

*Über Josephinit, Awaruit, Souesit, ihre Eigenschaften,  
Entstehung und Paragenesis*

(With Plates IV–VIII)

PAUL RAMDOHR

(Heidelberg).

I. EINLEITUNG.

**I**N vielen Lehrbüchern der Erzlagerstättenkunde und Mineralogie werden die eigentümlichen Vorkommen von Fe-führendem gediegenen Nickel als Musterbeispiele orthomagmatischer Differentiate angesprochen. Daß das bisher, soweit mir bekannt, unwidersprochen geschah, hat verschiedene Gründe:

- 1) paßt die Durchschnittszusammensetzung  $\text{Ni}_{66} \text{Fe}_{33}$  bis  $\text{Ni}_{75} \text{Fe}_{25}$  leidlich gut mit der Lage des Schmelzpunktsminimums im binären System Ni–Fe
- 2) stammen die wenigen in situ gefundenen und die recht zahlreichen aus Flußseifen ausgewaschenen Stücke eindeutig aus Serpentin oder Peridotiten, wodurch ein Vergleich mit den Vorkommen gediegenen Platins in Dunit oder Chromitit nahelag
- 3) hat das chemisch immerhin unedel Verhalten des Ni und natürlich erst recht des Fe einen Zweifel an der so etwas als *deus ex machina* wirkenden 'orthomagmatischen' Natur gar nicht aufkommen lassen und
- 4) schließlich war das Material in allen Sammlungen so spärlich und wertvoll, daß man sich nicht recht an eine ohne größeren Materialverbrauch nun einmal nicht mögliche Untersuchung getraute und so auch die Zahl der Analysen klein und in der Auswahl des Stoffes — zufälligerweise — unglücklich war. Es wird im Folgenden erkennbar sein, wie wenig stichhaltig die Gründe 1–3 sind und daß jede etwas umfassendere Untersuchung sofort 'magmatische Ausscheidung' oder gar 'liquides Entmischungsegregat' ausgeschlossen hätte.

Der Verfasser hat, anscheinend erstmalig, vor vielen Jahren (1a, b) an einer kleinen Schliffprobe einen 'Awaruit' auf dessen erzmikroskopisches Verhalten untersucht und in einem winzigen Fünkchen das schon vor sehr langer Zeit behauptete Vorkommen (2) in Serpentin der Gegend von Zermatt erzmikroskopisch bestätigen können. Dann hat de Quervain (3a, b) das verbreitete Auftreten winziger Körnchen von Awaruit in Serpentin von Selva bei Poschiavo beobachtet und ausführlich beschrieben, Angaben, die dann wieder vom Verfasser (4a, b) ergänzt

wurden. Das scheint alles zu sein, was erzmikroskopisch über (Ni,Fe)<sup>1</sup> bekannt ist.

Durch glückliche Zufälle wurde dem Verfasser reiches Material von Josephinit zugänglich, das zu mindestens drei verschiedenen Zeiten in den klassischen Vorkommen (Josephine Co., Oregon und zwar besonders Trail Creek Canyon) gewonnen worden war. Zuletzt hat in allerneuester Zeit Herr R. E. Morley (5) in Salem, Oregon, in größerer Zahl kleine erbsen- bis bohnen große Nuggets auswaschen lassen und dem Verfasser etwa 60 zu Untersuchungen zur Verfügung gestellt, aber weiter fand er in den Sammlungen der Universität Heidelberg zwei Serien desselben Vorkommens in durchschnittlich etwas größeren Stücken vor, die etwa 1896 und 1910 erworben waren. Von ihnen wurden insgesamt 25 Proben angeschliffen. Sodann lagen vor: eine stark bohnen große Probe von 'Awaruit' von South Fork, California, je ein Körnerpräparat (6 Einzelkörner), Awaruit, von Gorge River, Westland, South Island, New Zealand, und ein solches (etwa 15 Körner), Souesit, von Wheaton Creek, Cassior district, British Columbia, 5 Anschliffe 'Awaruit' aus Selva bei Poschiavo, Schweiz, eine Probe aus vertalktem Serpentin von Gullitzen bei Friesach, Kärnten und schließlich mehrere Anschliffe von Heazlewoodit aus Trial Harbour, Tasmania, welch letztere winzige Fünkchen von (Ni,Fe), hier aber offenbar im Vorkommen und vielleicht im Chemismus von allen früher erwähnten abweichend, enthielten. Die Trial Harbourstücke hat Verfasser neuerdings beschrieben (4a); sie werden hier nur eben erwähnt. Allen denen, die dem Verfasser bei seiner Arbeit behilflich waren, durch Bereitstellung von Material, wie durch Hinweise, sei hier herzlichst gedankt. Ich nenne die Herren R. E. Morley, H. Meixner, de Quervain, Campbell-Smith, Claringbull, und Frau Schachner.

## II. ERZMIKROSKOPISCHE BESCHREIBUNG DER PROBEN VOM JOSEPHINE CO.

Lange, d.h. seit dem Bekanntwerden des Josephine Co. Vorkommens 1892, ist aufgefallen, daß die kleinen 'Nuggets' keineswegs rein sein können. Beginnen doch die Dichtewerte bei wenig über 4 und gehen meist kaum über 6, bei einem Häufungsmaximum von etwa  $5\frac{1}{2}$  (als Ergebnis der Bestimmung an 30 Körnern),<sup>2</sup> während reines Eisen nickel

<sup>1</sup> Im Folgenden wird öfter '(Ni,Fe)' abgekürzt, wo das eisenführende natürliche Nickel überhaupt, 'Aw.', 'Jos.', 'Sou', wo die Naturvorkommen mit den eingeführten Namen gemeint sind.

<sup>2</sup> Dass die Schriftumanalysen an Proben mit Dichtewerte 7.0 und mehr durchgeführt wurden, gibt eigentlich ein ganz falsches Bild der tatsächlichen Verhältnisse! Auch Morley fand als Durchschnitt der Dichtewerte von 15 Stücken 5.66.

ungefähr 8·6 erwarten ließe. Es zeigt sich, daß ganz wechselnde Gehalte an Serpentin, Glimmer (oder/und Chlorit und Talk), Actinolit, Magnetit und Sulfiden das Gewicht unkontrollierbar herabdrücken. Leider ist die Bestimmung der Silikate im Anschliff nur angenähert durchzuführen und die Herstellung von Dünnschliffen nicht möglich.

Die *Analysen*, die zu verschiedenen Zeiten (vergl. z. B. Doelter) zuletzt von R. E. Morley (5) veröffentlicht wurden, streuen in ihren Ergebnissen stark, was nach dem mikroskopischen Befund wirklich nicht erstaunt, da offenbar jeweils Einzelproben, nicht etwa systematisch gezogene Durchschnitte analysiert wurden. Bemerkenswert ist aber ein mehrfach festgestellter Gehalt an Cu (bis 1·2 %), S (bis 0·55 %), und As (0·23) neben der selbstverständlichen Gangart. Auch Co and P werden erwähnt. Spurenelemente, besonders Platinoide, scheinen noch nicht systematisch untersucht zu sein.

Der MINERALBESTAND ist, soweit es den Erzinhalt betrifft, sehr viel komplizierter, als man es erwarten sollte. Es wurden festgestellt ged. (Ni,Fe) und zwar dieses in zwei öfters nebeneinander vorkommenden Färbungsvarianten, *gediegen Kupfer* und mindestens sieben, vielleicht neun *sulfidische Erze*, ferner *Magnetit* und viele Silikate, besonders Serpentin, Chlorit, Talk, Olivin, Amphibol. Dazu kommen als oberflächliche Neubildungen Limonit, Cuprit, Covellin, Hämatit, ein schwarzes Oxyd und spurenhafte andere.

EISENNICKEL, (Ni,Fe) ist durch sehr gute Polierfähigkeit und die große Widerstandsfähigkeit gegen Anlaufen ausgezeichnet (ein Schliff von South Fork war volle 20 Jahre nach der Herstellung noch völlig blank!). Spaltbarkeit war nirgends sicher erkennbar. Das Reflexionsvermögen ist sehr hoch, aber in Öl doch merklich geringer als das der Edelmetalle, vielleicht 75–80 %. Anisotropie fehlt, doch könne feinste, erst bei gekreuzten Nicols wieder durchschimmernde zupolierte Schleifkratzer ebenso feine Einlagerungen von Silikat in den Skeletten und fiederigen Aggregaten etwas davon vortäuschen. Nicht immer ist das Reflexionsvermögen völlig gleich; mehrfach wurde, ersichtlich etwas älter, eine viel reichlichere Komponente, die in Öl eine Spur heller und mehr gelbweiß und eine spärlichere, jüngere, die im unmittelbaren Kontrast etwas bläulich erscheint, beobachtet.

Die Strukturen und Texturen sollen hier an Hand der Photographien beschrieben werden.

Verhältnismäßig selten ist eine auf den ersten Blick körnige Struktur, wie sie etwa die Pl. IV, Abb. 1 u. 2 zeigen. Die deutlich abgesetzten Korngrenzen können durch Körnerzüge von Magnetit oder Silikat

gekennzeichnet sein. Genaue Untersuchung der leicht tadellos zu erhaltenden Schliffe zeigt aber, daß diese Körner absolut nicht kompakt sind, sondern ein mehr oder minder lockeres Gewebe, einen Filz von Skeletten oder fein moosförmiger Massen darstellen mit völlig wirrer oder nur teilweiser Orientierung der kleinsten Einzelkomponenten. Schon hier drängt sich der Eindruck auf, daß die Körner- oder Ballenstruktur ein jetzt völlig verschwundenes körniges Mineral abbildet. Starke Vergrößerungen derartiger Massen lieferten Bilder wie Pl. IV, Abb. 3 u. 4, fiederige Massen, zum Teil strahlig subparallel, oft tannenbaumförmig verzweigt, manchmal sehr locker, so dass (Ni,Fe) nur wenige Prozent der Fläche neben überwiegenden Silikaten einnimmt, manchmal ziemlich kompakt mit nur wenigen Zwischenräumen. Das letztere kann durchaus primär sein, doch kommen Partien vor, wo am Rand der kleinen Nuggets Silikat ausgelaugt beziehungsweise herausgeschlagen und (Ni,Fe) durch den Flußtransport zusammengeschüttelt ist.

