Dans le même ordre d'idées et de sentiments M. Pierret publiera un article sur notre membre honoraire décédé, M. Guill. Capus.

M. Klein présente des feuilles d'érable infestées par le discomycète Rhytisma acerinum (Phacidiineae) avec les taches noires caractéristiques. (Schwarzfleckenkranke Ahornblätter.)

Lundi, 21 novembre 1932.

M. Medinger présente un bouchon en liège attaqué par du chloroforme probablement impur et exposé au soleil. L'oxygène de l'air contenu dans le flacon en présence de la lumière solaire décompose le chloroforme d'après l'équation:

$CHCl_3 + O = COCl_2 + HCl$. $COCl_2$ est le phosgène, gaz éminemment toxique. HCl attaquerait le liège.

Le chloroforme chimiquement pur ne paraît pas subir ces altérations pourvu qu'il soit conservé dans des flacons bruns. Le chloroforme dont parle M. Medinger, avait servi à faire la détermination de cholestérine dans le sang. M. Medinger continuera ses recherches pour élucider la question.

M. Medinger expose ensuite un projet de règlement d'exécution de notre loi sur les denrées alimentaires, datant de 1881. Il fait voir les difficultés nombreuses que rencontre son travail qui ne doit ni léser les intérêts des commerçants ni ceux des consommateurs. L'exposé de M. Medinger extrêmement intéressant est vivement applaudi.

F. HEUERTZ.

Erzlagerstättenbildung und Gebirgsbildung.

Von Dr. **M. Lucius.**

(Fortsetzung.)

Der Zusammenhang zwischen Orogenese und Plutogenese ist aber hiermit noch nicht erschöpft. Der Entwicklungszyklus eines werdenden Gebirges wird durch die plutogenetischen Vorgänge noch insofern genauer gekennzeichnet als den verschiedenen Phasen der orogenetischen Entwicklung verschiedene Phasen der Plutogenese entsprechen, die sich im Mechanismus des Empordringens des Schmelzflusses und in dem ändernden Chemismus der magmatischen Bildungen unterscheiden.

Die Geosynklinale und das aus ihr entstehende Faltengebirge besitzen also eine reiche magmatische Entwicklung, die in gesetzmäßiger Folge abläuft, und die den andern Bauelementen der Erdrinde fehlt. Wenn nun bestimmte magmatische Typen an bestimmte Phasen der Orogenese gebunden sind, so muß auch eine gewisse Folge in dem Auftreten der Erzlagerstätten in den geosynklinalen Gebieten festzustellen sein. Unter diesem Gesichts-

punkt soll die parallele Entwicklung der Geosynklinale und der Plutogenese etwas näher betrachtet werden.

1. Die Geosynklinale ist ein Gebiet großer Beweglichkeit mit einer reichen Sedimentation, die auf eine Entstehung in größerer Tiefe hindeutet. Die reiche Sedimentation bildet die vorbereitende Phase der Auffaltung zum Gebirge. Diese Vorphase der Gebirgsbildung ist durch Intrusionen und subaquatische Ergüsse ultrabasischer Gesteine gekennzeichnet, welche die Sedimente der Geosynklinale von denjenigen des Schelfgebietes unterscheiden. Aber auch der Erzinhalt des Schelfgebietes aus dieser Phase ist ein anderer und ist gewöhnlich sehr kümmerlich entwickelt. Als Intrusionen dieser Phase der Geosynklinale kennen wir Peridotite, Pyroxenite, Gabbro, welche oft in Serpentin umgewandelt sind. War bei der Intrusion der Druck der aufliegenden Sedimente geringer als die Expansionskraft des Magmas, so kam es zu Ergüssen und die Sedimente wechsellagern mit Laven und Tuffen, welche als Diabastuffe und Schalsteine oder als Ophiolithe in den kaledonischen, hercynischen und alpinen Faltungsphasen bekannt sind. In Anatolien konnte ich längs des Schwarzen Meeres ein Schelfgebiet feststellen; hier fehlen die gewöhnlich als «Grünschiefer» zusammengefaßten ultrabasischen Gesteine und die sie begleitenden Chromite vollständig. Der übrige Teil des Landes, begreifend den zentralen und südlichen Teil, war von den ältesten Perioden bis zum Tertiär ein Gebiet der Geosynklinalen mit reicher Entwicklung ultrabasischer Erstarrungsgesteine, an welche bedeutende Chromit- und Kupfervorkommen gebunden sind.

2. Zu Beginn der Auffaltung erfolgt weitere Differentiation des gabbroïden Magmas und Aufstieg längs den großen Verschiebungsflächen innerhalb der jüngeren Gesteinsfolge. Es kommt kaum mehr zu Ergüssen, sondern nur zur Ausbildung von Tiefengesteinen in größerer Tiefe, wodurch die normale Abwicklung der Differentiationsfolge und die normale Reihe von Erzlagerstätten begünstigt wird. Pyroxenreichtum, Vorwalten von Kalkfeldspat und Wasserarmut kennzeichnen die Gesteinstypen. Die Kristalle sind oft deutlich gepresst und zerrieben, ein Zeichen, daß die Gebirgsbewegung zu gleicher Zeit stattfand. Die Gesteine besitzen gewöhnlich größere Mannigfaltigkeit als in der Phase der Sedimentation und sind kieselsäurereicher. Die Familie der Diorite ist vorherrschend. Die Vererzung ist oft mannigfaltig.

3. Am Abschluß der Faltung treten dann die kieselsäurereichsten Glieder auf. Die Granite bezeichnen das Ende der orogenetischen Phase.

Nach Beendigung der Faltung ist die vulkanische Tätigkeit je nach den verschiedenen Zonen des Faltengebirges eine verschiedene.

a) In den Vorsenken (Außensaum) fehlt der Vulkanismus meistens, wie dies im schweizerischen Mittelland, auf der bayrischen Hochebene, im Wiener Becken, in Galizien beispielsweise zu beobachten ist.

b) Das eigentliche Faltenland zeigt nach Abschluß der Faltung ebenfalls im Allgemeinen keine Extrusionen mehr. Man beobachtet solche höchstens in den schmalen Einbruchszonen der Innensenken. Die Porphyrergüsse des Saargebietes treten zum Beispiel im Gebiete solcher zur hercynischen Faltung gehörender Innensenken auf.

c) Der Innenrand der Faltengebirge, den wir indeß nur von den tertiären Faltungsgebieten kennen, stellt ein Gebiet großer Einbrüche dar mit reger vulkanischer Tätigkeit, wie das im oberitalienischen Seengebiet, am Karpatheninnenrand und am Rande des thyrenischen Meeres (als Innenrand des Apennin) zu beobachten ist.

Chemisch weichen die auf diesen Einbrüchen austretenden Magmenergüsse von denen des Faltengebirges ab. Sie gehören vorwiegend zur atlantischen Sippe mit Vorwalten der Alkalimineralien.

Auch in den Schelfgebieten, welche während einer orogenetischen Phase nur intensiv disloziert wurden, kann es zu bedeutenden Magmaergüssen kommen, wie das in der ostpontischen Scholle in der Südostecke des Schwarzen Meeres der Fall ist. Auch diese Gesteine gehören chemisch vorwiegend zur atlantischen Sippe.

Es geht hieraus hervor wie die verschiedenen Gesteinsprovinzen den verschiedenen Formen der tektonischen Bewegung zugeteilt werden können. Diese Zuteiligkeit muß aber auch für die Erzprovinzen Gültigkeit haben, da ja die Erzbildungen Produkte der magmatischen Differentiation sind und daher zur erschöpfenden Charakteristik einer Gesteinsprovinz gehören.

Der Zusammenhang zwischen tektonischer Bewegung und Erzlagerstättentypus kann nun aber auch durch folgende Erwägungen klar gestellt werden. Je tiefer ein in der Erstarrung begriffener Magmaherd liegt, desto schwerer ist es für die Restlösungen in die höher gelegenen Partien der Hüllschichten einzudringen, falls nicht in der gleichen Zeit wo die Erstarrung der Intrusionsmasse vor sich geht, auch Lockerung des Gesteinsgefüges sowie Bruch- und Spaltenbildung erfolgt. Nur da wo dies der Fall ist, und dazu gehören ja vor allem die Faltengebiete, können auch die weniger Intrusionskraft besitzenden hydrothermalen Lösungen Erzgänge bilden. Hierauf beruht also der Zusammenhang zwischen der vollständigen Abwicklungsfolge der verschiedenen Erzlagerstättentypen mit den tektonischen Vorgängen in einem gegebenen Rindenstück der Erde.

