

Zeitschrift: Mitteilungen der Ostschweizerischen Geographisch-Commerciellen Gesellschaft in St. Gallen
Herausgeber: Ostschweizerische Geographisch-Commercielle Gesellschaft
Band: - (1909)
Heft: 1

Artikel: Die Entstehung der Erzlagerstätten
Autor: Hotz, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1092417>

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: 17.04.2026

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

6. Ausbrennen der Wunde mit 90 % Karbolsäure, glühender Kohle, glühendem Eisen. Falls diese nicht gleich zu beschaffen sind, schneide die Bisstelle auch an nicht umschnürbarer Stelle aus dem umgebenden Gewebe heraus. Gebissene Finger und Zehen sind direkt zu amputieren. Die Schmerzempfindung ist durch die Umschnürung sehr abgestumpft. Wasche die Messerwunde mit Karbolwasser, gelöstem hypermangansaurem Kali (1:100 Wasser), lege ein Kriställchen des letztern direkt in die Wunde, dann Verband. Aussaugen der Wunde ist sehr gefährlich wegen Infektionsgefahr kleinster Risschen in den Lippen des Saugenden. Jedenfalls spucke man den Speichel nach dem Aussaugen sofort aus und spüle die Mundhöhle gründlich.
7. Erst etwa 30 Minuten nach Zerstörung der Bisstelle oder Entfernung des gebissenen Glieds löse langsam die Umschnürung, sonst stirbt der gestaute Teil ab.
8. Nach Schluss der Wundbehandlung Ruhe, bei Kräfteverfall kräftige Alkoholdosen, starker schwarzer Kaffee oder chinesischer Tee.
9. Ermutige den meistens infolge des Bisses seelisch Verzagten.

Die Entstehung der Erzlagerstätten.

Von Dr. W. Hotz in Basel.

Die Kenntnis von der Entstehung und der Entwicklungsgeschichte aller Körper, die uns umgeben, organischer wie anorganischer, ist das letzte und höchste Ziel des Studiums der Naturwissenschaften. Wir kennen einen Naturkörper erst dann vollständig, wenn wir wissen, wie er geworden, wenn wir ihn im Entstehen beobachten.

Die oberflächliche Betrachtung der Welt der Mineralien und Gesteine ruft im Gegensatz zu derjenigen der Tier- und Pflanzenwelt leicht den Eindruck des Ewigen und Unveränderlichen hervor. Aber die genaue und eingehende Erforschung zeigt, dass nach ganz bestimmten Gesetzen die Mineralien sich bilden, sich verwandeln und schliesslich zerfallen. Dasselbe Werden und Vergehen erkennen wir auch an den Mineralgemengen, den Gesteinen und an der aus diesen zusammengesetzten Erde, die schon eine Geschichte von unermässlicher Länge hinter sich hat.

Den Anstoss zur wissenschaftlichen Erforschung des Mineralreiches gab der Bergbau in Deutschland. In ihm wurzeln die erst auf mühsame Weise gewonnenen Kenntnisse über Aussehen und Auftreten der Mineralien, die zum erstenmal niedergeschrieben wurden im Jahre 1546 durch Georg Agricola aus Chemnitz, der hier, von Bergwerken rings umgeben, reiche Erfahrungen sammeln konnte.

In den folgenden Jahrhunderten erlangte die Mineralogie immer grössere Bedeutung als eines der wichtigsten Hilfsmittel des Bergbaues; denn die aus dem dunklen Schoss der Erde gewonnenen Schätze, die Erze, sind ganz bestimmte Mineralkörper, deren genaue Kenntnis eben die erste Bedingung für ihre Gewinnung bildet. Seit dem Ende des 18. Jahrhunderts hat sich die Mineralogie weit über das frühere Gebiet der blossen Beschreibung entwickelt zu einer selbständigen Wissenschaft, die sich nun vor allem auch mit den Gesetzen der Mineralentstehung beschäftigt. Dieser Kenntnisse bedient sich heute der Bergmann, um die Bildung der nutzbaren Lagerstätten zu verstehen, denn er hat gelernt, dass das ganze Auftreten und die Form eines Erzvorkommens als blosse Funktionen seiner Genesis aufgefasst werden müssen.

Es mag vielleicht nicht ganz gerechtfertigt erscheinen, hier über ein Thema zu schreiben, mit dessen praktischer Seite wir uns in der Schweiz herzlich wenig beschäftigen können, da der Boden unseres Vaterlandes mit blinkenden Schätzen leider recht stiefmütterlich bedacht worden ist. Die Zahl der Erzfundpunkte und der Orte einstigen Bergbaues in der Schweiz ist allerdings eine sehr grosse, aber die Zeiten liegen weit hinter uns, in der diese meist nur kümmerlichen Bodenschätze eine lohnende Gewinnung versprochen, die im 14. Jahrhundert sogar die Basler lockte, am Mürtschen oben über 2000 m Höhe mühsam nach Kupfer und Silbererzen zu graben. Von den mannigfaltigen und interessanten Typen unserer schweizerischen Erzlagerstätten sind gegenwärtig nur noch in Abbau die Bohnerze bei Delsberg mit einer jährlichen Produktion von zirka 7000 t. Eisenerz und neuerdings die goldhaltigen Arsenkiese bei Salanfe im Wallis mit einer Produktion von 200 t. i. J. 1907.

