

Ueberreicht vom Verfasser.

Epigenetische Erzlagerstätten und Eruptivgesteine.

Von

A. Bergeat, Königsberg.

Sonderabdruck

aus

**Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und
Petrographie.**

Herausgegeben im Auftrag der Mineralogischen Gesellschaft

von

Dr. G. Linck.

2. Band.

Verlag von Gustav Fischer in Jena.

1912.

Auszug aus der Satzung der Deutschen mineralogischen Gesellschaft.

§ 1. Die Deutsche mineralogische Gesellschaft hat den Zweck, die Mineralogie und Petrographie in Lehre und Forschung zu fördern, sowie die persönlichen Beziehungen der Mitglieder zu pflegen.

§ 3. Mitglied kann jeder werden, der sich für die in § 1 genannten Wissenschaften interessiert.

§ 4. Die Mitgliedschaft wird nach Anmeldung bei einem Vorstandsmitglied durch Zahlung des Jahresbeitrags erworben.

§ 5. Der Mitgliedsbeitrag beträgt 5 Mark für das Jahr; das Vereinsjahr ist das Kalenderjahr.

§ 15. Die Gesellschaft gibt alljährlich einen Band „Fortschritte der Mineralogie“ etc. heraus.

Jedes Mitglied erhält ein Exemplar dieser „Fortschritte“.

Der Vorstand besteht zurzeit aus folgenden Herren:

Vorsitzender: Prof. Dr. **F. Becke, Wien.**

I. Stellvertreter: Prof. Dr. **A. Bergeat, Königsberg i. Pr.**

II. Stellvertreter: Prof. Dr. **O. Mügge, Göttingen.**

Schatzmeister: Kommerzienrat Dr. **G. Seligmann, Coblenz a. Rh.**

Schriftführer und Redakteur der Fortschritte:

Geh. Hofrat Prof. Dr. **G. Linck, Jena.**

• Verlag von **Gustav Fischer** in **Jena.**

Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie.

Herausgegeben im Auftrag der Deutschen Mineralog. Gesellschaft von Dr. **G. Linck**,
o. ö. Prof. für Mineralogie und Geologie an der Universität Jena, d. Z. Schriftführer.

Erster Band. Mit 53 Abbildungen. 1911. Preis (für den Einzelverkauf): 9 Mark.

Inhalt: 1. Bericht über die Hauptversammlung in Königsberg i. Pr. 1910. — 2. R. Brauns, Die Vorschriften der Prüfungsordnungen für Mineralogie mit Geologie, Chemie und verwandte Fächer, und die Vorschläge der Unterrichtskommission. — 3. H. Baumhauer, Geometrische Kristallographie. Ueber das Gesetz von der Komplikation und die Entwicklung der Kristallflächen in flächenreichen Zonen. — 4. O. Mügge, Ueber die Zwillingsbildung der Kristalle. — 5. F. Becke, Ueber die Ausbildung der Zwillingskristalle. — 6. A. Ritzel, Die Kristallisations- und Auflösungsgeschwindigkeit. — 7. R. Marc, Die Phasenregel und ihre Anwendung auf mineralogische Fragen. — 8. R. Brauns, Die Ursachen der Färbung dilut gefärbter Mineralien und der Einfluß von Radiumstrahlen auf die Färbung. — 9. A. Bergeat, Die genetische Deutung der nord- und mitteldeutschen Eisenerzlagerstätten in der Literatur der letzten Jahre. — 10. A. Schwantke, Neue Mineralien. — 11. F. Rinne, Salzpetrographie und Metallographie im Dienste der Eruptivgesteinskunde. — 12. F. Becke, Fortschritte auf dem Gebiete der Metamorphose. — 13. F. Berwerth, Fortschritte in der Meteoritenkunde seit 1900. — 14. H. E. Boeke, J. van't Hoff, Seine Bedeutung für Mineralogie und Geologie.

1. Referate erstattet in Karlsruhe.

Epigenetische Erzlagerstätten und Eruptivgesteine.

Von

A. Bergeat,
Königsberg.

Mit Hinsicht auf ihre Entstehungsweise unterscheidet man die Erzlagerstätten, soweit sie nicht etwa sekundäre, eluviale (metathetische) oder alluviale Bildungen sind, in die syngenetischen und epigenetischen. Die Entstehung beider kann in inniger Beziehung zu Eruptivgesteinen stehen.

Die durch eine magmatische Spaltung in Eruptivgesteinen bewirkten syngenetischen Anreicherungen sind seit Jahren der Gegenstand von Studien seitens des Herrn J. H. L. VOGT; Herr VOGT hat deshalb das Referat über dieses sein besonderes Arbeitsgebiet übernommen, während ich meinen eigenen Bericht auf die Beziehungen zwischen den epigenetischen Erzlagerstätten und den Eruptivgesteinen beschränken will.

Als epigenetische Lagerstätten werden solche Mineralansiedelungen bezeichnet, deren Stoffinhalt in ein vorher gebildetes Gestein eingewandert ist. Meistens sind es Spaltenfüllungen (Erzgänge), mitunter muß man sie als Injektionen bezeichnen; fand der Mineralabsatz erst statt, nachdem sich im ursächlichen Zusammenhang mit der Zirkulation der Lösungen schon Höhlen in einem löslichen Gestein gebildet hatten, so darf man von Höhlenfüllungen sprechen. Diese sowie die metasomatischen Lagerstätten treten in Kalksteinen auf. Einen besonderen Typus der metasomatischen Lagerstätten stellen die Kontaktlagerstätten dar; sie sind an Kalksteine in den Kontaktlöcher eruptiver Durchbrüche gebunden und enthalten neben Kontaktmineralien die Erze. Der Begriff dieser Lagerstätten setzt voraus, daß die Erze stets, die Kontaktmineralien zum mindesten häufig unter

Stoffzufuhr seitens des Eruptivgesteins entstanden sind. Beide Arten von Komponenten sind im wesentlichen gleichzeitige Bildungen.

