

inhoud :

Metamorfose	37	Zee en strand	54
Sleutels tot goede boeken	46	Geologische klokken	55
Ons openbaar stenenbezit	48	GEA-cursussen 1973 - 1974	56
Beschrijving afgebeelde visresten en haaietanden artikel België-nummer	51	bijlage : Programma GEA-Amsterdam, Kringmededelingen	

Metamorfose

door Drs. G.H.W. Hamel

Na een algemene inleiding over de petrologie in het septembernummer van 1972, waarbij de klassificatie van de stollingsgesteenten onder de loep is genomen (een artikel met beschrijvingen van de stollingsgesteenten is nog in de maak), zullen we nu de principes van de metamorfose behandelen. Na een uitvoerige bespreking van de verschillende soorten metamorfose, zullen de belangrijkste metamorfe mineralen en gesteenten ook beschreven worden. In het eerste deel van dit artikel zal een aantal namen van deze mineralen en gesteenten reeds genoemd worden; wanneer deze namen de lezer niet bekend voorkomen, kan hij ze opzoeken in het tweede gedeelte.

DEEL A

I. Definitie van metamorfose

Het woord metamorfose betekent letterlijk "gedaante-verwisseling". Metamorfe gesteenten zijn dus gesteenten die van gedaante zijn verwisseld, n.l. in zowel de oorspronkelijke mineraalinhoud als in de structuur. Het begrip metamorfose is pas goed vastgelegd door Charles Lyell (1830), nadat een jarenlange strijd was geleverd over het ontstaan van metamorfe gesteenten als gneisen tussen de "neptunisten" onder leiding van Werner, die dachten dat deze gesteenten in oerocenen door sedimentatie waren ontstaan, en de "plutonisten" onder leiding van Hutton, die een magmatische oorsprong aan hen toekenden. Wij zullen de volgende definitie gebruiken: metamorfose is de mineraalverandering van gesteenten in overwegend vaste toestand ten gevolge van fysische en chemische veranderingen, die in de diepere aardkorst hebben plaats-

gevonden. De verwerking en de diagenese (compactie door het uitdrijven van water, tijdens welk proces ook nieuwe mineralen kunnen ontstaan) vallen hierbuiten.

De gesteenten die op deze manier metamorf worden, kunnen zowel van oorsprong sedimentgesteenten als stollingsgesteenten zijn.

II. De factoren, die de metamorfose bepalen

De veranderingen, die in een gesteente plaatsvinden, kunnen zowel een fysische oorzaak hebben, n.l. temperatuur en druk, als een chemische oorzaak, n.l. toevoer van chemische stoffen. In vele gevallen heeft men met een combinatie van deze factoren te maken.

Wat de temperatuur betreft kunnen we zeggen, dat metamorfose op begint te treden vanaf ca. 300°C. Bij lagere temperaturen hebben we met veranderingen te maken, die onder de diagenese van sedimenten gerekend worden. De bovengrens van de metamorfose ligt ongeveer bij 650-1200°C. Boven deze temperaturen begint opsmelting (*anatexis*) van de gesteenten op te treden. Uitzonderingen worden gevormd door de evaporieten (gips, steenzout e.d.) en de steenkoolafzettingen, die reeds bij lagere temperaturen dan 300°C metamorf zijn.

De reacties in de gesteenten spelen zich niet af door smelten, maar met behulp van vloeistoffen en gassen, die zich in de poriën van de gesteenten bevinden. Vooral water speelt hierbij een grote rol. Zelfs een basisch stollingsgesteente als een basalt heeft een zeker watergehalte. Wanneer een basalt metamorf wordt, zetten de pyroxenen (water vrije mineralen) om in amfibolen (waterhoudende mineralen). Het resultaat is een amfiboliet.

De druk, die een grote invloed heeft op de veranderingen in het gesteente, moet gesplitst worden in de *lithostatische druk* (dit is de druk van het omliggend gesteente,

ongeveer 300 baar per km toenemend, wanneer men de diepte ingaat) en de *hydrostatische druk* (dit is de druk op de lichtvluchtige bestanddelen in het gesteente, voornamelijk water).

Tijdens de metamorfose blijft het water *in* het gesteente. Als de metamorfose ophoudt treedt het water *uit* het gesteente. Want als het water aanwezig zou blijven en de temperatuur zou afnemen, dan zouden de reacties door blijven gaan en zouden we alleen laag-metamorfe gesteenten aantreffen. We kennen echter wel degelijk gesteenten die mineralen bevatten, waarvan we weten, dat ze bij zeer hoge temperaturen en drukken zijn ontstaan. Alleen wanneer er later opnieuw water wordt ingevoerd treedt weer metamorfose op. Men spreekt dan van *retrograde metamorfose*.

De reacties die plaatsvinden tussen de mineralen bij toenemende druk en temperatuur zullen niet verder besproken worden, omdat voor het begrijpen van deze omzettingen een flinke kennis van chemie, fasenleer en thermodynamica nodig is.

Tevens speelt de tektonische druk een grote rol. Dit is de gerichte druk die ook plooïing e.d. in bepaalde metamorfe gesteenten veroorzaakt. De snelheid waarmee de reacties in een gesteente optreden, wordt er namelijk door vergroot. Deze druk is ongeveer 1 à 2 kilobaar. Tenslotte kan ook de chemische samenstelling van een gesteente veranderen tijdens metamorfose, bijvoorbeeld als er toevoer van natrium of kalium plaatsvindt. Men spreekt dan echter van *metasomatose* inplaats van metamorfose. We zullen de metasomatose verder buiten beschouwing laten.

III. De verschillende typen van metamorfose

1. contact- of thermometamorfose

Deze vorm van metamorfose is gebonden aan het voorkomen van magma in de aardkorst. De hitte-uitstraling van het magma doet het nevgesteente veranderen. Het resultaat is een zg. contacthof of -aureool. De temperatuur is de belangrijkste factor bij deze vorm van metamorfose. Men heeft dus lokaal te maken met een zeer steile geothermische gradiënt (het aantal graden Celsius dat de temperatuur per kilometer toeneemt, wanneer men de diepte ingaat), en wel een geothermische gradiënt die groter is dan 70°C/km. De lithostatische druk is laag, kleiner dan 2 à 3 kilobaar *), hetgeen impliceert, dat de contactmetamorfose op geringe diepte plaatsvindt en wel tussen 1 en 10 km.

2. Dynamo- of dislocatiemetamorfose

Deze vorm is beperkt tot tektonische bewegingszones in de diepere aardkorst. Er treedt *kataklase*-verbrokkeling van de gesteenten op. Hierdoor ontstaan de kataklasieten of *mylonieten*, als de gesteenten fijn samengewreven zijn. Hierbij moet rekristallisatie van mineralen optreden, want anders heeft men alleen tektonische breccies. De gerichte druk, alsmede de wrijvingswarmte, zijn hierbij de belangrijke factoren. De wrijvingswarmte kan zelfs in bepaalde gevallen zo groot zijn, dat opsmelting van het gesteente plaatsvindt. Men krijgt dan glasachtig materiaal, dat pseudotachyliet wordt genoemd.

