

Nr. 250 A

Uran og thorium i Norge

Av

THOR L. SVERDRUP, CHR. DICK THORKILDSEN
og HARALD BJØRLYKKE

Nr. 250 B

**The lead and zink bearing veins at Tråk
in Southern Norway**

By

BERNT RØSHOLT

Nr. 250 C

Kongsberg Sølvverk

Ved

ARNE BUGGE

OSLO 1967

UNIVERSITETSFORLAGET

55(481)

N/250

8628

Uran og thorium i Norge

Av

THOR L. SVERDRUP, CHR. DICK THORKILDSEN
og HARALD BJØRLYKKE

Innhold.

	Side
Abstract in English	5
Uran	5
Thorium	7
Prospekterin etter uran og thorium	8
Stokkøy og Arøy	10
Alunskifer, Oslofeltet	10
S. Kvaløy, Troms	12
Njallavzi Troms	15
Orrefjellet Salangen, Troms	16
Øknanuten, Rogaland	17
Rendalsvik grafittforekomst, Holandsfjord, Nordland	17
Knaben Molybdenforekomst, Vest-Agder	19
Modum — Snarum, Buskerud	19
Spendivegg, Kviteseid, Telemark	21
Sammenstilling	21
Tabelloversikt over uran og thorium-mineraler funnet i Norge	23
Litteraturliste	30

Abstract.

In this short publication is mentioned what we today know on uranium and thorium in Norway.

U occurs accessory in gneisses and granites, dispersed in Cambrian shales, associated with quartz and calcite in brecciated zones, and on secondary veins of quartz and at last in pegmatites.

Th is found in the syenite and nefelinsyenite rocks of the Oslo region, in the common feldspar-quartz quarries, but the most important deposit is Rødberget near to Ulefoss. The Rødberget also contains up to 3 % Ce-earth and app. 0,1 % Nb_2O_5 .

With the prices on U and Th today, it is not possible to quarry U and/or Th economically alone from known Norwegian deposits today.

A list of all minerals containing more than 0,1 % U and/or Th found in Norway are placed at the end.

Uran.

Uran er et meget sjeldent grunnstoff som opptrer i så liten mengde at man har beregnet at det utgjør bare 0,0004 % eller 4 g pr. t. av den øvre kjente del av jordskorpen.

Metallet ble oppdaget i 1789 av M. H. Klaproth, som oppkalte det etter planeten Uranus.

Uran hører til de grunnstoffer som spaltes uten ytre påvirkning. Denne spaltning bevirker en radioaktiv stråling som sverter en fotografisk film på samme måte som alminnelig lys.

Det siste ledd i denne spaltning er isotoper av bly ^{206}Pb , ^{207}Pb .

Den viktigste uranerts er mineralet uranbekerts. Det består av uranoksyd ($UO_2 - U_3O_8$). Mineralet er sort, tungt og finnes særlig i tilknyt-

ning til granitter, på grovkornede granittiske ganger, de såkalte granittiske pegmatittganger. Slike ganger brytes for utvinning av feltspat og kvarts.

Dessuten finnes uranmineraler også avsatt av vandige oppløsninger på ganger og sprekkesoner i jordskorpen og i enkelte sedimentære bergarter.

På grunn av sin spaltning som foregår med konstant hastighet, uansett de ytre forhold, kan man benytte uranholdige mineraler til å bestemme alderen av de bergarter de opptrer i ved at man bestemmer forholdet mellom uran og de spaltningsprodukter som er dannet.

Ved forvitring kan uranbekertsen danne en rekke vannholdige uranoksyder, og uran kan også opptre som underordnet bestanddel i en rekke sjeldne mineraler, som man også finner på granittiske pegmatittganger.

Driften på feltspat på de norske granittiske pegmatittganger begynte allerede i 1790-årene, og den første tid ble det meste feltspat levert Kongelig Porselænsfabrik i København og særlig til tyske porselensfabrikker. Ved denne feltspatdrift ble det også utdrevet en rekke sjeldne uran- og thoriumholdige mineraler som opptrer i små mengder på disse pegmatitter. Allerede i 1840-årene ble uranbekerts og det uranholdige mineral euxenitt beskrevet av professor Scheerer (12) fra norske pegmatitter som ble drevet på feltspat. Med den økning av feltspatproduksjonen som fant sted i siste halvdel av forrige århundre ble det satt i drift mange nye feltspatgruber, særlig i nærheten av Moss, og i traktene Arendal — Kragerø, og det fremkom ved feltspatdriften forholdsvis betydelige mengder av uranbekerts og en rekke andre uranholdige mineraler, særlig euxenitt og samarskitt. I 1878 beskrev professor Nordenskiöld (7) en uranbekerts fra et feltspatbrudd ved Garta nær Arendal, som inneholdt betydelige mengder sjeldne jordartselementer av Y-gruppen, og ga dette mineralet navnet cleveitt. Senere i 1884 beskrev professor Blomstrand (4) en thoriumholdige uranbekerts fra Ånerud nær Moss under navn av Brøggeritt.

I forrige århundre ble uranbekerts i det alt vesentlige anvendt til fremstilling av uranfarger, særlig i glassindustrien, men det var bare en ubetydelig produksjon av dette mineralet. Men etter at det radioaktive element radium ble oppdaget i 1898, ble uranbekerts etterspurt som råstoff for fremstilling av radium, og også i Norge forsøkte man seg med utvinning av bekerts fra de granittiske pegmatittganger. I slutten av forrige århundre klarte professor Ramsey (9) å isolere grunnstoffet helium, og det er oppgitt at materialet som ble benyttet var uranbekerts fra de granittiske pegmatittganger i Vats i Rogaland. Helium var tidligere kun kjent fra solspekteret. I våre bergmesterberetninger fra 1904 finner man at uranforekomsten i Vats i nærheten av Haugesund ble solgt til en engelsk-

mann ved navn Price, som ved Kongelig resolusjon samme år fikk konseksjon på utvinning av uranbekerts fra denne forekomst som ble kalt Thors grube.

Det viste seg imidlertid snart at innholdet av bekerts var meget lite og uregelmessig fordelt, og det ble bare utvunnet noen få kilo før driften ble nedlagt. Den samme skjebne hadde en rekke andre bekertsførende pegmatitter som ble forsøkt drevet på uranbekerts i årene frem til første verdenskrig. De mest kjente av disse forekomster var Ånerød nær Moss og Auselmyra nær Tvedestrand.

Senere er det hvert år fremkommet små mengder uranbekerts og andre uranholdige mineraler som biprodukter ved feltspatdriften, særlig i Østfold og på Sørlandet, men den samlede produksjon fra norske pegmatittganger har neppe oversteget noen 100 kg uranbekerts og noen 10-talls tonn med euxenitt-mineraler. En stor del av dette er blitt solgt som museumsstuffer til mineralogiske museer over hele verden, og norske pegmatittganger er kjent verden over nettopp på grunn av sitt innhold av disse sjeldne mineraler.

Thorium.

Thorium er også et sjeldent grunnstoff som utgjør gjennomsnittlig bare 10 g pr. tonn av den øvre kjente del av jordskorpen.

Det er et radioaktivt grunnstoff som spaltes. Siste ledd er ^{208}Pb .

Thoriummineraler kan derfor også benyttes til aldersbestemmelse av de bergarter de opptre i. De rikeste thoriumertser er mineralene thoritt og orangitt som inneholder thorium og kiselsyre (ThSiO_4).

Også disse mineraler finnes på pegmatittiske ganger. Det finnes en rekke mineraler hvor thorium inngår som en underordnet bestanddel oftest sammen med sjeldne jordartselementer.

Særlig viktig er monasitt, som er et ceriumfosfat som kan inneholde inntil ca. 10 % Th.

Også monasitt er et mineral som finnes på granittiske pegmatittganger, men det finnes særlig i store mengder i anrikt strandsand i Brasil, India og Florida og kan utvinnes av denne.

Thoritt og orangitt er kjent fra gammel tid fra norske pegmatittganger, særlig i omegnen av Kragerø og fra de nefelinsyenittiske pegmatittganger i området ved Langesund. I 1894 og 1895 oppsto det en voldsom etterspørsel etter thoritt for fremstilling av thoriumoksyd til glødemantler i gassbrennere. I denne tid ble mineralet thoritt betalt med inntil kr. 500,—

pr. kg, og det oppsto i Kragerø-traktene en skjerpefeber på thoritt, den såkalte thorittfeber. Denne skjerpefeber varte bare ca. 1 år og ble slutt allerede i 1895, da prisen falt p.g.a. oppdagelsen av thoriuminnholdet i monasitt. Monasittsand fra Brasil konkurrerte da ut norske thoriumforekomster. Bergmesteren beregnet at det i årene 1894—95 ble utvunnet thoritt for ca. 1 million kroner i Kragerø-området.

Prospektering etter uran og thorium.

På grunn av sin radioaktive stråling kan både uran og thorium påvises ved hjelp av spesielle instrumenter, Geiger-Müller-tellere og scintillometre (Siggerud 1956) (15).

På grunn av utviklingen under siste krig ble det etter krigen meget aktuelt å undersøke hva vi hadde av uran og tildels thorium som råstoff for utnyttelse av atomenergi. Den første øyeblikkelige undersøkelsen tok sikte på å skaffe uran til en forsøksreaktor for det norske Institutt For Atomenergi, og dette institutt satte derfor igang en systematisk undersøkelse for å få undersøkt mulighetene for en norsk produksjon av uran og eventuelt thorium. Det ble utført endel orienterende undersøkelser av norske alunskifre, men innholdet av uran i disse var forholdsvis lavt, vanligvis under 50 g pr. tonn. (Skjeseth) (20) ((Siggerud)) (13). Ved siden av uran holder disse skifre noe vanadium (inntil 0,15 %) og ca. 5 % kalium. Institutt For Atomenergi utførte i 1947 endel diamantboringer i alunskiferen ved Brevik, og det ble samtidig utført endel utlutningsprøver med salpetersyre med denne skiferen. Det viste seg imidlertid at utlutningsprosessen bød på atskillige vansker, og videre planer ble derfor oppgitt.

Undersøkelsene av de tidligere kjente forekomster av uranbekerts på granittiske pegmatittganger ga nedslående resultater, da det viste seg at gehaltene var små og meget uregelmessig fordelt på gangene. Den beste pegmatittforekomsten som ble funnet ved disse undersøkelser var en pegmatitt ved Einkerilen i Evje, Setesdal, som tidligere hadde vært i drift på feltspat. Denne pegmatitt hadde enkelte soner med biotitt, ilmenitt og uranbekerts som var ganske rike. Det ble også søkt etter forekomster av uranholdige euxenittminerale og samarskitt, men disse forekomster var også ujevne, samtidig med at euxenittminerale ikke er et gunstig råstoff for uranfremstilling. Etter dette ble det besluttet å fortsette undersøkelsene av den uranbekertsførende granittpegmatitt ved Einkerilen. Det ble utført en rekke diamantboringer på forekomsten. Disse viste at pegmatitten hadde en meget begrenset størrelse, og fordelin-

gen av uranbekerts på gangen var meget uregelmessig. Det ble imidlertid funnet en ny forekomst i nærheten av samme type, som kunne danne reserver ved den eventuelle drift. For snarest mulig å kunne skaffe tilstrekkelig mengde uran til en prøverektor, ble det bygget et forsøksanlegg med et oppredningsverk, basert på en skånsom knusing, maling og en anrikning ved hjelp av vaskebord. Forsøksdriften, som begynte året 1951, ga dårlig resultat, da det viste seg at det oppsto store tap av uranbekerts i slammet etter malingen, og da det sommeren 1951 lyktes IFA å kjøpe uran i utlandet, ble driften innstilt (3) (10).

I årene etter siste krig fikk man således i Norge en ny uran-thorium-feber, hvor mange private også deltok i undersøkelsene. For å forsøke å hjelpe de private i deres jakt ble det ved NGU utarbeidet en håndbok: «Uran og uranleting» (Siggerud 1956). (15).

Det ble i årene etter krigen også søkt etter forekomster av thorium, og det viste seg at de gamle, kjente forekomster av thoritt på pegmatittgangene var for små og fattige for en økonomisk produksjon av thorium. Betydelige forekomster av thorium ble imidlertid funnet i 1959 av A/S Norsk Bergverk's geologer i Fensfeltet. Man har her en jernmalmførende karbonatittbergart (av Brøgger) kalt rødberget, som ved målinger viste en betydelig aktivitet. Denne bergart, som har en betydelig utbredelse i Fensfeltet, er en karbonatbergart med overveiende kalkspat, som er rødfarget av fine innleiringer av hematitt. Her har tidligere vært en betydelig grubedrift på jernmalm ved de gamle Fen gruber. Analysene av rødbergetprøvene utført av IFA og ved Eldorado Mining and Refining Company, Canada, viste at denne bergarten inneholder 0,2 kg pr. tonn thorium og ca. 2 % jordarter tilhørende Ce-gruppen, mens uraninnholdet var ubetydelig. Thoriumgehalten viste seg å være meget finfordelt i bergarten, og det lyktes ikke å isolere det thoriumholdige mineral, men oppløsningsforsøk tyder på at thorium inngår i et mineral tilhørende parisittgruppen. Thorium synes å være særlig anrikt i jernmalmen. P. Sæbø har kunnet påvise små krystaller av parisitt-synchesitt i malmen.

Forrådene av denne thoriummalm er meget store, og det foreligger muligheter for en utvinning av thorium og sjeldne jordartselementer som biprodukt ved produksjon av jernmalmkonsentrater.

Ertsmineralet i niobmalmen ved Søve gruber i Fensfeltet, er en niobpyroklor som inneholder 1,5—2 % thoriumoksyd, men man kan for tiden ikke av dette utvinne thorium som et biprodukt på lønnsom måte.

Uraninnholdet i niobmalmen er ubetydelig i de forekomster i Fensfeltet som sist var i drift. Under inndriften av en 100 m lang stoll inn til

det sentrale karbonatittfelt, støtte man imidlertid på mindre, sterkt uran-mineraliserte soner med et pyroklormineral som inneholdt 15—20 % uran-oksyd tilsvarende et mineral som er beskrevet fra Canada under navnet ellsworthitt (28). Hittil har man imidlertid ikke kunnet påvise drivverdig malm av denne typen.

Også i nefelinsyenittområdet ved Langesund er det skjerpet opp store soner med ganske betydelig gehalt av thorium. Arbeidet her, som er utført for private av geologer ved NGU, kan vi gi følgende kortfattede resumé av:

Stokkøy og Arøy.

I den midtre del av Langesundsfjorden er det en ganske merkbar thori-umanomali som går over øyene Stokkøy og Arøy. Bergarten hvor thorium-mineraliseringen er anriket ligger i en sone mellom larvikitt og kambrosilursedimenter på Arøy. Den anrikete sonen er breksiert. I denne sonen er det på sine steder mindre partier med basalt. Thorium ser ut til å være anriket i de soner som er sterkt jernholdige, en ting som også er funnet i Fensfeltet. I de sterkeste anomalier i sonen er thoriuminnholdet 1500—2000 g ThO_2 pr. tonn. Gjennomsnittsinholdet ligger betydelig lavere, ca. 200 g ThO_2 pr. tonn. Innholdet av Ce-jordarter er 1—2 ganger thori-uminnholdet. (Muntlig medd. fra bergingeniør N. A. Nielsen p. t. Joma Bergverk.)

Alunskifrene.

Særlig Oslofeltet var et av de områder som spesielt ble undersøkt under den videre systematiske undersøkelsen etter uran og thorium i Norge. Arbeidet ble utført ved Norges geologiske undersøkelse.

De beste soner i alunskiferen holdt fra 0,15—0,25 % vanadium og inntil 170 g pr. tonn uran. Undersøkelsene ble ledet av statsgeologene Siggerud og Skjeseth (20).

I tillegg til de data som er gitt av Skjeseth kan det her være verdt å nevne Siggeruds konklusjon vedrørende vurdering av alunskiferen som uran-malm (13).

1. Alunskiferens uraninnhold er lavt og ingen steder er det funnet anrikninger på over 180 g pr. t. For eksempel kan nevnes at den gjennomsnittlige gehalt i det store Løten-området er ca. 65 g pr. tonn U.

2. Alunskiferen er overalt meget finkornet. Uraninnholdet kan ingen steder anrikes ved noen mekanisk prosess. Uranet må taes ut under kjemisk-metallurgisk behandling av hele bergarten.

3. Alunskiferen er overalt rik på kalksoner (opptil 50 %). Dette nedsetter den gjennomsnittlige urangehalt (som er bestemt i skiferen), og nærmest umuliggjør en syreutlutning, da det vil kreves store syremengder bare for oppslutning av kalken.

4. Alunskiferen er overalt mer eller mindre metamorf. Dette vanskeliggjør en utlutning, da uranet er fastere bundet enn i de umetamorfte alunskifre.

5. Alunskiferen har overalt et ikke ubetydelig innhold av svovel og kullstoff. Andre elementer av økonomisk betydning spiller en helt uvesentlig rolle.

Siggeruds rapport slår dermed fast at selvom en i alunskifrene har en uranholdig skifer med meget stor utbredelse, så er gehaltene så små og vanskelighetene med utvinning så store at skiferen som uranmalm har svært liten økonomisk interesse i dag.

De mere omfattende, systematiske undersøkelser etter uran og thorium ble startet opp ved Norges geologiske undersøkelse i 1954 (16) (17). Samtidig med at NGU anskaffet en bil med radiometrisk utstyr så alle norske veier kunne bli kjørt opp og radiometrisk undersøkt, ble det ved institusjonen bygget ut et radiometrisk laboratorium. Veiprofilene som ble kjørt opp, og som utvilsomt representerer meget gode snitt gjennom de forskjellige bergarter i Norge, samt innsendte prøver fra forskjellige private, ga som resultat at flere detaljerte undersøkelser av spesielle områder måtte foretas i felt. I de senere år har man ved NGU plasert scintillometer i fly, og radiometriske undersøkelser utføres nå parallelt med elektromagnetiske målinger fra luften. Også disse undersøkelsene har ført til at enkelte radioaktive områder har måttet undersøkes på bakken. Områdene som hittil er fulgt opp etter radiometriske målinger ifra luften er vesentlig i det sydlige Oslofelt, og våre undersøkelser i laboratoriet på innsamlede prøver har vist to typer mineralisering:

1. Pegmatitter med tydelig thoritt (orangitt)-mineralisering.
2. Impregnasjoner i bergart (syenitt) og tydelig anrikning av zirkon. Zirkon er svakt radioaktiv og holder antagelig thorium.

En tredje type «anomali» har en også i dette feltet. Disse «anomali» opptrer når flyet passerer over nakent fjell i forhold til overdekke.

Det kan ofte være vanskelig å skille disse «anomalier» fra de virkelige anomaliene, og det har vist seg nødvendig å foreta feltundersøkelser for å fastlegge disse trekk.

I tillegg til de mere regionalt betonte undersøkelser som er nevnt ov er har det vært utført detaljerte undersøkelser på spesielle forekomster. I denne oversikten skal det tas med noen av disse forekomstene.

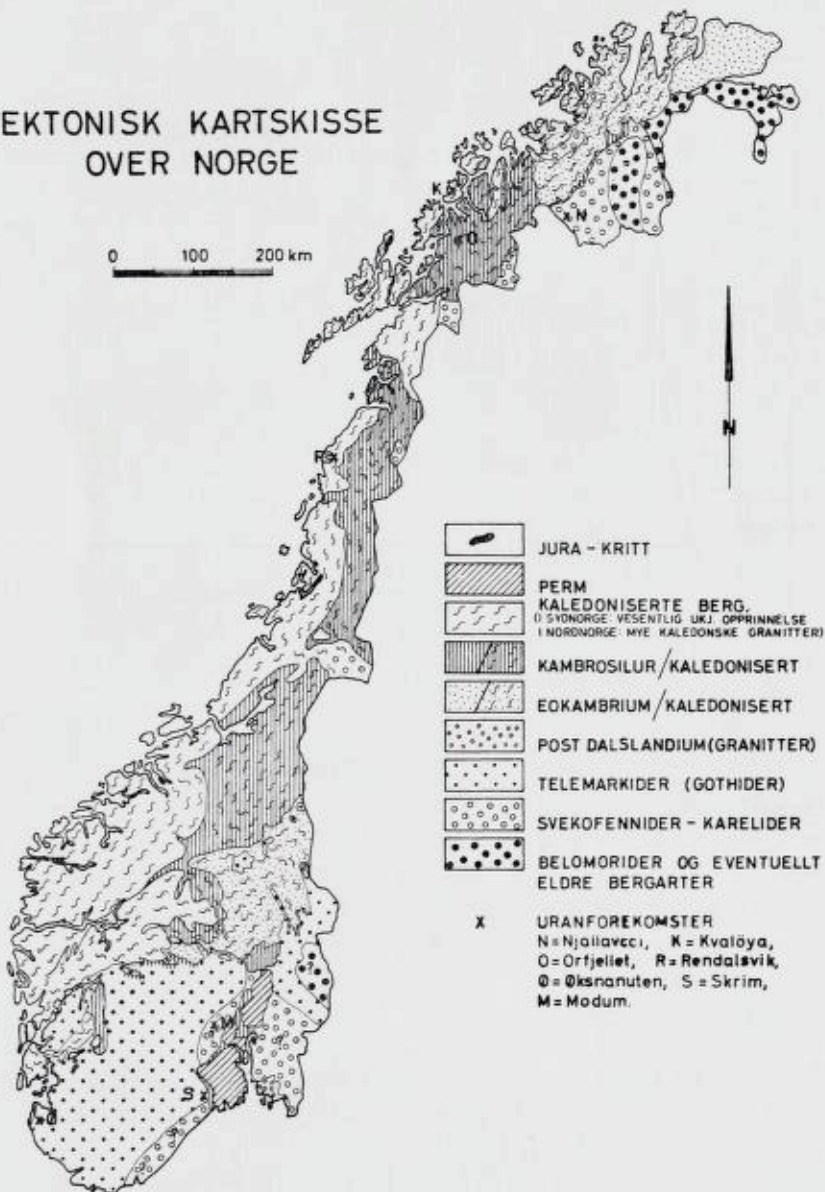
S. Kvaløy, Troms.










