

# Stenen

door Dr. C. Majjer

De stenen die wij in Nederland dagelijks om ons heen zien, zijn voor het overgrote deel kunstmatig, door mensen gemaakt, zoals bakstenen, dakpannen, straatklinkers, grindtegels en ook beton. Over dit soort stenen zullen we het hier verder niet hebben.

Natuurlijke stenen komen in ons land minder voor en zijn dan vaak van elders door mensen aangevoerd als bouw materiaal, zoals zandsteen, kalksteen, marmer, daklei, graniet en bazalt voor de bescherming van onze dijken, of door de natuur zelf: klei, zand en grind door de rivieren en grote keien – zoals in de hunebedden – door gletsjers tijdens de voorlaatste ijstijd. Hieruit blijkt al de grote verscheidenheid van natuurlijke gesteenten en die wordt nog groter als we de natuurlijke gesteenten in situ, in het veld, in hun eigen oorspronkelijke omgeving bekijken. Helaas moeten we hiervoor wel bijna altijd naar het buitenland.

## Enkele termen en begrippen

**Gesteenten** zijn globaal te definiëren als aggregaten van mineralen. **Mineralen** dan zijn vaste chemische stoffen met een eigen (chemische) samenstelling, meestal kristallijn, d.w.z. dat de samenstellende atomen in regelmatige kristalroosters zijn gerangschikt.

De **classificatie** of **indeling** en de **nomenclatuur** of **naamgeving** van de kristallijne gesteenten wordt bepaald door de – mineralogische of chemische – **samenstelling** en door de **textuur** of **structuur**. De mineralogische samenstelling van een gesteente bestaat gewoonlijk uit een beperkt aantal (meestal 2 tot 6) hoofdmineralen. Dit zijn in bijna alle gesteenten gewone, algemeen voorkomende mineralen, de zogenaamde **gesteentevormende mineralen**, en niet allerlei zeldzame of buitenissige mineralen, hoe leuk of interessant die ook voor de mineraalverzamelaar kunnen zijn.

De mineralogische samenstelling van een gesteente, verkregen door schatting of telling van de hoeveelheden van de minerale bestanddelen (in volumepercentage), wordt de **modale samenstelling** of **modus** genoemd. De mineralogische samenstelling, verkregen door berekening uit de chemische analyse, noemt men de **normatieve samenstelling** of **norm** van het gesteente. De chemische samenstelling van de gesteenten wordt uitgedrukt als gewichtsperscentage van de oxides van de hoofdelementen silicium Si, aluminium Al, ijzer Fe, magnesium Mg, calcium Ca, natrium Na en kalium K, omdat zuurstof O veruit het meest voorkomende element is – zowel in gewicht als in volume – in de meeste korst- en mantelgesteenten (zie Tabel I). Na zuurstof volgen in het overgrote deel van de gesteenten van de aardkorst

Tabel I

Oxides	A gew. %	Elementen	B gew. %	C atoom%	D ion-vol. %
		O	47,2	61,7	93,8
SiO <sub>2</sub>	59,3	Si	28,8	21,0	0,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,4	Al	8,2	6,4	0,5
FeO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,9	Fe <sub>tot</sub>	5,1	1,9	0,4
MgO	3,5	Mg	2,1	1,8	0,3
CaO	3,1	Ca	3,7	1,9	1,0
Na <sub>2</sub> O	3,8	Na	2,9	2,6	1,3
K <sub>2</sub> O	3,1	K	2,6	1,4	1,8
Overige	2,9	H	spoor	1,3	0,0

*Frequentie van de meest voorkomende elementen in de aardkorst. A: als oxide geschreven, in gewichtsperscentage; B: als elementen geschreven, in gewichtsperscentage; C: als atoompercentage geschreven; D: als ion-volumepercentage geschreven.*

als meest voorkomende elementen silicium en aluminium. Silicaatgesteenten beslaan het overgrote deel van de aardkorst en mantel.

Gesteenten worden wel ingedeeld op grond van het SiO<sub>2</sub>-gehalte in:

zure gesteenten	> 66 % SiO <sub>2</sub>
intermediaire gesteenten	52-66 % SiO <sub>2</sub>
basische gesteenten	45-52 % SiO <sub>2</sub>
ultrabasische gesteenten	< 45 % SiO <sub>2</sub>

De termen **textuur** en **structuur** worden zowel door elkaar heen gebruikt als van elkaar onderscheiden. In dat laatste geval duidt textuur op de relaties tussen de afzonderlijke mineraalkorrels (grootte, vorm, oriëntatie, etc.), terwijl structuur duidt op de relaties van grotere eenheden, d.w.z. groepen van mineraalkorrels (gelaagdheid, plooien, etc).

De gesteenten van de aardkorst worden in eerste aanleg onderverdeeld in drie hoofdgroepen op grond van hun ontstaanswijze, te weten:

- sedimentgesteenten of afzettingsgesteenten;
- stollingsgesteenten of magmatische gesteenten;
- metamorfe gesteenten of omvormingsgesteenten.

Het onderscheid tussen deze drie groepen is, met enige oefening, in veel gevallen wel te maken. Maar er bestaan ook overgangen tussen deze drie hoofdgroepen, die vaak niet eenduidig zijn in te delen. Zie hiervoor de kringloop der gesteenten, afb. 1. Over deze overgangen later meer.



## The Rocks Display'd

Afb. 1. De kringloop van de gesteenten. Uit: H.H. Read (1957), *The Granite Controversy*; Thomas Murby & Co.

**Sedimenten** ontstaan door afzetting van mineralen of gesteentefragmentjes in zee (mariene sedimenten) of op het land (continentale sedimenten). Na begraving onder jongere sedimentlagen verkitten de losse sedimentpartikeltjes tot een hard gesteente. Bij dit proces verandert zeer fijnkorrelige klei tot kleisteen of schalie, zand tot zandsteen en grind tot conglomeraat. Dit proces, **diagenese** genoemd, vindt plaats aan of nabij het aardoppervlak, d.w.z. bij relatief lage temperaturen ( $T < 200^{\circ}\text{C}$ ) en lage druk. Gelaagdheid is een typisch kenmerk van sedimenten; deze gelaagdheid kan variëren van fijn gelamineerd tot dikbankig. De sedimentaire gesteenten zullen hier niet verder worden behandeld.

## MAGMATISCHE GESTEENTEN

Magmatische gesteenten ontstaan door stolling van een **magma**, een **gesteentesmelt**. De magmatische gesteenten worden gewoonlijk in drie groepen verdeeld, te weten:

- dieptegesteenten of plutonische gesteenten (plutonieten);
- ganggesteenten;
- uitvloeiingsgesteenten of vulkanische gesteenten (vulkanieten).

### Dieptegesteenten

**Dieptegesteenten** ontstaan door kristallisatie van een intrusie van magma bij langzame afkoeling op grotere diepte in de aardkorst of bovenmantel, d.w.z. bij hoge temperaturen ( $T \sim 700 - 1200^{\circ}\text{C}$ , afhankelijk van de soort magma) en bij matig tot hoge druk ( $P > 3 \text{ kb}$ ). Onder deze omstandigheden ontstaan in het algemeen homogene, midden- tot grofkorrelige gesteenten. Het meest algemeen voorkomende dieptegesteente is graniet. Zie voor enkele soorten dieptegesteenten fotopagina A.

## Vulkanische gesteenten

**Vulkanische gesteenten** ontstaan bij extrusie, uitvloeiing (lava) of bij de explosieve uitbarsting (tuf, lapilli, bommen, samen **pyroklastica** genoemd) van magma aan het aardoppervlak. D.w.z. ook bij hoge temperaturen ( $T \sim 700 - 1200^{\circ}\text{C}$ ), maar nu bij lage druk. Omdat het magma aan het aardoppervlak snel afkoelt ontstaan zeer fijnkorrelige gesteenten of soms zelfs glas. Vaak bevat een vulkanisch gesteente ook een aantal grotere kristallen, die al voor de uitbarsting in een diepere magmakamer waren uitgekristalliseerd. Deze zogenaamde **eerstelingen** of **fenokristen** geven veel vulkanieten hun kenmerkende **porfirische textuur** (zie hierna).

### Bij de kleurenfoto's (vergroting ca. 3 x)

#### Plaat A

##### A-1 – HOORNBLLENDE-BIOTIETGRANIET

*Flamanville, Normandië, Frankrijk*

*Een middenkorrelig, ongericht gesteente met vrijwel evenveel alkaliveldspaat (rose) als plagioklaas (wit) en iets minder kwarts (grijs). Ca. 12 % donkere bestanddelen: vooral biotiet, iets minder hoornblende.*

##### A-2 – PORFIRISCHE BIOTIETGRANIET

*Een porfirisch, granitisch gesteente, met tot 3 cm grote megakristen van alkaliveldspaat (wit, glasachtig), met insluiteltjes van plagioklaas (wit) en biotiet (donker) en soms enkelvoudige tweeling. De middenkorrelige grondmassa bestaat uit kwarts (grijs, glasachtig), alkaliveldspaat, plagioklaas (wit) en biotiet (donker).*

##### A-3 – BIOTIET-HOORNBLLENDEGRANODIORIET

*Strontian, Schotland*

*Een middenkorrelig, ongericht gesteente met duidelijk meer plagioklaas (wit) dan alkaliveldspaat (rose) en kwarts (grijs). Ca. 15 % mafische bestanddelen omvatten meer hoornblende, iets minder biotiet en ca. 1 % titaniet (donkerbruin).*

##### A-4 – BIOTIET-HOORNBLLENDETONALIET

*Adamello, Noord-Italië*

*Een middenkorrelig, ongericht gesteente met ca. 65 % felsische mineralen: vooral plagioklaas (wit, andesien), minder kwarts (grijs). Ca. 35 % mafische (donkere) mineralen: vooral hoornblende, minder biotiet, soms in mafische aggregaten (bv. rechts boven).*

##### A-5 – DIORIET

*Galicie, Noordwest-Spanje*

*Een fijnkorrelig, ongericht, mesokraat gesteente met plagioklaas (wit, andesien) als belangrijkste felsische mineraal, daarnaast 5-10 % kwarts (grijs, glasachtig). Mafische mineralen ca. 40 %, vooral lichtgroene amfibool en donkere biotiet.*

##### A-6 – ANORTHOSIET

*Rogaland, Zuidwest-Noorwegen*

*Een midden- tot grofkorrelig, ongericht gesteente dat voor meer dan 90 % bestaat uit plagioklaas (labradoriet, met voor anorthosiet typisch lichtbruin/violette kleur) en interstitieel enige orthopyroxeen.*

