscheint, dass eine syngenetische Bildung als Hauptprozess den Beobachtungen an Mississippi Valley type deposits am ersten gerecht wird, darf andererseits nicht übertrieben werden. Wenn die Stoffzufuhr von unten erfolgt sein sollte, so ist es ja anzunehmen, dass vielleicht ein Teil der Erzlösung bereits in metasomatisch reaktionsfähiges Gestein abgewandert ist. Dann sollte man dies jedoch noch sehen und auch persistente vertikale Adern finden. Solche wurden jedoch bisher nur in der Flusspat-Provinz von Illinois beobachtet und sonst in keinem anderen der ausgedehnten Gebiete. Bei Lagerstätten, die mit geosynklinalen Vulkanismus verbunden sind, hat, wie beispielsweise CISSARZ (Diskussion der Arbeiten von MAUCHER, 1957 und PETRASCHECK, 1957) betont, oft exhalativ-marine-sedimentäre und subvulkanisch-hydrothermal-metasomatische Erzbildung stattgefunden. Von telemagmatischer Durchtränkung ist aber keine Rede.

Wir haben somit schon die Frage der Stoffquelle angeschnitten und wollen uns jetzt zusätzlich noch überlegen, wo denn eigentlich die Erzlösungen hergekommen sein könnten. Zu diesem Zweck betrachten wir einmal die von führenden Geologen aufgestellten Theorien. Es wurden von den vier Möglichkeiten A - I, A - II, B - I, B - II bisher nur drei verfochten, nämlich A - I, B - I, B - II.

Die syngenetische Erklärung liegt so sehr auf der Hand, dass es früher schon einmal eine syngenetische Schule gab, vertreten durch Professor DAKE (1930). Er hat allerdings die Stoffzufuhr supergen aus Verwitterungsprodukten erklärt. Die Einzelheiten des Gefüges und die später zu besprechenden geochemischen Kriterien wurden jedoch offenbar zu

wenig genau belegt und diskutiert, so dass die epigenetische Deutung wieder überhand nahm.

Die Hauptvertreter für die epigenetisch-supergene Genese waren BAIN, VAN HISE, ADAMS, WINSLOW, BUEHLER und teilweise BUCKLEY, und die epigenetisch-hypogene Genese vertraten TARR, PIRSSON, EMMONS, GRATON, BATEMAN, BROWN, OHLE u. a. Diese letzte Deutung ist sozusagen als einzige in die europäische Literatur eingegangen. BROWNS „metallurgical theory“ ist nur eine Variante der letzten Theorie.

Unter supergenem Ursprung des Blei-Zink-Baryt-Materials wurden Verwitterungslösungen verstanden, und nur selten erwähnte jemand die an sich natürlich ausgefallene Möglichkeit einer detritischen Ablagerung. Die Verwitterungslösungen wurden teilweise aus den Sedimenten selbst und teilweise vom präkambrischen Grundgebirge hergeleitet.

Die hypogene Ableitung von Erzlösungen, die seit mehreren Jahrzehnten zur orthodoxen Lehrmeinung erhoben wurde und sich auch in europäischen Lehrbüchern festgesetzt hat, bringt hydrothermale Lösungen telemagmatisch in die paläozoischen Sedimente herein. Wenn man bedenkt, dass ein Gebiet von der Grösse ganz Mitteleuropas so telemagmatisch vererzt werden muss und man erst noch die Zufuhrkanäle nicht kennt, so sieht man eine zusätzliche grosse Schwierigkeit einer epigenetisch-hypogenen Erklärungsweise.

Es muss hervorgehoben werden, dass heute die meisten Geologen der Erzgesellschaften, die im „täglichen Umgang“ stehen mit den Lagerstätten des Mississippi Valleys, einen Zusammenhang zwischen den diese Lagerstätten durchziehenden grossen und kleinen Bruchsystemen und der Vererzung — ausser möglichen Lateralsekretionen — grundsätzlich ablehnen. Sie haben somit also mit der traditionellen Theorie, dass Bruchsysteme *a priori* als nur epigenetische Zufuhrkanäle dienen, gebrochen. Diese Theorie ist doch wohl nur auf Analogien mit sicher hypogen-hydrothermalen Adern, nicht aber auf Beobachtungen und physikalisch-chemischen Kriterien selber basiert. Dieser Schritt in Richtung auf Befreiung von vorgefassten Meinungen ist sehr zu begrüßen. Das Trotzdem-noch-an-der-Epigenese-Festhalten machte aber dann eine neue Zufuhrtheorie notwendig und darf wohl als Hauptbewegungsgrund für die Veröffentlichung der „metallurgischen Diffusionstheorie“ von BROWN (1948) betrachtet werden.

Ebenso wichtig wie die geometrischen Kriterien, wenn auch noch nicht so eindeutig, sind die geochemischen Daten. Da finden wir vorerst einmal, dass die Paragenese durch die Anwesenheit von Cu, Co, Ni, As, Ca durchaus „normal hydrothermal“ ist, wobei allerdings das Ag fehlt

und die Verteilung des Cu, Co und Ni etwas einseitig „grossräumig“ sich fast ausschliesslich auf ein Gebiet beschränkt, nämlich das Südende des Lead-Belts. Dass das Ag fehlt, passt jenen ausgezeichnet, welche die Fällung syngenetisch in und mit den Sedimenten vornehmen, da bekanntlich das Ag fein verteilt von den Tonmineralien absorbiert und vom Blei getrennt wird.

Über syngenetische Buntmetallsulfid-Lagerstätten ist eine ganze Reihe von Arbeiten vorhanden, welche allerdings im englischen Sprachgebiet wenig bekannt sind. Viele der erarbeiteten Kriterien aus diesen Lagerstätten gelten für fast alle Mississippi-Valley-Lagerstätten. Als Beispiel sei hier nur ein genetischer Zusammenhang angeführt, welcher kürzlich von HUTH (1956) in der Übersicht über die „Geologie der Steinmergelbänke, insbesondere der Bleiglanzbank, im Gipskeuper“ mitgeteilt wurde:

„Sedimentär-syngenetische Buntmetallsulfide sind in der Bleiglanzbank und in den anderen Steinmergelbänken dort angereichert, wo die vorübergehend eingewanderte marine Keuperfauna — im Mischwasser zwischen der gesättigten Sole des inneren Beckens und dem zufließenden Süßwasser aus dem Hochgebiet — günstige Lebensbedingungen fand“ (S. 17).

Das Auftreten einer Dolomitisierung und Hornsteinbildung in häufiger Vergesellschaftung mit dem Erz kann auch nicht überraschen, da Mg und Si durchaus normale Exhalationskomponenten sind. (Über das Dolomit- und Hornsteinproblem siehe unten.)

Ferner sind Blei- und Schwefelisotopenmessungen gemacht worden und auch Studien an Flüssigkeits- und Gaseinschlüssen in Einkristallen. Bezüglich der Isotopenmessungen haben zwei Gruppen, offenbar ohne voneinander zu wissen, gearbeitet. Die eine, unter der Leitung von Professor HOUTERMANS in Bern, hat vom physikalischen Standpunkt aus die besten Methoden entwickelt und mit Ausnahme von einem, alle Einwände gegen die Deutbarkeit der Resultate eliminiert. Dieser eine Einwand ist der, dass in den betreffenden Arbeiten die Möglichkeit einer Fraktionierung während der Sedimentation — wie sie zum Beispiel bei Schwefel durch Bakterien verursacht wird — ausser acht gelassen ist und ferner vielleicht der Eindeutigkeit des geologischen Ursprungs der Proben nicht immer genügend Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Die zweite Gruppe hat es sich auf Veranlassung des Verfassers wenigstens in der Arbeit über peruanischen Bleiglanz zur Aufgabe gemacht, vorerst einmal eine sorgfältige Bestandesaufnahme der isotopischen Zusammensetzung genetisch eindeutig bekannter Lagerstätten vorzunehmen, um einen Masstab, eine eindeutige Vergleichsbasis zu schaffen.

Es wurde eine Anzahl Bleiglanzmuster aus eindeutig hydrothermalen Adern peruanischer Lagerstätten gesammelt, und das Resultat der Messungen war eine geschlossene Säule von Werten, die nun als erste Vergleichsbasis dient (KULP, AMSTUTZ, ECKELMANN, 1957). In den Arbeiten aus dem Berner physikalischen Institut ist vielleicht eine Analogie auffällig, nämlich diejenige zwischen den Werten des exhalativ-vulkanischen Bleis vom Vesuv und den Werten von den Mississippi-Valley-Lagerstätten. Diese Analogie ist ein möglicher Hinweis auf eine ähnliche Genese. Die Einschlussstudien haben keine eindeutigen Resultate ergeben. — Zum Abschluss unserer eher skizzenhaften Diskussion der Genese der Mississippi-Valley-Lagerstätten seien noch zwei Haupt-Kriterien für exhalative Natur des Grossteils dieser Lagerstätten angeführt: Die Anwesenheit vulkanischer Tuffe und die Anordnung der Lagerstätten entlang polygonalen Strukturen, die offenbar verschiedene Verjüngungen, d. h. Wiederbewegungen erlebt haben und immer wieder als syngenetische Zufuhrkanäle gedient haben mögen.

Wir sehen damit, was bereits am Beginn kurz erwähnt wurde: Die systematische, schrittweise Analyse des Gefüges, des Mineralbestandes und der geochemischen Verhältnisse führt uns nicht zu lehrbuchmässiger Interpretation als telemagmatisch, sondern zu einer einfachen sedimentären Deutung, wobei vermutlich der Sulfidinhalt samt dem Mg und eines Teils des Si aus submarin-vulkanischen Exhalationen bezogen wurden.

Vertritt man syngenetisch-sedimentären Ursprung dieser Lagerstätten vor Vertretern der epigenetischen Schulen, so wird meist sogleich die Antwort gebracht: „Nein, diese Lagerstätten sind hydrothermal, weil die Mineralparagenese hydrothermal ist.“ Da kann man nur sagen: „Ja, sie mögen hydrothermal sein, aber hydrothermal ist nicht zu verwechseln oder gleichzusetzen mit epigenetisch.“

Und damit sind wir an einem wichtigen Punkt der Diskussion über Lagerstättengenese angelangt. Wenn man beispielsweise das BATEMANSche Lehrbuch „Economic Mineral Deposits“ vornimmt, so findet man ausser den Lahn-Dill-Eisenerzen kaum eine exhalative Lagerstätte erwähnt. Mit BATEMAN und schon zum Teil mit LINDGREN nahmen viele stillschweigend an, dass hydrothermale Lösungen immer gehorsam im Erdinnern abgelagert werden und oft meilenweit seitlich ins Nebengestein diffundieren, anstatt — was uns natürlicher erscheint — eine Meile oder weniger weit zur Erdoberfläche emporzusteigen und zu exhalieren. Diese stillschweigende Annahme ist um so erstaunlicher, als BATEMAN an fünf Stellen des Lehrbuches auf Beobachtungen von exhalativ gebildeten Erzmineraleien hinweist und Arbeiten von ZIES und ALLEN zitiert.

Es ist anzunehmen, dass viele Brüche, die sozusagen als Auspuffrohr für die leichtflüchtigen Bestandteile dienen, bis zur Erdoberfläche reichen und einen Grossteil des Materials ins Meer bringen, wo es dann bei günstigen chemischen Bedingungen abgelagert wird.

Vor einigen Jahren bereits hat die sedimentärhomologe, immens horizontale Verbreitung der Mississippi-Valley-Lagerstätten einige Epigenetiker zu einer Zwischenlösung veranlasst, die annimmt, dass die hydrothermalen Lösungen fast gar die Erdoberfläche erreichten, nämlich das Grundwasser, und dass sie dort ausgeschieden wurden (BEHRE and GARRELS, 1943). Auch hier stösst man auf die Schwierigkeit, dass die syngenetischen Gefüge nicht erklärt sind, und es ist auch wiederum nicht einzusehen, warum die Brüche und Spalten, die den hydrothermalen Lösungen als Wege dienten, ausgerechnet im Grundwasserbereich hätten enden sollen oder warum die Ausfällung des ganzen Metallgehaltes im Grundwasserbereich hätte stattfinden sollen.

Doch dies sind ja nur zusätzliche Schwierigkeiten der epigenetischen Deutung. Die massgeblichsten Kriterien sind die im Kleinbereich und die der regionalen Verbreitung, welche oben angeführt wurden. Verschiedene Versuche, z. B. von OHLE und PERRY, den Grad der Vererzung mit Porositätswerten in Verbindung zu bringen, sind vollständig negativ verlaufen.

Nun gehören ja nicht nur die nordamerikanischen Lagerstätten im Mittleren Westen zum Mississippi-Valley-Typ, sondern noch eine ganze Reihe ähnlicher Blei-Zink-Lagerstätten. So z. B. die oberschlesischen Lager, welche das wichtigste europäische Blei-Zink-Vorkommen sind; ferner auch etliche nordafrikanische Lagerstätten, viele ostalpine Pb-Zn-Vererzungen; so z. B. der Bleiberg; und ähnliche Lagerstätten in Schweden, Frankreich, Südamerika etc.

Über diese alpinen und schlesischen Lagerstättengruppen besteht bereits ein reicheres Diskussionsmaterial als über alle anderen.

Epigenese vertreten: FRIEDRICH (1937/1953), CLAR (1953), PETRASCHECK, E. u. EM. (1950), COLBERTALDO (u. a. 1956) u. a. Syngenese vertreten: BUSCHENDORF (1950), HEGEMANN (1949), MAUCHER (1957), SCHNEIDER (1953), TAUPITZ (1954) u. a., während SCHNEIDERHÖHN (1951 etc.) die Erze als Regenerationsprodukte betrachtet, also auch zu den Epigenetikern zu zählen ist. Auch die Genese der Wiesloch-Erze wird zur Zeit einer Wiedererwägung unterzogen, da sich auch hier zum Teil typisch homologe Gefüge vorfinden.

In England liegen im Paläozoikum ganz ähnliche Verhältnisse vor wie im mittleren Westen der USA. Dabei scheinen allerdings die Ver-

hältnisse insofern einfacher zu sein, als es nicht nur gefügehomologe „disseminated deposits“ hat, sondern auch wirklich gangförmige Lagerstätten. Zudem hat es auch ähnliche Lagerstätten im präkambrischen Grundgebirge, und, was vielleicht am wichtigsten ist: es gibt intrusive Granite früh-, mittel- und spätpaläozoischen Alters. Diese dürften doch vielleicht für die syngenetische und epigenetische Mineralisation verantwortlich gemacht werden. In DUNHAMS Arbeiten (1948/1952) finden sich gute Kriterien für diese Verknüpfung von Syngeneise und Epigeneise, wenn er auch trotzdem die konformen, gefügehomologen Lagerstätten als epigenetisch erklärt.

Das Problem der Erzgeneise in alten Schildgebieten ist noch weit offen. So wie angenommen wird, dass in nicht orogenen Gebieten eine ruhigere Differenzierung der Magmen stattfindet (GEIJER, 1922; TILLEY, 1958, S. 324), so darf wohl auch angenommen werden, dass eine ruhigere und vor allem lange anhaltende Entwicklung von Erzlösungen, die wohl meist die leichtflüchtigen Bestandteile einer magmatischen Differentiationsabfolge sind, stattgefunden hat. Diese wären dann allmählich entlang immer wieder neu bewegten („rejuvenated“) Bruchsystemen emporgedrungen und hätten sich vorwiegend als Exhalationen ins Meer ergossen, so wie das ja heute noch geschieht.

Es wurde deshalb der Mississippi-Valley-Typ als Hauptbeispiel gewählt, weil es sich hier nicht nur um immense Erzquantitäten, Ablagerungsräume und Zeiten handelt, sondern auch deshalb, weil sich hier die Diskussion schon sehr früh angebahnt hat und dieser Lagerstätten-typ über die ganze Welt verbreitet ist. Es bleibt natürlich noch viel übrig, was nicht erklärt ist. Eine neuere Arbeit, die hier nicht unerwähnt bleiben sollte, ist die ausgezeichnete Untersuchung von STANTON (1958) über „Abundances of copper, zinc and lead in some sulfide deposits“, die stark zur Bekräftigung der syngenetischen Auffassung beigetragen hat.

Es ist ferner ebenfalls erst neuerdings von SNYDER und ODELL (1958) eine hervorragende Arbeit über „Sedimentary breccias in the southeast Missouri Lead District“ erschienen, welche die Brekzienbildung als syngenetisch erkennt. Von dieser Erkenntnis bis zur syngenetischen Deutung des Kleingefüges und schliesslich des Erzgefüges ist wohl kein grosser Schritt mehr⁴⁾.

Verblüffende Ähnlichkeit mit den Mississippi-Valley- und den engli-

⁴⁾ Wie der Verfasser erst kürzlich erfuhr, hat Professor MAUCHER bereits 1956 in Mexico City die Vermutung ausgesprochen, es könnte sich im Mississippi Valley um syngenetische, exhalative Lagerstätten handeln.

schen Blei-Zink-Lagerstätten in paläozoischen Sedimenten zeigen übrigens auch die nordschwedischen Lagerstätten in gleichen Sedimenten gleichen Alters. Ein Profil von Laisvall in Nordschweden (GRIP, 1948, S. 9) könnte fast mit Profilen aus dem Lead-Belt in Missouri vertauscht werden. GRIP legt sich auf keine genetische Interpretation fest.

h) Die meist präkambrischen Eisenerzlagerstätten vom Typus Lake Superior, Cerro Bolivar, Labrador, Itabira etc.

Die gleiche Dualität der syngenetischen und epigenetischen Interpretation lässt sich auch hier wieder erkennen. Es soll nur kurz erwähnt werden, dass auf Grund von Untersuchungen in Peru (1956 c) und am Oberen See (1958 b und e) in den Jahren 1952—1957 Verfasser einer ursprünglich syngenetisch-supergen und/oder syngenetisch-hypogenen Theorie mehr Wahrscheinlichkeit zusprechen möchte als den verschiedenen epigenetischen Interpretationen. Die damals aufgestellten Kriterien sind wiederum verblüffend ähnlich mit den uns seither bekannt gewordenen Kriterien von BORCHERT (1954/55) und RAMDOHR (1953). Während beispielsweise am Oberen See durchaus epigenetisch-supergen, vermutlich im Grundwasserbereich, noch Umlagerungen stattgefunden haben müssen, ist es doch höchst wahrscheinlich, dass es sich sowohl um die Exhalation eines Kirunamagmas gehandelt haben kann, wie GRUNER im Prinzip schon sehr früh vorschlug (1924), vielleicht in teilweiser Anlehnung an VAN HISE und LEITH (1911), als auch um rein sedimentäre Eisenerzbildungen (vgl. P. NIGGLI, 1952; BORCHERT, 1952; HEGEMANN und ALBRECHT, 1954—1955 u. a.).

Die starke mengenmässige Abnahme derartiger und verwandter Lagerstättenbildungen seit dem Archaikum ist in einer kürzlich erschienenen kurzgefassten Übersicht vom Verfasser mit der abnehmenden Entgasung der Erdkruste in Verbindung gebracht worden (1958 e).

i) Das Hornsteinproblem („the chert problem“)

Im Mittleren Westen der USA wie auch in vielen andern Gebieten erwacht immer wieder eine rege Diskussion über die riesigen Mengen von Hornstein, welche in Kalken, Dolomiten und Tonen auftritt. Diese Hornsteine treten als Knollen, als löcherige Skelette oder als geschlossene Horizonte oder als Übergänge zwischen diesen Formen auf.

Die Deutungen variieren wiederum stark. Während die einen es als selbstverständlich ansehen, dass die Hornsteine als sedimentäre Silikat-

gele abgelagert wurden, vertreten andere die Ansicht, die Hornsteinmassen, die in Brekzienerzen, z. B. im Tri-State District, oft mehrere Generationen aufweisen, seien epigenetisch-hypogen-hydrothermal gebildet worden durch massenhaftes Verdrängen ganzer Dolomit- und Kalkhorizonte (FOWLER et al., 1934, u. a.).

Andere sehen in der epigenetisch-supergen Bildung die beste Lösung, wobei angenommen wird, dass das Grundwasser SiO_2 umgelagert hätte, unter Auflösung ganzer Horizonte von Dolomiten und Kalken. Die Grosszahl der Geologen im Mittleren Westen vertritt jedoch die syngenetische Auffassung und führt das silikatische „Rohmaterial“ vulkanisch-exhalativ, also hypogen-hydrothermal aber syngenetisch, oder als Verwitterungsprodukt, also syngenetisch-supergen zu. WINKLER (1925) u. a. nehmen an, dass Spongien die Silikataufsammler und nach ihrem Absterben die Silikatlieferanten waren.

Gute Kriterien für syngenetische Natur wurden neulich von HARRIS (1958) veröffentlicht. Er beschreibt Austrocknungspolygone mit Hornsteinkonkretionen als Zentren. Experimentell haben LINCK und BECKER (1926) schon vor über dreissig Jahren Hornsteine hergestellt. Über die Geochemie besteht aus der Feder von FOLK und EDWARD (1952) eine umfassende Zusammenstellung und beleuchtet die bei epigenetischer oder syngenetischer Deutung zu berücksichtigenden Faktoren. KUMM (1926) erwägt eingehend die Kriterien für und gegen prä-, syn- und postdiagenetischen Ursprung von Konkretionen wie Hornstein und erwähnt viele frühere Arbeiten, welche von HARRIS, PANTIN, FOWLER und anderen, welche über das Hornsteinproblem schrieben, nicht berücksichtigt wurden.