I midten av 1950-årene ble det foretatt radiometriske undersøkelser på S. Kvaløya vest for Tromsø. Geologisk ligger feltet i kyststrøkernes granitt- og gneiskompleks i Troms. Det har foregått en utstrakt granittisering i kaledonsk tid. De første undersøkelsene ble foretatt av daværende statsgeolog Finn J. Skjerlie, og mye av det som følger er hentet fra hans rapport (19). Bergarten er som nevnt vesentlig granitter og gneiser. I disse bergartene har bevegelser i jordskorpen ført til dannelse av skjærsoner, med den samtidige uranmineralisering. I overflaten påviste statsgeolog Skjerlie uranmineralet uranofan som sekundærmineral. Videre antok han at samarskitt muligens kunne være primærmineralet. Ved målingene fant han at gangene hadde en gjennomsnittsaktivitet som tilsvarte ca. 300 g pr. t U_3O_8 . Skjerlies konklusjon var at ut fra de foretatte undersøkelser var forekomsten for fattig til å drives økonomisk. Imidlertid synes det klart at det har foregått en sterk utlutning av uran i overflaten. Hvor sterkt urangehalten vil øke mot dypet, er det bare diamantboringer som kan avgjøre. Skjerlie sier videre: «Vi må imidlertid være klar over at en i en skjærsoner som på Middagsskarshøgda kan utlutningen strekke seg dypt på grunn av at vannet lett trenger inn i de mange sprekker. Kostbare undersøkelser av forekomsten vil jeg derfor fraråde». Det ble imidlertid den gang foreslått at mindre orienterende borhull skulle settes på for å få rede på hvorvidt urangehalten økte mot dypet, og om det var grunnlag for større undersøkelser. Ifølge Skjerlies rapport skal samarskitt være primærmineralet og uranofan sekundærmineralet.

Denne antakelsen (selvom begge mineralene er identifisert) må trekkes noe i tvil. For det første nevnes det at uranofan opptrer langt hyppigere enn samarskitt. Videre vet vi at uranofan holder opptil 65 % U_3O_8 , mens samarskitt er et relativt uranfattig mineral, og er et såkalt refractory mineral. Noe av det innsamlede Kvaløya-materialet ble derfor senere bearbeidet. Materialet ble knust og separert med acetylentetrabromid, og etterpå med Franz magnetseparator. De forskjellige magnetiske frak-

TEKTONISK KARTSKISSE OVER NORGE

0 100 200 km



-  JURA - KRITT
-  PERM
-  KALEDONISERTE BERG.
(I SYDNORGE VESENTLIG U.K. OPPRINNELSE
I NORDNORGE: MYE KALEDONISKE GRANITTER)
-  KAMBROSILUR / KALEDONISERT
-  EOKAMBRIUM / KALEDONISERT
-  POST DALSLANDIUM (GRANITTER)
-  TELEMARKIDER (GOTHIDER)
-  SVEKOFENNIDER - KARELIDER
-  BELOMORIDER OG EVENTUELLT
ELDRE BERGARTER

- X URANFOREKOMSTER
 N = Njallavcci, K = Kvaløya,
 O = Orfjellet, R = Rendalsvik,
 Ø = Øksnuten, S = Skrim,
 M = Modum.

Fig. 1.

sjonene ble så målt radiometrisk, og en fikk tydelig utslag i enkelte fraksjoner. Se fig. 2. Langs absissen er strømstyrken på magnetseparatoren avsatt, langs ordinaten er høyeste målte aktivitet brukt som enhet.

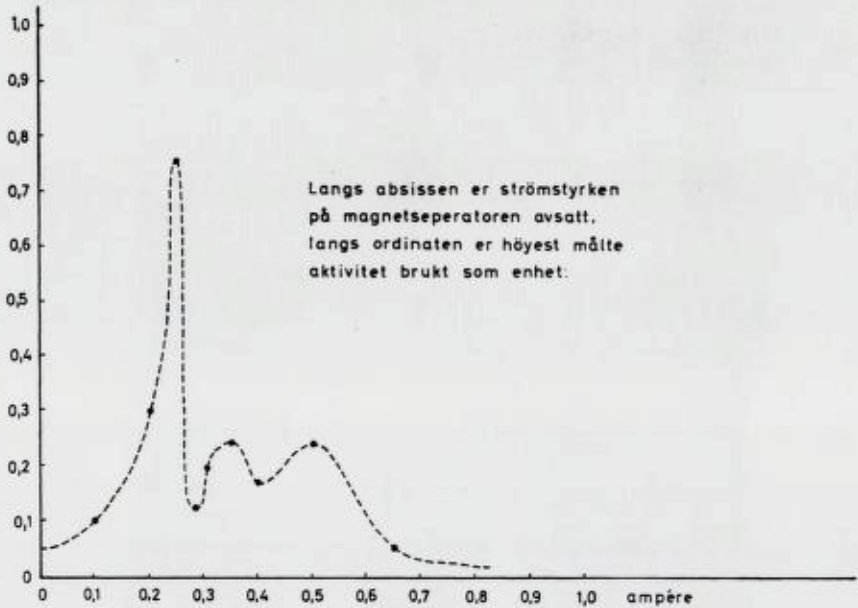


Fig. 2.

Som det fremgår av kurven, har en tydelig en radioaktiv anriktning i fraksjon 0,25 A, videre svake topper i fraksjonen 0,35 A og 0,50 A. Mineralet i fraksjon 0,25 A var lett å plukke ut. Det er ikke metamikt og viste på røntgen uraninittstruktur. At en har uraninitt som primærmineral er også meget mer sannsynlig sålenge en vet at uranofan er sekundærmineral. Mineralet i fraksjon 0,50 A er identifisert som euxenitt. Mineralet er metamikt.

Statsgeolog Sverdrup var sommeren 1958 sammen med daværende statsgeolog Thor Siggerud på Kvaløya og gikk over de radioaktive områdene. De var begge enige med Skjerlie i hans uttalelse om at radioaktiviteten er knyttet til skjærbevegelser i området, og at den radioaktive sonen på Middagsskarshøgda går i retning NNØ — SSV. Sverdrup var derimot ikke enig i at det er en typisk sekundærmineralisering en har på Kvaløya. Det virker mer som en primærmineralisering. Hovedmineralet er uraninitt. Noe euxenitt og samarskitt (Skjerlie) er funnet, videre uranofan (Skjerlie) og kasolitt rundt uraninitten.

Tilslutt kan det nevnes at et svensk selskap har foretatt visse videregående undersøkelser (diamantboringer m. m.), men NGU kjenner ikke resultatene av disse arbeidene.

Njallaavzi, Troms fylke.

Under NGU's undersøkelser på Finnmarksvidda sommeren 1955 fant daværende statsgeolog Tore Gjelsvik et område i Njallaavzi som viste radioaktive anomalier. Sommeren 1956 ble det utrustet en ekspedisjon for å fortsette undersøkelsene. Meddelelsene over feltet er basert på Finn Skjerlies rapport (18) skrevet etter disse undersøkelser.

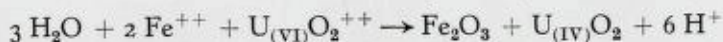
Forekomsten ligger i Njallaavzi mellom Njallaajokkas utløp i dalen og NV for Avzevarri i Troms fylke. Dalen er her meget trang og bratt. I bunnen er det tett bjerkekratt, og dalsidene er dekket av ur. Det er således vanskelig å ta seg frem i dalen.

Uranforekomsten står i nordvestre dalside. Bunnen er fullstendig dekket av løsavleiringer, det er vanskelig eksakt å fastlegge hvor forekomstens sydøstlige grense går. Uranmineraliseringen opptrer i en albitt-karbonatbreksje som faller meget sterkt sydøst. Den uranførende breksje har en utstrekning på ca. 3,5 km. Breksjen er ikke jevnt mineralisert, og gehaltene varierer meget. Breksjens mektighet er ca. 20—30 m. Det er utført laboratoriarbeid på det innsamlede materiale som viser at uraninitt er primærmineralet. Mineralet opptrer som sprekkefylling i den breksierte albittsyenitt. Uraninitten danner colophorm struktur i assosiasjon med hematitt, kloritt og kalkspat. Feltundersøkelsene og utførte boringer viser imidlertid at forekomsten må betraktes som forholdsvis fattig. Det er sannsynlig at gehalten (gjennomsnitt) neppe vil gå over 0,01 % U_3O_8 , eller 100 g U_3O_8 pr. tonn bergart. Forholdet er imidlertid at det bare er forekomstens nordvestlige side som er undersøkt, det er således mulig at uranmineraliseringen er større i de sentrale deler av breksjen. En undersøkelse av dette vil være forbundet med store vanskeligheter og store utgifter. Forekomsten ligger ugunstig til uten land- og sjøverts kommunikasjoner. Det er lite gunstig klima og strenge vintre.

Uranmineraliseringen er tydelig yngre enn albittsyenitten på stedet, da uraninitten opptrer på sprekker i albitt. Dog er det en viss sammenheng mellom mineraliseringen og albittiseringen, idet uraninitt bare opptrer i forbindelse med de grovkornede, røde albittsyenitter. I tillegg til det primært dannede uraninitt er det påvist sekundær uranofan.

Uranmineraliseringens genesis.

Uranmineraliseringen er ifølge Skjerlie en tydelig yngre dannelse enn albittsyenitten. Tross dette er det en sammenheng da uraninitt opptrer i forbindelse med de grovkornede albittsyenitter. Hydrothermalt dannet uran antas å kunne bli transportert som uranyllioner i karbonatrike løsninger. Utfellingen av de primære uranmineraler kan foregå ved en reduksjon. Således kan Fe^{++} virke reduserende på uranyllioner etter ligningen:



Denne reaksjon kan samtidig forklare den utbredte assosiasjon av hematitt og uraninitt.

I Njallaavzi synes det som om uranmineraliseringen best kan forklares med at den har foregått samtidig med karbonatiseringen, idet karbonatrike løsninger var istand til å transportere uranyllioner. Imidlertid støter en her på vanskeligheter, da det bare er en meget liten del av de karbonatrike breksjer som fører uraninitt, og det vil bli vanskelig å forklare forbindelsen mellom uranmineraliseringen og albittsyenittene. Skjerlie mener problemet best løses ved å anta at uranmineraliseringen foregikk like etter dannelsen av albittsyenittene. Uranet ble transportert som uranyllioner i karbonatrike løsninger. Uraninitt ble da utfelt sammen med hematitt og kalkspat på sprekker. Senere fikk vi en storstilt tilførsel av karbonatrike løsninger som førte til dannelsen av de store mengder av karbonatholdige bergarter. I dette tilfelle førte imidlertid ikke løsningene uran. Denne senere tilførsel av kalsium i form av karbonat kan også forårsake dannelsen av det sekundære uranmineral uranotil som er funnet.

Orrefjellet, Salangen, Troms.

I Orfjellet ble det sommeren 1960 foretatt undersøkelser av et mindre granittisert område, som ligger inn mot kambrosiluriske skiferbergarter. Uranet er her anrikt i de deler av granitten som ligger nærmest skifrene. Av radioaktive mineraler er bare uranotil funnet, som må betraktes som sekundært mineral, videre primærmineralet uraninitt. Aktiviteten varierer innen vide grenser. I en enkelt linse, ca. 1 m² stor, er aktiviteten ca. 2000 g pr. tonn, mens rustoner i granitten holder 300—1000 g pr. tonn, og selve bergarten som er den langt overveiende holder ca. 40—130 g pr. tonn, alt regnet som U₃O₈. Det partiet hvor anrikningen er størst, utgjør ca. (10 . 50) m med ca. (200—250) g pr. tonn. (undersøkelsene er utført av statsgeolog Chr. Dick Thorkildsen.)

Øksnanuten, Rogaland.

Fra en privatmann i Rogaland mottok NGU sommeren 1958 en prøve for radiometrisk undersøkelse. Prøven besto i alt vesentlig av serpentin. Det viste seg at prøven var svakt radioaktiv. Serpentina var gjennomført av kvartssårer og uranmineralet (ukjent) syntes å sitte i kvarts. Senere sendte samme person inn andre prøver, nå av granatholdig, granodiorittisk, sterkt forvitret bergart, som var radioaktiv. Dette førte til at NGU foretok en befaring av området. Det var da satt noen skudd i forekomsten, og i et av skuddene hvor aktiviteten var meget høy, opptrådte store mengder av sekundærmineralet uranotil. Noe primærmineral ble ikke funnet. Ut fra hva en kunne se i dagen, syntes det som om radioaktiviteten var knyttet til kvartssårer og linser og hadde relativt ujevn og sporadisk opptrøden i felt. Det ble likevel rådet til å foreta en diamantboring av feltet for å få klarhet i forholdene (23). For det første kjente vi bare sekundærmineralet uranotil. Videre var overflaten sterkt forvitret, og det var mulig aktiviteten ville øke nedover hvor forvitringen og utlutningen avtok, og endelig var det usikkert ut fra overflaten hvorvidt uranet var bundet til kvarts. Undersøkelsen av borkjerner viste at uranet også mot dypet opptrådte svært sporadisk, og tildels i lavere konsentrasjoner enn i de rikste linsene i dagen. Gjennomsnitt i den rikste sonen i borhullet var ca. 120 g pr. tonn U_3O_8 mens gjennomsnittet for linsene i dagen var ca. 750 g pr. tonn. Bergarten var imidlertid mye friskere mot dypet, og uraninnhold ble påvist. Uraninnhold opptrer i oktaedre opptil 3—4 mm. Mineralet er ikke metamikt. (Forekomsten vil bli behandlet mer detaljert i en senere artikkel.)

Rendalsvik grafittforekomst, Holandsfjord, Nordland.

Rendalsvik grafittforekomst ligger i de kaledonske bergarter på sydsiden av Holandsfjord. Området hvor forekomsten ligger er beskrevet av Skjeseth og Sørensen (NGU 1952) (21). Bergartene stryker Ø-V og er foldet til et antiklinorium med akse fallende svakt mot vest. Bergartene som er granittiserte sedimenter, utgjøres av glimmerskifer med kvarts, grafittlag og kalklag. Grafittlaget har tidligere vært utnyttet økonomisk, men driften ble nedlagt som lite regningssvarende.

Et stort antall prøver er tatt i forbindelse med karteringen av området, og den mineralogiske sammensetning av grafittlaget er utført under ledelse av daværende konservator, dr. philos. Henrich Neumann, Geologisk

museum, Oslo (5), i nært samarbeid med IFA, SI, FF, NTH og NGU.*)

Grafittlagets mineralogiske sammensetning er vist ved tabell under, og er et gjennomsnitt av en rekke kanalprøver. Enkelte prøver kan variere meget fra tabellen.

Kvarts	35 %
Glimmer (mørk)	35 %
Feltspat	15 %
Grafitt	7 %
Ertser	8 %

Ertsfraksjonen utgjøres hovedsakelig av magnetkis. Videre er funnet rutil, spinell, svovelkis, sinkblende og uraninitt. Den umagnetiske del av tungfraksjonen inneholder ca. 0,5 % U. Uraninittkornene opptreer statistisk i bergarten og er såvidt store at friknusing er tilnærmet fullstendig ved nedmaling til — 100 mesh. Uraninnholdet varierer fra ca. 30—200 g pr. tonn. Bestemmelsene er hovedsakelig kjemiske. Beregning av forrådene er vanskelig, dels på grunn av de geologiske forhold, dels på grunn av varierende uraninnhold. Videre kommer det forhold inn at resultatene er forskjellige fra samme prøve analysert ved forskjellige laboratorier.

Dr. Neumann anslår forrådene til å være:

Tonn påvist malm	19,0 (32,5)
Tonn uran sannsynlig malm	70,3 (104,7)
Tonn uran mulig malm	50,1 (88,3)

Tallet i første kolonne er basert på kjemiske analyser og betraktes som minimumsverdier. Tallene i parentes baseres på G.—M.-målinger. Dr. Neumann anser de siste tallene for de mest sannsynlige.

Drivverdigheten av forekomsten vil avhenge av produksjonsomkostningene og videre av de to hovedprodukter glimmermel og grafitt. Uran vil i økonomisk henseende spille liten rolle med de priser som er for uran i dag.

*) IFA Institutt For Atomenergi.

SI Sentralinstitut for Industriell Forskning.

FF Forsvarets Forskningsinstitut.

NTH Norges Tekniske Høgskole.

NGU Norges geologiske undersøkelse.

Uranundersøkelsene ved Knaben Molybdængruber.

Norges geologiske undersøkelse foretok i oktober 1955 en undersøkelse av uranmineraliseringen i Knaben Molybdængruber. Undersøkelsene ble ledet av statsgeolog Thor Siggerud, mens laboratoriearbeidet ble utført ved T. van Autenboer (14).

Bakgrunnen på Knaben er 0,025 MR/hr, ca. 4—5 ganger det man ellers finner. Aktiviteten i gruben ble funnet fra 0,03—0,015. Store deler av gruben viste 0,05—0,07, mens andre partier viste ca. 0,1 MR/hr. Dette siste svarer til ca. 100 g pr. tonn, forutsatt at all radioaktivitet kommer fra uran (undersøkelsene er foretatt med PRI-scintillometer). Den laveste bakgrunn ble funnet i amfibolitt, høyest i noe kisimpregnert bergart.

Undersøkelser i dagen viser tildels store variasjoner innen samme bergartstype, enkelte ganger større enn mellom forskjellige bergarter.

I slammet fra vaskeriet viser det seg at det blir en anrikning av radioaktivitet fra mineraler i tungfraksjonen. Aktiviteten går opptil 1 MR/hr. Tungfraksjonen ble undersøkt i laboratoriet og følgende radioaktive mineraler ble funnet: uraninitt, monasitt og xenotim.

Uraninitt finnes i små terninger foruten pyritoedre. Noen terninger inneholder svovelkis i sammenvoksning med uraninitt. Siggerud anser det ikke usannsynlig at uraninitt er utbyttet med svovelkis (pseudomorfose). Monasitt forekommer i avrundete korn ved store inneslutninger. Xenotim opptrer i krystaller. Røntgenundersøkelser viser at i denne uraninitt er den indre struktur noe forskjellig i forhold til en normal uraninitt. Det ble således antatt at uraninitten holdt ca. 10—15 % thorium-oksyd, og om dette er riktig, må en tro en har en mesotermal dannelse.

Selvom hele området er noe mere radioaktivt enn tilsvarende granittområder andre steder i landet, er det lite trolig at de urankonsentrasjoner en kan oppnå vil få noen økonomisk betydning.

Modum — Snarum, Buskerud.

I traktene Modum — Snarum arbeidet i årene 1955—56 et team fra NGU med en undersøkelse over de radioaktive anomalier innen området. Teamet besto av statsgeologene Siggerud og Skjerlie samt assistentene Erikson, Wiik og Van Autenboer. Laboratoriearbeidet ble i all vesentlighet utført av sistnevnte, likeledes den avsluttende rapport (25).

Geologisk hører området til Kongsberg — Bamble-komplekset med bergartstyper som utgjøres av amfibolitter, kvartsitter og forskjellige gneistyper med hovedstrøk N-S. Videre er det en rekke pegmatitter innen området.

Fahlbånd med strøk N-S og steilt fall kan følges på begge sider av Snarum-elven. Den betydeligste av sonene ligger på vestsiden og kan følges i ca. 10 km med en maksimal bredde på 150 m. I denne hovedsone ble det i årene 1776—1898 drevet en intens grubedrift på kobolt.

Radioaktive anomalier ble funnet over hele området, men ingen så store at de har økonomisk interesse.

I fahlbåndsonene er det vanligvis høyere aktivitet enn i omgivende bergart, ca. 5—10 ganger. Lokalt ble det funnet prøver med 0,3 % U. I samme prøve var det også et høyt innhold av kobolt.

Rosenqvist har påvist (11) en avtagende koboltmineralisering mot dypet, og teamet fra NGU kunne påvise det samme for uran.

Radioaktiviteten i fahlbåndene stammer hovedsakelig fra små kubiske uraninitt-krystaller, en mindre andel skyldes nærvær av zircon og monasitt.

Utenom fahlbåndene ble det funnet en rekke smale impregnasjoner som kun er av mineralogisk interesse.

I sprekkefyllinger i grønnskifer ble mineralet brannerite funnet for første gang i Norge, og det er beskrevet av Van Autenboer og Skjerlie (26).

I glimmerrike soner i pegmatitter ble uraninitt og kasolitt funnet.

I sprekkesoner i amfibolitt ble kubiske krystaller av uraninitt funnet, videre ble det i breksierte soner i gneis like ved pegmatitter funnet en radioaktiv anatas.

Undersøkelsene viste at en må skille mellom to mineraliseringsperioder av uran.

Den første fant sted i prekambrium, da pegmatittene ble dannet ved krystallisering av en sen-magmatisk restløsning, samtidig med en hydrotermal fase som er utkrystallisert i sprekker og breksiesoner.