Verhältnismäßig wenig Mineralgänge sind infolge einer Auslaugung des Nebengesteins entstanden. Für die große Mehrzahl aber wird jetzt ziemlich allgemein angenommen, daß die Gangfüllung den Inhalt von Lösungen gebildet habe, die aus unbekannter Tiefe emporgestiegen seien. Besonders in Nordamerika hat indessen die Theorie von der Lateralsekretion noch ihre Anhänger, wenn sie auch dort bei weitem nicht mehr in dem Umfange angewandt wird, wie das SANDBERGER vor etwa 25 Jahren getan hat. Es kann nicht meine Aufgabe sein, die Gründe zu erörtern, welche jene Theorie in ihrer großen Verallgemeinerung unhaltbar gemacht haben; alles in allem kann sie nicht im entferntesten den sehr verwickelten paragenetischen und geologischen Verhältnissen der allermeisten Erzgänge und metasomatischen Lagerstätten gerecht werden und man ist auch fernerhin auf die Annahme verwiesen, daß deren Stoffinhalt einem selbständigen, tiefer gelegenen Herde entstammt, mindestens insoweit, wie er wesentlich von der chemischen Zusammensetzung der Eruptiv- und Sedimentgesteine abweicht.

Diese Annahme von einer Aszension der gangbildenden Stoffe ist sehr alt. Beziehungen zwischen dem Magma und den Erzgängen werden behauptet, solange man sich mit den Eruptivgesteinen und vor allem mit den vulkanischen Exhalationen befaßt hat. Eine wissenschaftliche Behandlung haben diese Fragen zuerst in Frankreich durch ELIE DE BEAUMONT und DAUBRÉE vor bald 70 Jahren erfahren. Auf ihre Ausführungen von der Abwanderung der Metalle aus dem granitischen Magma, von der erzführenden aura granitica kehren vielfach unsere heutigen Vorstellungen zurück. Schon im Jahre 1847 sprach ELIE DE BEAUMONT von zwei Arten von Thermen; die einen, die von ihm so genannten „Hauptthermen“, sollen das ursprünglich aus dem Magma ausgeatmete, in kühleren Zonen kondensierte Wasser führen und Stoffe, wie z. B. Schwermetallverbindungen enthalten, die gleichfalls ursprünglich dem Magma angehört haben und in gasförmigem Zustand daraus ausgestoßen wurden. Die zweite Art sind zur Oberfläche zurückkehrende Sickerwässer, die sich in tieferen Regionen erwärmt haben. ELIE DE BEAUMONT unterschied schon die durch Sublimation entstandenen, in der Nähe der Granite gebildeten Zinnerzgänge von solchen, als deren charakteristischen Bestandteil er das Blei bezeichnete und die durch jene Hauptthermen vom Ursprungsherd abgewandert seien.

Seit ELIE DE BEAUMONT'S Zeit haben sich die Beweise dafür gemehrt, daß sich das Magma bei seiner Kristallisation eines Teiles der in ihm enthaltenen Stoffe zu entledigen vermag und daß diese außerhalb des Kristallisationsraumes zu Minerallagerstätten werden können.

Für die meisten epigenetischen Lagerstätten aber ist ein solcher Zusammenhang mit Eruptivgesteinen auch heute nicht mit Sicherheit nachweisbar, wohl aber im höchsten Maße wahrscheinlich. Nach ihrer stofflichen Beschaffenheit und Struktur bestehen zwischen den Eruptivgesteinen und den weitaus meisten epigenetischen Lagerstätten die größten Unterschiede. Die in den Eruptivgesteinen wesentlichen Silikate fehlen jenen fast regelmäßig, die für die Gesteine so wichtigen Übergänge bestehen fast nie in der Richtung von ihnen nach den epigenetischen Lagerstätten; bei den Gesteinen vollzieht sich die Kristallisation innerhalb gegebener Systeme von Komponenten, bei den Erzgängen erscheint sie gewöhnlich beeinflusst durch einen häufigen Wechsel und eine stetige Erneuerung der leichtbeweglichen Lösung. Bei vielen Erzgängen bemerken wir, daß die Kristallisation der Lösung keine vollständige gewesen sein kann und daß ein wesentlicher Komponent derselben im flüssigen Zustande verblieben sein muß. Wir schließen, daß dieser Bestandteil Wasser gewesen sei.

Soll die wechselhafte Erscheinungsweise der zahllosen, nicht durch die Annahme einer Lateralsekretion erklärbaren Mineralgänge einheitlich gedeutet werden, so ist zu beweisen, daß zwischen ihnen Übergänge bestehen, und es ergäbe sich, daß alle durch eine Stoffausstoßung oder -abwanderung aus dem Magma entstanden sind. Ich will im folgenden diejenigen epigenetischen Lagerstätten, deren Abkunft aus einem unmittelbar benachbarten Magma unzweifelhaft und augenfällig ist, als *perimagnetische* bezeichnen. Solche, welche überhaupt keinen direkten Zusammenhang mit einem Eruptivgestein erkennen lassen, heiße ich *apomagnetische*.

Vor unseren Augen vollzieht sich in den Gasausströmungen der Vulkane die Ausstoßung mannigfaltiger Stoffe aus dem Magma. In den Fumarolengasen sind die meisten an der Zusammensetzung der epigenetischen Lagerstätten beteiligten Elemente nachzuweisen. So finden sich in den pneumatolytischen Gebilden der Vesuvtätigkeit unter anderen auch die folgenden: Fl, Cl, J, P, V, As, Sb, S, Se, Te, Si, Ti, Zr, B, Ce, Tl, Cu, Pb, Fe, Ni, Mn, vielleicht auch Uran; außerdem noch in den pneumatolytischen Mineralien der Sommaauswürflinge Zn, Cd, Ag, Nb, Mo — abgesehen von den gewöhnlichen Alkalien und Erdalkalien. Li, Rb, Cs, Co, Sn, Bi führt Cossa in den Fumarolenprodukten des Vulcano auf. Bei der Ausatmung von Cu, Pb und As dürfte es sich um verhältnismäßig nicht ganz geringe Mengen handeln, denn ihre Verbindungen gehören am Vesuv keineswegs zu den selteneren Erscheinungen. Wie groß die Menge der gelegentlich eines Ausbruchs ausgestoßenen Chlorkupfer- oder Chlorbleidämpfe ist, entzieht sich vollständig unserer Kenntnis und es liegt bisher nicht einmal der Versuch einer Schätzung vor. Die Sublimation vollzieht sich gelegentlich infolge der Abkühlung und teilweise dabei wohl nach

vorheriger gegenseitiger Umsetzung oder unter Wechselwirkung mit den Atmosphärien. Niemals hat man dagegen bis jetzt in den Aufschüttungskegeln der Vulkane selbst einigermaßen umfangreichere Erzansiedelungen entdeckt; die Erklärung liegt jedenfalls darin, daß sich schon in einer gewissen Tiefe ein chemisches Gleichgewicht zwischen den gasförmigen Komponenten einstellt, das bis zum Austritte aus den Fumarolen durch keine wesentliche Temperaturabnahme mehr verändert wird.

