

Na de lange perioden van erosie, laatstelijk tijdens de ijstijden, is een oppervlak overgebleven, dat voor een groot deel uit gneizen, granieten, amfibolieten en schisten bestaat. Dit zijn metamorfe en dieptegesteenten, die, aan de temperatuur en druk van hun ontstaansmogelijkheden gemeten, moeten zijn gevormd op zeker 15 km diepte. Deze gesteentekolom van 15 km, vermeerderd met eventuele pakketten Postprecambrijsch sediment, vulkanieten, enz., is nu *verdwenen*. Wat wij nu zien is een, weliswaar verweerd, niveau, dat onder "normale" omstandigheden (d.w.z. niet opgeheven bij een orogenese) pas bij een boring van 15 km diepte zou worden bereikt.

Tegenwoordig worden in diverse landen boringen ingezet om de structuur van de aardkorst te bestuderen; deze zijn nu hooguit tot zo'n 12 km gevorderd. We kunnen dus zeggen, dat we tijdens een reis door Noorwegen wel bijzonder gemakkelijk informatie over diepliggend korstmateriaal kunnen verkrijgen! De vele ontsluitingen in het land en langs de kust maken het "lezen" van het gesteente-boek ook daadwerkelijk mogelijk. Waarmee bepaald niet gezegd kan worden, dat wat wij zo gemakkelijk kunnen *zien*, ook gemakkelijk te *begrijpen* is!

Het Precambrium in Noorwegen

door Dr. C. Maijer

Inleiding

De geologische kaart van Noorwegen laat drie hoofdeenheden zien. Dit zijn van oud naar jong:

- de Precambrijsche ondergrond [Precambrian basement];
- het Caledonische orogeen langs de westkust;
- de Permische Oslo-slenk.

Het Precambrium in Noorwegen vormt een onderdeel van het Baltische Schild. Alvorens in meer detail in te gaan op het Precambrium in Noorwegen zal daarom eerst in het kort de indeling en ontwikkeling van het Baltische Schild worden geschetst.

Het Baltische Schild laat ruwweg een grootschalige geochronologische zonering zien, waarbij de radiometrische ouderdommen afnemen van noordoost naar zuidwest. Deze zonering reflecteert de groei van de continentale korst van het Baltische Schild gedurende drie opeenvolgende fasen van gebergtevorming, te weten:

- de Lopische orogenese [Lopian orogeny], 2900-2600 miljoen jaar (M.j.) geleden;
- de Svecofennische orogenese [Svecofennian orogeny], 2000-1750 M.j. geleden;
- de Gothische orogenese [Gothian orogeny], 1750-1500 M.j. geleden.

Deze drie orogenesen verdelen de Precambrijsche continentale korst van het Baltische Schild in drie hoofdeenheden. Dit zijn van oud naar jong (afb. 1):

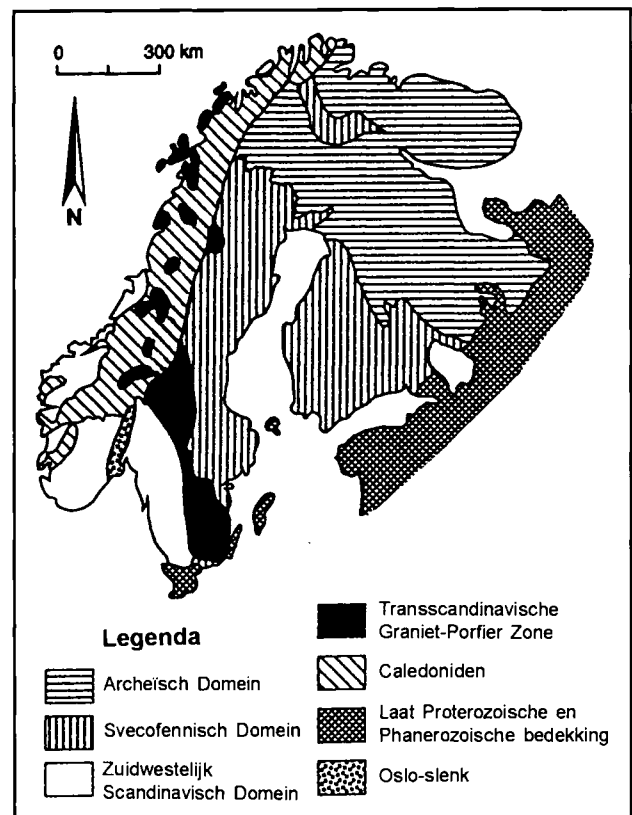
- het Archeïsche Domein, in het noordoosten (Noord-Finland, Kola-schiereiland);
- het Svecofennische Domein (SFD), in het midden (Midden-Zweden, Zuid-Finland);
- het Zuidwestelijk Scandinavische Domein (SWSD), in het zuidwesten (Zuidwest-Zweden, Zuid- en West-Noorwegen).

Deze drie domeinen worden nog weer verder onderverdeeld. Voor de Precambrijsche geologie van Noorwegen is echter vooral het laatste domein, het SWSD, van belang. De verdere onderverdeling van de eerste twee domeinen, met een bijbehorende verwarrende naamgeving, zal hier daarom achterwege worden gelaten. Slechts de hoofdlijnen zullen worden aangestipt. Ook wordt hier al vermeld dat het overgrote deel, zo niet het gehele SWSD, eveneens werd geïncorporeerd in de jongere Sveconorwegische

orogenese, 1250-900 M.j. geleden. Het westelijke deel van de Precambrijsche continentale korst van het Baltische Schild, inclusief delen van het SWSD, werd bovendien nog opgenomen in de Caledonische orogenese, 600-400 M.j. geleden.

De hoofdeenheden

Het **Archeïsche Domein** vertegenwoordigt dus de oudste continentale korst van het Baltische Schild. Het bestaat vooral uit laag- tot matig-hoogmetamorfe graniet-groensteenzones (bv. in Midden-Finland) en hoogmetamorfe gneisgebieden (bv. in Fins Lapland



Afb. 1. Geologische kaart van het Baltische Schild (vereenvoudigd naar Gaál & Gorbatshev, 1987).

en Kola-schiereiland). Plaatselijk komen echter ook nog oudere *tonalisch-trondhjemitische granitoïde gesteenten**) voor, die gevormd zijn tijdens de nog oudere Saamische orogenese (Saamian orogeny), 3100-2900 M.j. geleden. Er bestaan ook indirecte aanwijzingen voor een pre-3100 M.j. oude korst in de vorm van het voorkomen van 3400-3600 M.j. oude detritische zirkoonkorrels in Svecofennische metasedimenten in Zuid-Finland.

Het grootste deel van het **Svecofennische Domein** in het centrale deel van het Baltische Schild groeide in een betrekkelijk kort tijdsinterval (1920-1870 M.j. geleden) aan. Het betreft vooral afzettingen van vulkanische gesteenten (vooral in het noorden en zuiden) en van *metagrawacken* en *metapelieten* (vooral in het midden). De stratigrafische relaties zijn vaak moeilijk te achterhalen vanwege talrijke vroeg-, syn- en laat-Svecofennische granitische intrusies. Intrusies van gabbro/anorthosit en rapakivi-graniet (1700-1540 M.j. oud) behoren tot het post-orogeen magmatisme.

Het Svecofennische Domein wordt aan zijn westelijke rand begrensd door de 1780-1700 M.j. oude Transscandinavische Graniet-Porfier Zone. Deze circa 1600 km lange zone, die zich uitstrekt van Zuid-Zweden tot in het Archeïsche Domein in het noorden, wordt deels bedekt door overschoven Caledonische dekbladen. De gesteenten variëren van granitisch tot *kwarts-monzonitische* samenstelling; ze worden door talrijke *felsische* vulkanieten (de zogenaamde porfieren) begeleid.

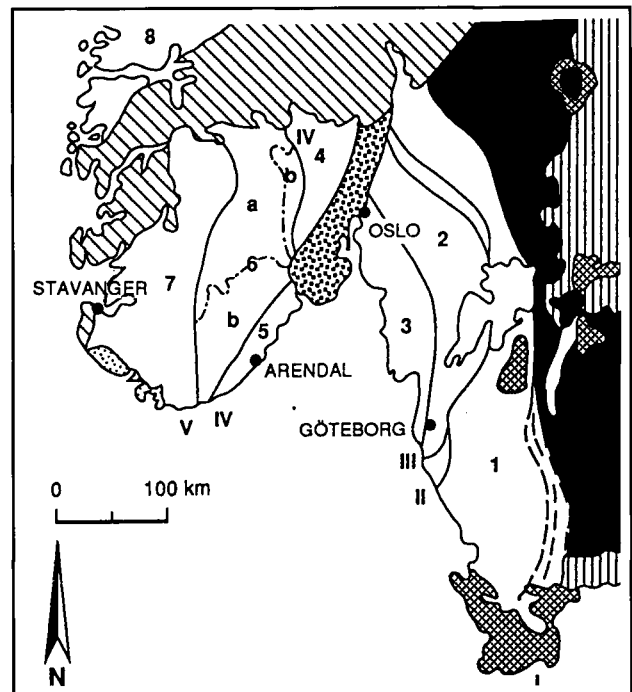
In het jongste deel van het Baltische Schild, het **Zuidwestelijk Scandinavische Domein** (SWSD) vond korstaangroei grotendeels plaats gedurende de Gothische periode, 1750-1500 M.j. geleden. Na de Gothische orogenese bleef aangroei van continentale korst beperkt tot uit de mantel afkomstige intrusies. Wel werd, zoals al gezegd, het (nagenoeg) gehele SWSD herbewerkt tijdens de Sveconorwegische orogenese. Het SWSD is daarmee een complex polymetamorfe produkt van oorspronkelijke vorming tijdens de Gothische orogenese en latere, vaak aanzienlijke deformatie en metamorfose gedurende de Sveconorwegische orogenese (en deels ook tijdens de Caledonische orogenese), begeleid door *pre-, syn- en post-orogeen intrusies*. Het SWSD in Zuid-Noorwegen zal hierna in meer detail worden besproken.