Den andre og betydeligste fant sted i perm, da en Ni-Co-U-mineralisering i svakhetssoner ga opphav til fahlbåndene. Dette skjedde før de overliggende kambrosilurlag som er lite permeable, var fjernet.

Rosenqvist (11) og Vokes (27) mener at mineraliseringen fant sted i prekambrium. I en publikasjon av D. Gammon, som antagelig vil komme ut i 1967 vil det samme syn bli hevdet. (Muntlig meddelelse ved professor Vokes.) Disse tre sistnevnte publikasjoner omhandler ikke uran, som økonomisk er av mindre interesse.

Spendivegg, Kviteseid, Telemark.

Bergartsprøver i samlingene på Geologisk Museum fra de forlenget nedlagte kopper-gruver i Kviteseid, viste en meget svak radioaktivitet. Undersøkelser på de gamle berghaller og i de av gruvene som var tilgjengelige bekreftet en meget svak aktivitet.

Bearbeidelse av disse arkoselignende prøver viste at det foruten gedigent sølv og kopper, malakitt, kopperlazur, kuperitt og bornitt også var små mengder av uranvanadatene carnotitt og tyuyamunit tilstede.

Det er første gang disse to vanadater er funnet i Norge. Bearbeidelsen av materialet er utført av daværende statsgeolog Siggerud og statsgeolog Thorkildsen. En nærmere beskrivelse vil følge.

Sammenstilling.

Setter vi opp skjematisk det vi vet om thorium og uranets opptreden i Norge, finner vi:

1. Thorium.

- a) Thorium opptrer i Oslofeltets syenittiske til nefelinsyenittiske bergarter. De viktigste thoriumholdige mineraler en finner er thoritt ThSiO_4
orangitt, ThSiO_4 (ifølge Goldschmidt Ce-holdig)
I tillegg til dette har en også thoriumholdig zirkon m. m.
- b) Utover dette har en våre feltspat-kvartsforekomster med flere thoriumholdige mineraler, hvorav thoritt og orangitt også her er de langt viktigste.
- c) Vår betydeligste thoriumreserve, som vi kjenner i dag, er Rødberget i nærheten av Ulefoss. Ertsmineralet er her et parisittlignende mineral som opptrer meget finfordelt i karbonatbergarten. Denne bergart holder også ca. 2 % Ce-jordarter og ca. 0,1 % nioboksyd.

2. Uran.

Uran synes sålangt vi i dag vet å være knyttet til følgende bergarter i Norge:

- a) Accessorisk i eruptivbergarter (granitter, gneiser m. m.).
Eksempler: Iddelfjordsgranitten og prekambriske gneiser, f. eks. ved Knaben osv.

- b) Finfordelt i våre kambriske skifre.
- c) Bundet til kvarts og kalkspat i breksierte soner og på sekundære kvartsganger. Sekundære er her å oppfatte sett i relasjon til bergarten. Eksempler: Njallaavzi, Kvaløya, Øksnanuten m. fl.
- d) På pegmatitter.

a) Accessorisk opptreden av radioaktive mineraler i granitt og lignende bergarter er så velkjent at det ikke er grunn til å komme nærmere inn på det her. De mest alminnelige accessoriske mineraler her er i denne forbindelse; uraninitt, monasitt, orthitt, zirkon, euxenittmineraler m. m. Ved de radiometriske undersøkelser av granittfelter må en være klar over at kaligehalten i bergarten spiller en viss rolle. Likeledes graden av overdekke. Det har således vist seg etter radiometriske undersøkelser fra luften over våre bergarter i syenittområdene i Larvik-distriktet, at en kolle av syenitt som stiger opp gjennom overdekke har vist like stor aktivitet i relasjon til bakgrunnsnivået, som et sikkert zirkonanrikt felt viste i forhold til en vanlig syenitt. Dette viser at det er helt nødvendig å foreta en systematisk kontroll og undersøkelse på bakken av hver enkelt anomali registrert fra luften. Med slike radiometriske undersøkelser fra luften må også terrengforholdene forøvrig tas med i vurderingen, da en ved lav flyvning ofte kan motta en stråling fra sidefjellet.

b) Vedrørende våre kambriske skifre er disse såvidt grundig behandlet av andre (Skjelseth, Siggerud) at det er liten grunn til å behandle de mer spesielt her. Det eneste som kan tilføyes er at uran i våre kambriske skifre i det alt vesentlig er knyttet til de umetamorfe skifre innenfor Oslofeltet. Uran er relativt flyktig, og det synes som om svært små regionale forstyrrelser må til før uranet forsvinner.

c) Kvartsførende og breksierte uransoner. Av slike forekomster finnes det flere i Norge. Såvel Njallaavzi i nord som Øksnanuten ved Stavanger, Modum-feltet og et felt nord for Skrim ligger i prekambriske bergarter. (Fig. 1).

Kvaløya og Orfjellet ligger begge i kaledonske gneiser.

Felles for alle disse områdene (også Rendalsvik-feltet) er at de ligger i relativ nær kontakt til kambrosiluriske skifre og endog sannsynligvis til de undre lag av disse. Etter det en vet fra Oslofeltet er uran tydelig anrikt i de kambriske skifre. Videre vet vi at uranet er relativt lett flyktig og under metamorfe prosesser lett forsvinner. Således finner vi ingen uranaktivitet i våre regionalmetamorfe skifre. Vi må ha lov til å tro at

disse skifrene også primært var uranførende. En tanke kunne det derfor være å tro at uranmineraliseringen i de felter som er nevnt over er av kaledonsk alder ved en mobilisering av uranet fra de kambriske skifre under regionalmetamorfosen, og en transport og nyavsetning i «roligere» områder. Om denne tanken er riktig, vil det være en naturlig gang for en videre radiometrisk undersøkelse i Norge, i første rekke å konsentrere seg om randområdene i våre kambrosiluriske bergarter, og spesielt i breksierte områder og kvartsganger, hvor eventuelle uranløsninger lett har kunnet finne frem og blitt avsatt.

d) Pegmatittforekomster. De norske granittpegmatitter er kjent i utlandet, kanskje spesielt p.g.a. sitt innhold av sjeldne mineraler hvorav flere er uranholdige. Under har vi forsøkt å sette opp en liste over samtlige norske uranholdige mineraler, hvorav de langt fleste er funnet på de norske granittpegmatittene. Av spesiell litteratur vil vi her henvide til H. Bjørlykke, N.G.T. 1934 (1), H. Bjørlykke, NGU 1939 (2), I. Oftedal, NGU 1949 (8), T. Sverdrup, NGU Årbok 1959 (22) og H. Neumann, N.G.T. 1959 (6).

Tabelloversikt over uran- og thoriumholdige mineraler funnet i Norge.

I minerallisten er de U- og Th-holdige mineraler med et innhold av radioaktivt element $> 0,1$ tatt med. Endel av disse mineraler er sjeldne, og de er merket med stjerne.*

De kjemiske formler følger stort sett Strunz: Mineralogische Tabelle, 3. Auflage. For de fysiske egenskaper er det nyttet data fra E.Wm. Henrich: Mineralogy and Geology of Radioactive Raw Materials; MacGrawHill 1958. Klockmann's Lehrbuch der Mineralogie, 11. Auflage og G. Zeschke, Prospektion von Uran und Thorium-Erzen, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung 1956.

I siste kolonne i tabellen er angitt den første omtale av vedkommende mineral. For litteratur publisert før 1948 henvises videre til Oversikt over Norges Mineraler av Ivar Oftedal, og Feltspat V av Harald Bjørlykke hvor en rekke litteraturreferanser er oppgitt.

Navn	Formel	UO ₃ %	ThO ₂ %	H	Sp.-vekt	Glans	Farge	Fore-komst-type	Litteratur og eventl. bemerkn.
Allanitt									Engelsk betegnelse for ortitt.
Alvitt									Zirkon-variant med opptil 16 % HfO ₂ Hevesy and Jantsen (1924) Z. anorg. und allgem. Chem. 133: 113-118
Ancyllitt*	(Ce, La) ₄ (Sr, Ca) ₃ (CO ₃) ₇ (OH) ₄ · 3 H ₂ O	0,2	4,5	3,95			Brun-gulgrønn		(6) i litteraturlisten
Bastnæsitt*	(Ce, La)F · CO ₃	<0,5	0,4	4-4,5	4,8-5,2	Glass-rav	Voks-gul Pneurod brun lytisk.		Sverdrup, Bryn, Sebo (1959), NGT, Bd. 59.
Betafitt	(Ca, Ce, Y, U)(Nb, Ti, Ta) ₂ (O, OH) ₇	21	→1,3	4	3,8-5,3		Svart brun grønn		(1) i litteraturlisten
Blomstrandin	(Y, Ce, Th, Ca, U)(TiNb, Ta) ₂ O ₆								Var. av euxenitt. Brøgger (1906) Vid.-Ak. Skr. 1, Nr. 6.
Branneritt*	(U, Ca, Th, Y)(Ti, Fe) ₂ O ₆	27-43	4,4	4-5	4,5-5,4	Glass-aktig	Svart mørkebrun	Pegm.	(25) i litteraturlisten
Brøggeritt		70	14	5-6	8,80		Svart mørkegrå		Th-rik uranitt. (4) i litteraturlisten

Carnofitt	$K_2(UO_2 \cdot VO_4)_2 \cdot 3 H_2O$	63-65	2-3	4,5	Gul, gul-grønn	Arkose	
Cerianitt*	(Ce, Th)O ₂	5,1	3,2				Neumann og Bergstøl (1963) N. G. T. Bd. 43
Clarkeitt	Na ₂ U ₂ O ₇	70-80	4-4,5	6,4	Mørk rød-brun	Sek. min.	(22) i litteraturlisten
Cleveitt						Pegm.	Var. av uranitt med opptil 10 % sjeldne jordarter. (7) i litteraturlisten
Cyrtolitt						Pegm.	Eldre betegnelse for rad. metamikt zircon. Si erstattes av (OH)– (Se alvitt).
Daviditt	(FeII, sj. jord, U, Ca) (TiIV, FeIII, VIII) ₃ (O, OH) ₇	20	0,1	5-6	Mørke-brun svart	Pegm.	Neumann og Sverdrup (1960) NGT Bd. 40
Euxenitt	(Y, Ce, U) (Nb, Ta, Ti) ₂ (O, OH) ₆	14	5	5,5-6,5 4,6-7,5	Svart mørke-brun	Pegm.	$\frac{TiO_2}{Nb_2O_5 + Ta_2O_5} \leq 3$ (12) i litteraturlisten
Ellsworthitt*		12				Karbo-natitt	Uranholdig pyroklor. (28) i litteraturlisten.
Fergusonitt — Formanitt	Y(Nb, Ta) ₄ O ₄ - VTaO ₄	8,2	5	5,5-6,5 4,2-5,8	Brun svart	Pegm.	Brogger (1906) Vid.-Ak. Skr. 1, Nr. 6.

Navn	Formel	UO ₂ %	ThO ₂ %	H	Sp.-vekt	Glans	Farge	Fore-komst type	Litteratur og event. bemerkn.
Fourmarieritt	$8(\text{UO}_2)(\text{OH}_2) \cdot 2\text{Pb}(\text{OH})_2$	78	0	3-4	6,05		Rød, red-gulbrun	Rød, red-gulbrun	(22) i litteraturlisten
Gadolinit	$\text{Y}_2\text{FeBe}_3(\text{O}, \text{SiO}_4)_3$	4,0	1,7	6,5-7	4,5		Svart brun-svart	Pegm.	Brogger (1906), Vid.-Ak. Skr. 1, Nr. 6.
Gummitt	Pb, Ca, Ba, U, Th,	82	3	2,5	3,9-6,4		Orange-red-brun	Sek.	En betegnelse som ble brukt tidligere for en rekke uidentifiserte vannholdige uranoksyder.
Kasolitt*	$\text{Pb}(\text{UO}_2)(\text{SiO}_4) \text{H}_2\text{O}$	49		4-5	5,9		Oker gul	Pegm.	(19) i litteraturlisten
Lanthanitt*	$(\text{La}, \text{Dy}, \text{Ce})_2(\text{CO}_3)_3 8\text{H}_2\text{O}$					Perle-mor	Hvit-	Pegm.	Sæbo (1961) NGT Bd. 41.
Malakon									Metamikt zirkon, hydrodret. Scheerer (1844).
Mikrolitt*	$(\text{Ca}, \text{Na})_2(\text{Ta}, \text{Nb}, \text{Ti})_2 \text{O}_6(\text{OH}, \text{F}, \text{O})$	1-15	6	4	6,5		Gul-brun		Ta-rik pyroklor. Brogger (1906) Vid.-Ak. Skr. 1, Nr. 6.
Monazitt	$(\text{Ce}, \text{La}) \text{PO}_4$	→0,5	<15	5-5,5	4,8-5,5	Rav-lign.	Rød gul brun	Pegm.	Brogger (1906) Vid.-Ak. Skr. 1, Nr. 6.
Ortitt	$(\text{Ca}, \text{Ce}, \text{La})_2(\text{Al}, \text{Fe})_3(\text{O}, \text{OH})(\text{SiO}_4)_3$	0,06	3,2	5,5	3-4,2	halv met. Fett-akt	Beksv. brun rust-brun	Aks. i gran. og pegm.	Kjerulf (1879). Udsigt over det sydlige Norges geologi.

Parisitt*	$\text{CaCe}_2\text{F}_2(\text{CO}_3)_4$	0,63	spor	4,5	4,35	Brun- gul -filla	Pegm. Zeitschr. Krist. 16	Brogger (1890)
Polykraas								TiO_2 — > 3 $\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{Ta}_2\text{O}_5$ Se euxenitt
Polymignitt						Halv- met. Fett- akt.	Nef. sy. pegm.	Zr-holdig priotitt. Berzelius (1824). Vit.- Ak. Stockh. 338
Prioritt							Gran. pegm.	Se blomstrandin.
Pyroklor	$(\text{Na}, \text{Ca})_2(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_2\text{O}_6$ (OH, F, O)	1-15	8	4	6,5	Brun- gul	Nef. sy. pegm.	Org. beskr. Wöhler (1826). Pogg. Ann. 7, 417.
Risoritt*							Pegm.	Ti-rikt ledd i Fergu- sonitt-Formanitt- rekken.
Samarskitt	$(\text{Y}, \text{Er})_4(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_{13}$	17	4	5-6	5,4-6,2	Halv. met. mørke- brun	Pegm.	Brogger (1906) Vid.- Ak. Skr. 1, Nr. 6.
Stillwellitt	$(\text{Ce}, \text{La})\text{BeSiO}_5$		0,5			Brun gul		Neumann, Bergstol, Nilssen (1966) NGT Bd. 46.
Synchesitt*	$\text{CaCe}(\text{F}, \text{CO}_3)_2$		0,30					(24) i litteraturlisten
Tengeritt	$\text{CaY}_3(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$					Hvit	Sek.	Forvittringsprodukt på gadolinit og thalenitt.

Navn	Formel	UO ₂ %	ThO ₂ %	H	Sp.-vekt	Glans	Farge	Fore-komst type	Litteratur og event. bemerkn.
Thalenitt	Y ₂ Si ₂ O ₇	1	12	4,5-5	4,1-6,4	Glass-aktig	Gronn gul	Pegm.	Vogt (1922), Vid.-Ak. Skr. 1 nr. 1, p. 19.
Thoritt	ThSiO ₄	5	49-75	4,5-5	4,1-6,3	Glass-aktig	M.rod brun svart	Pegm.	Berzelius og Esmark, Vit. Ak. Handl. Stockholm. 1829, 1.
Tuyamunitt	Ca ₃ (UO ₂)(VO ₄) ₂ · 5-8 1/2 H ₂ O	57-58		2-3	3,7-4,3		Gronnl. Arkose gul		
Tysonitt	(Ce, La)F ₃			4,5-5	6,1		Lys voksgul redd-brun		Sverdrup, Sebo, Bryn (1965), NGT. Bd. 45.
(Uranbekerts) Uraninitt	(U, Th)O ₂	65-80	10	4-6	6-8	Halvmet. beakt. koks-lign.	Brun svart gra	Pegm. Hydroterm. gan-ger	Scheerer 1897, Pogg. Ann. 77, 570
(Uranotil) Uranofan	Ca(H ₂ O) ₂ (UO ₂)(SiO ₄) ₂ · 3 H ₂ O	66		2,5	3,8		Honning-gul	Sek.	(19) i litteraturlisten
Xenotim	YPO ₄	0-3,5	0-3,3	4-5	4,5-5,1	Fettgl.	Gul	Pegm.	Brogger (1906) Vid.-Ak. Skr. 1, nr. 6.
Yttrialitt		1	6-10	5-5,5	4,6	Glass-akt.	Gronn gul	Pegm.	Th-holdig Thalinitt

Yttrofluoritt	(Ca, Y) F _{2-2,33}		Spor	4	3,6-5,1		Pegm.	Th. Vogt (1911) Centralblatt Min. 373.
Yttrotantalitt	Y ₄ (Ta ₂ O ₇) ₂	17	4	5-5,5	5,4-5,9	Glass- tett	Svart mørk- grå	Brogger (1906) Vid.- Ak. Skr. 1, nr. 6.
Yttrotitanitt	(Ca, Y, Ce) Ti ₂ SiO ₅			<0,1			Aks. og pegm.	Erdmann, Scheerer (1844)
Zircon	ZrSiO ₄	→ 3	→ 5	7,5	3,0-4,8		Brun- rød brun gulak- tig	Aks. Brogger (1890) min. Zeitschrift Krist. 16

Litteratur.

1. Bjørlykke, H. (1934): The Mineral Paragenesis and Classification of Granite Pegmatites of Iveland, Setesdal, Southern Norway. N. G. T. 14, 211.
2. Bjørlykke, H. (1939): Feltpat V. De sjeldne mineraler på de norske granittiske pegmatittganger. NGU nr. 154.
3. Bjørlykke, H. (1952): Norske Uranforekomster. Vi Vet. Tiden Norske Forlag.
4. Blomstrand, C. W. (1883): Om et uranmineral från trakten av Moss samt om de nativa uranarterna i allmänhet. Geol. För. Förh. VII.
5. Neumann, H. (1959): Uran i Rendalsvik. Bergarkivet nr. 1761, NGU.
6. Neumann, H. (1959): Contributions to the Mineralogy of Norway No. 1. An introduction. N. G. T. Bd. 39.
7. Nordenskiöld, A. E. (1878). Cleveite, et nytt yttro-uranmineral från Garta feltpatsbrott nära Arendal. Geol. För. Förh. IV.
8. Oftedal, I. (1949): Oversikt over Norges mineraler. NGU nr. 170.
9. Ramsay, (1895): Jour. Chem. Soc. Vol. 67:1107.
10. Rosenquist, I. Th. (1948): Uranforekomster i Norge. Tidsskrift for Kjemi. Bergvesen og Metallurgi. 8. årg.
11. Rosenquist, I. Th. (1949): Noen observasjoner og refleksjoner omkring Modum koboltgruver I. N. G. T. Bd. 28.
12. Scheerer, Th. (1840): Über den Euxenit, eine neue Mineralspecies. Pogg. Ann. B. 40.
13. Siggerud, T. (1955): Om alunskiferens uraninnhold og noen momenter for vurdering av alunskiferen som uranmalm. Bergarkivet nr. 3117, NGU.
14. Siggerud, T. (1955): Undersøkelse av radioaktiviteten i avgang fra oppredningsverket ved Knaben Molybdængruber. Bergarkivet nr. 3378, NGU.
15. Siggerud, T. (1956): Uran og uranleting. Småskrifter nr. 6, NGU.
16. Siggerud, T. (1959): Uranundersøkelser i Trøndelag. Årbok 1958, NGU nr. 205.
17. Siggerud, T. (1961): Radioaktivitetsundersøkelse av bergartsprøver i magasinene på Mineralogisk-Geologisk Museum, Universitetet i Oslo. Årbok 1960, NGU nr. 213.
18. Skjertlie, F. J. (1956): Rapport fra uranseksjonens undersøkelser på Finnmarksvidda, Troms fylke. Bergarkivet nr. 3115, NGU.
19. Skjertlie, F. J. (1957): Geologisk undersøkelse på Middagsskardshøgda, S-Kvaløy, Troms. Bergarkivet nr. 3067, NGU.
20. Skjeseth, S. (1958): Uran i kambriske alunskifre i Oslofeltet og tilgrensende områder. Årbok 1957, NGU nr. 203.
21. Skjeseth, S. and Sørensen, H. (1952): An example of Granitization in the Central Zone of the Caledonides of Northern Norway. NGU nr. 184.
22. Sverdrup, T. L. (1960): The Pegmatite at Rømteland. A description of the minerals and a discussion of the mineralparagenesis, especially within the system (Fe,Mn)O - TiO₂ - Y₂O₃ - (Nb, Ta)₂O₅ - SiO₂. Årbok 1959. NGU nr. 211.
23. Sverdrup, T. L. (1960): Ad. diamantboringer for undersøkelse av radioaktivt område på Øksnanuten ved Stavanger. Bergarkivet nr. 3788, NGU.

