

## Untersuchungen über Auftreten und Aufbau einiger mittelschwedischer Sulfiderzlagerstätten.

(Ein Beitrag zur Frage der Entstehung „intrusiver Kieslagerstätten“<sup>1)</sup>.)

Von Dipl.-Ing. Herbert Simons, Düsseldorf.

Einer Anregung von Herrn Geh. Bergrat Prof. Dr. R. Beck folgend, untersuchte ich in den Jahren 1919 bis 1920 die wichtigeren Sulfiderzvorkommen Mittelschwedens, mit Ausnahme der Lagerstätte von Falun, die kurz vorher von Geijer eingehend neu bearbeitet worden war<sup>2)</sup>. In Schweden fand ich lebhaftes Entgegenkommen seitens der Herren Prof. Dr. P. J. Holmquist und W. Petersson von der Technischen Hochschule und Staatsgeologen Dr. P. Geijer von der Schwedischen Geologischen Landesanstalt, denen ich zu größtem Dank verpflichtet bin. Auch allen Herren, die mich bei meinen elfmonatigen Reisen in den schwedischen Bergbaugebieten bei meinen Feld- und Grubenarbeiten unterstützten, spreche ich meinen freudigen Dank aus.

Für die Bearbeitung des umfangreichen Materials stellte mir Herr Geh. Regierungsrat Prof. Dr. F. Klockmann in weitestgehendem Maße die Mittel des Mineralogischen Instituts der Technischen Hochschule in Aachen zur Verfügung; erst sein Interesse an den sich mir bietenden Fragen ermöglichte mir die Durchführung meiner Aufgabe, das geologische Auftreten der mittelschwedischen Sulfiderzlagerstätten zu schildern, eine Zusammenstellung ihrer typischen Erzstrukturen zu liefern und zu versuchen, zu einer einheitlichen Auffassung von der Genesis dieser Vorkommen zu gelangen.

Die untersuchten Lagerstätten setzen sämtlich in einer wohl umgrenzten geologischen Provinz, der mittelschwedischen Erzregion, auf.

Nach Inhalt und Form bieten sie zunächst ein äußerst mannigfaltig wechselndes Bild dar. Auf den ersten Blick scheint die einzige Uebereinstimmung zwischen den einzelnen Vertretern unserer Lagerstättenfamilie das Auftreten von Schwefelerzen in kristallinen Schiefen zu sein. Bei genauerer Untersuchung offenbaren sich aber im Auftreten und Aufbau aller mittelschwedischen Sulfiderzvorkommen doch viele gemeinsame Züge, die auf gleichartige Entstehung all dieser Lagerstätten schließen lassen.

Die Schwefelerze erscheinen in den mittelschwedischen Gesteinen, vornehmlich in Leptiten (Granuliten) und Kalksteinen bzw. Skarnen, weniger häufig in Massengesteinen, in jeder beliebigen Konzentration in allen Uebergängen von unbauwürdigen Imprägnationen über arme Fahlbänder bis zu prachtvollen Stufferzen. Das gegenwärtige Mengenverhältnis der einzelnen Schwefelerze und die Ausdehnung ihrer Lagerstätten ist ebenfalls in den weitesten Grenzen veränderlich.

Bei zunehmendem Erzgehalt finden sich alle Uebergänge von taubem zu erzarmem Gestein und zu ärmeren oder reicheren Erzen mit einer größeren oder kleineren Beimengung von taubem Material. Schroffe Uebergänge oder scharfe Grenzen zwischen Taubem und Erz sind selten. Die Gesteine und etwa auch oxydischen Eisenerze, die in der Umgebung und in den wenig konzentrierten Außenteilen der Vorkommen anstehen, lassen sich als Einschlüsse jeder Form und Größe auch innerhalb der reicheren und selbst der Stufferze wiedererkennen. Die Einschlüsse von Nichterzen und Magnetit in den Sulfiden und von älteren Sulfiden in den jüngeren Schwefelmetallen sind Reste des am Ort der heutigen Erzlagerstätte vorhanden gewesenen unvererzten Gesteins, oxydischer Eisenerze und älterer Sulfidimprägnationen, nicht aber sind sie frühzeitig aus einer Sulfid-Silikat-Schmelzlösung auskristallisierte Lösungskomponenten, wie etwa Quarze in Quarzporphyren.

