R.S. Mitchell: Mineral names, what do they mean?, uitg. Van Nostrand Reinhold, New York e.a., 1979 en
H. Lüschen: Die Namen der Steine, Das Mineralreich im Spiegel der Sprache, uitg. Ott Verlag, Thun en München, 1968 (van dit boek is inmiddels een tweede druk verschenen).

Verder werden geraadpleegd:
M. Fleischer: Glossary of mineral species, uitg. The Mineralogical Record, Tucson, 4e editie, 1983;
C. Palache, H. Berman en C. Frondel: Dana's System of Mineralogy, vol. I en II, uitg. John Wiley & Sons, New York e.a., 7th edition, 1944 en 1951;
H. Strunz: Mineralogische Tabellen, uitg. Geest & Portig, Leipzig, 5. Auflage, 1970;
Bureau des Recherches Géologiques et Minières: Index alphabétique de nomenclature minéralogique, 1968.

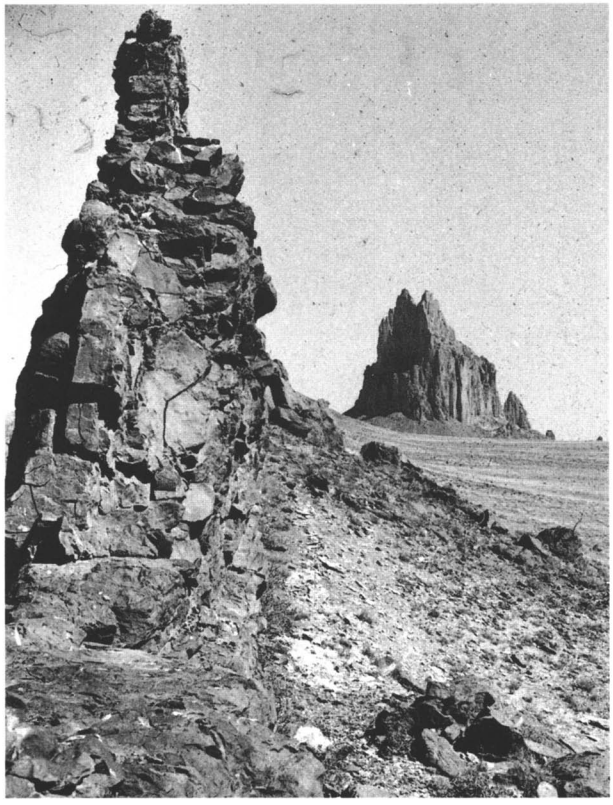
De afgebeelde postzegels zijn uit de collectie van de auteur; foto's P. Stemvers.
De afgebeelde houtsneden zijn ontleend aan Die Namen der Steine, door H. Lüschen.

Metamorfe gesteenten en hun relaties in het veld

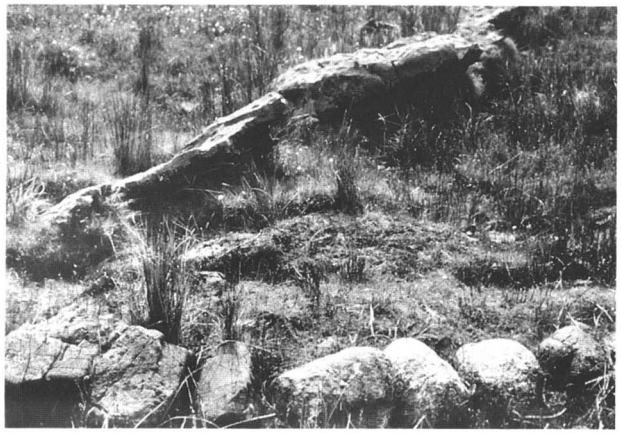
door drs. W.C.P. de Vries

Contactmetamorfose

In de loop van de geologische geschiedenis van de aarde werden enorme gebieden bedekt door stromen van lava; vooral tijdens de laatste geologische perioden: Krijt, Tertiair en Kwartair, is er sprake van een grote activiteit van het vulkanisme en zijn gebieden van meerdere honderdduizenden vierkante kilometers bedekt door bazaltpakketten, die dikten bereikten van verscheidene kilometers. Voorbeelden zijn IJsland, het westen van Schotland, Noord-Ierland, de Deccan Traps in India.
De toevoer van de bazaltische lava uit de diepte is in veel gevallen gegaan via breuksystemen in de aardkorst. De gestolde bazaltische lava die in deze breuken is achtergebleven vormt nu rechtopstaande platen met een dikte variërend van enkele decimeters tot tientallen meters en met een lengte die honderden kilometers kan bedragen. Een dergelijke plaat van bazaltisch gesteente wordt een gang genoemd, het gesteente heet diabaas (ook wordt wel de term doleriet gebruikt). In bepaalde gebieden vinden we zwermen van deze diabaasgangen; een bekend gebied is West-Schotland, waar vele tientallen diabaasgangen voorkomen die alle een richting hebben van ongeveer noord-noordwest – zuid-zuidoost.
De temperatuur van de bazaltische lava kan rond de 1000 graden Celsius bedragen en het gesteente van de aardkorst aan weerszijden van de scheur waardoor de lava omhoog stijgt heeft natuurlijk de invloed van deze hoge temperatuur ondervonden.
Langs het contact met de diabaas is aan het nevengesteente het resultaat zichtbaar van de beïnvloeding, de dikte van de beïnvloede zone is echter veelal gering, langs vele gangen slechts enkele millimeters. Vaak is het nevengesteente zeer hard geworden en breekt het op de wijze van porselein. Het zal duidelijk zijn dat het nevengesteente is veranderd, ofwel gemetamorfoseerd, door de hoge temperatuur van de lava. Deze smalle zone van porselein-achtig materiaal is de "gebakken rand" van het nevengesteente.
De lava is langs het contact met het koude nevengesteente snel afgekoeld; de zijkant van een diabaasgang laat een fijnkristallijne 'afkoelingsrand' zien.
Een dikkere lava-intrusie laat een sterkere beïnvloeding van het nevengesteente zien. Afb. 1 en 2. Een bekende plaatvormige – horizontaal liggende – diabaasintrusie in Noordoost-Engeland, de Whin Sill (bekend van de Romeinse Muur), die 73 meter dik is, heeft het nevengesteente gebakken tot op een afstand van 40 meter, zowel onder als boven de plaat.
Het nevengesteente in deze gebakken randen is harder dan het niet-gemetamorfoseerde gesteente, het is massief, de



Afb. 1. Gang van bazaltische lava; langs de gang is de zandige lei hard gebakken en als een lichtgekleurde zone zichtbaar. Op de achtergrond de uitverweerde vulling van een grote kraterpijp. Shiprock, Arizona, USA.



