

Die Verbreitung des Elementes Arsen in ihrer Beziehung zum Gebirgsbau der Ostalpen.

(Eine mineralgeographische Studie.)

Von ROBERT SCHWINNER (Graz).

Mit 1 Textfigur.

Grundursache aller Mineralisation und damit auch der Lagerstättenbildung in den Ostalpen ist ursprünglicher stofflicher Unterschied der einzelnen Krustenschollen, der eigentlichen Großelemente des Gebirgsbaues. Solche mit vorwiegend granitischem Untergrund zeigen junge As-Vererzung — die nach der grundlegenden Zusammenstellung von CZERMAK und SCHADLER diskutiert wird — von einander getrennt werden diese durch Gebirgsstriche mit basischem Magmaregime und Mg-Minerallagerstätten.

Die Hauptfrage aller und jeder Lagerstättenkunde: wieso kommt es, daß ein gewisser Stoffbestand in ungewöhnlich hoher Konzentration an bestimmter Stelle angehäuft worden ist? repräsentiert eigentlich drei gesonderte, voneinander unabhängige Fragen: Wo war dieser Stoff vorher? Wie ist er mobilisiert und transportiert worden? Wie ist er abgelagert und konzentriert worden? Die letzte Frage kommt mineralgeographisch wenig in Betracht. Beispielsweise, es käme in der Gesteinsserie einer Gegend gar kein Kalk vor; dann können Lagerstätten, die anderswo auf Kalk ausgefällt werden, trotz vielleicht gleicher Zufuhr nicht entstehen; es erscheint dann in der Verbreitung der bezüglichen Mineralparagenese eine sonst nicht begründete Lücke. Dergleichen kommt nicht oft vor, wird meistens an vicariierenden Bildungen zu erkennen sein — etwa, wenn Magnesit nicht entstehen kann, wird Talk gebildet werden können — und unseren Fall trifft es kaum. Eher bieten ein einschlägiges Problem die vereinzelt Funde von As-Mineralien, insbesondere jene, welche — es sind das die meisten Streufunde — von Lagerstätten anderen Typus gemeldet werden. Zum Teil ist das ein perspektivischer Effekt; wenn taubes Gestein gleichermaßen umgewühlt und abgesucht würde, käme man gewiß auch andernorts

noch auf manche Fundpunkte. Zum Teil aber gehört vielleicht das As, obwohl sehr spärlich, manchmal doch zur normalen Paragenese der fraglichen Lagerstätte. Schließlich kann, auch wenn kein genetischer Zusammenhang besteht, die jüngere Mineralisation gerade auf der alten Lagerstätte ausgefällt werden, wenn dort die Bedingungen dafür besonders günstig sind — was ja denkbar ist. Diese Streufunde sind also mit Vorsicht zu behandeln, insbesondere, daß sie irgendwo zu fehlen scheinen, berechtigt nicht zu weittragenden Schlüssen.

Auch die Frage des Transportes ist für uns nicht von großer Bedeutung. Stofftransport durch Diffusion ist auszuschließen, damit ist selbst in geologisch langer Zeit nichts auszurichten, als etwa eine Verschiebung in die unmittelbare Nachbarschaft; aller Transport muß mit Strömungen gehen, an der Erdoberfläche (z. B. bei sedimentären Lagern), oder durch Fugen des Gesteinsbaues. Unterirdische Strömung wird fast ausschließlich durch den Temperaturgradienten getrieben, d. i. von unten nach oben (und zurück, „Kreislauf“), nach der Seite nur nebenbei. Daher kann man sich eine seitliche Streuung von 10 und einigen km gefallen lassen, die übertriebenen Annahmen, welche manche neuere Theorien in diesem Punkt machen¹⁾, entbehren der physikalischen Vorstellbarkeit. Auch die Funde von As, das wahrscheinlich auf zweiter Lagerstätte liegt²⁾, können unter Zubilligung eines Spielraumes ähnlicher Größen-

¹⁾ PETRASCHKEK, W., Die Magnesite und Siderite der Alpen. Sitzgsber. Akad. Wien, Math.-naturw. Kl., Abt. I, 141, 237. 1932) nimmt z. B. an, daß die ganzen Alpen einheitlich von dem Andesitgebiet mineralisiert worden wären, dessen letzte Ausläufer an der Oberfläche in Ost- und Südsteiermark zu sehen sind. Ähnliches bei TORNQVIST und anderen.

²⁾ Das gilt wohl für die As-Mineralien, die in alpinem Salzgebirg gefunden worden sind: (mit Fundortsnummer nach CZERMAK und SCHADLER [s. u.]) 5. Bosrucktunnel, 96. Hall i. T. — in diesem findet sich auch sonst exotisches — und wohl auch von denen der tertiären Braunkohlen: 19. Fohnsdorf (15. Forcherit von Knittelfeld wird dazu zu rechnen sein), 19. St. Stephan—Lavantt. 35. Keutschach bei Klagenfurt. Es ist — ausgenommen 5. — immer nur Realgar und Auripigment ebenso wie bei den seltenen Funden in Kalk und Dolomit der Trias: 44. Stein, 45. Sachsenburg, 46. Luschariberg, 100. Zirl, 101. Imst; auch diese sind kaum auf selbständige, ascendente Mineralisation zurückzuführen, sondern auf As, das aus normalen Lagern irgendwie verschleppt worden ist. Ebenso wohl 61. Einberg, N. v. Abtenau: Arsenkies und Pyrit in Gosauversteinerungen. Übrigens, könnte 6. „Goisern, am Herndl“ (nach alter Nachricht), nicht Gosau heißen? Dort gibt es einen Hornspitz, und das würde sich an 61. anschließen, während bei Goisern der Fund ganz isoliert und ein Horn nicht zu finden war.

ordnung und mit einiger Vorsicht geographisch ausgewertet werden.

Zureichende Wegsamkeit wird man in den tausendfach von Bewegungsbahnen zerschnittenen Alpen wohl überall annehmen dürfen, deswegen wird im Oberflächenbild der Mineralisation eine Lücke nicht entstehen. Die alten Dislokationen mögen ja größtenteils verkittet und für Strömungen nicht brauchbar sein. Aber eine Vererzungsphase hängt immer mit einer Phase der Gebirgsbildung zeitlich und auch örtlich zusammen: dort, wo diese die Magmareservoirs der Tiefe reaktiviert, schafft sie gleichzeitig neue Dislokationssysteme, auf denen die Emanationen derselben aufsteigen können. Die alten Bergleute waren überzeugt, daß der Mineralbestand der Gänge von der Himmelsrichtung ihres Streichens abhängt, und diese einigermaßen primitive Vorstellung hat sich doch ziemlich bewährt, insofern nämlich dieselben Umwälzungen, welche in der Magmazone in einer bestimmten Saigerung, und daher in der Mineralisation in einer bestimmten Stofffolge zum Ausdruck gekommen sind, tektonisch oft als eine Schar paralleler Störungen in Erscheinung treten.