##### A-7 – GABBRO

*Anzola, Noord-Italië*

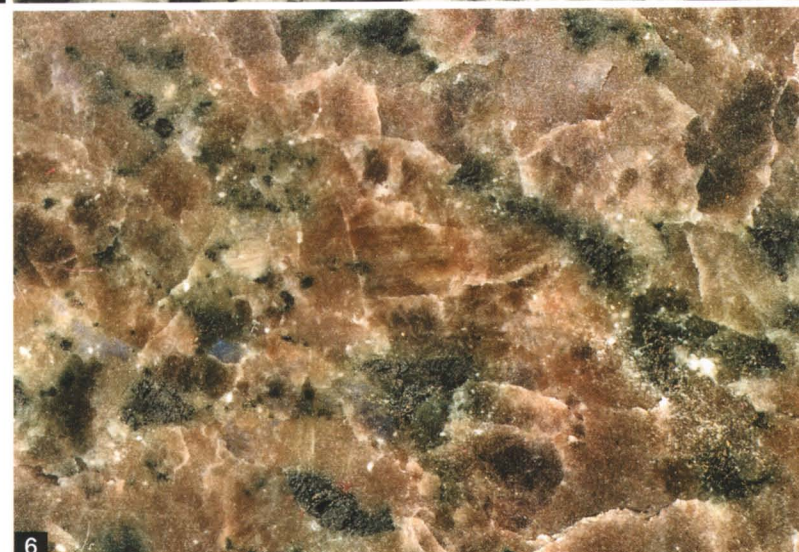
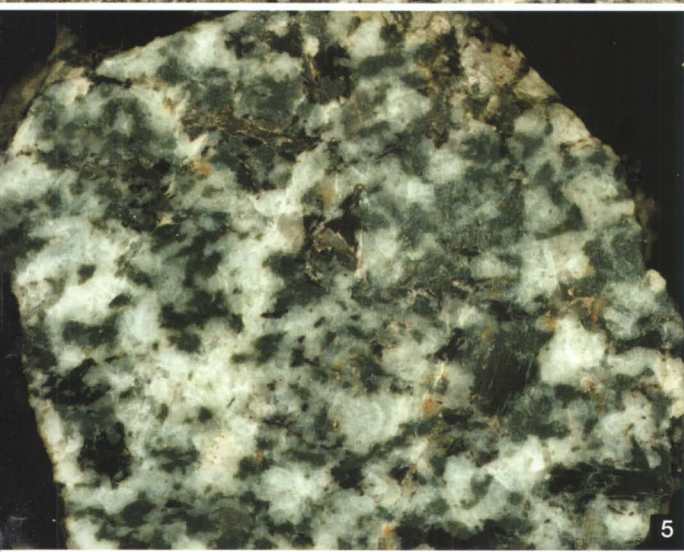
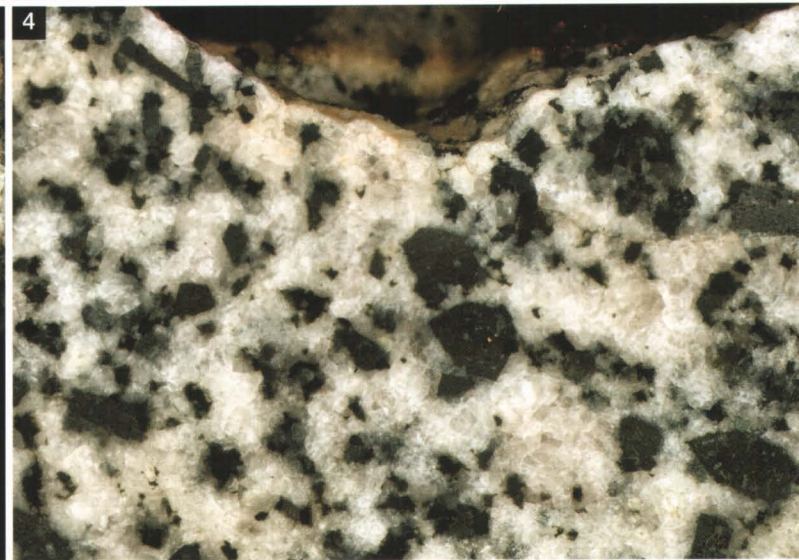
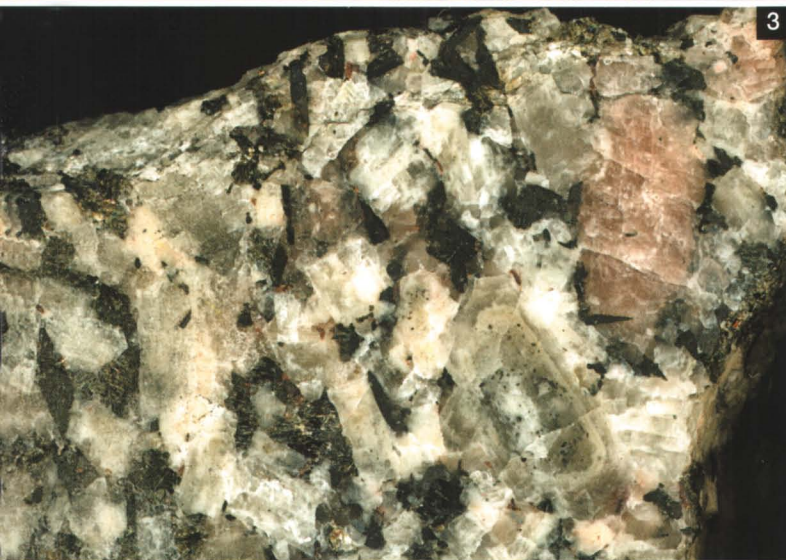
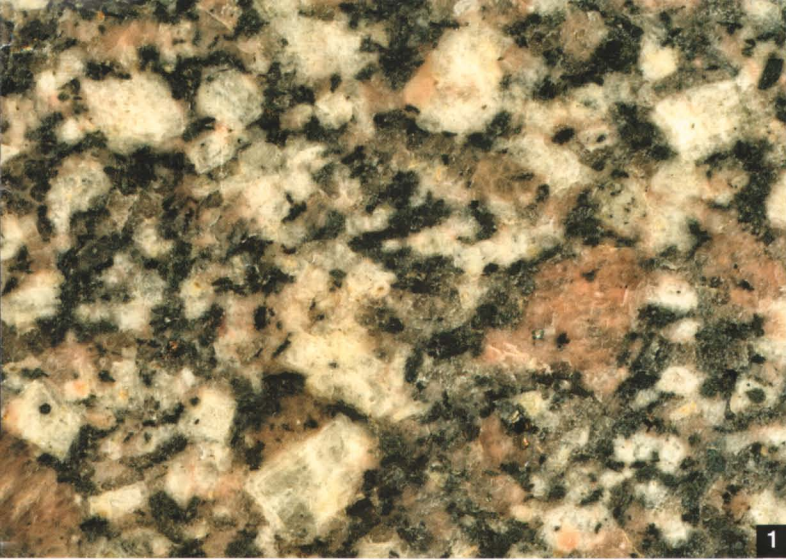
*Een fijnkorrelig mesokraat gesteente met ongeveer gelijke hoeveelheden plagioklaas (wit) en mafische bestanddelen (donker, zowel clinopyroxeen als orthopyroxeen).*

##### A-8 – FOYAIET

*St. Antonio, Serra de Monchique, Zuid-Portugal*

*Een midden- tot grofkorrelig, onderverzadigd gesteente met ca. 65 % plaatvormige alkaliveldspaat (grijs/rose, soms vaag zonair) en ca. 25 % nefelien (bruinig, deels omgezet); daarnaast ca. 15 % mafische mineralen: vooral aegirinaugiet, minder biotiet en titaniet (donker).*







Echter, ook dieptegesteenten kunnen soms een porfirische textuur hebben. Porfirische granieten met tot enkele cm grote orthoklaas- of mikroklien kristallen worden wel paardentanden-graniet genoemd. Zie kleurenfoto A – 2. Enkele vulkanische gesteentetypen zijn afgebeeld op fotopagina B.

Onder **ganggesteenten** verstaan we een groep gesteenten uit ondiepe intrusies en gangen met eigenschappen tussen die van dieptegesteenten en vulkanische gesteenten: meestal fijnkorrelig (maar zelden glas), soms grofkorrelig (pegmatiet); soms porfirisch (bv. granietporfier, foto B – 1). Ganggesteenten komen verderop nogmaals ter sprake.

Om tot een duiding van de textuur van magmatische gesteenten te komen moet men zich een aantal punten afvragen:

- is het gesteente geheel kristallijn (= **holokristallijn**), ten dele kristallijn en ten dele glasachtig of geheel glasachtig (= **holohyalien**);
- in het geval van geheel of ten dele kristallijne gesteenten: is de korrelgrootteverdeling uniform gelijkkorrelig (= **equigranulair**) of ongelijkkorrelig (= **inequigranulair**); een bekend voorbeeld van dat laatste is de porfirische textuur van veel vulkanische gesteenten;
- hebben de voorkomende mineralen een eigen karakteristieke kristalvorm (= **idiomorf** of **euhedrisch**) of juist helemaal niet (= **xenomorf** of **anhedrisch**) of iets er tussenin (= **subidiomorf** of **subhedrisch**); als de meeste korrels idiomorf zijn noemt men het gesteente **panidiomorf**, als de meeste korrels xenomorf zijn noemt men het gesteente **allotriomorf**, als een deel van de korrels idiomorf of subidiomorf is en een ander deel xenomorf is het gesteente **hypidiomorf**, zoals veel granieten.

Magmatische gesteenten bestaan uit een beperkt aantal (gewoonlijk 2 tot 6) hoofdmineralen. Stollingsgesteenten met meer dan 6 hoofdmineralen zowel als monominerale stollingsgesteenten (die maar uit een enkel hoofdmineraal bestaan) zijn zeldzaam. Naast hoofdbestanddelen kunnen ook nevenbestanddelen (1 tot 5 vol.%) en accessorische bestanddelen (< 1 vol.%) worden onderscheiden. Vooral de accessoria, als apatiet, zirkoon, magnetiet, ilmeniet etc. zijn zelden macroscopisch te herkennen.

## De classificatie van Streckeisen

De gangbare **classificaties** van **magmatische gesteenten** zijn gebaseerd op de relatieve hoeveelheden van de samenstellende mineralen en – gelukkig voor de amateur – niet op de chemische samenstelling. Deze mineralen worden in eerste instantie verdeeld in twee groepen: de lichte of felsische mineralen (veldspaten en veldspatoiden of kwarts) en de donkere of mafische mineralen (glimmers, amfibolen, pyroxenen, olivijnen etc.). Het percentage donkere of mafische mineralen M wordt de kleurindex (Engels: *colour index*, CI) genoemd.

De tegenwoordig meest gebruikte **classificatie en nomenclatuur van magmatische gesteenten** is die van **Streckeisen**, in de zestiger en zeventiger jaren van de twintigste eeuw na jarenlange discussies met vertegenwoordigers uit zeer veel landen tot stand gekomen onder leiding van de Zwitser Albert Streckeisen (1901-1998). Deze indeling van de meest gangbare korstgesteenten is gebaseerd op de onderlinge verhouding van de lichte of felsische mineralen, want die zijn in de meeste gesteenten uit de aardkorst in de meerderheid: de aardkorst bestaat voor ongeveer de helft uit veldspaat. Deze felsische mineralen worden uitgezet in **dubbeldriehoeken** met als hoekpunten Q (boven), A (links), P (rechts) en F (onder), waarbij:

- Q = de silicaminalen (vooral kwarts, maar eventueel ook tridymiet en cristobaliet);
- A = alkaliveldspaat (orthoklaas, mikroklien, sanidien, perthiet, anorthoklaas, albiel An 00-05);
- P = plagioklaas An 05-100, scapoliet;
- F = veldspatoiden of foiden (leuciet, nefelien, sodaliet, noseaan, hauyn, analciem, cancriniet).

## Bij de kleurenfoto's (vergroting ca. 3 x)

### Plaat B

#### B-1 – GRANIETPORFIER

*Connamara, Ierland*

*Een porfirisch ganggesteente met idiomorfe alkaliveldspaatfenokrist in een fijnkorrelige granitische grondmassa. Dit monster is afkomstig van een ca. 2 m dikke gang, gerelateerd aan de laat Caledonische post-tektonische Galway Graniet.*

#### B-2 – RHYOLIET

*Murat-le-Quaire, Mont Dore, Massif Central*

*Leucokraat porfirisch gesteente met fenokristen van idiomorfe alkaliveldspaat (sanidien of anorthoklaas) en enkele kleinere kwarts en plagioklaas, in een microkristallijne grondmassa, waarin door ontglazing gevormde sferulieten van anorthoklaas met tridymiet. Mafische bestanddelen, maar enkele %, zijn amfibool en biotiet.*

#### B-3 – TRACHIET

*Drachenfels bij Bonn, West-Duitsland*

*Een leucokraat porfirisch gesteente met grote idiomorfe glasachtige fenokristen van sanidien in een fijnkorrelige grondmassa van alkaliveldspaat en minder plagioklaas met een kleine hoeveelheid mafische mineralen: vooral clinopyroxeen, soms ook enige biotiet. De parallelle oriëntatie van sanidienfenokristen is heel opvallend in de Drachenfels en een goed voorbeeld van vloeistruktuur.*

#### B-4 – LATIET OF LATIETANDESIET (lokaal: Sancyiet of Benmoreiet)

*Groeve Monnéron, Mont Dore, Massif Central*

*Een vrij licht gekleurd porfirisch gesteente met ca. 40 % fenokristen van plagioklaas (andesien), clinopyroxeen en biotiet, in een fijnkorrelige matrix van sanidien en plagioklaas met mogelijk enige tridymiet en/of cristobaliet. De grondmassa vertoont een zekere vloeistruktuur.*

#### B-5 – ANDESIET

*Col d'Entremont, Cantal, Massif Central*

*Een intermediair grijs porfirisch gesteente met als felsische mineralen alleen plagioklaas, zowel als idiomorfe fenokristen (andesien) als fijnkorrelig in de grondmassa. Ook komen donkere fenokristen voor van clinopyroxeen (titaanaugiet), bruine hoornblende en titanomagnetiet. In de grijze grondmassa naast plagioklaas ook veel clinopyroxeen en ertsspikkelletjes.*

#### B-6 – NEFELIENFONOLIET

*Roche Tuilière, noordrand Mont Dore, Massif Central*

*Een vrij licht gekleurd porfirisch gesteente met vrij weinig (ca. 15 %) en vrij kleine fenokristen van alkaliveldspaat (sanidien of anorthoklaas, soms met plagioklaaskern) en minder nefelien en clinopyroxeen, met enige biotiet en titaniet. De fijnkorrelige grondmassa, met vloeistruktuur, bestaat uit zeer veel veldspaatlatjes (plagioklaas en sanidien) met enige nefelien (en mogelijk enige sodaliet) en clinopyroxeen.*

