

[Nachdruck verboten!]

Die Entstehung lagerförmiger Sulfidmassen.

(Vergleichende Studie.)

Von

G. Berg in Berlin.

Unter den vielen verschiedenen Lagerstättenarten, deren Entstehung zurzeit noch unaufgeklärt ist, gehören die meisten zur Gruppe der lagerförmigen Sulfidmassen.

Als man in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts dazu überging, die Lagerstätten nach genetischen Prinzipien zu erklären, hielt man noch gern an der alten formalen Einteilung in Lager, Gänge und Stöcke bis zu gewissem Grade fest und war daher geneigt, die Lager zunächst für sedimentär, die Stöcke für eruptiv und die Gänge für Absätze zirkulierender Thermalwässer oder Grundwässer zu erklären. Bald erkannte man jedoch, daß die Stöcke zum großen Teil ebenfalls aus Lösungen abgesetzt seien, man erkannte den Begriff der Metasomatose und fand, daß es auch lagerförmige Erzmassen gibt, die metasomatisch zu erklären sind. Es entstand dadurch gegenüber der sedimentären Entstehung der Lager eine große Skepsis, die noch durch den Umstand genährt wurde, daß, wenn man sich auf den strengen Standpunkt des Aktualitätsprinzips stellte, eigentlich nur die oxydischen Eisen- und Manganerze sich mit analogen Bildungen der Jetztzeit (den Sumpf- und See-Erzen) in Vergleich ziehen ließen. So kam es, daß manche Forscher die Möglichkeit der Entstehung von sulfidischen Sedimenten fast grundsätzlich verneinten.

Die modernen petrographischen Methoden haben uns dann die Ausscheidungen von sulfidischen Massen aus glutflüssigem Magma kennen gelehrt, und viele Forscher, vor allem Vogt, sind jetzt geneigt, eine große Anzahl „Kieslager“ als magmatische Differentiationen anzusehen.

Die Entdeckung des Melnikowites, der kolloidalen Form des Doppelschwefeleisens, hat aber in neuester Zeit wieder die Frage in Fluß gebracht, ob nicht doch in höherem Maße, als man dies in letzter Zeit annahm,

auch sedimentäre Bildung für Sulfidlagerstätten in Frage kämen¹⁾.

Im folgenden sollen die verschiedenen Prozesse, die zur Entstehung von Sulfidlagern nachweislich geführt haben, und jeweils im Anschluß daran diejenigen Lagerstätten besprochen werden, die, obwohl ihre Genesis noch strittig ist, vermutlich gleichen oder ähnlichen Prozessen ihre Entstehung verdanken. Insbesondere soll dabei erörtert werden, inwieweit eine nachträgliche Umsetzung der Sulfide in gewissen Fällen zur Erklärung der Entstehung strittiger Lagerstätten dienen kann.

I. Differentiation.

In den Nickelmagnetkieslagerstätten haben wir einen Typus, über dessen magmatische Entstehung wohl zurzeit allgemeine Übereinstimmung herrscht. Aber selbst hier sehen wir bei genauerer Untersuchung, daß der Begriff der magmatischen Differentiation nicht im allerstrengsten Sinne des Wortes zu nehmen ist. Während die akzessorischen Eisenkieskriställchen, die wir in vielen Eruptivgesteinen finden, zu den ältesten Ausscheidungen gehören, sind die Magnetkiesmassen in den Gabbrogesteinen regelmäßig der jüngste Gemengteil, welcher alle älteren Silikatausscheidungen nicht nur umschließt, sondern auch in stärkstem Maße resorbiert. Für die Lagerstätten von Sohland a. d. Spree und von Schweiderich bei Schluckenau konnte Beck nachweisen²⁾, daß gleichzeitig mit der Erzbildung eine starke Umwandlung der Augite in Hornblendemineralien stattgefunden hat, und daß das Erz sich in den verschiedensten Differentiationsprodukten des gabbroiden

¹⁾ Siehe Doss, Z. f. pr. Geol. 1912, S. 453.

²⁾ S. d. Z. 1902, S. 41 und 379.

Magmas findet, aber stets mit der Umwandlung des Gesteins verbunden ist; die Erzbildung ist unabhängig von der Differentiation, aber abhängig von der Metamorphose. Beck verlegt daher die Erzausscheidung in eine postvulkanische, pneumatolytische Phase und nimmt an, daß bei der Erstarrung wässrige sulfidische Endlaugen zurückblieben, aus denen dann das Erz auskristallisierte¹⁾. Die Bildung des Magnetkieses im gabbroiden Magma würde also sehr ähnlich der Bildung des Turmalines, des Flußspates, Kryolithes usf. in granitischen Magmen sein. So wie diese Mineralien oft in das umgebende Nebengestein des Granites hinauswandern, findet bekanntlich manchmal auch eine apophysenartige Auswanderung der Magnetkiese aus dem Gabbro in das umgebende Nebengestein statt.

