

- REISS, R.: Beiträge zur Kenntnis der Gesteine des Niederösterreich. Waldviertels. — Anz. Akad. Wiss., Wien, 98—103, 1953.
- SAHAMA, TH. G.: Die Regelung von Quarz und Glimmer in den Gesteinen der Finnisch-Lappländischen Granulitformation. — Bull. Comm. Geol. Finlande, 113, 1—113, 1936.
- SCHARBERT, H. G.: Zur Optik der Kalifeldspate. — N. Jb. Min. (Mh.), 33—41, 1955.
- : Zur Regelung des Disthens in einem niederösterreichischen Granulit. — N. Jb. Min. (Mh.), 40—47, 1957.
- SCHEUMANN, K. H.: Über die Genesis des Sächsischen Granulits. — N. Jb. Min. (Abh.), 96, 162—171, 1961.
- SCHEUMANN, K. H., BOSSDORF, R. und BOCK, F.: Versuch einer genetischen Deutung der lappländischen Granulite. — C. R. Soc. Géol. Finlande, 33, 327 bis 336, 1961.
- SENG, H.: Die Gefügeeigenschaften der Granulite. — Tsch. Min. Petr. Mitt., 41, 453—472, 1931.
- SUESS, F. E.: Das Grundgebirge im Kartenblatte St. Pölten. — Jb. k.k. Geol. R.-A., 54, 389—416, 1904.
- : Intrusionstektonik und Wandertektonik im variszischen Grundgebirge. — Bornträger, Berlin, 1926.
- TERTSCH, H.: Studien am Westrande des Dunkelsteiner Granulitmassives, I. — Tsch. Min. Petr. Mitt., 34, 209—254, 1917.
- : Dto., II. — Tsch. Min. Petr. Mitt., 35, 177—214, 1921.
- WALDMANN, L.: Umformung und Kristallisation in den Moldanubischen Kataklasten des nordwestlichen Waldviertels. — Mittl. Geol. Ges., Wien, 20, 35—101, 1927.
- : Das außeralpine Grundgebirge. — In F. X. SCHAFFER: Geologie von Österreich, 2. Aufl., Deuticke, Wien, 10—104, 1951.

ZUR ALTERSSTELLUNG UND ENTSTEHUNG DER SULFIDERZE VOM TYPUS FALUN

Von HANS J. KOARK, Uppsala *)**)

Mit 2 Tafeln

Zusammenfassung

Die Sulfiderze vom Typus Falun werden allgemein charakterisiert und bisherige Bearbeitungen und Deutungen mitgeteilt. Entgegen der derzeit dominierenden Auffassung einer in Verbindung mit den synsvionischen Gneisgraniten pyrometasomatischen Entstehung werden für das prototypische Falun stratigraphische, strukturelle und petrogenetische Kriterien beigebracht, die gegen einen Zusammenhang von Sulfiderzbildung/Mg-Metasomatose und Gneisgranitgenese sprechen. Demzufolge sind Erze und Material für die Kristallisation der „Mg-

*) Anschrift des Verfassers: Doz. Dr. HANS J. KOARK, Mineralogisk-geologiska institutionen, Uppsala universitet, Uppsala, Schweden.

**) Vortrag, der mit Ausnahme der historischen Übersicht am 10. 3. 1962 auf der Grundgebirgstagung der Geologischen Vereinigung in Göttingen gehalten wurde.

Fe-Si-Metasomatose“ bereits vor Eindringen der Quarzporphyrgänge, die einer Spätphase der Suprakrustalgenese angehören, maßgeblich am Platze gewesen. Für die Erze ist eine synsedimentär-exhalativ-thermale Entstehung wahrscheinlich. Der Stoffbestand für die heute als Umwandlungsaureolen bezeichneten Nebengesteine dürfte zusammen mit, oder im Anschluß an die Erzbildung durch Auto- oder Infiltrationsmetasomatose angelegt worden sein. Während der svionischen Orogenese wurde der Gesteinsverband durch Polymetamorphose maßgeblichen Umkristallisationen und Stoffverschiebungen ausgesetzt. Letztere erfolgten oder wurden hauptsächlich durch Kinetometamorphose ausgelöst. Deutliche Tendenz für molekuläre Platzbeständigkeit liegt vor.

Abstract

This paper gives the general characteristics of the Falun type ores and includes a review of previous work and interpretations. Formerly prevailing concepts consider a pyrometasomatic ore formation genetically connected with the emplacement of the synsvionic gneissgranites. According to the present reappraisal the ores and the materials used in the crystallization of "Mg-Fe-Si-metasomatic rocks" have mostly been present previous to the intrusion of the quartz-porphyry dikes which belong to a late stage of supracrustal formation. The original formation of the ores is suggested to be due to synsedimentation exhalative-thermal processes. The chemical composition of the part of the wallrock formerly described as "alteration aureoles" is believed to have been developed by auto- or infiltration metasomatism connected with the formation of the ores. During the Svionic orogeny the rocks and ores suffered polymetamorphic reworking resulting in recrystallizations and materials movements. The latter changes were occasioned or triggered by kinetometamorphism. There is a pronounced tendency for localization stability of the chemical constituents.

Résumé

Les minerais sulfureux de Falun sont caractérisés d'une façon générale et les études qu'on en a faites et les essais d'explication jusqu'ici ont été communiqués. Contrairement à l'opinion émise autrefois en relation avec les granites gneissiques synsvioniques d'une origine pyrométasomatique, on a déterminé des critères stratigraphiques, structurels et pétrogénétiques qui contredisent le rapport de la formation des minerais sulfureux avec métasomatose magnésienne et de celle de granites gneissiques. D'après ces recherches, les minerais et le matériau pour les cristallisations de la « métasomatose Mg-Fe-Si » se sont déjà trouvés sur place avant l'intrusion des filons de porphyre quartzifère qui appartiennent à une phase tardive de la genèse supracrustale. Les minerais ont vraisemblablement une origine à la fois synsédimentaire, exhalative et thermique. La matière des roches encaissantes désignées sous le nom d'aureoles de métamorphisme a dû venir s'ajouter en liaison avec la formation des minerais par auto-métasomatose ou métasomatose d'infiltration. Pendant l'orogénèse svionique l'ensemble des roches a été exposé, par polymétamorphisme, à des recrystallisations et à des transformations de la matière. Ces dernières furent provoquées soit intégralement soit essentiellement par une cinéto-métamorphose. On peut observer une nette tendance à la constance de position moléculaire.

Краткое содержание

О возрасте и образовании сульфидных руд типа „Falun“. Автор кратко сообщает об исследованиях и интерпретации названного типа руд. На основании этих данных делает ряд заключений об их прои-

схоядении, стоящих в противоречии с прежними представлениями. Далее подробно рассматриваются различные критерии, подтверждающие заключения автора.

Einleitung und historische Übersicht bisheriger Bearbeitungen und Auffassungen

Die Lagerstätten vom Type Falun haben folgende gemeinsame Züge: In vulkanisch-sedimentärem Milieu des svekofennidischen Orogens kommen im zentralen Teile von Mittelschweden (Bergslagen) an verschiedenen Stellen (Falun, Garpenberg, Saxberget, Tomtebo, Kaveltorp, Riddarhyttan u. a.) komplexe Sulfiderze vor. Sie setzen sich hauptsächlich aus Magnetkies, Pyrit, Kupferkies, Zinkblende und Bleiglanz zusammen. Außerdem wurden hier und da in geringfügigen Mengen Arsenkies, Cubanit, Geokronit, ged. Gold, Tetraedit, Vallerit, ged. Wismut, Wismutglanz u. a. beobachtet. Magnetit findet sich oft akzessorisch in diesen Sulfiderzen, dominiert bisweilen als Eisenerz in gewissen Bereichen in und an Sulfiderzkörpern.

Die Erzmineralanreicherungen bilden zu steilstehenden Schlingenbauen stofftektonisch konforme Linsen, Stengel und Stöcke. Die Gangarten und Begleitgesteine sind quarzitähnliche Bildungen (Erzquarzit) mit wechselnden Gehalten von Cordierit, Antophyllit, Gedrit, Andalusit, Almandin, Biotit, Sillimanit, Staurolith, Hercynit, Gahnit u. a. Gleichfalls vorkommende Glimmerschiefer, meist Hellglimmerschiefer, führen oft Cordierit, mehr selten Sillimanit. Weiter sind Kalk- und Dolomitmarmore (Camgite) als Gangarten und Nebengesteine recht gewöhnlich. Stellenweise können sie recht rein sein, gewöhnlich sind sie doch mehr oder weniger verkarnt, d. h. sie enthalten wechselnde Mengen — bisweilen bis zur völligen Ersetzung — von Mg-Fe-Ca-Silikaten, wie Strahlstein, Diopsid-Heldenbergit, Grossular, Humitminerale und Forsterit. Letztere zwei sind doch meist serpentinisiert und Ursache zu Ophicalcitbildungen. Sowohl die quarzigen als auch die karbonatischen Erze und Nebengesteine werden oft von Ruschelzonen (schwed. sköl, pl. = skölar) durchzogen. Sie erhielten ihre Zusammensetzung aus dem rekristallisierten Reibungsdetritus der betroffenen Gesteine samt metamorphen Einwanderungen. Sie bestehen vor allem aus Phyllosilikaten (Talk, Hellglimmer, Biotit, Chlorit). In ihnen vorkommende Porphyroblasten von Almandin, Cordierit, Antophyllit, Spinell, Strahlstein u. a. zeigen eine in Hinsicht auf die Skölbildung nachdeformative Kristallisation an. Diese Skölar können bisweilen reich an Kupferkies und teilweise auch Bleiglanz sein.

Verschiedene dieser Lagerstätten werden von sauren und basischen Eruptivgängen durchsetzt, die z. T. starken Verformungen ausgesetzt waren und heute mehr oder weniger metamorphen Charakter haben. Diese „Gänge“ sind älter als bisweilen angrenzende bzw. quergreifende svionische Gneisgranite und spätsvionische Granite samt deren Ganggefolge (Pegmatite, Aplite).

Von diesem Type werden von der Lehrmeinung (MAGNUSSON) die Lagerstätten des Ämmeberg-Typus abgetrennt, die sich angeblich durch Inhalt, Struktur, Alter und Entstehung von vorgenannten unterscheiden. Diese hauptsächlich aus Magnetkies, Zinkblende und Bleiglanz bestehenden Erze kommen als Lager und Imprägnationen in Leptiten und in ihnen eingeschalteten Camgiten vor. Weil ihre Vorkommen eine girlandenförmige Anordnung vor den Migmatitfronten der spätsvionischen Granite haben, werden sie in deren Zusammenhang als metasomatisch gebildet aufgefaßt. Die Mineralbildungen der sogenannten Magnesiametasomatose sind hier nicht so ausgeprägt.

TÖRNEBOHM (1893) schreibt: „Die Entstehung der Kiesvorkommen ist in Allgemeinheit ein noch recht dunkles Problem. Die verwickelten Verhältnisse in der Faluner Grube machen es noch undurchsichtiger als gewöhnlich.“¹⁾ Seitdem haben vermutlich alle, die mit Lagerstätten vom Typus Falun nähere Bekanntschaft gestiftet haben, TÖRNEBOHMS Auffassung zustimmen müssen. Der kartierende und mikroskopierende Geologe (zum Unterschied von dem aus der Ferne deutenden und undeutenden) steht einer Fülle von Beobachtungen gegenüber, deren schwierige Entzifferung und Korrelation nicht besonders zu petrographisch-tektonischer Synthese und genetischer Stellungnahme einladen.

Aus diesen Unsicherheiten heraus haben sich für die genetische Deutung dieser Erze verschiedene Interpretationen ergeben, die in den Originalarbeiten meist mit ziemlicher Vorsicht vorgetragen wurden, in zusammenfassenden Darstellungen und Lehrbüchern hingegen nicht selten als definitive Lösungen genannt werden.