Über syngenetische Hornsteine und Jaspilite, welche in der Regel mit Keratophyren und Spiliten vergesellschaftet sind, wird Verfasser in der Spilitmonographie berichten. PUTZER (1958) hat neulich eine reich mit syngenetischen Kriterien befrachtete, schöne Arbeit über die Kryptomelan- und Jaspilitlagerstätten in Brasilien veröffentlicht.

k) Karbonatische Gesteine und Lagerstätten. Vorwiegend Dolomite, Magnesite, Siderite etc. in Kalken

Die ganze Fragwürdigkeit und auch Schwierigkeit der Unterscheidung zwischen Epigenese und Syngenese tritt auch im Siderit-Magnesit-Dolomit-Kalk-Problem wieder zutage. Wo liegen hier die Grenzen zwischen syngenetischen und epigenetischen Vorgängen? Welche Kriterien können wir gebrauchen? Welche Argumente müssen schon aus

rein logischen Gründen abgelehnt werden, und welche Forschungsmethoden führen am besten zum Ziel?

Auch über diesen Problemkreis gibt es ein fast unbegrenztes Schrifttum, und was hier angeführt werden kann, sind wiederum nur einige aus einer grossen Zahl von Arbeiten ausgelesene „Schulbeispiele“.

Eine schön dokumentierte neue Arbeit, die unter anderem auch Dolomitierungen diskutiert, stammt von E. GENGE jun. (1958). GENGE zeigt in alpin verfalteten mesozoischen Gesteinen Dolomitäderchen, aber auch Calcit- und Calcit-Dolomit-Äderchen, die ein Kalk-, Kalk-Dolomit oder Dolomitgestein kreuz und quer durchziehen. An einzelnen Stellen scheint ein Zusammenhang zu bestehen zwischen der Geometrie und dem Gehalt an Dolomit und den Äderchen; in den meisten Fällen spricht jedoch einiges gegen einen Zusammenhang. Wenn zum Beispiel, wie GENGE durch Bild und Wort zeigt, die eine Seite eines Dolomitäderchens dolomitisiert ist, die andere aus Kalk besteht, so muss man sich wohl hüten von einer von diesen Äderchen ausgehenden Dolomitierung zu sprechen. Wie GENGE zeigt, können diese Äderchen auch viel jünger sein, und man wird mit ihm einig gehen, dass „im einzelnen . . . im Auftreten und der Verteilung von Dolomit und Kalk wenig Gesetzmässigkeit zu erblicken“ ist.

Wenn, wie in GENGES Figur 4, Tafel V, eine Abnahme der Dolomitmächtigkeit längs einer Suturfläche auftritt, oder, wie in Figur 1, Tafel V, eine Calcitader mitten durch eine Kalkzone zieht, so darf man nicht vergessen, dass die Bruchlinien in einem festen Körper gewöhnlich Schwächezonen folgen, und da die Festigkeitseigenschaften von dolomitisierten und kalkigen Partien wohl in der Regel verschieden sind, ist es zu erwarten, dass die Adern gewöhnlich entweder durch dolomitische oder durch kalkige Partien gehen. Gehen sie nun durch den Dolomit, so sind wir versucht, von einer Dolomitierung zu sprechen, gehen sie aber durch den Kalk, so sprechen wir nicht von einer „Kalkisierung“, sondern nehmen ganz einfach an, dass die Kalkäderchen lateralsekretionär gebildet wurden. — Im Falle der Figur 4, Tafel V, ist ja nun auch die Möglichkeit vorhanden, dass der Dolomit syngenetisch gebildet wurde, was einer Bedingungsänderung in der Ablagerung gleichkommt und wohl normalerweise gerade zu einer Suturfläche führen dürfte.

Das sind ziemlich einfache Gedankengänge, die wohl die meisten als „gesunden Menschenverstand“ („common sense“) bezeichnen würden. Es ist aber erstaunlich, wie leicht wir die Schranken des „gesunden Menschenverstandes“ einfach überschreiten, wenn es darum geht, eine vorgefasste Meinung zu beweisen. Diese Meinungen sind allerdings oft

weitgehend oder ganz unbewusst und somit auch das Ignorieren der Kriterien, die gegen unsere vorgefasste Meinung sprechen. Was uns ins Unterbewusstsein entflohen oder gar nie ins Bewusstsein vorgedrungen ist, sollten wir nach Möglichkeit bewusst machen.

Eine hier wie auch in sulfidischen Lagerstätten häufige geometrische Beziehung, welche genetisch gedeutet wird, bilden die „aggressiven“ oder „positiven“ und die „regressiven“ oder „negativen“ Korngrenzen. Diese werden oft fälschlicherweise als einfache, direkte Beweise für Verdrängungen („replacements“) gebraucht, obgleich meist schon allein die Betrachtung der dritten Dimension die Kurzschlussnatur der Deutung aufdecken würde. Es ist darauf zwar an vielen Stellen und von vielen Autoren hingewiesen worden, unter anderem auch von P. NIGGLI (1948, S. 192, Fig. 112) in einer anschaulichen Zeichnung, wie auch in verschiedenen Arbeiten des Verfassers (z. B. 1954 a, 1957 c). Immer wieder finden wir jedoch im Kilometer-Bereich der Aufschlüsse, im Zentimeter-Bereich der Handstücke und im Millimeter- oder Mikron-Bereich der Dünn- und Anschliffe die genannte Geometrie missverstanden. Dieses Missverständnis ist die eingangs erwähnte Verwechslung zwischen Δc , Δs und Δt .

Es könnten natürlich noch sehr viele ähnliche, an sich einfache geometrische Kriterien angeführt werden, von welchen viele verwandt sind mit bereits erwähnten sedimentpetrographischen Kriterien. Es sei hier nur noch kurz auf eine Reihe von Faktoren aufmerksam gemacht, welche auch oft ausser acht gelassen werden oder kurzschlussartig als eindeutige Beweise für Vorgänge gebraucht werden, welche nur aus einer fein verwobenen und aufeinander abgestimmten Vielfalt von Indizien und/oder Indizienbeweisen eruiert werden können. Es sind dies die Farb- und Härteunterschiede, die durch die Erosion noch verstärkt werden und oft zu voreilig als Unterschiede in der Zusammensetzung oder gar als Beweise für Stoffzufuhr gedeutet werden, wo gar kein chemischer oder auch kein mineralogischer Unterschied besteht, bei genauem Zusehen. Auch Korngrössenunterschiede spielen oft die gleiche Rolle und führten zum Beispiel im Tri-State District zur falschen Annahme, dass nur die Brekzien- und Bruchzonen dolomitisiert seien. Der Dolomit ist nämlich nur in diesen Zonen grobkristallin und deshalb sichtbar, während vom feinkörnigen Nebengestein oft einfach stillschweigend angenommen wird, dass es dolomitfrei sei. In Wirklichkeit haben die Dolomitizonen in der Regel eine viel grössere und unregelmässigere Ausdehnung als die schmalen, erreichen Bruch- und Brekzienzonen.

Dieses Vorgehen der „magmatisch gesinnten“ Epigenetiker in den „Imprägnationslagerstätten“ deckt sich in verblüffender Weise und oft

wörtlich mit dem Vorgehen der „migmatischen“ Epigenetiker, wo diese nämlich über ihre diffusionsartigen Granitisationen, über „basic fronts“ und andere ähnliche Vorgänge sprechen.

GENGE beantwortet die Frage der Syngenese und Epigenese zugunsten einer hauptsächlich spätdiagenetischen Dolomitisierung (S. 183), betont aber, es „soll damit nicht gesagt sein, dass keine primären oder frühdiagenetischen Dolomite und dolomitischen Anteile in Kalken vorkommen“, wobei man vielleicht anfügen könnte, dass gerade die späten Kalkgrundmassen von Dolomitschollen wohl am einfachsten aus einer syndiagenetischen Deutung verständlich werden.

Wichtig und für unsere Diskussion von allgemeiner Gültigkeit ist auch die folgende Feststellung GENGES:

„Diese Dolomitbildungen sind jedoch nicht stets mit Sicherheit von den sie grösstenteils überdeckenden, viel auffälligeren jüngeren Umwandlungen zu unterscheiden.“

Wir haben oft nicht nur eine merkwürdige Mühe, geologische Phänomene in drei Dimensionen zu sehen, sondern auch die vierte, die Zeitdimension, gebärdet sich oft widerspenstig. Einzelheiten an einem geologischen Körper genetisch zu verknüpfen, wenngleich sie zeitlich vielleicht nichts miteinander zu tun haben, kann uns auch dazu führen, etwas als epigenetisch zu betrachten, was syngenetisch ist, und umgekehrt. Jüngere Umwandlungen und tektonische Verformungen mit oder ohne Stoffwanderungen müssen nach Möglichkeit von älteren oder gar ursprünglichen Strukturen, Texturen und Zusammensetzungen unterschieden werden.

Es mag nun scheinen, dass diese Diskussion überflüssig ist und die syngenetische Natur von Dolomitisierungen selbstverständlich. Wenn wir uns aber in der Literatur über Lagerstätten in Kalken und Dolomiten umschauen, so sehen wir, dass oft die Deutung von syngenetisch auf epigenetisch umklappt, sobald es sich um abbauwürdige Gesteine, also um Erze handelt. So wurden beispielsweise die Dolomite und, wie bereits erwähnt, auch die Hornsteine paläozoischer Sedimente im Mittleren Westen der USA wenigstens in der Nähe der abbauwürdigen Lagerstätten von verschiedenen Autoren als hydrothermale oder durch Grundwasser gebildete, also als epigenetische Gesteinsbestandteile erklärt. BEHRE (1947) schreibt beispielsweise (S. 542):

„...A definite localization of a given carbonate (e. g. dolomite) to the close neighbourhood of the ore rules out its 'sedimentary' origin, as shown in the Tri-State district by FOWLER and LYDEN...“

Da können wir nur fragen: Wie steht es denn, wenn auch die Erze sedimentären Ursprung aufweisen? (Vgl. FOWLER et al., 1934.) Die epigenetische Natur der Erze selbst ist ja eine Annahme und kann einstweilen kaum als Beweis für epigenetischen Ursprung der Dolomitzone dienen. Verfasser zeigte neulich, dass die Dolomit- und Hornsteinbildung wohl mit viel grösserer Wahrscheinlichkeit syngenetisch gedeutet werden muss, wie ja auch die Hauptmenge der Erze selbst.

Sogar für den Leadville-Distrikt — heute von vielen als Musterbeispiel für hydrothermale Verdrängungen angeführt — ist bereits einmal syngenetische Dolomitisierung und Vererzung angeführt worden (POŠEPNÝ, 1893—1902), nachdem EMMONS 1886 (zit. LINDGREN, 1933) epigenetisch-supergene Bildung vertrat. In einer neuen Arbeit über die Lagerstätte bei Gilman zeigt LOVERING (1958), dass zwar die Dolomitisierung vermutlich bei annähernd 300° C, die Vererzung aber zum Teil unter 150° C stattfand.

In ganz ähnlicher Weise werden in den Ostalpen die Magnesit- und die Sideritlagerstätten von einer Schule (z. B. von LEITMEIER, 1953) als im wesentlichen syngenetisch, von einer andern Schule (z. B. von CLAR, 1953; FRIEDRICH, 1953, und von PÉTRASCHECK W. und W. E., 1950) als epigenetisch erklärt. Es handelt sich hier wie beim Bleiberg und dem Mississippi-Valley-Typ ja um wesentliche Probleme der alpinen oder amerikanischen Geologie, nämlich darum, ob von einer magmatischen oder regenerativen alpinen Metallogenese gesprochen werden kann oder ob die Mehrzahl dieser Lagerstätten syngenetisch ist und somit viel älter. Es ist wohl einleuchtend, dass diese Fragen eher einer besseren Lösung entgegengeführt werden können, wenn sie in grösserem, weltweitem Rahmen und mit mehr Vergleichsmaterial, vor allem auch aus dem Laboratoriumsversuch, diskutiert werden können. Es handelt sich ja, wie aus dieser Arbeit hervorgehen sollte, weitgehend um die gleichen Kriterien, die einer besseren, allgemeiner gültigen Beantwortung harren.

1) Autigene oder allothigene Gesteinsbestandteile⁵⁾

Von ausgesprochenen Erzlagerstätten sind wir nun langsam zu eigentlichen Gesteinen vorgedrungen und treffen auch hier wieder auf dieselbe Polarität der Interpretation. Sie zeigt sich in vielen Beziehungen, am stärksten wohl aber im Problem der autigenen und allothigen Mineralien bzw. Mineralisationen.

⁵⁾ Es wird auch die Schreibweise authigen und allotigen angetroffen. Etymologisch richtig sind autigen und allothigen.

Um nur ein Beispiel zu nennen, wird der Albitgehalt in verschiedenen metamorphen Gesteinen von den einen als zugeführtes Mineralisationsprodukt gedeutet, von andern aber als autigen. Derartige Albitgehalte treten beispielsweise in den Casannaschiefern der Alpen auf oder in metamorphen Gesteinen des Monte-Rosa-Massivs. Die Kriterien für und gegen epigenetische Albitisierungen sind wiederum ganz ähnlich wie in den andern Diskussionen um Epigenese und Syngenese. Es geht meist vor allem um die Deutung von Gefügen, die von den einen als Verdrängungsgefüge, von andern als einfache metamorphe Rekristallisations- oder als einfache syngenetische Kristallisationsgefüge angesehen werden. Ferner geht es um die Deutung von Gradienten in der Zusammensetzung, die auch vieldeutig sind in erster Annäherung und von den einen als Beweis für Zufuhr und Stoffwanderung, von den andern als einfache ursprüngliche Unterschiede in der Zusammensetzung gesehen werden.

Die Literatur über derartige Gesteine und Vorgänge ist äusserst ausgiebig, und eine auch nur annähernd vollständige Bibliographie würde Hunderte von Arbeiten umfassen. Wir müssen uns hier mit den wenigen Hinweisen begnügen. Es soll abschliessend nur noch auf die hervorragenden vergleichenden lithologischen Studien autigener Sedimentbildungen in Meeresbecken hingewiesen werden, wie sie unter anderen STRACHOW (1956) veröffentlicht hat. Erzgenetische Studien über autigene und allothigene Bildungen kommen natürlich nicht aus ohne sedimentpetrographische Kenntnisse, welche aber gerade in den USA zu wenig Berücksichtigung gefunden haben trotz hervorragenden Büchern und Zeitschriften (z. B. SHROCK, 1948, und das Journal of Sedimentary Petrology).

m) Fossil-Füllungen („replaced or mineralized fossils“)

Die Diskussion über das Alter der Fossil-Füllungen dreht sich um die gleichen Pole. Die Sedimentpetrographen, die Stratigraphen und auch die Paläontologen, soweit sie sich für die mineralogische Zusammensetzung ihrer Fossile interessieren, nehmen gewöhnlich an, dass sich das heute in einem Fossil vorhandene Material zur Zeit der Diagenese oder schon vorher abgelagert hat und dass nachträglich im allgemeinen nur unwesentliche und ganz lokale Umlagerungen stattgefunden haben.

Lesen wir jedoch Arbeiten über Minengebiete, besonders jene in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts in den USA veröffentlichten, dann treffen wir gewöhnlich auf den Ausdruck „replaced“ oder „mineralized fossils“, wobei diese Termini fast ausnahmslos epigenetisch aufgefasst werden. Am deutlichsten kommt die Diskrepanz in der Interpretation wohl bei

den Arbeiten über versteinerte oder „mineralisierte“ und „verdrängte“ Hölzer in den Weststaaten der USA zum Vorschein. Die riesigen Mengen von „petrified wood“ werden gewöhnlich als syngenetische oder syndiagenetische Verkieselungen betrachtet (vgl. dazu MURATA, 1940; AMSTUTZ, 1952b, 1954c, 1958k). Sobald aber Sulfide oder gar Uranmineralien in den Hölzern vorkommen, sprechen viele von epigenetischer Verdrängung, obgleich es sich rein gefügemässig und auch geochemisch um die gleichen Erscheinungen handelt.

Auch in diesem Gebiet sind wir somit auf der Suche nach handfesteren Kriterien für die Altersstellung eines Gesteinsbestandteiles. Im Falle von Pflanzen und Lebewesen sollte es vielleicht ein wenig leichter sein, gute Anhaltspunkte zu finden, da wir ja oft die Pflanzen- und Tiergewebe des lebenden und des toten Körpers kennen und somit ab und zu imstande sein sollten, einen Anhaltspunkt für die Zeit der „Mineralisation“ zu finden. (Dieser Versuch wird zur Zeit durch eine Dissertation an der Missouri School of Mines unternommen.)

In einer kurzen Beschreibung einer Kupferschieferlagerstätte in Peru hat Verfasser die mit Kupferglanz und Bornit ausgefüllten Zellen von permokarbonischen Baumstämmen als „replaced cells in a fossil silicified tree“ bezeichnet, weil er ohne nachzudenken einfach den Ausdruck in BATEMANS Lehrbuch kopierte. Dabei sind aber wohl die Zellen mit Kupferglanz und Bornit ausgefüllt worden, und zwar vor- oder syndiagenetisch. Es ist vermutlich ratsam, den Ausdruck „verdrängt“ (replaced) für spätere Stoffumsätze zu reservieren und nicht für das „Verdrängen“ von Wasser oder Plasma durch anorganische Substanzen im Wasser. Diese Art von Versteinerung („fossilisation“) ist wohl kaum als Verdrängungsvorgang zu bezeichnen, sondern einfach als ein Ausfüllen, wobei offenbar oft in den Schalen und im Innern von organischen Stoffen andere Mineralien ausgefällt werden als in deren Umgebung, vermutlich einfach deshalb, weil sich im Innern von Pflanzen und Lebewesen oft kleine, verhältnismässig geschützte euxinische Milieus befinden.

Es soll auch dieser Abschnitt nicht abgeschlossen werden ohne einen Hinweis darauf, dass auf diesem Gebiete bereits seit einiger Zeit Experimente vorliegen, welche syngenetische Versteinerung im Laboratorium erreichten (SABBATONI, 1920).

n) Die Genese der Öllagerstätten, Teersande etc.

Die vorangehenden Beispiele sind, wie auch die meisten nachfolgenden, aus dem Gebiet der Petrographie und Lagerstättenkunde gewählt. Die „Dimorphie“ der genetischen Deutung erstreckt sich aber auch auf das

Gebiet der Petroleumgeologie und verwandter Wissenschaftszweige. Vermutlich die anschaulichste Illustration der beiden „Denk-Waffenlager“ ist 1955 im Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists erschienen und besteht aus einer grundlegenden syngenetischen Arbeit von CORBETT und vier epigenetischen Entgegnungen von GUSSOW, HAMILTON, HUME und SPROULE. CORBETT antwortet den vier Epigenetikern in einer dreizehnseitigen Antwort, die im gleichen Heft publiziert wurde. Seit diesem beispielhaften, nachahmungswerten wissenschaftlichen Turnier sind zahlreiche wertvolle Beiträge für beide Seiten veröffentlicht worden. Es sei hier nur die kurze Zusammenfassung des sich auf die epigenetische Seite stellenden Professors LANGE (1955) erwähnt, aus dessen Arbeit auch die folgenden Zitate stammen.

LANGE schreibt (S. 126):

„Der Streit um die Genese des Öles dieser unter dem Namen ‚Athabasca-Teersande‘ allgemein bekannten Lagerstätte spielt sich zwischen ‚Insituisten‘ und ‚Migrationisten‘ ab. Nach der bei uns üblichen Terminologie handelt es sich also um einen Meinungswechsel zwischen Syngenetikern und Epigenetikern.

CORBETT vertritt die Ansicht, dass das Erdöl der Teersande syngenetisch mit den Sandablagerungen, in denen es heute auftritt, entstanden sei. Er geht davon aus, dass sich in den Kreideschichten der McMurray-Sandhorizonte zahllose Pflanzenreste vorfinden. Bei ihrer Ablagerung müssten seiner Meinung nach grosse Mengen von Huminsäuren entstanden sein. So kommt er zu der Ansicht, dass diese Huminsäuren die Muttersubstanz des Erdöls der Teersande bilden. Um seine Ansicht plausibel zu machen, konstruiert er eine riesige Lagune, die zur McMurrayzeit bestanden haben soll. In dieser Lagune sollte sich das Erdöl dadurch gebildet haben, dass in ihr das mit Huminsäure stark angereicherte Flusswasser auf Salzwasser stiess, worauf sich dann das Erdöl aus dem Flusswasser, das die Huminsäuren in kolloidalem Zustand enthielt, abgeschieden haben sollte.

CORBETT weist darauf hin, dass Karbon, Kreide und Tertiär Epochen gewesen seien, in denen neben den grossen Kohlenablagerungen auch die wichtigsten Erdölablagerungen syngenetisch mit den jeweiligen Sedimentabsätzen aus Huminsäuren entstanden seien. Er ist der Ansicht, dass die asphaltischen Öle der Teersande eine Vorstufe für die Bildung von leichten Ölen seien, die sich unter der Einwirkung von Druck und Hitze in den tieferen Erdschichten aus ursprünglich asphaltischen Ölen gebildet hätten.

Unter den Diskussionsbeiträgen fällt vor allem derjenige von Gussow auf, der sich am konsequentesten und eingehendsten gegen die Theorie von CORBETT wendet. Seiner Meinung nach hat sich das Öl der Athabasca-Teersande in einer echten stratigraphischen Falle akkumuliert. Er lehnt, wie auch die anderen Diskussions Teilnehmer, die Herkunft des Erdöls aus Huminsäuren ab. Des weiteren kann er sich mit der Auffassung von CORBETT, dass die schweren Asphaltöle gewissermassen die Muttersubstanz leichter Paraffinöle sein sollen, nicht einverstanden erklären. Nach ihm sind asphaltische Öle im allgemeinen in flachen Strukturen längs alter Erosionsflächen oder in der Nähe von Verwerfungen aus ursprünglich leichten Ölen durch Oxydation entstanden. Die Teersande in den

Arbuckle-Bergen von Oklahoma, die Santa-Rosa-Ablagerungen in Neumexiko, viele Teersandvorkommen Kaliforniens, die sehr schweren Asphaltöle in den oberen Sanden des Maracaibo-Bassins und dem „Teer“-Streifen längs der Ausbisse des Orinoco-Bassins in Venezuela sind nach ihm weitere Beispiele für die gleiche Bildungsart asphaltischer Öle, wie sie in den kanadischen Teersanden beobachtet wurde.