24. *Sæbø, Per Chr. and Neumann, H. (1961): Contributions to the Mineralogy of Norway. No. 10. On synchisite in Norway. N. G. T. Bd. 41.*
25. *Van Autenboer, T. (1957): The Radiometric Survey of the Modum Area. Bergarkivet, nr. 2802, NGU.*
26. *Van Autenboer, T. and Skjerlie, F. J.: Brannerite, a new mineral in Norway. Årbok 1956, NGU nr. 200.*
27. *Vokes, F. M. (1958). Metallogenic Provinces and Epochs in Norway. Tidsskr. f. Kj., Bergv. og Met., 18. årg.*
28. *Walka, T. L. and Parsons, Al. (1923): Univ. of Toronto Studies. Geol. Ser. No. 16. Contrib. to Canad. Min. (Se også Chem. Abs. Vol. 17, 1928).*

The lead and zinc bearing veins at Tråk in Southern Norway

By
BERNT RØSHOLT

CONTENTS

	Page
Abstract	35
Preface	35
Introduction	35
General geology	37
Tectonics	43
The mineralization	48
Trace elements	52
Lead isotopes	54
Gangue minerals	55
Diabase	56
Conclusion	57
Appendix	59
Sammendrag	63
References	64

Abstract.

The nearly vertical zinc and lead bearing veins that cut through Precambrian rocks near the Oslo region at Tråk in Bamle Southern Norway, are described. They can be followed for nearly 2.5 km. A younger intruded diabase is found in some of the veins. Ore minerals are sphalerite and galena with some pyrite and chalcopyrite. Quartz is the dominant gangue mineral.

Preface.

The present paper is a condensation of a thesis presented as partial fulfillment of the final degree requirements (bergingeniør) at the Institute of Geology, Technical University of Norway. The field work was done during the summer of 1963 and the laboratory work during the following winter under the guidance of professor dr. Jens A. W. Bugge.

I wish to thank professor dr. Frank M. Vokes for his helpful assistance with the manuscript and for improving my English.

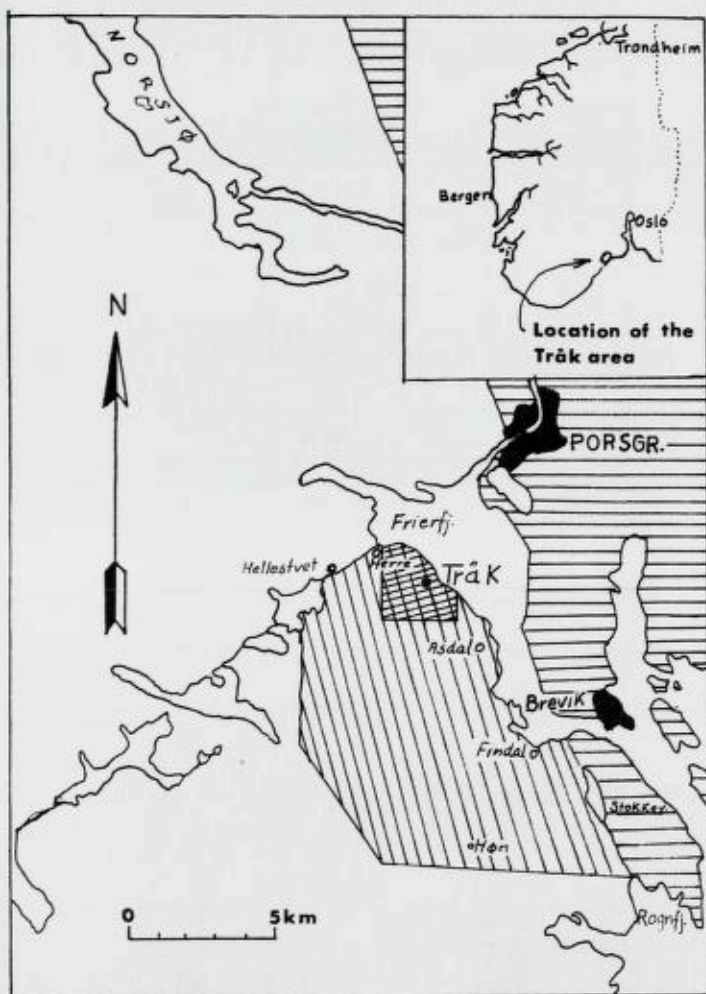
The Tråk area lies in the southeast part of the county of Telemark in Southern Norway. (Fig. 1). For practical reasons the area was divided into two parts:

1. *Tråk central area*, about 8 sq. kilometers. This is the area where most of the zinc-lead deposits are concentrated.
2. *The Tråk area*, about 70 sq. kilometers, is roughly the area where the Tråk type of ore can be found.

The most detailed work has been done in the central area, as regards both the ore deposits and the general geology. The following account deals almost exclusively with the Tråk central area.

Introduction.

Altogether about two hundred prospecting claims have been registered in the Tråk area. There has not been time to find and study all of these in detail, so the work has been concentrated on the best known occurrences.



LEGEND TO FIG 1

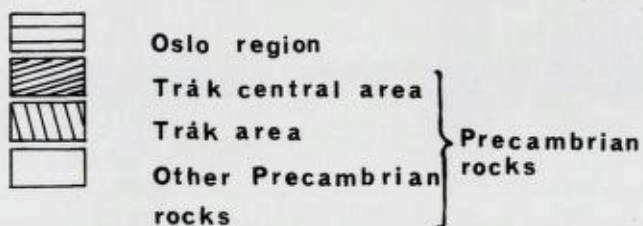


Fig. 1. Map showing the position of the Tråk area and Tråk central area.
Kart som viser beliggenheten til Tråkfeltet og Tråk sentralfelt.

The only previous publication that can be found regarding the ore bearing veins is that of J. H. L. Vogt (1907). Oftedal (1940) has made an optical spectrographic survey of the trace elements in minerals from the Tråk veins. Moorbath and Vokes (1963) have determined the lead isotope ratios in a sample of galena from one of the veins.

The Tråk area lies in the Kongsberg-Bamble area of the Southern Norwegian Precambrian, southwest of the Oslo region. To the north the area is bounded by rocks of the Telemark area. The following main rock types are found in the area:

- Porphyritic granite (youngest).
- Amphibolites and diabase.
- Banded gneiss and quartzite (oldest).

The zinc and lead minerals are found in north-south striking veins which cut through these Precambrian rocks at almost right angles to their foliations. The veins are most likely of Permian age. Quartz is the main gangue mineral. Mining of the ore minerals was begun as early as 1543. Later the mines were worked sporadically up to 1908 when they were closed down at last. Altogether only a few thousand tons of ore have been taken out.

General geology.

Since the main work was done on the ore deposits and since these seem to have little or no genetic connection with the surrounding rocks, the geological mapping has been restricted to the central area. The map (Fig. 2) shows the geology of Tråk central area.

A. Bugge (1936) and J. A. W. Bugge (1943) have previously carried out geological and geological-petrological studies in the Kongsberg-Bamble area. More recently detailed studies have been made in the Bamle section by R. D. Morton and coworkers of the University of Nottingham. This sector includes the Tråk area, but the studies are as yet unpublished.

In this paper the rocks are described according to their most probable ages. These ages are based on Table No. 2 in J. A. W. Bugge (1960), and on my own observations.

The most probable succession is:

- | | |
|---------------|----------|
| 7. Diabase | Permian |
| 6. Breccia | ? |
| 5. Sandstones | Cambrian |

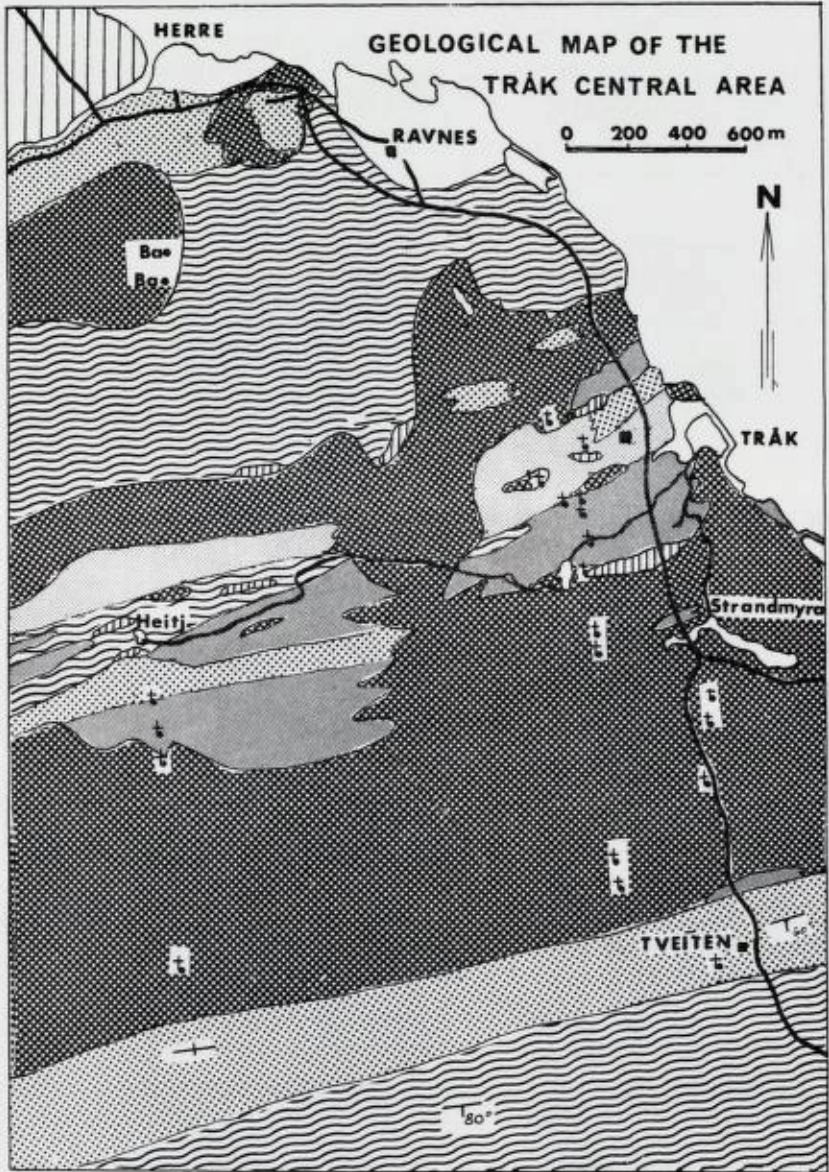











Fig. 2. Map showing the geology of Tråk central area.
Geologisk kart over Tråk sentralfelt.

LEGEND TO FIG 2

	Not mapped and covered
	Fine grained granite
	Porphyritic granite
	Ti-bearing amphibolite
	Amphibolite and diabase
	Gneiss
	Quartzite
	Telemark area
t	Zn-Pb mines
•Ba	Barite deposits
	Strike and dip

4. Granites	Precambrian
3. Amphibolite and Diabase	◊
2. Gneisses	◊
1. Quartzites	◊

1. Quartzites.

Rather pure quartzites are to be found over the whole of the Tråk area. On the map (Fig. 2) there can be seen a rather wide and persistent belt of quartzites in the southern part of the central area. No clastic structure can be seen under the microscope, the quartzite being quite recrystallized, with a grain size from 0.05 to 0.2 mm. Muscovite is the main accessory, as small flakes orientated parallel to the foliation. A few small microcline grains can also be seen, as well as very well-rounded zircon grains.

At other localities in the central area pure quartzites can be found, but only as inclusions in granite. It is possible that these large quartzite inclusions in the granite are the remnants of quartzite layers that have been broken up and enclosed by the younger granite.

In the extreme north of the area, near Herre, there is a quartzite layer that borders against rocks of the Telemark area. This quartzite is pink in color and rather impure. A thin section from this layer showed a content of about 10 % albite. Chlorite, well rounded zircons, euhedral pyrite,

microcline and calcite are found as accessories. The structure is strongly cataclastic, nearly mylonitic. Quartz grains are broken and recrystallized, and the plagioclase crystals are often bent and broken. The cataclastic structure is supposed to be a result of the «great friction breccia», (A. Bugge, 1936), which is only 300 m to the north. This breccia (or mylonitic zone) marks the southern border of the Telemark area.

According to A. Bugge (1936) the Tråk central area belongs to the Kongsberg area, where the rocks are made up largely of effusive members, no quartzite being described. It is now clear from the present and other recent studies that quartzite is well represented in the Kongsberg rocks of Tråk central area, even near the border of the Telemark area, and this should suggest that the Tråk central area partly belongs to the Bamble area.

2. *Gneisses.*

Banded gneiss is the dominant rock in the Tråk area as a whole. It is made up of alternating dark and light bands from a few cm up to several metres in thickness. The light bands are of granodioritic composition, while the dark bands are amphibolitic. (There is also a granitic type of gneiss, and this type carries rather much garnet.)

In the southern part of the Tråk central area banded gneisses occur south of the quartzite layer. The gneiss seems to be concordant with the quartzite, and observations from the field show that there is a gradual transition between the two types. This seems to suggest that both rocks were derived from sediments that were deposited by a normal sequence of sedimentation. If this is so the quartzite may be regarded as presenting a basal arenaceous unit which was overlain concordantly by sediments having alternating light (arenaceous) and dark (argillaceous) bands, deposited in deeper water.

Pegmatites are very common in the gneiss, especially in the southern part of the area. Minerals occurring in these pegmatites are microcline, plagioclase, muscovite, tourmaline, garnet, chalcopyrite and molybdenite. The ytterium phosphate, xenotime, was found in a thin section from one of the pegmatites. Determination of the type of plagioclase in the different types of gneisses shows rather sodic types, varying from An 10 to An 30.

3. *Amphibolites and diabase.*

The dark rocks, intermediate to basic, are mainly represented by amphibolites. They often carry rather much garnet. The amphibole mineral

is a common hornblende, and the plagioclase is an andesine with An 34. Some free quartz is also found in the amphibolites. Accessories are chlorite, apatite and ore minerals. The results of field work suggest that these amphibolites occur mainly in banded gneiss zones and that they represent especially thick basic layers in the banded gneiss sequence. The mineral association is also rather similar in both the narrower and the thicker amphibolitic layers, except for garnets in the thicker amphibolites.

In the central area is found a zone of ilmenite bearing amphibolite. The main mineral in this rock is a sericitized plagioclase (An 35). Other minerals include a dark green hornblende, biotite, ilmenite and apatite. Accessories are epidote, garnet and chlorite. The ilmenite is found as thin «schlieren» and bands, and a polished section showed that it is very pure. No lamellae of hematite and no magnetite could be seen. There is about 5 % ilmenite in the rock. There is known to be an ilmenite prospect in the central area. (Ref. S. Foslie, 1925, I, 539).

On the coast east of Tråk and at other places in the area, there occurs a diabase, also of Precambrian age. The texture is ophitic with lath shaped plagioclase crystals (An 60) which are rather badly sericitized. Other minerals are hornblende, chlorite, biotite and calcite.

4. *Granites.*

Two different types of granites can be recognized. The most dominant type is a coarse grained porphyritic granite. This type is the same as A. Bugge (1936) and J. Bugge (1943) have described as «coarse-grained Kongsberg granite» or «porphyritic granite». The phenocrysts of microcline attain maximum dimensions of about 15 mm. The granite also contain about 20 % of plagioclase, an albite with about An 7. Other minerals are biotite, muscovite, chlorite, garnet and euhedral zircon with especially sharp crystal faces. The granite itself shows intrusive relations to the other rocks. At a distance of 0.5 km south of Herre there were found included angular blocks of quartzite one or two dm in size, while along the main road about 0.8 km south of Tråk, blocks of banded gneiss 4—5 meters in size, can be seen incorporated in the granite. West of the central area, outside the map area of Fig. 2, just south of the dominant quartzite belt there is an «island» of porphyritic granite in the banded gneiss zone. Here the boundary between the granite and the gneiss seems to be very sharp. At the coast just east of Tråk can be seen the border between Precambrian diabase and granite. This border is sharp, and it is also possible to find sharp edged pieces and blocks of diabase in granite.

From the geological map (Fig. 2) it can be seen that two large areas of amphibolite, gneiss and quartzite lie surrounded by the main granite mass west of Tråk. The strikes of these layered rocks on either side of the band of granite separating the two areas are identical. This supports the idea that they are both parts of the same layered complex which the granite has broken through.

All this evidence indicates that the porphyritic granite is younger than the quartzites, gneisses, amphibolite and diabase.

The fine grained granite is not so well represented as the porphyritic granite. It is found as lens shaped bodies parallel to the foliation of the adjacent rocks. The largest body of this type is found 0.3 km south of Tråk. The main minerals are microcline, microcline perthite, quartz and an acid plagioclase. Myrmekite also occurs. Accessories are biotite and zircon.

5. Cambrian sandstones.

In the southern part of the Tråk area, on the west side of Stokke-vann (See Fig. 1), there is a Cambrian sandstone lying concordantly below the alum shale of the Oslo region. There is one dark type and one light type. Th. Vogt (1924) has described this sandstone.

6. Breccia (Permian age ?).

About 0.5 km west of the southern part of Stokkevann (Fig. 1), near the main road, occurs a breccia. It appears as a small, elliptical «island» that covers about 2500 sq. metres in the gneiss complex. The breccia fragments are of gneiss with a granodioritic composition and have sizes from microscopic fragments up to 5 cm. Without detailed studies it is difficult to determine the age and genesis of this interesting rock. The matrix is mostly calcite, but also chlorite, epidote and the ore minerals pyrite, chalcopyrite and pyrrhotite were found.

Ramberg and Barth (1966) have described evidence, in the form of breccia and other features, of Eocambrian volcanic activity in southern Norway, especially in the Fen area and its surroundings. Similar breccias are described from other localities covering a wide area in southern Norway, which are (tentatively) ascribed to the same period.

The breccia near Stokkevann might be one of the Eocambrian types mentioned above, but it is most reasonable to believe that it was formed in connection with the Permian explosive activity in the Oslo region.

7. Diabase of Permian age.

Permian diabase can be found all over the Tråk area as vertical dykes with thicknesses from a few centimetres up to about two metres. The same dykes also occur in the ore bearing veins in the area. The diabase has a typical ophitic structure with lathlike, zonal plagioclase (An 70). Other minerals are calcite (as amygdaloids), chlorite, biotite and about 10% of ore minerals, mostly magnetite.

Quaternary geology.

The whole Tråk area lies mainly below the upper marine limit. As mentioned above, the ore bearing veins strike northsouth, and grooves, narrow valleys and long narrow lakes are also aligned in the same direction. This topography has been formed by fluvioglacial action, brecciation and/or alteration connected with the vein structures having facilitated erosion by the melt waters. Field evidence of this action can be observed in the form of water-eroded channels aligned N-S along the vein direction. That this erosion was fluvio-glacial and not glacial is also shown by the fact that the dominant movement of the ice-sheet was from NW to SE. (Holtedahl, 1960). It was only during the break-up of the ice that fluvial action could begin deepening channels along the structurally controlled N-S direction.

The opposite phenomenon, that the veins occur as ridges, is also observed, but this is not frequent. In these cases the veins consist dominantly of hydrothermal quartz so that they are more resistant to erosion than their wall rocks.

Tectonics.

J. H. L. Vogt (1907) has interpreted the mineralized veins as faults parallel to the boundary of the Oslo region. Measurements show that this boundary in the area from Rognsfjord towards Porsgrunn has a strike of 175° . The joint rose (Fig. 3) shows the joints from Tråk central area and the area to the south. It has been constructed from aerial photographs. As the diagram shows, two main joint systems can be distinguished. The dominant joint direction is the one striking between 170° — 200° . It is this direction which coincides with the mineralized veins in the central area. By studying the aerial photographs it can be seen that the north-south striking joints become less frequent towards the west. A reason for this might be that the joints are parallel faults connected with the

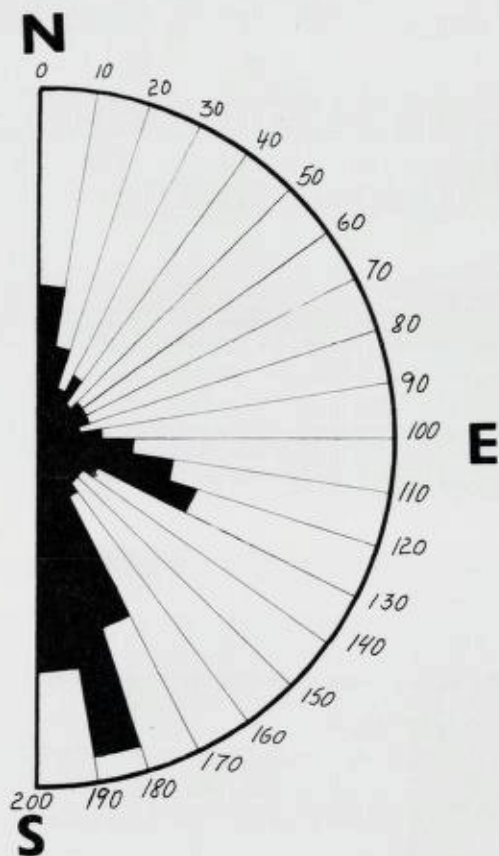


Fig. 3. Joint rose from Tråk central area and the area just south of Tråk central area.
 Sprekkerose fra Tråk sentralfelt og området rett syd for Tråk sentralfelt.

subsidence of the Oslo region and consequently they become less frequent away from the boundary of the Oslo region.

The other, minor, joint system strikes at 125° , and the two systems make an angle of about 60° with each other. According to observations in the field and J. H. L. Vogt (1907) who was down in the mines, there are no faults crossing the lodes. These observations indicate that the mineralized joints are the younger and that the other joint system may be a result of an earlier tectonic period. This minor joint system may possibly be related to tension cracks connected with the main fault zone between the Telemark region and the Kongsberg-Bamble area. This fault zone has

a strike of about 70° , and the southern part, the Kongsberg-Bamble area, has moved to the southwest (270°). This movement could produce tension cracks having a strike direction of about 120° , which is the direction of the minor joint system.