#### B-7 – OLIVIJNBAZALT

*Saint-Saturnin, Chaîne des Puys, Massif Central*

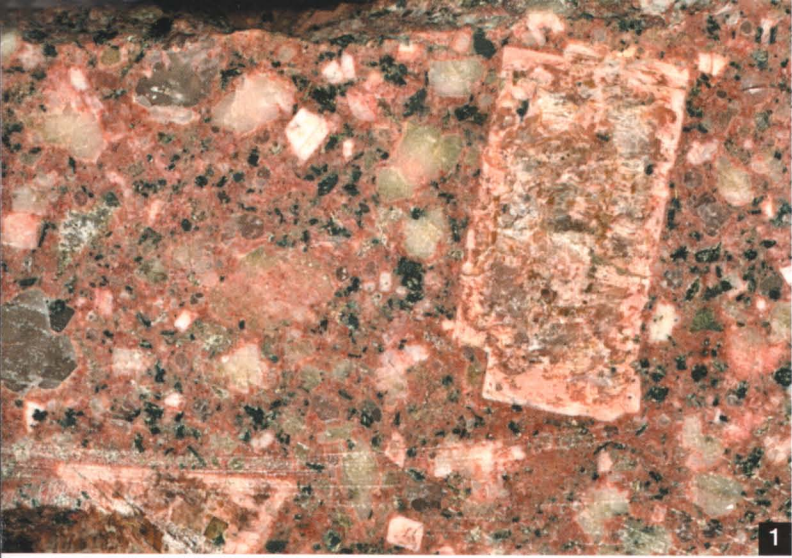
*Een donker porfirisch gesteente met kleine fenokristen van vooral olivijn en clinopyroxeen; plagioklaas (labradoriet) is het enige felsische mineraal en komt vooral voor als microfenokristen. De fijnkorrelige grondmassa, met vloeistruktuur, bevat dezelfde mineralen. Dit gesteente komt uit de laatste grote bazaltuitvloeiing van de Chaîne des Puys, ca. 8000 jaar geleden.*

#### B-8 – (HAUYN?)TEFRIET (lokaal: Ordanchiet)

*Banne d'Ordanche, Mont Dore, Massif Central*

*Een vrij donker porfirisch gesteente met 25-40 % fenokristen van vooral plagioklaas (labradoriet) en clinopyroxeen en minder olivijn en titanomagnetiet. Van deze vindplaats wordt 1-3 % blauwe hauyn opgegeven, maar dat is op bijgaande foto, noch in het slijpplaatje gevonden. In de zeer fijnkorrelige grondmassa vinden we dezelfde mineralen met enige biotiet en sanidien.*

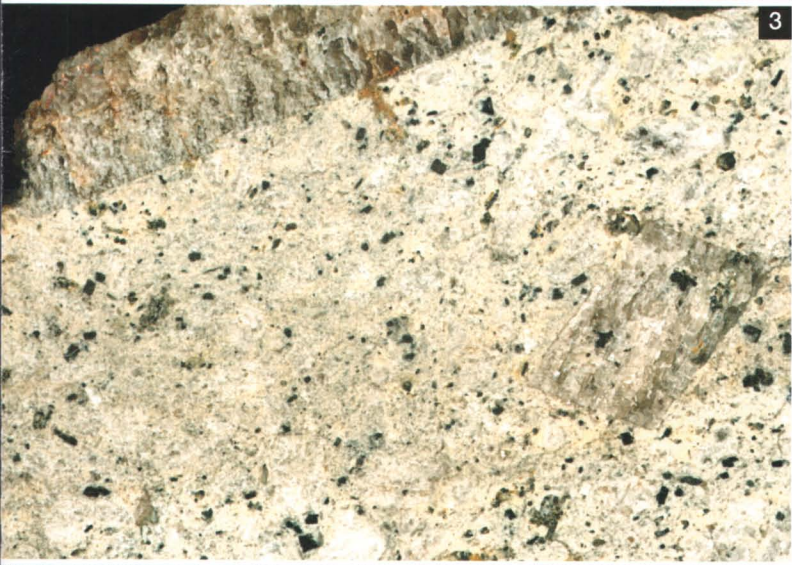




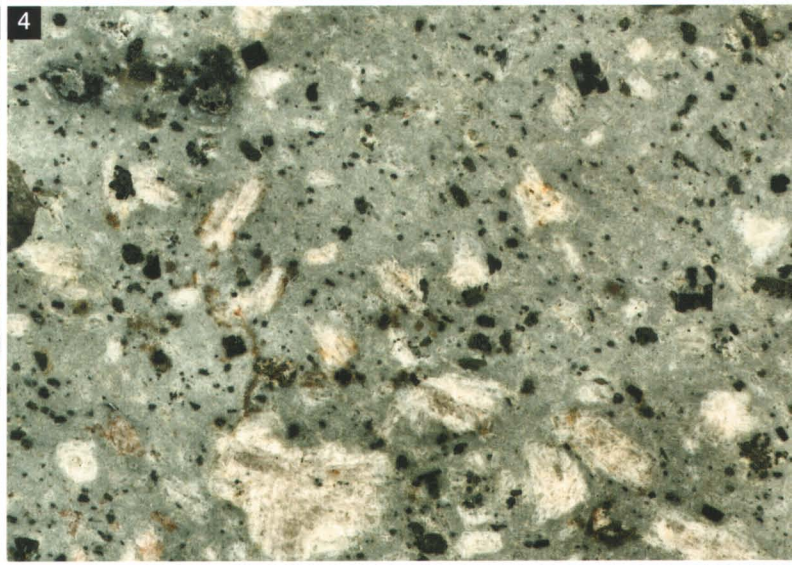
1



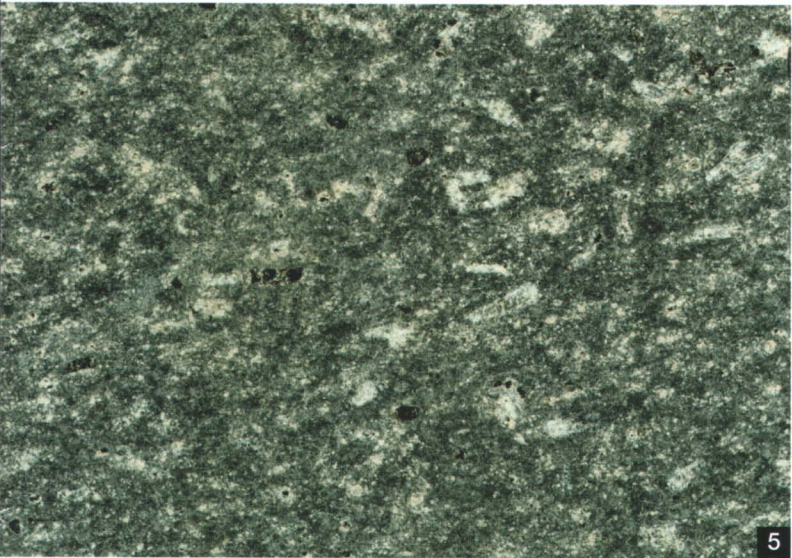
2



3



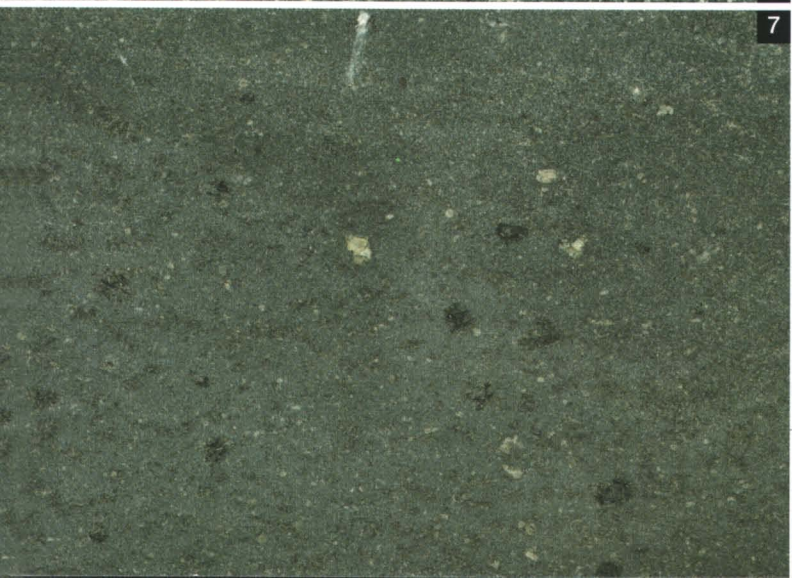
4



5



6

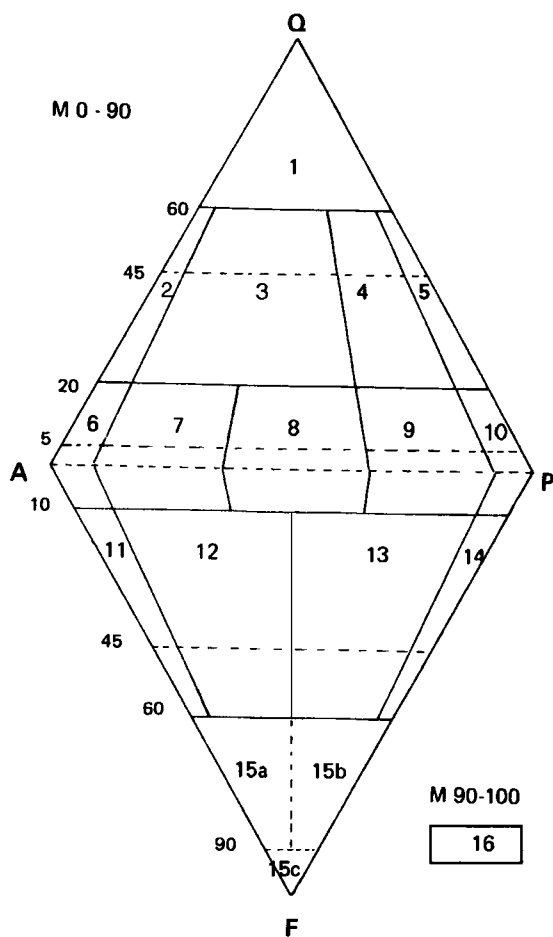


7



8

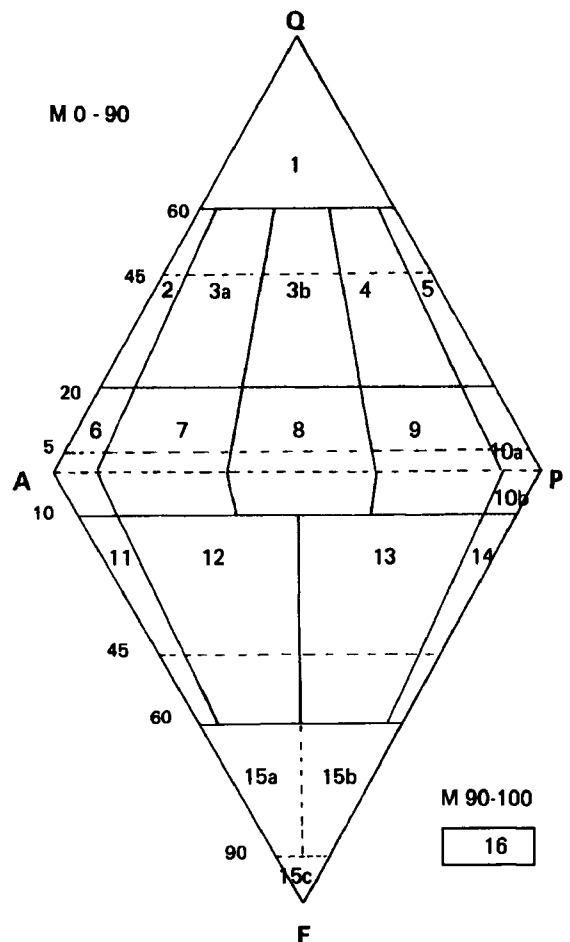




Afb. 2. Classificatie van de dieptegesteenten in de dubbeldriehoek Q – A – P – F volgens "Streckeisen".