Wenn nun die meisten der Erforschung zugänglichen Erzlagerstätten in den Gebieten der Faltengebirge angetroffen werden, so beruht das darauf, weil die Faltung mit starker plutonischer Tätigkeit verbunden ist und Bruch- und Faltenbildung hier reichlich auftritt. Da die normale Abfolge der verschiedenen Erzlagerstättentypen nur mit einer gewissen Tiefe sich entwickelt, denn auch die häufigsten Lagerstättentypen, die Erzgänge, verlangen eine gewisse Bildungstiefe, so bedarf es einer intensiven Erosion damit die Erzlagerstätten der Beobachtung und dem Abbau zugänglich werden. Die Faltung der Sedimente einer Geosynklinale und die Intrusion des Magmas kann in der Tiefe, unter Meeresbedeckung vor sich gehen. Damit die morphologische Form eines Hochgebirges zu Stande komme, bedarf es einer kräftigen Heraushebung der geschaffenen Falten und dadurch wird der Erosion eine kräftige Handhabe geboten, sodaß auf die Heraushebung eine intensive Abtragungsperiode folgt. Da man den Betrag der Abtragung im allgemeinen dem Alter der Gebirgsbildung proportional setzen kann, so hängt es also vom Alter der tektonischen Bewegung ab, welche Form von Lagerstätten noch erhalten blieb. In diesem Zusammenhang entsprechen verschiedene alte Perioden der Gebirgsbildung Erzlagerstätten verschiedener Form und verschiedenen Inhaltes.

Hiermit hängt es zusammen, daß gewisse Eruptivgesteine der Kali- und Natronreihe nur als nachtertiäre Bildungen häufig sind, nicht weil sie in vortertiären Perioden weniger häufig gebildet wurden, sondern weil sie als Oberflächenbildungen schnell der Erosion unterliegen. Ebenso kennt man die an vulkanische Vorgänge gebundenen sogenannten jungen Erzformationen, aus ältern Perioden nicht, weil sie der Abtragung anheimgefallen sind. In noch ältern tektonischen Gebieten wurden auch die näher der Oberfläche liegenden hydrothermalen Bildungen, die sog. Erzgangformen, zerstört, so daß man aus solchen Gebieten nur die pyrometasomatischen oder liquid-magmatischen Lagerstättenformen kennt. Kontaktbildungen und magmatische Ausscheidungen trifft man deshalb gewöhnlich als herrschende Lagerstättenformen in den älteren Kernen der Erdrinde.

Wenn es nun im allgemeinen zutrifft, daß zu jeder spezifischen großen Gebirgsbildungsperiode ein spezifischer Lagerstättentypus gehört, so können doch auch in alten, relativ tief denudierten Gebieten noch solche Typen angetroffen werden, die im allgemeinen zu höheren Teilen der Deckhülle gehören. Dies hängt damit zusammen, dass die zu einem bestimmten Magmaherd gehörenden Erztypen nicht bloß in der gleichen Zeit aber in zunehmenden Abständen von dem Magmaherd, aber auch am gleichen Ort aber mit der zunehmenden Zeit ändern.

Die an einen bestimmten Punkt gelangenden Erzlösungen

müssen nämlich im Laufe der Zeit die Zusammensetzung ändern, da mit fortschreitender Abkühlung durch sukzessive Auskristallisation der Chemismus der Lösungen ändert. Auf diese Weise können auf pneumatolytischen Lagerstätten als jüngere Bildungen hydrothermale Ausscheidungen angetroffen werden, so daß sich am gleichen Orte Erztypen vorfinden, die zwei verschiedene Stadien der Differentiation darstellen. In Wirklichkeit hat ja auch hier eine örtliche Verschiebung stattgefunden, denn mit fortschreitender Abkühlung konzentrierte die bei der Erstarrung freibleibende Restlösung sich im Innern der Intrusionsmasse und wanderte dann etwa noch bis zur Peripherie der Intrusivmasse wo in früheren Stadien die pneumatolytischen Bildungen sich absetzten, während damals die Restlösung von der noch nicht erstarrten Peripherie weit in die Hüllschichten vordrangen. Was also früher magmanahes Gebiet war ist zum magmafernen geworden.

Klarer noch als die zu verschiedenen Zeiten am gleichen Orte auftretenden chemischen Veränderungen müssen die mit der Entfernung vom Intrusionsherd auftretenden, gleichzeitigen Veränderungen bemerkbar sein, die wir als gleichzeitige laterale Veränderungen ansprechen können. Je mehr die Restlösungen vom Magmaherd abwandern, desto mehr wird die Temperatur derselben und wohl auch der Druck abnehmen. Die Ausfällung der pneumatolytischen Bildungen vollzieht sich also in größerer Nähe des Bildungsherdes, während die hydrothermalen Lösungen weiter von demselben abwandern, ehe sie sich zur Mineralbildung verdichten. Die verschiedenen Erscheinungsformen der Erzlagerstätten sind also theoretisch als Aureolen um einen Mittelpunkt angeordnet. Die liquidmagmatischen liegen dem Zentrum am nächsten, die hydrothermalen *) sind am weitesten davon abgerückt, dazwischen liegen die pneumatolytischen. Die Bildung dieser drei Formen kann fast gleichzeitig und in relativ kurzer Zeit erfolgen. Die Erzbildungen sind nur kurze Episoden in dem Rahmen der geologischen Zeiträume.

Da die zu einem Orogen (Gebirgseinheit) gehörenden Erzlagerstätten als ungefähr gleichalterig angesehen werden können, so darf man annehmen, daß in großen Zügen bei allen in der gleichen metallogenetischen Epoche gebildeten Erzlagerstätten ein gleicher Haupttypus durch die Erosion freigelegt wird. Welcher Haupttypus in die Erscheinung tritt, resp. welcher noch erhalten blieb, das hängt ja von der Erosion und demgemäß von dem geologischen Alter der Bildungszeit ab. Je weiter die Gebirgsbildung zurückliegt, zu der eine metallogenetische Provinz gehört, desto tiefer liegende Lagerstättenformen werden durch die Erosion freigelegt sein und desto geringer wird die Mannigfaltigkeit der Typen sein.

III.

Wie bereits eingangs erwähnt unterscheidet de Launay drei Perioden starker Vererzung und in diesen Perioden bilden sich in verschiedenen Gebieten der Erde Vererzungsgemeinschaften aus, die er als metallogenetische Provinzen unterscheidet. Er unterscheidet die vorkambrische, hercynische und alpine metallogenetische Epoche, die er für Europa als skandinavischen, hercynischen und alpinen Typus auseinanderhält. So unterscheidet er beispielsweise in Italien innerhalb des alpinen Typus eine Quecksilber-Antimonprovinz, die an die jüngsten Ergüsse am Innenrand der Alpen gebunden ist, eine Zinkblende-Bleiglanz-Pyritprovinz, an granitische Gesteine gebunden, eine Kupfererzprovinz, die mit «Grünschiefer» vergesellschaftet ist. Die Dreiteilung de Launay's ist auch von Lindgren (Mineral Deposits, 1928) übernommen worden, während Obrutschew (Die metallogenetischen Epochen und Gebiete von Sibirien, 1926) sechs Epochen auseinanderhält. Niggli unterscheidet Lagerstätten der Archaïden, begreifend bereits im Archaïkum erstarrte Erdkerne, der Proteroïden, umfassend die proterozoischen Gebirgsbildungsstadien, die Palaïden, begreifend die kaledonischen und hercynischen Gebirgsbildungen und die Mesoïden, umfassend die vom Mesozoïkum bis zur Jetztzeit gebildeten Großformen. Da es schwer ist die Archaïden und Proteroïden auseinander zu halten, so entspricht Niggli's Einteilung praktisch der Dreiteilung de Launay's.