Tegenwoordig wordt algemeen aangenomen, dat het Baltische Schild tijdens de Svecofennische periode onderdeel vormde van een veel groter continent, dat ook de noordwestelijke delen van de Britse eilanden, Groenland en het Canadese Schild omvatte. Het Svecofennische Domein van het Baltische Schild wordt dan gecorreleerd met de Ketilidische zone in Groenland en met de Makkovic Provincie in Canada. Zo ook vindt de Transscandinavische Graniet-Porfier Zone zijn voortzetting in de Trans-Labrador-batholiet in Canada.








Tenslotte wordt het SWSD gecorreleerd met de Grenville Provincie in Canada op grond van vele overeenkomsten, zoals bijvoorbeeld de grote anorthosit-intrusies. In de Sveconorwegische periode wordt dit grote schild weer opgebroken; paleomagnetische metingen tonen aan, dat tussen 1200 en 1000 M.j. geleden het Baltische Schild ongeveer 90° "met de klok mee" is gedraaid ten opzichte van het Canadese Schild. Hierdoor staan de overheersende noord-zuid richtingen in het SWSD nu ongeveer loodrecht op die van de Grenville Provincie in Canada.

Een hoge-druk granulietfaciës-metamorfose van rond 900 M.j. geleden in meta-anorthosieten en aanverwante gesteenten uit het gebied rond Bergen en uit Jotunheimen wordt gekoppeld aan een botsing van het Baltische en Canadese Schild. Deze metamorfose manifesteert zich in de meta-anorthosieten door de vervanging van de oorspronkelijk vaak grofkorrelige orthopyroxen, in een reactie met plagioklaas, door clinopyroxen met een rand van granaat. Van deze circa 900 M.j. oude metamorfose zijn geen sporen terug gevonden in de Precambriëse ondergrond van Zuid-Noorwegen.

Precambriëse schubben binnen het Caledonische orogeen in West-Noorwegen, zoals het westelijke gneisgebied (8 in afb. 2), ondergingen bovendien nog een hoge- tot zeer hoge-druk eklogietfaciës-metamorfose.



Legenda

	Svecofennisch Domein		Rogaland anorthosit-complex
	Transscandinavische Graniet-Porfier Zone		Caledoniden
	Zuidwestelijk Scandinavisch Domein		Laat-Proterozoïsche en Phanerozoïsche bedekking
			Oslo-slenk

Afb. 2. Kaart van het Zuidwestelijk Scandinavische Domein (naar Verschure, 1985).

Korstsegmenten: 1 - Oostelijk segment; 2 - Midden-segment; 3 - Westelijk segment; 4 - Kongsberg sector; 5 - Bamble sector; 6 - Telemark sector. a) Telemark supracrustalen, b) Telemark gneisgebied; 7 - Rogaland-Vest Agder sector; 8 - Westelijk gneisgebied. Belangrijke tektonische zones: I - Protogien zone; II - Myloniet zone; III - Dalsland grensbreuk; IV - Kristiansand-Bang schuifzone; V - Mandal-Ustaoset lijn.

Na de Sveconorwegische orogenese onderging de Precambriëse ondergrond van Zuid-Scandinavië opheffing en erosie tot een schiervlakte. Op deze schiervlakte vond daarna afzetting plaats van oud-Paleozoïsche sedimenten (Cambrium tot Siluur). Resten van deze sedimentbedekking zijn nu nog terug te vinden langs de oost- en zuidrand van het Baltische Schild, in enkele geïsoleerde gebieden in Zweden, als een autochtone bedekking onder de overschoven Caledonische dekbladen en in de Oslo-slenk.

Het Zuidwestelijk Scandinavische Domein (SWSD)

Het SWSD in Zuid-Noorwegen en Zuidwest-Zweden wordt gewoonlijk verdeeld in een aantal ruwweg noord-zuid verlopende segmenten of sectoren, die van elkaar zijn gescheiden door breuk- of schuifzones (zie afb. 2). Ten oosten van de Oslo-slenk zijn dit van oost naar west:

- 1 - het oostelijke segment;
- 2 - het midden-segment;
- 3 - het westelijke segment.

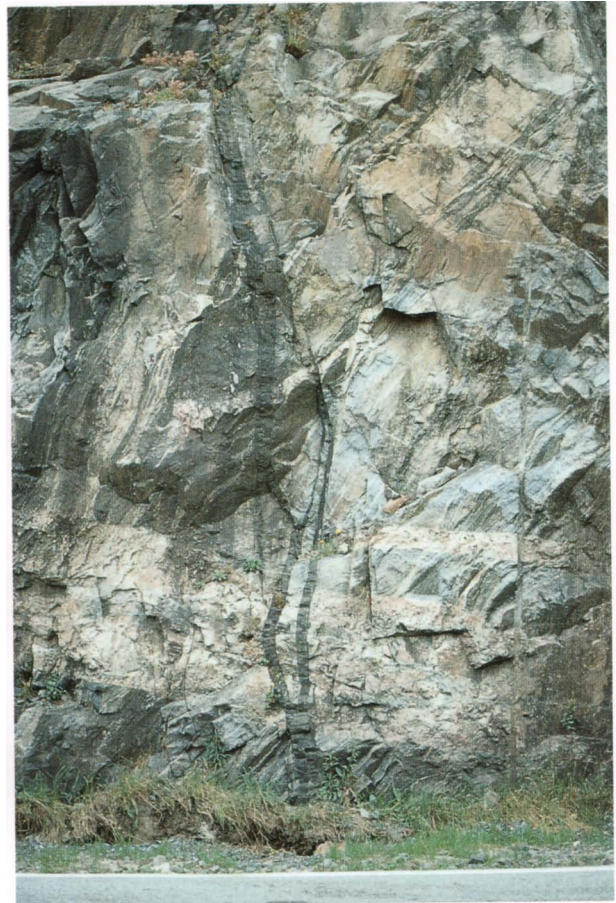
*) De cursieve termen worden in de "Toelichting" nader verklaard.



A



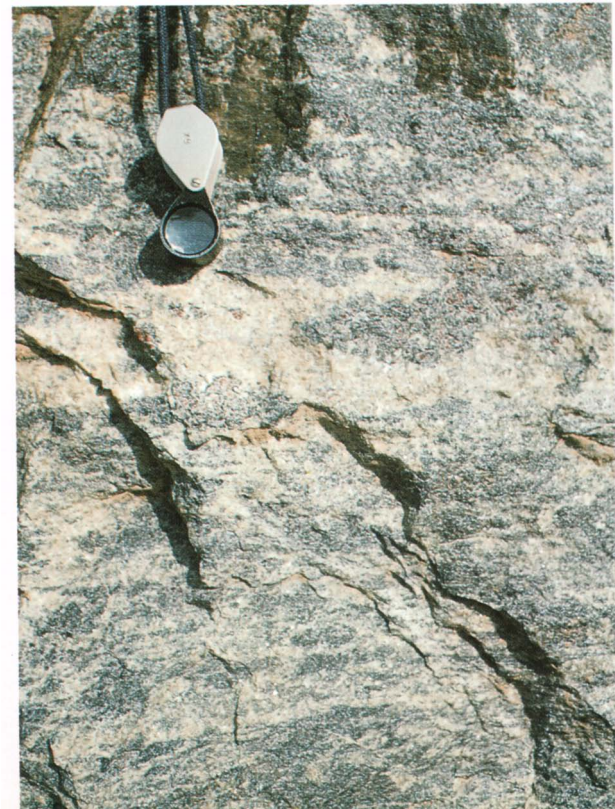
B



C



D



F



E

Bijschriften bij de kleurenfoto's, I

- A. Coronitische gabbro bij Messel, 8 km ten westen van Arendal. Donkere reactieranden van orthopyroxeen en hoornblende-spinel-vergroeiing omgeven primaire olivijn waar deze in contact was met primaire plagioklaas.
- B. Scapolitisatie en amfibolitatie van gabbro bij Søndeled, langs een netwerk van barsten. In de lichtere zones is de plagioklaas vervangen door scapoliet, en de olivijn en pyroxeen door hoornblende.
- C. Tot enige decimeters brede, verticale dolerietgangen doorsnijden hoog-gradige charnockitische gneizen en discordante, nagenoeg horizontale pegmatietaders; 2 km ten zuiden van Arendal.
- D. Migmatiet bij Gravatr, 27 km ten noorden van Tonstad. Ongerichte, leucocrate aders en lenzen met een granitische samenstelling in donkere biotietgneizen en amfiboliet.
- E. Migmatiet: grofkorrelige kwarts-veldspaatband met biotietrijke randen in fijnerkorrelige, geplooidde granaat-biotietgneis; breedte 20 cm. Dezelfde herkomst als D.
- F. Migmatitische osumilietgneis bij Vikesdal, 2 km noordoost van Vikeså, Rogaland. Vegen en aggregaten van paars-blauwe osumiliet, soms met een randje van donkere orthopyroxeen en plaatselijk met relicten van granaat.

Kleurenfoto's: C. Majier, Utrecht.

Deze segmenten zijn van de oostelijk gelegen Transscandinavische Graniet-Porfier Zone (TGPZ) en van elkaar gescheiden door tektonische zones, genaamd:

- I - de Protogien zone (tussen TGPZ en segment 1);
- II - de myloniet zone (tussen de segmenten 1 en 2);
- III - de Dalsland grensbreuk (tussen de segmenten 2 en 3).

Ten westen van Oslo-slenk worden onderscheiden:

- 4 - de Kongsberg sector;
- 5 - de Bamble sector;
- 6 - de Telemark sector;
- 7 - de Rogaland-Vest Agder sector;
- 8 - het westelijk gneisgebied, verder noord (binnen het Caledonische orogeen).

Deze sectoren zijn van elkaar gescheiden door de tektonische zones:

- IV - de Kristiansand-Bang schuifzone (tussen de sectoren 4/5 en 6);
- V - de Mandal-Ustaaset lijn (tussen de sectoren 6 en 7).

