



# Bergvesenet

Postboks 3021, 7002 Trondheim

## Rapportarkivet

Bergvesenet rapport nr <b>BV 2199</b>	Intern Journal nr	Internt arkiv nr	Rapport lokalisering	Gradering <b>Fortrolig</b>
Kommer fra ..arkiv Sulitjelma Bergverk A/S	Ekstern rapport nr "525100002"	Oversendt fra	Fortrolig pga	Fortrolig fra dato:
Tittel Die bearbeitung der kupferlagerstatte Sulitjelma.				
Forfatter FALCHURI M.		Dato 1969	Bedrift Sulitjelma Gruber A/S	
Kommune	Fylke	Bergdistrikt	1: 50 000 kartblad	1: 250 000 kartblad
Fagområde	Dokument type	Forekomster		
Råstofftype	Emneord			
Sammendrag Malmgeologisk arbeid, mikroskop-studier om sulfidmineralene svovelkis, arsenkis, kopperkis, zinkblende, blyglans og molybdenglans. Utfort pa prover fra Anna og Bursi gruver - bilder av mineraler. Tysk tekst. Malm- mikroskopi.				

## SULITJELMA BERGVERK AS

Tlf: (081) 40500

Telex: 64065 SUA-N

Ref.nr: 525.100.002 Krt.nr: Prj.nr: År: 1969

Forfatter: FAKHURI MAHMUD Ant:

Tittel: DIE BEARBEITUNG DER KUPFER-  
LAGERSTÄTTE, SULITJELMA, NORWEGEN.  
1969 (DIPLOM-ARBEID, MAINZ UNIV.)Ngakoord:  
X1: Y1: Z:  
X2: Y2:Sulis koord:  
X3: Y3: Z:  
X4: Y4:Resyme: GEOLOGI  
MAIM-GEOLOGISK ARBÆD; -MIKROSKOP  
STUDIER OM ~~Å~~ SULFID-MINERALER  
(SV.KIS, ARSENKIS, KOBBERKIS, ZINKIS, BLYGÅNS,  
MOLYBDENGÅNS) FRA ANNA OG BURSI  
GRUBER, MED BILDER AV MINERALER.  
(TYSK-TEKST)Fordeling  
Sulitjelma:


Andre:


Kommentar:

Institut für Mineralogie  
und Petrographie der  
Johannes Gutenberg-Universität  
Direktor: Prof. Dr. H. v. Platen

6500 Mainz, den 12. II. 1968  
Saarstraße 21  
Postfach 39 80  
Ruf: 371  
bei Durchwahl: 37 22 94

Mineralogische Diplom-Arbeit für  
Herrn Mahmud Fakhuri, geb. am 15.11.1942  
in Teheran

An Hand der im Mineralogischen Institut vorhandenen  
Aufsammlungen und an Hand der Literatur ist die  
Kupfererzlagstätte Sulitjelma, Norwegen, zu bear-  
beiten und ihre Genesis zu deuten. Die Erze, die  
Begleitminerale und die Nebengesteine sind zu mikro-  
skopieren, und diese Untersuchung ist in erforder-  
lichen Fällen durch andere Methoden (z. B. röntge-  
nographisch, Mikrosonde) zu ergänzen.

Die Bearbeitung der Kupferlagerstätte

SULITJELMA, Norwegen

=====

Arbeit

zur Erlangung des Grades eines

Diplom-Mineralogen

der Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Johannes-Gutenberg-Universität

zu Mainz

eingereicht von Mahmud FAKHURI

Mai 1969

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite:
1. <u>Einleitung</u>	1
2. <u>Geologie der Lagerstätte Sulitjelma</u>	2
3. <u>Anna-Grube</u>	4
<u>Megaskopischer Befund</u>	4
<u>Erzmikroskopischer Befund</u>	4
Pyrit	4
Arsenkies	5
Kupferkies	6
Magnetkies	7
Zinkblende	8
Bleiglanz	8
Molybdänglanz	8
Mackinawit	9
Rutil	9
Anatas und Titanit	9
4. <u>Bursi-Grube</u>	10
<u>Megaskopischer Befund</u>	10
<u>Erzmikroskopischer Befund</u>	11
Pyrit	11
Kupferkies	11
Magnetkies	13
Zinkblende	14
Bleiglanz	14

	Seite:
Molybdänglanz	15
Cubanit	15
Mackinawit	15
Ilmenit und Rutil	16
Magnetit und Hämatit	17
Gold	17
<u>Durchlichtmikroskopischer Befund</u>	18
Amphibole	18
Alkalifeldspat	18
Biotit	19
Chlorit	20
Quarz	20
Calcit	20
Apatit	21
Zirkon	21
Rutil	21
Titanit	22
<u>Auflichtmikroskopische Abbildungen</u>	23
5. <u>Zusammenfassung und Genesis der Sulitjelma-Lagerstätte</u>	29
Literaturverzeichnis	31

## 1. Einleitung

Die Kupferlagerstätte Sulitjelma, Norwegen, liegt nördlich des Polarkreises, in der Luftlinie 30 km östlich von Fauske, bzw. 70 km östlich von Bodö. Der Bergbau in Sulitjelma besteht seit fast 100 Jahren. Es sind mehrere Einzelgruben vorhanden, und die jährliche Gesamtproduktion der Lagerstätte Sulitjelma liegt bei 300.000 t Erz mit folgenden Durchschnittsgehalten:

1,7 %	Cu
0,9 %	Zn
20,0 %	S.

An Edelmetallen werden jährlich 30 bis 35 kg Au und 2.000 bis 2.500 kg Ag erzeugt. Die von Prof. Dr. A. Helke bei zwei Besuchen - im April 1959 und im August 1965 - aufgesammelten Handstücke von der Anna-Grube und von der Bursi-Grube werden von Unterzeichnetem im Rahmen seiner mineralogischen Diplom-Arbeit erzmikroskopisch, petrographisch und röntgenographisch untersucht. Zum besseren Verständnis der Lagerstättenmineralogie wird zuvor über die geologischen Verhältnisse von Sulitjelma an Hand von Literaturstudien kurz berichtet.

## 2. Die Geologie der Lagerstätte Sulitjelma

(siehe dazu die geologische Karte - Abb. 1)

Das Gebiet von Sulitjelma liegt an einer tiefen WNW gerichteten Furche, die im Gebiet des Sulitjelma-Massivs, am NE-Ufer des Lang-Vann (d. h. des Langen Sees) anfängt und 70 km weiter, an der Küste bei Bodö aufhört. Diese Furche hat in Sulitjelma eine Antikline angeschnitten, welche zu unterst aus Furulundschiefer besteht; das sind Muskovit-Biotitschiefer mit Quarzlagen. Darüber folgen Amphibolite und darüber endlich Gneise (Abb. 2). Diese Gneise werden in der Literatur bisweilen, so auch in der von H. Krause übernommenen Abbildung 1, als Granit bezeichnet. Die Kupfergruben liegen an der Grenze zwischen Amphibolit und Furulundschiefer, so, daß einige der Gruben genau an dieser Grenzlinie auftreten, andere noch ganz in Furulundschiefer, andere ganz in Amphibolit eingebettet sind. Die Erzführung ist konkordant eingeschaltet. Sie liegt hauptsächlich in der großen NS verlaufenden Baldoaive-Synkline und teilweise in der kleinen WNW gerichteten Antikline. Sie erstreckt sich manchmal über mehrere Kilometer und ist nach H. Krause (1956) an der Ostseite der Baldoaive-Synklinale auf über 30 km zu verfolgen. Sie ist jedoch nur an einigen Stellen abbauwürdig.