Der Mineraloge bezeichnet als Erze solche Mineralien, die ein Schwermetall enthalten, metallischen Habitus und ein hohes Eigengewicht besitzen und ihrem chemischen Charakter nach meistens Sulfide oder Oxyde darstellen. Diese Definition ist aber für die Praxis unvollkommen, denn nach ihr wären manche natürlichen Schwermetallverbindungen, welche des äussern Metallcharakters ent-

behren, wie das Eisenkarbonat, das ein geschätztes Eisenerz bildet, aus der Reihe der Erze auszuschliessen. Die Lagerstättenkunde bezeichnet vielmehr als Erze alle diejenigen metallhaltigen Verbindungen, aus welchen man im grossen und mit Vorteil Metalle oder gewisse Schwermetallverbindungen herzustellen vermag. Solange man nicht verstand, die Zinkblende zur Herstellung von Zink zu benutzen, war sie kein Erz im Sinne der Lagerstättenkunde. Nach Vervollkommnung der Zinkhüttenprozesse ist sie heute unser gesuchtestes Zinkerz. Seitdem man einzelne Leichtmetalle hüttenmännisch im grossen darstellt, sind z. B. Bauxit und Monazit wichtige Erze geworden.

Die Lagerstättenkunde begreift als Erze auch Mineralgemenge und Gesteine, die um so weniger Erz im Sinne der Mineralogie enthalten, je höher das betreffende Schwermetall im Werte steht. Eine Gesteinsmasse mit 10 Prozent Eisen kann in noch so grosser Menge angehäuft sein, sie kann aber nicht als Erz bezeichnet werden, da es heutigentags noch unmöglich ist, aus dieser Masse mit Vorteil Eisen zu gewinnen. Bei Goldquarzgängen genügen unter besonders günstigen Umständen 5 Gramm Gold in der Tonne Gestein als Bauwürdigkeitsgrenze. Eine Goldseife braucht gar nur den Bruchteil eines Grammes dieses Edelmetalles zu enthalten, um ein ausserordentlich wertvolles Golderz darzustellen.

Nicht jeder Mineralbildungsprozess ist geeignet, eine derartige Konzentration von Erzen hervorzubringen, dass eine nutzbare Lagerstätte, wie wir sie eben definiert haben, entsteht. Für die Genesis der Erzlagerstätten kommen vielmehr nur wenige Arten der Mineralentstehung in Betracht, die, wie wir sehen werden, in gewissen Fällen allerdings in einander überzugehen scheinen, welche aber andererseits doch so typisch sind, dass nach ihnen die Erzvorkommen in verschiedene genetische Gruppen eingeteilt werden können.

Die mikroskopische Untersuchung lehrt, dass in vielen, aus dem Schmelzfluss des Erdinnern erstarrten Gesteinen Erze wie Magnetit, Magnesies, Pyrit und Chromit als primäre Bestandteile auftreten, meist allerdings nur in Gestalt kleiner Körner, aber die Art ihrer Verwachsung mit den übrigen Gemengteilen lässt keinen Zweifel über ihre Entstehung durch Auskrystallisation aus dem Magma aufkommen. Die Prozesse, welchen die Eruptivgesteine überhaupt ihren Ursprung verdanken, stehen in engster Beziehung mit der schwer zu beantwortenden Frage nach der Natur des Erdinnern. So viel steht fest: die Temperaturzunahme in der Erdrinde mit wachsender

Tiefe und die aus dem Schoß der Erde an die Oberfläche empor-
dringenden vulkanischen Ergüsse nötigen zu der Annahme, dass in
tieferen Teilen der Erde noch ungeheure Massen im Schmelzfluss
befindlicher Substanzen vorhanden sind. Diese Magmen sind nach
Prof. Vogt in Christiania, dessen Darstellung wir hier folgen, nicht
beliebige Kombinationen der Elemente, aus denen sie zusammen-
gesetzt sind, und über die uns die chemische Analyse ihrer Erstar-
rungsprodukte Aufschluss erteilt. Sie bilden, streng nach chemisch-
physikalischen Gesetzen, gegenseitige Lösungen verschiedener che-
mischer Verbindungen und zwar derjenigen Verbindungen, welche
bei der Abkühlung als Mineralien auskrystallisieren. Dabei ist die
in jedem einzelnen Stadium sich ausscheidende Verbindung als ur-
sprünglich aufgelöst in der restierenden Mutterlauge aufzufassen.

Beim Erkalten einer solch homogenen Magma-Masse, in welcher
die verschiedenen in einander gelösten chemischen Bestandteile noch
gleichmässig mit einander vermischt sind, kommt es nun, da die
Mischbarkeit abhängig ist von der Temperatur, zu Entmischungen,
zu Sonderungen in Teilmagmen mit Anreicherung bestimmter Kon-
stituenten. Diese Spaltungsprozesse, d. h. der Zerfall eines chemisch
gleichartigen Gesamtmagmas in mehrere chemisch differente Teil-
magmen, sind im allgemeinen als Diffusionserscheinungen aufzufassen.
Sie werden hauptsächlich bedingt durch die Gesetze der Schwere
und des osmotischen Druckes.

Dem Einfluss der Schwere zufolge werden einerseits die spe-
zifisch schweren Flüssigkeitsmoleküle, also die basischen, gegen das
Zentrum der Erde gezogen.

Wohl das grossartigste Beispiel einer solchen Entmischung
nach der Schwere bildet die Erde selbst, deren Inneres grosse Mengen
schwerer Bestandteile wie Metalle und Metallverbindungen bergen
muss, ein Schluss, den wir aus dem hohen spezifischen Gewicht der
Gesamterde gegenüber dem geringeren Gewicht ihrer Aussenteile
ziehen müssen.