Afb. 2. Harde richel van gemetamorfoseerde zandsteen. De rest van het zandsteenpakket is, evenals de lavagang die de oorzaak van de contactmetamorfose was, door erosie verdwenen. Kust van Oost-Arran, W-Schotland.

kristallen zijn van gelijke grootte. Veelal is het gesteente fijnkristallijn. Het gebakken gesteente geeft een schelpvormige breuk en versplintert in scherpgerande stukken. Dit gesteente langs de randen van intrusieve stollingsgesteenten wordt **hoornrots** genoemd. Afb. 3.
De Sulitjelma-gabbro in Noord-Noorwegen bereikt een dikte van meer dan 2 km, de dikte van de zone van hoornrotsen is tussen de 30 en 100 meter. De hoornrotsen zijn gemakkelijk te onderscheiden van het niet-beïnvloede nevengesteente. Het oorspronkelijke nevengesteente is een schisteus gesteente met een hoge glans, dat gemakkelijk splijt langs evenwijdige vlakken. De splijtvlakken glanzen sterk door het voorkomen van veel grote glimmerplaatjes. De hoornrotsen daarentegen hebben een kleinere kristalgrootte; zij zijn massief en daardoor veel beter bestand tegen verwering en erosie. De hoornrotsen vormen uit het landschap omhoogrijzende randen.
De grootte van de kristallen van het metamorfe nevengesteente is opvallend uniform en daardoor heeft het gesteente een korrelig uiterlijk op een verse breuk. Deze textuur wordt genoemd de **granoblastische textuur**, die karakteristiek is voor hoornrotsen. (Textuur = de relatie tussen de verschillende kristallen in een gesteente.)
In het algemeen is de invloed van een grote intrusie op het nevengesteente intensiever dan van een kleinere, de zone van metamorfose is wijder en de kristallen van de hoornrotsen bereiken grotere afmetingen. Een grote zone van metamorfe contactgesteenten wordt een **contactaureool** genoemd; deze komt zowel rond intrusies van bazaltische lava als rond massa's van granitisch gesteente voor.
De temperatuur van het granitisch magma is veelal veel lager dan die van de bazalt, toch geeft de graniet geen kleinere contactzone. Eerder is het omgekeerde waar: grote intrusielichamen van graniet en granodioriet hebben naar verhouding veel grotere contactaureolen. De granieten van Devon en Cornwall zijn omgeven door aureolen die meer dan twee kilometer breed zijn. Afb. 4. Een veel uitgebreidere zone van beïnvloeding toont de Skiddaw-graniet in het Engelse Merendistrict. Afb. 5.
In de grote contactaureolen zijn op verschillende afstanden van de intrusie verschillen in de beïnvloeding van de gesteenten te zien; naar het contact toegaand wordt de verandering meer geprononceerd. De opeenvolging van de verschillende stadia van metamorfose, gaande van het niet beïnvloede gesteente tot het contactvlak is een **progressieve metamorfe opeenvolging.**

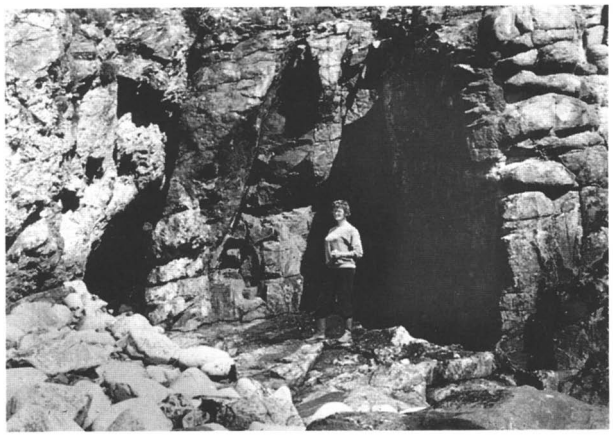
De ontwikkeling van een progressieve metamorfe opeenvolging in een contactaureool is te danken aan een toename van de temperatuur in het nevengesteente. De gesteenten nabij het contact hebben een grotere beïnvloeding ondergaan dan de gesteenten verder weg en de hoornrotsen bij het contact zijn dan ook van een hogere **metamorfe graad** dan de gesteenten van de randen van het contactaureool.
De term "**graad**" wordt in het veld gebruikt voor het aangeven van de mate van verandering van alle soorten metamorfe gesteenten. Een meer preciese bepaling van de sterkte van metamorfose is echter pas mogelijk met een microscopische studie waarbij kan worden bepaald welke mineralen er werden gevormd. Zo kunnen dan de diverse niveaus van verandering worden onderscheiden en benoemd.

Contactmetamorfose bij kleien

Indrukwekkend zijn de veranderingen die optreden in van oorsprong kleiïge sedimenten en kalken.
De eerste verandering die kan worden geobserveerd bij contactmetamorfose van een schalie of lei is het verdwijnen van de fraaie, intensieve splijting van de leisteen en het massief worden van het gesteente. In de volgende zone verschijnen er donkere vlekken die soms in banden aanwezig zijn. Nog dichter naar het contact toegaande verdwijnen de vlekken, het gesteente wordt zeer hard en toont een afwisseling van lichtere en donkere banden die veelal de oorspronkelijke gelaagdheid volgen. Deze opeenvolging van achtereenvolgens: verharde en massieve lei – gevlekte hoornrots – massieve hoornrots, komt algemeen voor en kan bv. worden gezien bij de Markfield-dioriet in Leicestershire en de Drammen-graniet bij Oslo. Zie ook afb. 6.
Het bovengenoemde optreden van vlekken, die enkele millimeters groot worden, is typerend voor contactmetamorfose in kleiïge gesteenten. De vlekken kunnen bestaan uit grafiet of mineralen als de andalusiet-variëteit chiastoliet of cordiëriet. Deze nieuwgevormde mineralen zijn in dit zeer fijnkristallijne gesteente gegroeid en hebben soms hun eigen kristalvorm bereikt. Deze mineralen zijn porfiroblasten. Zie afb. 7.

Afb. 3. Aan de westpunt van Normandië is de "Graniet van Flamanville" geïntrudeerd in kleiïge en zandige sedimentgesteenten uit het Devoon. In de buurt van Diélette is het contact te zien dat hier is afgebeeld. Links: fijngebande hoornrots; rechts: het intrusieve gesteente (zie ook Gea, vol. 14 (1981), nr. 1, Normandië, p. 32 e.v.).