- 2 alkali-graniet
- 3 graniet
- 4 granodioriet
- 5 tonaliet/kwartsdioriet
- 6 alkali-syeniet
- 7 syeniet
- 8 monzoniet
- 9 monzodioriet/monzogabbro
- 10 dioriet/gabbro/noriet/anorthosiet
- 11 foyaiet
- 12 plagiofoyaiet
- 13 essexiet
- 14 theraliet
- 15a foyaitische foidiet
- 15b theralitische foidiet
- 15c foidiet
- 16 ultramafiet (peridotiet, pyroxeniet, hoornblendiet)

Q	45 – 60	kwartsrijk
Q	5 – 20	kwartshoudend
F	0 – 10	veldspatoid-houdend
F	45 – 60	veldspatoid-rijk
M	75 – 90	mafisch



Afb. 3. Classificatie van vulkanische gesteenten in de dubbeldriehoek Q – A – P – F volgens "Streckeisen".

- 2 alkali-rhyoliet
- 3a rhyoliet
- 3b rhyodaciet (kwartslatiet)
- 4 daciet
- 5 kwartsandesiet
- 6 alkali-trachiet
- 7 trachiet
- 8 latiet
- 9 latiet-andesiet, latiet-bazalt
- 10a andesiet, bazalt
- 10b alkali-andesiet, alkali-bazalt
- 11 fonoliet
- 12 tefritische fonoliet
- 13 fonolitische tefriet
- 14 tefriet/basaniet (olivijn-tefriet)
- 15a fonolitische foidiet
- 15b tefritische (basanitische) foidiet
- 15c foidiet: nefelinit, leucitiet
- 16 ultramafiet (melilitiet, pikriet, enz.)

Er bestaan aparte dubbeldriehoeken voor de dieptegesteenten (afb. 2) en voor de vulkanische gesteenten (afb. 3), met globaal dezelfde indeling, maar natuurlijk met andere gesteentenaamen. In deze dubbeldriehoeken worden horizontaal uitgezet de verhouding tussen alkaliveldspaat A en plagioklaas P en verticaal naar boven het gehalte aan kwarts (of in het algemeen aan silicamaterialen) Q in het geval van silica-oververzadigde gesteenten en verticaal naar beneden het gehalte aan veldspatoiden F in het geval van silica-onderverzadigde gesteenten. De indeling van de dubbeldriehoeken voor dieptegesteenten en vulkanische gesteenten verschillen alleen in veld 3. De vulkani-

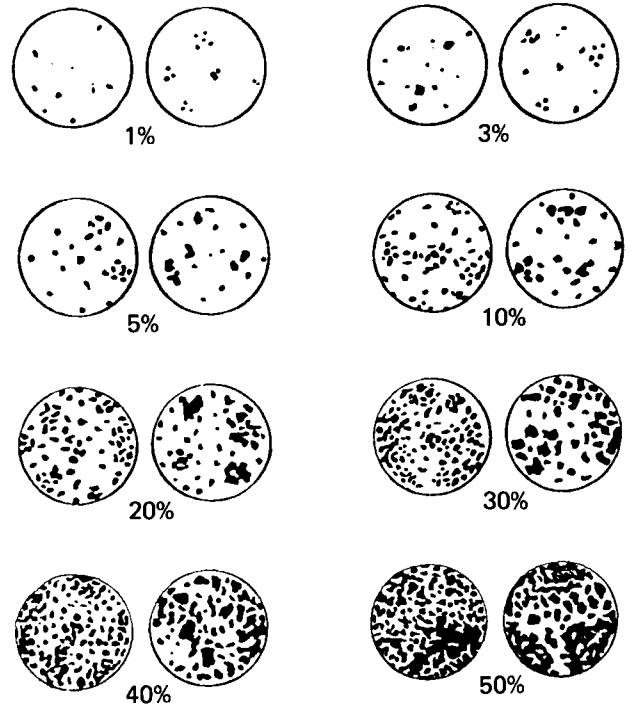
sche gesteenten hebben hier twee aparte velden, 3a voor rhyoliet en 3b voor rhyodaciet. Deze zijn voor de dieptegesteenten samengevoegd tot één veld 3 voor graniet. Dit is gedaan omdat de samenstelling van zeer veel granieten zich concentreren rond de scheidinglijn van de velden 3a en 3b, vaak zelfs voor monsters uit een enkel granietlichaam. Hier een scheiding aan te brengen door het hanteren van verschillende gesteentenaamen is onlogisch. Vandaar dat is besloten tot één groot granietveld 3. Voor het bepalen van de gesteentenaam: zie kader A en afb. 4 en 5.

## Bepalen van de gesteentenaam

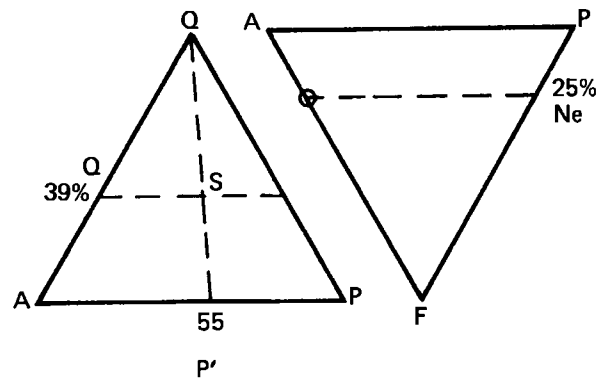
Voor het bepalen van de gesteentenaam gaan we uit van een schatting van de mineraalinhoud. Eerst bepalen we het percentage van de mafische mineralen. Is dit < 90 % dan gebruiken we afb. 2 voor de magmatische dieptegesteenten of afb. 3 voor de magmatische uitvloeiingsgesteenten. Voor ultramafische gesteenten met > 90 % mafische mineralen gebruiken we afb. 7 en 8. Voor het schatten van de percentages kan afb. 4 goed van pas komen, met name voor het schatten van de hoeveelheid donkere mineralen. Bedenk daarbij wel dat het percentage mafische mineralen makkelijk kan worden overschat.

Van de felsische mineralen moet een zo goed mogelijke schatting worden gemaakt van de percentages alkaliveldspaat, plagioklaas en kwarts of foiden. Een voorbeeld maakt de methode duidelijk. Stel de samenstelling van een magmatisch dieptegesteente wordt geschat op 35 % kwarts, 25 % alkaliveldspaat, 30 % plagioklaas, 6 % biotiet en 4 % muscoviet; totaal 100 %. De som van de donkere mineralen, biotiet en muscoviet (ja, muscoviet ziet er wel lichtgekleurd uit, maar het wordt bij de mafische, dus donkere mineralen gerekend),  $M = 10\%$ , dus < 90 %, dus afb. 2. De som van de felsische mineralen is dus 90 %. Deze worden genormeerd op samen 100 %; kwarts maakt daarvan dan uit  $100/90 \times 35 = 39\%$ ; de veldspaten samen  $100/90 \times 25 = 61\%$ . Het aandeel alkaliveldspaat van de veldspaten is  $25/55 \times 100 = 45\%$ , het aandeel plagioklaas van de veldspaten is  $30/55 \times 100 = 55\%$ . Met deze getallen kunnen we het gesteente in de driehoek QAP uitzetten (zie afb. 5). In deze driehoek stelt de lijn AP 100 % veldspaat en dus 0 % kwarts voor, het punt Q daarentegen 100 % kwarts en 0 % veldspaat. De 39 % kwartslijn ligt evenwijdig aan AP, op  $39/100$  van de basis AP. Op de veldspaatlijn AP stelt punt A 0 % plagioklaas voor, punt P juist 100 % plagioklaas (en dus 0 % alkaliveldspaat). Het percentage van 55 % plagioklaas van de totale veldspaten is op de lijn AP uit te zetten als punt P'. Op de lijn tussen P' en Q geldt overal de waarde plagioklaas = 55 % van de veldspaten. De 39 % kwartslijn en de 55 % plagioklaas (van de veldspaten) lijn kruisen elkaar bij punt S. Dit punt S geeft aan de verhouding van de hoeveelheden kwarts, alkaliveldspaat en plagioklaas, zoals die voor ons uitgangsgesteente werd berekend uit de mineraalschatting. Brengen we deze verhoudingen over in driehoek QAP van Streckeisen voor dieptegesteenten, dan blijkt het te vallen in veld 3 van graniet. De naam van het uitgangsgesteente is dan muscoviet-biotietgraniet. Op dezelfde manier wordt een onderverzadigd gesteente met als felsische mineralen 75 % alkaliveldspaat en 25 % nefelien weergegeven in de driehoek AFP; het valt in vak 11 van foidsyeniet; in dit geval noemen we het gesteente nefeliensyeniet.

In de dubbeldriehoeken zijn een aantal horizontale hulplijnen gestippeld: bij  $Q = 45$ ,  $Q = 5$ ,  $Q = 0$  en  $F = 45$ . Dit is gedaan om een extra precisering in de gesteentenamen aan te brengen: met het voorvoegsel *kwartsrijk* voor gesteenten met  $Q = 45-60$ ; met het voorvoegsel *kwartshoudend* voor gesteenten met  $Q = 5-20$ ; met het voorvoegsel *foidhoudend* voor gesteenten met  $F = 0-10$ ; met het voorvoegsel *foidrijk* voor gesteenten met  $F = 45-60$ . In vak 10, bij hoekpunt P, passen meerdere, macroscopisch vaak moeilijk van elkaar te onderscheiden dieptegesteenten: gabbro (met vooral clinopyroxeen), noriet (met vooral orthopyroxeen), dioriet (met vooral hoornblende ± biotiet ± pyroxeen), maar ook anorthosit (met meer dan 90 % plagioklaas en dus met  $M < 10$ , vooral orthopyroxeen).



Afb. 4. Schema voor het schatten van mineraalpercentages bij middelkorrelige gesteenten.



Afb. 5. Bepalen van de plaats van gesteenten in de driehoek QAP of APF (zie tekst van kader A).

### Dioriet of gabbro?

Het onderscheid tussen **dioriet** en **gabbro** is onderwerp van uitgebreide discussies geweest. Dioriet bestaat gewoonlijk uit andesien als plagioklaas en hoornblende als mafisch mineraal, maar ook biotiet en clinopyroxeen kunnen voorkomen. Een typische gabbro bevat labradoriet of bytowniet als plagioklaas en clinopyroxeen als mafisch mineraal, maar soms ook orthopyroxeen, olivijn of hoornblende. Verscheidene criteria voor het onderscheid tussen dioriet en gabbro zijn geopperd, maar al deze criteria hebben voor- en nadelen en geen van deze criteria is helemaal acceptabel.

Als eerste is geopperd het anorthietgehalte van de plagioklaas:  $An \% < 50$ : dioriet,  $An \% > 50$ : gabbro. Bezwaar: alleen in een slijpplaatje te bepalen, niet macroscopisch zichtbaar. Bovendien, wat doet men met "zonaire" plagioklaas met een kern van labradoriet en een rand van andesien, iets wat in het geheel niet ongewoon is. Als tweede criterium is geopperd de aard van het belangrijkste mafische mineraal: hoornblende in dioriet en pyroxeen in gabbro. Bezwaar: overwegend hoornblende in gesteenten die volgens andere criteria eigenlijk gabbro zijn en, omgekeerd, overwegend pyroxeen in gesteenten die verder dioriet worden genoemd. Ten derde: de kleurindex:  $M < 50$  is dio-

riet,  $M > 50$  is gabbro. Bezwaar: in een zogenaamde "gelaagde" gabbro (een gabbrolichaam met magmatische gelaagdheid) kan de kleurindex van laag tot laag sterk variëren, soms binnen een halve meter van  $M < 30$  tot  $M > 80$ . Als laatste is genoemd de gesteenteassociatie. Bezwaar: onbruikbaar voor alle "losse" stenen, zoals zwerfstenen. Uiteindelijk heeft de Streckeisen-commissie gekozen voor het An % van de plagioklaas als onderscheid tussen dioriet en gabbro: An  $< 50$  is dioriet, An  $> 50$  is gabbro.

In vak 15 – foidiet – van Streckeisen's dubbeldriehoeken, al of niet onderverdeeld door hulplijnen, komen alle foidrijke (F  $> 60$  %) gesteenten. Deze kunnen wat de vulkanieten betreft worden gepreciseerd als nefeliniet, leucitiet etc. als nefelien, leuciet etc. het meest voorkomende foid-mineraal is.

### Beperk de gesteentenamen

De opzet van deze Streckeisen-classificatie en nomenclatuur was, orde scheppen in de warwinkel van vooral lokaal/nationaal gebruikte gesteentenamen en beperking tot een relatief klein aantal gesteentenamen voor algemeen voorkomende gesteenten. En dus het vermijden van het invoeren van telkens weer een nieuwe naam voor elke lokaal voorkomende gesteentevariëteit. In dit systeem staat 'graniet' voor elk magmatisch dieptegesteente met – van de felsische mineralen – 20-60 % kwarts en 40-80 % veldspaten, waarvan tenminste 10 % plagioklaas en tenminste 35 % alkaliveldspaat. Wie zo'n definitie te ruim vindt kan een zekere verfijning aanbrengen door toevoeging van de naam of namen van het meest voorkomende mafische bestanddeel, zoals bv. biotietgraniet, muscovietgraniet, tweeglimmergraniet.