Eine weitere Ursache der Differentiation des Magmas bei
sinkender Temperatur ist der osmotische Druck. Wenn einzelne
Teile einer ursprünglich homogenen Salzlösung verschieden stark ab-
gekühlt werden, so findet eine Aenderung der Salzverteilung in dem
Sinne statt, dass durch Diffusion in dem kalten Teil die Lösung
konzentrierter wird als in dem warmen. Ganz dieselbe Erscheinung
der Wanderung von Flüssigkeitsmolekülen zeigen auch die an der
Grenze rascher als im Innern sich abkühlenden Silikatschmelzen.

Bei weiterem Erkalten des Magmas tritt an Stelle einer Verschiebung der Flüssigkeitsteile die Auskrystallisation der Mineralien aus der gesättigten Lösung. Im allgemeinen geschieht dieser Vorgang ziemlich gesetzmässig in der Weise, dass die Ausscheidungen sich folgen nach dem zunehmenden Grade ihrer Löslichkeit und der Abnahme ihrer Basizität. Man kann danach verschiedene Krystallisationsstadien unterscheiden, beginnend mit den schwer löslichen und basischen Erzen, wie Ferraten und Sulfiden, ferner den Phosphaten und Aluminaten, auf welche erst später die leichter löslichen Silikate einsetzen. Naturgemäss tritt dabei abermals eine Entmischung der Magmas ein, indem durch die Auskrystallisation der basischen Gemengteile der jeweilige Rest des Schmelzflusses immer saurer wird. Wenn nun gar ein dünnflüssiges, also ein sehr basisches Magma vorliegt, so können die im Magmarest schwebenden Krystalle, falls sie schwerer sind als die Schmelze, gegen die tieferen Regionen sinken und sich dort anhäufen, oder, wenn sie leichter sind, aufsteigen oder sonstwie durch Strömungen zusammengetrieben werden.

Bei der Verfestigung eines Magmas findet also, wie in kurzen Zügen skizziert wurde, Konzentration gewisser Bestandteile statt, einmal durch Wanderung der Flüssigkeitsmoleküle, wodurch einerseits basische, andererseits saure Teilmagmen entstehen. Bei der endlichen Auskrystallisation ist eventuell eine weitere Konzentration gegeben durch die Häufung bestimmter Mineralien nach einer Richtung hin.

Während beim Erstarren eines gewissen Schmelzflusses in der Erde die Erzpartikel in der ganzen Masse in winziger Menge zerstreut bleiben, kann unter anderen Bedingungen der fein verteilte Schwermetallgehalt auf die geschilderte Art und Weise sich zu schlierigen und stockförmigen Massen häufen, wodurch nutzbare Lagerstätten entstehen, die man als *magmatische Ausscheidungen* bezeichnet.

Da die Basizität eines Eruptivgesteins von der Menge der Schwermetalle abhängt, so sind auch die basischen, also schwermetallreichen Magmen mehr zur Bildung magmatischer Erzausscheidungen geeignet als die sauren. Und weil vor allem wieder die Schwermetalle Eisen, dann Chrom, Kobalt und Nickel besondere Vorliebe für diese basischen Schmelzen zeigen, treffen wir unter den magmatischen Erzvorkommen vorwiegend Eisen-, untergeordnet auch Chrom-, Kobalt- und Nickelerze, entweder als Oxyde oder Sulfide, während gediegene Metalle viel seltener sind, wie z. B. das Platin in den Peritotiten des Urals. Gerade die grösste Eisenerzanhäufung der Welt, die apatitreichen Magnetitberge im schwe-

dischen Lappland, welche jährlich drei Millionen Tonnen Erz liefern, sind magmatische Ausscheidungen einer Syenitporphyrmasse. Das einzige Chromerz, welches bauwürdige Lagerstätten bildet, der Chromeisenstein, findet sich nur als Bestandteil olivinreicher, basischer Eruptivgesteine. Unser zweitwichtigstes Nickelerz, der nickelhaltige Magnetkies Kanadas und Norwegens, ist ausschliesslich eruptiver Entstehung und zwar ist er immer an eine ganz bestimmte Gruppe der basischen Gesteine, die Norite, gebunden.

Fast jeder Vulkanausbruch zeigt, dass die im Erdinnern vorhandenen Schmelzflüsse mit Wasser und Säuredämpfen, sowie Gasen verschiedener Art durchsetzt sind. Man bezeichnet diese Stoffe nach Elie de Beaumont als *agents minéralisateurs* oder Mineralisatoren, da sie bei der Mineralbildung eine wichtige Rolle spielen. Die Versuche, welche Fouqué und Michél-Levy angestellt haben, um auf künstlichem Wege durch Einschmelzen die Eruptivgesteine nachzubilden, ergeben, dass vor allem Quarz und Orthoklas nur aus einem mit den erwähnten Gasen und Dämpfen durchtränkten Schmelzfluss auskristallisieren. Die Anwesenheit der Mineralisatoren ist also Bedingung für die Bildung der sauren Mineralien Quarz und Orthoklas, während basische Mineralien, wie Olivin, Augit und Plagioklas vorwiegend aus einer trockenen Silikatschmelze entstehen.