The tectonic movements in the northern part of the area have been very intense. Marked cataclasis can be observed in thin sections from the northern part of the central area.

Fig. 4 shows the mines and claims in the area. During the mining period three main lodes were exploited.





- No. I. *Tråk main lode* is the lode that connects mines No. 10, 2, 1, 3, 4 and 4a.
- « II. *Heitjern lode* is the lode that connects mines No. 5, 6, the claim about 120 m north of mine No. 5 and the claim about 0.7 km south of mine No. 6.
- « III. *Tveiten lode* is the lode that connects the claim near Strandmyra to mine No. 7 and to the mine and claim near Tveiten farm.

It is not proven that the lodes are continuously mineralized, but it is reasonable to assume that the mines and claims along the lodes mentioned above are connected by a fissure or fissures that are more or less mineralized. Since it is about 60 years since the mines were closed down and probably a much longer time since the most intense prospecting was carried out in the area, little or nothing can be seen of the many small prospecting holes and claims. Traces of prospecting activity can often be seen, but mostly this has been later covered by earth and vegetation, so it is not possible to determine whether mineralization was present or not. However, since the lodes are assumed to connect the mines in the old mining reports, and since the field observations also support this, it is reasonable to suppose that the lodes really are fissures that connect the mines and claims and that these are more or less mineralized.

The mineralization seems to be concentrated in the porphyry granite, but is also present in the amphibolite and quartzite. This is possibly a result of the relative competency of the various rocks. The granite is more competent than the banded gneiss.

Lode No. I, *Tråk main lode*, has a strike of 193° , and most of the mineralized veins along the lode show practically the same strike direction. However, in general the individual vein directions lie more or less to the east of the lode direction. Ten veins have been measured, and four of these show a direction 4° to the east of the lode direction. Two veins show the

LEGEND TO FIG 4

	Major joints
	Minor joints
	Mine or claim with strike of vein
	Barite deposit with strike of vein

Mines and claims

1	Kværnhusåsen
2	Havna I (Central shaft)
3	Amundskås
4	Tråkfjell
4 a	Tråkfjell adits
5	Heitjern I
6	Heitjern II
7	Tveitendalen
8	Ravnes claim
8 a	Utkikken claim
9	Little Tråk
10	Havna II (Tråk shaft)

lode direction, and two veins show big variations to the east (19⁸ and 29⁸). The vein in the claim by the brook north of mine No. 1 and a vein in mine No. 2 show a rather big variation to the west.

It seems certain that there have been movements along the direction of the lode.

The direction of the mineralized veins should indicate a relative movement of the eastern block to the south. Such a movement should give rise to tension openings of a similar pattern to that actually formed by most of the veins along the lode.

The veins are in general vertical or dipping steeply to the west.

On lodes No. II and III similar tectonics as on lode No. I can be observed.

In the mining report J. Cockburn (1908) points to an increase in the mineralization in the lode near the contact between different rock formations. This can not be observed at the surface, but it could be reasonably related to the contact between rocks of differing competencies. Mines No, 1, 10 and 6 are probably examples of this.

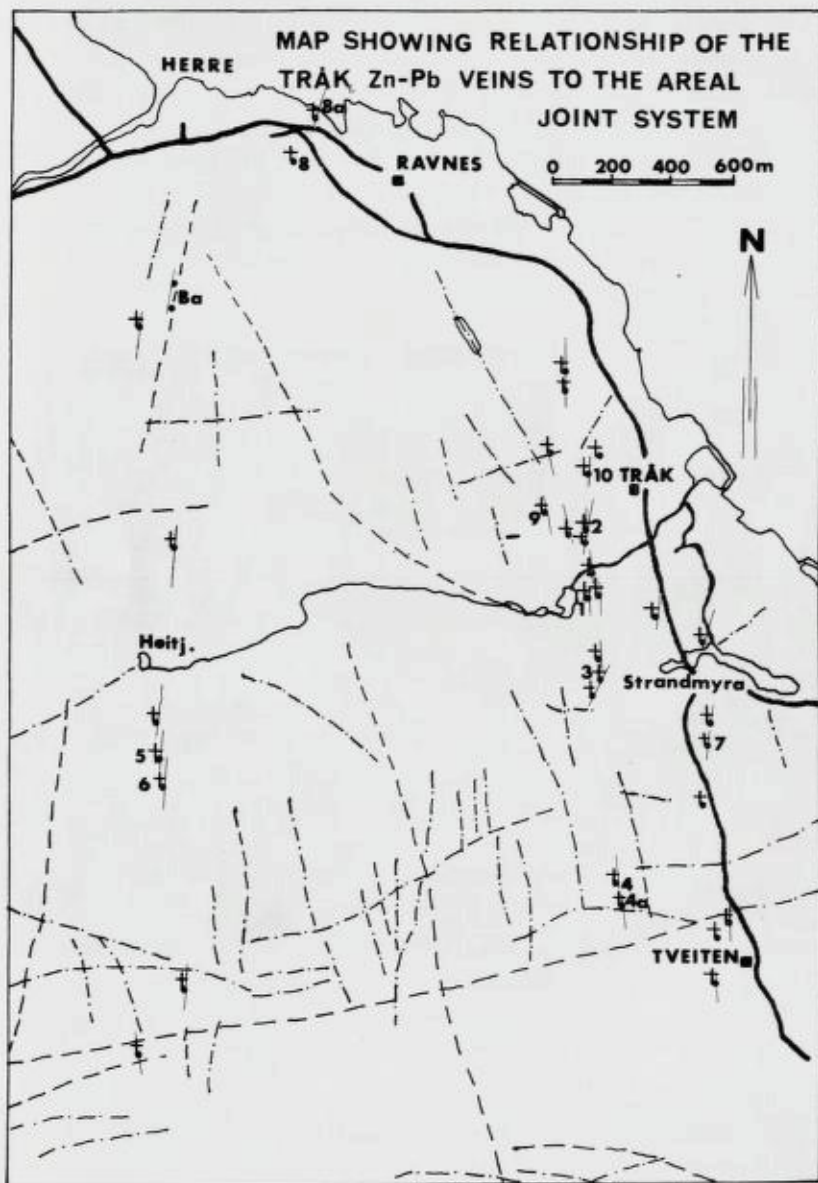
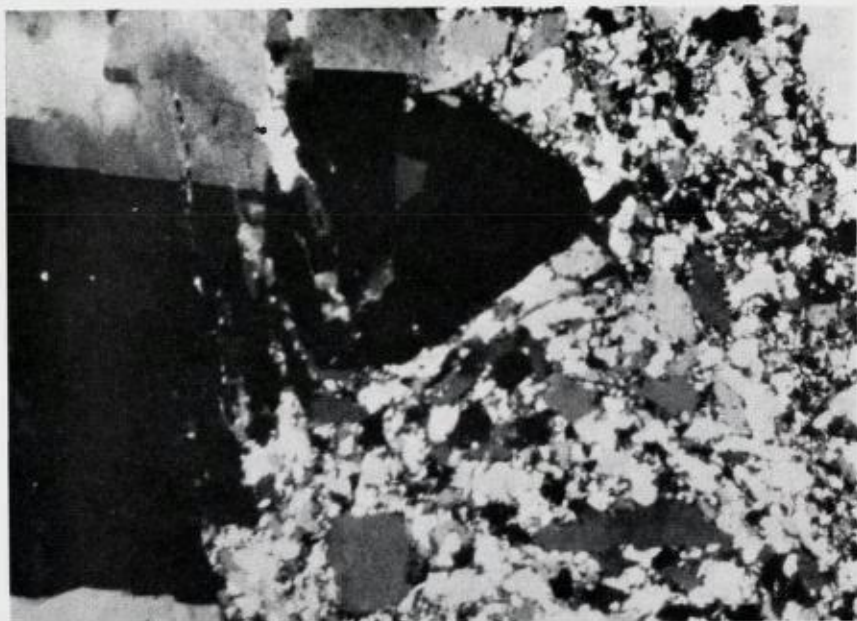


Fig. 4. Map showing relationship of the Tråk Zn — Pb veins to the areal joint system, and the position of the chief deposits.

Kart som viser forholdet mellom Zn — Pb gangene og sprekkesystemenes på Tråk og beliggenheten til de viktigste forekomstene.

Observations show a very clear brecciation of the wall rock, and both in large specimens and in thin sections breccia fragments of varying sizes may be seen. These are always altered by hydrothermal activity, the secondary minerals being chlorite and sericite.

In thin sections it can also be seen that there has been more than one movement along the faults. The gangue mineral, quartz, is mainly seen as euhedral crystals, but zones with mylonitic and recrystallized quartz are usual. *Fig. No. 5* shows a broken euhedral quartz crystal in an aggregate of recrystallized quartz.



*Fig. 5. Vein quartz with mylonitized and recrystallized zone (on the right hand side).
+ Nic. · 30.*

Gangkvarts med en mylonitisert og rekrystallisert sone på den høyre del av fotoet. + Nic. · 30.

The mineralization.

General.

In addition to the previously mentioned publication by J. H. L. Vogt (1907), there is available an old report from the mines by J. Cockburn (1908) which is to be found in the archives of the Geological Survey of Norway (NGU).

The sphalerite and galena occur in the quartz matrix as individual mineral aggregates with sizes from about one mm up to three cm, and as continuous mineral bands with varying thickness, but in general under five cm. J. H. L. Vogt (1907) who visited the mines while they were being worked, mentioned that the mineralization could be followed for up to 2.5 km in lode No. I. He also states that locally the lode carries no ore minerals at all, but in general it is more or less mineralized. The thickness of the veins is very variable. At one place in mine No. 3 it is four metres, but in general it is from about 2 metres down to one decimetre.

In some of the veins occurs a younger intrusive diabase, probably of late Permian age.

There occur two veins that are quite different from the general type in the area. The one is a baryte-bearing vein, 0.5 km south of Herre, and the other is a siderite-bearing vein, outside the central area, 3 km SSW of the baryte-bearing vein.

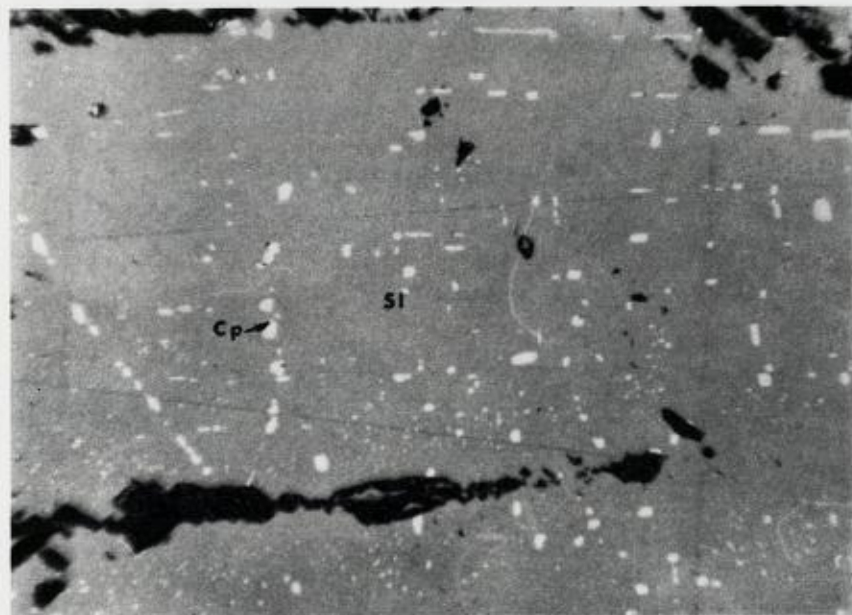


Fig. 6. Sphalerite with oriented drops of exsolved chalcopyrite. Sl = sphalerite, Cp = chalcopyrite. Parallel reflected light. · 190.

Sinkblende med orienterte dråper av avblandet kobberkis. Sl = sinkblende, Cp = kobberkis. Parallelt reflektert lys. · 190.

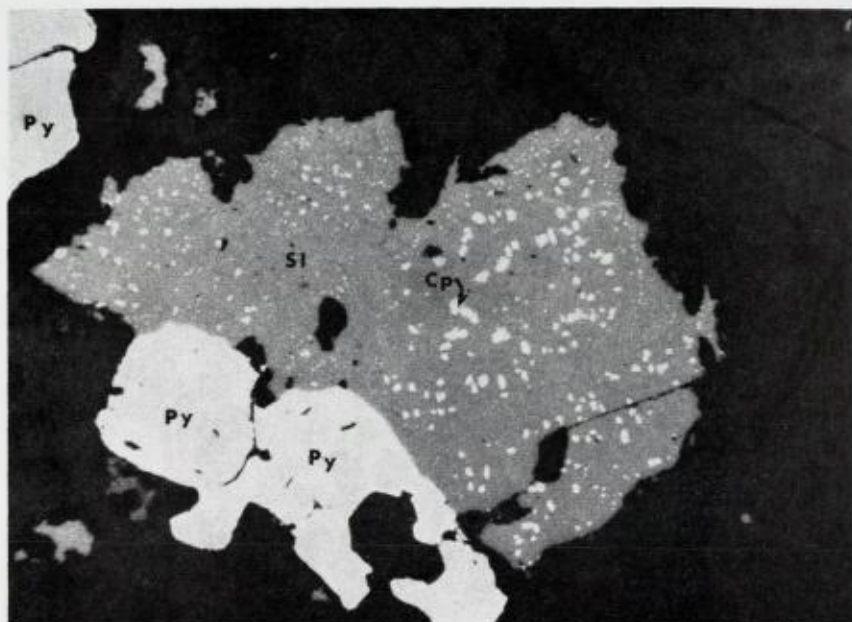


Fig. 7. Sphalerite and pyrite surrounded by gangue mineral, zonally distributed chalcopyrite in the sphalerite. Sl = sphalerite, Cp = chalcopyrite, Py = pyrite. Parallel reflected light. · 75.
Sinkblende og svovelkis omgitt av bergartsmineral med sonar avblandet kobberkis i sinkblendens.
Sl = sinkblende, Cp = kobberkis, Py = svovelkis. Parallelt reflektert lys. · 75.

J. H. L. Vogt suggests the following sequence of events: «The veins were first opened and then filled with quartz and sulphides. Later, other veins opened and some of the old veins reopened, and an intrusion of diabase followed. Still later the original veins were again opened, in a few places, and a late generation of baryte was deposited.»

Ore minerals.

The main ore minerals from Tråk are sphalerite, galena, chalcopyrite and pyrite.

Sphalerite is the most important mineral, occurring as a pale green and a pale brown type. The streak is light yellow brownish. Under the ore microscope in polished section the sphalerite has a grey-white to weak red inner reflection. According to I. Oftedal (1940) the sphalerite from Tråk only contains 2 % Fe. No pyrrhotite is found in the sphalerite. The sphalerite occurs mostly as independent sub- to anhedral individuals

about one mm to one cm in size. It is also found as inclusions in galena and pyrite.

The most important mineral occurring in the sphalerite is exsolved chalcopyrite. Sometimes galena is seen as inclusions and, rarely, pyrite. The chalcopyrite in the sphalerite occurs as drops of various sizes (Shown in Figs. 6 and 7). Fig. 6 shows that the exsolved chalcopyrite drops occur as lenses and prisms, and they are often oriented in distinct lines, which follow crystallographic directions in the sphalerite. Fig. 7 shows a large area of sphalerite with exsolved chalcopyrite having a seriate arrangement in which the largest drops occur scattered near the centres of the sphalerite grains.

Galena occurs as rather big sub- to anhedral grains often concentrated in bands. In mine No. 9 a few euhedral cubes of galena were found. Sometimes it also is found as minor inclusions in sphalerite, chalcopyrite and pyrite. Fig. 8 shows an euhedral crystal of pyrite included in galena, which

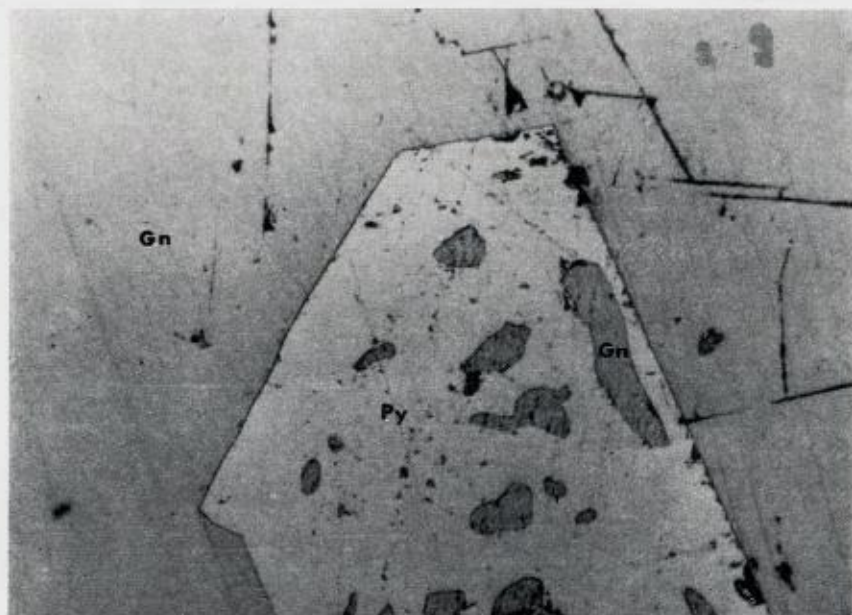


Fig. 8. Euhedral pyrite crystal in galena with galena inclusions. Py = pyrite, Gn = galena. Parallel reflected light. Immersion. · 480.

Euhedral svovelkiskrystall i blyglans med blyglansinneslutninger. Py = svovelkis, Gn = blyglans. Parallelt reflektert lys. Immersjon. · 480.

also occurs as inclusions in the pyrite. Both sphalerite and chalcopyrite are also found in galena.

Chalcopyrite is also mainly found as independent anhedral individuals, but it also occurs to a large extent as drops in the sphalerite. It is not studied whether the independent individuals are exsolutions or not. Chalcopyrite can also be seen as small grains in galena and rarely in pyrite. Sphalerite and pyrite are not found in the chalcopyrite.

Pyrite occurs in most of the Tråk type of ore in variable amounts. It is especially plentiful in mine No. 9, «Lille-Tråk», on the prospecting claim 200 m north of this mine. The pyrite occurs mainly as euhedral striated cubes.

Siderite is found in a vein 850 m west of the SW part of the central area. (Outside map area of Fig. 2). It has a specific gravity of 3.84 g/cm^3 , which indicates a rather pure siderite. It contains a little chalcopyrite.

Magnetite and hematite occur in a vein with Tråk type of ore 1.5 km west of the SW part of the central area near the lake of Hellestvedt (Fig. 1). Goethite and malachite are found in minor amounts as secondary minerals.

Trace elements.

Earlier analyses of silver in galena were carried out in the laboratory of Kongsberg silver mines (report by J. H. L. Vogt, 1904) and in England, 1906—1908, by the companies who bought the products (report by J. Cockburn, 1908).

I. Oftedal (1940) has made the following trace element determinations in galena and sphalerite from Tråk:

Galena: Ag 0.1 %, As 0.1 %, Sb 0.05 %, Bi 0.1 %.

Sphalerite: Cd 0.1 %, Mn 0.1 %, Fe 2 %, In 0.001 %, Co 0.1 %, Cu 0.1 %

During the present investigation, Ag, Cd, Fe and Cu were determined by X-ray fluorescent spectrography and by optical spectrograph. The optical spectrographical determinations of Ag and Bi in galena and Fe and Cu in sphalerite were carried out in the geochemical laboratory at N. G. U. (Norges Geologiske Undersøkelse). Cd in sphalerite was analyzed in the same laboratory by X-ray spectrography (analyst for both optical and X-ray analyses: Magne Ødegård).

Galena.

Ag. Fifteen analyses of specimens of galena from various parts of the Tråk area carried out at Kongsberg in 1904, seven carried out in Eng-

land in 1907, and eleven carried out in Trondheim in 1963, are shown graphically in the histograms in Fig. 9. The silver content in the specimen analyzed at N. G. U. was 0.02 %. Both the Kongsberg, N. G. U. and the present results are much lower than the analyses done in England, and

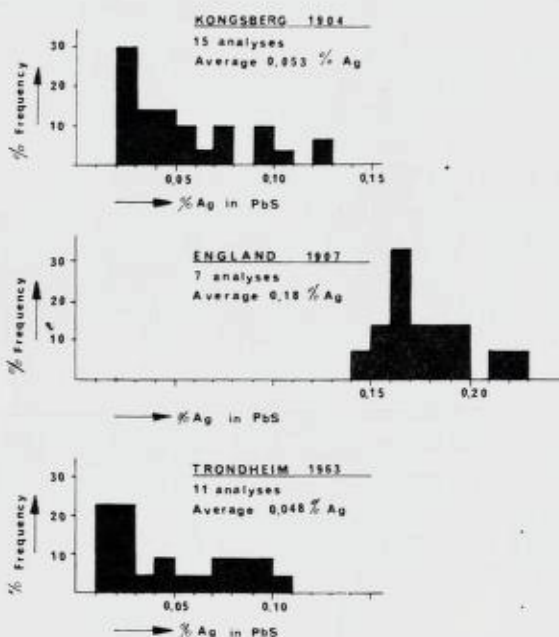


Fig. 9. Histograms showing silver content in galenas analyzed in different laboratories. Histogrammer som viser sølvinnholdet i blyglans som er analysert ved forskjellige laboratorier.

it is reasonable to believe that these are most correct. The silver content in galena from Tråk should then range from 0.02 to 0.10 % with an average of 0.05 %.

