

min. 6. 8. 1936

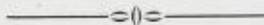
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE NR. 146.

KONGSBERG-BAMBLE FORMASJONEN

AV

ARNE BUGGE

MED 37 TEKSTFIGURER
OG ENGLISH SUMMARY



OSLO 1936

I KOMMISSJON HOS H. ASCHEHOUG & CO.

8 V 4 3/n

Innhold.

	Side
Innledning	5
Rivningsbreccien som danner skille mellem Telemarkformasjonens gneisgranitter og suprakrustalbergarter i vest- og Kongsberg-Bambleformasjonens gneiser i øst	9
Telemarkformasjonens gneisgranitter og suprakrustalbergarter	12
De vestlige gneisgranitter	12
Telemarkformasjonens suprakrustalområde	14
Kongsberg-Bambleformasjonen	18
Båndgneis og diorittisk gneis	20
Gabbro, Amfibolitt og Olivinhyperitt i ganger og klumper	27
Granitter	31
Bambleformasjonens „kvartsitter“ og „kvartsskifere“	38
Mineraler og Mineralganger i Bambleformasjonens pneumatolytisk-hydrothermale randsone	45
Anthofyllitt	45
Biotitt og muskovitt	45
Sillimanitt	46
Skapolitt	47
Turmalin	48
Sulfider	48
Magnetitt og jernglans	48
Kalkspat	53
Magnesitt og dolomitt	62
Pegmatittganger	63
Apatitt	68
Albittgjennemvevning	71
„Konglomeratganger“	72
Tektonikk	74
Strøk og fall	74
Breccier og gangspalter øst for den store rivningsbreccie	75
Breccier og gangspalter vest for den store rivningsbreccie	79
Sammenfatning	81
Oversikt over Kongsberg-Bambleformasjonens genesis	85
English Summary	94

Innledning.

Kartleggingen av grunnfjellet i det sydvestlige Norge er nu så langt fremskredet, at man enkelte steder har materiale til å gi detaljerte beskrivelser av betydelige områder. Særlig utformet er billedet av de geologiske forhold i den sydlige del omkring Kristiansand og i den østlige del omkring Kongsberg: Kartbladene Kristiansand, Kongsberg, Eiker og Flesberg er her praktisk talt ferdigtegnet i målestokk 1:100 000 og meget arbeide er utført på kartbladene Kragerø og Arendal.

En oversikt over geologien i disse trakter blev av forfatteren gitt 1928¹. Det påvistest da at hele området var gjennomskåret av en veldig rivningsbreccie, som var fulgt fra Modum til Kristiansand, og den påfallende forskjell mellem bergartsgruppene på begge sider av rivningsbreccien blev klarlagt ved flere eksempler.

Ved de utførte detaljarbeider er denne forskjell nu blitt enn mere utformet.

Efter hvert som kartleggingen skrider frem, tegnes det geologiske billede av to formasjonsgrupper som viser så liten overensstemmelse med hinannen, at de må ha vært dannet under helt forskjellige forhold. Likeledes er det på det rene, at bergartsgruppene har gjennomgått en helt forskjelligartet metamorfose, og at de hver for sig er karakterisert ved sine spesielle ertser og mineraler.

I den vestlige gruppe beviser bølgeslagmerker og konglomerater en sedimentær opprinnelse. Utvilsomme lava-dekker godtgjør, at der under sedimentasjonen har vært en vul-

¹ Arne Bugge: En forkastning i det syd-norske grunnfjell. N. G. U. nr. 130, 1928.

kansk virksomhet. Utvalgte konglomerater, foldede lag og en sine steder høi metamorfose tyder på fjellkjedefoldning i forbindelse med regionalmetamorfose.

I den østlige og sydøstlige gruppe finnes ingen beviser for at nogen av bergartene er dannet ved sedimentasjon. Heller ikke finnes noget bevis på vulkansk virksomhet. I hele den lange bergartssone sees en ensrettet krystallisasjons-skifrihet, men der kan ikke påvises nogen betydelig tverr-forkastning eller foldning, bortsett fra små spring og krusninger. I en bestemt sone, der kan følges fra nord til syd, i denne bergartgruppe, viser mineralsekskapet at der har foregått en mektig pneumatolytisk og hydrothermal virksomhet, som er påbegynt ved høi og avsluttet ved lav temperatur.

Den pneumatolytiske og hydrothermale virksomhet er knyttet til gabbro-granittinjeksjoner, og de i denne periode avsatte mineraler og ertsganger viser ingen tegn på foldning eller press. Heller ikke kan der ha vært nogen temperaturstigning høiere enn nogen få hundre grader etterat de hydrothermale bergarter soner blev dannet. Strøket er ensrettet nordlig i den nordlige gren og nordøstlig i den sydlige gren og fallet er som oftest temmelig steilt østlig. Helt til under 1000 m's dyp har man ved Kongsberg Sølvverk fulgt bergartene i fallretning uten at der kan påvises nogen som helst avvikelse fra strøk og fall i overflaten. Hverken tektonikken eller metamorfosen tyder således på en fjellkjedefoldning, men viser en lovmessig ensrettet krystallisasjons-skifrihet, etterfulgt av pneumatolytisk og hydrothermal virksomhet, som er bunnet til bestemte lange soner og har ikke den regionale utbredelse som en fjellkjedefoldning vilde ha medført.

Jeg kan ikke finne noget resonnement hvorved man kan forklare dannelsen av de eiendommelige, sonart opbyggede østre gneisgrupper, hvis man skal se dem som yngre enn den vestre Telemarkformasjon.

Antar man den som eldre kan derimot såvel mineraldannelsen som den sonare oppbygging forklares, hvis man går ut fra at bergarten her på en eller annen måte er blitt beskyttet mot den voldsomme fjellkjedefoldning og dermed forbundne metamorfose som har rammet den vestlige bergartgruppe.

Den vestlige gruppe, »*Telemarkformasjonen*«, har jeg beskjeftiget mig forholdsvis lite med og jeg skal derfor kun beskrive den rent oversiktlig.

Den østlige gruppe, som jeg benevner »*Kongsberg-Bambleformasjonen*«, skal jeg derimot opta til nærmere beskrivelse og skal, såvidt det innsamlede materiale tillater, søke å gi en utredning om de lange pneumatolytiske og hydrothermale soner samt om de eiendommelige trekk ved denne grunnfjellsgruppes tektonikk. Tilstedeværelsen av de i bestemte soner orienterte lavtemperatur-mineraler kun få kilometer øst for en høit-metamorfosert bergartgruppe, har ledet mig til nogen spesielle slutninger, såvel om bergartenes krystallisasjon som vedrørende deres senere historie gjennom alle de geologiske perioder. Det er dog ikke annet enn hvad man kan vente at de arkeiske gneiser ved den sydnorske kyst må vise eiendommelige trekk. Man har nemlig her, i vel avdekket terreng, anledning til å studere våre eldste grunnfjellsgneiser ved randen av et resistensområde.

Ved den sonare utvikling av de steiltstående randsoner i Kongsberg-Bambleformasjonen deles disse op i lange grunnfjellsblokker som er adskilt fra hinannen ved utpregede, ofte mange kilometer lange avløsningsflater der kan være utviklet som brecciesoner med langsgående leirfylte slepper.

Sådanne veldige »fundamentblokker« kan påvises i Kongsberg-formasjonen, og det kan påvises at de har vært i en nogenlunde horisontal bevegelse. Tenker man sig steiltstående, lange fundamentblokker i bevegelse, under horisonalt påhvilende yngre sedimentpakker, kan man anta at de males op og føres bort, eller at de trykkes op gjennom de yngre lag eller ned i smeltmassen og at der således i fundamentet foregår en arealforminskning og forstyrrelser, som i de overliggende horisontale lag vil frembringe de hevninger, senkninger eller foldninger, som karakteriserer resistensområdenes randsoner. Jeg har ikke optatt dette spørsmål til behandling i denne avhandling, men nevner det kun som et problem som man bør være opmerksom på i tilsvarende grunnfjellsområder, da det er av interesse å få på det rene, om det kun er et lokalt fenomen eller om det kan antas å gjelde geosynklinalområdene i sin almindelighet.

Den tid jeg som statsgeolog kan avse til teoretisk arbeide er meget begrenset, da hovedarbeidet må være geologisk kartlegging og bergindustriell forskning. Det vil derfor ta mig en uforholdsmessig lang tid å levere en fyllestgjørende teoretisk beskrivelse av de i denne avhandling berørte problemer, og jeg finner derfor at det ikke kan være riktig å la årene gå uten å offentliggjøre nogen av mine iakttagelser fra de her nevnte grunnfjellsstrøk, så de kan komme under kritikk og muligens nyttiggjøres. Som det vil sees av efterfølgende avhandling mangler meget, særlig i den kjemiske og petrografiske analyse av bergartene, men der er dog mange eiendommelige trekk ved Kongsberg-Bambleformasjonens bygning som nok kan ha sin interesse.

Mikrofotografiene og stuffotografiene som ledsager avhandlingen er utført av bergingenør Johan Stadheim.

Hovedtrekkene i landsdelens grunnfjellsgeologi er, som det fremgår av foranstående, *Den store rivningsbreccie* som adskiller *Telemarkformasjonen* og *Kongsberg-Bambleformasjonen*. Nedenfor skal først beskrives rivningsbreccien og derpå de to store formasjonsgrupper på hver sin side, samt de gjennom-brytende granittmassiver.

Rivningsbreccien

**som danner skille mellem Telemarkformasjonens gneisgranitter
og suprakrustalbergarter i vest og Kongsberg-
Bambleformasjonens gneiser i øst.**

Sammenhengende er den store rivningsbreccien fulgt fra skjærgården vest for Kristiansand, gjennom det innlandsdalføre som er utviklet langs den opknuste fjellmasse østover til Oslofeltet ved Skiensfjorden. Videre finnes den igjen på nordsiden av de yngre Oslofelt-bergarter som skjærer inn i grunnfjellet. Fra dette sted sydøst for Kongsberg kan den følges ubrutt til den taper sig i den yngste prekambriske granitt — Flågranitten. I den nordligste gren mangler detaljkarter, og breccien og dens sidebergarter er her ennå kun mangelfullt studert. Det synes dog å være klart at iallfall en forgrening av breccien ved Flågranitten gjør et hopp mot øst, kommer igjen ved Onsberget vest for Randsfjorden og fortsetter over Brandbu til sparagmitten ved Gjøvik. Det er dog ennå ikke på det rene, om denne også her danner formasjonsgrense eller om denne bøier av i Flågranittens retning og forsvinner i denne mot nord.

Her skal kun behandles breccien syd for Flågranitten, da jeg som nevnt mangler iakttagelser i den nordlige del. Langs hele brecciens 250 km lange vei fra Kristiansand til Flågranitten ved Randsfjord har de opknuste bergarter i breccien hatt lett for å forvitte, og ved is og elveerosjon er der gravet ut et innlandsdalføre som går tvers på alle de vanlige daler, som søker den korteste vei ut mot kysten. Brecciens tversgående dalføre har således hatt en iøinefallende innflytelse på landets topografi. Særlig er dette synlig i den sydlige gren — sydvest for Oslofeltet. Alle vannløp nordenfra opfanges her i brecciens dal og samles i kun noen få gjennembrytende store elver. Elver og langsgående innsjøer markerer således brecciens dalføre.

Rivningsbreccien består av en mylonittisert bergartmasse av 50—200—300 m's bredde. Mens grensen mot vest et temmelig skarp, har man mot øst en overgangssone, således at man vanskelig kan si hvor rivningsbreccien egentlig slutter. Bergartmaterialet i selve breccien er helt opknust til en finkornig masse,

som etterat den har antatt fast form atter er opknust og sammenbundet av kvartsganger og fine kvartsårer.

I en senere periode er denne kvartsbrecciemasse atter oppbrutt av langsgående steile sprekker, som til dels er fylt av en leiraktig masse. Enkelte steder ser man grafittspeil på sleppene, andre steder sees epidotspeil eller speil med jaspisbelegg.

Glidestriper sees på speilene med forskjellig retning.

De to siste opbrytninger av rivningsbreccien har ikke vært ledsaget av den voldsomme opmaling, som har karakterisert tidligere bevegelser, som antagelig går tilbake til den eldste arkeiske tid. Den mylonittiserte masse, som var blitt til fast fjell er nemlig brutt op til skarpkantede bruddstykker, som er sammenkittet av kvartsårer som ikke viser tegn til å ha vært presset. I kvartsårene ser man til dels små druserum med kvartskrystaller.

Av ovenstående beskrivelse fremgår, at rivningsbrecciens historie må strekke sig over lange tidsrum. Vi vet at de store bevegelser langs breccien har foregått i prekambrisk tid. De mektige brecciesoner går nemlig ikke inn i Oslofeltets bergarter i den tunge som skyter inn ved Skien. Men vi vet også at der har foregått bevegelser langs brecciesonen i permisk eller postpermisk tid, da der i breccielinjens fortsettelse innover Oslofeltets område er forkastningslinjer, som klart vises både av distriktets geologi og topografi. Vi vet også at Oslofeltets yngste eruptiver, diabasgangene, skjærer gjennom brecciesonen og at de atter er i nogen grad oppbrutt ved senere bevegelser. Intet steds ser man dog at kvartsgangene, som karakteriserer den annen opbrytning går inn i Oslofeltets bergarter.

Kvartsbreccien og den eldre mylonittisering må altså tilhøre den prekambriske tid. Birkeland- og Flågranitten gir i denne eldre tidsperiode nogen rettledning om alderen.

I ingen av disse bergarter finner man den vidtdrevne mylonittisering, hvorved bergarten er opmalt til ukjennelighet. I disse granitter er fjellet nærmere knust, således at når man slår på blokkene springer de op i småpukk, begrenset av slepper.

I den sydlige gren ved Birkelandgranitten sees kvartsgangene tvers gjennom granittpartiet, og epidot er almindelig. I den nordlige del ved Sperillen går kvartsen iallfall ikke langt

innover i granitten, og breccien taper sig og gjør et sidehopp. Den store kvartsgjennemvevning er altså yngre enn disse prekambriums yngste granittmassiver. Mylonittiseringsperioden er dog eldre og det er vel sannsynlig at den går tilbake til den eldste prekambriske tid. Lange stykker faller nemlig den mylonittiserte rivningsbreccie sammen med krystallasjonsskifrighetens retning i bergarten mot øst og er parallell med strøket for de tydeligvis opknuste bergarter i dette østlige prekambrium.

Rivningsbrecciens fall lar sig ikke lett bestemme, da der er så mange forskjelligrettede slepper fra senere opsprekninger som ikke angir fallet for den store mylonittiserte masse. Det er dog mitt inntrykk, at rivningsbreccien i den nordlige del har et fall steilt mot øst og i den sydlige del noget flatere mot sydøst. De langsgående, yngste rettlinjede slepper og leirfylte spalter har gjennemgående steilt fall mot øst i den nordlige gren. I den sydlige gren er der ikke så god anledning til å studere dem.

Ingen av det eldste prekambriums bergarter gjennomsetter breccien. Selv de yngste pegmatittganger blir opbrutt, hvor breccien skjærer gjennom dem. Flågranitten og Birkeland-Grimstadgranitten skjærer derimot over breccien, således at de finnes igjen på den annen side.

Det er dog tydelig at der har foregått bevegelser langs breccien under og efter den yngste prekambriske granittinjeksjon, da granitten i brecciens retning er opbrutt, og det synes ved Birkeland som den også er forkastet således at den sydlige gren er forskjøvet noget mot syd.

Fremtrengning av en finkornig granitt-type langs breccien, hvor den skjærer granitten, tyder også på at her under granittens størkning må ha vært en svakhetslinje, hvor der har foregått sprekkeannelser som er utfylt med granittmagma som har størknet raskt.

Telemarkformasjonens gneisgranitter og suprakrustalbergarter.

De vestlige gneisgranitter.

Fra breccien i øst og vestover til man kommer henimot Sørlandsbygdene er det almindelig å se store områder av vanlig granitt, dog oftest med en utpreget krystallasjonsskiffrighet. Henimot kysten ved Kristiansand og videre mot nord er det en sjeldenhet å treffe en ren granitt. Granitten har her opbrutt og delvis oppløst i sig eldre materiale, således at der er dannet utpregede migmatitter og båndede gneiser, hvor ofte amfibolittisk tilblending spiller en fremtredende rolle. Granittene og gneisene har en uendelighet av utviklinger fra rene granitter med utelukkende mikroklin og kvarts til oligoklasgranitter, hvor der ikke finnes mikroklin. De mørke mineraler representeres av en varierende mengde biotitt, muskovitt og hornblende. Migmatitten på Sørlandet er beskrevet av Tom Barth¹, og jeg skal her ikke gå nærmere inn på beskrivelsen av disse bergarter, særlig da det ikke er meningen å gi nogen fyllestgjørende oversikt over den vestlige formasjon. Kun skal jeg nevne de eiendommelige kalkstensforekomster som av Barth² er beskrevet som i granitten innsmelte kalkstensflak. Kalkspaten har vært i bevegelse og har enkelte steder opbrutt den omgivende bergart til en breccie. Etterpå har temperaturen vært holdt på en sådan høide at der mellom kalkspaten og sidestenen er dannet et pyroksen-granat-skapolitt-skarn.

Disse skarnmineraler sees omsluttende både de skarpkantede bruddstykker og bergarten i kalkspatforekomstens heng og ligg. Kalkspatdragene finnes sedvanlig ved kontakten av pegmatittutsondringer. Som nevnt oppfatter Barth kalkspatforekomstene som omsmelte, sedimentære kalkstenslag. Jeg mener at man må også regne med muligheten av at gangene er regulære kalkspatganger som under høi temperatur og trykk

¹ Tom Barth: Zur Genesis der Pegmatite im Urbirge. (Chemie der Erde 4. 1928.)

² Tom Barth: On Contact Minerals from Pre-Cambrian Limestone in Southern Norway. (Norsk geol. tidsskrift VIII. 1925.)



Fig. 1. «Båndgneis» fra jernbaneskjæring i Greibstad vest for Kristiansand. Ved enden av hammerskaftet sees en granittgang tvers over blokken. Fra hver side av gangen er smale granittårer injisert i den grå gneis. De mørke mineraler er anriket langs randen av de lyse årer.

har cirkulert på spalter under og efter pegmatittutsondringen. I det sterkt omvandlede materiale lar det sig vel dog ikke gjøre å uttale noget sikkert om opprinnelsen, hverken av de omsmeltede bruddstykkebergarter i gneisgranitten eller om kalkspatansamlingene.

Disse kalkstensforekomster er enkelte steder så store at de — riktignok i liten skala — industrielt utnyttes til kalkbrenning.

Migmatitt- og båndgneisdannelsen kan studeres i de mange jernbaneskjæringer langs Sørlandsbanens fjellskjæringer. Man finner her et trekk ved båndgneisens bygning, som jeg har gjenfunnet både i Møre fylke og i båndgneisen ved Kongsberg. Som det vises av fotografiet (fig. 1) har de fine inntrengte granittiske årer langs randen trukket op en skarp linje av mørke mineraler, hvorved båndstrukturen blir enn mere markert. Man

ser i båndgneisen hvite granittiske årer med skarpe, sorte striper langs grensen, derpå grå gneis i midten og atter en sort stripe med etterfølgende hvit granitt. Når granittstripene er kommet tilstrekkelig nær hinannen, forsvinner den grå gneis mellom de sorte striper og man får en markert båndgneis med avvekslende sorte amfibolittbånd med litt biotitt og hvite granittiske bånd.

Man kan således her følge båndgneisens utvikling fra en svak antydning til en utpreget båndet bergart med skarpt optrukne grenser.

Omsluttet av de her beskrevne granitter og gneisgranitter er der i den østlige del nær grensen mot rivningsbreccien et stort område av suprakrustale bergarter der betegnes som:

Telemarkformasjonens suprakrustalområde.

Denne formasjon omfatter kvartsitter og skifere, hvor konglomerater og bølgeslagsmerker (se fig. 2) gir sikre beviser på den sedimentære opprinnelse. Porfyrer og tufflignende skifere viser at formasjonen også omfatter bergarter av vulkansk art. I den centrale del er bergartene relativt lite deformerte ved press, men i utkanten — særlig mot øst — har de vært utsatt for en voldsom utvalsning, hvorved konglomeratboller er uttrukne til lange stenger og enhver primær struktur i skiferen er forsvunnet.

Strøk og fall er meget varierende, dog finner man østover mot rivningsbreccien gjennomgående et nord—sydlig strøk. Fallet varierer også nær breccien fra steilt til flatt.

I den centrale del av Telemarkformasjonens suprakrustalområde er granittiske pegmatitter ukjent. Østover mot randen av de metamorfe kvartsitter, glimmerskifere og finkornige gneiser, finnes der derimot til dels veldige pegmatittganger som undertiden er kilt inn mellom lagene, således at de, når de ligger flatt, som nær rivningsbreccien ved Tekslehugget nord for Kongsberg (fig. 3), dekker arealer som kan måles i kvadratkilometer. Sydover langs breccien er pegmatittganger almindelige, både i granitten og i skiferen og kvartsitten. Hvor breccien skjærer inn mot pegmatittgangene er disse opbrutt og mylonittisert som den øvrige brecciebergart. Så langt syd som ved Kristiansand taper pegmatittgangene meget av sin gangkarakter,



Fig. 2. Bølgeslagsmerker i kvartsitt ved vei Rødberg-Uvdal.
($\frac{1}{4}$ nat. st.)

idet de ikke lenger har skarpe grenser mot den omgivende migmatitt, og de kan, som Barth¹ beskriver det, nærmest betraktes som »utblomstringer« i de granittiske gneiser.

I den centrale del av Telemarkformasjonens suprakrustal-område ser man, som foran nevnt, ikke pegmatittganger. I dette område, hvor granittkontakten er mer fjern mot sidene og sannsynligvis også mot dypet, har man dog andre ganger som genetisk ansees å høre sammen med granitten. Det er Telemarkformasjonens kobberertsførende kvartsganger som her er den typiske gangdannelse.

Ertsen på disse er kobberkis, kobberglans, brogetkobber, til dels litt vismutglans og litt blyglans. Gangmineralene er foruten kvarts, turmalin, hornblende, jernspat og svovelkis. Sølv og gull er ofte anrikt sammen med ertsmineralene, men alle ertser forekommer uregelmessig fordelt på gangene. Metallisk kobber og sølv finnes ved kontakten av grønnsten av efusiv natur. De ertsførende kvartsganger ansees genetisk å være samhörige med granittene. Det er meget almindelig å finne dem langs gabbrogangene som ansees å være fremtrengt ved avslutningen av granittinjeksjonen.

¹ Barth. l. c.

Granitten har vært utsatt for press som vises ved at kvartsen har en sterkt undulerende utslukning, men pressvirkningen har ikke vært så sterk at man finner mørtelstruktur, undtagen i spesielle press-soner.

Gabbrogangene følger skifrihetsretninger og er sannsynligvis allerede under sin krystallisasjon omvandlet således at man i den østlige del hverken ser primær pyroksen eller olivin opbevart. I den centrale, mindre metamorfoserte del av Telemarkformasjonens suprakrustale område finner man derimot gabbroganger som både fører pyroksen og olivin med vel opbevart corona-dannelse.

Efterat gabbroen er inntrengt er det hele område underkastet en metasomatose, som vises av en epidotdannelse, der særlig i den østlige del av området kan være så utpreget at grønne epidotstriper setter sitt preg på bergartens utseende.

Den centrale del er karakterisert ved hydrothermale mineraler, som viser en lavere temperatur. Klorittisering er her almindelig, og man finner en vidt utbredt albittisering. Granitt sees flere steder mellom de finskifrige lag, således at man ofte kan være i tvil om den er innfoldet eller injisert. Man ser dog undertiden smale granittårer som går ut fra granitten, og man ser granitt som skjærer over kvartsitten. Man ser også, f. eks. ved Vegem i Sauherred, nogen feltspatinnvandring i granitten nogen få meter fra granittkontakten. Ved Trihyndevann syd for Synhovd i Rollag er en rask veksel av kvartsitt og granitt. I det overdekkede terreng kan man ikke følge nogen granittgang inn til granittmassivet, men vekslens tyder dog ubetinget på en injeksjon av granitt i kvartsitt.

Både Werenskiold¹, Carl Bugge² og Dorothy Wyckoff³ nevner eksempler på at granitten viser kontaktfenomener, der kun kan forklares ved at den er yngre enn Telemarkformasjonens skifere og kvartsitter. Særlig påfallende er turmalindannelse nær granittkontakten.

¹ W. Werenskiold: Om Østtelemarken. N. G. U. Nr. 53, 1910.

² Carl Bugge: Geologiske undersøkelser i Telemarken. N. geol. Tidsskr. B. VII, 1931.

³ D. Wyckoff: Geology of the Mt. Gausta Region, Telemarken, Norway. Norsk geol. Tids., 1934.



Fig. 3. Pegmatittgang mellem nesten flattliggende hornblendeskiferlag.
Tekslehugget, Lyngdal, Nord for Kongsberg.

Ifølge den her avgitte kortfattede beskrivelse av Telemarkformasjonens bergarter, som for en stor del er basert på andre geologers iakttagelser, kan man danne sig følgende billede av feltets geologiske historie.

Kvartsitten, skiferne og forskjellige efusiver er blitt utsatt for voldsom foldning, særlig i den østlige del. Antagelig under foldningen er en veldig granittmasse trengt op. Lengst i øst er granittmagmaen injisert mellom de eldre lag. Muligens hviler den centrale Telemarkformasjon på granitt, men langt i vest henimot Kristiansand er der opbevart så lite av de eldre bergarter, at de kun undtagelsesvis kan bestemmes. Såvel de eldre som de yngre bergarter er her blandet sammen til en vekslende granittisk gneis, der mange steds best betegnes som migmatitt. Gabbroganger er antagelig trengt op i injeksjonsperiodens siste fase. Til dels veldige pegmatittganger er avsatt i omgivende skifere og i mindre granittpartier lengst mot øst og sydøst. Vestover mot migmatittområdet taper pegmatittene sin vel begrensede gangform. I den centrale del er der ikke dannet pegmatittganger, men her finner man de kobberertsførende

kvartsgangers område. Antagelig allerede under injeksjonen er granitt og gabbro underkastet en metamorfose, og derpå har alle bergarter vært utsatt for en metasomatisk omvandling, hvorved, særlig i øst, er frembragt en epidotisering, og i den centrale del — altså lengst fra eruptivene — finner man også typiske lavtemperaturmineraller som kloritt og albitt.

Denne oversikt over Telemarkformasjonens tilblivelses-historie er meget forenklet, idet der f. eks. ikke er tatt hensyn til den discordans, der er påvist under kvartsittene i Gaustad og Lifjell.

Det som her særlig er lagt vekt på er å fremholde de iakttagelser som er gjort angående de store granittmassivers alder i forhold til Telemarkformasjonens suprakrustaler. De her nevnte iakttagelser tyder på at granitten er yngre og forståelsen av utviklingen blir helt umulig, hvis man går ut fra at den er eldre enn suprakrustalene og kun innfoldet i en senere epoke. Etter å være innfoldet måtte i så tilfelle granitten være omsmeltet og de forskjellige kontaktfenomener måtte være sekundære. Omsmeltede granittårer måtte da være inntrengt i kvartsitten. Pegmatittganger og ertsførende kvartsganger måtte til samme tid være utskilt og ha funnet sin plass på spalter i de omgivende skifrige bergarter. Der er dog intet som tyder på en sådan almindelig omsmelting. De klare primærstrukturer, som enkelte steder sees, kunde umulig opbevares, hvis det hele område skulde være underkastet en sådan regional omsmelting.

Øst og sydøst for den store rivningsbreccie møter man bergartgrupper som er helt forskjellige fra den type jeg her har behandlet. Disse bergartgrupper har jeg betegnet:

Kongsberg-Bambleformasjonen.

Der er stor forskjell på typene i disse to grupper, men nogen diskordans har jeg ikke kunnet påvise mellom dem. De er begrenset av rivningsbreccien i vest og nordvest og i øst og sydøst av Oslofeltet og Skagerak.