3. Regionale thermo-dynamometamorfose

In beide voorafgaande gevallen hadden we slechts met lokale verschijnselen te maken. De regionale thermo-dynamometamorfose is echter gebonden aan grootscheepse orogenese (gebergtevorming). Het ontstaan van de grote gebergtegordels op aarde, zoals de Alpen, de Andes, de Himalaya enz. stelt men zich ongeveer zó

voor: in langgerekte zwaktezones van de aardkorst vindt sedimentatie plaats, die ongeveer gelijke tred houdt met de bodemdaling; in zo'n zone treedt bovendien vaak vulkanisme op. Op deze manier ontstaan langgerekte trogvormige inzinkingen, gevuld met sedimenten en vulkanieten, de zogenaamde "*geosynclinalen*". Zo'n geosynclinaal kan wel tot 5 à 10 km diep reiken. Na het geosynclinale stadium vindt plooïing en opheffing van de gesteenten plaats.

Tijdens deze opheffing nu stijgt de geothermische gradiënt aanmerkelijk: buiten een orogeen heeft men een geothermische gradiënt van ca. 20 à 30°C/km., in het orogeen kan de geothermische gradiënt tot 70°C/km. oplopen.

Het zal duidelijk zijn, dat in de diepere delen van een geosynclinaal ook de lithostatische druk behoorlijk hoog is. Beide factoren, temperatuur en druk, veroorzaken dan ook metamorfose op grote schaal in een orogeen. Ook de gerichte druk, die plooïing van de gesteenten veroorzaakt, speelt een grote rol. Ten gevolge van de gerichte druk, die tijdens metamorfose optreedt, gaan allerlei nieuwe mineralen, tijdens hun groei een bepaalde richting in het gesteente aannemen. Een voorbeeld zijn de parallel liggende glimmerblaadjes in schisten en gneisen. Deze gerichte mineralen veroorzaken de drukgelaagdheid, die zo typisch is voor regionaal metamorfe gesteenten. Een fijne drukgelaagdheid wordt *schistociteit* genoemd, een grove drukgelaagdheid heet *foliatie*. De temperaturen bij deze vorm van metamorfose liggen tussen 400 en 800°C, de lithostatische druk is gelijk aan of groter dan 2 à 3 kilobaar. Naar gelang de druk meer of minder belangrijk is, kunnen nog verschillende vormen van regionale thermo-dynamometamorfose onderscheiden worden.

4. Begravingsmetamorfose

Vooraf door het werk van Coombs (1961) wordt aan deze vorm van metamorfose de laatste jaren weer een aparte plaats toegekend.

Het gaat hier om een regionale metamorfose, waarbij de lithostatische druk de belangrijkste factor is. De geothermische gradiënt is laag, kleiner dan 20°C/km. Deze vorm van metamorfose komt voor in de diepere gedeelten van geosynclinalen, vóórdat de werkelijke orogenese plaatsvindt. Dit is de reden, dat sedimentaire en magmatische structuren in gesteenten, die deze metamorfose ondergaan hebben, nog teruggevonden kunnen worden. De temperatuurgrenzen liggen tussen 300 en 400°C. Men onderscheidt twee typen, n.l. de zeolitische metamorfose (geothermische gradiënt van 20°C/km) en de glaucofaanschist-metamorfose (geothermische gradiënt van 10°C/km). Er bestaan overgangen van deze laatste vorm in bepaalde vormen van regionale thermo-dynamometamorfose. Zie fig. 1 (pagina 45) voor het verband tussen de verschillende typen.

IV Metamorfe zonerings

Bij het onderzoek van zowel contact- als regionaal metamorfe gesteenten bleek alras, dat men verschillende zones kon onderscheiden, die gebaseerd waren op toenemende temperatuur en/of druk.

Een dergelijke zonerings is voor het eerst vastgelegd door Rosenbusch (1877). Hij bestudeerde o.a. de Barr-Andlau graniet in de Vogezen, die een contacthof heeft in de Steigerschiefer (schistes de Steige). Van het contact met de graniet naar buiten toe gaande, kon hij de volgende zones onderscheiden in deze Steigerschiefer: (zie fig. 2 a. Hornfelsen: hoornrotsen, pag. 45)
b. Knoten- of Fleckglimmerschiefer: nopjesschisten,
c. Knotentonschiefer: nopjesleien,
d. niet-metamorfe Steigerschiefer.

*) 1 atmosfeer = 1,01325 baar

Naar het contact toe blijken de Steigerschiefer dus geleidelijk aan een hogere graad van metamorfose bereikt te hebben, hetgeen zich uit in het optreden van allerlei metamorfe mineralen, zoals andalusiet.

Dit idee van Rosenbusch om drie trappen of graden in de metamorfose te onderscheiden, is later ook overgenomen voor regionaal metamorfe gesteenten door Becke en Grubenmann (1904), die de welbekende en ook nu nog veel gebruikte indeling maakten in:

1. epizonale metamorfose, voor een lage graad van metamorfose;
2. mesozonale metamorfose, voor een hogere graad van metamorfose;
3. katazonale metamorfose, voor een zeer hoge graad van metamorfose.

Een oudere indeling in zones voor regionaal metamorfe gesteenten is gemaakt door de Schotse geoloog Barrow in 1893. Hij werkte in het Dalradian van het Caledonisch gebergte in de Grampian Highlands. Het Dalradian bestaat daar uit groene tuffen, kalken en pelieten (de term *pelieten* wordt gebruikt voor metamorfe kleiachtige sedimenten). Barrow ontdekte, dat in de pelieten de graad van metamorfose toenam naar een centrale zone toe. Hij kon dit zien aan de mineraalinhoud en sprak van *index-mineralen*, mineralen die een bepaalde graad van metamorfose aangeven.

Op grond van deze mineralen kon hij zones onderscheiden door middel van *isograden*. Dit zijn vlakken die men door een gesteenteformatie kan aanleggen met aan de ene kant hogere metamorfose en aan de andere kant lagere; deze vlakken snijden het oppervlak als een lijn (c.f. hoogtelijnen); ze geven dus een gelijke conditie aan voor de temperatuur en de druk (zie fig. 3, pag. 45). Barrow en na hem ook Read, Kennedy en vele anderen merkten op, dat in het centrale gedeelte vaak granieten voorkwamen. Deze granieten zijn het gevolg van de toename van de geothermische gradiënt, dus ontstaan door anatexis, en niet de oorzaak van de metamorfose, zoals men vroeger dacht.

Hieronder volgen de zones van Barrow voor verschillende gesteenten:

In pelieten:	In metamorfe basische gesteenten:
a. klastische glimmer	.
b. chloriet	muscoviet + Al-rijke chloriet
c. biotiet	kleurloze-lichtgroene amfibool
d. almandien	blauwgroene amfibool
e. (stauroliet)	groene/bruinroene amfibool
f. distheen	
g. sillimaniet	bruine hoornblende.

Deze zones gelden alleen voor isochemische gesteenten, d.w.z. men kan een dergelijke zonering alleen onderscheiden in gesteenten, die over een vrij groot gebied steeds dezelfde chemische samenstelling vertonen.

V Metamorfe faciës

Dit begrip is voor het eerst geïntroduceerd door de Finse geoloog Eskola in 1915.