1. Vorkambrische Epoche — Archaïden und Proteroïden.

Die Bildungen dieser Epoche umfassen die ältesten Kerne der Kontinente. Diese Kerne bestehen aus kristallinen Schiefern der tiefsten Zone (Katazone), durchsetzt von interkrustalen Plutoniten. Intensive Orogenese und Plutogenese verbunden mit starkem Metamorphismus haben den ursprünglichen Habitus der Gesteine vollständig verwischt. Infolge starker und lang anhaltender Erosion sind die tiefsten Teile der Intrusionsmassen freigelegt. Es müssen also diejenigen Lagerstättenbildungen erhalten sein, welche im Körper der Tiefgesteinsmassen selbst oder in der unmittelbaren Nähe derselben gebildet wurden, während die vom Magmaherd höher ins Deckgebirge abgewanderten bereits abgetragen sind. Wir begegnen also vorherrschend liquid-magmatischen und plutonisch-pneumatolytischen Lagerstätten, die unter hohen

*) Lindgren unterscheidet bei den hydrothermalen Lagerstätten drei Unterabteilungen, je nach der Temperatur, bei der sie abgesetzt wurden, wobei die Temperatur mit der Erdtiefe im direkten Zusammenhang steht. Er unterscheidet:

Hydrothermale Lagerstätten: a) hydrothermal — große Tiefe; b) mesothermal — mittlere Tiefe; c) epithermal — erdoberflächennahe. (Lindgren, Mineral Deposits, 1928.)

Drucken und hohen Temperaturen gebildet werden. Dazu kommen pyrometasomatische Bildungen (Kontaktbildungen im weiteren Sinne), Fahlbänder und injizierte Kieslagerstätten. Hochhydrothermale (hypothermale) Bildungen sind selten erhalten geblieben; die vulkanisch-kontinentalen Bildungen sind ganz verschwunden, während die in den tieferen Teilen der Geosynklinalen sich vorfindenden vulkanisch-submarinen Bildungen erhalten blieben.

Nur spärliche Ergußgesteine aus jüngern Perioden durchsetzen die seit den ältesten Zeiten verfestigten Kerne. Gewöhnlich sind diese jüngern Ergüsse nicht von Erzbildung begleitet. Beim etwaigen Auftreten von Erzgängen in den alten Kernen ist es leicht möglich, daß diese Gänge mit dieser jüngern magmatischen Aktivität im Zusammenhang stehen.

Charakteristische Erztypen der vorkambrischen Metallogenese sind: Apatit- und Titaneisenerze, goldführende Kieslager, goldführende Quarzgänge, Chromit, Edelsteinpegmatite, Nickel-Magnetkies, gediegen Kupfer.

2. Hercynische Epoche — Palaïden.

Diese Epoche umfaßt die Zeiten der kaledonischen und hercynischen Faltenbildungen. Die Entwicklung des Gebirgsbaues im Zusammenhang mit den verschiedenen Entwicklungsstufen der Plutogenese läßt sich bereits klarer übersehen. Die magmatische Aktivität beginnt während der Bildung der Sedimentation in den Geosynklinalen mit ultrabasischen vulkanisch-submarinen Ergüssen, dann begleiten intermediäre bis saure Intrusionen den Verlauf und den Abschluß der Faltung. In den kaledonischen Gebirgen sind natürlich meistens nur die tiefer gelegenen ultrabasischen Erstarrungsgesteine erhalten geblieben, in den hercynisch gefalteten Gebieten erscheinen dann mehr die Bildungen nach dem sauern Pole hin. Während in den kaledonischen Faltengebieten die liquid-magmatischen Lagerstätten noch vorherrschen, treten in den hercynischen Faltengebieten die pneumatolytischen und hydrothermalen Bildungen in den Vordergrund. Die Erzgänge beherrschen das Bild, die andern Lagerstättentypen treten weniger in Erscheinung.

In kaledonischen Faltengebieten sind vorherrschend: Magnetkieslager, Titanerze, Chromite. Im hercynischen Gebirge haben wir reichliche Entwicklung der Zinnerzformation, dann Goldlagerstätten, Kupfererze und die Blei-Zink-Pyritformation.

3. Alpine Epoche — Mesoïden.

Die Mesoïden umfassen zwei Gruppen von Faltungsgebieten: a) die aus der Geosynklinale des alten Mittelmeeres (Thetys) entstandenen Alpinen, die sich in West-Ostrichtung durch ganz Eurasien hinziehen; b) die zirkumpazifistische Zone, welche Ostasien mit den vorgelagerten Inselbögen und die beiden Amerika mit den

Kordilleren umsäumt. Die eurasische Zone ist (abgesehen von Kleinasien und dem Südkaukasus) ärmer an magmatischer Aktivität als die zirkumpazifische Zone. Die Erzführung ist hier auch reicher als im ersteren Gebiet.

Auch in den Mesoïden beginnt die Plutogenese während der Sedimentation in den Geosynklinalen mit Extrusionen und Intrusionen von ultrabasischen «Grünsteinen», während gegen Beginn der Faltung mehr intermediäre Typen auftreten und die Hauptergüsse mit sauerm Gestein am Schluß der Faltung liegen. Besonders schön ist diese Reihenfolge in Anatolien im Gebiet der Dinariden und der Tauriden entwickelt. Nach Abschluß der Faltung ist die magmatische Tätigkeit auf die Innensenken und den Innenrand beschränkt. So liegen auch in Anatolien die jüngsten Ergüsse am Innenrand der Tauriden.

Im Vorlande sind Magmaergüsse selten und meist vom atlantischen Typus. Sie zeigen kaum Erzführung.

Die Lagerstätten umfassen plutonisch-pneumatolytische, plutonisch-hydrothermale und vulkanische Bildungen. Die Erzgänge herrschen bei weitem vor. Man darf annehmen, daß die tiefer gelegenen und an den Magmakörper selbst oder an dessen Peripherie gebundenen Lagerstättentypen ebenfalls ausgebildet wurden. Doch sind sie nur in Ausnahmsfällen durch die Erosion freigelegt.

Charakteristische Erztypen der Mesoïden sind: Die junge Gold-Silberformation, die Blei-Zinkerze, die Antimon-Quecksilbergruppe, die Silber-Zinnformation, weiter Kupfererze und Silbererze. Die Hälfte alles Silbers stammt aus dieser Epoche.

Natürlich sind in diesen jüngern Bildungen die primären Formen der Erzführung am reinsten erhalten geblieben. In den ältern und ältesten Bauelementen der Erde ist das Bild durch sekundäre Veränderungen oft verwischt. Aber nur dadurch, dass wir diese alten Bauelemente mit heranziehen, können wir das Gesamtbild der Erzführung zeitlich und räumlich vervollständigen.

Wenn man die verschiedenen Epochen der Orogenese mit der Verteilung der verschiedenen Lagerstätten nach Form und Inhalt vergleicht, ist der Zusammenhang zwischen Orogenese, Plutogenese und Erzführung überzeugend ersichtlich. Die Gesteinsprovinzen und die metallogenetischen Provinzen charakterisieren die verschiedenen Bildungszeiten eines Orogens so scharf, dass sie wesentlich dazu beitragen, die Entwicklungsgeschichte einer Geosynklinale zum Faltengebirge vollständig und erschöpfend darzustellen.

Die nachstehende Tabelle soll charakteristische Beispiele dafür bringen, wie die Verteilung und die Lagerstättenform der magmatischen Erztypen mit der geologisch-tektonischen Geschichte der Erde im genetischen Zusammenhang steht.

A. — **Archaiden und Proteroiden**

№	Geologisch-tektonisches Gebiet	Erzbezirk	Haupterztypus
1	2	3	4
1	Finnisch-skandinav. Schild	Norbotten { Kirunavaara, Luosavaara, Gelivare etc.	Apatiteisenerz
		Taberg, Routivare	Titaneisenerz
		Ekersundgebiet (Norw.)	„
		Smaland (Klefa)	Nickel-Magnetkies
		Östergötland, Lundören	Ni-Magnetkies mit Pyrit und Kupferkies
		Falun	Goldführender Kupferkies
		Kristianagebiet	Magnetit, Eisenglanz { vorherrschend; Kupferkies, Bleiglanz, Zinkblende, Wismutglanz { untergeordnet
		Kongsberg	Magnetkies, Schwefelkies, Silberglanz, Zinkblende, gediegen Ag u. zeolithisches gedieg. Cu
2	Sibirische Tafel	Lena-Quellgebiet, Amur- „, Baikal-Gebiet, Altai- „, Seja- „	Goldführende Quarzgänge
3	Sinische Tafel	Manschurei, Tschantung, Korea	Gold, Tungsten, Molybdän { nur aus Seifen gewonnen
4	Indische Tafel	Kolargoldgebiet (Mysor)	Goldquarzgänge mit Pyrit und Pyrrhotin, Turmalin
		Salemdistrikt	Chromit
		Darjeelingdistrikt (Sikhim)	Kupferkies
		Burma	Blei-Zinkerze
		Ceylon	verschied. Edelsteine
		„	Graphit

präkambrische Epochen = skandinavischer Typus.