In naher Verwandtschaft zu den nickelhaltigen Magnetkiesen in Gabbrogesteinen stehen nach Vogt diejenigen Kieslager, die er als intrusive bezeichnet. Das häufige Vorkommen von Gabbros oder von kristallinen Schiefen, die man als gestreckte Gabbros auffassen kann, in der Nähe der Erzlager veranlaßt zu der Annahme, daß das Erz auch hier das Produkt einer Differentiation und als Magma ins Nebengestein eingedrungen sei. Die Beziehungen zwischen Erz und Eruptivgestein sind jedoch meist so außerordentlich lockere, und die Ähnlichkeit zwischen den regellosen Nickelmagnetkiesmassen und den regelmäßigen konkordanten Schwefelkieslagern ist eine so geringe, daß die Erklärung aller intrusiven Kieslager auf diese Weise kaum angängig sein dürfte. Immerhin ist es sehr wohl möglich, daß gewisse Kieslager, die sich mitten im Gabbro oder Amphibolit oder unmittelbar am Salband dieser Gesteine finden, ursprünglich magmatische Ausscheidungen gewesen sind, vor allem diejenigen der Gruppe 3 (nach Beyschlag, Krusch, Vogt) mit Magnetkies-, Kupferkies- und geringem Kobalt-Nickelgehalt. Bei der Umwandlung des Gabbros zu Schiefer hat wohl hier eine Konzentration des Sulfides in bestimmten Lagen stattgefunden, besonders in solchen Lagen, die offenklüftig oder für die Lösungen sonst leicht durchlässig waren. Profile, wie

sie Vogt von Meraker angibt (d. Z. 1894, S. 128, Fig. 35, und hiernach B.-Kr.-V., 2. Aufl., S. 344, Fig. 197), aber auch Profile wie das von der Moskedalgrube (ebenda S. 338, Fig. 201) lassen sich wohl auf diese Weise am einfachsten erklären. Bei der Umwandlung ist meist ein Teil des Eisengehaltes in Lösung gegangen, der Schwefelgehalt des Kieses dadurch erhöht und hierdurch der Magnetkies zu Schwefelkies umgesetzt worden.

Auch andere Erzlagerstätten lassen sich vielleicht durch eine Umwandlung ursprünglich magmatischer Sulfidmassen in basischen Eruptivgesteinen erklären. So erscheint es nicht unmöglich, daß auch die Erze von Monte Catini ursprünglich kupferhaltiger Magnetkies in einem hochbasischen Eruptivgestein gewesen sind. Bei der Serpentinisierung haben sich die Erze dann umgesetzt, der Kupfergehalt hat sich durch Abwanderung eines Teils des Eisens bis zur Bildung von Kupferkies angereichert und außerdem in unregelmäßig knolligen Massen im Serpentin konzentriert. Inwieweit später durch Zementation eine weitere Anreicherung und Konzentration des Kupfergehaltes stattgefunden hat, entzieht sich sicherer Bestimmung.

Ähnliches gilt von den Kupfererzlagern von Oookiep. Auch die Rotnickelerzeim Serpentin von Los Jarales bei Malaga sind vielleicht aus Nickelmagnetkieslagerstätten oder ähnlichen magmatischen nickelhaltigen Sulfiden bei der Serpentinisierung hervorgegangen. Bedenken erregt hier allerdings die Verbindung des Nickels mit Arsen. Aber bei der großen chemischen Affinität zwischen diesen zwei Elementen würde schon ein geringer Arsengehalt des Ursprungserzes restlos vom Nickel absorbiert werden und zur Bildung von Nickelarsenür Veranlassung geben¹⁾.

¹⁾ Es sei hier noch darauf hingewiesen, daß ein vollkommenes Analogon zur Anreicherung von Kupfer- oder Nickelsulfiden bei der Serpentinisierung die Bildung der Nickelsilikatlagerstätten bilden würde. Es fehlt hier nur (vielleicht in Ermangelung von Schwefel) die vorherige magmatische Differentiation. Der Nickelgehalt bleibt als Silikat im Olivin des Stamm-Magmas gebunden, wird erst bei der Serpentinisierung frei, und bei der Zersetzung des Serpentinus zu „Rotem Gebirge“ konzentriert er sich nahe der Oberfläche.

Auch die Ausscheidungen von Gediiegenem Kupfer in Diabasen und Melaphyrmandelsteinen sind als sekundäre Umsetzungen feinverteilter magmatischer Ausscheidungen aufzufassen. Die Konzentration trat hier bei der Zeolithbildung und sekundären Ausfüllung der Gasblasen ein. Dieser Vorgang dürfte meist bald nach der Erstarrung des Gesteins erfolgt sein, als die feste, aber noch heiße Lava den Wassergehalt aus ihrem Innern und aus ihrer Umgebung in Dampfform ausstieß (postvulkanische Zersetzung).

¹⁾ Es sei hier darauf hingewiesen, daß in den Apatiteseinerzlagerstätten von den beiden Magnetitgenerationen, die sich im Gestein finden, die jüngere, welche stets die Hauptansammlungen bildet, gemeinsam mit dem Apatit jüngster Gemengteil ist, brecciöse Gesteinsmassen gelegentlich verkittet, ältere Gemengteile resorbiert und daher ebenfalls nicht im strengen Sinne magmatisch genannt, sondern als Endlaugenprodukt angesehen werden kann.