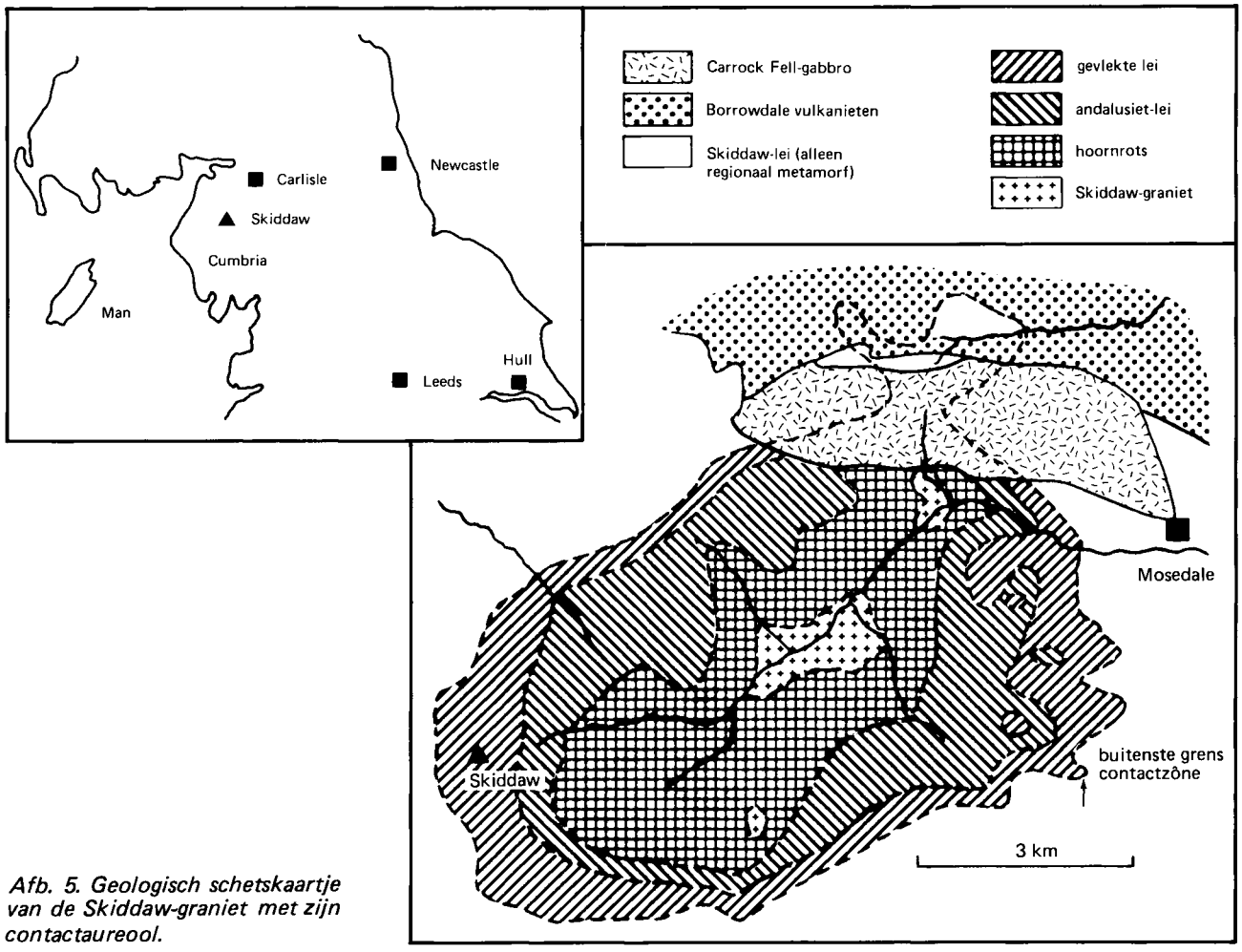




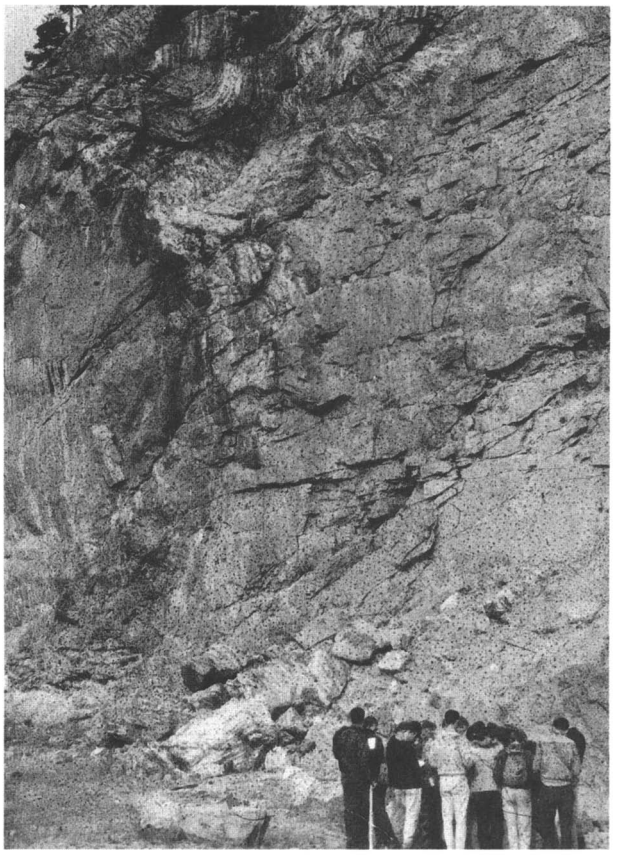
Afb. 4. Bij Cape Cornwall zijn aders van de Land's End-graniet in Devonische sedimenten gedrongen. Deze worden "killa's" genoemd; het zijn kleiige afzettingen met zandige tussenlaagjes. De killa's zijn sterk geplooid en gemetamorfoseerd bij het contact. Het contact is aan de zeekant in steile kliffen ontsloten, maar is bij Priest's Cove, direct ten Z van Cape Cornwall, te voet bereikbaar (foto).
De zee heeft de zachtste gesteenten van de contactzone weggevoerd, waardoor grotten ontstonden. Brokken van hoogmetamorfe killa's (midden van de foto) zitten vastgebakken aan de rand van de graniet (rechts), die wolzakverwering vertoont.

Metasomatose

De gesteenten in de binnenste zones van een contactaureool zijn veelal niet alleen gemetamorfoseerd door de hogere temperatuur, er treedt vaak ook een verandering op in de chemische samenstelling van het gesteente. Enerzijds zullen door de temperatuursverhoging de zogenoemde "vluchtige" bestanddelen zoals water en kooldioxyde verdwijnen, daarnaast is het gehalte aan bepaalde chemische elementen toegenomen. Er kan toevoer plaats vinden van elementen als natrium, kalium, lithium en borium.
Metamorfose waarbij een verandering optreedt in de chemische samenstelling is **metasomatose**; in het geval van de contactzone dus **contact-metasomatose**.
Contact-metasomatose komt vooral voor bij granitische intrusies. Een vrijwel geheel gestolde graniet geeft een aantal chemische elementen aan het nevengesteente af welke elementen niet konden worden opgenomen in de mineralen die tijdens de stolling van het granitische magma werden gevormd. Een belangrijk element is borium, waarmee biotiet en veldspaat worden omgezet in toermalijn en kwarts.
Contactgesteenten die door contactmetasomatose worden veranderd bestaan vaak uit een klein aantal mineralen. Een dergelijk gesteente wordt **skarn** genoemd. Skarn betekent: 'rommel', want deze gesteenten, die vaak voorkomen in aders naast waardevolle ertsmineralen, gooide men vroeger weg. Nu worden ze, onder meer, verzameld voor de fraai gekristalliseerde mineralen.



Afb. 5. Geologisch schetskaartje van de Skiddaw-graniet met zijn contactaureool.