In de onderstaande detaillering zullen vooral de sectoren 4 tot en met 7, ten westen van de Oslo-slenk, worden besproken.

Al deze gebieden vertonen een typische Precambrië lithologie; d.w.z. een sterk overheersen van kwarts-veldspaatgneizen (metamorfe gneizen van granitische tot tonalitische samenstelling) met ondergeschikte hoeveelheden metamorfe basische gesteenten (nu meestal amfibolieten). Nog als zodanig herkenbare *metasedimenten* zijn in het algemeen schaars. Deze schaarste geldt met name voor carbonaat-gesteenten (marmers en kalksilicaat-gesteenten). Dit maakt dergelijke Precambrië gneisgebieden extra gevoelig voor aantasting door zure regen.

De Bamble sector

De Bamble sector is een circa 30 km brede en bijna 150 km lange zone langs het Skagerrak. De Bamble sector (5 in afb. 2) is van de aangrenzende Telemark sector gescheiden door de Porsgrunn-Kristiansand breukzone (PKF), die ook wel "great breccia" of "friction breccia" wordt genoemd. Het is in feite een latere activering van de Kristiansand-Bang schuifzone (IV in afb. 2). Aan de noordzijde wordt de Bamble sector bedekt door Cambro-Ordovicische sedimenten uit de Oslo-slenk.

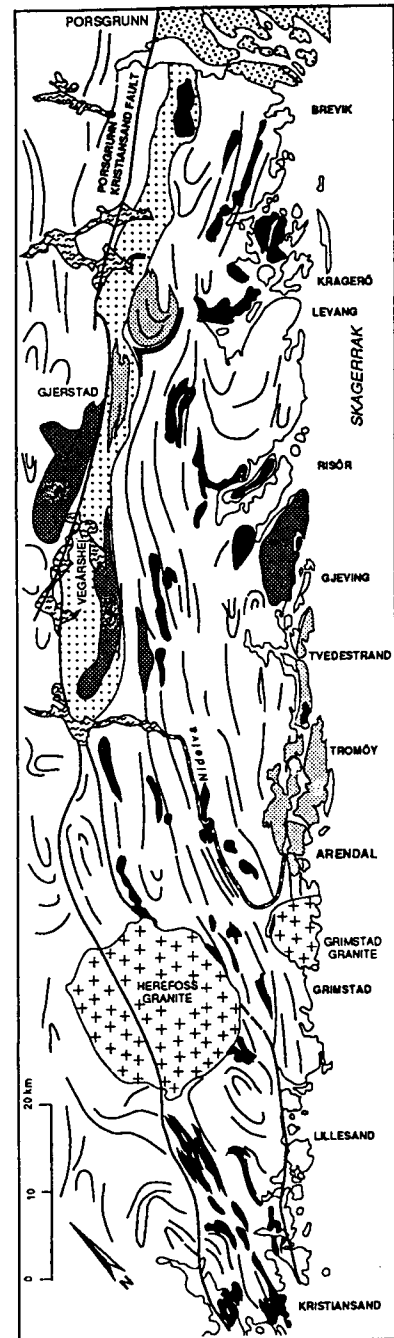
De gesteenten in de Bamble sector onderscheiden zich van die uit de westelijk gelegen Telemark sector door een veel grotere lithologische variatie. Met name het relatief veelvuldig voorkomen van metasedimenten is opvallend.








De Herefoss- en de Grimstad-graniet zijn twee opvallende post-tektonische granietplutonen in het zuiden van de Bamble sector (afb. 3).

Metamorfose

De graad van metamorfose is hoog in de gehele Bamble sector: amfibolietfaciës, plaatselijk (bijvoorbeeld in het gebied Arendal-Tvedestrand, langs het Skagerrak; ten westen van Kragerø) toenemend tot granulietfaciës. Granulietfaciës-gesteenten worden gekenmerkt door het voorkomen van orthopyroxeen, zowel in

basische gesteenten (opx-vorming vooral ten koste van hoornblende) als in zure granitische gesteenten (vorming van opx ten koste van vooral biotiet). De laatste decennia heeft een uitvoerige discussie plaats gehad over de relatieve sterkte van de Gothische en de Sveconorwegische metamorfose: is de eerste hoog-gradig



	mylonitische gesteenten
	alkali-rijke ogengneis
	meer
	Phanerozoïsche bedekking
	Gothisch/Sveconorwegische gneizen
	Charnokitisch/enderbitische gneizen
	Hyperiet (coronitische gabbro's, metagabbro's en amfibolieten)

Afb. 3. Geologische overzichtskaart van de Bamble sector (vereenvoudigd naar Starmer 1990)



Afb. 4. Scheve gelaagdheid in hoog-gradige Gothische kwartsieten bij Tellaugstjern, 20 km ten noordwesten van Arendal.

Afb. 5. Fossiele krimp-scheuren in hoog-gradige Gothische meta-arkose bij Syråsen, 20 km ten noordwesten van Arendal.



Afb. 6. Nodulaire gneis: uitverweerde knolletjes van fibroliet met kwarts in een granitische matrix van mikroklien, plagioklaas, kwarts, biotiet en muscoviet bij Olsbu, circa 20 km noordnoordwest van Arendal.

deformatie zijn hierin soms nog oorspronkelijke sedimentaire structuren te herkennen, zoals scheve gelaagdheid (afb. 4), golfríbels en krimp-scheuren (afb. 5); ze worden geïnterpreteerd als periodiek droog vallende wind- en/of rivierafzettingen.

Een ander uit de Bamble sector bekend gesteente is de zogenaamde nodulaire of "knollige" gneis ("nodular gneiss") (afb. 6). Deze nodulaire gneis bevat regelmatig verspreide, 1 tot 3 cm grote knolletjes of lensjes van kwarts en fibroliet (= sillimaniet) in een matrix van grofweg granitische samenstelling (kwarts, mikroklien, plagioklaas, biotiet en muscoviet). Zeer verschillende magmatische, metasomatische of tektonische modellen zijn bedacht om deze nodulaire gneizen te verklaren.

De vaste associatie met andere metasedimenten en het veronderstelde afzettingsmilieu van de kwartsitische gesteenten maken het waarschijnlijk, dat deze gesteenten oorspronkelijk zijn afgezet als arkosische zanden met lensjes of balletjes van kwarts en kleimineralen, vergelijkbaar met het fossiele afzettingsmilieu van de Onder- en Midden-Bontzandsteen in Duitsland en met het recente in sommige woestijngebieden.

Eveneens zeldzaam, maar in de Bamble sector relatief veelvuldig voorkomend, zijn cordieriet-orthoamfibool-gesteenten. Ze bevatten verder variabele hoeveelheden kwarts en biotiet, soms ook granaat. Lokaal komen kleine hoeveelheden kyaniet, andalusiet en/of stauroliet relictisch voor, in kwarts-vrije gesteenten ook wel korund. Ook voor deze magnesium- en aluminium-rijke, maar calcium- en natrium-arme gesteenten zijn verschillende verklaringen gegeven. Tegenwoordig neigt men ertoe althans een deel van de cordieriet-orthoamfibool-gesteenten te verklaren als de metamorfe equivalenten van bepaalde evaporieten, d.w.z. van magnesium-aluminium-rijke zoutafzettingen, zoals die nu nog wel worden gevonden in sommige woestijngebieden.

Evenzo worden de plaatselijk in de Bamble sector gevonden toermalijn-rijke gneizen en toermalinietlaagjes (= laagjes die nagenoeg geheel uit toermalijn bestaan), die vaak geassocieerd

en de tweede laag-gradig, of omgekeerd? Nu komen meer en meer gegevens beschikbaar die aannemelijk maken dat beide, de Gothische zowel als de Sveconorwegische metamorfose, een hoog-gradig karakter hadden. De metamorfe condities van de granulietfaciës rond Arendal worden geschat op een temperatuur van circa 840°C bij een druk van circa 7,7 kb (= ± 7700 atm; komt overeen met een diepte van 27 km).

Lithologie

Carbonaatgesteenten zijn zeldzaam, maar komen plaatselijk voor bij Kristiansand en vooral rond Arendal. Hier vormen marmerlenzen onderdeel van skarnseries; ze zijn vergezeld door kalksilicaatgesteente (vooral bestaande uit diopsied/hedenbergiet en andradiet/grossulaar, al of niet vergezeld door hoornblende, epidoot, vesuviaan en/of calcium-rijke scapoliet) en massieve magnetietlagen. Deze laatste vertegenwoordigen waarschijnlijk metamorfe sedimentaire ijzerertsafzettingen.

Kwartzieten en meta-arkoses komen veelvuldiger voor, lokaal met ingeschakelde metaconglomeraten. Ondanks twee fasen van hoog-gradige metamorfose en meerdere fasen van intense

voor-komen met kwartsitische metasedimenten en nodulaire sillimanietgneizen, beschouwd als gemetamorfoseerde infiltraties of laagjes van boriumzout-afzettingen.

Metapelieten komen in de Bamble sector voor als granaat-biotiet-sillimanietgneizen, in of nabij het granulietfaciës-gebied ook als granaat-biotiet-cordieriet-sillimanietgneizen.

Magmatisme

Ook intrusieve gabbro's, hier vaak hyperiet genoemd, komen in de Bamble sector veelvuldiger voor dan in de meer westelijk gelegen Telemark- en Rogaland-Vest Agder sectoren. Deze gabbro's vertonen een coronitisch uiterlijk (zie kleurenafb. A). Deze corona's zijn in feite reactieranden om aanwezige olivijn-korrels, waar deze in contact waren met plagioklaas. Micro-scoopisch onderzoek toont aan, dat deze corona's gewoonlijk bestaan uit een binnenschil van orthopyroxen en een buitenschil van hoornblende, vergroeid met groene spinel. De corona's zijn dan het gevolg van een - waarschijnlijk nagenoeg *isochemische - reactie* (met uitzondering van water) als: olivijn + plagioklaas (+ water) = orthopyroxen + hoornblende + spinel.