Sehr eigenartig und dabei häufig sind feine Aderfüllungen von (Ni,Fe), die, oft ausgehend von größeren Massen, offensichtlich Sprüngen im Silikat folgen, dieses durchtrümmern und verkitten (Pl. IV, Abb. 5). Ist einmal älterer Magnetit vorhanden (Chromit, der im Schrifttum mehrfach als Begleiter angegeben ist, habe ich nie beobachtet!), so wird dieser gelegentlich, immerhin seltener, auch durchädert. Solche Formen erfassen besonders die an sich etwas zurücktretenden Fälle, wo die Silikate aus der Phase vor der Serpentinisierung, Olivin, Bronzit, Amphibol noch teilweise erhalten sind.

Kompaktere Metallmassen enthalten häufig in sehr wechselndem Anteil deutlich geregelte Einschlüsse von Schichtgittermineralien (Pl. IV, Abb. 6; Pl. V, Abb. 7), von denen Chlorit und Talk, im Anschliff nicht unterscheidbar, vorkommen. Das Korn des (Ni,Fe) steht ohne Beziehung zu dieser Regelung; noch mehr, an gelegentlichen Porenräumen ragen Kriställchen ungestört in diese hinein. Die Ausscheidung des (Ni,Fe) muss also *nach* der Bildung des Chlorits und dessen Regelung erfolgt sein. Es gibt allerdings einmal Stellen, wo auch (Ni,Fe) ausgewalzt und beansprucht ist; das sind aber wieder nur winzige Partien am Außenrand der Stücke, wo das 'Hämmern' durch Kiesbrocken klar ist.

Daß eine komplexe Bildungsgeschichte vorliegt, zeigt besonders auch Pl. V, Abb. 10, wo von Klüften aus, die mit kompakterem (Ni,Fe) und Magnetit erfüllt sind, idioblastisch völlig porenfrei Kristalle in ein lockeres, sicher älteres Metallmoos hineinwachsen. Auch Zwickel, wo mehrere Korngrenzen zusammenstoßen, enthalten oft gute, scharfe Kristalle.

Am auffallendsten sind traubig rhythmische Massen (Pl. V, Abb. 9), wo Magnetit, der seinerseits aber schon wieder ältere kleine Einschlüsse von (Ni,Fe) enthält, rhythmisch umkrustet ist mit Gangart, der (Ni,Fe), wieder Gangart, Limonit (Goethit), wieder Gangart folgt. Ja mehrfach rhythmische Wiederholung des (Ni,Fe) kommt vor. Das heißt, die Metallausscheidung muß beinahe gleich alt mit der Limonit-bildung gewesen sein. Immerhin, dieser Fall und auch die abgebildete Form, ist selten. Meist ist (Ni,Fe) in enger Beziehung zu Magnetit, der einmal älter, einmal jünger ist. Wechselweise durchädern sich beide, oft ersichtlich in mehreren Generationen.

In zwei Fällen waren die 'Nuggets' in Wahrheit Gerölle von ganz überwiegend Magnetit, gehörten aber trotzdem zur Paragenese, da sie auf zugeheilten Klüften fein eingesprengt neben Magnetit jüngerer Generation (erkennbar an schwach abweichenden Eigenschaften) Körnchen von (Ni,Fe) führten.

Damit ist nun die Vielgestaltigkeit noch längst nicht erschöpft. So kommen Sprünge (in so zähem Material natürlich besonders auffällig!) vor, die teils mit Silikat, teils mit (Ni,Fe) in Fasergipsartigen Formen erfüllt sind, Fälle, wo in Serpentin (Ni,Fe) ganz die Rolle des bei der gewöhnlichen Serpentinisierung entstehenden Magnetits einnimmt, wo weiter relativ kompakte Massen siebartig Silikat enthalten usw., usw.

Genetisch von vielleicht entscheidendem Interesse sind aber Bilder, wie sie vielleicht in einem Viertel der untersuchten Proben gelegentlich zu sehen sind (Pl. V, Abb. 8; Pl. VI, Abb. 11, 12) und die teilweise recht grob, aber bis zu Größen von vielleicht  $10\ \mu$  herunter feststellbar sind. Hier formt (Ni,Fe) zum Teil allein, zum Teil mit Magnetit in mehr oder minder lockerer Raumerfüllung ein einwandfrei oktaedrisches Lamellenwerk ab. Meist sind die Zwickel leer, einigemal silikaterfüllt, öfters auch enthalten sie (Ni,Fe)-Moos oder komplexe Formen. In Pl. VI, Abb. 12 ist übrigens, im Bilde nicht erkennbar, das zwickelfüllende (Ni,Fe) von der etwas blauerer jüngerer Art. Ganz analoge, vielleicht etwas rohere Formen, bildet auch gelegentlich Magnetit, (Pl. VI, Abb. 13) wobei hier — vielleicht zufällig — die Zwickel immer erfüllt waren, zum Teil mit fein moosförmigem (Ni,Fe), zum Teil mit Silikat. Es kann nach Form, Paragenese und Ausmassen kaum ein Zweifel sein, daß die Strukturen der Pl. V, Abb. 8 und Pl. VI, Abb. 13, auf dasselbe Ausgangsmaterial zurückgehen.

Als letzte Struktur des (Ni,Fe) sei noch Pl. VI, Abb. 14 gezeigt, die ein fein- und ziemlich gleichmäßigkörniges Aggregat zeigt, das neben weit überwiegend (Ni,Fe), gediegen Kupfer, Chalkosin, Sulfid III, und

Magnetit führt. Die Form deutet auf ein Rekristallinat. Daß es ein solches ist, verrät wieder die Verteilung; es ist offenkundig an die äußersten Partien einiger Körner gebunden. Daß die Rekristallisation hier bei ganz niederen Temperaturen erfolgt sein muß, ist auffallend, aber unbestreitbar.

MAGNETIT ist zum Teil schon besprochen worden. Erzmikroskopisch zeigt er wenig Besonderheiten. Eigentlich stets zeigt er eine gewisse Porigkeit, oft ist er ähnlich moosförmig wie (Ni,Fe). Entmischungen zeigt er nie, auch sonst keine Eigenschaft, die auf höhere Temperaturen hindeutete. Martitbildung ist recht selten, aber gelegentlich in Anfangsstadien recht typisch. Ganz merkwürdig ist, daß manchmal von außen her und zwar besonders dort, wo (Ni,Fe) angrenzt, das Martitnetzwerk sekundär wieder rückgebildet ist, sodaß die Martitlamellen nurmehr auf den Innenteil beschränkt sind. Die Farbe ist, wie übrigens für die seltenen Tieftemperatur-Magnetite typisch, fleckig ein wenig verschieden. Über die überaus wechselvolle, auch im selben Stück auf kürzeste Erstreckung hin verschiedene Altersbeziehung zu (Ni,Fe) wurde schon gesprochen.

Ob Magnetit oder ein Ni-reiches Glied der Spinellfamilie, etwa Trevorit vorliegt, ist erzmikroskopisch und auch röntgenographisch nicht sicher zu unterscheiden. Die sämtlichen Beobachtungen deuten auf Magnetit *ohne* wesentliches Ni!

KUPFER. Nur einige Analysen von (Ni,Fe) weisen kleine Gehalte von Cu nach, über die man bei der alten genetischen Deutung und der bei hoher Temperatur bekanntermaßen unbeschränkten Mischbarkeit von Ni und Cu sich keine Gedanken machte. Umso überraschender war es, in etwa einem Drittel aller Proben ged. Cu zu finden, in 2 von 30 Proben in sehr erheblicher, — im einen Fall sicher 20 % (eher mehr) erreichenden Menge. Es ist im (Ni,Fe) ganz unregelmäßig verteilt (Pl. VII, Abb. 15) oder zeigt mit ihm Anzeichen rhythmischer Fällung. Eine sichere Altersbeziehung besteht nicht; Kupfer ist zwar stets jünger als der älteste Anteil des (Ni,Fe)S, wird aber anderseits immer noch vom jüngsten (Ni,Fe) umhüllt. Eine mögliche Ausnahme bilden winzige, offenbar rezent umgelagerte Flitter im Außenrand der Gerölle, die in aufgeblättertem Chlorit ausgefällt sind und anscheinend schneller als die Hauptmasse anlaufen. Abgesehen von dieser letzten unsicheren Beobachtung besteht aber auch für die Hauptmasse weder in Farbe noch Anlaufen eine Abweichung vom Verhalten gewöhnlichen reinen Kupfers. Photographisch läßt sich Cu neben Ni mit starkem Rotfilter leicht erfassen (Pl. VII, Abb. 15) und Abb. 26 and 27, p. 382.

'SULFIDE.' In fast jedem Stück sind, meist in winziger Menge und kleinen Fünkchen, Komponenten vorhanden, die man als Sulfide ansprechen möchte. Da einige Analysen aber auch P und As nachweisen, wäre immerhin möglich, dass unter den im folgenden mit Nummern bezeichneten und nur teilweise und mit Vorbehalt gedeuteten Mineralien sich ein Arsenid oder Phosphid versteckte (etwa II, VII); wohlverstanden liegt aber ein sicherer Hinweis dafür *nicht* vor. Die Bestimmung ist in allen Fällen durch die Überstrahlung des (Ni,Fe), die Kleinheit überhaupt und die dadurch bedingte Unmöglichkeit von Ätzung oder röntgenographischem Nachweis ungemein erschwert. Geordnet sind diese Mineralien nach abnehmendem Reflexionsvermögen.

I. Ist nur in 4 oder 5 Schliffen sicher nachgewiesen, jedenfalls aber wegen der Ähnlichkeit mit (Ni,Fe) oft übersehen. I ist auch bei Öl-immersion im (Ni,Fe) schwer erkennbar, eine Spur dunkler, im Kontrast eine Spur grünlich-gelb und schwach anisotrop. Es bildet rundliche oder unregelmäßig geformte Körner und wird anscheinend von (Ni,Fe) ohne neue Reaktionsprodukte verdrängt. Ich halte diese Komponente für *Heazlewoodit*,  $Ni_3S_2$ .

