

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
KLEINERE MITTEILUNGEN

Nr. 30

**Die Erzmineralien des Serpentin
von Selva-Quadrada (Puschlav)**

von

F. DE QUERVAIN

Vorwort der Schweizerischen Geotechnischen Kommission

Die Arbeit von F. de Quervain: „Die Erzminerale des Serpentin von Selva-Quadrada (Puschlav)“ behandelt in Fortsetzung und Zusammenfassung früherer Studien die Nickel- und Eisen-Titanminerale aus einem Teilareal des zur mesozoischen Ophiolithserie gehörigen Malencoserpentin. Ein kurzer Anhang orientiert über einige Versuche mit praktischer Zielsetzung.

Zürich, Mai 1963.

Der Präsident der
Schweiz. Geotechnischen Kommission

Prof. F. DE QUERVAIN

Erscheint gleichzeitig in „Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen“, Band 43, Heft 1, 1963

Die Erzminerale des Serpentin von Selva-Quadrada (Puschlav)*)

Von *F. de Quervain* (Zürich)

Mit 1 Figur im Text und 18 Figuren auf 2 Tafeln

In einigen kurzen Mitteilungen (1935, 1936, 1938 und 1945) beschrieb der Verfasser Gesteine und Erzminerale aus dem schweizerischen Anteil des *Malencoserpentine*, besonders aus dem Gebiet der Steinbrüche von *Selva* und der Asbestgruben *Quadrada*. Mit der vorliegenden Untersuchung sollen die früheren Beobachtungen ergänzt werden, vor allem was das Auftreten der Erzminerale und ihre Beziehungen zu den silikatischen Gemengteilen des Serpentin betrifft. Dies erforderte auch eine Neuüberprüfung der Petrographie des gesamten Gesteins. Wesentlich angeregt wurde dieses Wiederaufgreifen durch die Entdeckung des Minerals Heazlewoodit im Serpentin von Selva durch P. RAMDOHR (1950a) an Proben, die der Verfasser zur Verfügung stellte, und die anschliessenden Feststellungen des allgemeineren Auftretens von Nickelmineralen in Serpentin und der damit verknüpften Genesediskussion (siehe Literaturverzeichnis).

Die erzmikroskopische Untersuchung basiert auf 94 Anschliffen (66 älteren Hand- und 28 Maschinenanschliffen¹⁾), 24 davon stammen aus dem Steinbruchareal von Selva (Lokalität Clef) am Ostende der Serpentinmasse, 20 aus der Umgebung der Asbestvorkommen Quadradin (früher Quadrada di dentro), 18 aus dem Gebiet der Asbestgruben Quadrada (Quadrada di fuori), der Rest verteilt sich über die weite Felsmasse der Piatte di Canciano gegen Westen bis zum Grenzkamm.

*) Erscheint gleichzeitig als „Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleinere Mitteilungen, Nr. 30“.

¹⁾ Für die fachgemässe Herstellung der Maschinenschliffe möchte ich den Herren V. Köppel und Dr. K. Stucky bestens danken; ersterer wirkte auch mit bei den Photoaufnahmen.

Dazu kommen weitere 8 Schliffe aus dem Val Malenco (Steinbrüche bei Franschia, Tornadri, nördlich und südlich Chiesa). Ferner wurden zahlreiche Dünnschliffe untersucht. Einen guten Überblick über die Verteilung im grossen bieten die polierten Objekte aus den Steinbrüchen.

Es liegt in der Natur des Vorkommens (gänzlich unübersichtliche Innentektonik des Serpentin mit intensivsten Faltungen im Grossen und Kleinen, Unmöglichkeit, am Handstück oder gar am Fels Wesentliches zu erkennen), dass sich aus diesen wenigen Stichproben keine irgendwie aufschlussreichen Aussagen über die Verteilung der zu beschreibenden Phänomene durchführen lassen. Immerhin zeigen die drei durch zahlreichere Schliffe belegten Vorkommen im Prinzip das gleiche (oder besser eine ähnliche Variabilität) und mehr oder weniger gilt dies auch für die weiteren Einzelproben. Es lässt sich somit daraus schliessen, dass die mitgeteilten Feststellungen eine grosse Verbreitung besitzen, auch in dem viel grösseren Serpentinanteil des Val Malenco.

A. Das Serpentinegestein

Alle untersuchten Proben betrafen den oft reliktreichen Antigoritserpentin wie er für das grosse Malencovorkommen (um 100 km²) typisch ist. Über seine einzelnen Mineralien und wesentlichen Gefügemerkmale sei folgendes bemerkt (siehe auch DE QUERVAIN, 1935 und 1938, mit weiteren Literaturangaben):

Hauptgemengteil wohl aller wichtigen Ausbildungen (ohne Gänge und Einlagerungen) ist ein meist mittel- bis grob-, selten feinblättriger *Antigorit*. Er kann alle andern Gemengteile durchsetzen. Die Ausbildung und Anordnung der Antigoritblätter bestimmt zur Hauptsache Textur und Struktur des Gesteins: $\pm$ richtungslos (bei wirrer oder garbenartiger Anordnung, untergeordnet), parallel gerichtet oder am häufigsten gefältelt in allen Intensitäten.

Der zweitwichtigste Bestandteil, etwa in drei Viertel aller Dünn- oder Anschliffe feststellbar, ist *Diallag*, immer erfüllt von kleinsten Magnetit- und Ilmeniteinschlüssen. Die meisten Diallage sind, oft in regelmässigen Abständen, aufgespalten und bis auf das 1 $\frac{1}{2}$ oder gar 2fache auseinandergezogen. Meist tritt (100) als Spaltfläche auf. Die Risse sind normalerweise mit Chlorit erfüllt. Charakteristisch als Rissfüllungen sind ferner diopsidischer Pyroxen und Erzminerale. Der Diallag und seine Rissfüllungen sind vielfach von (jüngern) Antigoritblättern durchsetzt (Fig. 1). Alle Auflösungsstadien des Diallags sind zu beobachten.

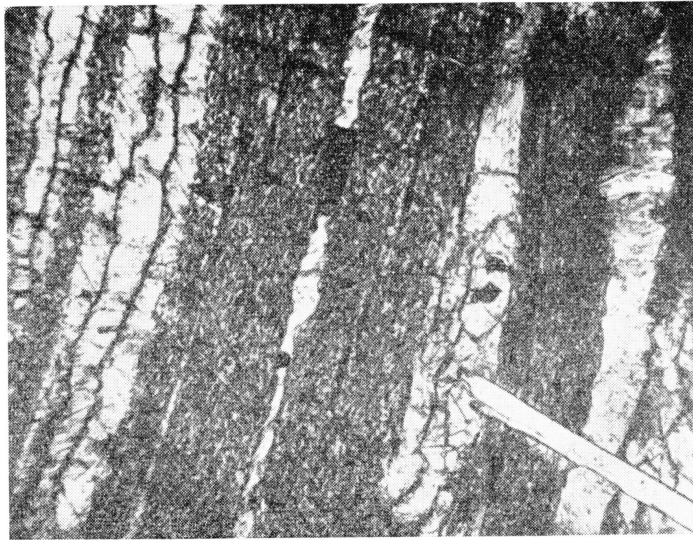


Fig. 1. Diallag (sehr einschlussreich) mit breiten Rissen, erfüllt von Diopsid (randlich, höheres Relief) und Chlorit (Zentrum), sowie wenig Erz (schwarz). Rechts Einspiessen von jüngerem Antigorit. Dünnschliff, 80 $\times$.