In vooral ijzer-rijke (delen van) gabbro's wordt (een deel van) de hoornblende later vaak vervangen door granaat.

Op vergelijkbare wijze komen reactieranden voor van biotiet en hoornblende rondom de *opake fasen* ilmeniet en titanomagnetiet. In enkele monsters zijn ook reactierandjes van zirkoon (= zirkoniumsilicaat, $ZrSiO_4$) waargenomen om accessorisch voorkomende, oorspronkelijke baddeleyiet (= zirconiumoxide, ZrO_2) in sterk silicium-*onderverzadigde* gabbro's. Al deze reactieranden worden verklaard door verandering van druk- en/of temperatuur-condities na het uitkristalliseren van het gabbromagma. Vele gabbro's in de Bamble sector worden ten dele gescapolitiseerd (kleurenafb. B) en/of geamfibolitiseerd. Hierbij wordt (een deel van) de plagioklaas vervangen door (natrium- en chloor-rijke) scapoliet en de donkere bestanddelen olivijn en pyroxen door hoornblende.

Discordante intermediaire of basische gangen doorsnijden de gesteenten van de Bamble sector op vele plaatsen (zie kleurenafb. C). Sommige van deze ganggesteenten zijn van Permische ouderdom en te koppelen aan het Permische magmatisme in de Oslo-slenk, zoals rhombenprofiergangen, die zuidelijk tot bij Grimstad worden aangetroffen.

Eveneens verticale noordoost-zuidwest georiënteerde dolerietgangen zijn waarschijnlijk ook van Permische ouderdom. Sommige hiervan bevatten koolwaterstoffen, zoals een circa 5 m brede gang 1 km ten oosten van Tvedestrand. Dit gesteente vertoont tot centimeters grote vochtige plekken bij doorslaan, waarbij een penetrante petroleumvlucht vrij komt.

Maar ook oudere, waarschijnlijk laat-Proterozoïsche gangen met andere samenstelling en andere oriëntatie komen plaatselijk voor.

Mijnbouw

In het verleden is de Bamble sector een bekend mijnbouwgebied geweest. De Vikingen zouden er al ijzerertsen hebben gewonnen. IJzererts komt voor in twee vormen.

- Ten eerste als de al genoemde skarn-ijzerertsen, die in een tiental mijnen in en rond Arendal gedurende bijna 300 jaar werden gewonnen. De laatste van deze mijnen is in de jaren '60 gesloten.
- Magnetietertsen werden ook gewonnen uit gemineraliseerde aders, geassocieerd met magnetietgranieten, zoals bij Holt, 5 km ten westen van Tvedestrand. De resten van oude smeltovens bij Nesgrenda tonen aan dat deze ertsen ter plaatse werden gesmolten.

Aan gabbro's gebonden koper-nikkelertsen, hoofzakelijk bestaande uit nikkel-houdende pyrrhotien en chalcopyriet, werden op meerdere plaatsen gewonnen, zoals bij Messel, 8 km ten

westen van Arendal en bij Skyttemyr, 12 km ten noordwesten van Arendal. Ook hier werden de gewonnen ertsen soms ter plekke gesmolten.

Ook apatiet is op enkele plaatsen gewonnen uit met gabbro's geassocieerde apatiet-mineralisaties. De belangrijkste hiervan zijn de mijnen van Ødegården, 14 km ten noordoosten van Kragerø, ontdekt in 1872. Tussen 1872 en 1918 werd hier in totaal 150.000 ton fosfaat gewonnen uit tot 4 m dikke apatiet-rijke aders in amfiboliet en metagabbro.

Zilverhoudende lood-zinkertsen werden gemijnd bij Ettetdal, 5 km ten zuidwesten van Vegårsheia.

Pegmatieten, tenslotte, werden op vele plaatsen ontgonnen voor de winning van veldspaat, later ook voor die van (zuivere) kwarts. De talrijke groeven en storthopen hiervan zijn nog steeds een gewilde plaats voor mineraalverzamelaars.

Naast gewone granitische pegmatieten komen plaatselijk ook zonnesteenpegmatieten voor, zoals bij Bjordam, 8 km ten noorden van Kragerø. Deze bevatten grote roze albiet- of albiet-oligoklaaskristallen, die goudkleurig oplichten door de talrijke kleine, evenwijdig georiënteerde, ontmengde hematietblaadjes.

De Kongsberg sector

De lithologie en de metamorfe geschiedenis van de Kongsberg sector (4 in afb. 2) lijkt sterk op die van de Bamble sector. De Kongsberg sector wordt dan ook algemeen beschouwd als de directe voortzetting van de Bamble sector; beide zijn nu van elkaar gescheiden door de jongere Oslo-slenk.

Bekend is de Kongsberg sector door de zilvermijnbouw rond de plaats Kongsberg. In 1623 werden hier zilverertsen ontdekt, eind jaren '50 van deze eeuw werd de zilvermijnbouw gestaakt. In de tussentijd werd meer dan 1300 ton zilver gewonnen. Een bezoek aan het Mijnbouwmuseum in Kongsberg, met zijn zeer fraaie collectie gedegen zilver, is aan te raden.

Kobaltertsen werden ontgonnen bij Modum, ten westen van Oslo. Uit een totale productie van 8-10 miljoen ton erts werd ongeveer 1000 ton kobalt gewonnen. Dit werd gebruikt voor de productie van kobalt-blauw, een activiteit die duurde van 1772 tot 1895.

De Telemark sector

Zoals al gezegd is de lithologische variatie in de Telemark sector aanzienlijk geringer dan in de Bamble en Kongsberg sectoren. In de Telemark sector kan een tweedeling worden gemaakt op grond van lithologie en graad van metamorfose.

De Telemark gneizen

Het zuidelijke deel van de Telemark sector bestaat, evenals het oostelijke deel van de aangrenzende Rogaland-Vest Agder sector, uit een monotone afwisseling van gebande gneizen (granitische tot tonalitische gneizen met inschakelingen van amfibolieten) en meer massieve granitische gneizen. De graad van metamorfose is hier amfibolietfaciës. *Migmatieten* komen algemeen voor.

Bij mineraalverzamelaars zeer bekend zijn de talrijke granitische pegmatieten in het gebied Evje-Iveland. Talrijke ongewone pegmatietmineralen kunnen hier worden gevonden, waaronder het zeldzame scandium-mineraal thortveitiet. Overigens vragen groeve-eigenaren hier gewoonlijk een zekere vergoeding voor het zoeken in groeves of storthopen.

De Telemark supracrustalen

Het noordelijke deel van de Telemark sector wordt ingenomen door de laag- tot matig-hoog metamorfe "Telemark *supracrustalen*".

Afb. 7. Meta-conglomeraat bij Seljord. Kwartsrolstenen zijn door sterke deformatie afgeplat en uitgetrokken.

Afb. 8. "*Telemarkitis enigmaticus*", een verondersteld Precambriësch fossiel, maar het lijkt waarschijnlijker dat het vulkanische lithofyzen zijn.

Deze worden in drie lithostratigrafische eenheden verdeeld. Dit zijn, van boven naar beneden:

III - de Bandak groep,

II - de Seljord groep,

I - de Rjukan groep.

Iedere groep heeft een dikte van meer dan 2000 m; ze zijn van elkaar gescheiden door hoekdiscordanties. De Rjukan en Bandak groep lijken op elkaar qua lithologie: metamorfe rhyolitische en bazaltische lava's en tuffen, vaak nog met goed bewaarde vulkanische structuren. De Seljord groep daarentegen, bestaat uit conglomeraten (zie afb. 7) en kwartsieten met sedimentaire structuren die duiden op afzetting in ondiep water. De ouderdom van deze supracrustalen is helaas nog niet bevredigend vastgesteld.

Bepaalde centimeter-grote, concentrische structuren uit de Telemark supracrustalen zijn wel verondersteld Precambriësch fossielen te vertegenwoordigen, het zogenaamde "*Telemarkitis enigmaticus*" (afb. 8). Een lithofyze-achtige vulkanische structuur lijkt als verklaring echter waarschijnlijker.

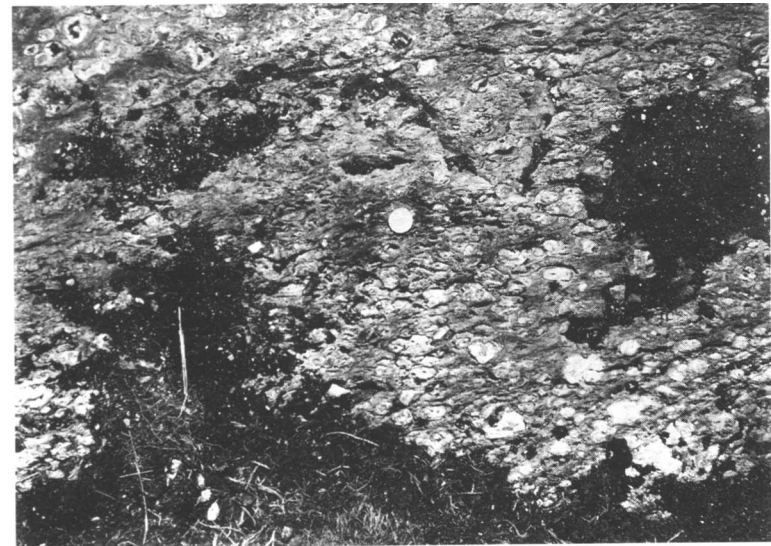
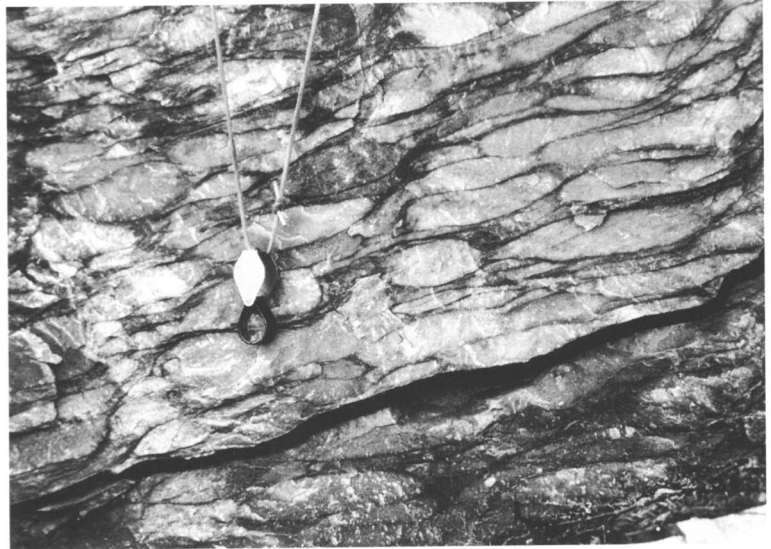
Het Fen-gebied