II. Zartrosa in Luft, lichtrosabraun in Öl, deutlich anisotrop, aber kaum reflexionspleochroitisch auch in Öl, ist gelegentlich reichlicher, manchmal die herrschende Sulfidkomponente. Die Formen neigen zu lamellarer Entwicklung, wobei die Lamellen durch Verdrängung eigentümlich regelmäßig ein- oder beidseitig gezähnt aussehen können, oder auch in Schnüre eckiger Perlen aufgelöst sind. Die Eigenschaften passen zu keinem der nach der Paragenese möglichen Mineralien so richtig; Niccolit ist erheblich stärker anisotrop, Maucherit würde eher passen, zeigt aber keinen Reflexionspleochroismus. Es wurde daran gedacht, daß es die NiAs-Modifikation des *NiS*, bisher im Naturvorkommen noch nicht nachgewiesen, sein könnte. Jedenfalls ist die Ähnlichkeit mit dem Kunstprodukt groß. Allerdings müßte dann eine Erklärung für das Fehlen von Mischbarkeit mit IV, das mit größter Wahrscheinlichkeit Pyrrhotin ist (*NiS* und *FeS* bilden nach Alsén (7) bei hoher Temperatur ja unbegrenzt Mischkristalle) gegeben werden. Für *NiS* spricht sehr, daß es oft mit I vergesellschaftet ist und stellenweise in dieses übergeht.

IIIa ist isotrop, zeigt oft erkennbar nach (111) Spaltbarkeit oder wenigstens rohe, der Verwitterung den Wegweisende Risse, läuft manchmal stark, häufiger schwach an und ist auch sonst in seinen Eigenschaften (Farbe, Härte) auch im selben Stück etwas wechselnd. Sehr oft verdrängt es in allen Stadien IV. Auch dieses Mineral läßt sich mit

keinem bekannten Mineral ohne weiteres vergleichen. Die Härte und das Anlaufen schließen Nickellinit, die Farbe ein Ni-reicheres Glied der Reihe  $\text{NiS}_2$ — $\text{FeS}_2$  aus. Auffallend ist, daß dieses Mineral sehr oft zerfallen ist unter Bildung von IIIb, das man ohne weiteres nach den so auffallenden optischen Eigenschaften als *Vallerit* anzusprechen möchte, aber wohl ein Ni-reicher Verwandter von diesem ist. Die letztere Beobachtung deutet für IIIa entweder auf Pentlandit, der aber nicht so leicht anläuft, aber in angewittertem Zustande wohl ausnahmslos zum Teil in Bravoit übergeht, oder — und das scheint mir am wahrscheinlichsten — für einen '*Chalkopyrrhotin-Verwandten*', etwa  $(\text{Ni,Fe,Cu})\text{S}$  mit Zinkblendegitter. — IIIa steht oft in engen genetischen Beziehungen zu (Ni,Fe), die unten näher behandelt und für die Lösung der Josephinitfrage offenbar besonders wichtig sind (Pl. VII, Abb. 17, 18; Pl. VIII, Abb. 19).

IV ist stark anisotrop und in Öl trotz der Kleinheit der Körner erkennbar pleochroitisch. Die Farbe in Luft ist ein sehr lichtes, in Öl ein entschiedenes Braun; insgesamt ist Farbe und Reflexionsvermögen stumpfer als bei II und IIIa. Meist bildet es winzige rundliche Körnchen von etwa gleichmäßiger Größe, gelegentlich auch Verteilung im (Ni,Fe), die keine Anzeichen unmittelbarer Verdrängung durch dieses zeigen. Demgegenüber stehen größere Partien, die nun fast ausnahmslos von IIIa in allen Verhältnissen korrodiert sind (Pl. VIII, Abb. 21). Oft entstehen dabei Relikte, die genau wie die unmittelbar im (Ni,Fe) liegenden Körner aussehen (Pl. VII, Abb. 16; Pl. VIII, Abb. 20) und den Schluß nahelegen, daß (Ni,Fe) zwar IIIa (und auch IIIb) verdrängt, nicht aber, mindestens häufig nicht, unmittelbar IV. — In allen Eigenschaften stimmt IV, soweit es mit den bisher gebrauchten Untersuchungsmethoden an den kleinen Körnchen feststellbar ist, mit *Pyrrhotin* überein.

Während I insgesamt sicher seltener ist, sind II, IIIa und IV verbreiteter und können wechselweise — wohlverstanden in dem immer kleinen Sulfidanteil! — vorherrschen. Sehr arm an Sulfiden überhaupt sind Stücke, die aus überwiegend feinem Moos von (Ni,Fe) bestehen und keine kompakteren Stellen besitzen. Das ist aber nur eine Regel; gelegentlich führen auch die 'Moose' einmal grössere Sulfidkörner (Pl. VIII, Abb. 20). — Diesen erstgenannten gegenüber sind V–IX erheblich seltener und meist auf die Proben mit gediegen Kupfer beschränkt.

V ist ledergrauoliv, stark anisotrop und sehr merklich pleochroitisch, besonders in Öl. Es bildet relativ große Nester von groben Körnern und grenzt oft unmittelbar an gediegen Cu an, von dem es auch offenkundig

verdrängt wird. (Abb. 26, 27.) Es ist wohl unzweifelhaft die Hauptquelle des Cu.



Abb. 26.



Abb. 27.

- Abb. 26. Josephinit, sehr reich an Cu. Kupfer (reinweiß) mit (Ni, Fe) (grauweiß) und reichlich V, das hier von Cu und (Ni, Fe) nicht ersichtlich verdrängt wird. Vergr. 225×, Ölimmersion, starkes Rotfilter.
- Abb. 27. Ähnlich Abb. 24. Es ist erkennbar, dass Kupfer offenbar besonders den Raum von zerstörtem V einnimmt. Vergrößerung 600×, Ölimmersion, starkes Rotfilter.

VI ähnelt stark III, ist ebenfalls isotrop, hat aber einen mehr gelblichen Ton und scheint gewisse Verwandtschaft mit Kupferkies zu haben, ist aber, auch bei Berücksichtigung der Überstrahlung durch (Ni,Fe) matter und olivstichig. Da es lokal von IX (Chalkosin) und auch Cu verdrängt wird (Pl. VIII, Abb. 22), steht sein Cu-Gehalt außer Zweifel. Für reinen Chalkopyrrhotin (Cu,Fe)S ist es aber zu gelb. Insgesamt kommt es nur höchst spärlich und selten vor. In einigen Fällen enthält es entmischungskörperartig ein Netz von VIII.

VII und VIII. VII ist erheblich dunkler als V und VI und ähnelt in der Farbe stark VIII. Diesem gegenüber behält es aber die Farbe, während VIII stark nachdunkelt, ohne aber in kurzer Zeit richtig 'anzulaufen' (tarnish by air etching). Außerdem, und das ist der sofort auffallende Unterschied wird VII durch V und stellenweise VI ver-

drängt, während VIII seinerseits als Verdränger von beiden auftritt (Pl. VIII, Abb. 22). Beide sind dunkel braunoliv bei frischer Politur, VIII bald schokoladenbraun, wie bei einigen angelaufenen Borniten aus Kunstprodukten (mattes). In VII wurde Anisotropie nicht beobachtet, VIII ist stark anisotrop und wohl hexagonal. Besonders VIII

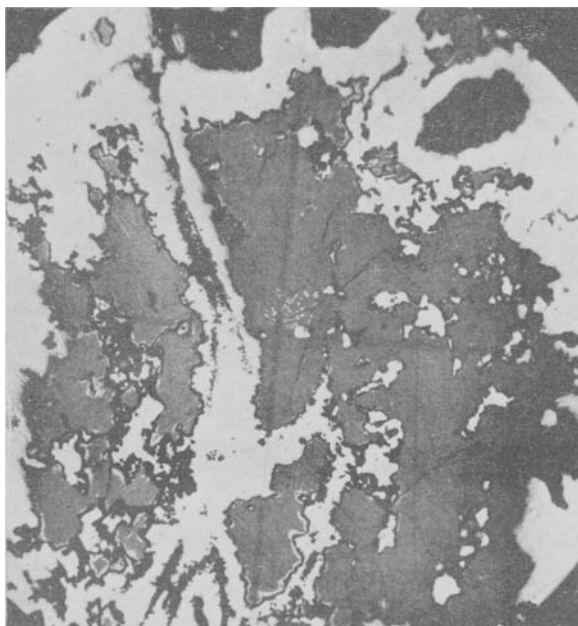


Abb. 28.

Große Partie von IX ('(Neo-)Digenit'), am Rande zum Teil mit dünnen Filmen von Chalkosin (etwas heller), wird durchädert und verdrängt vom (Ni,Fe). Vergr. 175 $\times$ , Ölimmersion.

muß wieder einen erheblichen Cu-Gehalt besitzen (Beziehung zu V, Verdrängung durch Cu). — Während V–VIII sich nicht mit Sicherheit mit bekannten Sulfiden von Cu,Ni,Fe identifizieren lassen und V und VIII mit größter Wahrscheinlichkeit neu sein mögen, ist

IX, das nur in einer, der Cu-reichsten Probe überhaupt gefunden wurde, hier aber reichlich und zum Teil in größeren Partien vorhanden ist, mit großer Wahrscheinlichkeit als (*Neo-*)*Digenit* anzusprechen (Abb. 28). Er fällt durch geringe Härte, bläulich fahle Reflexfarbe, Isotropie und dadurch auf, daß er in einigen Fällen, in der Abbildung an Rändern und Sprüngen gelegentlich erkennbar, typisch Umbildung in Chalkosin zeigt. Auch er ist oft von Cu verdrängt, lokal aber auch, wie in Abb. 28,

durch (Ni,Fe). Seinerseits verdrängt er gelegentlich VI, erscheint aber sonst 'primär'.

*Junge Oxydationsprodukte* haben natürlich nur untergeordnetes Interesse.

*Limonit*, und zwar fast ausschließlich Goethit, wurde in sehr vielen Stücken, insgesamt aber doch sehr untergeordnet beobachtet. Gelegentlich ist es vergesellschaftet mit dünnen, zum Teil rhythmischen Krusten einer ähnlich reflektierenden, aber völlig opaken Substanz, die nicht bestimmbar war; vielleicht war sie asbolanartig. *Cuprit* ist aus Kupfer in der Nähe der Gerölloberfläche oder an den Rissen häufig entstanden und an seinen auffallenden Eigenschaften sofort erkennbar.