Durch Kalkstein können schon in der Tiefe die ausgestoßenen Stoffe festgehalten werden. Ein bekanntes Beispiel im kleinen bieten die Sommaauswürflinge, im großen Maßstab beweisen es die Kontaktlagerstätten. Da diese für das Verständnis der Stoffabwanderung aus dem Magma eine ganz besondere Bedeutung haben, so sollen sie etwas ausführlicher betrachtet werden.

In der Regel dürften die in den Kalkstein eingewanderten magmatischen Dämpfe nicht dem unmittelbar benachbarten Gestein entstammen; daß ihr Ursprung tiefer liegt, ergibt sich schon daraus, daß das Eruptivgestein mitunter nach seiner völligen Kristallisation durch den Vorgang der Silikat- und Erzbildung im Kalkstein unter Diffusion von Kalk in Kalksilikatfels umgewandelt sein kann. Die auf den Kontaktlagerstätten sich bildenden Silikate sind entweder wasserfrei, wie der wohl stets eisenhaltige Granat, der Pyroxen oder der verhältnismäßig seltene Skapolith, oder sie besitzen einen größeren oder geringeren Wassergehalt, wie der Vesuvian, Epidot, die Chlorite, der Ilvait und wohl auch manche Amphibole. Die eigentümlichen Metalle der Kontaktlagerstätten sind Eisen und Kupfer in den Erzen Magnetit, Pyrit und Kupferkies, in zweiter Linie steht Zinkblende, in dritter Bleiglanz.

Hinsichtlich der Verbreitung der Silikate lassen sich zwei extreme, durch Übergänge miteinander verbundene Typen unterscheiden: nämlich diejenigen Kontaktlagerstätten mit wenig wasserhaltigen und diejenigen mit reichlicheren wasserhaltigen Silikaten. Zu den ersteren gehören die Lagerstätten von Vaskö im Banat oder zu Concepción in Mexiko, zu den letzteren die Kontaktlagerstätten von Campiglia Marittima mit ihrer beträchtlichen Ilvaitführung und ihrem scheinbar vollständigen Mangel an Granat. Soweit sich überblicken läßt, besteht auch hinsichtlich der Erzführung in den beiden Extremen ein Unterschied: Magnetit und gewöhnlich auch Kupferkies sind die bezeichnenden Erze für die wasserarmen, Zinkblende, Bleiglanz, dazu auch manchmal Arseneisenverbindungen diejenigen der wasserreicheren Lagerstätten. Die Paragenesis vieler Kontaktlagerstätten läßt deutlich verschiedene Phasen der Stoffansiedelung erkennen. Der Diopsid ist manchmal verdrängt von Kalkeisengranat, der Kupferkies etwas jünger als der Magnetit, Quarz und Wollastonit im ganzen

etwas jünger als Granat und Diopsid, und wo Bleiglanz auftritt, gehört er samt den wasserhaltigen Silikaten, soweit mir bekannt geworden ist, einer späteren Phase an. Wir wissen nichts über die Temperatur, bei welcher sich Kalkeisengranat bildet und ebensowenig ist bekannt, bis zu welcher oberen Temperaturgrenze Epidot und Ilvait entstehen können; wir haben aber wenigstens bezüglich des Epidots allen Grund, die letztere tiefer anzusetzen als für den Granat oder Diopsid. Man wird deshalb annehmen dürfen, daß die Ansiedelung des Bleiglanzes noch nicht möglich war, solange sich die Hauptmenge des Magnetits neben dem Granat bildete. Eine sehr wesentliche Bedeutung für die Möglichkeit der Bildung der kristallisierten Verbindungen verschiedener Schwermetalle scheint mir der Temperatur des Ansiedelungsraumes zuzukommen. Diese muß zur selben Zeit in unmittelbarer Nähe der Magmaintrusion höher sein als in größerer Entfernung, und die Zonen der Kontakthöfe lassen ja auch ein merkliches Temperaturgefälle im Nebengestein zweifellos wiedererkennen. Bei fortschreitender Abkühlung werden die magmanahen Zonen allmählich die Temperatur annehmen, welche zuvor magmaferneren zukam. Mineralansiedelungen, die zuerst nur in den letzteren möglich waren, werden später auch in den ersteren vor sich gehen können. Sie erscheinen dann wie jüngere Stoffnachschiebe, ohne es wirklich zu sein. Der Bleiglanz und mit ihm die Zinkblende umschwärmen nicht selten die Intrusionen in Gängen oder metasomatischen Lagerstätten, d. h. Blei und Zink sind in weniger erwärmte Zonen des Kontaktes abgewandert; Bleiglanz stellt sich aber auch als jüngerer Einwanderer auf den magnetitführenden Kontaktlagerstätten ein oder er bildet, wie z. B. mit dem hydroxylhaltigen Ilvait zu Campiglia Marittima ohne Magnetit und Granat einen wesentlichen Bestandteil. Ferner scheint mir noch bezeichnend zu sein, daß Kupfererzgänge mitunter das Nebengestein in der Art einer Kontaktmetamorphose verändern können, wie das zu Massa Marittima in Toscana, südlich von Campiglia auf verschiedenen Gruben beobachtet wird. Von Blei-Zinkblendegängen ist mir dergleichen nicht bekannt geworden.

In ähnlicher Weise wie das Verhalten des Bleiglanzes erklärt sich vielleicht auch dasjenige des Flußspates. In den Kontaktlagerstätten ist Flußspat nicht häufig. Er findet sich aber gelegentlich zusammen mit dem abgewanderten Bleiglanz auf den apomagmatischen Gängen um die Kontaktlagerstätten; zu Campiglia Marittima ist er ein Bestandteil der Lagerstätten selbst, diese sind aber, wie wir gesehen haben, reich an Bleiglanz und Hydroxyl und wahrscheinlich bei einer niedrigeren Temperatur entstanden als die Magnetit-Granataggregate anderer Kontaktlagerstätten. Da wir gerade die letzteren kaum anders als durch pneumatolytische Vorgänge erklären können, so überrascht zunächst das mehr oder minder vollständige Fehlen der

Halogenverbindungen und insbesondere der Chloride. Der chlorhaltige Skapolith tritt keineswegs auf allen Kontaktlagerstätten auf; die Fähigkeit des Chlors, leicht flüchtige und leicht lösliche Verbindungen zu bilden, muß dessen Abwanderung erleichtert haben. Ebenso mag es in den an Kalkstein gebundenen Kontaktlagerstätten an denjenigen Bedingungen gefehlt haben, welche die Entstehung von Boraten, vor allem des Turmalins, veranlassen konnten. Axinit und Danburit sind selten und das Vorkommen des borhaltigen Ludwigit zu Vaskö im Banat bildet einen bemerkenswerten Ausnahmefall.