Gesteine mit denen das Erzvorkommen in genetischem Zusammenhang steht (Geologische Position)	Genesis	Bemerkungen
5	6	7
Syenitporphyr Quarzporphyr	liquid-magmat. bis pneumatolitisch	Die gepressten Eruptivgesteine lagern konkordant den kristallinen Schiefern, Quarziten u. Konglomeraten archäischen Alters
Olivingabbro	liquid-magmatisch	
Labradorfels	„	Grundgebirge: gepresster Granit und Gneis
Quarznorit u. Gabbrodiorit	„	
Diorit und Olivindiabas	„	Tritt an der liegenden Grenze gegen den metamorphen Schiefer auf
Quarzit u. Granulitgneis	Sedimentär m. nachfolg. pyrometasomat. Umwandlung	Genesis nicht ganz sicher
Am Kontakt von kristall. Schiefern und Intrusivgestein: Natrongranit und Natronquarzsyenit	pyrometasomatisch	Da neben dem präkambrischen Grundgebirge auch etwas Silur auftritt, gehören die Erze wohl zu den Paläiden
gepresster Natrongranit (Gneis); Quarzdiorit, Gabbro	intrusive Fahlbänder	Feine lagenförmige Einsprengungen im Irruptivgestein u. in angrenzenden kristall. Schiefern
Pegmatite und Quarzgänge in präkambrischem Granit, Syenit und Amphibolgneis	pneumatolitisch bis hypothermal	Grundgebirge: präkambrischer Schiefer; ein Teil der Goldquarzgänge gehört in die Paläiden
Granitische Intrusionen u. Quarzgänge im Gneis; auch metamorphe alte Seifen	hypothermal	Archäisches Grundgebirge durchsetzt von Granitgneis u. Pyroxenit
Pegmatitgänge u. Quarzgänge im Granit u. in kristall. Schiefern	pneumatolitisch u. hochhydrothermal	kristalline Schiefer und archäischer Gneisgranit
Dunit, Peridotit	liquid-magmatische Ausscheidungen	
Schiefer	Intrusionslager	archäische Schiefer
Rhyolith	hydrothermal	
Granulit im Schiefer	plutonisch-pneumatolitisch	
Charnokitgranit u. Gneis i. Kontakt mit Karbonatgesteinen	pyrometamorph.	Nach E. Weinschenk: pneumatol.

№	Geologisch-tektonisches Gebiet	Erzbezirk	Haupterztypus
1	2	3	4
5	Australische Tafel	Westaustral. Goldgebiet: Kalgoorli, Pilbara usw.	Tellur- Gold und goldführ. Quarzgänge
		Brokenhill N. S. W.	Blei-Zinkerze
		Wallaroo S. A. Burra-Burra S. A.	Kupferkies, Buntkupfererz
		Moonta S. A.	„ „
		Mount Lyell, Tasmania	Kupfergolderze
6	Afrikanische Tafel	Witwatersrand	Goldführ. Quarzkonglomerat
		Klein Namaland	Kupferkies, Magnetkies Molybdänglanz
		Rhodesia (Selukwe)	Chromit
		„ Nigeria	Zinnstein
		Kapgoldfeld (Kapland)	Goldquarzgänge (goldführender Pyrit)
		Rhodesia (Shamwa)	„ „
		Togo	Goldquarzgänge mit Freigold, Kupferkies, Bleiglanz
		Madagaskar	Goldquarzgänge mit Pyrit und Elektrum
		„	Columbat und Uraniumtantalat
		„	Graphit
		„	Chromit
7	Kanadischer Schild	Lake Superior	Eisenerz
		Sudbury	Nickel-Magnetkies

Gesteine mit denen das Erzvorkommen in genetischem Zusammenhang steht (Geologische Position)	Genesis	Bemerkungen
5	6	7
Quarzgänge u. Linsen mit Amphibolithen und Graniten	tiefhydrothermal	In hochmetamorphen archäischen Schiefern
Diorit, Pegmatit, Augengneis	Intrusionslager, hypothermal	In krist. Schiefern u. Quarziten
Glimmerschiefer	Erzgänge hydrothermal	
Quarzporphyr	Fahlbänder u. Gänge pneumatol. u. hydrothermal	
Serizitschiefer mit Porphyritintrusionen	hydrothermal	Serizitgneis aus sauern Porphyren hervorgegangen
Muttergestein unbekannt	metamorphe alte Goldseife	Vorkommen in präkambr. goldführenden Konglomerat, wohl umgewandelte marine Seife
Diorit	liquid-magmatisch.	Präkambrisch
Talkschiefer Serpentin Peridotit	„ „	„
Granitpegmatit	pegmat.-pneumat.	
Quarzgänge im Granit	hypothermal	
Quarzgänge in Chlorit und Hornblendeschiefer	„	Grundgebirge: kristalline Schiefer aus umgewandelten Eruptivgesteinen
Quarzgänge im Serizit-Schiefer und Hornblendegneis; turmalinführend	„	
Pegmatitgänge	pegmat.-pneumatol.	Kristall. Schiefer; vorkambrisch
„	„	„
Gneis u. Glimmerschiefer	?	
Serpentin u. Peridotit		
Keewatin-Grünstein	vulkan.-submarin u. zugleich sedimentär	Im archaischen Gebirge
Kontakt von Norit mit älterem Granitgneis	liquid-magmatisch	vorkambrisch

№	Geologisch-tektonisches Gebiet	Erzbezirk	Haupterztypus
1	2	3	4
7	Kanadischer Schild (Forts.)	Cobalt (Ontario)	Ni — Co — Ag-Erze
		Porcupina „	Goldführender Quarz mit Arsenkies
		Lake Superior	Zeolithische gediegene Kupferformation
		Adirondak, N. Y.	Graphit
		„	Titaneisenerz
		Quebeck	Molybdänglanz
		Kordilleren	Goldführender Quarz mit Pyrrhotin u. Arsenkies
8	Brasilianische Tafel	Minas Geraes	Goldführender Quarz mit Pyrrhotin u. Arsenkies (ohne Turmalin)
		„	goldführ. Quarz mit Pyrrhotin u. Turmalin
		„	Itabirit (Eisenglimmererz)
		Sao Paulo	Titaneisenerz
			B. — **Die Paläiden** =
9	Kaledonisches Faltengebirge Europa's	Trondjemgebiet	Eisensulfiderze
		„	Intrusive Kieslager von Pyrrhotin u. Pyrit
10	Hercynische Faltung Europa s	Cornwall	Zinnstein mit Kupfererzen u. Bleiglanz
		Sachsen	Zinnstein mit Kupferkies, auch etwas Bleiglanz
		Bretagne	Zinnstein, Molibdänglanz, Kupferkies, Bleiglanz.
		„	Wolfram u. Zinnstein
		Rio-Tinto	Pyrit mit etwas Chalcopyrit u. Bleiglanz

Gesteine mit denen das Erzvorkommen in genetischem Zusammenhang steht (Geologische Position)	Genesis	Bemerkungen
5	6	7
Kalkspatgänge im Diabas	mesothermal	Keweenawan formation (archäisch)
Gänge im Quarzporphyr, im Syenit u. im Keewatingrünstein	hypothermal	
Basaltlava	In Blasenräumen d. Lava: hypothermal	Basaltdecken i. d. Keweenanserie; präkambrisch
Quarzgraphitschiefer i. Granatgneis u. Kalk	pyrometasomatisch	Präkambrium
Syenitgneis im Syenit	liquid-magmatisch	„
in Pegmatiten	pegmatit.-pneumat.	
Adern u. Linsen von Quarz mit Karbonaten und Hornblende	hypothermal	In kristall. Schiefern sediment. Ursprungs in Nähe von Granit
Quarzgänge im Kalk u. kristall. Tonschiefer	„	Präkambrium
Pegmatite	pegmatit-pneumatolit.	„
Im Itakolumit (Krist. Sandstein)	Sedimentär m. späterer Metamorphose	„
Nephelinsyenit	magmat. Ausscheidung	„
kaledonische u. hercynische Faltung.		
Diabase	vulkan. submarin u. biochemisch	Cambro-silurische Schiefer
Metamorphe Schiefer durchsetzt v. Eruptivgest. v. Gabbro bis zum Granit	magmatitisch-pegmatitisch	id.
im Alkaligranit	pneumatolytisch	Oberkarbon
„	„	Karbon-Rotliegendes
Granit	„	Kambrium
metamorphe Schiefer	hypothermal und pneumatolitisch	„
Im Schiefer nahe Kontakt von Granit u. Porphyrit, durchsetzt von basischen Gängen	metasomatisch-hydrothermal im Zusammenhang m. den basischen Gängen	Devon u. Karbonschiefer