Schließlich besteht noch die Möglichkeit eines tektonischen Massentransportes, einer Verfrachtung der fertigen Lagerstätte samt ganzen Gebirgsteilen. „Wandertektonik“ in großem Ausmaß würde allerdings eine genetische Deutung der jetzigen Lage erschweren, wenn nicht ganz unmöglich machen können¹⁾. Glücklicherweise ist für unsere Untersuchung diese Gefahr nicht groß; denn ihr Rahmen ist — im Maßstab jener Vorstellungen — enge abgesteckt. Sie beschäftigt sich fast nur mit dem Bereich einer einzigen jener vorausgesetzten Großdecken, der „oberostalpinen“, daher ist es für die meisten der zu besprechenden Beziehungen gleich, ob alles autochthon liegen geblieben, oder, ob das Ganze en bloc hunderte von Kilometern verfrachtet worden wäre. Was an „kleineren“ Dislokationen in diesem Bereich wirklich beobachtet wird — die Kalkalpen beschäftigen uns fast gar nicht — hat steile Bewegungsbahn, also geringe horizontale Schubweite, die sich wieder innerhalb der Größenordnung des Myriameters halten wird. Eine Verstellung der Reihenfolge kann nirgends stattgefunden haben, es ist als stö-

¹⁾ Daß in der Lagerstättenlehre mit dem orthodoxen Nappismus nach TERMIER nicht viel anzufangen ist, hat übrigens GRANIGG (Über die Erzführung der Ostalpen. Mitt. Geol. Ges. Wien 5, 345–367) schon 1912, ohne Absicht, aber augenfällig aufgezeigt.

render Einfluß der Tektonik höchstens eine gewisse Verzerrung der Grenzlinien der — ohnedem von vornherein nicht scharf abgegrenzten — Verbreitungsbezirke zu befürchten.

Bezüglich der Herkunft geben Stoffe und Stoffgruppen, die aus verschiedenen Quellen stammen können, viel, oder vielleicht gar überall (Fe, S, Si usw.) verbreitet sind, keine eindeutige Auskunft. Es war daher ein sehr glücklicher Griff, daß CZERMAK und SCHADLER¹⁾ gerade das Arsen und seine Verbreitung in den Ostalpen verfolgt haben. Dieses Element kommt nicht allzu häufig vor, stammt, soviel wir wissen, ausschließlich aus sauerem, granitischem Magma und wird in der Hauptsache nahe dem Herd abgesetzt. Die Verbreitung der Arsenlagerstätten zeigt also, wo zur Zeit der Bildung derselben im Unterbau noch reaktionsfähiges granitisches Magma vorhanden gewesen ist; ein Umstand, der außerdem für die ganze weitere Entwicklung des betreffenden Stückes Erdkruste bestimmend ist. Die Lagerstätten des Arsen sind wegen der Verbindung mit Gold seit ältesten Zeiten eifrig gesucht worden, und es dürften daher wenigstens die größeren derselben alle bekannt sein. Daß in unseren bezüglichen Kenntnissen von den kleineren Vorkommen heute noch Lücken existieren (s. o. S. 57), schadet nichts; die Trennung der einzelnen Gruppen wird nicht einzig durch einen negativen Befund gesichert, daß in den Zwischenräumen zwischen ihnen As-Funde nicht bekannt sind, sondern dadurch, daß in den Zwischenräumen ein ganz anderes Magmaregime herrscht, basisches mit seiner Begleitmineralisation, in welcher besonders das Mg eine leitende Rolle spielt. Über die Verbreitung dieser der As-Gesellschaft antipodischen Mineralisation (Magnesit, Talk, Leuchtenbergit usw.) soll an anderer Stelle Ausführlicheres mitgeteilt werden, hier müssen kurze Andeutungen genügen²⁾.

¹⁾ CZERMAK, F. u. J. SCHADLER, Vorkommen des Elementes Arsen in den Ostalpen. Min.-Petr. Mitt. 44, 1–67. 1933. Im folgenden und in der Karte werden die einzelnen Vorkommen mit der Nummer zitiert, welche sie in diesem grundlegenden Werk haben.

²⁾ PETRASCHKEK (Metallogenetic Zones in Eastern Alps. Pan-American Geologist 47, 109–120. Des Moines 1927, auch 1932, s. S. 57, Anm. 1) und BRINKMANN (Gipflerflur und Lagerstättenstockwerke in den Alpen. Nachr. Götting. Ges. 217–232. 1928) haben die Magnesitlager vom Typus Veitsch in eine einheitliche Ausscheidungsfolge eingereiht, welche für die Gesamtheit der ostalpinen Lagerstätten (und auch sonst wohl) gültig sein soll, und in welcher sie nach höherer Bildungstemperatur, beziehungsweise größerer Magmanähe entweder vor den Arsen-Gold-Quarzgängen (Tauerntyp)

Diskussion der Verbreitung des Arsen.

In der Grauwackenzone von Nord- und Oststeiermark kommen Arsenmineralien äußerst spärlich vor. Sie scheinen mit den Sulfiden, bzw. mit dem Cu zu gehen. Mit dieser Vererzung dringen sie sogar ein Stückchen in das Gebiet der Magnesite ein, aber nur als As-haltige Fahlerze, Bildungen niedriger Temperatur¹⁾. Der größere Teil der Magnesitzone im Palten-Liesingtal usw. (BREITENAU!) ist von beiden frei. Die vielberedete zonare Anordnung der Lagerstätten ist hier nicht gerade deutlich, wenn man ins einzelne eingeht. Eher hat man den Eindruck von Ausstrahlungen aus