K o n g s b e r g f o r m a s j o n e n (Den indre båndgneissone) er karakterisert ved gneisbergarter av gjennomgående avgjort plutonisk natur.

I motsetning til Bambleformasjonens bergarter er denne formasjon særpreget ved at pegmatittganger med deres mineral-selskap er en sjeldenhet, og de ertser og mineraler som karakteriserer Bambleformasjonen kjennes neppe her.

Denne formasjonsgruppe består gjennomgående av båndede gneiser, hvoriblandt der mange steder er utviklet dioritiske og kvartsdioritiske masser. Området ved Kongsberg er 1917 beskrevet meget omhyggelig av Carl Bugge¹. I hans arbeide om disse bergarter er der et utførlig engelsk resymé og der finnes en rekke analyser og mineralberegninger, som gir et klart innblikk i oppbyggingen av dette plagioklasgneisområde innen det eldste arkeiske grunnfjell. De eldste bergartgrupper innen Kongsbergformasjonen er: båndgneis, amfibolitter, metagabbroer og oligoklasgneiser, der i almindelighet betegnes som kvartsdioritter. Båndgneisen omfatter de bergarter som av Carl Bugge er betegnet som Håvgabbro samt som »andesitt« og »dasitt«. Kalifeltspat er over store strekninger fremmed i disse bergarter.

B a m b l e f o r m a s j o n e n (Den hydrothermale sone) omfatter en serie bergarter, hvor man finner en veksel av amfibolitter, granitter, granittiske gneiser og kvartsittiske bergarter med overgang til rene kvartsitter. Mineraler og ertser dannet ad pneumatolytisk og hydrothermal vei møter man overalt, og vi er her i en formasjon som gjennom sin bergverksdrift har spilt en meget stor rolle for økonomien i den sydlige del av landet.

Gabbroganger og gabbrokupper finnes både i Kongsberg- og Bambleformasjonen og de er overalt eldre enn granittene.

Denne eruptive virksomhet synes å ha falt samtidig i Kongsberg- og Bambleformasjonen, men det er kun i Bambleformasjonen at injeksjonsperioden har vært etterfulgt av en utstrakt pneumatolytisk og hydrothermal virksomhet.

Efter denne oversikt over det samlede østlige gneisområde skal jeg spesielt gjennomgå de enkelte bergartgrupper.

¹ C. Bugge: Kongsbergfeltets geologi N. G. U. 82, 1917.

Båndgneis og diorittisk gneis.

Båndgneis er et samlenavn som er innført av praktiske grunner, da den omfatter en bergartveksel som er så gjennomført at man de fleste steder måtte utføre kartene i naturlig målestokk, hvis man skulde opnå å gi et sant bilde av komplekset (fig. 4). De vekslende bergarter består av smale, sorte og hvite bånd, som kilometer etter kilometer kan følges i den vanlige strøkretning, der i den nordlige del av området er omkring nord—syd og i den sydlige nordøst—sydvest.

Båndenes bredde er fra bladtynne striper til de vanlige bånd av nogen centimeters tykkelse, og der kan være bånd av 20—30 m's tykkelse og mere. Båndene er undertiden kruset. Lokalt kan de være foldet og mange steder er de opbrutt således, at de mørke båndrester breccieaktig ligger i en gråhvit bergart, og bergarten nærmest blir å kalle en migmatitt. Foldninger, således som man finner dem i yngre formasjoner er aldri påvist, og der er således ingensteds — uten *rent* lokalt — anledning til å tale om sadler og mulder. Fallet er i den nordlige gren steilt østlig. Ganske steilt forekommer også og likeså steilt vestlig. I den sydvestlige gren er fallet lengst mot øst temmelig steilt, men blir vestover stadig mere skrått mot sydøst og blir lengst vest næsten flatt og endog vestlig.

Ved de dype Kongsberggruber har man hatt anledning til — over 5 km's lengde — å følge fallretningen 500—1000 m mot dypet. Overalt finner man det ensartede steile fall og samme bergart ved grubenes bunn som i dagen.

Mineralsammensetningen i båndgneisen er meget ensartet. De mørke bånd er amfibolitt og de lyse består av kvarts og oligoklas i forskjellige blandingsforhold. Undertiden kan der finnes adskillig anoritt-rik plagioklas i amfibolitten og hornblende og biotitt i de lyse bånd.

Denne lyse og mørke veksler er altså den samme som vi kjenner fra beskrivelser fra alle land, hvor der er bergarter fra det eldste prekambrium.

Når bredden av båndene øker, står man under kartleggingen ofte overfor det spørsmål om man skal kartlegge bergarten som båndgneis eller om man skal begynne å utskille amfibolitt og



Fig. 4. Båndgneis ved innløpet til Isefjærfjorden mellom Lillesand og Kristiansand. Mørke amfibolittbånd og hvite bånd av finkornig diorittisk gneis.

kvartsdioritt. Overgangen til mer og mindre kvartsførende dioritt og til kvartsbiotitt-dioritt er mange steder ganske jevn, således at en skarp grense ikke kan trekkes. Kartleggingen over store deler av Kongsbergformasjonen består derfor i, både i den nordlige og sydlige del av området, best mulig å avtegne fordelingen av amfibolitter og dioritter av høist varierende kvartsinnhold. Så vel de geologiske oversiktskarter som detaljstudier viser at de diorittiske gneiser, som den yngre bergartstypen, er trengt inn mellom basiske bergarter, som var størknet da dioritten trengte frem.

Kun et sted — på Knutehåvet ved Kongsberg — har jeg sett en klar eruptivbreccie mellom en ensartet dioritt og ensartet amfibolitt. Breccien gir et sikkert bevis på at diorittene er senere injisert bergart (fig. 5).

Sammenlignes med båndgneisdannelsen som man kan se i forskjellige stadier i migmatittområdet vest for Kristiansand (fig. 1), kan man altså tenke sig en inntrenging av kvartsdiorittisk magmaopløsning langs lagflatene i den basiske bergart, og at båndgneisen har hatt tiden for sig under sin utvikling, således at

man her ikke finner bare sorte randsoner langs de hvite bånd, som man ser det ved de pegmatittiske årer ved migmatitten ved Kristiansand; men man finner en fullt ferdig båndgneis, hvori de mørke årer har fått tid til å vokse sammen og danne sorte bånd, således som man ser en antydning til i båndgneistypene ved Kristiansand.

Hornblende er det almindelige mørke mineral såvel i den diorittiske gneis som i båndgneisene; men enkelte steder sees der også pyroksengneiser F. eks. nordvest for Hokksund og i Bamble nær grensen mot Bambleformasjonen, og likeledes i Hovdefjell ved Nelågvannet nord for Arendal. I stedet for hornblende inngår undertiden biotitt, der f. eks. er det eneste mørke mineral i det såkalte stenbruddbånd mellom Overberget og Underberget på Kongsberg.

Overalt har bergartene vært utsatt for sterkt press. Bøide lameller sees ofte og plagioklasindividene viser en korodert begrensning. Rundt de store avrundede feltspatkrystaller ser man en opknust mørtelmasse med epidot og klinozoisitt samt flak av hornblende og til dels biotitt. Ofte fremkommer på denne måte et øiegneisaktig utseende. Antagelig ved en øket pressvirkning er innen bestemte soner, særlig i grensen av diorittmassivene, enhver antydning til skifrihet fjernet, og man har fått en finkornig diorittisk gneis. Betegnende for den finkornige bergarts utseende er at den tidligere ved Kongsberggrubene almindelig blev betegnet som »kvartsitt«.

Langs diorittens randsoner finner man undertiden en nydannelse av mineraler i de finkornige bergarter. Særlig er mineraldannelsen almindelig innen de kisimpregnerte bergarter, som mange steder omgir de større diorittmassiver. Sådanne mineraliserte kisimpregnerte bergarter, der selvfølgelig følger den vanlige nord—sydlige strøkretning, er de kjente kongsbørgske fahlbånd. I amfibolittbånd, tilhørende båndgneisenes periode, har, innen fahlbåndsonen, for en stor del foregått en ny mineraldannelse, således at man finner alle overganger mellom amfibolitt og en granat-klorittbergart. Man ser denne overgang særlig klart i grubene. En ort overskjærer f. eks. en sort, tett hornblendeskifer uten at der sees nogen fremmede mineraler. Plutselig kan man treffe en og annen granatkrystall (almandin).

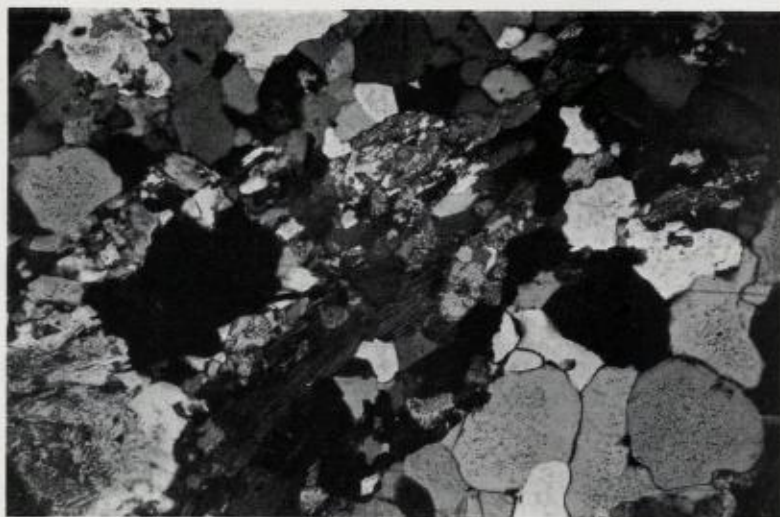


Fig. 5. Eruptivbreccie fra Knutehåvet vest for Kongsberg. Dioritt bryter op den eldste amfibolitt. Man ser små bruddstykker rett over hammeren. Til venstre sees et større.

Granatkrystallene kan øke i størrelse og mengde og atter bli borte for å komme igjen kanskje i større mengde og ofte sammen med biotitt og kloritt. Tilslutt kan orten komme inn i en masse bestående utelukkende av granat, biotitt, kloritt og litt kvarts. Undertiden er kloritt det overveiende mineral således at orten brytes i en ren masse av seig kloritt.

I de diorittiske gneiser finner man tilsvarende jevne overganger til biotittskifer, biotittgranatskifer, sericittskifer og en kvartsrik klorittskifer. Undtagelsesvis ser man også litt stauro litt¹. Ennu har jeg ikke nevnt kvartsinnholdet i diorittene og de med dem forbundne bergarter. Det passer nemlig best å behandle kvartsens optreden efterat alle bergarter er nevnt som hører til diorittens injeksjonsperiode. Det almindelige trekk er nemlig at kvartsen er krystallisert tilslutt efterat randsonen med dens fahlbånd var dannet omkring diorittene og efterat presset

¹ Carl Bugge: l. c.



1 mm + nic.

Fig. 6. Diorittisk gneis. Fossumåsen, Modum. Upressete kvartsårer gjennomskjærer en mørtelmasse, som er opfylt av epidot og klorinozoisitt. Fra nedre venstre hjørne opover mot høire hjørne, et parti med omvandlet plagioklas og mørtel med epidot, klorinozoisitt og biotittblader. Rundt om er kvarts, som ikke viser undulerende utslukning. I øvre venstre hjørne en åre upresset kvarts, som adskiller et litet parti mørtel og omvandlet plagioklas.

var ophørt og mørtelmassen rundt om feltspatkornene var blitt fast bergart. Som mikrofotografiene (fig. 6 og 7) viser, finner man nemlig i alle dioritter at hele bergarten tilslutt er gjennomvevet av fine kvartsårer som ikke kan sees makroskopisk. Kvartsårene bryter gjennom mørtelen og mellom plagioklasindividene, og der sees aldri nogen nydannede mineraler som gjennomvokser kvartsen. I diorittens grensesoner — særlig innen fahlbåndene — er kvartsårene mer samlet. Man finner her ofte et forgrenet nett av kvartsårer som har en sammenheng, men allikevel markerer den nord—sydlige orientering av bergarten. Årene er fra under en millimeter op til $\frac{1}{2}$ m brede og undtagelsesvis noget mere. Det almindelige er å finne kvartsårer med en bredde fra et par millimeter op til en centimeter. Hvor disse kvartsårer og ganger finnes i fahlbåndsonen ser man alltid at de er ledsaget av kiser. Utenfor fahlbåndsonene ser man derimot ingen kis.

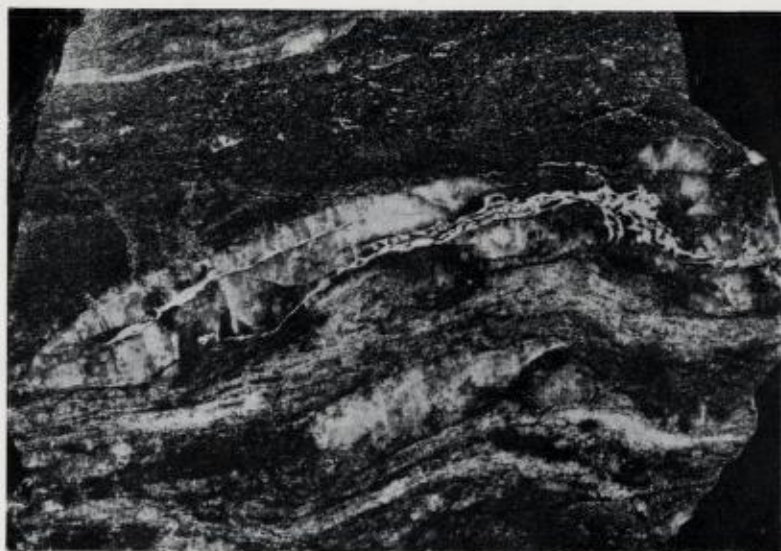


Fig. 7. Diorittisk gneis. Aspenaret nord for Lyngdal. Omvandlet plagioklas med noget mørtel. Man ser de sorte og hvite upressete kvartsindivider i gjennomvevende årer.

Kisstripene følger kvartsgangenes grenser, og de skjærer tvers over kvartsgangene således at man har klare beviser for at kisen er yngre enn kvartsen (se fig. 8 og 9). Man finner i disse kvartsganger fahlbåndenes vanlige kis (magnetkis, kobberkis samt litt sinkblende og blyglans). Undertiden er der i disse ganger påvist en liten gullgehalt.

Da denne kvartsgangtype — båndkvarts kalles den gjerne — ikke fører kis fjernt fra fahlbåndene, er det naturlig å tenke sig, at de cirkulerende kiselsyreopløsninger har oppløst fahlbåndenes kis, som igjen er utkrystallisert i gangene. Kwartsårene med deres gjennomsettende kisstriper kan altså opfattes som den siste utkrystallisasjon i diorittenes epoke.

Et felles trekk ved kvartsgangene og kwartsårene, både i diorittene og i fahlbåndene, er at de ikke viser nogen tegn til å være presset, efterat de er dannet.



5 cm.

Fig. 8. Fahlbånd fra Underberget, Kongsberg. Kwartslinser og årer i nedre halvdel av stoffen. De hvite striper er fahlbåndskis som gjennomskjærer kvartsen.

Kvartsgangene og de små kvartsårer er aldri knekket eller på nogen måte forkastet, og de enkelte kvartsindivider er helt klare og viser ikke tegn til undulerende utslukning. Kun nær enkelte yngre breccieganger og opknusningssoner kan man lokalt finne en kataklastisk bergart som er yngre enn kvartsens injeksjon. De op til $\frac{1}{2}$ mm store kvartsindivider måtte uundgåelig ha båret merke av press, hvis bergarten hadde vært presset etterat kvartsen var krystallisert. Kan man derfor bringe på det rene tiden for kvartsens krystallisasjon på de her nevnte årer og ganger, vil man vite når disse bergarter siste gang har vært utsatt for et regionalt press.

Den første inntrengen av nye bergarter i båndgneisens og de diorittiske gneisers område, etterat de forskjellige typer med deres overgangsbergarter var størknet, var en utstrakt injeksjon av basiske smeltemasser.

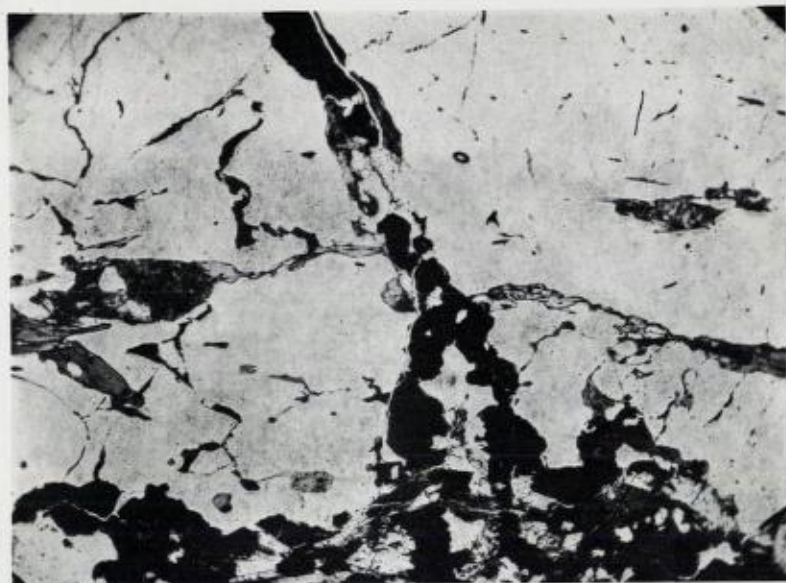


Fig. 9. Mikrofoto fra Underbergets fahlbånd. Det hvite mineral er kvarts i en av de vanlige 1—2 cm brede kvartsårer som følger den nord-sydlig skifrihet. Det sorte mineral er fahlbåndskis som i tynde striper følger langs kvartsårenes grenser og som fotoet viser også overskjærer kvartsen. Mineralene er upressede.

Gabbro, Amfibolitt og Olivinhyperitt i ganger og klumper.

Overalt følger der efter diorittenes størkning en injeksjon av gabbroide bergarter, der som ganger, klumper og småmassiver finnes rundt om i hele denne eldste grunnfjellsformasjon.

Det er for øvrig et felles trekk også for de øvrige land med prekambriske bergarter, at der efter de eldste plagioklasgneiser følger en utstrakt injeksjon av basiske gangbergarter der ofte er betegnet som metagabbroer. Mens der i det her behandlede norske grunnfjell ennå ikke er påvist granitter som er eldre enn gabbrointrasjonen, nevnes både i Finland og Sverige de såkalte urgranitter som tilhørende de eldste gneiser.

Disse ofte gangformige injeksjoner av basisk smeltemasse finnes nu som bergarter med forskjellig mineralinnhold, og de har gjennomgått en høist forskjellig grad av metamorfose. De er kjent under en rekke navn: noritt, olivinhyperitt, hyperitt, vinordiabas, amfibolitt. Jeg har i det følgende når jeg omtaler disse typer under ett betegnet dem med navnet gabbro, som også benyttes i dagligtale. Som oftest er pyroksenene omvandlet til hornblende, men jeg har ikke spesielt bemerket når hornblendegabbro vilde være et riktigere navn.

I den vanlige målestokk for vår geologiske kartlegging, 1:100 000, lar det sig ikke gjøre å inntegne på kartet alle de små gabbromassiver og ganger som ofte optrer i svermer og vanligvis er ganske smale. De er kun inntegnet på kartet over Kongsberg ertsdistrikt, som er trykt i målestokk 1:10 000. Kartleggingen av disse ganger som er kalt vinordiabas og amfibolitt, falt ofte vanskelig, særlig hvor de gjennomskjærer de eldre sorte amfibolitter i båndgneisområdet. Utskillingen har dog alltid latt sig gjøre, da gangene skiller sig ved at de som oftest viser iallfall en antydning til ofittstruktur. Hvor sidebergarten fører granat, kloritt eller de øvrige metamorfe mineraler som finnes særlig i fahlbåndene, er adskillelsen av de yngre ganger relativt lett, da det viser sig at disse omvandlingsmineraler kun rent undtagelsesvis finnes i de gjennomskjærende ganger.

Det er for øvrig naturlig at de gjennomskjærende gabbroganger ikke har vært berørt av den metamorfose som har preget bergartene i fahlbåndsområdene, da denne tydelig er en eldre omvandling som har fulgt diorittenes randsoner.

Brøgger uttaler i sitt nylig utkomne arbeide om hyperitter i Kragerødistriktet, at amfibolittiseringen av olivinhyperitten i realiteten var påbegynt allerede ved coronadannelsen rundt olivinkrystallene og at den fullstendige amfibolittisering må betraktes som at de femiske silikater helt omkrystalliseres til hornblende¹. Gabbroklumpene og gangene har undertiden et friskt utseende. Enkelte olivinhyperittmassiver er dog amfibolittisert

¹ W. C. Brøgger: On several archæan Rocks from the South Coast of Norway. Vid.-Akad. Skr. I. M.-N. Kl. 1934. Nr. 1. Oslo 1935.

enten helt igjennem eller langs grensene mot den eldre sidesten. I de lange smale ganger synes det å være en fast regel, at jo smalere gangene er, jo fullstendigere er de amfibolittisert. Særlig hvor olivinhyperittgangene er mektige sees forskjellige kiser og undertiden magnetitt og titanjern utskilt som impregnasjon eller stokkformige masser langs randsonen. Bergartene har altså likesom diorittene vært fahlbånddannende. Disse fahlbånd — såvel de sulfidiske som de oksydiske — har likesom fahlbåndene langs diorittene hatt en sølvfellende innflytelse på de sølvførende karbonatopløsninger som bergartene blev gjennomtrukket av i permisk eller postpermisk tid.

Hvor man har de relativt store massiver av olivinhyperitt, ser man frisk listeformig feltspat og aggregater av olivin omgitt av reaksjonsrand, og der sees ikke det ringeste tegn på at disse primært krystalliserte mineraler har vært utsatt for noget press eller senere metamorfose. Den kjente »Valberg olivinhyperitt« ved Kragerø og samme type i Flesberg nord for Kongsberg er like frisk og uomvandlet, som om den skulde være dannet i en av de yngste geologiske tidsperioder. På Vinoren nord for Kongsberg, hvor olivinhyperitten danner små massiver, ser man at gabbroen er injisert som linseformige klumper mellom kvartsdiorittenes skikter. Nedad samt til sidene bøier disse omkring gabbromassivene.

Av skissen (fig. 10) fra Overberget i Kongsberg sølvverks grubefelt fremgår et spesielt trekk ved tektonikken som er av interesse å ta med i denne oversikt. Man ser hvorledes amfibolittgangene (vinordiabas) stråler ut fra en midtlinje langs med Overbergets fahlbåndssone. Med sydøstlig og sydvestlig retning stryker gangene inn i dioritten som i øst og vest begrenser fahlbåndene. Man ser her hvorledes spaltene fra hver side skjærer over strøket i diorittene, men forenes langs fahlbåndsonen, således at de her har en tendens til å følge den vanlige strøkretning i Kongsbergformasjonen. Gangene kan følges rettlinjet i dagen kilometer efter kilometer og mot dypet henimot en kilometer. Intet steds viser de virkelig foldning, og forkastninger er her som annet steds i dette grunnfjell praktisk talt ukjent.

I det foregående avsnitt har jeg beskrevet hvorledes dioritene i fahlbåndssonen er mylonittisert. Senere kommer jeg atter tilbake til disse lange nord—syd rettede svakhetslinjer. Jeg vil dog gjerne allerede nu påpeke at den veldige opsprekning som gikk umiddelbart forut for gabbromagmaenes injeksjon, har hatt en hovedretning parallell de nord—syd rettede svakhetslinjer som allerede i de eldste plagioklasgneisens tid var blitt så sterkt markert at bergartssoner endog var helt mylonittisert. På Overberget blev bergartene derpå så sammenbundet av de tallrike gabbroganger at der senere ikke kan merkes nogen bevegelse i bergartkompleksene før de blir rammet av den før nevnte relativt ubetydelige opsprekning i permisk eller postpermisk tid.

Andre steder, f. eks. øst for fahlbåndene, nærmere Kongsberg, er sammenhengen brutt langs de nord—syd rettede svakhetslinjer, og veldige forskyvninger har sikkerlig foregått.

Eiendommelig er det at de senere bevegelser, som kan påvises over hele det her beskrevne grunnfjellsområde, har ikke vært forbundet med noget regionalt press, som har kunnet sette preg på olivinhyperittmassivenes eruptivbreccier, som finnes ved Vinoren nord for Kongsberg (se fig. 13) og mange steder nedover Sørlandet. Heller ikke kan de granatomvandlede bergarter i fahlbåndssonen sees å være utsatt for trykk.

Som foran nevnt gjennomskjærer amfibolittgangene i fahlbåndssonen vest for Kongsberg de granat- og klorittomvandlede hornblendeskifere uten at gangene selv viser granat- og klorittomvandling.

De eldste amfibolitter fra båndgneisperioden og de amfibolittiserte vinordiabasganger har kjemisk og mineralogisk stor likhet med hinannen, således at de under like forhold må ha gjennomgått samme grad av metamorfose.

Når de amfibolittiserte vinordiabasganger gjennomskjærer de delvis granatomvandlede eldre amfibolitter uten selv å være rammet av nogen omvandling, kan man derfor gå ut fra at de eldre bånd må være omvandlet før vinordiabasens inntrengen. Likeledes må dioritten være mylonittisert før vinordiabasenes injeksjon.

Den store mengde årer med upresset kvarts må likeledes være dannet før vinordiabasen, da kun en voldsom opknusning

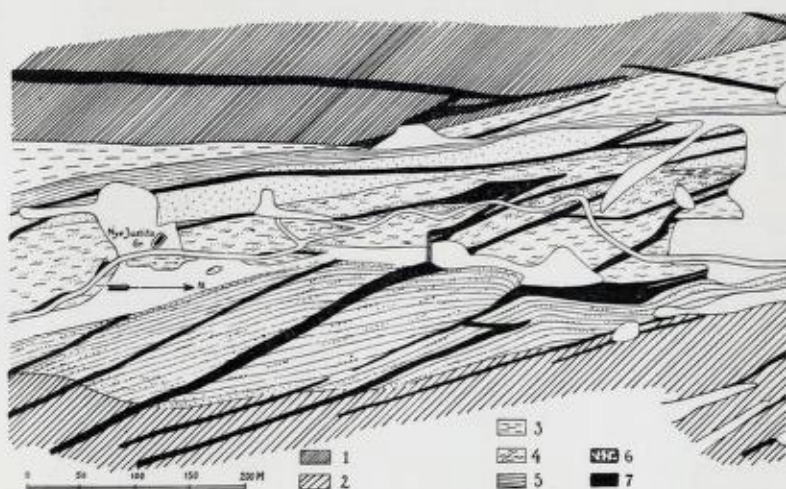


Fig. 10. Utsnitt fra Overbergets fahlbånd ved Kongsberg syd for Kongens grube. 1. Kwartsdioritt, 2. Kwartsbiotittdioritt, 3. Finkornig diorittisk gneis, 4. Samme type som 3, med granat og kloritt, 5. Amphibolit av den eldste type med granatomvandlede partier, 6. Granatfels med biotitt og kloritt, 7. Vinordiabas (amfibolittisert).

kan ha frembragt alle de diaklaser som kvartsen har funnet sin vei langs. En sådan voldsom opknusning har ikke rammet vinordiabasen som ligger midt i feltet og heller ikke de granatomvandlede bergarter. Dermed er det på det rene, at kvartsgjennomvevningen i diorittene samt de nord—syd rettede »båndkvartsganger« med de nevnte kisstriper i fahlbåndsonen må være eldre enn vinordiabasgangene.

Granitter.