Die Strukturverhältnisse zwischen Gesteinen und Erz deuten darauf hin, daß die Sulfide verdrängend aufgetreten sind. Zwischen den Erzen und den jetzt als Erzträger vorliegenden Gesteinen müssen sich mehr oder weniger weitgehende metasomatische Prozesse abgespielt haben, durch welche weniger widerstandsfähige Gesteinsgemengteile ganz oder bis auf geringe Reste fortgelöst worden sind.

Das Auftreten der Sulfide zeigt sich allgemein an das Vorhandensein von Trümmerzonen in den Gesteinen geknüpft. Die Erze siedeln sich auf Brüchen der Gesteine im großen und der diese aufbauenden Gemengteile im kleinen an, sie folgen den Paralleltecturen der Gesteine und den Gesteinsgrenzen, sowie Spaltflächen, Absonderungen und Korngrenzen der Gesteinsgemengteile. Sie gehen also offenbar den Stellen geringsten Widerstandes innerhalb der Gesteine

<sup>1)</sup> Zusammenfassende Inhaltsangabe einer Arbeit gleichen Namens, Technische Hochschule Aachen, 1922.

<sup>2)</sup> P. Geijer, Falutraktens Berggrund och malmfyndigheter. Sveriges Geologiska Undersökning, Ser. C, Nr. 275; Arsbok 10 (1916), Nr. 1.

nach und beginnen mit Vorliebe von kataklastischen Zonen aus ihre metasomatische Verdrängungswirksamkeit.

Die Raumschaffung für die Ablagerung der Erze ging vor sich, indem die Erzbringer passiv in mechanisch schwache Stellen des Gebirges gepreßt wurden, von denen aus sie durch ihre chemische Energie aktiv Raum erobern konnten. Selbst in kalkigen, also chemisch sehr reaktionsfähigen Gesteinen, geht die Erzbildung von Trümmerzonen aus; der Metasomatose mußte offenbar durch Auflockerung des Gebirges erst vorgearbeitet werden. Ist das geschehen, so werden auch im Vergleich mit Kalksteinen sehr viel weniger reaktionsfähige Gesteine, z. B. saure Leptite und Pegmatite, durch Sulfide in großem Umfang verdrängt. Andererseits sind häufig Kalke in unmittelbarer Nähe der heutigen Erzkörper unversehrt geblieben, weil sie infolge ihrer Lage außerhalb der Kataklasten für eine Vererzung nicht in geeigneter Weise aufgeschlossen worden waren und von den Erzbringern nicht erreicht werden konnten.

Die Diskordanz der Sulfide, die sich im einzelnen, besonders bei mikroskopischer Beobachtung, ständig aufdrängt, tritt in den Lagerstätten der Schwefelerze auf den ersten Blick wenig kräftig hervor. Diese gehören vorwiegend zum Typus der Fahlbänder und Imprägnationen und verhalten sich in ihren einzelnen Teilen häufig, aber keineswegs als Regel, recht genau konkordant. Ueberblickt man aber die Gesamtheit der jedesmal zu einer einheitlichen Lagerstätte gehörigen Fahlbänder und Imprägnationen, so sind diese zu stets mehr oder weniger diskordanten Zonen angeordnet; sie besitzen keine Horizontbeständigkeit. Konnte man vielleicht noch zweifeln, ob die Strukturverhältnisse zwischen Sulfiden und Nichterzen eine Epigenese der ersteren nur vortäuschten (Kristalloblastese, Säkularmetamorphose), so lehrt ein geologischer Ueberblick über die ganzen Lagerstättenräume, daß keine Syngenese vorliegen kann.