HAMILTON beanstandet an der CORBETTSchen Theorie, dass der Kohlenstoffgehalt in den wässrigen Lösungen, die kolloidale Huminsäure führten, geringer gewesen sein müsse als die Menge des Kohlenstoffes der lignitischen Substanzen, die sich heute noch als Fossilien in den Sanden vorfinden. Nach ihm beträgt der grösste Gehalt an lignitischer Substanz in den McMurray-Sanden nur 0,5%. Man kann sich also nicht erklären, dass die aus ihnen entstandenen Huminsäuren ausgereicht haben sollen, um eine derart gewaltige Menge von Erdöl zu bilden, wie sie in den Athabasca-Teersanden auftreten.

SPROULE lehnt ab, dass sich die Teersande unter lagunären Bedingungen abgesetzt haben könnten. Die zum Teil kreuzgeschichteten Sande stellen eine Ablagerung nahe der Strandlinie des offenen Meeres dar. Bisher sei noch nie behauptet worden, dass sie sich in einer Lagune abgesetzt haben sollen. Auch hätte der Absatz etwaiger ins Meerwasser gelangter Huminsäuren nicht in dem Küstenstreifen stattfinden können, in dem die McMurray-Sande abgesetzt wurden. . .

In seiner Erwiderung gibt CORBETT zu, dass die Bildung des Erdöls aus Huminsäuren nicht in einer Lagune stattgefunden haben könne, wohl aber in einer Bai oder in einem Golf des offenen Meeres. Dagegen lehnt er weiterhin die Behauptung seiner Gegner ab, dass sich das asphaltische Erdöl in einer stratigraphischen Falle gebildet haben könne. Vor allem wendet er sich dagegen, dass Gussow behauptet hatte, das Erdöl der Teersande sei aus Juragesteinen in sie eingewandert.

Der wichtigste Differenzpunkt zwischen den Ansichten der beiden wissenschaftlichen Richtungen ist die Frage der Migrationsmöglichkeit. . .“

Anschliessend gibt LANGE seinen Diskussionsbeitrag.

Diese Diskussion um die Genese von Erdöllagerstätten ist hier deshalb so ausführlich wiedergegeben, weil es äusserst bemerkenswert erscheint, dass in einem doch an sich und äusserlich ganz verschiedenen Zweig der Geologie wiederum die gleiche Polarität der Ansichten herrscht. Aber nicht nur das. Die Parallelität und Ähnlichkeit geht soweit, dass man sogar die gleichen Begriffe sieht und sich die Diskussion in gleichen Bahnen bewegt und wohl auch ähnliche Denkfehler gemacht werden. Die Migrationsmöglichkeit und die Wegsamkeit stehen wiederum im Zentrum der Unsicherheit. Die Relativität unserer Kenntnisse und Beobachtungsmöglichkeiten wird wiederum offensichtlich.

Eine kaum annehmbare Einschränkung ist das Argument, dass „die Menge des Kohlenstoffes der lignitischen Substanzen, die sich heute noch als Fossilien in den Sanden vorfinden“, ohne weiteres auf den „Kohlenstoffgehalt in den wässrigen Lösungen, die kolloidale Huminsäuren führten“, schliessen lässt. Die lignitischen Substanzen sind nicht die ein-

zigen aus Kohlenstoff bestehenden und Huminsäure bildenden Bestandteile von Pflanzen. Und zudem ist in einem physikalisch-chemischen System — und um das handelt es sich ja beim Meerwasser — die jeweils ausgefällte Substanz nicht unbedingt, ja sogar in den wenigsten Fällen ein genaues chemisches Abbild der Zusammensetzung der Lösung oder Schmelze. Letztere beeinflussen allerdings den Zeitpunkt und die Zusammensetzung der ausfallenden Phase, des Niederschlages. Es können jedoch Komponenten sehr aktiv sein beim Ausfällen, welche überhaupt nie selbst ausfallen, sondern stets in Lösung bleiben. Ein für unsere Diskussion wichtiges Beispiel ist die Bildung von Dolomit, prä- oder syndiagenetisch. Wie TEODOROWITSCH (1955) und andere gezeigt haben, bringt NaCl zum Beispiel im Meerwasser, die Löslichkeiten von CaCO_3 und MgCO_3 sehr nahe zueinander. So bildet sich Dolomit wegen der Anwesenheit von verhältnismässig hohen NaCl-Gehalten, wobei aber Na Cl nicht ausfällt. Das Dolomitproblem hat, wie schon gezeigt wurde, beträchtliche Bedeutung für die Genese der Mississippi-Valley-Klasse von Lagerstätten.

Über zwei extreme epigenetische Theorien der Petroleumgenese wird im Abschnitt über extraterrestrische Theorien berichtet.

B. INTRUSIVE GESTEINE UND DARIN VORGEFUNDENE LAGERSTÄTTEN

a) Das Granitproblem

Wie bereits verschiedentlich erwähnt wurde, handelt es sich auch beim Granitproblem im wesentlichen um eine Diskussion über syngenetische oder epigenetische Gesteinsbildung. Die eine Schule vertritt die Bildung von granitischen Gesteinen durch Zu- und/oder Wegfuhr von Stoffen aus Sedimenten bis zur Bildung eines granitähnlichen Gesteins, während die entgegengesetzte Schule annimmt, dass sich Granite im wesentlichen aus Schmelzen bilden, durch einfache Erstarrung und ohne wesentliche diffusionistische Stoffumsätze und wohl mehrheitlich aus juvenilem Material.

Die Nuancen und Abstufungen zwischen diesen beiden extremen Theorien drehen sich gewöhnlich um verschiedene Grade der Wiederaufschmelzung oder Palingenese und um verschiedene Mengenverhältnisse zwischen juvenilem und wiederaufgeschmolzenem Material. Wenn man eine Aufteilung der verschiedenen Granitisationsideen nach stark

wirksamen Leitbildern oder Archetypen versucht, so kommt man wohl in erster Annäherung zu einer Dreiteilung:

1. Die Gruppe derjenigen, welche die Granitbildung in erster Linie als diffusionistische, emanationistische Transformation von Sedimenten *in situ* sehen (z. B. PERRIN et ROUBAULT, 1939, und SULLIVAN, 1948; GOODSPEED, 1948, *pro parte*; READ, 1948, p. p.).

2. Die Gruppe derjenigen, die ein zyklisches, periodisches Absinken, Aufschmelzen und Aufsteigen von Sedimentpaketen annehmen und somit eine zyklische, palingene Magmenbildung („Wiedergeburt“) aus sedimentärem Material (z. B. READ, 1948, etc.; BORCHERT und TRÖGER, 1950, p. p.; RAGUIN, 1949, 1953; MEHNERT, 1953; BACKLUND, 1941; SCHNEIDERHÖHN, p. p., 1951, 1952, 1953, u. a.).

3. Die Gruppe derjenigen, welche vorwiegend juvenile Magmenbildung annehmen und Assimilationen und Aufschmelzungen nur als Randphänomene betrachten (z. B. P. NIGGLI, 1941, p. p.; WILSON, 1957, und viele andere).

Verfasser hat (1952a, 1957c) auf einige konkrete Schwierigkeiten der diffusionistischen Granitisationstheorien aufmerksam gemacht und neu-lich (1958g) kurz auf die verblüffende Ähnlichkeit dieser diffusionistisch-metasomatischen Granitisationstheorien der Migmatiker mit den ebenfalls diffusionistisch-metasomatischen Vererzungstheorien vieler Magmatiker hingewiesen und gezeigt, dass der von den beiden scheinbar an zwei Extremen stehenden Schulen angenommene Mechanismus eigentlich identisch ist: Es wird in beiden Fällen Durchtränkung („soaking“) von Gesteinskomplexen angenommen. Bei den sich auf Metasomatose stützenden Granitisationstheorien produzieren diese diffundierenden Lösungen oder Gase („fluids“) granitische oder gar spilitische Gesteine (vgl. Abschnitt 3), während bei „telemagmatischer“ Vererzung durch zirkulierende hydrothermale Lösungen oder durch BROWNSche Diffusion von Gasen oder Dämpfen (J. S. BROWN, 1948) eine verborgene magmatische Quelle diese Stoffe emaniert und, in beiden Fällen recht ähnlich, Tausende von Kubikkilometern durchquert, um meist an wenigen „lithologisch bevorzugten Stellen“ metasomatische Granite oder Lagerstätten zu bilden. Was die Migmatiker somit in bezug auf die Granitbildung vertreten, wird von einigen Magmatikern für die „disseminated ores“ sowohl in Sedimenten wie auch in Intrusivas vertreten.

(Diese merkwürdige Verwandtschaft zweier sonst entgegengesetzter Lehrmeinungen darf wohl als Interferenz zweier Leitbildpaare betrachtet werden. Es sind dies: Epigenese-Syngeneese, bzw. Allogeneese und Autigenese auf der einen Seite und Feuer und Wasser auf der andern. Es sind

ja vermutlich noch ganz andere Leitbilder im Spiel, so z. B. das Leitbildpaar der Wiedergeburt und der Einmaligkeit. Archetypen treten meist paarweise auf; es liegt ihnen eine gewisse Gegensatzspannung zugrunde, wie J. JACOBI feststellt (1954, S. 194). Wenn WEGMANN (1958, S. 554) und DAVIDSON (1957, S. 668) einen gewissen Antiaktualismus zum verworflichen Prädikat erheben, a priori, so dürfte dies vielleicht auf Bindung an das Leitbild der Kreisläufe (Archetyp der Wiedergeburt) und der Epigenese gedeutet werden, während andererseits der Einmaligkeit des Geschehens und der allmählich fortschreitenden Veränderung der Kontinente in den Theorien von RUSSEL (1958) und WILSON (1957) das Leitbild der Syngenese und Einmaligkeit oder Kontinuierlichkeit zugrundeliegen könnte. Doch darüber wird anderswo ausführlicher berichtet.)

In der Metamorphose ist z. B. isochemische Metablastese oder interne lateralsekretionäre Pegmatitbildung eher der Syngenese oder „Autigenese“, allochemische Vorgänge, wie z. B. weite Diffusionen und Injektionen, mehr der Epigenese oder „Allothigenese“ verwandt. An sich sind, grossräumig betrachtet, Diffusionen *und* Intrusionen epigenetisch. Dagegen ist die Kristallisation selbst im Falle eines Magmas — also die eigentliche Gesteinsbildung — etwas Gleichzeitiges, Synchrones und somit eigentlich etwas Syngenetisches, während metasomatische Granitisation allochemische, epigenetische Stoffwanderungen benötigt. Es kommt also bei der Bestimmung der Zeitbeziehungen zwischen geologischen Körpern und Prozessen auch darauf an, welchen Raum und welche Raumelemente wir berücksichtigen.

b) Die ultrabasischen Gesteine und ihre Lagerstätten

Innerhalb der Gruppe der ultrabasischen Gesteine und Lagerstätten bieten das klarste Beispiel für die Diskussion über Epigenese und Syngenese wohl die Chromit- und auch die Pyrrhotit-Pentlandit-Lagerstätten. Wieder sehen die einen in amöbenartigen Korngrenzen, um nur ein geometrisches Beispiel zu nennen, Beweise für Metasomatose (z. B. GILLSON), wobei meist angenommen wird, dass das Erzmineral später kam, auch wenn es die negativen, rezessiven Formen auf seiner Seite hat. Andere (z. B. CAMERON) sehen in der horizontalen Geometrie und Feintextur einen starken Beweis für Syngenese, also Bildung in und mit dem Hauptgestein.

Wenn heute mit Bezug auf türkische Serpentin- und Peridotitmassen sowohl submarin extrusiver (BAILEY and McCALLIEN, 1953, BORCHERT

u. a.) wie intrusiver Ursprung (GYSIN, 1952, 1945; HIESSLEITNER, 1951) postuliert wird, so handelt es sich eigentlich auch hier wiederum um die gleiche Polarität zwischen Syngenese und Epigenese. Es könnten, wie schon erwähnt, zu den eben genannten unzählige Beispiele angeführt werden. Es handelt sich aber hier mehr um eine prinzipielle Diskussion zweier Begriffe, die ja das Feld der Erzgenese mehr beherrschen als uns bewusst ist (man vergleiche auch HESS, 1955).

c) Die „disseminated copper deposits“ oder „porphyry copper deposits“, „porphyry iron deposits“, „porphyry molybdenum deposits“ etc.

Im deutschen Sprachgebrauch wird diese Lagerstättengruppe gewöhnlich mit dem Ausdruck Imprägnationslagerstätten bezeichnet. Dieser deutsche Ausdruck hat wohl eher den genetischen Beisinn des nachträglichen Imprägnierens, also eines epigenetischen Hereinbringens von neosomatischem Material. Im Bestreben, sich beim Studium von Lagerstätten von vorgefassten genetischen Interpretationen möglichst frei zu halten, wird hier der rein geometrische englische Ausdruck vorgezogen.

Nun finden wir auch hier, dass die genetische Deutung von einer extrem epigenetischen, sogar tele- oder wenigstens kryptomagmatischen (BELT, 1958) bis zu einer syngenetischen Deutung (NEUERBURG, 1958; AMSTUTZ, 1958e) variiert. Beobachtungen in den südperuanischen „porphyry coppers“ (1954b) und Beobachtungen in den Lagerstätten Chuquicamata und Braden (El Teniente) in Chile und an Erzen der entsprechenden Lagerstätten in den Weststaaten der USA lassen vermuten, dass wenigstens teilweise durchaus die Möglichkeit besteht, dass die kupferhaltigen Lösungen primär im Gestein waren und sich als Spätkristallisationen bildeten, wobei die „hydrothermalen“ Umwandlungen einer späten autohydrothermalen Phase angehören mögen.

Auch hier soll aber wiederum nicht übertrieben, sondern ausdrücklich betont werden, dass einstweilen noch viele Erscheinungen vieldeutig sind. Es wurde ja eingangs auch schon betont, dass die Abgrenzungen zwischen epigenetischen und syngenetischen Vorgängen im Falle der intramagmatischen Lagerstätten besonders schwer zu ziehen sind. Autohydrothermale Lösungen werden ja oft innerhalb des Gesteins und zum Teil auch in Nebengesteinen wandern, entsprechend dem von NEUERBURG beschriebenen Mechanismus, z. B. wie das in der Cuajone-Lagerstätte von Südperu in vielen Einzelheiten beobachtet werden konnte.

Dieselbe Diskussion hat nun über ähnliche „disseminated deposits“ von Pyrit und von Molybdänglanz in Intrusivgesteinen stattgefunden. Ein verwandtes Beispiel ist die Magnetitlagerstätte von Granite Mountain in Utah (MACKIN, 1952) und, wenn auch etwas verschieden, auch die Lagerstätte Climax in Colorado. Hier werden nach neueren Auffassungen die erzablagernden Lösungen aus dem unmittelbar umgebenden Nebengestein, also eigentlich spätmagmatisch-lateralsekretionär oder autohydrothermal-lateralsekretionär hergeleitet. Diese Lagerstätten dürfte man wohl als Prototypen einer syngenetisch-intramagmatischen Erzablagerung bezeichnen. — Eine ausführlichere Diskussion müsste an dieser Stelle auch die Zinnlagerstätten von Cornwall und Bolivien und einige andere Lagerstätten berücksichtigen, da auch hier „disseminations“ auftreten und auch hier eine mehr oder weniger intramagmatische Bildung in Betracht gezogen werden könnte. (Eine umfassende Übersicht über die Zinn- und Wolframlagerstätten wurde neulich von AHLFELD, 1958, gegeben.)

Ein vom Streit um Epigenese und Syngenese nur selten berührter Lagerstättentyp oder besser Lagerstättenteil bilden die Oxydationszonen, weil sie im allgemeinen in allen Teilen zugänglich sind und wir somit oft die Quellen, Gradienten und Distanzen der Wanderungen noch feststellen können und damit auch sehen, was gewandert oder eben nicht gewandert ist. Eine vorzügliche Zusammenstellung unserer Kenntnisse über diese Lagerstättenteile ist von SMIRNOW (1954) gegeben worden. Auf einige praktisch-geologische und metallurgische Gesichtspunkte einer genauen Kenntnis von Oxydationszonen hat Verfasser mit H. WARD hingewiesen (1956d).

Doch auch diese Lagerstätten sind nicht ganz verschont geblieben von der Frage um die Fremdnatur oder die „Autigenität“ gewisser Stoffe, nämlich Elemente wie V, Mo, Cr etc., welche nach Ansicht von SIEGL (1947), HEGEMANN (1949), SCHROLL (1949), SCHNEIDER (1953) und TAUPITZ (1954) u. a. aus dem Nebengestein herbeidiffundierten, während andere Autoren gleichen Ursprung annehmen für diese Elemente wie für die Haupterze.

d) Vom Ursprung hypogener Erzlösungen

In bezug auf die eigentliche Quelle hypogener Erzlösungen haben sich zwei oder drei Lehrmeinungen entwickelt, welche nicht eindeutig den syngenetischen oder epigenetischen Denktypen zugeordnet werden können. Die eine extreme Gruppe, vertreten zum Beispiel durch SPURR (1923) und BROWN (1948), entnimmt die Erzlösungen oder Erzmagmen

als Adern, Intrusionen oder Diffusionen einem basaltischen Substrat. LOCKE und BILLINGSLEY leiten Erzlösungen auch aus andern als direkt magmatischen Quellen ab. Sie extrahieren Erzlösungen aus tiefen, aufgeschmolzenen Bruchzonen und „Erzkaminen“.

Das andere Extrem vertreten jene Theorien, die immer und überall ein Muttermagma annehmen und dieses immer und überall in Oberflächennähe oder an die Oberfläche heraufsteigen lassen. In diese Klasse fallen jene Theorien, die eine von LINDGREN'S Bildungsmöglichkeiten zur exklusiven Bildungsweise von Lagerstätten erhoben haben, nämlich die epigenetisch-hypogene. Diese extreme Einstellung hat zeitweise nicht wenig Anhänger gefunden. Dagegen lässt sich heute die Meinung feststellen, dass durch die einseitige Übertreibung der epigenetischen Theorien von LINDGREN und der Vernachlässigung seiner syngenetischen Theorien eher ein Rückschritt als ein Fortschritt erzielt wurde.

Wie VARČEK (1955) richtig zeigte, hat beispielsweise EMMONS' Theorie vom idealen Batholiten mit der Zonierung, welche stets auftreten sollte, etwas metaphysisch Idealisierendes an sich und hat nicht genügend Bewegungsfreiheit gelassen für Faktoren wie Assimilation, vorintrusive Abspaltungen der Erzlösungen oder rein intramagmatische Lagerstättenbildungen, welche wichtig sind oder gar dominieren können. Der Grund für die einseitige Interpretation von LINDGREN'S Theorien ist ein interessantes kulturgeschichtliches Phänomen, auf das wir noch zurückkommen werden.

Die erste Gruppe von Theorien — vertreten zum Beispiel von SPURR, HOLMES, BROWN, LOCKE, BILLINGSLEY u. a. — weist viele epigenetische Züge auf, da die Erzlösungen immer von weit unten hergeleitet werden und immer Fremdbestandteile sind, selbst wenn sie nicht in Sedimenten, sondern in heute aufgeschlossenen Intrusionen auftreten.

Eine dritte Gruppe, zu welcher vielleicht LINDGREN selbst, P. NIGGLI, SCHNEIDERHÖHN und RAMDOHR zu zählen wären, hat sich nicht dogmatisch festgelegt auf eine einzige Quelle der Erzlösungen. In dieser Beziehung steht diese Lehrmeinung wohl zwischen der ersten und der zweiten (und in dieser Hinsicht ist auch BROWN wohl noch dazu zu zählen). Diese dritte Gruppe berücksichtigt aber zudem auch die Möglichkeit syngenetischer Bildungen und unterscheidet sich somit in diesem Sinne stark von den beiden erstgenannten. Es gibt allerdings kaum je durchgehend scharfe Grenzen zwischen Lehrmeinungen. Von der dritten Gruppe wird z. B. für Lagerstätten innerhalb magmatischer Gesteine, wie zum Beispiel die Kupferlagerstätten in den Laven von Michigan, teils syngenetischer, co-magmatischer Ursprung angenommen, während

von andern eine epigenetisch-hypogene oder supergene Entstehungsweise bevorzugt wird.

Nach SAWARIZKI (1950—1954), SAUKOW (1950—1953), VARČEK (1955) u. a., und nach persönlichen Mitteilungen zu schliessen, hat die Entwicklung der Lagerstättenlehren in Russland einen ähnlichen Verlauf genommen wie in Europa, vielleicht mit der Ausnahme, dass zeitweise, z. B. von ABDULLAJEW, die Assimilation als erzgenetischer Faktor stärker betont wurde als anderswo.

Es konnten in diesem Abschnitt über die Hypothesen hypogener „Erzquellen“ wiederum nur knappe Hinweise gegeben werden auf wesentliche, mit den Leitbildern Epigenese und Syngenese verwandte Züge.

C. EXTRUSIVE GESTEINE UND DARIN AUFTRETENDE MINERAL-LAGERSTÄTTEN

a) Die „propylitischen“ Lagerstätten

Die propylitischen Lagerstätten und Gesteine können als extrusive Äquivalente der „porphyry coppers“ bezeichnet werden. Für sie gilt deshalb wiederum die Unterteilung in intramagmatische bzw. extramagmatische Umwandlungen. Beide Möglichkeiten sind vorgeschlagen worden, d. h. die einen betrachten propylitische Veränderungen als Folgen spät- bis postvulkanischer Vergrünungen, z. B. in der Umgebung subvulkanischer Gold- und Kupferlagerstätten (gut beschriebene Beispiele im Balkan), die andern ziehen epigenetische Erklärungen vor, wobei dann die die Veränderungen hervorrufenden Lösungen irgendwoher „from unknown depth“ geholt werden müssen (gut beschriebene, aber doch wohl falsch interpretierte Beispiele in Kalifornien).