Die in manchen Analysen nachgewiesenen Elemente Co, As, P lassen sich, wie gesagt, nicht mit Sicherheit auf eines der beobachteten Mineralien zurückführen. Proben von Gullitzen führen Niccolit, der aber wegen seiner auffälligen Eigenschaften hier kaum übersehen wäre, was bei Maucherit immerhin denkbar sein könnte.

#### ERKLÄRUNG DER STRUKTUREN UND DES BILDUNGSVORGANGES.

Es sei auch hier von der Beobachtung ausgegangen und dazu das bei den Einzelbeobachtungen der Komponenten gesagte ergänzt. Manchmal (Pl. VIII, Abb. 24) finden sich Formen, bei denen ein Netzwerk oktaedrisch angeordneter (Ni,Fe)-Lamellen vorliegt, die gelegentlich in sich wieder komplex aufgebaut sind; ganz innen als Jüngstes ein feines Band von (Ni,Fe), ein ebenfalls schmales von Magnetit an beiden Seiten, dann ein breiteres von (Ni,Fe). Die Zwickel, deren relative Ausdehnung in weiten Grenzen schwankt, können mit Silikat erfüllt oder auch leer sein. Selten findet man aber auch (Pl. VIII, Abb. 23) hier kleine Verdrängungsrelikte von III, dessen oktaedrische Risse mit der Anordnung des Netzwerkes der Lamellen übereinstimmen. Mit anderen Worten: Die großen Pseudomorphosen in Pl. VIII, Abb. 24, aber auch die reliktfreien in Pl. V, Abb. 8; Pl. VI, Abb. 11, 12 und vielleicht auch von Pl. VI, Abb. 13 gehen auf III zurück, das ursprünglich in ziemlich großen einheitlichen Körnern vorgelegen hat! Besonders instruktiv ist auch Pl. VIII, Abb. 25, wo (Ni,Fe) in jüngerer Verdrängung Magnetit- und Gangartmassen ersetzt, die beide zusammen an der Stelle eines alten großen Kornes von wohl ebenfalls III liegen. Das ist erkennbar an winzigen Entmischungskörpern, die nicht an der Verdrängung teilhatten und in Gangart und Magnetit dieselbe Orientierung besitzen.

Damit rundet sich nun das Bild, das sich bei aller Vielgestaltigkeit doch einigermaßen einheitlich darstellen läßt:

Die Bildung von (Ni,Fe) und auch das Cu sind das Produkt eines fortlaufenden Prozesses irgendwie gearteter Umbildung und Oxydation von Sulfiden, verknüpft mit einem zunehmenden 'Edlerwerden' der Produkte. Dieser Vorgang geht bis zur Entstehung der gediegenen Metalle Ni und Cu, während als Oxyd nur das noch sauerstoffarme des Eisens, Magnetit, entsteht, weiter aber erst als oberflächliche rezente Bildung. Vorauszusetzen sind offenbar Sulfide von Fe und Ni, untergeordnet auch Cu. Es waren wohl überwiegend zuerst IV (wohl Pyrrhotin), und III, wobei von diesen ein vermutlich kleinerer Teil erst aus IV umgebildet ist, der Hauptteil aber bereits ursprünglich in großen Körnern vorlag. Aus III geht teils unmittelbar, teils auf dem Weg über die immer Ni-reichen Glieder II und I das (Ni,Fe) hervor. Ein analoger Weg führt von VI über VIII direkt zum gediegenen Cu; in seltenen Fällen entstammt dieses auch dem Digenit, dessen Stellung in der Altersfolge der Sulfide aber sonst unklar ist.

#### VERSUCH DER GENETISCHEN EINREIHUNG.

Welcher Art ist nun aber der umbildende Vorgang?! Der Befund zeigt bei den hauptsächlich untersuchten Josephiniten eindeutig, daß Hoch- oder gar Höchsttemperaturbildung völlig ausgeschlossen ist. Das zeigen allein die überaus wechselnden Strukturen, das manchmal enorm feine Korn, die Moosformen, besonders aber das relative Alter gegenüber der Serpentinmineralien, die rhythmische Fällung von (Ni,Fe) mit gediegenem Kupfer und überhaupt sein Nebeneinandervorkommen mit ihm, die Pseudomorphosen, die wechselnde Altersbeziehung zu Magnetit und so weiter. In den übrigen untersuchten Vorkommen liegen allem Anschein nach völlig analoge Beziehungen vor, insbesondere ist die chemische Übereinstimmung so überraschend, daß man für sie, wie auch alle natürlichen Eisennickel mit 70–75 % Ni (zum Beispiel Piemont, Bobrowka, Yukon) dieselbe Erklärung wird suchen müssen.

Gemessen an der so enormen Verbreitung Ni-haltiger Serpentine ist (Ni,Fe) doch sehr selten und das Verhalten von Ni,Fe und Cu schon so unedel, daß man an sehr ungewöhnliche Bildungsvorgänge denken könnte. Immerhin müßten diese an mindestens fünf Stellen unserer Erdoberfläche, von denen einige schon sehr ausgedehnt sind (ganze Lagerstättenprovinzen wie Alpen, Oregon), realisiert gewesen sein, was wieder ganz 'ausgefallene' Umstände ausschließt.

Die Art der Verwachsung mit Sulfiden zeigt, daß diese bei der Bildung

des Metalls wirksam gewesen sind. Das Vorhandensein oder Fehlen von *Kupfer* in den Stücken desselben Vorkommens und sein offensichtliches Gebundensein an gewisse Sulfide (V–IX) deutet auf geringe Wanderung. Dasselbe zeigen Verdrängungsstrukturen, wo die Kompaktheit des (Ni,Fe) klar von der Art des eingeschlossenen Sulfids abhängt. (Pl. VII, Abb. 17; Pl. VIII, Abb. 20) Das schließt also doch wohl eine Konzentration durch sehr langsame Ausfällung schwach konzentrierter Cu- oder Ni-führender Lösungen aus, oder weist ihnen mindestens eine Nebenrolle zu.

Für viele, meist sehr kleine und Ni-freie Vorkommen von tellurischem Eisen ist die *reduzierende Einwirkung von Sumpfwässern* etwa unter Mooren oder Braunkohlenflözen zur genetischen Deutung herangezogen worden. Das trifft wohl in manchen Fällen sicher zu; auch für das Vorkommen von Cu ist es in Einzelfällen bewiesen. Hier liegt aber das gegenüber Eisen edlere Nickel und Kupfer vor. Ihre Ausfällung aus oxydisch ionisierten Lösungen (Sulfat, Karbonat) wäre also durchaus im Bereich der Möglichkeit. Auch das Auftreten von Magnetit in wechselnder Altersbeziehung zu den Metallen würde recht gut zu diesem Bilde passen, kann doch aus  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  bereits bei Zimmertemperatur  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  entstehen. Eine Abfolge, wie sie in den Pl. V, Abb. 9; Pl. VIII, Abb. 22 ersichtlich ist, wäre dann ohne weiteres verständlich.

In der Tat hat der Verfasser zeitweise an eine solche Lösung geglaubt. Es bestehen aber ganz schwerwiegende und wahrscheinlich diese Deutung völlig ausschließende Bedenken. Höchstens ein gelegentliches Weiterwachsen am Außenrand in traubigen Formen (etwa Pl. V, Abb. 9) könnte so möglich bleiben. Die Vorkommen sind heute ja nicht mehr auf Alluvionen beschränkt, sondern in einer ganzen Zahl von Fällen aus anstehendem Gestein, zum Teil aus tiefen Steinbrüchen oder jugendlich tief erodierten Gebieten bekannt. Das würde eine ganz unwahrscheinlich tiefreichende Einwirkung der reduzierenden Wässer voraussetzen. Dazu kommt nun aber noch die geographisch und, was hier entscheidend ist, die klimatische Verbreitung. Daß zufällig klimabedingte reduzierende Agentien auf dem Gipfel des Riffelhorns, dem Tal von Poschiavo, den fast vegetationslosen Serpentinegebieten von Oregon, den Sumpfwäldern des Urals oder des südlichen New Zealand u.s.w. gerade gleichartig wirksam wären, ist natürlich ausgeschlossen!

Es bleibt als Erklärung nur eine *thermale Bildung*. Wirksam waren vielleicht die nur wenig über 100° warmen Wässer, die bei der Serpentinisierung oder eher noch bei deren Abklingen während und nach der Vertalkung wirksam waren (Gullitzen bei Friesach ist eine Talkgrube,

manche Josephinite enthalten sicher beinahe gleichalterigen Talk!). Voraussetzung ist aber weiter die Anwesenheit von reichlich Sulfiden, die entweder selbst Ni-reich oder in der Lage sind, Ni, das bei Serpentinisierung aus Olivin beweglich wird, auszufällen. Vielleicht sind diese beiden Möglichkeiten nebeneinander wirksam, das Hauptgewicht wird aber auf der ersten liegen. Die Sulfide enthalten aber ursprünglich viel, wahrscheinlich stark überwiegend Eisen jedenfalls in ihrem ältesten Anteil; das beweisen das Vorhandensein von Pyrrhotin (IV) und dessen Verdrängung durch III, die Neubildung von viel Magnetit und schließlich auch der Fe-Gehalt im (Ni,Fe). Wie kommt es nun, daß allemal ein Mischkristall Ni,Fe ausgefällt wird, der etwa die Zusammensetzung 3:1 bis 5:2 besitzt?! Bei dem sicher bereits im selben Vorkommen, erst recht noch in verschiedenen stark schwankenden Verhältnis von Ni und Fe in den Sulfiden ist das sehr auffällig. Offenbar stellt sich ein für die betreffenden Bildungsbedingungen, das heißt für die Temperatur der Talkbildung charakteristisches Ausfällungsgewicht ein, vergleichbar vielleicht mit elektrolytischen Niederschlägen, wo bei gewissen Stromdichten Ausfällungsprodukte etwa gleichbleibender Zusammensetzung entstehen, ziemlich unabhängig davon, wie das Verhältnis der beteiligten Metalle in der Lösung war.

Erkennbar abweichende Zusammensetzung im Verhältnis Ni:Fe macht sich in den vorliegenden Stücken in den erwähnten (S. 376.) seltenen Fällen bemerkbar, wo die jüngsten Teile und einige Zwickelfüllungen deutlich abgesetzt etwas mehr bläulich erscheinen. Das würde dann erheblich geänderten Ausfällungsbedingungen, das heißt absinkender Temperatur entsprechen und vorzüglich in den Gedankengang passen.