Afb. 6. Contact van Drammen-graniet (rechts onder) en gebande hoornrots (links boven). Drammen, nabij Oslo, Noorwegen.

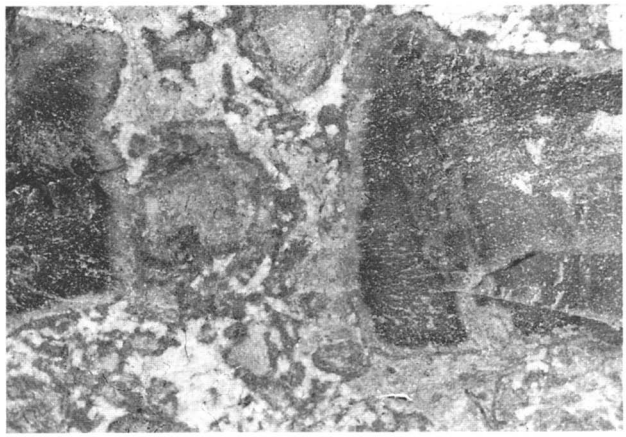
Niet iedere grote intrusie heeft een vergelijkbare grote contactzone of een vergelijkbare invloed op het nevengesteente door metasomatose. Het blijkt dat niet alleen de hoeveelheid warmte die door het intrusielichaam wordt afgegeven de grootte van het contactaureool bepaalt, doch dat de hoeveelheid van de aangevoerde chemische elementen alsmede de wijze waarop deze worden getransporteerd van groot belang is. De chemische elementen die voor de metasomatische reacties worden gebruikt, worden aangedragen in een soort waterige vloeistof die uit de intruderende graniet afkomstig is. Ook het warmtetransport van de graniet naar het nevengesteente wordt voor een belangrijk deel verzorgd door deze vloeistof.
Dit is dan ook de verklaring voor het feit dat de bazaltische intrusie een naar verhouding kleine contactzone heeft. Het bazaltische magma bevat weinig opgeloste vluchtige verbindingen waaruit de vloeistof bestaat die de warmte transporteert, de chemische elementen vervoert en ook behulpzaam is bij de voortgang van de chemische, c.q. metasomatische reacties in het nevengesteente.
Contactmetasomatose in carbonaatgesteenten heeft vooral een spectaculair resultaat als de gesteenten zogenoemde onzuivere kalken zijn. Dit zijn zandige kalken en dolomitische kalk. Bij temperatuursverhoging door een oprijzende intrusie zal het mineraal dolomiet een gedeelte van zijn kooldioxyde afstaan, terwijl dit proces bij calciet niet zo gemakkelijk optreedt. Door dit **dedolomitisatie**proces verdwijnt de dolomiet en blijft er, naast calciet, magnesiumoxyde over. De magnesiumoxyde reageert met onder meer water of kwarts tot de vorming van andere mineralen. Naast het magnesiumhydroxyde bruciet kan de volgende progressieve metamorfe serie ontstaan: talk, tremoliet, diopsied, forsteriet, periklaas en wollastoniet, waarbij, in de hogere graad van metamorfose, reacties met calciet en kwarts steeds vaker gaan optreden (bv.: calciet met kwarts geeft wollastoniet en kooldioxyde). De gevoeligheid van zandige kalken en dolomieten voor metasomatische contactmetamorfose doet een grote variëteit van zeer interessante gesteenten ontstaan; bekend zijn de skarnafzettingen van Noorwegen, daarnaast zijn de contactzones van de Scawt Hill-diabaas (Antrim Cy, Noord-Ierland) en die van de Beinn-graniet (eiland Skye, Schotland) beroemd om de zeldzame calcium- en magnesiumsilicaten. Zie afb. 8.

Dynamische of kataklastische metamorfose

Contactmetamorfose is rechtstreeks gerelateerd aan een intrusie van een gesteentesmelt en is dus van lokale betekenis. Een ander type van metamorfose dat van plaatselijk belang is treedt op langs grote breuken en schuifvlakken. Breuk- en overschuivingsvlakken zijn contacten waarlangs belangrijke bewegingen hebben plaats gevonden en de metamorfose langs de vlakken heeft gelijktijdig met de beweging plaatsgevonden. Bij deze bewegings- ofwel **dynamische metamorfose** treedt een grotere variatie op dan bij de contactmetamorfose.

Afb. 7. Chiastoliet-porfiroblasten in zandige lei. De porfiroblasten hebben hier zeer grote afmetingen kunnen bereiken. Herkomst: Bretagne.



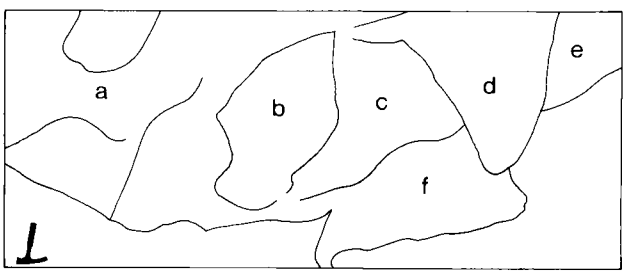


Afb. 8. Intrusie van syeniet in dolomiet. De dolomiet (effen grijs) is verbroken; langs het contact met het intrusieve gesteente is de dolomiet verkleurd. Afgebeeld is ± 12 cm. Herkomst: Marble Hall, Transvaal, Zuid-Afrika.

Bij een beweging die relatief dicht bij of aan het aardoppervlak plaats vindt zal het gesteente langs en in de bewegingszone worden vergruisd. Dit gebroken gesteente, de **breukbreccie**, (afb. 9) bestaat uit fragmenten die zeer uiteenlopende grootte kunnen tonen, gebed in een soms uiterst fijn vermalen materiaal, het **breukmeel**. Een breukbreccie met breukmeel als matrix is relatief gemakkelijk te eroderen, daardoor zijn veel breuken gemarkeerd door rivierdalen, meren en andere depressies in het landoppervlak. Een bekend voorbeeld is de rij langgerekte meren, met o.a. Loch Ness, in de Great Glenn breuk in Schotland.