Bi. The specimen analyzed at N. G. U. gave no indication regarding bismuth and the Oftedal's value was 0.1 %. Determination in galena by X-ray fluorescence was not possible because of coinciding lines of Pb and Bi. However, Bi could even be detected in sphalerite, presumably occurring in galena impurities. Oftedal (1940) found a content of 3 % Bi in galena from the prospecting claim of Stulen (= Sandåen, Foslie 1924, I. 528) which lies outside the Tråk area, about 20 km north of Skien and on the border of the Oslo region. Galena with octahedral cleavage is found at Stulen, but is not observed in Tråk. However, ore from

Stulen studied by X-ray fluorescence shows lower Bi content than many of the specimens from Tråk. It is then reasonable to believe that the Bi content in the galena from Tråk approximates, or is higher than, the Oftedal value of 0.1 %.

Sphalerite :

Cd. X-ray fluorescence determination of cadmium was performed on only two specimens of sphalerite, and both show about 0.15 % Cd. One specimen analyzed at the laboratory of N. G. U. shows 0.15 % Cd.

Fe. Oftedal (1940) found 2 %. The present results from N. G. U. show 1.6 % in total. Nearly 0.1 % Fe is calculated as being bound to exsolved chalcopyrite in this specimen, and the iron content in sphalerite will then be 1.5 %. These results agree with the rather pale sphalerite that is generally found in the area.

In. Oftedal (1940) found 0.05 % in Tråk sphalerite. He mentions that a brown type of sphalerite (the oldest) from the vein of Lassedalen, Kongsberg silver mines, carries much gallium and very little indium, while the green sphalerite from the same vein appears to be poor in gallium and rich in indium. As mentioned there also is a pale green type of sphalerite at Tråk, but there is no color description of the sphalerite from Tråk analyzed by Oftedal. Gallium is not found in the sphalerite from Tråk.

Co. Oftedal (1940) found 0.05 % Co in Tråk sphalerite, and the present investigations show trace amounts.

Cu. Oftedal (1940) found 0.1 % and the same per cent was found at N. G. U.

Lead isotopes.

Moorbath and Vokes (1963) have made lead isotope determinations of 35 Norwegian and two Swedish galenas. Included among these is one determination from one of the veins at Tråk. This sample gave a «negative age». Three samples of galena from the silver-bearing veins at Kongsberg also showed negative ages. Moorbath and Vokes state: «Vogt's account of the sequence of events implies a Permian origin for the Tråk veins, which thus, both in geological characters and in age of deposition, are almost identical with Bugge's veins of the first generation in the Kongsberg area. The similarities in the lead isotopic composition of the two galenas (30 and 33) reinforces the geological evidence.»

Gangue minerals.

Quartz is undoubtedly the dominant gangue mineral, and it occurs mainly as euhedral crystals with sizes from about one mm up to one or two cm. The crystals do not show undulating extinction and this implies that the veins have not been stressed subsequent to the crystallization of the quartz.

Chlorite is very often found as inclusions with a spherulitic or vermicular form and a radial structure. The chlorite is pleochroic in shades of green and the spherulites range in size from 0.01 to 0.15 mm. In one of the claims it was found quartz crystals («ghost quartz») that were riddled with chlorite spherulites. The spherulites are concentrated at crystal faces which formed at an early stage of the growth of the crystal. In general the chlorite occurs very rarely in this form, mostly it occurs in small rosettes in quartz as shown in thin section in *Fig. 10*. Chlorite occurs the same way in the Kongsberg silver mines and is described by Neumann (1944).



Fig. 10. Vein quartz with spherulitic chlorite inclusions. + Nic. · 190.
Gangkvarts med sfæriske klorittinneslutninger. + Nic. · 190.

Calcite occurs in very small amounts. It is only found as minute veinlets in the orebearing veins, and it is reasonable to believe that the calcite is mainly younger than the quartz.

Zircon occurs as an accessory in the vein material and it is possible that the few crystals that are found are mainly unaltered crystals from replaced breccia fragments of wall rocks in the veins.

Barite is found in only one thin section of the gangue mineral, but barium has been determined by X-ray fluorescence from a few other gangue samples. Barium has also been determined in the same way in the previously described breccia in the southern part of the Tråk area, 0.7 km west of the southern part of Stokkevann and near the main road (Fig. 1). In all samples where Ba was determined, Sr is also present. Barite is found in quantity near Herre in the north of the central area (Fig. 2).

Diabase.

The petrography of the diabase is described in the section on the geology of the area.

In lode No. 1 diabase can be found continuously over a distance of one km. At Tråkfjell, i. e. mine No. 4, it is not observed. The following thicknesses at lode No. 1 were measured:

Mine No. 10	Tråk shaft	about 0.3 m
" "	2 Havna I	" 0.5 m
" "	1 Kvernhusåsen	" 1.0 m
" "	3 Amundskås	" 1.7 m
" "	4 Tråkfjell	absent

Diabase is not found in lodges No. II and III, but occurs at some other prospecting claims in the area.

The diabase occurs both centrally in the veins and along their walls.

The diabase itself is never intersected by ore, and it seems clear that it is younger than the ore mineralization in the veins. An observation from mine No. 1 appears to confirm this. (Fig. 11). The drawing shows a section through a minor vein with sphalerite, chalcopyrite, quartz, wall rock (granite) and diabase with flowage structure. The quartz crystals that penetrate into the diabase seem to be quite unaltered by it, but they are coated by a film of chlorite. In some places a quite decomposed rock is found in the veins. It is possible that this is altered diabase. This rock contains chlorite, sericite, aggregates of newly formed feldspar and magne-

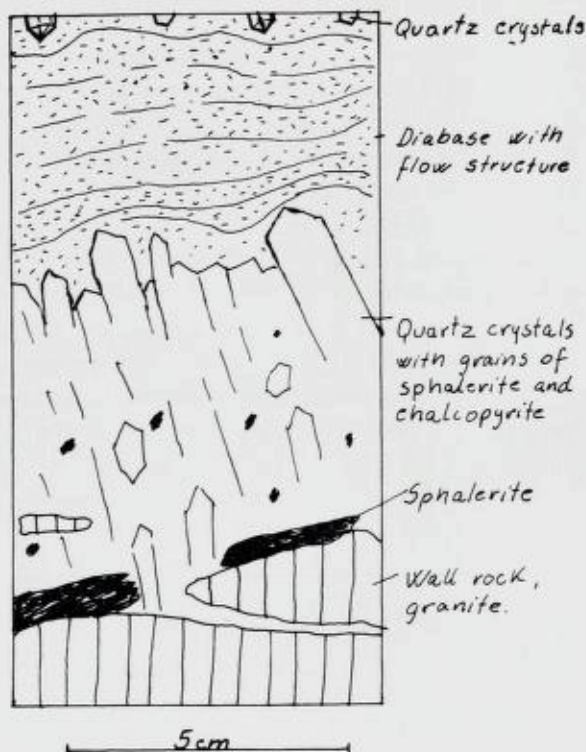


Fig. 11. Sketch of a tiny vein from mine No. 1 showing how the later intruded diabase occurs. Skisse av en liten gang fra gruve No. 1 som viser hvorledes den senere intruderte diabas opptrer.

tite. Galena is found both in contact with the rock and in it as impregnations.

J. H. L. Vogt (1907) has observed a small fault in the diabase in mine No. 1 so there have been tectonic movements after the diabase was emplaced.

Conclusion.

From the description of the vein material it can be concluded that the Tråk veins are «ore-bearing quartz breccia veins» since quartz is the dominant gangue mineral.

The diabase which is mainly found in lode No. 1 can be said to be younger than and independent of the mineralization.

From the microscopic study of the ores it is difficult to come to a certain conclusion regarding the order of deposition of the different ore minerals. It can be seen that sphalerite and pyrite are not found in chalcopyrite, and that chalcopyrite is found in pyrite in only one place. In a specimen from Mine No. 1 the order pyrite, chalcopyrite, sphalerite and galena (youngest) can be seen. In a prospecting claim 0.6 km south of Herre the order appears to be pyrite, sphalerite, galena, while in a tiny vein at the west side of the road 0.4 km south of Tråk, the order is pyrite, galena and chalcopyrite. From these micro- and macro-observations it can be assumed that pyrite is the oldest ore mineral. Later chalcopyrite, sphalerite and galena were deposited. From the few observations it is not possible to state the order of deposition of these minerals, but galena seems to be the youngest ore mineral. Quartz was deposited during the whole of the mineralization, especially in the final stages. Barite siderite and calcite are supposed to be the latest minerals deposited. (See appendix).

Lode No. I, with mines No. 10, 2, 1, 3, 4 and 4a, is the only one showing diabase. Sphalerite is the dominant mineral in the northern part and it decreases remarkably to the south. Galena increases to the south, and chalcopyrite seems also to increase in the same direction. Little pyrite is found in this lode, but it is concentrated to the north. No regularity can be seen in the silver content of the galena.

Lode No. III, with mine No. 7 and Tveiten mine, carries much galena and chalcopyrite in the southern part and more sphalerite to the north.

Lode No. II, with mines Nos. 5 and 6, and the prospecting claim 0.7 km south of mine No. 6, seems to be poorer in metallic minerals than lodes Nos. I and III.

In the Sortebogen area southeast of Tråk central area (see appendix) the three lodes show a similar distribution of the ore minerals. The eastern lode is rich in galena and chalcopyrite, and poor in sphalerite, while the middle lode carries more galena than sphalerite and the western lode is the richest in sphalerite.

In general much chalcopyrite is exsolved in sphalerite when chalcopyrite is well represented in the vein as independent individuals.

General features concerning the trends of the mineralization from north to south in the area as a whole cannot be distinguished. However, in the individual lodes there seems to be much sphalerite to the north and more galena and chalcopyrite to the south. From east to west there is clearly a concentration of chalcopyrite and galena in the east and decrease of these minerals towards the west with a parallel increase of sphalerite.

According to Lindgren (Mineral Deposits, 1933) the Tråk deposits should be classified under intermediate temperature conditions on the basis of the type of ore minerals and vein mineral. This means the mesothermal zone corresponding with temperatures from 200°—300° C. Generally Lindgren estimates the depth under the actual surface at which the mineralization took place as being from 1.5 to 4 km. J. H. L. Vogt (1907) suggested a depth of about 2.5 km below the surface at the time of mineralization. This suggestion is based on the total thickness of the overlying Permian lavas, Paleozoic sedimentary rocks and Precambrian rocks. It should be noted that gallium is not determined in the sphalerite from Tråk, and a low gallium content indicates a relatively high formational temperature (Oftedal, 1940).

The lead isotope results support the theory that the Tråk veins and some of the veins at Kongsberg silver mines have genetic relationship and that both types most probably have genetic connections with the igneous activity in the Oslo region during Permian times.

Appendix.

Description of the deposits. (Fig. 4).

Lode No. I includes the mines Nos. 4a, 4, 3, 1, 2 and 10. This is the lode where there has been most mining activity. The ore taken out carried 13—18 % sphalerite and 1—5 % galena. These numbers are taken from the mining report (J. Cockburn, 1908). Quartz is the dominating vein mineral and a little chlorite occurs enriched in breccia fragments and parallel to crystal faces of vein quartz.

In the following description the mines will be described in order of size for each lode.

Mine No. 1. Kværnhusåsen.

This mine is also called Tråk main mine, it is the biggest in the area and it has a 65 m deep shaft. The mine lies in a complex of fine grained granite, porphyritic granite and amphibolite. A movement along the line of the lode can be seen, but it is difficult to see a distinct border.

The mineralization is reported as containing up to 18 % sphalerite and 3 % galena. A profile of the vein from west to east just north of the shaft shows:

Wall rock, amphibolite.

Ore-bearing vein 0.5 m.

Diabase 1.0 m.

Ore-bearing vein 0.2 m.

Wall rock, fine-grained granite.

The ore minerals both from the dumps and the vein are rather coarse grained. Sphalerite and galena are well represented, but relative little chalcopyrite is found, in the form of

independent grains and as exsolutions in sphalerite. Pyrite occurs also in rather small amounts.

The silver content in the galena is about 0.05 %. Bi and Cd are also present in small amounts in the ore determined by X-ray fluorescence.

Zircon and barite occur only as accessory gangue minerals.

The wall rock is rather fresh, but the breccia fragments are all strongly decomposed and consist mainly of chlorite and sericite.

Mine No. 3. Amundskås.

The ore from this mine was taken out both as open pit and underground mining. The ore is very similar to the ore in mine No. 1, and the mined ore is reported to carry about 13 % sphalerite and 5 % galena.

A profile over the vein from west to east just north of mine No. 3 shows:

Wall rock, porphyritic granite.

Ore-bearing vein 0.2 m.

Diabase 1.5—2.0 m.

Ore-bearing vein 1.0—1.5 m.

Wall rock, porphyritic granite.

Here, as in mine No. 1 the ore is split by the later intruded diabase. Chalcopyrite and pyrite are, as in mine No. 1 not well represented. A pale green sphalerite is found in the ore.

Silver in galena is determined to about 0.02 %.

Mine No. 2. Havna I (Central shaft).

This mine is mainly surrounded by porphyritic granite, but also amphibolite.

The mined ore carried about 15 % sphalerite and 1 % galena.

A profile across the vein in the prospecting claim 30 m southwest of the shaft from west to east shows:

Wall rock, porphyritic granite.

Ore-bearing vein 2.0 m.

Calcite vein 0.15 m.

Diabase 0.5 m.

Wall rock, porphyritic granite.

Here the diabase only occurs at the east side of the ore-bearing vein.

There is little chalcopyrite exsolved in the sphalerite, and only a few individual grains are found. Very little pyrite is also found.

Mine No. 10. Havna II (Tråk-shaft).

The shaft lies between porphyritic granite and amphibolite. The mined ore carried 15 % sphalerite and 1 % galena. A profile over the shaft from west to east shows:

Wall rock, porphyritic granite.

Ore-bearing vein 2.0 m.

Diabase 0.4 m.

Wall rock, amphibolite.

As for mine No. 2 the diabase is at the east side of the ore-bearing vein.

Chalcopyrite is only represented in small amounts, but pyrite is rather well represented in this mine.

Silver is not determined in galena, but the content is supposed to be rather low since a x-ray fluorescence determination of the ore, mixed galena and sphalerite, shows very small amounts silver.

Mine No. 4. Tråkfjell.

This mine or prospecting claim, lies in porphyritic granite, and there has never been ordinary mined on it.

The vein is rather narrow, 0.2—0.5 m, but it is rather rich in sphalerite, galena and some chalcopyrite. There is relatively more galena and chalcopyrite and less sphalerite in this mine than the other mines on lode No. I.

The sphalerite also carries more exsolved chalcopyrite.

Diabase is not present in the vein.

The silver content in galena is about 0.02 %.

Mine No. 4a. Tråkfjell adits.

This mine is the oldest known mine in the area. Two level adits were driven along the vein direction in a eastwest striking narrow valley. It lies also in porphyritic granite, and diabase is absent.

The ore is much like the ore in mine No. 4, but polished section of a pale green sphalerite shows only small amounts of exsolved chalcopyrite.

In the galena silver is determined to 0.10 % which is rather high compared to all the other mines in the area.

Lode No. III lies east of lode No. I, and there are two mines of significance here. These are Tveiten mine and mine No. 7. No diabase occurs, and the gangue minerals are the same as in lode No. I.

Tveiten mine.

This mine lies just southwest of Tveiten farm. It is surrounded by quartzite and the mined ore is reported as carrying 10 % sphalerite and as much as 10 % galena. Chalcopyrite is also well represented both as independent individuals and as exsolutions in sphalerite. Pyrite is not found.

The vein is rather narrow, but rich in sphalerite and fine-grained galena.

Silver in galena is determined as 0.02 %.

Mine No. 7. Tveitendalen.

This mine is surrounded by porphyritic granite. The ore mined is reported as carrying 5 % sphalerite and 1 % galena. There is also rather much chalcopyrite in this mine, and it is like the type from Tveiten mine.

Lode No. II is about 1.5 km west of lode No. I. This lode has never been mined on any scale, and it is therefore more difficult to give a detailed study. The orebearing vein seem to be from 0.5 to 1 m thick, and the ore is supposed not to be as rich as in lode No. I and III.

At mines Nos. 5 and 6, i.e. Heitjern I and II, shafts have been sunk, and at the mine 0.7 km south of mine No. 6 a level adit has been driven in about 40 m to the north.

Diabase is not found in the lode.

The galena is rather fine-grained, and the sphalerite carries little exsolved chalcopyrite. Pyrite and chalcopyrite are also found in the ore. The vein mineral is mainly quartz with very little chlorite.

Other deposits in the Tråk area.

«The Little Tråk lode»: Mine No. 9 and the prospecting claim 0.2 km to there north are rather different from the other mines in the area.

A diabase decomposed into chlorite, sericite and a fine-grained aggregate of feldspar is connected to the vein.

The ore minerals are pyrite, galena, sphalerite, chalcopyrite and siderite. There is rather much pyrite, which occurs as coarse striated euhedral crystals with both cubic and pyritohedral form. The sphalerite looks darker than in the other deposits and rather much chalcopyrite is exsolved in it. Chalcopyrite is also well represented as independent individuals. Both sphalerite and chalcopyrite are found in pyrite and this is not seen in other specimens from the Tråk area. Galena is found both in contact with and in the decomposed diabase. The silver content in the galena is about 0.02 %.

The gangue carries so much chlorite that it is quite dark.

Prospecting claim No. 8a, Uthikken near Herre is a narrow vein in porphyritic granite. The ore is galena, sphalerite and chalcopyrite, and it is much like the ore in mine No. 4.

The Sortebogen north-south striking lodes are found near Sortebogen between Asdal and Findal (fig. 1). These three lodes, with altogether 14 prospecting claims, are not studied in this work, but in a unpublished report by Fr. Schutz (1914) the following information is to be found.

The eastern lode (No. 1) near the sea consists of two prospecting claims carrying galena, chalcopyrite and pyrite.

In the hills about 0.7 km west of lode No. 1, lode No. 2 is found with 5 claims carrying galena and sphalerite, with galena as the dominant mineral.

Lode No. 3 is only 50 metres west of lode No. 2 with 7 prospecting claims on it. In this lode the ore minerals sphalerite and galena are found with sphalerite as the dominant mineral.

Barite and siderite mines.

A barite mine is found 0.5 km south of Herre. This deposit is mentioned by J. H. L. Vogt (1907), and Th. Vogt (1924) has given a detailed description of the barite crystals from this barite vein.

The vein direction is 215°, thickness about 2 m and the surrounding rock is porphyritic granite.

Barite is the dominant mineral and there are a few small pyrite crystals. The barite crystals are well developed, clear to pale blue and brownish. They appear in many different forms and can reach sizes up to 6 cm. Strontium is determined by x-ray fluorescence, so it is possible that also celestite is present.

According to J. H. L. Vogt (1907) lead and zinc sulphides are also found in the same vein and these were deposited before the barite.

About 3 km SSW of the barite deposit, outside the Tråk central area a vein filled with siderite occurs. The vein direction is 220° , thickness 1.8 m and the surrounding rock is porphyritic granite. Siderite is the dominant mineral. Just a little quartz and chalcopryrite are found.

The vein direction of both the barite vein and the siderite vein are practically the same, and they have possibly been mineralized at the same time as late minerals in the Tråk mineralization.

Sammendrag.

I dette arbeidet er Tråk sink og blyforekomst som ligger i grunnfjellet nær Oslofeltet i Bamle i Syd-Norge beskrevet.

Beskrivelsen er et sammendrag av «Det store eksamensarbeid i malmgeologi», utført ved Geologisk Institutt, Norges Tekniske Høgskole 1963—64.

Tråkfremkomstene som periodevis er blitt drevet helt fra 1543 ble sist lagt ned i 1908.

Malmen opptrer i nord-sydgående steiltstående parallelle ganger som skjærer grunnfjellsbergartenes foliasjon i omtrentlig rette vinkler. Gangene kan følges i opptil 2.5 km i strøkretningen. Det er ikke påvist at mineraliseringen er sammenhengende i gangene, men det er rimelig å anta at forekomstene er knyttet sammen med sprekker som er mer eller mindre mineraliserte.

Malmmineralene er sinkblende, blyglans, kobberkis og svovelkis. I sinkblendene som inneholder bare 1.5 % Fe er det som regel rikelig med kobberkisavblandinger. Sinkblendene inneholder ca. 0.15 % Cd. Blyglansen fører ca. 0.05 % Ag.

Det dominerende gangmineral er kvarts. Ellers finnes også litt kloritt, kalkspat og tungspat.

Flere av gangene er ledsaget av en yngre intrudert diabas.

Mineraliseringsrekkefølgen synes å ha vært: svovelkis — kobberkis — sinkblende med kobberkisavblandinger — blyglans. Kvarts er avsatt under hele mineraliseringen og spesielt mot slutten. Tungspat, siderit og kalkspat er de yngste mineralene.

I de enkelte gangene ser det ut til at det er mest sinkblende mot nord og mer blyglans og kobberkis mot syd. Fra øst mot vest er det en tydelig konsentrasjon av kobberkis og blyglans i øst og mindre av disse mineralene mot vest med en parallell økning av sinkblendeinnholdet.

Det er antydnet at forekomstene ble dannet i temperaturområdet 200—300° C. på et dyp av 1.5—4 km.

Forekomstene har sannsynligvis genetisk sammenheng med den eruptive virksomheten i Oslofeltet fra Perm.

Til slutt i dette arbeidet finnes et tillegg der de enkelte forekomstene er beskrevet.

References.