Granittene er overalt hvor man har kunnet kontrollere det yngre enn gabbrogangene eller vinordiabasene, men meget tyder på at granittinjeksjonen overalt har fulgt umiddelbart efterat gabbroene var størknet. Det viktigste bevis for samhörigheten er, at de vanlige gabbrotyper alltid er ledsaget av granitt, således som det f. eks. fremgår av mitt kart over et parti innen Kragerø rektangelblad (fig. 11). Man ser her som en fast regel at granitt ledsager hyperittdragene. Det samme gjentar sig overalt

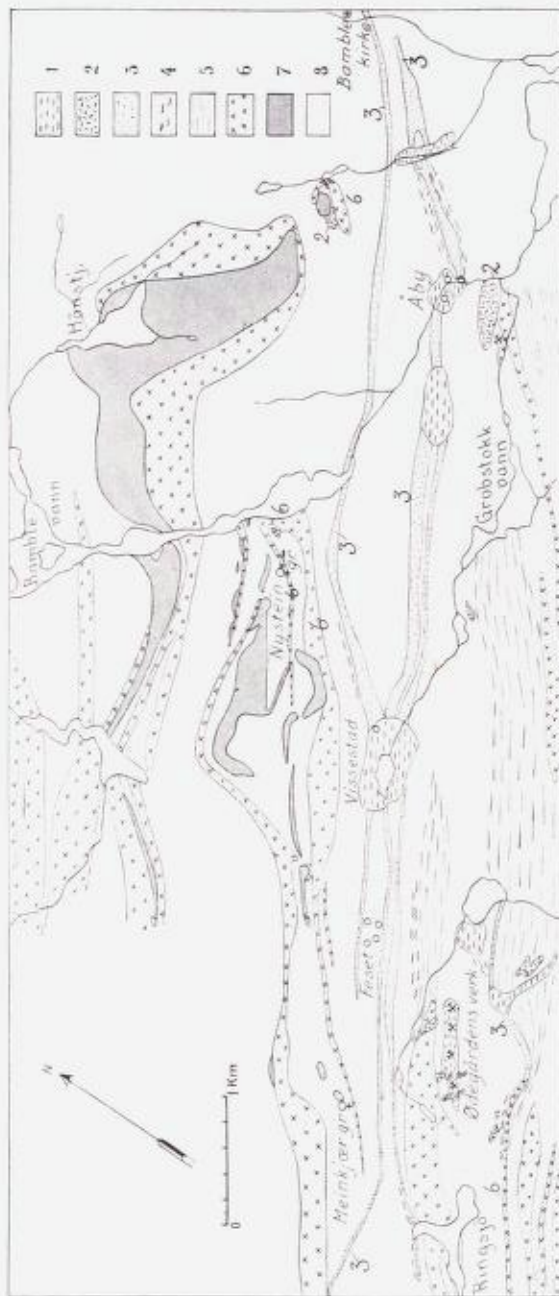


Fig. 11. Utsnitt av geologisk kart over Bambleformasjonen i Bambletrakten øst for Kragerø.

1. Overdekket, 2. Pegmatitt, 3. Kvartsitt, 4. Antofyllitt-Gedrittskifer, 5. Glimmerskifer, 6. Granitt, 7. Hyperitt, tildels amfibolittiseret, 8. Båndet gneis. Kartet viser syd for Ødegårdens verk kvartsitt som i strokretningen går over til granitt.

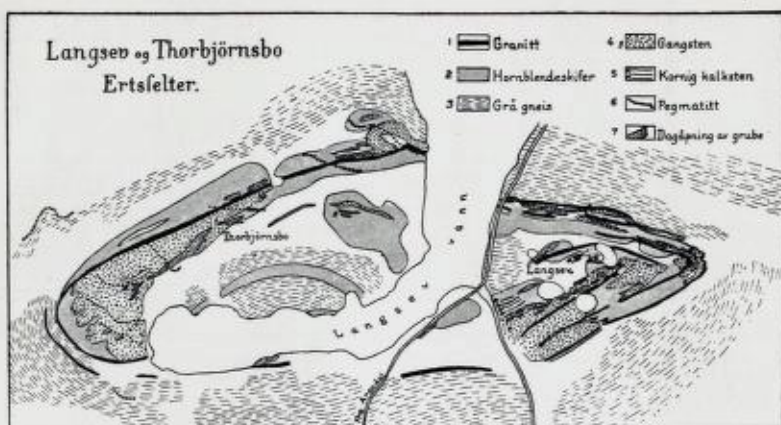


Fig. 12. Kjerulfs og Dahlls kart ved Langsev og Thorbjørnsbo gruber.
Målestokk ca. 1 : 13000.

K. & D.'s betegnelser: 1. kvartsitt er rettet til granitt, 2. hornblendeskifer, 3. grå gneis, 4. gangsten, 5. kornig kalksten, 6. pegmatitt, 7. dagåpning av grube.

hvor jeg har hatt anledning til å utføre kartleggingsarbeide. I Th. Kjerulf og Th. Dahll's arbeide om jernertsene ved Arendal¹, finner man likeledes ved næsten alle jernmalforekomstene at de omvandlede gabbrodrag og klumper er omgitt av smale granittbånd. Av de mange karter som ledsager K. og D.'s avhandling sees vakre eksempler på denne samhörighet mellem gabbro og granitt. Fig. 12, som er hentet fra ovennevnte arbeide, viser klart hvorledes granittbåndene bøier rundt gabbroklumpene. Det bemerkes at K. og D. kaller granittbåndene kvartsitter. Enkelte steder er nok kvartsmengden særlig iøinefallende, men som også J. H. L. Vogt gjør opmerksom på må bergarten betegnes som granitt².

Fig. 13 viser gabbro (olivinhyperitt) på Nordre Vinoren nord for Kongsberg. Gabbroen er her brutt op av den yngre granitt til en skarpkantet eruptivbreccie. Gabbroen er innen spesielle drag så gjennomvevet av granittganger at jeg under

¹ Th. Kjerulf & Th. Dahll: Om jernertsenes forekomst ved Arendal. *Nyt. Mag. f. Naturvid.* 11 Bd. 4, 1861.

² J. H. L. Vogt: Norges jernmalforekomster. *N. G. U.* Nr. 51, 1910.

kartleggingsarbeidet hadde under overveielse å utskille en egen brecciebergart på kartet i målestokk 1:100 000.

Bruddstykkene og likeledes grensen mellom olivinhyperitt og granitt viser vakre eksempler på en biotittanrikning nær bortimot granittkontakten.

Hvor man ikke har større massiver, men lange, smale ganger, finnes ofte disse ganger, dog særlig i Kongsbergformasjonen, uten nogen ledsagelse av granitt.

Granitten er av forskjellig type. Man har den øiegranittlignende grovkornige Kongsberggranitt med store mikroklinkrystaller og man har den finkornige Kongsberggranitt, hvortil også hører vanlige middelskornige granittyper.

Den grovkornige øiegneisaktige Kongsberggranitt optrer alltid i den indre del av Kongsbergformasjonen, såvel i det nordlige som i det sydlige parti. Typen finnes i almindelighet helt inn til breccien.

Den finkornige Kongsberggranitt og granitt av vanlig kornighet finnes lenger øst i Kongsbergformasjonen og i Bambleformasjonens skiftende bergarter, såvel i den nordlige som i den sydlige gren. Det er dog fremfor alt nedover Sørlandet at denne granitttype optrer.

Til dels er disse granitter injisert i båndgneisene, således at den allerede tidligere tilstedeværende båndstruktur derved blev enn mer fremhevet.

I et drag over Kragerøbladet, et par kilometer nord for Bambleformasjonens kvartsitter og likeså i granodiorittene vest for Bambleformasjonens nordlige gren, nord for Hokksund, finner man ofte såvel monoklin som rombisk pyroksen i granittene, diorittene og de tilstøtende gabbrobergarter.

Av kartet (fig. 21) sees at jo lenger man kommer mot sydvest, jo mer skjærer den store hovedbreccie inn mot Bambleformasjonen og, som man kunde vente ifølge ovenstående erfaring om granittypenes fordeling, finnes her stadig mindre øiegranitt og mer av en normal granitt.

Som før nevnt er der undertiden i nærheten av granittmassivene granittiske båndgneiser, der er dannet ved injeksjon av smale granittårer. Der finnes også en annen overgangstype mellom de eldre diorittiske gneiser og granitter, som jeg til dels

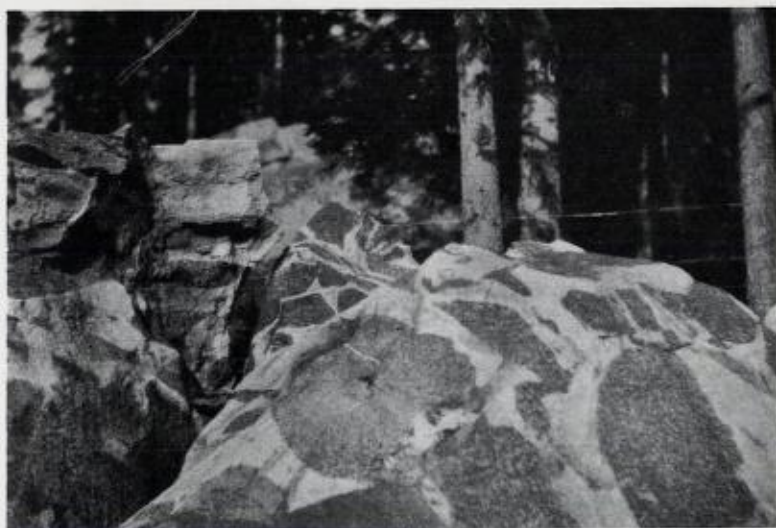


Fig. 13. Olivinhyperitt (Vinordiabas) oppbrutt av granitt ved Nordre Vinoren, nord for Kongsberg.

har betegnet som granodioritter. Typen er beskrevet av Carl Bugge i hans før nevnte arbeide av 1917. Det er her beskrevet hvorledes man ved en granittkontakt i Gamlegrendåsen syd for Kongsberg ved å gå utover fra granittgrensen kommer over i den egentlige dioritt, efter å ha passert en sone med granodioritt. Carl Bugge beskriver samme sted hvorledes en vinordiabasgang gjennomskjærer dioritten og fortsetter inn mot og inn i granodioritten. Her optrer den dog kun som et drag av avrundede bruddstykker, som tilslutt blir helt borte ved den rene granitt. Carl Bugge tolker denne innsmelting som en palingenese.

De første år jeg arbeidet med kartlegging i Kongsberg-distriktet fant jeg flere steder hvor jeg mente at vinordiabasgangene var yngre enn granittene og jeg mente at der likesom i det øvrige Fennoskandia kunde utskilles en eldre »urgranitt« som tilhørte plagioklasgneisenes periode. Et sådant tilfelle hadde jeg f. eks i granitten vest for Ingebu i den midtre del av Eiker gradavdeling. Jeg fant her en vinordiabasgang som med skarpe grenser skar gjennom granitten. Gangen blev fulgt ca. 100 m i strøkretningen uten nogen forandring. Kartleggingen

blev ikke drevet videre det år, og jeg kom først et par år efter tilbake. Jeg var da av den opfatning at granitten ved Ingebu var eldre enn gabbroperioden. Dette viste sig dog senere å være feilaktig. Da jeg nemlig fulgte gangen videre i strøketretningen, viste det sig at et par hundre meter frem blev den avskåret av granitt, som også sendte apofyser inn i gabbrogangen. I et dårlig avdekket terreng vilde det her vært vanskelig å bevise at granitten er av den vanlige yngre type.

Særlig i den østlige del av Kongsbergformasjonen er store områder av en granodiorittisk bergart, som jeg alltid har ansett for å være oprinnelig en kvartsdioritt, hvori granittopløsninger er inntrengt.

Den mulighet må man dog naturligvis også regne med at disse granodioritter kan tilhøre diorittserien, således at denne er avsluttet med en type som er så kalirisk at der har kunnet dannes mikroklin. Hvor der har vært mulighet for kontroll, kan det dog bevises at den granodiorittiske type er yngre enn vinordiabasene.

Antagelig som siste ledd i granittenes erupsjonsepoke kan man betrakte injeksjonen av de store øiegranittmassiver nærmere breccien. Man ser ved Kongsberg at denne type skarpt avskjærer vinordiabasgangene, som har sin retning mot granittens grenser.

Det er et felles trekk ved de fleste granitter i Kongsbergformasjonen at feltspatindividene er omgitt av mørtelmasse og store flaker med biotitt. Feltspaten og mørtelmassen er gjennomvokset av klinozoisitt og plagioklasindividene er ofte fullstendig sericittisert og epidotisert.

Yngre kvartsårer — ofte uten tegn til undulerende utslukning — har tilslutt trengt frem mellom mineralkornene og har til dels gjennomvevet feltspatkrystallene, som ofte viser bøiede lameller, se fig. 14. Denne gjennomvevende kvartstype finner man østover gjenem Kongsbergformasjonens granitter, men i stadig avtagende grad henimot Bambleformasjonen.

Det er altså på det rene at granitten som er yngre enn gabbroinjeksjonen, har vært utsatt for en metamorfose, såvel ved press som kjemisk. Feltspatkornene har derved mistet sin oprinnelige begrensning og er omgitt av mørtelmasse, nøiaktig på samme måte som tidligere beskrevet i de eldre dioritter.



1 mm + nic.

Fig. 14. Grovkornig Kongsberggranitt nær Li-seter vest for Kongsberg. Gjennomvevende årer av upresset kvarts. Midt på fotoet og øverst til venstre plagioklas. Til venstre nederst, mørtel; til høire, og midt på billedet nederst mikroclin.

Mørtelstrukturen og kvartsgjennomvevningen i kvartsdiorittene og granittene måtte — hvis den var frembragt regionalt ved et ytre press — være fremkommet samtidig og altså etter granittens størkning.

Av det foregående fremgår det dog at efter den store gabbroinjeksjon i Kongsberg-Bambleformasjonen, har denne ikke vært utsatt for noget regionalt press som kan ha formådd å sette preg på bergarten. Et sådant press måtte merkes ved tverrforkastninger eller foldninger, og disse er jo som nevnt praktisk talt ukjent. Enn videre kunde olivinhyperitten ikke ha bevart sin primære struktur helt til grensen, hvis den hadde vært utsatt for en så voldsom regional metamorfose som her måtte ha funnet sted, og de granatomvandlede hornblendeskifere måtte vise nogen utvalsning. Også kvartsdiorittenes struktur med de upressede kvartsårer taler imot at formasjonen har vært utsatt for et voldsomt ytre press.

De enkelte mineralkorns korodering og opknusning må antas å være foregått som følge av bevegelser i magmaen under krystallisasjonen. Tilslutt er utkrystallisasjonen avsluttet med en hydrothermal periode, hvori feltspaten og mørtelmassen er delvis omvandlet under dannelse av zoisitt, epidot og kloritt, og den fri kiselsyre, som lengst har kunnet holde sig i oppløsning, har tilslutt gjennomvevet bergarten i et nettverk av årer.

Bambleformasjonens „kvartsitter“ og „kvartsskifere“.

Går man stadig utover fra rivningsbreccien, altså mot øst eller sydøst, enten det nu er fra Kongsbergtraktene eller i den sydlige gren, kommer man umerkelig over i den såkalte Bambleformasjon eller Modumformasjon, som den har vært kalt i den nordlige gren.

Overgangen til de nye bergartstyper begynner med at man treffer en og annen pegmatittgang og plutselig finner man — f. eks. i Bamble — midt i granitten et smalt kvartsittbånd, eller mot øst ved Modum, en diorittisk bergart, begrenset av en kvartsitt, som er rik på albitt. Videre utover finnes nok båndgneiser og amfibolitter, og der finnes granitter og hyperitter av samme type som i Kongsbergformasjonen, men kvartsitter, glimmerskifere, anhofyllitt-(gedritt) skifere samt forskjellige pneumatolytiske og hydrothermale mineraler særpreger nu bergartene. Det kunde derfor sikkerlig være riktigere å tale om en pneumatolytisk-hydrothermal randsone enn om en formasjon, da formasjonsnavnet jo forutsetter en virkelig aldersforskjell.

Så lenge problemene her er under diskusjon, finner jeg dog ingen grunn til å forandre det gamle kjente navn.

Karakteristisk for formasjonen er en mangfoldighet av overgangstyper. Glimmerskiferen varierer i forskjellig innhold av feltpat, kvarts og glimmer. Man kan enkelte steder, særlig langs Sørlandskysten, finne rene kvartsitt-typer, men omkring disse sees alle overganger til forskjellige glimmerrike bergarter.

Hvad der særlig er påfallende er den overgang som der er mellom de kvartssittiske typer og de rene granitter. Som eksempel på disse overgangstyper skal jeg nevne bergarten ved Amundrud på Modum, kvartsitt-granittbåndet øst for Ødegårdens

Verk i Bamble og den slirete overgangsbergart ved Landvikvannet nord for Grimstad.

Sådanne overgangsformer finnes også mange andre steder. Olaf Andersen har i sitt arbeide om pegmatittganger også nevnt flere eksempler på kvartsslirer i granitten på Sørlandet¹ og V. M. Goldschmidt² har beskrevet tilsvarende magmatiske kvartsganger ved Stavanger.

Ved Amundrud på Modum ser man i en veiskjæring en vakker rødlig granitt med de i denne formasjon så almindelige kvartslinser, som er gjennomtrukket av sillimanittnåler. Går man fra veien op i granitten finner man først vanlig vakker granitt med de linseformige kvarts-sillimanitt-inneslutninger, men fortsetter man ca. 100 m fra veien, da er man over i en glimmerrik kvartsitt med sillimanitt, uten man kan angi nogen bestemt grense mellem de to bergartstyper. Mange andre sådanne eksempler kan jeg henvise til i samme distrikt.

Syd for Ødegårdens Verk er, som fig. 11 viser, den amfibolittiske gabbro i åsen syd for apatittgrubene begrenset av lange, smale kvartsittbånd, som er noget sillimanittførende. Følger man disse kvartsittbånd sydvestover vil man, som det fremgår av kartskissen, rent umerkelig komme over i en granitt med kvarts-sillimanittlinser.

Mikrofotoграфиene fig. 15, 16 og 17 viser denne overgang fra kvartsitt til normal granitt. Fig. 17 er en temmelig ren kvartsitt med sillimanitt og noen ganske små mikroklinfiller. Det næste fotografi viser at mikroklinen har øket i mengde, og på det derpå følgende sees at mikroklinen har øket så sterkt at bergarten må betegnes som en granitt.

Øst for Landvikvannet, nær Grimstad, sees en vakker overgang mellem kvartsitt og granitt. Overgangen er her ikke så ubetinget jevn som ved Amundrud og ved Ødegårdens Verk. Ved å gå oover høiden mot granitten sees her en mer sliret overgang, idet der på grensen er en veksell av ganske smale granitt- og kvartsittlinser.

¹ Olaf Andersen: Discussion of certain Phases of the Genesis of Pegmatites. Norsk. Geol. Tidsskr. XII, 1931.

² V. M. Goldschmidt: Geologisch-petrografische Studien im Hochgebirge des südlichen Norwegen. Vid.-Selsk. Skr. I. M.-N. Kl. 1920. No. 10.



Fig. 15.

1 mm + nic.

Overgang fra granitt til kvartsitt i granitt-kvartsittbåndet syd for Ødegårdens Verk, Bamble. Fig. 15. Granitt. Fig. 16. Kvarts med store mikroklinfiller. Fig. 17. Kvarts med små rester av mikroklin. Glimmer forekommer i alle typer. Sillimanitt sees her kun på fig. 17, men finnes i alle typer.

Der er altså langs hele strøket en overgang fra kvartsitt til granitt, således at man ofte ikke vet hvor man skal sette grensen mellom de to bergarter.

Som senere nærmere skal beskrives er det ikke bare mikroklin som forurenser kvartsittene. Den er også forurenset av mange mineraler av pneumatolytisk og hydrothermal opprinnelse. Derved fremkommer overganger til glimmerskifer og skifer anriket på anthofyllit (gedritt). Utbredelsen av de urene kvartsitter er nær knyttet til granittene og gabbroene. Jeg skal nevne noen eksempler på hvorledes disse bergarter, som samhörige typer, særpreger Bambleformasjonen, fra den nordligste kjente del til traktene ved Lillesand nær Kristiansand.



Fig. 16.



Fig. 17.

I den nordlige del danner kvartsitt hovedbergarten. Som beskrevet ved Amundrud er mikroklinmengden mange steder så stor at bergarten får et granittisk utseende og den er dessuten i usedvanlig grad opfylt av gabbromasser.

Nedover Sørlandet fra Bamble og vestover er typen anderledes. Som kartet, fig. 11, viser er kvartsitt her ikke lenger den bergart, som utfyller mellomrummene mellom eruptivene, men den optrer som lange bånd, der selv følger den normale nordøstlige strøkretning. Detaljert er de rene kvartsitter her kartlagt fra øst til vest som smale båndformige ganger av en bredde, der sjelden er mer enn 50 m. Vi ser øst for Vissestad kvartsittbånd som ligger ganske nær hinannen og så viker fra hinanen, således at de finnes i over $\frac{1}{2}$ km's avstand fra hverandre for så atter å samles. Disse kvartsittbånd finnes mellom de bandede gneiser og amfibolitter og, som før nevnt, kan der iallfall for et av båndene i strøkretningen påvises en overgang fra kvartsitt til granitt.

Det nordligste kvartsittbånd ved Engvann optrer i granitt. Går man stien fra Feset i Bamble (fig. 11) nordover gjennom granitten, ser man flere steder kvartsittslirer i den. Fortsetter man gjennom granitt av grovkornig type over åsen og ned til Engvann, treffer man et langt smalt bånd med kvartsitt og amfibolitt. Dette er ikke inntegnet på kartet. Båndet kan følges i strøkretningen over flere kilometers lengde. Videre mot nord har man atter granitt av samme type som øst for Engvann. Av kartet, fig. 11, fremgår som foran nevnt, hvorledes granitt og hyperittdragene ledsager hinannen tvers gjennom hele Bamble. Mens jeg foretok kartleggingen, antok jeg at man her hadde en gjentatt foldning. Videre kartlegging har dog vist at en sådan opfatning ikke kan oprettholdes, da de geologiske tverrprofiler ikke viser den symmetriske opbygging som en foldning vilde medføre. Den senere utredning om pegmatittene og metasomatosen i forbindelse med granittene utelukker også en sådan omfoldning.

Langs Bamblekysten inntar kvartsittene et betydelig større område enn inne i landet og for øvrig på hele Sørlandet. W. Werenskiolds geologiske kart fra Bamblekysten, som ennå kun foreligger i manuskript, viser at her er et nogenlunde rent,

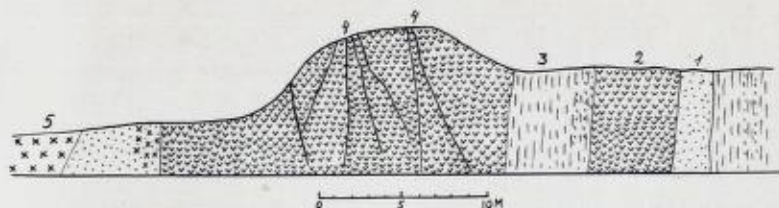


Fig. 18. Profil ved vei, Tonesodden nord for Stokken, nord-øst for Arendal.
 1. Kvartsitt, 2. Amfibolittisert gabbro, 3. Glimmerskifer,
 4. Kalkspatgang, 5. Granitt.

linseformig kvartsittparti av op til 2 km's bredde. Vestover mot Kragerøskjærgården bøier kvartsitt rundt de store gabbropartier, der danner de relativt høie åser på øene. Kvartsittene så vel som granittene er her ofte opfyldt av sillimanittlinser. Disse bergarter er nylig beskrevet av W. C. Brøgger¹.

Vestover fra Bamble er der ikke utført kartlegging i kvartsittområdet før man kommer til Grimstad. I det mellemliggende område er det vesentlig de foran nevnte av Kjerulf og Dahll utførte karter ved jerngrubene, som man har å holde sig til. I hele jerngrubeområdet viser disse en påfallende overensstemmelse. Som en kjerne i midten finner man gabbro, der er sterkt amfibolittisert og rundt omkring er smale granittbånd, der ofte tett omslutter den centrale gabbroklump (se fig. 12). Olivinhyperittmassivene på Gomøy ved Kragerøy og ved Valberg er ikke omsluttet av granitt, men av kvartsitt. Det samme ser man som skissen viser (fig. 18) ved et lite amfibolittmassiv nord for Stokken ved Arendal.

I den vestlige del av det her behandlede område, sees særlig interessante eksempler på kvartsittens stadige opptreden i nær forbindelse med gabbro og granitt. Ved Landvikvannet er et større kvartsittområde som er omsluttet av amfibolitt og granitt med overganger til den omgivende kvartsdioritt. Øst for kvartsittens ved Redalsvann er et stort område av en sort amfibolitt og amfibolittisert gabbro, som danner fjellgrunnen i Hisåsen. Syd for kvartsittens er på Kjærringholmen i Redalsvann et parti uomvandlet olivinhyperitt.

¹ W. C. Brøgger: On several archæan Rocks from the South Coast of Norway. Vid.-Akad. Skr. I. M.-N. Kl. 1933. No. 8. Oslo 1934.

Ved Grimstad vest for Hisåsen sees atter et smalt kvartsitt-bånd, som omslutter et lite centralt granittområde (se fig. 29). Dette er den vestligste kvartsittforekomst i Bambleformasjonen.

Kvartsitten ved Redalsvannet er av en eiendommelig karakter, idet den enkelte steder ser ut som et konglomerat. Inneslutningene består, som mellemmassen, utelukkende av kvarts. Inneslutningene er ved Redalsvann linseformige og jeg har også sett skarpkantete. Østover er linseformen ikke lenger utpreget, men man finner her en sliret kvartsitt. Bergarten har mange steder et ubetinget konglomerataktig utseende, men ved nærmere undersøkelse har jeg ikke funnet å kunne opprettholde opfatningen om at man her har et konglomerat. Jeg skal senere komme inn på de iakttagelser, som jeg mener taler imot at bergarten må opfattes som et konglomerat.

Ved Haneto ved Landvikvannets sydvestre ende er et lite kvartsittområde omsluttet av granitt, og utenfor granitten har man her som ellers i denne vestlige del det store område av kvartsdioritt. Videre mot vest har man ikke lenger kvartsitt, men der er en rekke små granittområder helt vestover til Odderøya ved Kristiansand. Særlig ved Vallesvær er der en vakker rød finkornig granitt, som utnyttes en del i gatestensindustrien. Bergarten er upresset, og kvartsen viser ikke undulerende utslukning.

Som tidligere nevnt finner man ved kvartsitten alle overganger fra kvartsitt til granitt, og man finner også alle overganger fra kvartsitt til muskovitt- og biotittskifer og til kvartsskifer og glimmerkvartsitter med anthofyllitt (gedritt) og sillimanitt.

Som der fremgår av det foregående er altså den såkalte Bambleformasjon karakterisert ved at erupsjonsparet gabbrogranitt er omgitt av kvartsitt (i bånd og større ansamlinger) med overganger til glimmerskifere og skifere med magnesia- og lerjordrike mineraler.

Det er dog på ingen måte disse bergarter som alene gir Bambleformasjonen dens preg. Det karakteristiske for Bambleformasjonen er at man innen det belte, hvor man treffer de forannevnte bergarter, overalt ser resultater av en utstrakt pneumatolytisk og hydrothermal virksomhet. Langs hele strøket fra nord til syd er Bambleformasjonens bergarter opfylt av

mineraler, dannet ved høi temperatur, ved midlere temperatur og ved lav temperatur. Sillimanitt, turmalin, skapolitt, albitt samt muskovitt og andre vannholdige mineraler, som over store strekninger forekommer i mengde, viser at her har foregått en langsom avkjøling, hvorunder der er skjedd en veldig stofftilførsel til den hele bergartsone. I det følgende skal jeg nærmere beskrive hvorledes resultatene av metasomatosen viser sig i de forskjellige deler av Bambleformasjonen, idet jeg begynner med de eldste, ad pneumatolytisk vei dannede mineraler.

Mineraler og Mineralganger i Bambleformasjonens pneumatolytisk-hydrothermale randsone.