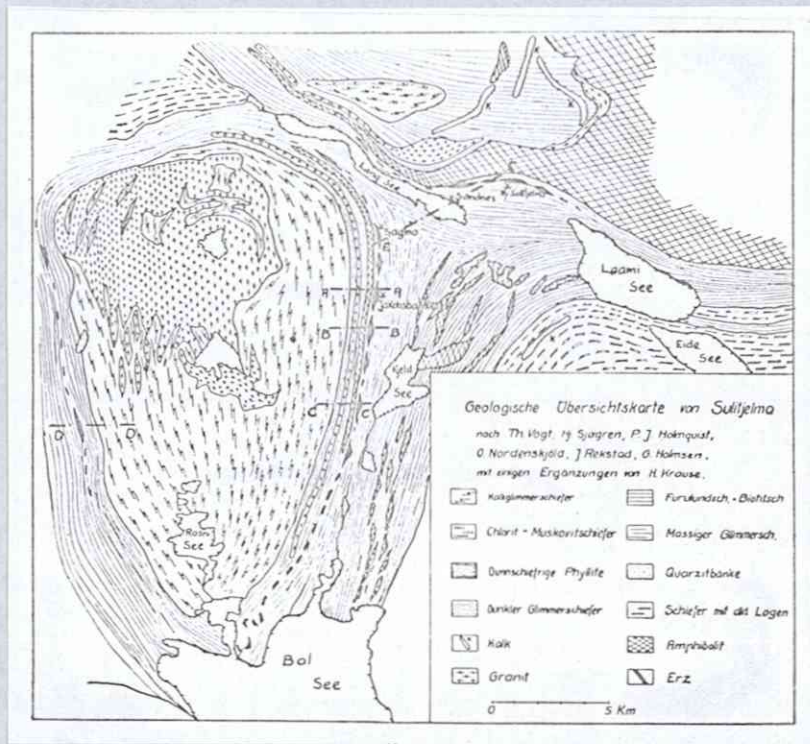


Abb. 1 - Geologische Übersichtskarte von Sulitjelma

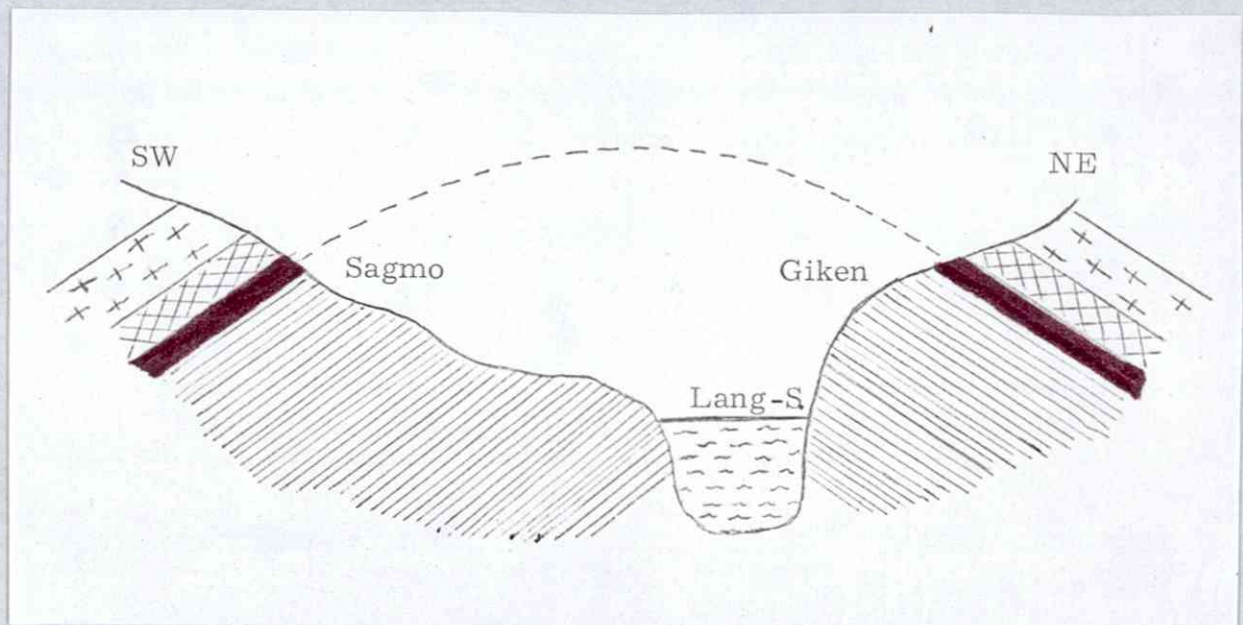


Abb. 2 - Schematische Darstellung der Zusammengehörigkeit der Lagerstätten Giken und Sagmo auf den beiden Seiten des Lang-Sees.

### 3. Anna-Grube

#### Megaskopischer Befund:

Die Lagerstätte der Anna-Grube hat Furulundschiefer als Hangendes und als Liegendes.

Von dieser Lagerstätte standen nur 4 Handstücke zur Verfügung, die aus Derberz bestehen. Pyrit, Kupferkies und Magnetkies sind die megaskopisch erkennbaren Sulfide, dazu kommen einige Bröckchen von Furulundschiefer und sehr wenig Quarz. Es fehlen die für an den Sulitjelma-Lagerstätten so typischen Begleitsilikate wie Biotit, Aktinolith, Albit.

Der Pyrit erscheint eingebettet in ein Gemenge von Kupferkies und Magnetkies, in rundlichen, idiomorphischen Körnern von höchstens 8 mm Durchmesser.

#### Erzmikroskopischer Befund:

Es standen 8 Anschliffe (Nr. 691 - 698, Sammlung des Mineralogischen Instituts, Mainz) zur Verfügung.

#### Pyrit:

Allgemein kommt der Pyrit idiomorph vor. Die bis zu 8 mm großen Kristalle sind immer gerundet und oft zerbrochen. Sie schwimmen frei in einem Kupferkies-Magnetkies-Zinkblende-Gemenge. Die Pyritindividuen enthalten glattrandige, runde und eckige Einschlüsse ("Idiomorphensieb") anderer Sulfidmineralien (Kupferkies, Magnetkies und Zinkblende). Auch kommen wohl Quarz und idiomorphe Arsenopyrite als Einschlüsse vor. Einige Pyritkörner sind bei starker Beleuchtung schwach anisotrop, andere bleiben jedoch streng isotrop.

In vielen Pyritindividuen gibt sich eine Spaltbarkeit kund: zarte parallele Zerschürungen durchziehen den Pyrit in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen. Die Kataklase des Pyrits äußert sich

- a) in Einzelrissen, die mit den Sulfiden der Umgebung (besonders Kupferkies, Magnetkies) ausgeheilt sind. Die Risse sind manchmal nach einer bestimmten Richtung orientiert, sogar teils in 2 Scharen, die senkrecht aufeinander stehen.
- b) in horse-tail-artigen Scharen von zarten, subparallelen Rissen, von denen jede eine winzige Verwerfung ist, die die Pyritkörner aufschlitzen. Auch diese Risse sind mit den Begleitsulfiden ausgeheilt.
- c) Die Kataklase kann sich zu Brekzienbildung steigern: Der Pyrit erscheint zerschroten, und die einzelnen Pyritbröckchen schwimmen im Magnetkies-Kupferkies-Gemenge, so, daß das Auge den ursprünglichen Zusammenhang dieser Bröckchen, das ursprüngliche Pyritkorn noch rekonstruieren zu können glaubt.

#### Arsenkies:

Sehr viel seltener als der Pyrit kommt Arsenkies in Kupferkies, Magnetkies, Pyrit und "Gangart"<sup>x)</sup> eingeschlossen vor. Die Arsenkieskristalle sind kleiner als die Pyritindividuen, aber sie sind meist modellscharf-idiomorph ausgebildet (Abb. 3). Nur selten findet man xenomorphe Arsenkieskörner. Über den Co-Gehalt des Arsenkieses liegen keine Beobachtungen vor. Zwillingsbildungen sind zu beobachten (Abb. 4). Durch feinste Löcher, zu Reihen geordnet, macht sich manchmal ein Zonenbau bemerkbar.

x) Als "Gangart" bezeichne ich die im Anschliff sichtbaren, hydrothermal veränderten Bröckchen von Furulundschiefer.

Manche Arsenkieskörner löschen nicht einheitlich aus. Kataklase macht sich auch beim Arsenkies bemerkbar, doch ist sie nicht so allgemein verbreitet wie beim Pyrit. Auch hier heilt Kupferkies die Risse aus.