Für Kupfer gilt sinngemäß dasselbe. Hier ist bei der Unbestimmbarkeit von V-VIII keine Aussage darüber zu machen, ob analog dem Fe-Ni-Sulfiden eine Anreicherungstendenz für Cu bereits in den Sulfidverdrängungen besteht; wahrscheinlich ist es natürlich mindestens in der Beziehung von Cu:Fe.

Über die *Altersstellung der primären Sulfide* in der Gesamtparagenese ist keine sichere Angabe zu machen. Viele Eigenschaften, zum Beispiel die 'Vallerit'-Ausscheidung, das Auftreten von Entmischungskörpern (Pl. VIII, Abb. 25), einige hier nur zu streifende Verwachsungsformen deuten entschieden auf recht hohe Temperaturen, andererseits sind nie Druckspuren in den Sulfiden beobachtet, die man auf Beanspruchung bei der Serpentinisierung ja erwarten könnte, auch würde, vorausgesetzt daß II wirklich NiS ist, das Nebeneinander von NiS und FeS, selbst wenn es eigentlich ein Nacheinander ist, für niedrige Temperaturen

sprechen. Zwei entscheidende Fragen sind in dem ganzen Komplex noch offen und müssen späteren Untersuchungen überlassen bleiben: Können die an 'Chalkopyrrhotin'-ähnlichen Mischkristallen (Cu,Fe)S gemachten Erfahrungen über Zerfall unter Valeritbildung und die daraus möglichen Schlüsse auf die Temperaturen auch benutzt werden, wenn Ausgangs- und Umbildungsprodukte reich an Ni sind? Die Haltbarkeit von 'Chalkopyrrhotin' in manchen Nickelpyrrhotinen spricht in gewissem Grade dagegen. Demgegenüber: besteht die Mischbarkeit von NiS und FeS, beide in der NiAs-Modifikation, nicht nur bei solch extrem hohen Temperaturen, wie sie Alsén (7) anwendete? Die erheblichen Unterschiede der Gitterkonstanten ( $a_0 = 3.42$ ,  $c_0 = 5.30$  Å. bei NiS,  $a_0 = 3.43$ ,  $c_0 = 5.79$  Å. bei FeS) scheinen auch hier dagegen zu sprechen.

Insgesamt neigt der Verfasser zur Ansicht, daß Sulfide bereits vor der Serpentinisierung vorhanden waren, daß aber bei dieser und noch später erhebliche Umlagerungen stattfanden, sodaß der jetzt noch verbleibende Bestand vielleicht nirgends dem ursprünglichem entspricht. Im Gegensatz zu Trial Harbour, Tasmania (4) aber, wo der Sulfidgehalt neben Schwefel auch zunehmend reicher an Eisen wird, ist hier eine konstante Anreicherung an Nickel. Vielleicht deswegen, weil dort ein sehr hoch hydrothermal, hier ein letzten Endes tieftemperierter lateralsekretionärer Vorgang besteht.

#### BEOBSACHTUNGEN AN EISENNICKEL ANDERER HERKUNFT.

Wie schon eingangs gesagt, ist hier die Zahl der Proben oder — wie im Falle Poschiavo — die Größe der Körner so gering, daß wenig Neubeobachtungen gegenüber Josephine County zu erwarten sind. Es sei schon hier betont, daß fast nichts festgestellt wurde, was von dem dort Erarbeiteten abweicht.

Die Proben von *Awarua* sind — wie das auch den Schrifttumsangaben entspricht — meist nur winzig. Massen mit höherem Silikatanteil würden sich bei dieser Größe kaum konzentrieren lassen, außerdem ist die Möglichkeit der Zertrümmerung und Weglösung des Silikats größer. Es erstaunt also nicht, wenn die Proben überwiegend kompaktes (Ni,Fe) enthalten. Es wurden sicher das isotrope III, genau wie oft in den Josephine-Stücken mit einem feinen Sprung von (Ni,Fe) abgesetzt, sobald die ersten Anzeichen von Zersetzung bestehen, und das deutlich anisotrope IV festgestellt. Das letztere besitzt hier eigentümliche Schlauchformen, die auch wieder darauf hindeuten, daß IV nicht unmittelbar von (Ni,Fe) verdrängt wird.

*Fraser Co.* (Souesit) ist meist noch feinkörniger. Nur in einem Körnchen von (Ni,Fe) wurde ein relativ großes, leicht zu übersehendes Korn von I (Heazlewoodit) aufgefunden. Hier ist der einzige Fall, wo (Ni,Fe) einmal einen Einschluß von idiomorphem Chromit enthält. Vergleiche die Analyse bei Johnston (6).

*Talkgrube Gullitzen*<sup>1</sup> bei Friesach, Kärnten. Die Probe, die eine große Zahl metallisch reflectierender Körnchen enthält, ähnelt weitgehend einigen Stücken von Poschiavo. Die Körner sind teils völlig xenomorph, teils scharf idiomorph (scheinbare Würfel) und dann meist größer. Letztere haben auch einen gelblichen Stich und sind anisotrop. Einmal ist das idiomorphe Material von xenomorphen umwachsen. Offenbar ist das weitgehend analog den Umwachsungen von idiomorphem Heazlewoodit durch (Ni,Fe) von Poschiavo.

Über das Vorkommen von *Selva bei Poschiavo* sei auf die sehr ausführliche Beschreibung durch de Quervain (3a,b) und die Bemerkungen des Verfassers (4) hingewiesen.

*South Fork*, Smith River, Californien, das heute nach freundlicher Mitteilung von Mr. Morley kein Material mehr liefert, ist den Oregonstücken so weitgehend ähnlich,<sup>2</sup> daß man auf praktisch übereinstimmende Verhältnisse schließen muß. (Ni,Fe) ist teils kompakt, teils krustenförmig, teils myrmekit- oder skelettartig. An Sulfiden ist III und IV vorhanden; III verdrängt IV in typischer Weise.

#### KURZE BEMERKUNGEN ÜBER TERRESTRISCHE EISEN- UND EISEN-NICKELVORKOMMEN.

Eine gründlichere Durchsicht des zum Teil schon lange zurückliegenden Schrifttums über gediegenes Eisen zeigt, daß geochemisch ein Komplex vorliegt, der bisher nicht ausreichend unterteilt ist. Bei Doelter's Handbuch finden sich Ansätze, die dann aber nicht weitergeführt sind. Jedenfalls ist es irreführend, wenn man die von Ovifak oder vom Bühl bei Kassel bekannten Vorkommen gewissermaßen als Musterbeispiele ansieht; sie sind nur Repräsentanten einer von mindestens 4 recht verschiedenen Gruppen.

1) Die eben erwähnten allein sind Reduktionsprodukte hervorgegangen durch magmatische Wirkung aus Einschlüssen von Fe-Erzen

<sup>1</sup> Nach freundlicher Mitteilung von Herrn Kollegen Meixner wäre an Ort und Stelle die Bezeichnung 'Grießerhof bei Hirt' verständlicher.

<sup>2</sup> Übrigens ist auffallend, daß für dieses Vorkommen im Schrifttum (9) nur feine, selten 1 mm. erreichende Körnchen angegeben werden. Sollte die an sich von einer sehr seriösen Firma vor 40 Jahren gekaufte, etwa 2·5 cm. große Probe doch nicht vielleicht von Josephine County stammen?

mit ebenfalls vom Magma aufgenommenen Kohlen oder vielleicht daraus mobilisierten Kohlenwasserstoffen. Sie sind hauptsächlich aus Basalten bekannt — keineswegs nur von Bühl und Ovifak —, aber auch aus Trachyt, Quarzporphyr und, was bei dessen niedriger Intrusionstemperatur erstaunt, Granit. Sie enthalten Fe, daneben sehr viel Cementit, reichlich Nickel, falls das umgebende Gestein solches enthält und die Einwirkungszeit hinreichend lang war, aber anscheinend keine Platinoide.

Als Anhang zu 1) wären vielleicht zu erwähnen Produkte natürlicher Erdbrände, wie sie z.B. von la Bouche bei Nery, Dept. de l'Allier beschrieben sind und zur Zeit in einem ausgedehnten Vorkommen durch G. Baker aus Australien bearbeitet werden.

2) Eine zahlenmäßig viel verbreitetere Gruppe stellen Fälle dar, wo bei niedriger Temperatur lokal ganz stark reduzierende Bedingungen Eisen metallisch ausfällten. Oft scheinen dabei sich oxydierende Sulfide neben den reduzierenden Kohlenwasserstoffen, also eine Art von Wechselwirkung von Oxydation und Reduktion, wesentlich gewesen zu sein. Es mag etwa ein Dutzend unbezweifelbarer Fundorte hierher gehören, dazu ein paar zu Unrecht diskreditierte. Sie führen keinen als Graphit oder Cementit vorliegenden Kohlenstoff, sehr wenig Ni oder Co (letzteres vielleicht eher mehr), in einem Fall Pt. In allen Fällen überwiegt Fe ganz stark.

3) Nur in wenigen Stücken bekannt, aber durch das Vorkommen von Santa Catharina wohl als terrestrisch gesichert, sind Fälle, wo das Verhältnis Fe : Ni etwa 2 : 1 ist, die also wie der Taenit etwa 33–34 % Ni, sonst aber fast nur Fe enthalten. Über den ursprünglichen geologischen Verband ist praktisch nichts bekannt.

4) Die letzte Gruppe würde das in vorliegender Arbeit Besprochene enthalten. Einige wenige Vorkommen lassen sich, wie zum Beispiel das merkwürdige Eisen von Oktibbeha County, Mississippi, nicht in das vorliegende Schema einordnen.

Am Schluß seien ein Paar gekürzte, das Gesagte unterstreichende Analysen dieser einzelnen Gruppen gegeben. (S. 319.)