Anthofyllitt (gedritt) er velkjent i Bambleformasjonens kvartsittområder, såvel på Modum som i Bamble-distriktet og er også kjent i traktene ved Lillesand. På Modum har jeg funnet anthofyllitt ved vestsiden av Embretsfoss. I Bamble er der ved kvartsittbåndene og de nærliggende gabbrodrag, lange anthofyllittførende belter langs kvartsitten fra Oslofeltets grense vestover til forbi Kragerø. Vestenfor er kartleggingen ennu mangelfull i de indre distrikter helt til man kommer til traktene nord for Grimstad. Her har man ved Landvikvann en større ansamling anthofyllitt.

I Kongsbergformasjonens båndgneiser er der ved Kjennerudvann et serpentinfelt, som må opfattes å være fremkommet ved metamorfose av olivinsten. Omkring serpentinområdet forekommer relativt store ansamlinger av en sterkt grønn hornblende, som er gjennomtrukket av lange anthofyllittnåler. *Cordieritt* finnes flere steder i Bambleformasjonen, hvor magnesiarike mineraler er særlig fremtredende.

Biotitt og muskovitt er almindelig forekommende mineraler i og omkring kvartsittdragene. Særlig på Modum er det kun innen isolerte felter at man finner ren kvartsitt. Det vanlige er at der er en meget stor tilblending av såvel muskovitt som biotitt og at der derfor overalt er overganger til glimmerskifere, således at kartleggeren ofte ikke kan si hvor grensen skal inntegnes.

I den sydlige gren av Bambleformasjonen er det, som beskrevet under gjennomgåelsen av kvartsittbåndene, almindelig

å finne glimmerskifer i samlede bånd, som løper parallell med kvartsittbåndene. Glimmerskiferbåndene har overalt en orientering som faller sammen med den vanlige strøkretning.

Sillimanitt er et særlig almindelig mineral i kvartsitten, i den glimmerrike kvartsitt, i den feltspatrike kvartsitt og i granittene som støter op til kvartsitten. Mineralet forekommer i de sedvanlige nåler og kostformede aggregater, og de sees gjennemvoksende kvarts og feltspat. I granitten finnes sillimanitt i de velkjente små linser og kuler, der består av kvarts gjennemvokset av sillimanitt. Disthen finnes i betydelige mengder innen et lite område øst for Oslofjorden på Nesodden¹. I Bambleformasjonen derimot har jeg kun sett disthen i kvartsitten nord for Hokksund. Ved Amundrud på Modum sees sillimanittrike kvartslinser i granitten som på fotografiet fig. 19. Det fremgår her at granitten også er gjennomtrukket av korte sillimanittførende kvartsårer. Utover i det omgivende store område med glimmerkvartsitt ser man sillimanitten mest som nåler rundt omkring i bergarten. Fig. 20.

Ved Torsberg syd for Ødegårdens Verk i Bamble (se kartet fig. 11), optrer sillimanitt som nåler i kvartsitten. Ved overgangen til granitt mot vest finner man likesom ved Amundrud de sillimanittrike kvartslinser både i granitten og i kvartsitten. Ved Ekevik, Valle og Bredsanden, ved kysten syd for Ødegårdens Verk i Bamble, er brede bånd av sillimanittkvartsitt og sillimanittgranitt. I begge disse bergarter sees sillimanitt i smålinser i grensesonen². Vestover mot Arendal er kvartsittbåndene, som før nevnt, ikke nøie kartlagt. Det er derfor ikke på det rene hvorledes sillimanittinnholdet arter sig i distriktene nærmest vest for Bamble.

Når man kommer så langt som til trakten nord for Grimstad er dog kartleggingen utført i målestokk 1:100 000. Sillimanitt kjennes også her, men det er et relativt sjeldent forekommende mineral.

¹ O. A. Broch: Ein suprakrustaler Gneiskompleks an der Halbinsel Nesodden bei Oslo. Norsk geol. tidsskr. B. IX. H. 2. 1926.

² W. C. Brøgger: On several archæan Rocks from the South Coast of Norway. Vid.-Akad. Skr. I. M.-N. Kl. 1933. No. 8. Oslo 1934, pg. 21.



Fig. 19. Granitt med inneslutninger av kvarts-sillimanitt ved Amundrud, Modum. Inneslutningene har korte stykker et gangformig utseende.

Kartleggingen i Bambleformasjonen har altså vist at sillimanitt er et almindelig mineral i den nordlige gren på Eiker og Modum og i den østlige del av Sørlandet. Vestover derimot avtar sillimanitten i kvartsitten, og sillimanittgranitt har jeg ikke påtruffet i dette vestlige parti.

Enn videre viser kartleggingen at sillimanittkvartsitt og sillimanittgranitt går over i hinannen, både langs strøket og på tvers av strøket.

Skapolitt er et omvandlingsmineral som er vanlig forekommende i gabbroen i den nordlige gren av Bambleformasjonen på Modum og Eiker og i den østlige del av Sørlandet. Vestover langs den sydlige gren av Bambleformasjonen avtar mengden av skapolitt, og jeg har ikke sett dette mineral i gabbroområdene nord og vest for Lillesand.

Skapolitt og sillimanitt har altså sin store utbredelse i de samme trakter.

Særlig på Modum, i Bamble og ved Kragerø er der flere gabbroområder hvor feltspaten er helt skapolittisert¹.

¹ W. C. Brøgger: On several archæan Rocks from the South Coast of Norway. Vid.-Akad. Skr. I. M.-N. Kl. 1934. No. 1. Oslo 1935.

Olivinhyperittens omvandling til skapolitthornblendesten (ødegårditt) er beskrevet av mange geologer. En omfattende oversikt over litteratur om skapolitthornblendestenen finner man i det foran nevnte nylig utkomne arbeide av W. C. Brøgger. Brøgger beskjeftiger sig her inngående med den metasomatose som har funnet sted i forbindelse med skapolittisering. Basert på analyser av olivinhyperitt og skapolitthornblendesten (ødegårditt) ved Ødegårdens Verk i Bamble antar han at der ved den pneumatolyse som olivinhyperitten har vært utsatt for er tilført: 1,25 pct. CaCO_3 , 1,18 pct. CaSiO_3 , 1,37 pct. MgSiO_3 , 1,14 pct. Al_2SiO_5 , 2,64 pct. Na_2SiO_3 og 3,23 pct. NaCl , og ved Langø beregner han at der innen et område av $3\frac{1}{2}$ km's lengde og 200 m's bredde for hver 100 m mot dypet er tilført $2\frac{1}{2}$ mill. tonn klor. Ved denne i disse distrikter så almindelige pneumatolyse er det særlig jernoksyder som er bortført.

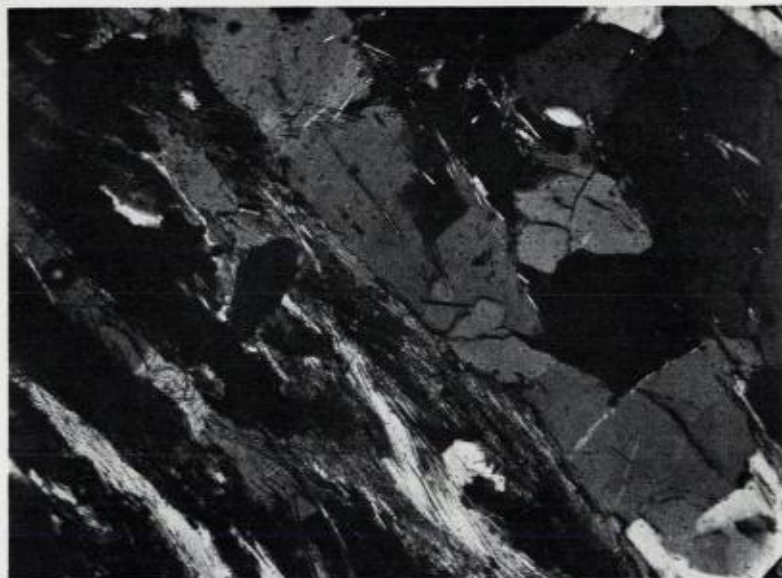
Turmalin er et karakteristisk mineral i Bambleformasjonens kvartsitt og glimmerskifer og enkelte steder også i granitten på strekningen fra Modum til Lillesand. Som senere skal beskrives forekommer det også hyppig i pegmatittgangene. Mineralene er overalt ganske små og farven er som oftest grønn, gul turmalin sees også i den sydlige del.

Sulfider er almindelige både i Bamble- og Kongsbergformasjonen. Jeg har før nevnt hvorledes fahlbåndkisene er utskilt langs kontakten av diorittene og gabbroene (vinordiasene). I Bambleformasjonen har man de velkjente nikkelmagnetkisforekomster ved gabbro (noritt) flere steder i Bamble og nedover Sørlandskysten.

Svake antydninger til vanlige fahlbåndforekomster har man også i Bambleformasjonen, f. eks. langs amfibolitten som fra Grimstad stryker langs kysten vestover mot Lillesand.

På Modum er i kvartsitten langs et av de store gabbromassiver en velkjent fahlbåndforekomst som har hatt en meget betydelig økonomisk verdi som koboltforekomst. Den sulfidiske erts i dette fahlbånd består for en vesentlig del av kobberkis, tesseralkis og koboltarsenkis.

Magnetitt og jernglans forekommer i Bambleformasjonens bergarter innen bestemte soner og i et karakteristisk mineralselskap. I almindelighet finnes jernertsen ved de



— 1/2 mm + nic. —

Fig. 20. Feltspatkvartsitt med turmalin ved veien syd for Overntjern Modum. Mikroklinfiller i en grunnmasse av kvarts med svakt undulerende utslukning. Biotitt og muskovitt. Mineralene er gjennomvokset av sillimanittnåler. Kvarts i øvre halvdel til høyre. Sillimanittnåler i nedre halvdel til venstre. Midt på venstre halvdel en turmalinkrystal. Et par sillimanittnåler trenger et stykke inn i krystallen. Dette kan ikke sees på fotoet.

mørke gabbrobergarter som gjennemgående er omvandlet til amfibolitt. I den nordlige gren på Modum finnes jernglans ved gabbro på grensen mot albittkvartsitt. Kun en av jernmalforekomstene i denne nordlige gren har vært av den størrelse at den har spillet en nevneverdig praktisk rolle. I den sydlige gren derimot, fra øene ved Kragerø og vestover mot Grimstad er ved gabbroene og amfibolittene opskjerpet jernglans og særlig magnetittforekomster, på hvilke der har vært drevet en ganske betydelig bergverksdrift. Arbeidet på disse jernforekomster blev innstillet i siste halvdel av forrige århundrede og siden har der kun under høikonjunkturperioder vært drevet litt i enkelte spredte gruber. I de omkring 250 år, hvori grubene har vært drevet, har de ifølge J. H. L. Vogt produsert henimot

3 mill. tonn malm. Forekomstene er beskrevet av Th. Kjerulf og Dahll¹ samt av J. H. L. Vogt². De efterfølgende opplysninger om jernmalforekomstene er for en vesentlig del hentet fra disse forfattere og fra W. C. Brøgers foran nevnte arbeide.

Jernertsene finnes innen den av gabbro-granitt og kvartsitt særpregede sone, men de er ikke av en helt ensartet type. Særlig utpreget forskjell er der på en indre og en ytre type. Den indre type som finnes nær den innerste grense for Bambleformasjonen er langt mineralfattigere enn den ytre. Det er særlig i traktene Solberg—Lyngrot at der i gammel tid er drevet grubedrift i denne sone. Ertsen er, ifølge Kjerulf og Dahll, magnetitt, som forekommer i smale striper og bånd, samt som en impregnasjon i en kvartsfattig granitt.

I den ytre sone finnes magnetitt innen et relativt smalt parti av Bambleformasjonen fra traktene ved Grimstad i vest inntil østenden av Tromøsundet øst for Arendal. Her går forekomstene helt ut mot kysten, mens de vestover bøier litt inn i landet, som det fremgår av kartskissen fig. 21.

I skjærgården ved Kragerø har man atter på Langøen et drag av jernertsforekomster, men her er ved siden av magnetitt også jernglans, et almindelig mineral.

Kartleggingen og de undersøkelser jeg har gjort viser at jernertsforekomstene er i utpreget grad knyttet til gabbroene, til erupsjonsparet gabbro-granitt og til gabbro-kvartsitt. Kjerulf og Dahll's kartskisser fra de relativt store jernfelter ved Neskilen, Langøen—Torbjørnsbo og Klodeborg viser at smale granittbånd helt omslutter gabbroen der hvor jernforekomstene finnes. Ved Neskilen ser man typiske eksempler på denne omslutning, men aller klarest fremgår det ved Langsev—Torbjørnsbo. Fig. 12 viser dette siste felt. I midten er den amfibolittiserete gabbro som til dels næsten fullstendig er gått over til en granatpyroksenbergart. Denne er undertiden så sterkt magnetittførende at den kan utnyttes som jernerts. Kjerulf og Dahll betegner

¹ Th. Kjerulf og Dahll: Om jernertsenes forekomst ved Arendal Næs og Kragerø. *Nyt. Mag. f. Naturvid. B.* 11, 1861.

² J. H. L. Vogt: Norges jernmalforekomster. *Norges geol. undersøkelse nr. 51.* Kristiania 1910.

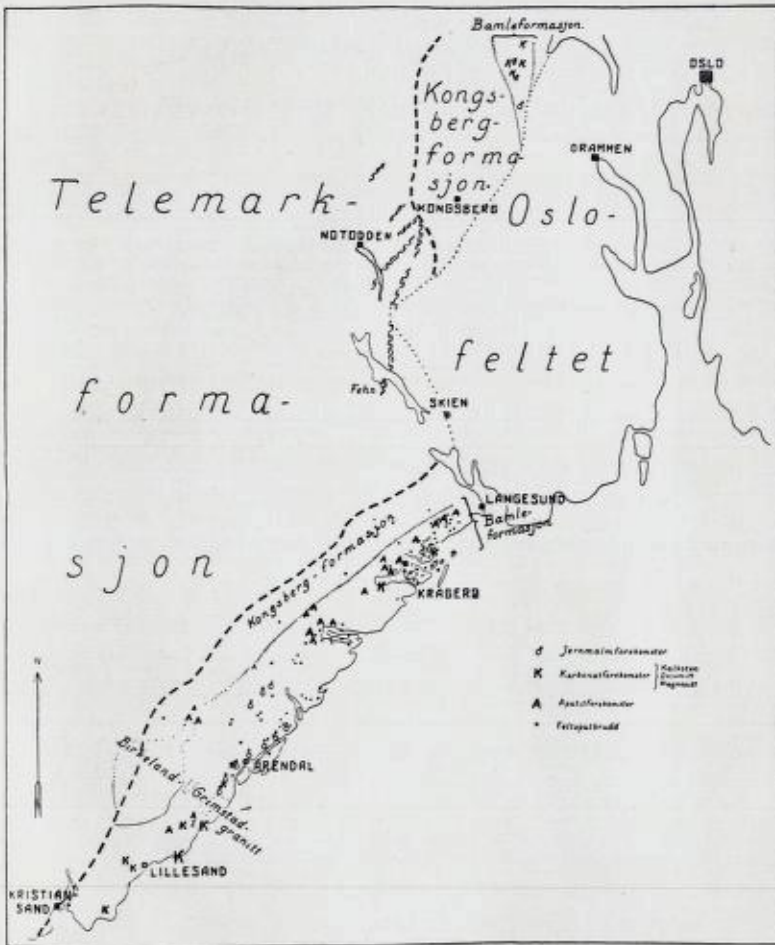


Fig. 21. Bambleformasjonens nordlige gren omfatter Eiker og Modum. Bambleformasjonens sydlige gren kaldes ofte Sørlandet. Området øst for Kragerø kalles Bamble.

Målestokk ca. 1 : 1,8 mill.

- ♂ jernmalforekomster. K karbonatforekomster.
 A apatitforekomster. ■ feltspatbrudd.

bergarten som granatfels og beskriver den på følgende måte: »Granatfels består av en blanding av granat (kolophonitt) og augitt (kokolitt) med kalkspat. Den relative mengde av disse bestanddeler er ytterst variabel og en av dem kan hist og her mangle. Således er der blandinger av augitt og granat, av granat og kalk, der er også augitt alene, granat alene, ja selv kalk næsten for sig alene.«

Serpentin sees undertiden som grønne korn i gangstenen, og i enkelte gruber sees den som en egen gangmasse. K. og D. nevner oficalcitt som består av gulhvitt serpentin og hvit kalkspat, og der nevnes også en blanding av magnetjern, gul serpentin og kalkspat.

Magnetitt treder undertiden til på enkelte strøk i dragene og der finnes således blandinger av magnetitt, augitt og kalkspat; magnetitt med granat og kalkspat samt magnetitt med augitt. Hvor magnetitt er overveiende har der foregått avbygging ved dagbrudd og grubedrift.

I granatfelsen nevnes også apatitt, biotitt, skapolitt og sammen med kalkspat: analcim, ametyst, apofyllitt, axinitt, zinkblende, desmin, prehnitt og skapolitt.

Kartet fig. 12 viser hvorledes den amfibolittiserte gabbro med sin jernerts og skarnminerale er omsluttet av 10—20 m brede granittbånd. I K. og D.s arbeider er granittbåndene, som foran nevnt, feilaktig betegnet som kvartsitt. Det er dog lett forståelig at denne feil kunde opstå, da man ved Langøgrubene ved Kragerø hvor der også forekommer gabbro, finner denne omgitt av en temmelig ren kvartsitt og da granitten ved Arendalsgrubene enkelte steder kan være meget kvartsrik.

K. og D. regnet de omsluttende »kvartsittbånd« i alder å høre sammen med de gamle gneiser som danner hovedbergarten, og man mente å ha eksempler på at granatfelsen gjennemsjærer granitten (kvartsitten). Som bevis nevnes en gafling av et granitt(kvartsitt)-bånd i granatfels. Denne gafling kan dog like godt være fremkommet ved at granitt(kvartsitt)-båndet er trengt inn i granatfelsen.

Jeg kan ikke finne at disse gjennemsjæringer som fremgår av kartet, kan tolkes som fremkommet på annen måte enn ved at granitten har gjennemsjært granatfelsen.

Den til stadighet gjentatte parallelloptreden av gabbro og granitt viser også her som annet steds at granitt og gabbro må være samhörige.

De smale granittbånd som omslutter gabbro og granatfels må enn videre antas å være utskilt ved en rolig inntrengen av granittmagma i tiden efterat den metasomatose var avsluttet, hvorved jernmalforekomstene, med sin karakteristiske gangsten blev dannet. Pegmatittgangene er avgjort yngre enn jernmalforekomstene.

På *Langø ved Kragerø* er forekomsten av en noget annen type, om den enn, som nevnt, finnes ved lignende bergarter som ved Arendal. En delvis amfibolittisert olivinhyperittansamling er til alle sider omgitt av kvartsittbånd som overalt faller under olivinhyperittklumpen. Rundt det lille olivinhyperittmassiv og tydelig samhörig med dette, har man også de vedkjente, undertiden flere meter mektige, »karbonatganger« som ofte langs det liggende har en anrikning av magnetitt og jernglans, der har vært gjenstand for en temmelig utstrakt grubedrift. Karbonatgangene med deres medfølgende jernerts er altså tydelig yngre enn olivinhyperitten og ifølge K. og D.s kart er de også yngre enn pegmatittgangene. Det viser sig altså at både før og efter pegmatittgangenes intrusjonsperiode er der i disse trakter, sammen med karbonater, tilført store mengder jernerts, der er avsatt som magnetitt, og i den siste epoke delvis som jernglans.

Gangmineralene på karbonatgangene er kalkspat samt noget dolomitt. I rikelige mengder fines også albitt, der ofte er avsatt på sideflatene av den breccierte sidesten som finnes i gangene. Der sees også vekslende mengder kvarts og litt epidot, aktinolit, skapolitt og kloritt.

Kalkspat i større og mindre ansamlinger er som det fremgår almindelig forekommende sammen med jernmalforekomstene i trakten Kragerø—Arendal. Granat og augitt kan undertiden i disse såkalte skarnforekomster tre så sterkt tilbake at kalkspat blir rent overveiende, således at der finnes partier med uren kalkspat opblandet med noget augitt, skapolitt, magnetitt o. l. Disse kalkspatpartier, sier J. H. L. Vogt, inneholder ofte bruddstykker av de krystalline skifere. Der kan derfor, uttaler han enn videre, ikke foreligge omvandlede kalk-

sedimenter. Også kalkspat i de tilsynelatende lag er yngre dannelser.

Kjerulf og Dahll beskriver også i granittene sådanne gangformige kalkspatpartier med bruddstykker av sidestenen. Meget almindelig er det å finne kalkspat i større og mindre ansamlinger i og ved amfibolitt langs hele Bambleformasjonens drag. I den nordlige gren er i hornblendegabbro i Gampehue ved Solumsmoen en stor ansamling av grovkrystallinsk næsten helt ren kalkspat. Et par næsten flattfallende »ganger«, som iallfall er over 3 m mektige, dekker her et areal av minst 5000 m². Gabbroen, hvori kalkspaten forekommer, er til dels helt opfylt av kalkspat i små årer og som mineral i bergarten. Kloritt er også et vanlig mineral og dertil kommer en gjennomført albittgjennomvevning. En sådan kalkspatgjennomvevning finner man både ved gabbro og kvartsitt fra Embrettsfoss øst for Dramselven og sydover mot Skotselven.

Nedover Sørlandsgrenen av Bambleformasjonen har man foruten ved de førnevnte jernmalforekomster, kalkspatansamlinger helt vestover mot Kristiansand¹. Alle de kjente kalkspatfelter ligger umiddelbart ved mørke ensartede gabbroforekomster og amfibolittdrag. Som et særpreg ved dem alle kan også nevnes at den omgivende gabbro er opfylt av hulrum og små spalter, der er fremkommet som følge av at kalkspaten er utvitret. Se fotografi fig. 22.

Da gabbroen er av utvilsom eruptiv natur og kalkspatforekomstene overalt finnes i eller langs gabbro eller amfibolitt, tyder denne rent kartografiske iakttagelse om mineralets optreden på at gangene må være avsatt av karbonatopløsninger som har sirkulert omkring gabbrofeltene.

Mineraldannelsen ved disse kalkspatganger er meget sparsom, og de mineraler som finnes tyder på at temperaturen aldri har steget til nogen betydelig høide efterat kalkspatforekomstene var dannet.

På Modum har jeg i den omgivende gabbro ikke sett annen mineraldannelse enn kloritt. Nedover kysten mot Lillesand er der på holmene en betydelig mengde kalkspat. Enkelte holmer

¹ Olaf Holtedahl: Kalkstensforekomster på Sørlandet. Norges geol. Undersøkelse. Nr. 81. Årbok 1912.



Fig. 22. Amfibolitt med hulrum efter utvitert kalkspat, Jortveit, Homborsund mellem Lillesand og Grimstad.

mellem Grimstad og Lillesand består endog utelukkende av uren kalkspat. Fotografi fig. 23 og 24 viser forskjellige typer av kalkspat i skjærgården i denne sydlige del av kalkstensdraget. Av fotografiene fremgår at såvel pegmatitt som den omgivende amfibolitt er opbrutt av kalkstenen, således at man til dels har fått dannet en breccie med bruddstykker, hvor kantene undertiden er noget avrundet. Man finner altså ved disse større kalkstensansamlinger de samme forhold som J. H. L. Vogt og Kjerulf og Dahll har beskrevet ved jernmalforekomstene.

Det kan være et spørsmål om pegmatittbruddstykkene på kalkstensholmene er fremkommet ved at karbonatopløsningene brøt dem op da de trengte frem, og altså er dannet senere enn pegmatittgangene eller om pegmatittgangene er eldre og at kalkspaten er presset inn i fast tilstand og har delt op de yngre gjennemsettende ganger.

Det er av interesse å bringe på det rene de store kalkspatansamlingers alder i forhold til pegmatittgangene. Det er dog ikke av nogen avgjørende betydning for at man skal kunne danne sig et bilde av metasomatosens forskjellige stadier. Det er nemlig påvist, at cirkulerende oppløsninger har avsatt kalkspat i betydelig mengde både før og etter pegmatittgangenes inn-trengen.



Fig. 23. Pegmatittinneslutninger P. i kalksten K.
Rivingen ved Grimstad.

Som foran nevnt er kalkspat et almindelig mineral som ofte forekommer i rene ansamlinger i gangstenen, hvori jernmalforekomstene av Arendalstypen finnes. Gangstenen er utvilsomt eldre enn pegmatittgangene.

Ved Langøgrubene har jeg enn videre — fra Kjerulf og Dahlls arbeide — nevnt eksempler på, at der også er kalkspat og andre karbonatganger som er yngre enn pegmatittgangene, og der er kalkspatansamlinger i selve pegmatittgangene. Det er her altså ikke spørsmål om å avgjøre i hvilken tid kalkspatansamlingene er dannet, men oppgaven er kun å utrede mengdeforholdet før og etter pegmatittgangenes epoke. For å bringe på det rene aldersfølgen i forhold til granitt og pegmatittganger, er det selvfølgelig av en vesentlig interesse å studere, hvorledes kalkspaten har reagert med mineralene i de tilgrensende bergarter.

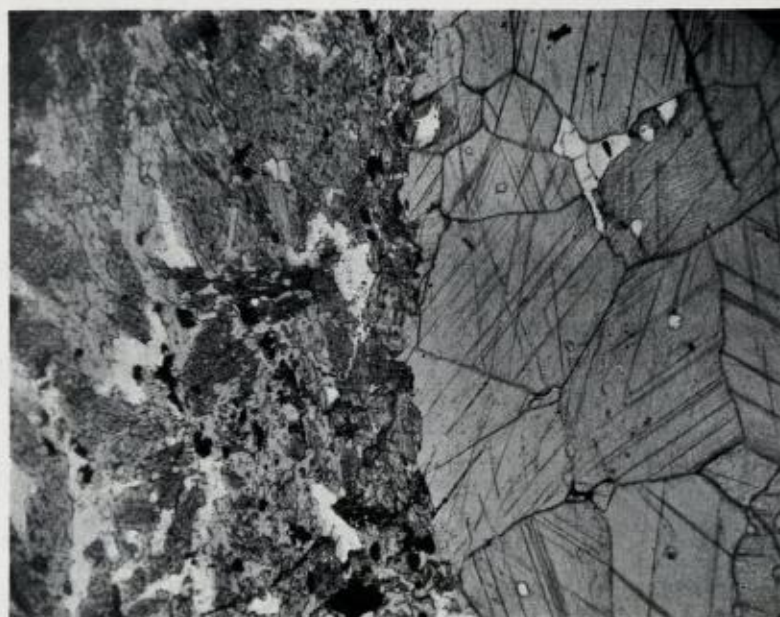
Av beskrivelsen av gangstenen ved Arendal jernmalforekomster fremgår at metasomatosen iallfall er påbegynt ved relativ høi temperatur under dannelse av granat, augitt, skapolitt o. l., men den er avsluttet ved en lavere temperatur, hvorunder der ved enkelte gruber dannedes mineraler som epidot,



Fig. 24. Amfibolitt og pegmatittinneslutninger i kalksten på Kongsholmen mellem Lillesand og Grimstad.

serpentin, zeolitter. Allerede Kjerulf og Dahll var opmærksom på at denne mineraldannelse var noget anderledes enn mineraldannelsen ved kalkstensforekomstene i granitten ved Kristiansand, altså vest for den store rivningsbreccie. Der finnes ved Arendalsgrubene, foruten granat og pyroksen, også chondrodit og spinell. Lavtemperaturmineraler som serpentin og zeolitter sees ikke ved Kristiansand, og som beskrevet av Tom Barth er der ved Kristiansandskalkstenen ikke dannet epidot, men vesuvian som ifølge Barth¹, dannes ved høiere temperaturer enn epidot. Temperaturen ved utkrystalliseringen av kalkspaten i gangstenen ved Arendalsgrubene må ha vært høiere enn ved krystalliseringen av de relativt rene kalkstensforekomster i Bambleformasjonen, men ikke så høi som da kalkspaten utkrystalliserte ved forekomstene ved Kristiansand, vest for breccien. Ved kalkstenen på holmene i skjærgården mellom Grimstad og Lillesand finner man ingen av de gangstensmineraler, som i jernertsdistriktene tyder på en dannelse under relativt høi temperatur. Undersøker man bruddstykkene i kalkstenen, finner man kun en meget sparsom mineraldannelse. Aktinolitisk hornblende er et

¹ T. Barth: l. c.