In einem Versuch einer Neuklassifizierung der Lagerstätten magmatischen oder allgemein endogenen Ursprungs (1958e) ist zwischen propylitischen Gesteinen und Lagerstätten und ihrem basischen Äquivalent, also den keratophyrischen und spilitischen Laven ein allmählicher Übergang angegeben worden. (Dieser Versuch soll übrigens die Differenzierung von basischen zu sauren Magmen nicht als unbestrittene Annahme einschliessen, sondern als Möglichkeit.)

b) Spilitische und keratophyrische Gesteine und Lagerstätten

Die Fortsetzung der 1945 im Glarner Freiberg begonnenen Untersuchungen über spilitische Gesteine und Minerallagerstätten umfasst zur Zeit ungefähr 340 Vorkommen ähnlicher Entstehungsweise. Nach den

bisherigen Resultaten müssen spilitische Gesteine und Lagerstätten als primäre, hydromagmatische Bildungen im Sinne von BENSON (1915), WELLS (1922, 1923), LEHMANN (1949) und P. NIGGLI (1952) betrachtet werden. Sie bilden physikalisch-chemisch die Brücke zwischen magmatischen Gesteinen und Prozessen hoher Temperatur und solchen gewöhnlicher oder „sedimentärer“ Temperatur. Die Annahme, dass die Interpretation von primären Strukturen richtig ist, führt zur Feststellung einer Abnahme der Menge spilitischer Gesteine und Lagerstätten seit der Frühzeit der geologischen Geschichte der Erde, was im Einklang steht mit der Idee, dass die Entgasung der Erde abnimmt.

Nach CISSARZ (1956, 1957) u. a. sind viele mesozoische und tertiäre Laven von syngenetischen Lagerstätten begleitet. Der Nachweis der Syngenese ist bei jungen Lagerstätten verhältnismässig einfach. Sollte die Fortsetzung unserer Untersuchungen an paläozoischen und präkambrischen Laven und Lagerstätten die vorläufigen Resultate weiter bestätigen, dass nämlich auch hier vorwiegend auf Syngenese geschlossen werden darf, dann dürfte wohl auch hier ein Indiz für abnehmende Förderung leichtflüchtiger Bestandteile, also abnehmende Entgasung seit dem Präkambrium vorliegen, da ältere Laven verhältnismässig häufiger spilitische Partien und Erzlagerstätten aufweisen. Hierbei handelt es sich vorderhand um eine Hypothese, für welche allerdings bereits reichliches Belegmaterial vorliegt. Dazu gehört beispielsweise die Möglichkeit, bei gleichem Grad der Metamorphose, z. B. in den Keweenaw-Laven von Michigan, in den basischen Laven und Tuffen der Goldlagerstätten von Kanada, Westaustralien, Kilo Moto, Kolar etc. zu unterscheiden zwischen ursprünglich spilitischen und ursprünglich normalbasaltischen Partien. Jene Partien der Laven und Tuffe, wo die Metamorphose derart stark ist, dass sie zu einer Konvergenz führt, das heisst die ursprünglichen Texturen verwischt hat, sind hier nicht eingeschlossen. Diese Fälle sind aber weit weniger häufig als allgemein angenommen wird. Wie Verfasser 1958e (S. 3) gezeigt hat, sind überdies die meisten Spilitvorkommen falsch bemustert worden, was zur Vorstellung eines Na-Reichtums führte.

Im Sinne eines vorläufigen Vorschlages hat Verfasser versucht, die spilitischen Lagerstätten — vermutlich die verbreitetste Gruppe syngenetisch-extrusiver Lagerstätten — in drei Gruppen einzuteilen:

1. Sulfospilitische Lagerstätten

— Eisen- und Kupfersulfidlagerstätten, welche innerhalb oder in der Nähe von spilitischen Laven und Stöcken auftreten und oft zur Bildung von Kissenlaven

fürten (vgl. unten). Beispiele: Die Sulfidlagerstätten der norwegischen Küste und von Zypern, in Syrien und z. T. im Balkan und in der Türkei, ein Teil der mit Spiliten vergesellschafteten Kieslagerstätten des Urals (GRIGORIEV, 1948), von Nowaja Semlia und von Westtasmanien, ferner einzelne Teile der Kupferlagerstätten in den spilitischen Laven des Oberen Sees, USA und Kanada.

- Eisen- und Kupfersulfidlagerstätten in Sedimenten, welche mit spilitischen Laven vergesellschaftet sind (Erzbildung aus Hydrothermen dieser Laven). Beispiele: Viele, vielleicht sogar die Mehrzahl der Kupferschieferlagerstätten, z. B. im None-Such shale des Oberen Sees (z. B. White-Pine-Mine), in Deutschland etc.
- Eisen- und Kupfersulfidlagerstätten mit Gold- oder Pyrit-Goldlagerstätten in basischen Laven und Tuffen. Beispiele: Kanadischer Schild, Kolar, Kilo Moto, Goldküste, z. T. Mother Lode, Kalifornien etc.

2. *Oxyspilitische Lagerstätten* (Anreicherungen von Fe- und Ti-Oxyd)

- Kiruna als intrusives Beispiel; gleichen Ursprung haben die Lagerstätten Iron Mt., Pea Ridge etc. in Missouri und einige identische Lagerstätten in den Weststaaten und in Chile.
- Als extrusive Beispiele das Lahn-Dill-Gebiet, viele Eisen-Mangan- und Manganlagerstätten in den Alpen, in Kalifornien und in den Olympic Mts. des Staates Washington (Spilite der Coast Range) und an andern Orten, wo spilitische und keratophyrische Gesteine auftreten.
- Vielleicht z. T. auch ein Grossteil der präkambrischen Eisenerzlagerstätten in Sedimenten, z. B. am Oberen See, in Russland (Krivoj Rog u. a.), in Brasilien und Venezuela (Cerro Bolivar), in Labrador (Alter?) und an andern Orten, wo es sich um extrudierte oder exhalierte Kirunamagmen handeln könnte.

3. *Spilitische Lagerstätten mit gediegenen Metallen*

- Die Kupferlagerstätten in den spilitischen Laven des Oberen Sees und zahlreiche andere Lagerstätten desselben Typus (gediegen Kupfer und Silber).
- Die auch in der Gruppe der sulfospilitischen Lagerstätten genannten Gold-Pyrit-Lagerstätten in basischen Laven und Tuffen in den alten Schilden, aber auch in geringerem Masse in jüngeren Laven, so z. B. in tertiären Laven von Ungarn und Rumänien (siehe Abschnitt C-e).
- Vielleicht auch die Silberlagerstätte von Cobalt, Ontario, oder Teile davon.

Die spilitischen Erzlagerstätten sind für die Diskussion von Syngenese und Epigenese von grösstem Interesse, weil spilitische Magmen ja einfach hydrothermal-intramagmatische oder — mit andern Worten — hydro-magmatische Teile gewöhnlicher Magmen sind, also jene Partien gewöhnlicher Magmen, in welchen die leichtflüchtigen Bestandteile angereichert und nicht entwichen sind. Sie bilden somit die Zwischenstadien, örtlich und zeitlich, zwischen (basaltischen bis andesitischen) Magmen, welche eine gleichmässige Verteilung leichtflüchtiger Bestandteile aufweisen

(wenn dieser Idealzustand überhaupt einmal auftritt) und jenen Magmen, in welchen die Differentiation in einen schwerflüchtigen und einen leichtflüchtigen Teil beendet ist (was wohl auch ein kaum je realisierter Idealzustand ist).

Da nun die Entstehung von Erzlagerstätten im allgemeinen mit dem leichtflüchtigen Anteil der Magmen verknüpft ist, darf angenommen werden, dass eine häufige Vergesellschaftung spilitischer Gesteine mit Erzlagerstätten zu erwarten ist, was denn auch allgemein bestätigt ist.

Ein zusätzliches Merkmal spilitischer Magmen ist nun aber, wie bereits angedeutet, ihre Eigenschaft, auch Lagerstätten von Hauptelementen wie Fe, Mn, Si, Ti, Ca und vielleicht auch Al, K, Na und Mg zu bilden. Dies kann man sich nur unter der Annahme vorstellen, dass Teile des Magmas im hydrothermalen oder „nassen“ oder eben hydromagmatischen Zustand existierten und differenzierten. Findet keine wesentliche Differentiation statt, so tritt ein „holomineralischer“ Spilit aus. Finden Differentiationen statt, so bilden sich die mannigfaltigsten „oligo-“ oder fast monomineralischen Gesteine, bzw. Lagerstätten.

Fast alle der folgenden Spezialgesteine sind in allen Spilitprovinzen vorhanden: Albitite, Karbonatite, Chloritite, Serpentinite, Hornsteine (oft mit Radiolarien, vgl. z. B. WENK, 1949), Eisen- und Manganerze und zum Teil auch Alunitschiefer (eigentlich K-Al-Lagerstätten; vgl. LEUTWEIN, 1951). Übergänge zu sedimentären Bildungen, das heisst Vermischungen von tuffogenem und vulkanisch-exhalativem mit supergen-sedimentärem Material sind verbreitet.

Ogleich die Grundlage zu dieser in bezug auf die Erzgenese etwas erweiterten Konzeption der Spilitgenese schon von BENSON (1915) gelegt worden ist, gibt es auch heute immer wieder Vertreter einer ausschliesslichen Meerwasser-Spilittheorie, wonach der albitisch-chloritische Mineralbestand auf Tiefsee-Extrusion zurückzuführen wäre. Es mag durchaus lokale Konvergenzen geben. Dagegen spricht aber der Vergleich der submarinen Spilite mit den terrestrischen und den intrusiven Vorkommen (z. B. Kiruna, Iron Mt. etc.) eine deutliche Sprache für hydromagmatischen Ursprung der Spilitparagenesen. Zudem weisen keine der Muster von Laven aus Tiefseeböden tiefgreifende Spuren von Halmyrolyse oder gar Spilitisierung auf.

Auch wird trotz umfangreichem Tatsachenmaterial, besonders in bezug auf die regelmässige Vergesellschaftung monomineralischer „Facies“ spilitischer Gesteine in Spilit-Keratophyr-Provinzen und in bezug auf die *deutlich primäre Differentiations- und Kristallisationsgeometrie* und die graduellen syngenetischen Übergänge zu Sedimenten ab und zu noch

versucht, epigenetisch „aus unbekannten Tiefen“ hydrothermale albitisierende, epidotisierende, silifizierende, chloritisierende, prehnitisierende etc. Lösungen hereinzubringen, welche epigenetisch dasselbe bewirken sollen, was autohydrothermal-syngenetisch einfacher geht und ohne unbeweisbare Annahmen wie das Auftreten einer lösungspendenden Intrusion „at unknown depth“, der Annahme einer in dieser unbekannten Intrusion stattfindenden Ansammlung hydrothermaler Lösungen, der Annahme der Diffusion dieser Lösungen durch Kubikmeilen vollständig unveränderten Gesteins verschiedenster Zusammensetzung und Porosität (z. B. unter den Laven des Oberen Sees).

Es gibt viele geometrische und geochemische Kriterien aus der Natur für die experimentell noch zu beweisende Annahme, dass ein Silikatomagma bei steigendem Wassergehalt kontinuierlich in ein Hydrogel übergeht. Die Übergänge von holomineralischen, spilitischen oder keratophrischen Laven zu Hornsteinen, Karbonatiten, Serpentinitten etc. machen diese Annahme sehr wahrscheinlich.

Eine merkwürdige, bisher wohl noch kaum erklärte Erscheinung ist die häufige Vergesellschaftung „bimodaler Lavapaare“ in Spilitprovinzen (z. T. auch in normalbasaltischen Provinzen). Das Beispiel der Laven im ostschweizerischen Verrucano, wo spilitische und keratophrische Laven in keinem sichtbaren Zusammenhang mit Quarzporphyren wechsellagern — immer mit dünneren oder mächtigeren Sedimentbänken dazwischen —, wiederholt sich in vielen andern Spilitprovinzen in genau gleicher Weise. Ob dieses „bimodale“, „bipolare“ Verhalten auf eine Diskontinuität in der Differentiation von Hydromagmen oder auf etwas anderes zurückzuführen ist, ist noch nicht abgeklärt. Vielleicht liesse sich auch auf Magmazufuhr aus zwei Stockwerken, dem basaltischen Substrat und dem darüber „schwimmenden“ Sockel des Kontinentes, entlang dem gleichen Bruchsystem schliessen.

Zum Abschluss dieser knappen Illustration des Problems Epigenese-Syngenese anhand des Spilitproblems sollen noch kurz drei Erscheinungen erwähnt werden, die für Spilitprovinzen typisch sind: 1. Die Lagerstätten vom Kirunatyp. 2. Die oft (aber nicht immer nur) mit Spiliten auftretenden Kissenlaven. 3. Die hier vorläufig als syngenetisch-hydromagmatisch gedeuteten Goldlagerstätten in basischen Laven (Abschnitt C-c).

1. Der von GELJER (1931, 1935, 1950) ausführlich beschriebene und als spilitisch-keratophrisch gedeutete Kiruna-Lagerstättentyp wird auch heute zum Teil noch hydrothermal-metasomatisch gedeutet, unter Vernachlässigung der offensichtlichen Übereinstimmung zwischen geochemischen und geometrischen Kriterien. Es hat sich schliesslich noch eine

dritte Deutung eingefunden, nämlich eine auf der Regenerationsidee basierende Wiederaufschmelzung von eisenreichen Sedimenten (LANDER-GREN, 1948). Diese letzte Idee stützt sich allerdings doch wohl auf unrichtig ausgewählte Analysen und auf die irreführende Annahme, dass eine Oxydation nicht auch in einer Schmelze stattfinden könne. Eine knappe Übersicht über die Missouri-Eisenlagerstätten vom Kiruna-Typ hat RIDGE (1957) gegeben. Wir sehen somit auch in bezug auf diesen Lagerstättentypus dieselbe Polarität der Deutungen wie in allen vorangehenden Abschnitten.

2. Die Literatur über das Problem der Kissenlaven ist ein ausgezeichnetes Beispiel dafür, wie sehr es notwendig ist, dass geologische Erscheinungen im Koordinatensystem Raum-Zeit physikalisch-chemische Bedingungen gesehen werden und dass versucht wird, die einzelnen Parameter des physikalisch-chemischen Vorganges zu sehen und auseinanderzuhalten. Dies hilft mit, sich von der einengenden Vorstellung des beschränkten geologischen Ortes zu lösen und zu sehen, dass unter Umständen dasselbe Phänomen unter ganz anderen geologischen (z. B. geochemischen) Bedingungen auftreten kann, die aber physikalisch gleichwertig sind.

Im Falle der Theorien über die Bildung von Kissenlaven dreht sich die Diskussion zum Teil immer noch um den geologischen Ort. Die eine Theorie vertritt nur submarine, eine andere nur extrusive und eine dritte nimmt auch terrestrische Bildung an. Ferner bestehen in einigen Arbeiten Einschränkungen in bezug auf die Zusammensetzung der Zwischenmasse. Die sulfidischen Zwischenmassen werden z. B. fast immer als epigenetisch-metasomatische Produkte bezeichnet.

Die bis 1914 vorgeschlagenen Erklärungen für die Bildung von Kissenlaven wurden von LEWIS zusammengestellt. Seither haben viele Autoren, u. a. vor allem VUAGNAT in verschiedenen Arbeiten wesentlich zum Verständnis des Vorganges beigetragen. Es wird in einem in Bearbeitung stehenden Vergleich versucht, die hier schon kurz skizzierte Auffassung mit Einzelkriterien zu belegen.

Versucht man sich den Vorgang der Pillow-Bildung in die physikalisch-chemischen Bedingungen zu zerlegen, so scheint die folgende Erklärung allen bisher angetroffenen oder in der Literatur beschriebenen Erscheinungen gerecht zu werden: Bei der Bildung von Pillow-Laven sind weder die Zusammensetzungen noch der Bildungsort an sich bestimmend, sondern jene physikalisch-chemischen Bedingungen, welche die Bildung oder Koexistenz zweier Substanzen mit wesentlich verschiedenen Konsistenzen ermöglichen: Eine (z. B. wegen stärkerer Polymerisierung oder

Dehydrierung) besser koagulierte, kohärente und viskose Substanz oder Flüssigkeit (mit grösserer Oberflächenspannung, wie z. B. Öltropfen in Wasser oder in leichteren Ölen) und eine schlüpfrige (wenig viskose, aber mobile, flüssige, etwa auch von der ersten Substanz aus- oder abgestossene) Substanz mit kleiner Oberflächenspannung.

Bei der Bewegung von Magmen an der Erdoberfläche, am Meeresboden oder in Spaltenöffnungen (Gängen) oder unter geringer Sedimentbedeckung — alles Loci, wo Pillow-Laven gefunden wurden — scheinen diese Bedingungen vor allem in drei Fällen erfüllt zu sein. 1. Bei der Vermischung von Laven mit nassen, schlammartigen Sedimenten. Beispiele: Alle jene Kissenlaven, wo die Zwischenmasse aus Kalkstein oder andern Sedimenten besteht, z. B. am Cerro del Moro bei Arica, Chile. 2. Bei der gleichzeitigen Bewegung von Laven mit einer beigemengten Sulfidschmelze, offenbar vor allem bei der extrusiven Phase, zum Teil aber vielleicht auch in der Form von Sills unter Sedimentbedeckung. Dabei könnte man sich an und für sich auch die Möglichkeit denken, dass Lavazungen in zuvor exhalativ oder sonst sedimentär abgelagerte Sulphidpfützen am Meeresboden hineinfließen, was ein Übergang darstellen würde zur vorhergehenden Bildungsform. Beispiele: Die Pillow-Laven von Zypern (HILLS, 1930, u. a.) und die Pillow-Laven in den Kieslagerstätten der norwegischen Spilite, wie auch in andern extrusiven Sulphidlagerstätten in oder an vulkanischen Laven⁶⁾. — 3. In hydro-magmatischen spilitischen Partien basaltischer Laven, wo sich bei der Bewegung die leichtflüchtige Fraktion als Schmiermittel zwischen die koagulierenden Lavakissen begeben hat. Diese Bildungsweise scheint neben der ersten die weitaus häufigste zu sein und wurde petrographisch am besten beschrieben, aber noch oft epigenetisch erklärt. Beispiele sind sehr zahlreich: Kanadischer Schild, Kolar, Kalgoorlie etc. etc. Gruppe 3 ist immer, Gruppe 2 oft mit spilitischen Gesteinen vergesellschaftet.

Diese drei Gruppen werden als Klassifikationsgrundlage vorgeschlagen, wobei aber noch eine vierte Gruppe angefügt werden muss, nämlich diejenige, wo die oben genannten fluiden Matrix-Phasen nur aus einem dünnen oder kaum feststellbaren „Zwischenkissenfilm“ bestehen, weil nie mehr davon vorhanden war oder weil diese fluiden Phasen entwichen sind. Wie in der bevorstehenden Zusammenstellung mit etwa 400 Vorkommen gezeigt werden wird, bestehen Übergänge zwischen allen vier Grundtypen. Es ist aus diesem Vergleich auch wahrscheinlich, dass etwa

⁶⁾ Nach GEIS (1958) sind, wie bereits erwähnt, die norwegischen Kieslager als syngenetisch zu betrachten, wie zeitweise und teilweise schon VOGT und CARSTENS feststellten.

5% aller Pillows sich bereits im intrusiven Stadium gebildet haben oder zu bilden begannen.

Um auf die Diskussion Syngenese-Epigenese zurückzukommen, kann festgestellt werden, dass auch hier die unvoreingenommene Analyse zu „natürlicheren“, weil voraussetzungsloseren Resultaten kommt. Wenn man die epigenetisch-metasomatische Belastung („connotation“), die der albitisch-chloritischen oder sulfidischen Zusammensetzung der Zwischenmassen von gewissen Lehrmeinungen her anhängt, hinter sich lässt, so sieht man, dass der syngenetischen Erklärungsweise viel mehr Wahrscheinlichkeit zukommt und dass die epigenetische Möglichkeit auch hier wiederum nur „randliche“ Bedeutung hat.

c) Die (meist präkambrischen) Goldlagerstätten in basischen Laven, Tuffen und vergesellschafteten Sedimenten (Kanadischer Schild, West-Australien, Kilo Moto und Goldküste, Kolar und vermutlich Mother Lode, Tonopah u. a.)

Wie früher dargelegt (1957 a, e, 1958 e) rechnet Verfasser diese Gruppe von Lagerstätten zu den grossenteils syngenetisch-spilitischen Erzen. Minenbesuche, Anschliff-, Dünnschliff- und Literaturstudien ergaben bedeutend mehr syngenetische als epigenetische Kriterien. Unseres Wissens ist noch nie auf diese Kriterien aufmerksam gemacht und eine syngenetische Deutung vertreten worden. Unter den genauesten Berichten und Beschreibungen hat dagegen eine ganze Anzahl von Autoren die Vergesellschaftung mit den alten, basischen Grünsteinen hervorgehoben oder ausdrücklich betont, dass „sonderbarerweise . . . das Gold in diesen Gegenden nicht an die Granitbatholiten, sondern an die vorsilurischen *basischen Grüngesteine* (Diabase) gebunden“ ist (HEIM, 1934; vgl. auch KRENKEL, 1957, S. 385, 388). Auch GILL und andere Kanadier scheinen nicht viel Glauben mehr zu haben an die alte Theorie, dass das Gold von granitischen Batholiten heraufgebracht worden sei. Am längsten hat sich dieses Leitbild wohl noch in Westaustralien erhalten. Epigenetisch-emanationistische Genese nahmen DUHOUX (1950) und SOROTSCHINSKY (1955) für Kilo Moto an. Zur Stützung ihrer Theorie benötigen sie jedoch etwa zehn Annahmen mehr als eine syngenetische Erklärung, was jene Art von Epigenese ganz unwahrscheinlich macht und ihr etwas Metaphysisch-Alchemistisches verleiht.