Die chemische Beschaffenheit der sulfidischer Vererzung unterworfenen Gesteine spielt keine wesentliche Rolle für die chemische Zusammensetzung der entstehenden sulfidischen Massen. Zwischen den Gesteinen und Sulfiden Mittelschwedens läßt sich keine physikalisch-chemische Abhängigkeit finden, wie sie Vogt für das Verhältnis zwischen „Nickel-Magnetkiesen“ und gabbroiden Gesteinen vertritt<sup>1)</sup>. Der Chemismus der vererzten Gesteine ist jedoch insofern bedeutsam, als die leichtere oder schwerere meta-

somatische Verdrängbarkeit der der epigenetischen Vererzung unterworfenen Gebirgsstücke die Form und Struktur der fertigen Lagerstätte beeinflusst. So erscheint dasselbe Erz einmal als lockerere oder dichtere Fahlbänderimprägnation in Leptit, ein anderes Mal als massige Verdrängung eines Kalksteins, wieder an anderer Stelle als diffuse Imprägnation eines Massengesteins.

Sämtliche Sulfide erweisen sich durch die Art ihrer strukturellen Verknüpfung mit den Nichterzen, besonders durch vorzüglich deutliche Verdrängungsstrukturen, als jünger im Vergleich mit der überwiegenden Masse der Nichterze und der aus ihnen aufgebauten Gesteine, wie Leptite, Kalke, Skarne; manche Pegmatitgänge sind dagegen offenbar jünger als die Sulfide, und besonders manche Gesteinsdeformationen sind zweifellos nach Abschluß der sulfidischen Vererzung zustande gekommen.

Analoge Strukturverhältnisse, wie zwischen Sulfiden und Nichterzen, herrschen auch im Verhalten der Erze untereinander. Daraus ist zu schließen, daß gewisse Sulfide andere Erze verdrängt haben. Die verdrängenden Erze sind offenbar in jedem Fall später als die verdrängten zur Ausscheidung gekommen, und der geologische Befund läßt darauf schließen, daß die verdrängenden Erze später als die verdrängten in die Erzzone eingewandert sind.

Ein wesentliches Ergebnis der mikroskopischen Untersuchung, die wesentlich nach metallographischem Verfahren vorgenommen wurde, besteht darin, daß allgemein an den gleichen Erzen stets die gleichen Struktureigenschaften nachgewiesen werden konnten.

In allen untersuchten Lagerstätten nämlich wird Pyrit von sämtlichen anderen Sulfiden verdrängt. Arsenkies verdrängt Schwefelkies, wird aber von Zinkblende, Kupferkies und Bleiglanz verdrängt. Kobaltglanz wird von Kobaltkies, Arsenikalkies, Magnetkies, Zinkblende und Kupferkies verdrängt gefunden. Zinkblende verdrängt in den meisten Fällen Magnetkies; nur gelegentlich scheinen sich beide Erze gegenseitig anzugreifen, oder tritt sogar Magnetkies als Verdränger von Zinkblende auf. Stets aber verdrängt Magnetkies den Pyrit, während er verdrängt wird von Kupferkies und Bleiglanz. Auf Grund dieses Verhaltens der Sulfide unterschied ich erstens die Gruppe der „älteren“ Sulfide mit Pyrit, Kobaltglanz, Arsenkies und Pyrrhotit als Hauptvertretern und zweitens der „jüngeren“ Sulfide mit vornehmlich Zinkblende, Kupferkies und Bleiglanz. Unter den letzteren wird Zinkblende von Kupferkies und Bleiglanz verdrängt und ist also älter als diese. Ebenso sind Pentlandit und die eisenreichen Kupfererze älter als Kupferkies, und dieser ist älter als Bornit. Von den ältesten zu den jüngsten Eisen-Kupfersulfiden

1) J. H. L. Vogt, Die Sulfid-Silikat-Schmelzlösungen. Norges Tekniske Høiskoles Geologiske Institut, Medd. Nr. 7, Kristiania 1917. — Die Sulfid-Silikatschmelzen. Videnskapselsk. Skr. I. Mat.-Nat. Kl., 1918, Nr. 1, Kristiania 1919.

nimmt fast regelmäßig der Gehalt an Eisen ab und der an Kupfer zu<sup>1)</sup>. Die Kupfererze sind älter als Bleiglanz, das jüngste aller genannten wesentlichen Sulfide. Anscheinend noch jünger sind recht sparsam vorhandene, als Edelmetallsulfide angesprochene Erze (Silberglanz, Petzit?). Das relative Alter von Molybdänglanz konnte aus Mangel an Material nicht bestimmt werden.