1 mm

Fig. 25. Fra Bronen kalkstenforekomst i Bambleformasjonen mellem Lillesand og Kristiansand. Til høire kalkspat. Til venstre amfibolitt. Ingen reaksjonsmineraller mellem kalkspaten og amfibolitten.

almindelig mineral over alt i denne av kalkspat opfylte amfibolitt. Aktinolitt sees også ofte ved selve kontaktsonen. Omkring pegmatittbruddstykkene er det vanlig å se et ganske tynt belegg av muskovitt som gjennemvokser albitt. For øvrig er det almindelig å finne kloritt, epidot, zoisitt og klorinoisitt. Diopsid finnes enkelte steder i selve pegmatitten, men jeg har ikke sett dette mineral som reaksjonsmineral mot kalkstenen.

Det er altså på det rene at de store kalkstensansamlinger som finnes i den vestlige del av Bambleformasjonen og likeledes i gabbroen på Modum ikke har vært utsatt for høiere temperatur enn at der som reaksjonsmineraller er dannet typiske lavtemperaturmineraller.

Av fotografiene fig. 25 og 26 ser man den utpregede forskjell på kalkstenens kontakt mot amfibolitt i skjærgården mel-

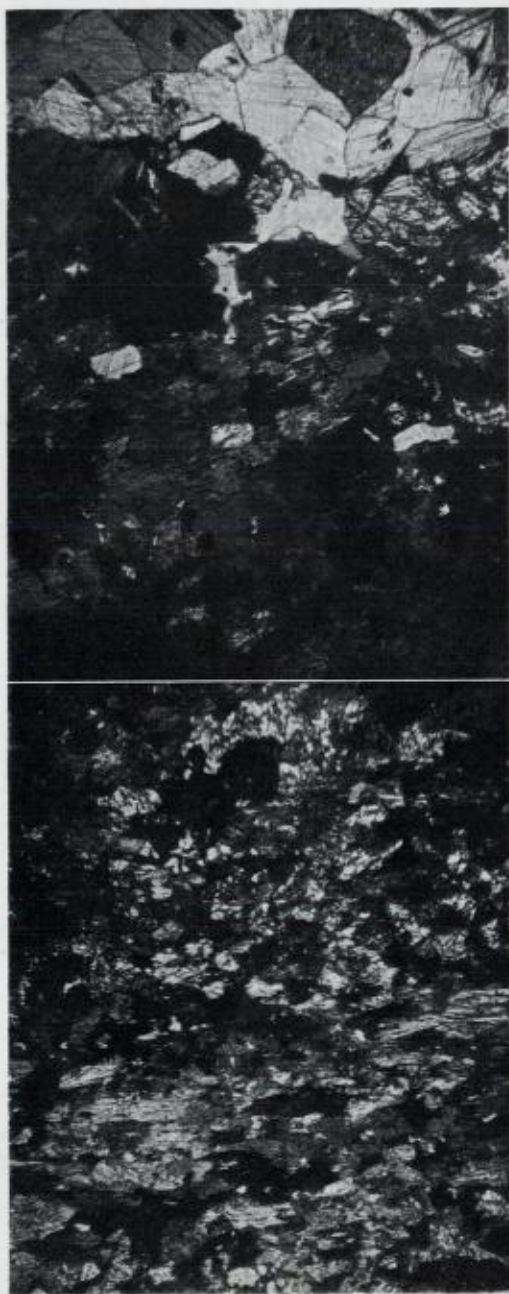


Fig. 26. Fra kalkstensforekomst i Kalkheia ved Kristiansand. Til hoire kalkspat, til venstre amfibolitt.
Mellem disse skarnmineraler (pyroksen, granat og skapolitt)



Fig. 27. Kalksten ved Kongsholmen, Homborsund mellem Lillesand og Grimstad. Lyse finkornige bånd av granittisk og diorittisk sammensetning, vekslende med kalkspatbånd. De sidste er mørke på fotoet.

lem Grimstad og Lillesand og i granitten ved Kristiansand vest for den store rivningsbreccie. I umiddelbar nærhet av kalkstensforekomstene mellem Lillesand og Grimstad finner man gabbro, amfibolitt, dioritt, granitt og pegmatittganger som beviser at distriktet er et eruptivområde, hvor temperaturen i de forskjellige epoker gjentagne ganger må være drevet op til en sådan høide at en mulig sedimentær kalksten måtte ha reagert med sidestenen og dannet forskjellige kalksilikater. Man finner som nevnt, bortsett fra aktinolitt, ingen av disse mineraler her, og en opfatning om sedimentær dannelse må derfor være utelukket. Det tynne belegg av lavtemperaturmineraler som danner reaksjonsrand mot pegmatittbruddstykkene, tyder også på at disse må være opbrutt av karbonatopløsningene.

Den foran nevnte mulighet at pegmatittgangene er yngre enn kalkspatgangene, men er opbrutt ved senere tektoniske forstyrrelser, lar sig for øvrig ikke oprettholde av rent tektoniske grunner, da det synes helt utenkelig, at her skal ha vært sådanne kraftige bevegelser nettop i kalkstensområdet og ikke annetsteds i feltet. Man finner nemlig utenfor kalkstensfeltene intet sted



Fig. 28. Båndet diorittisk gneis på utsiden av Homborøen mellom Lillesand og Grimstad. De lyse bånd er diorittiske, de mørke er amfibolitt. Epidot forekommer dessuten i stor mengde.

i hele området at pegmatittganger er opbrutt etterat de er størknet. Selv forkastninger kjenner jeg ikke til, utenfor de spesielle brecciesoner. Dertil kommer, som jeg senere nærmere skal komme inn på, at mineralene — selv i pegmatittbruddstykkene — kun viser svake tegn på press.

Foruten de større kalkspatansamlinger opfylt av bruddstykker, ser man også ved kalkstensforekomstene en båndet bergart, bestående av vekslende kalkspatbånd og granittiske eller diorittiske bånd.

Fotografiene fig. 27 og 28 viser henholdsvis kalksten ved Kongsholmen ved Homborsund og båndet diorittisk gneis i skjærgården vest for Lillesand — umiddelbart syd for kalkstensforekomsten. Den båndede diorittiske bergart består av smale mørke amfibolittiske og lyse diorittiske bånd. Disse er kruset og foldet, uten at der kan sees nogen forstyrrelser utenfor de rent lokale. På fotografiet fig. 27 er de lyse bånd noget granittiske og opfylt av zoisitt. Istedetfor de smale mørke amfibolittiske bånd har man ved Kongsholmen kalkspat. Ved en voldsom senere innpressing av sedimentær kalksten kan der

ikke være dannet denne regelmessige båndede bergart, som kun kan tenkes fremkommet ved at kalsiumkarbonatopløsninger har banet sig vei ved forholdsvis lav temperatur. Hele den omgivende amfibolitt har vært gjennomtrengt av kalkopløsninger. Særlig på øene utenfor kalkstensholmene vises kalkens innvirkning av en næsten helt gjennomført epidotisering av bergarten, og i granitten ser man en gjennomvoksning av aktinolitisk hornblende, således at den oprinnelige bergart kun enkelte steder lar sig påvise. Dertil kommer at amfibolitten overalt er opfylt av hulrum og smale spalter etter utvitret kalkspat (fig. 22). Den av huller opfylte bergart er så iøinefallende at det muligens er inngått i selve navnedannelsen på kysten som heter Homborsund etter det gamle Hornbor som er sammensatt av horn (fjell) og bora (hull). Hvis en sådan navneforklaring er riktig, er altså den petrografiske iakttagelse om den utvitrede kalkspat av forhistorisk alder.

Yngre kalkspatganger finnes langs hele det her beskrevne felt. Disse ganger er som det fremgår av fig. 12 og 18 rettlinjete og har ingen reaksjonsmineraler langs siden.

Magnesitt og dolomitt. På Modum og Snarum i den nordlige gren av Bambleformasjonen er en velkjent magnesittforekomst, som i årrekker har vært gjenstand for drift for fabrikasjon av magnesittsten. Langs de nord—syd strykende gabbromassiver finnes vesentlig i et bestemt flere kilometer langt drag, magnesitt utskilt gangformig og som klumper. Ved siden av magnesitten sees enkelte steder op til 8—10 m brede næsten rene serpentinsamlinger, og bergarten omkring er sterkt serpentinisert. I magnesitten finnes også de fleste steder serpentinfyller, som gir magnesitten et kiselsyreinnhold, der er uheldig for den praktiske utnyttelse. Enn videre sees ofte lange, grønne nåler av serpentin som er antatt å være pseudomorfose etter olivin.

Ved Hullbakk magnesittbrudd ser man kontakt mellom en magnesittforekomst og en pegmatittgang. Langs grensen er både serpentin og magnesitt avsatt på sleppene i pegmatitten. Hvis man tør dra slutninger bare fra dette ene finnested, må man altså regne med at magnesitten og den medfølgende serpentin er yngre enn pegmatittgangene. Etter gabbroens størkning må

der — før eller sannsynligvis etter pegmatittinjeksjonen — ha trengt frem magnesiumkarbonatopløsninger. Hvis serpentinnålene i magnesitten er dannet som pseudomorfose etter olivin må temperaturen til å begynne med ha vært høi. Samtidig med avsetningen av magnesitt er av de vannholdige oppløsninger magnesiumsilikat utkrystallisert som serpentin i magnesitten og omkring magnesittforekomstene. I den sydligere del av Bambleformasjonen må magnesiainnholdet ha vært mindre fremtredende i de cirkulerende oppløsninger. Man har her nemlig ikke fått dannet ren magnesitt, men dolomitt, som finnes sammen med kalkspat og albitt i karbonatgangene på Langø, som er nevnt under beskrivelsen av jernmalforekomstene. Ved Knipen nær Kragerø er en relativ liten dolomittforekomst. Videre mot vest består karbonatgangene av kalkspat, uten magnesiakarbonat-tilblanding.

Pegmatittganger. Som foran beskrevet finner man over hele Bambleformasjonen — delvis også i Kongsbergformasjonen — at erupsjonsparet gabbro-granitt hører sammen, således at hvor der er gabbroklumper og gabbrodrag, er de omgitt av granittganger eller bånd, som overalt er noget yngre enn gabbroen. Særlig i Bamble—Kragerøtraktene er der ved gabbroinjeksjonene oftest ganske små ansamlinger av en rutilførende albittbergart som W. C. Brøgger har betegnet som Kragerøitt¹. Denne bergart er efter Brøggers opfatning samhörig med gabbroene og noget yngre enn disse. I de samme trakter av Bambleformasjonen, hvor man har gabbro-granittinjeksjonene, finnes pegmatittganger i stor mengde.

Pegmatittgangene er noget forskjellig i mineralinnhold i den nordlige og den sydlige gren av Bambleformasjonen. I nord på Modum og Snarum finnes kalifeltspat meget sparsomt, oligoklas og albitt er her den vanlige feltspat. Gangene er jevnt kvartsblandede og intet steds har man funnet feltspat i så rene ansamlinger at der er optatt drift.

I den sydlige gren fra Bamble vestover til Kristiansand fører pegmatittene renere mineralansamlinger. Her er derfor en mengde brudd anlagt for drift av kali- og natronfeltspat, kvarts

¹ W. C. Brøgger: l. c.

og til dels glimmer. Turmalin er overalt et vanlig mineral i pegmatittgangene. I feltspatbruddene er der for øvrig funnet en mengde forskjellige mineraler som er velkjent i alle mineral-samlinger.^{1,2} I gangene treffes ofte druserum, mineralene er helt upresset og gangene er praktisk talt aldri forkastet. Pegmatittgangene leverer således utvilsomme bevis for at denne del av Bambleformasjonen ikke har vært utsatt for press i tiden efter deres inntrengen.

Mens jeg i 1918—21 var driftsbestyrer for A/S Bamble Nikkelkompanis grubedrift i Bamble, var jeg ofte opmerksom på at pegmatittgangene forekom i nærheten av hyperitter og gabbroer, og jeg har nevnt dette i mitt arbeide om Nikkelgruber i Bamble³ samt i referat av mitt foredrag om Ødegårdens apatittgruber (Norsk geol. tidsskr., b. VII, 1923). Olaf Andersen har i sitt foran nevnte arbeide om pegmatittgangene også sterkt fremhevet denne samhörighet mellem pegmatitter og gabbroer og nevner at gangene finnes særlig i og ved gabbro, men mindre inne i granitter.

Av det nettop ferdigtrykte gradavdelingskart Eiker, fremgår det også at pegmatittgangene i store masser har funnet plass i og omkring Bambleformasjonens gabbroklumper. Særlig vakre eksempler på pegmatittgangenes samhörighet med gabbrogranittinjeksjonene sees av rektangelbladet Kristiansand som nu snart er ferdigtegnet. Fig 29. viser et — noget skjematisert — lite utsnitt av dette kart. Rektangelbladet viser her innen Bambleformasjonen 7 små injeksjoner av finkornig granitt. Den østligste er ved Søndlevann og den vestligste er ved Odderøya utenfor Kristiansand. Ved alle disse små granittansamlinger finner man også den som vanlig samhörige amfibolittiserte gabbro. Det er av særlig interesse at overalt er granitten omgitt av pegmatittganger. Gangene finnes undtagelsesvis i granitten, men i særlig store ansamlinger påtreffes de i de om-liggende gneiser og omvandlede gabbroer.

¹ W. C. Brøgger: Die Mineralien der Süd-norwegischen Granitpegmatit-gänge. I. Vid.-Selsk. Skr. M.-N. Kl. 1906. Nr. 6.

² Olaf Andersen. L. c.

³ Arne Bugge: Nikkelgruber i Bamble. Norges geol. Undersøkelse. No. 87. 1921.



Fig. 29. Utsnitt av geologisk kart over Bambleformasjonen i den vestlige del av Sørlandet. 1. pegmatittganger, 2. kvartsitt og kvartsitt med konglomeratlignende inneslutninger, 3. granitt, 4. gabbro (amfibolittiseret).

Ved Søndlevann i nordøstre hjørne av kartet fig. 29 er kvartsittområdet omgitt av gabbro (amfibolitt), samt små, langstrakte granittpartier. Veldige pegmatittganger forekommer i bergartene som omgir kvartsitten, både ved Søndlevann og vestover mot granitten ved Grimevann. Ved Grimevann nord for Lillesand er et centralt, lite granittparti, der som før beskrevet er omsluttet av et kvartsittbånd. Utenfor kvartsitten er mektige pegmatittganger, der kan følges i stor lengde. Disse lange ganger omslutter helt granitten og rager op som lange, skogbare rygger, der avtegner sig tydelig i landskapet. Videre mot sydvest

kommer man til det relativt store massiv med finkornig Vallesværgranitt. Granitten er upresset og fører kvarts som gjennomgående ikke viser nogen undulerende utslukning. Rundt Vallesværgranitten og i området mellom denne og den foran nevnte granitt ved Grimevann, er også som det fremgår av kartskissen, veldig pegmatittganger, der i høi grad setter sitt preg på landskapet. Den finkornige gneis mellom pegmatittgangene er her utvitret og gangene raker op som nakne koller. Mellom dem er dype smådaler med steile sider som bevirker at dette terreng er mer ufremkommelig enn noget annet i disse trakter. Vest for Vallesværgranitten er kartlagt to små granittpartier med omgivende pegmatittgangesvermer som er avskåret av den store rivningsbreccie som følger Topdalselvens dalføre.

Disse vestlige granitter sees ikke på kartskissen fig. 29.

Lenger vest ved Odderøya ved Kristiansand har man et ennu klarere eksempel på denne omslutning av pegmatitt. Den store breccie avskjærer nordsiden av pegmatittsvermene. Såvel syd for byen som på øene utenfor Odderøya og på fastlandet på den annen side av Topdalsfjorden, sees her vakre eksempler på hvorledes de mektige pegmatittganger omslutter den centrale granitt på Odderøya. Fra alle kanter har gangene et svakt fall utover fra granitten. Det synes derfor å være sannsynlig at pegmatittgangene over Odderøya har hatt en sammenheng som nu er borterodert over den centrale granitt.

Talrike eksempler viser altså hvorledes relativt små injeksjoner og bånd av upresset granitt er omgitt av pegmatittganger. Som kartet (fig. 29) viser, er der praktisk talt ingen pegmatittganger langt borte fra de små granittmassiver.

Som nevnt under beskrivelsen av Kongsbergformasjonen finnes der ingen pegmatittganger i dens vestlige del, i Kongsbergtraktene. Henimot Bambleformasjonens bergarter begynner en og annen pegmatittgang å innfinne sig i Kongsbergformasjonens diorittiske gneiser. Gangene øker derpå i antall inntil man når inn i den store pegmatittsverm i kvartsittenes og gabbrogranittenes område.

Det samme finner man på Sørlandet. På kartet fig. 30 har jeg efter Olaf Andersens og Tom Barths arbeider om feltspatfore-

Telemark- formation

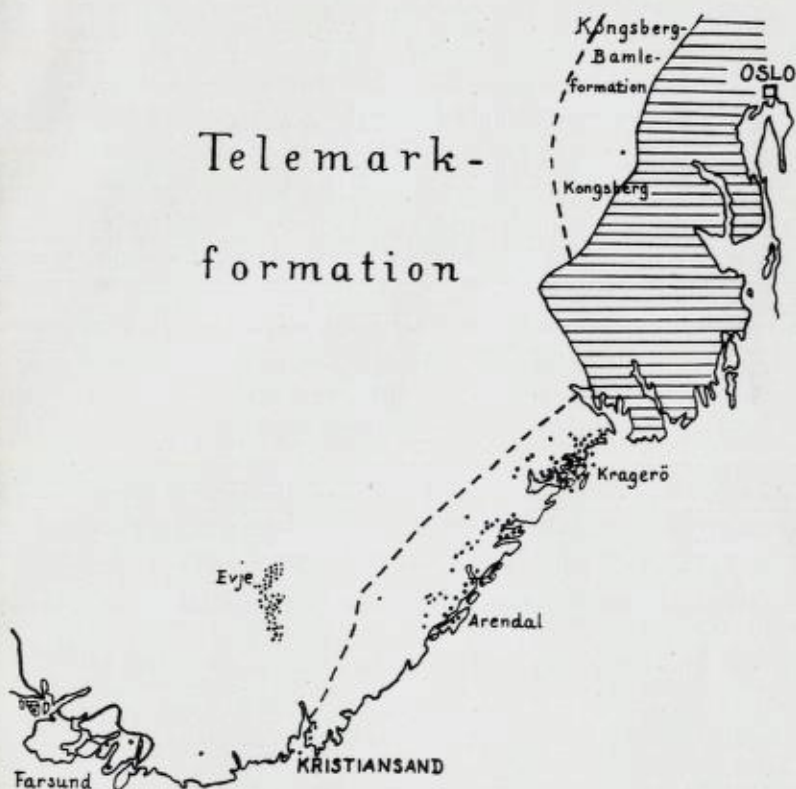


Fig. 30. • Feltspatbrudd beskrevet i: Feltspat I, II og III
av Olaf Andersen og Tom Barth.

komster på Sørlandet (Norges geol. Unders. nr. 128 B), inn-
tegnet de her nevnte feltspatforekomster.

Man ser av kartet at telemarkgranitten er helt fri for driv-
verdige forekomster. Nord for Kristiansand, ved Evje og Ivel-
land i Setesdalen, er et lite område hvor der finnes en mengde
feltspatbrudd. Disse, som synes å optre midt inne i telemark-
granittens område, finnes dog i et bergartkompleks eldre enn
telemarkgranitten, og det er vel sannsynlig at de må opfattes
som tilhørende Bambleformasjonen. Vest for rivningsbreccien
kjennes kun et par mindre feltspatforekomster ved Mandal, før
man kommer til anortositområdet ved Farsundstraktene, hvor

der begynner en pegmatittgruppe som er tilsluttet dette erupsjonsområde.

Kartet over Sørlandet viser at de pegmatittganger som har vært gjenstand for feltspatdrift, følger den av kvartsittbånd og av de små gabbro-granittinjeksjoner særpregede sone.

Ved Kragerø sees denne sone helt ute ved kysten, ved Arendal bøier den noget inn i landet og kommer frem igjen ut til nær kysten ved Lillesand. Kartet fig. 30 gir intet fullstendig bilde av pegmatittgangenes utbredelse, da det jo kun viser de drivverdige feltspatforekomster. Kartet blir altså misvisende, hvis man mener det skal gi et bilde av pegmatittgangene i sin almindelighet, da jo de fleste pegmatittganger ikke er drivverdige. Særlig i den nordlige og sydligste gren, hvor der er en mengde pegmatittganger og få drivverdige feltspatforekomster, er kartet misvisende. Jeg har derfor på den skjematisk skisse fig. 31 søkt å vise den virkelige utbredelse av pegmatittgangene.

Apatitt forekommer til dels i store ansamlinger i mineralganger i Bambleformasjonen. Kun sparsomt finnes det på granittpegmatittgangene, i større mengde kjennes apatitt i grovkornige hornblendeganger med oligoklas og særlig albit. Apatitten i hornblendegangene har mange steder vært gjenstand for grubedrift, uten at der dog er blitt anlagt nogen lønnende bergverksdrift på denne gangtype.

I størst mengde optrer apatitt i Bambleformasjonen innen et begrenset område ved Ødegårdens Verk, se fig. 11, hvor den har gitt anledning til megen grubedrift.

Apatitten forekommer her på ganger hvor gangmineralene er brun magnesiaglimmer og enstatitt.

I disse forskjellige gangtyper er innholdet av klor og fluor noget varierende. Olaf Andersen¹ har således i apatitt fra en plagioklaspegmatittgang funnet 0,91—1,03 pct. Cl, samt et fluorinnhold som ikke er opgitt.

Ved Ødegårdens Verk opgir W. C. Brøgger i hans tidligere nevnte arbeide om sydnorske hyperitter at apatitten holder 2,43—5,8 pct. Cl og fluorgehalten anslår han til 0,57 pct.

¹ Olaf Andersen: Bemerkninger i anledning Arne Bugge's foredrag om Ødegårdens apatittgruber. Norsk geol. tidsskr. VII, pg. 397. 1923.



Fig. 31. Skjematisk utsnitt av Kongsberg-Bambleformasjonen.

1. Kongsbergformasjonen, 2. den pneumatolytisk-hydrothermale sone: Bambleformasjonen, 3. båndet amfibolittisk gneis utenfor sone 2.

~ Pegmatittganger.

Klor og fluor forekommer altså i begge typer, men i gangene ved Ødegårdens Verk har man en mer utpreget klorapatitt enn i de vanlige pegmatittganger.

Den almindelige mening blandt de geologer som har arbeidet med våre apatittforekomster er at apatittgangene er dannet i forbindelse med gabbroens fremtreden, og W. C. Brøgger hevder, at olivinhyperittens omvandling til skapolitthornblendesten skyldes pneumatolytisk påvirkning fra de oppløsninger som har cirkulert på apatittgangene.

Gabbrobergartenes omvandling til skapolitthornblendesten er dog ikke resultatet av en pneumatolytisk virksomhet som i sin almindelighet må sees i forbindelse med tilførsel av fosforsyre. Av den foregående beskrivelse fremgår nemlig, at der er ganske betydelige områder med skapolitthornblendesten, både på Modum og på Langø utenfor Kragerø og ingen av disse steder er der apatittganger i nærheten.

Der er ennå ikke utført tilstrekkelig kartlegging i de trakter, hvor apatittgangene er tallrikest, så vi har ikke samlet alle oppgaver som skal til for å kunne angi, når den pneumatolyse satte inn, som har ført med seg apatittopløsningene ved Ødegårdens Verk. Der er dog all grunn til å tro, at den har fulgt en god stund etter gabbroens størkning. Lacroix angir nemlig i sin beskrivelse av Ødegårdens Verk¹ at den såkalte »Dipyrgang« er en oligoklasgang med kvarts som ikke fører skapolitt. Ved skisser fra forskjellige steder i gruben viser han videre at apatittgangene gjennemsjærer »dipyrgangen« og altså er yngre enn denne. Også W. Werenskiold gir i Norsk geol. Tidsskr. 1916, b. III, nr. 10, en beskrivelse av »Dipyrgangen« som en pegmatittgang med oligoklas, kvarts, adskillig skapolitt og en del apatitt. Der er nu ikke anledning til å kontrollere Lacroix's iakttagelser om at apatittgangene skjærer gjennom »dipyrgangen«, da grubene er vannfylte. Man må dog gå ut fra at disse iakttagelser, som er gjort mens grubene var i drift, er riktige og at altså apatittgangene er yngre enn i alle fall enkelte av oligoklaspegmatittgangene.

I det foran nevnte arbeide om hyperittene i Syd-Norge har W. C. Brøgger oppfattet mine uttalelser således, at jeg skulde mene at den pneumatolytiske virksomhet, som har ført apatitten med sig, skulde være direkte å henføre til de relativt få pegmatittganger. Dette er dog ikke min mening og jeg kan ikke se, at jeg noget steds har uttalt mig således. Det fremgår også av referatet av mit foredrag om Ødegårdens apatittgruber², at jeg

¹ Lacroix: Contribution à l'étude des gneiss à pyroxène et roches à Wernerite Bull. d. l. soc. Française de Mineralogie Vol. XII.

² Arne Bugge: Om Ødegårdens apatittgruber. Norsk geol. tidsskr. B. VII. pg. 393. 1923.

er av den opfatning at såvel apatittgangene som pegmatittgangene står i en nær relasjon til hyperitten med dens omvandlingsformer. Jeg finner dog å burde feste så megen lit til Lacroix's opplysninger, at jeg mener man må regne med at der er størknet oligoklaspegmatitter før den spaltetdannelse foregikk, i hvilke apatittgangene blev avsatt. Mitt foran nevnte referat viser, at jeg mener begge gangdannelser kommer fra hyperitten og det synes å fremgå at også Brøgger regner med denne mulighet.

Som det yngste ledd i gangdannelsene ved Ødegårdens Verk, er en rekke smale dolomittganger som gjennomskjærer apatittgangene.

Liksom jernertsen og pegmatittgangene er apatittgangene bundet til en bestemt sone i Bambleformasjonen. Dette blev allerede påpekt av Hj. Sjøgren 1883¹.

På kartskissen fig. 21 er med A inntegnet de betydeligste av de norske apatittforekomster. Man finner en kort oversikt over disse i en publikasjon som av Carl Bugge² er gitt vedrørende Statens apatittdrift i rasjoneringsstiden.

Av kartet fremgår at apatitt, likesom de øvrige pneumatolytiske erts- og mineralganger i Bambleformasjonen, er orientert innen det område som er særpreget av kvartsitter og gabbrogranittinjeksjoner. Det fremgår også at innen selve sonen har apatittgangene en bestemt plasering, således at den kommer i den innerste del av den pneumatolytiske sone.

Albittgjennemvevning. Den siste fase av den mektige pneumatolytisk-hydrothermale virksomhet i Bambleformasjonen er en utstrakt albittgjennemvevning av alle bergarter, særlig i den nordlige gren i Modumtrakten.

Fotografiene fig. 32 og 33 viser henholdsvis albittgjennemvevningen i amfibolittisert gabbro og et mikrobillede av albittgjennemvevet kvartsitt. Lignende gjennemvevning av albittårer sees også i pegmatittene i denne nordlige gren. I den østlige

¹ Hj. Sjøgren: Om de norska apatitförekomstena. Geol. Foren. i Stockholm, Forhand. B. VI, 1883.

² Carl Bugge: Statens apatittdrift i rationeringsstiden. Norges geol. undersøkelse, nr. 110.