Een speciale plaats in het Precambrium van Zuid-Noorwegen in het algemeen en van de Telemark sector in het bijzonder neemt het circa 600 M.j. oude, *peralkalisch*-carbonatitische ringcomplex van het Fen-gebied in. In dit min of meer cirkelvormige complex, met een diameter van ongeveer 2 km, 12 km ten westen van de Oslo-slenk, komt een groot aantal ongewone gesteentetypen voor. Zie afb. 8 - 1 op pag. 32. Tot de belangrijkste horen:

- carbonatieten: magmatische carbonaatgesteenten. Onderscheiden worden calcië-carbonatiet (søviet), dolomiet-carbonatiet (rauhaugiet) en hematiet-rijke carbonatiet (rødbergiet);
- onderverzadigde peralkalische silicaatgesteenten van de urtiet-ijoliet-melteigiet serie; hoofdbestanddelen hierin zijn nefelien en aegirien; nevenbestanddelen zijn biotiet, melaniet (donkere, titaan-rijke granaat), apatiet, carbonaat en cancriniet;
- damtjerniet, een biotiet-rijke alkali-lamprofier, met kimberlitische affiniteit; deze bevat phlogopiet, magnesium-rijke olivijn, ortho- en clino-pyroxeen, magnetiet, soms ook barkevikitische hoornblende in een vaak carbonaat-rijke matrix. Xenolieten van nevenengesteente-gneizen en van alle typen Fen-gesteenten komen veelvuldig voor, soms zoveel dat van een damtjerniet-breccie kan worden gesproken;
- in combinatie met een zekere brecciëring zijn de omgevende hoornblende-biotiet-gneizen in een 50 tot 150 m brede zone om het intrusiefcomplex min of meer sterk omgezet door alkali-metasomatose (zogenaamde fenitisatie) tot kwarts-vrije alkali-veldspaat-aegiriengesteenten (feniet). Een latere fase van waterige alkali-metasomatose vormt blauwe arfvedsoniet in gesteenten zowel binnen als buiten het Fen-complex. Ook de effecten van een latere fase van carbonatisatie reiken tot buiten het feniet-aureool.
- Tussen deze hoofdgesteenten bestaan vele overgangstypen, ieder met een eigen gesteentenaam. Voor de gesteentenomenclatuur is het Fen-gebied uitermate vruchtbaar gebleken.

Mijnbouw

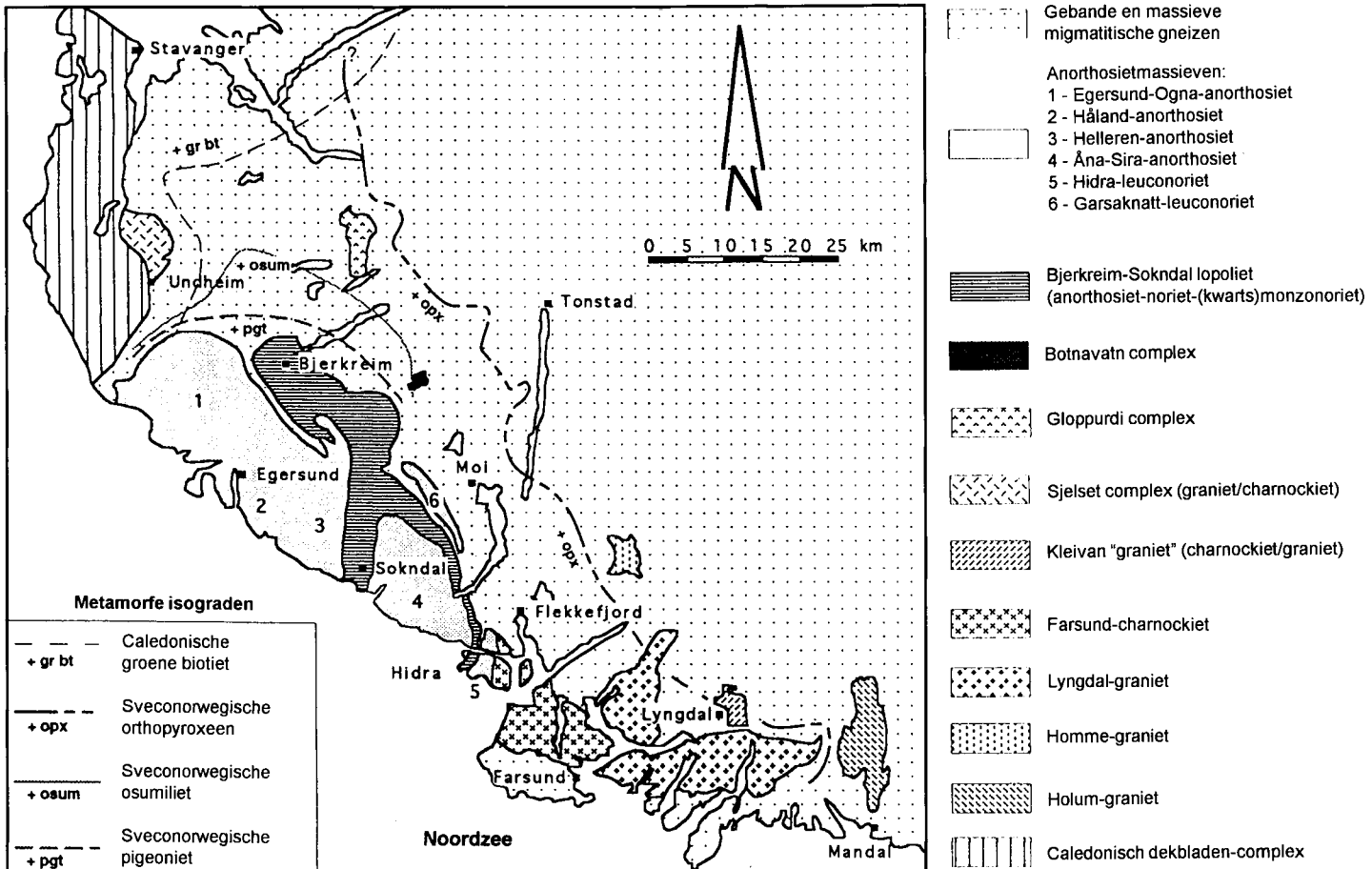
Tot de belangrijkste mijnbouwactiviteiten in de Telemark sector kunnen worden gerekend:



- de al genoemde granitische pegmatieten in het gebied Evje-lveland; deze zijn nog steeds aantrekkelijk voor het vinden van ongewone pegmatietmineralen;
- de Flåt-mijn, circa 5 km ten noordoosten van Evje, is vroeger een belangrijke nikkel-producent geweest; deze nikkel-ertsen zijn gebonden aan (geamfibolitiseerde) gabbro;
- gebande magnetiet-hematiet-apatietertsen, ook aan gabbro gerelateerd, werden gewonnen bij Søftestad bij Nissedal;
- ijzererts werd ook eeuwenlang (van 1652 tot 1927) gewonnen uit hematietaders in omgezette ferro-dolomitische carbonatiet (rødbergiet) uit het peralkalisch-carbonatitische Fen-complex. In totaal werd hier ongeveer 1 miljoen ton erts gedolven; het werd in kleine, met houtskool gestookte hoogovens in het nabijgelegen Ulefoss gesmolten;
- in de jaren '50 en '60 werd in het Fen-gebied ook ruim 1,5 miljoen ton carbonatiet gemijnd voor het hierin voorkomende niobium-houdende pyrochloor-mineraal koppiet. Ongeveer 4000 ton koppiet-concentraat werd geproduceerd.

De Rogaland - Vest Agder sector

Het Rogaland intrusief complex is het meest in het oog springende element in de Rogaland-Vest Agder sector (afb. 9). Dit intrusief-complex bestaat uit een drietal grote anorthosietmassieven (Egersund-Ogna; Håland-Helleren; Åna-Sira), een gelaagde lopoliet (Bjerkreim-Sokndal), twee kleinere leuconoriet-lichamen (Hidra en Garsaknatt) en een aantal geassocieerde intrusief-



Afb. 9. Geologische schetskaart van Rogaland-Vest Agder met de belangrijkste intrusieflichamen

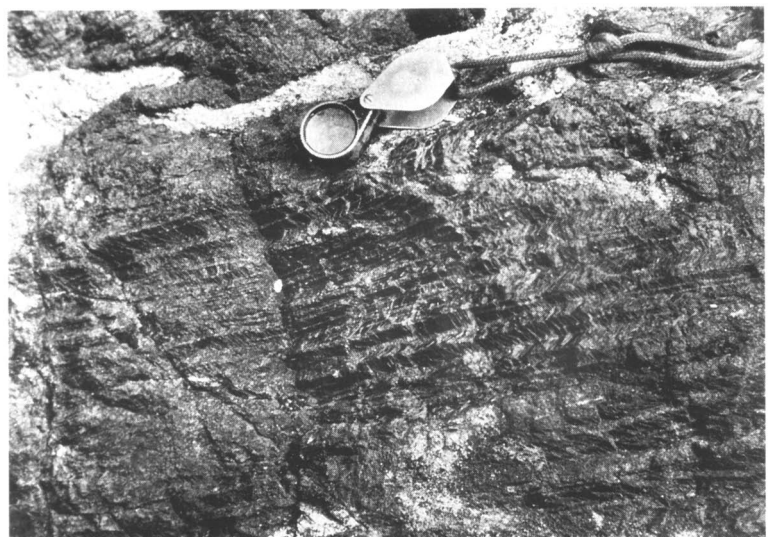
lichamen van granitische samenstelling (Farsund-charnockiet; Lyngdal-graniet; gezoneerde Kleivan-charnockiet/graniet; Sjelset-graniet en -charnockiet). Al deze intrusies komen voor in een aureool van granulietfaciës-gneizen en -migmatieten.