Oxydisches Eisenerz, in allen untersuchten Fällen ausschließlich Magnetit, zeigt sich stets älter als Schwefelkies und entsprechend älter als die gegenüber Pyrit jüngeren Sulfide. Ob der Magnetit der untersuchten Sulfidvorkommen Mittelschwedens als erstes, ältestes Produkt des gleichen Erzbildungsvorganges, dem die Sulfide ihr Vorhandensein verdanken, entstand, oder ob der Magnetit keinen genetischen Zusammenhang mit den Sulfiderzen besitzt, mit denen zusammen er gefunden wird, kann an Hand des vorliegenden Materials noch nicht entschieden werden.

Inwiefern gewisse Strukturen der mittelschwedischen Erze auf Entmischungsvorgänge innerhalb von Erzmischkristallen<sup>2)</sup> zurückzuführen sind, ist erst in späteren Untersuchungen festzustellen.

Der Charakter der Sulfide als epigenetische Fremdkörper in den Gesteinen ist so scharf ausgeprägt, daß man die Erforschung der Vererzung von derjenigen der Erzträger weitgehend trennen kann. Die chemisch, mineralogisch und petrographisch häufig scharf charakterisierten Gesteine, die wir bezeichnenderweise in der unmittelbaren Nachbarschaft der Sulfiderze oder als Einschlüsse in ihnen zu finden pflegen, treten gelegentlich auch unabhängig von jeder Erzführung auf. In diesem Fall sind dann die klarsten Verhältnisse für den Nachweis gegeben, daß die petrographischen Eigentümlichkeiten Mittelschwedens und im besonderen die sogenannten „Erzgesteine“ durch der Kontaktmetamorphose gleichende Vorgänge herausgebildet worden sind. Ob die umgewandelten Gesteine Leptite oder Kalke waren, in beiden Fällen zeugt ihr jetziger Mineralbestand „von einer Zuführung von  $\text{SiO}_2$ , Fe (das ja auch in mehreren Erzen auftritt), Mg, vielleicht auch etwas Al“<sup>3)</sup>.

Allerdings stimmen die Umwandlungsprodukte nur der Karbonatgesteine überein mit den Gesteinen, die in bisher näher untersuchten und allgemeiner bekanntgewordenen Kontaktgebieten auftreten. Die in Mittelschweden vorliegende

Umwandlung von Gesteinen mit ähnlicher chemischer Zusammensetzung wie die Leptite in quarzige Cordierit-Anthophyllit-Almandin-Gesteine ist als Erzeugnis pneumatolytischer Kontaktmetasomatose zu verstehen.

Die Abweichungen der mittelschwedischen Lagerstätten von typischen Kontaktvorkommen lassen sich zwanglos erklären mit der besonderen geologischen Position Mittelschwedens. Diese ganze Region wurde durch Niederfaltung in große Erdteufen unter hohen Druck und hohe Temperatur gebracht; dabei geriet sie außerdem in den Wirkungsbereich gewaltiger Magmamassen und deren pneumatolytischen Produkte. Mittelschweden machte also eine Kontaktmetamorphose in Form einer Tiefenmetamorphose durch, bei welcher perimagmatische Zustände in regionaler Ausdehnung herrschen mußten. Die Lösungen, die aus dem basalen Magma oder magmatischen Einzelherden ins Nebengestein übertraten, behielten ihren diakausten Charakter unvergleichlich länger, als das in der Umgebung von einzelnen, in höhere Zonen emporragenden Intrusivstöcken möglich sein kann.