№	Geologisch-tektonisches Gebiet	Erzbezirk	Haupterztypus
1	2	3	4
10	Hercynische Faltung Europa's (Forts.)	Rammelsberg (Harz)	Lagergang mit Zinkblende, Chalcopyrit, Bleiglanz, Pyrit und Arsenkies
		Erzberg (Steiermark)	Siderit z. T. in Brauneisen verwandelt
		Moresnet	Zinkblende, Bleiglanz, Pyrit
		Sardinien	„ „ „
		Ural	Goldquarzgänge
			Platinmetalle
			Magnetit
			„
			Braun- und Spateisen
			Kupfererz
11	Hercynische Faltung ausserhalb Europa	Kirgisensteppe	Kupfererz und silberhaltiges Blei-Zinkerz oft mit Gold
		Altai	Zinkblende, Bleiglanz, Pyrit u. Chalcopyrit
		„	Mit vorherrschendem Chalcopyrit
		Nertschinsk (Sibirien)	Silber- Blei- Zinkerze
		Mount Bishoff (Tasmanien)	Zinnformation
		Malayische Inseln Burma, Siam	Zinnstein
		Japan	Kassiterit, Wolfram, Chalcopyrite, Zinkblende, Fluorite

Gesteine mit denen das Erzvorkommen in genetischem Zusammenhang steht (Geologische Position)	Genesis	Bemerkungen
5	6	7
Vorkommen im Devonschiefer	mesothermal; vielleicht in Verbindung mit dem 3 Km entfernten Granitstock	
Eingelagert in Kalk silur.-devon. Alters; darunter Porphyroid	metasomatisch; wohl mesothermal, in Verbindung mit Erzgängen telemagmatisch	
Im Kalk am Kontakt mit Schiefer	metasomatisch, wohl in genetischer Beziehung zu Erzgängen. telemagmatisch	Devon-Karbon
im Kalk	metasomatisch; vielleicht aszendierende Lösungen aus dem Granit	Kambrium bis Devon
In Granitpegmatiten, oft mit Turmalin	hypothermal	Karbon
Dunit, Pyroxenit	liquid-magmatisch	palaeozoisch; nur in Seifen abgebaut
Gabbro	„ „	Devon-Karbon
im Kalk im Kontakt mit sauern Eruptiva	pyrometasomatisch	„ „
Dolomit u. Kalk	metasomatisch	„ „
im Kalk im Kontakt mit Syenit	pyrometasomatisch	Karbon
Kalk von Granit und Porphyrit durchsetzt	mesothermal	
Im metamorphen Gestein	Linsen, Gänge, Fahlbänder; mesothermal	
in Granit und Porphyr	mesothermale Gänge	
Kalk am Kontakt von Granit u. durchsetzt v. Granit	pyrometasomatisch und hydrothermal	
kristall. Schiefer durchsetzt von Turmalingranit	pneumatolitisch	Silur und Devon
Permo-triadische Kalke durchsetzt von Granit	pneumatolitisch	Lagerstätten der Mesoiden
palaeozoische Schiefer durchsetzt von Dioriten	pneumatolitisch bis hochhydrothermal	ähnlich wie die Zinnvor- von Chokaya in Bolivien

№	Geologisch-tektonisches Gebiet	Erzbezirk	Haupterztypus
1	2	3	4
11	Hercynische Faltung ausserhalb Europa (Forts.)	Tasmania	Kassiterit imprägnationen
		Niederburma	Wolframerze
		Ost-Australien { Balarat, Bendigo, u. s. w.	Golderzgänge
		Sud-Wales, Queensland {	„
		Hill Grove (N. S. Wales)	Kassiterit, Mo-Wo-erze
		Queensland	Golderz mit Pyrit, Zinkblende u. Pyrrhotin
12	Appalachen (hercynisch)	Soklandistrikt	Zinkblende, Bleiglanz, Pyrit, Chalcopyrit
		Coeur d'Alenedistrikt	Bleiglanz, Siderit; silberhaltig
		C. — Die Mesoiden	
13	Mediterranes Kettengebirge	Traversella, Brossa { Piemont	Magnetit, Eisenglanz; sulfidische Erzgänge
		Elba	Magnetit, Hämatit, Pyrit
		Cabo de Gata, Mazarron, Cartagena { S. E. Spanien	Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Chalcopyrit, etwas Silber; Eisenglanz, etwas Hg; Alunit
		Karpatheninnenwand Siebenbürgen	junge Goldsilbergänge
		Banat	Eisenerz, Kupfererz
		Monte Catini (Italien)	gediegen Kupfer, Chalcopyrit, Chalcosin, Bornit
		Bor (Serbien)	Pyrit, Enargit, Covellin,

Gesteine mit denen das Erzvorkommen in genetischem Zusammenhang steht (Geologische Position)	Genesis	Bemerkungen
5	6	7
Kalk von Granit durchsetzt	hypothermal	
Granite und metamorphe Schiefer	pneumatolitisch bis hydrothermal	
Quarzgänge im Schiefer im Zusammenhang mit Granit	hydrothermal	Silur-Devon
Quarz im Konnex mit Diorit u. Granodiorit	mesothermal	„
Quarz micadiorit	hochhydrothermal	„
Gänge im Diorit	mesothermal	
Gänge im Schiefer, in genet. Beziehung zu Granit Quarzporphyr u. Lamprophyren	mesothermal	Karbon
Gänge im Serizitschiefer in Verbindung mit Monzonit		Monzonitdurchbrüche sind kretazisch
Falten vom alpinen Typus.		
Glimmerschiefer u. Kalk im Kontakt mit Diorit	pyrometasomatisch	Tertiäre Dioritdurchbrüche
Kalk, untergeordnet Schiefer im Kontakt mit Granit; Pegmatite	„	Sedimente silurisch bis eozän; Granit nacheozän
Gänge von Dazit u. Andesit im Glimmerschiefer und Dolomit	hydrothermal „	Eruptivdurchbrüche jungtertiär
Andesit und Dazit durchsetzen palaeozoische bis tertiäre Sedimente	„	Durchbrüche jungtertiär
Banatit durchbricht mesozoische Sedimente	pyrometasomatisch	Paläozän
Diabas u Olivingabbro, durchsetzen tertiäre Mergel u. Kieselschiefer	liquid-magmatisch mit nachträglicher Konzentration	Eozän
Andesit	pneumatolitisch und hydrothermal mit späterer Metasomatose	

№	Geologisch-tektonisches Gebiet	Erzbezirk	Haupterztypus
1	2	3	4
13	Mediterranes Kettengebirge (Forts.)	Toskana	Zinnober
		Almaden	„
		Kostaïnik (W- Serbien)	Antimonerz
14	Zirkumpazifisches Faltengebiet a) Nordamerikan. Gebiet	Goldzone von Kalifornien „ „ Kanada „ „ Alaska	a. Quarzgänge mit Freigold u. goldhaltigen Kiesen (Kretazisch) b. junge Goldsilbergänge
		Nevada (Comstock) Neu-Mexiko Idaho	Silbererze mit etwas Gold, wenig Blei und Zink
		Bleiprovinz von Colorado (Leadville)	Bleiglanz mit Silber häufig auch mit Kupfer
		Montana (Butte) Arizona Utah Nevada Mexiko	Kupfererze: Primäre Erze: Enargit und Schwefelkies; sekundäre Anreicherung
		Weaton River (Yukon)	Antimonerz mit viel Zinkblende - Bleiglanz mit Fahlerz
		Nevada	Antimonerz mit etwas Zinkblende u. Zinnober
		Utah	Antimonerz
		Steamboat (Nevada)	Zinnober, Antimon, Arsenik, Schwefel
		Sulphur Bank (Californien)	« »
15	Zentral und Süd-Amerika	Zentral-Amerika, (Mexiko)	Junge Gold-Silbergänge (Silber herrscht weit vor)
		Potosi (Bolivien)	Sliber-Zinnerz (Ag herrscht weit vor)
		Cerro de Pasco (Peru)	Silber und Enargit
		Orura (Bolivien)	Zinnerz mit Pyrit