II. Kontaktbildung.

Schon bei Besprechung der Nickel-magnetkieslagerstätten konnten wir feststellen, daß die sulfidischen Endlaugen des Magmas oft in das umgebende Nebengestein vordringen und dort ihren Erzgehalt absetzen. Es kann uns daher nicht wundernehmen, wenn wir oft auch in den Kontakthöfen großer Tiefengesteinsmassen nennenswerte Erzanreicherungen finden. Bei den Graniten und sonstigen sauren Tiefengesteinen kann man allerdings kaum mehr von sulfidischen Endlaugen sprechen. Die Restprodukte der Graniterstarrung sind ja in erster Linie die Pegmatit- und die Quarzinnerzgänge. Die sulfidischen Erze entwickeln aus dem Gestein erst später in Form echter wässriger Lösungen. Aber die hohe Konzentration und die große Hitze dieser Erzlösungen im Kontakthof spiegelt sich doch noch in den massigen Erzansammlungen und der starken Resorptionskraft der Erzlösungen wieder.

Stets tritt die Erzzufuhr etwas, oft sogar recht merklich später ein als die kontaktmetamorphe Umkristallisation der Gesteine, und da das Erz sich erst metasomatisch seinen Platz im Nebengestein schaffen muß (Kontaktmetasomatose), die quarzigen Hornfelse aber nur schwer zu verdrängen sind, so sammelt sich das sulfidische Erz in den leichter zersetzlichen Teilen des Kontaktbereichs an, besonders in den Kalksilikategesteinen und bisweilen auch in den schon vorher entstandenen Magnetiseisenerzlagerstätten. Die Kalksilikate werden von den Erzlösungen weitgehend zersetzt, vor allem werden die Pyroxenminerale in Amphibolminerale umgewandelt, und vielfach werden auch Epidot und Chlorit gebildet.

Die Zahl der sulfidischen Kontaktlagerstätten, die an linsenförmige oder lagerförmige Kalksilikatausscheidungen, „Skarne“ des schwedischen und norwegischen Bergmannes, gebunden sind, ist überaus groß. Bald ist Zinkblende, bald Schwefelkies, bald Magnetkies das abbauwürdige Erz. Hierher gehört Bodenmais, wo allerdings das imprägnierte und verdrängte Kontaktgestein mehr ein Spinell führender Cordierithornfels gewesen zu sein scheint. Noch während der Erzzufuhr fand hier eine Neubildung und damit eine Regenerierung der eben erst verdrängten Kontaktminerale statt. Sehr scharf ist dagegen die zeitliche Trennung zwischen der eigentlichen Kontaktphase und der Erzzufuhr in Schwarzenberg, noch stärker in Kupferberg, wo eigentlich nur eine Imprägnation von Lievrit führenden Magnet-

eisenerzlagern von Gängen aus vorliegt, — Gänge, die im größten Teil des Reviers die allein ausschlaggebende Rolle spielen.

Eine Serpentinisierung des sehr magnesia-reichen Skarnes hat in Reichenstein stattgefunden, und ähnlich sind auch die Vorgänge, die den Lagerstätten von Pitkäranta ihre bezeichnende Ausbildungsweise verliehen haben.

Lagerstätten vom Skarntypus mit sulfidischen Erzen findet man öfters auch abseits von jungen gleichkörnigen Granitmassen, sehr oft aber hat man dann in unmittelbarer Nähe des Erzes einen Orthogneis, auf dessen frühere Kontaktwirkung man die Entstehung der Kalksilikate und die Erzzufuhr zurückführen kann. Das gilt von Ammeberg, Långfall, Orijärvi und Ätvidaberg. In Orijärvi ist das ursprüngliche Bild entsprechend der geringen Streckung des benachbarten Gneisgranites noch wenig verändert. In Ammeberg scheinen weitgehende sekundäre Umsetzungen stattgefunden zu haben; diesen Umsetzungen und einer schichtigen Primärstruktur des begleitenden Skarnes ist wohl auch die vorzügliche Schichtung des Erzlagern zuzuschreiben. Vielleicht beruht auch die Konzentration des Zinkgehaltes im Liegenden des Lagers von Långfall auf sekundärer Umsetzung. Am Ätvidaberg scheinen bezüglich der Entstehung des Kontaktsilikatgesteins genau dieselben Verhältnisse wie in Bodenmais vorgelegen zu haben.

Nur bei Brokenhill und Kallmora findet man eine Kombination von Granatfels u. a. Skarnsilikaten mit Sulfiden, ohne daß man Grund für Annahme einer Kontaktmetamorphose hat. Hier haben sich vielleicht Kalk- und Mangansilikatlager aus ehemaligen Karbonatgesteinen durch eine allgemeine Regionalmetamorphose gebildet, und thermale Erzlösungen, die bei späterer Gelegenheit einmal in diesem Gebiet aufstiegen, haben diese alten Kalksilikatlager als für den Erzabsatz besonders günstiges Nebengestein imprägniert bzw. metasomatisch fast verdrängt. Der Unterschied gegen die echten Kontaktlager wäre dann nur der, daß zwischen dem Prozeß, der die Kalksilikate entstehen ließ, und dem, der die Erzzufuhr bedingte, kein ursächlicher Zusammenhang bestand. Die kleinen Dioritgänge, die man fern von der Brokenhiller Lager nachgewiesen hat, könnten wohl mit den erzbringenden Thermen in Beziehung stehen, können aber kaum die begleitenden Granatmassen als Kontaktbildung haben entstehen lassen.

Das Vorkommen von Cordierit in Kallmora macht es für diese Lagerstätte viel

wahrscheinlicher, daß tatsächlich eine Kontaktmetamorphose vorliegt, wenn auch das verursachende Eruptivgestein zurzeit noch nicht aufgeschlossen zu sein scheint.