- Bugge, A.* 1936. Kongsberg-Bamle-Formasjonen. Norges Geol. Undersøk. No. 146.
- Bugge, J. A. W.* 1943. Geological and petrographical investigations in the Kongsberg-Bamle Formation. Norges Geol. Undersøk. No. 160.
- 1960. Skarn iron deposits in the Arendal district. International geol. congr. XXI session. Editor Joh. A. Dons.
- Foslie, S.* 1925. Syd-Norges gruber og malmforekomster. Norges Geol. Undersøk. No. 126.
- Holtedahl, O.* 1960. Geology of Norway. Norges Geol. Undersøk. No. 208.
- Lindgren, W.* 1933. Mineral deposits. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York and London.
- Moorbath S. and Vokes F. M.* 1963. Lead isotope abundance studies on galena occurrences in Norway. Norsk Geol. Tidsskr. Bd. 43, h. 3.
- Neumann, H.* 1944. Silver deposits at Kongsberg. Norges Geol. Undersøk. No. 162.
- Oftedal, I.* 1940. Untersuchungen über die Nebenstandteile von Erzmineralien Norwegischer zinkblendeführender Vorkommen. Vid. Akad. Skr. 1. Mat. Nat. Klasse. No. 8.
- Ramberg I. and Barth T. F. W.* 1966. Eocambrian volcanism in southern Norway. Norsk Geol. Tidsskr. Bd. 46, h. 2.
- Vogt, J. H. L.* 1907. Über die Erzgänge zu Traag in Bamle. Zeitschr. für praktische Geologie, Juni/Juli.
- Vogt, Th.* 1908. Schwerspat aus Norwegischen Vorkommen. Norsk Geol. Tidsskr., Bd. 1, h. 9.
- 1924. Beretning om undersøkelser i somrene 1924—1928. Norges Geol. Undersøk. No. 133.
- Unpublished sources:
- Cockburn, J.* 1908. Traag mines Ltd. Report No. 621, Bergarkivet Norges Geol. Undersøk.
- Schutz, Fr.* 1914. Sortebogen blyglans og sinkblendeforekomster. Report No. 186. Bergarkivet, Norges Geol. Undersøk.

Kongsberg Sølvverk

Ved
ARNE BUGGE

Innhold.

	Side
Innledning	66
Oversikt over bergverkets drift.....	67
I 1623—1685	67
II 1685—1805	78
III 1805—1815	70
IV 1815—1955.....	70
Bergverkets drift etter:	
Sølvverkskommissjonen av 1815	70
* * * 1833	70
* * * 1851 og 1865	71
* * * 1885	71
* * * 1903	72
* * * 1932	75
Litteratur, rapporter og kartor	78
English summary	82

Innledning.

Sølvførende kalkspatganger er funnet mange steder i Kongsbergområdet, men det er kun vest for Numedalslågen mellom Kobberbergselva og Jondalselva at det er funnet ganggrupper som, med en draging i motsatt retning av gangenes fall, går mot stort dyp, dog ikke dypere enn til et nivå 100—200 meter lavere enn havoverflaten.

Ganggruppene, som er betegnet som *gangdrag*, faller temmelig steilt av mot dypet. Avbygningen — som i de siste driftsår foregikk med magasinrosser — har derfor krevet en nesten uavbrutt avsenkning av sjaktene.

Til å begynne med måtte arbeiderne bære opp sølv og gråberg, eller ta det opp med håndhasper, men grubene gikk allikevel hurtigere mot dypet, enn man skulle tro det var mulig med denne arbeidsmåte, og der måtte tilslutt innføres vannhjulsdrift ved grubeheisene. (Kunsthjul for vannlensingen og senere Kehrrad for fordringen). Hestevandring (Hestegjøpel) var — bortsett fra de første år — stadig i drift for fordring fra mindre dyp.

Vanndammer og vannledninger ble anlagt, og ved grubene ble bygget hjulstuer med kunsthjul, eller kraftoverføring med stangfelt.

Grubene kunne da avsenkes videre, men snart ble det nødvendig å bygge vannhjul nede i sjaktene. Da kom problemet med å lede driftsvannet fra sjakten frem til dagen, og *stollenes fremdrift ble bestemmende for sølvverkets utvikling.*

Når stolldriften ble forsømt, gikk sølvproduksjonen ned, og når stollene ble ført frem til gangdragene, kom grubene atter i produksjon, inntil de nådde det dyp, da gangdragene — eller gangene — opphørte.

Det er derfor naturlig å inndele oversikten over Sølvverkets drift i tidsavsnitt, hvor stollenes fremdrift har vært en bestemmende faktor, så lenge der var sølv å finne ved å avsenke grubene mot dypet.

Oversikt over Bergverkets drift.

- I. 1623—1685. Primitiv drift. Grubedrift mot dypet opphørte i 50—60 m — 140 m dyp.
- II. 1685—1805. Underbergstollen ble ført frem til alle gruber nord for Samuel grube. Sølvrike gangdrag ble da funnet og avbygget mot dypet.
En mengde forekomster ble også opptatt til undersøkelse og drift utenfor det gamle grubefelt mellom elvene. Alle de nyfunne forekomster ble avbygget. Man maktet ikke å føre Kristians stoll og Fredriks stoll på Overberget frem til gangdragene og Sølvverket ble nedlagt.
- III. 1805—1815. Ukontrollert drift av privatpersoner.
- IV. 1815—1955. Stoll drift ble opptatt på Overberget, og på Underberget syd for Samuel. Rike gangdrag ble funnet og avbygget. Forekomstene utenfor det gamle gruberområdet ble atter undersøkt, men ingen verdifull forekomst ble funnet. Gjenstående malmpartier ble utstrosset og sølvverkets drift ble av Stortinget besluttet nedlagt 29. november 1955.

I. 1623—1685.

Allerede 1630 — syv år etter det første sølvfunn — var alle de ganggrupper funnet, som har dannet grunnlaget for Sølvverkets drift. De øvrige ganger og ganggrupper, som senere er oppdaget, har nok gitt gode tilskudd til driften, men det er enten ganger som senere har vist seg å tilhøre ganggruppene (gangdragene) fra den første funnperiode, eller det er sprette ganger — og gangansamlinger — som kun har gitt lønnsom drift en forholdsvis kort tid.

Det må ha vært en begeistringens glød over de gamle bergmenn, da de oppdaget regelen om at sølvet finnes i krysset mellom gang og «fall»

(fahlbånd), og derpå i løpet av 2 år utviklet hele det drivverdige ertsfelt, inntil den store skjærper — Samuel Loss — fant Samuel grube «4 dage før sin død i pestens år 1630».

Det var kun basert på geologiske iakttagelser disse gamle skjærper arbeidet i sin malmløsing, og det nevnes spesielt at ingen sølvforekomst er funnet av ønskevistmenn.

Der fulgte en tid med rike sølvfunn i de nyoppdagede gruber, men ved grube etter grube ble sølvet borte mot dypet, og driften gikk da med underskudd.

Kongen, som var øverste driftsherre, overlot en tid driften til private, men det gikk ikke bedre da.

De kyndige bergmenn hadde lært å finne sølvet, der hvor gangene nådde opp i dagen, men mot dypet tok det lang tid å lære gangenes natur å kjenne, da avsynkningsarbeidet gikk meget langsomt så lenge man kun benyttet «hammer og bergsjern» til fjellarbeidet, og da fordring i sjaktene vesentlig ble utført med håndhasper.

Der ble nok en forbedring ved drift av orter og tverrslag, da man i siste halvdel av århundret begynte å arbeide med fyrsetning, og der ble gjort forsøk med kruttsprengning, men det hjalp lite å benytte krutt, før der 1719 innførtes Tyroler kronbor.

II. 1685—1805.

Med de primitive arbeidsmetoder hadde man oppnådd å avsenke grubene 50—60 m. (Segen Gottes grube endog 140 m), men undersøkelsesdriftene var meget forsømt, og henimot slutten av sekstenhundrede årene sto kongen foran valget: enten å nedlegge bergverksdriften, eller å modernisere den.

Han valgte det siste, og ved å følge de planer som ble fremlagt av den tyske bergmann Heinrich Slanbusch, som ble tilkalt, og senere andre dyktige tyske bergmenn, ble det skaffet vannkraft ved anlegg av vanddammer inne på fjellet og lange grøfter (flomgraver) som ledet vannet frem til grubene.

Vannledningene ble anlagt som en slags «takrennegrøfter», og i hule trestammer ble vannet ledet fra den ene til den annen side av små dal-senkninger og trykket opp til Kunsthjulene som sto i de oppmurte hjulstuer. De steder, hvor der var drevet stoller inn til sjaktene, kunne vannet også gi drivkraft til vannhjul som var bygget nede i grubene. Det forekom endog at vannet drev vannhjul *under* stollens nivå, og ble fra en sam-

lekum pumpet opp igjen til overkant av vannhjulet. Når disse anlegg var utført kunne orter og tverrslag drives langs ganger og faller (Fahlbånd) på de dyptliggende etasjer.

Ved undersøkelsesarbeidene ble man da oppmerksom på, at når en ganggruppe ble borte mot dypet, så fant man gangene igjen på dypere nivå ved å gå inn med tverrslag i motsatt retning av gangenes fall.

Dette ble ved alle gruber, som man da kjente, til en regel om å drive i *nordlig* retning. Som det også senere skal nevnes, viste gangene ved Samuel grube en unntagelse fra *denne* formulering av gangdragsregelen, da *gangene* der har steilt fall mot nord og gangdragene faller derfor mot syd.

Ved å følge gangdragregelen fant man rike sølvforekomster mot dypet i alle gruber, hvor stolldriften hadde skaffet avløp for driftsvannet, således at sjaktene kunne avsenkes til større dyp (Underbergets gruber nord for Samuel grube, og på Overberget: Gabe Gottes grube og den øverste del av Gottes Hülfe grubes gangdrag).

Da resultatet av moderniseringsarbeidet begynte å gjøre seg gjellende (ca. 1702) gikk Sølvverket inn i en overskuddsperiode som varte til 1769. Der var i denne overskuddsperiode kun et 10-årig avbrudd, vesentlig forårsaket av administrative vanskeligheter.

Slutten på overskuddsperioden ble varslet da det ved grubenes avsenkning, og etterfølgende tverrslag- og ortdrift, ble påvist, at det også ble en avslutning mot dypet for de rike gangdrag, som hadde gitt så gode forhåpninger dengang regelen ble oppdaget, om sølvets draging «på idelig fra norden tilfallende ganger».

Det var, da sølvet ble borte mot dypet i de gamle gruber, et håp at man kunne få tilskudd fra sølvforekomstene, som i 1700 årene var funnet i skogene *utenfor* det gamle grubefelt.

En mengde gruber ble opptatt ved alle disse nyfunne forekomster, og der kom gode tilskudd til Sølvproduksjonen, men den sprette grube-drift ble kostbar, og også ved disse gruber måtte man erfare at sølvforekomstene tapte seg mot dypet.

Så var det tilslutt ingen annen mulighet for fortsatt drift, enn å drive frem stollene på *Overberget* — etter det system som var benyttet ved *Underberget* — således at driftsvannet fra vannhjulene kunne få avløp.

De lovende gruber ville da kunne utvikles mot dypet, således som man med så stor fordel hadde kunnet gjøre det ved *Underbergets* gruber.

Dette ble overveiet, men da det ble beregnet, at der ville gå 26 år før Kristians stoll kunne bli drevet frem til Kongens grube og 59 år til Gottes Hülfe grube, oppga kongen hele driften og sølvverket ble nedlagt 1805.

En vesentlig grunn til den lange driftstid, som man regnet for stollene var, at der måtte drives flere ventilasjonsjakter (Lichtloch), og det var meget tidkrevende arbeider.

III. 1805—1815.

I disse 10 år ble enkelte gruber leiet ut til private, og forøvrig foregikk der en temmelig ukontrollert drift rundt om i de øvre deler av grubene.

Man kjenner ikke produksjonen i denne tid, men det er mulig, at den drift som har foregått gir — iallfall delvis — en forklaring på at man ved den undersøkelsesdrift som ble utført i nesten alle gruber i tiden etter 1900, ikke har funnet sølv på steder, hvor der — iflg. de siste befaringsprotokoller før 1805 — kunne ventes gjenstående sølvpartier.

Der ble i nedleggelsestiden igangsatt forskjellig industri, for å holde folkene beskjeftiget (manufakturere).

Av særlig betydning var opprettelsen av et jernverk, hvorunder der også ble lagt våpenfabrikasjon, som har utviklet seg til en meget stor industri ved Kongsberg (Kongsberg Våpenfabrikk).

IV. 1815—1955.

Administrasjonen av Sølvverkets drift har i denne tid vært omtrent som før, kun med den forskjell at øverste ledelse: *Konge — Rentekammer* ble overført til *Storting — Departement*, og forslag til retningslinjer for verkets drift ble gitt av *departementsoppnevnte kommisjoner*.

Der har vært oppnevnt Sølvverkskommisjoner: 1815, 1833, 1851, 1865, 1885, 1903 og 1932.

Den følgende beskrivelse er inndelt i avsnitt mellom hver Sølvverkskommisjon.

Sølvverkskommisjonen av 1815 utarbeidet forslag til Sølvverkets gjenopptagelse og anbefalte, at man begynte med partiet Justis — Armen-, Kongens grube.

Sølvverkskommisjonen av 1833 utarbeidet en plan, som har vært grunnleggende for Sølvverkets fortsatte drift.

Etter at Fredriks stoll 1822 hadde nådd inn til Kongens grubes gangdrag ved Armen grube i ca. 230 m dyp, ble der avløp for driftsvannet fra vannhjulene nede i gruben, og sjakt- og tverrslagdrift kunne utvikles under bunnen av den gamle grube. 1832 slo man med tverrslag fra Armen grube inn på den såkalte Kongens grube hovedgang, som der var så rent

usedvanlig rik at Sølvverkskommisjonene 1851, 1865 og 1885 kunne se lyst på Sølvverkets fremtid. Høyere oppe var gangen påvist sølvførende allerede 1829.

Sølvverkskommisjonene 1851 og 1865 behandlet mest interne saker vedrørende Sølvverkets administrasjon. Både av disse og andre kommisjoners innstillinger fremgår det, at det har vært en svakhet ved administrasjonsordningen at der, mellom de faglige ledere, har vært lett for å bli uoverensstemmelser.

Sølvverkskommisjonen av 1885.

Denne kommisjon utarbeidet planer for gjenopptagelse av nedlagte gruber basert på produksjonsoppgaver, som var sammenstillet av produksjonslistene. Da de gamle produksjonslister ikke gir noen opplysning om *hvor* i grubene sølvet er brutt, kom kommisjonen til den feilaktige oppfatning, at gruber som hadde god produksjon frem til nedleggelsesåret, var forlatt med sølvførende ganger i bunnen, og at det var tekniske driftsvanskeligheter, som var årsaken til at strossedriften ikke ble ført ned til grubens bunn.

Sølvverksdireksjonen kunne ikke være enig i, at det av driftstekniske grunner var særlig vanskelig å føre strossedriften frem på de store dyp, og den kunne ikke tro at grubene ble forlatt med sølv i bunnen, hvis vannkraften kunne utnyttes i full utstrekning.

Det har senere vist seg, at dette var en riktig oppfatning.

Som det foran er nevnt, var de fleste gangdragforekomster allerede utstrosset, og man hadde ikke, ved tverrslag- og ortdrift på dypere nivåer, kunne finne noen drivværdig fortsettelse av gangdragene.

Man trodde også — før 1805 —, at i gangdraget ved Samuel grube var strossene drevet så langt mot dypet som de sølvførende ganger gikk. Dette var dog feilaktig, da *gangene* — som en unntagelse — hadde fall mot nord. Det var derfor, i tiden etter at gruben ble gjenopptatt (1889), kun en ubetydelig stollforlengelse mot syd, som skulle til for å finne det sølvrike gangdrags fortsettelse på dypet. Dette sølvfunn ble først gjort etter 1900, da man i 10 år hadde drevet tverrslag og orter, der hvor man før nedleggelsen 1805 hadde gitt opp alt undersøkelsesarbeide.

Kommisjonen av 1885 var samlet i en for Sølvverket gylden tid, da det årlige overskudd var bestemt til kr. 500 000,—. Produksjonen, som skulle gi det budsjetterte overskudd, var på forhånd sikret av utbrutt sølv, som lå lagret i grubene i «Ertskovene». Kommisjonen kom allikevel med sine

forslag, etter de retningslinjer som kommisjonen av 1833 hadde gitt, om at man alltid måtte sørge for å utvikle nye gruber, som kunne avløse de gamle, når sølvet tok slutt. I tiden etter 1890 opphørte overskuddene på den egentlige drift, og ingen nye forekomster var påvist for å avløse de gamle gruber.

Der ble derfor 1903 oppnevnt en ny kommisjon. *Kristians* stoll var da ført helt frem til Haus Sachsen grube. 1855 ble den gjennomslått til Kongens grube, 1865 til Gottes Hülfe grube, 1891 til Haus Sachsen grube og 1922 ble forbindelsesstollen ferdig mellom Kristian stoll og Underberg stollen.

Sølvverkskommisjonen av 1903.

Kommisjonen skulle gi en uttalelse om Sølvverkets fremtidsmuligheter, men den fant at der ikke forelå tilstrekkelig materiale for å kunne gi en bedømmelse og uttalte, at det var nødvendig at der ved et omfattende praktisk-geologisk arbeide ble skaffet tilveie et fundament for å kunne bedømme grubenes fremtidsmuligheter.

Kommisjonen foreslog en frist av 2 år. Hvis der ikke til denne tid ble en bedring burde driften nedlegges.

I løpet av de 2 år utvikledes Samuel Grubes sydfallende gangdrag med rike strosser, og bergverksdriften kunne fortsette, men Sølvverkets ledelse tok allikevel meget alvorlig opp kravet om at der skulle skaffes tilveie et fundament for å bedømme grubenes verdi og fremtidsmuligheter.

Det ble overlatt til daværende myntmester Carl Bugge å gi en beskrivelse av Kongsbergfeltets geologi. Det meste av tiden 1909—1911 arbeidet jeg som hans assistent ved den geologiske kartlegging, og senere opptok jeg, som markskeider ved Sølvverket, et personlig studium av ertsgangene.

Ved kartlegging i grubene og utnyttelse av de gamle grubekarter, kunne jeg på nord-sydprofilene påvise at *gangene* hadde en draging mot dypet, således at gangdragaksen hadde fall i motsatt retning av gangenes fall.

På de aktuelle etasjer kunne der da inntegnes dette nivå's skjæring med gangdragaksen.

Bergmester Per Mortensen, som ble ansatt ved Sølvverket år 1900, hadde allerede lagt merke til at Overbergets sølvforekomster hadde en draging mot dypet, og antok at dragingen var betinget av «edle faller» som hadde en sølvutfellende innflytelse på gangene. Han antok at «fallene» lå i ertsbåndene og at de hadde uregelmessig avslutning oppad, nedad og til sidene.

Han anla etter denne oppfatning undersøkelsestverrslag uten bestemt angitt mål.

Da gangdragkonstruksjonene forelå, ble de anlagte tverrslag fortsatt til gangdragaksene, og nye tverrslag ble anlagt. Det ble oppnådd gode resultater ved denne tverrslagdrift, som ga godt håp som Sølvverkets fremtid.

Da det var en kjent sak at gangtogene hadde en særlig rik utvikling langs de nord-syd rettede «skiktningsganger», ble tverrslagene lagt langs disse ganger, som førte frem til selve gangdraget, eller til sølvførende ganger, som var utløpere fra det nærliggende gangdrag.

Først ved de etterfølgende studier av de gamle befaringsprotokoller og karter kunne jeg påvise, at «gangdragningene» hadde man forstått allerede for 150 år siden, men at denne viden ble forglemte i nedleggelsesårene, og de etterfølgende år, da den rike «Kongens grubes hovedgang» sikret en jevn og lønnsom drift.

Konstruksjonen av gangdragaksene har jeg nærmere beskrevet i Tidskrift for kjemi og Bergv. Nr. 2 1914, og Sølvverkets Bergmester Alb. Holter nevner i samme tidsskrift Nr. 1 1931, hvorledes disse konstruksjoner av gangdragaksene hadde gitt en rettledning for undersøkelsesarbeidet. Ved 300 års jubileet så man ennå ganske lyst på Sølvverkets fremtid, men utover 1920 årene ble det klart, at de store nyfunne gangdrag i Samuel-Kongens-Gottes Hülfe og Haus Sachsen grube hadde en avtagende tendens mot dypet, og man måtte derfor vente, at de skulle få en lignende utvikling som grubene på Underberget hadde vist siste halvdel av 1700 årene. Det ble da lagt under mitt arbeidsområde — som Sølvverkets geolog — å gi en beskrivelse av den grubedrift som hadde foregått ved Sølvverket siden 1623, og gi spesielle utredninger om hver enkelt grube, for at en eventuell Sølvverkskommissjon skulle ha materiale til å kunne ta standpunkt til spørsmålet om muligheten for fortsatt drift.

1931 hadde jeg ferdig 2 rapporter på tilsammen 316 sider bilagt mapper med 57 geologiske kart, og profiler av grubene og stollene. Min arbeidsmetode for grubenes beskrivelse var således, at jeg først tok utdrag fra befaringsprotokollene fra den gamle drift. Deretter sammenlignet jeg mine utdrag med de gamle karter i kartsamlingen, og utarbeidet tilslutt en kortfattet rapport over grubens historie.