Anorthosieten

De mineralogische samenstelling van de anorthosietmassieven is betrekkelijk eenvoudig: plagioklaas, orthopyroxen en ilmeniet, in enigszins wisselende hoeveelheden, waardoor de samenstellingen van de gesteenten variëren van anorthosiet (meer dan 90% plagioklaas) tot leuconoriet (met 70 - 90% plagioklaas, 10 - 30% orthopyroxen en/of ilmeniet).

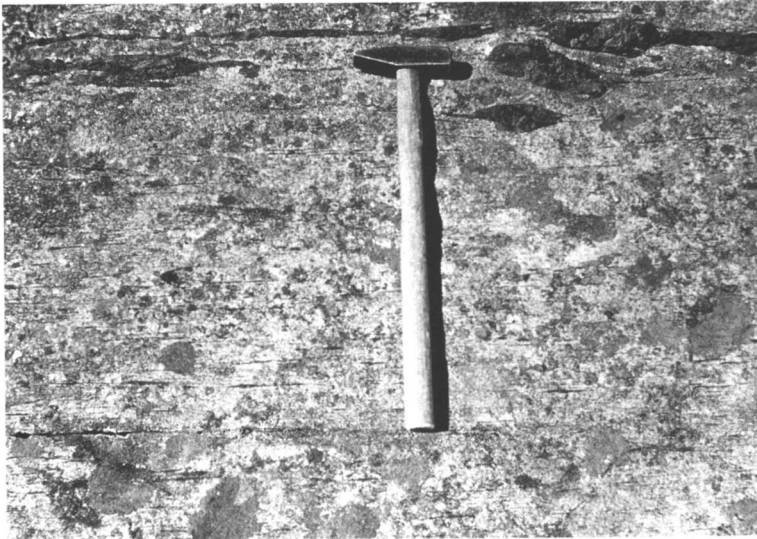
Plaatselijk komen tot zeer grote orthopyroxenkristallen voor (groter dan 1 m!). Deze reuzenorthopyroxen vertoont vaak dunne, witte ontmengingslamellen van anorthiet. Dit is een aanwijzing voor een oorspronkelijk calcium- en aluminium-rijke samenstelling van de orthopyroxen, hetgeen duidt op een vorming bij hoge druk (10 tot 12 kb), dus op grote diepte. Het *anorthietgehalte* van de plagioklaas is gewoonlijk rond de 45%. Labradoriserende plagioklaas wordt plaatselijk gevonden waar het anorthietgehalte oploopt tot rond de 50%. Zie kleurenafb. CC. De anorthosieten vertonen meestal een *granoblastische* textuur als gevolg van deformatie, granulatie en rekristallisatie. De grote orthopyroxenkristallen laten dan vaak een fraaie geknikte [kinked] structuur zien

Afb. 10. Groot geknikt ["kinked"] orthopyroxenkristal bij Topdal, 20 km ten noordwesten van Egersund.



(vergelijk zig-zagplooien) (afb. 10). Alleen de Hydra leuconoriet vertoont nog een ongedeformeerde, duidelijk magmatische, *subofitische* textuur.

In een 1 tot 3 km brede randzone van de Egersund-Ogna anorthosiet, met *leuconoritische* samenstelling en met plagioklaas met een anorthiet-gehalte tot 70%, krijgt de anorthosiet een opvallend gneisachtig uiterlijk als gevolg van intense deformatie en rekristallisatie. Hierbij worden orthopyroxenen gedeeltelijk gegranuleerd en uitgesmeerd in tot meters lange, fijnkorrelige bandjes (zie afb. 11). Deze structurele fenomenen worden verklaard door het uiteindelijk omhoog komen van de anorthosietmassieven in vaste toestand of als hete kristalbrei ["crystal mush"]. De drijvende kracht achter dit (grotendeels) vaste omhoogstijgen ligt in de betrekkelijk geringe dichtheid van de anorthosieten.



Afb. 11. Uitgesmeerde orthopyroxeenkristallen in de sterk gedeformeerde en gegranuleerde randzone van de Egersund-Ogna-anorthosiet, circa 10 km ten noordoosten van Egersund.

charnockiet bijvoorbeeld (zie afb. 9) met zeer ijzer-rijke pyroxeen en olivijn en hoge zirkoon- en apatiet-gehalten, lijkt daarmee sterk op de kwarts-monzonieten uit de top van de lopoliet van Bjerkreim-Sokndal.

De metamorfe omhulling

De metamorfe omhulling van het Egersund Anorthosiet Complex is hooggradig en duidelijk polymetamorfe. Migmatieten komen op vele plaatsen voor (zie kleurenafb. D en E). Granulietfaciës-gesteenten komen voor in een breed aureool om het intrusief complex, van ruwweg Stavanger in het noordwesten tot Lyngdal in het zuidoosten. Deze granulietfaciës-metamorfose M2 is gesuperponeerd op een oudere, regionaal voorkomende amfibolietfaciës-metamorfose M1. De

granulietfaciës-metamorfose vertoont een toename in intensiteit in de richting van het intrusief complex, zoals blijkt uit een aantal min of meer concentrisch om het intrusief complex verlopende *metamorfe isograden* (zie afb. 9). De granulietfaciës-metamorfose wordt daarom gedacht te zijn ver-oorzaakt door de intrusie van dit magmatische complex, als een vorm van diepe, grootschalige contactmetamorfose. De metamorfe condities van de oudere M1-metamorfose worden geschat op temperaturen van rond 700°C bij een druk van circa 7 kb. De metamorfe condities veranderen tijdens de M2-granulietfaciës-metamorfose van ca. 750°C bij de orthopyroxeen-in isograde tot circa 1000°C nabij het contact met het intrusief complex, beide bij een relatief lage druk van ongeveer 4 kb.

Lithologie

De metamorfe gesteenten in de Rogaland-Vest Agder sector bestaan weer overwegend uit meer massieve of meer gebande granitisch/tonalitische gneizen met inschakelingen van amfiboliet. Naar het westen, in Rogaland, nemen inschakelingen van meta-sedimenten toe. Deze hebben vooral metapelitische of kalkig-kwartsitische samenstellingen.

De granitisch/tonalitische gneizen gaan binnen het granulietfaciës-aureool over in *charnockitisch / enderbitische* gneizen door de vervanging van biotiet door orthopyroxeen. Zeer dicht bij het contact met het intrusief complex werd pigeoniet gevormd in plaats van orthopyroxeen (pigeoniet-in isograde in afb. 9). Deze pigeoniet is echter tijdens de latere, zeer langzame afkoeling



De Bjerkreim-Sokndal-lopoliet

De *lopoliet* van Bjerkreim-Sokndal is een mooi voorbeeld van een schotelvormige intrusie. Echter, de oorspronkelijk min of meer horizontale gelaagdheid staat nu overwegend steil als gevolg van een bijna isoclinale plooiing van deze circa 6 km dikke lopoliet, als een dubbel geklapt dikke pannekoek.

De samenstelling van de gesteenten varieert van anorthosiet, leuconoriet en soms noriet aan de basis, tot monzoniet en kwartsmonzoniet aan de top, vooral als gevolg van *gefractioneerde kristallisatie* [de zogenaamde "cryptic layering"].

Nog twee andere vormen van gelaagdheid komen voor, met name in de onderste 4 tot 5 km dikke anorthosiet-leuconoriet-noriet eenheid:

- een grootschalige (km-schaal) afwisseling van anorthosiet-rijke en meer leuconoriet en noriet-rijke samenstellingen; dit wordt verklaard door herhaalde intrusie van nieuw magma uit een dieper gelegen reservoir [de zogenaamde "rhythmic layering"]. De hiermee gepaard gaande ritmische variatie in de samenstelling van orthopyroxeen en ilmeniet ondersteunt deze veronderstelling;
- een kleinschalige (decimeter- tot meter-schaal), vaak gegra-deerde gelaagdheid [de zogenaamde "graded layering"], als gevolg van het periodiek uit het magma zakken van pyroxeen- en plagioklaaskristallen, waarbij de zwaardere pyroxeenkristallen sneller uitzakken (en de basis van een laag vormen) dan de lichtere plagioklaaskristallen (die dan de top van de laag vormen), (zie afb. 12).

Door fractionele kristallisatie verandert de gesteentesamenstelling naar boven toe in meer massieve monzonieten en kwartsmonzonieten als gevolg van het achtereenvolgens ook gaan uitkristalliseren van kali-veldspaat en kwarts. De ijzer-magnesium-mineralen: eerst orthopyroxeen, later ook clinopyroxeen, vertonen hierbij een steeds toenemende ijzeroxide/magnesiumoxide-verhouding, d.w.z. ze worden steeds ijzer-rijker. In de late monzonieten en kwartsmonzonieten worden de pyroxenen begeleid door ijzerrijke, fayalitische olivijn. Maar een gelaagdheid is in deze (kwarts) monozieten niet zichtbaar.

Enkele van de kleinere intrusieflichamen van granitische samenstelling worden verondersteld te zijn geassocieerd met het anorthositische magmatisme, op grond van overeenkomsten in chemische en/of mineralogische samenstelling. De Sjølset-

Afb. 12. Magmatische gegra-deerde gelaagdheid in de lopoliet van Bjerkreim-Sokndal bij Orrestad, 18 km ten noordoosten van Egersund. Iedere laag begint met een orthopyroxeen-rijke samenstelling aan de basis, geleidelijk overgaand in steeds plagioklaas-rijker samenstellingen aan de top.

omgezet in orthopyroxeen met talrijke clinopyroxeen-ontmengingslamellen (zogenaamde gefinverteerde pigeoniet) en daarom nog wel als zodanig te herkennen.