Diejenigen Kontaktlagerstätten, die nicht an granitische Tiefengesteine, sondern an Granitporphyre, Porphyre usw. gebunden sind, zeigen eine entsprechend geringere Beteiligung der Silikatbildungsphase. Dennoch kann man meist eine Beteiligung typischer „Skarnmineralien“ in mehr oder weniger starkem Maße nachweisen. Dies gilt für Clifton, Bisbee, Bingham, Cananea, Cable Mt., Kedabek und die Temperino-Lagerstätten von Massa marittima. Gar keine Silikatbildung ist bisher am Majdanpek erwähnt worden.

III. Sedimentation.

Gehen wir nun zur Frage nach der Entstehung sedimentärer Sulfidlager über, und stellen wir uns auf den Standpunkt eines strengen Aktualitätsprinzips, so können wir eigentlich nur bituminöse Sedimente mit fein verteiltem Schwefeleisen bzw. mit spärlichen Schwefeleisenkonkretionen, also etwa die Alaunschiefer, uns erklären. Man darf jedoch in petrogenetischen und lagerstättenkundlichen Fragen in dieser Beziehung nicht allzu streng sein, denn ebenso wie wir für alle in der Tiefe vor sich gehenden Prozesse keine Beispiele an der jetzigen Erdoberfläche vorbringen können, ebenso können für die Entstehung dieser oder jener Lagerstätte, die ja meist nur ganz örtliche Bildungen sind, Prozesse in Betracht kommen, für welche die Verhältnisse zur Jetztzeit und in dem uns bekannten Teil der Erdoberfläche nirgends gegeben sind. Es gilt meist, unter den möglichen Vorgängen nur die wahrscheinlichsten herauszugreifen.

Die Frage nach der wahrscheinlichsten Entstehung des Kupferschiefers ist neuerdings von Pompeckj wieder angeschnitten und in dem Sinne einer syngenetischen Erz- ausfällung beantwortet worden¹⁾. Es scheint in der Tat nicht ganz unberechtigt, wenn man den Kupferschiefer, der sich so eng an die meisten bituminösen Alaunschiefer anschließt, als „Alaunschiefer mit beträchtlichem Kupfergehalt“ des Schwefeleisens bezeichnet. (Kupferkies und Buntkupferkies sind beide keine reinen Kupfersulfide, sondern Verbindungen von Schwefeleisen mit Schwefelkupfer). Pompeckj nimmt einen Kupfergehalt des abgeschlossenen Seewassers an, welches sonst dieselbe Zusammen-

setzung hatte wie das Wasser jener Seebecken, in denen sich Alaunschiefer bildete. Der allgemeine Kupferreichtum der Oberflächenwasser zur Zeit des oberen Perms ist ja eine nicht wegzuleugnende Tatsache. (Kupfer im Oberrotliegenden von Wernersdorf, im Zechstein von Haasel, im Gouv. Perm u. a. m.) Wahrscheinlich dürfte er aus der Zersetzung großer Mengen von basischen Ergußgesteinen, vor allem Melaphyren, des Mittelrotliegenden stammen. Die Kupferführung der Diabase und Melaphyre anderer Orte und anderen Alters berechtigt uns zu dieser Annahme und ebenso das häufige Vorkommen kleiner Kupfererzansammlungen in den verschiedensten rotliegenden Eruptivgesteinsgebieten. Kein Wunder also, wenn in der Zeit intensiver Zersetzung großer Melaphyrmassen die Flüsse einen geringen Kupfergehalt mitbrachten, der sich in den abgeschlossenen Lagunen anreicherte und zugleich mit dem Schwefeleisen als Sulfid zur Ausfällung kam.

Mit dem immerhin noch recht fraglichen Kupferschiefer ist aber die Zahl derjenigen Sulfidlager erschöpft, von denen man mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen kann, daß sie so, wie sie jetzt vorliegen, aus Süßwasserbecken oder aus Seewasser sedimentiert sein könnten. Ob eine Sedimentation kompakten Eisenbisulfides möglich ist, ist sehr fraglich. Man könnte vielleicht noch das schwach bituminöse Kieslager von Meggen an der Lenne als echt sedimentär auffassen, die oolithische Form eines Teiles der Kiespartikelchen würde sehr dafür sprechen, wenn nicht die teilweise Vertretung des Lagers durch Schwerspat vorhanden wäre und der beträchtliche Gehalt an Zinkblende sowie das Vorkommen von etwas Bleiglanz dagegen spräche.

Für das in vieler Beziehung dem Meggener so ähnliche Lager des Rammelsberges ist eine sedimentäre Ausscheidung noch viel unwahrscheinlicher. Welches Seebecken könnte wohl kompakte Erzmassen von Bleiglanz, Zinkblende und Schwerspat ausscheiden? Das Vorkommen von Versteinerungen im Erz wird immer wieder als Beweis für die sedimentäre Entstehung angegeben, spricht aber eher dagegen als dafür, denn daß in der konzentrierten Lauge, die derartig kompakte Erze abzusetzen vermochte, dieselben Tiere leben könnten wie in der freien kalkabscheidenden See außerhalb des Beckens, ist ganz undenkbar, und wenn die Goniatiten eingeschwemmt wurden, so mußte das Seewasser Zutritt haben und die Erzlösungen verdünnen.