Falun ist in Mittelschweden mit Abstand der größte bekannte Vertreter dieses Lagerstättentypus und dominiert dementsprechend auch in der Literatur. Die erste im internationalen Schrifttum etwas mehr ausführliche Beschreibung stammt von STAFF (1861). Er weist auf die Ähnlichkeit der Faluner Kieserze mit jenen des Rammelsberges und die der Kupfer-Harterze mit dem Rammelsberger Knieste hin. Mit Ausnahme von LOSSEN und VOGT, die eine intrusive Bildung des Rammelsberger Lagers vertraten, wurde es damals von den besten Kennern (WIMMER, STELZNER, KÖHLER, KLOCKMANN) als synsedimentär gebildet aufgefaßt. Aus STAFFS Hinweis auf die Ähnlichkeit zum Rammelsberg darf man schließen, daß ihm eine ähnliche Entstehung der Faluner Erze vorschwebte.

Zur gleichen Zeit hat sich STAFF, der damals Ingenieur und geologischer Ratgeber bei der Faluner Gesellschaft war, mit der Abbauplanierung der Kupfererze befaßt (1861) und einen für die damalige Zeit recht weitsichtigen und differenzierten Plan für eine geologische Untersuchung vorgelegt (1869).

Es blieb doch TÖRNEBOHM (1893) vorbehalten, die erste mehr moderne Monographie zu liefern, bei der er vor allem weitgehend das Polarisationsmikroskop zu Hilfe nahm. TÖRNEBOHM kam dabei zu folgenden — in unserem Zusammenhang — wichtigen Resultaten: Harterze und Kiesstöcke

¹⁾ Übersetzt vom Verfasser.

sind mit Schwefelmetallen imprägnierte Varietäten der vorkommenden Gesteine. Es finden sich alle Übergänge von Hart- zu Kieserzen. Hart-erze kommen nur in Quarziten vor, Kieserze außerdem auch in Marmor und Skarngesteinen. Aus dem Gefügebild der Erze läßt sich schließen, daß die Sulfide zum größeren Teil primäre Bestandteile in den Gesteinen sind. Ihre heutige Placierung und Konzentration läßt den Schluß zu, daß durch Eindringen von Eruptivgesteinen, samt wiederholte Zusammenpressungen und Faltungen, der ursprüngliche Sulfidbestand teilweise umgelagert wurde. Durch die zerrissene Bergmasse zirkulierten Minerallösungen verschiedener Zusammensetzungen und zu verschiedenen Zeiten. In einer der frühesten Perioden wurden vorhandene Risse mit goldführenden Quarzadern gefüllt. Das ged. Gold wurde vermutlich aus den umgebenden oder darüber liegenden Kiesen extrahiert.

Dieser sehr inhaltsreichen Bearbeitung TÖRNEBOHMS mit ihrer syngenetisch-metamorphen Deutung stellte J. H. L. VOGT (1894), der zu dieser Zeit eifrig die Sulfidzerbildung auf chemisch-physikalischer Grundlage studierte, für Falun und Kaveltorp eine Erklärung als „intrusive Kieslager“ gegenüber. In einer Kritik der sedimentären Entstehungstheorie für die Huelva-Kieslagerstätten von WETZIG (1906) benutzt PREISWERK (1906) dort vorkommende gemischte Eruptivgänge und ihren mutmaßlichen Zusammenhang mit den Kiesen als Beweis für Epigenese. Es wird u. a. darauf hingewiesen, daß in Falun ähnliche Verhältnisse vorliegen (Quarzporphyrgänge mit amphibolitischen Randzonen). Diese Eruptivgesteinsgänge werden als Erzbringer aufgefaßt.

In einer zusammenfassenden Darstellung der präkambrischen Geologie von Schweden für den Intern. Geologenkongreß 1910 stellt A. G. HÖGBOM fest, daß von den Sulfidzeren in Mittelschweden die Kupfererze hauptsächlich an quarzitische Varietäten des Leptites und an Glimmerschiefer gebunden sind. Die epigenetische Natur der Sulfidzer vom Typus Falun ist nach A. G. HÖGBOM bewiesen. Es werden hierfür doch keine Beweise mitgeteilt. Gleich TÖRNEBOHM vertritt HÖGBOM die Auffassung, daß die Quarzite Produkte metasomatischer Prozesse sind. Außerdem fügt er hinzu, daß sie vermutlich durch die metasomatische Ersetzung des Feldspates durch Quarz entstanden sind. Über Natur und Herkunft der Erzlösungen ist nichts gesagt.

Im Exkursionsführer des Intern. Geologenkongresses 1910 über die Faluner Grube von H. J. SJÖGREN fußt der beschreibende Teil ganz auf den Untersuchungen TÖRNEBOHMS. Was die Entstehung der Erze betrifft, so sind diese bei SJÖGREN von klar epigenetischem Charakter, weil mit Sulfiden verheilte brecciöse Gefüge vorgefunden wurden und die Pyriterze in verschiedenen Gesteinen vorkommen (Quarzit, Leptit, Camgit, Skarn). In der I. Auflage von LINDGRENS „Mineral deposits“ (1913) wird Falun mit Vorbehalten als „intrusiv“ bezeichnet. Auf den metamorphosierten Charakter und die damit verbundenen Schwierigkeiten für Interpretation und Klassifizierung wird hingewiesen. Im Handbuche von BEYSCHLAG, KRUSCH & VOGT (1914) ist Falun ohne Vorbehalte zu den „intrusiven

Kieslagern“ gerechnet. Die „Goldgänge“ werden im 2. Bande des gleichen Werkes in der „Alten Goldgruppe“ genannt.

Etwa ein Vierteljahrhundert nach TÖRNEBOHMS monographischer Bearbeitung der Faluner Lagerstätte veröffentlicht GEIJER (1916) seine Studien über mittelschwedische Sulfidlagerstätten. Auch hier wurde Falun als Hauptobjekt gewählt. Außerdem werden die Resultate von mehr oberflächlichen Untersuchungen an 20 weiteren mittelschwedischen Vorkommen bekanntgegeben. Die Arbeit, die eine Ergänzung und teilweise Revision der klassischen TÖRNEBOHMSchen Untersuchung ist, befaßt sich besonders eingehend mit dem Gesteinsgrunde der weiteren Lagerstättenumgebung. Die Studien im Grubenfelde und dessen nächster Umgebung führen GEIJER zu teilweise wesentlich anderen Schlüssen über die Entstehung der Lagerstätte. Wie ESKOLA (1913), der erstmals zu ähnlichen Resultaten in Orijärvi kam, vertritt GEIJER die Auffassung, daß die Lagerstätten dieses Typus kontaktmetasomatischer Entstehung sein müssen. Die quarzitischen Gesteine in Lagerstätte und -umgebung sind durch metasomatische Veränderungen der Leptite entstanden (TÖRNEBOHM, A. G. HÖGBOM). Der Gehalt an Mg-reichen Mineralien in Quarziten, Karbonatgesteinen und Skarnen (Antophyllit, Gedrit, Cummingtonit, Tremolit, Cordierit, Forsterit, Humite u. a.) wird mit Hilfe der Mg-Fe-Si-Metasomatose erklärt, deren Lösungen, wie auch die der Erze, von den synsvionischen Gneisgraniten hergeleitet werden. Die Quarzporphyrgänge, die ähnliche chemische Zusammensetzung wie ESKOLAS erzbringender Oligoklasgranit bei Orijärvi haben und besonders in und um die Faluner Lagerstätte auftreten, werden von GEIJER zu den Gneisgraniten gestellt. Wie früher von PREISWERK (1906) schon ausgesprochen, sollen sie mit der Erzbildung in Zusammenhang stehen.

In BECK & BERGS „Abriß der Lehre von den Erzlagerstätten“ wird Falun im Kapitel „Sulfidische Erzlager meist epigenetischer Entstehung“ besprochen. Zu den Fahlbändern gerechnet, waren die Erze schon vorhanden, bevor die Metamorphose einsetzte. Gelegentlich gangförmige Erzbildungen werden auf sekundäre Umsetzungen zurückgeführt. Weil bei kontaktmetamorphen Lagerstätten die Erze gewöhnlich jünger als die Kontaktsilikate sind, hier jedoch die Erzminerale von Kontaktsilikaten umschlossen werden und damit schon vor der Kontaktmetamorphose vorhanden gewesen sein müssen, kann man höchstens von einer im Kontakthof metamorphosierten, nicht aber von einer Kontaktlagerstätte sprechen.

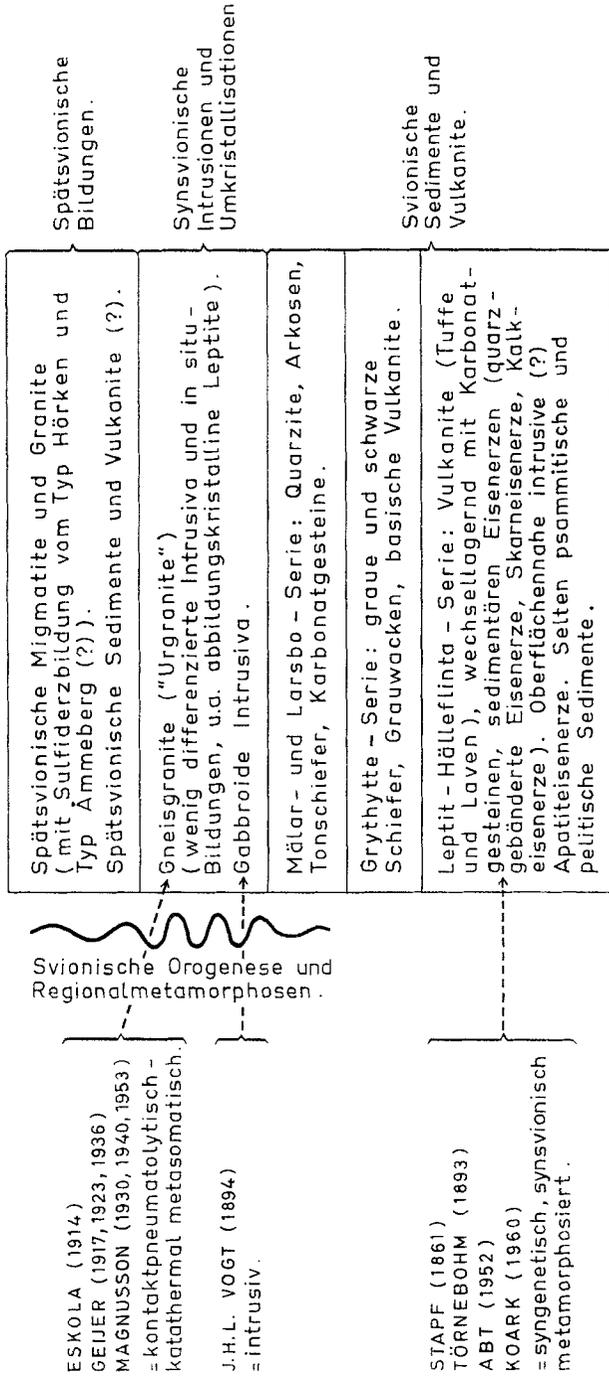
In dem umfangreichen Werke über Schwedens edle Erze und Bergwerke von TEGENGREN (1924) gibt dieser neben den Lagerstättenbeschreibungen auch einen zusammenfassenden Überblick über den hier diskutierten Typ. Wenn auch hauptsächlich sich auf die Arbeiten von TÖRNEBOHM und GEIJER beziehend, werden doch auch wertvolle eigene Gesichtspunkte vorgeführt, wie z. B. daß die Erze bis auf äußerst seltene Ausnahmen konform in die stratigraphischen und tektonischen Strukturen eingeordnet sind, samt, daß in keinem Falle greifbare Verknüpfungen zwischen Erzen und hypothetischem gneisgranitischen Erzbringer (ESKOLA, GEIJER) vorliegen.

Mit der Monographie von Riddarhyttan legte GEIJER (1923) den ersten

ZEITLICHE EINORDNUNGEN DER SULFIDERZGENESE VOM TYPUS FALUN.

(Die Lagerstätten sind ausschliesslich der Leptit-Hällefrinta - Serie eingelagert).