Umlagerungen haben zwar auch stattgefunden und liefern die zum Teil metasomatisch oder wenigstens irgendwie epigenetisch gedeuteten Kriterien. Eine detaillierte Gefügeanalyse und ein Auseinandernehmen in zeitlich gestaffelte Perioden wird vermutlich zu den gleichen Resultaten führen, wie sie Verfasser auf Grund von einzelnen und vergleichenden,

wenn auch noch in vielem unvollständigen Untersuchungen über verwandte Lagerstätten und Gesteine erzielt hat.

Es war ja ein gewisses Vortraining und vielleicht natürlich auch eine gewisse Voreingenommenheit da von den Untersuchungen an vielen Spilitmustern, Aufschlüssen und Arbeiten. Es konnten aber keine anderen Unterschiede festgestellt werden als wie man sie gelegentlich und örtlich an metamorph überprägten Gesteinen zu erwarten hat. Im übrigen stimmen die „albite and gold dykes and sills“ und natürlich auch die damit verbundenen Pillow-Laven durchaus mit den normalen Spiliten überein. Es ist im allgemeinen — im einzelnen haben, wie betont werden soll, um dem Vorwurf der groben Verallgemeinerung vorzugreifen, Stoffwanderungen auf kurze Distanzen stattgefunden — wiederum die gleiche Situation vorhanden wie in Outukumpu: Es ist nicht einzusehen, warum der Erzgehalt nicht syngenetisch in den Laven, Tuffen und Sedimenten abgelagert worden sein soll. Die regelmässige Vergesellschaftung der Lagerstätten mit den Grüngesteinen ist am leichtesten als ursprünglich von der Natur gegeben zu deuten. Gold- und/oder Silber- und/oder Kupfer- und/oder Blei- usw. Lagerstätten sind anderswo nicht selten eindeutig in Vergesellschaftung mit vulkanischer Aktivität gefunden worden (PROCTOR, 1953; BUSCHENDORF, 1950; CISSARZ, 1956, 1957 etc.).

Die im Kanadischen Schild parallel N-S verlaufenden Zonen, welche verhältnismässig dicht besetzt sind mit Lagerstätten, sind wohl ausgeprägte Bruchlinien, brauchen aber als solche durchaus nicht unbedingt epigenetische Erzquellen gewesen zu sein, sondern können ebenso wahrscheinlich, wenn nicht wahrscheinlicher alte Bruchzonen sein, entlang welchen syngenetisch zum Teil wohl exhalativ-vulkanisch, in und mit Laven und dann vielleicht auch noch epigenetisch Erzlösungen gefördert wurden. Dass es natürlicher ist, anzunehmen, dass der Teil dieser Lösungen, welcher zur Oberfläche empordringt, grösser ist als derjenige, welcher ins Nebengestein verschwindet, wird andernorts erklärt (1958c,e).

Damit sind wir wieder bei der Diskussion über spilitische Gesteins- und Erzbildung angelangt, was Gegenstand des vorangehenden Abschnittes war, mit Ausnahme der eben angeführten Einzelheiten.

D. TEKTONISCHE UND EXTRATERRESTRISCHE PHÄNOMENE

Syngenetische und epigenetische, autigene und allothigene Denkweisen haben ihre Polarität auch in die Theorien über extraterrestrische, bzw. terrestrische Ursachen für Phänomene wie Erdbeben und Witterung

hineingetragen. Das folgende Beispiel einer Erklärung der Ursachen von Erdbeben stammt aus FULLERS Bericht über das grosse Erdbeben von New Madrid im unteren Mississippi Valley, USA (U. S. Geol. Survey Bull. 1912, S. 37):

„The attraction exerted by the sun and moon on the earth's surface at times of new and full moon is decidedly greater than during the intermediate periods and has been thought to be an appreciable factor in determining the times of earthquakes.“ Im Anschluss an diese Feststellung führt FULLER Vergleiche an, mit welchen er zeigt, dass kein Zusammenhang zwischen dem Mondwechsel und der zeitlichen Verteilung der Beben bestehe.

In ähnlicher Weise wird über extraterrestrische Ursachen für das Wetter, beispielsweise über BOWENS Theorie über Regenfallverteilung diskutiert (vgl. WEICKMANN und SMITH, 1958).

Ganz ähnlich werden auch die zyklischen undulatorischen Bewegungen der Erdkruste von den einen als kosmisch und von den andern als terrestrisch betrachtet (vgl. BALUCHOWSKIJ, 1956).

Verwandt mit der Dualität Allogenese-Autigenese sind auch zum Teil tektonische Hypothesen. WEGENERS Kontinentaldriftidee und ihre Hypertrophie in der Form von RODES Spielkarten-Orogenese könnte als allothigene Theorie der autigenen von WILSON u. a. gegenübergestellt werden.

Eine äusserst starke Polarität besteht in der genetischen Deutung der Mondkrater. Die eine Denkschule verfißt in vielen Büchern und Artikeln eine „insituistische“ Bildung durch spätmagmatische, polygonale Tektonik (ähnlich der Tektonik des Präkambriums auf der Erde) (HAVEMANN, 1957; SONDER, 1956, und WILKINS, 1955). Die entgegengesetzte Schule setzt sich mit viel Kriterien für die Meteorkrater-Idee ein und versucht, diese Genese durch Einwirkung von aussen durch zum Teil unvollständige oder weithergeholte Argumente glaubhaft zu machen (BALDWIN, 1949).

In den eben angeführten Beispielen sehen wir verschiedene Grade der Beeinflussung. Während sich FULLER „*vacua et libera mente*“ nur an seine logischen Kriterien zu halten scheint, hat man bei RODE den Eindruck eines metaphysischen Einbruchs, einer vollständigen Beherrschtheit durch Epi- oder Allothigenese.

Es liessen sich auch aus vielen andern Gebieten des Lebens, nicht nur der Wissenschaften, Beispiele anführen, die ähnliche „Dipol-Eigenschaften“ aufweisen, welche mit Syngenese und Epigenese verwandt sind. Doch muss — mit Ausnahme eines Beispiels — auf eine andere

Arbeit verwiesen werden. Dieses Beispiel betrifft die Diskussion (welche zeit- und teilweise zu einem bis in die Kirche hinein getragenen Streit ausartete, besonders in den USA) um die Idee der Evolution, welche ja über die Paläontologie auch in die Geologie hinein gehört. Auch hier handelt es sich doch wohl eher um einen mysterischen Glaubensakt, wenn die Entwicklung abgelehnt und ein Schöpfungsakt angenommen wird, der „from heights unknown to men“ auf uns kommt. Diese Annahme hat viel Verwandtschaft mit den Annahmen einer Wirkung „from unknown depth“, zum Beispiel einer Vererzung, wenn keine Zufuhrkanäle vorhanden sind. Nun sind aber genau wie bei der Syngenese in beiden Formen der positiven Einstellung zur Evolution immer noch gewisse Annahmen vorhanden; beim Neo-Darwinismus (SIMPSON) die Idee der natürlichen Selektion und bei der Orthogenese (SCHINDEWOLF) die Möglichkeit der Entstehung neuer Formen.

In den biologischen Wissenschaften hat sich, wie auch schon seit längerer Zeit in der Physik, die Notwendigkeit aufgedrängt, dass wir die Posten unserer Aufmerksamkeit nicht nur an der Grenze aufziehen, „die unser individuelles Bewusstsein von der uns alle umgebenden Aussenwelt scheidet, sondern an jener anderen, entgegengesetzten, wo dieses Bewusstsein an das Unbewusste grenzt, das Reich des Objektiv-Psychischen, das uns ebenfalls alle umschliesst“ (SCHMID, 1958, S. 103). Wenn wir an diese „vernachlässigte Dimension“ unserer selbst denken, so mag uns die Frage auftauchen, ob das gewisse Zuviel an Epigenese, das nach dieser Arbeit in vielen geologischen Theorien besteht, nicht vielleicht einfach Projektionen des uneingestanden Wissens um die unbekannten Tiefen unseres Unbewussten sind, also ein euphemistischer Tribut an die „unknown depths of our subconscious“. Diese Frage wird aber anderswo aufgerollt.

Wie wir nun ganz allgemein über seelische Probleme und gerade über jenes Gebiet des Unbewussten aus Übertreibungen, aus extremen Fällen und aus Träumen viel lernen können, so können wir auch über das Gebiet der wissenschaftlichen Theorien aus extremen, aus pathologische grenzenden Theorien oder aus Fiktionen viel erfahren. („Science Fiction“ hat sich in den USA sozusagen zu einer eigenen Literaturgattung entwickelt und liefert dankbare Beispiele archetypischer Fiktionen.) Als Beispiele werden zwei extreme Theorien über den Ursprung des Petroleums genannt.

In der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts vertrat LUDWIG VAN WERWECKE die Ansicht, dass sich das Petroleum aus magmatischen Quellen ableiten lasse (Abh. d. Geol. Landesanstalt v. Elsass-Lothringen).

Und der russische Astronom VELIKOVSKY erklärte vor nicht allzulanger Zeit, dass das Petroleum vom Himmel gefallen und so aus extraterrestrischen Quellen in die Sedimente geraten sei. — Es bleibt wiederum offen und späteren Untersuchungen überlassen, ob und warum extreme Sygenesen fehlen.

3. Die erneute Fragestellung

Wie anfangs betont wurde, ist es nicht das Ziel dieser Arbeit, ein neues Dogma aufzustellen oder gar eine Schule des syngenetischen Denkens zu gründen. Es soll vielmehr versucht werden, die Fragestellungen von Vorurteilen („pre-conceived ideas“) zu befreien und gewisse Fragen neu aufzuwerfen, und es wird auch versucht, möglichst vorurteilslos, „vacua et libera mente“, nach einer neuen und wenn möglich besseren Antwort zu suchen. Wenn dabei die doch im allgemeinen noch vorherrschende epigenetische Denkweise sowohl für Gesteine wie auch für Lagerstätten mehr in Frage gestellt wurde als die syngenetische und diese letztere oft hervorgehoben und vertreten wurde, so geschah es unter anderem als Gegengewicht gegen die Hypertrophie der Epigenese.

Nun ist aber die eben geäußerte Ansicht, dass wir es in der Erzlagerstättenkunde heute mit einer Hypertrophie der Epigenese zu tun haben, auch wiederum nur eine Ansicht und steht mit den Parametern Zeit, Ort, physikalisch-chemische Zusammensetzung und deren Ableitungen in der runden Klammer der Gleichung (2); auch diese Auffassung ist somit subjektiv. Um diese Subjektivität zu verringern, wurde jedoch der Raum des Phänomens Epigenese-Syngenesese nach der geschichtlichen Dimension, der Variabilität und Erscheinungsform in den verschiedensten Zweigen der geologischen Wissenschaften und nach der tiefenpsychologischen Seite abgeschritten — wenn auch vorerst in ganz vorläufiger Form. Das Resultat dieses dreifachen Aspektes ist die Überzeugung, dass die Epigenese zur Zeit ein unvergleichlich stärkeres Leitbild ist als die Syngenesese und dass wir deshalb die Form von Syngenesese, die hier aufgezeigt wird, vielleicht doch als bessere Annäherung an die objektive Wahrheit betrachten dürfen.

Die hier vorgeschlagene Form von Syngenesese wird deshalb als gemässigt bezeichnet, weil sie die Kontaktwirkung und epigenetische Migration von fluiden Phasen durchaus nicht verwirft, sie jedoch mengen- und volumenmässig zehn- bis zwanzigmal kleiner bezeichnet als die syngenetischen Prozesse der Erzbildung. Es wird somit nicht behauptet, dass *alle* Lagerstätten syngenetisch seien, sondern nur abgelehnt, die

meisten Erzablagerungen sogleich mit grossräumigen Wanderungen und enormen metasomatischen Stoffumsätzen zu verbinden.

Diese Auffassung ist in Figur 1 rechts aussen dargestellt, während die extrem epigenetisch-diffusionistische Anschauungsweise links aussen gezeichnet wurde.

Um nach bestem Wissen und Gewissen möglichst den „freien Blick“ zu bewahren und jeglichem Dogma möglichst fern zu bleiben, wurde „ein Schritt zurückgetreten“ und die Untersuchungsmethode selbst zum Gegenstand der Untersuchung gemacht. Sollte sich später die Syngene als ebenso starkes, verführerisches Leitbild entpuppen, müsste wiederum versucht werden, sich durch Bewusstmachung davon zu befreien. Bis dahin wird weiterhin an der Verfeinerung geochemischer und geometrischer Kriterien zum besseren Verständnis der Erzgene gearbeitet werden, um schon rein logisch die bessere Abgrenzung epigenetischer und syngenetischer Teilprozesse zu ermöglichen und somit die Koordinatenvertauschung in der Erzlagerstättenkunde weiter zu eliminieren.

Zusammenfassend sollen im folgenden kurz noch einmal die Hauptzüge der vorangegangenen Beispiele herausgearbeitet werden.

Vergleicht man nochmals die genetischen Lehrmeinungen der Petro-

Granit- und Spilitgene

Erzgene

syngenetisch

Juvenile und/oder anatektische palinogene Granitmagmen, bzw. spilitische Basaltmagmen dringen empor und erstarrten *als solche* oder erleiden höchstens autometamorphe Umwandlungen. Es findet also keine zusätzliche *nachträgliche* Stoffzufuhr statt, ausser in randlichen Kontaktzonen.

Wenn von Randphänomenen (Kontakten) abgesehen wird, handelt es sich fast immer um syngenetische Erzbildungen, und zwar bilden sich syngenetisch in *Intrusiva* und in *Extrusiva* co- und intramagmatische und in *Sedimenten* sedimentäre Lagerstätten.

epigenetisch

Granite und Spilite entstehen fast immer durch metasomatische Umwandlungen (Granitisierung, bzw. Albitisierungen) älterer Gesteine, welche epigenetisch von Emanationen durchtränkt werden.

Erzlösungen dringen (fast ausschliesslich) epigenetisch-hydrothermal aus Magmen oder epigenetisch-regeneriert aus anatektischen Zonen auf in Sedimente, in co-magmatische oder andere Eruptivgesteine und in metamorphe Gesteine hinein (gelegentlich sind sie somit an Granitisation, bzw. Spilitisierung gebunden).

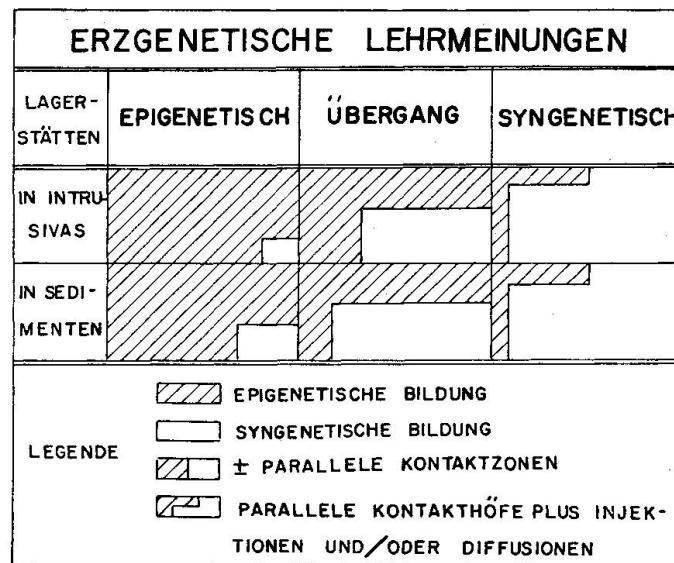


Fig. 1.

graphie mit denjenigen der Erzlagerstättenkunde, so ergibt sich folgende einfache Gegenüberstellung (vgl. mit Figur 1).

Wie oben schon kurz erwähnt wurde, bringt diese Aufstellung oder Gegenüberstellung einige eher überraschende Zusammenhänge ans Licht, ins Bewusstsein. Es wird deutlich, dass gewisse, sich oft intensiv bekämpfende Richtungen sich eigentlich recht nahe stehen. Extreme Magmatisten erklären ja viele Lagerstätten, beispielsweise die „disseminated copper deposits“, auf genau gleiche Weise wie viele Metasomatisten die Granite: durch Emanationen von unten aus unbekannten Tiefen, von wo sie durch Diffusion ins Gestein herauf kommen und sich meist unter Verdrängung anderer Stoffe („replacement“) metasomatisch einlagern.

Dass gewisse „Magmatisten“, z. B. im Mississippi-Valley-Type-Bleiberg-Schlesien-Typ, im Blind-River-Witwatersrand-Typ und in anderen Lagerstätten-Typen die Erzlösungen zuerst durch Adern heraufbringen, die man merkwürdigerweise in keinem jener Gebiete gefunden hat, und dann erst kapillar ins Gestein hineindiffundieren lassen, die „Migmatisten“ jedoch schon von vornherein Diffusionsmigration annehmen, ist eine an sich unwesentliche Nuance. Es gibt ja auch „Magmatisten“, die in gleicher Weise eine Diffusionsmigration von Blei, Zink etc. in den Mississippi-Valley-Lagerstätten annehmen.

Es ist somit ersichtlich, dass die Trennung in syngenetische und epigenetische Anschauungsweise viel tiefgreifender ist als die herkömmliche in magmatische und migmatische. Oder, etwas anders ausgedrückt: die sogenannte magmatische Denkweise ist nur graduell verschieden von der migmatischen. Der tiefgreifende Masstab ist doch wohl derjenige,

welcher den Grad des syngenetischen, bzw. epigenetischen Denkens misst. Mit andern Worten: das polare Leitbild Syngenese-Epigenese hat unter allen Leitbildern den grössten Einfluss auf die geologischen Wissenschaften. Das Literaturstudium zeigt, dass von den vier theoretischen Möglichkeiten:

(Gesteine)		(Erze)
syn	—	syn
syn	—	epi
epi	—	syn
epi	—	epi

alle vertreten sind, und man ist an sich überrascht über die Häufigkeit der „inkonsequenten“ Haltungen: „epi-syn“ und „syn-epi“, z. B. „epi“ in bezug auf Lagerstätten, „syn“ in der Petrographie. Ein Grund dafür mag die oben angeführte Interferenz von Leitbildern sein oder auch in der vorgerückten Spezialisierung liegen und im Mangel an Interesse und Möglichkeit, sich auch im anderen Gebiet umzusehen.

Da nun allgemein der syngenetischen Deutung heute wieder vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt wird, wie eben gezeigt wurde, und das Problem der Syngenese und der Epigenese sich auf mehr als nur das „Granitproblem“ oder das „Spilitproblem“ bezieht, sollen einige Charakterzüge der syngenetischen Auffassung noch kurz etwas näher beleuchtet werden.

Dies soll wiederum nicht geschehen in der Tendenz, die syngenetische Erklärungsweise zu verallgemeinern und zu übertreiben. Es wird, um nur ein Beispiel herauszugreifen, hier nicht behauptet, dass alle „porphyry copper deposits“ oder gar alle „vein deposits“ syngenetisch seien. Es ist im Gegenteil wohl gerade so, dass der „vein-type“ im allgemeinen eher epigenetisch ist. Ferner soll hervorgehoben werden, dass — wenn gleich vielleicht einige Zusammenhänge und ein gewisses Durch-alles-Hindurchgreifen von Leitlinien noch nie in gleicher Weise dargestellt worden sein mag — es sich in der in dieser Arbeit enthaltenen Hinweisung auf die Möglichkeiten und Wahrscheinlichkeiten syngenetischer Deutungen in keiner Weise um etwas Neues handelt, sondern dass syngenetische Denk- und Deutungsweisen bereits früher den Kern erzgenetischer Theorien aufgebaut haben.

Es soll somit hier eigentlich eine früher gebrauchte Arbeitshypothese wieder erwogen und somit eine „Welt von vernachlässigten Dimensionen“ (wie OSTWALD einmal die Kolloidchemie nannte), nämlich die Welt der syngenetischen Deutungsmöglichkeiten vermehrt aufgedeckt werden. Wie in den Beispielen mannigfaltig gezeigt wurde, müssen wir, um diese

Welt der vernachlässigten Dimensionen zu verstehen, unter anderem vermehrt Sedimentpetrographie treiben. — Es sollen also in der Folge noch einige weitere bemerkenswerte Züge der syngenetischen Deutungsweise aufgezählt werden:

1. Es sind, wie bereits an Beispielen gezeigt wurde, bei syngenetischer Deutung im allgemeinen nur etwa halb so viele Schritte zur Erklärung notwendig wie für epigenetische Erklärungen desselben Befundes. Bei der Epigenese muss beispielsweise das emanierende Material sich zuerst im Erdinnern sammeln; dann müssen eine Kraft und auch Transportwege angenommen werden, mit welchen, bzw. durch welche diese Lösungen mobilisiert und transportiert werden können; ferner müssen die zu verdrängenden Stoffe aus dem Gestein weg, um dem Neosom Platz zu machen, und auch für diesen Wegtransport muss wieder Wegsamkeit angenommen werden. Eine syngenetische Erklärungsweise hat von allen diesen Schritten und Bedingungen einzig die eine nötig: dass das Material syngenetisch angereichert werde. Dass dies in Sedimentationsmilieus und Magmen leichter und gewissermassen natürlicher möglich ist als in festen Gesteinskörpern, ist wohl einleuchtend. Die Einfachheit der syngenetischen Deutung hat etwas Überlegenes und schon rein für sich, logisch oder methodisch gesehen, Überzeugendes an sich.

2. Es muss, wie oben schon kurz bemerkt wurde, auch darauf hingewiesen werden, dass bereits im 17., 18. und 19. Jahrhundert syngenetische Ideen diskutiert und vertreten wurden. SANDBERGERS Lateralsekretionsidee setzt eine syngenetische Ablagerung voraus. Die Lateralsekretion besorgt nur verschiedene Grade der Anreicherung.

3. Die syngenetische Spilittheorie und die vorwiegend syngenetische exhalative Deutung für die Hauptsulfidlagerstätten in Sedimenten und viele oxydische Lagerstätten führt zu der Möglichkeit, dass die Lagerstättenbildung eine Begleiterscheinung der Entgasung der Erde sein könnte und dass beides, die Entgasung und die Lagerstättenbildung, seit der Frühzeit der Erdkrustenbildung abgenommen habe.