Gas- und dampfförmige Bestandteile müssen demnach viel häufiger sein in sauren, granitischen bis dioritischen Eruptivmagmen, bei deren allmählich sich vollendender Verfestigung sie sich aber ausscheiden, da sie nur wenig in die Konstitution des auskristallisierenden Gesteins eintreten. Kommt der erstarrende Schmelzfluss an die Oberfläche, so werden die Dampfmassen leicht nach aussen entweichen können. Bleibt er dagegen in der Tiefe, überall vom Nebengestein umschlossen, so finden die beim langsamen Erkalten ausgestossenen Mineralisatoren keinen allseitigen Ausgang mehr. Sie werden durch die umgebende Gesteinshülle gefangen gehalten. Die Folge davon sind zwei Vorgänge. Die sich ansammelnden Gase und Dämpfe wirken einerseits gegenseitig aufeinander ein, es kommt dabei zu Umsetzungen und chemischen Neubildungen, andererseits suchen sie sich aber unter dem gewaltigen Druck einen langsamen Ausweg in den Poren und Spalten des durch die kolossale Hitze gefritteten Nebengesteins. Sie kondensieren sich und bewirken dabei nicht nur eine Umkristallisation der Bestandteile der umgebenden Schichten, sondern sie führen auch mineralische Stoffe, welche sie aus dem Magma extrahieren, in das Nebengestein ein.

Die wichtigste Substanz der Mineralisatoren ist der Wasserdampf; weitere Bestandteile bilden die Halogensäuren sowie Verbindungen des Schwefels und des Bors, die eine besondere Vorliebe für saure Magmen besitzen. Dass sie auch allerlei Metalle, wie Eisen, Blei, Kupfer, Zinn und Wismut führen, beweisen die Sublimationsabsätze an den Kraterwänden.

Die Summe derjenigen mineralbildenden Vorgänge, bei welchen Gase und Dämpfe saurer Magmen gegenseitig aufeinander einwirken, bezeichnet man als *Pneumatolyse*. Diese Prozesse haben zur Bildung einer ganzen Erzlagerstättengruppe, der oxydischen Zinnerzvorkommen geführt. Nach der oberflächlichen Erstarrung des Schmelzflusses tritt der Zinngehalt in Gas- und Dampfform aus dem in der Tiefe noch flüssigen Magma und dringt langsam in die Konzentrationsspalten der Erstarrungsrinde ein. Da alle mit dem Zinnstein zusammen vorkommenden und mit diesem zugleich entstandenen Mineralien sich durch einen Fluorgehalt auszeichnen, glaubt man bei diesem Prozess dem Fluor eine wesentliche Rolle zuschreiben zu müssen und zwar nimmt man an, dass Zinnfluoriddämpfe mit überhitztem Wasserdampf zusammentreffen, bei deren gegenseitiger Einwirkung dann Zinnstein und Flussäure sich bilden. Bei weitem nicht jeder Granit, in dem die mikroskopische Untersuchung Zinnsteinminerale als primäre, accessorische Bestandteile nachgewiesen hat, ist aber mit nutzbaren Lagerstätten dieses Metalles verknüpft. Nur dort, wo sich schon im Schmelzfluss der Zinngehalt konzentriert hat, wie in gewissen Teilen der Granite des Erzgebirges, von Cornwall, Banca und Biliton, Australien, können die pneumatolytischen Vorgänge zur Bildung von Zinnerzanhäufungen führen.

Dringen die stofflichen Nachschübe aus dem Magmaherd allseitig weiter in die umgebende Gesteinshülle ein, so muss diese eine durchgreifende Umwandlung erfahren, sie wird durch die Gase und Dämpfe kontaktmetamorph verändert. Die der Umwandlung unterworfenen Zone, deren äussere Grenze gewöhnlich mehr oder weniger parallel zur Eruptivgesteinsgrenze verläuft, wird als Kontakthof bezeichnet; er ist durch das Auftreten ganz bestimmter, neugebildeter Mineralien, den Kontaktmineralien, charakterisiert. Neben der Umwandlung findet auch eine Zufuhr von Material aus dem erstarrenden Magma statt. In den Fällen, wo Schwermetalle in besonders reicher Menge durch die Einwirkung von Gasen und Dämpfen auf das feste Nebengestein zur Abscheidung gelangen, bilden sich Erzvorkommen, die man als *Kontaktlagerstätten* bezeichnet.

Kontakterscheinungen können, wenn auch mit ganz verschiedener Intensität, bei allen Eruptivgesteinen vorkommen. Man hat aber die Erfahrung gemacht, dass zur Bildung abbauwürdiger kontaktmetamorpher Lagerstätten nur vorwiegend saure Magmen geeignet sind, welche eben im Gegensatz zu basischen Schmelzflüssen in reichlicher Masse beigemengte Mineralisatoren führen. Wo aber mehr Mineralisatoren vorhanden waren, konnten durch sie auch mehr metallhaltige Substanzen aus dem Magma extrahiert und in das Nebengestein übergeführt werden.

Aber auch die Natur der umgebenden Schichten ist für die Entstehung dieser Lagerstätten von grösster Bedeutung. Nur selten hat die Erzansiedlung in anderen als in Kalksteinen stattgefunden, so bei Cala in der spanischen Provinz Huelva, wo teilweise zu Hornfels umgewandelte Schiefer das Nebengestein der Erze bilden. Es beruht dies vor allem in der viel geringeren Widerstandskraft des Kalksteins gegenüber Hitze und Säure. Bei den Intrusionen der Eruptivgesteine in Kalk wird ein Teil der Kohlensäure des letzteren durch die hohe Temperatur ausgetrieben. Der Kalkstein verliert dadurch an Substanz, wird porös und wirkt für die vom Magma aufsteigenden Gase wie ein saugender Schwamm.