Lichtgekleurde gesteenten met een hoog percentage felsische mineralen worden **leucokraat** genoemd, gesteenten met globaal gelijke hoeveelheden felsische en mafische mineralen noemt men **mesokraat** en donkere gesteenten met zeer veel mafische mineralen (en dus weinig felsische) heten **melanokraat**.

Men kan deze termen ook gebruiken om qua kleurindex afwijkende gesteenten te karakteriseren met het voorvoegsel **leuco** of **melano**. Granieten bevatten gemiddeld zo'n 12 % donkere mineralen, maar granieten met heel weinig, bv. minder dan 3 % donkere mineralen en dan ook nog muscoviet (licht gekleurd, maar het dient wel bij de mafische mineralen te worden gerekend) noemt men dan bij voorkeur leucograniet. Zo bevatten gabbro's gewoonlijk vrijwel evenveel lichte als donkere bestanddelen, maar dit kan van plaats tot plaats, soms ook binnen een enkel gabbrolichaam (zoals bij de gelaagde gabbro's) flink variëren. Een gabbro met minder dan 30 % donkere bestanddelen ( $M < 30$ ) worden wel leucogabbro genoemd, die met meer dan 70 % mafische mineralen ( $M > 70$ ) melanogabbro. Het aangeven van de gemiddelde korrelgrootte helpt soms om het gesteente verder te karakteriseren, zoals bv. in "middenkorrelige" granodioriet, "grofkorrelige" graniet, etc. Algemeen aanvaarde grenzen hierbij zijn: **fijnkorrelig** als de gemiddelde korrelgrootte  $< 1$  mm is, **middenkorrelig** als deze  $> 1$  mm maar  $< 5$  mm is en **grofkorrelig** als ze  $> 5$  mm is.

Veel hangt dus af van de juiste bepaling van deze lichte of felsische mineralen. En dat is vaak donders moeilijk, omdat ze in veel gesteenten niet makkelijk van elkaar zijn te onderscheiden. Met name geldt dit voor de veldspaten en veldspatoiden. Hun uiterlijk kan nogal variëren, afhankelijk van hun vormingsgeschiedenis en eventuele omzetting bij verwerking aan het aardoppervlak. Soms zijn hun kenmerken duidelijker op het verse gesteenteoppervlak, daarentegen soms ook juist op het verweringsoppervlak. Het kan daarom vaak helpen een gesteente te bekijken op zowel het vers doorsgeslagen als op het verweerde oppervlak.

Voor de kleur van veldspaten en veldspatoiden kan wisselen. Deze zijn in het algemeen licht gekleurd: kleurloos; wit; diverse grijs tinten; rose of lichtrood (vooral alkaliveldspaten); licht groenig (vooral in zeer fijnkorrelige sericiet en epidoot omgezette plagioklaas). Maar in gesteenten uit de onderkorst (hoog-metamorfie gneizen, gabbro, anorthosiet en dergelijke) zijn veldspaten

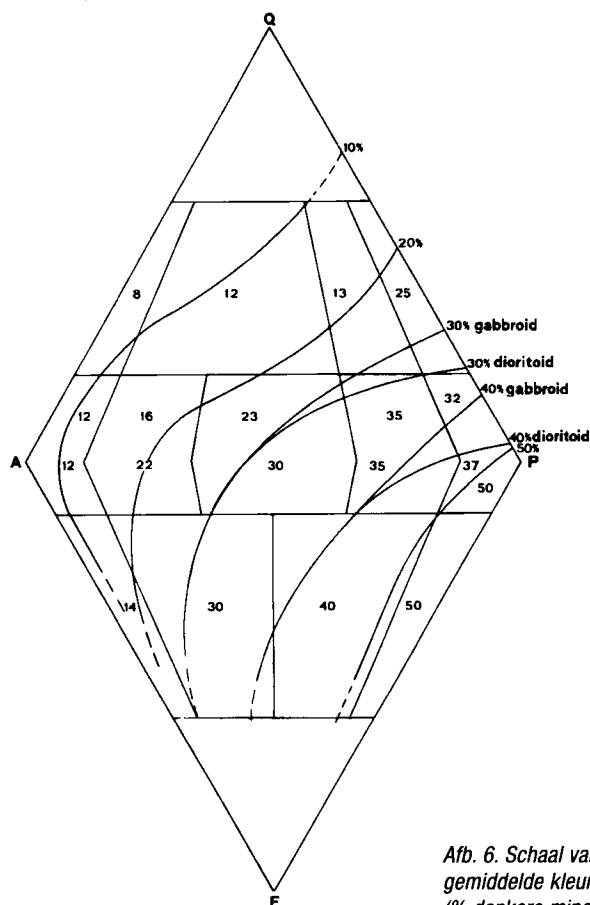
vaak donkerder gekleurd in groenige of bruinige tinten. Zie foto A – 6: anorthosiet.

In veldspaten zijn veelal wel een of beide van de goede splijtvlakken te onderkennen, al of niet in combinatie met enkelvoudige of lamellaire tweelingen. Dit in tegenstelling met kwarts; dit is kleurloos tot wit en glasachtig, met een schelpvormige breuk door het ontbreken van een goede splijtrichting.

En al is het dan vaak moeilijk om uit te maken of men met alkali-veldspaat of met plagioklaas, of met beide te maken heeft, dus of men vooral links in de dubbeldriehoek zit of juist rechts of in het midden, dan wordt men hierbij geholpen door de **kleurindex**, het percentage aan donkere mineralen.

### Kleurindex

De hoeveelheid mafische mineralen neemt in het algemeen toe van weinig in alkaliveldspaat-rijke gesteenten (graniet, syeniet, links in afb. 2 en 3), tot veel in plagioklaas-rijke gesteenten (dioriet, gabbro, rechts in afb. 2 en 3). Lijnen van gemiddelde gehalten donkere bestanddelen zijn in afb. 6 toegevoegd. Let wel: het gaat hierbij om gemiddelde gehalten, er kunnen dus allerlei afwijkingen voorkomen. Het duidelijkste voorbeeld daarvan vormt het gesteente anorthosiet. Met meer dan 90 % plagioklaas, en dus bijna zonder donkere bestanddelen, komt het in afb. 2 in of nabij punt P, uiterst rechts in de dubbeldriehoek.



Afb. 6. Schaal van de gemiddelde kleurindex (% donkere mineralen).

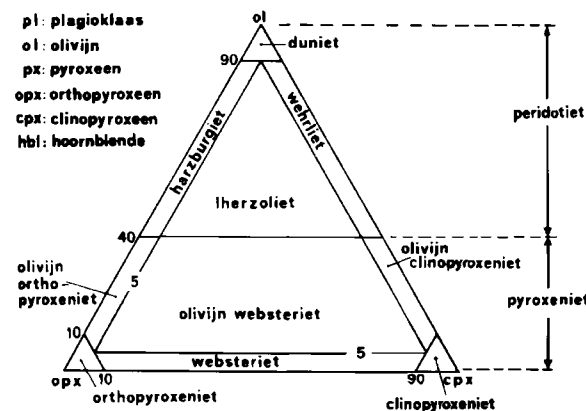
Maar in het algemeen genomen verandert de tint van de gesteenten in de dubbeldriehoek van licht gekleurd links tot donker gekleurd rechts. Bovendien verandert de aard van de donkere mineralen gewoonlijk van links naar rechts in afb. 2. In granieten (veld 3) zijn de donkere mineralen vooral glimmers (muscoviet en/of biotiet), in granodioriet, tonaliet en dioriet vooral amfibool (gewoonlijk hoornblende) ± biotiet, in gabbro vooral pyroxeen ± olivijn ± hoornblende. In alkaliveldspaat-rijke gesteenten (velden 2, 6 en 11 van afb. 2 en 3) komt ook wel alkali-amfibool (riebeckiet, arfvedsoniet) of alkali-pyroxeen (aegirien) voor.



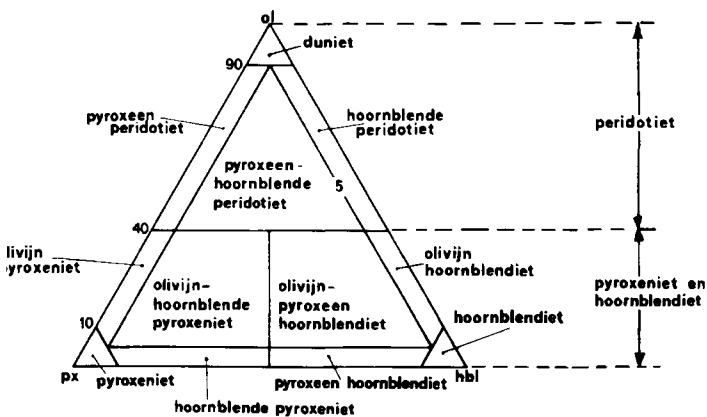
## Ultramafische gesteenten

Streckeisens dubbeldriehoeken zijn dus gebaseerd op de verhouding van de lichtgekleurde, felsische mineralen en worden gebruikt voor alle magmatische gesteenten die tenminste 10 % felsische mineralen bevatten, dus maximaal 90 % aan donkere mafische mineralen ( $M < 90$ ).

Voor gesteenten met minder dan 10 % felsische mineralen, dus met meer dan 90 % mafische mineralen, de zogenaamde **ultramafische gesteenten**, worden een eigen classificatie en nomenclatuur gebruikt. Deze zijn gebaseerd op de onderlinge verhouding van olivijn, orthopyroxeen en clinopyroxeen voor hoornblende-vrije en hoornblende-arme ultramafica en op de onderlinge verhouding van olivijn, pyroxeen en hoornblende voor hoornblende-houdende ultramafica. Deze verhoudingen worden uitgezet in driehoeken met als hoekpunten Ol, Opx en Cpx (afb. 7) of met als hoekpunten Ol, Px en Hbl (afb. 8). Peridotiet is daarbij een verzamelnaam voor alle ultramafische gesteenten met meer dan 40 % olivijn ( $Ol > 40$ ). Zie de achterplaat. Het op de voorplaat afgebeelde gesteente: *granaatwebsteriet*, is terug te vinden aan de basis van afb. 7.



Afb. 7. Classificatie van ultramafische gesteenten met Ol, Opx en Cpx.



Afb. 8. Classificatie van ultramafische gesteenten met Ol, Px en Hb.

Een speciaal geval van ultramafische gesteenten, vrij van felsische mineralen, vormen de **carbonatieten**. Dit zijn magmatische gesteenten die overwegend uit carbonaatmineralen bestaan, hetzij calciet (calcio-carbonatiet), dolomiet (magnesium-carbonatiet), ankeriet (ferro-carbonatiet) of een natrium-rijk carbonaatmineraal. Ze komen voor als dieptegesteente (bijvoorbeeld bij Fen in Zuid-Noorwegen en de Kaiserstuhl in Zuidwest-Duitsland) zowel als uitvloeiingsgesteente (bijvoorbeeld Oldoinyo Lengai, Tanzania).

De ultramafische gesteenten zijn betrekkelijk zeldzaam in de aardkorst, maar vormen het belangrijkste gesteente van de mantel. En de mantel beslaat ca. 83 % van het volume van de gehele aarde, in tegenstelling tot de korst; continentale en oceanische korst samen beslaan maar ca. 1 % van het volume van de aarde.

## Ganggesteenten

Ganggesteenten zijn gesteenten die in gangen of intrusieplaten voorkomen. Gangen variëren in dikte van minder dan 1 cm tot soms honderden meters. Ze zijn in het veld vaak heel opvallend, maar ganggesteenten zijn in volume minder talrijk dan diepte- of uitvloeiingsgesteenten, hoewel ze in enkele gevallen tot ca. 30 % van het totale gesteentepakket kunnen uitmaken (en in sommige delen van de oceanische korst nog veel meer). Ganggesteenten omvatten hetzelfde scala aan samenstellingen als de diepte- en uitvloeiingsgesteenten, maar ook hier overheersen de zure, granitische en basisch bazaltische samenstellingen. Alleen de textuur is vaak anders, vooral de korrelgrootte; deze is gewoonlijk minder fijnkorrelig dan bij uitvloeiingsgesteenten, maar fijnkorreliger dan bij dieptegesteenten. Een opvallend kenmerk van veel gangen is de fijnkorreliger rand ten opzichte van de kern, als gevolg van de snellere afkoeling tegen het relatief koele nevgesteente. De Engelse term voor deze afkoelingsrand is *chilled margin*.

Veel ganggesteenten hebben een porfirische textuur, wat in de naamgeving tot uiting wordt gebracht, bijvoorbeeld in **granietporfier**. Foto B - 1.