4. Die syngenetisch-intramagmatische Hypothese lässt einen einfachen Zusammenhang zwischen der „Azidität“ (dem Si-Gehalt, der Polymerisation und Viskosität) von Magmen und der Lagerstättenbildung erkennen. Etwas vereinfacht gesagt gilt folgendes: Je saurer das Magma, je weniger sind die gesteinsbildenden Mineralien bei Anwesenheit von Erzlösungen stabil, je mehr autohydrothermale Umwandlungen treten gegen das Ende der Erstarrung auf — und je mehr wird auf epigenetische Infiltration und Umwandlung geschlossen. Chromit und Magnetkies-Pentlandit-Lagerstätten werden recht oft als intramagmatisch, mehr

oder weniger syngenetisch gedeutet. Spilitische Lagerstätten und Gesteine haben nur etwa zur Hälfte syngenetisch-hydromagmatische Deutung erfahren, während die propylitischen Lagerstätten und die „Porphyry Coppers“ fast immer aus nachträglichen, wenn auch oft autohydrothermalen *Stoffwanderungen* erklärt wurden. Im Zusammensetzungsbereich basaltischer Magmen ist eine autohydrothermale oder, wie man sagen könnte, hydromagmatische Kristallisation wohl in vielen Fällen bereits sichergestellt. Dagegen sind im Bereich saurer Magmen noch viele Fragen offen und die syngenetisch-intramagmatische Idee der Bildung z. B. der „Porphyry Coppers“ noch stark hypothetisch.

Der kürzlich veröffentlichte Versuch einer kontinuierlichen Klassifikation der magmatischen Erzlagerstätten ist basiert auf der Annahme, dass alle Magmen „their normal share of ore fluids“ hervorbringen, also alle ungefähr gleichviel, ungeachtet der Zusammensetzung. Die von vielen Autoren angenommene Lücke im dioritisch-basaltischen Bereich ist darin überbrückt. (Diese knappen Bemerkungen beziehen sich nur auf die physikalisch-chemischen Bedingungen. Auf geotektonische Bedingungen kann hier nicht eingegangen werden.)

An dieser Stelle muss noch zwei Verwechslungen vorgegriffen werden. Wie im ersten Kapitel gezeigt wurde, muss man vorsichtig unterscheiden zwischen der Bildungszeit in bezug auf das umgebende Gestein, also zwischen syngenetisch und epigenetisch oder autigen und allothigen, und dem Ursprung der Erzsubstanz oder -lösung andererseits, also dem Begriffspaar supergen und hypogen.

Die syngenetischen Hypothesen wenden sich nun keineswegs gegen die Bedeutung hydrothermaler Vorgänge. Das sollte auch aus der in dieser Arbeit aufgegriffenen Idee der allmählich abnehmenden Entgasung der Erdkruste (BARTH) hervorgehen. Was dagegen in Frage gestellt ist, das ist die Annahme, dass die Hauptmasse der hydrothermalen Gase und Dämpfe und die darin gelösten Stoffe ausschliesslich innerhalb der Erdkruste abgefangen und abgelagert werde. Es ist vielmehr wahrscheinlich, dass eine grössere Menge die Erdoberfläche erreicht und in den Sedimentationströgen zu hydrothermalen, syngenetischen Lagerstätten führt. Es wird somit in keiner Weise an der Existenz und der Wichtigkeit hydrothermalen Erzlösungen gezweifelt, sondern das Gewicht der Erzgenese wird einfach von epigenetisch-hydrothermal auf syngenetisch-hydrothermal verschoben. Dabei sollen wiederum nicht alle Sulfidlagerstätten in Sedimenten als exhalativ gedeutet, sondern der euxinischen Bildung von rein supergen-syngenetischen Lagerstätten ein weiter Spielraum gelassen werden.

In vielen Hinsichten sollte einfach hier versucht werden, „durch Bezweiflung aller Theorien der Wahrheit allmählich näher zu kommen“, und deshalb wurde die Frage der Genese immer wieder neu aufgeworfen. Es gilt ja u. a. auch abzuklären, wieweit die Idee der Regeneration Berechtigung hat. Dass ab und zu regenerationsartige Prozesse stattfinden können, vielleicht zum Beispiel das Abrösten von Schwefel während der Metamorphose der Franklin-Furnace-Lagerstätte (METSGER et al., 1958; AMSTUTZ, 1957f), mag durchaus zutreffen. Ob bei diesen Abwanderungen auch Metalle mitgehen, ist wohl noch nirgends mit Sicherheit festgestellt worden.

Wie sehr eine nur epigenetische Lagerstättenkunde mit fundamentalen Schwierigkeiten zu kämpfen hat, spiegelt sich auch in der Vielfalt und Unsicherheit der Auffassungen und Methoden der geochemischen Erforschung der angeblich epigenetisch-hydrothermalen oder epigenetisch-regenerierten Erzlösungen wieder. Man denke nur an Arbeiten von GRATON, BROWN und MOREY. Es wird heute der Geochemie sedimentärer Vorgänge vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt, was wohl besser ist als weiterhin epigenetisch-telemagmatische Erzlösungen über weite, oft mehrere Staaten umfassende Gebiete in Sedimente einemantieren zu lassen. Aus der grossen Zahl von Arbeiten, die sedimentär-geochemische Fragen einem besseren Verständnis entgegengebracht haben, seien nur einige wenige, welche dem Studenten als Wegweiser in die Literatur dienen mögen, herausgegriffen: FERSMAN (1929, 1935), CORRENS (1949, u. a.), RANKAMA-SAHAMA (1950), KRUMBEIN-GARRELS (1952), KELLER (1954), MASON (1958), E. und P. NIGGLI (1948, 1952), LEUTWEIN und DOERFFEL (1957) und SZADECZKY-KARDOSS (1957), dessen umfassende Arbeit noch nicht übersetzt ist.

4. Schlussbemerkungen: Rückblick und Ausblick

Wenn in den vorangehenden Seiten zwar ab und zu Versuche einer besseren genetischen Beantwortung, Synthese und Interpretation vorgelegt wurden, so geschah dies doch immer im Bewusstsein, dass wir noch weit weg sind von einer einheitlichen Konzeption der Lagerstätten-genese. Es soll immerhin der Hoffnung Ausdruck gegeben werden, dass durch das Aufzeigen des „roten Fadens“ Epigenese-Syngeneese ein kleiner Schritt gemacht wurde in Richtung auf ein übergeordneteres, ganzheitlicheres Prinzip hin. Es bestand vor allem die Absicht, die Fragestellungen neu und klarer zu formulieren und etwas einheitlicher auszurichten oder,

mit anderen Worten, nach einer Arbeitshypothese zu suchen, die uns aus dem Wirrwarr von Lehrmeinungen heraus und etwas weiterbringen könnte.

„Die Höhe des Lebens“ liegt ja nicht dort, wo schon alles abgeklärt und problemlos vor uns liegt, sondern „dort, wo noch keine Abgeklärtheit, noch keine eindeutige Entscheidung gewonnen ist“, dort, „wo noch Gegensätze auszutragen sind, wo — mit nach Möglichkeit klarem Bewusstsein vom Wert des in der Vergangenheit Geleisteten — Verantwortung für das Werdende, das noch Ungewisse getragen wird“ (MEDICUS, 1943, S. 47).

Auf die Frage: „was ist zu tun um weiter zu kommen?“ werden im folgenden fünf Programmpunkte vorgeschlagen, die bereits verstreut in den einzelnen Abschnitten erwähnt wurden.

1. Wir müssen es vor allem ertragen, hineingehalten zu sein in die Unsicherheit der genetischen Deutung und dürfen dieser Unsicherheit nicht durch einen Glaubensakt an eine Lehrmeinung entfliehen. Ein derartiger Glaubensakt ist immer ein Kurzschluss und tötet die Initiative zu weiterer Forschungsarbeit. Wenn wir die Unsicherheit ertragen, dann bleiben wir vorerst ruhiger verweilend beim ersten Schritt der Untersuchung, nämlich beim Studium syngenetischer und epigenetischer Kriterien und betrachten die Frage nach dem Ursprung der Erzlösungen erst später.

Wenn wir bereits einen Glaubensakt vollzogen haben — vielleicht unbewusst während unseres Studiums oder aus Reaktion auf eine uns etwas zu schön oder zu energisch angebotene Arbeitshypothese oder gar ein Dogma —, sollen wir versuchen, den Blick frei zu kriegen davon und die Objekte weitgehend zu lösen von den Dingen, die wir bisher in sie hineingesehen haben. Wir sollten uns somit möglichst von vorgefassten Meinungen befreien, wobei es ja beim Studium vorerst meist so ist, dass die Meinungen sozusagen uns gefasst haben und nicht wir sie.

2. Es sollte für die Erzlagerstättenkunde mehr als bisher das Experiment zu Rate gezogen und versucht werden, die Vorgänge in der Natur im Laboratorium zu reproduzieren und in einfache, physikalisch-chemische Systeme zu zerlegen. Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, dass experimentelle Resultate wiederum nicht unsere Interpretation ersetzen können, sondern nur ergänzende und meist auf Vereinfachungen beruhende Beobachtungen gestatten. Viele „experimentelle Bestätigungen“ sind nichts anderes als ein wiederholtes einseitiges Interpretieren.

3. Ferner scheint es wichtig zu sein, zwischen Petrographie, Lagerstättenkunde, Mineralogie und Geochemie keinen Strich zu ziehen, wie dies an verschiedenen Orten unter dem Vorwande der Beschränkung zum Nachteil aller Gebiete gemacht wurde und immer noch gemacht wird.

4. Dann dürfte es ratsam sein, sich vermehrt in die Literatur über Lagerstättenkunde und Petrographie aus dem 17., 18. und 19. Jahrhundert zu vertiefen, da diese in vielen Beziehungen freier und vorurteilsloser an Probleme heranging und viel ausgezeichnetes Beobachtungsmaterial enthält (welches oft freier von vorgefassten Interpretationen ist als heutige Arbeiten).

5. Schliesslich scheint es notwendig, etwas Philosophie und Geschichte der Wissenschaften zu treiben und damit also „einen Schritt zurückzutreten“ und unsere eigenen Forschungsmethoden wie auch unsere Denktypen zu betrachten. Dies geht allerdings über unseren engeren Berufskreis hinaus, und wir müssen uns deshalb mit dem Geschichtsforscher, dem Philosophen und dem Psychologen verbünden.

„Die Naturforschung kommt zu *höheren Erkenntniszielen* immer nur dadurch, dass sie sich Rechenschaft über sich selbst gibt“ (MEDICUS, 1918, 1943, S. 27).

Bei einem vorläufigen Versuch im Sinne dieses letzten Programmpunktes ist bereits klar geworden, dass es sich besonders bei starren, dogmatischen Denkweisen auch in der Wissenschaft um archetypisch dominierte und festgelegte Einstellungen und Haltungen handelt, die nur durch Bewusstmachung unbewusster Inhalte eliminiert werden können.

Dadurch wird ein doppeltes gewonnen: Erstens wird der fanatische Forscher zum verträglichen Wissenschaftler, da ja eine Befreiung von der Beherrschung durch archetypische „Patterns of thinking“ einen Schritt der Individuation bedeutet und weil dadurch die wissenschaftlichen Theorien auch von Erstarrungen, dogmatischen Sackgassen, befreit werden und der nicht an einseitige Bilder gebundenen Intuition und dem logischen Denken weitere Schritte ermöglicht werden.

Ferner findet aber durch die Bewusstmachung inhärenter, in uns selbst wohnender Inhalte auch eine Entgiftung zwischen sich bekämpfenden Schulen statt, da wir ja dann sehen, dass wir im Streit beiderseits uralten Leitbildern gehorcht haben, die unbewusst in *uns beiden* wohnen, und wir deshalb nicht eigentlich „anderer Meinung waren“, sondern nur unter anderem Einfluss standen. Mit FRIEDA FORDHAM (1956, S. 114) können wir hier auch sagen:

They „might also be more tolerant if they realized they were dealing with something inherent, when their partner's attitude differed from their own“.

In anderen Wissenschaften, z. B. in der Physik und der Biologie ist der Programmpunkt 5 bereits weitgehend Allgemeingut geworden, während uns dieser Schritt in der Geologie noch bevorsteht.

Noch bekämpfen sich die „Insituisten“ und die „Migrationisten“ ohne das versöhnende und fördernde Bewusstsein der Inhärenz der Unterschiede, und oft wird man ganz an GOETHES Schilderung des Streites zwischen Neptunisten und Plutonisten erinnert, in der man nur die beiden Gruppennamen mit Epigenetiker und Syngenetiker ersetzen muss:

„Sobald man in der Wissenschaft einer gewissen beschränkten Konfession angehört, ist sogleich jede unbefangene treue Auffassung dahin. Der entschiedene Vulkanist wird immer nur durch die Brille des Vulkanisten sehen, so wie der Neptunist und der Bekenner der neusten Hebungstheorie durch die seinige...“ (S. 555).

Da die vorliegende Arbeit erst ein ganz vorläufiger Versuch der Bewusstmachung inhärenter Bindungen ist, gelang es oft noch nicht, die Sprache genügend zu entgiften. Der Sinn einer Veröffentlichung liegt aber gerade auch darin, einen Vorschlag in die Diskussion zu bringen, damit die geäußerten Ideen durch Zweifel und Gegenargumente reifen und wachsen können, da sich ja

„die intellektuelle Kraft eines Menschen wie auch einer Wissenschaft an der Dosis Skepsis und Zweifel misst, die er imstande ist zu verdauen, zu assimilieren. Die widerstandsfähige Theorie ernährt sich vom Zweifel...“ (ORTEGA, 1958, S. 61).

Es ist ferner nach den vorangehenden geologischen Darlegungen wohl kaum mehr zu übersehen, dass sich ganz wichtige Grundprinzipien unserer Gesteinsbildungstheorien, also einem Herzstück der Geologie, in einer deutlichen Krise befinden. Dies ist nun aber durchaus ein positives Zeichen, denn wie ORTEGA sagt,

„gibt es kein besseres Symptom der Reife einer Wissenschaft als die Krise der Grundideen“ (1958, S. 61).

Nach P. NIGGLI weiss die Wissenschaft,

„dass es in der Hauptsache antiquierte Vorstellungen sind, die so vielen den Zugang zu Sinn und Wesen wissenschaftlichen Wollens wehren“ (1938, S. 16).

Es steht wohl fest, dass „antiquierte Vorstellungen“ viel mehr Beharrungsvermögen haben und sogar zeitweise zurückkehren können, da unsere wissenschaftlichen Theorien noch ganz anderen Einflüssen ausgesetzt sind als nur dem Messen, dem Beobachten und dem logischen Folgern. Wissenschaftliche Theorien kommen nicht aus ohne *symbolische Bilder und Vorstellungen*.

„Als *anordnende* Operatoren und Bildner in dieser Welt der symbolischen Bilder funktionieren die Archetypen eben als die gesuchte Brücke zwischen den Sinneswahrnehmungen und den Ideen und sind demnach auch eine notwendige Voraussetzung für die Entstehung einer naturwissenschaftlichen Theorie“ (PAULI, 1952, S. 112—113).

Aus diesen Erkenntnissen heraus wurde in der vorliegenden Arbeit der gewöhnliche Kreis des geologischen Denkens etwas gesprengt, da es unmöglich erschien, die bereits seit mehreren Jahrhunderten bestehende Kontroverse zwischen Syngenese und Epigenese nur aus der „Geologie der Aussenwelt“ heraus einer besseren Lösung entgegenzubringen. Es musste etwas „Geologie der Seele“ getrieben und somit versucht werden, eine ganzheitliche Betrachtungsweise zu gewinnen, was zur Herausarbeitung (in einstweilen nur skizzenhafter Weise) einiger Leitbilder oder Archetypen führte, die in der Geologie besonders aktiv sind.

Auf diesem Wege musste vieles noch liegen gelassen werden. Es ist zum Beispiel noch nicht untersucht worden, ob der Neptunismus WERNERS eher eine extreme Form der Syngenese war oder das (Leit-) Bild oder Symbol des Wassers bestimmend wirkte. Man darf vielleicht vermuten, dass Plutonismus und Vulkanismus archetypisch vom Symbol Feuer her bestimmt waren. Diese beiden Leitbilder waren gegen die zweite Hälfte des letzten Jahrhunderts weitgehend aufgelockert. Es scheint jedoch schon damals ein neues Symbol eine gewisse Führung übernommen zu haben, nämlich die Epigenese oder Allogenese oder der „Migrationismus“, was dann in den letzten vierzig Jahren extreme Wirkungen hervorbrachte in Form extremer Diffusionstheorien und anderer Theorien, die Einwirkungen aus „unknown depths or heights“, also aus dem Erdinnern und aus extraterrestrischen Sphären postulierten. Wir möchten hier, wie bereits angedeutet, die vorläufige Vermutung aussprechen, dass es sich bei der Hörigkeit der Epigenese gegenüber um eine Folge der allgemeinen Überintellektualisierung handelt. Die Epigenese bietet vermutlich einen gewissen Ersatz für religiöse, metaphysische Betätigung der Seele, welche, zum Teil als Folge der Aufklärung, unmodisch geworden war. Einzelheiten über diese Zusammenhänge müssen wiederum einer andern Arbeit vorbehalten bleiben. Es darf jedoch vielleicht hier schon soweit gegangen werden, zu vermuten, dass die Verriegelung oder Missachtung der irrationalen Domänen der menschlichen Seele einen Einbruch oder Ausbruch des „Unteren“ (wie Verfasser bereits 1952a die metasomatischen Granitisierungstheorien deutete) in den Bereich des Intellektes verursacht hat. Diese Ausbrüche sind im Denken der Geologie zum Beispiel in extreme Epigenesetheorien hineinkanalisiert worden. Wir möchten diese Feststellung nicht als Vorwurf aufgefasst wissen, da Verfasser im „peccavi“ voll und ganz eingeschlossen ist, nun aber auf Grund von hier und andernorts ausgeführten Zusammenhängen von der Unrichtigkeit und/oder Unvollständigkeit seiner

Auffassungen überzeugt und „von der Fülle neuer Erkenntnisse überwältigt zu sein“ glaubt.

Es wird somit vorgeschlagen zu versuchen, wie weit wir kommen in Theorie und Praxis mit der Arbeitshypothese, dass abgesehen von Kontaktzonen und kontaktnahen, durch Gradienten offensichtlich oder wenigstens wahrscheinlich gemachten Übergängen (z. B. Granite Mt. bei Cedar City, Utah, vgl. MACKIN, 1952), für Lagerstätten in Sedimenten sedimentärer, in Intrusiva magmatischer (oder vielleicht gelegentlich auch migmatischer) Ursprung angenommen wird und in metamorphen Gesteinen der jeweilige Ursprung des metamorphen Gesteins.

Es muss nun dem Leser überlassen werden, ob er die Gefahr anerkennen will, die nach NIGGLI „dem Wort und Wortspiel zukommt“ in der Wissenschaft, „weil sie mit den selbstgeschaffenen Begriffen ringt“, und ob er „stets von neuem deren Sinn und Geltungsbereich, deren Bedeutung und Geschichte zu erforschen“ helfen will. Es ist dem einzelnen Forscher anheimgestellt, ob er mit PAULI „als anordnende Operatoren und Bildner Archetypen... als die gesuchte Brücke zwischen den Sinneswahrnehmungen und Ideen“ anerkennen will. Tut er es, so kann sein Bemühen und Interesse auf die Dauer nicht nur beim geologischen Objekt stehen bleiben, sondern muss sich auch auf die Idee, auf jene Bilder und ihre Wurzeln richten.

Was nun damit gewonnen wird ist eine Integration des beruflichen Lebens, der wissenschaftlichen Tätigkeit in das kulturelle Leben oder, mit andern Worten, in *das Leben als Ganzes*. Es wird höheres Bewusstsein gewonnen, was Weltanschauung bedingt. „Jedes Bewusstsein von Gründen und Absichten ist keimende Weltanschauung. Jeder Zuwachs an Erfahrung und Erkenntnis bedeutet einen weiteren Schritt in der Entwicklung der Weltanschauung. *Und mit dem Bilde, das der denkende Mensch von der Welt erschafft, verändert er sich selber auch.*“ (JUNG, Seelenprobleme der Gegenwart, 1950, S. 268.)

5. Ausgewählte Literaturangaben

Vorbemerkung: Es wurde versucht, unter der naturgemäss fast unbegrenzten Anzahl von Arbeiten, die für jedes Gebiet angeführt werden könnte, nur jene im Text zu erwähnen und nachstehend anzugeben, welche den folgenden Bedingungen entsprachen:

1. Arbeiten, welche gestatten, sich gründlich über eine Lagerstätte oder einen Problemkreis und die darüber bestehende Literatur zu orientieren. Zu dieser Gruppe sind etwa zwei Fünftel aller Arbeiten zu rechnen und umfassen natürlich

vor allem neuere Publikationen. (Da über das Spilit- und das Granitproblem umfassende Bibliographien in Vorbereitung sind, wurden diese Gebiete hier sozusagen ganz weggelassen.)

2. Arbeiten, welche wichtige Einzelheiten zur genetischen Erforschung beigetragen haben, aber oft wenig beachtet wurden. Darunter befinden sich infolgedessen auch einige ältere Veröffentlichungen.

3. Ganz alte Arbeiten, welche Punkt vier des Ausblickes erhärten und meist aus verflossenen Jahrhunderten stammen.

4. Vielleicht sollte noch eine vierte Gruppe beigefügt werden, nämlich die Arbeiten des Verfassers selbst, die, wenn sie auch oft in keine der vorgenannten Gruppen gehören, trotzdem aufgezählt werden, da ja eine Arbeit wie die vorliegende irgendwie auch ein Rückblick und Ausblick ist. Früher scheinbar ganz zusammenhanglose Interessen und Arbeiten erscheinen plötzlich hinter einem gemeinsamen tieferen Grund. Dies ist dem Verfasser während der allmählichen Zusammenstellung und Niederschrift der vorliegenden Arbeit über Syngenese und Epigenese verschiedentlich geschehen und deshalb sind die davon betroffenen Arbeiten hier einmal zusammengestellt und erwähnt worden.