Definitie: tot een bepaalde faciës worden die gesteenten samengevat, die bij gelijke chemische samenstelling dezelfde mineraalinhoud vertonen, welke mineraalinhoud bij wisselende samenstelling volgens vaste regels varieert. Dit impliceert, dat de mineralen van een gesteente in een bepaalde metamorfe faciës een chemisch evenwicht met elkaar hebben bereikt onder de fysische invloeden (temperatuur en druk), waaraan ze waren blootgesteld.

Voorbeeld: stel in een gesteente heeft men de volgende verhouding:



dan zal dit gesteente, als het metamorfose heeft ondergaan in de albiet-epidoot-hoornrotsfaciës (zie onder VI), altijd calciet + tremoliet + dolomiet hebben, terwijl in de hoornblende-hoornrotsfaciës calciet + diopsied + forsteriet (Mg-olivijn) op zullen treden.

Eén en ander houdt in, dat bepaalde mineralen typisch zijn voor een bepaalde faciës. Men spreekt dan van *kritische mineralen*. Deze mineralen zijn dus stabiel bij de temperaturen en de drukken, die die bepaalde faciës karakteriseren. Daarnaast heeft men mineralen, die in een bepaalde faciës kunnen voorkomen, maar niet kritisch zijn voor die faciës (de typomorfe mineralen) en tenslotte heeft men ook mineralen, die verboden zijn voor een bepaalde faciës.

Voorbeeld: de kritische mineralen voor de zeolitische metamorfose (zie onder 3) zijn: laumontiet + kwarts en prehniet + pumpellyiet, verder kunnen voorkomen (typomorf) o.m. dolomiet + kwarts, ankeriet + kwarts, kaoliniet, albiet enz. Aktinolit, pyrophylliet, analciem + kwarts en heulandiet mogen niet voorkomen.

Tenslotte kan men ook subfaciës onderscheiden, die ook weer gekarakteriseerd worden door bepaalde kritische mineralen.

Voor de Duitse petroloog Winkler (1965) heeft zeer veel gedaan aan het uitwerken van de metamorfe faciës voor de verschillende typen van metamorfose. Wanneer men van een gesteente heeft bepaald, welk type van metamorfose het heeft ondergaan (dit kan op grond van veld- en mineraalgegevens), kan men met behulp van zijn diagrammen bepalen welke metamorfe faciës het gesteente heeft. Wij zullen zijn faciës-indeling in het hierna komende gedeelte volgen.

VI Contactmetamorfose

De oorzaak van deze vorm van metamorfose zijn lokale magma-extrusies, die een temperatuurverhoging van het omliggende gesteente veroorzaken, waarbij nieuwe mineraalassociaties uitkristalliseren. De diepte, waarop dit plaatsvindt, ligt tussen 1 en 10 km, bij lithostatische drukken van 250 tot 3000 bar.

De breedte van het contactaureool hangt af van de warmtecapaciteit van het magma en dus van de grootte van de extrusie. In het kaartbeeld en in profiel zullen de metamorfe zones ongeveer evenwijdig lopen aan de randen van het plutoon.

De temperatuurverhoging hangt direkt samen met de magma-soort: granietmagma's hebben temperaturen van 700 à 800°C,

syenietmagma's hebben temperaturen van 900°C, gabbro-magma's hebben temperaturen van 1200°C.

Jaeger (1957) heeft berekend, dat de dikte van een plutoon minimaal 1000m moet zijn, wil er een contacthof gevormd kunnen worden. Een lavastroom zal dus hooguit het nevgesteente kunnen "bakken", maar er worden geen metamorfe mineraal-associaties gevormd.

Men gebruikt de term *hoornrotsfaciës* voor gesteenten, die contactmetamorfose hebben ondergaan. Hierin kunnen 3 individuele faciës onderscheiden worden:

- a. de albiet-epidoot-hoornrotsfaciës, in het buitenste contacthof (de kritische mineralen geven dus hun naam aan een bepaalde faciës).
- b. de hoornblende-hoornrotsfaciës.
- c. de kaliveldspaat-cordiëriet-hoornrotsfaciës. Deze komt alleen voor om gabbroïde lichamen, nooit om graniet-lichamen, en vormt het binnenste hof.

VII Regionale thermo-dynamo-metamorfose

Zoals onder III 3) reeds is gezegd, is verhoging van de geothermische gradiënt tijdens orogenese (gebergtevor-

ming) de oorzaak van deze vorm van metamorfose. In de regionale metamorfose kunnen een aantal metamorfe faciës onderscheiden worden, naar gelang de geothermische gradiënt. Het blijkt echter, dat de metamorfe zonering van Barrow (zie onder IV), niet overal in dezelfde vorm wordt aangetroffen. De Japanner Miyashiro vond in de Abukuma-Ryoke-gordel in Japan (met een lengte van ca. 1300 km) een metamorfe zonering met andere mineralen. Zwart (1962) vond weer een andere zonering in het Bosost-gebied in de Pyreneeën.

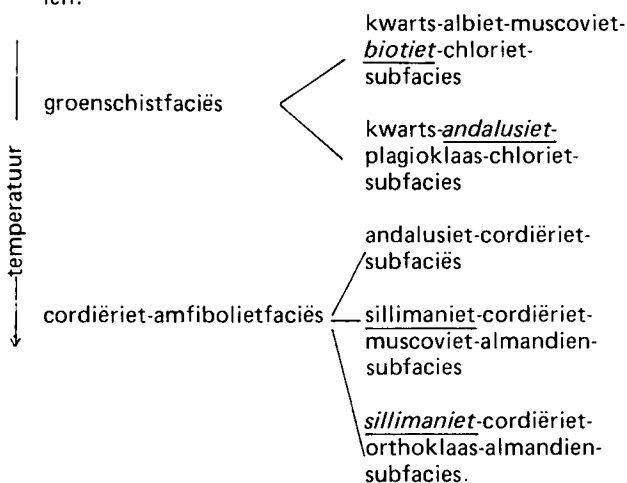
De bij deze verschillende vormen van regionale thermodynamo-metamorfose behorende faciës-series kunnen met elkaar gecorreleerd worden op grond van gelijke temperaturen. De vormen verschillen van elkaar in de drukomstandigheden, die geheerst hebben, of wel in de diepte in de aardkorst, waarop ze hebben plaatsgevonden. Dit betekent dus in feite, dat de geothermische gradiënt bij de verschillende vormen van regionale metamorfose anders is.

Miyashiro (1961) onderscheidde de volgende typen:

1. het andalusiet-sillimaniet type, met lage lithostatische druk en steile geothermische gradiënt;
2. het distheen-sillimaniet type, met middelmatige druk en gradiënt;
3. het jadeiet-glaucophaan type, met hoge druk en lage gradiënt.

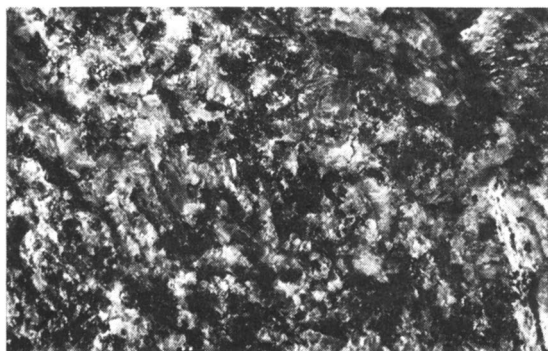
Bij Winkler valt 3 onder de begravingmetamorfose.