Hver dag ved kontortidens slutt kom Bergmesteren (Alb. Holter) inn på mitt kontor. Vi gikk da igjennom mitt innsamlede materiale og den rapport jeg hadde sammenstillet, således at alt jeg har skrevet om de enkelte gruber, også har gått gjennom Bergmesterens kontroll.

Ved sammenligning med de foran nevnte produksjonsoppgaver for hver enkelt grube fremgikk det, at disse ikke alene manglet angivelse av hvilket nivå sølvertsen ble brutt, men det viste seg, som jeg også har sett fra smågruber annet steds i landet, at når det ble opptatt arbeide ved en grube, så ble driften av omgivende forekomster, som senere ble opptatt, lagt under samme stiger, og han har ført produksjonsoppgavene under den grube som først ble opptatt.

Produksjonsoppgavene ble derfor flere steder ikke helt riktige, men ved sammenligning med befaringsprotokollene kunne der iallfall gis sikre oppgaver, om hvilke deler av grubene som hadde gitt lite eller ingen produksjon.

De steder hvor grubene har vært i produksjon, er på profilene — som ligger i kartmappene som ble vedlagt mine rapporter — merket med forgylling. Det kartbilde, man på denne måte har fått, viser at i Kongsbergområdet finnes en stor mengde *enkeltvis opptredende ganger* med kanskje en eller to parallellganger. Ganger av denne type, som særlig er representert på Vinoren, er ofte rikt sølvførende, men kun i selve gangene og et relativt kort stykke mot dypet. Når de gode strosser slutter har det vært vanskelig — eller umulig — å finne igjen drivverdige gangpartier mot dypet. Ingen av disse ganger har vært drivverdige i mer enn korte perioder. Den langt overveiende del av produksjonen er kommet fra «gangdrag», som flere steder har lange utløperganger (f. eks. Kongens grubes hovedgang). Denne gangtype danner ertsforekomstene i de dype gruber i det gamle ertsfelt mellom elvene, og i Anne Sofie grube i Svene. Gangene i gangdragene sviner hen mot dypet, enten som rørformige gangmasser — eller breksjer — som i Gottes Hülfe grube, eller som sprette ganger med ujevn sølvføring, således som man har funnet det i Gabe Gottes — og Haus Sachsen grube.

I sin publikasjon: «Om faller og Falldrag» gir Bergmester Per Mortenson en klar vurdering av verdien av de 2 foran nevnte gangtyper. Følgende sitat er fra denne publikasjon: (Det bemerkes at M. betegner sølvbringende bergarter som «edle faller». Et navn som benyttedes ved Kongsberg var «Ertsband» som kan betraktes som et lokalnavn for de gamles «edle faller»).

«Sølvrikdommen i Kongsbergfeltet ligger i de edle faller, hvor der foruten en eller flere kalkspatganger anstår et nettverk av drummer, og hvor sølv finnes i ganger, i drummene, i skilnader og i klippen, således at «fallen» kan minne om en svamp som har oppsuget og fastholdt sølvet. Det er fra sådanne ertspartier at den vesentligste del av sølvproduksjonen kommer. Gangenes bredde er liten og måles i centimeter, mens bredden av det

hele sølvførende måles i meter. Der hvor det bare er selve kalkspatgangen som fører sølv, vil der aldrig være noen betraktelig sølvmengde å finde».

Som eksempler på den tålmodighet som man har vist i undersøkelsene mot dypet i de to gangforekomsttyper, nevnes følgende 3 gruber fra *gangdragforekomster* og i *Juliane Marie* fra *gangforekomster*.

Gabe Gottes grube ble nedlagt 1929. Den hadde da iflg. oppgavene i befaringsprotokollene og etter opplysninger jeg har fått fra Bergmester Holter, neppe gitt overskudd siden 1720, men hadde etter dette år vært — iallfall delvis — i drift i 120 år. Den var ved nedleggelsen avsenket til nivå 420 meter, og det antas at den sluttet å være drivverdig 200 meter ned.

Ved Kongens — Gottes Hülfe — og Samuel grube har der vært drevet sjakter, lange tverrslag og orter 100—170 m under de drivverdige strosser, uten at man derved har funnet noen lovende fortsettelse av gangdragene.

Juliane Marie nevnes som eksempel på en grube, drevet på de uregelmessige gangforekomster på Vinoren.

Gruben nevnes første gang 1757 som et skjerp. Da Kongsberg Sølvverk ble nedlagt (1805) var den 176 m dyp. Etter 1805 fortsatte driften med årlige underskudd til 1814. Den var da antagelig 212 m dyp. Det beskrives at sølvet i den nedre del av gruben forekom som nyreformede partier som det var vanskelig å finne, da man kunne gå med orter over eller under sølvpartiene uten å se spor av sølv i gangen. *A/S Trollerud Sølvverk* opptok atter gruben 1910 og avsenket den til Klausstollens nivå på 300 m dyp. Stollen slo inn i gruben 1918 og kort tid etter ble driften innstillet. Ved ort og strossedrift hadde man da hatt de samme erfaringer som i den gamle drift, og fikk ingen lønnende strosser igang.

Da mine rapporter av 1930 og 1931, samt en utvidet geologisk kartlegging over området — i tillegg til det som var utført av Carl Bugge — var ferdig, anså man at kravet fra Sølvverkskommisjonen av 1903 om en omfattende malmgeologisk undersøkelse var oppfylt og desember 1932 ble der oppnevnt en ny kommisjon.

Sølvverkskommisjonen av 1932.

Kommisjonen som innleverte sin innstilling 1935, uttalte sin tilfredshet med det fremlagte materiale og de 2 bergkyndige medlemmer overingeniør, professor, L. D. Jensen og bergmester C. C. Riiber ga følgende uttalelse om de malmgeologiske undersøkelser. «Takket være klarleggingen av dette forhold, gangdragregelen, er oppfarringsarbeidet fra å være usikkert nu

blit relativt regelbunnet, således at man på forhånd kan konstruere sig frem til forhåpningspunkter, idet man anlegger sine tverrslag langs skiktninggangene helt frem til gangdragets akse. Her har man altså muligheter for å påtreffe sølv, andre steder ikke.

Dette er det store fremskritt, som det praktisk geologiske arbeide har bragt vedkommende gangdragenes forhold.»

Kommisjonen foreslog at driften skulle avvikles i løpet av 5—10 år, ved å utta de foreliggende malmbeholdninger, hvis der ikke ved de ekstraordinære undersøkelser som foreslås kan skaffes nye malmforråd.

Sølvverksdirektøren ga sin tilslutning til kommisjonens forslag og der ble bevilget de nødvendige penger til de undersøkelsesarbeider som kunne foreslås. Gjennstående malmpartier ble brutt i tiden etter 1935.

Det var da i høy grad et erfaringsfag å bestemme, hvor meget som burde brytes i magasinenes sidevegger, og ikke minst, hvilke og hvor meget av de isolerte ganger som det lønnet seg å bryte i spesielle strosser.

Der står en mengde sådanne ganger avmerket i ortene i alle gruber. Det hørte til «ertsleiternes» arbeide å avmerke sølvførende gangpartier med små bolter som pekte mot hverandre. Plasingen av disse bolter (ertspropper) ble alltid utført med stor nøyaktighet, og gangenes drivverdighet ble diskutert mellom ertsleiteren, stigeren og bergmesteren.

Hvis man ikke kjenner til alle de tilredningsarbeider og ekstra driftsomkostninger som følger med drift av smale strosser på ganger, som ikke kan tas inn i magasinrossene, så kan man sikkert forbauses over at der står igjen ganger med ganske pen sølvføring. Særlig i den nordre del av Gottes Hülfe, og Haus Sachsen grube forekommer sådanne sprette sølvførende ganger, som man regnet muligens engang kunne drives, hvis der ble funnet et nærliggende gangdrag, som kunne egne seg for magasin drift. Senere kan der være tatt prøver, eller sprengningsforsøk hvorved ertsproppene er bortskutt.

Det kan her være av interesse å nevne at ved Knaben molybdengruber kan man flere steder se rike molybdenglanganger, som man ikke har kunnet ta med i magasin driften, og har funnet at tilredningsomkostningene for drift av et par næret brede strosser er så store, at det ikke kan lønne seg å anlegge spesielle strosser.

Den amerikanske geolog *Dr. Peale* bemerker i sin rapport 30. 6. 1951 at der er gjenstående ertspartier som kan gi produksjon, men han regner ikke med at de kan gi grunnlag for varig drift og uttaler som et resyme av sådanne iakttagelser og om Bergverket som helhet «all of the above recommendations, while they lengthen the life of the mine for a time, are not

going to make a new mine of it.» Dr. Peale foretok — etter oppdrag fra Industridepartementet sine undersøkelser ved Sølvverkets gruber 5—6 måneder 1950—51. Han nevner Carl Bugges arbeide om Kongsbergfeltets Geologi (1917), men synes ikke å ha studert hverken dette arbeide eller noe av det som foreligger av litteratur, rapporter og karter. Dr. Peale nevner som en personlig iakttagelse, at der i gangene ofte er sølvanrikninger ved «amfibolittenes» grenser, og at der kan forekomme en nordlig gangdraging «in echelon pattern», således at de enkelte ganger faller mot syd, men han er tydeligvis ikke oppmerksom på, at dette ved Sølvverket er 200 år gammel viden. Ofte tales der i de gamle befaringsprotokoller om: at man må overfare «Det sorte bånd» da Fallen annetsteds har vist sig edel inn til dette, og at mot dypet har man brutt sølvet på «idelig fra norden tilfallende ganger». Det er verd å bemerke at hans arbeidsmetode — ikke å vite noe om fortiden — har ført ham frem til velkjente synsmåter. Av særlig interesse er det å se, at han beklager den store mangel på geologiske grubekarter og studier og erklærer «had this work (den geologiske kartleggingen) been carried on for the past twenty years with adequate development, the mine would either be making a profite to-day or be shut down.»

Dette er nøyaktig det arbeide som ble foreslått av Sølvverkskommissjonen av 1903, igangsatt ca. 1910 og forelagt Sølvverkskommissjonen av 1932, som tilrådet, at hvis ikke endel angitte undersøkelsesarbeider ga gode resultater burde Sølvverket nedlegges, etter at gjenstående malmpartier var utstrosset.

Den rike utvikling av Samuel grube har forlenget tidsperioden før det malmgeologiske arbeide ble opptatt, men forøvrig kan jeg ikke se annet enn at arbeidet som Dr. Peale mener burde ha vært utført, det er det som ble forelagt kommissjonen av 1932.

Etter anmodning fra Industridepartementet og komiteen som har vært oppnevnt har jeg gitt 7 uttalelser i tiden fra 1931 til 1954 (se litteraturfortegnelsen).

Man vil også der finne uttalelse vedr. Dr. Peales rapport, samt andre rapporter som er avgitt, og er samlet i Stortingsproposisjonene. Der henvises også til rapport fra Direktøren for Norges geologiske undersøkelse Dr. Carl Bugge.

Som rimelig er vil der alltid fremkomme beklagelser over at det gamle Sølvverk er nedlagt, og — som ved alle nedlagte bedrifter — vil der fremkomme tvil om hvorvidt driften alltid har vært riktig ledet og om den endelige bedømmelse var riktig.

Når nu alle opplysninger vedr. Sølvverkets drift gjennom tidene er samlet i NGU, i Riksarkivet og i Stortingsproposisjoner, vil der ved tvils-spørsmål være anledning til å studere det som foreligger, og jeg har ved denne korte oversikt over geologien og bergverkets drift søkt å tilrettelegge studiet av de forskjellige grener av grubedriften. Anleggene i dagen er ikke tatt med i denne oversikt og har mindre interesse, da der ikke er gitt noen anvisning om hvorledes grubene kan produsere drivverdig malm i den mengde som kreves for å opprettholde drift av oppberedings- og smeltehytteanlegg.

Litteratur, rapporter og karter.

Der finnes en meget stor litteratur om bergverksdriften og om geologiske iakttagelser, og i Sølvverkets arkiv var samlet en stor samling befaringsprotokoller, dagkart, grubekarter og geologiske karter.

Noen karter er nu utstillet i Sølvverksmuseet. Forøvrig er det meste av arkivsakene sendt til Riksarkivet. Kartmaterialet er fordelt således, at de gamle karter er sendt til Riksarkivet og karter av nyere type er sendt til Norges geologiske undersøkelse.

Endel bøker er sendt til Universitetsbiblioteket.

Det er for meg et uoverkommelig arbeide å gi en *detaljert* fortegnelse over alt materiale som finnes.

Jeg henviser derfor her kun til de foran nevnte samlinger og til de litteraturfortegnelser som er gitt av følgende forfattere i deres publikasjoner:

Chr. A. Münster, Kongsberg Ertsdistrikt, Vidensk. selsk. Christiania I Math. naturv. Kl, 1894.

Carl Bugge, Kongsbergfeltets geologi NGU nr. 82, 1917.

Henrich Neumann, Silver Deposits at Kongsberg NGU nr. 162, 1944.

Vedr. rapporter fra de senere år nevnes:

Rapport over Kongsberg Sølvverks gruber Overberget og Underberget 1930, Arne Bugge.

Rapport over Kongsberg Sølvverks gruber utenfor Overberget og Underberget 1931, Arne Bugge.

Tilleggsuttalelser til de to rapporter.

Rapporten av 1930 har følgende innhold :

Innledning	side	1
Fahlbånd, faller, fallbånd og faldbånd	«	4
Gangene	«	12
Kvartsgangene	«	16
Skiferspatgangene	«	17
Diabasgangene	«	18
Gangenes utstrekning mot dypet	«	22
Teoretiske oppfatninger om gangenes genesis og sølvets utfelling	«	27
Spesielle oppfatninger om sølvets forekomst i båndene	«	31
Sølvverkets drift og sølvproduksjonen	«	33
Den tekniske drift	«	39

Side 43—197 beskrives grubene på Over- og Underberget.

Beskrivelsene er sammenfattet etter at der er foretatt sammenlignende studier av de gamle befaringsprotokoller og kart, samt de opplysninger som foreligger fra de senere år.

Der er for hver grube et avsnitt om deres verdi og fremtidsmuligheter, og side 195 er gitt et Resumé av disse avsnitt.

Sølvverkskommissjonenes planer for ertsdistriktets avbygning side 197.

Rapporten av 1931 har følgende innhold :

Beskrivelse av gruber utenfor Overberget og Underberget med resumé av grubens verdi og fremtidsmuligheter, side 1—112.

Fortegnelse over tekniske uttrykk og målangivelser 112.

Tilleggsuttalelse til de to rapporter av oktober 1948 :

Rapporten er bilagt med 12 kart og profiler.

Rapporten av 1930 er bilagt med følgende kartmapper :

Overberget.

- Mappe 1
- a. Geologisk dagkart Overberget I
 - b. Profil N-S.
 - c. Geologisk kart over stolletasjen
 - d. Geologisk Ø—V profil over Gabe Gottes gr.

- Mappe II a. Geologisk dagkart Overberget II
 b. Profil N-S
 c. Profil N-S Kongens grube
 d. Geologisk kart over stolletasjen
 e. Geologisk Ø—V profil over Kongens gr.
- Mappe III a. Geologisk dagkart Overberget III
 b. Profil N-S
 c. Profil N-S Else grubes bånd
 d. Geologisk kart over stolletasjen
 e. Geologisk profil Ø-V over Gottes Hülfe grube
 f. Geologisk profil Ø-V over Haus Oldenburg grube
 g. Geologisk profil Ø-V over Morgenstjerne gr.
 h. Geologisk profil Ø-V over Prins Carl av Hessen gr.
- Mappe IV a. Geologisk dagkart Overberget IV
 b. Profil N-S
 c. Geologisk kart over stolletasjen
 d. Geologisk profil Ø-V over Haus Sachsen gr.
- Mappe V a. Geologisk dagkart Overberget V
 b. Profil N-S med påtegnet profil Ø-V over Kronprins Fredrik grube.

Underberget

- Mappe Søndre Underberget I
 a. Geologisk dagkart
 b. Profil N-S
 c. Geologisk kart over Stolletasjen
 d. Geologisk profil Ø-V Samuel gr.
- Mappe Søndre Underberget II og III
 a. Geologisk dagkart II
 b. Geologisk dagkart III
 c. Profil N-S II
- Mappe Midtre Underberget
 a. Geologisk dagkart
 b. Profil N-S
 c. Geologisk kart over stolletasjen
 d. Geologisk profil Ø-V over Geschworner grube

Mappe Nordre Underberget

- a. Geologisk dagkart
- b. Profil N-S
- c. Geologisk kart over stolletasjen.

Rapporten av 1931 er bilagt med følgende karter i mappe og endel karter er innheftet i rapporten. Kartene i Mappen er merket M. Kartene i rapporten er merket R.

- R. Andreasfjellgrubene
Kartskisse, 2 blader profiler
- R. Helgevannsgrubene
Geologisk kartskisse, 1 blad N-S profil
- M. Jonsknutskjærpene
Geologisk dagkart over Knutehåvet
Nord-Syd profil ved de søndre skp.
- R. Barlinddalskjærpene
Geologisk kartskisse

Gruber på søndre side av Kobberbergselva.

- M. Geologisk dagkart
- R. Profiler v. Stadsmyrgrubene 1 blad
- M. *Søndre Vinoren gruber*
Geologisk dagkart av Carl Bugge
Profiler 2 blade
- M. *Midtre Vinoren gruber*
Geologisk dagkart av Carl Bugge
Profil N-S 1 blad
- M. *Nordre Vinoren gruber*
Geologisk dagkart
Profil N-S 1 blad
- M. Anne Sofie grube
Geologisk dagkart
Profiler 1 blad
Grubene ved Trollerud
- M. Geologisk dagkart
- R. Profiler 1 blad
- M. Kjennerudvann gruber
Geologisk dagkart.

English summary.

Kongsberg Silver Mines were worked practically continuously from 1623 to 1955. I was employed as mine surveyor and geologist for a period of 25 years and during that time carried out comprehensive geological mapping of the mines and the Kongsberg area as a whole. In addition, I have gone through the large collection of records of inspections and investigations, mine descriptions, maps and literature covering the whole of the long period of operations.

The results of my studies have been presented in two typewritten reports, totalling 316 pages and including 57 geological maps and profiles. In these reports are given general descriptions of the silver deposits and of the mining activity which has taken place. In addition there are included detailed short summaries of the history of each mine, based on the old records.

After the Silver Mines were closed down in 1955, all the literature, including the old records and maps, were distributed amongst various institutions — the Geological Survey of Norway, Trondheim, the National Archives and the University Library in Oslo. Those wishing to study this literature must necessarily visit all these places.

In order to simplify the task of those seeking information concerning the Kongsberg Silver Mines, I have in this publication prepared an informative review of the history of mining. There is also given a list of the contents of the above-mentioned records, as well as information regarding the bibliography of the Kongsberg Silver Mines.

I have chosen to divide up the history of the mining into periods of time which correspond to improvements in technical efficiency, expansion of operations and accompanying increased understanding of the silver deposits.

1623—1685. During this period it was not possible, with the primitive methods of working available, to follow the silver — bearing veins deeper than about 50—60 metres (max. 140 m.). The silver often gave out in the E—W striking veins, both along the strike and in depth, and technically the means of looking for new silver-bearing veins to the north or the south were very limited. The King at the time, as supreme head of the operations, was therefore faced with the choice of either closing down the mines, or of modernising them technically. He chose the latter course and called in German miners to plan new mining operations.

1685—1805. A high technical level was developed and maintained during this period. Water power was provided to drive water-wheels at the mines for hoisting, and adits were driven to all mines, where technically and economically feasible, in order to provide drainage for water driving wheels installed down the actual shafts. Indeed, by utilising pumps, it was even possible to place a water-wheel in a shaft below the level of the drainage adit.

Thus it became technically possible to sink shafts to quite considerable depths and from these long cross-cuts could be driven to north and south.

The fact that the direction of plunge of the vein-system in depth (en echelon) is opposite to the direction of dip of the individual veins was discovered at this time. With one exception (Samuel mine) the veins at all the mines dip 60—80° to the south, so that the vein-systems plunge to the north. Rich silver deposits were discovered by following the rule expressing this fact and formulated thus: when a vein disappears in depth, search for a new one deeper and to the north.

Valuable deposits were thus found and mined, but these veins also narrowed down, disappeared or lost their silver contents in depth, and in spite of considerable amounts of exploration work, mine after mine had to be abandoned.

There were still very promising possibilities at several of the mines (Kongens, Gottes Hülfe and Haus Sachsen mines), but since it was calculated that it would take 26 years and more to drive adits to drain the water from the water-wheels, all plans to continue operations at these mines had to be given up.

In order to maintain production, mining was started at many newly discovered deposits in the district. These gave in parts good production, but eventually the silver contents diminished and disappeared in depth, and in 1805 the King decided that the silver mines should be closed down.

1805—1815. No organised work was carried out during this period, but private persons carried on scattered operations. In 1815 the Norwegian Parliament decided that mining operations should be resumed.

1815—1955. During this period the Silver Mines were worked with, for the period concerned, up to date technical methods and equipment, and rich vein-systems were found as the adits reached the areas of the old mines at depths which had previously been unattainable. The opera-

tions produced a profit over a period of many years, but eventually the vein-systems diminished in silver content or disappeared completely in depth.

Since it was thought that it was possibly due to lack of suitable methods and equipment that many of the old mines were abandoned at the end of the 18th century, exploratory work was carried out at most of these, leading however to the same negative results as earlier.

The mines were not economical when they were abandoned.

On 29th November, 1955, the Norwegian Parliament decided that the Kongsberg Silver Mines should be wound up.