

# Granuliet

Peter Venema

P. Venema, Magnoliastraat 20, 7552 AX Hengelo

In Grondboor & Hamer verscheen niet eerder een artikel over granuliet. Het is geen wonder dat dit gesteente nauwelijks aandacht heeft gekregen, want het behoort niet tot de zeldzaamheden, het ziet er doorgaans niet opvallend uit en het wordt niet onder de gidsgesteenten vermeld. Bovendien ligt het meest bekende voorkomen, het Saksische Granulietgebergte, in de voormalige DDR, waar vrijwel niemand heen reisde. Toch is het de moeite waard, ons eens te verdiepen in de eigenschappen, het ontstaan en het voorkomen van granuliet. Het is een merkwaardig gesteente dat onder uitzonderlijke omstandigheden werd gevormd in de diepe regionen van de aardkorst. Het ontstaan ervan hangt samen met continentbewegingen en gebergtevorming. En tenslotte is het voor stenenverzamelaars van belang te weten dat het begrip 'granuliet' aanzienlijk is verruimd, waardoor dit tegenwoordig een scala aan gesteentetypen omvat.

## Een dichterlijke naam

De dichter Goethe was mogelijk de eerste die wetenschappelijke belangstelling toonde voor granuliet. In dit Goethe-jaar (zijn 250ste geboortjaar) is het aardig even stil te staan bij Goethes rol als natuurvorser. De naam van het mineraal goethiet verraadt al dat hij zich met mineralen bezighield. Ook verzamelde hij fossielen, die hij naar ouderdom ordende. Hij schreef een verhandeling over kleuren, waarin hij het durfde op te nemen tegen Newton, en hield zich diepgaand bezig met optiek. Voorts verdiepte hij zich in de herkomst van de planten en tekende een hypothetische oerplant. En zonder zijn bemoeienis was er van het befaamde Natuurmuseum Senckenberg in zijn geboorteplaats Frankfurt am Main weinig terechtgekomen.

Omstreeks 1784 ontdekte hij een 'merkwürdiges Gestein aus dem Budetal der Suseburg schief gegenüber, dass ich mich weder zum Granit noch zum Porphyry zu rechnen getraue und für welches ich den Namen Granulit, wegen der in solchen befindlichen Quarzkörnern, in Vorschlag bringe. Es ist äusserst fest.' (Maresch & Medenbach, 1987). Of Goethe hiermee hetzelfde gesteentetype bedoelde dat in 1803 door Weiss als granuliet werd beschreven van Waldheim in Saksen kan ik niet nagaan, maar de naam 'granuliet' is door Goethe bedacht. Het woord is afgeleid van het Latijnse 'granulum' (korreltje).

Later werden ook andere gesteenten wel granuliet genoemd. Michel-Lévy gebruikte de naam in 1874 voor granuliet met muscoviet en Grabau bedoelde er in 1911 niet-klastische sedimenten mee met insluitels ter grootte van zandkorrels (Mitchell, 1985). Het is het beste, deze verwarrende namen zo gauw mogelijk te vergeten en alleen sommige metamorfe gesteenten als granuliet aan te duiden.

## Wat is granuliet?

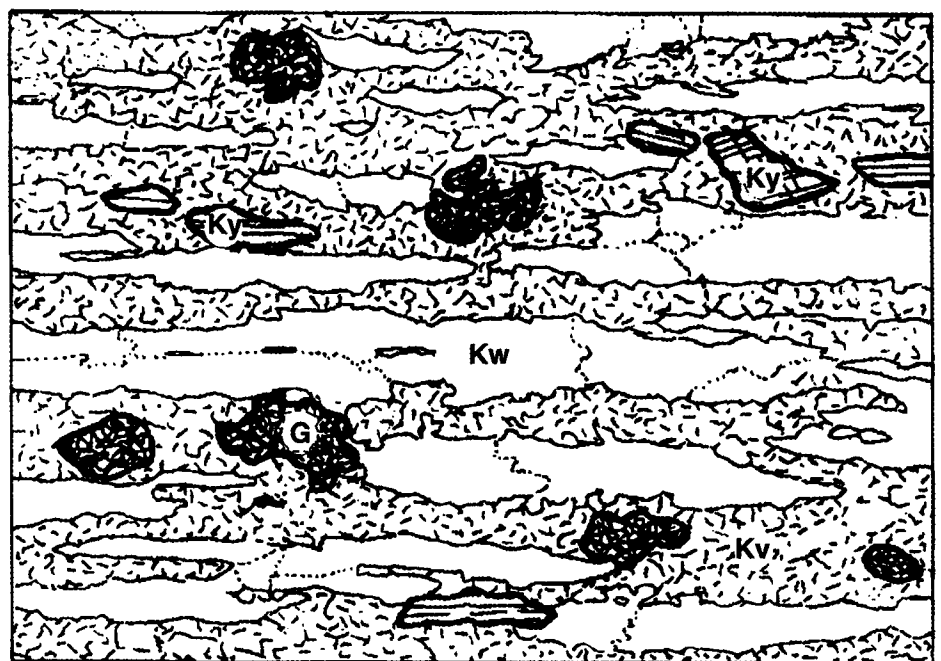
De omschrijvingen van granuliet in stenengidsen en naslagwerken zijn soms wel kernachtig, maar niet altijd toereikend.

Zo worden we uit de Winkler Prins-encyclopedie (1969) gewaar dat granuliet een metamorf gesteente is dat een korrelige structuur bezit en uit veldspaat, pyroxeen en granaat bestaat. Ten onrechte is hier weggelaten dat veel granulieten kwarts bevatten als een der hoofdbestanddelen en dat granaat niet altijd aanwezig is. Volgens het Keienboek (Van der Lijn, 1986) is granuliet 'een glimmervrije en granaatrijke, goed schisteuze gneis van witte, lichtgrijze of rose kleur en zeer fijne korrel. De hoofdmassa van het gesteente, bestaande uit kwarts en veldspaat met ingestrooide lichtrode granaten, herinnert aan aplieten.' Hoewel deze beeldende beschrijving veel granulieten herkenbaar maakt, is

er nogal wat op aan te merken.

Allereerst zal de rijkdom aan granaat velen tegenvallen; soms ontbreekt dit mineraal zelfs. Bovendien gaat het wat ver om granuliet een gneis te noemen, al heeft deze vaak een gneisachtig uiterlijk. Ook zijn niet alle granulieten vrij van glimmer; er bestaat wel degelijk biotietgranuliet. Inmiddels is mij duidelijk, hoe het komt dat de geciteerde beschrijvingen zo sterk van elkaar verschillen. In de Winkler Prins heeft de auteur een donkere pyroxeengranuliet in gedachten gehad en in het Keienboek een licht gekleurde, felsische granuliet.

Hoewel de volgende omschrijving, hoofdzakelijk gebaseerd op gegevens van Wimmenauer (1985), ingewikkelder is, geeft deze nauwkeuriger weer, wat we onder granuliet (althans in de oorspronkelijke betekenis) moeten verstaan.