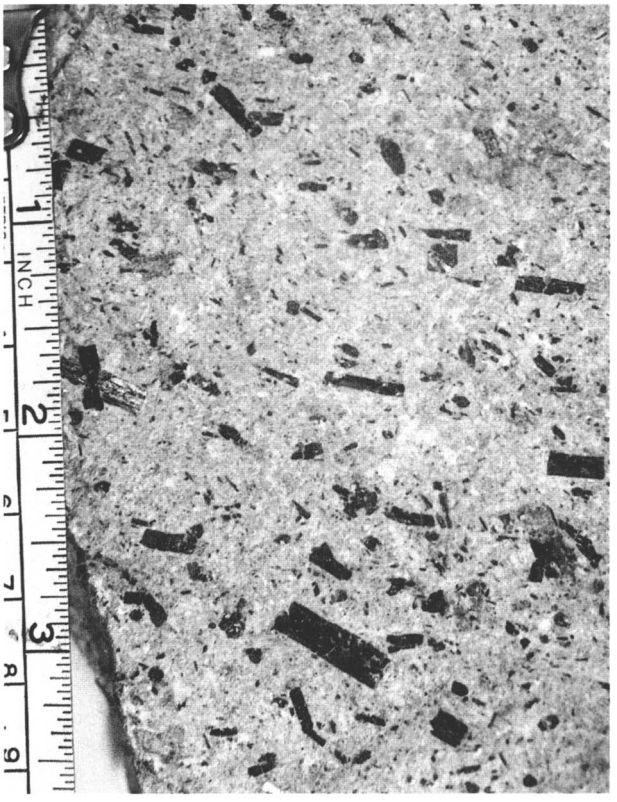
Als een breukbeweging optreedt op grotere diepte in de aardkorst zullen de kanten van het breukvlak door de gesteentedruk tegen elkaar aan worden gedrukt. Er treedt door de wrijvingswarmte rekristallisatie op en zelfs kan het gesteente gedeeltelijk smelten. Een massief, sterk gesteente als een kwartsiet zal dan veranderen in een **myloniet**, die bestaat uit lensvormige stukken van het nevengesteente die liggen in een harde, gebande, vuursteenachtige matrix. De gesteentelenzen en de banding van de mylonietmassa zijn evenwijdig aan het breukvlak georiënteerd. Als de lensvormige fragmenten uit één kristal bestaan spreekt men van **porfiroklasten**. Een myloniet is veelal meer resistent tegen verwering en erosie en zal als een rand in het landschap oprijzen.

Vindt breukbeweging plaats in een kleiïg gesteente dan zullen de glimmermineralen in het gesteente zich evenwijdig aan de breuk oriënteren. Het zo ontstane leiachtige gesteente splijt echter minder fraai dan de bekende daklei. Dit gesteente, de **fylloniet**, toont een banding doordat de mineralen de tendens hebben zich aan te passen aan de bewegingen, ofwel aan de tektonische krachten en proces-



Afb. 9. Bij het Etang de Lers, omg. Vicdessos, Ariège (Fr. Pyreneeën) is, naar men aanneemt, een deel van het aardmantelmateriaal omhooggedrongen. Dit ultrabasische materiaal, Iherzoliet genoemd, vormt een koepelvormige intrusie in kalklagen uit het Krijt, die door de intrusie tot marmer zijn gemetamorfoseerd. In een weginsnijding is het contact mooi ontsloten (foto).
Van links naar rechts: a. grijs/witte, fijngebande marmer; b. breukbreccie van marmer; c. Iherzolietlens; d. marmer; e. Iherzoliet; onder c. en d. breksieus gesteente met Iherzolietfragmenten en carbonaat (f). Het afgebeelde deel van het contact is ±4 m lang en beslaat ongeveer de helft van de totale contactzone.





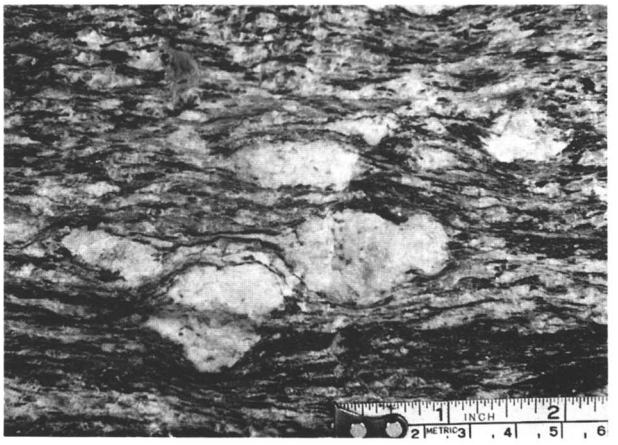
Afb. 10. Lineatie van prismatische hoornblende-kristallen in een hoornblendeschist. Noorwegen. Hoogte 10 cm.

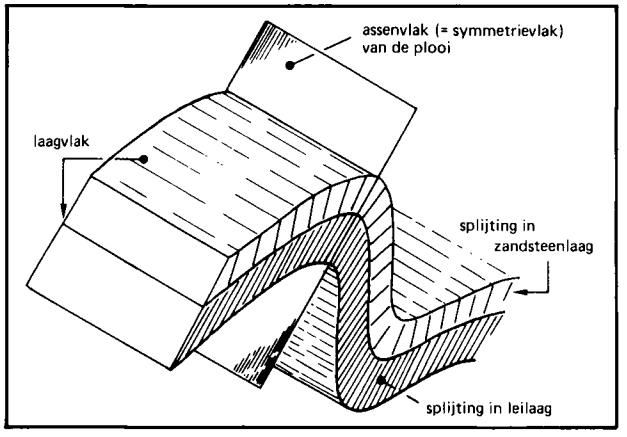
sen; dit is een algemeen voorkomend verschijnsel. Een dergelijke oriëntatie van mineralen in bepaalde evenwijdige vlakken heet **foliatie**, een term die ook voor andere typen van metamorfe gesteenten algemeen wordt gebruikt. Naast de foliatie treedt soms ook een oriëntatie van bepaalde mineralen op evenwijdig aan één bepaalde richting in het vlak van de foliatie; dit is natuurlijk het beste zichtbaar aan lang-prismatische of naaldvormige mineralen. Deze textuur heet **lineatie**. Afb. 10.
Intensieve bewegingen in sterke gesteenten geven als resultaat een gesteente waarin alle porfiroklasten zijn verdwenen en een zeer fijn, geband gesteente achterblijft, de **ultramyloniet**. In extreme gevallen kan er zelfs smelten optreden, waarbij de gesmolten gesteentemassa in het nevengesteente indringt als kleine adertjes. De smelt stolt tot een glasmassa die **pseudo-tachyliet** wordt genoemd.
Het voornaamste proces voor de deformatie bij dynamische metamorfose is de beweging langs de breuk of over het schuifvlak, waarbij er een grote variatie in de reactie van het gesteente optreedt. Deze variatie is groter dan die bij de contactmetamorfose. Der reactie van het gesteente bestaat uit vergruizen, verschillende vormen van intra- en interkristallijne verplaatsingen en in het extreme geval uit smelten door de wrijvingshitte. De specifieke reactie die optreedt hangt af van temperatuur, gesteentedruk, gesteentesamenstelling en andere factoren, waarvan de spanning (schuifspanning) het meest belangrijk is.
Een andere serie van dynamische metamorfe gesteenten wordt gevonden in relatie met cirkelvormige, in een verse toestand kratervormige structuren. Deze structuren zijn vooral bekend van de maan en worden gevormd door inslag van een meteoriet. Tegenwoordig worden de kraters ook kunstmatig geproduceerd door de ontploffing van een kernbom. De energie van inslag of ontploffing wordt omgezet in een schokgolf met zeer hoge energie-inhoud, die tijdens zijn weg door de gesteenten zeer hoge temperaturen en drukken veroorzaakt en zo aanleiding geeft tot de **schokmetamorfose**.
In de buitenrand van een schokaureool is het gesteente gebroken, mineralen zijn gebroken en verbogen. De ruimten tussen de fragmenten zijn niet gevuld door een fijne matrix, soms is er glasachtig materiaal aanwezig. Gaande in de richting van het inslagpunt neemt de hoeveelheid glas toe en het gesteente is dan een soort breccie van hoekige fragmenten in een glasmatrix, welk gesteente **sueviet** heet. Nabij het inslagpunt wordt glasmateriaal gevonden zonder insluitsels van hoekige fragmenten: **impactietglas** genoemd.