stehen (BRINKMANN, l. c., S. 219, bes. 223) oder zwar unmittelbar hinter denselben, aber doch vor den Sideriten und der Mehrzahl der anderen Lager (PETRASCHER). Das ist wohl als Corollar mit den allgemeinen Hypothesen dieser Autoren über ein einheitliches Lagerstättensystem der Ostalpen notwendig verbunden, sonst spricht aber kaum etwas dafür. Die absoluten Bildungstemperaturen der betreffenden Mineralvergesellschaftungen kennen wir nicht. Daher könnte ihr gegenseitiges Temperaturverhältnis nur aus Beobachtungen über relative Entfernung vom selben Magmaherd („laterale Sukzession“, „primärer Teufenunterschied“) erschlossen werden — es ist aber ein Magnesitlager vom Typus Veitsch noch nie im Hof eines Granites beobachtet worden, und daher kann über sein Verhältnis zu Bildungen, die regulär an Granit hängen, nichts ausgesagt werden — oder durch die zeitliche Folge bei sinkender Temperatur auf derselben Lagerstätte. Hiefür kann höchstens die Beobachtung von HUEBER und FREH (Centralbl. Min. 296–303. 1931) angeführt werden, daß in der Veitsch, in einer der späteren Gangfüllungen, Fahlerz mit 2¹/₂% As-Gehalt vorkommt. Gleichzeitige Bildung von Limonit bezeugt niedrigere Temperatur. Das ist das einzige verbürgte Zusammenvorkommen von As-Mineralien mit Magnesit und sagt für das Verhältnis desselben zu den Hauptarsenlagern nichts aus. Nicht einmal für das „normale“ Verhältnis von Magnesit zu Fahlerz, denn es ist keine normale Sukzession — dieses merkwürdige Fahlerz kommt erst in der n^{ten} Generation nach mehreren Unterbrechungen und Bruchphasen vor —; es sieht eher aus wie eine äußerste Ausstrahlung eines benachbarten Mineralisationshofes, die zufällig in die Randvorkommen des Magnesitbereiches eingedrungen sind. Wir können ohne Bedenken gegen jene komplizierten Hypothesen die einfachere Vermutung festhalten, daß der Magnesit nicht von einem zentralen granitischen Magma stammt, sondern aus einer Zone mit basischem Magma im Untergrund. Daraus folgt ein gegenseitiges räumliches Ausschließen — nicht eine Reihung. Im Granitbereich kommt Magnesit nicht vor, und vom Granitfolge gehen nur Ausläufer ins Magnesitgebiet (z. B. Quarzgänge mit Kupferkies, und die nur in die randlichen Vorkommen). Damit sind die beobachtbaren Beziehungen zureichend beschrieben.

¹⁾ HUEBER, H. und W. FREH, Kupfererz vom Sattlerkogel in der Veitsch (Steiermark). Centralbl. Min. A, 296–303. 1931. Auch von Eichberg und St. Martin a. d. Enns wird As-haltiges Fahlerz angegeben (K. A. REDLICH, Z. pr. Geol. 103, 307. 1909; Mitt. Geol. Ges. Wien 7, 210. 1914).

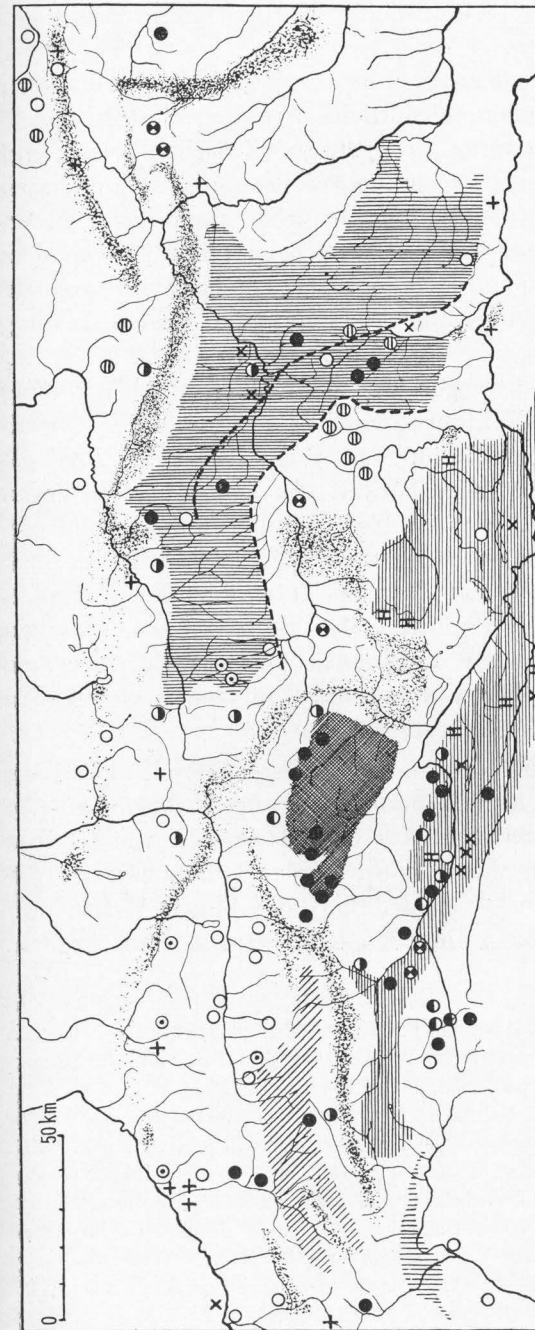


Fig. 1. Arsenlagerstätten und Großtektonik in den Ostalpen

Zeichenerklärung: Bereiche granitischen Regimes I. [diagonal lines] = Die Geantiklinale Koralm-Schladming. —
 II. [stippled] = Das Hochalm-Goldberg-Massiv. — III. [horizontal lines] = Intrusionen und Gänge der tonalitischen Rieserfernersippe. —
 IV. [vertical lines] = Bereiche basischen Magmaregimes.

Lagerstätten: ● = vorwiegend As (Tauerntyp). — As nebenbei auf Sulfidlagerstätten, u. z. mit ○ = Cu; ⊙ = Fe;
 ⊛ = Pb, Zn; ⊕ = Ni, Co, ⊖ = As auf Carbonatagerstätten. — + = As-haltiges Fahlerz. — × = Realgar, Auripigment. —
 ○ = Sporadisches Vorkommen von As. — H = Quecksilberführende Lagerstätten.

verschiedenen Ursprungsgebieten, deren Verbreitungsgrenzen sich mannigfaltig überschneiden.