Tot de zure, granitische gangen rekenen we de:

**apliet** – leucokraat, fijnkorrelig, suikerachtig, ontstaan door kristallisatie van een waterarm, granitisch magma;  
**pegmatiet** – grotendeels grof- tot zeer grofkorrelig, vooral in de kern; vaak iets zonair opgebouwd; vaak met schriftgraniet: een regelmatige, runetekenachtige vergroeiing van alkaliveldspaat en kwarts. Pegmatieten zijn ontstaan uit een waterrijk restdifferential, waaruit mineralen kristalliseren waar zeldzame elementen als lithium (Li), borium (B) en/of beryllium (Be) zijn geconcentreerd. Zulke mineralen zijn o.a. toermalijn, beryl, lithiumglimmers, spodumeen.

**Doleriet** en **diabaas** vormen basische, bazaltische gangen. De naamgeving wordt nogal verwarrend gebruikt, soms identiek, soms ook verschillend. In Engeland wordt doleriet gebruikt voor een echt basisch ganggesteente en diabaas voor omgezette of licht-metamorfe equivalenten.

**Lamprofier** is de naam voor een groep van donkere ganggesteenten met een breed bereik van chemische en mineralogische samenstellingen, waarin de veldspaat kan variëren van overwegend alkali-veldspaat tot overwegend plagioklaas, tot soms nagenoeg veldspaatvrij, en met als donkere mineralen overwegend biotiet, tot overwegend augiet en/of hoornblende tot overwegend alkalipyroxeen en/of alkali-amfibool.

## METAMORFE GESTEENTEN

Metamorfe of omvormingsgesteenten ontstaan, het woord zegt het al, door geleidelijke gedaanteverandering, door metamorfose van oudere gesteenten: van zowel sedimenten, van magmatische of van oudere metamorfe gesteenten. Dit proces speelt zich af in vaste toestand, als gevolg van sterk veranderde omstandigheden van **temperatuur** en **druk**, anders dan bij hun ontstaan heersten. Voor sedimentgesteenten zijn dit vooral hogere temperatuur en druk, voor magmatische gesteenten vaak lagere temperaturen, omstandigheden binnen een temperatuurbereik van 200 – 800°C, soms tot 1000°C, en bij drukken van meer dan 1 à 2 kb, soms meer dan 10 kb (zie kader B). Deze veranderde omstandigheden zijn het gevolg van toeneemende belasting door een vaak kilometerdik pakket sedimenten en door tektonische processen, omstandigheden zoals we die met name aantreffen bij gebergtevormingsprocessen. Hierbij

## Druk en temperatuur in de aardkorst

Druk en temperatuur nemen toe met de diepte in de aardkorst, maar deze toename wisselt van plaats tot plaats. De druktoename met de diepte is nog het meest gelijkmatig en globaal gelijk aan de druk van het bovenliggend pakket gesteenten. De **druk P** wordt meestal nog uitgedrukt in kb (= kilobar, = 1000 bar; 1 bar is ~ 1 atmosfeer). De druktoename is globaal 1 kb per 3 à 3.5 km diepte. De toename van de **temperatuur T** met de diepte is minder gelijkmatig. De temperatuurtoename, de zogenaamde **geothermische gradiënt**, kan variëren van minimaal ongeveer 10°C per km tot soms meer dan 80°C per km. Een gewone, op veel plaatsen voorkomende geothermische gradiënt heeft een waarde van rond de 30 °C/km. Een lage geothermische gradiënt (10 – 15 °C/km) vinden we in gebieden met actieve subductie, waar de temperatuurtoename de druktoename als het ware niet bij kan houden. Vanwege het relatief grote belang van de druk hierbij wordt de optredende metamorfose wel “hoge-druk metamorfose” genoemd. Een hoge geothermische (> 50°C/km) gradiënt vinden we in gebieden met een hoge warmtestroom (Engels: *heat flow*), d.w.z. vooral in gebieden met actief vulkanisme. Hier is vooral de temperatuur van belang en de druk minder; de dan optredende metamorfose wordt “hoge-temperatuur metamorfose” of thermische metamorfose genoemd. Hiertoe wordt ook wel de zogenaamde contactmetamorfose gerekend, zoals we die vinden in (gewoonlijk 0.5 tot 1 à 2 km brede) contactaureolen rondom hoog in de korst gedrongen plutonische intrusies.

ondergaan de gesteenten gewoonlijk ook een sterke **vervorming** of **deformatie**, waardoor metamorfe gesteenten vaak ook een eigen karakteristieke structuur of textuur vertonen met een evenwijdige rangschikking van bladvormige mineralen als glimmer en chloriet, en van stengelvormige mineralen als amfibool en sillimaniet. Door deze evenwijdige rangschikking ontstaat een **foliatie** of **schistositeit** (en eventueel een lineatie) zoals in lei, schist, gneis en amfiboliet. Veel metamorfe gesteenten bevatten ook kenmerkende mineralen als granaat, stauroliet, andalusiet, kyaniet, sillimaniet of cordieriet, naast algemeen voorkomende mineralen als kwarts, veldspaten, glimmers, amfibolen, pyroxenen, etc. Maar ook metamorfe gesteenten bestaan gewoonlijk uit een beperkt aantal hoofdmineralen, gewoonlijk 2 tot 6. De **classificatie** en **nomenclatuur** van metamorfe gesteenten staan er veel slechter voor dan die van de magmatische gesteenten. Niemand heeft ooit geprobeerd – als Streckeisen voor de magmatische gesteenten – een logisch systeem op te zetten, dat de steun van een grote meerderheid van de internationale geologische gemeenschap kan krijgen. Een dergelijke poging werd al bij voorbaat als hopeloos opzij geschoven. En dus moeten we het blijven doen met een verouderd, historisch gegroeid systeem, vol lokale of nationale hebbelikheden, waarin weinig eenduidigheid bestaat (voor details: zie hieronder). Classificatie- en nomenclatuurproblemen genieten tegenwoordig geen grote populariteit meer in de geologische gemeenschap.

Naast temperatuur T en druk P als bepalende factoren bij de veranderingen in een gesteente speelt ook de activiteit van percolerende hete vloeistoffen (vooral water H<sub>2</sub>O en kooldioxide CO<sub>2</sub>) een rol. Hierbij kunnen bepaalde stoffen worden afgevoerd of toegevoegd. Dit proces van verandering van de chemische samenstelling wordt **metasomatose** genoemd. Bij de verandering van de fysische en chemische omstandigheden worden mineralen, liever nog mineraalcombinaties, instabiel en ondergaan chemische reacties, waardoor nieuwe mineralen of mineraalassociaties en nieuwe texturen worden gevormd. Dit

proces van voortdurende verandering terwijl het gesteente in vaste toestand verkeert verloopt zeer langzaam, diep in de aardkorst of bovenmantel. Het metamorfe proces moet worden afgeleid uit de metamorfe gesteenten, niemand heeft het proces zien gebeuren, in tegenstelling tot sedimentaire en vulkanische processen. Het metamorfe proces is daarom ook heel lang minder goed begrepen dan sedimentatie en magmatisme, processen die wel kunnen worden waargenomen. Deze achterstand is in de afgelopen decennia aardig ingelopen omdat metamorfe reacties steeds beter kunnen worden nagebootst via gecontroleerde laboratoriumexperimenten.

Vanwegen de voortdurende veranderingen met toename van druk en temperatuur is een indeling op grond van de intensiteit, de “graad” van metamorfose ingevoerd. Meerdere indelingen zijn geopperd. We zullen ons hier beperken tot een eenvoudige driedeling, met de temperatuur als de belangrijkste variabele:

- laag-metamorf, het resultaat van metamorfose bij relatief lage T (ca. 200 tot ca. 500°C);
- matig-metamorf, het gevolg van metamorfose bij matig hoge T (ca. 500 tot 650-700°C);
- hoog-metamorf, het gevolg van metamorfose bij hoge T (> 650-700°C).

## Bij de kleurenfoto's (vergroting ca. 3 x)

### Plaat C-1

#### C-1 – CHIASTOLIETLEI

*Vogezen, Noordoost-Frankrijk*

*Een zeer fijnkorrelig, donker, laag metamorf gesteente met splijting, waarin bij een latere contact- of thermometamorfose – onder invloed van een nabij voorkomend intrusieflichaam – grotere, ongerichte chiasolietporfiroblasten (= andalusiet met een interne structuur door koolstofinsluitingen) als staafvormige kristallen met een vierkante of ruitvormige doorsnede zijn gegroeid.*

#### C-2 – CHLORITOIDFYLLIET

*Curaglia, Lukmanierstraße, Zwitserland*

*Een laag metamorfe groenige fylليت, bestaande uit zeer fijnkorrelige sericiet/muscoviet, chloriet, kwarts en albit, waarin kleine porfiroblasten van chloritoid zijn gegroeid.*

#### C-3 – GELAAGDE NOPJESSCHIST

*Flamanville, Normandië, Frankrijk*

*Een fijnkorrelige, gebande, laag metamorfe schist, waarin onder invloed van de intrusie van de nabij geïntrudeerde Flamanville Graniet vlekjes zijn ontstaan, die al of niet omgezette cordierietkristallen vertegenwoordigen.*

#### C-4 – GRANAAT-BIOTIETSCHIST

*Lukmanierstraße, Zwitserland*

*Een matig metamorfe, middenkorrelige schist met porfiroblasten van granaat en ongerichte biotiet in een fijnerkorrelige grondmassa van kwarts, plagioklaas en muscoviet, doorsneden door een minuscuul kwartsadertje.*

#### C-5 – BLAUWSCHIST/GLAUCOFAANSCHIST

*Syros (= typelocaliteit), Cycladen, Griekenland*

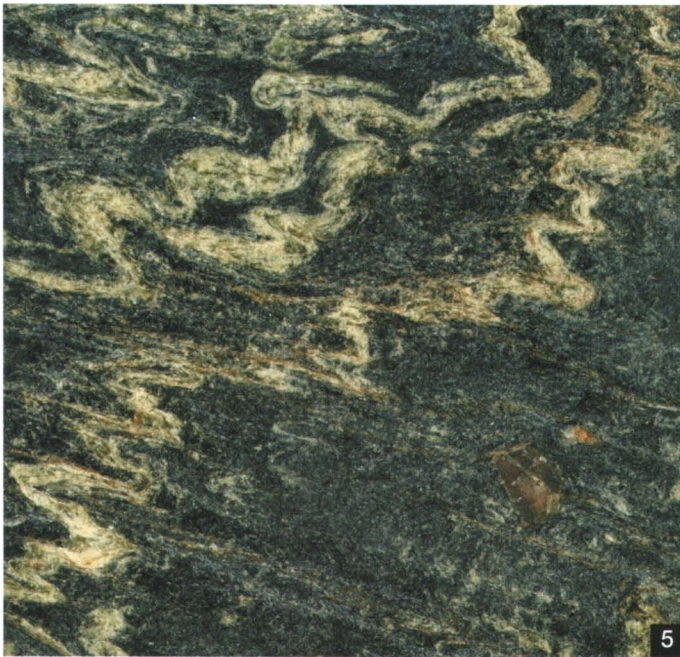
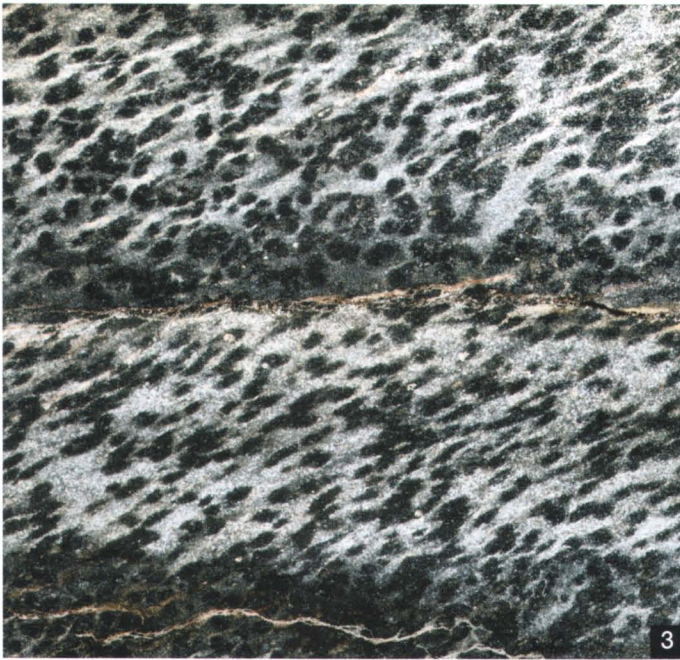
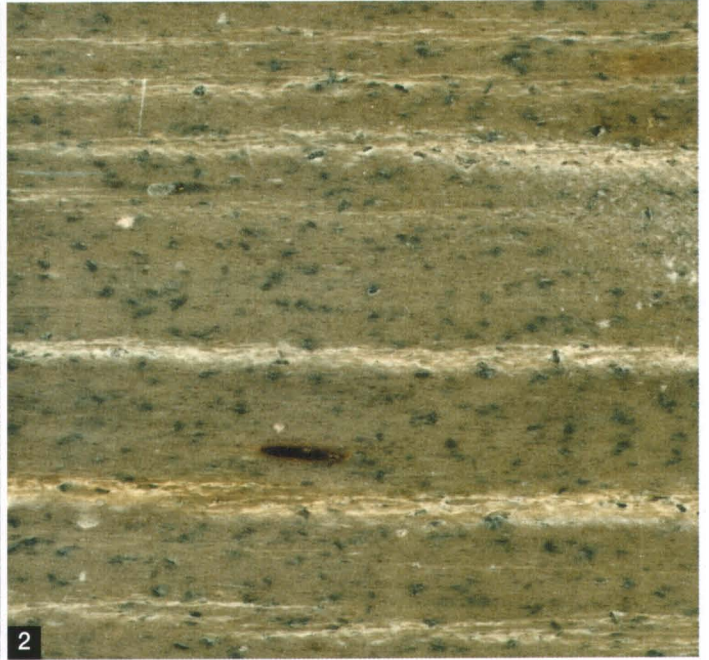
*Een detailgeplooid, gebande, fijnkorrelige schist, donkerblauw gekleurd door de overvloedig voorkomende natrium-amfibool glaucofaan, met een enkele granaat. De lichtgekleurde bandjes zijn rijk aan kleurloze glimmer. Merk op dat de foliatie evenwijdig verloopt aan het assenvlak van de detailplooiing.*