Das svionische Zeitalter.



ausführlich beschriebenen Fall vor, wo Sulfiderze in größerer Erstreckung zusammen mit Eisenerzen vorkommen. GEIJER glaubt hier erstmals Beweise zu haben, daß nicht alle in der Leptitformation vorkommenden Eisenerze sedimentär gebildet sind. Zu diesen rechnet er in Riddarhyttan nur die quarzgebänderten Eisenerze. Die Skarneisenerze hingegen werden zusammen mit Sulfiderzen und Bildungen der Mg-Metasomatose als kontaktpneumatolytische Bildungen von den Gneisgraniten her angesehen. Hierzu gehört besonders das als Källfall-Typ bezeichnete Erz, ein Antophyllit und Talk führendes Magnetiterz, umgeben von Cordierit-Antophyllit-Quarzit, das mehr oder weniger stark mit Sulfiden (Pyrit, Magnetkies, Kupferkies, Molybdänglanz usw.) und Fluorit imprägniert ist. Es soll eine metasomatische Erzanreicherung sein, die durch beinahe vollständige Verdrängung eines Silikatgesteines entstanden ist.

Die quarzigen Magnetiterze vom Myrbacktyp (später von MAGNUSSON als Metamorphite quarzgebänderter Eisenerze gedeutet) führen stellenweise reichlich Sulfide (Pyrit, Magnetkies, Kupferkies, Koboltglanz). Gangarten neben Quarz sind Biotit, Cordierit und Almandin. Diese Erze sind teilweise umgeben von Almandinquarzit. Mit Camgiten sind zwei Gruppen von Skarnerzen verknüpft: 1. Eine wenig Mn-haltige Magnetit-Granat-Pyroxen-Amphibol-Paragenese und 2. eine sulfidreichere Gruppe verknüpft mit Aktinolithskarn. Letztere enthält neben Magnetit, Kupferkies, Molybdänglanz, Wismutglanz stellenweise Cer-Mineraie (Cerit, Orthit, Törnebohmit, Bastnäsit). Das Gebiet der Lagerstätte wird von Süden her von spätsvionischem Granit und seinen Pegmatitschwärmen durchsetzt!

Seitdem sind aus einer großen Anzahl mittelschwedischer Eisenerz-lagerstätten Sulfidbeimengungen und/oder eingelagerte oder benachbarte selbständige Sulfidkörper bekanntgemacht worden. So aus dem Grubenfelde von Norberg (GEIJER 1917, 1936), wo in der Kallmora-Silbergrube ein Blei-Silbererz (Bleiglanz) an quarzgebänderte Eisenerze und ihre Nebensteine gebunden ist. Nicht weit davon entfernt findet sich in der Kallmorberg-Grube ein Kupfererz (Kupferkies und Bornit), das an ein Skarneisenerz anschließt. Auch aus anderen Bereichen des Grubenfeldes sind eine Reihe sulfidführender Partien mit wechselnden Anteilverhältnissen verschiedener Sulfide bekanntgeworden. Die Erze werden hier in Norberg — wie auch in den meisten anderen Vorkommen von Blasten „magnesiummetasomatischer“ Minerale begleitet.

In den manganreichen Skarnerzen von Dannemora i Uppland kommen nach TÖRNEBOHM 1878 und BÄECKSTRÖM 1923 Imprägnationen von Pyrit, Magnetkies und \pm Kupferkies vor. Im südlichen Teil des Grubenfeldes finden sich diese Minerale zusammen mit Zinkblende, Bleiglanz und Arsenkies zu selbständigen Erzkörpern angereichert. In Väster Silberg in Dalarna sind manganreiche Skarnerze \pm stark von Zinkblende und Bleiglanz begleitet, nicht selten auch von Kupferkies, Magnetkies und Arsenkies (WEIBULL 1882, GEIJER 1917). Ähnliche Verhältnisse liegen in den Eisenerzen von Håkansboda vor (KOARK 1958, 1960). Die großen Lager quarzgebänderter Eisenerze von Stråssa führen bisweilen quarzitisches Einschaltungen mit Pyrit- und Kupferkiesimprägnationen (KOARK 1960).

Diese Aufzählung könnte fortgesetzt werden. Es ist nur eine Auswahl der bekanntesten Fälle. Es kann beinahe als Regel betrachtet werden, daß die als sedimentär betrachteten Eisenerze mehr oder weniger Sulfidgehalte haben und die Sulfiderze \pm Magnetit führen.

Der genetische Zusammenhang von Sulfid- und Eisenerzen wurde m. W. erstmals von GEIJER (1917) diskutiert. Nach ihm sind die Sulfide, die mit Skarn- und Eisenerzen zusammen vorkommen, gemeinsamer kontakt-metasomatischer Entstehung. Sind die Sulfide doch an sedimentäre quarzgebänderte Eisenerze geknüpft, werden sie als sekundäre Bildungen angesehen. Für ihre Entstehung werden teils Gneisgranite, teils spätsivonische Granite verantwortlich gemacht (GEIJER & MAGNUSSON 1944).

Die eigentlichen Sulfidlagerstätten betreffend, befaßte sich MAGNUSSON 1930 mit der wichtigen Frage der Successionen der Skarnmineral- und Sulfidparagenesen in Kaveltorp. Dieser charakteristische Vertreter des Typus Falun weist in Dolomit hochtemperierte Einwanderungen von hauptsächlich Zinkblende, Bleiglanz und Kupferkies auf. Für diese und die Skarnmineralparagenesen wurde für den Dolomit folgende Bildungsfolge rekonstruiert: Olivin und Klinohumit, diesen folgen Diopsid und Aktinolit, samt schließlich fluorhaltige Minerale (Humite, Phlogopit, Fluorit). Im Stadium der Aktinolithsprossung in den Dolomiten greifen die zuwandernden Stoffe auch auf die Leptite über und wandeln diese in quarzähnliche Gesteine mit Gehalten von Cordierit, Gedrit, Almandin, Hornblende und Biotit um. An den Kontakten zwischen Leptit und Dolomit kommt es zu besonders kräftigen Stoffaustauschen mit Hornblende-Biotit-Chlorit-Skarnen als Reaktionsprodukte. In der gleichen Phase bilden sich in den zentralen Teilen der Dolomitkörper Mg-reiche Skarne (Tremolit, Antophyllit, Cumingtonit und Talk). Im Zusammenhang mit deren und der Hornblende-Biotit-Chlorit-Skarn-Entstehung soll die Sulfidinvasion eingesetzt haben. Eisenführende Sulfide (Pyrit, Magnetkies, Cubanit und Kupferkies) placierten sich in die Hornblende-Biotit-Chlorite-Skarne, eisenfreie bzw. -arme Sulfide (Bleiglanz, Zinkblende) in die Tremolit-Antophyllit-Cumingtonit-Talk-Skarne.

Durch ÖDMANS (1933) erzmikroskopische Untersuchung der Kaveltorper Sulfiderze wurden außer den makroskopisch erkennbaren Gemengteilen, die von MAGNUSSON schon genannt wurden, als weitere primäre hypogene Komponenten Wismut, Elektrum, Wismutglanz, Molybdänglanz, Breithauptit, Arsenkies, Dyskrasit und Fahlerz gefunden. Sekundär hypogene oder Umlagerungsprozesse führten zur Bildung von Magnetkies, Vallerit, Pyrit, Cubanit II, Bleiglanz, Kupferkies und Magnetit. Schließlich sollen supergen durch deszendierende Lösungen Pyrit, Markasit, Brauneisen und Magnetit gebildet worden sein. Mit Hilfe von Gefügerelationen und anderen Beobachtungen wird auf folgende Ausscheidungsfolge der Haupterzbildung geschlossen: Molybdänglanz, Pyrit und Arsenkies, Magnetkies, Zinkblende, Kupferkies, Bleiglanz und Wismuterze.

Kaveltorp wird nochmals, neben anderen Lagerstätten gleichen Types (Ljusnarsberg, Finnegrubefeld u. a.), von MAGNUSSON 1940 in einer Monographie über das Erzgebiet von Ljusnarsberg besprochen. MAGNUSSON

schließt hier dicht an seine Arbeit von 1930 und ÖDMANS Untersuchung an und verdeutlicht seine Gesichtspunkte über Skarnbildungen und Sulfidinvasionen. Die Lösungen für Mg-Metasomatose und Sulfidbildung wurden im gleichen Magmaherde wie die Urgranite gebildet und bei deren Intrusion vor diesen hergetrieben. Die ebenfalls im Gebiete gelegenen Scheelit-Molybdänglanz-Lagerstätten vom „Yxsjö-Hörken-Typus“ werden an die spätsvionischen Granite und ihr Gangfolge gebunden und stehen somit außerhalb der Diskussion.

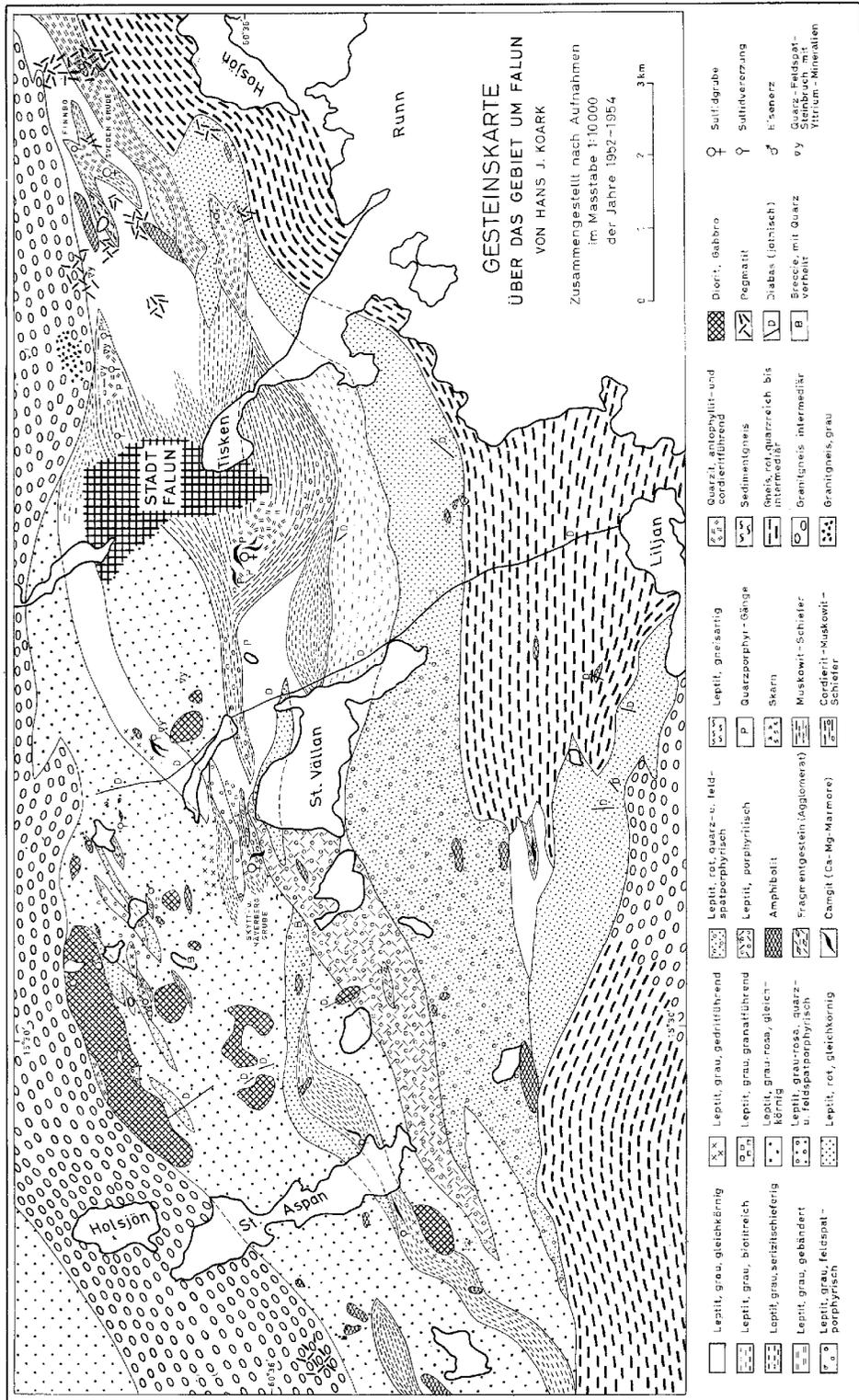
MAGNUSSON faßt schließlich seine Gesichtspunkte über Bau, Inhalt und Entstehung der Sulfidlagerstätten des Faluner Typus im Sinne seiner früheren (hier zitierten) diesbezüglichen Arbeiten in seinem Lehrbuche „Malmgeologi“ 1952 zusammen, wo auch kurze Charakteristika von ca. 25 Vorkommen gegeben werden. Die früheren Darstellungen werden doch insofern revidiert, als daß die Stoffe für die Mg-Fe-Al-Silikatkristallisationen der Mg-Metasomatose nicht mehr allein von den Gneisgraniten, sondern in verstärktem Maße von metamorphen Stoffaustauschen hergeleitet werden. Gleichartige Zugeständnisse werden doch nicht für die bei der Metamorphose z. T. nicht weniger mobilen Sulfide gemacht.