Haben wir also unter den nicht meta-

¹⁾ Siehe Branca-Festschrift, Berlin 1914, 443; Naturw. Wehschr. 1915, S. 141.

morphen Kieslagern nur sehr wenige, welche sich zwanglos als echte Sedimente erklären lassen, so könnten immerhin in den metamorphen erzführenden kristallinen Schiefen Umbildungsprodukte von echten Sulfid-sedimenten sich befinden. Dies könnte vor allen Dingen bei den reinen oder schwach kupferkieshaltigen Schwefelkiesfahlbändern der Fall sein, die man sehr wohl als metamorphe Umbildung von Alaunschiefern sich entstanden denken könnte. Jedenfalls sind die Fahlbänder die Umkristallisationsprodukte von Schichten, die schon vor der Metamorphose einen fein verteilten Metallgehalt hatten. Ob dieser vormetamorphe Metallgehalt syngenetisch oder epigenetisch war, läßt sich aber natürlich jetzt nicht mehr entscheiden. Für den reinen Schwefelkies von Rohnau ist syngenetische Erzführung recht wohl möglich, für Stora Strand ist sie ebenso wahrscheinlich oder unwahrscheinlich wie für das Kupferschieferflöz. Die Kobaltfahlbänder sind wohl sicher vor der Metamorphose epigenetische Imprägnationen gewesen. Besonders gilt dies für Querbach-Giehren, welches sich durch seinen Zinnerzgehalt in unmittelbarer Nachbarschaft eines metamorphen Granites (Augengneises) als metamorphe Fazies einer eigentlichen Zinnerz-Kobaltlagerstätte auffassen läßt. Fahlbänder können auch bei der Metamorphose von Eruptivgesteinen mit primärem feinverteilten Metallgehalt entstehen. Lagerstätten dieser Entstehung sind aber bis jetzt wohl noch nicht beschrieben worden, abgesehen etwa von dem nur theoretisch interessanten Vorkommen goldhaltiger Schwefelkiese im Orthogneis von Lomagunda.

IV. Imprägnation.

Eine besondere Klasse epigenetischer oder syngenetischer Imprägnationen bilden die Knottenerze und ihre Verwandten. Der Metallgehalt der gesamten unaufbereiteten Gesteinsmasse ist in diesen Lagerstätten so gering, daß eine syngenetische Ausfällung etwa durch Adsorption an das feinkörnige Bindemittel immerhin im Bereich der Möglichkeit liegt. Verdächtig ist aber der geringe Eisengehalt, der doch dort, wo einmal Sulfide ausgefällt werden, stets die Hauptmasse der Fällung ausmachen müßte. Dahingegen bestehen bei den Knotten-Bleierzen chemisch meist auffallende Beziehungen zu den Gängen der Bleizinkerzgruppe. Da die Lagerstätten stets an besonders durchlässige Schichten innerhalb weniger durchlässigen geknüpft sind, so ist eine epigenetische Zufuhr recht wahrscheinlich. In durchlässigen

Schichten wird auch weit unter dem Grundwasserspiegel stets noch eine sehr langsame, aber gleichmäßige Grundwasserbewegung von den Punkten stärkeren nach denen geringeren hydrostatischen Druckes stattfinden. Wenn in diesen langsamen, aber stetigen Grundwasserstrom von irgendwoher metallhaltige Lösungen eintreten, werden sie sich über den ganzen Horizont verbreiten, die Schicht wird von einer verdünnten, aber gleichmäßigen Erzlösung durchströmt und kann bei günstigen Ausfällungsbedingungen eine Imprägnation erhalten, welche sich bald konkretionär an einzelnen Punkten zusammenzieht. Der Zugang von Erzlösung kann sowohl in aufsteigendem Thermalwasser als auch in absteigenden Lösungen bestehen, die aus der Auslaugung älterer Lagerstätten ihren Metallgehalt beziehen. Ersteres dürfte für die Bleiknottenerze der Fall sein, letzteres für die meisten Kupfererze in Sandsteinen des Perms, deren Kupfergehalt aus den basischen Eruptivgesteinen des Rotliegenden sich leicht ableiten läßt. Auch für Boleo und Corocoro stehen basische Eruptive als Muttergestein des Kupfers zur Verfügung. Wie leicht gerade die Zersetzungsprodukte der Kupfererze in alle durchlässigen Gesteine der Umgebung abwandern, zeigt uns die starke Kupfererzföhrung aller durchlässigen Gesteine in der Nähe der großen Kupfererzmassen von Katanga. Erwähnt sei noch, daß bei Wernersdorf - Radowenz handtellergroße linsenförmige Kalkschmitzen im Sandstein als Ausfällungsmittel für den geringen Kupfergehalt des Grundwasserstromes gedient haben.

Durch die Einmündung eines Thermalwasserstromes in den Grundwasserstrom einer durchlässigen Schicht erklärt sich vielleicht auch am einfachsten die Imprägnation der Reefs des Witwatersrandes mit goldhaltigen Kiesen.