### Kupferkies:

Kupferkies ist intensiv und extensiv sehr verbreitet. Bei gekreuzten Nicols bemerkt man, daß die Kupferkiesaggregate sehr feinkörnig sind und daß viele Körner verzwillingt sind. Das Besondere am Kupferkies (und Magnetkies) der Anna-Grube ist, daß beide Sulfide durchbewegt und ausgewalzt sind: Kupferkies und Magnetkies sind in einigen Anschliffen so eng miteinander verwachsen, daß man an Myrmekite erinnert wird. Die innige Verzahnung der beiden Sulfide ist aber Folge einer tektonischen Einregelung (Abb. 5). Kupferkies dient - neben dem Magnetkies - als Einbettungsmaterial für die Pyrit- und Arsenkieskristalle sowie für "Gangart". Er füllt also Risse, Zwickel und Zwischenräume aus. Eingeschlossen in Kupferkies sind:

- a) Pyritindividuen oder kleine Pyritaggregate (s. o.)
- b) Arsenkieskristalle (s. o.)
- c) Zinkblende kommt sowohl in körnigen Aggregaten als auch guirlandenartig (Abb. 6) im Kupferkies vor.
- d) Der seltene Bleiglanz tritt immer in Kupferkies, angelehnt an Magnetkies oder "Gangart", auf.
- e) Mackinawit findet man vereinzelt in skelettartigen Ausscheidungen oder offenbar als beginnende, von Spaltrissen ausgehende Verdrängung des Kupferkieses.
- f) Molybdänglanz wurde nur einmal als ein parallelrandiges Blättchen beobachtet.

- g) "Gangart" tritt in Form von zugerundeten Aggregaten auf, die ihrerseits Rutil und Anatas enthalten. Was unter dem Erzmikroskop als "Gangart" angesprochen wird, das sind wohl in erster Linie die Muskovitschieferbröckchen, die schon mit bloßem Auge im Derberz zu erkennen sind.

Cubanit-Lamellen fehlen im Kupferkies der Anna-Grube.

### Magnetkies:

Magnetkies tritt neben Kupferkies als sogenannte Grundmasse auf. Die Verwachsung des Magnetkieses mit den anderen Mineralien entspricht ganz den Verwachsungen des Kupferkieses mit diesen anderen Mineralien: Der Magnetkies umschließt kantengerundete und manchmal zerbrochene Pyritindividuen, kleine idiomorphe Arsenkriställchen, Zinkblendeaggregate, guirlandenartige Reihungen von Zinkblendekörnchen sowie Muskovitschieferbröckchen.

Daß die gegenseitige Durchdringung von Kupferkies und Magnetkies an myrmekitische Verwachsungsbilder erinnert, wurde schon gesagt. Auch, daß die feinkörnigen Magnetkiesaggregate ausgewalzt erscheinen, wurde schon erwähnt (Abb. 5). Die undulöse Auslöschung der Magnetkieskörner ist eine allgemeine Erscheinung. Die Spaltungstracen des Magnetkieses sind im Material der Anna-Grube besonders deutlich entwickelt. Vereinzelt enthält der Magnetkies Rutilkörner mit oder ohne Anatasaum. Auch Angrenzungen an Bleiglanz werden beobachtet. In einigen Fällen ist eine beginnende Umwandlung von Magnetkies zu Zwischenprodukt, von Korngrenzen und Spaltrissen ausgehend, angedeutet.

Magnetkies kommt auch als Einschluß in Pyrit, Kupferkies und "Gangart" oder selbständig vor, wobei er in Druckschattengebie-

ten auch Pflasterstruktur zeigen kann. Gemeinsam mit Kupferkies stellt er die Füllmasse in Rissen und Spalten der Pyritkristalle dar.

#### Zinkblende:

Zinkblende ist in kleinen Mengen recht verbreitet. Sie tritt meistens als guirlandenartige Aneinanderreihung, manchmal auch als ein inselartiger Haufen in Kupferkies und Magnetkies auf (Abb. 6 ). Die Zinkblendeguirlanden ordnen sich in die Richtung der Durchbewegung der Begleitsulfide (Kupferkies, Magnetkies) ein (Abb. 6 ). Dabei siedelt sich die Zinkblende vorzugsweise in der Nähe, oder direkt am Rande der Muskovitschieferbröckchen an. Zinkblende tritt auch in Einschlüssen in Pyrit, Kupferkies und Magnetkies auf. Bedeutsam sind auch feine Kupferkieströpfchen in Zinkblende, die an Entmischungskörperchen erinnern.

#### Bleiglanz:

Bleiglanz kommt nur selten und nur in geringer Menge vor. Er sitzt im Kupferkies und wird immer zum Teil von Magnetkies und Muskovitschieferbröckchen begrenzt.

#### Molybdänglanz:

Molybdänglanz wurde nur in zwei Anschliffen beobachtet. Einmal sitzt er als gerades Blättchen in Kupferkies, und zum andern liegt er als gekrümmtes Blättchen in "Gangart" eingebettet.

### Mackinawit:

Der seltene Mackinawit findet sich skelettartig in Kupferkies oder offenbar als beginnende, von Spaltrissen ausgehende Verdrängung des Kupferkieses.

### Rutil:

In den Schliffen aus der Anna-Grube sind in erster Linie die Muskovitschieferbröckchen die Heimat des Rutils, wobei die Rutilkörner gern von Anatas umsäumt werden (Abb. 7). Rutil zeigt zwei Scharen von feinen Zwillingslamellen (Abb. 8). Ein einziges Mal erschien ein größeres Rutilkorn, an "Gangart" nur noch angelehnt, zur Hälfte seines Umfanges an Magnetkies grenzend.

### Anatas und Titanit:

Anatas tritt als Saum um Rutil und auch in selbständigen Körnern und Kornhaufen in den Muskovitschieferbröckchen auf. Die weißen Innenreflexe, in denen die Umrisse der Anataskörner verschwinden, sind das beste Erkennungsmittel.

In einem Falle werden Titanitkristalle, auf dem Anatassaum außen aufsitzend, vermutet.

#### 4. Bursi

##### Megaskopischer Befund:

Gegenüber den verhältnismäßig einfachen Derberzen der Anna-Grube ist die Mineralogie der Bursi-Lagerstätte erstaunlich reichhaltig. Dieser Reichtum gründet sich vor allem auf die Begleitsilikate. Fünf Typen seien herausgestellt, von denen die drei zuerst genannten die Hauptkupfererzträger sind. Die Lagerstätte Bursi besteht aus:

- a) Biotit-Albitschiefern, die mit Sulfiden (megaskopisch: Pyrit, Kupferkies) imprägniert sind. Durch Verschiebung der Anteile gehen diese Schiefer über in derbe Kiese mit Zwischenschaltung von etwas Biotit-Albit und, im extremen Fall, in silikatfreies massiges Sulfiderz (Kupferkies, Pyrit, Magnetkies).
- b) grobem Aktinolith-Albitgestein mit sperrig angeordnetem, grünschwarzem Aktinolith, und imprägniert mit Kiesen, in erster Linie Pyrit und Kupferkies. Auch hier gibt es Übergänge zu Derberzbildung. Lagen von gerundeten Apatiten sind in diesem groben Aktinolith-Albit-Gestein auch megaskopisch zu erkennen.
- c) Chlorit-Albit-Schiefer, wieder imprägniert mit Sulfiden, von denen die würfeligen Pyritidioblasten (bis 4 cm Kantenlänge) am meisten ins Auge fallen.
- d) Biotit-Aktinolith-Gesteine mit blaugrünem Aktinolithfilz mit feinen Apatitlagern. Auch diese Gesteine sind mit gelben Kiesen imprägniert.
- e) weißen Albitgesteinen mit violetter Anhydrit, mit Baryt, Thumasit, Quarz und mit schwarzen Hornblendenadeln.

### Erzmikroskopischer Befund:

Es standen 9 Anschliffe zur Verfügung (Nr. 87 - 92 und Nr. 699 - 701, Sammlung des Mineralogischen Instituts, Mainz). Die Anschliffe wurden vorzugsweise von Derberzproben angefertigt, so daß die Untergliederung gemäß den Silikat-Paragenesen entfällt.

### Pyrit:

Pyrit ist in idiomorphen bis hypidiomorphen Kristallen, einzeln oder in Aggregaten, in Kupferkies oder in Silikate oder in einem Gemenge der beiden und der seltenen Zinkblende eingebettet. Die Individuen sind manchmal zerbrochen, manchmal an den Kanten zugerundet. In den Anschliffen erscheinen sie narbig. Manche, nicht alle Pyritkristalle zeigen bei starker Beleuchtung in Luft eine schwache, aber deutliche Anisotropie. Manchmal schließen sich die Pyritkristalle zu größeren Aggregaten zusammen, die miteinander verzahnt sind. Dabei sind die Korngrenzen teilweise durch Silikatspuren zu erkennen. Der Pyrit enthält stellenweise rundliche und eckige Einschlüsse von anderen Sulfidmineralien. Auch Einschlüsse von Ilmenit, Rutil und Ilmenit + Rutil sind in Gestalt eines Idioblastensiebes nicht selten.