In vielleicht zwei Fünfteln der Proben ist *Olivin* in nennenswerten Mengen zugegen. Zum Teil bildet er grössere Partien mit ursprünglicher Mosaikstruktur, vorzugsweise liegt er als eckige Zwickelfüllung zwischen den Antigoritblättern vor, oder er nimmt in Mikrobrekzienform an schmalen, konkordanten, meist welligen Zügen oder Spindeln teil.

Ein untergeordneter, in zahlreichen Proben aber charakteristischer Gemengteil ist ein *diopsidartiger Pyroxen*. Im Gegensatz zum Diallag führt er kaum Einschlüsse und zeigt nur die normale Pyroxenspaltbarkeit. Bevorzugt umrandet er Diallage (mit gleicher oder verschiedener optischer Orientierung), verheilt Bruchstellen und tritt charakteristisch in den Diallagrissen (nach 100) auf, meist mit gleicher optischer Orientierung. Vielfach ist der Pyroxen schilfig-stengelig aufgespalten und erinnert dann äusserlich an Strahlstein.

Ein *Chlorit* mit anormaler brauner Interferenzfarbe ist ebenfalls für viele Proben typisch. Er tritt auf als normale Rissfüllung der Diallage (siehe oben), ferner ersetzt er in sehr magnetitreichen Partien öfters den Antigorit. Vereinzelt wurden *Grammatit*stengel getroffen.

Adern mit *Chrysotilasbest* (selten auch mit Hornblendeasbest) häufen sich an zahlreichen Stellen des Serpentinareales. Der Asbest tritt als Quer- oder Längsfaser auf (letzteres häufiger). Näheres siehe HÜGI (1944).

Die sporadisch auftretenden *Olivin-Titanklinohumit-Diopsid-Adern* (oft mit Apatit) sind 1938 eingehend beschrieben. Auf Gänge aus Nephrit machte R. STAUB aufmerksam.

Die Innenstruktur des Serpentin­körpers ist im Detail noch nicht erforscht. Seine Beziehung zum regionalen Gebirgsbau ist vor allem durch R. STAUB (Berninakarte 1946) bearbeitet worden.

B. Die Erzminerale

1. DIE EISEN-TITANOXYDE

Magnetit

Mengenmässig ist Magnetit weitaus das wichtigste Erzmineral. In den Anschliffen schwankt seine Menge von $< 1\%$ bis über 20% , sogar in solchen des gleichen Handstückes, was auf grosse Variation im Kleinen hinweist. Polierte Platten aus den Steinbrüchen (olivinreiche Serpentine) zeigen aber doch, dass die Magnetite in grösseren Bereichen ziemlich gleichmässig verteilt sein können. Vielleicht darf als Mittel $4\text{--}6\%$ gelten. Ob die reliktreichen Formen oder die reineren Serpentine im ganzen mehr Magnetit führen, möchte ich nicht entscheiden, in letzteren ist die Verteilung aber unregelmässiger. Allem Anschein nach ist er im Mittel im ganzen Areal ungefähr gleich reichlich.

Optisch bietet das Mineral nichts Aussergewöhnliches. Bisweilen glaubt man eine ganz schwache Anisotropie festzustellen, die Korngrenzen wenigstens errahnen lässt.

Von grösster Mannigfaltigkeit ist dagegen die äussere Ausbildung. Es lassen sich beobachten:

- a) Idiomorphe Einzelkristalle, meist Rhombendodekaeder.
- b) Gerundete, mehr oder weniger isometrische Einzelindividuen.
- c) Kleinere bis grössere ziemlich homogene Aggregate mit wenig gegliedertem Umriss. Ihre Innenstruktur ist mosaikartig. Sie sind bevorzugt in der Schieferung gestreckt.
- d) Analoge Aggregate mit völlig aufgeteilter Begrenzung: entweder grobzackig durch grosse Antigoritblätter oder durch feinkristallinen Antigorit feinbuchtig aufgegliedert, nach Art einer Fjordküste.
- e) Aggregate wie c und d auch im Innern mehr oder weniger intensiv von Silikat, meist Antigorit, durchsetzt.
- f) Langgestreckte, schmalere bis breitere Züge oder Spindeln meist streng in der Schieferung (auch die Fältelung mitmachend), bisweilen auch mehr oder weniger diskordant dazu, auf „Faltenüberschiebungen“.

- g) Dünnsche, oft verzweigte Schnüre in der Serpentinmasse, ferner ganz feine Säume an Korngrenzen von Olivin und Diallag.
- h) Langgestreckte Nadeln.
- i) Skelettbildungen der verschiedensten Art, grob bis fein, oft mit vielen Verzweigungen mit Übergängen in g.
- k) Feinste Tropfen in verschiedenen Silikaten, regelmässig in grösster Menge im Diallag, bisweilen von myrmekitartigen Formen.
- l) Füllung der Risse in den Diallagen.
- m) Breite Aderfüllung in den Titanklinohumiten.

Eine feine Magnetitdurchstäubung des Antigorites fehlt dagegen bis auf ganz vereinzelte Fälle.

Verwachsen ist Magnetit mit allen andern vorkommenden Mineralien, besonders charakteristisch mit den Ni-Erzen (siehe dort), er führt auch alle andern Erzminerale als Einschluss.

Die obengenannten verschiedenartigen Ausbildungen können sich im selben Anschliff vorfinden, meistens sind einige davon bevorzugt vertreten, zum Beispiel isometrische oder langgestreckte oder stark zerteilte bis skelettartige Formen. Oft lässt sich am gleichen Aggregat der Übergang von idiomorpher zur skelettartigen Ausbildung sehen (Fig. 2), zum Beispiel mit der Lupe sehr schön an den polierten Platten aus den Steinbrüchen Selva. Die Aggregate haben oft $\frac{1}{2}$ —1 cm Durchmesser. Im übrigen finden sich alle Dimensionen bis unter 0,002 mm.

Ilmenit

Der Ilmenit ist nie reichlich vorhanden, aber doch in etwa ein Drittel der Anschliffe zu treffen. Nur in einem besonders magnetitarmen Schliff ist er reichlicher als der Magnetit. Der Ilmenit zeigt ähnlich dem Magnetit grosse Mannigfaltigkeit der Ausbildung. Er bildet Einzelkörner, stets xenomorph, buchtig-lappige und skelettartige Gebilde der verschiedensten Art. Man trifft ihn ebenfalls als feinste Einschlüsse in Diallag, wie als dessen Rissfüllung. Pleochroismus und Anisotropie lassen die Kornstruktur gut erkennen.