### *Summary.*

The occurrences of native nickel-iron regarded as magmatic secretions from peridotites (awaruite, josephinite, souesite, &c.) are certainly formations of extremely low temperatures. This conclusion is drawn from studies of structure and paragenesis carried out principally on a considerable number of josephinites. Nickel-iron (Ni,Fe) is found

| Analysen<br>zu: | 1        |          | 2        |          |          |          |          |          |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> | <i>e</i> | <i>f</i> |
| Fe              | 93.87    | 93.16    | 97.79    | —        | —        | 99.39    | 97-10    | 98.93    |
| Ni ...          | —        | 2.01     | 0.11     | —        | 2.0      | —        | —        | 0.61     |
| C ...           | 3.20     | 2.34     | —        | —        | —        | —        | —        | 0.79     |
| Co ...          | —        | 0.80     | 0.23     | —        | —        | —        | —        | —        |
| Mn ...          | 0.66     | —        | 0.57     | —        | —        | —        | —        | —        |
| Cu ...          | —        | 0.12     | 0.10     | —        | —        | —        | —        | —        |
| Pt              | —        | —        | —        | 0.10     | —        | —        | —        | —        |

| Analysen<br>zu: | 3        | 4        |          |          |          |          |          |          |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 | <i>a</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> | <i>e</i> | <i>f</i> | <i>g</i> |
| Fe ...          | 63.69    | 26.6     | 25.24    | 21.45    | 21.87    | 22.30    | 31.02    | 28.07    |
| Ni ...          | 33.97    | 75.2     | 74.17    | 76.60    | 76.16    | 76.48    | 67.63    | 71.93    |
| C ...           | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —        |
| Co ...          | 1.48     | —        | 0.46     | 1.19     | 1.37     | —        | 0.70     | —        |
| Mn ...          | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —        |
| Cu ...          | —        | —        | —        | 0.66     | 0.49     | 1.22     | —        | —        |
| Pt ...          | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —        |

1a. М. Ларіоновъ (Larionow Halbinsel), Русскій Островъ (Russische Insel), Бладивостокъ (Vladivostok). Aus Quarzporphyr. С. А. Яковлевъ (S. A. Yakovlev) anal. bei A. A. Иностранцевъ (A. A. Inostrantzev), Trav. Soc. Imp. Natur. St. Pétersbourg, 1907, vol. 35, no. 5, sect. géol. min., pp. 21 (Russ.) and 49 (Deutsch).

1b. Ovivak, J. L. Smith, Ann. Chim. Phys., 1879, vol. 16, p. 452.

2a. St. Josephs Island, Lake Huron, Canada. G. C. Hoffmann, Geol. Surv. Canada, Ann. Rep., 1892; abstr. Zeits. Kryst. Min., 1894, vol. 23, p. 507.

2b. Березовск (Berezovsk), Ural. A. Daubrée and S. Meunier, Compt. Rend. Acad. Sci. Paris, 1891, tom 113, p. 172.

2c. Санарка (Sanarka), Ural. C. Schmidt anal. bei C. Grewingk, Arch. Naturk. Liv.-Est.-Kurlande, 1882, vol. 9, p. 150.

2d. Weaubleau, Hickory Co., Missouri. E. T. Allen, Amer. Journ. Sci., 1897, ser. 4, vol. 4, p. 99.

2e. Holden, Jackson Co., Missouri. *Idem, ibid.*

2f. Choceň (Chotzen), Československo. J. G. Neumann, Jahrbuch k. k. Geol. Reichsanst., 1857, vol. 8, p. 355.

3a. 'Catarinite', Santa Catharina, Brazil. A. A. Damour, Compt. Rend. Acad. Sci. Paris, 1877, vol. 84, p. 478.

4a. R. Elvo, Biella, Piedmont, Italia. Mattirollo anal. bei A. Sella, Compt. Rend. Acad. Sci. Paris, 1891, vol. 112, p. 171.

4b. Josephine Co., Oregon. G. S. Jamieson, Zeits. Kryst. Min., 1906, vol. 41, p. 157.

4c. South Fork, Del Norte Co., California. *Idem, ibid.*

4d. Hoole Canyon, Pelly River, Yukon. R. A. A. Johnston, Summ. Rep. Geol. Surv. Dept. Mines, Canada, 1911 for 1910, p. 258.

4a. Fraser River, British Columbia. F. G. Wait, anal. bei E. C. Hoffmann, Amer. Journ. Sci., 1905 ser. 4, vol. 19, p. 319.

4f. Gorge River, Awarua Bay, New Zealand. W. Skey, New Zealand Inst. Trans., 1885, vol. 18, p. 401.

4g. Бобровка (Bobrovka), Ural. Н. К. Висоцкій (N. K. Vysotsky), Mem. Com. Geol. St. Pétersburg, 1913, ser. 2, vol. 62, pp. 106 (Russ.) and 667 (Deutsch).

veining not only the broken-down remains of older silicates but also the products of serpentinization. In these it is occasionally recognizable as of younger formation. Especially striking are loose, mossy distributions often passing over into skeletons and pseudomorphous structures after a cubic mineral. The occurrence of zoned, botryoidal structures with magnetite and gangue and even with limonite furnishes important evidence, and the association of (Ni,Fe) with native copper (sometimes in repeated alternations) is decisive. [i.e. of the recent formation of the (Ni,Fe).]

The genetic interpretation is difficult. Purely supergene reduction, perhaps under bogs, must be excluded. A thermal origin in the temperature range of talc formation is the most probable. Anyhow sulphides occur in association, and they are derived from an older but certainly not an orthomagmatic period. These sulphides already show a replacement series with increasing Ni content. The presence of nine such sulphides has been established, and only a few of them can be identified satisfactorily with commoner minerals. Although some are similar to well-known ores, they show a partial substitution of iron by nickel. Finally two or three are clearly sulphides of copper and nickel, not hitherto known as minerals.

One can assume, then, that native nickel-iron (Ni,Fe) is relatively widely distributed in serpentine areas but that its grains escape notice because of their minute size. The (Ni,Fe) alloys are only readily recognized when they are associated with valuable placer minerals in sand or when they are of unusual size or frequency.

#### *References.*

- 1a. SCHNEIDERHÖHN (H.) and RAMDOHR (P.), *Lehrbuch der Erzmikroskopie*, vol. 2. Berlin, 1931. [M.A. 4-434.]
- 1b. RAMDOHR (P.), *Die Erzminerale und ihre Verwachsungen*. Berlin, 1950, p. 224. [M.A. 11-118.]
2. ASTON (E.) and BONNEY (T. G.). On an Alpine Nickel-bearing serpentine, with Fulgurites. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, 1896. pp. 452-460.
- 3a. DE QUERVAIN (F.). Chalkographische Beobachtungen am Lherzolith-serpentin von Selva (Poschiavo). *Schweiz. Min.-Petr. Mitt.*, 1936, vol. 16, p. 404.
- 3b. — Awaruit und Pentlandit in Serpentin von Selva bei Poschiavo. *Schweiz. Min.-Petr. Mitt.* 1945, vol. 25, pp. 305-326.
- 4a. RAMDOHR (P.). Über das Vorkommen von Heazlewoodit  $\text{Ni}_3\text{S}_2$  und über ein neues ihn begleitendes mineral: Shandit  $\text{Ni}_3\text{Pb}_2\text{S}_2$ . *Sitzungsber. Deutsch. Akad. Wiss. Berlin, Math.-naturwiss. Kl.*, 1949, no. VI.
- 4b. PEACOCK (M. A.) and McANDREW (J.), On parkerite and shandite and the crystal structure of  $\text{Ni}_3\text{Pb}_2\text{S}_2$ , *Amer. Min.*, 1950, vol. 35, pp. 425-439.

5. MORLEY (R. E.). The mineralogy and origin of josephinite. Pop. Astron., 1949, vol. 57, pp. 93-94. [M.A. 11-68.]
6. JOHNSTON (R. A. A.), Awaruite, almandine und magnetite. Summ. Rep. Geol. Surv. Dept. Mines, Canada, 1911 for 1910, pp. 256-263.
7. ALSÉN (N.). Röntgenographische Untersuchung der Kristallstrukturen von Magnetkies, Pentlandit, Millerit und verwandten Verbindungen. Geol. Förh., Stockholm, 1925, vol. 47, pp. 19-72. [M.A. 3-19.]

## VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN (PLATES IV-VIII)

PLATE IV, Abb. 1. Josephinit formt eine körnige Struktur ab. An den Korngrenzen etwas Magnetit (dunkelgrau, hart). An den Korngrenzen ist der sonst sehr porige Josephinit stellenweise kompakt. Vergr. 40 ×.

Abb. 2. Eigentümliche Ballenstruktur des sehr porigen Josephinit. An den Korngrenzen (fast schwarz) Gangart. An einer Stelle (links ein) Relikt von Sulfid III (lichtgrau, porenfrei). Vergr. 80 ×.

Abb. 3. Einzelheit aus der Probe der Abb. 1. (Ni,Fe) in eisblumenartigen Skeletten. Schwarz sind teils Hohlräume, teils Gangarten. Vergr. 400 ×.

Abb. 4. Ähnlich Abb. 3, aber Formen mehr moosig, nicht fiederförmig. Vergr. 400 × (Ölmmersion).

Abb. 5. Feines Netzwerk von (Ni,Fe) in Olivinfels (dunkelgrau); in letzterem sind rundliche bis idiomorphe Magnetit Kristalle (lichtgrau) eingelagert. (Ni,Fe) auch in größeren kompakten Massen, von denen anscheinend das Netzwerk ausgeht. Vergr. 100 ×.

Abb. 6. Teils kompaktes, teils lockeres, teils sehr feinporiges (Ni,Fe) mit geregelt eingelagertem Chlorit (oder Talk), letztere praktisch schwarz. Vergr. 100 ×.

PLATE V, Abb. 7. Ähnlich Abb. 6. Der Anteil von Silikat ist erheblich geringer. Vergr. 40 ×.

Abb. 8. (Ni,Fe) pseudomorph nach dem Lamellenwerk eines grobkörnigen kubischen Minerals. Schwarz sind Löcher, sehr dunkelgrau sind Gangart-Einschlüsse. Vergr. 120 ×.

Abb. 9. Josephinit (reinweiß) umgibt rhythmisch mit Zwischenlage von Gangart (schwarz) u. Magnetit (grau), der massenhaft feine Verdrängungsrelikte von Sulfid (weiße Durchstäubung) enthält. Ganz außen, wieder Jos., getrennt durch eine Gangpartie, eine rhythmische Kruste von Brauneisen und Andeutung einer zweiten. Vergr. 200 ×, Ölmmersion.