In der Oststeiermark sind nur drei Fundstellen bekannt, aber zwei von diesen sind größere eigentliche Arsenlagerstätten (7, 9) und sie gehören zwei getrennten Gruppen an. Zwischen diesen liegt ein Grobgnaisbereich, in dem nach dem sonstigen Verhalten syntektonischer Intrusionen eine Erzkonzentration auch nicht zu erwarten war, und außerdem eine basische Zone mit Mg-Mineralien (s. u. S. 63). Das Vorkommen bei Vorau (7) entspricht genau dem Typus der Tauerngänge, überhaupt ist dort die Gesteinsbildung jener der Hohen Tauern in vielem ähnlich¹⁾. Unmittelbaren Zusammenhang wird man deswegen im Magmatischen ebensowenig annehmen müssen, wie im Tektonischen (l. c. S. 356), gleiche Grundsituation führt zu gleichen Bildungen. Wenn man die Analogie weiter ausmalen darf, wäre der Ostrand des Gebirges von Vorau gegen die Lafnitz homolog mit dem Nordrand der Hochalmmasse, insofern hier in der Tiefe die Magmareservoirs anzunehmen sind; auch die Gruppierung der syntektonischen Intrusionen, der magmatischen Nachzügler (Granite, Albitite), der Gesteinsfazies, hatte zu dem gleichen Schluß wie die As-Lagerstätte geführt, daß hier „die Wurzel, im allgemeinsten Sinne verstanden, für jenen Gebirgsbau zu suchen ist“ (l. c. S. 355).

Die Fundstellen 9. Strasseck und 10. Völlegg gehören nach Lage und Mineralführung (Bleiglanz-Blende usw.) angeschlossen an die alten Lagerstätten des Grazer Gebietes (da unmittelbar südlich von Mixnitz auch noch As-Spuren vorkommen²⁾, ist der Anschluß an Rabenstein usw. augenfällig) die junge As-Mineralisation wäre wie öfters auf einer alten Lagerstätte³⁾ ausgefällt worden.

¹⁾ SCHWINNER, R., Zur Geologie der Oststeiermark. Die Gesteine und ihre Veresellschaftung. Sitzgsber. Akad. Wien, Math.-naturw. Kl., Abt. I, 141, 319–358. 1932.

²⁾ HOHL, O., Die Fahlerzlagerstätte im Wetterbauerngraben bei Mixnitz (Steiermark). Mitt. Naturw. Ver. f. Steierm. 66, 186. Graz 1929.

³⁾ Nach TORNQVIST (Die Blei-Zinkerz-Lagerstätte von Rabenstein bei Frohnleiten im Murtal; post- und prätektonische Erzlagerstätten in den Ostalpen. Mitt. Naturw. Ver. f. Steierm. 63, Graz 1927) prätektonisch. Nun ist die letzte Faltung hier variskisch, nachher gab es nur Dislokationen saxonischen Styles, die solche allgemeine Durchbewegung nicht verursachen können, wohl aber Scherklüfte, wie sie mit meridionalen Streichen durch den Kristallbau der Magnesite von Breitenau schneiden. Diese Scherklüfte möchte ich zu einem alpidischen System rechnen. (Der Magnesit ist also älter als alpidisch.) Bei Vorau benützt die As-Vererzung wieder

Übrigens liegt Strasseck im Paläozoikum, Völlegg in dessen unmittelbarem liegend, dem Granatglimmerschiefer des Saurenkogelzuges, eine weitere Parallele zu jener Lagerstättengruppe; starke granitische Einwirkung ist in letzterer Serie bemerkbar bei Anger, zwischen Birkfeld und Gasen, am Rennfeld.

Dieser nord- und oststeierische Lagerstättenbezirk wird begrenzt von einer Zone basischen Mg-reichen Magmaregimes, kenntlich an der Perlschnur von an die Oberfläche emporgebrachten basischen Gesteinsmassen und von Magnesit-Talk-Rumpf-Vorkommen, welche von der Enns durch Palten-Liesingtal zur Mur zieht. Die Sigmoide von Trofajach spaltet diese Zone, aber mehr vereinzelte Zwischenvorkommen leiten über zu einer Fortsetzung in der Oststeiermark, die gleicherweise gezeichnet wird durch den Talk-Leuchtenbergitzug von St. Jakob bis über den Rabenwald hinaus, und die Gabbros von Birkfeld (neu) und St. Johann Herberstein¹⁾. Die Fortsetzung von St. Martin a. d. Enns gegen WNW ist bezeugt durch einzelne Exotika und die Schweremessungen²⁾.

Westlich und südlich dieser basischen Zone folgt ein Gebiet, in dem granitischer Untergrund durch Intrusionen verschiedenen Alters bezeugt ist, und wohl auch dadurch, daß dieser Strich die geologischen Zeiten hindurch von einer Tendenz zur Hochschaltung (= Auftrieb des leichten Untergrundes) beherrscht und derart als Großantiklinale erscheint. Die As-Aushauchungen dieses granitischen Untergrundes steigen auf den Dislokationen auf, welche die jüngere Tektonik, aber konsequent dem alten Faltenwurf folgend, bis in seine Tiefen vorgetrieben hat. Von diesen ist die östlichste und größte die Lavant-Pölslinie³⁾, an welcher liegen: die Lagerstättengruppen des Lavanttales (27–31), 16. Kl.-Feistritz, 18. Flat-

N–S-streichende Klüfte, die also dem Rettenegger Quarzitzug parallel sind, ebenso wie dieser durch NW–SO-Blätter abgeschnitten (CZERMAK und SCHADLER, S. 5) ist, also wohl inneralpidisch. Welcher Phase der alpidischen Orogenese diese einzelnen Dislokationssysteme angehören, kann noch nicht unterschieden werden, und die Arsenvererzung deswegen nicht genauer datiert werden. (Vgl. SCHWINNER, R., Das Bewegungsbild des Klammkalkzuges. Centralbl. Min., B., 280–290. 1933.)

¹⁾ Im Untergrund finden sich diese Gabbros auch weiterhin, so reichlich in den Tuffen von Altenmarkt bei Riegersburg und auch in denen von Stein bei Fürstenfeld als Auswürflinge (SCHOKLITSCH, Arbeit im Drucke).

²⁾ SCHWINNER, R., Das Schwereprofil der Tauernbahn. Gerlands Beitr. z. Geophysik, Bd. 29, 1921, S. 391, woselbst weitere Literatur.

³⁾ Hiezu vgl. hier und später SCHWINNER, Klammkalkzug. 1933.

schach, und die der Rottenmanner Tauern (20, 21, 23); alles Arsenkies-Gold, Tauerntyp, auch einigermaßen nach der Quantität. Trotz etwas abweichender Mineralisation dürften als Ausläufer zuzurechnen sein: 24. Walchen und 26. Offberg, sowie der kleine Fund von 11. Krumbach.