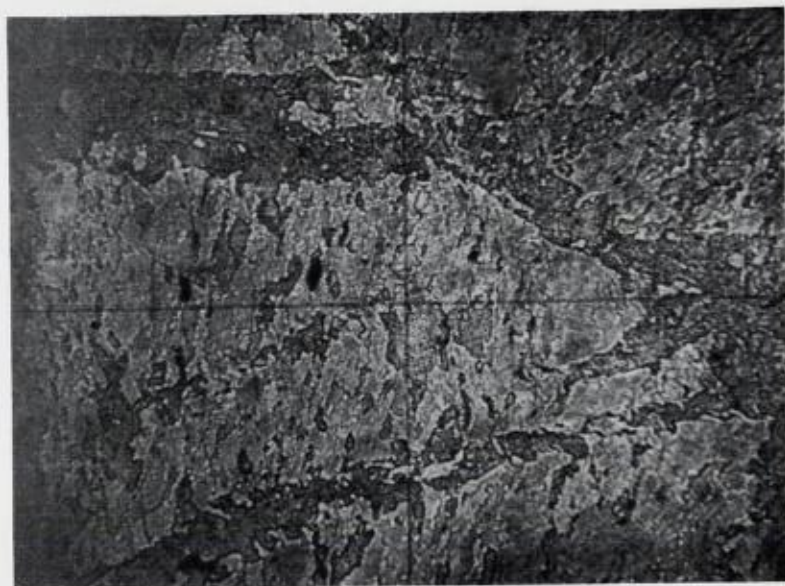
Fig. 32. Albittgjennemvevet gabbrobergart ved Embretsfoss, Modum.

del av den sydlige Bambleformasjon kjennes denne hydrotermale albitt vesentlig sammen med andre mineraler, som f. eks. i karbonatgangene på Langø ved Kragerø.

De albittforekomster som er kjent ved Kragerø er for øvrig nær samhørende med hyperittenes fremtreden og er nevnt i et foregående avsnitt.

Vestover mot Arendal, Lillesand og Kristiansand finner man ikke albitt gjennomvevende de eldre bergarter i store mengder, men man finner den kun i mindre ganger og ved grensen mellom pegmatitt og kalksten. For albittgjennomvevningen gjelder altså det samme som for sillimanitten og magnesiaminerale, at den er særlig almindelig i de trakter, hvor der er meget skapolitt og turmalin, og hvor der altså har vært til stede klor.

»Konglomeratganger« er et navn som under apatittdriften ved Ødegårdens Verk i Bamble blev brukt på gjennomsettende ganger der var opfyldt av avrundede bruddstykker av sidestenen. Disse »Konglomeratganger« er også kjent ved Tveiten i Bamble og i gabbroen vest for Hassel jerngrube mellem Skotselven og Åmot stasjon på Modum. Mellemmassen på gangene består av kalkspat, kloritt og ved Hassel forekommer også jernglans. Bruddstykkene er helt avrundede som fig. 34



1 mm.

Fig. 33. Kvartsitt gjennemsatt av albittårer nord for Hokksund Eiker.



Fig. 34. Brecciegang med avrundede inneslutninger „Konglomeratgang“. Gjeiteryggen ved Hassel, Modum.

viser. Likheden med et virkelig konglomerat er påfallende og sikkerlig kunde der her være fare for å gjøre en feiltagelse, hvis man ikke kunde følge gangene å se at de som upressede ganger skjærer gjennom metamorfe bergarter.

Disse konglomeratganger hører sammen med de rene kalkspatganger til de siste resultater av den hydrothermale virksomhet i Bambleformasjonen.

Tektonikk.

Strøk og fall.

Under gjennomgåelsen av formasjonene og de enkelte bergarter har jeg også gitt en oversikt over deres strøk og fall, og jeg har nevnt enkelte av de store forkastningslinjer. Jeg skal her gi et kort resymé av disse observasjoner.

Telemarkformasjonens suprakrustaler og gneisgranitter vest for breccien har et høist varierende strøk og fall. I den nordlige del sees kvartsitt, amfibolitt, granitt og pegmatitt, ofte med et flatt fall helt inn mot den store rivningsbreccie. Lengre mot syd blir strøket i gneisgranitten av gjennomgående nord-sydlig retning og fallet er som oftest østlig. Øst for rivningsbreccien er både strøk og fall av en langt mer ensartet karakter. Strøket er her i den nordlige del, omkring nord—syd, såvel i Bamble som i Kongsbergformasjonen. I den sydligste del av den nordlige gren bøier strøket i Kongsbergformasjonen noget over mot nordøst—sydvest og danner således en overgang til den nordøst—sydvestlige strøkretning som vi finner langs hele den sydvestlige gren av Kongsberg-Bambleformasjonen.

Fallet i den nordlige gren er såvel i Kongsberg- som i Bambleformasjonen temmelig steilt. Som oftest steilt østlig, men steilt vestlig finnes også mange steder. Som foran bemerket er strøket og fallet i grubeområdet ved Kongsberg fulgt helt til 1000 meters dyp uten at der kan påvises nogen nevneverdig forandring hverken i strøk- eller fallretningen. Også langs den sydlige gren er fallet ganske ensartet, men er her noget sterkere mot sydøst. Kun lengst ned mot Kristiansand er en forandring i fallretningen, idet man her finner et nordvestlig fall som enkelte steder er næsten flatt.

Breccier og gangspalter øst for den store rivningsbreccie.

Nogenlunde parallell strøket løper den store rivningsbreccie som begrenser Kongsbergformasjonen mot vest. Parallell rivningsbreccien innover mot Bambleformasjonen har der fra gammel tid vært kjent lange bruddlinjer som gjennomgående følger bergartens strøk. Særlig er disse sprekkesystemer nøie kartlagt i den nordlige gren øst og vest for Kongsberg. Fig. 35 viser et kart over de gamle breccier og de postpermiske kvartsganger. Dette kart gir et meget interessant bilde av de svakhetslinjer som deler op Kongsbergformasjonens bergarter. Mellom Kongsberg by og Underbergets gruber sees på kartskissen en stor breccie (2) som kiler ut mot nord, men sydover utvider sig inntil den når Oslofeltet. Breccien, med dens glide-slepper, sees også på profilet fra Lågen til Overberget som vises på fig. 36. Breccien er mot nord, ved Anne Sofie grube på østsiden av Lågen ganske smal. Den vises her som flere parallele, optil et par meter brede, leirholdige ganger, langs hvilke der løper gangspalter med kalkspat — de såkalte skiktningsganger. Sydover mot grubeområdet, der hvor profilet er tatt, holder gangsleppene ved, men bruddlinjen får her mer karakteren av en virkelig breccie med mylonittisert bergart gjennomvevet av yngre kvartsårer. Lengere mot syd blir breccie-karakteren ennu mer fremtredende, idet breccien her har en bredde av op til 50 m med kvartsgjennomvevet bergart. Vi har altså en rivningsbreccie som kiler ut mot nord, men mot syd øker i bredde. Samtidig med at breccien øker i bredde bemerkes på østsiden den foran nevnte strøkforandring av bergartene, idet de får et mer nordøst—sydvestlig strøk. Det er ikke alene strøket som har en tendens til å forandres når man krysser denne breccie. Også bergartene forandrer karakter.

Til en viss grad fremgår bergartforandringen av profilet fig. 36. Vest for breccien (3) med dens paralleller er kun diorittiske bergarter gjennomgående av grovkornig type. Bortsett fra den grovkornige kongsberggranitt nær breccien kjennes

granitt ikke mellom kongsberggranitten og den foran omtalte parallelle breccie. Ca. 10 km øst for hovedbreccien kommer man derfor ved parallellbreccien plutselig over i båndgneiser, hvor røde, finkornige granitter er vanlige som ganger og små massiver.

Strøkforandringen som sees i syd, den plutselige forandring i bergart, og den mot syd økende opknusning kan tydes således, at hvor breccien nu er, kan der før ha vært en langstrakt grunnfjellsblokk med overgangsbergart mellom de vestlige dioritter og østlige granitter og båndgneiser. Overgangen kan altså her antas tidligere å ha vært like jevn som den nu er nordfor, men den lange »blokk« med overgangsbergartene er nu presset ut fra sin opprinnelige plass i gneisformasjonen (se fig. 37).

I brecciesonen sees, som nevnt, tallrike langsgående slepper med glidespeil som er overskåret av Underbergstollen. En stoll er også drevet mot syd langs breccien. På glidesleppene sees her tydelige horisontale, til dels dype striper som viser at den horisontale bevegelse har vært fremtredende.

Av kartet fig. 35 sees at den opbrytning, som har foregått i den postpermiske periode har fulgt svakhetslinjer, som går parallell med den her nevnte breccie og altså også faller nogenlunde sammen med strøketretningen. Tvers på denne retning med et strøk øst litt nord, er også i postpermisk tid de opdelte, lange grunnfjellsblokker knekket over og alle sprekker er fylt av kvartsganger med forskjellige sulfidiske ertser.

I de nord—syd og øst—vest orienterte spalter er for øvrig en stor mengde diabasganger injisert, i tiden mellom kvartsgangenes og de senere kalkspatgangens periode.

Kartet over kvartsgangene viser at tverrsprekkene i denne tid samlet sig om en sone fra Kongsberg østover i retning av Drammen. Grunnfjellsblokkene er altså knekket tvers over, i retning mellom de store eruptivområder som man i Oslofeltet har syd og nord for Drammensdalen. Den yngste spaltetdannelse som er yngre enn kvartsgangene, men følger de samme svakhetslinjer, har vært gjennomstrømmet av sølvopløsninger, hvorav sølv er utfelt på fahlbåndene i kalkspatganger. Derved er



Fig. 35. Breccier og kvartsganger i grunnfjellet vest for Oslofeltet omkring Kongsberg. 1. Den store rivningsbreccie, 2. Parallelbreccie mot øst i Kongsbergformasjonen. Den samme breccie som vises på profilet øst for Underbergstollen, 3. Kvartsbreccier som grener ut fra hovedbreccien inn i Telemarkformasjonen. De korte sorte streker betegner kvartsganger av post-permisk alder. \circ Sølvgrube.

Målestokk ca. 1 : 500 000. Nord opover langs kartrammen.

dannet de bekjente sølvforekomster som har vært gjenstand for en utstrakt grubedrift ved Kongsberg ^{1, 2, 3, 4}.

I den sydlige gren av Bambleformasjonen er de med hovedbreccien parallelle breccier ikke så nøiaktig kartlagt som nordenfor. Det fremgår dog at der også her er flere parallelle brecciesoner som har satt sitt preg på topografien. Kystlinjen, sundene innenfor øene og langsgående daler, følger disse bruddlinjer.

Når man ser på kartet over gangbergartene og forkastningslinjene i Oslofeltet, er det iøinefallende at også i disse retninger finner man paralleller til de gamle bruddlinjer, således som vi kjenner dem i Kongsberg-Bambleformasjonen. Ved Holmestrand f. eks. har det underliggende grunnfjell tydeligvis ennu de retningslinjer som særpreger Sørlandets gneisområde, for her har rombeporfyrgangene det i denne gren vanlige nordøstlige strøk. Nordover helt oppover mot Oslodalen blir retningen av ganger og forkastninger mer nord—sydlig, således som man finner den i det vestenforliggende grunnfjell, se fig. 35.

Ifølge W. C. Brøgger^{5, 6} påvisning er Oslofjorden dannet ved en noget uregelmessig nedsynkning av grunnfjellsplater som har sin orientering nord—syd i fjordens retning. Nedsynkningene er mot øst begrenset av den store rivningsbreccie, der følger Oslofjordens østside.

Kartet fig. 35 viser at grunnfjellet er opdelt nettop i sådanne nord—syd orienterte blokker eller plater, som også i denne vestlige del ved Kongsberg har vært i bevegelse i forhold til hinannen.

Som foran nevnt er der endog meget som tyder på at bevegelsen av grunnfjellsblokken her har vært så voldsom, at en eller flere av dem er klemt ut fra sin plass mellom nabo-

¹ Arne Bugge: Gammel og ny geologi ved Kongsberg Sølvverk. Norsk geol. tidsskr. XII, 1931.

² Om fahlbåndene i Kongsberg ertsdistrikt. Norges geol. undersøkelse, nr. 133. 1929.

³ Sølvforekomstene ved Kongsberg. Naturen 1934. s. 193.

⁴ Carl Bugge. L. c.

⁵ W. C. Brøgger: Om rombeporfyrgangene og de dem ledsagende forkastninger i Oslofeltet. N. G. U., nr. 139. 1933.

⁶ W. C. Brøgger. Bildungsgeschichte des Kristianiafjord. Nyt Mag. f. Naturv. XXX, 2.

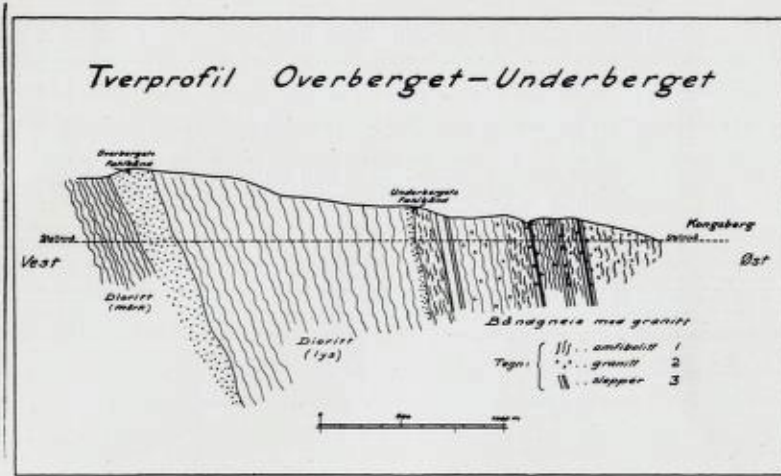


Fig. 36. 1. Amfibolitt, 2. Granitt, 3. Slepper.

blokkene, og at der altså må være frembragt en arealforminsking av grunnfjellsoverflaten.

Østover mot Oslofeltet må man anta at sammenhengen mellom de opdelte »grunnfjellsplater« har vært ennu løsere enn mot vest, således at de store nedsynkninger har foregått under fremtreden av Oslofeltets varierende eruptivbergarter, se fig. 37.

Breccier og gangspalter vest for den store rivningsbreccie.

Vest for den store rivningsbreccie er på kartene fig. 21 og 35 (3) inntegnet et becciesystem, som har en forskjellig retning og et annet utseende enn de foran beskrevne spalter og breccier. Som man ser løper disse »grenbreccier« fra vestsiden inn til hovedbreccien under en spiss vinkel som har sin åpning mot syd. Brecciene kan karakteriseres som et nett av kvartsårer som gjennomvever bergarten i en bredde av op til over 100 m. Undertiden er brecciemassen også opfylt av en gangmasse bestående av ganske små muskovittskjell.

En av disse kvartsbreccier treffer nord for Nordagutu en utløper av Oslofeltets larvikitt, se kartet fig. 35 nederst til venstre. Det viser sig da at kvartsbreccien avskjæres av larvik-

itten og at den atter begynner i fortsettelsen på den annen side av larvikittungen som skyter inn i Telemarkformasjonens bergarter.

Kvartsgjennemvevningen er altså eldre enn Oslofeltets eruptiver. Larvikitten som avskjærer kvartsbreccien, er dog selv noget opbrutt i brecciens fortsettelse, så der har altså foregått bevegelser langs disse breccier i tiden etter larvikittens inntrengen. Der er også andre bevis på at disse breccier har vært åpne også i Oslofeltets erupsjonsperiode. Der hvor kvartsbreccien blir avskåret av larvikitt (se fig. 35), sender denne en smal utløper ca. 1 km nordover langs breccien, som altså må ha vært mer åpen enn den omgivende bergart. Parallell med breccien og inne i brecciemassen ser man i nærheten av larvikitten en mengde av Oslofeltets gangbergarter som her tydeligvis har funnet en svakhetszone.

Disse gangbergarter som ledsager kvartsbreccien viser egenskaper som minner om Fenfeltets ¹ bergarter. De har f. eks. vært ledsaget av kalkrike oppløsninger. I åsen ovenfor Holtsås ser man således at en av Oslofeltets gangbergarter som gjennomskjærer Telemarkgranitten, langs sine grenser har op til 1 m brede bånd av en grønn granat med rik magnetittimpregnasjon. Brecciegangen går sydvestover, nedover mot Valebø ved Nordsjø. Her finner man i breccien langsgående brede leirfylte ganger med kalkspat og gangbergarter som er særlig rike på apatitt. Et par hundre meter vest for breccien er her også en parallelløpende tinguaittgang ². Enkelte steder sees også små jernglansanvisninger i breccien.

Brecciegangen har således i sin strøkretning vært ledsaget av gangbergarter av natronrekken, av apatittrike bergarter samt av kalkrike og jernrike oppløsninger. Det er altså Fenfeltets bergarter og mineraler som følger kvartsbreccien i dens forløp mot syd. Av kartet fig. 21 fremgår at der hvor kvartsbreccien når Nordsjø, har man på den annen side Fenfeltet, som i syd er

¹ W. C. Brøgger: Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes IV. Das Fengebiet in Telemarken, Norwegen. Vid.-Selsk. Skr. I. M.-N. Kl. 1920. No. 9.

² W. C. Brøgger: Die Eruptivgesteine des Oslogebietes VI. Über verschiedene Ganggesteine des Oslogebietes. Vid.-Selsk. Skr. I. M.-N. Kl. 1932. No. 7.

begrenset av en kvartsbreccie^{1, 2}. Denne overensstemmelse mellom brecciene og deres omgivende bergarter på hver side av Nordsjø tyder på, at Bowen³ har rett i den av ham fremsatte opfatning, at Fensfeltets bergarter og oppløsninger er trengt frem langs svakhetslinjer fra det nærliggende Oslofelt.

Sammenfatning.

En veldig rivningsbreccie deler det sydvestlige norske grunnfjell i to store områder av helt forskjellig karakter. Mot vest og nordvest har man Telemarkformasjonens suprakrustaler og eruptiver og mot øst Kongsberg-Bambleformasjonen som er av en ganske spesiell oppbygging.

Gneisbergarter der er betegnet som gabbrodioritt, kvartsdioritt, granitt samt olivinhyperitt og forskjellige gabbroide bergarter som jeg har betegnet som gabbro er i forskjellige perioder injisert i en båndet gneis. Den båndede gneis er oppbygget av lyse og mørke bånd av varierende bredde. Båndene består av kvartsdioritt og til dels granitt av skiftende kvartsinnhold og hornblendrike typer som kan gå over til rene hornblenditter. Båndene er småfoldet, men betydelige tverrforkastninger og store foldninger kan ikke påvises. Båndene kan følges ensartet mot store dyp og over lange strekninger i strøkretningen. Kun hvor eruptiver har trengt inn, er der betydelige variasjoner i strøk og fall. Sammensetningen av båndgneisene tyder ikke på sedimentasjon, og det er naturlig å tenke sig at de er dannet som injeksjonsgneiser. De mellom båndgneisene injicerte kvartsdioritter har ubrutte grenser mot sidestenen. Langs grensene er metamorfe soner. I selve dioritene ser man at feltspatindividene har vært utsatt for press, idet der sees både bøiede lameller og mørtelstruktur. Feltspat og mørtel er senere gjennomtrukket av kvartsårer som ikke viser kataklastiske fenomener.

¹ J. H. L. Vogt: Norges jernmalforekomster. Norges geol. undersøkelse. No. 51. 1910.

² Jernmalm og jernverk. Norges geol. undersøkelse. No. 85. 1918.

³ N. L. Bowen: The Fehn Area in Telemark, Norway. Am. Jour. of Sc. 5th Series. Vol. VIII. No. 43. July 1924.

Man må altså gå ut fra at diorittiske smeltemasser er størknet under en sterk fluidal bevegelse, i hvis siste fase kvartsen er avsatt som fine ganger, og i grensesonen i større linser og langsgående ganger. Senere er altså diorittene og deres grensesoner ikke presset.

Efter diorittperioden har der vært en omfattende innpresning av gabbroid og granittisk magma. Ganger o. l. fra disse magmaer er mange steder trengt frem som erupsjonspår. Antagelig ved en autometamorfose er de gabbroide bergarter delvis amfibolitiseret. Der finnes dog også partier med ganske frisk olivinhyperitt, der ikke viser noget tegn til å ha vært utsatt for press.

Efter gabbro-granittperioden er i de indre områder av Kongsberg-Bambleformasjonen fremtrengt store granittmassiver, der er krystallisert som grovkornige granittyper. I granittene finner man ofte en lignende opbygging som i dioritten. Feltspatindividene har til dels bøide lameller, er omgitt av mørtel og er tilslutt sammenbundne av et nett av fine kvartsårer som ikke viser tegn til å ha vært utsatt for press.

De trykk som har foranlediget mørteldannelsen i granitten, har ingen innflytelse hatt på de før nevnte eldre bergarter. Man må derfor også her gå ut fra at strukturen er fremkommet som følge av at magmaen under en langsom størkning har vært i bevegelse, således at de først krystalliserte feltspatindivider derved er bøid, delvis opknust og omgitt av mørtel. Tilslutt er det hele bundet sammen av kvartsårer.

Under og efter den første fremtrengen av gabbro-granitt har den ytre sone — Bambleformasjonen — vært utsatt for en utstrakt pneumatolytisk og hydrothermal virksomhet.

Mange eksempler, som er gjennomgått i de foregående avsnitt, tyder på at store mengder kvarts er avsatt av oppløsninger i denne periode. Som støtte for en sådan antagelse, har jeg nevnt flere iakttagelser, både fra kartleggingen og de petrografiske undersøkelser. Jeg har foran gjort opmerksom på de lange, ubrutte kvartsittbånd, se fig. 11, som følger strøkretningen, men kan vike fra hverandre og atter komme sammen uten at de er avbrutt og uten at der kan påvises, at de er skjøvet fra hinannen av nogen injeksjon eller foldning. Kun pegmatittganger, albittårer

og kalkspatganger kan sees å skjære inn i kvartsittene. Påfallende er også den nære samhörighet mellem kvartsitt og gabbro-granitt. Det fremgår at kvartsitt kan avløse granitt som omsluttende bergart omkring gabbroklumper. Flere steder ser man i båndgneis eller granittslirer kvarts, som kan øke på inntil man kommer inn i relativt ren kvartsitt. Enn videre finner man i kvartsitten ofte filler av mikroklin som øker i antall inntil man har en ren granitt, enten i større ansamlinger eller i ganske små partier innesluttet i kvartsittfeltet.

Man finner også ved å følge et granittbånd i strokretningen, at dette går over i en bergart med meget kvarts, videre til en kvartsmasse med meget mikroklin, kvarts med mikroklinfiller og tilslutt en glimmerrik kvartsitt. Turmalin sees i stor mengde i kvartsitten. Dette mineral finnes også i betydelig mengde i pegmatittgangene og i mindre mengde i granittene. Turmalinen forekommer som ganske små, grønne og gule krystaller som ikke kan sees å optre spesielt tallrik ved granittkontakten. Sillimanitt forekommer i stor mengde i kvartsitten og i kvartslinser i granitten innen kvartsittområdene. I de samme trakter er feltspaten i de gabbroide bergarter sterkt skapolittisert og anthofyllitt (gedritt) og cordieritt, er almindelige mineraler i de omgivende skifere. Pegmatittganger forekommer i store mengder sammen med erupsjonsparet gabbro-granitt, og i de trakter hvor de ovennevnte pneumatolytiske mineraler er hyppige, finnes særlig i den nordlige gren, også en gjennomført albittgjennomvevning av alle bergarter.

I sitt arbeide om feltspat uttaler Olaf Andersen som en bestemt opfatning at enkelte store turmalinkvartsitter på Sørlandet er avsatt av oppløsninger i forbindelse med pegmatittens fremtrengen.

Jeg er helt enig i denne opfatning, og jeg mener å turde gå videre og hevde at ingen av kvartsittene i Bambleformasjonen er av sedimentær oprinnelse. Hvis den ene turmalinkvartsitt kan bevises å være avsatt av oppløsninger, finner jeg det vilde være temmelig søkt å påstå, at andre turmalinkvartsitter, som kanskje holder ennu mer turmalin skulde være av sedimentær oprinnelse.

Som følge av de her resumerte iakttagelser anser jeg kvartsitte i Bambleformasjonen å være dannet ved den hydrothermale og pneumatolytiske virksomhet som særpreger Bambleformasjonen og som i langt mer beskjeden målestokk kan sees i Kongsbergformasjonen, f. eks. i kvartslinsene i fahlbåndsonene.

Med en eiendommelig sonar orientering finnes der i Bambleformasjoens kvartsitteområde en lang rekke jernmalforekomster som er eldre og til dels også yngre enn pegmatittgangene. Jeg har nevnt, hvorledes disse forekomster er bundet til en pneumatolytisk virksomhet som har fulgt etter gabbroens inntrengen og antagelig før enkelte av granittene. Ved Kragerø har jernertsen sammen med albitt og karbonater fulgt etter pegmatittenes inntrengen.

I en sone innenfor jernmalmene fremgår av kartet, fig. 21, at der er et nogenlunde rettlinjert drag av apatittforekomster. Langs de amfibolittiserte gabbroer har der cirkulert veldig mengder karbonater. Magnesiakarbonat i nord og kalsiumkarbonat i syd. Disse er ved gabbroene avsatt som henholdsvis magnesitt, dolomitt og kalkspat. Mangelen av høitemperaturreaksjonsmineraler ved kalkspatforekomstene, samt deres nære tilknytning til gabbro, og andre iakttagelser som nærmere er gjennomgått ved den foranstående beskrivelse, har bragt mig til den overbevisning at disse store kalkspatansamlinger ikke kan være av sedimentær natur, men må være avsatt av oppløsninger i likhet med de øvrige mineraler som karakteriserer Bambleformasjonen.

Som antagelig siste gangdannelse i den hydrothermale periode, finner man de såkalte »konglomeratganger« som er korte kalkspatganger med kloritt og avrundede bruddstykker av sidestenen der gir gangene utseende som et konglomerat.

Ved å gå fra Kongsbergformasjonen ut mot Bambleformasjonen kommer man ikke plutselig over i den utpregede hydrothermale sone. Lengst mot vest er ingen pegmatitter, mot øst finnes spredte pegmatittganger som øker i antall henimot Bambleformasjonen.

Øst og sydøst for den store rivningsbreccie er Kongsberg-Bambleformasjonen, parallell strøkretningen, gjennomdraget av

breccier og spalter, der deler formasjonen op i en rekke parallelle blokker, som kan sees å ha vært i bevegelse i forhold til hinannen.

Enkelte utløpere fra hovedspaltene skråner svakt over fra den ene parallellbreccie til den annen, således at blokkene kan få en noget tilspisset avslutning.

Oslofeltets gangbergarter løper parallell disse grunnfjellsets utpregede linjer, og må antas å ha fått sin retning fra de underliggende grunnfjellsblokker. Herved fremkommer også retningen for Oslofjorden og kystlinjen ved Skagerak.

Vest for den store rivningsbreccie i Kongsbergtraktene er i Telemarkformasjonen kartlagt en rekke store breccier som grener ut fra hovedbreccien. De møter hovedbreccien med en spiss vinkel som har sin åpning mot syd.

Grenbrecciene i Telemarkformasjonen er av grunnfjellsalder, men der har også vært bevegelse langs dem i permisk eller postpermisk tid.

Oslofeltets gangbergarter har fulgt disse breccier. Særlig en stor brecciegang som går i sydvestlig retning mot Nordsjø og her peker mot Fenfeltet vest for Nordsjø.

Ved breccien finnes lignende bergarter og mineraldannelser som i Fenfeltet. Jeg finner det derfor sannsynlig at også dette felts bergarter og mineraler er inntrengt og avsatt av oppløsninger i den permiske eller postpermiske tid.

Oversikt over Kongsberg-Bambleformasjonens genesis.

Idet jeg tidligere har gått ut fra den almindelige opfatning om at der i Kongsberg-Bambleformasjonen er mektige lagpakker av sedimenter og lavabergarter, har jeg antatt at de injicerte eruptiver var trengt inn mellom suprakrustalene, og at det hele gjennom de forskjellige perioder er foldet og omvandlet.