Gesteine mit denen das Erzvorkommen in genetischem Zusammenhang steht (Geologische Position)	Genesis	Bemerkungen
5	6	7
Trachyt u. Rhyolith durchbrechen Kalk und Ton (mesozoisch bis eozän)	vulkanisch-hydrothermal	
Silurische Quarzite und Schiefer durchbrochen von Diabas	vulkanisch-epithermal	Diabasdurchbruch tertiär?
Triadische Kalke durchbrochen von tertiären Andesiten	hydrothermal, dann Metasomatose im Kalk	
Quarzgänge im Konnex mit Granit und Syenit	hydrothermal	kretazisch u. frühtertiär
Quarzgänge im Andesit und Dazit	vulkanisch-hydrothermal	postmiozän
Gänge im Rhyolith, Dazit und Andesit	epithermal	tertiär
Intrusionen von Granit, Monzonit und Diorit im Kalkstein	pyrometasomatisch u. hydrothermal, später metasomatisch umgewandelt	tertiär
In Verbindung mit Monzonit und Rhyolith	pyrometasomatisch u. hydrothermal	alttertiär
Gänge im Diorit, Grano-Diorit u. Andesit	hydrothermal	jurassisch bis tertiär
Quarzgänge in Rhyolith und Basalt	epithermal	?
Andesit	»	tertiär
vulkanische heisse Quelle	»	rezent
» » »	»	»
Im genetischen Zusammenhang mit jungen Ergüssen, hauptsächlich Andesit, seltener Rhyolith	epithermal	tertiär
Im Quarzmonzonit und Monzonitporphyr	hydrothermal	»
» »	»	»
Andesit und Quarzmonzonit	»	»

Nr.	Geologisch-tektonisches Gebiet	Erzbezirk	Haupterztypus
1	2	3	4
15	Zentral und Süd-Amerika (Forts.)	Chuquicamata (Chile)	Enargit
		Argentinien	"
		Kapkolonie u. Transvaal	Diamanten
		Kaurakigoldgebiet (Neuseeland)	Quarzgänge mit gediegenem Gold; Tellurgold, Tellursilber
		North Island (Neuseeland)	Quecksilber
		Japan	Antimon
		Nippon (Japan)	Kupfererz
		Japan, nördliche Inseln	Junge Goldsilbererze
		"	Schwarzerz (feinverteiltes Erz von Bleiglanz, Zinkblende und Kupfer)
		Japan, südliche Inseln	junge Goldsilbererze
		" " "	Silber- und Kupfererz
		" " "	Kupfererz

IV.

Die Abhängigkeit der Erzlagerstätten von den verschiedenen Stadien der magmatischen Erstarrung und die Abhängigkeit der in Erscheinung tretenden Lagerstättenform von dem Alter der tektonischen Bewegung ist nach dem Vorhergehenden wohl als gesichert anzunehmen.

Eine weitere Frage ist nun die, ob einem bestimmten Eruptivgestein eine bestimmte Lagerstätte zugeordnet ist.

De Launay bejaht die Frage ausdrücklich und sagt, daß jeder Erztypus nicht nur einer bestimmten eruptiven Zone, sondern auch einem bestimmten Eruptivgestein zugeordnet ist. Auch andere Forscher haben versucht, eine Abhängigkeit zwischen gewissen Lagerstättentypen und bestimmten Eruptivgesteinen zu konstruieren.

Es ist bekannt, daß man gewisse Elemente und deren Mineralien nur mit basischen (Platin, Chromit, Ilmenit, Nickel), andere

Gesteine mit denen das Erzvorkommen in genetischem Zusammenhang steht (Geologische Position)	Genesis	Bemerkungen
5	6	7
Granit	mesothermal	tertiär
Granit und Dazit	„	„
Peridotit (blue-ground) der Karooserie	liquid-magmatisch	wahrscheinlich kretazisch
Andesit, Dazit, Rhyolith (propylitisiert)	hydrothermal	tertiär
Tertiäre Laven u. rezente heisse Quellen	epithermal	tertiär bis rezent
Am Kontakt von Quarzporphyr oder im Quarzporphyr	hydrothermal	mesozoisch, vielleicht paläozoisch
Gänge in der Nähe von Lipariten u. Andesiten	„	tertiär
in Andesiten	epithermal	„
in Andesiten	„	„
in Andesiten u. Lipariten	„	„
„ „ „	„	„
„ „ „	„	„

nur mit SiO_2-reichem Eruptivgestein (Zinn, Wolfram, Molybdän) vergesellschaftet findet. Andere Erze lassen sich jedoch in keinerlei Beziehung zum SiO_2-gehalt der Eruptivgesteine bringen.

Spurr hat in seinem Werke: The Ore Magmas (1923) folgende Reihenfolge aufgestellt:

Basisches Magma: Chromit, Platin, Ilmenit, Nickel.
Intermediäres Magma: Molybdän. Wolfram, Gold.
Saures Magma: Zinn, Wolfram, Molybdän.

An kein bestimmtes Magma sind gebunden: Kupfer (Silber), Blei, Zink (Silber).

Auch von de Launay rührt ein solcher Versuch her, aber im Grunde genommen zeigen diese Aufstellungen nur, daß man weit davon entfernt ist jeden Erztypus einem bestimmten Eruptivgestein zuordnen zu können. Ja selbst wenn man das basische, resp. intermediäre oder saure Magma als Ganzes nimmt, ohne bis auf die Unterabteilungen in einzelne Gesteinsfamilien herunter zu gehen,

ist eine scharfe Zuteilung für viele Erztypen zu einem bestimmten Magma nicht möglich.

Wichtige Gesichtspunkte zu dieser Frage hat wieder Niggli geliefert. Er glaubt, daß die Frage in dieser Form, daß zu einem bestimmten Eruptivgestein ein bestimmter Erztypus gehört, nicht richtig gestellt sei.

Seine Auffassung der Zusammenhänge läßt sich etwa folgendermaßen resumieren:

Die Erzlösungen sind Produkte der magmatischen Differentiation. Aber auch die verschiedenen Eruptivgesteinstypen sind Produkte der Differentiation eines basischen Stamm-Magmas. Die Differentiation ist also hier das Ursächliche, das Erzeugende, durch welche einerseits Eruptivgesteine, anderseits Erzlösungen gesondert werden. Erzlösungen und Eruptivgesteine sind somit gewissermaßen Folgeerscheinungen, zwei Funktionen einer Ursache, die auf einem Plan nebeneinander geordnet, aber nicht als Ursache und Folge übereinander geordnet werden können. Es kann sich also nicht um strenge Zuordnung einer Lagerstätte zu einem speziellen Eruptivgestein handeln, sondern darum, ob zu bestimmten liquidmagmatischen Differentiationsverläufen besondere Erzlagerstätten in engerm Zusammenhang stehen.

Es ist eine auf zahlreiche Beobachtungen gestützte Tatsache, daß die Mehrzahl der Erzlagerstätten mit der magmatischen Tätigkeit, wie sie sich innerhalb der gebirgsbildenden Vorgänge abspielt, in Zusammenhang steht. Die an orogenetische Bewegung gebundene magmatische Differentiation liefert aber vornehmlich Gesteine der Kalkalkalireihe, untergeordnet der Kalireihe. Sie gehören also der pazifischen und mediterranen Sippe an. Demgemäß deckt sich die große Mehrzahl der magmatischen Erzprovinzen mit Gesteinsprovinzen vom pazifischen oder mediterranen Habitus. Insbesondere findet sich im allgemeinen nur hier die intrusiv hydrothermale Reihenfolge der Erzmineralisation.

Hängt nun diese Beziehung vom Gesteinstypus oder von der Tektonik ab? Das heißt: ist ein Differentiationsverlauf, der zur atlantischen Gesteinssippe (Natronreihe) führt, an sich ungeeignet Restlösungen zu liefern, oder vermögen solche Restlösungen nur in bestimmt tektonisch beanspruchten (hier: gefalteten) Rindenteilen emporzudringen. Diese Frage bleibt einstweilen ungelöst. Wir beobachten hier Zusammenhänge, wissen aber nicht was die primäre Ursache und was die Folgeerscheinung ist. Es muß aber hervorgehoben werden, daß auch der atlantische Gesteinstypus ein wesentlich tektonisch bedingter ist (an Schollenbrüche gebunden). So wird also doch wohl letzten Endes der Gehalt an leicht-

flüchtigen Bestandteilen bestimmend auf die Art der sich abspielenden Differentiationsprozesse sein.