Die nächste Dislokation, welche noch den Bereich dieser Großantiklinale aufspaltet, die Norejalinie, hat schon weniger Fundpunkte (die Gruppe bei Hüttenberg (32–34, 55. Göriachalpe, 25. Zinkwand, 58. Seekaar), und diese weniger As, dieses nicht mehr als Hauptbestandteil, sondern in geringer Menge neben Cu, Ni-Co, Fe-Carbonat. Mit gleicher Mineralisation dürfte dieser Strich sich gegen WNW fortsetzen: 64. Mitterberg und einige kleinere (59, 60, 62, auch 61 und 6 als von hier umgelagertes As). Im Innern des Bogens liegen zwei Lagerstätten, die auch stofflich zusammengehören¹⁾, (Bleiglanz-Blende) 22. St. Blasien und 54. Altenberg — Weißwand südlich von Ramingstein.

Die Lagerstätten dieser Großantiklinale zeigen also eine ziemlich regelmäßig zonare Anordnung: an der Lavant-Pöslinie die magmanächsten (Tauerntyp), dann Sulfide und Siderit, und am weitesten von der Achse die magmafernen, Bleiglanz-Blende. Die Einseitigkeit entspricht der Tektonik, alle Bewegungsbahnen steigen von Ost gegen West auf und leiten so auch die Erzzufuhr; in entgegengesetzter Richtung wären große Strecken unwegsamen Gesteines zu verqueren.

Westlich der Norejalinie finden sich noch mehrere Parallel-dislokationen der gleichen alpidischen Schar, sie fördern aber kein As mehr, denn sie liegen nicht mehr im Bereich der alten Geantiklinale, treffen daher nicht in granitischen Untergrund. Vielmehr ist hier basischer Untergrund bezeugt durch massenhafte Diabase in den Murauer Decken und bei Turrach, und durch Magnesite (Eisenhut bis St. Oswald). Die basischen Gesteine setzen sich von der Lieser über Zederhaus in die Arltäler fort, Magnesit erscheint wieder bei Wagrein, bei Goldegg-Dienten, Saalfelden (PETRASCHEK, Magnesite [S. 201]), Fieberbrunn. Somit erscheint die vorerwähnte Großantiklinale auch auf ihrer SW-Flanke durch eine geschlossene Zone basischen Regimes begrenzt.

¹⁾ Deswegen ist diese Zuteilung von Ramingstein wohl besser als (CZERMAK und SCHADLER, S. 58) zu den Tauerngängen, über die Großsynklinalen der Katschbergzone weg.

Die nächste Antiklinalzone zeigt nicht derart Längsentwicklung, ihr Bau wird beherrscht von der Aufwölbung des Hochalpmassivs. As-Lagerstätten kommen nun vor längs des Nordrandes desselben von Lieser- und Murursprung bis Gastein, und da, wo dieser Zipfel des Granites unter undurchlässigen Schiefnern verschwindet, springt die Mineralisation über auf den nur durch eine flache Mulde von ihm abgegliederten Granitlappen des Goldberges. Scherklüfte gibt es sonst im Hochalpmassiv genug¹⁾, und Gänge mit anderen Sulfiden auch noch südlich von Gmünd, aber die typische As-Mineralisation führen die Tauerngänge nur am Nordrand! Es erwies sich aus den Schweremessungen, daß nur am Nordrand seines sichtbaren Areales der Granit zu großen Tiefen hinabreicht²⁾. Hier unten ist also das eigentliche Magmareservoir, und deswegen kommen seine As-führenden Aushauchungen nur dem Nordrand des Massivs zugute. Was andererseits wiederum als Beleg für die in der Einleitung aufgestellte These gelten kann, daß aufsteigende Stofftransporte nicht viel vom Lot abweichen.

Über so vereinzelte Funde von As-Mineralien, wie sie aus dem Pinzgau vorliegen, ist theoretisch kaum viel zu sagen, und auch auf die Lagerstätten der Brennergegend usw. will ich nicht weiter eingehen, obwohl sie etwas reichlicher sind. Eine Erwähnung müssen aber die Lagerstätten der Grauwackenzone von Schwaz-Kitzbühel finden. Diese bilden mineralogisch eine einheitliche Gruppe und entsprechen auch einer einheitlichen tektonischen Situation³⁾. Aber eine Beziehung zum magmatischen Untergrund ist hier nur mehr vermutungsweise herzustellen, wie ja auch die Fahlerze als ziemlich magmaferne Bildungen angesehen werden müssen.

Schließlich im Draugebiet findet sich eine Lagerstättengruppe, deren Zusammengehörigkeit durch das Zusammenvorkommen mit den Tonaliten und Tonalitporphyriten der Rieserfernersippe augenfällig erklärt wird. Sie sind auch ihrem Bestand nach recht einheitlich: meistens Arsenkies, oft mit Gold, Pyrit und andere

¹⁾ STINY, J., Einiges über Gesteinsklüfte und Geländeformen in der Reißbeckgruppe. Z. Geomorphol. I, 254–275. 1926.

²⁾ SCHWINNER, Schwereprofil usw., S. 402–403.

³⁾ Ohne weiteres ist 70. Leogang hier anzuschließen, eine Verbindung mit Schladming (wie CZERMAK und SCHADLER vorschlagen [S. 59]) ist wohl zu weit, über gewaltige tektonische Trennungsfugen weg. Andererseits haben die Kitzbühler Fahlerzlagerstätten meistens auch etwas Ni-Co-Gehalt, so daß gar keine Notwendigkeit besteht, Leogang von ihnen auszuschließen.

Sulfide zurücktretend (39–43, 49, 77, 82–85, 87), Cu tritt nur vereinzelt stärker hervor (38, 48), und in einer kleinen Gruppe im Iseltal tritt auch noch Bleiglanz-Blende dazu (78–81, 86). Bemerkenswert ist, daß sich diese Lagerstätten in WNW–OSO streichende Zeilen gruppieren, welche Richtung in der Tektonik dieser Gegend eine große Rolle spielt (aber in die scheinbar bedeutendste Dislokation dieser Schar, die Linie des unteren Mölltales, gehen sie nicht mehr hinein — ?). Die As-Lagerstätten erfüllen von dem Verbreitungsgebiet der Tonalitporphyrite nur den westlichen Teil, der östliche ist gekennzeichnet durch Quecksilber, das an einer Stelle (53) noch mit As zusammen vorkommt, sonst aber dasselbe offenbar in den magmaferneren Gebieten ersetzt. Nach den vereinzelt Funden (As noch in Raibl) erstreckt sich diese Zone dann in gleichem Streichen weit nach OSO unter den Kalkalpen durch. An der Nordgrenze ihrer Verbreitung weichen beide, Eruptiv- und Erzgänge, auffällig den Bereichen höherer Metamorphose (etwa Eklogitfazies) Schober und Millstätter-Seegebirge, vielleicht auch ein Teil der Kreuzeckgruppe, gänzlich aus, um so auffallender, weil gleich danach, im Gurktal-Phyllit, Tonalitporphyrite mit den Zinnoberlagerstätten weit nach N vorstoßen.