#### C-6 – KYANIETGNEIS

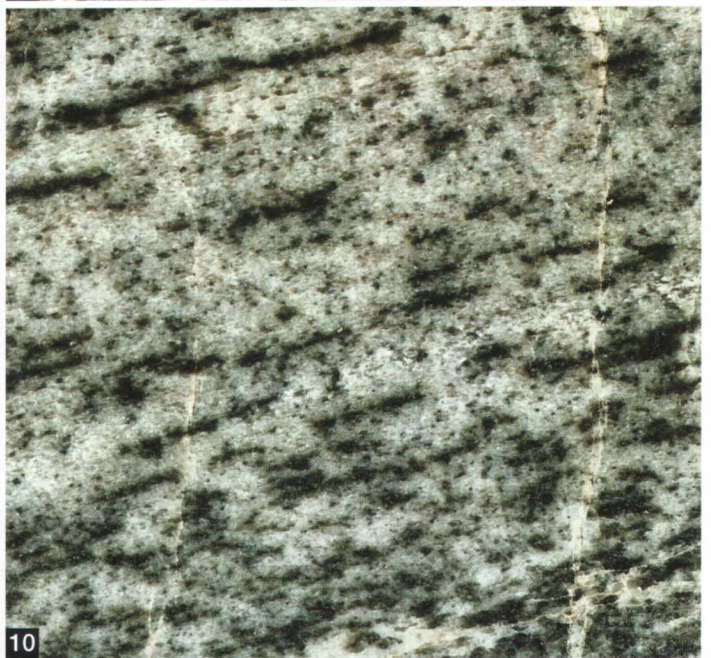
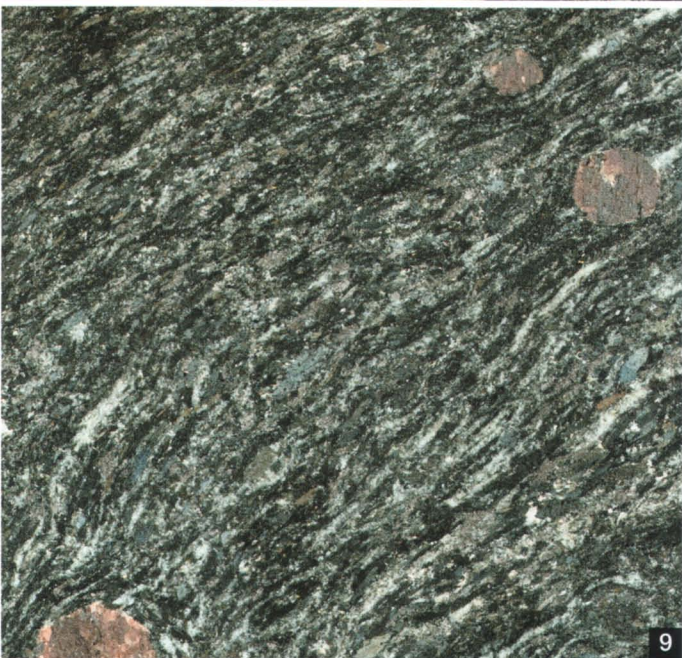
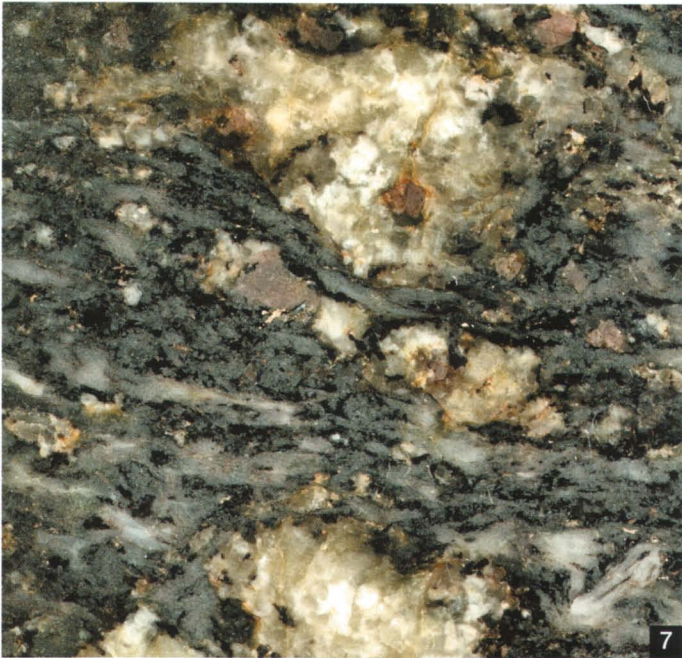
*Naxos, Cycladen, Griekenland*

*Een fijn- tot middenkorrelige, duidelijk schisteuze gneis (of schist?), met tot bijna 1 cm grote, lichtblauwe porfiroblasten van kyaniet (in het handstuk met duidelijke splijting), in een fijnkorrelige gerichte grondmassa van vooral biotiet, muscoviet, kwarts en plagioklaas. Men kan erover discussiëren of men dit gesteente gneis wil noemen of liever schist; de grens hiertussen is niet erg precies gedefinieerd.*









**Bij de kleurenfoto's (vergroting ca. 3 x)**

**Plaat C-2**

**C-7 – GRANAAT-SILLIMANIETGNEIS**

*Massif Central, Frankrijk*

*Een vrij fijnkorrelige gneis, bestaande uit evenwijdige bundels van fijne sillimanietnaaldjes (wit tot grijs), met veel biotiet (donker) en granaat (rose/rood). De ongerichte, middenkorrelige kwarts-veldspaataggregaten lijken te wijzen op beginnende opsmelting (anatexis), waardoor deze gneis een migmatisch uiterlijk krijgt.*

**C-8 – OGENGNEIS**

*Kvinesdal-Flekkefjord, Vest Agder, Zuid-Noorwegen*

*Een midden- tot grofkorrelige granitische gneis met globaal gelijke hoeveelheden kwarts (glasachtig), alkaliveldspaat (rose/wit) en plagioklaas (wit) en ca. 10 % min of meer goed gerichte biotiet (donker), waarin tot 3 cm grote*

*ogen, veelal ovaal afgeronde of nog subidiomorfe kristallen van alkaliveldspaat. Veel ogengneizen zijn ontstaan door metamorfe deformatie en rekristallisatie van porfirische graniet.*

**C-9 – GRANAATAMFIBOLIET**

*Seve dekblad, Lapland, midden-Zweden*

*Een fijnkorrelig, schisteus gesteente met tot 5 mm grote, subidiomorfe porphyroblasten van granaat in een fijnkorrelige, zeer goed gerichte grondmassa van hoornblende (donker; sommige met lichtblauw oplichtende splijtvlakken) en plagioklaas (wit/grijs).*

**C-10 – GRANULIET**

*Uland, Rogaland, Zuidwest-Noorwegen*

*Een fijnkorrelig, strak gefolieerd, hoog metamorf, gneisseus gesteente met kwarts (glasachtig, groenig), plagioklaas en alkaliveldspaat (groenig wit) en orthopyroxeen (donker). De foliatie wordt mede bepaald door donkergroenig grijze vegen van platig ontwikkelde kwarts.*



In hoog-metamorfe gebieden kunnen condities ontstaan waarbij bepaalde gesteenten met geschikte mineraalsamenstelling beginnen te smelten, **partiële opsmelting** of **anatexis** genoemd, waarbij **migmatieten** worden gevormd. Migmatiet is een menggesteente, bestaande uit twee componenten (op centimeter-, decimeter- of meter-schaal). Een donker deel ziet eruit als een hoog-metamorf gesteente (schist, gneis, amfiboliet), een lichtgekleurd deel ziet eruit als een graniet, zowel qua samenstelling als qua textuur, hoewel de onderlinge verhoudingen zowel als de structuur sterk kunnen variëren.

Ook wordt onderscheid gemaakt tussen progressieve en retrograde metamorfose. **Progressieve metamorfose** treedt op bij de geleidelijke veranderingen als gevolg van steeds stijgende temperatuur en druk. **Retrograde metamorfose** daarentegen is het gevolg van aanpassingen aan lagere T en P (bv. van bij hoge T gevormde mineralen in stollingsgesteenten). Progressieve en retrograde metamorfose zijn pas als zodanig herkenbaar als mineralogische en/of texturele relicten van een eerder stadium aanwezig zijn. Progressieve metamorfose wordt gewoonlijk veel beter vastgelegd dan retrograde metamorfose. Gelukkig maar, want anders zouden we zelden of nooit hoog-metamorfe gesteenten meer herkennen.

Met toenemende metamorfose treden een aantal verschillende veranderingen min of meer gelijk op:

1 - **Toename van de gemiddelde korrelgrootte**; laag-metamorfe gesteenten zijn gewoonlijk fijn- tot zeer fijnkorrelig, matig-metamorfe gesteenten zijn fijn- tot middenkorrelig, hoog-metamorfe gesteenten midden- tot grofkorrelig. Met name in laag- en matig-metamorfe gesteenten groeien sommige specifieke metamorfe mineralen uit tot veel grotere korrels dan de omringende matrix. Een zo ontstaan ongelijkkorrelig gesteente wordt **porfiroblastisch** genoemd, naar analogie met de ongelijkkorrelige porfirische textuur van veel vulkanieten. Typische porfiroblasten, idiomorf of xenomorf, kunnen zijn granaat, stauroliet, andalusiet, kyaniet, chloritoid, cordieriet, soms biotiet.

2 - **Verdichting** van het gesteente: afname van de porositeit, toename van de dichtheid of soortelijk gewicht van de nieuwgevormde mineralen en van het gesteente zelf, afname van het watergehalte.

3 - Ontwikkeling van typisch metamorfe structuren als **foliatie** of **schistositeit** (= evenwijdige rangschikking van nieuwgevormde fyllosilicaten of bladspijters als glimmers, chloriet) en eventueel **lineatie** (= evenwijdige rangschikking van langgerekte, stengelvormige mineralen als amfibool, sillimaniet), vaak hand in hand met het verdwijnen van oorspronkelijke sedimentaire of magmatistische structuren.

Met de ontwikkeling van een foliatie of schistositeit zijn een aantal algemene gesteenten ontstaan.

**Lei**: een zeer laag-metamorf, donker, zeer fijnkorrelig gesteente met perfecte, zeer dunplaatige splijting, veroorzaakt door de parallelle oriëntatie van de veelvuldig voorkomende, maar niet als zodanig herkenbare fyllosilicaten; oorspronkelijk een kleilig sediment. Afb. C - 1.

**Fylliet**: een laag-metamorf, fijnkorrelig (maar iets minder fijnkorrelig dan lei), oorspronkelijk kleilig gesteente, zeer gemakkelijk splijtend; kenmerkend is de zijdeglans op de schistositeitsvlakken door sericiet (= zeer fijnkorrelige muscoviet). Afb. C - 2.