Ähnliche Gesichtspunkte und damit Zweifel über die Richtigkeit der klassischen ESKOLASchen Mg-Metasomatose wurden viel früher in Finnland geäußert (KRANCK 1931, WEGMANN 1931, 1935). Hierbei wurde außerdem auf die große Bedeutung direkter Teilbewegungen für Stoffverschiebungen hingewiesen. TUOMINEN & MIKKOLA (1950), TUOMINEN (1951) konnten hierfür schöne Beispiele aus dem Orijärvi-Gebiete beibringen, wo Cordierit- und Antophyllitanreicherungen als hochtemperierte Rekristallisationsprodukte mechanisch hochteilbeweglicher Edukte angesehen werden, die während der starken tektonischen Beanspruchungen selektiv in Druckminima abwanderten und sich dort anreicherten.

Hinsichtlich der Mg-Metasomatose macht RAMBERG (1952) auf den wichtigen Umstand aufmerksam, daß Mg vorzüglich in die Erstkristallisation eines Magmas eingebaut wird und daß die Resultate der experimentellen Silikatsystem-Forschung in keiner Weise eine Existenz Mg-reicher spätmagmatischer Lösungen stützen.

In einer unveröffentlichten Meldarbeit von W. ABT (1952) über die Lagerstätte Garpenberg in Dalarna werden mikroskopische Studien an Lagerstätteninhalt und -umgebung vorgelegt, die u. a. zu dem Resultat führten, daß wegen gegenseitiger Umschließungen von Gangarten und Sulfiden, letztere bereits vor der Silikatkrystallisation, vorhanden gewesen sein müssen und zusammen mit dieser einer regionalmetamorphen Um- bzw. Rekristallisation unterlagen. Damit ist doch nichts über die Frage ausgesagt, inwieweit Erz- und synkinematische Granitbildung in Beziehung zueinander stehen, da die zeitliche Stellung der Gneisgranitbildung innerhalb der verschiedenen regionalmetamorphen Phasen nicht festgelegt ist.

Sowohl die Lagerstätten vom Typ Falun als auch Ämmeberg werden in neueren Systematiken (SCHNEIDERHÖHN 1940, 1949) durchwegs als metamorphosierte Vorkommen behandelt, und es gibt wohl heute kaum jemand, der ernsthafte Einwände erhebt. Eine relativ große Anzahl Autoren hat



sich in den letzten 3 Jahrzehnten mit metamorphosierten Lagerstätten befaßt, und es gibt heute eine große Anzahl wertvoller Gesichtspunkte und Kriterien, die für Analyse und Synthese dieser Vorkommen von größter Bedeutung sind. Sie gibt es auf erzmikroskopischem, petrologischem, stratigraphischem, tektonischem, erzfügekundlichem und geochemischem Gebiete. Eine Stellungnahme hierzu ist aus zeitlichen Gründen nicht möglich und in diesem Zusammenhang wohl auch nicht von Bedarf.

Alle diese Methoden zusammen gesehen dürften ein recht verlässliches Bild über die metamorphe Entwicklung einer Lagerstätte geben. Sie können doch unter bestimmten Bedingungen, besonders bei meso- bis katazonaler Polymetamorphose, wie sie im Gebiete von Mittelschweden vorliegt, oft nicht mehr schlagende Argumente über den prämetamorphen Charakter der Erze liefern.

Die Verhältnisse in Falun

Über die Verhältnisse in Falun gibt vorstehender historischer Überblick mehr Deutungen als Daten. Für das Verständnis der später folgenden Argumentation über Altersstellung und Entstehung der Faluner Erze erscheint es zweckmäßig, vorerst einen Abriß über die dortigen geologischen Verhältnisse zu geben.

Die Faluner Erze sind in einem ENE—WSW streichenden und steilstehenden Leptitstreifen eingelagert, der nördlich und südlich von Gneisgesteinen (Gneisgraniten [„Urgraniten“], Leptitgneisen) begrenzt wird. Besonders im westlichen und nordwestlichen Teil des Gebietes finden sich an der Grenze Leptit-Gneisgranit und in der Leptitformation selbst eine Reihe von mehr oder weniger großen Diorit- bzw. Gabbro-Massiven, denen von verschiedener Seite ein genetischer Zusammenhang mit den Gneisgraniten zugesprochen wird. Im Leptitgebiete westlich Falun sind Gesteine effusiver Fazies stark vertreten und trotz Metamorphose teilweise noch wohl erhalten (Quarzporphyre, Rhyodazite, Andesite, Amphibolite mit Pillowrelikten usw.). In den sog. Leptiten östlich der Stadt sind Relikte von Erstarrungsgefügen selten. Anzeichen sprechen dafür, daß es sich bei diesen Gesteinen zum größeren Teile um ehemalige pelitische Sedimente handelt. Einlagerungen von Karbonatgesteinen wurden an verschiedenen Stellen westlich der Stadt angetroffen, dagegen nicht östlich davon.

Die Leptitformation wird im Norden von den nächst jüngeren Gneisgraniten (intermediärer Zusammensetzung) diskordant abgeschnitten. Gegen die südliche Gneisbegrenzung hingegen sind in den Leptiten zunehmende Korngrößen wahrzunehmen, die in einen salischen Gneis überführen. Nirgends wurden hier Kontakte angetroffen. Es ist somit nahe liegend, den südlichen Gneis mit seinen zahlreichen Amphiboliteinschaltungen durch Abbildungskristallisation aus Leptiten entstanden zu sehen.

Von den Vorkommen der ca. 6 km westlich Falun gelegenen Skytt- und Näverberg-Gruben läßt sich in ENE-licher Richtung ein ca. 12 km langer Streifen über Grube und Stadt Falun bis in das Gebiet von Sveden-Finnbo verfolgen, in dem in bezug auf Petrographie und Tektonik abweichende Verhältnisse von der umgebenden Leptitformation vorlie-

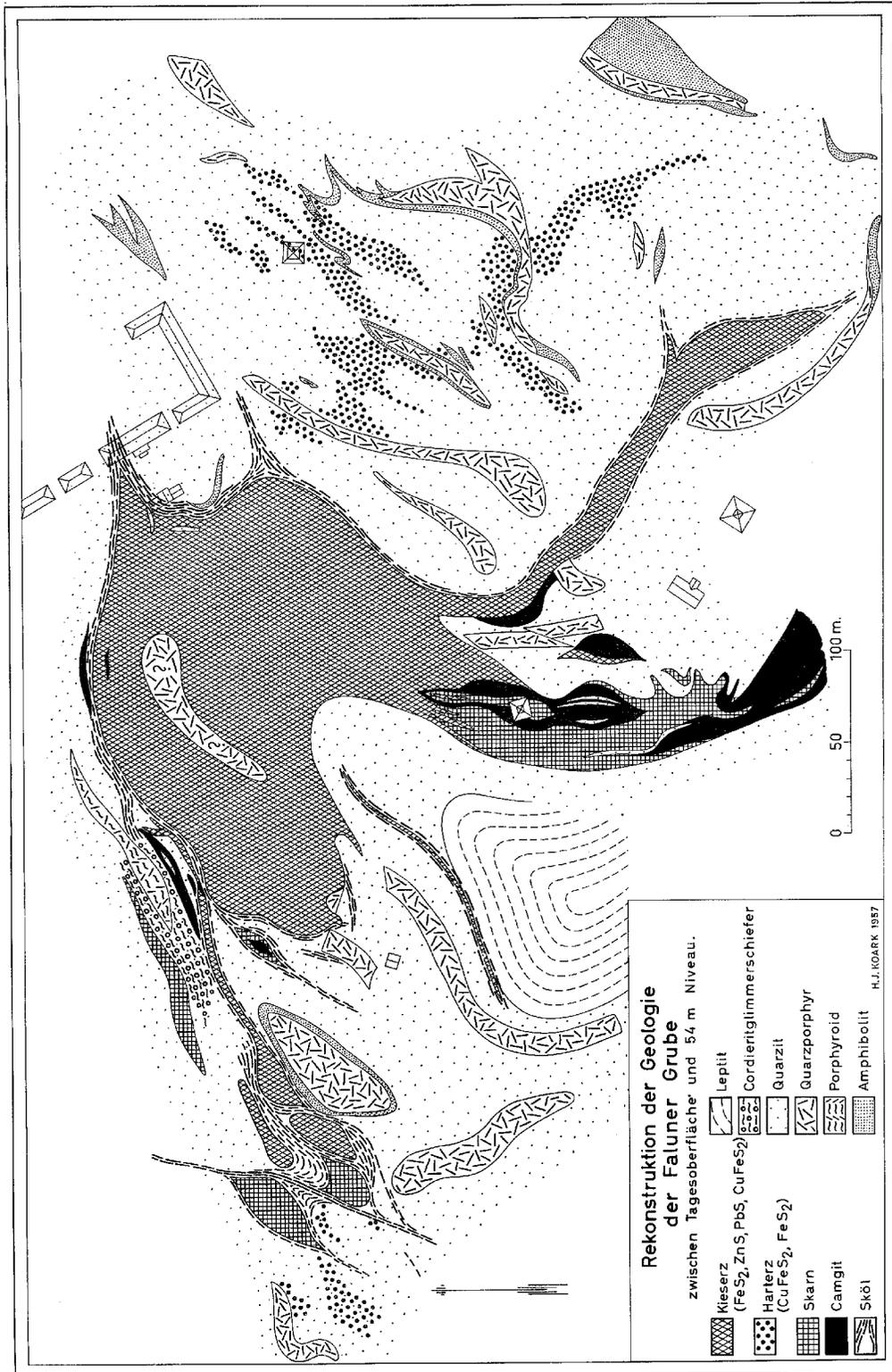
gen. In dieser dem stratigraphischen Streichen der Leptite konkordant eingeordneten Zone sind Hellglimmerschiefer, oft mit großen Cordieritporphyroblasten, und quarzitähnliche Bildungen (sogenannte Erzquarzite) mit Cordierit, Antophyllit, Andalusit, Biotit, Almandin, Sillimanit u. a. die häufigsten Gesteinstypen. Vereinzelte Einlagerungen von Camgiten sind bisweilen stark verkarnt (Diopsid, Strahlstein, Grossular, Forsterit, Humite und deren Umwandlungsprodukte Chrysotil, Chlorit u. a.).