Die Bezeichnung pazifische, mediterrane, atlantische Provinz ist nur ein Sammelbegriff. Es gibt beispielsweise nicht *eine* pazifische Provinz, sondern viele unter sich verschiedene, die aber eine Reihe von Merkmalen gemeinsam haben. Innerhalb einer pazifischen oder mediterranen Grundtendenz gibt es also *verschiedene* Differentiationstendenzen, und es stellt sich die Frage, ob beispielsweise in der pazifischen Provinz den verschiedenen Nebentendenzen innerhalb der gemeinsamen Grundtendenz verschiedene Erztypen entsprechen. Auch diese Frage kann nur teilweise gelöst werden.

Zur Lösung dieser Frage sind zuerst zwei Vorfragen zu beantworten, die zum Zweck haben, den Differentiationsverlauf, der zu magmatischen Erzlagerstätten führt, näher zu präzisieren.

Die aufsteigenden Erzlösungen pegmatitisch-pneumatolytischer und hydrothermaler Art sind als Restlösungen aufzufassen, aber ihre Bildung könnte auf doppeltem Wege zustande kommen.

1° Es ist möglich, daß eine besondere Abspaltungsphase besteht, die zu einem spezifischen Erzmagma führt, die also neben der eigentlichen liquid-magmatischen Differentiation, welche die normalen Eruptivgesteine schafft, besteht. Dieses angenommene Erzmagma ist dann als ein spezielles lamprophyrisches Magma anzusehen und die Lösungen und Dämpfe, die zu Erzlagerstätten führen, sind Restlösungen und Abspaltungsprodukte eines lamprophyrischen Teilmagmas. Der pneumatolytischen und hydrothermalen Erzmineralisation wäre also die Bildung eines speziellen lamprophyrischen Teilmagmas vorausgegangen.

2° Es ist aber auch möglich, daß eine solche spezielle liquidmagmatische Differentiation, die zur Anreicherung der Erzmoleküle führt, nicht besteht, sondern daß jedes gewöhnliche Silikatmagma befähigt ist Dämpfe und Restlösungen abzuspalten, die Erzlager bilden können. Die hydrothermalen Erzlösungen wären dann kurzweg letzte Restlaugen gewöhnlich silikatischer Magmen, die letzten Derivate eines normalen magmatischen Erstarrungsprozesses.

Wir können also annehmen, entweder vollzieht sich die Differentiation ohne Nebentendenz normal vom gabbroiden über das dioritische zum granatischen Magma und als letztes Derivat dieses normalen Erstarrungsprozesses haben wir die Erzlösungen, oder innerhalb dieser normalen Differentiationstendenz gibt es Nebentendenzen, die zur Abspaltung von speziellen erzlamprophyrischen Teilmagmen führen, aus denen als Restlösungen die

Erzlösungen ausgeschieden werden. Solche lamprophyrische Teilmagmen können dann auf einer beliebigen Stufe des normalen Differentiationsverlaufs auftreten.

Dass zahlreiche Abweichungen vom normalen Differentiationsverlauf stattfinden, ist eine Tatsache. Weder die Reihenfolge der Förderung der zu einem Orogen gehörenden Plutogenese wickelt sich stets in der Normalfolge ab, noch bestehen die nach tektonischen Großformen definierten atlantischen und pazifischen Typen räumlich streng geschieden nebeneinander. Diese reinliche Scheidung der Magmen, nach Ort und Zeit, auf Grundlage geologisch-tektonischer und chemisch-petrographischer Sonderung besteht in der Natur keineswegs restlos. Eine ausnahmslos gültige Regel für die zeitliche und örtliche Verteilung der Magmenfolge konnte bis heute nicht aufgestellt werden. Das Wann und das Wie des Differentiationsvorganges bietet zuviele Unbekannte, denn Druck, Temperatur, Konzentration der Stoffe und ändernde chemische Reaktionsfähigkeiten müssen das Problem der Differentiation ungemein komplizieren.

Es müssen demgemäß verschiedene Möglichkeiten nebeneinander bestehen, die zur Bildung von Erzlagerstätten führen.

Eine Nebentendenz, die in dem normalen Differentiationsverlauf allgemein auftritt, ist die Bildung von Lamprophyren, die ja durch lokale Anreicherung der femischen Bestandteile eines Magmas zu Stande kommen. Durch gleiche lokale Anreicherung, in Analogie zu der Lamprophyrbildung, können sich auch Erzteilmagmen bilden. So können manche Titaneisenerzgänge, Apatiteisenerzaussonderungen im sauern Eruptivgestein, Injektionsadern von sulfidischen Erzen als spezielle Fälle von Lamprophyrbildungen angesehen werden. Ebenso können die Schlieren von Chromit gedeutet werden. Diese Gänge, Nachschübe und Injektionen konnten aber nur zu Stande kommen, wenn das Magma sehr leicht flüssig war und wenn es bei Temperaturen flüssig blieb, die unter dem Erstarrungspunkt lagen, zwei Umstände, die ohne die Gegenwart von Mineralbildern nicht erreicht werden konnten. Das heißt, es bestand ebenfalls eine Anreicherung der leichtflüchtigen Bestandteile, so daß neben den liquid-magmatischen auch pneumatolitische Bildungen entstanden. Bildungen, die als hydrothermale angesehen werden konnten, fehlen. Diese Lagerstätten gehören also den tiefer gelegenen Partien der Erdrinde an und wir finden sie gewöhnlich nur in Gebieten, die einer tiefgehenden Erosion ausgesetzt waren, nämlich in den Archaiden und Paläiden.

Hier liegt also eine Differentiationstendenz zur Bildung spezieller erzlamprophyrischer Teilmagmen vor, aber der Vorgang

unterscheidet sich prinzipiell in nichts von andern Vorgängen der magmatischen Spaltung.

Die hydrothermalen Erzbildungen, welche sich in größerer Entfernung von der Intrusivmasse absetzten, sind an bedeutend niedrigere Temperaturen gebunden. Diese niedrigen Temperaturen konnten von den Erzlösungen nur erreicht werden, wenn eine intensive Anreicherung der leichtflüchtigen Komponenten stattgefunden hatte. Sind nun, unabhängig von einer eventuel vorausgegangenen liquid-magmatischen Erzmagmadifferentiation neue erzhaltige Restlösungen entstanden, oder fand eine Anreicherung der Gase durch Absorption in den erzhaltigen Restmagmas statt?

Beide Fälle sind möglich und in beiden Fällen müssen die Bildungen der pneumatolitischen und hydrothermalen Erzlagerstätten einem letzten Stadium der magmatischen Tätigkeit angehören. In dem Falle einer vorausgegangenen liquid-magmatischen Erzmagmenspaltung mußten die leichtflüchtigen Bestandteile so angereichert werden, daß eine Reaktivierung der Erzmagmen zu in der Hauptsache wässerigen Lösungen erfolgen konnte. In dem andern Falle entstanden die Lösungen als Ganzes erst im Verlauf der Auskristallisation der schwerflüchtigen Bestandteile. Zwei Beispiele mögen diese beide Möglichkeiten erläutern. Bei den sogenannten injizierten Kieslagerstätten stehen den fast reinen Kiesmassen von Nickel-Magnet Kies, die als liquid-magmatische Ausscheidungen angesehen werden solche gegenüber, die reichlich Quarz als Gangart und als Haupterz Pyrit führen. Hier kann es sich nur um Bildungen aus sehr dünnflüssigen Schmelzlösungen handeln, d. h. die Sulfidschmelzen haben nachträglich leichtflüchtige Stoffe aufgenommen. Anderwärts sind Kiesquarzgänge in so enger Beziehung zu Pegmatiten, daß eine direkte Ableitung aus gewöhnlichen magmatischen Restlösungen nicht in Zweifel gezogen werden kann. Trotzdem also hier mineralogische Unterschiede nicht massen von Nickel-Magnetkies, die als liquid-magmatische Ausscheidungen angesehen werden, solche gegenüber, die reichlich Quarz als Gangart und als Haupterz Pyrit führen. Hier kann es sich nur um Bildungen aus sehr dünnflüssigen Schmelzlösungen handeln, d. h. die Sulfidschmelzen haben nachträglich leichtflüchtige Stoffe aufgenommen. Anderwärts sind Kiesquarzgänge in so enger Beziehung zu Pegmatiten, daß eine direkte Ableitung aus gewöhnlichen magmatischen Restlösungen nicht in Zweifel gezogen werden kann. Trotzdem also hier mineralogische Unterschiede nicht vorhanden sind, bestehen doch verschiedene Bildungsmöglichkeiten.