Regionaal-metamorfe gesteenten

Contactmetamorfe en dynamisch metamorfe gesteenten treden slechts over beperkte geografische gebieden op en zijn rechtstreeks te relateren tot bepaalde gebeurtenissen, waarvan de oorzaak en relatie in het veld gemakkelijk kunnen worden geobserveerd. De derde groep heeft, zoals de naam al zegt, een regionale uitbreiding. Het is veruit de meest voorkomende groep van metamorfe gesteenten. De gesteenten uit deze groep treden over grote uitgestrektheden van het aardoppervlak aan de dag en worden over enorme gebieden gevonden onder een relatief dunne laag van sedimentaire gesteenten.
Regionaal-metamorfe gesteenten worden gekarakteriseerd door de tendens van vele metamorfe mineralen zich te oriënteren in een bepaalde richting onder invloed van spanningen in het gesteente. De spanningen die optreden worden bij voorbeeld veroorzaakt door gebergtevormende bewegingen.
De aldus gevormde texturen (relaties tussen de verschillende kristallen in een gesteente), die het resultaat zijn van de combinatie van hoge temperatuur en tektonisatie, worden aangeduid als **metamorf maaksel**; de tijdens de regionale metamorfose optredende horizontaal gerichte spanning in de gesteenten veroorzaakt gerichte texturen die met **gericht maaksel** worden aangeduid. Er zijn twee typen van regionaal metamorfe, gerichte maaksels: **foliatie** en **lineatie**, welke twee maaksels veelal tezamen optreden. Foliatie is een maaksel waarbij de elementen waaruit het wordt gevormd, dus de kristallen der mineralen, gerang-

Afb. 11. Ogengneis met porfiroblasten. Gneis van het Gran Paradisomassief, Noord-Italië.





Afb. 12. Verschil in gedrag bij plooiing tussen een kleiïge en zandige sedimentlaag. De klei ontwikkelt een leisplijting die fraai evenwijdig aan het assenvlak van de plooi loopt; de hardere zandsteenlaag breekt vrijwel loodrecht op de gelaagdheid.

schikt zijn in evenwijdige vlakken. Een bekende foliatie is de leisplijting, waarbij de zeer kleine plaatjes van glimmermineralen als sericiet (muscoviet) en chloriet vrijwel parallel aan elkaar zijn geordend. Het gesteente zal kunnen splijten langs de richting van de zeer gemakkelijk splijtbare glimmerplaatjes. Dit verschijnsel wordt gesteentesplijting genoemd, dit ter onderscheiding van de splijting van de afzonderlijke kristallen. Als er geen verwarring over het gebruik kan ontstaan, dan wordt voor gesteenten de term **splijting** gebruikt.
Leisplijting is een zeer opvallende structuur: de lei kan worden gespleten tot dunne plaatjes van zeer uniforme dikte met fraaie gladde oppervlakken. In de Belgische Ardennen zijn vele voorbeelden te vinden. Bij een hogere graad van metamorfose wordt de kristalliniteit grover, de metamorfe mineralen gaan verder uitgroeien tot grotere afmetingen. Het gesteente bestaat voornamelijk uit fyllosilicaten: de glimmermineralen, zoals muscoviet, biotiet en chloriet. Ook deze mineralen hebben hun plaatvormige kristallen gearrangeerd in evenwijdige vlakken. De kristallen zijn groter, de rangschikking minder fraai evenwijdig en de gesteentesplijting is minder perfekt; de platen waarlangs het gesteente splijt zijn dikker en minder fraai vlak. Deze vorm van splijting heet **schistositeit**.
Als overgang tussen de dak- of schrijflei en het grof-kristallijne schisteuze gesteente wordt er een leiachtig gesteente onderscheiden waarvan de vlakken sterk glanzen, dus waarvan de glimmermineralen grotere afmetingen hebben dan de lei, doch welke plaatjes met behulp van de loep nauwelijks zichtbaar zijn. Dit gesteente is de glanslei ofwel de **fylliet**.
Worden bij hogere metamorfe graad de glimmerplaatjes zichtbaar en is de perfekte leisplijting overgegaan in de onregelmatiger schistositeit, dan spreekt men van **glimmerschist** of **schist**.

Een ander belangrijk type van gericht maaksel ontstaat bij nog hogere graad van regionale metamorfose. Dan gaat er in het schisteuze gesteente een scheiding optreden en ontstaan banden van donkere mineralen, zoals biotiet en hoornblende, afgewisseld met lichtgekleurde banden die voornamelijk bestaan uit kwarts en veldspaat. Deze afwisseling van licht- en donkergekleurde laagjes wordt **banding** genoemd, dit als onderscheid met de term gelaagdheid, die uitsluitend mag worden gebruikt voor de sedimentaire structuur.
Deze banding komt voor in de grote groep van metamorfe gesteenten, die **gneizen** worden genoemd, de banding heet dan **gneisseuze banding**. De schaal van de banding kan uiteenlopen. Sommige gneizen tonen een banding van enkele millimeters dikte, deze kan tot meerdere meters bedragen in andere gneizen.
De kwarts- en veldspaatkristallen in de gneizen zijn als porfiroblasten gegroeid in het schisteuze gesteente. Deze porfiroblasten vormen vaak lensvormige structuren die zich ook rangschikken volgens de algemene richting van de schistositeit. Het gesteente dat aldus is gevormd heet dan ook **ogengneis**. Afb. 11.
Lineatie komt minder vaak voor. Deze soort maaksel zal optreden in gesteenten die prismatische mineralen bevatten zoals actinoliet of sillimaniet.
Een lineatie treedt ook wel op bij granitische gesteenten door de oriëntatie van langprismatische veldspaatkristallen. Een voorbeeld is de randzone van de Bergell-intrusie in de Zwitsers-Italiaanse Alpen.