V. Konzentration.

Bei den Knottenerzen nehmen wir an, daß sich in den Knotten ein ursprünglich fein verteilter Erzgehalt konkretionär zusammengezogen hat. Denselben Vorgang müssen wir für die Hicken und kompakten Kiesschmitzen des Kupferschieferflözes annehmen. Es ist wohl zu bedenken, ob nicht derartige Prozesse auch zur Entstehung von kompakten Kieslagern im Großen führen könnten (vgl. hierzu die Betrachtungen Klockmanns in d. Z. 1902, S. 114, über die Entstehung der Kieslager von Rio Tinto als „Konkretionen im Großen“). Besonders

nahe liegen solche Anschauungen für diejenigen Kieslager, die innerhalb einer Fahlbändzone als gelegentliches Überhandnehmen des Kiesgehaltes sich darstellen, wie Schmöllnitz und Fundul Moldovi. So, wie in einem kalkreichen Diabasmandelstein, Diabastuff oder Schalstein schon bei geringer Metamorphose Kalklinsen sich bilden können, müssen auch, da der Kies ebenso leicht löslich und wieder absetzbar ist wie der Kalk, in kiesreichen Schichten Kieslinsen sich bilden können (Kallwang, Ghinivert, Agordo, Varaldsö). Die charakteristischen, allseitig angefressenen, freischwebenden Pyritkristalle in der feinkörnigen Grundmasse würden sich dann recht einfach als die Reste der primären Kiesimprägation erklären, die ursprünglich im Nebengestein, jetzt im „Konzentrat“ eingebettet liegen. Die primäre Kiesführung braucht dabei keineswegs die Form von Fahlbändern gehabt zu haben, es könnte auch eine unregelmäßig verteilte magmatische Ausscheidung in und neben Gabbrogesteinen gewesen sein (Sulitelma? Röros?). Auch eine hydrothermal epigenetische Durchtrümerung kann die ursprüngliche Form gewesen sein. Die Rio-Tinto-Kieslinsen z. B. sind durch Trümernetze miteinander verbunden oder fasern sich randlich in solche aus. Die neuesten Untersuchungen v. Scotti sprechen sehr für ursprünglich hydrothermal-epigenetische Entstehung mit weitgehenden sekundären Wanderungen des Erzgehaltes unter der Wirkung einer „Säkularmetamorphose“ im Sinne Lockmanns, die etwa der Diagenese alter Eruptivgesteine, nicht aber der Regionalmetamorphose bzw. kristallinen Schieferbildung entspricht.

v. Scotti weist darauf hin, daß die Ausscheidungsfolge Schwefelkies — Quarz — Kalkspat — Zinkblende — Kupferkies — Bleiglanz — Schwerspat, die er in den Huelva-Kieslagerstätten feststellen konnte, auch in andern Kieslagern, auch im Rammelsberg und sogar auf den Siegerländer Gängen wiederkehrt. Er nimmt daher an, daß diese Reihe eine Folge nachträglicher Umkristallisation ist und für die Säkularmetamorphose der Erzlagerstätten eine ähnliche Bedeutung hat wie etwa die kristalloblastischen Reihen Beckes für die Regionalmetamorphose.

VI. Metasomatose.

Rein metasomatische Prozesse, wie sie uns in Kalken und anderen chemisch leicht umsetzbaren Gesteinen entgegentreten, führen meist zur Bildung unregelmäßig

stockförmiger Erzmassen (z. B. Leadville). Wo sich jedoch die aufsteigenden Lösungen stauen, können sich die Erzmassen auch lagerartig unter weniger durchlässigen Schichten ausbreiten. Solche metasomatischen Lager zeigen uns z. T. die Erze von Leadville, besonders deutlich aber diejenigen von Laurion. Etwas anders verhält es sich mit den Erzlagern von Oberschlesien, die sich im Dolomit über undurchlässigen Schichten ausbreiten. Wahrscheinlich liegt hier ein ähnlicher Fall vor, wie wir ihn bei der Imprägnation von durchlässigen Sandsteinen und Konglomeraten annahmen, daß Thermalösungen in einen Grundwasserstrom eintraten, der an der Basis des Dolomites hinströmte und dadurch die Erzlösungen in dem durch Grundwasserströme schon etwas ausgenagten und offenkluftig gewordenen unteren Teil des Dolomites ausbreitete.

Sachs und vor ihm andere haben versucht, das Erzlager Oberschlesiens durch Konzentration eines primären Erzgehaltes im Dolomit zu erklären. Hiergegen spricht aber die Frische und Unzersetztheit des überlagernden Dolomits. Eine solche metasomatische Verdrängung durch Erzlösungen, die ihren Erzgehalt bei der Zersetzung überlagernder Schichten erhielten, eine metathetische Entstehung im Sinne Stelzners, ist aber vielleicht für die Bleizinkerze von Joplin anzunehmen, die mit Residualletten und den Bruchstücken der aus dem Kalk ausgelagten Hornsteinknollen vermischt sind.