Weil man annahm, daß zwischen Leptiten und Hellglimmerschiefern, samt zwischen Hellglimmerschiefern und Quarziten sukzessive Übergänge die Regel sind, werden seit HÖGBOM (1910) und GEIJER (1917) diese Bildungen als metasomatische Produkte nach Leptiten angesehen, wofür eine mit der Gneisgranitbildung verknüpfte Mg-Fe-Si-Metasomatose verantwortlich gemacht wurde. Detaillierte Kartierungen und umfangreiche Diamantbohrungen zeigen doch, daß wirklich sukzessive Übergänge ziemlich selten sind. Der Gesteinstypwechsel geschieht oftmals ziemlich abrupt. Die Annahme einer synsvionischen Mg-Fe-Si-Metasomatose ist auf Grund der sehr oft fehlenden Übergänge nicht zwingend, da vorkommende Stoffverteilungen auch durch eine Reihe anderer Prozesse erklärbar sind (z. B. primär-sedimentärer Fazieswechsel, vulkanisch-autometasomatisch, metamorph als Kontakte mit Reaktionsfähigkeit usw.).

Ähnliche Gesichtspunkte können auf die Karbonatgesteine verwendet werden. Diese sind einerseits von Skarnmineralblastesen heimgesucht worden, wenn auch quantitativ sehr verschieden (von Streubildungen bis zu beinahe völligen Ersetzung), andererseits aber beinahe von Skarnbildungen verschont geblieben, wie z. B. im südlichen Teil der Faluner Grube, wo ein ca. 40 m mächtiges Lager von Kalkmarmor mit wechsellagernden quarzitischen (!) Bänken kaum Reaktionsbildungen aufweist. Letzteres kann, da in hochmetamorpher Umgebung gelegen, als ein Hinweis für fehlende Stoffzufuhr, samt unmaßgeblichem metamorphem Stoffaustausch, aufgefaßt werden.

Sowohl die Erze der Skyttgrube als auch die in Falun kommen in Bereichen steilstehender Schlingenbaue (Meterhunderter-Maßstab) vor. Die Faltenbildungen wurden vermutlich im Zusammenhang mit WSW—ENE scherenden Bewegungen an solchen Stellen ausgelöst, wo durch komplexe Gesteinsglieder große Kompetenzunterschiede vorlagen. Die Erze bilden in und an ihnen linsen-, stengel- und stockförmige Körper. Sie sind ein typisches Formelement des hier für das Grundgebirge typischen Baustiles. Nach der ältesten rekonstruierbaren Faltung, die zu isoklinalem Faltenbau mit flachen Achsen führte, kam es in der Hauptphase der svionischen Regionalmetamorphose an den steilauferichteten Schichten zu Scherungen, Einengungen und Faltungen, die in dem steilachsigen Schlingenbau resultierten. Die charakteristischen oblongen Erzkörpergestalten, die sich stoffkonkordant in deren Großgefüge einfügen, wurden durch tektonische und molekuläre Stoffverlagerungen geformt.

Die Erze, die — von akzessorischen Mengen bis zur beinahe völligen Ersetzung — in Erzquarziten und Camgiten bzw. Skarnen eingelagert sind, setzen sich hauptsächlich aus Pyrit, Magnetkies, Zinkblende, Bleiglanz und Kupferkies zusammen. Eine Tendenz zur Korrelation von Erz-



typ und Gangart ist insofern gegeben, als daß Zinkblende und Bleiglanz gern in Camgiten bzw. deren Skarnen angereichert sind, Kupferkies in Erzquarziten, Skarnen und Ruschelzonen (Skölar). Pyrit ist mit Ausnahme der Skölar und Skarne in allen Gesteinen gewöhnlich.

Die großen Schwefelkiesmassen werden als Kiesstöcke bezeichnet. Ihre Erze, teils im Quarzit, teils im Kalkmarmor/Skarn eingesprengt, werden dementsprechend in kalkige und quarzige Kiese untergeteilt. Diese und eine bei ihrer Kartierung noch weitgehendere Differenzierung der Erz- und Gangartparagenesen soll helfen, eventuelle stratigraphische Züge zu erkennen. So finden sich in der gut erschlossenen westlichen Umbiegung des Großgrubenkieses (Storgruvekisen) drei deutlich abtrennbare Horizonte: Vom bergmännisch Liegenden zum Hangenden: 1. Zinkblende-Bleiglanz-reiches kalkiges Kieserz, 2. antophyllitreiches kompaktes Kieserz mit Schichtung (vattkis) und 3. gewöhnliches quarziges Kieserz. 2. und 3. enthalten in geringeren Mengen Zinkblende, Bleiglanz und Kupferkies. Die kupferkiesreichsten Stellen innerhalb der Kiesstöcke sind nahe oder an deren Grenzen. In kleineren Teilbereichen der Kiesstöcke finden sich As-Sb-führende Paragenesen mit Arsenkies, Tetraedrit, Geochronit u. a., wie z. B. in den kalkigen Lorichs- und Wallinerzen.

Die metamorphen Erzgefüge lassen wegen Überlagerung von Rekrystallisationen, Umkrystallisationen und Porphyroblastenbildungen keine Krystallisationsfolge erkennen. Zinkblende, Bleiglanz und Kupferkies sind rekrystallisationsfreudiger als Pyrit. Als Porphyroblasten mit Interngefügen treten bei den Erzen Pyrit und Magnetit besonders hervor. Innerhalb der Erze und Gangarten waren keinerlei Teufenunterschiede erkennbar. Der Mineralbestand und besonders das Gefügeverhalten der Erzminerale liefert die charakteristischen Merkmale einer unter katathermalen Bedingungen metamorphosierten Lagerstätte, wo die Krystallisationen die Kineto-metamorphose maßgeblich überdauert haben.

Das Großgrubenkieserz (Storgruvekisen) nimmt den zentralen Teil der Grube ein (Faltenkern) und ist vom Tagebau bis auf 332 m Tiefe verfolgbar, wo es ausspitzt. Südöstlich davon schließen die Källort- und Drottningkieserze an. Letzteres ist das am tiefsten reichende Kieserz (~ 500 m)¹⁾. Westlich des Großgrubenkieserzes sind die Kieserze der Lovisa-Grube gelegen.

Die wichtigsten Kupferkonzentrationen kommen außerhalb der Kiesstöcke (und -lager) als Kupferkies-Imprägnationen in den Erzquarziten vor. Sie werden als Harterze bezeichnet. Stellenweise kann doch Pyrit und Magnetkies in solchen Mengen hinzutreten, daß es zu Übergängen zu Kieserzen kommt (als „halbhart“ bezeichnet). Dabei wird zunehmend auch Zinkblende und Bleiglanz beteiligt sein. Die Harterze haben gleich denen der Kieserze subparallel der stoffkonkordanten B-Achse gestreckte Erzkörpergestalten. Die bedeutendsten Vorkommen finden sich östlich des Großgruben- bzw. nordöstlich des Drottning-Kieserzes und westlich der Lovisa-Kieserze. Innerhalb der östlichen Harterze kommen als Kluffüllungen zusammen mit Quarz, ged. Gold und komplexe Blei-Selen-Wismut-

¹⁾ Mündliche Mitteilung von E. CARLSSON.

Sulfide vor. Gewisse Bereiche davon wurden als Golderz abgebaut. Vgl. S. 127, 128.

Eine für die lagerstättenkundliche Erforschung und den Abbau wichtige Rolle spielen die Skölar. Diese durch scherende und pressende Bewegungen entstandenen Ruchelzonen sind sowohl in den Erzen als auch in den Nebengesteinen anzutreffen. Hierbei reagierten die durch unmittelbare Teilbewegungen betroffenen Gesteine mittelbar im Sinne von Deformationsverglimmerungen im weitesten Sinne. In ihren schiefriigen Kristallisationsprodukten herrschen im allgemeinen solche Minerale vor, die chemisch der ursprünglichen Zusammensetzung der betroffenen Gesteine nahekommen. Für diesbezügliche Abweichungen muß ein gewisser Grad von Stoffaustausch verantwortlich gemacht werden. Es sind hauptsächlich Hell- und Dunkelglimmer, Chlorit, Talk und Serpentin, die den Skölar ihr Gepräge geben. Je nach chemischem Milieu sind in ihnen postdeformativ gebildete Porphyroblasten von Cordierit, Antophyllit, Tremolit, Almandin, Gahnit u. a. anzutreffen. Die Skölar sind teilweise stark vererzt, besonders durch Kupferkies.

Eine besonders mächtige Skölzone (bis 30 m) ist an dem Kontakte von Kieserz und Nebengestein im westlichen Teile des Großgrubenkieserzes aufgeschlossen. Es erscheint fraglich, ob es sich hierbei ausschließlich um tektonische Bildungen handelt. Wenn auch maßgeblich skölige Camgite daran anschließen, so besteht doch die Hauptmasse aus Glimmergesteinen, die entweder ursprünglich eine von ihrer Umgebung abweichende sedimentäre Einlagerung war oder/und durch starke metasomatische Stoffwechselreaktionen zustande kamen.

Lagerstätteninhalt und -umgebung werden von gangförmigen Quarzporphyren (teils massig, teils porphyroid) durchsetzt. Nicht selten haben diese amphibolitische Randzonen. Sie werden demzufolge oft als „gemischte Gänge“ gedeutet. Außerdem sind selbständige Amphibolite vorhanden, bei denen sich meist nicht mehr entscheiden läßt, ob die primäre Platznahme ihrer Vorgänger in der Lagerfolge diskordant oder konkordant erfolgte. Sowohl Quarzporphyre als Amphibolite sind z. T. gefaltet und verworfen, ohne daß sich deren Formungsbilder direkt auf die Tektonik des Lagerstätteninhaltes und seiner Umgebung beziehen lassen. Hiervon auszunehmen sind die Porphyroide, die sich in die Verschieferungszonen gut einfügen.

Einiges zur Alterstellung und zur Problematik der pyrometasomatischen Deutung der Faluner Erze

In der historischen Übersicht über die Erforschung dieses Lagerstätten-typus und im vorstehenden geologischen Abriss über die Verhältnisse in Falun wurde Einsicht in den Fragenkreis dieser Erze gegeben und teilweise auch schon auf die Problematik gewisser Deutungsversuche hingewiesen. Im folgenden sollen noch einige Unstimmigkeiten aufgezeigt wer-

Bei der Darstellung auf Texttafel 4 wurde für das östliche Harterzgebiet auf Rekonstruktionen von TÖRNEBOHM und GEIJER zurückgegriffen. Für den Bereich der Lovisa-Grube wurde eine Zusammenfassung von E. CARLSSON mit verarbeitet.

den, die die weitverbreitete Anschauung der pyrometasomatischen Entstehung dieser Erze in Zusammenhang mit Mg-Fe-Si-Metasomatose und Gneisgranitbildung betreffen.

TÖRNEBOHM (1893) und GEIJER (1917) stellten fest, daß die Quarzporphyrgänge (bzw. gemischten Gänge) in und um Falun in genetischer Relation zu den Gneisgraniten stehen, was indirekt einer Alterseinstufung gleichkommt. TÖRNEBOHM äußert es lediglich als Vermutung. GEIJER hingegen versucht seine Stellungnahme mit Hilfe der ähnlichen chemischen Zusammensetzung von Faluner Gängen und der Randfazies des von ESKOLA als Erzbringer bezeichneten Oligoklasgranites bei Orijärvi zu stützen²⁾. Weder von TÖRNEBOHM noch von GEIJER werden direkte Beweise einer Zusammengehörigkeit von Quarzporphyrgängen und Gneisgranit erbracht. Gleich ESKOLA glaubt auch GEIJER, daß die Gneisgranite die Erzbringer sind und, auf Falun bezogen, daß Quarzporphyr- und gemischte Gänge in ursächlichem Zusammenhang mit der Erzführung stehen. Das heißt wiederum indirekt, daß die Platznahme der Erze jünger als die der Gänge ist, was von MAGNUSSON (1953) auch direkt herausgestellt wird.