Die allgemeine Auffassung geht dahin, daß die Kontaktlagerstätten pneumatolytischer Entstehung sind. In den meisten Fällen mag dies wohl zutreffen, zumal wenn man nur die Phase der Magnetit-Granat-Kupferkies-Ansiedelung ins Auge faßt. Das gelegentliche Auftreten mancher bemerkenswerter Mineralien steht damit im Einklang: so von Orthoklas, Plagioklas, Titanit, des seltenen Apatits und Helvins, von Danburit, Orthit. Im übrigen ist die Mineralführung der Kontaktlagerstätten eine sehr mannigfache und in jedem einzelnen Falle wäre selbstverständlich zu untersuchen, ob die vorhandenen Stoffe wohl auch derselben Phase der Mineralansiedelung angehören. Bemerkenswert ist der gelegentlich nicht unerhebliche Mangangehalt mancher Vorkommnisse, der in den schwedischen Braunit-Hausmannit- und den nordamerikanischen Franklinitlagerstätten sein Maximum erreicht. Wismut ist nicht selten; manche Kobaltinlagerstätten dürften zu den Kontaktlagerstätten zu zählen sein. Eigentliche Gold- und Silberlagerstätten fehlen unter diesem Typus, wenn auch der Arsenkies, der Kupferkies und der Bleiglanz diese Metalle zu führen pflegen. Bemerkenswert ist das Fehlen des Baryts unter den durch die pneumatolytische Übertragung gebildeten perimagmatischen Absätzen. Der Magnetkies kann sich neben dem Pyrit finden, der Eisenglanz scheint aber im Gegensatz zum Magnetit stets eine Ansiedelung in kühleren Zonen des Kontaktbereiches zu sein. Der sonst so häufige Spateisenstein ist mir niemals als echter Bestandteil von Kontaktlagerstätten bekannt geworden. Wo er auftritt, scheint er den letzten Abschnitten der Mineralbildung anzugehören, welche wohl nicht mehr pneumatolytischen Ursprungs war, sondern aus wässerigen Lösungen statthatte.

Während in den Kontaktlagerstätten die aus dem Magma ausgestoßenen Stoffe unter wesentlichem Zutun des reaktionsfähigen Kalkkarbonates zur Abscheidung gelangten und der Kalk selbst in den Stoffbestand der Neubildungen einging, handelt es sich bei einer Anzahl weiterer Typen von perimagmatischen Lagerstätten im wesentlichen um kristallisierte magmatische Lösungen. Teilweise stehen sie im nächsten Zusammenhang mit basischen Magmen, wie die nickel- und kupferhaltigen Magnetkieslagerstätten im Bereich mancher gabbroider Gesteine; die Sulfide haben hier höchstens eine

geringe Abwanderung erfahren und die Lagerstätten pflegen deshalb geradezu als magmatische Ausscheidungen beschrieben zu werden. Auch die an kristallinen Grünschiefer gebundenen Kieslager werden von vielen Geologen für abgewanderte Aussonderungen aus basischen Magmen gehalten. Soweit solche perimagmatischen Lagerstätten im Bereich kiesel-säurereicher Intrusionen auftreten, bestehen mancherlei Beziehungen zwischen ihnen und den letzten Restlösungen der Granite, aus denen das aplitische Quarzfeldspat-Eutektikum der Pegmatite hervorgeht. In diesen Restlösungen sind zweifellos außer den quarz- und feldspatbildenden Komponenten allerlei Bestandteile konzentriert worden, welche bis dahin nicht in den Mineralbestand des kristallisierten Gesteins eingegangen sind. Sie ergeben dann die bekannten Verbindungen von Schwermetallen und Alkalien, von Beryllium, Arsen, die Borate, Fluoride, Phosphate u. dgl., die man als miarolitische Bildungen der pneumatolytischen Phase der Erstarrung zu bezeichnen pflegt. Es verdient aber hervorgehoben zu werden, daß in dieser Phase die Ausscheidung solcher Mineralien wiederkehren kann, welche sonst als ganz frühzeitige Kristallisationen des Magmas bekannt sind, nämlich des Apatites und des Magnetites. Es gibt nun Lagerstätten, deren ganzes Auftreten und deren Mineralbestand die Vorstellung rechtfertigt, daß sie durch die Abwanderung eines Anteiles der granitischen Restlösung entstanden sind, welcher nicht in das aplitische Eutektikum eingegangen ist. Ich komme später auf diese Vorstellung zurück und möchte zunächst einige solche epigenetische Lagerstätten kennzeichnen.

Als erzführende, schmelzflüssige Injektionen haben LEHMANN und WEINSCHENK die Bodenmaiser Kieslagerstätte bezeichnet; ich möchte glauben, daß die Sulfidlager von Falun, Bersbo und Långfalls in Schweden und vielleicht manche andere demselben Typus angehören. Das Vorkommen von Bodenmais steht in enger Beziehung zu dem Granit, der ältere Schiefer durchbricht und in cordierit- und granatführende Gesteine umgewandelt hat. Die injizierte Erzlagerstätte besteht in der Hauptsache aus Quarz, enthält aber auch an sonstigen granitischen Bestandteilen unter anderen Kalifeldspat, Andesin, Glimmer, Zirkon, Apatit und auch Hypersthen. Sehr bemerkenswert ist das Vorkommen von Sillimanit, Cordierit und Granat, die sich vielleicht durch die Resorption von Nebengestein erklären lassen, ferner von Turmalin und Zinnerz. Im Kontakt ist nach WEINSCHENK das Nebengestein vielfach mit Zinkspinel imprägniert; Erze sind Magnetkies, Pyrit, Zinkblende, Bleiglanz, Kupferkies, Magnetit und ein wenig Arsenkies. WEINSCHENK betont endlich das Vorkommen bilateral-symmetrischer Strukturen.