### Kupferkies:

Der Kupferkies ist der Hauptkupferträger in allen Proben. Er bildet die Grundmasse, in der die Pyritkristalle frei schwimmen, oder er füllt nur die Zwickel zwischen den Pyritkristallaggregaten aus. Er kommt auch als Einschlüsse, manchmal in Vergesell-

schaftung mit anderen Sulfidmineralien, in Pyrit vor. Im Vergleich zu den Anschliffen der Anna-Grube ist er als grobkörnig zu bezeichnen. Im Kupferkies (und Magnetkies) von Bursi fehlt jede Spur einer Durchbewegung oder Einregelung. Der Kupferkies zeigt beim gekreuzten Nicols fast immer parallele, unterschiedlich dicke und manchmal ineinander verzahnte, oleanderblattähnliche Zwillingslamellen, die sehr oft senkrecht, auch stellenweise quer, von anderen, kürzeren Zwillingslamellen durchsetzt werden (Abb. 9). In Kupferkies sind eingeschlossen:

- a) idiomorphe bis hypidiomorphe Pyritkristalle oder Kristallaggregate (s. oben!)
- b) Magnetkies als glattrandig gebuchtete Einlagerungen oder Trümer und in geschlängelten Ausscheidungen
- c) Zinkblende in geringer Menge, polypenartig
- d) seltene glattrandige weiße Einschlüsse von Bleiglanz
- e) Molybdänglanz als kleine, parallelrandige Blättchen (Abb. 11), die manchmal gekrümmt oder geknickt sind
- f) lange, notenlinienartige Cubanitlamellen, die den ganzen Kupferkies des Anschliffs durchlaufen
- g) Mackinawit in Gestalt von Peitschen und Lamellen parallel den Kanten eines Pseudowürfels (Abb. 9 und 10)
- h) körnige Ilmenitaggregate, die ab und zu einen Rutilkern besitzen
- i) winzige, lappige Ausscheidungen von ged. Gold begleitet von wenig Bleiglanz
- j) rhombischer Kupferglanz oder Digenit in einem Anschliff in Verwachsung mit Kupferkies

- k) An einer Stelle sitzt ein Magnetitkorn in einem Kupferkieseinschluß und grenzt zum Teil an Pyrit.
- l) Einzelne Hornblendesäulen und lange, radialstrahlig angeordnete oder ein Gestrüpp oder ein Bündel bildende Hornblendenadeln.

Entmischungen von Kupferkies in Zinkblende wurden in einem Anschliff an zwei Stellen festgestellt. Die Entmischungskörper sehen bei starker Vergrößerung spindelförmig aus und sind in zwei Scharen senkrecht aufeinander und zonar in der Zinkblende eingeordnet.

#### Magnetkies:

Der Magnetkies ist hier wie der Kupferkies im Gegensatz zu den Anschliffen der Anna-Grube grobkörnig ausgebildet. Seine Grenzen zu Kupferkies sind immer glattrandig. Auch der Magnetkies von Bursi zeigt keine Spur von Durchbewegung und Einregelung. Nur, daß er manchmal undulös auslöscht, ist zu beobachten. Parallele Spaltrisse treten in einigen Anschliffen besonders stark hervor. Der Magnetkies kommt neben vielen anderen Mineralien in Gestalt eines Idioblastensiebs im Pyrit und als rundliche oder geschlängelte Ausscheidungen in Kupferkies vor. Stellenweise dient er neben Kupferkies und den Silikaten als Zwickelfüllung zwischen Pyritindividuen. Die flammenförmige Ausscheidung eines gelben Minerals, die nur einmal beobachtet werden konnte, ist vermutlich Pentlandit. Mackinawit, der im Kupferkies sich ansiedelt, lehnt sich gern an Magnetkies an, während sich seinerseits der Magnetkies gern an andere Mineralien oder an Silikate anlehnt. Stellenweise enthält der Magnetkies auch Molybdänglanzblättchen. Zinkblende sitzt auch manchmal im Magnetkies, und manchmal ist sie mit ihm verwachsen.

### Zinkblende:

Zinkblende ist überall in jedem Anschliff anzutreffen. Ihre Intensität ist jedoch von Probe zu Probe sehr verschieden. Zinkblende tritt mit Kupferkies oder mit Silikaten in Zwickeln von Pyritindividuen auf. Auch glattrandige, buchtige und runde Einschlüsse in Kupferkies sind nicht selten. Ab und zu liegt Zinkblende in Verwachsung mit Bleiglanz oder Magnetkies vor. An einer Stelle ist die Zinkblende mit einem zerbrochenen Magnetitkorn neben Pyrit verwachsen. Auch tropfenartige Einschlüsse von Zinkblende im Pyrit in Form eines Idioblastensiebs sind verbreitet. In der Regel zeigen die Zinkblendekörner keine Entmischungen von Kupferkies, aber manchmal kleine Tröpfchen. In einem Anschliff wurden jedoch an zwei Stellen spindelförmige Entmischungskörper von Kupferkies beobachtet, die in zwei Scharen und zonar, senkrecht aufeinander in Zinkblende angeordnet waren. An einer Stelle wurde in der Zinkblende auch ein Molybdänglanzblättchen gefunden.

### Bleiglanz:

Der seltene Bleiglanz bildet glattrandige Einschlüsse im Kupferkies oder in Vergesellschaftung mit Zinkblende. In drei Anschliffen (699 - 701) führt er kleine lappige Ausscheidungen von ged. Gold. Die Mehrzahl dieser Goldtröpfchen sitzt am Rande, d. h. an der Grenze zu Kupferkies. Sonst kommt der Bleiglanz auch ohne ged. Gold vor. An einer Stelle wurde ein dreieckiger Spaltausbruch in Bleiglanz beobachtet.

### Molybdänglanz:

Molybdänglanz tritt in Gestalt von kleinen parallelrandigen Blättchen in Kupferkies, Magnetkies, Zinkblende und in den Silikaten auf (Abb. 11). Die Mehrzahl der Molybdänglanzblättchen findet sich im Kupferkies. Ab und zu erstrecken sich die Blättchen über die Grenze zweier verschiedener Mineralien hinweg, z. B. Kupferkies - Magnetkies oder Magnetkies - Mackinawit. Es wurde auch beobachtet, daß Molybdänglanz von Mackinawit umschlossen wird. Ein Molybdänglanzblättchen wurde in einem Hornblendebüschel gefunden, das in Kupferkies frei schwimmt. Manchmal sind die Blättchen gerade. Manchmal sind sie gekrümmt, manchmal einfach und manchmal zickzackförmig geknickt. Die beanspruchten Blättchen löschen undulös aus. Die Molybdänglanzblättchen sind bis zu 0,5 mm lang, meist jedoch wesentlich kürzer.

### Cubanit:

Cubanit ist in den Anschliffen 699 - 701 sehr verbreitet. Er findet sich sogar in größeren Einschlüssen von Kupferkies im Pyrit. Das Mineral durchläuft den Kupferkies in Gestalt langer, notenlinienartiger Lamellen, ohne Rücksicht auf den Zwillingslamellenbau des Kupferkieses. Wo die Cubanitlamellen durch "Gangart"-Nadeln (Tremolit - Aktinolith) unterbrochen werden, setzen sie sich jenseits der Nadeln in der alten Richtung fort.

### Mackinawit:

Mackinawit ist in allen Anschliffen zugegen. In den Anschliffen Nr. 699 - 701 ist er besonders reichlich zu finden, und zwar

in Gestalt von Peitschen und lamellenartigen - manchmal erstaunlich großen - Ausscheidungen, eingeschlossen in Kupferkies. Der Mackinawit lehnt sich gern an andere Sulfidminerale und an Silikate, manchmal sind es Hornblendenadeln, an und umgibt sogar zuweilen die Leisten von Molybdänglanz und "Gangart" (Abb. 13). Ansiedlungen von Mackinawit längs der Grenze Kupferkies - Magnetkies, sind nicht so selten. Mackinawit zeigt bei starker Vergrößerung eine gekratzte und ab und zu beschmierte Oberfläche. Dies ist wahrscheinlich auf seine geringe Härte zurückzuführen. Die Mackinawit-Peitschen zeigen gewöhnlich keine Orientierung in Bezug auf den Kupferkies. Andererseits werden bei schwacher Vergrößerung parallele Mackinawitlamellen in zwei verschiedenen Scharen parallel den Kanten eines Pseudowürfels in Kupferkies beobachtet (Abb. 9). An manchen Stellen erscheint der Mackinawit jünger als Kupferkies und verdrängt ihn offensichtlich. An anderen Stellen ist er sogar jünger als Cubanit, weil er auch den Cubanit verdrängt.