Dem möchte ich folgende Beobachtungen und Überlegungen entgegenstellen: Vor einigen Jahren wurden im östlichen Teile des Stadtgebietes von Falun (Vorort Järlinden) durch Bauarbeiten eine Reihe Aufschlüsse geschaffen, die u. a. an einigen Stellen den Kontakt des nördlichen Gneisgranites mit den Gesteinen der Leptitformation entblößten. Dabei war festzustellen, daß die hier in Leptiten und Glimmerschiefern quergreifenden Quarzporphyrgänge nicht in den Gneisgranit fortsetzten, d. h. von ihm an der mit 60° N einfallenden Kontaktfläche (mit Granitgneis im Hangenden) abgeschnitten wurden. Es ist demzufolge naheliegend, einen direkten genetischen Zusammenhang von Gängen und Gneisgranit zu bezweifeln. Außerdem kommt hinzu, daß die teilweise recht variierende chemisch-mineralogische Zusammensetzung, sowohl der quarzporphyrischen Anteile als auch ihrer basischen Randzonen, samt die oft recht unterschiedlichen skalaren und vektoriellen Korngefüge nur wenig Anknüpfungspunkte für eine Verwandtschaft beider Gesteinsglieder geben. Es wird dadurch wahrscheinlich, daß diese gemischten Gänge einer Spätphase der Leptitformation zuzurechnen sind.

Diese bisherige Feststellung hat scheinbar keinen Einfluß auf die von

²⁾ Außerdem wurde von GEIJER darauf hingewiesen, daß die Quarzporphyrgänge nur im Bereich der Lagerstätte auftreten. Das wurde als einer der Hinweise für ihre genetische Relation mit den Erzen benutzt. Seit TÖRNEBOHM ist doch bekannt, daß solche Gänge auch außerhalb des Grubenfeldes und der „Umwandlungsgesteine“ vorkommen. Das haben auch die Kartierungen der letzten 10 Jahre bestätigt. Der Eindruck eines besonderen Quarzporphyrgang-Reichtumes im Gebiet der Lagerstätte kann unzutreffend sein. Der Aufschließungsgrad ist hier ein ganz anderer und das Auftreten dieser Massengesteine in Cordieritglimmerschiefern, Erzquarziten und Erzen ist leichter zu erkennen als in den ihnen so ähnelnden quarzporphyrischen Leptiten. Andererseits wären Ganganhäufungen leicht zu erklären, da ja Erze und Nebengesteine für selektive Tektonik besonders empfänglich sind und günstige Voraussetzung für solche Raumschaffung bieten.

GEIJER indirekt und von MAGNUSSON direkt vorgetragene Auffassung, daß die Erze jünger als die Gangbildungen sind. Dem stehen doch folgende Beobachtungen entgegen: ESKOLA, GEIJER und MAGNUSSON kamen zu dem Resultate, daß enge Beziehungen zwischen Sulfiderzbildung und Mg-Metasomatose bestehen. Das scheint durch die angeblich regelbündene Assoziation von Sulfiderzen, teilweise auch Eisenerzen, mit SiO_2 - und Mg-reichen Gesteinen naheliegend. Sowohl in Falun als auch in Garpenberg (ABT 1952) war aus Dünn- und Anschliffen zu entnehmen, daß die letztmalige Kristallisation der Sulfide und Mg/Fe- und Al-Silikate sich zeitlich überlagert haben muß (in Falun: Sulfide mit Mg/Fe- und Al-Silikaten als Interngefüge, wie auch Diopsid, Antophyllit, Spinell u. a. mit Sulfiden als Interngefüge). In diesem Milieu von Sulfiderzen und ihren Aureolen aus Erzquarziten, mit wechselnden Gehalten von Cordierit, Antophyllit, Gedrit, Andalusit, Biotit, Sillimanit u. a., samt Glimmerschiefern und Skarngesteinen kommen in Falun als stoffliche Fremdkörper die Quarzporphyrgänge vor. Sie sind — wenn überhaupt — nur randlich einige dm tief umgewandelt, d. h. silifiziert mit Neubildungen von Cordierit und Antophyllit, samt etwas mit Sulfiden imprägniert. Selbst dort, wo sie durch Verschieferungsprozesse ausgeprägte Tektonite wurden; fehlen tiefergreifende Einwirkungen der sogenannten Mg-Metasomatose. Stellt man sich dabei die nicht geringen Stoffumsetzungen vor, die bei einer solchen Mg-Fe-Si-Metasomatose vorgekommen sein müßten, so scheint es unverständlich, daß nicht auch die Quarzporphyrgänge und ihre basischen Randzonen gleichviel von der Erzbildung und den metasomatischen Umsetzungen abbekamen. Obgleich sie sowohl für direkte wie indirekte Teilbewegungen (molekuläre) die gleichen stofflichen und strukturellen Voraussetzungen darboten wie die umgebenden Leptite.

Diese metamorphe Diskrepanz läßt unter Voraussetzung, daß diese Eruptivgänge ein Teil der Leptitformation sind, den Schluß zu, daß die Erze und die Platznahme des Stoffbestandes für die Bildungen der Mg-Fe-Al-Silikate älter als die Eruptivgänge sind.

Selbst dann wenn man die oben angeführten Beobachtungen und Kriterien für die Unabhängigkeit der Eruptivgänge von den Gneisgraniten in Zweifel zieht, ergeben sich Schwierigkeiten für eine Erklärung dieses beinahe unumgewandelten Zustandes der Gänge. Man fragt sich, sollten nicht die angeblichen Dämpfe und Restlösungen des „urgranitischen“ bzw. quarzporphyrischen Magmas, die doch, um einen solchen tiefgreifenden Umwandlungsprozeß über einen solchen großen Bereich (allein ca. 10 km^2 im Horizontalschnitt) zu ermöglichen, in sehr bedeutenden Mengen vorhanden gewesen sein müssen, nicht auch ihre Muttergesteine maßgeblich autometasomatisch erfaßt haben? Aber das ist, wie gesagt, nicht der Fall.

Wenn also die Quarzporphyrgänge Bildungen der Leptitformation sind und älter als die Gneisgranite, letztere wiederum jünger als die Hauptkristallisationen der Sulfide und Silikate, so wird eine Herleitung des Erzmaterials von granitischen Magmen insofern auf Schwierigkeiten stoßen, weil aus dieser Bildungsperiode nirgends tiefplutonische Bildungen grani-

tischer Zusammensetzung bekanntgeworden sind. Das würde bedeuten, daß man sich nach einem nichtgranitischen Erzbringer umsehen muß.

Im gleichen Sinne muß auch die Frage nach der Herkunft der Agentien für die Bildungen der sogenannten Magnesiametasomatose interessieren. Die Relationen der Quarzporphyrgänge zu Erzen und „Mg-metasomatischen“ Kristallisationen sind ja gleichartig, d. h. daß der Stoffbestand für die Bildung der Mg-Fe-Al-Silikate gleichfalls vor Eindringen der Gänge, d. h. wiederum vor der Gneisgranitentstehung maßgeblich fixiert gewesen sein muß. Der klassischen Mg-Fe-Si-Metasomatose von ESKOLA und GEIJER sind neben gewissen Ergänzungen — doch mit gleicher Grundkonzeption — auch andere Erklärungsversuche für diese spezifischen Stoffanreicherungen und Mineralparagenesen entgegengestellt worden. Wie schon erwähnt, deuteten TUOMINEN und MIKKOLA (1950) im klassischen Gebiete von Orijärvi die Cordierit- und Antophyllitanreicherungen nicht im Sinne ESKOLAS, sondern als hochtemperierte Rekrystallisationsprodukte, von mechanisch hochteilmobilen Massen, die während starker tektonischer Beanspruchungen selektiv in Druckminima abwanderten und dort sich anreicherten. Gleichartige Kriterien ließen sich doch bisher nicht mit Sicherheit in Falun konstatieren, was doch nicht ausschließt, daß auch hier maßgebliche Stoffverschiebungen durch direkte Teilbewegungen ausgelöst wurden. Als Beispiel für die Erze kann genannt werden, daß in stark B-tektonitischen Kieserzen nur Pyrit und Zinkblende anzutreffen sind, während Kupferkies und Bleiglanz mittelbar in Druckminima abwanderten. Für die Nebengesteine ist andererseits denkbar, daß ein metamorpher, \pm durch Tektonik influierter, Stoffaustausch zwischen SiO_2 - und Mg-Fe-reichen Gesteinen geschehen sein kann. Die Herkunft des Mg in den Erzquarziten könnte z. B. durch eine Entdolomitierung der Camgite erklärt werden. Diese liegen ja heute zum größten Teile als Kalkmarmore vor. Eine übersichtliche Bilanz der Stoffbestände und ihrer Verteilung macht es nicht unwahrscheinlich, daß bei einer angenommenen Entdolomitierung prämetamorpher Dolomite so viel Mg hätte frei werden können, daß es als Zuschuß den Bedarf für die vorliegenden Mg-Silikatkristallisationen hätte decken können. Diese Möglichkeit ist natürlich hypothetisch. Molekuläre Stoffverschiebungen mit kleinen Beträgen sind hier und da mit einiger Sicherheit wahrscheinlich zu machen. Im großen gesehen scheint doch während der Regionalmetamorphose eine Tendenz zu molekularer Platzbeständigkeit vorgelegen zu haben.

Von mindestens gleichgroßer Bedeutung in diesem Fragenkomplex ist die Kieselsäureherkunft. Sie ist ja nach ESKOLA, GEIJER und MAGNUSSON für die vollständige oder partielle Austreibung oder Umlagerung der Alkalimetalle und der Tonerde verantwortlich. Im Einklang mit der bisherigen Argumentation ist das — wenn überhaupt — nicht in Verbindung mit der Gneisgranitwerdung geschehen, sondern früher. Es liegt nahe, in diesem Zusammenhang an Verkieselungserscheinungen in und an subvulkanischen Lagerstätten zu denken und auch in unserem Falle die etwaige Einwanderung der Kieselsäure und anderer Stoffe (z. B. Mg) an die subvulkanischen Prozesse der damaligen Suprakrustalgenese zu knüpfen. Ob

man dabei für den Gesamtbereich auf KORSCHINSKIS Infiltrationsmetasomatose zurückgreifen kann, ist bei dem heutigen hochmetamorphen Zustand unentscheidbar. Sie könnte jedenfalls die Bildung der Erzquarzite durch suprakrustale Verkiezelung der Quarzporphyre erklären.

Andererseits ist die Tatsache, daß die Sulfiderze nicht selten gemeinsam mit quarzgebänderten Eisenerzen vorkommen (vgl. S. 130), wie z. B. auch in Falun, wo in der Einsturzmasse der großen Pinga quarzgebändertes Eisenerz angetroffen wurde, in dessen Schichtung Zinkblende, Pyrit, Kupferkies und Magnetkies eingehen, ein Hinweis, daß es sich bei allen Erzquarziten nicht unbedingt um metasomatische Produkte handeln muß. Die tragende Erklärung für die Bildung der quarzgebänderten Eisenerze ist ja besonders seit VAN HISE & LEITH (1911) exhalativ-synsedimentär. Für die mittelschwedischen Vorkommen wurde das auch kürzlich wieder von GEIJER (1957) bestärkt.

Auch die Skarneisenerze, die ja gleichfalls oft Sulfide in verschiedensten Anteilverhältnissen führen oder diese in gesonderten Anreicherungen begleiten, werden als sedimentär angesprochen (MAGNUSSON). Sie sind nur mehr oder weniger regionalmetamorph umgebildet bzw. umgelagert. Ihre Heimat liegt in vulkanischer Umgebung, und eine verwandte Entstehungsweise zu den quarzgebänderten Eisenerzen liegt nahe. Die gesonderte spätere metasomatische Zuführung der Sulfidgehalte, wie sie von GEIJER und MAGNUSSON vertreten wird (vgl. S. 131), scheint m. E. nicht bindend. Nach allem bisher Vorgebrachten scheint mir näherliegend, daß sowohl Eisen- als auch Sulfiderze des behandelten Typus ein und derselben Entwicklung angehören.

Die Lagerstätten des Typus Falun sind jedoch nicht so einheitlich ausgebildet, wie man vielleicht glauben könnte. Zwischen den einzelnen Vorkommen gibt es oft beträchtliche Unterschiede hinsichtlich der quantitativen Zusammensetzung von Erzen, Gangarten und Nebengesteinen. Bei den Erzen z. B. dominiert in Falun der Pyrit, während in den anderen Lagerstätten Zinkblende und Bleiglanz hervortreten. Bei den Nebengesteinen sind „Umwandlungsaureolen“ durchaus nicht die Regel, sondern es gibt Vorkommen, wo diese fehlen. Auch das läßt sich viel besser verstehen, wenn man die Erze syngenetisch als bei variierenden subvulkanischen Bedingungen gebildet auffaßt.