Der Ilmenit ist isoliert, häufiger aber mit Magnetit oder Perowskit verwachsen, meist ohne ersichtliche Gesetzmässigkeit. Vereinzelt sind feine Durchwachsungen Ilmenit-Perowskit von perthitähnlicher Struktur sowie dünne Umrandungen durch Perowskit. Ilmenit kann auch Nickelerze eingeschlossen enthalten, doch ist dies viel weniger typisch als bei Magnetit. Grössere Körner zeigen Störungen der Anisotropieeffekte, die ganz an undulösen Quarz erinnern.

Perowskit

Der Perowskit ist ein untergeordnetes, aber sehr charakteristisches Mineral der untersuchten Serpentine, in zwei Fünftel der Proben zu treffen.

Er ist erkennbar an merklich geringerer Reflexion als Magnetit, sehr nahestehend der dunkleren Stellung des Ilmenites. Die Farbe ist grau gegen bläulich, in Öl ausgesprochen graublau. Kennzeichnend sind besonders die massenhaften Innenreflexe, die mit wenig Ausnahmen die Isotropie verschleiern. Die Farbe der Innenreflexe wechselt sehr von lichtbräunlich-weiss, lichtbraun, tiefbraun bis rötlichbraun. Häufiger sind die hellen Töne. Bisweilen fehlen fleckenweise die Innenreflexe.

Auch der Perowskit ist in der Ausbildung mannigfaltig wie der Ilmenit, wie dieser scheint er darin den Magnetit zu imitieren. Man trifft idiomorphe Körner (mit dreieckigem oder quadratischem Querschnitt), rundliche Gebilde, oft mit buchtigen Rändern (wie eine Fjord- oder Schärenküste), gestreckte Aggregate (bis feinste Schnüre), Skelette der verschiedensten Art, ferner Riss- und Aderfüllungen (Fig. 3).

Der Perowskit ist isoliert oder mit Magnetit oder Ilmenit verwachsen, auf die verschiedenste Art und Weise (Fig. 4, 5). In einigen Anschliffen findet man zugleich Skelette von Magnetit, fast gleichartige von Perowskit und solche, die aus beiden Mineralien bestehen. Am meisten Perowskit führen die Anschliffe mit Titanklinohumit, als Einschluss oder Rissfüllung in diesem Mineral oder als dessen Umrandung gegen das normale Gestein. Mehrfach wurde Perowskit im Zentrum von grösseren Magnetitaggregaten beobachtet. Aber auch Schliffe ganz ohne Titanklinohumit können Perowskit relativ reichlich führen. Perowskit kann als Seltenheit Einschlüsse von Nickelerzen enthalten (siehe unten).

2. DIE NICKELERZE

Verbreitung, Menge und Grösse

Die Nickelminerale *Pentlandit*, *Awaruit* und *Heazlewoodit* sind für den Serpentin als fast „normale“ Nebengemengteile anzusprechen. In nahezu jeder Probe wurde wenigstens eines der drei Mineralien (oder dessen Pseudomorphosen) festgestellt. Oft sind deren zwei, mehrfach auch alle drei im gleichen Schliff gefunden worden, zum Teil scheinen sie sich aber doch gegenseitig zu vertreten. Unter den bestimmbaren

Partikeln²⁾ ist Pentlandit fast in allen Schliffen vorhanden, Heazlewoodit in etwa der Hälfte, Awaruit in einem Viertel. Dementsprechend kommt Pentlandit oft allein vor, Heazlewoodit überwiegt, falls vorhanden, die beiden Begleiterze meist stark, Awaruit kann spärlich sein, aber auch stark vorwiegen (in RAMDOHR, 1950a, wird auch alleiniges Auftreten von Selva erwähnt). Der *Nickelerzanteil* der Proben bewegt sich meist zwischen 0,1 und 0,4%. In kleineren Bereichen (nach polierten Platten zu schliessen bis zu einigen dm² Ausdehnung) kann die Menge 0,5% wesentlich übersteigen. Eine eigentliche Anreicherung bis zu mehreren % wurde nicht gefunden. Jedenfalls ist die Verteilung im kleinen recht unregelmässig, über die Verhältnisse im grossen möchte ich nichts aussagen.

Die drei Mineralien haben die *Grösse* gemeinsam. So sind die Dimensionen der Einzelpartikel oder Aggregate (auch wenn aus mehr als einem davon bestehend) ungefähr gleich, wenigstens soweit sie bestimmbar sind. Die Grössen schwanken zwischen < 0,002 mm und 0,5 mm, als Seltenheit bis 4 mm, wobei die Zahl nach oben rasch abnimmt. Die Hauptmenge liegt im Bereich 0,005 bis 0,05 mm. Ein Anschliff von 1 cm² pflegt 50—300 Einzelgebilde zu enthalten, wenn man von den winzigen Tröpfchen absieht.

Die Mineraleigenschaften

Der *Awaruit* von Selva wurde bereits 1936 und 1945 vom Verfasser und 1950 von RAMDOHR beschrieben. Seine Eigenschaften entsprechen der Darstellung von RAMDOHR (1960). Die vor 25 Jahren hergestellten Anschliffe zeigten kaum eine Veränderung der Politur und Reflexion, während Pentlandit unregelmässige, aber oft starke, Heazlewoodit geringere Helligkeitsunterschiede gegenüber dem frisch polierten Zustande zeigen. Die Abgrenzung von Awaruit gegenüber den andern Ni-Erzen ist deshalb an alten Anschliffen deutlicher. Die reichsten Awaruitproben stammen aus den heute nicht mehr bearbeiteten östlichsten Steinbrüchen von Selva.

Auch der *Pentlandit* ist vom Verfasser 1945 beschrieben worden. Eine Nachprüfung der alten Anschliffe ergab, dass zahlreiche damals als Pentlandit angesprochene Körner sich nunmehr als anisotrop er-

²⁾ Die meisten Schliffe enthalten viele hochreflektierende Partikel kleinster Dimensionen, deren Einzeldiagnose praktisch nicht durchführbar ist, so dass diese Angaben nur mit Vorbehalt gelten (Fig. 6).

weisen und dem veränderten Heazlewoodit (siehe unten) zugeordnet werden müssen.

Wo Pentlandit an Heazlewoodit grenzt, ist er etwas dunkler und bräunlicher und natürlich isotrop. Er ist bei +N nie ganz dunkel, oft sind violette Töne festzustellen, die sehr den Anisotropieeffekten des frisch polierten, wenig anisotropen Heazlewoodit gleichen. Awaruit hellt dagegen bei +N kaum auf. Bisweilen zeigt der Pentlandit die Spaltbarkeit deutlich. Isolierte sehr kleine Körner lassen sich nicht mehr sicher bestimmen.