Daher fehlt in Mittelschweden häufig genug jeder sichere Anhaltspunkt dafür, daß man die Erzbildung auf die Intrusion irgendeines bestimmten, in unmittelbarer Nähe der Sulfiderzkörper auftretenden Massengesteins zurückführen dürfte. In manchen Fällen ergibt sich jedoch auch für Mittelschweden der Sachverhalt der Kontaktmetamorphose im engeren Sinne, indem Veränderungen von Gesteinen und gelegentlich Vorkommen von Erzen nachgewiesen werden können, die lokal streng von Intrusivkontakten abhängig sind.

Die Regeln, die für die Wirksamkeit der Kontaktmetamorphose und das Zustandekommen ihrer Produkte in engeren Gebieten erkannt worden sind, z. B. von J. V. Goldschmidt für das Kristianiagebiet<sup>1)</sup> und von Eskola für die Orijärvigegend<sup>2)</sup>, gelten sinngemäß auch für Mittelschweden, wenn man es als einheitliche Kontaktregion betrachtet. Auch durch meine eigenen Untersuchungen in Mittelschweden wurde die Sulfiderzbildung in kalkigen ebenso wie in silikatischen Ablagerungsräumen als zweites, jüngeres Stadium der „pneumatolytischen Kontaktmetamorphose“ festgestellt<sup>3)</sup>.

1) J. V. Goldschmidt, Die Kontaktmetamorphose im Kristianiagebiet, Kristiania 1911.

2) Pentti Eskola, On the petrology of the Orijärvi region in Southwestern Finland. Bull. Comm. Geol. de Finlande Nr. 40, Helsingfors 1914. Om sambandet mellan kemisk och mineralogisk sammansättning hos Orijärvitraktens metamorfa bergarter. Bull. Comm. Geol. de Finlande Nr. 44.

3) Siehe G. Berg, Zur Gliederung des Vorgangs der Kontaktmetamorphose. Zeitschr. f. prakt. Geologie 1920, S. 123—125.

1) L. C. Graton und J. Murdoch, The sulphide ores of copper. Some results of microscopic study, Trans. Amer. Inst. Min. Eng. XLV, 1914.

2) H. Schneiderhöhn, Entmischungserscheinungen innerhalb von Erzmischkristallen und ihre Bedeutung für Lagerstättenkunde und Aufbereitung. Metall und Erz, XIX. Jg., Heft 22/23.

3) P. Geijer, a. a. O.

Nach Niggli's physikalisch-chemischen Ableitungen<sup>1)</sup> ist es nicht nur erklärlich, daß die Sulfide nacheinander in die Räume der heutigen Lagerstätten eintreten, sondern auch daß sie dies in einer für die ganze geologische Provinz gleichbleibenden Reihenfolge tun. Im Verlauf der Abkühlung der Magmamassen, die ganz Mittelschweden regional tiefenmetamorph, oder einzelne Teile des Gebietes im Zusammenhang mit erkennbaren Kontakten veränderten, destillierten als leichtflüchtige Magmakomponenten die Erzbildner in der Reihenfolge der oben angegebenen „Verdrängungsreihe“ aus dem Magma ins Nebengestein.

Die zuerst zur Ablagerung gekommenen Erze sind unter andersartigen Bedingungen, jedenfalls bei höherer Temperatur, vielleicht auch höherem Druck, entstanden als die später herangeführten; die ersteren waren unter den neuen Verhältnissen weniger beständig und konnten daher von den jüngeren Erzen korrodiert und metasomatisch mehr oder weniger vollständig verdrängt werden. Die Verdrängungsstrukturen haben sich nicht als Auswirkung einer „Säkularmetamorphose“<sup>2)</sup> nach der Ablagerung der Erze, sondern während ihres Bildungsvorganges als dessen unmittelbare Folge gebildet. Die Verwachsungen der mittelschwedischen Sulfide untereinander und mit den Erzträgern sind primär; die Kieslagerstätten Mittelschwedens scheinen seit ihrer Entstehung keine irgendwie größeren Veränderungen ihrer Substanz und Struktur mehr erlitten zu haben.