Allgemeines.

Es scheint, daß jeder Wissenszweig einmal durch das Stadium der unitarischen Hypothesen gehen muß, daß irgend einmal versucht werden muß, die Gesamtheit des Beobachtungsmateriales einzig und einseitig nur von einem Gesichtspunkt aus zu gruppieren — was, weil einfach und leichtverständlich, gewöhnlich auch Anklang findet. Bei den Erzlagerstätten der Ostalpen war das durch ihre grob zonare Gliederung im großen begünstigt: zu innerst in der Zentralzone die As-Au-Quarzgänge, dann die Magnesite, die Siderite, die Sulfide (Cu u. and.), und schließlich, in den Kalkalpen, Pb-Zn: was als Zonenfolge mit abnehmender Bildungstemperatur angesehen wurde. „*The zones embody the radiations of a magmatic intrusion in their various distances from the intrusiv: the deposits are perimagmatic*“ (PETRASCHKE 1927, S. 120). In der Tat eine bestechend einfache Vorstellung: in der Achse der Zentralalpen ein großer langgestreckter Intrusivkörper, um diesen herum konzentrische Schalen gleicher Mineralisation, nach abnehmender Bildungstemperatur von innen nach außen folgend, die dann im Horizontal-

schnitt als streichende Zonen nebeneinander liegen. Aber von den As-Lagerstätten folgt — wie die Karte zeigt — ein großer Teil nicht dieser Anordnung; würde man andere Typen ins Bild dazunehmen, so müßten die Ausnahmen die angebliche Regel erschlagen. Übrigens eine Zentralintrusion dieser Größe könnte nicht bloß in den paar Erzlagerstätten zum Ausdruck kommen, sie müßte im ganzen Umkreis alle Mineral-Neu- und -Umbildungen bestimmen; solche zonare Anordnung der allgemeinen Mineral- und Gesteinsfazies ist aber — abgesehen vom allergrößten: Zentralalpen hochkristallin, Grauwackenzone halbmetamorph, Kalkalpen nicht metamorph — nicht festzustellen.

Unitarische Hypothesen der angegebenen Art sind gemeinhin recht widerstandsfähig; gegen die erste Reihe von Unstimmigkeiten wird die einmal gewonnene einheitliche Erklärung nicht ohne weiteres aufgegeben; es ist immer möglich, diese durch Hinzufügung einiger Hilfsannahmen aufrecht zu halten. So sucht BRINKMANN die von dem vorgezeichneten einfachen Bild abweichende Gruppierung der Lagerstätten in den Alpen dadurch zu erklären, daß diese zwar einzig von der Temperatur abhängen, damit aber nicht bloß von der Wärmezufuhr aus dem Magmaherd, sondern auch von dem Wärmeabfluß gegen die Erdoberfläche. Die Lagerstättenstockwerke müßten daher ungefähr parallel gehen mit der Altoberfläche der Zeit ihrer Bildung, und die Lage dieser sei noch in der heutigen Gipfelflur angedeutet. Darum kann, wo diese Flur hochgehoben ist, die Erosion bis zu den Lagerstätten höchster Bildungstemperatur einschneiden (Hohe Tauern); wo die alte Oberfläche tief eingewalmt ist, oder ähnl., nur bis zu solchen geringer Bildungstemperatur (Brennergegend)¹⁾. Das hört sich gut an, ungünstiger ist schon der erste Versuch einer Schätzung. Sinkt die Gipfelflur von einer zur andern Gebirgsgruppe um 1000 m, so ist viel, aber als Temperaturverminderung im gleichen Aufschlußniveau gäbe das nur 30–50° C, was nur in Ausnahmefällen, nämlich, wenn es gerade um einen Umwandlungspunkt geht, in der Mineralisation Merkliches ausmachen kann. Wieder kann man feststellen, daß der angenommene Einfluß in der allgemeinen Mineralfazies gar nicht wirksam ist, eher das Gegenteil: der Glockner hat Grünschieferfazies, die Saualm (fast 2000 m nied-

¹⁾ BRINKMANN nennt da als Beispiel auch das Grazer Devongebiet. Aber da sind die Pb-Zn-Lagerstätten vortektonisch, also viel älter und gehören nicht in diesen Gedankengang hinein.

riger) Eklogit. Und selbst unter dem beschränkten Material der As-Lagerstätten finden sich schlagende Gegenbeispiele: die heißesten, die As-Au-Quarzgänge, welche in den Hohen Tauern den tiefsten Aufschluß unter der hochgehobenen Gipfflur charakterisieren sollen, liegen bei Vorau in 700 m zwischen Hügeln von 900–1000 m und sozusagen unmittelbar unter Sinnersdorfer Schotter, was für „Verstellungen“ wenig Spielraum läßt; und dieselben Tauerngänge findet man in der Lavantzone, die gewiß mehr eingewalmt ist als der Brenner mit seinen niedertemperierten Lagerstätten. Auch die Verteilung der As-Lagerstätten um die obere Drau stimmt nicht zu BRINKMANN'S Annahmen¹⁾, es wird überhaupt schwer fallen, in unserem ganzen Material eine positive Korrelation mit einer jener unitarischen Hypothesen ausfindig zu machen; und das wiegt schwer, weil dank der Bemühung von CZERMAK und SCHADLER dieses Material homogen und streng vergleichbar ist.

Von Natur gegeben erscheint eine Verteilung der As-führenden Lagerstätten in dichter gebündelte Gruppen, die durch beträchtliche leere Zwischenräume voneinander getrennt sind (CZERMAK und SCHADLER [S. 57]). Und wenigstens bei dreien dieser Gruppen ist ihr Zusammenhang (als hydrothermale Emanation) mit der Verbreitung eines bestimmten sauren Magmas evident: 1. Die „Tauerngänge“, geknüpft an den Nordrand des Hochalm-Goldberggranites, der auf einer Fläche von 50×20 bis 25 km aufgeschlossen ist; 2. die As-Vorkommen des Draugebietes, sind geknüpft an die Verbreitung von Tonalit und Tonalitporphyrat der „Rieserfernersippe“, über, knapp gerechnet, 200×20 km (in Mittelkärnten jedoch bis 60 km breit!); 3. die As-Vorkommen der Geantiklinale Koralm-Schladming in ihrer ganzen aufgeschlossenen Erstreckung von 170×30 bis 50 km. Diese Einheit ist in erster Linie großtektonisch definiert, aber die Verbreitung kleinerer Kerne und Gänge (Pegmatite) bezeugt auf die ganze Strecke die Unterlagerung durch granitisches Magma²⁾, in dieser Beziehung besteht kein wesentlicher Unterschied gegen 1. und 2., insbesondere, weil auch bei jenen die

¹⁾ So, daß man vom Arsen-Gold des Fundkofel mit 7 bzw. 8 km in Quecksilber und Auripigment kommt. Vermutlich ist jede der obenerwähnten WNW-OSO-Zeilen für sich abgestuft.