Der Pentlandit ist von den Nickelerzen am wenigsten witterungsbeständig. In den ganz oberflächlich geschlagenen Proben, die meist durch blassgrüne Farbe auffallen, erscheint der Pentlandit durchgehend oder teilweise nur als Pseudomorphosen aus Limonit (Nadeleisenerz). In wenigen Fällen liegt zwischen den Pentlanditrelikten und dem Limonit eine violettbräunliche, isotrope Zone von mittlerer Reflexion, die als Bravoitbildung anzusprechen ist.

Das Nickelerz *Heazlewoodit* (Ni_3S_2) ist von RAMDOHR (1950a) nach einer ersten Aufstellung durch PEACOCK (1947) eingehender aus Serpentin beschrieben und, wie eingangs erwähnt, auch für das Vorkommen Selva festgestellt worden. Die Überprüfung des alten und neuen Materials ergab, dass tatsächlich ein Mineral, das der RAMDOHRschen Beschreibung entspricht, im Malencoserpentin verbreitet ist. Seine Daten lauten:

Schleifhärte mässig bis mittel, etwa entsprechend Pentlandit. Spalt-
risse oder Kataklase zeigt er nicht. Reflexionsvermögen sehr hoch,
merklich höher als bei Pentlandit, geringer als bei Awaruit. Farbe
crèmeweiss (weniger bräunlich als Pentlandit, gelblicher als Awaruit).
Pleochroismus ganz schwach, am besten an bekannten Korngrenzen in
Öl festzustellen. Anisotropieeffekte an neu poliertem Material mässig,
aber bei grösseren Dimensionen der Körner immerhin deutlich. Farben:
violettgrau bis rötlich, Dunkelstellung meist scharf.

An älteren Anschliffen (besonders deutlich an 25 Jahre alten) ist das Mineral meist viel stärker anisotrop und lässt auf den ersten Blick die Aggregatstruktur erkennen (Fig. 7). Überdies ist es häufig von noch viel höher anisotropen Einschlüssen kleinster Dimension durchsetzt, alle optisch unter sich und mit dem umschliessenden Wirtsmineral gleich orientiert. Ohne +N sind diese kleinen Einschlüsse, da in Reflexion und Farbe dem Heazlewoodit sehr nahestehend, kaum fassbar, höchstens lässt sich ein kleines Relief (an Handschliffen) erkennen. Ein oberflächliches Aufpolieren beseitigt diese „Alterungsphänomene“ nicht. Erst ein kurzes Abschleifen bringt die Einschlüsse zum Verschwinden, auch der

Heazlewoodit zeigt nun wieder die normale schwächere Anisotropie. Die Einschlüsse dürfen wohl als Millerit aufgefasst werden, in den der Heazlewoodit unter jahrelangem, direktem Luft- oder Lichteinfluss zu zerfallen scheint. Die allgemein stärkere Anisotropie der „gealterten“ Form könnte als Vorstadium der Milleritbildung betrachtet werden. In einigen Fällen ist der „Heazlewoodit“ durchgehend hoch anisotrop, dürfte somit zum grossen Teil umgewandelt sein. Die neuen Maschinenanschliffe (Alter bis 2 Jahre) zeigen diese Umwandlungsphänomene nicht, oder erst im Anfangsstadium.

Tabelle. *Reflexionsmessungen mit dem Leitz-Mikroskop-Photometer MPE*

Die Reflexion der interessanteren Erze konnte mit dem neuen Leitzgerät näher untersucht werden. Die Messungen verdanke ich Herrn dipl. ing. petr. V. Köppel. Die Genauigkeit liegt hier um 1 % des Messwertes. Die Einstellung der Reflexion erfolgte auf Pyrit = 54,5 % (nach FOLINSBEE) mit dem Filter 53 (530 m μ). Zum Vergleich sind die Werte (C) bei CAMERON angegeben; sie liegen allgemein den Werten des Filters 530 am nächsten.

Filter (m μ)		500 %		530 %		560 %		600 %		C %
		a	b	a	b	a	b	a	b	
Pentlandit	Luft	66,5	60,0	50,0	45,5	28,0	25,8	18,2	17,2	52,0
	Öl	51,0	46,0	39,0	35,5	21,0	19,0	14,5	13,5	
Heazlewoodit *	Luft	71,0—73,5		53,5—55,0		29,0—30,0		18,5—19,0		51,2
	Öl	56,0—58,0		43,5—45,0		23,5—24,5		15,5—16,0		
Awaruit	Luft	81,5		60,0		31,5		21,2		58,0
	Öl	67,5		50,8		26,0		18,0		
Magnetit	Luft	26,1		19,1		10,2		6,5		21,1
	Öl	10,3		7,7		4,0		2,7		
Perowskit **	Luft	22,9		16,5		8,9		5,6		16,7
Zinkblende	Luft	22,8		16,5		8,7		5,3		17,5
Fe-arm Aranno	Öl	7,1		5,3		2,9		2,0		
Pyrit	Luft	72,3		54,5		29,7		19,1		54,5
Rio Marina (Elba)	Öl	53,0		41,0		23,0		15,5		

a normales Verhalten;

b Probe verwachsen mit Awaruit und Heazlewoodit der Fig. 17;

* Minima und Maxima beim Drehen des Präparates um 90° (Pleochroismus);

** wegen der intensiven Innenreflexe in Öl nicht messbar.

Die Formen der Nickelerze³⁾

Awaruit: weit vorwiegend von ganz unregelmässigen Umrissen, jedoch einigermassen isometrisch bis mässig gestreckt, selten mit grösseren Verzweigungen. Als Ausnahme: teilweise bis ganz eigengestaltig, das heisst quadratische Querschnitte zeigend (Fig. 8). Gelegentlich zu treffende sehr kleine Gebilde von Stäbchenform (innerhalb Pentlandit) scheinen nach der Optik ebenfalls hierher zu gehören. Nicht beobachtet: langgestreckte bis nadelige Gebilde, gebogene Partikel, gerundete, tropfenartige Formen.

Pentlandit: durchwegs xenomorph, vielfach aber geradlinig durch Nebenmineralien, meist Antigoritblätter begrenzt (Fig. 3, 10 in DE QUERVAIN, 1945). Oft auch sehr langgestreckt, auch konkordant mit der Antigoritfältelung gebogen (Fig. 9). Vereinzelt als feinste Äderchen (räumlich wohl dünne Bleche). Nur bei kleinsten Dimensionen gerundet, tropfenartig (zum Teil Fig. 6).