1. **De Abukuma-serie** (het andalusiet-sillimaniet type): Hierin zijn twee faciës te onderscheiden, met verschillende subfaciës, ieder genoemd naar de indexmineralen:

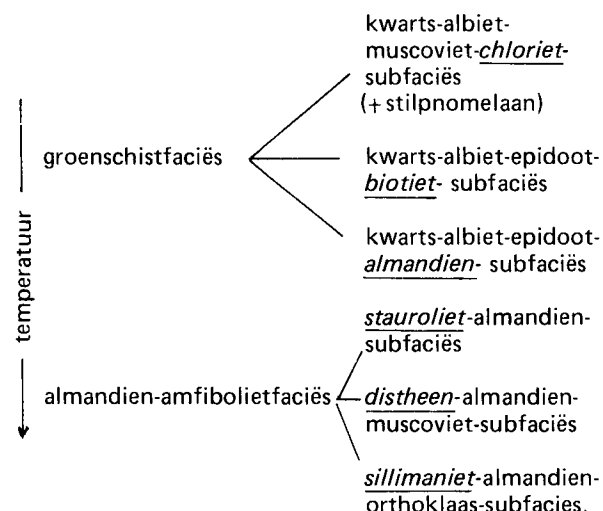


Bij nog hogere temperatuur en druk treedt opsmelting (anatexis) op (ontstaan van graniet of granodioriet). De onderstreepte mineralen zijn karakteristiek.

1



2. **De Barrovian-serie** (het distheen-sillimaniet-type): Ook hierin twee faciës, met totaal 6 subfaciës, die op grond van gelijke temperaturen te correleren zijn met de subfaciës van de Abukuma-serie:



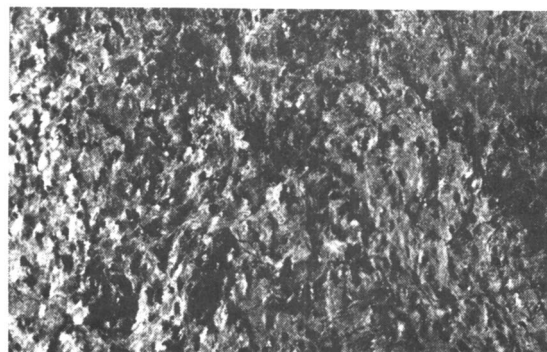
De onderstreepte mineralen zijn de index-mineralen van Barrow.

Foto 1: Andlau-graniet, 3 x vergroot, uit groeve bij Andlau, Vogezen. Deze graniet intrudeerde in de reeds aanwezige gesteenten, o.a. de "Schiste de Steige"

Foto 2: Nopjeslei, 3 x, weg Andlau-Eftermatten; gemetamorfiseerd gesteente uit de contact-zone van de Andlau-graniet.

Foto 3: "Schiste de Steige", 3 x. Paleozoïsch, leiachtig gesteente, buiten de contactzone van de Andlau-graniet.

foto's P. Stemvers



2

3



3. Intermediaire faciës-series

Volgens Winkler kunnen 4 intermediaire series onderscheiden worden:

- lagere druk dan bij het Abukuma-type: het Bucham-type van regionale metamorfose in Schotland en het Bosost-gebied in de Pyreneeën zijn hier voorbeelden van,
- hogere druk dan bij het Abukuma-type, maar lager dan in de Barrovian-serie: hiervan kent men voorbeelden in de Oost-Pyreneeën,
- Druk iets hoger dan bij b): dit is een type dat men in New Hampshire aantreft,
- Druk hoger dan in de Barrovian-serie: deze vorm treft men o.m. in de Tessiner-culminatie en wordt de Alpidische faciësserie genoemd. Hierin heeft men een groenschist-faciës die gekenmerkt wordt door glaucophaan-achtige amfibool en pumpellyiet, en een amfiboliet-faciës met distheen, zure plagioklaas, epidoot of zoisiet. Dit is de overgangsvorm naar begravings-metamorfose.

Wanneer men 1. met 2. vergelijkt, ziet men, dat andalusiet en cordieriet beperkt zijn tot regionale metamorfose bij relatief lage drukken, terwijl distheen wijst op hoge druk. Tenslotte nog enkele losse faciës:

1. Granulietfaciës

De naam granulietfaciës is afkomstig van Eskola. Granulieten zijn voor het eerst beschreven door Werner in Saksen. Het betreft daar fijngebande lichtgekleurde gesteenten met afgeplatte kwartsen. De granulietfaciës is te beschouwen als een vorm van regionale thermodynamo-metamorfose, waarbij de hydrostatische druk veel lager is dan de lithostatische druk (zie onder II). Waterhoudende mineralen, behoudens hoornblende, komen in granulieten dan ook niet voor. De temperatuur bij deze vorm van metamorfose ligt tussen 700 en 800°C. De lithostatische druk is zeer hoog. Dit is ondermeer af te lezen aan de soortelijke gewichten van de in granulieten voorkomende mineralen, zoals granaat, distheen, hyperstheen, rutiel, spinel, korund. Het merkwaardige doet zich voor, dat alle bekende granulieten een Precambriëse ouderdom hebben. De textuur is zeer typisch: afgeplatte kwartsen (dit is eigenlijk alleen onder een mikroskoop goed waarneembaar) en verder fijne bandjes van lichte en donkere bestanddelen. In het handstuk lijkt een lichte granuliet sterk op een fijne gneis, een donkere granuliet kan aan een amfiboliet doen denken. Er bestaan verschillende subfaciës, waar we hier niet verder op in zullen gaan.

2. Eklogietfaciës

Deze is ook voor het eerst door Eskola beschreven. Deze metamorfose vindt plaats bij extreem hoge drukken en temperaturen en is alleen bekend in basische en ultrabasische gesteenten. Kritische mineralen zijn rode pyrooprijke granaat en omphaciet, een helder-groene pyroxeen, die typisch is voor eklogieten. Typomorf zijn orthopyroxeen, rutiel, zoisiet, distheen, ilmeniet en kwarts. Verder kunnen onder meer voorkomen diamant en olivijn. Veldspaten komen in eklogieten niet voor. Eklogieten kunnen voorkomen in gesteenten, die van zeer grote diepte afkomstig zijn, zoals kimberlieten en peridotieten (mantelgesteenten). Verder in amfiboliet- en granulietfaciës-nevengesteenten en zelfs in groenschist- en glaucofaanschistfaciës-nevengesteenten. Ze lopen dus dwars door alle faciësseries heen.

Eklogieten ontstaan uit basalten en gabbro's (de overgangsvormen heeft men ook aangetroffen) en wel, gezien

de mineraalinhoud en het voorkomen, onder extreem lage hydrostatische druk.