#### Ilmenit und Rutil:

Ilmenit tritt in Gestalt von runden Körnern im Pyrit, Kupferkies und in Gangart eingeschlossen auf. Er erscheint hier grau und sehr zinkblendeähnlich mit einem rosa bis rötlichbraunen Unterton und ist im Vergleich zu Ilmenit aus Tahawus kräftiger gefärbt. Dies erklärt sich wohl aus der Verwachsung des Ilmenits von Sulitjelma mit gelben Sulfiden (Pyrit, Kupferkies). Der Ilmenit besitzt häufig einen Rutilkern (Abb. 12) und an einer Stelle

teilt eine Ilmenitlamelle den Rutilkern mitten hindurch. An manchen Stellen verdrängt er offenbar den Rutil und ist seinerseits als Verdrängungsrest zwischen den Silikaten und Pyrit gar nicht so selten. Manchmal sind die Körner von Ilmenit aus mehreren Individuen zusammengesetzt und sind an Hornblendesäulen angelehnt. Nur an einer Stelle sind in einem Einschluß von Ilmenit im Pyrit zarte Hämatitmischungen zu beobachten. Einmal wurde auch Ilmenit als parallele Einlagerung zu Spaltflächen in Hornblende beobachtet.

Rutil kommt als einzelne Einschlüsse, manchmal mit etwas Ilmenit verwachsen, im Pyrit vor. In den Silikaten von Bursi fehlt er. Er ist in der Regel verzwilligt. Aber die polysynthetische Zwillingsbildung und knieförmige Zwillingsgestalten wurden nur selten beobachtet.

#### Magnetit und Hämatit:

Magnetit ist sehr selten. Er wurde nur in zwei Anschliffen (91, 92) gefunden, und zwar mit Zinkblende und Pyrit verwachsen. Es sind eigentlich nur Bruchstücke von Magnetit zu sehen. Das Gesamtkorn sieht wie zersprungen oder explodiert aus und weist viele Materialausbrüche auf.

Hämatit wurde nur einmal in Form von zarten Entmischungskörpern in einem Ilmenitkorn beobachtet.

#### Gold:

Gediegenes Gold ist nur in drei Anschliffen (699 - 701) anzutreffen. Die Art seines Auftretens wurde oben, unter Bleiglanz, dargestellt.

## Durchlichtmikroskopischer Befund:

### Amphibole

Bei allen Amphibolen handelt es sich um relativ Fe-reiche Aktinolithe. Die Lichtbrechung beträgt für  $n_x = 1,637$ ,  $n_y = 1,648$  und  $n_z = 1,653$ ; das entspricht einem  $\text{Ca}_2\text{Fe}_5$ -Gehalt des Aktinoliths von 30 - 35 Mol % (Tröger; Teil 1, 1959). Der Pleochroismus wechselt von grünlichblau nach bläulichgrün. Der Aktinolith bildet in den Aktinolith-Albit-Schiefern keilförmig büschelige Aggregate, ist mit Chlorit verzahnt und umschließt neben Titanit Albit- und Calcitkörner, sonst ist er einschlußfrei. Manchmal ist er mit wenig Biotit verwachsen. In den Schliffen aus den amphibolreicheren Gesteinen, aus den sogenannten Aktinolithschiefern, stellt er die Hauptkomponente dar und umschließt in Gestalt von verfilzten Nadeln, schon makroskopisch, besser jedoch mikroskopisch erkennbare, bis 3 mm große, xenomorphe Apatitkristalle. Daneben tritt in geringen Mengen Chlorit, Albit und Biotit auf. In allen Schliffen sind große, xenomorphe Aktinolithe, die sich offenbar gegenüber anderen Mineralen sehr spät gebildet haben, häufig zu beobachten. Manchmal sproßt Aktinolith auch in Albit und Calcit, sofern letzterer auftritt, hinein. Aber auch Reste von Aktinolith in Albit sind nicht selten. Aktinolith umgibt mit Albit gemeinsam auch sehr oft Calcitaggregate. Bei mehr gleichmäßiger Verwachsung von Albit mit Aktinolith gibt es Übergänge von Aktinolithschiefern zu Aktinolith-Albit-Schiefern.

### Alkalifeldspat

Es überwiegen bei weitem Albite mit einem Anorthitgehalt unter 10 %, wie sich aus der Lichtbrechung und dem Achsenwinkel ergibt. Der Albit ist in der Regel unverzwillingt und zeigt an vielen

Stellen gute Spaltbarkeit. In einigen Schliffen, allerdings sehr selten, macht sich eine schwache Zwillingslamellierung nach dem Albitgesetz bemerkbar. Zur näheren Untersuchung wurde an albitreichen Stellen in einem Albit-Biotit-Schiefergestein der Albit herauspräpariert und röntgenographisch als Tiefalbit nachgewiesen. Die Größe der Albitkörner ist selbst innerhalb eines Schliffes sehr variabel und kann bis zu 2, 4 mm Durchmesser erreichen. Der Albit ist sehr spät gebildet und umwächst poikilitisch Biotit und Chlorit, ist jedoch älter als Aktinolith. Die Albitkörner bilden ein Pflasterwerk von recht unterschiedlicher Korngröße. Größere Albite werden manchmal augengneisartig von Biotit oder Aktinolith umschlossen. Als Porphyroblasten umschließen sie spärliche Leisten von Biotit und Chlorit, sowie Körner von Titanit, Rutil und Zirkon, wie auch einzelne Apatite und Erzkörner. Albit kommt auch manchmal als Einschluss in Calcit vor.

Nur an einer Stelle ließ sich einmal ein anderer Alkalifeldspat und zwar ein Mikroklin in einigen Körnern beobachten, die sich durch ihre typische Zwillingsgitterung kennzeichneten.

### Biotit

Der Biotit hat eine schmutzige braune bis manchmal grünlich-braune Farbe. Er tritt entweder gesteinsbildend als Biotit-schiefer und als Albit-Biotit-Schiefer auf, oder er findet sich mehr untergeordnet in Blättchen und Leisten in Aktinolith-Albit-Schiefern, Aktinolithschiefern und Chlorit-Albit-Schiefern. Als verfilzte Aggregate ist er sehr oft mit Albit, Erz, Rutil und Titanit verwachsen. Er enthält in einigen Schliffen massenhaft kleine und zum Teil idiomorphe Kristalle von Zirkon mit radioaktiven Höfen. Biotit enthält auch sehr viele Erzidioblasten (meistens Pyrit). In Albit-Biotit-Schiefern umschließen die verfilzten, eingeregelter Biotit-Aggregate auch Albit-Porphyroblasten augen-

gneisartig. Chloritisierung der Biotite ist vereinzelt zu beobachten, tritt im allgemeinen aber stark zurück.

### Chlorit

Chlorit stellt in den Chlorit-Albitschiefern den Hauptgemengteil dar, während er in Aktinolith-Albit- und Aktinolithschiefern nur in Gestalt von spärlichen Leisten im Albit auftritt. Es sind meist Blättchen, die fast homoaxial ineinander greifen und wie büschelig-bündelige Aggregate aussehen und mit langen schlierenartigen Zügen die Schieferungsrichtung des Gesteins markieren. Die Chloritzüge umschließen an verschiedenen Stellen Schmitzen eines geregelten Pflasters, das entweder aus Quarz oder aus Albit besteht. Chlorit wird auch - jedoch sehr selten - als Umwandlungsprodukt des Biotits längs einiger Bewegungsbahnen beobachtet. In Chlorit sind als Einschlüsse Biotitblättchen, Titanitkörner und Zirkonkristalle nicht selten zu finden.

### Quarz

Der Quarz kommt nicht sehr oft vor und bildet in Chlorit-Albitschiefern Nester, die Pflasterstruktur zeigen und von Chloritaggregaten umschlossen werden. Die Quarzkörner sind meistens klein und erreichen die Größe von 0,2 mm.

### Calcit

Calcit tritt als Nebenbestandteil in einigen Schliffen auf. Er bildet häufig körnige Aggregate, die meistens von Aktinolith und Albit gemeinsam umgeben sind. Auch idiomorphe Einzelkristalle von Calcit in Albit sind nicht selten. Calcit enthält Apatit- und Titanitkristalle als Einschlüsse, außerdem Sprossungen von Aktinolith und Chlorit.