Heazlewoodit: gegen aussen xenomorph, eckig oder gerundet. Grössere Partikel meist aus mehreren Individuen aufgebaut, gegenseitig oft geradlinig begrenzt (Fig. 7), hier Anzeichen von Idiomorphie vorhanden. Begrenzung gegen Serpentin bisweilen feinbuchtig bis fiederförmig, in feinste Skelette (Fig. 10) bis Äderchen übergehend (als Querschnitte von blechartigen Gebilden).

Gegenseitige Beziehungen der Nickelmineralien

Monomineralische Partikel lassen sich feststellen: weit vorwiegend bei Heazlewoodit, in der grossen Mehrzahl bei Pentlandit, nur relativ untergeordnet bei Awaruit.

Über Verwachsungen ist zu bemerken:

Awaruit-Pentlandit: sehr häufig, in manchen Schliffen fast bei jedem Partikel. In etwa der Hälfte der Fälle ist die gegenseitige Begrenzung untypisch, das heisst die beiden Mineralien von gleicher oder wenig verschiedener Grösse sind krumm- oder geradlinig verwachsen (Fig. 11). Ein Anzeichen von gegenseitiger Beeinflussung fehlt.

Fast ebenso oft enthält ein zentrales, öfters grösseres Awaruitkorn randlich (bevorzugt an zugespitzten Enden) ein bis mehrere kleinere Pentlandite angewachsen oder ist ganz von Pentlandit umgeben ohne deutliche Anzeichen einer Verdrängung (Fig. 12). Hier hat man den

³⁾ Für das folgende gilt auch der Vorbehalt der Anmerkung 2.

Eindruck, dass Pentlandit sich an bereits vorhandenem Awaruit anlagerte. Nicht selten ist auch etwas Pentlandit in Awaruit eingelagert.

Nur vereinzelt (hundertmal seltener als obige Bildungen) zeigt der in Pentlandit eingeschlossene Awaruit den oben erwähnten quadratischen Querschnitt mit oder ohne Anzeichen von Korrosion (Fig. 8, 13); auch die Stäbchengebilde sind in Pentlandittropfen kleinster Dimensionen eingeschlossen.

Pentlandit-Heazlewoodit: kommen als Verwachsungen von etwa gleichgrossen Individuen recht selten vor (Fig. 14); häufiger ist randlich an grösserem Heazlewoodit etwas Pentlandit festzustellen (Fig. 15).

Awaruit-Heazlewoodit ist ziemlich selten: beobachtet wurden kleine Awaruitkörnerchen am Rande und im Innern von grösseren Heazlewooditpartikeln (meist Einschlüsse in Magnetit). Vereinzelt sind die beiden Mineralien durch ganz dünne Lagen von Magnetit abgegrenzt (Fig. 16).

Awaruit-Pentlandit-Heazlewoodit, also Verwachsungen von allen dreien im gleichen Partikel sind ebenfalls nur vereinzelt zu treffen.

Diese letzteren drei Verwachsungen zeigen in den weitaus meisten Fällen untypische Begrenzungen, die keinerlei Schlüsse auf gegenseitige Reaktionen gestatten (Fig. 17).

Beziehungen der Nickelerzpartikel zu den umgebenden Oxyden und Silikaten

Awaruit und *Pentlandit* sind in der Mehrzahl der Fälle nur von Olivin oder häufiger von Antigorit umgeben. Antigoritblätter spiessen auch in diese Erze hinein (bei Pentlandit ganz allgemein, bei Awaruit seltener). Beide Mineralien grenzen aber auch oft an Magnetit oder sind in Magnetit eingeschlossen.

Einzelbeobachtungen betreffen Verwachsungen mit Ilmenit oder Perowskit, ferner Einschlüsse in Titanklinohumit, ganz ausnahmsweise in Diallag. In den Rissen der Diallage sind sie dagegen leicht zu finden, hier von Chlorit umgeben.

Das reine Ni-Sulfid *Heazlewoodit* ist bemerkenswerterweise viel intensiver an Magnetit gebunden als die Fe-haltigen Ni-Mineralien. Er bildet in diesem unregelmässig eckige, aber auch gerundete (tropfen- oder myrmekitartige) Gebilde, oft in grosser Zahl (Fig. 15, 18). Vielfach umschliesst auch nur ein schmaler Magnetitsaum den Heazlewoodit (siehe hierzu die Fig. 3, 8, 9 in DE QUERVAIN, 1945). Auch ganz lange Magnetitspindeln bis -züge enthalten bisweilen dieses Mineral eingeschlossen. An grossen Magnetitaggregaten findet sich meist nur an ganz beschränkter Stelle mehr oder weniger Heazlewoodit. Viele Magnetite

aller Erscheinungsformen sind aber auch nickelerzfrei, immer sind es die idiomorphen. Vereinzelt ist Heazlewoodit in Perowskit eingeschlossen (Fig. 5). In einigen heazlewooditreichen Proben tritt das Mineral auch ganz in Serpentin ohne ersichtlichen Magnetitkontakt auf. Das Eindringen von Antigorit in Heazlewoodit kommt vor, aber nicht so allgemein wie in den umgebenden Magnetit.

3. DIE KUPFERMINERALIEN

Eingeschlossen in grössere Magnetitaggregate (zum Teil mit Heazlewooditeinschlüssen) fanden sich in zwei Anschliffen von Selva kleine, unregelmässig geformte Gebilde von *gediegenem Kupfer*, zum Teil zierlich mit Heazlewoodit verwachsen (Fig. 19). In den gleichen Magnetiten, zum Teil verwachsen mit dem Kupfer, konnten kleinste Flitter von blauem *Kupferglanz* und von violettbräunlichem *Bornit* festgestellt werden. Ein weiterer Anschliff führte in kleiner Menge typischen *Covellin*, hier vielleicht sekundär. Kupferkies wurde nicht angetroffen.

Nicht gefunden wurden an zu erwartenden Erzen: Chromit (aus dem Val Malenco als Mineral erwähnt) und Magnetkies. Einige abweichende Einzelbeobachtungen an hoch reflektierenden Erzmineralien konnten für diese Studie noch nicht ausgewertet werden.