Afb. 1. Felsische granuliet uit Saksen met lensvormige kwartsen. Afbeelding van een slijpplaatje. Beeldbreedte ca. 3 mm. Naar Wimmenauer (1985). Kw = kwarts, Kv = kaliveldspaat, G = granaat, Ky = kyaniet.

Granulieten zijn volkristallijne, korrelige gesteenten. Meestal zijn ze fijn- tot middelkorrelig. De kristallen verschillen niet sterk in grootte, ook al zijn ze van verschillende mineraalsoorten, en hebben meestal niet hun karakteristieke vorm. Dikwijls zijn granulieten enigszins gelaagd en lijken dan op gneis. Minstens 20 volume % wordt ingenomen door veldspaten, zowel plagioklaas als kaliveldspaat. Als kwarts aanwezig is, vormt dit dikwijls een ander hoofdbestanddeel. De kwartskristallen of -aggregaten zijn vaak op karakteristieke wijze vervormd tot lenzen of schijven, zodat men wel spreekt van 'granulietkwartsen'. Deze platgedrukte kwartsen versterken dan het gneisachtige uiterlijk (afb. 1). Vaak zijn de kwartsen blauw door insluitingen van rutielnaaldjes. Van de 'donkere mineralen' (mafieten) zijn orthopyroxeen in de vorm van hyperstheen en granaat in de vorm van pyroop of almandien het belangrijkste. Van de andere mineralen die in granuliet kunnen voorkomen noteerde ik: grafiet, pyrrhotien, spinel (hercyniet), magnetiet, korund, ilmeniet, calciet, olivijn (forsteriet), apatiet, zirkoon, sillimaniet, kyaniet, zoisiet, cordieriet, toermalijn, kornerupien, klinopyroxeen (diopsied), hoornblende (soms riebeckiet), muscoviet en scapoliet. Zowel uit de structuur als uit de mineralen is af te leiden, dat we te maken hebben met een regionaal-metamorfe gesteente.

Twee typen springen in het oog: een licht en een donker type. Beide komen soms op dezelfde vindplaats voor. Het licht gekleurde type is **felsische granuliet**, dikwijls granaatgranuliet genoemd, hoofdzakelijk bestaande uit

veldspaat (orthoklaas, microklien, cryptoperthiet, oligoklaas) en kwarts, met enige granaat (pyroop-almandien) en eventueel sillimaniet, kyaniet, cordieriet, diopsied, hyperstheen, hoornblende en grafiet. In oude Duitse boeken wordt dit lichte, soms vrijwel witte type 'Weiszstein' genoemd.

Het donkere type is **pyroxeengranuliet** [noot 1]. Dit bevat pyroxeen (hyperstheen of diopsied), plagioklaas (andesien-oligoklaas), orthoklaas en granaat (Mitchell, 1985)(afb. 2). Dit type werd vroeger wel 'trapp-granuliet' genoemd vanwege een vermeende overeenkomst met trapp-basalten in India (Rinne, 1928).

Het donkere type is met een dichtheid van 2,80 (orthoklaas-pyroxeengranuliet) tot 3,20 (plagioklaas-pyroxeengranuliet) iets zwaarder dan het lichte, dat een dichtheid 2,64 bezit.

Granuliet is bijzonder weerbestendig. Vanwege de hoge drukvastheid (tot 3000 kg/cm<sup>2</sup>) wordt het vooral gebruikt voor de aanleg van wegen en spoorwegen (Jubelt & Schreiter, 1972).

### Een metamorf gesteente

Granuliet vertoont vaak een gneisachtige gelaagdheid. Deze textuur duidt erop dat we te maken hebben met een **regionaal-metamorfe** gesteente. Via tussenstadia is het ontstaan uit een ander gesteente. Het uitgangsmateriaal kan evengoed een veldspatrijk sediment als een stollingsgesteente zijn geweest. Ook wanneer een dergelijke gelaagdheid ontbreekt, is aan de vorm en ligging van de mineralen te zien dat granuliet geen dieptegesteente is, maar de structuur vertoont van een metamorf gesteente. De kristallen zijn gelijktijdig gegroeid door herkris-

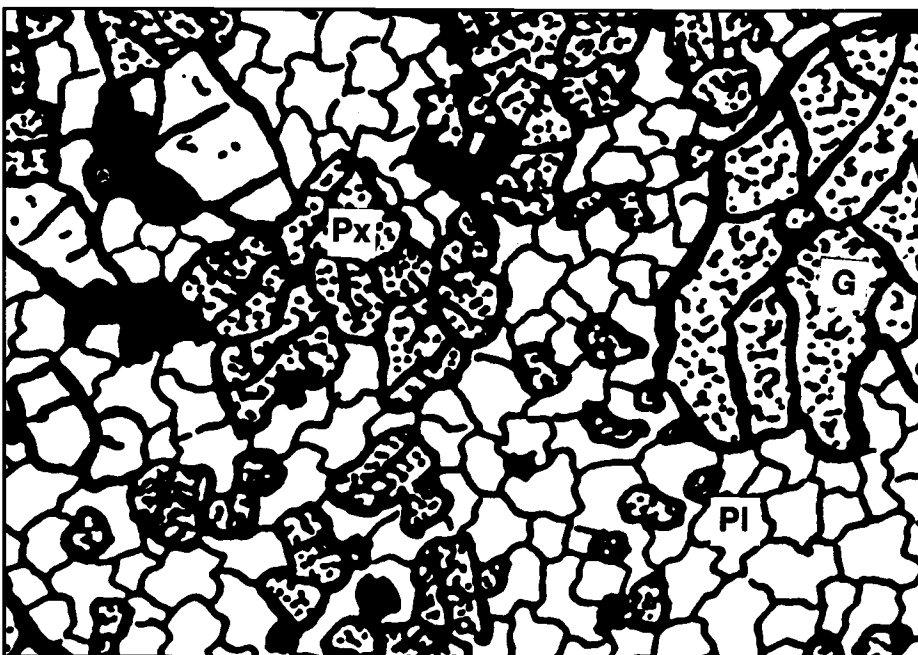
tallisatie in vaste toestand. Het gesteente is hierdoor tamelijk gelijkkorrelig. De korrelgrenzen zijn nu eens bochtig (granoblastische structuur), dan weer vrij recht (granoblastisch-polygonale structuur), maar eventuele rechte omtrekken zijn geen kristalvlakken. De kristallen konden zich namelijk niet ontwikkelen tot hun eigen, karakteristieke vorm en zijn dus niet idiomorf.