Unter diesen Voraussetzungen ist eine Abtrennung des Typus Ämmeberg nicht mehr gerechtfertigt. Für die Annahme einer jüngeren, durch die Migmatitfronten der spätsvionischen Granite verursachten metasomatischen Bildung (MAGNUSSON) finden sich keine zwingenden Kriterien.

Andererseits muß berücksichtigt werden, daß die metamorphe Um- und Einförmung in dieser Tiefenstufe besonders hinsichtlich der Sulfide einen relativ homogenen Typ geschaffen haben muß, dessen Ausgangsmaterial durchaus recht unterschiedliche mineralogische Zusammensetzung und Entstehungsweise innerhalb des oben abgegrenzten Bildungsbereiches gehabt haben kann. Außerdem ist denkbar und auch wahrscheinlich, daß während der regionalmetamorphen Mobilisierungen und den verschiedenen granitischen Beeinflussungen zusätzlich Metalle zugeführt worden

sind. Hier wird man hauptsächlich an Vorkommen denken, die Molybdän- glanz führen und von spätsvionischen Graniten und Pegmatiten durch- setzt oder begleitet werden (vgl. S. 130: Riddarhyttan).

Ein anderer Problemkreis, der nur in Kürze angedeutet werden soll, gilt dem Verhältnis von Porenraum, chemischer Widerstandsfähigkeit und metasomatischer Verdrängung bzw. Imprägnation. Man erwartet, daß Ge- steine mit großem Porenvolumen und leichter Verdrängbarkeit in erster Linie vererzt werden. Hier gibt es in Falun zahlreiche Beispiele, die da- gegen sprechen. So sind z. B. die Skölar, die bisher als offene Wege für die eindringenden primären Erzlösungen angesehen worden sind, nur zum sehr geringen Teil vererzt. Und wenn, dann meist nur mit dem bei meta- morpher Lösungsumbildung letzkristallisierenden Kupferkies und Blei- glanz. Übrige Sulfide sind selten oder fehlen ganz. Es ist darum unver- ständlich, daß — auch wenn man mehrphasige Entstehung in Betracht zieht — diese so oft erzlos geblieben sind, trotz das angrenzende oder nahegelegene Camgite und Quarzite sehr kräftige Verdrängungen erfah- ren haben sollen. Im gleichen Sinne ist auch die Tatsache merkwürdig, daß z. B. reichvererzte dichte Quarzite im Kontakt mit erz- und Mg- silikatifreien Kalkmarmoren liegen können. Diese Feststellungen sprechen meiner Ansicht nach dafür, daß die erste Platznahme der Sulfide vor der Skölbildung stattgefunden hat und die Skölar keineswegs die Zufuhrwege für die primären Erzlösungen waren.

Übrigens zeigt die statistisch-tektonische Behandlung der Skölar (KOARK 1959), daß sie sowohl im Erz als auch Nebengestein tautozonal um die Achse des regionalen Stengelbaues angeordnet sind, wobei doch Orientie- rungen in NNW—SSE hervortreten. Aus den Gefügen der von Skölbildun- gen nicht betroffenen Gangarten, einschließlich der Mg-Fe-Al-Silikate und den mehr stabileren Sulfiden (FeS_2 , ZnS , FeS), ist zu entnehmen, daß diese an der steilachsigen Einengungstektonik teilnahmen. Das zeigen ihre stoffkonkordanten Regelungsgefüge. Diese metamorphe Hauptphase ge- schah unter Bedingungen der Amphibolitfazies. Wie aus der Orientierung der Skölar und ihrem epimetamorphen Mineralbestand (Grünschiefer- Fazies) hervorgeht, dürfte deren Bildung in einer späteren diaphthoriti- schen Phase erfolgt sein, wo deren geometrische Anlage durch den B- axialen Bau und seine latenten Spannungen vorgezeichnet wurden. Also dann, als die Hauptanteile der Sulfide und Gangarten schon am Platze waren. Eine letzte Druck- und Temperaturerhöhung hat ohne maßgeblich gerichtete Drucke isocheme Porphyroblastbildungen von Cordierit, Anto- phyllit, Tremolit, Spinell u. a. verursacht.

Noch einige andere Hinweise und Einwände:

Die Sulfiderze und ihre Begleitgesteine kommen nicht an den Gneis- granitkontakten selbst vor, sondern immer auf mehr oder weniger großen Abstand in der Leptitformation. MAGNUSSON (1953) vertritt die Auffassung daß Mg, Fe, Si und sulfidische Komponenten in einer Lösungsfront vor den sich bildenden Gneisgraniten hergetrieben und an ihren heute be- findlichen Stellen angereichert und placiert worden seien. Der diesbezüg- liche Horizont verläuft für Falun nur im westlichen Teil des Gebietes an-

nähernd parallel zum Gneisgranitkontakte. Im östlichen Teil nähert er sich ihm, d. h. streicht diskordant zum Kontaktverlauf. Erze und Begleitgesteine zeigen hier weder qualitativ noch quantitativ mineralogische und strukturelle Verschiedenheiten (z. B. zonale Anordnungen), wie man sich bei wechselnden Abständen vom Erzbringer erwarten könnte. Schwerwiegender ist doch die Tatsache, daß sich zwischen dem Erzhorizont und dem Gneisgranit ein Leptitstreifen befindet (im westlichen Teil ca. 2 km breit), der keinerlei Sulfidbildungen oder/und magnesiometasomatische Umwandlungen aufweist. Im Falle einer solchen Migration sollte man aber doch erwarten, daß in den angeblich durchwanderten Gesteinen zumindest Spuren eines solchen extremen chemischen Eingriffes hinterblieben wären. Aber das ist, wie gesagt, nicht der Fall. Die mögliche Annahme, daß der granitische Erzbringer in der Tiefe steckt, läßt sich mit keinerlei Beobachtungen stützen.

Wenn man in anderen Orogenen, besonders jüngeren, genetische Relationen zwischen Gneisgraniten, Graniten und Erzen vermutete, wurde als Kriterium hierfür die zonale Anordnung der lagerstättenbildenden Metalle um den Granit- bzw. Gneisgranitpluton angesehen. Am Beispiele der Ostalpen vertrat man dabei nicht nur magmatische Auffassungen (W. PETRASCHECK sen., W. E. PETRASCHECK jun.), sondern es wurden auch metamorphen Stoffumlagerungen und Lösungstransporten während der alpidischen Regionalmetamorphose große Bedeutung eingeräumt (E. CLAR, O. FRIEDRICH, F. ANGEL). Wie dem auch sei, im svekofennidischen Orogen gibt es um die konkordanten Gneisgranitplutone wie auch die jüngeren postsvonischen Granite keinerlei Anzeichen einer zonalen Verteilung der verschiedenen als magmatisch bzw. pyrometasomatisch angesehenen Metallkonzentrationen.

Ein weiterer Gesichtspunkt, der gegen einen Zusammenhang von Gneisgranit- und Erzbildung spricht, ist folgender: Die Einheiten der obersten Abteilung der Leptitformation, die sogenannte „Larsbo-Formation“ (vgl. Tab. 1), setzen sich aus den klastischen Verwitterungsprodukten der daruntergelegenen Formation zusammen, die sich im Initialstadium der svonischen Orogenese in den durch diese hervorgerufenen Vertiefungen abgelagerten. Sie liegen heute als grobkörnige Quarzite, Glimmerschiefer, Metagrauwacken und Plagioklasgneise vor, bisweilen mit Einschaltungen basischer Vulkanite. Es fehlen sowohl Karbonatgesteine als auch Eisen-erze. Die Gesteinsfolgen der Larsbo-Formation wurden durch die Hauptphasen der svonischen Orogenese gefaltet und umkristallisiert. Sie befinden sich heute hauptsächlich in synisoklinalen Lagen. — Trotz, daß sie ziemlich große Areale im zentralen Teile von Mittelschweden einnehmen und nicht selten an solchen Stellen vorkommen, daß benachbarte und angrenzende Gneisgranite hätten Kontakteinwirkungen hinterlassen müssen, ist bisher kein Fall bekanntgeworden, daß Sulfidvorkommen vom Typus Falun innerhalb dieser Formation auftreten. Hält man an der kontaktmetasomatischen Entstehungsweise fest, so wäre das ein eigenartiger Zufall! Gleichkörnig verteilte Sulfidgehalte sind doch hier und da anzutreffen. In den muskowitzreichen Oligoklasgneisen treten sie zusam-

men mit reichlich Graphit (!) auf. Verschiedentlich vorkommende Cordierit- und Andalusitglimmerschiefer werden als metamorphe Fazies entsprechend zusammengesetzter Ausgangssedimente aufgefaßt (HJELMQVIST 1938).

Das Hauptgewicht obiger Ausführungen lag darin, die Schwierigkeiten aufzuzeigen, die einer Herleitung der Erze von den Gneisgraniten entgegenstehen. Aus den Arbeiten von TAUPITZ (1954), AMSTUTZ (1959) und MEHNERT (1960) ließen sich weitere Gesichtspunkte mehr allgemeiner Art anführen, die ein Wegrücken der Erze von diesen wenig differenzierten granitischen Gesteinen befürworten. Die hinsichtlich Zusammensetzung, Gefüge und Auftreten vorliegenden Merkmale weisen ihnen mit genügender Deutlichkeit eine syngenetische Stellung zu. Der hohe Metamorphosegrad vereitelt leider eine nähere genetische Bindung an bestimmte Gesteinsglieder. Für klastisch-chemisch- oder biogen-sedimentäre Entstehung fehlen jegliche regionalgeologische Voraussetzungen; gleichfalls für Austreibung und Konzentration durch Mobilisation. Wie schon früher begründet, machen oben angeführte Kriterien ein vorgneisgranitisches Alter wahrscheinlich, und es sind mir keine Merkmale bekannt, die ernsthaft gegen eine syngenetische Erstanlage dieser Erze sprechen. Ihre chemische und mineralogische Zusammensetzung, die Gefüge von Lagerstätteninhalt und -umgebung, das Auftreten in vulkanisch-sedimentären Lagerfolgen mit submarinem Einschlag und alle übrigen Kennzeichen entsprechen weitgehend den Forderungen, die HEGEMANN (1950) aufstellte, um den exhalativ-thermal-synsedimentären Ursprung metamorphosierter Kieserzlager erkennen zu können. Diese Kriterien decken sich somit auch mit jenen, die in den wegweisenden Arbeiten von G. G. AMSTUTZ, H. BORCHERT, A. MAUCHER, C. OFTEDAHL, P. RAMDOHR u. a. für diesbezügliche Lagerstätten jüngerer Orogene angeführt und benutzt wurden.

Aus diesen Überlegungen heraus ergibt sich für den derzeitigen Stand der geologischen Erforschung der Lagerstätte Falun — kurzgefaßt — folgende vorläufige Arbeitshypothese: Eine Lagerfolge, bestehend aus hauptsächlich Extrusiva (quarzporphyrische, rhyodazitische, andesitische, basaltische Laven und Tuffe), aber auch Karbonatgesteinen und psammitisch-pelitischen Sedimenten, samt exhalativ-synsedimentären Einlagerungen von Sulfid- und Eisenerzen, wurde durch mitfolgende SiO_2 - (womöglich auch Mg-) reiche Thermen autometasomatisch stark beeinflusst. Pillowstrukturelikte und Camgite weisen auf submarines Bildungsmilieu hin. Im Anschluß an diese Entwicklung drangen verschiedene Gangbildungen ein.