VIII Begravingsmetamorfose

Zoals reeds eerder beschreven is dit de metamorfose die aan orogenese voorafgaat, bij zeer lage geothermische gradiënt. Er vindt géén ontwikkeling plaats van schistociteit, zoals in regionaal-metamorfe gesteenten. De temperatuurgrenzen liggen bij 200-400°C (daarboven begint de groenschistfaciës!), bij diepten van 15 tot 30 km. Men onderscheidt verschillende faciës bij toenemende temperatuur:

- laumontiet-prehniet-kwarts-faciës (vroegere zeoliet-faciës), waarin nog sedimentaire mineralen als kaolinit kunnen voorkomen.
- pumpellyiet-prehniet-kwartsfaciës. Aangezien mineralen als pumpellyiet makroskopisch niet herkenbaar zijn (zelfs mikroskopisch heeft men problemen), zullen we niet verder op deze faciës ingaan. Beide faciës kunnen optreden bij een geothermische gradiënt van ca. 20°C/km. Bij nog lagere gradiënt heeft men:
- de glaucofaanschist-faciës, waarin weer twee subfaciës worden onderscheiden. Kritische mineralen zijn hierbij: lawsoniet en glaucofaan. Verder treden op jadeiet of albiet. In tegenstelling tot de eklogieten, waaraan de glaucofaanshisten verwant zijn en waarmee ze vaak samen voorkomen, kunnen glaucofaanshisten allerlei oorsprongsgesteenten hebben.

IX Ultrametamorfose

Mensen als Barrow was het al opgevallen, dat men vaak graniet-complexen aantreft in de kern van series metamorfe gesteenten. Men beschouwt deze granieten als het resultaat van opsmelting of anatexis. Aan de anatexieten gaan meestal migmatieten vooraf. De term migmatiet is afkomstig van Sederholm en wordt gebruikt voor gemengde gesteenten van gneis en graniet.

De verschillende stadia van anatexis zijn:

- vorming van metablasten, vaak in paragneisen (aangroeiing van b.v. veldspaat ten koste van andere mineralen, waardoor grotere kristallen ontstaan),
- hydrothermale mobilisatie: kwarts en veldspaat worden opgelost in water en elders weer afgezet. Men krijgt dan een gesteente, waarin men kan onderscheiden een *paleosoom*, donkere gedeelten bestaande uit slecht oplosbare mineralen als biotiet en cordieriet, en een *neosoom*, lichte gedeelten bestaande uit gemigreerde kwarts en albiet. Deze mobilisatie kan al in de groenschistfaciës optreden, getuige de kwartsaders in fyllieten,
- pegmatoïde mobilisatie: dit is het volgende stadium, bij 600 à 650°C in de amfibolietfaciës al optredend, waarbij pegmatoïde partijen uitsmelten (kwarts plus albiet plus kaliveldspaat),
- diatexis: nu smelten ook andere mineralen, zodat bij uitkristalliseren graniet-achtige partijen ontstaan, bij 660 à 725°C.

De gedeeltelijk gesmolten partijen kunnen zich in een verder stadium tot grotere lichamen verenigen: de anatexitische granieten, waarin weinig structuur zit en waarin nog resten van niet gesmolten partijen voorkomen (restieten). Bij oververhitting kunnen deze granieten ook gaan intruderen in hogere gedeelten van de aardkorst (diapryieten).

Zoals men ziet, heeft men hier dus één van de vele cycli, die de geologie rijk is, nl. graniet — verwerking — sedimentatie — metamorfose — opsmelting — graniet. Er moet echter wel bij vermeld worden, dat niet alle granieten uit metamorfose ontstaan!

Wanneer we nog eens terugkijken naar de definitie van metamorfose, dan zien we, dat ook de structuren van een gesteente door metamorfose veranderen. Hoewel we hier niet op dit onderwerp in zullen gaan, omdat dit strikt genomen tot de Structurele Geologie behoort, dient men zich wel te realiseren, dat de structurele geschiedenis en de metamorfose van de grote gebergtegebieden ten zeerstemet elkaar samenhangen.

DEEL B

In dit gedeelte zullen we de classificatie van de metamorfe gesteenten bespreken. Alvorens hier verder op in te gaan, zullen eerst de belangrijkste mineralen, die in metamorfe gesteenten voor kunnen komen, kort beschreven worden.

I Mineralen in metamorfe gesteenten

De mineralen die op kunnen treden zijn gedeeltelijk gelijk aan de mineralen van stollingsgesteenten, die reeds in het artikel over petrologie genoemd zijn. Voor de herkenning van deze mineralen wordt dan ook naar dat artikel verwezen. Het betreft hier: veldspaat, kwarts, glimmer (biotiet, muscoviet), amfibool en pyroxeen. "Nieuw" zijn de volgende mineralen:

- a. **almandien-granaat**
De kleur is donkerrood tot zwart; soms in fraaigevormde kristallen (rhombendodekaëders), bijvoorbeeld in de granaat-glimmerschist van het Zillertal en elders in Oostenrijk. De hardheid ligt net boven 7.
- b. **stauroliet**
Donker bruinrode tot zwarte glanzende prismatische kristallen, waarin de orthorhombische symmetrie meestal wel herkenbaar is. Vaak doorgroeiingstweelingen, onder hoeken van 60° of 90°. De hardheid ligt net boven 7. Komt meestal samen voor met almandien.
- c. **Distheen of kyaniet**
Lavendelblauwe, prismatische, meestal vrij platte kristallen, waarin men altijd drie spijlrichingen kan zien, n.l. twee lengte-splijtingen en een dwarssplijting. Distheen zet vaak secondair om naar muscoviet en komt, net als stauroliet, meestal samen voor met almandien. Typisch zijn de verschillende hardheden in lengte- en dwarsrichting, n.l. 4 resp. 7.
- d. **sillimaniet**
Dit mineraal met dezelfde chemische samenstelling als kyaniet is makroskopisch meestal niet herkenbaar. Het vormt fijne naaldvormige witte kristallen, met dezelfde splijtingen als bij distheen.
- e. **andalusiet**
Dit mineraal, met dezelfde samenstelling als de twee voorafgaande vormt roze, bijna rechthoekige, prismatische kristallen van het orthorhombische stelsel, meestal overtrokken met een huidje van (secondaire) muscoviet. Goede kristallen ziet men meestal alleen in kwartslenzen. In het gesteente zelf is andalusiet makroskopisch moeilijk herkenbaar.
- f. **cordiëriet**
Cordiëriet is zowel makroskopisch als mikroskopisch nauwelijks te herkennen. Het verweert naar blauw-groene massa's van het mineraal piniet.
- g. **toermalijn**
Toermalijn, in de vorm van zwarte prismatische kristallen met een min of meer driehoekige doorsnede, komt in vele metamorfe gesteenten voor.
- h. **beryl**
Dit mineraal zal men maar weinig vinden. In sommige schisten komen groene tot geelgroene berylkristallen

voor, in de vorm van zeshoekige prisma's. Bekend is het (vroegere) voorkomen van smaragd in het Habachtal in Oostenrijk.