Uit de aanwezigheid van bepaalde mineralen kan worden afgeleid dat granulieten tevens **hoogmetamorfe** gesteenten zijn. Hyperstheen geeft bijvoorbeeld een indicatie voor een zeer hoge temperatuur. Behalve in hoogmetamorfe gesteenten komt het echter ook voor in vulkanieten. Een ander bestanddeel van sommige granulieten, sillimaniet, ontstaat eveneens onder hete omstandigheden, maar is tevens karakteristiek voor regionaal-metamorfe gesteenten. Kyaniet ontstaat alleen bij hoge druk, in tegenstelling tot cordieriet, dat ook wel in granulieten voorkomt. En de granaatvariëteit pyroop vereist een combinatie van hoge druk en hoge temperatuur. Het gebruik van zulke mineralen als geobarometers en -thermometers heeft geleid tot het inzicht dat granuliet kan ontstaan binnen een temperatuurbereik van circa 700 tot 850 °C, in combinatie met een druk van circa 7 tot 10 kbar op een daarmee corresponderende diepte van circa 25 tot 40 km. Dit zijn de grenzen van de granulietfaciës, die zich kenmerkt door zeer hoge temperatuur en matig hoge druk.

### De granulietfaciës

Eskola stelde reeds in 1940 dat de mineralenassociatie plagioklaas + hyperstheen +/- granaat +/- diopsied +/- ilmeniet kenmerkend is voor de granulietfaciës. De verhoudingen waarin deze mineralen voorkomen zijn afhankelijk van het oorspronkelijke gesteente. Zo ontstaan pyroxeengranulieten door omvorming van basische (d.w.z. kiezelarme) of intermediaire gesteenten en licht gekleurde, felsische granulieten uit zuur (d.w.z. kiezelrijk) uitgangsmateriaal.

Bij de mafische mineralen ontbreken meestal de OH-groepen, als gevolg van een water-arm milieu. Muscoviet en biotiet horen hier dus niet thuis. Als deze mineralen voorkomen, zijn dit nieuwvormingen, ontstaan onder andere omstandigheden. Dit 'droge' karakter wordt wel verklaard door gedeeltelijke opsmelting waarbij waterhoudende bestanddelen aan het gesteente werden onttrokken, maar ook wel door verdrijving van waterdamp door CO<sub>2</sub> of uit omzetting van gesteenten die al OH-arm waren. Het ene hoeft daarbij het andere niet uit te sluiten (Waters, 1984).



Afb. 2. Pyroxeengranuliet uit Saksen. Afbeelding van een slijpplaatje. Breedte van het beeld ca. 2 mm. Naar Williams c.s. (1954). Px = pyroxeen, Pl = plagioklaas, G = granaat.

Granuliet is niet het enige gesteente dat in de granulietfaciës voorkomt. Het volgende schema laat zien langs welke weg enige oorspronkelijke gesteenten een steeds hogere graad van metamorfose kunnen ondergaan en via verschillende faciës omgevormd worden tot hoogmetamorfe gesteenten van de granulietfaciës (naar Hohl, 1980).

oorspronkelijk gesteente →	groenschistfaciës →	amfibolietfaciës →	granulietfaciës
klei	fylliet	fylliet / glimmerschist	migmatiet / granuliet
grauwacke	paragneis	paragneis	migmatiet / granuliet
graniet	orthogneis	orthogneis	migmatiet / granuliet
rhyoliet	orthogneis	orthogneis	migmatiet / granuliet
zandsteen	kwartsiet	kwartsiet	kwartsiet
kalksteen	marmar	marmar	marmar
mergel	groenschist	amfiboliet	pyroxeengranuliet
basalt	groenschist	amfiboliet	pyroxeengranuliet
ultrabasiet	serpentiniet	olivijnrots	olivijnrots

In de granulietfaciës vervaagt het onderscheid tussen dieptegesteenten en metamorfe gesteenten (Pannekoek & Van Straaten, 1982), zoals we hierna zullen zien.

### Charnockiet ook granuliet

Een gesteente dat onder dezelfde omstandigheden ontstond maar meestal de structuur heeft van een dieptegesteente is **charnockiet**. Vanouds is charnockiet tot de dieptegesteenten gerekend, maar door velen wordt het tegenwoordig beschouwd als een granuliet.

Het gesteente werd voor het eerst beschreven door Holland in 1893. Die had het niet in de natuur aangetroffen, maar als grafsteen. Het betrof de laatste rustplaats van de in 1693 overleden stichter van Calcutta, de Engelsman Job Charnock, naar wie het gesteente is genoemd. Deze charnockiet moet afkomstig zijn van de St. Thomasberg bij Madras (India).

De meestal geel- tot donkergroen gekleurde charnockieten onderscheiden zich van (andere) granulieten door het terugtrekken of ontbreken van granaat. In plaats van de voor granulieten typische orthoklaas komt microklien voor. Ook ontbreken schijfvormige kwartsen. Een essentieel bestanddeel is hyperstheen (Matthes 1990). Alle charnockieten zien eruit als dieptegesteenten, maar in sommige typen komen mineralen voor die men verder eigenlijk alleen maar kent van metamorfe gesteenten, bijvoorbeeld sillimaniet, cordieriet, grafiet en korund (afb. 3).

Indien men charnockieten beschouwt als dieptegesteenten, kunnen ze als zodanig worden geklassificeerd, bijvoorbeeld met behulp van het bekende diagram van Streckeisen (afb. 4). Als dit wordt toegepast, is de klassieke charnockiet van Madras een hyperstheen-graniet. Er zijn echter ook charnockieten van andere samenstelling. In bijna ieder veld van de bovenhelft van het Streckeisen-diagram past wel een charnockiet (zie onder afb. 4). Deze verschillende vertegenwoordigers van de charnockietreeks hebben dikwijls een eigen naam [noot 2].

### Nóg meer granulieten?

De Scandinavische naam **leptiet** en de van oorsprong Franse naam **leptiniet** zijn volgens sommigen bij benadering synoniem met granuliet. Ook leptiet is namelijk een regionaal- en hoogmetamorf kwarts-veldspaatgesteente. Tot de leptieten worden ook vaak de hel-flinten gerekend, die wel worden beschouwd als omgezette tuffen.

Ook worden sommige kalksilicaatgesteenten wel als granulieten beschouwd. Mottana c.s. (1977) bijv. geven een afbeelding van **stronaliet** als voorbeeld van een granuliet. Het betreft een wit gesteente met vrij grote donkerrode granaten, afkomstig van Val Strona in de Italiaanse West-Alpen uit de Ivrea-Verbano-formatie. Wimmenauer (1995) rekent stronaliet tot de kalksilicaatgesteenten en laat een basische stronaliet zien die is samengesteld uit granaat, plagioklaas, pyroxeen en hoornblende [noot 3].