In mineralogischer Hinsicht zeigen die in geologischer Beziehung nur unvollkommen bekannten Kieslager von Falun mit demjenigen von

Bodenmais bemerkenswerte Ähnlichkeiten: auch hier eine Quarzmasse, mehr oder weniger reich an Glimmer, Cordierit, Granat und Spinell, mit Zirkon und Apatit. An Stelle des Hypersthens tritt hier Anthophyllit, für Sillimanit der Andalusit. Erze sind Schwefelkies, Magnetkies, Kupferkies, Zinkblende, Bleiglanz, sowie auch Magnetit. Zinn ist auch hier nachgewiesen. Wie zu Bodenmais sind die Erze etwas silberhaltig; außerdem sind zu Falun in einem der Kieslager jüngere wismutführende Goldklüfte bekannt.

In stofflicher Beziehung durchaus andersartig, aber vielleicht doch von ähnlicher Entstehung sind die großen lappländischen Magnetit-Apatitlagerstätten von Kirunavara, Luossavara, Gellivare, Tuolluvara u. a. Wie STUTZER und neuerdings GEIJER, letzterer in einer sehr ausführlichen Studie über Kirunavara und Luossavara, gezeigt haben, sind diese Eisenerzmassen für magmatische Aussonderungen zu halten, die nach dem Empordringen von Natronsyeniten und annähernd gleichzeitig mit der Eruption eines als Quarzporphyr bezeichneten Gesteins emporgestiegen sind. Man wird sie für Intrusionen, die mehrere Kilometer lange Masse von Kirunavara-Luossavara im besonderen für einen sehr mächtigen Gang halten müssen, zumal in derselben Gegend zweifellose Apatit-Magnetitgänge aufgeschlossen sind. Die Magnetit-Apatitmassen sind nicht im Schoße des syenitischen Magmas erstarrte magmatische Differentiationen, sondern sicherlich abgewanderte Ausscheidungen. Dem Natronsyenit fehlen scheinbar vollkommen die für Alkalisyenite sonst bezeichnenden natronhaltigen Pyroxene oder Amphibole. Mit dem Erz hat der Apatit eine mitunter so weitgehende Konzentration erfahren, daß er vorherrschen kann. Feldspat fehlt, untergeordnete Mengen von Augit und Hornblende sowie verhältnismäßig viel Titanit sind vorhanden. Im ganzen verhält sich das Magnetitgestein wie ein erstarrter Schmelzfluß. Aber die gelegentliche Anwesenheit von Turmalin, das Auftreten von drusigen Gängen, gewisse von Stoffübertragungen begleitete Kontakterscheinungen und jüngere, offenbar durch pneumatolytische Vorgänge entstandene Eisenglanzlagerstätten sprechen sehr dafür, daß man es bei diesen Magnetitaussonderungen mit Bildungen aus Restlaugen zu tun habe. Wie GEIJER hervorhebt, sind sie etwas anderes als die frühzeitig durch magmatische Differentiation basischer Magmen entstandenen oxydischen Eisenerze und Chromeisensteine. Es sei übrigens bemerkt, daß SJÖGREN neuerdings eine ähnliche Erklärungsweise für die mittelschwedischen Eisenerzlagerstätten angenommen hat, welche teilweise in mineralogischer Hinsicht mit den lappländischen Vorkommen bemerkenswerte Züge gemeinschaftlich haben, deren geologische Verhältnisse aber sehr viel undurchsichtiger sind als diejenigen von Kirunavara oder auch von Gellivare.

Das bekannteste Beispiel für eine epigenetische Mineralansiedelung im Zusammenhang mit Intrusionen bilden die an manche granitische Tiefen- und Ganggesteine gebundenen Zinnerzlagerstätten. Ihre besonderen paragenetischen Verhältnisse und die geologischen Formen ihres Auftretens sind jedem Mineralogen zu vertraut, als daß ich bei ihnen länger verweilen müßte. Es mag nur daran erinnert werden, daß ihre Paragenesis sehr große Ähnlichkeit, manchmal beinahe eine Übereinstimmung mit den miarolitischen Drusenbildungen mancher Pegmatite zeigt, daß aber die meisten Zinnerzgänge alle Anzeichen einer Stoffabwanderung aus dem erstarrenden Magma erkennen lassen, die sich recht häufig bis weit über den Kontakt in die Hülle der Granitintrusion erstreckt.

Viele Zinnerzgänge zeigen deutlich in der Struktur und in einer ausgesprochenen Altersfolge ihrer Mineralführung die für echte Erzgänge bezeichnenden Merkmale. Es sind zweifellos Kristallisationen aus granitischen Exsudaten; manche Anzeichen sprechen dafür, daß zur Zeit ihrer Bildung bereits der granitische Schmelzfluß ein merkliche Abkühlung erfahren hatte. Wo nämlich die Ansiedelung von Zinnerz auf Kontaktlagerstätten statthatte, ist dieses, soweit ich weiß, ein jüngerer Einwanderer und in den wenigen Fällen, wo Zinnerzlagerstätten in Kalksteinen auftreten, scheint durch sie keine intensivere Kontaktmetamorphose dieses Nebengesteins mehr erfolgt zu sein.

Bekannt ist der gelegentliche Übergang von Zinnerzgängen in Quarzkupfererzgänge und ihre nahen Beziehungen zu turmalin-, wismut- und goldführenden Gängen. Gewisse mineralogische Eigentümlichkeiten sind manchen Goldquarzgängen und den Zinnerzgängen gemeinschaftlich; wo Goldquarzgänge auftreten, scheinen auch granitische Intrusionen nicht zu fehlen und es lag deshalb nahe, auch jene zu den Pegmatiten in Beziehung zu bringen.

Treten wir nun vor die Frage, durch welche Umstände die Ausstoßung des in den perimagmatischen Lagerstätten konzentrierten Stoffvorrates aus dem Magma bedingt wird. Bei dem hydroxylfreien Typus der Kontaktlagerstätten dürfte die Annahme einer pneumatolytischen Stoffübertragung in das Nebengestein alles erklären. Enthält das Magma verdampfbare Bestandteile, welche bei dessen fortschreitender Kristallisation in der Restschmelze konzentriert werden, dann mag mit zunehmender Konzentration ihr Dampfdruck so groß werden, daß sie aus der Lösung austreten. Wo etwa umgekehrt im Kontakt auch eine Assimilation des Eruptivgesteins, also z. B. eine Umwandlung dieses in Granatfels eintritt, kann sie durch Diffusion im festen Zustand erklärt werden.