Die Einheitlichkeit im Material und die überall gleiche Altersfolge der mittelschwedischen Schwefelmetallvorkommen weisen darauf hin, daß diese sogenannten intrusiven Kieslagerstätten mit einer über weite Erdräume hin gleichartigen Quelle, nämlich dem Magma, in ursächlichem Zusammenhang standen, und daß sie, wie auch alle ihnen analogen Lagerstätten, durch hypogene Lösungen epigenetisch in perimagnetischen Räumen gebildet worden sind.

Es scheint mir außer Zweifel zu stehen, daß die Bildungszeit der Sulfiderze Mittelschwedens in die Periode der magnetischen Nachwirkungen zu verlegen ist. Die obere Grenze des Temperaturintervalls der Sulfiderzbildung kann mit Sicherheit dahin bestimmt werden, daß die hohen Temperaturen und Drucke, unter denen Leptite, Skarne und oxydische Erze sich hatten bilden können, zu bestehen aufgehört hatten; auch die Zufuhr des Materials, dem die pneumatolytische Metamorphose zuzuschreiben ist, hatte ihr Ende

gefunden. Die Zeit der mittelschwedischen Sulfidbildung wird sich wohl am genauesten feststellen lassen relativ zum Alter der Bildung von Serizit, Chlorit, Serpentin und anderen Wasserstoff- bzw. wasserhaltigen Silikaten. Hierüber liegen jedoch zur Zeit noch keine ausreichenden Untersuchungen vor<sup>1)</sup>. Meine eigenen Beobachtungen scheinen dafür zu sprechen, daß wenigstens ein Teil der hydroxylhaltigen Silikate vor den Sulfiden gebildet war, da er von den Erzen verdrängt wird.

Zur Entscheidung der Frage, in welcher Form die Schwefelerze an ihre Lagerstätten verbracht worden sind, ist die Feststellung wichtig, daß die stärker oder schwächer korrodierten Einschlüsse in den Erzen genau den Gesteinen und Mineralien entsprechen, die auch in der Umgebung der Erzkörper anstehen, daß sie also keine Kristallisationsprodukte feurigflüssig intrudierter Erzschmelzen sind. Noch deutlicher als die regellos im Erz angeordneten Nebengesteinsaggregate und -gemengteile beweisen mehr oder weniger konstant fortstreichende Bänder und Lager von unverzertem oder schwach imprägniertem Nebengestein innerhalb der Erzkörper, daß die Erzbringer imprägnierend und Schicht für Schicht mehr oder weniger vollkommen metasomatisch ersetzend vordrangen. Die mittelschwedischen Sulfidvorkommen sind, wenn man den Begriff der Pseudomorphose vom Einzelkristall auf ganze Gesteinskomplexe übertragen darf, „Pseudomorphosen im großen“<sup>2)</sup> nach praexistierenden Gesteinen der Leptitformation. Mit dem Nachweis, daß ältere Gesteine durch Metasomatose vererzt sind, wäre ein Einwand beseitigt, der gegen die Entstehung der sogenannten intrusiven Kieslager aus Lösungen erhoben wurde. Alle geologischen und petrographischen Beobachtungen sprechen dafür, daß die untersuchten Lagerstätten nicht durch katastrophale Intrusionen und Einschmelzungen gebildet wurden, sondern von langsam in langen Zeiträumen arbeitenden „diakausten“ (Klockmann), d. h. heißen, hochgespannten und von Mineralisatoren begleiteten Lösungen.

Man hat versucht, die Verteilung der Erze in den „intrusiven Kieslagerstätten“ durch Differentiationsvorgänge innerhalb von Erzmagmen zu erklären. Zweifellos sind die einzelnen Erze Differentiationsprodukte, die ihrer geologischen Position nach einen engen Zusammenhang mit magmatischen Vorgängen erkennen lassen. Sie sind aber nicht in situ aus einem einheitlichen Sulfid-Silikat-Schmelz-

1) P. Niggli, Ueber magmatische Destillationsvorgänge. Zeitschr. f. Vulkanologie V, 1919, S. 61—84. — Probleme der magmatischen Differentiation. Chemie der Erde I, 1919, S. 101—126.