Eftersom jeg stadig har innsamlet mer materiale om grunnfjellet i disse trakter, har jeg funnet det umulig å oprettholde et sådant syn på disse eiendommelige bergarters genesis.

Ifølge den foranstående utredning har der nemlig ikke foregått nogen foldning i tiden efterat de eldste eruptiver trengte inn. Kongsberg-Bambleformasjonens gneisbergarter må altså

ha stått nogenlunde i samme stilling som de står idag, helt siden den tid da de eldste dioritter trengte inn. De kan heller ikke ha vært utsatt for regionalt press eller temperaturforhøielse av nogen betydning. Iallfall siden granittens fremtreden kan der kun ha foregått en gjensidig bevegelse av de store faste grunnfjellsblokker. Mineralene i »blokkene« har ved disse bevegelser dog praktisk talt ikke vært utsatt for noget trykk, og der har ikke vært nogen temperaturstigning så høi, at den har kunnet øve innflytelse på de typiske lavtemperaturmineraler som er så almindelig i enkelte soner, særlig i den ytre del av formasjonen.

Intet steds ser man Telemarkformasjonen overlagre Kongsberg-Bambleformasjonen. Der kan dog ikke være tvil om at Telemarkformasjonens bergarter tilhører en helt forskjellig yngre tidsperiode.

Når jeg skal søke å danne mig et billede av dannelseshistorien for Kongsberg-Bambleformasjonen, tenker jeg mig disse bergartsgrupper dannet i utkanten av et uhyre stort område av størknende eruptivbergarter, hvorav den store rivningsbreccie har avskåret et lite avrundet stykke som er fremstillet på fig. 31. Innerst er hovedsakelig dypbergarter, hvori hydrothermal og metasomatisk virksomhet ikke har spillet en særlig iønefallende rolle. Efter hvert som man nærmer sig utkanten fremgår det at temperaturen har vært lavere og oppløsninger har hatt lettere for å avsettes mellem lagene. Her finner vi derfor de pneumatolytiske og hydrothermale soner som en randdannelse om den indre kjerne.

Jeg tenker mig altså at den lille del av Kongsberg-Bambleformasjonen, som er opbevart utenfor den store rivningsbreccie, er et utsnitt av et stort størkningsområde som kanskje har hatt sådanne dimensjoner at det rettest kan betegnes som et resistensområde.

Eruptiver er i forskjellige perioder trengt op mellem båndgneisene. Hvad der var før båndgneisene, har jeg ingen anledning til å kunne uttale mig om. Der kan naturligvis ha vært sedimenter og dekkebergarter, som, idet de er inngått i båndgneisen, er forandret så de ikke mer kan erkjennes. Dette kan der naturligvis ikke sies noget om. Jeg finner det dog lite sannsynlig.

Det naturligste synes jeg er å tenke sig at båndgneisene i løpet av lange tidsrum er dannet som en injeksjonsgneis, hvorved antagelig anatektiske og metasomatiske prosesser har spillet en stor rolle.

Der har fulgt kiser med flere av de diorittiske og gabbroide bergarter, hvorved man har fått dannet fahlbånd og nikkelforekomster, og i perioder har der foregått en metasomatisk og hydrothermal virksomhet. Granat, biotitt, kloritt er da dannet ved diorittkontaktene og undtagelsesvis finner man også staurolitt og spor av gedritt.

Størkningen av smeltemassene før og etter gabbroperioden må ha pågått i lange tidsrum under en fluidal bevegelse, således at utskrystallisert feltspat er korodert under dannelse av en mørtelmasse, der er herdnet samtidig med at der har foregått en epidot- og zoisittomvandling. Kiselsyren har holdt sig lengst i oppløsning og er utfelt som kvarts i gjennomvevende årer etterat mørtelmassen var herdnet. I diorittenes grensesoner er kvartsen utfelt i linser og småganger orientert parallell den vanlige skifriighet. Dette er særlig utpreget i fahlbåndsonene, hvor kis i fine striper gjennomsetter kvartsen.

Bortsett fra de her nevnte mineraldannelser og et lite serpentinparti øst i Kongsberg, er der i den vestlige del av Kongsbergformasjonen ikke eksempler på hydrothermal eller pneumatolytisk virksomhet.

Utover mot randen har derimot oppløsninger og gassarter av forskjellig art funnet spalter tilstrekkelig åpne til at de har kunnet finne sin vei langs det ene »skall« efter det annet. Resultatet av denne store stofftilførsel er den forskjelligartede metasomatose som særpreger Bambleformasjonen.

Overgangen til den hydrothermale og pneumatolytiske randsoner kommer ikke plutselig som rimelig kan være. Man må gå ut fra at der under avkjølingen var en overgangssone, hvori der kun undtagelsesvis har vært betingelser for utkrystallisasjon av pegmatittganger, kvartsganger o. l. Man finner således en og annen pegmatittgang og en og annen kvartsittstripe, før man kommer til den ytre sone, hvori de cirkulerende oppløsninger helt har satt sitt preg på bergartdannelsen.

De store mengder skapolitt og turmalin viser at klor og bor har vært til stede i stor mengde. Enkelte steder finner man også flogopitt som viser at fluor har spilt noen rolle, og de store karbonatmengder viser at kullsyre overalt har vært til stede.

Som det fremgår av det foregående er de pneumatolytiske og hydrothermale mineraler ujevnt fordelt både tvers på strøket og langs strøket.

Sillimanitt, anthofyllitt (gedritt) og enkelte steder corderitt hører hjemme i den nordlige del og nedover til den midtre del av Sørlandet, men avtar i mengde samtidig med at skapolitten avtar. Der er ikke tilstrekkelig karter over det midtre Sørland til å gi noget klart bilde, men det synes å fremgå, at turmalinmengden avtar samtidig med disse mineraler. Med klor, og muligens også bor, som oppløsningsmiddel, er det vel mulig at magnesia og lerjord er transportert langs disse ytre spalter i den nordlige og midtre del av Bambleformasjonen, og man har ved denne sirkulasjon fått dannet den store mengde lerjord- og magnesiasilikater som særpreger denne del av formasjonen.

Det er betegnende at lerjordsilikatet i denne sone utkrystalliserte som sillimanitt, mens det, i det sannsynligvis i granitten innfoldede suprakrustalfelt på Nesodden er utkrystallisert som disthen.

Hele den pneumatolytiske og hydrothermale epoke i Bambleformasjonen blev innledet ved at relativt små massiver gabbrobergarter trengte op mellem båndene. Enkelte av disse gabbroklumper var ledsaget av ertser av nikkelmagnetkistypen. Langs en bestemt sone i Arendalstraktene har de basiske magmaers fremtreden vært fulgt av meget utstrakt metasomatose, hvorved deler av gabbroen delvis er omvandlet til ansamlinger av de foran beskrevne skarnmineraler, hvori der også er utkrystallisert magnetitt som impregnasjon og til dels som temmelig rene magnetittansamlinger. Rundt enkelte »gabbroklumper« er der avsatt kvarts i temmelig rene bånd. Ved andre steder finner man smale granittbånd omsluttende gabbroene og dens omvandlingsmineraler. Over hele Bambleformasjonen er granittmasser trengt op i nær forbindelse med den noget eldre gabbroinjeksjon.

I forbindelse med denne gabbro-granittfremtreen, har der efter min opfatning fulgt en veldig sirkulasjon av oppløsninger, hvorav kvartsittene er avsatt med deres foran nevnte mineraler.

De sirkulerende kiselsyreanrikede oppløsninger har enkelte steder i den grad tatt overhånd, at man finner at granitten jevnt svinner bort i store kvartsmasser, der på kartene betegnes som kvartsitt.

Særlig mot vest henimot Reddalsvann, har kvartsitten vært brutt op av senere kvartsopløsninger og der er fremkommet en sliret bergart som sine steder kan se ut som et konglomerat.

Gabbro-granittinjeksjonen har tilslutt vært fulgt av en veldig pegmatittdannelse.

Innenfor jernmalmenes sone har der over hele Sørlandet trengt frem fosforsyre langs gabbrobergartene, til dels i forbindelse med klor, og der er derved dannet apatittganger, som er karakterisert ved nærvær av skapolitt.

Under hele den pneumatolytiske og hydrothermale virksomhet har der vært dannet karbonater, vesentlig kalkspat.

Antagelig etter pegmatittgangenes størkning har der vært en særlig utstrakt krystallisasjon av karbonater i og ved gabbroene. I den nordlige del magnesiakarbonater som har gitt anledning til dannelse av magnesitt og har vært ledsaget av serpentinisering. I den midtre del — ved Kragerø — finner man dolomitt og i den sydvestlige del rene kalkspatansamlinger. Ved Langø nær Kragerø har karbonatgangene vært ledsaget av jernertser og albitt som altså her tilhører en ganggenerasjon yngre enn pegmatittgangene.

I de trakter hvor pneumatolysen har vært særlig sterk og hvor bor, klor og kullsyre har vært til stede i stor mengde, har alle bergarter, undtagen kalkstenen, vært utsatt for en, til dels fullstendig gjennemtreen av oppløsninger som har avsatt albitt i et utall av makroskopiske og mikroskopiske årer.

Mineralene forekommer altså i bestemte soner og omsluttede bestemte bergarter, således som da de primært blev dannet, og de kan senere ikke ha vært utsatt hverken for fjellkjedefoldning eller nogen form for regional metamorfose.

Denne mangel på en sekundær metamorfose beviser dog ikke at bergarten har ligget i ro helt fra sin dannelse, antagelig i den eldste prekambriske tid. Der er tvert imot meget som tyder på at de store bergartblokker har vært i livlig bevegelse.

Mylonittiseringssoner, rivningsbreccier med glidestriper og lange, kvartsfylte spalter parallell strøket deler de oftest steiltstående komplekser op i lange blokker. Opknusningssoner ved spaltene beviser at bevegelsene har vært voldsomme.

Jeg har nevnt iakttagelser som kunde tyde på at hele blokker kan være mylonittisert og at de kan være klemt ned, op eller til siden, således at blokker, som før lå langt fra hinannen nu er ført inn til hinannen. Derved kan der fremkomme en arealforminskning av grunnfjellsoverflaten. Utpregede glidestriper ved en av de store breccier viser at en nogenlunde horisontal bevegelse av blokkene har vært almindelig, og de mektige kvartsbreccier, som fra hovedbreccien grenes ut i Telemarkformasjonen mot vest, tyder på at bevegelsen har vært mot syd.

Sammenligner man med den nordamerikanske kyst i traktene nord for San Fransisco, vil man her finne lignende forhold. Øst for den store San Andres-forkastning, er en rekke med grenbreccier som løper inn til den lange forkastningslinje, således at de skjærer den med en spiss vinkel, der har sin åpning mot nord¹. Her vet man, av erfaringene fra jordrustelsene, at underlaget vest for den store forkastningslinje beveger sig mot nord. Sammenligner man erfaringene fra den kaliforniske kyst med forholdene ved den store rivningsbreccie vest for Kongsberg, vil man finne likhetspunkter. De avgrenende breccier som fra hovedbreccien løper inn i Telemarkformasjonen, danner en spiss vinkel med hovedbreccien. Den spisse vinkels åpning vender mot syd. Ifølge erfaringene fra Kalifornia skulde man derfor anta at Kongsbergformasjonens parallelt opdelte blokker har beveget sig mot syd i forhold til Telemarkformasjonen som har ligget stille.

¹ Hans Cloos: Bau und Bevegung der Gebirge in Nordamerika, Skandinavien und Mitteleuropa. Fortschritte d. Geologie u. Paleontologie. B. VII. H. 21.

Grunnfjellsblokkenes bevegelse har vært påbegynt allerede i tiden før gabbrogangenes inntrengen, således at diorittene ved grensen er blitt mylonittisert før de er gjennomskåret av gabbrogangene. Således som det fremgår av fig. 10. Det parti som den her nevnte skisse viser et utsnitt av, er så grundig sammenbundet av gabbrogangene, at det senere har holdt sammen, således at »blokkene« her ikke lenger har kunnet beveges nevneverdig i forhold til hinannen. Andre steder, som f. eks. langs de store østlige spalter som sees på fig. 35, har der vært bevegelse gjennom hele prekambrium og sikkerlig meget lenger frem gjennom tiden.

Når man vil følge det syd—vest norske prekambriums utviklingshistorie etterat den store hydrothermale periode var avsluttet i Bambleformasjonen, kommer der inn usikkerhetsmomenter, da man ikke senere har de klare gjennomskjæringer som beviser aldersfølgen mellom bergartene.

Jeg har i min utredning gått ut fra at Kongsberg-Bambleformasjonen er eldre enn Telemarkformasjonen, da jeg ikke på nogen måte kan forklare dannelsen av disse formasjoner, hvis de skal oppfattes å være samtidige — eller Telemarkformasjonen eldre.

Jeg tenker mig derfor at Telemarkformasjonens skifere og lavabergarter er avsatt over en Kongsbergformasjon, som har bredt sig vestover fra den store rivningsbreccie, og muligens kun i tynne dekker har de ligget over den Bambleformasjon vi nu kjenner.

Påvirket av tilsvarende krefter som de der nu trekker den kaliforniske kystlinje mot nord, antar jeg da at de underliggende lange grunnfjellsblokker i Kongsberg-Bambleformasjonen, øst for den store rivningsbreccie, er kommet i bevegelse.

Som jeg har fremstillet det på fig. 37, kan blokkene være presset op mellom de yngre lag eller de kan være presset ned og er blitt omsmeltet. De kan også parallelt strøket være ført ut til siden. Tilslutt kan man tenke sig at trykket er slakket av og blokker er sunket ned (*e, f*), samtidig med at der er strømmet op smeltmasser som har bredt sig utover som lavabergarter.

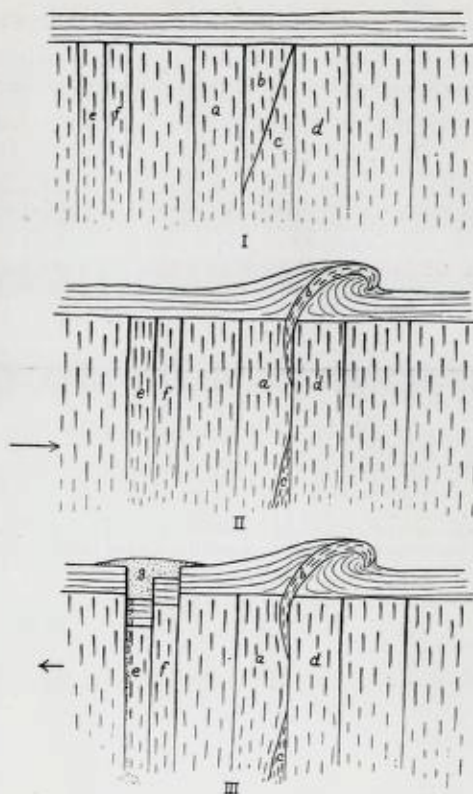


Fig. 37. Skjematisk profil som viser hvorledes det antas at suprakrustale formasjoner har bredt sig over steiltstående grunnfjellsblokker. Blokkene kan være delt av skråtløpende spalter som antydte i „blokk“ b, c. Under pressvirkning som antydte på profil II, vil „blokk“ b presses op mellem de yngre, påhvilende lag. „blokk“ c vil presses ned og blandes med de plastiske masser. Hvis presset ophører og sammenhengen mellem enkelte av „blokkene“ løsner, kan man få dannet søkkegroper under optrengning av effusiver som antydte ved „blokk“ e, f, på profil III.

Langs de lange, utstrakte bruddlinjer kan den ene »blokk« efter den annen på denne måte være fjernet, og vi finner nu at der umiddelbart op til Telemarkformasjonens foldede, utvalsedede og sterkt omvandlede suprakrustaler og granitter støter Kongsberg-Bambleformasjon som i Telemarkformasjonens erupsjonsepoke kanskje lå temmelig fjernt fra selve foldnings- og erupsjonsområdet og derfor er helt uberørt av dettes virkning.

Efterat den av Telemarkformasjonens erupsjonsepoke uberørte Kongsberg-Bambleformasjon er ført op i høide med Telemarkformasjonen, har der ikke lenger vært de veldige bevegelser langs den store rivningsbreccie. Vi ser dette av Flågranitten og Birkelandsgranitten som har trengt frem i en yngre prekambrisk tid og har gjennombrutt rivningsbreccien. Under størkningen, iallfall av Birkelandsgranitten, er breccien atter brutt op, således at en finkornig granittgang har kunnet trenge frem langs spalter som faller sammen med brecciens retningslinje.

Senere er nok breccien atter brutt op og der kan påvises nogen forskyvning av granittmassivene, men disse er relativt ubetydelige.

De raske nivåskiftninger som det har vært i sparagmittfeltet nord for Oslofeltet og innen Oslofeltets forkastningsområde, viser dog at frem gjennom tiden helt til den permiske tid, har det fortsatt med til dels kraftige bevegelser innen enkelte partier av grunnfjellsblokkene som danner fundamentet for de yngre formasjoner.

English Summary.

The Kongsberg-Bamble Formation.

Introduction.

A prominent friction breccia running from Modum in north to Kristiansand in south divides the pre-Cambrian of Southern Norway into two parts that differ markedly in their geology, petrography, metamorphism and ore deposits.

The westernmost unit comprises rocks of unquestionable sedimentary origin — sandstone with ripple marks, conglomerates, etc. — alternating with effusive lava flows. Folded layers, conglomerates pulled out to long lenses, and, in places, a high degree of metamorphism, are indicative of the effect of an old mountain chain superimposed on the regional metamorphism.

The easternmost unit (the Kongsberg-Bamble Formation) comprises no rocks of obvious sedimentary origin, nor can any unquestionable traces of volcanic activity be seen. The whole unit exhibits a parallel schistosity of crystallization without any crosscutting folding or faulting. A general pneumatolytic and hydrothermal activity starting at high and ending at low temperature is much in evidence along a certain zone from north to south.

The presence of low temperature minerals in this formation only a few kilometers east of typical high temperature mineral assemblages west of the breccia, is of more than ordinary interest and forms the basis of certain conclusions regarding the origin and the geological history of these rocks.

Petrogenesis: It is, indeed, no wonder that the archaic gneisses along the coastal districts of Southern Norway reveal unusual features, for it is believed that we are here on the selvage of an old persistent area. Furthermore the rocks are

here marvellously exposed permitting over large areas a study not only of the general geologic make up, but even a close perusal of the nicest and most delicate rock structures down to microscopic dimensions.

The Kongsberg-Bamble Formation is cut up in blocks separated from each other by long surfaces, frequently several kilometres long, more or less brecciated and accompanied by parallel cracks filled with clayey substances. Manifestly these blocks have been subjected to horizontal movements, and if it be assumed that a multitude of such vertical blocks has existed under a superincumbent load of younger sediments, it is clearly possible that some of the blocks would be crushed and ground and carried away, others would be squeezed up into the younger strata, and still others pressed down into the subjacent molten magmas, in short, there will occur movements, the effect of which will manifest itself in the overlying, younger sediments as doming, foundering folding, or overthrusting due to a reduction of the underlying area.

However, no discussion of these questions shall be given here, it is only mentioned as a problem that may be of importance in this as well as other similar pre-Cambrian regions.

No complete picture can be given in the present paper of all the different features of the Kongsberg-Bamble Formation. Particularly incomplete are the chemical and petrographical analyses of the various rocks.

The Friction Breccia Separating the Gneisses of the Telemark Formation in the West from the Gneisses of the Kongsberg-Bamble Formation in the East.

The great friction breccia has been continuously traced from Kristiansand and north-east towards the Oslo Region, at Skiensfjord. It reappears on the north side of the younger rocks of the Oslo Region, and vanishes eventually into the youngest pre-Cambrian granite — the so-called Flå granite.

The width of the breccia varies from 50 to 300 metres, it consists of mylonitized rock material which has been crushed and recemented by quartz. At a later time long parallel cracks

formed which are now partially filled with a clayey substance. At several times from the pre-Cambrian to the Permian epoch, movements have taken place along the breccia, but the two latest movements have not been accompanied by such vigorous grounding as have the older ones.

The Gneissic Granites and the Supra Crustal Rocks of the Telemark Formation.

a. The western gneissic granites:

From the breccia and westward towards the hinterland of the Sørland large areas are covered by a gneissic granite usually exhibiting a schistosity of crystallization. From the coastal districts around Kristiansand and towards the north pure granite is rare. In these parts the granite has broken up and partially assimilated older rocks thus forming migmatites and banded gneisses, in which amphibolite is frequently a conspicuous component.

The granites and gneisses have originated in many various ways and a variety of types can be found from pure potash-bearing microcline granite to potash-poor oligoclase granite. Various amounts of dark minerals are present, represented by biotite, muscovite, and hornblende.

The migmatites have been partially described in older publications. A characteristic feature is that the white intrusive veins of granite show a dark selvage of colored minerals, thus making the banded structure still more pronounced. Fig. 1.. The development of this pronounced banded structure can be closely followed: It starts with a system of parallel, white granitic veins with black selvages penetrating the usual grey gneiss. As the individual veins approach each other the interspacial grey gneiss disappears, the black selvages of the granitic veins thicken and merge into the selvage of the neighboring vein. Thus is formed a migmatite or banded gneiss composed of white granite and black amphibolite (sometimes containing biotite) as the only constituent rocks, the almost ubiquitous gray gneiss being here entirely eliminated.

b. The supracrustal rocks:

Farther to the east, close to the friction breccia is a large area of younger supracrustal rocks encompassed by granites and gneisses. This formation comprises quartzites and schists in which conglomerates and ripple marks, fig. 2, testify to their sedimentary origin, while porphyrites, tuffs, and schists prove the presence of volcanic activity. In the central part of this formation the rocks are not much deformed, but in the peripheral parts, particularly in the east, deformative forces have acted on the rocks, obliterating thereby all primary structure in the schists.

Strike and dip vary, but in the neighborhood of the friction breccia the strike is generally N—S. The dip ranges from vertical to horizontal, also close to the breccia.

Granitic pegmatites are unknown in the central part of the supracrustal area of the Telemark formation.

Farther to the east pegmatite is encountered bordering against the metamorphic quartzites, micaschists, and fine-grained gneisses, sometimes wedged in between the schistous layers of the adjacent rock masses. When such plates of pegmatite have a horizontal position, as for instance close to the friction breccia at Tekslehugget north of Kongsberg, they may cover several square kilometres. Fig. 3.

Farther south along the breccia pegmatites are commonly seen in granites as well as in schists and quartzites. When the breccia cuts pegmatitic dikes they are crushed and mylonitized just as the other rocks in the breccia.

Still farther south, at Kristiansand, the shape of the pegmatites changes, they are no longer dikes, but merge gradually into the adjacent gneiss types, and should be regarded as an integrating part of the gneiss.

The Kongsberg-Bamble Formation.

This formation may be subdivided into two parts.

(A) **The Kongsberg Formation** (the inner zone of banded gneisses) characterized by gneissic rock mostly of plutonic origin, and (B) **The Bamble Formation** (the hydrothermal zone) comprising a great variety of rocks, amphibolites, granites, granitic gneisses, quartzitic rocks with tran-

sitions into pure quartzites. Pneumatolytically and hydrothermally formed ore deposits are frequently encountered within this formation, which has been of relatively great importance for the economic geology of the southern Norway.

Banded gneiss and dioritic gneiss.

Migmatitic rocks that consist of alternating black and white stripes or bands have been called banded gneisses, fig. 4. The length of the bands may be several kilometres, and the width ranges from a few millimetres to 30 metres, but most frequently a thickness of a few centimetres is encountered. Folding and brecciation locally occur with remnants of the black bands swimming in a greyish-white matrix. The mineral content is simple, the black bands carry amphibole and basic plagioclase, the light ones quartz and oligoclase as essential constituents, but sometimes small amounts of both hornblende and biotite can be observed in the light-colored bands. The width of the light bands may locally increase to such dimensions that it has become possible to draw them on the map. In the legend they have been called quartz diorite, or quartz-biotite diorite.

At one locality only (Knutehåvet at Kongsberg) I have seen an undisputable eruption breccia between dioritic gneiss and amphibolite, fig. 5. This breccia constitutes a decisive proof of the later injection of the dioritic rock as compared with the amphibolite.

All over the area the dioritic gneisses show vestiges of stress and pressure. Banded lamellae of mica and feldspar are frequently seen, and the plagioclases are usually corroded or broken round the edges. The interstices are filled with ground powder of epidote, clino-zoisite, and flakes of hornblende or biotite. Fine-grained gneisses or structures resembling augen gneisses have also developed. Along the edges of the diorites a recrystallization has frequently taken place with formation of new minerals. This is particularly true in fine-grained rocks, and in rocks impregnated with ore minerals. Ore-rich rocks of this type striking N—S usually surround the larger dioritic bodies; one example is the fahlband complex at Kongsberg.

Secondary minerals frequently are met with in this zone of the fahlbands, for instance garnet-chlorite substituting for amphibole, and secondary quartz veins intimately interweaving the rocks are also typical. Interpenetration of quartz veins is not restricted, however, to the fahlband zone, but is frequently seen in dioritic gneisses from various localities. (Fig. 6, 7). The width of the quartz veins ranges from less than a millimetre to $\frac{1}{2}$ metre; in the fahlband zone the veins are accompanied by ore minerals (pyrrhotite, chalcopyrite, galena and sphalerite) which sometimes form veins that cut the quartz veins thus proving that the ore is the youngest mineral formation in these rocks, fig. 8, 9. Outside the fahlband zone no ore accompanies the quartz veins. Nowhere the quartz veins show any sign of subsequent pressure or deformation.

Dikes and Bodies of Gabbro, Amphibolite, and Olivine Hyperite.

Representative of the first series of younger intrusive rocks injected into the oldest pre-Cambrian formation of banded gneisses and dioritic gneisses are *gabbros* and *amphibolites* which frequently form dike-like intrusions, and have been subjected to various degrees of metamorphism. In the older literature they have been called: norite, olivine hyperite, hyperite, vinor diabase, and amphibolite. Many of these designations are misnomers, the pyroxen in most-cases being transformed into hornblende. Hornblende gabbro might thus be more appropriate. However in the present paper gabbro has been used also for these rocks.

It seems to be a general rule that the narrower the dike the more complete the amphibolitization. Along the edges of the wider dikes sulfidic ore as well as magnetite and ilmenite may be present forming kind of fahlbands, which, like the fahlbands in the diorites described above have been able to precipitate silver from the silver- and calcite-bearing solution that permeated the rocks in Permean or post-Permean time.

The larger bodies of olivine hyperite carry unaltered laths of feldspar and aggregates of olivine surrounded by reaction rims. No trace of a later metamorphism can be seen.

In the fahlband zone west of Kongsberg hornblende schists carrying secondary garnet and chlorite are common. They are cut by amphibolite dikes (locally called "vinor diabase") in which no garnetization or chloritization has taken place. The alteration of the hornblende schists, and for similar reasons the mylonitization of the diorite, must have taken place therefore, before the injection of the "vinor diabases". Fig. 10.

The "vinor diabases" must also be younger than the large amount of unaltered quartz which is present in the numerous diachases. The crushing that caused the diachases did not affect either the amphibolite dikes (vinor diabases) or the garnetiferous hornblende schist. Consequently the secondary quartz penetration in the dioritic gneisses as well as the dikes of "banded quartz" running N—S accompanied by sulfide-bearing fahl bands are older than the dikes of "vinor diabase".

Granites.

The granites are everywhere younger than the Bamble gabbros and the Bamble amphibolites. But the age difference is probably not great. A genetic relation between the two types of rocks is strongly indicated by the fact that the gabbros invariably are accompanied by younger granites (see particularly map fig. 11, representing a section of the Kragerø quadrangle). This interrelation holds good, not only in the districts which I have mapped myself, but was i. g. mentioned as early as in 1861 by Kjerulf and Dahll in their work on the iron deposits of the Arendal district. Among the numerous maps annexed to that paper several examples of this interrelation between granite and gabbro may be seen. (See e. g. fig. 12 of the present paper).