Ein Anspruch auf Vollständigkeit wird nicht erhoben, da es sich bei der vorliegenden Arbeit um eine vorläufige Mitteilung, einen „progress report“ handelt.

ADAMS, F. D. (1938): The birth and development of the geological sciences. Dover Publ., New York, 506 S.

AHLFELD, F. (1958): Zinn und Wolfram. Stuttgart, 212 S.

ALLEN, E. T. and ZIES, E. G. (1923): A chemical study of the fumaroles of the Katmai region. Natl. Geog. Soc. Contr. Tech. Papers v. 1, no. 2.

American Inst. Min. Met. Eng. (1933): Symposium on: Ore deposits of the western States. New York, 797 S.

AMSTUTZ, G. C. (1948): Pflanzenreste im Verrucano des Glarner Freiberges. Verh. Schweiz. Naturf. Ges., S. 136—137.

— (1950a): Kupfererze in den spilitischen Laven des Glarner Verrucano. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 30, S. 182—191.

— (1950b): Spilites and quartz porphyries in the Canton of Glarus (Swiss Alps) (Abstr.). Bull. G. S. A. 61, S. 1519.

— (1952a): „Granitisation“ und Erzlagerstätten. Verh. Schweiz. Naturf. Ges. S. 144—145 (abstract), und Schweiz. Min. Petr. Mitt. 32, S. 363—364.

— (1952b): Replaced fluorite crystals. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 32, S. 334—337.

— (1953): Bericht über die Exkursion der Schweiz. Min. Petr. Ges. August 1952. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 33, S. 169—172.

— (1954a): Geologie und Petrographie der Ergussgesteine im Verrucano des Glarner Freiberges. Publ. 5, Stiftung Vulkaninst. IMM. FRIEDLAENDER. Diss., Zürich, S. 150.

— (1954b): Cobres porfidos. El Serrano, Vol. IV. No. 61, 1 S.

— (1954c): Versteinerte Wälder. Leben und Umwelt 10, S. 202—205.

— (1956a): A note on a peculiar association of copper with fossil plants in Central Peru. Bol. Soc. Geol. Peru 30, S. 5—11.

— (1956b): Vom geologischen Ursprung radioaktiver Elemente. Techn. Rdsch., Bern, No. 6, S. 7—9.

— (1956c): El Yacimiento de fierro del Cerro Casca o Tarpuy, Peru. Anal. Tercer Conv. Ing. Minas, T. II (con CONCHA, J. F.).

— y WARD, H. J. (1956d): Geologia y mineralizacion del deposito de plomo de Matagente, Cerro de Pasco, Peru. Bol. Soc. Geol. Peru 30, S. 18—31.

— (1957a): The spilite problem. Internat. Geol. Cong., Mexico City, 1956 (abstr.).

- (1957b): Spilitisation — The missing link in rock and ore genesis. *Naturwissenschaften*, 44. Jg., H. 18, S. 490.
- (1957c): „Granitisation“ und Minerallagerstätten. *N. Jb. Mineral., Mh.* 1, S. 1—12.
- (1957d): Kleintektonische und stratigraphische Beobachtungen im Verrucano des Glarner Freiberges. *Eclogae geol. Helv.* 50, S. 141—159.
- (1957e): The genesis of spilitic rocks and mineral deposits. *G. S. A., Annual meeting, Bul. Geol. Soc. Am.* 68, S. 1695—1696 (abstr.).
- (1957f): A note on metamorphism and re-crystallisation in zinc pellets during roasting. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 37, S. 64—67.
- (1957g): The natural, late hydrothermal arsenic sulfide glass of Cerro de Pasco, Peru. *Am. Mineralog. Soc., Ann. Meeting (abstr.)*. *Bull. Geol. Soc. Am.* 68, 1 S.
- (1957h): Algunos conceptos sobre química, física, mineralogía y geoquímica aplicados a problemas geológicos en las minas de Cerro de Pasco, Peru (abstr.). *Bol. Soc. Geol. Peru* 32, S. 239 (Primer Congreso Nacional de Geología).
- RAMDOHR, P. and DE LAS CASAS, F. (1957i): A new low temperature mineral of hydrothermal origin from Cerro de Pasco, Peru. *Bol. Soc. Geol. Peru* 32, S. 25—33.
- (1957j): Apuntes Sobre el granito orbicular cerca de Huaras. *Bol. Soc. Geol.* 32 (Primer Congreso Nacional de Geología), S. 21—23.
- KULP, J. L. and ECKELMANN, F. D. (1957k): Lead isotope composition of Peruvian galenas. *Econ. Geol.* 52, S. 914—922.
- (1958a): Sand size fractions of south-Peruvian barchans and a brief review of the genetic grain shape function. *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing.* 24, S. 47—52 (with CHICO, R.).
- (1958b): The genesis of the Lake Superior Copper Deposits. *Instit. on Lake Superior Geology, Program*, S. 25 (abstr.).
- (1958c): The genesis of the Mississippi Valley type deposits, U. S. A. *Experientia*, XIV, S. 235—237.
- (1958d): Physical and Chemical properties of natural sulphide glasses. *Am. crystallographic assoc. Summer meeting (Milwaukee)* (abstr.).
- (1958e): Spilitic rocks and mineral deposits. *Bull. Missouri School of Mines. Tech. Ser. No. 96*, 11 S.
- (1958f): Application of ore dressing microscopy. *Abstract, Midamerican Minerals Conference, St. Louis*, 1 S.
- (1958g): Origin of the Mississippi Valley type deposits. *Geol. Soc. Am., 1958 Annual Meeting (abstr.)*. *Bull. Geol. Soc. Am.* 69, S. 1528—29.
- (1958h): Epigenetic and syngenetic theories of formation of rocks and mineral deposits. *Geol. Soc. Am., 1958 Annual Meeting (abstr.)*. *Bull. Geol. Soc. Am.* 69, S. 1529.
- with LIGASACCHI, A. (1958i): Mineralization zoning based on habit changes of pyrite. *Geol. Soc. Am., 1958 Annual meeting (abstr.)*. *Bull. Geol. Soc. Am.* 69, S. 1529—30.
- with CARL, J. D. (1958j): Three dimensional Liesegang rings by diffusion in a colloidal matrix, and their significance for the interpretation of geological phenomena. *Bull. Geol. Soc. Am.* 69, S. 1467—1468.
- (1958k): Coprolites: A review of the literature and a study of specimens from Southern Washington. *J. of Sedim. Petrology*, Vol. 28, No. 4, S. 498—508.
- (1958l): New sulfur isotope ratios from South American volcanoes. *Tschermacks Min. Petr. Mitt.*, 5 S.
- (1958m): On the formation of snow penitentes. *J. of Glaciology* 3, No. 24, S. 304—311.

- (1958n): Discussion of „Needed Research in Sedimentation“. Trans. Am. Geoph. Union. 39, S. 1159—1160.
- (1959a): On the influence of archetypes on the formation of some geological theories (in print).
- (1959b): Syngenetic zoning in ore deposits (abstr., ann. Meeting Geol. Assoc. of Canada, Toronto, 1—4 March).
- (1959c): Sedimentary petrology and ore genesis (abstr. Ann. meeting Am. Assoc. Petrol. Geol., Dallas, Texas, 15—19 March).
- (1959d): The genetic meaning of the terms hydrothermal and replacement (abstr. Ann Meeting, Institute on Lake Superior Geology, Minneapolis, 12—14 April).
- (1959e): Simple connotation-free classifications of rock fabrics and mineral intergrowths (in print).
- with RIVERS, J. L. (1959f): On rock exfoliation and spheroidal weathering (in print).
- BACKLUND, H. G. (1941): Zum Werdegang der Erze. Geol. Rdsch. 32, S. 60—66.
- BAILEY, E. B. and McCALLIEN, W. J. (1953): Serpentine lavas, the Ankara mélange and the Anatolian thrust. Roy. Soc. Edinburgh, Trans. 62, S. 403—442.
- BAIN, G. W. (1957): Discussion of urano-organic ores. Econ. Geol. 52, S. 192—196.
- BALDWIN, R. B. (1949): The face of the moon. Univ. Chicago Press, 239 S.
- BALUCHOWSKIJ, N. F. (1956): Einige strittige Fragen der Erdölgeologie und Wege zu ihrer Lösung. Z. angew. Geol., H. 11/12, S. 536—540.
- BARNES, V. E. (1956): Lead Deposits in the Upper Cambrian of Central Texas. S. 1. 26, Bur. Econ. Geol., Univ. of Texas, 68 S.
- BARTHOLOMÉ, P. (1958): On the paragenesis of copper ores. Stud. Univ. Lovanium, Fac. Sci. 4, 32 S.
- BASTIN, E. S. (1933): The chalcocite and native copper types of ore deposits. Econ. Geol. 28, S. 407—447.
- BATEMAN, A. M. (1930): The ores of the Northern Rhodesia copper belt. Econ. Geol. 25, S. 365—418.
- (1950): Economic Mineral Deposits, New York, 918 S.
- and JENSEN, M. L. (1956): Notes on the origin of the Rhodesian copper deposits; isotope composition of the sulfides. Econ. Geol. 51. S. 555—564.
- BEHRE, C. B. and GARRELS, R. M. (1943): Ground water and hydrothermal deposits. Econ. Geol. 38, S. 65—69.
- BEHRE, C. B. (1947): Geochemistry and localization of dolomitization. Econ. Geol. 42, S. 540—542.
- BEHREND, F. und BERG, G. (1927): Chemische Geologie. Stuttgart, 564 S.
- BELT, C. B. (1958): Intrusions and ore deposition in New Mexico. AIME New York meeting, preprint No. 5817A 5, 13 S.
- BENSON, W. N. (1915): The geology and petrology of the great serpentine-belt of New South Wales. IV. The dolerites, spilites and keratophyres of the Nundle district. Proc. Linnean Soc. N. S. Wales 40, S. 121—173.
- BERNAUER, F. (1934, 1939): Rezente Erzbildung auf der Insel Vulcano, I. Teil. N. Jb. f. Min. etc. Beil. Bd. 69, S. 60—91. II. Teil Beil. Bd. 75, S. 54—71.
- BORCHERT, H. und TRÖGER, E. (1950): Zur Gliederung der Erdkruste nach geophysikalischen und petrologischen Gesichtspunkten. Gerlands Beitr. Geophys. 62, S. 101—126.
- BORCHERT, H. (1952): Die Bildungsbedingungen mariner Eisenerzlagerstätten. Chemie d. Erde 16, S. 49—74.
- (1954—1955): Kritische Anmerkungen zu zwei neuen Arbeiten über Outokumpu. Chemie der Erde 17, S. 1—5.
- BOWEN, N. L. (1928): The evolution of the igneous rocks. Dover, New York, 334 S.

- BRIDGE, J. and RODGERS, J. (1956): Stratigraphy of the Mascot-Jefferson City Zinc District, Tennessee U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 277, 76 S.
- BROWN, J. S. (1948): Ore genesis. Hopewell Press, 204 S.
- BRUMMER, J. J. (1955): Geology of the Roan Antelope mine. Bull. Inst. Min. Met. London 580, S. 257—318. Discussion of: no. 582, S. 458—471; no. 584, S. 581—591.
- (1958): Supergene copper-uranium deposits in Northern Nova Scotia. Econ. Geol. 53, S. 309—324.
- BUEHLER, H. A. (1933): The disseminated-lead district of Southeastern Missouri. 16th Int. Geol. Congr., Guidebook 2, S. 45—55.
- BUCKLEY, E. R. (1908): Disseminated lead deposits of St. Francois and Washington Counties. Missouri Bur. of Geol. and Mines, vol. IX, part 1 and 2, 259 S.
- BURRI, C. und NIGGLI, P. (1945): Die jungen Eruptivgesteine des mediterranen Orogens, I, Schweizer-Spiegel-Verlag, Zürich, 654 S.
- BUSCHENDORF, F. (1950): Bisherige Ergebnisse der Erforschung deutscher Blei-Zink-Lagerstätten und Wege zu ihrer Erweiterung und Vertiefung. Erzmetall III.
- Canad. Inst. Min. Met. (1948): Structural Geology of Canadian ore deposits. Symposium, Montreal, 948 S.
- CARL, J. D. and AMSTUTZ, G. C. (1958): Three dimensional Liesegang rings by diffusion in a colloidal matrix, and their significance for the interpretation of geological phenomena. Bull. Geol. Soc. Am. 69, S. 1467—1468.
- CHICO, R. (1959): On the geology and mineralization of the Diamond No. 2 Mine near Gallup, New Mexico. Missouri School of Mines and Metallurgy thesis.
- CISSARZ, A. (1956): Lagerstätten und Lagerstättenbildung in Jugoslawien in ihren Beziehungen zu Vulkanismus und Geotektonik. Belgrad, 152 S.
- (1957): Lagerstätten des Geosynkinalvulkanismus in den Dinariden und ihre Bedeutung für die geosynklinale Lagerstättenbildung. N. Jb. Min. Abh. 91, S. 485—540.
- CLAR, E. (1953): Über die Herkunft der ostalpinen Vererzung. Geol. Rdsch. 42, S. 107—127.
- DI COLBERTALDO, D. (1956): Über den magmatischen Ursprung der Raibler-Lagerstätte. Erzmetall IX, S. 223—224.
- CORBETT, C. S. (1955): In situ origin of McMurray oil of northeastern Alberta and its relevance to the general problem of origin of oil. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol. 39, S. 1601—1621.
- (1955): Reply to the discussions of „In situ origin...“ Ibid. S. 1636—1649.
- CORRENS, C. W. (1926): Die Bedeutung der Adsorption für die Bildung syngenetischer Erzlagerstätten. N. Jb. Min., B. B. I, 17.
- (1949): Einführung in die Mineralogie. Springer, 414 S.
- CROOK, T. (1933): History of the theory of ore deposits. London, 163 S.
- CUP, C. (1955): Tectonics and genesis of the lead-zinc ores of Tellig (Hunsrück, W. Germany). Geologie en Mijnbouw, N. S., 17e Jg., No. 11, S. 285—318.
- DAKE, C. L. (1930): The geology of the Potosi and Edgehill Quadrangles. Mo. Bur. Min. 23, 2nd Ser, 233 S.
- DAVIDSON, C. F. (1931): Geology and ore deposits of Chambishi, N-Rhodesia. Econ. Geol. 26, S. 131—152.
- (1954): Discussion of one genesis of N-Rhodesia copper deposits. Inst. Min. and Metal. 63, S. 244—250.
- (1957): On the occurrence of uranium in ancient conglomerates. Econ. Geol. 52, S. 668—693.
- DUHOUX, P. V. (1950a): La petrogenèse et la métallogenèse du domaine minier de Kilo-Moto. Ann. Soc. Géol. Belg., T. LXXIII, P. M. 171—244.

- (1950b): Les itabirites du NE de la Colonie Comm. Congrès Sci. 50aire du C. S. K. E'Ville.
- DUNHAM, K. C. (1952): Fluorspar, Mem. Geol. Survey (Great Britain) Spec. Reports on the Mineral resources of Great Britain Vol. IV, 143 S.
- (1948): Geology of the Northern Pennine ore field. Mem. Geol. Surv. of Britain, Vol. I, 357 S.
- VON ENGELHARDT, W. (1936): Die Geochemie des Barium. Chemie der Erde 10—11, S. 187—246.
- EDWARDS, A. B. (1953): The Geology and structure of Australian ore deposits. Fifth Empire Min. and Met. Conpt. v. 1.
- FENTON, C. L. and FENTON, M. A. (1952): Giants of geology. Doubleday, Garden City, New York, 333 S.
- FERSMAN, A. E. (1929): Geochemische Migration der Elemente II. Abh. prakt. Geol. u. Bergwirt. 18.
- (1935): EK in der Geochemie. Compt. Rend. Akad. Sci. UdSSR, Bd. II, S. 267.
- FINCH, J. W. (1933): Sedimentary copper deposits of the Western United States. In: Ore deposits of the Western States. Am. Inst. Min. Met. Eng., New York, S. 481—487.
- VON FISCHER, W. M. (ca. 1914): Studien an übersättigten Lösungen. Über den Mechanismus der Ausscheidung von Salzen aus übersättigten Lösungen und die Bildung rhythmischer Niederschläge in Gallerten. Z. f. Anorgan. u. allg. Chemie, S. 311—364.
- FOLK, R. L. and EDWARD, W. C. (1952): A study of the texture and composition of chert. Am. J. Sci. 250, S. 498—510.
- FORDHAM, F. (1956): An introduction to Jung's psychology. Pelican Book, 128 S.
- FOWLER, G. M., LYDEN, J. P., GREGORY, F. E. and AGAR, W. M. (1934): Chertification in the Tri-State (Oklahoma-Kansas-Missouri) Mining District. AIME-Tech. Publ. No. 532, 1. 45.
- FREEMANN, H. D. (1935): Vanadium and Uranium deposits in the Triassic and Jurassic sandstones of the Plateau area of Southwestern Colorado and South-eastern Utah. Thesis, Princeton Univ., 111 S.
- FRIEDRICH, O. M. (1937): Überblick über die ostalpine Metallprovinz. Z. Berg-, Hütten- und Salinenwesen 85, S. 241—253.
- (1953): Zur Erzlagerstättenkarte der Ostalpen. Radex-Rdsch. 1953, S. 371—407.
- GARLICK, W. G. (1955): Origin of the Roan Antelope copper deposit of N-Rhodesia. Econ. Geol. 50, S. 880—884.
- GEIJER, P. (1922): Problems suggested by the igneous rocks of Jotnian and Sub-Jotnian age. Geol. För. Stockholm Förh. 44, S. 411—443.
- (1931): The iron ores of the Kiruna Type. Sver. Geol. Undersök. Ser. C. No. 367, Arsbok 24 (193), No. 4, 39 S.
- (1935): Die nordschwedischen Eisenerze und verwandte Lagerstätten als Beispiele eruptiver Spaltungsprozesse. Geol. Rdsch. XXVI, S. 351—366.
- (1949—1950): The Rektor ore body at Kiruna. Sver. Geol. Undersök. Ser. C., No. 514, Arsbok 43, No. 12, 18 S.
- GEIS, H.-P. (1958): Die Genese der norwegischen Kieslagerstätten. Erzmetall Bd. XI, H. 11, S. 541—543.
- GENGE, E. jun. (1958): Ein Beitrag zur Stratigraphie der südlichen Klippendecke im Gebiet Spillgerten-Seehorn (Berner Oberland). Eclogae. geol. Helv. 51, S. 151—211.
- GILLSON, J. L. (1956): Genesis of titaniferous magnetites and associated rocks of the Lake Sanford district, New York. AIME Min. Eng., S. 296—301.
- GOETHE, J. W. (1949): Gedenkausgabe der Werke, Briefe und Gespräche. Artemis-Verlag, Zürich, 1. Teil, S. 555—556.

- GOODSPEED, G. E. (1948): Origin of granites. In: Origin of granite. Geol. Soc. Am. Mem. 28, 139 S.
- GRIGORIEV, D. P. (1948): Sulphidlagerstätten im mittleren Ural. Staatl. Min. Abt. (UdSSR), Bd. 77, No. 1, S. 32—42.
- GRIP, E. (1948): Lead and Zinc deposits in northern Sweden. Int. Geol. Cong. London, part VII, 11 S.
- GRUNER, J. W. (1924): Contributions to the Geology of the Mesabi Range. Univ. of Minn. Bull. No. 19 (Geol. Surv.), 45 S.
- (1956): Concentration of uranium in sediments by multiple migration-accretion. Econ. Geol. 51, S. 495—520.
- GUSSOW, W. C. (1955): Discussion of „In situ origin of McMurray oil“, CORBETT, 1955. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol. 39, S. 1625—1631.
- GYSIN, M. (1924): Observation sur le métamorphisme des dolomites au contact des serpentines dans la région de Divrik (Turquie). C. R. Soc. phys. et hist. nat., Genève, vol. 59.
- (1943): Recherches géologiques, pétrographiques et minières dans la région de Divrik (Anatolie). Mém. soc. phys., Genève, vol. 42, fasc. 2, 252 S.
- HAMILTON, F. J. (1955): Discussion of „In situ origin of McMurray oil“, CORBETT, 1955. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol. 39, S. 1631—1632.
- HARTMANN, H. (1953): Max Planck als Mensch und Denker. Basel, Thun, Düsseldorf, 14 S.
- HARRIS, L. D. (1958): Syngenetic chert in the middle Ordovician Hardy Greek Limestone of southwest Virginia. J. Sedim. Petrology 28, S. 205—208.
- HAVEMANN, H. (1957): Transgression-Regression und Konvektion. Geologie, Jg. 6, S. 123—140.
- HEGEMANN, F. (1949): Die Herkunft des Mo, V, As und Cr im Wulfenit der alpinen Blei-Zinklagerstätten. Heidelberger Beitr. z. Min. u. Petr. 1, S. 690—715.
- und ALBRECHT, F. (1954—1955): Zur Geochemie oxydischer Eisenerze. Chemie d. Erde 17, S. 81—103.
- HEIM, ARN. (1934): Die Entstehung der Golderden an der Elfenbeinküste. Eclogae geol. Helv. 27, S. 459—461.
- HEINRICH, E. WM. (1958): Mineralogy and geology of radioactive raw materials. McGraw-Hill Book Co., New York, 654 S.
- HESS, H. H. (1955): Serpentine, Orogeny, and Epeirogeny. From: The crust of the earth. Geol. Soc. Am. Spec. Paper 62, S. 391—408.
- HIESLEITNER, G. (1951): Serpentin- und Chromerzgeologie der Balkanhalbinsel und eines Teiles von Kleinasien. Wien, Bd. I u. II, 683 S.
- HILLS, V. C. (1930): Pillow-Lava and the pyrite ores of Cyprus. Proc. Colorado Sci. Soc. 12, 1929—1931, S. 279—287.
- Ho, C. S. (1953): Mineral Resources of Taiwan Ministry of Economic Affairs. China, 313 S.
- HUME, G. S. (1955): Discussion of „In situ origin of McMurray oil“, CORBETT, 1955. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol. 39, S. 1621—1624.
- HUTH, R. (1955): Brattendorf — eine kleine red-bed-Lagerstätte im Thüringer Wald. Z. f. angew. Geol., H. 3/4, S. 123—124.
- HUTTENLOCHER, H. F. (1934): Die Erzlagerstättenzonen der Westalpen. Beitr. Geol. d. Schweiz. Geotechn. Ser., Kl. Mitt. Nr. 4, und: Schweiz Min. Petr. Mitt. XIV, S. 21—144.
- (1953): Die Vererzung der Westalpen, ihre zeitliche und räumliche Gliederung. Geol. Rdsch. 42, S. 93—107.
- JACOBI, J. (1955): Die Psychologie von C. G. Jung. Rascher, Zürich, 266 S.
- JUNG, C. G. (1952): Synchronizität als ein Prinzip akausaler Zusammenhänge. In: Naturerklärung und Psyche. Rascher, Zürich, S. 1—107.