### Apatit

Apatit tritt meistens in Form von bis zu 3 mm großen xenomorphen und kleineren, manchmal idiomorphen Kristallen frei oder als Aggregate in Albit, Aktinolith, Biotit und anderen Mineralen auf. Zur Sicherung der Diagnose wurden große Apatitkörner aus einem Aktinolithschiefer herauspräpariert und röntgenographisch als Hydroxylapatit festgestellt. Die Apatitkörner enthalten sehr oft Biotitblättchen als Einschluss.

### Zirkon

Zirkon ist in einigen Schliffen extensiv sehr verbreitet und kommt in Albit, Biotit, Chlorit und anderen Mineralen vor. Er tritt in einzelnen Kristallen auf und zeigt in einigen Fällen eine schwache Idiomorphie. In Biotit eingeschlossen hat der Zirkon stets einen radioaktiven Hof entwickelt. Er ist immer einschlussfrei.

### Rutil

Rutil kommt in Gestalt von hypidiomorphen Einzelkörnern oder in Form von Haufwerk und zusammenhängenden Kornaggregaten vor. Die Körner erreichen eine Größe bis zu 0,2 mm und sind als Einschlüsse, unabhängig von Verwachsungsverhältnissen anderer Minerale, in Albit, Biotit, Chlorit, Calcit und Aktinolith zu beobachten. Nur manchmal sind die Körner einzeln aneinander gereiht. Auffallend ist auch die Verwachsung von Titanit oder Titanit + Erz mit Rutil, die eine charakteristische Erscheinung ist.

### Titanit

Titanite treten als idiomorphe und hypidiomorphe, bis zu 0,4 mm große Kristalle auf. Außerdem gibt es Titanit in kleinen fein verästelten Kornhaufen. Skelettartige bzw. buchtig vergliederte Einkristalle sind sehr charakteristisch in Chlorit-Albitschiefern, die man bei flüchtiger Betrachtung für aneinandergereihte Kornhaufen halten kann. Titanit kommt wie der Rutil in vielen anderen Mineralen vor, ist aber mehr an Biotit gebunden. An einigen Stellen sind Titanite in Chlorit und Biotit von radioaktiven Höfen umgeben, so daß es sich hier vermutlich um Yttrotitanit handelt.



Abb. 3 - Idioblastischer Arsenkieskristall (weiß, Bildmitte) mit Andeutung von Zonarbau eingebettet in ein eingeregelter Gemenge von Kupferkies (ganz zart hellgrau), Pyrit (weiß, xenomorph) und Silikate (dunkelgrau) - Vergrößerung: 56fach - Parallele Nicols Anna-Grube, Sulitjelma

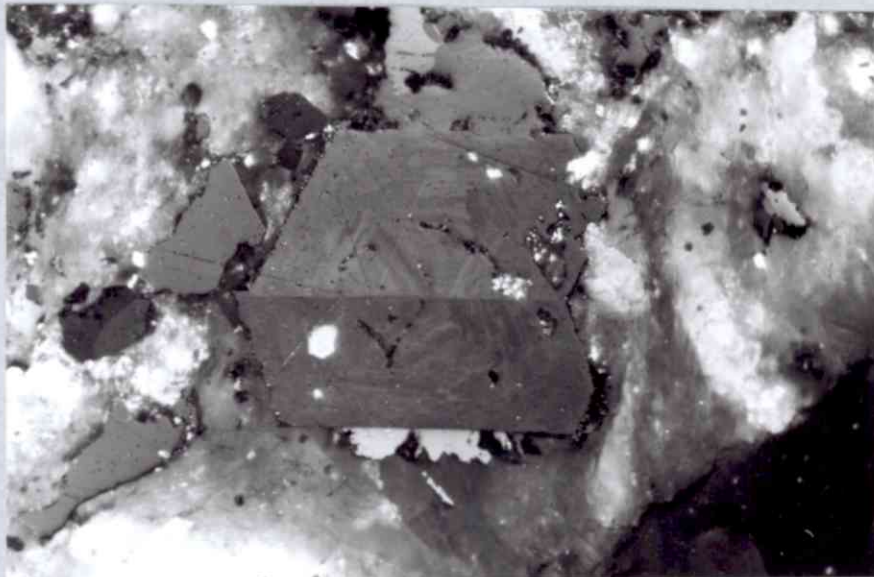


Abb. 4 - Idioblastischer Arsenkieszwillung (grau und hellgrau) mit Andeutungen von Zonarbau eingebettet neben einigen xenomorphen Kupferkiesausscheidungen (hellgrau, glatte Oberfläche) in Silikate (grau in verschiedenen Tönen, viele Innenreflexe) - Vergrößerung: 165fach - Gekreuzte Nicols Anna-Grube, Sulitjelma

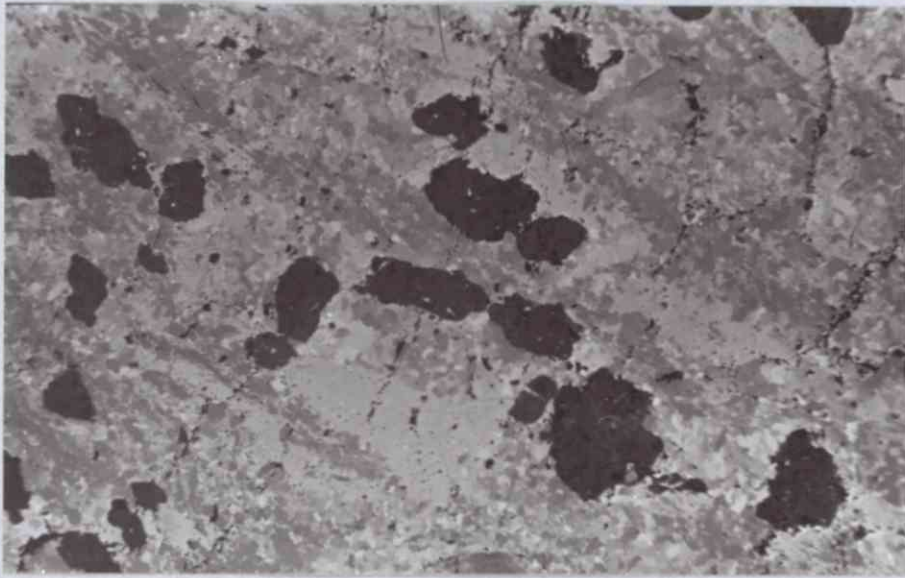


Abb. 5 - Durchbewegtes, feinkörniges Gemenge von Kupferkies (hellgrau) und Magnetkies (grau in verschiedenen Tönen bis fast weiß). Einzelne Silikateinschlüsse (dunkelgrau) - Vergrößerung: 32fach - Gekreuzte Nicols  
Anna-Grube, Sulitjelma (Nicols nicht genau gekreuzt)

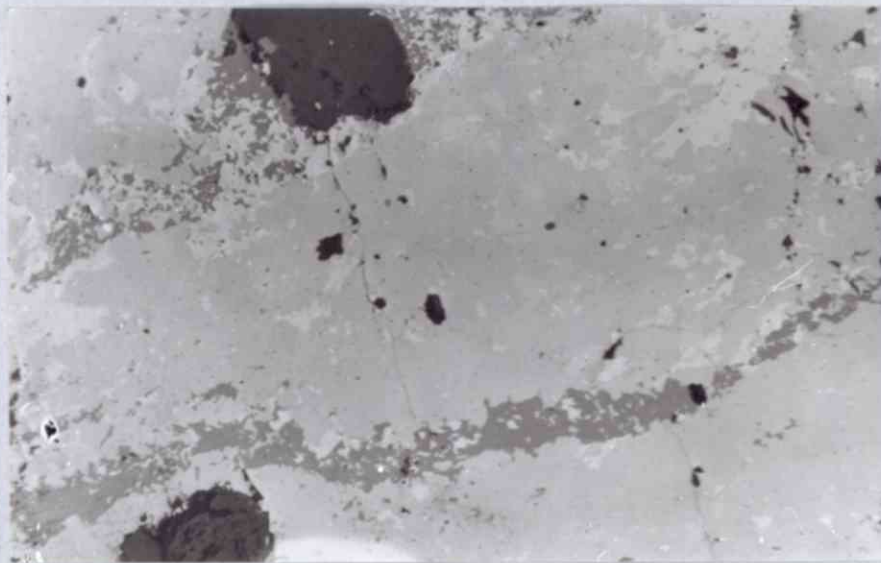


Abb. 6 - Zinkblende, guirlandenförmig (grau), eingeregelt in ein durchbewegtes Kupferkies (hellgrau)/Magnetkies (mittelgrau)-Gemenge. Schwarze Flecken sind Silikateinschlüsse  
Vergrößerung: 100fach - Parallele Nicols  
Anna-Grube, Sulitjelma