VII. Elektrolytische Ausfällung.

Vollständige Verdrängung ganzer Kalksteinschichten durch Erz ist, besonders wenn die Kalksteinbänke geringmächtig sind, leicht möglich, auch kann eine ehemalige Schichtung des Kalksteines dabei mitübernommen werden; ob aber freilich die feinschichtigen Kieslager des Rammelsberges auf diese Weise zu erklären sind, ist fraglich. Vielleicht liegt hier ursprünglich eine primäre Kiesanhäufung in bituminösen Mergeln, also eine Alaunschieferbildung vor. Bitumen sowohl als ältere Sulfide haben eine sehr starke reduzierende und elektrolytisch ausfallende Wirkung auf erzhaltige Wässer. Wenn also ganz verdünnte barytische Bleizinkerz-Lösungen im Gestein zirkulierten, die vielleicht viel zu schwach waren, in offenen Klüften gangförmige Lagerstätten abzusetzen, so werden sie doch in der schichtigen Kies-Mergel-Masse wie in einem Schwamm zurückgehalten und ausgefällt. Das mikroskopische Bild, die Aufzementie-

rung der Blei- und Zinkerze auf runde, z. T. oolithische Kieskörner (vgl. die Arbeiten von Wiechelt) würde sehr gut zur Annahme einer solchen Entstehung passen¹⁾.

Vielleicht ist auch das dem Rammelsberge in vieler Beziehung so ähnliche Kieslager von Meggen ähnlicher Entstehung, nur daß bei Meggen die später hinzutretenden Lösungen erzärmer und schwerspatreicher waren. Sie vermochten hier den ganzen, auch den nicht mit Kiesen imprägnierten bituminösen Mergel durch Schwerspat zu verdrängen, führten dagegen dem Kieslager nur einen entsprechend geringeren Blei-Zink-Gehalt zu. Auch die neuesten, sehr eingehenden mikroskopischen Beobachtungen A. Bergeats, obwohl sie von diesem anders gedeutet werden, widersprechen nicht der hier angenommenen Entstehung des Meggener Lagers. Freilich muß man annehmen, daß die Grundmasse, in der die Kieskörner lagen, kein fester Kalkstein, sondern noch ein lockerer, erdiger bituminöser Mergel war, als die barytischen Zinklösungen hinzutraten. Bei Meggen könnte man dabei immerhin mit einer Herkunft der Lösungen von oben rechnen, für die erzreicheren Lösungen von Rammelsberg wäre dies kaum anzunehmen. Sehr einfach erklärt sich bei dieser Genesis auch die nach A. Denckmann unzweifelhafte stratigraphische Übereinstimmung beider Horizonte. An die Grenzzeit von Mittel- und Oberdevon ist zwar nicht der Niederschlag des Barytes und der Bleizinkerze gebunden, wohl aber der Niederschlag des Schwefeleisens und damit die Ursache der späteren Baryt- und Bleizinkerzausfällung. Die Ausfällung bituminöser, Schwefeleisen führender Mergel und Schlämme ist aber, wie wir am Schwarzen Meer sehen, ein auch heute noch häufig eintretender, ganz normaler Sedimentationsvorgang.

VIII. Lagergangbildung.

Zum Schluß der Vollständigkeit halber noch einige Worte über eine Reihe von Lagerstätten, deren Natur als epigenetische Gangfüllungen von keiner Seite bestritten wird, die aber doch konkordant zwischen den Nebengesteinen liegen.

Als ein vielfach verträumter Lagergang wird von Beck das Kieslager „Trau und Bau auf Gott“ bei Klingenthal-Graßnitz beschrieben, und demzufolge wird auch den anderen Graßnitzer Lagern eine solche Entstehung zuerkannt. Die wenigen Schwierig-

keiten, die sich dagegen erheben, lassen sich wohl durch die Annahme derselben Konzentrationsvorgänge, wie wir sie für Rio Tinto annahmen, beseitigen. Hierdurch tritt die nahe Verwandtschaft zwischen Rio Tinto und Graßnitz deutlich hervor.

Als Lagergang wird auch das Quarzarsenkieslager von Passagem beschrieben, als ultrasaure Granitapophyse, nicht eigentlich magmatisch, sondern mehr pneumatolytisch, ähnlich etwa wie die von Baumgärtel beschriebenen „eruptiven Quarzgänge“. Ganz ähnlich verhält sich auch das nahezu, aber nicht ganz konkordante Quarzarsenkies-„Lager“ von Rothenzechau. Es liegt im Kontaktbereich des riesengebirgischen Zentralgranites; so kann es uns nicht wundernehmen, wenn das Quarzarsenkiesgemenge in der Tiefe stellenweise durch Magnetkies, den wir so oft als Emanation im Kontaktbereich von Graniten auftreten sehen, ersetzt wird.

Als einen prämetamorphen Lagergang, der bei der Regionalmetamorphose der umgebenden Schiefer seine jetzige Ausbildungsform erhielt, kann man das Erzvorkommen vom Schneeberg bei Sterzing ansehen.

Bekannt und in allen Lehrbüchern der Lagerstätten beschrieben sind die „übergeflossenen“, lagerartig sich ausbreitenden Erzgänge von Avallon.

IX. Durchtrümerung.

Endlich sei noch eine Reihe von Lagerstätten erwähnt, die man als Lager bezeichnet, weil sie im großen einer bestimmten Schicht sich anpassen, obwohl sie im kleinen das typische Bild einer allgemeinen, gangähnlichen Durchtrümerung des Nebengesteins darstellen. Hierher gehören die Appalachen-golderze und das Vorkommen vom Heinenberg. Vor allem aber zeigen fast alle Antimonerzlager und Quecksilbererzlager diese Ausbildungsweise. Daß gerade diese beiden Metalle eine solche Form ihrer Lagerstätten lieben, ist wohl kein Zufall. Wir wissen, daß Antimon und vor allem Quecksilber von den Thermen gern als letzte oberflächennahe Tiefenstufe ausgeschieden werden; in dieser Stufe gehen aber die großen einheitlichen Spalten besonders in spröden, quarzitischen oder dolomitischen Gesteinen in Trümernetze über. Liegt ein solches zerstücktes Gestein unter einer nachgiebigen und daher nicht zerklüfteten Schieferschicht (Idria, Almaden, Arnsberg u. a.), so kommt es zu Stauungen der Erzlösungen und zu Anreicherungen in den quarzitischen „Erzlagern“.