Die Anwesenheit der hydroxylhaltigen Silikate, wie des Ilvaits zu Campiglia Marittima, beweist an sich nicht das Vorhandensein

von Wasser im Magma, solange der in ihnen enthaltene Wasserstoff ursprünglich an Schwefel oder Halogene gebunden gedacht werden kann. Eine unverkennbare Lagenstruktur läßt für das Erzsilikatgestein von Campiglia allerdings die Entstehung aus Lösungen vermuten; man sieht dort auch deutlich, daß die epigenetischen Neubildungen wie in einer ätzenden Lösung sich längs Spalten und kapillaren Rissen in den übrigens nicht sehr stark veränderten Kalkstein eingenaht haben. Die Viskosität der Lösung kann unmöglich groß gewesen sein.

Für eine genauere Schätzung der Temperatur, unter welcher die Kontaktlagerstätten zustande kommen, fehlen noch die Grundlagen. Der β -Wollastonit ist bestandfähig bis zu 1180°, der Quarz bei niedrigen Drucken bis zu etwa 800°. Anzeichen für die Bildung von α -Wollastonit oder Tridymit sind bisher auf Kontaktlagerstätten nicht angetroffen worden. Jene beiden Mineralien gehören, soweit meine Beobachtungen reichen, zu den etwas jüngeren Ansiedelungen der Kontaktlagerstätten, die Bildung des im ganzen älteren Kalkeisengranats reicht aber sichtlich noch bis in die Zeit der Quarz-Wollastonitbildung hinein. Es läßt sich vermuten, daß die Bildung auch der hydroxylarmen Kontaktlagerstätten im wesentlichen bei Temperaturen unter 1000° statthatte. Die Anwesenheit von Wasser in dem Schmelzflusse ist aber auch bei Temperaturen, welche dessen kritische Temperatur von 364° übersteigen, noch denkbar, solange seine Konzentration in der gegebenen Lösung unterhalb bestimmter, von Temperatur und Druck abhängiger Grenzen bleibt. Hinsichtlich der Lagerstätten von Campiglia Marittima komme ich demgemäß zu der Vorstellung von der Ausstoßung einer wässerigen Schmelzlösung.

Es ist bisher nicht möglich, eine bestimmte Erklärung für die Abwanderung der Schmelzlösungen oder Exsudate zu geben, welche zur Entstehung der perimagmatischen Lagerstätten führen. Hat, wie ich es für wahrscheinlich halte, jene Abwanderung im späteren Verlauf der Kristallisation des Magmas stattgehabt, dann ist als eines der Teilprodukte das wasserfreie Quarzfeldspatgemenge, annähernd von der Zusammensetzung des Eutektikums erstarrt. In dem abgewanderten Teile sind aber nicht nur diejenigen Stoffe, wie Schwefel, Arsen und solche Schwermetalle enthalten, welche in dem bisherigen Kristallisationsverlauf nicht zur Ausscheidung gelangten, sondern meistens auch sehr viel Kieselsäure, Eisen, oft die feldspat- und glimmerbildenden Moleküle. Vielleicht bietet die folgende Annahme eine Grundlage für weitere kritische Untersuchungen: Gesetzt, es habe eine Entmischung der Gesamtlösung unterhalb einer kritischen Lösungstemperatur stattgehabt. Die Temperatur der beginnenden Entmischung müßte dann außer von dem Druck besonders von der Konzentration der Komponenten abhängig gewesen sein, die Verteilung der letzteren

in den Teillösungen müßte sich mit der Abnahme der Temperatur allmählich geändert haben, und es wären Erscheinungen zu erwarten, die damit im Einklang stehen, daß während der Abkühlung auch die abgewanderten Teillösungen noch einer Entmischung ausgesetzt gewesen wären.

Die bisher als perimagnetische Lagerstätten besprochenen Mineralansiedelungen, deren Zahl sich noch durch einige weitere Typen, wie z. B. die Titangänge hätte vermehren lassen, sind durch gewisse stoffliche Eigenheiten von einer großen Anzahl von Erzgängen unterschieden. Sie führen in größerer oder geringerer Menge alkalihaltige Silikate, wie Feldspäte und Glimmer, ferner Phosphate, Borate, Zinn, Titan, Molybdän, Cer, Beryllium; Gold ist oft, wenn auch nur in geringen Mengen nachzuweisen. Hingegen vermißt man den Baryt, die Strontiumverbindungen und Quecksilbererze, die, wenn überhaupt, nur als jüngere Bildungen auf diesen Lagerstätten aufzutreten pflegen. Kupfer ist vielfach und manchmal in sehr reichlicher Menge vorhanden, dagegen treten Zink und insbesondere Blei stark zurück. So ist bekannt, daß diese beiden Metalle auf den echten perimagnetischen Zinnerzgängen so gut wie fehlen. Als apomagnetische Lagerstätten möchte ich solche bezeichnen, welche weder durch geologische Beziehungen noch durch ihre Mineralführung einen genetischen Zusammenhang mit Gesteinsintrusionen sicher erweisen lassen. Sie mögen vielfach in solchen Gebieten vorkommen, wo nirgends Eruptivgesteine zutage treten; ihr Nebengestein mag indessen geradesogut ein Eruptivgestein sein. Denn wenn auch einerseits niemand Bedenken tragen wird, etwa die ungarischen oder mexikanischen Andesite und die dortigen Edelmetallagerstätten als koordinierte Produkte tief gelegener Magmaherde zu bezeichnen, so ist gewiß das Auftreten eines Erzganges in oder neben einem Eruptivgestein noch kein Beweis für eine genetische Beziehung beider. Die Bezeichnungen perimagnetisch und apomagnetisch beziehen sich auf Extreme. Ich möchte als apomagnetisch z. B. die oberschlesischen oder die Aachener Bleizinklagerstätten, die Thüringischen Nickel- und Kobaltgänge, auch die Bleizinkerz- und Spateisensteingänge des rheinischen Schiefergebirges bezeichnen, auch die Zinnoberlagerstätten dazu rechnen; andererseits würde es mir fraglich erscheinen, ob man auf die Erzgänge von Freiberg, Příbram oder Joachimsthal die Benennung perimagnetisch anwenden darf, bloß deshalb, weil manches für deren genetischen Zusammenhang mit Granitintrusionen spricht.