It should be mentioned that the zones of granite surrounding the gabbroic bodies have been called quartzite by Kjerulf and Dahll. It is true that the amount of quartz locally may be large, but already in 1910 J. H. L. Vogt mentioned that granite would be more appropriate.

Fig. 13 shows an occurrence of olivine hyperite at North Vinoren (North of Kongsberg). By a younger granite this hyperite has been torn up to a breccia. Along the edges of the

fragments as well as along the border between hyperite and granite an accumulation of biotite has taken place.

The fine-grained Kongsberg granite, and medium-grained granite occur in the outer parts of the Kongsberg formation and in several parts of the Bamble formation, but it is particularly characteristic of the Sørland. In certain tracts around Kragerø both monocline and orthorhombic pyroxene occur in the granites, diorites, and adjacent gabbroic rocks.

In the eastern part of the Kongsberg formation there are large areas of granodiorite that is probably an original quartz diorite into which granitic solutions were injected. Another possibility is however, that the diorite series comprises younger potash-rich granodioritic members in which microcline could form. But in several localities it has been possible to demonstrate that the granodioritic type is younger than the "vinor diabases".

The large bodies of augen granite closer to the friction breccia probably should be looked upon as the youngest members of the epoch of the granitic intrusions. At Kongsberg these augen granites clearly cut the dikes of "vinor diabase". A common feature of all the granite of the Kongsberg area is that individual feldspar crystals are surrounded by a matrix of crushed mineral fragments and large flakes of biotite. Clinzoisite penetrates the larger feldspars and the crushed rock fragments, and the plagioclase crystals are frequently completely sericitized and epidotized. Finally younger quartz veins, mostly without any trace of undulating extinction, have wedged their way between the mineral grains and frequently in web-like patterns penetrated the feldspar crystals. Fig. 14. This interpenetrating type of quartz is commonly found farther to the east throughout the granites of the Kongsberg formation, but is constantly decreasing in amount towards the Bamble formation.

It is evident that the granite, which is younger than the gabbroic rocks, has been subjected to a metamorphism through which the individual feldspar crystals have lost their original borders and have become surrounded by a matrix of crushed

rock fragments, a phenomenon which has its exact analogue in the older diorites referred to above.

If the crushing as well as the interpenetration of quartz-veins had been regional in character and simultaneous in the quartz diorites and in the granites these processes necessarily should have occurred after the congealing of the granites. But, as shown by the preceding description, the large intrusive bodies of gabbroic rocks in the Kongsberg-Bamble formation have never been subjected to any such regional metamorphism; foldings and faultings are practically unknown, the olivine hyperite has preserved its primary structure, and the hornblende schist carrying secondary garnets shows no trace of pressure. The structure of the quartz diorites with veins of fresh quartz also indicates that regional stress never developed to any great extent in these rocks.

There are reasons for believing, therefore, that the crushing of the rock fragments is a consequence of movements in the magma during its crystallization. The later stages are characterized by a hydrothermal period, during which the feldspar and the crushed rock fragments were subjected to partial alteration into zoisite, epidote and chlorite. Finally free silica, which were able to keep in solution longer than the other constituents cemented together all the mineral fragments to a solid rock.

The Quartzites and the Quartz Schists of the Bamble Formation.

Towards east and south-east the Kongsberg formation gradually merges into the Bamble formation. The transition begins with the occurrence of an odd pegmatite dike or a quartzite while banded gneiss, amphibolite, granite and hyperite of the Kongsberg type are still present. But characteristic for the Bamble formation are quartzites, micaschists, anthophyllite (gedrite) schists, as well as various pneumatolytic and hydrothermal minerals. The Bamble formation should therefore correctly be looked upon as a pneumatolytic-hydrothermal selvage, not as an individual formation, since the designation

“formation” might convey the idea of an age difference relative to the Kongsberg formation.

South of the apatite mines at Ødegården an amphibolite is surrounded by long, narrow bands of quartzite containing some sillimanite (see fig. 11). Towards south-west these bands of quartzite merge into a granite with lense-shaped quartz-sillimanite inclusions.

The photomicrographs, fig. 15, 16 and 17, show the transition from quartzite to common granite, fig. 17 is a rather pure quartzite with sillimanite and few, irregular crystals of microcline. The next photomicrograph shows the microcline in increasing quantities, and the third shows the microcline present in such large quantities that the rock properly should be called granite. East of Landvikvann in the neighborhood of Grimstad another interesting transition between quartzite and granite may be seen. Generally speaking there are transitions of the rocks from quartzite to granite at several localities, making it difficult to fix the border between these two kinds of rocks.

Microcline is not the only mineral to contaminate the quartzite. Minerals of pneumatolytic origin are also frequently present, thus effecting transitions to mica schists and antophyllite-bearing schists. This shall be described presently.

Between Bamble and Grimstad no new mapping has been made. The old maps of the iron deposits around Arendal by Kjerulf and Dahll constitute the only available information. But with great regularity these maps show the following mode of relationship between gabbro and granite: a core of strongly amphibolitized gabbro surrounded by concentric shells of granite (see fig. 12). The olivine hyperites on Gomøy at Kragerø and at Valberg are not surrounded by granite but by quartzite. The same thing can be seen in a small occurrence of amphibolite north of Stokken at Arendal (see fig. 18).

At Grimstad west of Hisåsen a narrow shell of quartzite surrounds a core of granite, fig. 29. This is the westernmost of the occurrences of quartzite in the Bamble formation.

**Minerals and Mineral Veins
in the Pneumatolytic-Hydrothermal Selvage
of the Bamble Formation.**

Anthophyllite and **gedrite** commonly occur within the quartzite of the Bamble formation (Modum, Bamble district, Lillesand.

Serpentine, which is probably an altered olivine rock occurs at Kjennerudvann in the banded gneisses of the Kongsberg formation. Around the serpentine area there is a zone of strongly green hornblende penetrated by long needles of anthophyllite.

Cordierite occurs at several localities within the Bamble formation associated with magnesia-rich rocks.

Biotite and **muscovite** commonly occur in and around the quartzites. Pure quartzite is very rare particularly at Modum.

Sillimanite commonly occurs in quartzite, mica-rich quartzite, feldspar-rich quartzite, and in granite adjacent to quartzite. Fig. 19. It occurs in the usual way sometimes in needles, sometimes in brush-shaped aggregates frequently intergrown with quartz and feldspar. Westward the sillimanite content of the quartzite decreases, and sillimanite granites have not been encountered in the western part. Sillimanite quartzite and sillimanite granite merge into one another both along the strike and normal to the strike.

Scapolite is a secondary mineral, usually occurring in gabbroid rocks in the northern part of the Bamble formation (Modum, Eiker) and in the eastern part of the Sørland. Westward and southward scapolite becomes scanty. It has not been observed as far west as Lillesand.

Thus scapolite and sillimanite reach their maximum development within the same tracts.

Tourmaline is a characteristic mineral of the quartzite and mica-schists of the Bamble formation. Fig. 20. Locally it also occurs in granite in the area between Modum and Lillesand. It frequently is met with in the pegmatitic dikes.

Sulfides usually occur in both the Bamble and the Kongsberg formation. It has been described how the sulfides of the fahlbands have been precipitated along the contacts of the gabbroid rocks (the vinor diabases). At several localities in Bamble and in the coastal districts of the Sørland deposits are known of nickeliferous pyrrhotite in connection with gabbroic intrusions (norites).

Ore deposits having a certain resemblance to fahlbands are also known in the Bamble formation.

An economically important occurrence of cobalt ore is situated at Modum. The predominating sulfidic minerals are chalcopyrite, tesselalite, and cobatite, forming fahlbands in quartzite that are genetically related to a large intrusive gabbro body.

Magnetite and hematite occur within the Bamble formation in certain zones and are members of a characteristic mineral assemblage, usually connected with dark, gabbroic, amphibolitized rocks.

In the northern part (at Modum) hematite occurs on the border between gabbro and albitic quartzite, and has here been subjected to mining. These occurrences have been described by Kjerulf and Dahll, and by J. H. L. Vogt. A quantity of about 3 million ton ore has been produced over a period of 250 years.

In the southern part two zones of iron ore are known. The inner zone is poor in ore (magnetite), forming narrow stripes and bands or regular impregnations in a granite low in quartz. The outer zone from Grimstad to Tromøysund at Arendal also carries magnetite, see fig. 21.

In their work on the iron ore deposits around Arendal, Kjerulf and Dahll mention several examples of gabbro surrounded by granite. The best example is from Langø—Torbjørnsbo (see fig. 12). The core consists of amphibolitized gabbro that locally has been changed over to a garnetiferous pyroxene rock which in certain places carries considerable quantities of magnetite. Some mining has been made here, and in some of the mines serpentine occurs as gangue. Kjerulf and Dahll mention opicalcite, consisting of yellowish white serpentine and white calcite. They also mention a mixture of magnetite,

yellow serpentine, and calcite. Other mineral assemblages are: magnetite, augite, calcite, — magnetite, garnet, calcite. The following minerals are said to occur in the garnet rock: apatite, biotite, scapolite. In the crystalline limestone occur: analcite, amethyst, apophyllite, axinite, sphalerite, desmine, prehnite, scapolite.

In Langø at Kragerø an occurrence of a different type is met with. A body of partially amphibolitized olivine hyperite rests in a saucer-shaped shell of quartzite. Around the little body of olivine hyperite, and genetically related to it the well-known so called carbonate dikes, sometimes several metres wide, are encountered. These dikes carry magnetite and hematite which have been rather extensively mined. The carbonates with their accompanying iron ore are thus younger than the olivine hyperite, and according to the map of Kjerulf and Dahll they also are younger than the pegmatite dikes. It is therefore evident that in these tracts iron ore has been formed both before and after the intrusion period of the pegmatites. The iron ore of the carbonate dikes is mostly magnetite, but in the later stages hematite also occurs. Additional minerals are albite (which frequently grows on the faces of fragments of the brecciated country rock included in the dikes), quartz in varying amounts, some epidote, actinolite, scapolite, and chlorite.

Calcite regularly occurs in and around the small and large bodies of gabbroid rocks in the Bamble formation. In the northern part an interesting locality is Gampehue at Solumsmoen. The gabbro here contains large accumulations of coarse-grained, almost pure, crysalline calcite. Calcite also occurs in small veins and disseminated in the gabbro itself. Chlorite is also common, and albite in a net-work of interpenetrating veins. In the southern part calcite occurs with the iron ore deposits previously mentioned. And as far south as Lillesand scattered bodies of crystalline limestone occur. All the known occurrences lie close to gabbroic or amphibolitic rocks the surface of which is spotted with empty indentations and cracks caused by the corrosion of the calcite (see photo, fig. 22).

The igneous mode of origin of the gabbros and amphibolites is unquestionable. The cartographic observation that crystalline

limestone always occurs along the contacts or within this kind of rocks points to the conclusion that calcite must have been precipitated from carbonate-bearing solutions that circulated in the gabbroic rocks.

The character of the few minerals that have been encountered in the calcite veins indicates that the temperature never was raised appreciably after the formation of the calcite.

At Modum I have never seen any other mineral than chlorite in the neighboring gabbro. Farther south along the coast there are many occurrences of crystalline limestone on the islands. Certain islands between Grimstad and Lillesand consist only of impure limestone. The photos, figs. 23 and 24, show various types of limestone in these parts. As shown by the pictures the adjacent pegmatite as well as the hornblende schists have been broken up by the limestone with the formation of a breccia with partially rounded fragments.

The nature of the ore deposits at Arendal indicates that the first stages of the metasomatism was accompanied by relatively high temperature (formation of garnet, augite, scapolite, etc.), the later stages however were characterized by lower temperature (formation of epidote, serpentine, zeolites).

The occurrences of crystalline limestone in granite at Kristiansand (west of the great friction breccia) are distinctly different from those encountered in the coastal districts between Grimstad and Lillesand. This is clearly shown by the photos, figs. 25 and 26. Gabbro, amphibolite, diorite, garnet, and pegmatite dikes are associated with the limestones at Grimstad and Lillesand. This district is therefore an igneous province, with a complicated thermal history, and it is reasonable to believe that at several times the temperature must have been sufficiently high to effect a reaction between calcite and the adjacent rock with formation of various lime silicates. However, other than actinolite, no lime silicate minerals have been encountered in this province. A sedimentary mode of formation does not seem possible, therefore, for the present limestone. Furthermore, the thin films of low-temperature minerals coating the fragments of pegmatite also indicate that the carbonate-bearing solutions were able to break up the country rock.

The photos, figs. 27 and 28, show crystalline limestone in Kongsholmen at Homborsund, and banded, dioritic gneiss west of Lillesand respectively. The banded gneiss is made up of black and white bands of amphibolite and diorite. The bands are locally curled and folded. The impure limestone is also banded. The white bands are granitic and filled with zoisite, but zones of calcite occur instead of the narrow black, amphibolitic bands. Calcite-bearing solutions have also permeated the adjacent amphibolite. On the islands south of the limestone islands this manifests itself by a thorough epidotizing of the amphibolite, and the original granite has been replaced by actinolitic hornblende to such an extent that only in few places the original rock can be recognized.

Magnesite and dolomite. At Modum and at Snarum in the northern part of the Bamble formation is a well-known occurrence of magnesite which for a long time has been utilized for manufacturing of magnesite stone. In a certain zone running from north to south along the contacts of the gabbroid rocks several occurrences of magnesite, are encountered partly as irregular bodies, partly as dikes. Pure bodies of serpentine attaining a width of 8—10 metres are frequently encountered associated with the magnesite. The adjacent rock is here always strongly serpentinized. In several places the magnesite contains irregular aggregates of serpentine which lower the economic value of the occurrence.

At Hulbakk a contact is exposed between a magnesian rock and a pegmatite. Both serpentine and magnesite have penetrated into the cracks of the pegmatite. On the basis of this observation the conclusion must be that magnesite and the accompanying serpentine are younger than the pegmatite.

In the southern part of the Bamble formation less magnesia must have been present in the circulating solutions. For magnesite has not formed, but instead dolomite together with calcite and albite have been encountered. (An example is the occurrence of carbonate dikes associated with the iron deposit on Langø as previously described). At Knipen near Kragerø is a rather small occurrence of dolomite, farther towards the west the carbonate dikes carry only calcite.

Pegmatite dikes. In the northern part of the Bamble formation at Modum and at Snarum oligoclase or albite is the usual feldspar, potash feldspar being very scarce; appreciable amounts of quartz is always present and in no place feldspar is pure enough for profitable quarrying.

In the southern part between Kragerø and Kristiansand large accumulations of pure minerals frequently occur in the pegmatite dikes. Here, therefore, are several quarries for potash feldspar, soda feldspar, quartz, and mica.

The pegmatite dikes are full of pockets, the minerals are practically never bent or stressed, and the dikes themselves are practically never faulted. From this it may be inferred that the southern part of the Bamble formation never was subjected to any stress after the intrusion of the pegmatites.

North of Lillesand at Grimevann (see fig. 29) is a body of granite surrounded by bands of quartzite. Outside the quartzite are large pegmatite dikes that can be followed over long distances. The dikes are conspicuous features in the landscape and completely encompass the granite body. Further to the west a rather large body of the fine-grained so called Vallesvær granite is encountered. Around the Vallesvær granite and between it and the granite body at Grimevann several huge pegmatite dikes occur.

Several examples show that even comparatively small intrusions and bands of granite are surrounded by pegmatite dikes, and — as seen from the map, fig. 29 — that practically no pegmatite dikes are met with at any great distance from the intrusive granites.

Under the description of the Kongsberg formation is mentioned that no pegmatites occur in the western part of that formation. But closer to the Bamble formation odd pegmatites occur in the dioritic gneiss. The number of the pegmatite dikes increases steadily until large swarms of pegmatites are encountered in the area of the quartzites, granites and gabbros.

The same holds true in the Sørland. Fig. 30 gives a map of the occurrences of the feldspar quarries in the Sørland (after Olaf Andersen and Tom. Barth). From this map it may be seen that the Telemark granite is completely devoid of feldspar

quarries. North of Kristiansand at Iveland and at Evje there is a little area within which very many feldspar quarries are located. This area is enclosed in the Telemark granite, but is nevertheless older than the Telemark granite, and it is reasonable to regard it as a fragment of the Bamble formation.

A few old feldspar quarries without any economic importance occur in the district around Mandal (west of the great friction breccia). But a new swarm of pegmatite genetically related to the great petrographic province of the anorthosite occurs still farther to the west in the environs of Farsund.

The map of the Sørland shows that the pegmatites of the Bamble formation are essentially confined to a particular zone petrographically characterized by bands of quartzite and by the intrusion pair gabbro-granite.

At Kragerø this zone follows the coast, at Arendal it curves somewhat inland, and at Lillesand it is again encountered in the coastal districts. The map fig. 30 gives no complete picture of the distribution of the pegmatites since only the quarried occurrences have been marked.

The true distribution of all the pegmatites I have tried to show schematically on fig. 31. From this sketch it can be seen that the maximum development of the dikes has taken place within the "pneumatolytic zone" of the Bamble formation.

Apatite in great masses is encountered in special mineral dikes within the Bamble formation. In one type of dikes the associated minerals are large crystals of hornblende with oligoclase and especially albite. Apatite from these dikes has been quarried but without much luck at several localities. In the usual granite pegmatite dikes apatite is scanty. The largest amount of apatite is found within a confined area at Ødegårdens Verk, where extensive mining has taken place (see fig. 11). The apatite-bearing dikes consist here of magnesia mica and enstatite.

The map, fig. 21, shows that apatite — as well as the other ore-bearing pneumatolytic mineral dikes in the Bamble formation — are restricted to the zone of quartzite and of gabbro-granite. Within this zone apatite occurs on the inner edge.

Interpenetrations of Albite. The last stage of the pneumatolytic-hydrothermal activity in the Bamble forma-

tion was represented by an extensive albitization of all the rocks, particularly in the northern part, around Modum.

The photos, fig. 32 and 33, show albitization in amphibolitized gabbro and in quartzite respectively. The albitization has been particularly intensive in areas where scapolite and tourmaline abound, i. e. in areas where chlorine has been present.

"Conglomerate dikes". Peculiar dikes consisting of rounded fragments of the country rock occur at Ødegården. They belong to the last stages of the hydrothermal period. Fig. 34.

Tectonics.

Strike and dip.

In the northern part of the Telemark formation the rocks (quartzite, amphibolite, granite, and pegmatite) exhibit a gentle dip. Further to the south the strike (of the gneissic granites) becomes north, and the dip east. East of the great friction breccia both strike and dip are more constant. In the northern part strike is north and dip steep. Further to the south the strike becomes more north-easterly, thus gradually merging into the NE direction of strike exhibited by the whole southwestern branch of the Kongsberg-Bamble formation.

In the mining district of Kongsberg strike and dip have been measured as far down as 1000 metres without showing any appreciable deviation from the normal conditions. Along the southern branch the dip is also very monotonous. But in the extreme south around Kristiansand a north-easterly, almost horizontal dip is encountered.

Breccias and Fault Lines East of the Great Friction Breccia.

The direction of the great friction breccia is essentially parallel to the strike of the rocks. In the Bamble formation east of the great breccia parallel fault lines — also following the strike of the rocks — have been known for a long time.

Between Kongsberg City and the mines of Underberget is a large breccia (see the map) tapering out towards the north,

but increasing in width towards the south until it reaches the Oslo area (fig. 35). This breccia is also seen on the profile from Lågen to Overberget (fig. 36).

The great friction breccia is rather narrow in the north, but southwards it widens and soon attains a width of 50 metres. As the width of the breccia increases the strike of the rocks east of the breccia changes to NE.

West of the breccia dioritic gneisses usually of a coarse-grained type are typical. But east of the breccia the banded gneisses at once occur. Fine-grained granites are common as dikes or small bodies.

The change of strike in the south, the sudden change of the character of the rocks, and the intensified crushing of the breccia in the south seem to indicate that where the breccia now is, there used to be a long "block", that has now been pressed away from its original position in the pre-Cambrian. The glide planes of the breccia display deep horizontal striae indicative of strong horizontal movements.

It can be seen from the map (fig. 35) that the post-Permian movements have followed the lines of least resistance parallel to the great friction breccia, and therefore also parallel to the strike of the rocks. Normal to this direction, striking E to ENE is an other post-Permian system of cracks which are now filled with quartz and various sulfidic ore. Numerous basalt dikes following either system of cracks (N—S, or E—W) have been injected at a time between that of the quartz veins and that of the carbonate veins. Silverbearing solutions have followed the youngest system of cracks, and the silver has been precipitated together with calcite on the fahlbands. Thus the well-known silver ore at Kongsberg was formed.

The work of W. C. Brøgger has shown that the Oslo Region was formed in consequence of faulting and foundering of the basal pre-Cambrian rocks. The fracture lines strike N—S along the direction of the Oslo Fjord. But also west of the Oslo Region the pre-Cambrian has been faulted (see map, fig. 35). Indeed there are reasons to believe that here the relative movements of the various fault zones have been particularly strong. To be sure, several of the pre-Cambrian segments

thus bordered by fault zones may have been squeezed up or down from their original position, thereby reducing the effective surface of the pre-Cambrian terrain. Fig. 37.

Farther east, towards the Oslo Region it is believed that the adhesion between the several pre-Cambrian segments has been rather weak, thereby giving the various igneous magmas of the Oslo Region a chance to rise.

Breccias and Fault Zones West of the Great Friction Breccia.

A new type of breccias and fault lines differing from those previously described has developed west of the great friction breccia (see maps fig. 21 and fig. 35). Obliquely from the west this system of breccias runs towards the main breccia under a low angle. These tributary breccias are characterized by a network of quartz veins penetrating the rocks along zones more than 100 metres wide. Sometimes the breccia also consist of a ground-mass of small muscovite flakes.

The quartz interpenetrations are older than the rocks of the Oslo Region, but movements have taken place along the breccias after the intrusions of these rocks also. Various kinds of igneous dikes belonging to the Oslo Region have been injected parallel to the breccias, and within one of the breccias itself Oslo rocks are encountered. Clearly the intrusive magma of the Oslo Region found a weak zone along this breccia. Some of the dike rocks following the breccias exhibit certain features similar to those of the rocks of the Fen Area: They are, for instance, associated with calcite-bearing rocks, and a border facies of green garnet thoroughly impregnated with magnetite is seen.

The friction breccia runs south-westward towards Valebø at Nordsjø. It here contains long cracks partly filled with calcite, and dikes particularly rich in apatite have been injected endlong the breccia. Just west of the breccia and parallel to it a dike of tinguaitite is encountered. Small deposits of hematite may be seen in the breccia.

Associated with the great breccia are thus soda-rich rocks and apatite-rich rocks impregnated with lime and iron, i. e. rocks and minerals of the same type as those of the Fen Area. These facts support the view of Bowen, that the magmas and the solutions of the Fen Area have been squeezed out of the neighboring Oslo Region along certain lines of weakness.

Outline of the Genesis of the Kongsberg-Bamble Formation.

I believe that the rocks of the Kongsberg-Bamble Formation have originated on the selvage of a vast magmatic province, a small part of which has been cut away by the great friction breccia as pictured on fig. 31.

Innermost deep-seated rocks prevail in which vestiges of hydrothermal and pneumatolytic action are rare. Towards the edge, however, solutions and gases of various kinds have found their way along cracks and fissures, thus causing metasomatic alterations of the various rocks of the Bamble Formation.

Large quantities of scapolite and tourmaline show that chlorine and boron have been present. Sporadic occurrences of phlogopite show that fluorine has been present locally, and the wide distribution of carbonate minerals shows that carbon dioxide has been present everywhere.

As pointed out in the descriptive part the hydrothermal minerals are unevenly distributed, and show great variations both along the strike and normal to the strike.

Sillimanite, anthophyllite, and partially cordierite belong to the northern part of the formation, southward they decrease in amount, as does scapolite, and probably tourmaline.

It seems probable therefore, that chlorine and boron have dissolved magnesia and alumina and transported them along cracks and fissures in the northern part of the Bamble formation thus forming the extensive deposits of sillimanite and magnesium silicates peculiar to these tracts.

The pneumatolytic hydrothermal epoch of the Bamble Formation was initiated by the injection of rather small bodies of gabbro. Some of the gabbros were accompanied by nickeliferous

ore. Along a certain zone in the neighborhood of Arendal these basic magmas gave rise to a metasomatism that partially converted certain gabbros into assemblages of skarn minerals often associated with magnetite deposits. Around certain gabbro bodies bands of rather pure quartz have formed, other gabbro bodies are entirely surrounded by bands of granite.

All over the Bamble Formation a genetic relation exists between granite and the somewhat older gabbro.

Subsequent to this gabbro-granite injection, the solutions were circulating from which — according to my interpretation — the quartz bands and their accompanying minerals were precipitated.

Within the zone of the iron ores, phosphorus has permeated the contacts of the gabbros sometimes accompanied by chlorine. Apatite dikes frequently carrying scapolite have thus formed.

During the whole pneumatolytic-hydrothermal period carbonates were formed, especially calcite, frequently associated with gabbros and gabbro contacts. The crystallization of this calcite probably took place after the congealing of the pegmatites.

In tracts of strong pneumatolytic action where boron, chlorine, and carbon dioxide have been present in great quantities, the rocks have been completely soaked by the solutions and albite has been deposited in a multitude of veins down to microscopical dimensions.

My conclusion is that the various minerals occur in their pristine condition in zones, and associated with certain rocks. Subsequently they never were subjected to either mountain folding or any kind of regional metamorphism. But this lack of secondary metamorphism does not necessarily mean that no movement has occurred in these rocks since the time of their formation (= oldest pre-Cambrian). Several observations seem to indicate that large sections of rocks have been in vigorous relative movement: Zones of mylonite, friction breccias, and long cracks parallel to the strike and filled with quartz divide the whole formation into a multitude of "blocks", and the crushing zones along the cracks testify to strong relative move-

ments. Further observations seem to indicate that some of these blocks have been squeezed up or down and thereby entirely disappeared. Other blocks that used to be far apart may in this way come close together, thus causing an appreciable reduction of the whole surface of the area. Characteristic local friction striae show the prevailing movement to have been horizontal, and the many quartz breccias which from the main breccia branch out westward into the Telemark Formation indicate a southerly trend of the movement.

Even before the intrusion of the gabbroic magmas the several blocks were already in motion, for zones of mylonitization developed in the diorites before they were cut by gabbro dikes (see e. g. fig. 10). In other places (e. g. the large eastern cracks shown on fig. 35) movements have occurred during all pre-Cambrian time and have probably continued much longer.

I believe that the schists and lavas of the Telemark Formation were deposited on the top of the Kongsberg Formation, which at the time continued westward from the great friction breccia. Influenced by forces analogous to those that now are pushing the coast of California northwards, the great friction breccias were formed and the several long blocks of the Kongsberg-Bamble Formation began moving.

As shown by fig. 37 I believe that some of the blocks have been squeezed up among younger layers, some pressed down and assimilated by hot magmas, and some squeezed out to the sides. Eventually the horizontal stress may have subsided, and the blocks sunk down, thereby pressing up hot magmas which have reached the surface as lava flows.

Along the several fissure lines one block after the other may thus have disappeared, and therefore we now encounter the strongly altered rocks of the Telemark Formation directly bordering against relatively unaltered rocks of the Kongsberg-Bamble Formation that — according to my hypothesis — were lying far away from any area of folding, faulting, or magmatic injection at the time when the Telemark Formation was hit by the metamorphism. Thus the rocks of the present Kongsberg-Bamble Formation have remained entirely unaffected by the

metamorphism that have stamped the immediately adjacent rocks of the Telemark Formation.

Subsequently the rocks of the Kongsberg-Bamble Formation were raised to the level of those of the Telemark Formation. But after this time no great movements have occurred along the great friction breccia.

The sudden vertical movements in the sparagmite area north of the Oslo Region and within the Oslo Region itself prove that through the ages until Permian time vigorous movements have occurred among some of the pre-Cambrian blocks that form the base of the younger formations.