Van diverse gesteenten uit de granu-

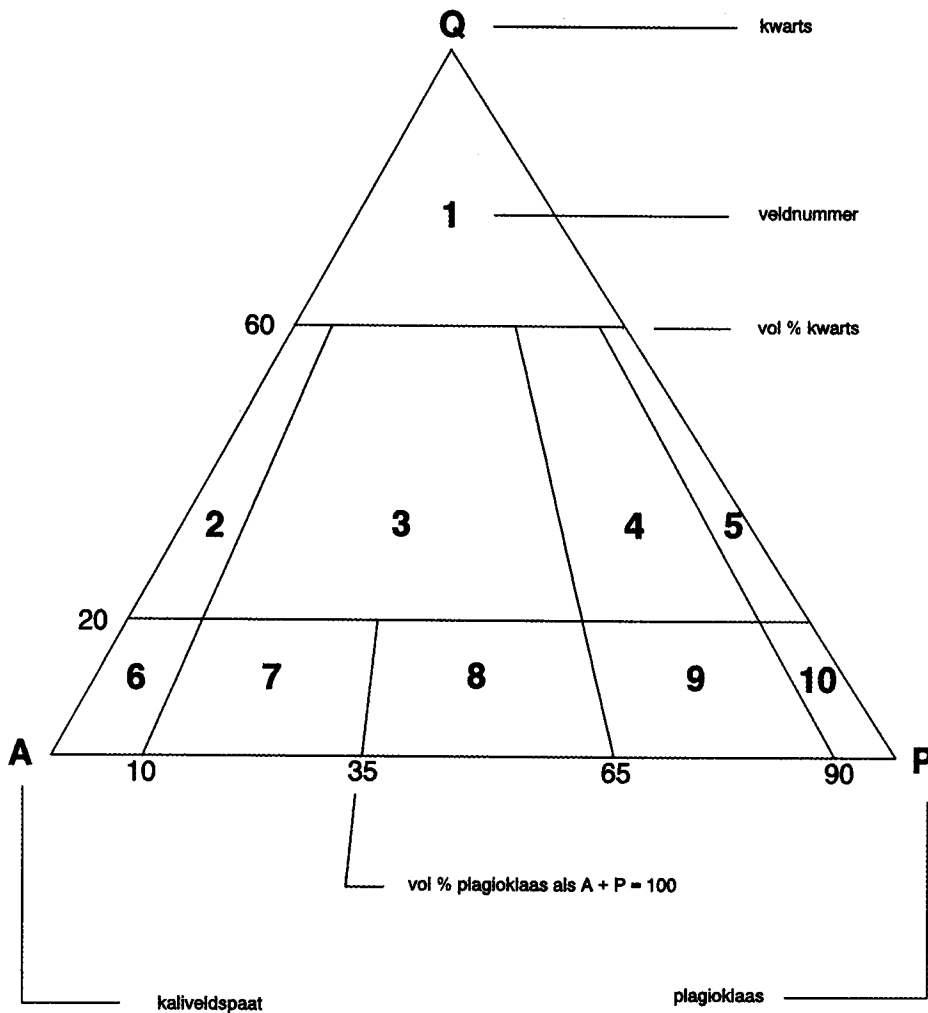
lietgroep wordt de samenstelling weer-gegeven in afb. 5.

### Verspreiding

Wie de wereld wil afzoeken naar granulietgesteenten zou de volgende route kunnen nemen (en natuurlijk nog niet alles zien): Italië (Calabrië, West-Alpen), Neder-Oostenrijk, Tsjechië (Bohemen), Polen (Sudeten), Oekraïne, Duitsland (Beierse Woud, Ertsgebergte, Saksisch Granulietgebergte, Zwarte Woud), Frankrijk (Vogezen), Ierland (Sliswood, Co Sligo), Schotland (NW-Schotland: Scourie-gebied), Zuid-Noorwegen (Farsund, Oppdal, Zuid-Rogaland, Manger), ZW-Zweden (Varberg), Fins Lapland (omgeving Inarimeer en Vuotso), Siberië, ZW-Groenland (Buksefjorden), Canada (Labrador, NW-Territories), USA (Adirondack-gebied), Brazilië, Antarctica (Enderby Land, Adelie Land, Stillwell Island), Zuid-Afrika (Natal, Namaqualand) Oeganda, Centrale Sahara, NO-Tanzania, Madagascari, Sri Lanka, India (Madras, Kabbaldurga,



Afb. 3. Charnockiet (Varberg=graniet=) van Varberg (Zweden). Afbeelding van een slijpplaatje. Breedte van het beeld ca. 2 mm. Naar Williams c.s. (1954). Kw = kwarts, Kv = kaliveldspaat, P = plagioklaas, Hs = hyperstheen, D = diopsid, E = erts.



Afb. 4. Bovenhelft van het Streckeisen-diagram, voor de classificatie van kwartshoudende stollingsgesteenten.

veld 2: hyperstheen-alkaliveldspaatgraniet  
 veld 3: hyperstheen-graniet = charnockiet s.str.  
 veld 4: hyperstheen-biotiet-granodioriet = opdaliet  
 veld 5: hyperstheen-magnetiet-tonaliet = enderbiet  
 veld 6: hyperstheen-alkaliveldspaat-syeniet  
 veld 7: hyperstheen-(kwarts)syeniet  
 veld 8: hyperstheen-(kwarts)monzoniet = mangeriet  
 veld 9: hyperstheen-(kwarts)monzodioriet = jotuniet  
 veld 10: hyperstheen-(kwarts)dioriet  
 veld 10: hyperstheen-gabbro = noriet  
 veld 10: hyperstheen-anorthosiet  
 (Mitchell, 1985)

= alkaliveldspaat-charnockitische granuliet  
 = charnockitische granuliet  
 = charno-enderbitische granuliet  
 = enderbitische granuliet  
 = hyperstheen-perthiet-granuliet  
 = idem  
 = hyperstheen-perthiklaas-granuliet  
 = hyperstheen-pyroklaas-granuliet  
 = idem  
 = idem  
 = idem

Karnataka, Ghats, Kerala, Tamil Nadu),  
 Australië (Broken Hill, Centraal  
 Australië).

De voorkomens liggen vooral aan de randen van de precambrische schilden van bijvoorbeeld Scandinavië, Canada en Brazilië. Ook komen ze voor in oude orogene zones (die zich vaak bij zulke randen bevinden). De vindplaatsen in Noorwegen, Schotland en Ierland houden verband met de caledonische plooïing en de Franse, Duitse, Tsjechische, Oostenrijkse en Oekraïense met de hercynische plooïing. Bovendien is een samenhang geconstateerd tussen vindplaatsen van Antarctica, Oost-Afrika, Madagascar, Ceylon, India en Australië. Deze gebie-

den maakten namelijk ooit deel uit van het paleocontinent Gondwana.

### Het ontstaan van granuliet

Het is uiteraard geen toeval dat granulietgesteenten vooral langs plaatranden en in de onderste regionen van oude, afgesleten gebergten worden aangetroffen. Ze moeten als hoogmetamorfe gesteenten wel op flinke diepte zijn ontstaan en konden vrijwel alleen op zulke plaatsen aan de oppervlakte komen.

Een omhooggedrukt deel van de diepe aardkorst kon worden onderzocht in Calabrië (Z-Italië). Hier bevindt zich een serie lagen met een geschatte geza-

menlijke dikte van 7 km, waarbij gesteenten uit de granulietfaciës over een oppervlakte van 400 km<sup>2</sup> ontsloten zijn. Volgens Gurk & Menzel (1996) is de opeenvolging der lagen van boven naar beneden als volgt:

a. tonaliet of granodioriet of graniet (van noord naar zuid), b. kwartsdioritische gneis, c. metapelitische gesteenten uit de granulietfaciës en d. pyroxeengranuliet.