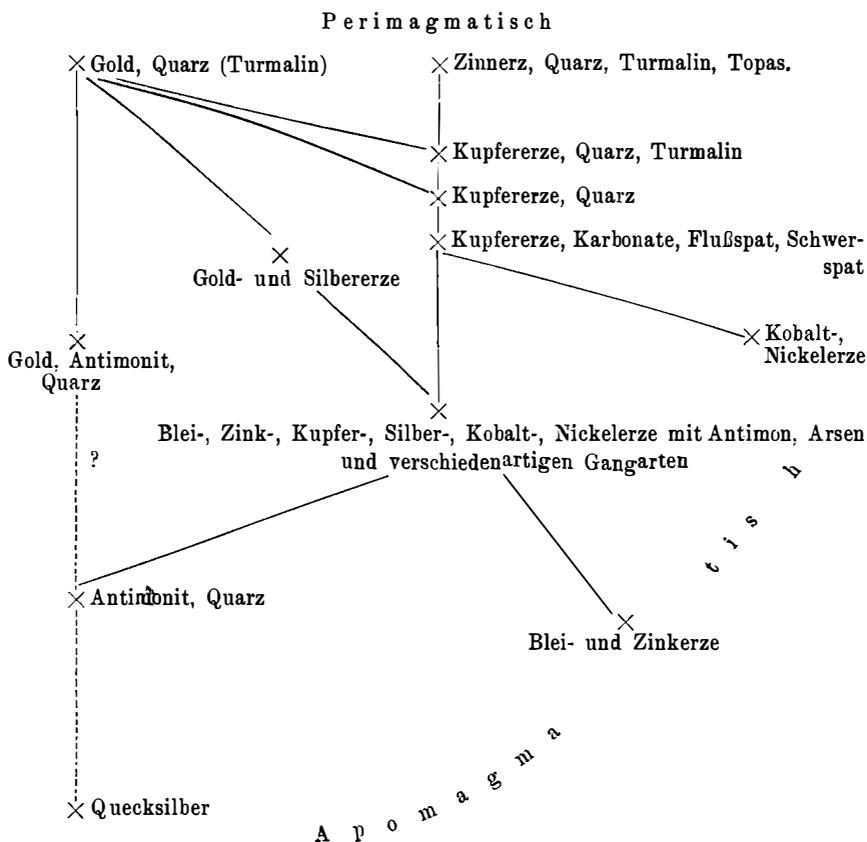
Die stoffliche Beschaffenheit der apomagnetischen Lagerstätten erscheint oft recht einfach; neben Quarz sind auch Karbonate, Schwespat und Flußspat recht verbreitet, wasserfreie Silikate fehlen so gut wie ganz. Die Überlegung führt immer wieder dazu, den Ursprung wenigstens der in ihnen enthaltenen Schwermetalle in der Tiefe zu

suchen und aus dem Magma herzuleiten. Daß sie Absätze aus wässrigen Lösungen sind, kann kaum bestritten werden, wenn auch die Frage nach der Herkunft des Lösungsmittels noch offen steht; denn die Existenz juveniler Thermen ist ja nicht erwiesen.

In chemischer Hinsicht stellen die epigenetischen Lagerstätten gewisse Stoffgenossenschaften dar, denen man von jeher eine als die Paragenesis bezeichnete Gesetzmäßigkeit zugrunde zu legen gesucht hat, und auf welche schon Werner vor 120 Jahren seine Einteilung in „Gangformationen“ gründete. Diese späterhin weiter ausgearbeitete Systematik dient zunächst praktischen Zwecken und kann deshalb über manche gegen sie zu erhebende Bedenken wegsehen, wie z. B. darüber, daß sie oft mehr auf den Wert, wie auf die absolute Menge der beteiligten Schwermetalle sieht. Eine der größten und wichtigsten Schwierigkeiten in der Handhabung dieser Systematik besteht aber in der Unbeständigkeit der Stoffkombinationen insbesondere auf den zahllosen Gängen. Schon derselbe Gang kann im Streichen und Fallen zweien oder mehreren Formationen angehören. Übergänge beweisen auch hier die Einheitlichkeit des Phänomens. Diese Übergänge scheinen aber nicht nach allen Seiten, sondern nach bestimmten Richtungen zu bestehen. So gibt es paragenetische Ähnlichkeiten zwischen den an Granit gebundenen Zinnerzgängen, manchen Quarzkupfererzergängen und Goldquarzgängen. Es lassen sich Zwischenglieder auffinden zwischen solchen Golderzergängen, die ähnlich wie die Zinnerzgänge durch einen Gehalt an Turmalin, Glimmer, Beryll, Feldspat, Molybdänglanz, Wismut, Apatit oder Scheelit ausgezeichnet sind und den einfachen Quarz-Pyrit-Goldgängen, und Gänge der letzteren Paragenesis sind mitunter extreme Ausbildungsformen mancher Goldsilbererzergänge, welche wiederum den Charakter silber- und goldhaltiger Blei-Zink- oder Kupfer-Blei-Zinkgänge annehmen können. Ich habe versucht, diese und andere Beziehungen auf der Tabelle schematisch anzudeuten. Eine reinliche Stoffseparation läßt sich nirgends erwarten: das Molybdän, dessen Verbreitung sonst fast ausschließlich an Pegmatite und granitische Exsudate geknüpft ist, findet sich fern ab von jedem granitischen Durchbruch in metasomatischen Bleiglänzlagerstätten der alpinen Trias in verhältnismäßig großer Menge. Die apomagmatischen Blei-Zinkerzlagerstätten Oberschlesiens führen etwas Gold, die Clausthaler Erzgänge galten lange für völlig arsenfrei, in Spuren ist Arsen aber doch darin nachgewiesen worden.

Bei der Besprechung der Kontaktlagerstätten war vorhin die Rede von der Abwanderung des Bleies in kühlere oder abgekühlte Teile der die Intrusionen umhüllenden Gesteine. Nehmen wir denselben Gedanken wieder auf, so kommen wir zu dem Schlusse, daß die verschiedenen Komponenten der magmatischen Aussonderungen unter verschiedenen Temperaturen oder, was dasselbe ist, zur gleichen

Zeit in verschiedener Entfernung vom erstarrenden Magma kristallisierte Verbindungen zu bilden vermögen. Die Art und Konzentration der begleitenden Komponenten und in geringerem Maße auch der Druck muß in jedem einzelnen Falle auf den Vorgang von Einfluß gewesen sein. Wir haben alsdann in vielen Lagerstätten nur die alleräußersten Ausläufer von Aussonderungen aus tiefgelegenen Magmaherden zu sehen; dort, wo die Kontaktmetamorphose nicht mehr die jetzige Oberfläche erreicht, oder keine Effusivgesteine gefördert worden sind, würden sie uns die Kunde von magmatischen Vorstößen übermitteln.