Betrachten wir einmal die verschiedenen Bildungsmöglichkeiten von Erzmineralisationen bei der Differentiation eines Gra-

nites. Der Granit selbst ist bereits eine Differentiationsbildung aus einem basischen Magma und enthält als solche bereits eine Anreicherung der leichtflüchtigen Bestandteile. In den tiefern und seitlichen Teilen des Granitherdes können infolge gravitativer und thermischer Bewegungsdifferentiation basische Bodensätze vorhansein, die lagenartig angeordnet sind und wechselnde Zusammensetzung haben. Auch erzreichere Schlieren können vorhanden sein. Wenn nun die Granitmasse von außen herum erstarrt, ändert sich in dem noch flüssigen Innern infolge der gravitativen Kristallseparation die Zusammensetzung, indem eine aus schwerflüchtigen Bestandteilen bestehende Partie sich von einer gasreichern pegmatitisch-aplitischen Restschmelze absondert. Die Innenspannung wird jetzt bedeutend zunehmen, und die leichtflüchtigen Bestandteile wandern und können eventuel bis zu den erzlamprophyrischen Schlieren gelangen, wo dann eine Wechselwirkung stattfindet, so daß die Lösungen an erzreichern Bestandteilen angereichert werden. Nachintrusionen von Lamprophyrmagmen treten auf, welche als Restlösungen erzreiche Bestandteile führen, die als Endglieder von Lamprophyrintrusionen auftreten. Daneben können sich auch aus den Restlösungen Erzlösungen abtrennen, welche als Endglieder der aplitischen und pegmatitischen Gänge auftreten.

Die ursprünglich mit einem normalen granitischen Magma im Zusammenhang stehenden Erzlösungen können also letzten Endes sowohl mit basischen als mit sehr sauern Gängen in Verbindung stehen. Es erhellt schon aus diesem Beispiel, daß die eindeutige Zuordnung einer Erzlagerstätte zu *einem* Eruptivgestein an sich unmöglich ist. Es verbleibt immer nur die Beziehung zwischen Erzlagerstätten und dem Verlauf der magmatischen Differentiation.

Es wäre aber denkbar, daß ein enger Zusammenhang zwischen gewissen liquid-magmatischen und gewissen pneumatolitisch bis hydrothermalen Produkten in dem Sinn besteht, daß zur Bildung von gewissen pneumatolytisch-hydrothermalen Erzlagerstätten eine Anreicherung durch vorhergehende liquid-magmatische Spaltung erforderlich ist.

Die Fragen, die sich hier ergeben, wären also folgende:

Gibt es Lagerstätten, zu deren Entstehung eine vorhergehende liquid-magmatische Differentiation nötig ist?

Gibt es Lagerstätten, die an das als Stammagma geltende gabbroid-basaltische Magma gebunden sind und haben diese Lagerstätten einen besondern Charakter?

Die Beantwortung dieser Frage steht im Zusammenhang mit einer Verteilung der Erzlagerstätten auf geologisch-provinzialer Grundlage.

Es wurde bereits erwähnt, daß der magmatische Zyklus der Geosynklinale mit dem Empordringen basischer Magmen beginnt. Zwischen den mächtigen Ablagerungen von Sedimenten findet man eingelagert submarine Ergüsse sowie auch Intrusionen von den sogenannten Grünsteinen, die ein sehr basisches, wenig differenziertes Magma darstellen.

Diese gut begrenzte Phase der Plutogenese bezeichnet die Vorbereitungszeit der Gebirgsbildung.

Darauf folgt eine Zeit der relativen Ruhe, während welcher im Magma Differentiationsbewegungen vor sich gehen. Während die Faltung vor sich geht und die Schichten durch die Bewegung aufgelockert werden und über die Diskordanzflächen bewegt werden, dringt das Magma in diese schwachen Stellen und Hohlräume ein und versteift den Gebirgsbau. Ihrem Chemismus nach sind diese während der Faltenbewegung intrudierenden Magmen kieselsäurereich, und es erfolgt der Aufbruch häufig an ganz andern Stellen als die Ergüsse und Intrusionen der ersten basischen Phase, so daß unter günstigen Umständen sich beide Phasen getrennt untersuchen lassen. Hier können wir also auch eine Antwort auf die Frage erwarten, ob es Lagerstätten gibt, die normalerweise mit wenig differenziertem Magma in Verbindung stehen.

Diese Frage muß bejaht werden. Der schon erwähnte vulkanisch-submarine und zugleich sedimentäre Erzlagerstättentypus gehört hiehin, eben weil die basischen submarinen Ergüsse eine normale Erscheinung in der Entwicklung der Geosynklinalen sind.

Eine metallogenetische Provinz, in welcher die vorkommenden Erzmineralisationen für diese Phase der Plutogenese in Geosynklinalen typisch sind, ist die Provinz des Lake Superior.

Die in einem präkambrischen Schichtenkomplex vorkommenden gewaltigen Eisenlager dieses Gebietes sind ursprünglich chemische Sedimente, stehen aber in solch enger Beziehung zu umgewandelten Diabasen, daß eine gewaltige Einwirkung vulkanischer Exhalationen angenommen werden muß. Der typische Fall einer submarinen vulkanischen und zugleich chemischen (vermutlich biochemischen) Lagerstätte scheint vorzuliegen.

In demselben Gebiet findet man die bedeutende zeolithische gediegene Kupferformation, in welcher das Kupfer mit basischen Eruptivgesteinen in Verbindung steht, eine auch sonst sehr verbreitete Erscheinung.

Die plutonische Erstarrung von gabbroïdem Magma führt häufig zur Abtrennung einer Nickel-Magnetkiesschmelze, wovon

die berühmten und ausgedehnten Lagerstätten von Sudburg ein charakteristisches Beispiel sind.

Auch Titaneisenerze sowie Phosphate sind als normale liquidmagmatische Differentiationsprodukte aus den Gabbros der Paläiden Norwegens bekannt.

Chromit begegnet man öfters als Übergemengteil in Noriten und Gabbros, doch bedarf es im allgemeinen eines Differentiationsprozesses zu Peridotiten und Pyroxèniten, damit die Platingruppe, sowie Chromit und Nickel, sowie NiAs nutzbare Mengen bilden.

Aber auch plutonisch-hydro-thermal und schwach pneumatolytische Bildungen in Verbindung mit basischen Intrusionen treten, wenn auch nur sporadisch, auf. Die Gänge von Nickel- u. Kobaltverbindungen und mit gediegenem Silber des «Cobaltdistrict» von Temiskaming gehören hieher.

Jedoch sind vulkanisch-hydrothermale Lagerstätten in Verbindung mit Diabasen häufiger. Kupferkies, Bleiglanz, Zinkblende, Silberglanz, Rotgiltigerz sind auf Lagerstätten solchen Ursprungs bekannt.

Man kann also zusammenfassen:

Die basischen, wenig differenziierten Magmen liefern besonders vulkanisch-subaquatische und zugleich chemisch-sedimentäre Erzlagerstätten. Die plutonisch-liquidmagmatischen Typen sind auch entwickelt, die pneumatolitischen und plutonisch-hydrothermalen sind nur vereinzelt, häufiger die vulkanisch-hydrothermalen. Es fällt gleich auf, daß dieser Lagerstättentypus des gabbroïden Magmas von dem abweicht, was wir als normale Abfolge einer in mittlerer Erdentiefe vor sich gehenden Erstarrung eines differenzierten Magmas bezeichnet haben.

Der vulkanisch-kontinentale Typus von Erzlagerstätten ist nur in den jüngern Faltengebirgen erhalten geblieben, der vulkanisch-subaquatische entstammt den alten Faltenperioden. Er ist nur erhalten geblieben, weil er in die Phase der geosynklinalen Sedimentierung fiel und durch mächtige Sedimente vor der Erosion geschützt war. Er liegt auch so tief, daß er nur in mächtig erodierten Rindenteilen zu Tage tritt.

(Schluss folgt.)

P. WORRÉ-MERTENS, LUXEMBOURG