Die unter hohem Druck aus dem Schmelzfluss austretenden Dämpfe nehmen sofort die Stelle der aus dem Kalk entweichenden Substanzen ein, so dass sich das Gestein doch immer in einem dichten und kompakten Zustand befindet. Nach den Untersuchungen von Arrhenius wirkt Wasserdampf bei hoher Temperatur wie eine starke Säure. Schon bei 300 Grad ist die Säurewirkung des Wassers gleich derjenigen der Kieselsäure, bei 1000 Grad übertrifft sie dieselbe gar um das Achtzigfache. Die in den Kalkstein eindringenden Gase können daher mit Leichtigkeit das Kalzium-Karbonat lösen. Im einfachsten Fall wird der Kalk bloss umkrystallisiert zu reinem, weissem Marmor, ohne dass es dabei zur Neubildung anderer Mineralien kommt. Häufiger ist dagegen seine Umwandlung in einen Kontaktfels, ein Gestein, das vorwiegend aus den Silikaten Granat, Pyroxen, Vesuvian, Chlorit und Lievrit besteht, welche mit Erzen und wieder auskrystallisiertem Kalzit vermengt sind. Die Hauptmasse des Kalkes ist verschwunden, indem die Kohlensäure ausgetrieben wurde, das Kalzium dagegen finden wir wieder als chemischen Bestandteil gewisser Kontaktmineralien wie Granat und Vesuvian.

Ueber die Herkunft der übrigen Bestandteile wie Silizium, Aluminium und Schwermetallen sind dagegen die Ansichten geteilt.

Von einer Seite wird angenommen, dass diese Stoffe alle im Kalkstein ursprünglich vorhanden waren, dass mit anderen Worten einfach ein unreiner, Quarz, Ton und Eisenoxyd haltiger Kalk oder gar ein Mergel der Kontaktmetamorphose unterworfen wurde, wobei diese Verunreinigungen ebenfalls gelöst und angesammelt wurden; durch gegenseitige molekulare Einwirkung hätten sich dann bei der Abkühlung Silikate gebildet. Es wird damit beim Kontaktmetamorphismus jegliche Stoffzufuhr aus dem Magma in Abrede gestellt und lediglich an einer physikalischen Einwirkung festgehalten.

In letzter Zeit ist aber besonders von den amerikanischen Forschern Kemp und Lindgren eine Zuführung von Quarz, Aluminium und Metallsubstanzen bei der Bildung der kontaktmetamorphen Erzlagerstätten von neuem bewiesen worden auf Grund der chemischen Analyse.

Man untersuchte den Granatfels aus der Nähe des Kontaktes und den etwas weiter entfernt anstehenden Kalkstein desselben Niveau und fand im ersteren einen so hohen Gehalt an Kieselsäure, Tonerde und Schwermetallverbindungen, während der Kalk diese Stoffe überhaupt nicht oder nur in Bruchteilen von Prozenten enthält, so dass bei den Kontaktmetamorphen Erzvorkommen eine stoffliche Zufuhr durch die aus dem Magma in den Kalkstein eintretenden Gase und Dämpfe angenommen werden muss.

Nicht immer sind nun an echte Kalkkontakthöfe auch Erzvorkommen gebunden. Das Auftreten der Erze ist eben in erster Linie nicht abhängig von den Kontaktmineralien, sondern vom Eruptivgestein. Nur dort, wo sich der Schwermetallgehalt in gewissen Stellen des Schmelzflusses konzentriert hat, kann er durch die Mineralisatoren ausgelaugt und in die durch die Kontaktmetamorphose beeinflussten Teile des kalkigen Nebengesteins übergeführt werden. Die Anwesenheit des letztern ist allerdings die zweite Bedingung für die Entstehung der Kontakterzlagerstätten.

Das wichtigste Erz dieser Gruppe ist das Magneteisen, welches in grossen Anhäufungen sich findet an der Grenze alter archaischer Granitgneise gegen Kalke der Urformation, wie in Schweden, andererseits aber auch auftritt am Kontakt tertiärer Diorite und Granite an mesozoische Kalksteine, wie im ungarischen Banat, auf Elba, bei Traversella im Piemont. Auf gleiche Weise sind mancherorts auch sulfidische Blei-Zinkerze entstanden (Broken Hill in Australien).

Mit der allmählichen Entfernung vom Eruptivgestein nimmt die Temperatur der ausgestossenen Gase und Dämpfe ab. Letztere

verlieren dadurch an ihrer Reaktionskraft und vermögen nicht mehr so leicht in das Nebengestein einzudringen. Schliesslich schlägt sich der an Menge immer überwiegende Wasserdampf als Wasser nieder, welches nun auch die noch freien Säuren und Metallverbindungen gelöst enthält. Diese noch warmen Lösungen sind in ihrer Wanderung jetzt an gewisse Wege, vor allem an Spalten gebunden. Sie verhalten sich aber verschieden, je nach der Natur des Nebengesteins, in welchem sie zirkulieren. Ist dasselbe ein wenig widerstandsfähiger Kalk oder Dolomit, so werden die auf den Klüften fliessenden Wasser die benachbarten Karbonate verhältnismässig leicht angreifen können. Winzige Partikel des primären Kalkminerals gehen in Lösung, treten dabei in Wechselwirkung mit den neu zugeführten Stoffen, wie z. B. Eisenoxydul, derart, dass das Kalziumkarbonat fortgesetzt etwas Ferrokarbonat ausfällt. Es gelangt so eine neue chemische Verbindung zum Absatz und das Kalzium wird in der Lösung weggeführt. Werden durch eine solch langsame, Partikel für Partikel ergreifende Verdrängung des Kalkes Schwermetallverbindungen abgesetzt, so entstehen Erze, welche man *metasomatische Lagerstätten* nennt.