Ist die Temperatur des Kristallisationsraumes ein wesentlicher Faktor für die mineralogische Erscheinungsweise der Lagerstätten gewesen, dann ergibt sich folgendes: Je näher der Erdoberfläche die Erstarrung des Magmas vor sich ging, desto größer muß das Temperaturgefälle in den umhüllenden Gesteinen gewesen sein. Verschiedene Mineralgenossenschaften folgen sich dann nach der Tiefe und unter

Umständen auch im Streichen radial zur Intrusion. Wenn mit zunehmender Abkühlung des Magmas die Isothermen zurückwichen, so muß sich auch der Bereich der Mineralansiedelungen geändert haben. Es könnte sich so einerseits der sog. primäre Teufenunterschied erklären, während auf die letztere Ursache die sehr häufige Erscheinung zurückzuführen wäre, daß ältere Gangfüllungen wie durch jüngere Nachschübe verdrängt, auch aufgezehrt werden können, so daß Gänge in späterer Zeit ganz andere paragenetische Verhältnisse aufzuweisen vermögen. Man könnte verführt sein, letzteres durch spätere Nachschübe aus der Tiefe zu erklären, nach dem vorigen aber würde es sich um eine fortschreitende Kristallisation infolge Abkühlung handeln. Die Anwendung der Phasenlehre auf diese Vorgänge hat damit zu rechnen, daß, wie ich schon eingangs sagte, in sehr vielen Fällen die Konzentration der an der Lösung beteiligten Komponenten durch andere Ursachen als durch den Kristallisationsvorgang, also durch Strömungen, Zufuhr von Wasser und gelösten Nebengesteinsbestandteilen beeinflußt worden sein mag.

Wenn die epigenetischen Erzlagerstätten Produkte eines Magmazerfalles sind, dann steht zu erwarten, daß petrographischen Provinzen Metallprovinzen zur Seite stehen. Dazu ist folgendes vorzuschicken. Der eigentliche Ursprungsherd und das Alter der Lagerstätten sind in den meisten Fällen nicht mit Sicherheit anzugeben, denn ihr unmittelbares Nebengestein ist fast niemals auch das Ursprungsgestein. Die in der montangeologischen Literatur verbreiteten Angaben über die „Erzbringer“ müssen nicht nur mit großer Vorsicht aufgenommen werden, sondern sind in sehr vielen Fällen auch offensichtlich wertlos. Basische Eruptivgesteine und ganz besonders basische Effusivgesteine dürften nur in geringem Maße für die Ausstoßung erzabsetzender Exsudate in Betracht kommen. Die perimagmatischen Erzlagerstätten scheinen wenigstens zumeist an die außerordentlich weitverbreiteten sauren oder ziemlich sauren Magmen gebunden zu sein. Zurzeit ist es nicht möglich zu entscheiden, ob sich hinsichtlich der Art der ausgestoßenen Stoffe die Kalkalkalimagmen anders verhalten als die Alkalimagmen; beide Reihen verlieren ja selbst in den kieselsäurereichsten Gesteinstypen sehr viel von ihren charakteristischen chemischen und mineralogischen Merkmalen. Es mag aber beiläufig erwähnt werden, daß der eigentümliche Typus der Tellurgoldgänge sowohl in pazifischen wie in atlantischen Gesteinsprovinzen bekannt ist und daß z. B. die an die norwegischen Natronsyenite gebundenen Kontaktlagerstätten sich nicht von solchen unterscheiden, die wir anderswo neben Graniten oder Granodioriten der Kalkalkalireihe antreffen.

Wesentlich ist, daß das Auftreten der epigenetischen Lagerstätten sich sehr häufig über weite Gebiete erstreckt und daß sie innerhalb

derselben häufig ein unverkennbares stoffliches Gepräge besitzen, das auf einen sehr weit ausgedehnten Ursprungsherd, also auf eine weite, ländergroße Magmazone hinweist, der ursprünglich die ausgestoßenen Metalle eigentümlich waren, während sie im gleichen Maße in anderen Magmazonen wohl nicht enthalten gewesen sind. So ist der Bereich der tertiären Eruptivgesteine auf der Innenseite des Karpathenbogens in einer Ausdehnung von etwa 600 km bekanntlich reich an Gängen, die neben anderen Metallen und Silber verhältnismäßig viel Gold führen. Die gleichfalls der pazifischen Gesteinsreihe angehörigen Magmen des mexikanischen Hochplateaus haben in der ganzen ungefähr 800 km langen Zone fast nur Silbererzgänge, zwar mit ähnlicher Beschaffenheit wie jene, aber mit nur wenig Gold ergeben. In Lappland ist der Durchbruch von Natronsyeniten über ein weites Gebiet, worin die beiden hauptsächlichsten Lagerstättenzentren Kiruna und Gellivare allein ungefähr 100 km voneinander entfernt sind, von der Ausstoßung von apatitführenden Eisenerzlösungen begleitet gewesen und möglicherweise gehört der Hunderte von Kilometern davon entfernte Eisenerzdistrikt von Mittelschweden mit seinen Natrongranuliten einer und derselben riesigen Eisenzone an. Ganz besondere chemische Verhältnisse weisen viele Erzgänge auf, die auf der interandinen Hochebene von Bolivien über eine 800 km weite Zone verbreitet sind: die dortigen, an saure eruptive Durchbrüche gebundenen Silbererzgänge führen vielfach Zinnerz und außerdem kommen dort an einigen zerstreuten Punkten Verbindungen des sonst so spärlich verbreiteten Germaniums vor. Als ein weiteres Beispiel kann die 180 km lange und etwa 7 km breite Kupferzone am Südufer des Oberen Sees erwähnt werden, als ein weiteres die pazifische Quecksilberzone, die sich von Los Angeles bis in die Breite von San Francisco über eine Erstreckung von rund 500 km hinzieht.

Manche Granitintrusionen sind geradezu umschwärmt von Zinnerzgängen, in der Nähe anderer fehlen sie vollständig, ohne daß sich eine Ursache für dieses abweichende Verhalten erkennen ließe. So sind die spätpaläozoischen Granitmassen von der Elbe bis ins Fichtelgebirge, das sind etwa 175 km, Zinnerzbringer gewesen. Im Harz, im Schwarzwald und den Vogesen sind neben den etwa gleichalterigen Graniten Zinnerzlagerstätten nicht bekannt. In Cornwall sind innerhalb eines 130 km langen und bis zu 35 km breiten Landstriches die Granitstöcke von Zinnerzgängen umschwärmt, die den nordenglischen paläozoischen Graniten fehlen.

Diese Beispiele ließen sich leicht vermehren. Ihre Bedeutung für unsere Anschauungen über die Ausdehnung einheitlicher Magmenherde im Erdinnern liegt wohl klar zutage.