²⁾ In dieser bescheideneren Größenordnung scheint also die von PETRASCHKEK propagierte Vorstellung des einheitlichen Zentralen-Intrusives unter einem Gebirgszug realisiert.

As-haltigen Aushauchungen nicht von den oben aufgeschlossenen Granitkörpern stammen, sondern aus der Tiefe, aus jenen Magmareservoirs, von denen jene „Massive“ usw. nur kleine Abzweigungen vorstellen. Ein größerer Unterschied besteht im Alter: der Rieserferner-tonalit mit seinem ganzen Gefolge muß verhältnismäßig jung sein, und ebenso in der Hochalm die Hauptmasse, der Zentralgranit (die Orthogesteine, die in der unteren Schieferhülle vorkommen, mögen recht alt sein, sind aber alle klein). Die Geantiklinale Koralm-Schladming ist aber als solche bereits vorpaläozoisch aufgetreten und ein Teil ihrer Intrusiva muß gleiches Alter haben; ein Teil ist jünger, aber auch diese möchte man heute spätestens in den Variskischen Zyklus stellen. Ich kann darin keine Schwierigkeit sehen. Wo eine granitische *macula* sich einmal im Untergrund gebildet hat, da bleibt sie auch. Es besteht auch kein Grund, daß sie viel schneller erstarrt, als andere in der weiteren Umgebung, sie wird daher trotz ihres höheren Alters (als Granitmagma!) ebensogut einer Reaktivierung fähig sein, als andere, welche sich anscheinend erst in jüngerer Zeit als Granit herausdifferenziert haben. Im übrigen ist die Fähigkeit, derartige Lösungen abzuscheiden, offenbar eine ganz individuelle Eigenschaft der einzelnen Magmakörper. Haben wir hier ähnliche Emanationen bei Magmagebieten, welche wir nach Geschichte und wohl auch in der Ausbildung für recht verschieden ansehen möchten, so verhalten sich wieder Magmakerne, die ähnlich zu sein scheinen, und insbesondere ganz analoge Stellung im Gebirgsbau einnehmen, in dieser Hinsicht manchmal verschieden, der eine liefert reichlich und typisch As-Aushauchungen (Hochalm, bzw. Rieserferner), der andere gar nicht (Zillertal-Venedigerkern¹⁾, bzw. Brixener Granit).

Wir haben oben gesehen, daß die besprochenen granitischen Gebiete getrennt werden durch Streifen, in denen basisches Magma, und die von diesem abgeleiteten, hauptsächlich Mg-reichen Mineral-lagerstätten herrschen. Wenn nun jemand darauf bestehen will, daß beiderlei so verschiedenartigen Magmabereiche selbst wieder nur Abspaltungen aus einem einheitlichen Stamm-Magma oder aus einem homogenen noch tieferen Untergrund vorstellen²⁾, so ist aus

¹⁾ Es gibt einige As-Lagerstätten, die im Bereich des Zillertalerkernes liegen, aber diese ordnen sich auffällig in eine Querlinie Sillian-Schwaz und nicht um den Granit.

²⁾ So hat H. S. WASHINGTON (Proc. Nat. Acad. Sc. USA. 15, 607, Washington 1929), der sich gewiß von allen Petrographen am eingehendsten mit petrographischen Provinzen u. ähnl. beschäftigt hat, von vornherein eine große Schwierigkeit darin

dem vorgelegten Beobachtungsmaterial dagegen nichts einzuwenden; aber daran ist festzuhalten, daß jenes vorausgesetzte Einheitsmagma mit den Bildungen der Erdoberfläche unmittelbar nicht in Beziehung tritt, sondern immer nur durch das Zwischenglied jener individualisierten Magmaschlieren in der gefundenen Größenordnung an Horizontalausdehnung von 5 bis 20×2 bis 6 Myriametern¹⁾. Erst aus diesen Großschlieren der Magmazone stammen dann die Intrusionen, welche oben aufgeschlossen sind.

Der einmal festgelegte magmatische Charakter eines Schollenbereiches bestimmt alles Weitere; im stofflichen, aber auch — in hier nicht weiter zu erörternder Verknüpfung — im mechanischen, so daß sich überraschend enge Korrelationen ergeben zwischen Stoffbestand, Mineralfazies, Gefüge, Klein- und Großtektonik, bis zur heutigen Gestaltung des Gebirges, mannigfaltig, wie heute noch nicht ganz zu übersehen. Granitischer Charakter führt im allgemeinen zur Geantiklinalentwicklung, wie sie im besprochenen Bereich vor dem Gebirgsstrich Koralm-Schladming typisch seit Präcambrium vertreten wird. Doch scheint es von dieser Regel Ausnahmen zu geben, das Verbreitungsgebiet des immerhin noch recht saueren Rieserfernerstammes ist der Bauanlage nach Senke, der Zwickel der zwischen dem OSO wegstreichenden Gebirgsast der Karnischen Hauptkette und dem W-O weiterziehenden alten Gebirge des Antidrauzuges sich gegen O öffnet, es hat diese Stellung im Mesozoikum behauptet und ist heute wieder ein Tiefenstrich, wahrscheinlich Senkungsgebiet. Die Entwicklungslinie streng basischen Gebietes scheint dagegen ziemlich ausnahmslos über Senke-Geosynklinale-Sedimentfalten-Tiefenzone im heutigen Gebirge usw. zu verlaufen. Wird derart nach natürlichen Gruppen geordnet, so findet sich ohne weiteres jener Parallelismus zwischen der Mineralfazies im allgemeinen und der Abstufung des Lagerstättentypus, der bei den

gefunden, die untergeordneten, aber deutlichen Verschiedenheiten derselben ihrer Entstehung nach zu erklären. Ich würde eher eine gewisse „Schlierigkeit“ als Grundeigenschaft fluider Himmelskörper ansehen. Wo bezügliche Studien durchgeführt worden sind, hat sich — in kosmischen Größenordnungen — völlig gleichförmige Verteilung des Stoffes immer als instabil erweisen lassen, und die beobachtbaren fluiden Himmelskörper (Sonne, Jupiter, Saturn) sind augenscheinlich schlierig.