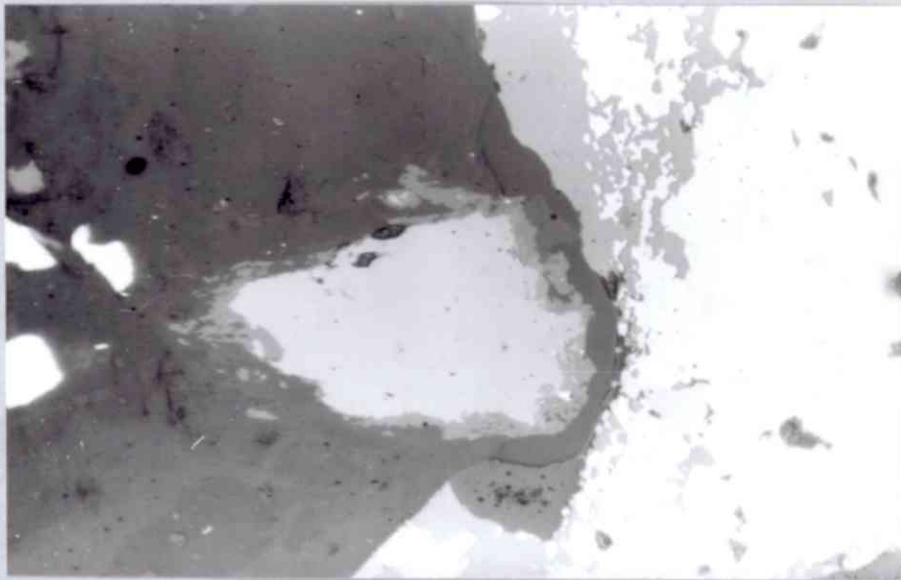


Abb. 7 - Rutil (großes Korn in der Bildmitte, weiß) mit einem Anatassaum (hellgrau) ist eingebettet in Silikate (grau in verschiedenen Tönen). In den Silikaten treten einige Pyritkörner (linker Bildrand) auf. Auf der rechten Bildseite Kupferkies (weiß) mit Zinkblende (hellgrau) unterwachsen - Vergrößerung: 250fach - Parallele Nicols - Anna-Grube, Sulitjelma



Abb. 8 - wie Abb. 7, jedoch mit gekreuzten Nicols. Man erkennt die Zwillingslamellierung in Rutil und die Innenreflexe des Anatas. Vergrößerung: 250fach - Gekreuzte Nicols Anna-Grube, Sulitjelma

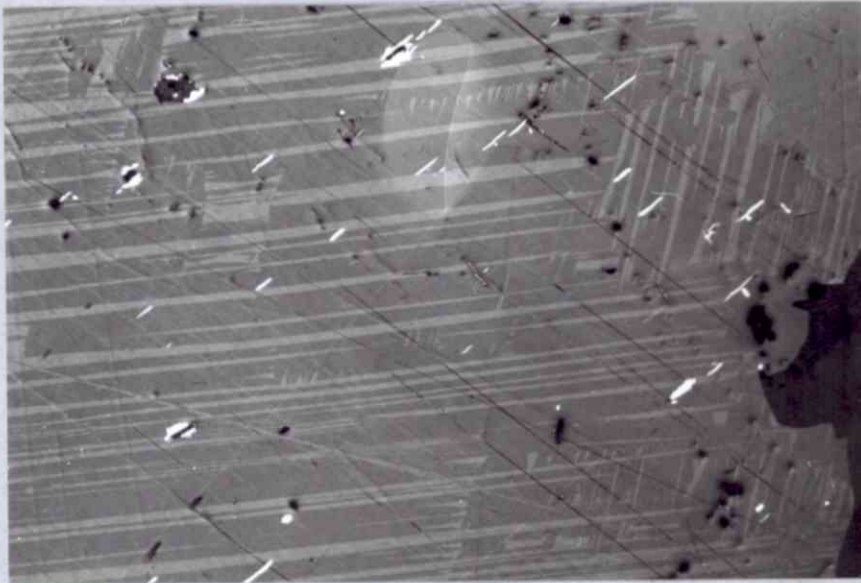


Abb. 9 - Kupferkies mit schöner Zwillingslamellierung (grau in verschiedenen Tönen) führt parallel eingelagerte Lamellen von Mackinawit (weiß). Am rechten Bildrand eine Silikatausscheidung (schwarz) - Vergrößerung: 32fach - Nicols fast gekreuzt  
Bursi, Sulitjelma

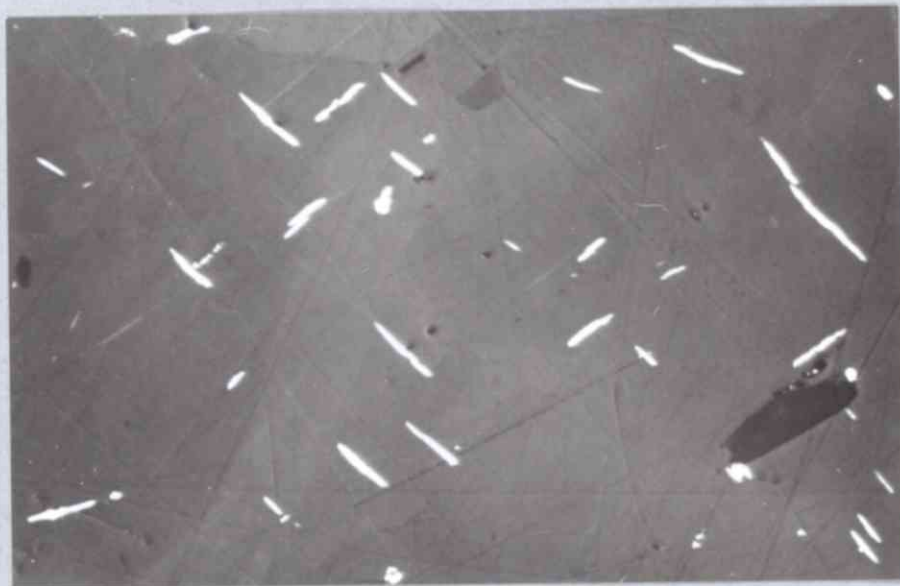


Abb. 10 - Kupferkies (grau) mit gesetzmäßig eingelagerten fast senkrecht aufeinanderstehenden Mackinawit-Lamellen (weiß). Dazu ein Silikat Korn (schwarz, rechts unten)  
Vergrößerung: 165fach - Gekreuzte Nicols  
Bursi, Sulitjelma

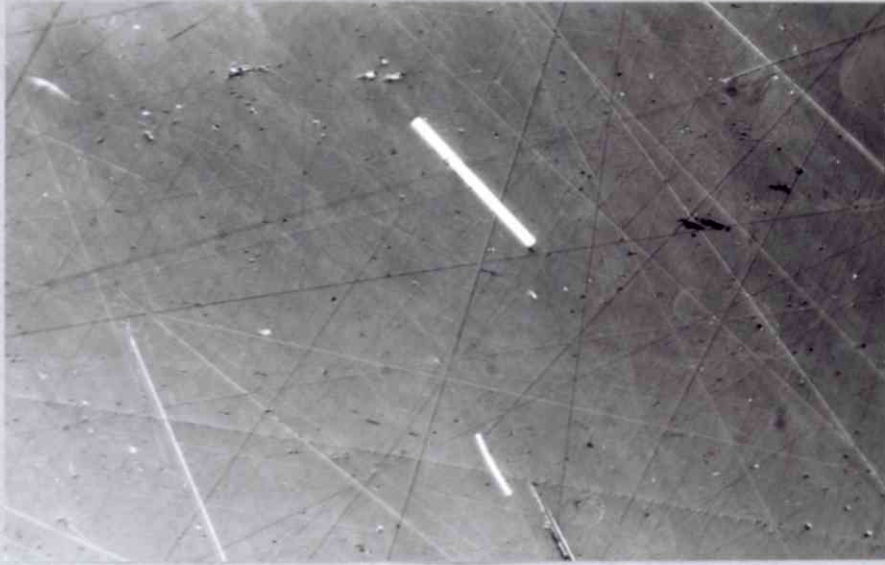


Abb. 11 - Kupferkies (hellgrau) mit Molybdänglanz in zwei idiomorphen Täfelchen (weiß -  
Vergrößerung: 250fach - Parallele Nicols  
Bursi, Sulitjelma