Kwartshoudende amfibolieten veranderen binnen het granuliet-faciës-aureool in pyroxeen-amfibolieten, pyroxeenengneizen of "norieten", via reacties van hoornblende (met kwarts) tot orthopyroxeen, clinopyroxeen en plagioklaas. In kwarts-vrije amfibolieten blijft hoornblende voorkomen tot aan het contact met het intrusief complex.

In de metapelieten wordt de M1-associatie granaat-biotiet-sillimaniet vervangen door de M2-associatie cordieriet-groene spinel-orthopyroxeen; dichter bij het intrusief complex neemt het mineraal osumiliet de plaats in van cordieriet (osumiliet-in isograde, zie afb. 9). Osumiliet is een mineraal dat macroscopisch, microscopisch en in zekere zin ook chemisch lijkt op cordieriet. Osumiliet heeft echter een iets andere kleur (meer paarsig t.o.v. meer blauwe cordieriet), is kalium-houdend en heeft enkele iets andere optische eigenschappen. Door de gelijkens met cordieriet is osumiliet in het verleden wel over het hoofd gezien. De vormingscondities van osumiliet zijn een zeer hoge temperatuur (boven 800°C) bij relatief lage druk. Rogaland is een van de zeer weinige plaatsen op aarde waar het eenvoudig, langs de weg, in grotere hoeveelheden als gesteentevormend mineraal kan worden gevonden. Zie kleurenafb. F.

Kalkige en kwartsitische metasedimenten komen uitsluitend voor binnen het M2-granuliet-faciës-aureool. De kalkige gesteenten zijn gemetamorfoseerd tot marmers en kalksilicaatgesteenten. Deze variëren van kwarts-diopsiedgneis, diopsiedrots, diopsied-forsterietmarmor en forsterietmarmor. In al deze gesteenten is de molaire verhouding tussen calcium en magnesium nagenoeg 1 : 1. Dit impliceert dat ze alle zijn gevormd uit silicium-houdende dolomiet (waarin de verhouding van calcium en magnesium immers 1 : 1 is). De variatie in de kalkige gesteenten is dan in de eerste plaats te danken aan de oorspronkelijke variatie tussen de relatieve hoeveelheden kwarts en dolomiet in het oorspronkelijke, dolomitische uitgangsgesteente.

De granuliet-faciës-metamorfose M2 is op de meeste plaatsen van een statisch karakter, d.w.z. ze wordt niet begeleid door intensieve deformatie. Corona-achtige reactiestructuren en daarmee het poly-metamorfe karakter, kunnen op vele plaatsen in het veld worden waargenomen.

Radiometrisch bepaalde mineraalouderdommen hebben aangetoond, dat het M2-granuliet-faciës-aureool na de piek van de metamorfose rond 1000 M.j. geleden zeer langzaam is afgekoeld. Tijdens deze langzame afkoeling vonden retrograde omzettingen plaats: aanpassingen aan lagere temperatuurcondities. Deze M3 retrograde metamorfose omvat een aantal, meestal alleen microscopisch waarneembare, reactierandjes van nieuwe, tweede generatie biotiet, hoornblende, granaat, cordieriet of sillimaniet ten koste van orthopyroxeen, clinopyroxeen, osumiliet of groene spinel.

Laag- tot zeer laag-gradige omzettingen komen in kleine hoeveelheden in veel gesteenten in de Rogaland-Vest Agder sector voor. De hoeveelheid en de intensiteit van deze omzettingen nemen toe naar het westen en noorden, d.w.z. in de richting van de Caledoniden. Ze vinden hun climax in het optreden van een nieuwe generatie van fijne, groene biotiet in een 10 tot 15 km brede zone langs het huidige front van de Caledoniden (zie afb. 9). Deze nieuwe groene biotiet geeft radiometrische ouderdommen van circa 400 M.j. Een koppeling van deze laag-gradige omzettingen aan de overschuiving van Caledonische dekbladen lijkt hiermee stevig gefundeerd.

Mijnbouw

De belangrijkste mijnbouwkundige activiteit heden ten dage in de Rogaland-Vest Agder sector, en in heel Zuid-Noorwegen, is de winning van ilmeniet uit een ilmenietnoriet bij Tellnes, binnen de Åna-Sira anorthosiet. Dit is nu de enige nog werkende grote mijn in Zuid-Noorwegen (zie afb. 13). Het is de grootste ilmenietmijn in

Metamorfose

Waarschijnlijk wel alle Precambrische gesteenten van het Baltische Schild zijn als magmatische of metamorfe gesteenten onder te brengen. Magmatische gesteenten, zowel diepte- als uitvloeiingsgesteenten, zijn al vaker in Gea uitvoerig aan de orde geweest. Metamorfose en metamorfe gesteenten zullen hieronder nader worden toegelicht.

Metamorfe gesteenten zijn het gevolg van **metamorfose**, van structurele en/of mineralogische verandering van bestaande sedimentaire, magmatische of metamorfe gesteenten.

Metamorfose is een aanpassing in **vaste toestand** aan veranderde omstandigheden, met name verandering van druk ["pressure", P] en temperatuur, T.

Metamorfose vindt plaats bij hogere T en P, dus op diepere niveaus in de aardkorst (en de bovenmantel). Metamorfose is in het algemeen een zeer langzaam verloopend proces.

Veranderde condities van P en T moeten voldoende lang (meerdere tienduizenden tot miljoenen jaren) aanhouden om effect te sorteren.

Twee hoofdtypen van metamorfose worden wel onderscheiden:

- **contact-metamorfose**, een meestal statische (d.w.z. niet door intensieve deformatie begeleide) opwarming door een nabij ingedrongen intrusieflichaam; gewoonlijk kleinschalig, tot in enkele kilometers brede zones; metamorfe condities zijn matig tot hoge T (circa 300° tot 800°C) bij lage P (minder dan 2 à 3 kb).
- **regionale metamorfose**, aan gebergtevorming (orogeenese) gebonden, waarbij intensieve, vaak meer-fasige deformatie

en (re)kristallisatie beide een rol spelen; grootschalig, in van tientallen tot honderden kilometers brede en tot duizenden kilometers lange zones.

De **graad van metamorfose** varieert van laag bij de eerste, beginnende metamorfe veranderingen, tot hoog als naast complete metamorfe omzetting ook gedeeltelijke opsmelting gaat optreden.

Voor regionale metamorfose wordt wel een vierdeling gemaakt:

- **zeer laag-gradige** metamorfose voor beginnende, vaak nog incomplete metamorfe veranderingen, globaal bij temperaturen van 150-200°C tot 350-400°C bij een druk van boven de 2 kb;
- **laag-gradige** metamorfose, overeenkomend met groenschist-faciës-metamorfose, globaal bij temperaturen van 350-400°C tot 500-550°C bij een druk van 2 tot circa 8 kb;
- **middel-gradige** metamorfose, ongeveer overeenkomend met amfiboliet-faciës-metamorfose, globaal bij temperaturen van 500-550°C tot 650-700°C bij drukken van 3 tot 10 kb;
- **hoog-gradige** metamorfose, overeenkomend met hoge amfiboliet- en granuliet-faciës-metamorfose, bij temperaturen boven de 650-700°C en drukken van 4 tot 12 kb.

Op de kaart wordt de variatie in graad van metamorfose vaak weergegeven door **metamorfe isograden**. Dit zijn lijnen die de punten verbinden waar een bepaald metamorf **indexmineraal** (bijvoorbeeld biotiet, granaat) voor het eerst optreedt.

Isograden geven min of meer gelijke metamorfe condities weer.

C. Maijer



Afb. 13. Open pit mijnbouw van ilmenietnoriët in de Tellnes-mijn, Åna-Sira-anorthosit.

LITERATUUR

- G. Gaál & R. Gorbachev (1987): An outline of the Precambrian evolution of the Baltic Shield. *Precambrian Research*, 35, 15-52.
- C.F. Gower, T. Rivers & A.B. Ryan (eds.) (1990): Mid-Proterozoic Laurentia-Baltica. *Geol.Ass.Canada, Spec. paper 38*, 581 p.
- G.J.L.M. de Haas (1992): Source, evolution and age of coronitic gabbros from the Arendal-Nelaug area, Bamble, southeast Norway. *Geol. Ultraiectina*, 86, 129 p.
- O. Holtedahl (ed.) (1990): *Geology of Norway*. Norges geol. undersøkelse, nr. 208, 540 p.
- C. Maijer & P. Padget (eds.) (1987): The geology of southernmost Norway. An excursion guide. *Norges geol. undersøkelse, spec. paper nr. 1*, 109 p.
- T.G. Nijland (1993): The Bamble amphibolite to granulite facies transition zone, Norway. *Geol. Ultraiectina*, 101, 166 p.
- T.G. Nijland, C. Maijer, A. Senior & R.H. Verschure (1993): Primary sedimentary structures and composition of the high-grade metamorphic Nidelva Quartzite Complex (Bamble, Norway) and the origin of nodular gneisses. *Proc.Kon.Acad.Wetensch.*, 96, 217-232.
- E.M.O. Sigmund, M. Gustavson & D. Roberts (1984): Berggrunnskart over Norge - M. 1:1 million - Norges geologiske undersøkelse.
- A.C. Tobi & J.L.R. Touret (eds.) (1985): The deep Proterozoic crust in the North Atlantic Provinces. *NATO ASI Series, series C, Vol. 158*, 603, p.Reidel, Dordrecht.
- D. Visser (1993): The metamorphic evolution of the Bamble sector, south Norway. A paragenetic and mineral chemical study of cordierite-orthoamphibole-bearing rocks, with special reference to borosilicate-bearing mineral assemblages. *Geol. Ultraiectina*, 103, 159 p.

Europa. De aangetoonde reserves zouden voldoende zijn om exploitatie op het huidige niveau van rond de 3 miljoen ton per jaar nog bijna 100 jaar voort te zetten.