Die metasomatischen Vorgänge bei der Einwirkung von Lösungen auf feste Körper führten vor allen Dingen zur Bildung von Spateisenstein, aber auch fast alle wichtigeren Bleiglanz- und Zinkblendevorkommen sind auf diese Weise entstanden. Derartige Lagerstätten müssen stets in Beziehung zu Spalten stehen. Diese Zuleitungswege für die aus dem Magmaherde aufsteigenden Wasser können ursprünglich nur ganz unbedeutende Zerklüftungen oder Schichtfugen gewesen sein, die im Laufe der Zeit durch die Minerallösungen selbst noch zu ganz unregelmässig verlaufenden Auslaugungsformen erweitert werden. Von solchen Hohlräumen aus dringt nun die metasomatische Umwandlung langsam in den Kalkstein vor. Diese Art der Entstehung bedingt eine überaus wechselnde Gestalt der Erzvorkommen. Wohl am mannigfaltigsten sind ihre Formen in den Bleiglanzlagerstätten von Raibl und Bleiberg in Kärnten, wo die Erzmittel als vielfach gewundene Röhren und Schläuche die Kalkschichten der Trias nach allen Richtungen durchziehen. Mit der Zeit werden in den meisten Fällen die Zuleitungswege durch ausgeschiedene Mineralsubstanz wieder geschlossen. Die Spuren der ursprünglichen Zerrüttungswege sind dann verwischt und nur in den entfernteren Teilen der Lagerstätte kann man an vereinzelt auftretenden Trümmern im Kalk die ehemaligen Klüfte und Spalten noch erkennen.

Verfolgen wir nun die wässrigen Lösungen im weitem Verlauf ihrer Aufwärtsbewegung, wenn sie nicht in so leicht angreifbaren Gesteinen wie Kalk oder Dolomit, sondern in den viel widerstandsfähigeren Schiefen und Gneisen zirkulieren. Die Mineralwasser vermögen nicht in diese undurchlässigen Schichten einzudringen, sie können sich nur längs Spalten und Klüften weiter bewegen. In der tief bis gegen den Eruptivherd reichenden Spalte steigen allmählich die Lösungen immer höher an, den schmalen, plattenförmigen Hohlraum ganz erfüllend. Geht die Kluft an der Erdoberfläche offen zu Tage aus, so werden die Wasser hier, zum ersten Mal vom Sonnenlicht bestrahlt, als heilkräftige Quellen hervorsprudeln. Die in der Tiefe eindringenden Flüssigkeiten sind heiss und stehen unter einem hohen Druck, sie besitzen deshalb noch ein grosses Lösungsvermögen für allerlei Metallverbindungen und gasförmige Bestandteile des Magmas. Mit diesen beladen steigen sie langsam nach oben, wo der Druck nachlässt und sie sich abkühlen, dabei verlieren sie aber zum Teil ihr Lösungsvermögen, und die in ihnen enthaltenen Stoffe gelangen zur Ausscheidung. Als feine Bläschen treten die Gase empor und die Mineralbestandteile krystallisieren von den Kluftwänden nach dem Innern zu aus, schliesslich den ganzen Raum einnehmend. Eine solche Spaltenausfüllung bezeichnet man, wenn sie nutzbare Mineralien enthält, als *Erzgang*.

Eine Hauptstütze dieser sogenannten Thermaltheorie zur Erklärung der Bildung der Erzgänge bildet die Tatsache, dass im Wasser oder in den Absätzen der heutigen warmen Quellen solche metallische und nichtmetallische Elemente nachgewiesen werden können, die sich auch an den Gangausfüllungen wesentlich beteiligen. Man braucht jedoch nicht anzunehmen, dass, um grössere Massen von Mineralien zur Ausscheidung zu bringen, konzentrierte Lösungen absolut notwendig seien. Wie auch heute noch, sind in früheren Zeiten bei der Bildung von Erzgängen in der Regel nur verdünnte Lösungen, meist allerdings sehr lange Zeit hindurch, tätig gewesen.

Die Ursache für die Ausscheidung der Mineralien kann sehr verschieden sein. Entweicht z. B. in höheren Regionen die Kohlensäure aus dem Wasser, so scheidet sich sofort auch eine Reihe von gelösten Schwermetall-Karbonaten aus. Durchkreuzen sich zwei Spaltensysteme, die verschiedene Minerallösungen führen, so können beim Zusammentreffen der beiden auf einander reagierenden Flüssigkeiten schwer lösliche Mineralien wie Schwespat und Flusspat aus-

krystallisieren. Zirkuliert in einer Spalte eine verdünnte Lösung von Bleichlorid und tritt durch irgend eine Veranlassung Schwefelwasserstoff hinzu, so fällt Bleiglanz aus. Das an den Erzgängen des Kongsbergerdistriktes sich findende gediegene Silber soll durch elektrolytische Fällung entstanden sein. Da der grösste Teil der überhaupt vorkommenden Mineralien auf wässrigem Wege gebildet werden kann, finden wir auf den Gängen die grösste Mannigfaltigkeit von Erzen.