- i. **epidoot**
Van de epidootgroep is alleen de grasgroene epidoot (pistaciet) altijd gemakkelijk op grond van de kleur te herkennen. De kristallen behoren tot het monokliene stelsel en hebben een prismatische habitus.
- j. **aktinoliët**
Dit mineraal, ook wel "straalsteen" genoemd door verzamelaars, behoort tot de amfiboolgroep. Het vormt naaldvormige groene kristallen en komt meestal samen voor met epidoot, chloriet en andere mineralen die kenmerkend zijn voor groenschistfaciës-metamorfose.
- k. **glaucofaan**
Dit is een donkerblauwe amfibool, die men ook in naaldvormige kristallen vindt of (zoals bij Zermatt) als korte prismatische kristallen.
- l. **chloriet**
Dit is een groene glimmer, die vaak fijnverdeeld voorkomt, waardoor het gehele gesteente een groenachtige tint krijgt ("groenschist").

Tenslotte enige mineralen, die in metamorfe kalkgesteenten kunnen optreden, naast calciet:

- m. **vesuvianiet**
Groen tot bruin, prismatische kristallen van het tetragonale stelsel.
- n. **grossulaar**
Dit is een granaatvariëteit, met alle kenmerken van dien. De kleur is geelgroen. Ook oranje grossulaar (hessoniet) komt wel eens voor.
- o. **wollastoniet**
Dit is een pyroxeen-achtig mineraal, dat in bundels van naaldvormige tot prismatische witte kristallen voorkomt.
- p. **spinel**
Spinellen zijn niet beperkt tot metamorfe kalkgesteenten, maar kunnen ook in verschillende granulieten voorkomen. Spinel is aan de octaëdervorm te herkennen. Tot de spinelgroep kan ook magnetiet gerekend worden, te herkennen aan de zwarte octaëders en de magnetische eigenschappen. Magnetiet komt in serpentinieten en bepaalde schisten voor.

Uiteraard zijn dit niet alle metamorfe mineralen, o.a. zijn hier niet genoemd chloritoid, talk, korund. Voor uitvoerige beschrijvingen wordt verwezen naar de literatuur op mineralogisch gebied.

II Classificatie van de metamorfe gesteenten

De naamgeving is bij metamorfe gesteenten een zeer lastige zaak. Een systematische indeling, zoals bij de stollingsgesteenten, kennen we hier niet. Bij de naamgeving dient op de volgende punten gelet te worden:

1. de mineralogische samenstelling

Deze zegt iets over de aard van het oorsprongsgesteente. Verder kan de graad van metamorfose aan de mineraalinhoud afgelezen worden (zie onder Deel A, IV en V). Dit betekent ook, dat men iets kan zeggen over de fysische condities tijdens de metamorfose (de druk en de temperatuur, de invloed van water e.d.).

2. Het maaksel: de structuren en texturen

Karakteristieke structuren en texturen (de mikroskopische structuren) worden ook bij de naamgeving betrokken. Het kan zijn, dat men resten van sedimentaire ge-laagdheid aantreft. Een gesteente kan een fijne drukge-

laagheid hebben (*schistociteit*) of een grove (*foliatie*). Als de schistociteitsvlakken vlak en evenwijdig aan elkaar lopen, krijgt men een *planair* gesteente. Als bepaalde mineralen duidelijk in één richting georiënteerd zijn, spreekt men van een *lineair* gesteente. Combinaties in de vorm van plano-lineaire gesteenten treden ook op. Een oorspronkelijk porfierische textuur kan gedeeltelijk bewaard zijn gebleven, maar de fenokristen (zie artikel petrologie) zijn gekraakt ten gevolge van de schuifvlakken in het gesteente. Men spreekt dan van *porfieroklasten*.

Let op: men kan ook porfieroblasten hebben ten gevolge van metablastese (zie Deel A onder IX, a).

Voorbeeld van een beschrijving: fijn korrelige planaire biotiet-gneis met hier en daar kaliveldspaat-porfieroklasten. Uit deze naam leest men: het gesteente is een gneis, dus bestaande uit kwarts en veldspaat (zie onder II), met biotiet als belangrijkste glimmer; deze gneis heeft een planair karakter, maar bevat hier en daar gekraakte grote kristallen van kaliveldspaat. De grondmassa van het gesteente is fijnkorrelig (zie het artikel petrologie). Aan een dergelijke omschrijving heeft men veel meer houvast, dan aan de naam "gneis" alleen!!

3. De chemische samenstelling

Deze zegt iets over de aard van het oorsprongsgesteente en over de eventuele invloed van metasomatose (zie Deel A onder II).

4. Het veldvoorkomen

Zoals dat ook met stollingsgesteenten het geval is, is het vaak onmogelijk een naam te geven aan een losse kei. Meestal zal men het veldvoorkomen nauwkeurig moeten bestuderen, om de ware aard van een metamorf gesteente te leren kennen.

Voorbeeld: vaak vindt men in grote gneiscomplexen gangen met amfiboliet ingesloten. Soms is in de kern van deze gangen een doleritische textuur nog enigszins zichtbaar. Dit wijst dus op een doleriet of een aanverwant ganggesteente als oorsprongsgesteente van de amfiboliet. Deze hypothese wordt nog versterkt, als men bij mikroskopisch onderzoek resten van pyroxenen terugvindt. Het kan ook zijn, dat men in de kern van een amfiboliet-lichaam eklogiet aantreft. Er bestaat dan de mogelijkheid, dat de amfiboliet retrograde eklogiet is, dat wil zeggen eklogiet, die onder invloed van water opnieuw, maar dan lager, metamorf is geworden, waarbij watervrije mineralen als pyroxenen zijn omgezet naar waterhoudende mineralen als amfibolen. De gesteentenaam blijft dan amfiboliet, maar men kan tussen haakjes toevoegen: retrograde eklogiet.

5. Het oorsprongsgesteente

Op grond van de hiervoor genoemde punten is het meestal, maar niet altijd (!!), mogelijk de aard van het oorsprongsgesteente te herkennen.

Was het metamorfe gesteente oorspronkelijk een stollingsgesteente, dan gebruikt men het voorvoegsel: *ortho-*. Was het echter een sedimentgesteente, dan gebruikt men: *para-*.

Voor stollingsgesteenten, die nog zeer duidelijk hun eigen karakter vertonen, gebruikt men wel eens afwijkende namen. Bijvoorbeeld graniet-gneis, *metagabbro*, *epidioriet*.

Uit het voorafgaande mag wel blijken, dat een enkele aanduiding als "gneis" of "amfiboliet" voor een metamorf gesteente eigenlijk niet voldoet. De gesteentenaam wordt dus meestal voorzien van allerlei toevoegingen, waaruit iemand, die deze naam leest, zich een voorstelling van het desbetreffende gesteente kan maken. En daar gaat het tenslotte om!

Bij de beschrijvingen in II, waar steeds de primaire gesteentenamen gebruikt zullen worden, kan men nog enkele voorbeelden vinden van de gebruikelijke toevoegingen, zoals deze in het voorafgaande behandeld zijn.

II Beschrijvingen van belangrijkste metamorfe gesteenten

Bij de hierna volgende beschrijvingen zijn de gesteenten ingedeeld naar de aard van de metamorfose (zie Deel A onder III).