C. Genetische Fragen

1. DIE ENTSTEHUNG DES SERPENTINS

Ein Deutungsversuch der heutigen Ausbildung der Erze als Gesteinsmineralien setzt einen solchen des ganzen Gesteins voraus. Die Beobachtungen an den Dünnschliffen führen zu folgender Bildungsgeschichte des Serpentin:

a) Normale Kristallisation des Diallags und des Olivins als (reliktisch erhaltenes) Mosaik. Textur massig oder lagig-bänderig, wie üblich bei solchen Peridotiten.

b) Komplexe Stressphase verbunden mit neuen Mineralausscheidungen beziehungsweise Umlagerungen. Zuerst wurden (neben Zertrümmerung der Olivine) wohl die Diallage aufgespalten. Als Füllung der Risse schieden sich Chlorit und teilweise die Erzmineralien (siehe unten) aus. Nachfolgend wurde der Chlorit stellenweise durch diopsidischen Pyroxen

verdrängt, verbreitet wandelt sich der Diallag randlich in diesen Pyroxen um oder wurde von ihm umrandet (bevorzugt an tektonisierten Stellen). Die Bildung des Chlorites vor dem Pyroxen entspricht der Mehrzahl der meist aber nicht klaren Beobachtungen; möglich ist Chlorit auch jünger als Pyroxen. In diese Phase wird auch die Ausscheidung der nickelerzarmen, aber nicht ganz freien Olivin-Diopsid-Titanklinohumitadern in das zertrümmerte Gestein gestellt. Auf jeden Fall sind diese Adern älter als die Fältelung und die Serpentinisierung (siehe auch DE QUERVAIN, 1938, und MEIXNER, 1960).

c) Phase der Wasserdurchtränkung bei sinkender Temperatur unter intensivster Bewegung. Teilweise Aufzehrung der andern Gesteinsminerale durch Antigorit. Fältelung des Gesteins während der Antigoritkristallisation (zum Teil Volumeffekt?). Einzelstrukturen, bedingt durch das Zusammentreffen der Antigoritneubildung, den starren Nestern von Reliktolivin, den zerrissenen grossen Diallagen und den Trümmerzügen dieser Minerale, besonders letztere mehr oder weniger in die Fältelung einbezogen.

d) Kluftbildungen. Ausscheidung von Chrysotilasbest in den Klüften.

Anhaltspunkte, dass der Olivin ganz oder teilweise einer späteren, das heisst nachantigoritischen Phase angehört, konnten keine gefunden werden.

2. DIE EINREIHUNG DER ERZMINERALIEN IN DIE GESTEINSENTSTEHUNG

Die Oxyde

Die grösste Mannigfaltigkeit der Ausbildung des *Magnetites* lässt auf mehrphasige Kristallisations- und Umbildungsprozesse schliessen.

Primärer (undeformierter) magmatischer Magnetit liegt in isometrischen Einzelkörnern (nur ausnahmsweise gut idiomorph) oder in grösseren Aggregaten vor, dazu in den Einschlüssen im Diallag.

Die Stressphasen bewirken eine allgemeine Streckung, Bildung von Linsen bis zu dünnen Zügen wohl als kombinierte Kataklyse und Umkristallisation. Als besonders deutliche Umsetzung erscheint die Füllung der Diallagrisse mit Magnetit, Ilmenit und Perowskit.

Die Antigoritphase c führt zu einem Angriff auf einen Teil der Magnetite mit Aufschlitzung und Skelettierung unter starker Lösung. Durch gleichzeitige oder nachfolgende Wiederausscheidung in Adern, wohl auch als grosse Aggregate werden die Formen noch mannigfaltiger. Die

den Antigoritblättern konkordanten Züge werden nicht angegriffen, sondern legen sich mit diesen in Falten.

Die gut idiomorphen Magnetite sind mehrheitlich Spätbildungen nach Abschluss der Antigoritkristallisation. So führen besonders die Asbestadern Magnetit in Rhombendodekaedern.

Bei *Ilmenit* und *Perowskit* sind die Bildung und Umformung offensichtlich ähnlich gewesen. Ausscheidung in Frühphasen: *Ilmenit* in der Diallagphase (a), *Perowskit* in der jüngern Diopsidphase (b). Umlagerung bewirkte Füllung der Diallagrisse. Auch hier ist die Aufschlitzung und Skelettbildung in die Antigoritphase zu stellen, doch folgte keine Neukristallisation in der Spätphase mehr.

Die Nickelerze

Vom Verfasser wurde 1945 die Entstehung von *Awaruit* und *Pentlandit* in die magmatische Phase gestellt (mit jüngeren Umformungen). In seiner Arbeit über Trial Harbour und Selva war RAMDOHR (1950a) auch für magmatische Bildung der drei Nickelminerale. Die Beobachtungen am Vorkommen Josephine County in Oregon führten RAMDOHR dann (1950b) zur Einreihung in niederthermale Spätphasen der Serpentinisierung. Der Bildung im hydrothermalen Bereich schlossen sich auch die weiteren Autoren an.

Die oft komplexen und meist nicht eindeutigen Schlibbfunde gestalten das neugestellte Geneseproblem für den Malencoserpentin nicht einfach. Dem Verfasser erscheint es am gegebensten, dass wie der Magnetit auch die Nickelerze einen grossen Bildungsbereich besitzen, das heisst wie die Ausführungen zeigen, im vorliegenden Gestein sie sich im weitesten Temperaturbereich bildeten und umlagerten. Dies führt zu folgender Bildungsgeschichte:

Die in den *Silikaten* auftretenden Mineralien, somit vorwiegend *Pentlandit* und *Awaruit* gehören als erste Bildung noch der Peridotit-entstehung an. Die Beobachtungen bieten hier keine Anhaltspunkte, dass *Awaruit* jünger wäre als der allgemein als hochthermal anzusprechende *Pentlandit*. Wie die oxydischen Erze lagerten sie sich dann in den Kataklyse- und Serpentinisierungsphasen des Gesteins um, die beschriebenen grossenteils durchaus metamorphen Formen annehmend.

Die Bildung der mit *Magnetit* eng verknüpften Erzminerale, also besonders die der ausserordentlich typischen *Magnetit-Heazlewoodit*-verwachsungen, aber auch die der Einschlüsse von *Awaruit* oder *Pentlandit* in *Magnetit* wird in die Umlagerungsphase des Magnetites im

hydrothermalen Bereich gestellt. Sie erfolgte hier vor oder während der Hauptdeformierung der Magnetitaggregate, jedenfalls vor Abschluss der Serpentinisierung. Ob hier Nickel und Schwefel von aussen einwanderten oder irgendwie in feinsten Form (vielleicht gehören die nicht diagnostizierbaren winzigen Tropfen im Magnetit dazu) bereits in magmatisch gebildeten Magnetiten vorhanden waren, möchte ich nicht entscheiden.

Das „Einspiessen“ der Antigoritblätter in die Nickelerzminerale deute ich wie beim Magnetit und den Silikaten als aktiven Verdrängungsvorgang des senkrecht zur c-Achse sehr wachstumsbereiten Antigorites, nicht als spätere Erzabscheidung zwischen vorgebildeten Antigoritblättern. Der Serpentin, wie er heute vorliegt, ist ein ausserordentlich porenarmes Gestein und ist dies wohl seit dem Abschluss der Serpentinisierung gewesen.

Über die Bildung der *Kupfererze* möchte ich mich hier nicht äussern, dazu liegt zu wenig Beobachtungsmaterial vor.