- (1954): *Welt der Psyche*. Rascher, Zürich, 159 S.
- (1957): *Gegenwart und Zukunft*. Rascher, Zürich, 55 S.
- (1958): *Ein moderner Mythos*. Rascher, Zürich, 122 S.
- KASSANDER, A. R., SIMS, L. L. and McDONALD, J. E. (1957): Observations of freezing nuclei over the Southwestern U. S. In: *Artificial stimulation of rain*. Pergamon, London, New York, Toronto, S. 392—403.
- KELLER, W. D. (1954): The energy factor in sedimentation. *J. Sedim. Petrol.* 24, S. 62—68.
- KENDALL, D. L. (1958): Sedimentary features of the ore deposits. Jefferson City Mine, Tennessee. *Bull. Geol. Soc. Am.* 69, S. 1596 (abstr.).
- KERR, P. F. and KELLEY, D. R. (1956): Urano-organic ores of the San Rafael Swell, Utah. *Econ. Geol.* 51, S. 386—390.
- (1957): Marysvale, Utah, Uranium Area. *Spec. Paper* 64, *Geol. Soc. Am.*, 212 S.
- (1958): Uranium emplacement in the Colorado Plateau. *Bull. Geol. Soc. Am.* 69, S. 1075—1112.
- KNIGHT, C. L. (1957): Ore genesis — the source bed concept. *Econ. Geol.* 52, S. 808—817.
- KRAUME, E., RAMDOHR, P. et al. (1955): Die Erzlager des Rammelsberges bei Goslar. *Beih. Geol. Jb.* 18, 394 S.
- KRENKEL, E. (1957): *Geologie und Bodenschätze Afrikas*. Leipzig, 597 S.
- KRUMBEIN, W. C. und GARRELS, R. M. (1952): Origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation-reduction potentials. *J. Geol.* 60, S. 1—33.
- KULP, J. L., AMSTUTZ, G. C. and ECKELMANN, F. D. (1957): Lead isotope composition of Peruvian galenas. *Econ. Geol.* 52, S. 914—922.
- KUMM, A. (1926): Zur Klassifikation und Terminologie der Sphärite. *Z. dtsh. Geol. Ges.* 78, 10, S. 1—34.
- LANDERGREN, S. (1948): On the geochemistry of Swedish iron ores and associated rocks (a study on iron-ore formation). *Sver. Geol. Undersök. Ser. C*, No. 496, *Arsbock* 42, No. 5, 182 S.
- LANGE, E. (1955): Zur Genese der Teersande. *Z. f. angew. Geol.*, H. 3/4, S. 125—128.
- (1956): Zum Dolomitierungsproblem. *Z. angew. Geol.*, H. 11/12, S. 570.
- (1956): Uranvorkommen in terrestrischen Sedimenten. *Z. f. angew. Geol.*, H. 1, S. 3—8.
- LEHMANN, E. (1949a): Das Keratophyr-Weilburgit-Problem. *Heidelberger Beiträge z. Min. Petr.* 2, S. 1—166.
- (1949b): Über die Genesis der Eisenlagerstätten vom Lahntypus. *Erzmetall* II, H. 8, S. 239—246.
- (1952): Über Miktitbildung. *Heidelberger Beitr. z. Min. u. Petrogr.* 3, S. 9—35.
- LEITMEIER, H. (1953): Die Entstehung der Spatmagnesite in den Ostalpen. *Min. Petr. Mitt.* 3. Folge. III, S. 305—328.
- LEUTWEIN, F. (1951): Geochemische Untersuchungen an den Alaun- und Kiesel-schiefern Thüringens. *Arch. f. Lagerstättenforsch.* 82. Berlin.
- LEUTWEIN, F. und DOERFFEL, K. (1957): Über einige Verfahren zur theoretischen Klärung geochemischer Prozesse, unter besonderer Berücksichtigung der Gitter-energie. *Freiberger Forschungshefte*, S. 65—101.
- LEWIS, J. V. (1914): Origin of pillow lavas. *Bull. Geol. Soc. Am.* 25, S. 591.
- LIEBENBERG, W. R. (1956): The occurrence and origin of gold and radioactive minerals in the Witwatersrand. *Trans. Geol. Soc. S. Africa* 58 (for 1955), S. 101—254.
- LIGASACCHI, A. (1959): On the occurrence and genesis of barite in Washington County, Missouri. *Missouri School of Mines and Metallurgy Thesis*.

- LINCK, G. und BECKER, W. (1926): Die weisse Schreibkreide und ihre Feuersteine. *Chemie d. Erde* 2, S. 1—14.
- LINDGREN, W. (1913): *Mineral Deposits*, S. 368.
- (1923): Concentration and circulation of the elements from the standpoint of economic geology. *Econ. Geol.* 18, S. 434.
- (1933): *Mineral deposits*. 4th ed., New York-London, 930 S.
- LOVE, L. G. (1958): Micro-organisms and the presence of syngenetic pyrite. *Quart. J. Geol. Soc. London*, CXIII, S. 429—440.
- LOVERING, T. G. (1958): Temperatures and depth of formation of sulfide ore deposits at Gilman, Colorado. *Econ. Geol.* 53, S. 689—707.
- MACKIN, J. H. (1952): Iron Springs Area, Utah, *Econ. Geol.* 47, S. 187.
- MASON, B. (1958): *Principles of Geochemistry*. New York, 2nd ed., 310 S.
- MAUCHER, A. (1957): Die Deutung des primären Stoffbestandes der kalkalpinen Pb-Zn-Lagerstätten als syngenetisch-sedimentäre Bildung. *Berg- und Hüttenmannische Monatshefte*, Leoben, 102. Jg., H. 9, S. 226—229.
- MEDICUS, F. (1943): *Vom Wahren, Guten und Schönen*. Zürich, S. 27, 47.
- MEHNERT, K. R. (1953): Zur Abfolge der Gesteinsmobilisation im tiefen Grundgebirge (ohne Zufuhr). *Geol. Rdsch.* 42, S. 4—11.
- MESSER, E. (1955): Kupferschiefer, Sanderz und Kobaltrücken im Richelsdorfer Gebirge, Hessen. *Hessisches Lagerstättenarchiv* 3.
- METSGER, R. W., TENNANT, C. B. and RODDA, J. L. (1958): Geochemistry of the Sterling Hill Zinc deposit, Sussex County, New Jersey. *Bull. Geol. Soc. Am.* 69, S. 775—788.
- NEUERBURG, G. J. (1958): Deuteric alteration of some aplite-pegmatites of the Boulder Batholith, Montana, and its possible significance to ore deposition. *Econ. Geol.* 53, S. 287—299.
- NICKEL, E. (1956): Die Barium-Eisen-Verteilung im Meggener Lager. *Chemie d. Erde* 18, S. 99—137.
- NIGGLI, P. (1912): Die gasförmigen Mineralisatoren im Magma. *Geol. Rdsch.* III, S. 472—482.
- (1920): Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma. Leipzig, 272 S.
- (1929): Erzlagerstätten, magmatische Aktivität und Grosstektonik. *N. Jb. Min.* II, S. 344.
- (1929): Ore deposits of magmatic origin. London, 93 S. (translated by H. C. Boyde).
- (1938): *Vom Geiste der Naturwissenschaften*. 70. Jb. Ver. Schweiz. Gymnasiallehrer, S. 11—28.
- (1941): Die Systematik der magmatischen Erzlagerstätten. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* XXI, S. 161—172.
- (1942): Das Problem der Granitbildung. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 22, S. 1—84.
- und NIGGLI, E. (1948, 1952): *Gesteine und Minerallagerstätten*. Bd. I., 540 S.; Bd. II., 557 S.
- (1949): *Probleme der Naturwissenschaften, erläutert am Begriff der Mineralart*. Birkhäuser, Basel, 240 S.
- (1952): The chemistry of the Keweenaw lavas. *J. Sci. Bowen volume*, S. 381—412.
- OFTEDAHL, C. (1958): A theory of exhalative-sedimentary ores. *Geol. För. i Stockholm För.* 80, H. 1, S. 1—19.
- OHLE, E. L. and BROWN, J. S. ed. (1954): Geologic problems in the southeast Missouri lead district. *Geol. Soc. Am. Bull.* 65, S. 201—222, 935—936.
- ORTEGA Y GASSET, J. (1958): *Qué es filosofía? Obras inéditas*, S. 61.
- PANTIN, H. M. (1958): Rate of formation of a diagenetic calcareous concretion. *J. Sedim. Petr.* 28, S. 366—371.

- PAULI, W. (1952): Der Einfluss archetypischer Vorstellungen auf die Bildung naturwissenschaftlicher Theorien bei Kepler. In: *Naturerklärung und Psyche*. Rascher, Zürich, S. 109—194.
- PERRIN, R. et ROUBAULT, M. (1939): Le granite et les réactions à l'état solid. Bull. Service Carte Géol. d'Algérie No. 4, 182 S.
- PETRASCHECK, W. und PETRASCHECK, W. E. (1950): Lagerstättenlehre, Wien, 240 S.
- PETRASCHECK, W. E., jun. (1953): Magmatismus und Metallogenese in Südost-europa. Geol. Rdsch. 42, S. 128—143.
- (1957): Die Gesichtspunkte für eine hydrothermale Entstehung der kalkalpinen Blei-Zinklagerstätten. Berg- und Hütten-Männ. Mo. Jg. 102, S. 229—233.
- PHILLIPS, A. H. (1918): A possible source for vanadium in sedimentary rocks. Am. J. Sci. 4th series, vol. 46, S. 473—475.
- PLAYFAIR, J. (1802): Illustrations of the Huttonian Theory of the earth. Edinburgh, 528 p. Facsimile reprint with an introduction by G. W. White, University of Illinois Press, Urbana, 1956.
- PORTMANN, A. (1952): Die Bedeutung der Bilder in der lebendigen Energiewandlung. Eranos-Jahrbuch XXI.
- POŠEPNÝ, F. (1895): Genesis der Erzlagerstätten. Wien, 226 S.
- (1893/1902): The genesis of ore-deposits. AIME, New York, 806 S.
- PROCTOR, P. D. (1953): Geology of the Silver Reef (Harrisburg) Mining District, Washington County, Utah. Utah Geol. and Mineral. Surv., Bull. 44, 169 S.
- PUTZER, H. (1958): Die Kryptomelan- und Jaspilit-Lagerstätten von Corumbá im Staate Mato Grosso, Brasilien. Erzmetall XI, 11, S. 527—538.
- RAGUIN, E. (1949): Géologie des gîtes minéraux. 2e ed. Paris, 642 S.
- (1953): Front de migmatite et métallogénie pyrénéenne. Geol. Rdsch. 42, S. 59—62.
- RAMDOHR, P. (1953): Über Metamorphose und sekundäre Mobilisierung. Geol. Rdsch. 42, S. 11—19.
- (1955): Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. Berlin.
- (1955): Neue Beobachtungen an Erzen des Witwatersrands in Südafrika und ihre genetische Bedeutung. Abb. Deutsche Akad. Wissensch. Berlin, Math.-Natw. Kl., 3, 43 S.
- (1958): On the occurrence of uranium in ancient conglomerates. Discussion of DAVIDSON's paper on the same subject. Econ. Geol.
- RAND, J. R. (1956): Copper mineralization at the White Pine Mine Ontonagon County, Michigan. Institute of Lake Superior Geology, Michigan Tech. Press., S. 17 (abstr.).
- RANKAMA, K. and SAHAMA, TH. G. (1950): Geochemistry. University of Chicago Press, 912 S.
- RANSOME, F. L. (1905): Occurrence of the uranium and vanadium ores. In: HILLEBRAND, W. F. and RANSOME, F. L.: On carnotite and associated vanadiferous minerals in Western Colorado. Bull. 262, U. S. Geol. Surv., S. 17.
- READ, H. H. (1948): Granites and granites. Origin of granite. Geol. Soc. Am. Mem. 28, 139 S.
- RICHARDSON, W. A. (1921): The relative age of concretions. Geol. Mag. 63, v. 114—124.
- RIDGE, J. D. (1957): The iron ores of Iron Mountain, Missouri. Mineral Industries, Penn. State Univ., 6 S.
- RIDGWAY, J. E. (1950): S. Austral. Dept. of Mines. Mining Review 90, S. 81.
- ROSENTHAL, G. (1956): Versuche zur Darstellung von Markasit, Pyrit und Magnetkies aus wässrigen Lösungen bei Zimmertemperatur. Heidelberger Beitr. Min. Petr. 5, S. 146—164.

- ROSS, C. S. (1947): Volcanic emanations as keys to ore transport. *Econ. Geol.* 42, S. 537—539.
- RUSSEL, B. (1914, 1926): Our knowledge of the external world. London, 251 S.
- (1946): Foreword to: The common sense of the exact sciences, by W. K. CLIFFORD (1946), New York.
- RUSSEL, R. J. (1958): Presidential Address, Annual Meeting of the Geol. Soc. of America, 1957. *Bull. Geol. Soc. Am.* 69.
- SABBATONI, L. (1920): Saggi di Fossilizzazione sperimentale. *Boll. Soc. Geol. Ital.* XXXIX, S. 317—323.
- SAUKOW, A. A. (1953): Geochemie, Berlin (übersetzt a. d. Russ.), 311 S.
- SAWARIZKI, A. N. (1954): Einführung in die Petrochemie der Eruptivgesteine. Berlin (übers. a. d. Russ.), 445 S.
- SCHMID, K. (1958): Hochmut und Angst. Betrachtung zur seelischen Lage des heutigen Europa. Zürich, 187 S.
- SCHNEIDER, H. J. (1953): Neue Ergebnisse zur Stoffkonzentration und Stoffwanderung in Blei-Zink-Lagerstätten der nördlichen Kalkalpen. *Fortschr. Min.* 32.
- (1954): Die sedimentäre Bildung von Flussspat im oberen Wettersteinkalk der nördlichen Kalkalpen. *Abh. der Bayer. Akad. d. Wiss. N. H.* 66, 37 S.
- (1956): Die Vererzung der südalpiner Bellerophon-Schichten. *Fortschr. Min.* 34, 1, S. 28—31.
- SCHNEIDERHÖHN, H. (1951): Metallepochen, Metallprovinzen und sekundärhydrothermale Vorgänge. *Rend. Soc. Min. Ital.* VII, S. 3—8.
- (1952): Genetische Lagerstättengliederung auf geotektonischer Grundlage. *N. Jb. Mh.*, S. 47—89.
- (1953): Fortschritte in der Erkenntnis sekundär-hydrothermalen und regenerierter Lagerstätten. *N. Jb. Mineral. Abh.* 9/10, S. 223—237.
- (1955): Erzlagerstätten (Kurzvorlesungen). Fischer, Stuttgart, 375 S.
- SCHOUTEN, C. (1946): The role of sulphur bacteria in the formation of the so-called sedimentary copper ores and pyritic ore bodies. *Econ. Geol.* XLI, S. 517—538.
- SCHROLL, E. (1949): Über die Anreicherung von Mo und V in der Hutzone der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth in Kärnten. *Verh. d. Geol. Bundesanst.* 1949, S. 1—19.
- SCHÜLLER, A. (1958): Die Metallisation im Kupferschiefer und Dolomit des unteren Zechsteins in den Bohrungen Spremberg 13E/57 und 3/54. *Geologie* 3—6, S. 651—675.
- SEIFERT, H., NICKEL, E. und BRUCKMANN, E. (1952): Studien am „Neuen Lager“ der Kieslagerstätte von Moggen (Lenne), Kettwig-Ruhr, 70 S.
- SHROCK, R. R. (1948): Sequence in layered rocks. New York, 507 S.
- SIEGL, W. (1947): Zur Wulfenitbildung auf manchen Blei-Zinklagerstätten, Berg- und Hüttenmänn. *Mh.* 92, S. 49—51.
- SKINNER, B. J. (1958): The geology and metamorphism of the Nairne pyritic formation, a sedimentary sulfide deposit in South Australia. *Econ. Geol.* 53, S. 546—562.
- SMIRNOW, S. S. (1954): Die Oxydationszone sulfidischer Lagerstätten, Berlin, 312 S.
- SNYDER, F. G. and ODELL, J. W. (1958): Sedimentary Breccias in the southeast Missouri lead district. *Bull. Geol. Soc. Am.* 69, S. 899—926.
- SONDER, R. A. (1956): Mechanik der Erde. Stuttgart, 291 S.
- SOROTCHINSKY, C. (1955): La Géologie trouve les voies nouvelles. Louvain, 294 S.
- SPOULE, I. C. (1955): Discussion of „In situ origin of McMurray Oil“, CORBETT, 1955. *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.* 39, S. 1632—1636.
- SPURR, J. E. (1923): Ore Magmas. New York.

- STANTON, R. L. (1958): Abundances of copper, zinc, and lead in some sulfide deposits. *J. Geol.* 66, S. 484—502.
- STRACHOW, N. M. (1956): Vergleichendes lithologisches Schema authigener Sedimentbildung in den Meeresbecken. *Zeitschr. f. angew. Geologie*, Heft 2/3. S. 119 bis 130.
- SULLIVAN, C. J. (1948): Ore and granitization. *Econ. Geol.* 43, S. 471.
- SZADECKY-KARDOSS, E. (1957): *Geochemie*. Budapest (ungarisch).
- TARR, W. A. (1921): Syngenetic origin of concretions in shale. *Geol. Soc. Am. Bull.* 32, S. 373—384.
- TAUPITZ, K. C. (1954): Erze sedimentärer Entstehung auf alpinen Lagerstätten des Typus Bleiberg. *Erzmetall*, 7.
- (1954/55). Über Sedimentation, Diagenese, Metamorphose, Magmatismus und die Entstehung der Erzlagerstätten. *Chemie der Erde* 17, S. 104—164.
- TEODOROWITSCH, G. I. (1955): Über die Genesis des Dolomits in sedimentären Bildungen. *Z. angew. Geol.*, H. 2, S. 91—93.
- TILLEY, C. E. (1958): Problems of alkali rock genesis. *Quart. J. Geol. Soc. London*, CXIII, S. 323—360.
- VAN HISE, C. R. and LEITH, C. K. (1911): The Geology of the Lake Superior Region. *U. S. Geol. Surv. Mon.* 52, S. 499.
- VARČEK, C. (1953, 1956): Über die gegenwärtigen metallogenetischen Theorien und Klassifikationen und deren kritische Bewertung durch sowjetische Geologen. *Geol. Sbornik* 1953, 4, Nr. 3—4, S. 525—538, und (übers.) in *Z. f. angew. Geol.*, H. 2/3, S. 75—80.
- WEEKS, L. G. (1957): Origin of carbonate concretions in shales, Magdalena Valley, Colombia. *Geol. Soc. Am. Bull.* 68, S. 95—102.
- WEGMANN, C. E. (1956): Stockwerktektonik und Modelle von Gesteinsdifferentiation. *STILLE-Festschrift*, S. 3—19.
- (1958): Das Erbe WERNERS und HUTTONS. *Geologie*, Jg. 7, H. 3—6, S. 237—860.
- WEICKMANN, H. and SMITH W., ed. (1957): *Artificial stimulation of rain*. Pergamon, London, 427 S.
- WELLS, A. K. (1922, 1923): The nomenclature of the spilitic suite. *Geol. Mag.* LIX, No. 698, S. 346—354, and LX, No. 704, S. 62—74.
- WENK, E. (1949): Die Assoziation von Radiolarienhornsteinen mit ophiolithischen Erstarrungsgesteinen als petrogenetisches Problem. *Experientia* 15. Juni, S. 226—232.
- WHITE, W. S. and WRIGHT, J. C. (1954): The White Pine copper deposit, Ontonagon County, Michigan. *Econ. Geol.* 49, S. 675—716.
- WHITE, W. S. (1956): Regional structural setting of the Michigan native copper district. *Institute of Lake Superior Geology, Michigan, College of Mining and Technol.*, S. 3—16.
- WIEBOLS, J. H. (1958): On the occurrence of Uranium in ancient conglomerates. Discussion of the papers by RAMDOHR, 1956, and by DAVIDSON, 1957, *Econ. Geol.* 53, S. 757—764.
- WILKINS, P. and MOORE, P. (1955?): The moon. A complete description of the surface of the moon. *Faber and Faber Ltd., London*, 388 S.
- WILSON, J. T. (1957): Origin of the earth crust. *Nature* 179, S. 228—230.
- WINKLER, A. (1925): Über die Bildung mesozoischer Hornsteine. *Tscherm. Mitt.* 38, S. 424.
- ZIES, E. G. (1929): The Valley of Ten Thousand Smokes. I. The fumarolic incrustations and their bearing on ore deposition. *Natl. Geogr. Soc. Contr. Tech. papers*, V. 1, no. 4.

Eingegangen: 16. Februar 1959.