Molybdeniet is in het verleden op diverse plaatsen in de Rogaland-Vest Agder sector gemijnd, zoals bijvoorbeeld bij Gürsli, circa 3 km ten zuidwesten van Moi en bij Åvedal, circa 3 km ten zuidoosten van Tonstad. Maar veruit de grootste molybdenietmijn bevond zich bij Knaben, circa 16 km ten oosten van Tonstad. Deze nam ongeveer 92% van de totale Noorse productie voor zijn rekening. In de late jaren '50 en '60 bedroeg de productie 300 tot 500 ton per jaar. De totale productie kwam uit op meer dan 10.000 ton.

Wolframiet, tenslotte, is gewonnen in Ørdsalen, circa 24 km ten noordoosten van Bjerkreim. De totale productie bedroeg ongeveer 300 ton.

Toelichting

Geen enkel geologisch verhaal kan zonder enig vakjargon. Vele van de gebruikte termen en gesteentebenamingen zijn al wel in eerdere nummers van *Gea* verklaard, met name in het nummer over Dieptegesteenten (*Gea*, vol. 12, nr. 1, maart 1979). Toch zal een aantal van de gebruikte termen en gesteentenamen hieronder worden toegelicht. Ze staan in chronologische volgorde.

- Onder **granitische gesteenten** of **granitoiden** worden wel alle gesteenten samengenomen met de samenstelling van (alkali-) graniet, granodioriet en tonaliet.

- **tonaliet** is een dieptegesteente met meer dan 20% kwarts en waarvan plagioklaas meer dan 90% van de veldspaat uitmaakt.

- **trondhjemiet** is een leucocraat (= lichtgekleurd) gesteente, bestaande uit natrium-rijke plagioklaas (oligoklaas), kwarts en biotiet.

- **kwartsmonzoniet** is een dieptegesteente met 5 - 20% kwarts en ongeveer evenveel alkali-veldspaat als plagioklaas.

- het voorvoegsel **felsisch** is afgeleid van "fel(dspar)" + si(lica) en wordt gebruikt voor stollingsgesteenten met overwegend lichte, leucokrate mineralen; het staat tegenover meer donkere, mesokrate of melanokrate, **mafische** gesteenten.

- **pre-, syn- en postorogene** intrusies zijn intrusies die voor, tijdens of na de orogenese zijn ingedrongen.

- de aanduiding **relictisch** wordt gebruikt voor een mineraal, gesteente of eigenschap van een gesteente, overgeërfd uit een eerder stadium.

- het voorvoegsel **meta-** wordt gebruikt om aan te geven dat het om metamorfe gesteenten gaat; meta-sedimenten zijn metamorfe gesteenten waaraan het oorspronkelijk sedimentaire karakter nog te zien is; meta-pelieten zijn metamorfe kleiige gesteenten, waarvan de oorspronkelijke kleiige samenstelling blijkt uit de mineralogische of chemische samenstelling.

- een **isochemische reactie** is een mineralogische reactie waarbij de chemische samenstelling (nagenoeg) niet verandert.

- **opake fasen** zijn die mineraalfasen die in een slijpplaatje ondoorzichtig zijn; dit betreft vooral een aantal veel voorkomende oxides als magnetiet en ilmeniet en de meeste sulfides.

- **onderverzadigde** gesteenten zijn gesteenten die veldspatoiden bevatten (zie *Gea*, 12, p.6, 1979).

- **migmatiet** is een heterogeen menggesteente; een lichtgekleurde component bestaat overwegend uit ongerichte kwarts en veldspaat, met een granitische samenstelling; dit komt voor als cm- tot m-brede lagen, lenzen of banden in donkere, meestal gerichte

hoog-gradig metamorfe gneizen, schisten of amfibolieten. Zie kleurenafb. E.

- **supracrustalen** zijn gesteenten die op een kristallijne ondergrond liggen en aan of nabij het aardoppervlak zijn gevormd.
- **peralkalisch** of over-alkalisch wordt gezegd van gesteenten waarvan de moleculaire hoeveelheid aluminium Al_2O_3 kleiner is dan die van natrium Na_2O + kalium K_2O .
- **anorthietgehalte**. Plagioklazen vormen een mengreeks tussen albit ($NaAlSi_3O_8$) en anorthiet ($CaAl_2Si_2O_8$). Het calciumgehalte in de NaCa-hoeveelheid wordt uitgedrukt in percentages An; dit is het anorthietgehalte, bijvoorbeeld $An_{10,30}$ voor oligoklaas. (zie ook: Gea, 12, p.4, 1979 en Gea, juni 1994, waar de veldspaten nader aan de orde komen.)
- **lopoliet** is een groot concordant schotelvormig intrusief lichaam.
- **granoblastisch** wordt gebruikt voor de textuur van niet-schistieuze metamorfe gesteenten, bestaande uit overwegend equidimensionale, niet-idiomorfe korrels.
- **subofitisch** is de textuur van magmatische gesteenten waarin kleinere idiomorfe plagioklaaskristallen gedeeltelijk zijn ingesloten

in grotere, xenomorfe pyroxeenkristallen; komt vooral voor bij gabbro's en dolerieten (zie Gea, 12, p.37, 1979 en afb. 26).

- **leuconoriet** is een lichtgekleurde noriet; deze bestaat overwegend uit plagioklaas met 10 - 30% donkere bestanddelen, vooral orthopyroxeen. Noriet bevat meer dan 30% donkere bestanddelen. Is het gehalte donkere bestanddelen kleiner dan 10% dan noemen we het gesteente **anorthosiet**.
- **gefractioneerde kristallisatie** of kristallisatie-differentiatie is de scheiding van een afkoelend magma in delen door de opeenvolgende kristallisatie van verschillende mineralen bij verder dalende temperatuur (zie ook Gea, 12, p.8, 1979).
- **metamorfe isograde** is een lijn op de kaart die de punten verbindt waar bepaalde metamorfe indexmineralen, bijvoorbeeld biotiet, granaat, stauroliet, voor het eerst optreden; zie ook het kader "Metamorfose".
- **charnockiet** is een gesteente met de samenstelling van granaat, maar dat orthopyroxeen bevat in plaats van of naast biotiet.
- **enderbiet** is een gesteente met de samenstelling van tonaliet, maar dat orthopyroxeen bevat in plaats van of naast biotiet of hoornblendes.

C. Majjer

Mineralen van de granieten en syenieten uit het Oslo-gebied

door Ronald Werner

Introductie

De granieten en syenieten in het Oslo-gebied zijn in het bijzonder voor verzamelaars van micromount-mineralen van grote interesse. Meer dan 100 verschillende soorten mineralen zijn gevonden, en voor vele hiervan bestaan nog steeds goede vondstmogelijkheden.

Verspreid in de literatuur zijn een aantal publikaties te vinden, maar deze zijn ofwel verouderd en incompleet, ofwel moeilijk toegankelijk, want in het Noors geschreven... Dit artikel streeft ernaar een up-to-date overzicht te zijn, en de geïnteresseerde verzamelaar van nuttige informatie te voorzien.

De nummers tussen haakjes verwijzen naar de gebruikte literatuur, waar in het algemeen uitgebreidere informatie is te vinden.

Geologisch overzicht

Het zgn. "Oslo-gebied" strekt zich uit van de Langesundsfjord in het zuidwesten tot aan het Mjøsa-meer in het noordoosten, en is het gedeelte van een qua omvang uitgestrektere rift-vallei (slenk of graben), dat zich aan de oppervlakte bevindt. Afb. 1. Een in het Precambrium gevormde graben-structuur, die goed overeenkomt met de heden ten dage bekende Oslo-slenk, werd in de daarop volgende paar honderd miljoen jaar opgevuld met sedimentaire afzettingen. In het Perm (± 280 m.Y.) veroorzaakte tektonische activiteit een re-activering van de Precambrische breuken, met als gevolg het wegzinken van het door breuken omsloten aardkorst-fragment. In samenhang hiermee vonden intrusie en extrusie van grote hoeveelheden magma plaats.

De magma's vertoonden een opmerkelijke variatie in samenstelling; vrijwel het complete spectrum van mafische tot felsische magmatische gesteentes is vertegenwoordigd. Kenmerkend is het mild-alkalische karakter van de plutonische gesteentes, en het wijd verspreid optreden van mioarolitische holtes in de granitische en syenitische plutonieten (1, 2, 3, 6, 8, 10, 16).

Vindplaatsen

Het vindplaatsgewijs behandelen van het onderwerp is niet zinvol: van nagenoeg alle vindplaatsen is een soort van "standaard-paragenese" bekend, met kwarts, veldspaat, amfibool / pyroxeen, pyriet, fluoriet, titaniet, zirkoon. Verder is een belangrijk deel van de "vindplaatsen" niet of nauwelijks goed te definiëren: in veel gevallen betreft het uitgestrekte gebieden van vele vierkante kilometers, waar ieder rotsblok, iedere roadcut of anderszins aan de oppervlakte tredend gesteente vondstmogelijkheden impliceert. Vondstmogelijkheden zijn er theoretisch overal, maar zijn feitelijk ten gevolge van bebouwing, begroeiing en bedekking met aarde niet altijd aanwezig. Dankzij regelmatige uitbreiding / verbetering van het wegennet, aanleg van nieuwe huizen en steengoeves zijn er desalniettemin voldoende mogelijkheden om goede vondsten te doen. Overal waar rots aan de oppervlakte komt, mag met vondstmogelijkheden worden gerekend (5). Een groot gedeelte van de vindplaatsen is slechts matig onderzocht ten gevolge van de beperkte interesse van de Noorse verzamelaars voor micromount-mineralen.

Zoals de titel reeds impliceert, zijn er twee categorieën van vindplaatsen.

Granieten: Bekkestranda (Sande), Drammen-omgeving, Eikeren-omgeving, Finnemarka, Gjerdingen, Harestua (aanleg Riksveg 4), Hurdal-omgeving, Hurum-schiereiland, Nedre Eiker, Nittedal, Svelvik-omgeving.