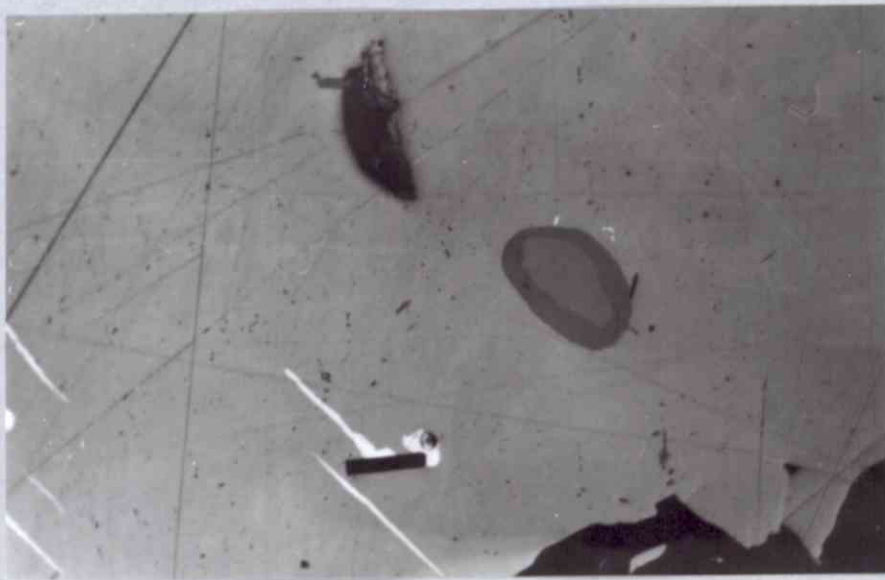


Abb. 12 - Kupferkies (hellgrau) enthält parallele Leisten von Mackinawit, die sich zum Teil an Hornblende (fast schwarz, idiomorph) anlehnen. Etwas rechts von der Bildmitte tritt im Kupferkies ein zugerundetes Ilmenitkorn (dunkelgrau) mit einem Rutilkern (hellgrau) auf. Schwarz sind Löcher und Silikate.  
Vergrößerung: 165fach - Nicols fast gekreuzt  
Bursi, Sulitjelma



Abb. 13 - Kupferkies als Hauptmineral (mittelgrau, mit einem Riß) enthält eine idiomorphe Hornblende (schwarz, zum Teil durch Innenreflexe hell erscheinend). In beiden Seiten der Hornblende und deren Verlängerung erscheint Mackinawit (weiß)  
Vergrößerung: 165fach - Gekreuzte Nicols  
Bursi, Sulitjelma

## 5. Zusammenfassung und Genesis der Lagerstätte Sulitjelma

Es wurden die Erze der Bursi- und der Anna-Grube auflichtmikroskopisch und ihre Begleitsilikate sowie die Nebengesteine der Lagerstätten durchlichtmikroskopisch untersucht.

Die Gesamtlagerstätte ist metamorph überprägt; aufgrund der Mineralparagenese Quarz-Albit-Chlorit-Aktinolith-Biotit und dem selten auftretenden Zoisit handelt es sich nach Winkler (1967) um die Quarz-Albit-Epidot-Biotit-Subfazies der Grünschieferfazies. Die Erzmetamorphose gibt sich zu erkennen:

durch idioblastische Pyrit- und Arsenkieskristalle, die in den Gruben des Sulitjelma-Gebietes allverbreitet sind,  
durch die Neubildung von Cubanit und Mackinawit in Bursi,  
durch die Durchbewegung der Erze der Anna-Grube,  
und durch die metamorphen Silikate des Nebengesteins und in den derben Sulfiderzen.

Die ursprüngliche Genesis, d. h. die Akkumulation der Lagerstätte, ist schwerer zu deuten. A. W. Stelzner bezeichnet sie 1891 (zitiert nach Stelzner-Bergeat, 1904) als schichtige Lagerstätte. Er meint damit, daß Sulitjelma nicht-hydrothermalen Ursprungs ist.

In neueren Arbeiten, über die z. B. H. -P. Geis (1958) referiert ~~\_\_\_\_\_~~, wird Sulitjelma vulkanisch-exhalativ aufgefaßt.

Die Mehrzahl der Gruben bei Sulitjelma liegen schichtkonkordant an der Grenze zwischen Furulundschiefer (als Liegendem) und einem Zoisitamphibolit (als Hangendem). Nur einige Gruben sitzen ganz innerhalb des Furulundschiefers, einige auch ganz

im Zoisitamphibolit. Wenn wir den Zoisitamphibolit als einen metamorphen basischen Magmatit auffassen, können wir die Lagerstätte als einen metamorphen Vertreter des Typs Sudbury betrachten: als eine magmatische Sulfiderzausscheidung, die später metamorph überprägt wurde. Die ganz in dem liegenden Furulundschiefer eingebetteten Lagerstätten würden dann den Offsets von Sudbury entsprechen. Zum Unterschied von Sudbury tritt in Sulitjelma das Nickel ganz zurück.

Gegen die Entstehung von Sulitjelma durch liquidmagmatische Entmischung sprechen allerdings die Biotite und die lagenhaften Apatite in Aktinolithfelsen.

Mainz, den 22. Mai 1969

## LITERATURVERZEICHNIS

---

1. Borchert, H.                      Der initiale Magmatismus und die zugehörigen Lagerstätten  
N. Jb. d. Min., Abh. 91, Stuttgart 1957
2. Carstens, C. W.                Zur Frage der Genesis der norwegischen Kiesvorkommen  
Z. Prakt. Geologie 1932
3. Geis, H. -P.                    Die Genese der norwegischen Kieslagerstätten  
Erzmetall, Bd. XI, 1958
4. Krause, H.                      Zur Kenntnis der metamorphen Kieslagerstätte von Sulitjelma (Norwegen)  
N. Jb. d. Min., Abh. 89, 1956
5. Pollak, A.                      Zur Metallogenese in Skandinavien  
Geol. Rundschau 42, 1954
6. Ramdohr, P.                    Die Erzminerale und ihre Verwachsungen  
Berlin 1960
7. Ramdohr, P.                    Antimonreiche Paragenesen von Jakkobsbakken bei Sulitjelma  
Norsk Geol. Tidsskrift, 18, 1938
8. Ramdohr, P.                    Über Metamorphose und sekundäre Mobilisierung  
Geol. Rundschau 42, 1954
9. Schneiderhöhn, H.            Die Erzlagerstätten  
4. Auflage, Stuttgart 1962
10. Stelzner, A. W. +              Die Erzlagerstätten  
Bergeat, A.                    I. Hälfte, Leipzig  
Verlag Arthur Felix 1904

11. Tröger, W.E.      Optische Bestimmungen von gesteinsbildenden Mineralen  
Teil 1, 1959, Teil 2, 1967, Stuttgart
12. Vogt, Thorolf      Sulitelmafeltets geologi og petrografi. -  
Norges Geologiske Undersøkelse Nr. 121, Oslo 1927
13. Vokes, F.M.      Metallogenetic provinces and epochs in Norway. -  
Tidsskrift for Kjemi, Bergvesen og Metallurgi, 4., Oslo 1958, p. 47 - 55
14. Vokes, F.M.      Mineral paragenesis of the massive sulfide ore bodies of the Caledonides of Norway. -  
Econ. Geol. vol. 57., 1962, p. 890 - 903
15. Vokes, F.M.      Regional metamorphism of the palaeozoic geosynclinal sulphide ore deposits of Norway -  
Instn. Mining Metallurgy, London 1968  
Transact. vol. 77, Bull. No. 738, p. B 53 - B 59
16. Waltham, A.C.      Classification and genesis of some massive sulphide deposits in Norway -  
Instn. Mining Metallurgy, London 1968  
Transact. vol. 77, Bull. No. 744, p. B 153 - B 161
17. Winkler, H.G.F.      Die Genese der metamorphen Gesteine - 2. Auflage  
Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 1967
18. Yund, R.A. + Kullerund, G.      The System of Cu-Fe-S  
Carnegie Institution of Washington D.C., Year book 60, 1961  
p. 181 - 182

K.J. Henley, The Sulitjelma metamorphic complex. - Ph.D. thesis.  
University of London 1968