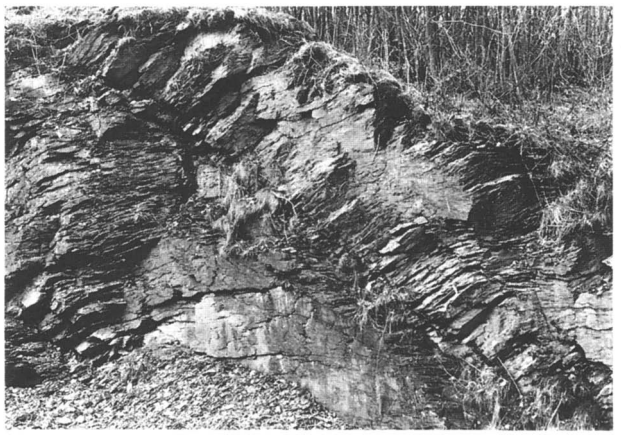
Relatie metamorfose met geologische structuren

Van groot belang is de studie van een metamorf maaksel in de relatie tot grote en lokaal voorkomende geologische structuren. Een eerste en zeer belangrijk punt is daarbij het onderscheid te vinden tussen de leisplijting en de oorspronkelijke gelaagdheid in een serie geplooide, zwak metamorfe kleiïge gesteenten.
Leisplijting treed op in een richting die ruwweg evenwijdig is aan het symmetrievlak door een plooi, het zogenoemde assenvlak (zie afb. 12). De sporen van de oorspronkelijke sedimentaire structuren gaan tijdens plooiing en beginnende metamorfose veelal in snel tempo verloren en de richting van de gelaagdheid is uiterst moeilijk terug te vinden (zie afb. 13).
Zuivere kleigesteenten ontwikkelen een splijting die fraai evenwijdig georiënteerd is aan het assenvlak van een plooi. Een zandige laag die tussen de kleiïge niveaus is ingeschakeld toont echter een splijting die veel minder intensief is ontwikkeld, de splijtvlakken liggen verder uit elkaar en zijn daarbij meer loodrecht georiënteerd op het oorspronkelijke laagvlak. De laagvlakken worden dan aangegeven door de richting van het contact tussen de kleiïge en

Afb. 13. Leisplijting en sedimentaire gelaagdheid. In de lei is de oorspronkelijke sedimentaire gelaagdheid zichtbaar aan de horizontale, lichter gekleurde bandjes, die bestaan uit silt tot fijnkorrelig zand. De leisplijting loopt van links boven naar rechts onder. Herkomst: Sauerland.



zandige sedimentlaag.
Voorbeelden van dit verschil in gedrag tussen beide typen van gesteenten zijn op vele plaatsen te zien waar de sedimentaire serie is opgebouwd uit een afwisseling van kleiïge en zandige lagen, bv. in de Ardennen (zie afb. 14). Uit de relatie tussen de gesteentesplijting, de gesteenteopeenvolging en de richting van deze structuren is dan vaak te achterhalen hoe het gesteentepakket werd verplooid.



Afb. 14. Splijting in lei en zandige lagen. De gelaagdheid loopt van links boven naar rechts onder. In de lei is de splijting vrijwel horizontaal (links onder). De zandige laag, die van links boven naar rechts onder loopt, toont een splijting die vrijwel loodrecht op het laagvlak staat (zie ook afb. 12). Onder-Devoon, weginsnijding ten Z van Couvin, België.

Veldbeschrijvingen

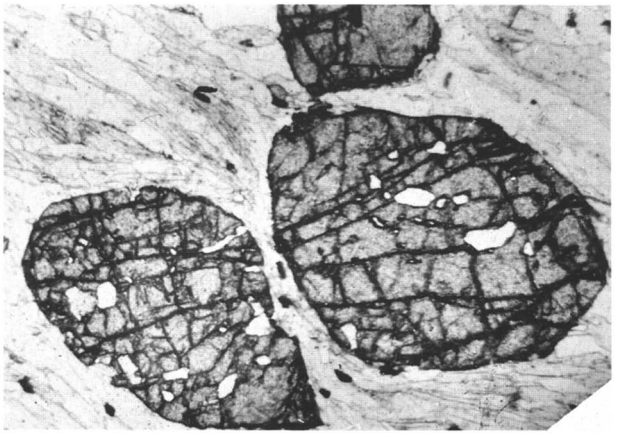
Primaire eigenschappen van sedimentaire- en stollingsgesteenten
In een aantal gevallen is het mogelijk om van metamorfe gesteenten te achterhalen wat het oorspronkelijke gesteente is geweest voordat dit door de metamorfose werd beïnvloed. De metamorfiet kan dan een naam krijgen die verwijst naar het sedimentaire gesteente met de bijbehorende namen voor de lithostratigrafische onderverdeling (formatie, groep, enz.). Stollingsgesteenten kunnen worden geïdentificeerd als lava's, pyroclastische afzettingen of een intrusielichaam.
Teneinde aan te geven dat het gesteente metamorf is wordt het voorvoegsel **meta-** geplaatst voor de aanduiding van het betreffende oorspronkelijke gesteente, bv. metagrauwacke of metabazalt. Daarnaast wordt bv. ook een bekende geografische naam gebruikt in combinatie met de aanduiding van een metamorf gesteentetype: Carraramarmer, Casanna-schist, enz. In vele gevallen is het uit de beschrijving wel duidelijk dat er metamorfe gesteenten worden beschreven en is het voorvoegsel meta- overbodig, hoewel hier vaak onnauwkeurig te werk wordt gegaan. Waar niet meer te achterhalen is wat het oorspronkelijk gesteente is geweest moeten altijd de metamorfe namen worden gebruikt. Een metamorf gesteente krijgt in dit geval een naam naar de textuur, ofwel het metamorf maaksel, bv. schist, gneis of fylliet.

Bepaling van het metamorfe mineraalgezelschap
Naast de maaksel-aanduiding van het gesteente is het noodzakelijk een voorvoegsel te gebruiken en wel de naam van het meest voorkomende mineraal dat in het gesteente te herkennen is, bv. biotietschist, of enkele in rangorde van hoeveelheid voorkomende mineralen, bv.: biotiet-muscoviet-granaatschist. Hierbij dient wel te worden bedacht dat er nog geen sprake is van het op deze wijze bepalen van een metamorfe zone, dit kan alleen gebeuren na studie van het gesteente onder de polarisatiemicroscoop.
Voor de bepaling van mineralen in het veld worden de bekende technieken gebruikt: loep, mes en verdund zoutzuur.

Metamorf maaksel
Bepaalde texturele eigenschappen, zoals foliatie en lineatie, zijn van groot belang voor de beschrijving van metamorfe gesteenten. Voor een lei en een schist zijn resp. (lei)splijting en schistositeit bepalende factoren. Een belangrijk type van foliatie-maaksel dat voorkomt in de meer grofkristallijne, hoog-metamorfe gesteenten is de gneis-banding. Deze gerichte texturen zijn karakteristiek voor regionaal metamorfe gesteenten. Daarnaast is het van groot belang dat er gelet wordt op mineralen die dwars door het gerichte maaksel heen gegroeid zijn (de porfiroblasten), zoals in sommige gneizen en schisten te zien is.
Afb. 15. Het voorkomen van niet gerichte porfiroblasten in schisteuze of gebande gesteenten is een aanwijzing voor het optreden van een latere fase van metamorfose waarbij de temperatuur van veel groter belang was dan de tektonische spanningen.
Een gesteente dat geheel of voor een groot gedeelte is opgebouwd uit mineralen die geen bepaalde voorkeur tonen in hun oriëntatie heeft een porfiroblastische textuur en dan wordt in de eerste plaats gedacht aan een produkt van contactmetamorfose.