**Schist**: een makkelijk splijtend laag- tot matig-metamorf gesteente met macroscopisch herkenbare fyllosilicaten (glimmers) op de schistositeitsvlakken en kwarts vooral in laagjes en lenzen. Afb. C - 3, C - 4, C - 5. In veel gevallen betreft het oorspronkelijk een kleilig gesteente, maar **groenschist** is ontstaan door laag-gradige metamorfose van een basisch stollingsgesteente (bv. bazalt of gabbro); het is een donker, fijnkorrelig gesteente, bestaande uit albit en de groene mineralen chloriet, epidoot ± actinoliet, meestal kwartsvrij.

**Blauwschisten** zijn fijnkorrelige, dichte, vaak schisteuze en kwartsarme tot kwartsvrije gesteenten, donkerblauw gekleurd door alkali-amfibolen (glaucofaan of crossiet, geen riebeckiet of

arfvedsoniet), ontstaan bij metamorfose bij (zeer) hoge druk en relatief lage temperatuur. Foto C - 5.

**Gneis**: een makro-kristallijn gesteente, voor een groot deel bestaande uit veldspaat ± kwarts, vaak in laagjes en lenzen, afgewisseld door kleinere hoeveelheden evenwijdig georiënteerde donkere mineralen, vooral glimmers, ook wel hoornblende, waarlangs makkelijk splijtend. Afb. C - 6, C - 7. Een gneis waarin (tot enige cm) grote veldspaatkristallen, vaak orthoklaas, voorkomen en waar de foliatie omheen golft wordt **ogengneis** genoemd (afb. C - 8).

Hiernaast komen nog een aantal andere metamorfe gesteentenamen voor.

**Kwartsiet**: een metamorf gerekristalliseerde zandsteen; veelal massief, d.w.z. weinig of geen foliatie.

**Marmer**: een metamorf gerekristalliseerde kalksteen, in allerlei tinten en variëteiten, gewoonlijk groverkorrelig dan de oorspronkelijke kalksteen.

**Kalksilicaatgesteente** of **kalksilicaatgneis**: een metamorf gerekristalliseerde onzuivere kalksteen, mergel of silicieuze dolomiet.

**Amfiboliet**: een matig- tot hoog-metamorf gesteente hoofdzakelijk bestaande uit plagioklaas en hoornblende, vaak schisteus, ontstaan uit een basisch stollingsgesteente of uit een mergel. Afb. C - 9.

**Eklogiet**: een hoge-druk metamorf gesteente overwegend bestaande uit een groene (Na- en Al-rijke) clinopyroxeen en een bruinrode granaat, ontstaan in de onderkorst of bovenmantel uit een basisch stollingsgesteente. Zie de voorplaat voor een vergelijkbaar gesteente.

**Granuliet**: midden- tot grofkorrelig, hoog-metamorf kwarts-veldspaatrijk gesteente, vaak met gneisstructuur; vooral orthopyroxeen als mafisch mineraal, soms met enige biotiet en/of hoornblende, maar geen muscoviet. Afb. C - 10.

**Serpentiniet**: een fijnkorrelig laag-metamorf ultramafisch gesteente, waarvan de oorspronkelijke olivijn en/of pyroxeen geheel of nagenoeg geheel zijn omgezet in serpentijnmineralen.

**Hoornrots**: een dicht, donker, taai gesteente zonder schistositeit, ontstaan door thermometamorfose uit een kleilig gesteente in de directe nabijheid van het contact van een intrusieflichaam.

**Vlekkei/vlekschist**: donkere lei of schist met knobbels of vlekken, bestaande uit al dan niet omgezette cordieriet en/of andalusiet, ontstaan door thermometamorfose uit een kleilig gesteente op enige afstand van het contact van een intrusieflichaam, dus een iets lager metamorfe variant van hoornrots. Afb. C - 3.

Schisten en gneizen zijn de meest voorkomende gesteenten in een metamorfe opeenvolging. Hun gesteentenamen kunnen worden gepreciseerd door het meest karakteristieke metamorfe mineraal of mineralen als voorvoegsel toe te voegen, bv. staurolietschist, glaucofaanschist, muscoviet-biotietgneis.

Het voorvoegsel **meta** wordt wel toegevoegd aan gesteenten die wel metamorf zijn, maar waarvan het oorspronkelijke sedimentaire of magmatische karakter nog goeddeels is te herkennen, zoals metapeliet (voor een metamorf pelitisch of kleilig gesteente) of meta-andesiet. Een bezwaar is dat deze namen weinig of niets zeggen over de minerale samenstelling en de graad van metamorfose. De voorvoegsels **para** en **ortho** worden gebruikt voor een metamorf gesteente van oorspronkelijk sedimentaire, respectievelijk magmatische herkomst, zoals bv. paragneis, orthoamfiboliet.

Sommige gneizen zijn bij progressieve metamorfose gevormd uit schisten. Het is echter niet zo dat gneizen per definitie hoog-metamorfe zijn. Ook laag-metamorfe gneizen komen voor, gewoonlijk ontstaan uit gesteenten die in oorsprong al kwarts- en veldspaatrijk waren, zoals bv. bij laag-gradige metamorfose en deformatie van een graniet.

Metamorfe effecten, zoals de nieuwvorming van metamorfe mineralen of het ontwikkelen van typisch metamorfe texturen, zijn gewoonlijk heel verschillend in de diverse soorten van uitgangsgesteenten. De zichtbare effecten van beginnende

metamorfose vinden ook op verschillende momenten, d.w.z. bij verschillende temperaturen en drukken plaats. De eerste effecten bij progressieve metamorfose worden zichtbaar in gesteenten met mineralen of mineraalassociaties die bij stijgende T (en P) snel instabiel worden. Dit betreft vooral mineraalassociaties gevormd bij lage T, zoals kleimineralen (die bovendien zeer fijnkorrelig en waterrijk zijn, wat metamorfe reacties bevordert) of juist bij (heel) hoge T, zoals de mineralen van magmatische gesteenten, vooral basische met mineralen als olivijn, pyroxeen, calcium-rijke plagioklaas.

## OVERGANGSGESTEENTEN

De drie hoofdgroepen van gesteenten: sedimentaire, magmatische en metamorfe, zijn in het algemeen goed van elkaar te scheiden, maar er bestaan overgangen waar de classificatie en nomenclatuur problemen geven.

### Overgang sediment - metamorf gesteente

De overgang van diagenese – de verharding van sedimenten – naar beginnende metamorfose is niet eenvoudig aan te geven. De eerst gevormde, zichtbare metamorfe mineralen zijn gewoonlijk minuscuul kleine nieuwvormingen, die gemakkelijk over het hoofd worden gezien en die bovendien niet in alle verschillende typen van gesteenten gelijktijdig optreden. Zo komen in de zandig-kleige gesteenten uit het zuidelijk deel van het Stavelot Massief in de Ardennen de eerst zichtbare nieuwgevormde mineralen (als otreliet, bij Ottré) wel voor in mangaan- en ijzerrijke gesteenten, maar niet in tussengeschakelde mangaan- en ijzerarme gesteenten. Deze laatste moeten toch dezelfde T en P hebben ondergaan als de eerste. Bij eenzelfde graad van metamorfose zie je de effecten dus in sommige gesteenten al wel, maar in andere nog niet.

### Overgang metamorfe gesteenten - magmatische gesteenten

Migmatieten zijn het voorbeeld van de overgang tussen metamorfe en magmatische gesteenten. Migmatiet is een menggesteente, met een leucokraat en een donker metamorf gedeelte (zie hiervoor). Het leucocrate granitische deel blijkt in veel gevallen te zijn ontstaan door lokale opsmelting van een deel van het oorspronkelijke gesteente (partiële opsmelting). Het is dan vaak moeilijk een grens aan te geven tot waar men een pakket gesteenten nog metamorf noemt en van waaraf magmatisch.

### Overgang magmatische gesteenten - sedimentaire gesteenten

Sedimentaire en magmatische gesteenten ontmoeten elkaar bij het vulkanisme. Lava's zijn ontstaan bij de extrusie, het uitstromen van een gesteentesmelt, het zijn dus magmatische gesteenten. Maar tuffen e.d. (of in het algemeen alle pyroklastica) zijn op het aardoppervlak terecht gekomen als losse, maar vaste korrels en brokken, en dus zijn het sedimenten, zij het dan sedimenten van vulkanische oorsprong. Maar afzettingen uit gloeiend hete, dichte pyroklastische puimsteenrijke gloedwolken – ignimbrieten (in het Engels ook wel *welded tuffs* of *ash flow tuffs*), die bij depositie aaneen kittten of smelten en nog plastisch deformereren – vormen een moeilijk te plaatsen overgang tussen magmatische en metamorfe gesteenten.

## Slotopmerkingen

Het hierbovenstaande lijkt misschien ingewikkeld en verwarrend voor de beginnende amateur, maar met enige oefening kan men zich redelijk snel de eerste beginselen van de indeling van de gesteenten eigen maken. Het is ook niet zo erg als men een gesteente niet precies kan determineren. Bovendien moet men zich goed realiseren dat het in sommige gevallen helemaal niet mogelijk is met alleen maar hamer en loupe een gesteente een goede naam te geven, vooral als het gaat om (zeer) fijnkorrelige gesteenten. Zelfs een ervaren geoloog kleunt nog regelmatig mis bij de gesteentedeterminatie (zie kader C), soms zelfs als hij toe-

## Streckeisen

Hoe moeilijk het kan zijn om een gesteente zijn juiste naam te geven blijkt uit het volgende verhaal. Op zijn negentigste verjaardag kreeg Albert Streckeisen een dubbel-driehoek aangeboden, gemaakt van de echte gesteentetypen, zoals die in zijn classificatie zijn aangegeven. Hij heeft dit cadeau met veel genoegen aanvaard, maar vroeg wel meteen of ze voor hem slijpplaatjes wilden laten maken van alle gebruikte gesteenten, die natuurlijk ook wel waren uitgekozen vanwege hun decoratieve uiterlijk. Later heeft hij de gevers gemeld dat, hoewel de meeste gesteenten er niet veel naast zaten, toch maar twee van de gebruikte gesteenten op de juiste plaats in de dubbel-driehoek waren weergegeven. Dit heeft hem er overigens niet van weerhouden het geschenk aan zijn oude Instituut in Bern uit te lenen voor onderwijsdoeleinden.

gang heeft tot slijpplaatjes en een polarisatiemicroscop. Het gebruik van slijpplaatjes en een polarisatiemicroscop kan vaak wel helpen. Niet alleen beschikt men dan over een extra vergrotingsfactor, waardoor men nog meer in detail kan waarnemen, maar ook beschikt men dan over de mogelijkheid om de textuur en een aantal eigenschappen van de samenstellende mineralen nauwkeuriger te bepalen of te schatten. Maar ook dan is het nog niet altijd mogelijk de ware aard van het gesteente vast te stellen.

Maar als men eenmaal die eerste ervaring in gesteentedeterminatie onder de knie heeft, dan gaat er een geheel nieuwe wereld open. Elk gesteente kan dan zijn eigen verhaal vertellen, hoe het is ontstaan, onder globaal welke omstandigheden, wat er daarna mee is gebeurd en soms ook wat eraan vooraf is gegaan. En dit verhaal wordt nog duidelijker als men gesteenten in het veld bekijkt in samenhang met andere gesteenten, die ernaast en in de omgeving voorkomen.

## Literatuur

- A.L. Streckeisen (1967) Classification and Nomenclature of Igneous Rocks (Final report of an inquiry). N. Jb. Miner. Abh. 107, 144-240.
- W.E. Tröger (1969) Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine. Ein Nomenklatur-Kompendium. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 360 + 90 p.
- W.G. Ernst (1969) Earth materials. Prentice-Hall Inc. 150 p.
- A.J. Pannekoek en L.M.J.U. van Straaten (ed.) (1984) Algemene Geologie, 4de druk. Wolters-Noordhoff, 598 p.
- W. Wimmenauer (1985) Petrographie der magmatischen und metamorphen Gesteine. Enke, Stuttgart, 382 p.
- R.W. Le Maitre (ed.) (1989) A Classification of igneous rocks and Glossary of terms. Blackwell Scientific Publications.
- W.S. MacKenzie, C.H. Donaldson & C. Guildford (1987) Atlas of igneous rocks and their textures (3 ed). Longman, 148 p.
- B.W.D. Yardley, W.S. MacKenzie & C. Guildford (1990) Atlas of metamorphic rocks and their textures. Longman, 120 p.
- J. Verhofstad (1990) Cursus gesteenteherkenning.
- J. Kramers (1999) In memoriam Albert Ludwig Streckeisen 8.11.1901-29.9.1998. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 79, 349-351.

De kleurenfoto's zijn van Piet Stemvers, Leusden.