Eine der interessantesten Gruppen der vielen gangförmigen Vorkommen sind die Quecksilbererze, weil sich bei ihnen die Beziehung der erzabsetzenden Lösungen zu der eruptiven Tätigkeit vielfach noch nachweisen lässt. Am obern Ende des adriatischen Meeres, in der Toskana, in Mexiko finden wir sie gebunden an tertiäre und quartäre Eruptivgesteine, welche die oberflächlichen Produkte der in grösserer Tiefe eingedrungenen Schmelzflüsse darstellen. In der Nähe des eigentlichen Magmaherdes sind die schwerer löslichen Erze zurückgeblieben, nur das leicht transportierbare Quecksilber ist mit den Laven bis in die äussersten Erdschichten vorgedrungen, in deren Fugen und Ritzen es sich als Zinnober zu nutzbaren Lagerstätten konzentriert hat. An den vulkanischen Thermen Steaboat Springs in Kalifornien und Sulphur Banks in Nevada lässt sich heute noch die Bildung von Zinnober beobachten, welches in Schwefelalkalien gelöst mit den heissen Quellen emporsteigt. Kommt diese Sulfosalzlösung an die Tagesoberfläche, so wird sie durch die Kohlensäure der Luft zersetzt und das Schwefelquecksilber scheidet sich aus.

Die aus tiefen Erdspalten oben ausfliessenden Quellen fördern den verdichteten Wasserdampf der erstarrenden Magmen zu Tage und vermehren so den Gehalt unserer Hydrosphäre. Die Wasser ergiessen sich endlich in die Rinnen und Becken der Erdoberfläche, wo sie schliesslich verdunsten und in die Atmosphäre entweichen, während die letzten Mineralstoffe auf dem Grunde der Seen und Meere zusammen mit den durch die Flüsse zugeschwemmten Bestandteilen als Sedimente zur Abscheidung gelangen. Damit hat sich das letzte Glied einer einzigen, untrennbaren Kette von Erscheinungen in der Entstehungsgeschichte der Erze gebildet.

Aber auch in der Atmosphäre kommt dieses eruptive, oder wie es Suess genannt hat, juvenile Wasser nicht zur Ruhe. Es kondensiert sich von neuem, fällt zur Erde nieder und beginnt nun als vadoses Wasser einen weiteren Kreislauf. Mit Ueberwindung

aller Hindernisse bahnt es sich einen Weg nach dem Meere, seine mechanische Kraft führt zur Zertrümmerung und zum Transport der Gesteinsmassen, welche sich ihm in den Weg stellen, während es auf unterirdischen Bahnen die Gesteine chemisch auflöst. Enthalten nun die Schichten, welche der abtragenden Einwirkung des Wassers ausgesetzt sind, irgendwelche Erzkörper, so bleiben auch sie von der Zerstörung nicht verschont. Die Zerstörungsprodukte werden durch das Wasser fortgeführt, geschlemmt und je nach dem spezifischen Gewicht des Materials wieder abgelagert. Werden nur die leichten und schnell verwitternden Bestandteile des Nebengesteins rascher entfernt und bleiben die schweren und kaum angreifbaren Mineralien mehr zurück, in der Hauptsache sind es Edelmetalle oder deren Verbindungen, so tritt häufig eine Konzentration dieser Stoffe ein, die zur Entstehung einer nutzbaren Lagerstätte führt, welche man als Seife bezeichnet. So wird das in den Peridotiten des Urals als magmatische Ausscheidung auftretende, aber nur ganz spärlich verteilte Platin, das auf dieser ursprünglichen Lagerstätte kaum irgendwo die Gewinnung lohnen würde, in den Seifen zu den Bergbau reichlich lohnenden Mengen angehäuft.

Den durch mechanische Aufbereitung älterer Erzvorkommen sich bildenden Trümmerlagerstätten stehen gegenüber die schichtigen Erzabsätze, welche durch den Niederschlag von Schwermetallverbindungen aus dem See- oder Meerwasser zustande kommen. Auf diese Weise entstehen vorwiegend oxydische oder sulfidische Eisen- und Manganerze. Die verdünnten Eisenlösungen werden den Seen und Meeren zugeführt von Wassern, welche zersetzend ältere Erzkörper durchlaufen oder langsam auf eisenhaltige Schichten, fast alle Gesteine enthalten Eisenverbindungen, lösend eingewirkt haben. Diese Vorkommen, die *Eisenerzlager* sind genetisch als eine besondere Art von Sedimentgesteinen aufzufassen, ihr Material ist entweder aus einer wässrigen Lösung auskrystallisiert oder mit Hilfe der Lebenstätigkeit von Organismen ausgeschieden worden.

Die Bildung von Erzen durch Ausfällung aus Lösungen an der Erdoberfläche kann man noch heute an den See- und Raseneisenerzen Nordeuropas und Nordamerikas studieren. Viele oolithische Eisenerze des Tertiärs, wie unser Bohnerz bei Delsberg, der Juraformation, wie die Minetten Lothringens und Luxemburgs, auch die schichtigen Kohlen und Toneisensteine Westfalens sind unzweifelhaft sedimentären Ursprungs. Sie alle verdanken ihren Eisengehalt der Zerstörung älterer Schichten. Dieser sedimentäre Zyklus

in der Entstehungsgeschichte der Erze gelangt nie so zum Abschluss wie der eruptive Gang ihrer Genesis. Im ewigen Einerlei werden an höheren Stellen der Erdoberfläche die Gesteine abgetragen und in tieferen Regionen wieder sedimentiert. Wenn dann diese neu gebildeten Schichten durch die Gebirgsbewegung emporgehoben sind, wiederholt sich der Prozess von neuem. Dabei erfahren die Stoffe nur eine Umlagerung, die eventuell eine Konzentration gewisser Mineralien bedeutet, aber eine Vermehrung des absoluten Metallgehaltes tritt so niemals ein.