1. contactmetamorfe gesteenten

- nopjeslei — zeer fijnkorrelig, planaire cleavage, geen segregatie-adern (scheiding tussen lichte en donkere bestanddelen); ontstaan uit fijnkorrelige klastische sedimenten; de "nopjes" zijn ongeoriënteerde aggregaten van chloriet, grafiet e.d. en zijn zwart.
- nopjesschist — fijnkorrelig, sterk schisteus; makroskopische herkenning van mineralen (glimmers) mogelijk; zie hierboven voor de "nopjes".
- hoornrots — fijnkorrelige tot afanitische gesteenten zonder enige gelaagdheid of oriëntatie van mineralen, behalve soms sedimentaire gelaagdheid; bijvoorbeeld andalusiehoornrots, cordiëriehoornrots.
- kalksilikaat-hoornrots — dit is de naam voor contactmetamorfe kalkgesteenten, die onder meer vesuvianiet, epidoot, grossulaar diopsied en wollastoniet kunnen bevatten.

Van nopjeslei naar hoornrots heeft men een hogere graad van metamorfose. Zie voor de termen "lei" en "schist" ook onder 3.

2. dynamometamorfe gesteenten

- kakyriet — mikroskopische breccies ("mortelgneis"); vele schuifvlakken en wrijfspiegels, met daartussen praktisch ongestoorde partijen.
- fylloniet — gesteente met fylliet-achtige textuur (zie bij fylliet), enkele porfieroklasten en vele lenzen, die mechanisch ontstaan zijn.
- flaser-gneis — gerekristalliseerde fylloniet met slieren: grotere kristallen of lensvormige aggregaten in fijn schisteus materiaal (overgangen naar ogengneis, zie aldaar).
- flaser-amfiboliet — amfiboliet met lensvormige amfibool-aggregaten en slieren van plagioklaas, bijvoorbeeld uit gedeformeerde en metamorfe gabbro.
- myloniet — fijngebande mikrobrecchieuze gesteenten met één stel schistociteitsvlakken (evenwijdig aan de gebandheid) en enkele porfieroklasten.

Het veldvoorkomen en mikroskopisch onderzoek zullen pas aanwijzingen geven voor een dynamometamorf gesteente. Op of nabij overschuivingsvlakken tussen twee gesteenteformaties kan men de verschijnselen, die met dynamometamorfose samenhangen, het best bestuderen zoals verbrekking (kataklase) en lensvormige uitsmering van kristallen.

3. regionaal thermo-dynamo-metamorfe gesteenten

- lei — (laag-metamorf); fijne cleavage; mineralen mikro- noch makroskopisch herkenbaar; sedimentaire gelaagdheid meestal nog herkenbaar (de cleavage staat daar schuin op); grijs tot zwart.
 - fylliet — (laag-metamorf); mikroskopisch herkenbare glimmers (doorsnede kleiner dan 0,1 mm), zoals sericiet en chloriet, die een zijdeachtige glans geven op splijtvlakken in het gesteente; de cleavage is fijn; het veldspaatgehalte moet lager zijn dan 10%
 - schist — (laag tot hoog-metamorf); fijne schistociteit; meestal middenkorrelig; makroskopisch herkenbare kwarts en glimmers (muscoviet en biotiet); het veldspaatgehalte moet lager zijn dan 20%; aan naam schist kunnen de naam of namen van er in voorkomende metamorfe mineralen toegevoegd worden: distheen-schist, stauroliet-granaat-biotiet-schist, aktinolietschist e.d.; als de mineralen op de schistociteitsvlakken oriëntatie vertonen in de vorm van korenschoven, spreekt men van een "garvenschist", bv. hoornblende-garvenschist.
- Leien, fylliëten en schisten zijn in het algemeen progressief metamorfe pelietten of semi-pelietten (klei, silt, zandige klei e.d.).
- gneis — (meestal hoog-metamorf); grove schistociteit of foliatie; makroskopisch herkenbare glimmers en veldspaat (meer dan 20%); vaak segregatie in lichte banden (kwarts en veldspaat) en donkere banden (glimmers en andere mineralen). Evenals bij schisten kan de naam van het dominante mineraal worden toegevoegd, zoals biotiet-gneis, hoornblende-gneis; zie voor andere toevoegingen onder II 2.; gneizen kunnen zowel ontstaan uit parageesteenten, nl. grauwacke en arkose (veldspaat-houdende sedimenten), als uit orthogesteenten, nl. granietten of granodiorietten.
 - amfiboliet — (meestal hoog-metamorf); midden- tot grofkorrelig; voornamelijk bestaande uit plagioklaas (wit) en amfibool (groen); schistociteit of foliatie soms afwezig, maar dan lineatie (gerichte amfibool); kwarts afwezig; eventuele andere mineralen kunnen in de naam worden opgenomen, bv. granaat-amfiboliet en epidoot-amfiboliet (groenschistfaciës); amfibolietten kunnen ontstaan uit basische stollingsgesteenten als gabbro's en diorietten (ortho-amfibolietten), als ook uit mergelige sedimenten (para-amfibolietten).
 - granuliet — (hoog-metamorf); de naam moet men beperken tot gesteenten, die granuliet faciës-metamorfose ondergaan hebben (let op: in Frankrijk gebruikt men de term "granulite" als synoniem voor tweeglimmergraniet, in Engeland wordt deze naam voor ieder korrelig—"granulair"-gesteente gebruikt!). Granulietten zijn glimmerarm, veldspaatrijk, fijn tot grof geband en hebben

typische afgeplatte kwartsen; de lichte of leukokrate granulietten zijn vaak droog-metamorfe parageesteenten en bestaan voornamelijk uit kwarts, granaat en veldspaat (makroskopisch moeilijk herkenbaar), terwijl ook distheen, als typisch hoge-druk mineraal, kan voorkomen; de donkere, melanokrate of basische granulietten zijn afkomstig van basische stollingsgesteenten en bevatten granaat, pyroxeen en/of hoornblende.

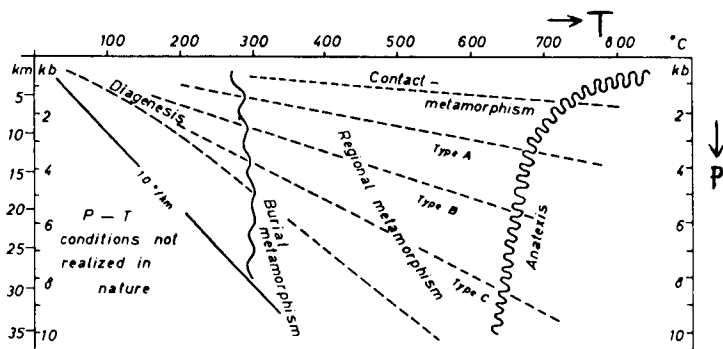
- eklogiet — (zeer hoog metamorf); ook deze naam moet alleen gebruikt worden voor gesteenten, die metamorfose in de eklogietfaciës ondergaan hebben; meestal middenkorrelig en ongericht; makroskopisch alleen rode granaat (pyrooprijk) en omphaciet (grasgroene pyroxeen) herkenbaar; de namen van andere aanwezige mineralen kunnen toegevoegd worden, b.v. distheen-eklogiet; ze zijn ontstaan uit basische stollingsgesteenten (gabbro, basalt); veldspaten komen er niet in voor, wel nog wat kwarts.
- kwartsiet — regionaal metamorfe zandsteen, bestaat vrijwel geheel uit kwarts, met soms hier en daar wat glimmer.
- marmer — regionaal metamorfe kalksteen; marmeren kunnen geheel uit calciet zijn opgebouwd; soms treft men Ca-houdende mineralen aan als grossulaar-granaat en diopsied; onder bepaalde omstandigheden ook flogopiet (een goudbruine glimmer), forsteriet e.d.
- serpentiniet — regionaal metamorfe peridotiet; de olivijn van de peridotiet is dan omgezet naar serpentijnmineralen zoals antigoriet en chrysotiel; de kleur is meestal groen; talk (met de nagels te krassen!) en magnetiet kunnen er in voorkomen, evenals adertjes met asbest; als men wil weten of er nog olivijn in het gesteente aanwezig is, past men de hamertest toe: olivijn krast een hamer!