¹⁾ Nachdem, wie eingangs diskutiert, die möglichen Störungen die beobachtbaren Grenzen nicht viel über 1 Myriameter verschieben können, genügt die gegebene durchschnittliche Größe, um die Erkennung jener magmatischen Teilgebiete auf alle Fälle zu sichern.

unitarischen Hypothesen vermißt werden mußte. So hat im Querprofil der Geantiklinalkern an Kor- und Saualm Eklogit und Arsengoldquarzgänge, der zweitstufige Rand (mit viel Diaphthorese) Carbonatlager vom Hüttenberger Typus, die Hülle mit Grünschiefern führt das Arsen nur mehr in Gesellschaft von Pb, Zn (Nr. 22); im Längsprofil der Geantiklinalen wird der As-Au-Typus im Bereich des stark injizierten Zweitstufigen aufrecht erhalten, im erststufigen Ennstaler Phyllit geht das As in ein Kieslager (24) und im halbmetamorphen Paläozoikum ins Fahlerz (60, u. and.). Auch in der Rieserfernerprovinz sinkt — im Querprofil schnell, langsamer im Längsprofil — die Fazies von gut zweitstufigem Kristallin (mit As-Au) zu Phyllit und zu nichtmetamorphem Sediment, zu Realgar-Auripigment und sogar zu Hg-Vormacht.

Die einzelnen Grundschiefern müssen wohl als für sich abgeschlossene Systeme angesehen werden. Innerhalb eines solchen Bereiches muß ein bestimmter physikalisch-chemischer Vorgang, wie die Ausscheidung der Arsenmineralien, auch zeitlich völlig bestimmt sein und kann nur einer gleichzeitigen Bildung im ganzen Bereich zugeschrieben werden. In verschiedenen Magmenbereichen, die nicht miteinander zusammenhängen, kann dagegen aus Ähnlichkeit irgendwelcher Bildungen auf Analogie in Material und Bedingungen, aber nicht auf Gleichzeitigkeit geschlossen werden, das Zeitverhältnis solcher Gruppen gegeneinander kann nur aus direkten Beobachtungen erschlossen werden. In den Zentralalpen östlich vom Meridian des Glockners hängt nun die As-Vererzung an einem System meist meridionaler Dislokationen, welche ein zusammenhängendes Bewegungssystem darstellen, und einer der Phasen der alpidischen Orogenese zuzuordnen sind. Ob und wie sich dieses System nach S fortsetzt, ist noch nicht bekannt¹⁾, und sonstige

¹⁾ Dieses Dislokationssystem besteht (SCHWINNER, Klammkalkzug [s. S. 63, Anm. 3]) aus einer Schar submeridionaler Schuppenzonen, an welche sich in der nördlichen Grauwackenzone O-W streichend Blätter anschließen; es wäre ganz plausibel, daß die Bewegungsbahnen auch im Süden, im Draugebiet, ähnlich umlenken. Und dazu würde stimmen, daß die As-Lagerstätten dort meist an streichende Aufblätterungen gebunden sind, wie sie in der Zentralzone an die meridionalen Störungen, und in der nördlichen Grauwackenzone wieder an die O-W-Blätter sich halten (CZERMAK und SCHADLER [S. 64]). Daß im Draugebiet die Durchbewegung der fertigen Lagerstätten besonders stark ist, würde allerdings den Verdacht auf höheres Alter wecken, doch ist zu bedenken, daß in der Südzone der Alpen die tektonischen Bewegungen länger gedauert haben als im Norden.

Anhaltspunkte für das Alter von Rieserfernerkern und Gefolge sind direkt auch nicht gegeben. An und für sich ist es ja wahrscheinlich, daß in so nah benachbarten Gebieten die magmatischen Vorgänge ebensowohl wie die orogenetischen in engem Zusammenhange stehen. Genaueres und Sichrereres über die zeitlichen Zusammenhänge wird man erst sagen können, wenn die Gebirgsbewegungen in den Alpen nach allen ihren vielen Phasen auseinandergelegt und zeitlich bestimmt sein werden — wozu kaum der Anfang gemacht ist — und wenn auch für alle Minerallagerstätten Beobachtungen über das Verhältnis von Kristallisation und Durchbewegung vorliegen werden.

Ganz allgemein: Ziel jeder künftigen Forschung muß es sein, nach beiden Richtungen fortzuschreiten: Verfeinerung und Vertiefung der Einzeluntersuchung und Synthese aller Ergebnisse der sich berührenden Wissenszweige. Die einzelnen Schollen der Erdkruste führen sozusagen ein individuelles Leben. Wahrscheinlich ist primäre stoffliche Differenzierung im Magma des Untergrundes Grundursache alles Weiteren. Daher führt Aufnahme des Stoffbestandes unmittelbar auf die Wurzel der Kausalkette. Vielfach wird man diese nach rückwärts verfolgen; die großen tektonischen Zusammenhänge sind zum Teil leichter festzustellen, und aus ihnen kann dann auf Zusammenhänge im Stofflichen geschlossen werden, von denen uns die tiefliegenden Mittelglieder noch nicht zugänglich sind. Aus diesem Gesichtswinkel erscheinen die mannigfachen Mineralvorkommen und -paragenesen nicht mehr als zufällig, sondern als notwendig und systematisch zusammenhängender Ausdruck der individuellen Entwicklung ihrer Scholle auf Grund eines gegebenen Stoffbestandes durch die geologischen Zeiten und Umwälzungen hindurch. Die Verfolgung des Elementes Arsen hat wichtige Einsichten in den Zusammenhang zwischen Gebirgsbau und Mineralisation geliefert. Die nächste Aufgabe muß es sein, die Verbreitung einer zum As fast antipodischen, der Mg-Vergesellschaftung zu verfolgen (was bereits in Angriff genommen ist). Aber auch sonst wird jede ähnliche mineralgeographische Untersuchung¹⁾ unsere Einsicht in dieses schwierige Gebiet vertiefen.

¹⁾ So liegt bereits vor: HLESSLEITNER, G., Sulfidisch-arsenidisches Ni-Co auf alpinen Erzlagerstätten. Z. pr. Geol. 37, H. 8. 1929.