Eine Zufuhr von Erzstoffen findet einzig und allein durch eruptive Prozesse statt. Den Ursitz der Metalle bildet zweifellos das unzugängliche Innere der Erde. Aus der Tiefe dringen glühende Schmelzflüsse in die oberen Schichten der Erdrinde ein. Sie kühlen sich langsam ab, wobei sich die ursprünglich noch homogene Masse durch Diffusionsprozesse in basische und saure Magmen spaltet. Wenn schliesslich die *basischen* Schmelzen erstarren, so krystallisieren in ihnen Erzkörper direkt aus. Die mit Gasen und Dämpfen durchtränkten *sauren* Schmelzen stossen beim Erstarren ihre flüchtigen Bestandteile aus. Diese entreissen dem Magma gewisse Metallsubstanzen, welche sie zum Teil schon am Kontakthof im kalkigen Nebengestein absetzen. Zum Teil kondensieren sich die Mineralisatoren zu Minerallösungen, die noch weite Wanderungen in den Spalten und Klüften der Erdrinde ausführen. Auf diesen Wegen geben sie langsam die gelösten Stoffe ab, schliesslich treten sie als heisse Quellen zu Tage. Nur auf dem eben beschriebenen eruptiven Wege findet eine Erzzufuhr in die vom Menschen zugänglichen Teile der Erde statt. Dass weitaus die grösste Anzahl unserer Erzlagerstätten Gänge sind, beruht darauf, dass eben die Schmelzflüsse nur selten bis in die äusserste Rinde vordringen, während die Minerallösungen leicht bis an die Oberfläche gelangen, allerdings ist dann häufig ihre Abhängigkeit vom Eruptivherde oberflächlich nicht mehr zu erkennen. Wo aber die hangenden Gesteinsschichten durch die Erosion abgetragen sind, treten auch die tiefer gelegenen, an Eruptivgesteine gebundenen magmatischen Ausscheidungen und Kontaktlagerstätten in den Bereich der bergbaulichen Gewinnung.

Das primäre Auftreten der Erze ist immer an Eruptivgesteine gebunden, nur die Trümmerlagerstätten und viele schichtige Erzvorkommen, zu welchen letzteren auch die Eisenerze unserer Kalkalpen wie am Gonzen, bei Erzegg-Planplatten, Chamoson gehören, sind als solche wenigstens unabhängig von eruptiven Vorgängen.

Die Entstehung der meisten Erzlagerstätten fällt deshalb zeitlich auch mehr oder weniger mit den grossen Eruptionsepochen unserer Erde zusammen. Für die Mehrzahl der heutigen Erzvorkommen, vor allen Dingen der Edelmetalle, dürfen wir annehmen, dass sie Gefolgerscheinungen der gewaltigen tertiären Massenergüsse sind. Der auf die Schweiz beschränkte Teil der Erdrinde war aber zur Tertiärzeit kaum der Schauplatz vulkanischer Tätigkeit, wohl aber intensivster Faltung gewesen. Die aus unseren Alpen bekannten Massengesteine gehören einer viel älteren Erdepoche an, welche begleitet war von mächtigen gebirgserhebenden Bewegungen. Dieses ältere Gebirge der Carbonzeit ist später abgetragen und damit auch die äussere, eventuell metallreiche Zone der Eruptivgesteine und ihrer Schichthülle zerstört worden. Nur noch aus ihrer zentralen Partie kennen wir, bei Puntaiglas in Graubünden, eine magmatische Ausscheidung von Magnet-eisen, welche früher auch ausgebeutet wurde.

Mächtige Erzlagerstätten dürfen wir, weil bei uns auch die entsprechenden, besonders die tertiären Eruptivgesteine fehlen, in der Schweiz nicht erwarten. Die in ihrem südlichen Teil, besonders im Wallis, zahlreicher auftretenden, meist ganzförmigen Vorkommen von Blei-, Kupfer-, Nickel- und Golderzen scheinen zum Teil von sehr jugendlichem Alter zu sein. Sie bilden vielleicht noch die äussersten Ausklänge der eruptiven Vorgänge zur Tertiärzeit im Süden der Alpen *).

*) Von den Werken, welche obiger Zusammenstellung für eine Promotionsrede zu Grunde gelegen haben, seien hier vor allem genannt die neuesten Erscheinungen:

- P. Krusch*: Die Untersuchung und Bewertung von Erzlagerstätten 1907.
F. Beyschlag, P. Krusch, J. H. L. Vogt: Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien und Gesteine. I. Bd. Erzlagerstätten 1909.
O. Stutzer: Kontaktmetamorphe Erzlagerstätten 1909.

Zusammenfassende Beschreibungen der schweizerischen Erzlagerstätten findet man in:

- C. Schmidt*: Artikel Asphalt, Steinsalz, Erze im Handwörterbuch der schweizerischen Volkswirtschaft, Sozialpolitik und Verwaltung, III. Bd. Seite 91—154. 1907.
W. Hotz: Die Lagerstätten nutzbarer Mineralien in der Schweiz. Mit einer Karte. Zeitschrift für praktische Geologie. 1909.