De combinatie van zeer hoge temperatuur en gematigde druk komt niet overal in de aardkorst voor. Zulke omstandigheden zouden zich vooral voordoen in gebieden waar de aardkorst is verdikt. Dit kan het gevolg zijn van intrusie van dieptegesteenten (bijv. van tonaliet in Oost-Afrika), van het over elkaar heenschuiven van twee aardchollen (bijv. de West-Alpen, Calabrië en de Himalaya), of door bedekking met dikke lagen sediment (bijv. in N-India).

Het ene hangt met het andere samen. Doordat bijv. de Indiase plaat onder de Aziatische plaat schoof, ontstond niet alleen een verdikking van de aardkorst door 'underplating' maar werd ook de Himalaya gevormd. Vóór het gebergte ontstond het enorme sedimentatiebekken van de Ganges en de Indus, waarin zich afbraakmateriaal (flysch) van het gebergte ophoopte. Ook dit leidde tot een verdikking van de korst (Smith, 1983).

Niet alleen het botsen van continenten kan als oorzaak van granulietvorming worden gezien, maar - hoe paradoxaal - ook het uitedrijven van continenten. In riftzones, waar de aardchollen uit elkaar worden geduwd, is de aardkorst namelijk eveneens extra heet, in dit geval door opstijgend magma.

### Ouderdom en ontwikkeling

Voordat een sediment een granuliet is geworden, maakte het een langdurige reis tot grote diepten, waarbij het allerlei veranderingen onderging. Na nog eens vele miljoenen jaren keerde het als granuliet terug naar het aardoppervlak.

Hoe oud granulieten zijn, kan tegenwoordig worden vastgesteld met behulp van verschillende radiometrische methoden. Enkele uitkomsten worden bij de bespreking van verschillende gebieden gegeven. Sommige granulieten bleken meer dan 1 miljard jaar oud te zijn.

Doch niet alleen de tijd liet zijn sporen na. Uit allerlei verschijnselen kunnen conclusies getrokken worden over de ontstaansgeschiedenis van het gesteente, zoals het voorkomen van mineralen die kenmerkend zijn voor een bepaalde faciës, CO<sub>2</sub>-in-sluitels in kristallen, de groei van granaatkristallen, de vorming van corona's rond

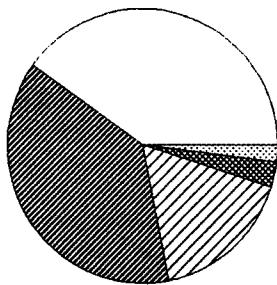
pyroxeenkristallen en het eventueel voorkomen van OH-houdende silica-ten. Daarnaast kan veldonderzoek veel aan het licht brengen over tektonische bewegingen, in het veld waarneembare faciësverschillen enz.

Tot de resultaten van al dit onderzoek behoort dikwijls een **P-T-t-diagram**. Dit is een eenvoudige grafiek, waaraan men kan aflezen in welk tijd (t) het gesteente blootgesteld was aan een bepaalde temperatuur (T) en druk (P). Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat het P-T-t-traject bij granulieten op allerlei manieren kan verlopen. Het onderstaande diagram (afb.

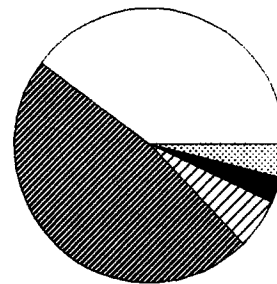
6) is dan ook slechts een voorbeeld. Dit diagram vertelt het volgende over een pyroxeengranuliet uit het Adirondack-gebied in de Amerikaanse staat New York. 1135 miljoen jaar geleden kristalliseerde het oorspronkelijke, basische dieptegesteente anorthosiet (waaruit de granuliet uiteindelijk is gevormd) uit, door stolling van magma met een temperatuur van meer dan 1000 °C en een druk van 3,5 kbar, op een diepte van wel 10 km. De anorthosiet kwam vervolgens zeer langzaam omhoog tot deze een druk ondervond van ca. 2 kbar. Daarbij koelde hij langzaam af tot circa 550 °C. Haast was er niet bij: dit

duurde 30 miljoen jaar. Maar circa 1100 miljoen jaar geleden kwam er wending. Door toenemende druk en oplopende temperatuur vond metamorfose plaats. Het maximum werd ca. 1080 miljoen jaar geleden bereikt bij een druk van bijna 8 kbar en een temperatuur van ca. 850 °C. Het gesteente bevond zich toen in de granulietfaciës en veranderde in granuliet. Toen de druk daarna weer uiterst langzaam afnam en de temperatuur geleidelijk daalde, veranderde de granuliet een klein beetje. Er vond herkristallisatie van pyroxeen plaats, gevolgd door groei van granaatkristallen. Deze afkoelingsperiode duurde maar liefst

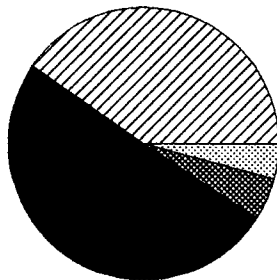
### Felsische granuliet Saksen, BRD



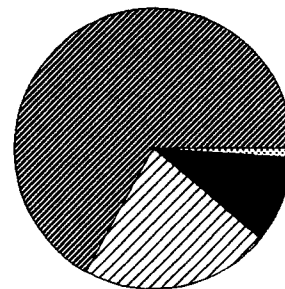
### Charnockiet s. str. Madras, India



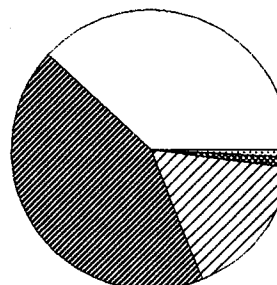
### Pyroxeengranuliet Saksen, BRD



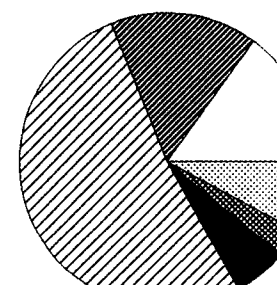
### Hyperstheensyeniet Labrador, Canada



### Leptiet Angenbachtal, Zwarte Woud, BRD



### Varberg'graniet' Varberg, Zweden



Afb. 5. Samenstelling van verschillende gesteenten uit de granulietgroep.

55 miljoen jaar en eindigde circa 900 miljoen jaar geleden. Op welke wijze het gesteente later naar boven is gekomen, vermeldt het diagram niet. Vandaar de vraagtekens (Spear & Markussen, 1997).

### Enkele granulietvoorkomens in Europa

Wellicht komt u tijdens een (vakantie)reis in een gebied waar u granuliet in situ kunt bekijken. Daarom volgen hier enige bijzonderheden over enkele voorkomens in Europa.