2) H. v. Scotti, Beitrag zur Frage der Entstehung der Schwefelkieslagerstätten im Süden der iberischen Halbinsel. Diss., Aachen 1914.

1) F. Austin Rogers, Sericite a low temperature hydrothermal mineral. Economic Geology XI, 1916, S. 118—150. Vergl. die an diese Arbeit anknüpfende Diskussion, ebenda.

2) G. Berg, Die mikroskopische Untersuchung der Erzlagertstätten. Berlin 1915, S. 115.

fluß herausdifferenziert, sondern die Erze waren bereits differenziert, als sie in die Räume ihres heutigen Auftretens eindrangen. Der Ort ihrer Differentiation sind die magmatischen Massen, welche durch „rückläufiges Sieden“<sup>1)</sup> die lagerstättenbildenden Mineralisatoren austießen. Mit dem langsamen Wechsel der chemischen und physikalischen Verhältnisse im Magma änderte sich während der Dauer langer Zeiträume auch die chemische Zusammensetzung des ins Nebengestein übertretenden Materials (vgl. Altersfolge der Erze). Ganz ähnlich nimmt Erdmannsdörffer für die Entstehung gemischter Gänge keine in situ erfolgende magmatische Spaltung an; er denkt sich, daß für den Fall der Intrusion von stofflich verschiedenen Magmen in die gleiche Spalte „... der Vorgang der Differenzierung ... in einem tieferen Niveau liegt. ... Das Problem wird aus einem chemischen zu einem mechanischen. Das chemische, das eigentliche Differenzierungsproblem, bleibt daneben für sich bestehen“<sup>2)</sup>.

Während der langen Zeiträume, in denen aus Magmamassen, die sich an der Basis und innerhalb der mittelschwedischen Granulitformation abkühlten, erzhaltige Lösungen zur Verfügung standen, verschoben sich die Angriffspunkte der tektonischen Kräfte; infolgedessen fanden die verschieden alten Produkte der einzelnen Erzbildungsphasen im allgemeinen kaum je die gleichen Räume zur Ablagerung offen. Wanderten bei tektonischen Vorgängen die Stellen größter Auflockerung des Gebirges, und damit auch die Zugangswege für die Erzbringer, so lagerten sich die Verbreitungsgebiete der zeitlich nacheinander auftretenden Erze räumlich nebeneinander, und die einzelnen Erzkörper sind dann aus nur einer oder sehr wenigen vorwiegenden Erzkomponenten aufgebaut. Spielten sich im anderen Falle die tektonischen Ereignisse zur Zeit der Sulfidphase der Tiefenmetamorphose innerhalb enger Räume an mehr oder weniger den gleichen Orten ab, so entstanden nicht nur hochkonzentrierte, sondern auch aus Erzen von sehr verschiedenem Alter aufgebaute „komplexe“ Lagerstätten. Da nie eine zeitlich oder räumlich völlig gleichmäßige Auflockerung der Gesteine eintreten konnte, so konnten Partien älterer Erze unregelmäßig verteilt in jüngeren Erzmassen erhalten bleiben.

Es handelt sich dabei sicherlich nicht um „primäre Teufenunterschiede“, die Unterschiede in der Erzführung zeigen sich in vertikaler und horizontaler Richtung. Ebenso wenig können sekundäre Teufenunterschiede vorliegen, die nach der starken Abrasion während der Eiszeit nur ausnahmsweise vorkommen.

Die Konzentrationsschwankungen der Erze sowie die verschiedene Lage der Verbreitungsgebiete und der Konzentrationsmaxima der einzelnen Sulfide in ein und derselben Lagerstätte erscheinen nach meinen Beobachtungen vielmehr als Produkte zweier Faktoren: 1. der allmählichen Verlagerung der maximalen Kataklassenbildung und 2. des Nacheinanderauftretens verschiedener Erzlösungen in für alle Lagerstätten des Gebietes gleichbleibender Reihenfolge.