4. gesteenten, die begravingsmetamorfose hebben ondergaan

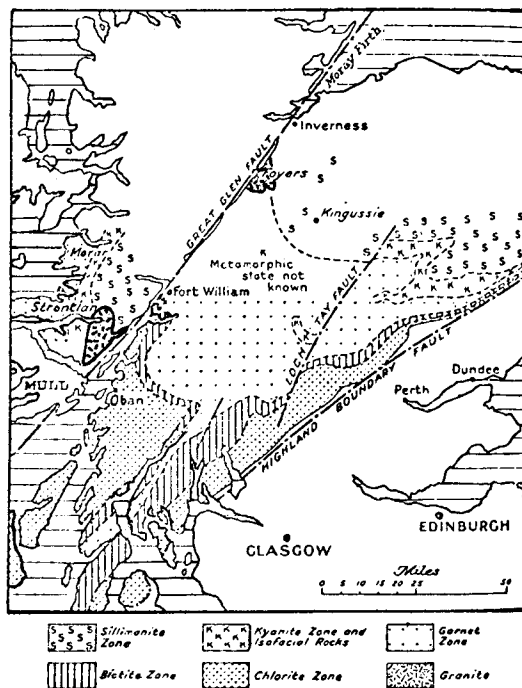
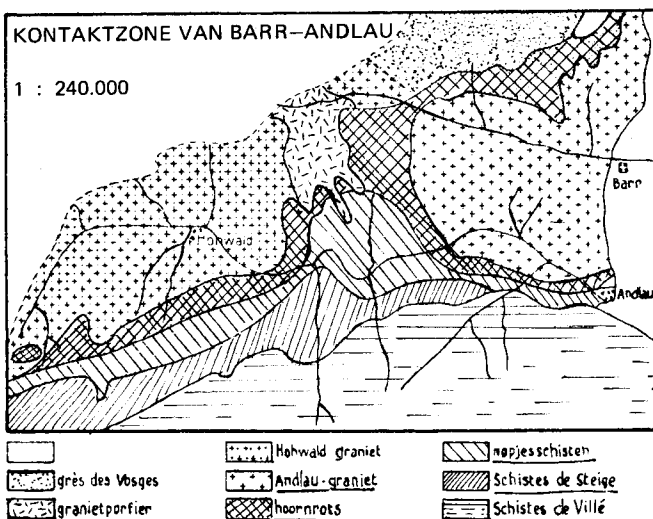
Zeolietfaciës-gesteenten komen voor zover de schrijver bekend niet in Europa voor, zodat we geen zorgen hoeven te hebben over hun naamgeving. Glaucofaanschistfaciës-gesteenten komen wel voor, o.a. in de Alpen. Het betreffen voornamelijk schisten; de naam van de hoofdmineralen wordt op de gebruikelijke manier toegevoegd, bv. glaucofaanschist; deze zijn gewoonlijk donkerblauw (vooral onder water gehouden kan men de kleur goed zien) en bevatten meestal ook granaat (rood), epidoot en muscoviet. Bekende voorkomens komen voor bij Zermatt en de Mont Blanc.

5. ultra-metamorfe gesteenten

De algemene term voor gesteenten, die deze extreme vorm van metamorfose ondergaan hebben, is migmatieten. Dit zijn midden- tot grofkorrelige gneisachtige gesteenten, waarin granietachtige partijen voorkomen. Er bestaan verschillende namen voor verschillende typen, waarvan we hier alleen de agmatieten noemen. Deze worden gekenmerkt door een breccieuze structuur: hoeke donkere partijen (paleosoom) met daartussen lichtgekleurde aders (neosoom).



Figuur 1. Schematisch druk (P) en temperatuur (T)-diagram voor verschillende typen van metamorfose



Figuur 3. Metamorfe zonering in Schotland

Figuur 2. Contactzone van de Barr-Andlau graniet in de Schiste de Steige

In het paleosoos van migmatieten vindt men gebruikelijk biotiet en soms ook cordiëriet, in het neosoos kwarts en veldspaat.

6. restgroep

Hieronder enige algemene metamorfe gesteenten:

- ogengneis — gneizen met lensvormige "ogen" van vooral veldspaat, die soms enkele cm's groot kunnen zijn; ogengneizen komen op vele plaatsen in de wereld voor, maar over hun ontstaan is men het nog lang niet eens; het kunnen oorspronkelijk stollingsgesteenten met fenokristen of megakristen betreffen, die door dynamo-metamorfose lensvormig gedeformeerd zijn, of regionaal metamorfe gesteenten met porfieroblasten door metablastese (Deel A, IX, a).
- granofels (rots)— midden- tot grofkorrelige richtingloze gesteenten, die zowel contactmeta-morf als regionaal metamorf kunnen voorkomen, b.v. olivijnrots, andalusiet-rots, kwarts-veldspaat granofels.

Zoals de lezer duidelijk zal zijn geworden, vormt de metamorfose een zeer complex onderdeel van de geologie. De vele "vaktermen" zullen de leesbaarheid zeker niet bevorderen. Deze termen zijn echter met opzet gebruikt,

omdat men ze in de literatuur over gebieden met metamorfe gesteenten zo vaak gebruikt vindt. Wanneer men naar een gebied gaat met dergelijke gesteenten, doet men er goed aan zich te laten leiden door één van de regionale geologische gidsen, die er tegenwoordig voor verschillende streken bestaan. Deze gidsen zijn gewoonlijk voorzien van excursies, die men nauwkeurig kan volgen. De gesteenten die men op zo'n excursie kan aantreffen, zijn uitvoerig beschreven, zodat men de ontsluitingen goed geïnstrueerd te lijf kan gaan. Overigens moet wel vermeld worden, dat voor het slaan van handstukken van metamorfe gesteenten, uitgezonderd sterk schisteuze gesteenten, geen speelgoedhamertjes gebruikt kunnen worden. Een hamer met een kop van 1 1/2 kilo is vaak nog te licht om een handstuk van een stevige onverwerde gneis te slaan! Nogmaals moet uitdrukkelijk gesteld worden, dat een handstuk aan zeker drie kanten vers moet zijn; de mineralen en structuren zijn anders niet goed te herkennen. Met algen begroeide stukken van de Hondsbossche Zeewering zijn ook voor deskundigen niet determineerbaar!

Wanneer men systematisch, met goede beschrijvingen in de hand, de gesteenten in hun veldvoorkomen bestudeert, zullen vele van de in dit artikel gebruikte begrippen duidelijker worden. De lezer wordt hierbij veel succes toegewenst.