#### Het Saksische Granulietgebied

Dit is voor ons wel het meest bekende granulietgebied. Een langwerpige gebied van circa 40 bij 15 km bestaat hier grotendeels uit granuliet (afb. 7). Het komt er voor in verschillende vormen, zowel felsische granuliet als intermediaire pyroxeengranuliet. Het gebied maakt deel uit van het Saksische en Thüringer grondgebied, een stelsel anticlinalen en synclinalen dat een voorpost vormt van het Boheems massief. Het grootste deel van het gebied wordt gevormd door paleozoïsche sedimenten die tijdens de hercynische orogenese zijn geplooid. Oudere, precambriëse complexen zijn beperkt tot de anticlinalen. Ook het granulietmassief is zo'n anticlinaal. (Walter, 1995)

Waldheim geldt als de typelocatie van granuliet in de oorspronkelijke beteke-

nis. Ter plaatse komen echter verschillende typen voor. Een bijzonder type is granuliet met langgerekte kristallen van kornerupien, dat vroeger wel prismatieën werd genoemd.

#### Het Boheems massief

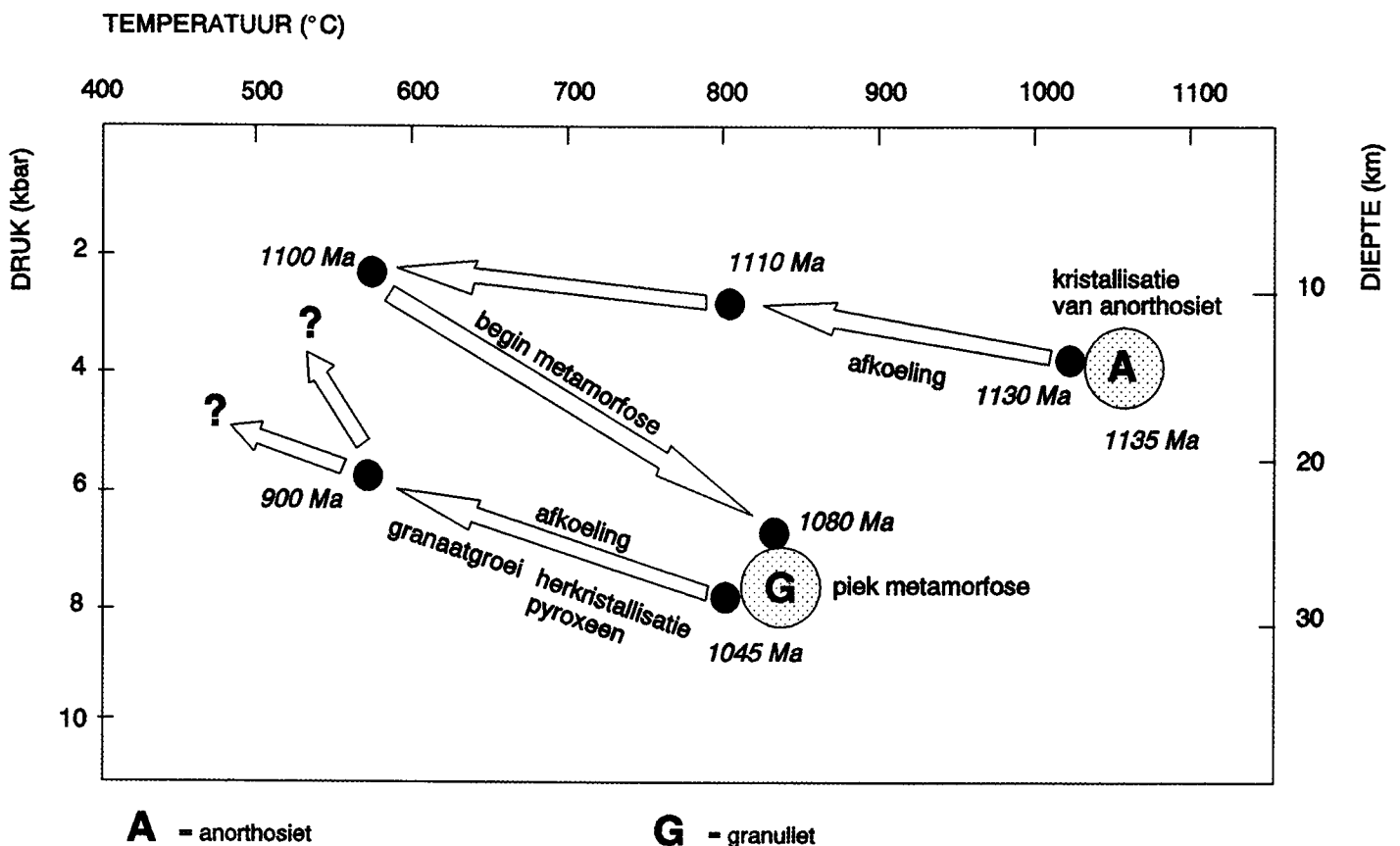
Het Boheems massief ligt niet alleen in Bohemen, maar strekt zich ook uit over delen van Moravië, Neder-Oostenrijk (Waldviertel), Beieren, een deel van het Elbe-gebied en de Sudeten. Het omvat series orthogneizen en paragneizen, met intrusies van hercynische plutonieten. Aan de randen komen granulietlichamen en (of: waaronder) leptieten voor. De intrusies zijn tussen 360 en 270 miljoen jaar oud. De granulieten liggen samen met granitische orthogneizen als de Gföhler Decke bovenop een dik pakket monotone gneizen van het Drosendorfer Decke. Het is nog niet vastgesteld, hoe deze bedekking tot stand is gekomen. Wel weet men inmiddels dat de granulieten tussen 486 en 340 miljoen jaar oud zijn, zodat zowel de caledonische als hercynische plooiing bij de vorming van het massief een rol hebben gespeeld (Walter, 1995).

De donkere, grijze tot zwarte pyroxeengranulieten liggen als lenzen in de 'Weiszstein'. De dikte varieert van enkele cm tot circa 100 m. De zandige, kleiige en vulkanische sedimenten waaruit de granulieten zijn gevormd zijn waarschijnlijk meer dan 900 miljoen jaar oud en behoren tot de oudste

gesteenten van Midden-Europa. Tussen de granulieten bevinden zich allerlei andere metamorfe gesteenten, zoals gneis, kwartsiet, kiezellei, metagabbro, amfiboliet en serpentinite. Deze kern wordt omgeven door een mantel van schisten en fyllieten (Henningsen & Katzung, 1992). Onderzoek door zes Duitse en Poolse instituten bracht o.a. aan het licht dat sterk gedeformeerde granulieten uit de Gory Sowie-bergen in de Sudeten, die aanvankelijk waren samengesteld uit veldspaat + granaat + klinopyroxeen + kwarts + kyaniet + rutiel, waren ontstaan bij 900-1000 °C en maar liefst 15-20 kbar. Uit het isotopenonderzoek bleek onder meer dat de granuliet was gevormd uit korstmateriaal van zowel archeïsche als proterozoïsche ouderdom. De ouderdom van de granulieten werd bepaald op circa 402 miljoen jaar (O'Brien c.s., 1997).