Einer anfangs regionalen isoklinalen Faltung mit flachen Achsen folgte besonders für Bereiche stark inhomogener Zusammensetzung und damit vorgezeichneter tektonischer und molekularer Mobilität die für das Grundgebirge charakteristischen Formungen steilachsiger Schlingentektonik. Heute kontrollierbare Massenverlagerungen lassen sich hauptsächlich auf diese steilachsige Einengungstektonik beziehen. Kriterien hierfür sind u. a. die Umformung der lager- bis linsenförmigen Erzkörper zu Stengeln und Linealen. Erzkörper und Begleitsteine bilden \pm stoffkonkordante B-Tek-

tonite, die durch gerichtete Drucke, direkte und indirekte Teilbewegungen samt starken Kristallisationen unter Bedingungen der Amphibolitfazies geformt wurden.

In den Erzen und Nebengesteinen läßt sich aus ihren Gefügen eine ziemlich inhomogene Verteilung der Intensitäten der gerichteten Drucke ablesen. Bereiche starker differentieller Durchbewegung wechseln mit solchen, wo diese zu fehlen scheint. Die verschiedene Gefügefazies der Eruptivgänge läßt sich harmonisch in dieses Bild einordnen. Die Weite molekularer Stoffwanderungen dürfte im allgemeinen gering gewesen sein. Hier sind u. a. die Quarzporphyrgänge ein Hinweis, die an ihren Kontakten nur einige dm tief silifiziert und mit Sulfiden imprägniert sind, wie auch das wechsellagernde Nebeneinander von Camgit und Quarzit ohne maßgebliche Reaktionsbildungen.

Im folgenden retrograden Teil der metamorphen Entwicklung herrschte Verwerfungstektonik vor. Hierbei wurden entlang der tektonischen Störungen durch Deformationsverglimmerung die sog. Skölar gebildet. Diese sind oft selektiv in hierfür empfänglichen Gesteinen, wie Camgiten, angelegt. Der relativ große Porenraum dieser Störungen und die damit verbundene Wegsamkeit für die in diesem Stadium noch mobilen sekundärhydrothermalen Erzlösungen waren Voraussetzung, daß für ihre Wege günstig gelegene Skölar mineralisiert und vererzt wurden. Die in Hinsicht auf die Skölbildung postdeformative isocheme Neubildung von Cordierit, Antophyllit, Tremolit, Almandin usw. spricht für eine noch- und letztmalige Erhöhung der pt_x unter relativ statischen Verhältnissen, die natürlich auch außerhalb der Skölbildungen ihre Spuren hinterlassen hat. Die metamorphe Entwicklung wird schließlich durch ein ziemlich unbedeutendes regressives Stadium abgeschlossen.

Diese hier vorgelegte genetische Auffassung über die Lagerstätte Falun ist nach wie vor im gewissen Grade hypothetisch. Es werden sich wegen der komplizierten metamorphen Geschichte dieser Vorkommen und der damit verbundenen Konvergenzen auch in Zukunft nur schwerlich entscheidende Beweise finden lassen, die zu einer gesicherten Synthese führen. Bei konsequenter Anwendung des hier benutzten Ausschließungsprinzipes wird doch die Entstehungsgeschichte dieser Lagerstätten mit einem akzeptablen Wahrscheinlichkeitsfaktor rekonstruiert werden können.

Der Verfasser dankt der Stora Kopparbergs Bergslags AB, Falun, für die Erlaubnis, auf Resultate von Begutachtungen zurückgreifen zu dürfen.

Literaturverzeichnis

- ABT, W.: Die komplexe Blei-Zink-Kupfererzlagerstätte von Garpenberg, Schweden. — Unveröffentlichte Meldearbeit. Bergakademie Clausthal 1953.
- AMSTUTZ, G. C.: Syngene und Epigene in Petrographie und Lagerstättenkunde. Schweiz. Min. Petr. Mitt. Vol. 39. 1959.
- BAECKSTRÖM, O.: Bidrag till kännedomen om sulfidmalernas geologi inom Danemorafältet. — Geol. För. i Stockholm Förh., Bd. 45. 1923.
- BECK, R. & BERG, G.: Abriß der Lehre von den Erzlagerstätten. — Berlin 1922.
- BEYSCHLAG, F., KRUSCH, P. & VOGT, J. H. L.: Die Lagerstätten der Nutzbaren Mineralien und Gesteine . . . Bd. I, II. 2. Aufl. Stuttgart 1914, 1921.

- H. J. KOARK — Zur Altersstellung und Entstehung der Sulfiderze vom Typus Falun
- ESKOLA, P.: On the petrology of the Orijärvi Region in Southwestern Finland. — Bull. Comm. Géol. de Finlande, No 40. 1914.
- GEIJER, P.: Falutraktens berggrund och malmfyndigheter. — Sver. Geol. Unders., Ser. C, Nr. 275. 1917.
- : Riddarhytte malmfält. Kungl. Kommerskollegium. Beskrivningar över mineralfyndigheter Nr. 1. Stockholm 1923.
- : Norbergs berggrund och malmfyndigheter. — Sver. Geol. Unders. Ser. Ca. Nr. 24, 1936.
- : Die Herkunft der quarzgebänderten Eisenerze. Eine Übersicht der Problemlage. — N. Jb. f. Mineral. Abh. Bd. 91. 1957.
- & MAGNUSON, N. H.: De mellansvenska järnmalmernas geologi. — Sver. Geol. Unders. Ser. Ca. Nr. 35. 1944.
- HEGEMANN, F.: Geochemische Untersuchungen über die Herkunft des Stoffbestandes sedimentärer Kieserzlager. — Fortschr. Mineralogie 27. Bd. 1950.
- HJELMQVIST, S.: Über Sedimentgesteine in der Leptitformation Mittelschwedens. Die sogenannte „Larsboiserie“. — Sver. Geol. Unders. Ser. C. Nr. 413. 1938.
- HÖGBOM, A. G.: Precambrian Geology of Sweden. — Bull. Geol. Inst. Uppsala. Vol. X. 1910.
- KOARK, H. J.: Stråssa-Håkansboda-Blanka — trakten. VII Nordiska geologmötet 1958.
- : Nyare geologisk-tektoniska undersökningsmetoder vid byggnadsföretag i fast berg. — Geol. Förh. i Stockholm Förh. Bd. 81. 1959.
- : Die Geologie der Faluner Grube. Zusammenfassung anlässlich des XXI. Intern. Geologenkongresses 1960. — Falun 1960.
- : The Geology of the Stråssa, Blanka and Håkansboda District. A brief Outline on the Occasion of the XXIst Intern Geol. Congress 1960. — Stråssa 1960.
- KORSHINSKIJ, D. S.: Obschtschie svojstva infiltracionnoj metasomatitscheskoj zonalnosti. (Allgemeine Züge der metasomatischen Infiltrationszonenbildung.) — Comptes rendu (Doklady) Acad. Sci. U.R.S.S. (2) 78. 1951 (russ.).
- KRANCK, E. H.: Petrologische Übersicht des Küstengebietes E von Helsingfors. — Bull. Comm. Géol. de Finlande. No. 89. 1931.
- LINDGREN, W.: Mineral deposits. — New York 1913.
- MAGNUSON, N. H.: Iakttagelser angående mineralens paragenes och succession i Kaveltorp. — Geol. Fören. i Stockholm Förh. Bd. 52. 1930.
- : Ljusnarsbergs malmtrakt. — Sver. Geol. Unders. Ser. Ca. Nr. 30. 1940.
- : Malmgeologi. — Stockholm 1953.
- MEHNERT, K. R.: Über endogene Erzbildung und ihre Beziehungen zur Granit-entstehung durch selektive Mobilisation. — N. Jb. Mineral., Abh., Bd. 94. 1960.
- ÖDMAN, O. H.: Erzmikroskopische Untersuchung der Sulfiderze von Kaveltorp in Mittelschweden. — Geol. Fören. i Stockholm Förh. Bd. 55. 1933.
- PREISWERK, H.: Die Kieslagerstätten von Aznalcollar (Prov. Sevilla). Bemerkung zu der Arbeit von B. WETZIG: „Beiträge zur Kenntnis der Huelvaner Kieslagerstätten“. Z. prakt. Geol., 14, 1906.
- RAMBERG, H.: The Origin of Metamorphic and Metasomatic Rocks. — Chicago 1952.
- SCHNEIDERHÖHN, H.: Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde. 1. Bd. Jena 1941.
- : Erzlagerstätten. Kurzvorlesungen. — Stuttgart 1949.
- SJÖGREN, H. J.: The Falun Mine. Guide 31. Geologorum Conventus. Stockholm 1910 (Geol. Fören. i Stockholm Förh. 1910).
- STAPP, F.: Über die Fahluner Erz-Lagerstätten. — Berg- u. Hüttenm. Ztg. Nr. 20. 1861.

- : Utkast till förslag för kopparmalmernas tillgodogörande vid Stora Kopparberget. — Stockholm 1861. (Ref. Z. f. prakt. Geol. 1894. S. 182.)
- : Förslag till en geologisk undersökning av Falu grufva. — Studier i Grufbrytningsvetenskap, No. 3, Falun 1869.
- TAUPTITZ, K.-C.: Über Sedimentation, Diagenese, Metamorphose, Magmatismus und die Entstehung der Erzlagerstätten. — Chemie der Erde. 17. Bd. H. 2. 1954.
- TEGENGREN, F. R.: Sveriges ädlare malmer och bergverk. — Sver. Geol. Unders. Ser. Ca. No. 17. 1924.
- TÖRNEBOHM, A. E.: Geologisk atlas öfver Dannemora, med beskrifning. — Stockholm 1878.
- : Om Falu grufvas geologi. — Geol. Fören. i Stockholm Förh. Bd. 15. 1893.
- TUOMINEN, H. V. & MIKKOLA, T.: Metamorphic Mg-Fe enrichment in the Orinjärvi Region as related to folding. — Comptes Rendus Soc. géol. de Finlande. XXIII. 1950.
- VAN HISE, C. R. & LEITH, C. K.: The geology of the Lake Superior Region. — U.S. Geol. Survey. 1911. Monogr. 52.
- VOGT, J. H. L.: Über die Kieslagerstätten vom Typus Rörös, Vignäs, Sulitelma in Norwegen und Rammelsberg in Deutschland. Z. f. prakt. Geol. 1894.
- WEGMANN, C. E.: Übersicht über die Geologie des Felsgrundes im Küstengebiet zwischen Helsingfors und Onas. — Bull. Comm. Géol. de Finlande. No. 89. 1931.
- : Zur Deutung der Migmatite. — Geol. Rundschau. Bd. 26. 1935.
- WEIBULL, M.: Några manganmineral från Vester-Silfberget i Dalarne. — Geol. Fören. i Stockholm Förh. Bd. 6. 1882—1883.
- WETZIG, B.: Beiträge zur Kenntnis der Huelvaner Kieslagerstätten. — Z. f. prakt. Geol. 14. 1906.

ALTERSBESTIMMUNGEN AN GESTEINEN DES OSTBAYERISCHEN GRUNDGEBIRGES UND IHRE GEOLOGISCHE DEUTUNG

Von G. L. DAVIS, *Washington, D. C.*, und WERNER SCHREYER, *Kiel* *)

Mit 1 Abbildung und 3 Tabellen

Zusammenfassung

Rb/Sr-Altersbestimmungen an Biotiten aus Gneisen und Graniten des Moldanubikums lieferten übereinstimmende Alterswerte von 330—345 Millionen Jahren. Das Biotitalter eines vormoldanubischen Granat-Disthen-Gneises ergab sich zu 440 Millionen Jahren, das eines Metagranodiorits der Münchberger Gneismasse zu 385 Millionen Jahren. Zirkone aus einem moldanubischen Gneis zeigen nahezu konkordante Alter um 450 Millionen Jahre.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, daß die Münchberger Masse sowie weite Teile des Moldanubikums eine frühvaristische Aufheizung, wahrscheinlich im Zuge regionaler Metamorphose, erlebt haben. Die Beziehungen dieser beiden

*) Anschriften der Verfasser: G. L. DAVIS, Geophysical Laboratory, 2801 Upton St., N. W., Washington 8, D. C., USA. — WERNER SCHREYER, Mineralogisches Institut der Universität, Kiel, Olshausenstr. 40—60.