Abb. 10. Kompaktes (Ni,Fe) wächst von Klüften aus idiomorphisch in das (Ni,Fe)-Moos hinein. Vergr. 120 ×.

PLATE VI, Abb. 11. Ähnlich wie Abb. 8, Lamellen aber breiter und alle Formen regelmäßiger. Am Rande links oben etwas Magnetit. Vergr. 50 ×.

Abb. 12. Ähnlich Abb. 8 u. 11. Die Lamellen sind hier streifigporig aufgebaut, die Zwickel zum Teil mit jüngerem (Ni,Fe), das eine im Photo nicht erkennbare Spur abweichend gefärbt ist, erfüllt. Vergr. 500 ×, Ölmmersion.

Abb. 13. Lamellenwerk ähnlich Abb. 10–12, das aber hier aus Magnetit besteht, während (Ni,Fe) in wechselndem Anteil neben Silikat die Zwickel füllt. Vergr. 120 ×.

Abb. 14. Rekristallisation am 'gehämmerten' Rand des Gerölls. Rekristallisiert sind (Ni,Fe) weiß, Kupfer schwer abtrennbar, reinweiß, Magnetit, dunkelgrau, Chalkosin, sehr dunkelgrau, 'Chalkopyrrhotin' mit eben erkennbarem Valleriitzerfall, lichtgrau, zum Teil mit spinnennetzähnlichem Muster. Vergr. 180 ×, Ölimmersion, starkes Rotfilter.

PLATE VII, Abb. 15. Gediegen Kupfer (reinweiß) fleckig verteilt in wechselnder Altersbeziehung im (Ni,Fe) (lichtgrau). (Ni,Fe) hat eine größere Neigung zu idiomorpher Entwicklung. Vergr. 500 ×, Ölimmersion, starkes Rotfilter.

Abb. 16. (Ni,Fe) kompakt mit unverdauten Verdrängungsrelikten von IV (dunkelgrau, durch Pleochroismus etwas verschieden). Löcher an der Stelle herausgebrochener oder verdrängter Sulfide. Vergr. 125 ×.

Abb. 17. Verdrängung von Sulfiden, überwiegend III (vergl. Korn mit Sprüngen in der Mitte!). (Ni,Fe) als Verdränger dieser Sulfide ist viel geschlossener als sonst. Vergr. 500 ×, Ölimmersion.

Abb. 18. Sprünge, teils offen, teils gängerfüllt formen eine alte Struktur ab. Verdrängungsreste von III nur selten erhalten, meist sind Löcher der Platz ehemaliger Relikte. Vergr. 200 ×, Ölimmersion.

PLATE VIII, Abb. 19. (Ni,Fe) mit Verdrängungsrest von III, das hier in den Eigenschaften etwas abweicht (Ähnlichkeit mit VI) und auch etwas Cu (reinweiß) liefert. Vergr. 400 ×, Ölimmersion, starkes Rotfilter.

Abb. 20. Sulfidrest (III) in porigem, zum Teil fast moosartigem (Ni,Fe). Vergr. 200 ×, Ölimmersion.

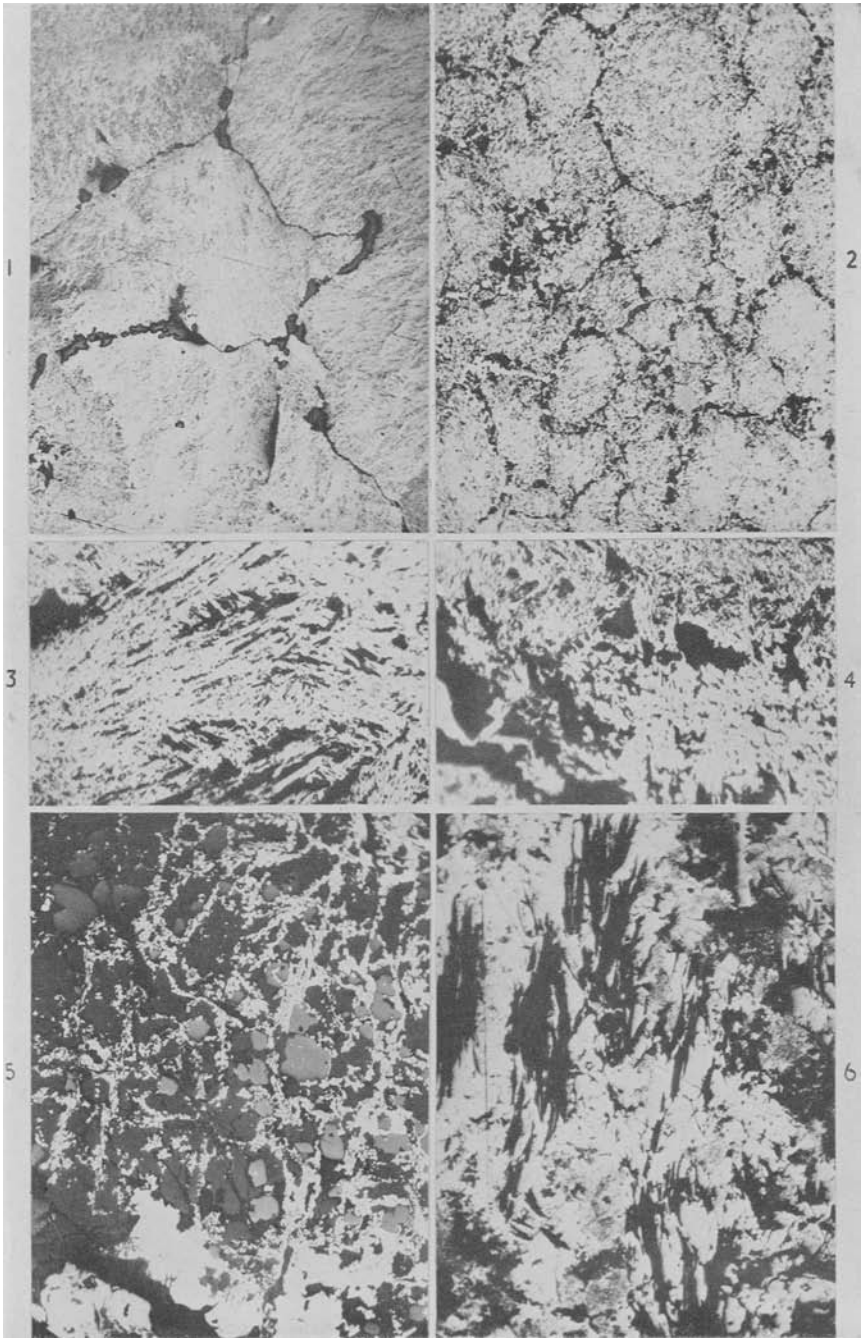
Abb. 21. Größerer Sulfidrest im (Ni,Fe). Das dunklere Sulfid IV wird von dem isotropen hellerem III verdrängt. (N.B. die Aufnahme ist auf ganz starken Kontrast gearbeitet). Vergr. 180 ×, Ölimmersion.

Abb. 22. Verschiedene Sulfide in (Ni,Fe) und Cu (Cu, besonders links, ist hier schwer von (Ni,Fe) zu unterscheiden). Sulfid VI (mittelgrau) ist von einem Netz von VIII durchsetzt und wohl von ihm verdrängt. Links ist eine mit 'Vallerit' durchzogene etwa sanduhrförmige Partie von III (lichtgrau), in der Mitte und mehrfach sonst, zum Teil VI bzw. VIII säumend, findet sich reichlich IX. Vergr. 180 ×, Ölimmersion, Rotfilter.

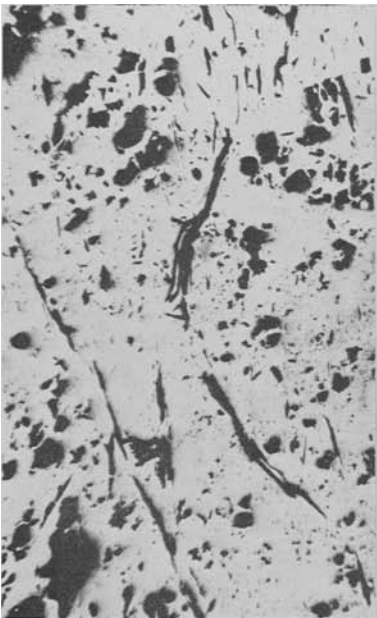
Abb. 23. Einzelheit aus Abb. 26. Verdrängungsrest von III, dessen Sprünge (hier durch Anlaufen noch betont) parallel mit dem Netzwerk in dem verdrängten Kristall laufen. Vergr. 400 ×, Ölimmersion.

Abb. 24. Pseudomorphose nach einem großen Korn eines kubischen Minerals. Netzwerk von (Ni,Fe) und Magnetit; die Zwickel sind teils mit Gangart (sehr dunkel grau) erfüllt, teils leer. Außen folgt zunächst eine Zone von besonders kompaktem (Ni,Fe). Vergr. 120 ×.

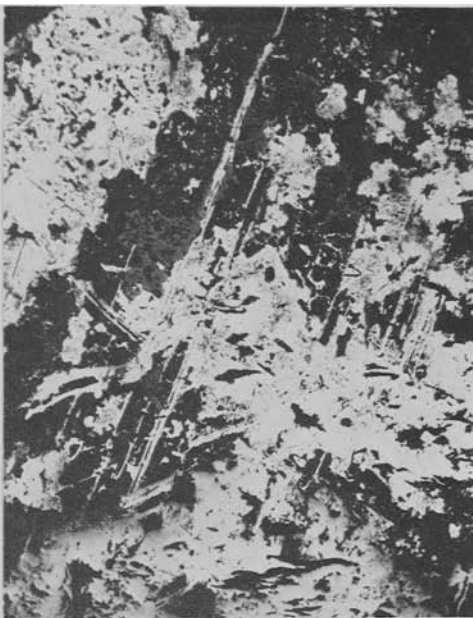
Abb. 25. (Ni,Fe) verdrängt Magnetit, der strichförmige Sulfidteilchen enthält als Relikte eines bereits von ihm verdrängten entmischten Sulfids. In Gangart lagern die Körner genau wie im Magnetit. Vergr. 200 ×, Ölimmersion.