#### Het Zwarte Woud

De kristallijne kern van het Zwarte Woud bestaat hoofdzakelijk uit gneizen en granieten van het Midden-Europese hercynische gebergte. De meeste gneizen zijn ontstaan in de amfibolietfaciës (3-4 kbar/600-700 °C) maar daartussen zitten relictten van hogedrukmetamorfose (12 kbar/600-650 °C) in de vorm van ultramafische gesteenten (peridotieten en pyroxenieten) en kilometers lange, vervormde granulietlichamen. De gneizen zijn ongeveer 520 miljoen jaar oud en dateren dus uit het



Afb. 6. P-T-t diagram van een granuliet uit het Adirondack-gebied (USA, New York).

Cambrium. De voorlopers van de granulieten zijn van precambrische ouderdom (Walter, 1995).

### De Vogezen

Ook de kern van de Vogezen bestaat uit gneizen en amfibolieten, migmatieten en granieten. In het midden van de Vogezen, in de omgeving van Ste. Marie-aux-Mines liggen hoogmetamorfe gneizen en amfibolieten met o.a. insluitsels van eklogiet en granuliet, gevormd bij 9-10 kbar/700-750 °C. De metamorfose vond wellicht analoog aan die in het Zwarte Woud plaats tijdens het Ordovicium of op de grens van Cambrium en Ordovicium. De granulieten kunnen zijn gevormd uit cambrische of precambrische sedimenten en vulkanieten.

### Scandinavië

Een der oudste delen van Europa is Fins Lapland, waar zich een groot granulietcomplex bevindt, dat zich in NW-ZO richting uitstrekt van 68° tot 70° NB. In de buurt van het Inari-meer ligt het Inari-complex, met de oudste gesteenten uit het Archeïcum, welke 3.100 miljoen jaar oud zijn. Buiten de granulietgordel liggen groensteenfor-

maties van laat-archeïsche en vroeg-proterozoïsche ouderdom. De hoogste metamorfosegraad van de granulieten werd bereikt bij 745-810 °C en 6,7-12,1 kbar (Belyaev & Kozlov, 1997).

Van dit gebied is een type granuliet in 1905 door Hackman beschreven als **laaniliet**, genoemd naar de typelocatie Laanila. Deze granuliet wordt gekenmerkt door de combinatie van almandien + cordieriet + kwarts + biotiet (Mitchell, 1985).

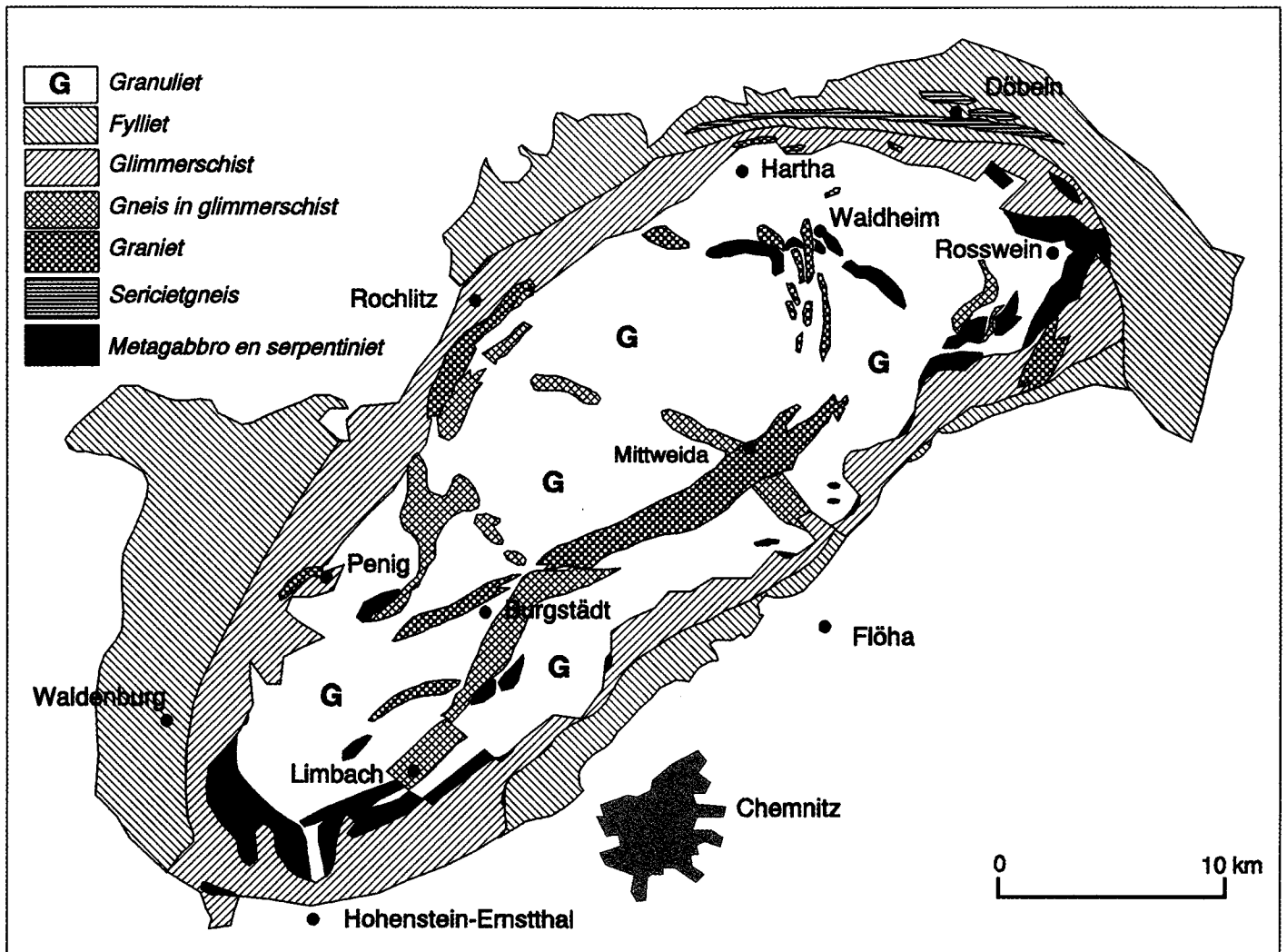
In het zuiden van Scandinavië liggen verspreide charnockietvoorkomens, die in het voorgaande al genoemd zijn. Het betreft verschillende gesteentetypen die afzonderlijke namen hebben gekregen, zoals jotuniet, mangeriet en opdaliet (aangegeven in de noten). Een charnockiet van de ZW-kust van Zweden (Varberg) wordt beschreven en afgebeeld door Hesemann (1975) en Zandstra (1988). Doorgaans wordt deze echter als Varberg'graniet' betiteld.

### Zwerfstenen in Nederland

De Varberg'graniet' wordt door Hesemann en Zandstra beschreven als een gidsgesteente dat weinig wordt gevonden.

In het Keienboek worden twee zwerfblokken van granuliet vermeld: het ene siert het Van der Werffplein in Leiden, het andere fungeert als dorpssteen in de Friese gemeente Doniawerstal (in Langweer?).