Literatur

- BRANDENBERGER, E. (1939): Die Kristallstruktur des Awaruites. Schweiz. Min. Petr. Mitt., 19, 285—286.
- CAMERON, E. N. (1961): Ore microscopy. Wiley & Sons, Inc., New York.
- CORNWALL, H. R. (1956): A Summary of ideas on the origin of native copper deposits. Economic Geol. 51, 615—631.
- FOLINSBEE, R. E. (1949): Determination of reflectivity of the ore minerals. Economic Geol. 44, 425—436.
- HAWLEY, J. E. (1962): The Sudbury Ores: Their Mineralogy and Origin. The Canadian Mineralogist, 7/1.
- HÜGI, TH und DE QUERVAIN, F. (1944): Bericht über die Besichtigung der Serpentin-Asbestvorkommen von Selva-Alpe Quadrada. Schweiz. Min. Petr. Mitt., 24, 386—400.
- HUTTENLOCHER, H. und HÜGI, TH. (1943): Bemerkungen zur mikroskopischen Untersuchung Ni-haltiger Gesteine und deren Flottationsaufbereitungsprodukte. Schweiz. Geotechnische Kommission. Nicht publiziert.
- KULLERUD, G. and YUND, R. A. (1962): The Ni-S System and Related Minerals. J. of Petrology, 3, 126—175.
- MEIXNER, H. (1956): Nickelmineralisation und Stoffwechselbeziehungen zwischen Serpentinegestein und Eisenspatlagerstätten am Beispiel des Antigorits vom Griessershof bei Hirt, Kärnten. Carinthia II, 20.
- (1959): Kraubather Lagerstättenstudien V. Die Nickelmineralisation im Kraubather Serpentinegebiet. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 104, 83—87.
- (1960): Mineralisationen in einem Serpentin der Hohen Tauern (Islitzfall, Venedigergruppe, Osttirol). N. Jb. Mineral. Abh. 94, 1309—1322.

- NICKEL, E. H. (1958): Occurrence of native Nickel-Iron in the Serpentine Rock of the eastern Townships of Quebec Province, Canada. *Bull. Geol. Soc. America* 63, 1623.
- PAPEZIK, S. (1955): Heazlewoodit from Miles Ridge, Yukon Territory. *Amer. Mineral.* 40, 692—693.
- DE QUERVAIN, F. (1935): Serpentin als Dekorationsgestein von Poschiavo (Graubünden). *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, 15, 319—326.
- (1936): Chalkographische Beobachtungen am Serpentin von Selva bei Poschiavo. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, 16, 404.
- (1938): Zur Kenntnis des Titanklinohumites. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 18, 591—604.
- (1939): Vorläufiger Bericht über die Untersuchungen an den Nickelerz führenden Serpentin von Poschiavo. Nicht publiziert. Schweiz. Geotechnische Kommission.
- (1945): Awaruit und Pentlandit im Serpentin von Poschiavo. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, 25, 305—310.
- RAMDOHR, P. (1950a): Über das Vorkommen von Heazlewoodit Ni_3S_2 und über ein neues ihn begleitendes Mineral: Shandit $Ni_2Pb_2S_2$. *Sitzungsber. Deutsch. Akad. Wiss. Berlin. Math. Natw. Klasse*, Jahrg. 1949, VI.
- (1950b): Über Josephinit, Awaruit, Souesit, ihre Eigenschaften, Entstehung und Paragenesis. *Min. Magazine* 29, 374—394.
- (1960): Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. Akademie-Verlag Berlin (1. Aufl. 1950).
- KRISHNA RAO, J. R. S. (1962): Erzmikroskopische und experimentelle Studien der Paragenese von Awaruit. *Chemie der Erde* 21, 398—412.
- STAUB, R. (1946): Geologische Karte der Berninagruppe 1 : 50 000. Schweiz. Geolog. Kommission, Spez.-Karte Nr. 118.
- WILLIAMS, K. L. (1960): An association of Awaruite with Heazlewoodite. *Amer. Min.* 45, 450—453.

Manuskript eingegangen am 5. November 1962.

TAFELN I UND II

Figuren 2—19

Erläuterungen der Tafeln I und II

- Fig. 2. Magnetit, teils idiomorph, teils skelettartig. Öl, 170 × .
- Fig. 3. Risse in Diallag, erfüllt von Perowskit. (Identische Füllungen auch durch Magnetit oder Ilmenit.) Öl, 170 × .
- Fig. 4. Skelett von Magnetit und (dunklerem) Perowskit. Deutlich dessen intensive Innenreflexe. Öl, 170 × .
- Fig. 5. Magnetitaggregat mit Einschluss von Perowskit (dunkler). Dieser führt etwas Heazlewoodit (weiss). Öl, 170 × .
- Fig. 6. Feinste Einschlüsse von Nickelerz in Magnetit. Die grösseren als Pentlandit diagnostizierbar. Öl, 380 × .
- Fig. 7. Heazlewooditaggregat, zum Teil mit feinsten Milleriteinschlüssen. Störende Innenreflexe des umgebenden und eingeschlossenen Antigorites wegretou-schiert. Öl, N⁺, 200 × .
- Fig. 8. Awaruit von quadratischem Querschnitt in Pentlandit. Anschliff eines Körnerpräparates. Aus Bericht Huttenlocher (1943). 240 × .
- Fig. 9. Pentlandit (weiss), konkordant in „Faltenscheitel“. In Faltenkern Anreicherung von Ilmenit (lichtgrau). 100 × .
- Fig. 10. Skelett von Heazlewoodit und Magnetit. Öl, 380 × .
- Fig. 11. Verwachsung von Awaruit (weiss) mit Pentlandit (etwas dunkler), beide grenzend an Magnetit und Antigorit. 240 × .
- Fig. 12. Gestrecktes Partikel aus Awaruit (im Zentrum, weiss) und Pentlandit (lichtgrau, Spaltbarkeit). Öl, 170 × .
- Fig. 13. Awaruit mit Andeutung von Idiomorphie, eingeschlossen in Pentlandit. Öl, 380 × .
- Fig. 14. Verzweigtes Gebilde von Heazlewoodit und Pentlandit. Die mittlere Einschnürung trennt die Mineralien. Dazu dünne Äderchen von Magnetit und Perowskit. Öl, 170 × .
- Fig. 15. Heazlewoodit und wenig Pentlandit (etwas dunkler, Spaltbarkeit) umgeben von Magnetit (ganz dunkelgrau). Schwarz: Antigorit. Öl, 380 × .
- Fig. 16. Awaruit (weiss) in lichtgrauem Heazlewoodit. In Grenzzone beide mit Magnetit (ganz dunkel) verwachsen. Öl, 380 × .
- Fig. 17. Verwachsung Awaruit (am dunkelsten), Heazlewoodit (in der Mitte, hell) und Pentlandit (etwas heller als Awaruit) in Magnetit (hier schwarz). Öl, N⁺ (etwas verstellt), 380 × .
- Fig. 18. Heazlewoodit (weiss) in teilweise skelettartigem Magnetit. 200 × .
- Fig. 19. Gediegen Kupfer (Hauptanteil des verzweigten Gebildes in der Mitte, am hellsten). Die wenig dunkleren Partikel sind Heazlewoodit. Umgebung: Magnetit. Öl, 380 × .