Einem Wechsel der physikalischen Verhältnisse im Erzbildungsraum mag es zuzuschreiben sein, daß die Form der Erzkörper mit fortschreitender Entwicklung der Lagerstätte immer mehr vom Fahlbändertypus abweicht. Unter den Bedingungen der Tiefenmetamorphose war die Entstehung von Fahlbändern das Gegebene. Bei abnehmender Temperatur mußten sich in unserer geologischen Provinz die mechanischen Eigenschaften der Gesteine bei tektonischen Beanspruchungen ändern, derart, daß die Störungszonen und die Erzkörper, die in diesen auftreten, allmählich diskordanter und mehr gangartig werden.

Bei der regionalen Erhitzung der mittelschwedischen Gebirgsmassen vermochten die erzbringenden Lösungen oft weit vom Magma abzuwandern, bis sie unter so weit geänderte physikalische Bedingungen gerieten, daß es zu Fällungen ihres Metallgehaltes in Form von Sulfiden kam. So erklärt sich der meist große Abstand der Sulfidvorkommen von Massengesteinen, wenn solche als Erzbringer der Beobachtung überhaupt zugänglich sind.

Die hier dargelegten Anschauungen über die mittelschwedischen Sulfidvorkommen lassen sich ohne weiteres übertragen auf den größten Teil der übrigen skandinavischen Lagerstätten vom Typ der sogenannten intrusiven Kieslager und auch der Nickelmagnetkiese.

Die chemische Natur der Erzbildner war in der norwegischen und mittelschwedischen Lagerstättenprovinz die gleiche, denn dieselben Erze treten hier wie dort auf, und zwar in der gleichen Altersfolge. In Norwegen spielen wie in Mittelschweden metasomatische Verdrängungen eine große Rolle; sie waren an Dislokationen geknüpft, die mit der Gebirgsbildung im Zusammenhang standen<sup>1)</sup>. Unterschiede zwischen den mittelschwedischen und norwegischen Kiesvorkommen lassen sich so deuten, daß erstere im Anschluß an eine erheblich stärkere Metamorphose gebildet worden sind als letztere; die paläozoische Gebirgsfaltung preßte die Gesteine der skandinavischen Zentralkette nicht in so ausgeprägt

1) Niggli, a. a. O.

2) O. H. Erdmannsdörffer, Ueber die Entstehungsweise gemischter Gänge und basischer Randzonen. *Chemie der Erde* I, 1919, S. 335–349.

1) P. J. Holmquist, En geologisk profil öfver fjellområdena mellan Kvikkjokk och norska kusten. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* XXII, 1900, S. 262 ff.

anamorphe Zonen der Erdrinde, wie wir sie heute in Mittelschweden zutage gehend finden. Die Erzträger in Mittelschweden weisen die Spuren einer viel stärkeren Kontakt(Tiefen-)metamorphose, aber schwächeren Dynamometamorphose auf als in Norwegen. Der mechanische Zustand der Gesteine begünstigte im norwegischen Gebirge die Bildung reicherer und reinerer Erzkörper (Erzlineale!), als in Mittelschweden.

Die völlige Analogie der hier besprochenen Lagerstätten mit dem Sulfiderzvorkommen von Falun, mit Erzen von Orijärvi und Bodenmais,

von Skuterud-Snarum und aus der „Weltgruppe der Nickel-Magnetkiese“ drängt sich dem Beobachter förmlich auf. Die Kallmora-Silbergrube bei Norberg wurde von Beck ein „Pitkäranta ohne Zinnerze“ genannt<sup>1)</sup>. Weitere ähnliche Lagerstätten führt Geijer<sup>2)</sup> an. Auch die spanischen Kieslager gehören zu der nächsten Verwandtschaft der skandinavischen Schwefel-  
erzvorkommen.

---

1) R. Beck, Ueber einige mittelschwedische Eisenerzlagerstätten. Zeitschr. f. prakt. Geologie, 1899, S. 1.

2) Geijer, a. a. O.