Naamgeving van metamorfe gesteenten
Voor de naamgeving van metamorfe gesteenten wordt, zoals hierboven reeds werd vermeld, uitgegaan van de gesteentesamenstelling en het maaksel. Het tweede punt is vooral van belang voor de gesteenten die een foliatie vormen, welke foliatie echter veelal alleen kan optreden in gesteenten die een belangrijk gehalte aan plaatvormige mineralen bevatten. Een fraaie gesteentesplijting kan alleen optreden bij een hoog gehalte aan fyllosilicaten. Een ander belangrijk punt is, dat bij toenemende metamorfose de kristalgrootte der metamorfe mineralen toeneemt.

Afb. 15. Granaten in een granaat-glimmerschist. De glimmerplaatjes zijn duidelijk parallel georiënteerd. Slijpplaatje, vergroting 40 x.



Tabel

Een aantal van de meest voorkomende typen metamorfe gesteenten met de sedimentaire en stollingsgesteenten, waaruit de metamorfieten kunnen ontstaan.

oorspronkelijke samenstelling van het sedimentair of stollings-gesteente	voornaamste mineralen-groepen	fijn-kristallijn: <0,1 mm	midden-kristallijn: 0.1 - 1.0 mm	grof-kristallijn: >1.0 mm	
				homogeen	geband
schalie, "pelitisch"	fyllosilicaten, kwarts	lei	fylliet	schist	gneis
zandsteen "psammitisch"	kwarts	kwartsiet			gebande kwartsiet, kwartsitische gneis
kalksteen	calciet, dolomiet	marmer			gebande marmer
mergel	fyllosilicaten, calciet, dolomiet	kalkige lei	kalkfylliet	kalkschist	kalkige gneis
zandige schalie, "semi-pelitisch"	kwarts, fyllosilicaten	kwartsitische lei	semi-pelitische fylliet	semi-pelitische schist	gneis
bazalt, gabbro	amfibolen, plagioklaas	groenschist groensteen blauwschist	amfiboliet		hoornblende-gneis, pyroxeen-gneis
rhyoliet, graniet	veldspaten, kwarts, fyllo-silicaten	helleflint	← granitische gneis →		
peridotiet, pyroxeniet	serpentijn, talk, magne-sium-amfibolen	serpentiniet	talkschist		ultramafische gneis
			zeepsteen		

De tabel toont een onderverdeling die mede gebaseerd is op de toename van de kristalgrootte, waarbij ook rekening gehouden wordt met de algemene tendens van hoog-metamorfe gesteenten tot het ontwikkelen van een banding.

Toelichting op de tabel

De aanduiding pelitisch wordt gebruikt voor een metamorf gesteente dat de samenstelling heeft van een klei of schalie; psammitisch geeft een zand(steen)samenstelling aan. De namen peliet en psammiet worden wel gebruikt voor de sedimenten; de metamorfe equivalenten zijn metapeliet en metapsammiet. Semipeliet is de aanduiding van een zandige schalie of kleiïge zandsteen, een naam die vooral in Schotland wordt gebruikt.
Fylliet is een gesteente van pelitische samenstelling met een kristalgrootte tussen die van lei en schist in. De fylliet heeft een duidelijk hogere glans dan de lei en soms zijn met de loep de individuele glimmerplaatjes zichtbaar. Zijn alle glimmerkristallen groter dan 1 mm dan wordt wel gesproken van schist. Deze onderverdeling wordt echter bepaald niet door iedereen toegepast.
Het verschil tussen groenschist en groensteen is dat het eerste gesteente een schistositeit toont, terwijl de groensteen een massief gesteente is.
Serpentijn, talkschist en zeepsteen zijn metamorfe ultrabasische intrusiva, de eerstgenoemde bestaat uit serpentijnmineralen, de andere twee voornamelijk uit talk. Het onderscheid is de textuur; zeepsteen is massief en toont geen schistositeit.
De gesteentenaam wordt gecompleteerd door vermelding van één of meer namen van voorkomende mineralen. Daarnaast kunnen ook andere texturele eigenschappen aan de naam worden toegevoegd, zoals ogengneis of suikerkorrelige marmer. De aanduiding 'gebande gneis' lijkt overbodig, er zijn echter granieten, waarbij de mineralen een foliatie-maaksel hebben ontwikkeld door spanningen die tijdens een fase van metamorfose optraden zonder dat er een duidelijke banding optreedt, bv. in de granitische gneis.
Tot slot zijn er dan ook nog namen in gebruik die verwij-

zen naar een bepaalde ontstaanswijze als myloniet voor een dynamisch metamorf gesteente en hoornrots voor een resultaat van contactmetamorfose.
Het blijkt wel dat men op het gebied van de metamorfe gesteenten nog niet zo ver is met een systematische naamgeving als op het gebied van de stollingsgesteenten.

Literatuur en afbeeldingen

Voor geraadpleegde literatuur wordt verwezen naar het artikel "Metamorfose" in Gea, vol. 17 (1984), nr. 2.
De foto's van afb. 2, 3, 4, 6, 9 en 15 zijn van P. Stemvers; de overige afbeeldingen zijn van de auteur.

Een Oligocene fauna in het Bekken van Apt-Manosque-Forcalquier:

Zuidfranse vogels en vissen begraven in kalkslib

door J. Stemvers-van Bemmel

"De zon scheen als helse steen
in het schuimende dal der Durance."

Wie midden-zomer de brede Durancevallei in de Provence doorrijdt, zal het Marsman vaak van harte kunnen nazeggen. Ter hoogte van Manosque of Forcalquier gekomen, kan de bezoeker naar het westen afbuigen en een gebied bezoeken, dat in de tijd van zijn ontstaan al even fel door de zon beschenen werd. Dat ontstaan viel grotendeels in het Oligoceen (Midden-Tertiair), ongeveer 35 - 20 miljoen jaar geleden. Sindsdien is er veel veranderd, zowel in het landschap als in de dierenwereld. Toch leefden in dit gebied, dat later het Bekken van Apt - Manosque - Forcalquier zou worden, eens velerlei soorten planten en dieren die ons goede bekenden toeschijnen, omdat zij recente verwanten hebben. Veel van de toenmalige levende have is bekend, dank zij een perfekte fossilisatie in het fijnkorrelige, witte kalkslib dat destijds de bodem van uitgestrekte meren bedekte.
Het heersende subtropische klimaat had tot gevolg, dat door indamping dikke afzettingen van gips en anhydriet ontstonden. Ook werden afzettingen van zwavel, ligniet en bitumineuze produkten gevormd. Al deze voorkomens zijn tot in een vrij recent verleden geëxploiteerd, zowel bovengronds als in mijnen. Van deze aktiviteiten is niets

Afb. 1. Stratigrafische serie van het Tertiair in het bekken tussen Apt, Manosque en Forcalquier in de buurt van Montfuron, St. Martin-les-Eaux, Manosque. Naar J.-P. Destombes (1962).
£ = ligniet (bruinkool); * = gips.