P. RAMDOHR: JOSEPHINITE, AWARUITE, AND SOUESITE



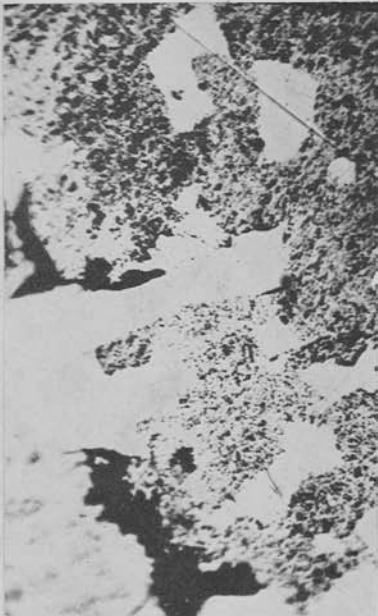
7



8



9

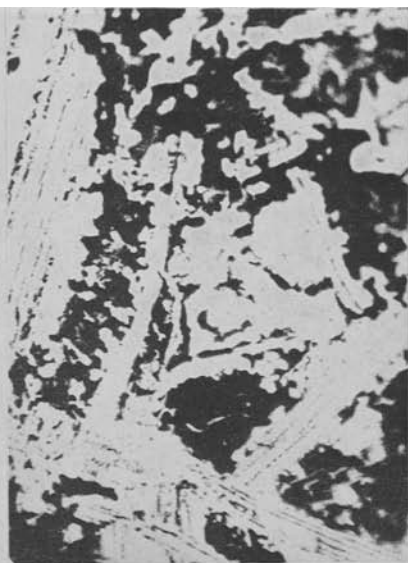


10

P. RAMDOHR: JOSEPHINITE, AWARUITE, AND SOUESITE



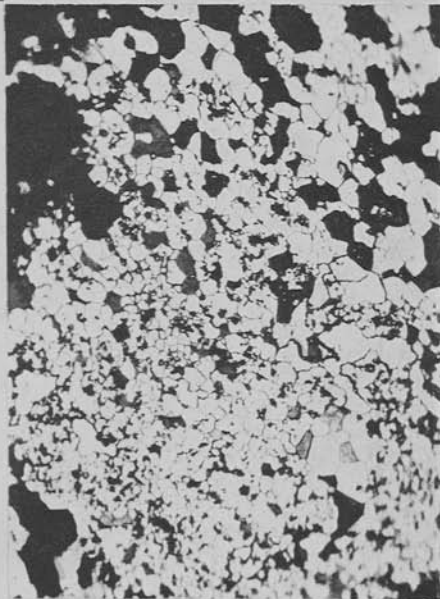
11



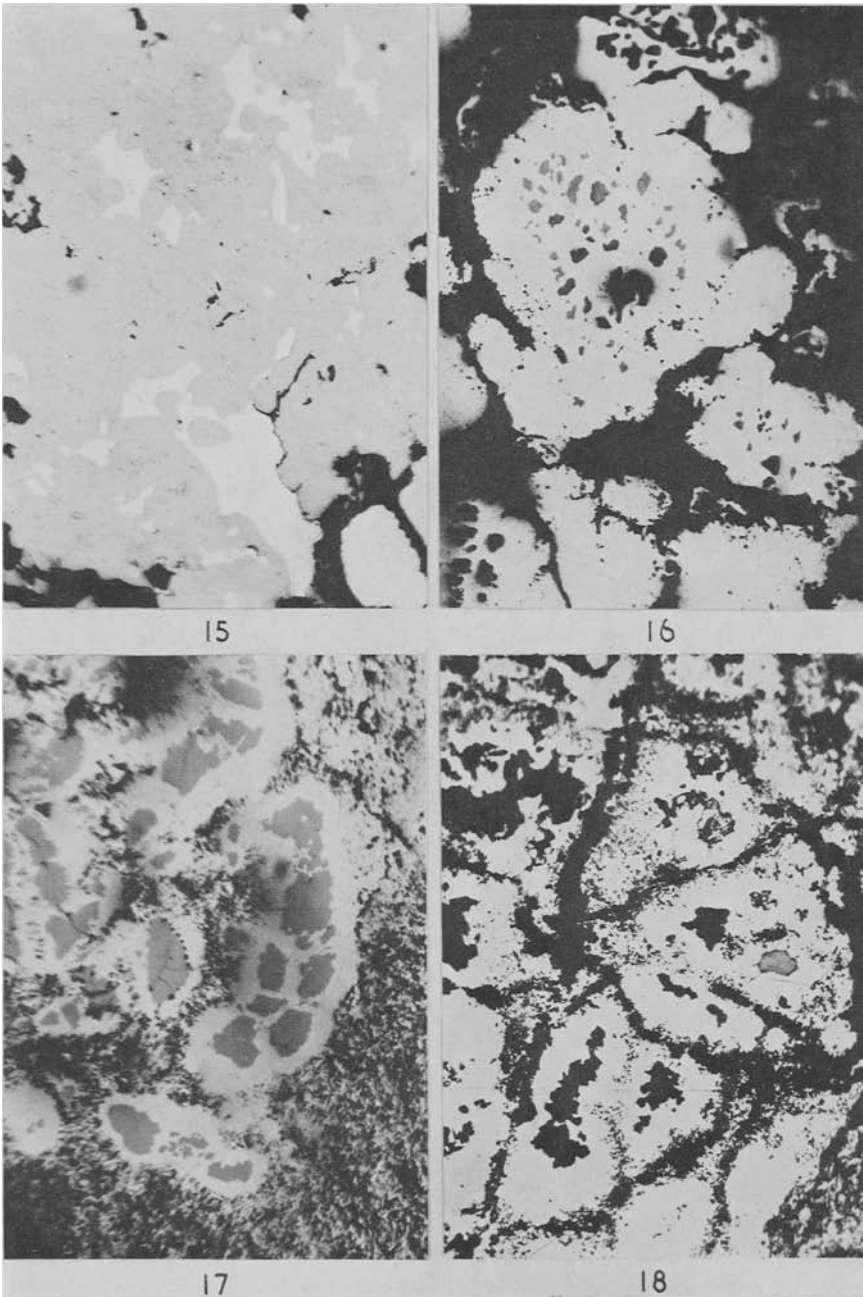
12



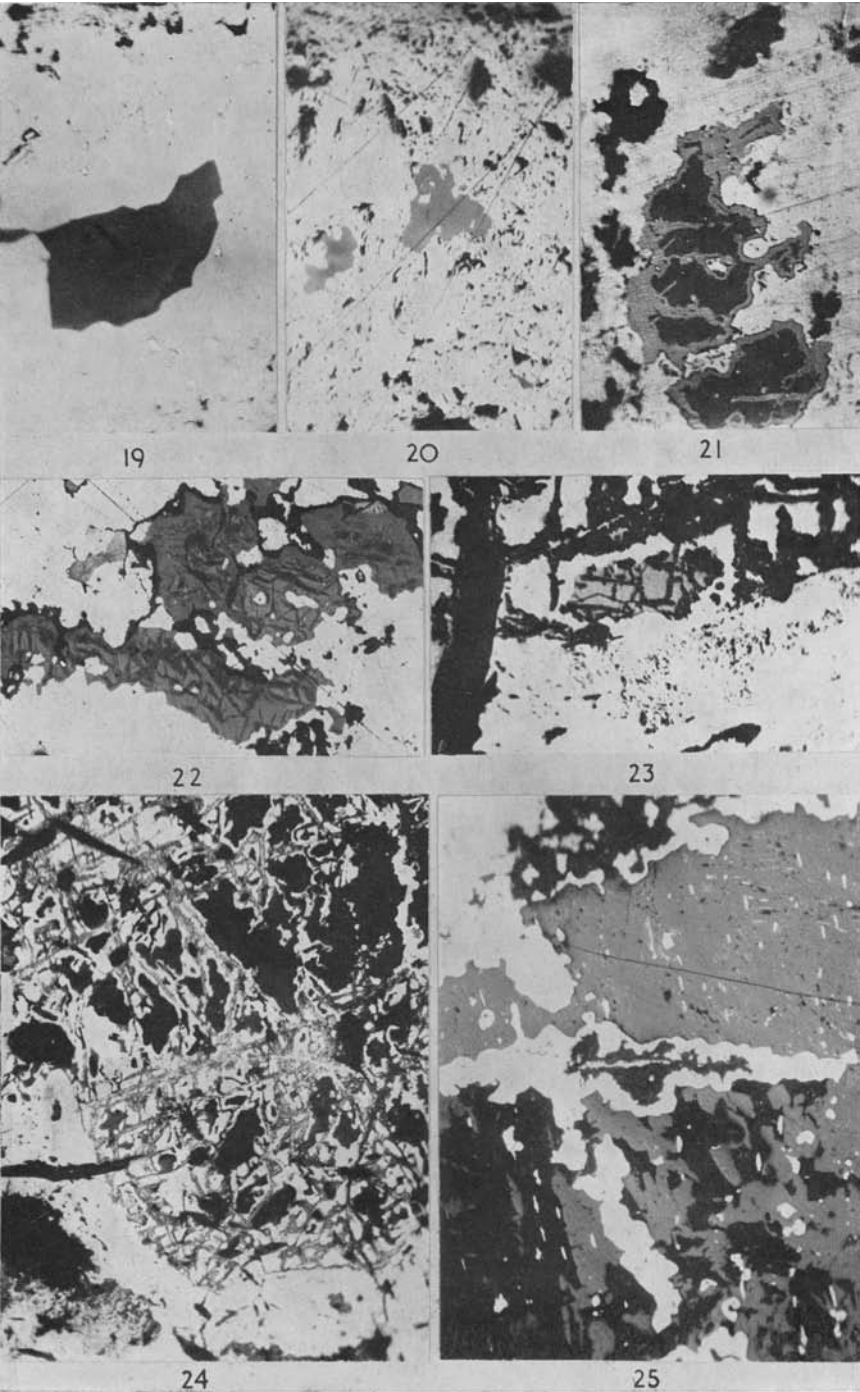
13



14



P. RAMDOHR: JOSEPHINITE, AWARUITE, AND SOUESITE



P. RAMDOHR: JOSEPHINITE, AWARUITE, AND SOUESITE