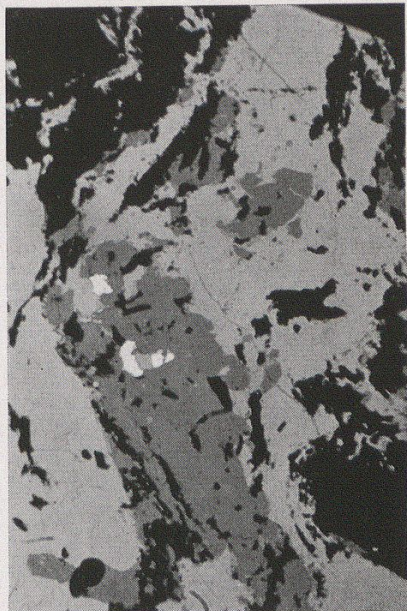
2



3



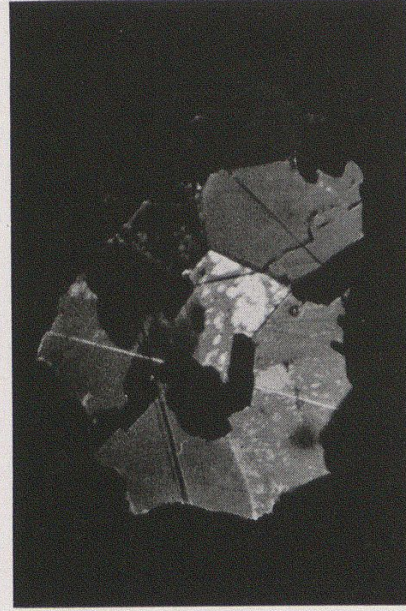
4



5



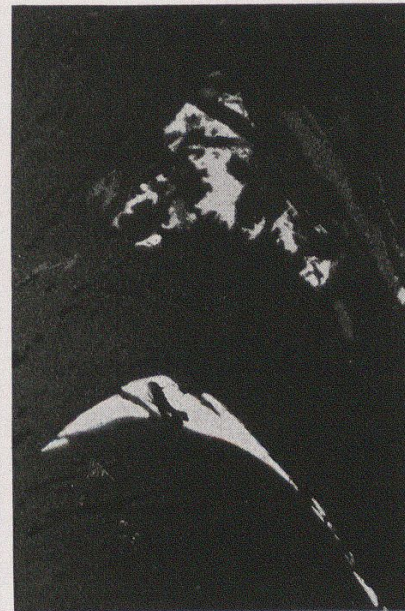
6



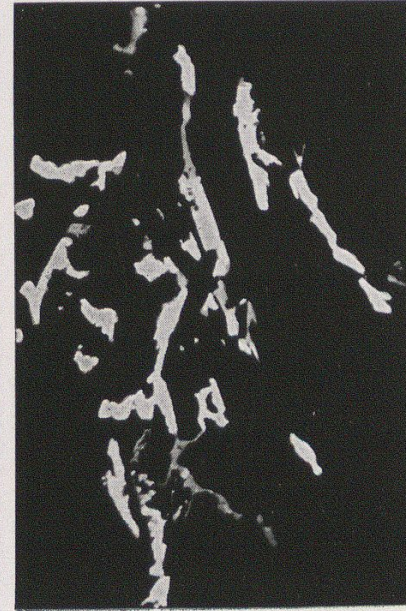
7



8



9

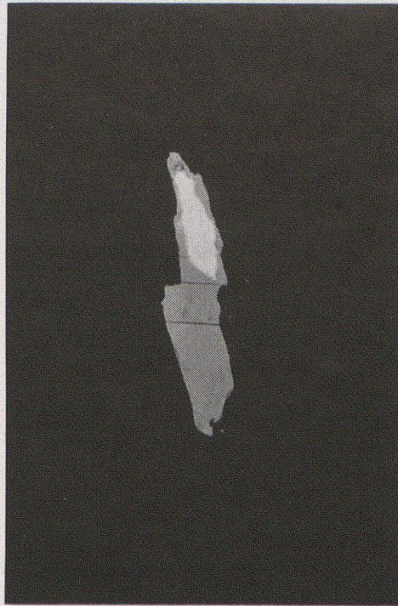


10

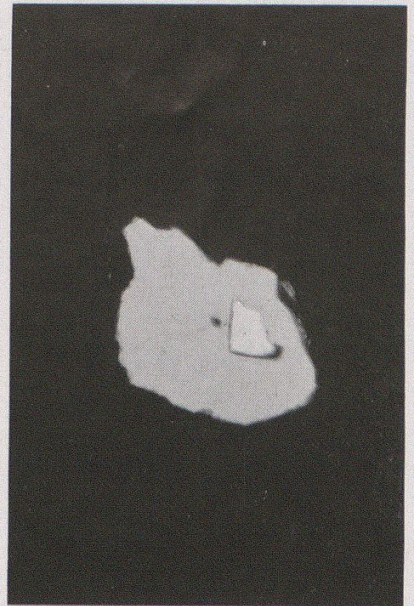
TAFEL II



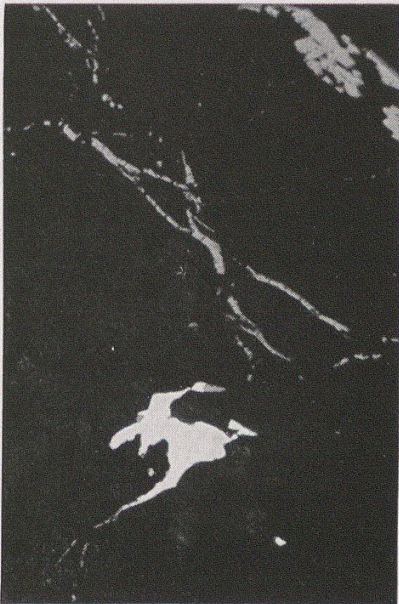
11



12



13



14



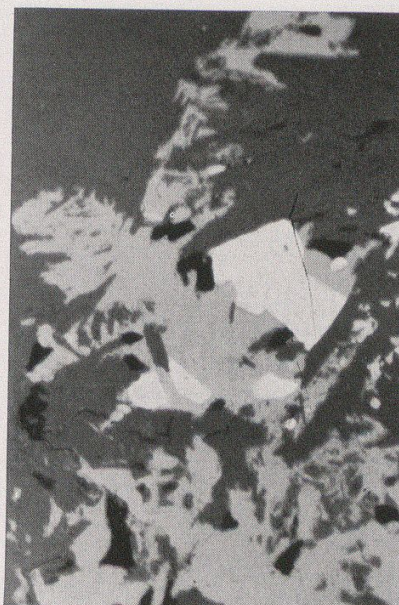
15



16



17



18



19