¹⁾ Durch elektrolytische Ausfällung aus verdünnten Lösungen ist wohl sicher der geringe Gold-Selengehalt in dem Kieslager von Falun zu erklären.

Zusammenfassung.

Im vorstehenden sind folgende Vorgänge chemisch-geologischer Natur herangezogen worden, um die Entstehung lagerförmiger Sulfidmassen zu erklären.

I. Differentiation.

Magmatische Ausscheidung (Meinkjär).
Sulfidische Endlaugenbildung bei der Erstarrung (Sohland).
Schieferung und Konzentration magmatischer Ausscheidung (Meraker).
Serpentinisierung und Konzentration magmatischer Ausscheidung (Monte Catini).
Konzentration eines primären Metallgehalts von Laven durch postvulkanische Zersetzung (Kupferh. Mandelsteine).

II. Kontaktbildung.

Auswanderung heißer hochkonzentrierter Sulfidlösungen aus erstarrenden vollkristallinen Tiefengesteinmassiven und metasomatische Verdrängung von kontaktmetamorphen Kalkmagnesiagesteinen (Skarnen) durch solche Lösungen (Schwarzenberg).
Metasomatische Verdrängung kordieritischer Kontaktgesteine durch solche Lösungen (Bodenmais).
Umwandlung alter Kontakt-Skarn-Lagerstätten durch Regionalmetamorphose (Ämmeberg).
Serpentinisierung magnesiareicher erzführender Skarne (Reichenstein).
Metasomatische Verdrängung regionalmetamorph entstandener skarnartiger Gesteine durch erzführende Thermalwässer (Brokenhill).
Metasomatische Verdrängung wenig oder nicht metamorpher Kalke durch konzentrierte Lösungen aus nicht vollkristallinen Eruptivgesteinen (Bisbee).

III. Sedimentation.

Ausfällung von Schwefeleisen und Bitumen in abgeschlossenen Seebecken (Alaunschiefer).
Mitausfällung eines „zufällig“ vorhandenen Kupfergehalts solcher Wässer (Kupferschiefer).
Umbildung von Alaunschiefern (Rohnau), von epigenetischen Imprägnationen (Modum), von schwach erzführenden Eruptivgesteinen (Lomagunda) zu kristallinen Schiefen („Fahlbändern“).

IV. Imprägnation.

Einmündung erzhaltiger Lösungen in einen beiderseits begrenzten Grundwasserhorizont (wasserführende Schicht). Hierbei
a) metasomatische Verdrängung des Zements der Schicht (Naukat);

- b) konkretionäre Ausfällung des Erzes (Mechernich);
- c) metasomatische Verdrängung von Sepsarien u. a. präexistenten Konkretionen (Radowenz-Wernersdorf).

V. Konzentration.

Konzentration kompakter Erzmassen („Linsenbildung“) durch Umbildung älterer weniger kompakter Erze.
a) Konzentration aus Fahlbändern (Schmölnitz).
b) Konzentration aus epigenetischen Durchtrümerungen (Rio Tinto).

VI. Metasomatose.

Metasomatische Verdrängung von Kalksteinen u. a. durch epigenetische Erzlösungen (Leadville).
Schichtartige Ausbreitung solcher metasomatischer Massen.
a) Durch Stauung aufsteigender Lösungen unter undurchlässigen Schichten (Laurion);
b) durch Stauung absteigender Lösungen über undurchlässigen Schichten (Joplin);
c) durch Einmündung von Lösungen in den Grundwasserstrom an der Basis durchlässiger Schichten (Oberschlesien);
d) durch vollständige Verdrängung dünner leicht zersetzlicher Schichten (Verschiedentlich in einzelnen Lagerstätten teilen).

VII. Elektrolytische Ausfällung.

Veredelung bestehender Kieslager durch elektrolytische Ausfällung aus verdünnten Lösungen anderweiter Herkunft (Golderze von Falun).
Ausfällung von hydrothermalen Erzlösungen (z. B. barytische Bleizinkerzlösungen) in alaunschieferartigen Kieslagern (Rammelsberg).

VIII. Lagergangbildung.

Epigenetische Ausfüllung konkordanter Spalten (Rothenzechau).
Epigenetische Ausfüllung konkordanter Spaltensysteme (Graßlitz z. T.).
Dynamometamorphe Umbildung eines Lagerganges (Schneeberg b. Sterzing).
Überfließen der Lösung aus Gangspalten an vorgelagerten Hindernissen (Avallon).

IX. Durchtrümerung.

Epigenetische Durchtrümerung bestimmter Gesteinsschichten
a) mit Gangadern in der ganzen Schicht oder an der Grenze weniger spröder Gesteine (Almaden);
c) mit kleinen konkordanten Erzschnitzen (Heinzenberg).