Granuliet wordt nogal eens als zwerfsteen aangetroffen, evenals leptiet en helleflint, die ook wel als granulieten worden beschouwd. Enkele typen helleflint (die van Dannemora en Småland) doen dienst als gidsgesteente. Zelf verzamelde ik een stuk felsische granuliet in keileemgroeve De Hocht te Markelo. Of de Nederlandse zwerfstenen alle uit Scandinavië komen is de vraag. Het is goed denkbaar dat tussen Rijn-materiaal granuliet uit de Vogezen of het Zwarte Woud wordt gevonden. En waarom zou je in het oostelijk grind wél porfier uit het Thüringer Woud en géén granuliet uit Saksen kunnen vinden?



Afb. 7. Kaartje van de gesteentevoorkomens in het Saksisch Granulietgebied bij Chemnitz (BRD). Naar Jubelt & Schreiter, 1972.

## Geraadpleegde literatuur en websites

- Appel, P., 1998. High-pressure granulite facies metamorphism in the Pan-African belt of eastern Tanzania: P-T-t evidence against granulite formation by continent collision. <http://rhodesit.min.uni-kiel.de/petrographie/schenk>
- Belyaev, O.A. & N.E. Kozlov, 1997. Geology, geochemistry and metamorphism of the Lapland Granulite Belt. Abstract Geological Survey of Finland, Report of Investigation 138. <http://www.gsf.fi/info/tr138.html>
- Duff, P.M.D., 1997. Holmes' Principles of Physical Geology. London etc. (Chapman & Hall), 791 pp.
- Gurk, C. & A. Wenzel, 1996. Mitteldruk-Metamorphose der Unterkruste am Beispiel der Serre in S-Kalabrien. Samenvatting van een onderzoek door V. Schenk in 1983. <http://www.uni-mainz.de/FB/Geo/Geologie/Excursions/italy96/calabria.htm>
- Henningsen, D. & G. Katzung, 1992. Einführung in die Geologie Deutschlands. Stuttgart (Enke) 228 pp.
- Hesemann, J., 1975. Kristalline Geschiebe der nordischen Vereisungen. Krefeld (Geol. Landesamt Nordrhein-Westfalen), 267 pp.
- Hohl, R. (ed.), 1980. Die Entwicklungsgeschichte der Erde. Hanau (Dausien), 703 pp.
- Jubelt, R. & P. Schreiter, 1972. Gesteinsbestimmungsbuch. Hanau (Dausien) 178 pp.
- Kearey, Ph., 1996. The new Penguin dictionary of geology. London etc. (Penguin Books), 366 pp.
- Lijn, P. van der (bew. G.J. Boekschoten), 1986. Het Keienboek. Zutphen (Thieme), 361 pp.
- Maresch, W., O. Medenbach & H.D. Trochim, 1987. Gesteine. München (Mosaik Verlag), 287 pp.
- Matthes, D. 1990. Mineralogie. Berlin/Heidelberg (Springer), 448 pp.
- Mitchell, R.S., 1985. Dictionary of rocks. New York (Van Nostrand Reinhold), 228 pp.
- Mottana, A., R. Crespi & G. Liborio, 1977. Thieme's gids voor mineralen en gesteenten. Zutphen (Thieme), 607 pp.
- O'Brien, P.J., A. Kroner, P. Jaeckel, E. Hegner, A. Zeazniewicz & R. Kryza (1997). Petrological and isotopic studies on Palaeozoic high-pressure granulites, Gorie Sowie Mts, Polish Sudetes (abstract Journal of Petrology). <http://www.iem.ac.ru/~dima/geosc/journals/j-petr/4-3897/380433.sgm.abs.html>
- Pichler, H. & C. Schmitt-Riegraf, 1987. Gesteinsbildende Minerale im Dünnschliff. Stuttgart (Enke), 230 pp.
- Rinne, F., 1928. Gesteinskunde. Leipzig (Jänecke), 428 pp.
- Schumann, W., 1989. Stenen en mineralen. Baarn (Thieme), 382 pp.
- Shaw, R.K., 1998. Evolution of a suite of granulites from Eastern Ghats, India and its implication to Gondwana assembly. <http://chigaku.ed.ynu.ac.jp/arimaken/rajib-e>
- Smith, D.G. (ed.), 1983. Cambridge encyclopedie van de aardwetenschappen. Maastricht (Natuur en techniek), 495 pp.
- Spear, F.S. & J.M. Markussen, 1997. Mineral zoning, P-T-X-M phase relations, and metamorphic evolution of some Adirondack granulites. Journal of Petrology. <http://www.geo.rpi.edu/facstaff/spear/Adk>
- Visser, W.A., 1980. Geological nomenclature. Utrecht e.a. (Scheiterna & Holkema e.a.), 540 pp.
- Walter, R., 1995. Geologie von Mitteleuropa. Stuttgart (Schweizerbart), 566 pp.
- Waters, D., 1994. Origin of Granulites. An annotated reading list. [http://www.earth.ox.ac.uk/~davewa/research/granulite\\_origins.html](http://www.earth.ox.ac.uk/~davewa/research/granulite_origins.html)
- Waters, D., 1998. Granulites and Migmatites. <http://www.earth.ox.ac.uk/~davewa/research/granmig.html>
- Williams, H., F.J. Turner & C.M. Gilbert, 1954. Petrography. An introduction to the study of rocks in thin sections. San Francisco (Freeman), 406 pp.
- Wimmenauer, W., 1985. Petrographie der magmatischen und metamorphen Gesteine. Stuttgart (Enke), 382 pp.
- Yardley, B.W.D., W.S. MacKenzie & C. Guilford, 1990. Atlas of metamorphic rocks and their textures. New York (Longman), 120 pp.
- Zandstra, J.G., 1988. Noordelijke kristallijne gidsgesteenten. Leiden (Brill), 469 pp. + XXXII platen.

## Noten

[Noot 1]

Diverse pyroxeengranulieten zijn bekend onder de volgende namen:  
**pyriklasiet** voor pyroxeengranuliet met plagioklaas en pyroxeen als hoofdmineralen,  
**pyribolet** voor een type met hoornblendes als wezenlijk bestanddeel  
en **pyrigarniet** of **granaatpyriklasiet** voor typen met granaat als wezenlijk bestanddeel (Wimmenauer, 1985).

[Noot 2]

**charnockiet** s.str.: Hollander 1893, Madras, India  
**opdaliet**: Goldschmidt 1916, Oppdal (Innset), Noorwegen  
**enderbiet**: Tilley 1936, Enderby Land, Antarctica  
**mangeriet**: Kolderup 1903, Manger, Noorwegen  
**jotuniet**: Goldschmidt 1916, Jotunheim, Noorwegen  
**noriet**: Esmark 1823, Noorwegen (Mitchell, 1985)

[Noot 3]

Volgens Mitchell (1985) is stronaliet (van dezelfde typelokatie) een kataklastische biotietgneis.