

Alkalische Ringcomplexen in Zuid-Afrika

door Piet Kakes

De aanleiding tot dit artikel

In 2001 brachten mijn vrouw en ik een bezoek aan Zuid-Afrika. Onderdeel hiervan was natuurlijk het Kruger wildpark, dat wij zouden bezoeken vanuit het naastgelegen dorpje Phalaborwa. Bij de voorbereiding van ons bezoek had ik gezien dat dit in een geologisch interessant gebied lag dat als 'Loolekop' werd aangeduid. Een precieze locatie kon ik niet vinden en gezien de grote afstanden hield ik er nauwelijks rekening mee dat we het zouden kunnen bezoeken. Binnen één dag was ik er achter dat we vrijwel bovenop Loolekop zaten. Alleen is het inmiddels een kopermijn, onderdeel van het wereldwijde Rio Tinto concern. Afb. 1.



Afb. 1. De Phalaborwa-mijn gezien vanuit het noorden. De bodem op 760 m diepte is hier niet te zien. De donkere banden in de wand zijn aangesneden dolerietgangen. Op de achtergrond zijn de torens van de in aanbouw zijnde schacht te zien en de kopersmelterij.

Phalaborwa is de naam van het plaatsje waar voornamelijk de staf van de mijn woont. Het bedrijf organiseert excursies en al de volgende dag stond een busje voor ons klaar en kregen wij een uitgebreide rondleiding over het enorme complex van mijnen en fabrieken. Eenmaal thuis maakte ik slijpplaatjes van de handstukjes die ik had kunnen verzamelen en verdiepte mij verder in de geologie van Loolekop en andere ringcomplexen. In 2004 hield ik een korte voordracht bij de Werkgroep Optische Petrologie, met het voornemen om er later een stukje voor Gea van te maken. Helaas, dit plan ging de weg van vele goede voornemens. In 2007 kreeg ik contact met de heer W. Sanders die mij vertelde dat zijn inmiddels overleden vader een grote collectie handstukken en slijpplaatjes had nagelaten die de familie aan onze werkgroep wilde schenken. Tot mijn verrassing bleek de collectie een flink aantal monsters van verschillende alkalische ringcomplexen te bevatten, compleet met slijpplaatjes, beschrijvingen en foto's. Dit bracht mij ertoe het oude materiaal nog eens te bekijken en de resultaten, samen met die van de heer Sanders, in een artikel te verwerken.

Wat zijn alkalische ringcomplexen?

Ringcomplexen zijn intrusies, d.w.z. plaatsen waar magma in de korst is gedrongen en in de vorm van ringvormige gangen is gestold. Dit is gebeurd ver onder het oppervlak, zodat we

spreken van dieptegesteenten. De intrusies hebben de vorm van concentrische buizen of kegels. Na erosie van de bovengrond doen deze zich voor als concentrische ringen. De samenstelling van de alkalische intrusies wijkt af van de meer gebruikelijke, doordat ze relatief rijk zijn aan natrium en arm aan silicium. Dit leidt tot een bijzondere mineralogie. De verschillende vormen die de intrusies kunnen aannemen worden het best verklaard wanneer we ze zien als doorsneden van de basis van vulkanen, die zelf inmiddels zijn verdwenen. Alle geraadpleegde auteurs zijn het erover eens dat de oorsprong van het magma dat de intrusies heeft gevormd de mantel is. De samenstelling, vooral van een aantal isotopen en zeldzame-aardenelementen, wijst daar sterk op.

De meeste ringcomplexen liggen binnen stabiele continenten, ze zullen dus niet zoals de meeste huidige vulkanen het gevolg zijn van het over elkaar schuiven of van elkaar wijken van platen. De meest waarschijnlijke oorzaak zou dan een mantelpluim zijn, maar niet alle onderzoekers zijn het hiermee eens.

Het voorkomen van ringcomplexen in Zuid-Afrika

De ringcomplexen bevinden zich in het zogenaamde Kaapvaal kraton. Dit is een gebied dat het noordoostelijke deel van de Kaapvaal provincie omvat, tegenwoordig Gauteng en The Northern Province. Dit is een gebied dat sinds het Precambrium min of meer stabiel is gebleven. Van de ringcomplexen die bekend zijn zal ik er twee behandelen: **Phalaborwa**, waar ik zelf heb verzameld, en **Pilanesberg**, waar ik niet ben geweest, maar waarvan ik de beschikking had over het materiaal van de heer W. Sanders. Daarnaast heb ik voor beide gebieden gebruik gemaakt van de uitgebreide wetenschappelijke literatuur,

en voor de Pilanesberg van een door het parkbestuur uitgegeven geologisch gidsje. Een absolute aanrader voor diegenen die dit gebied zouden willen bezoeken!

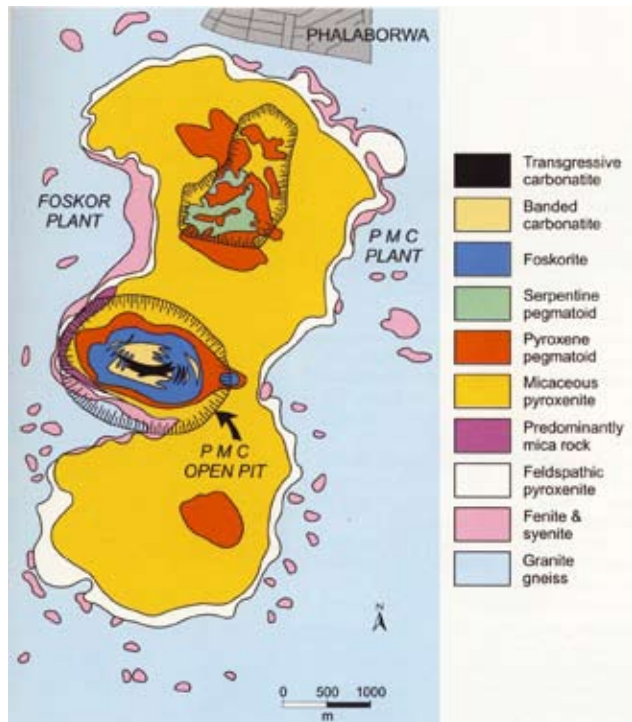
Phalaborwa

Phalaborwa is het oudste van de twee hier te behandelen complexen. De ouderdom komt overeen met die van het Bushveld Igneous Complex, d.w.z. ongeveer 2000 miljoen jaar. Het magma intrudeerde in graniet en gneis van het basiscomplex. Voor de exploitatie begon was het een lage heuvel, die Loolekop werd genoemd. Archeologisch onderzoek heeft uitgewezen dat hier al in de prekoloniale tijd kopererts tot koper werd verwerkt in primitieve veldovens. Het gebied werd in 1946 bestudeerd door de beroemde Zuid-Afrikaanse geoloog Hans Merensky, die ook het voorkomen van kopererts vaststelde. Het kopergehalte van de erts is vrij laag, zodat het aanvankelijk niet tot exploitatie kwam. De aanwezigheid van grote hoeveelheden van het fosforhoudende mineraal apatiet leidde in 1951 tot de oprichting van de Foskor maatschappij, die de apatiet tot kunstmest verwerkt. Vanaf 1965 ontgint de Phalaborwa Mining Company het kopererts, tot 2002 in dagbouw, daarna tot op heden in schachtbouw. Afb. 1. Voor we verder ingaan op de industriële activiteiten wil ik eerst een overzicht geven van de geologie van het complex.

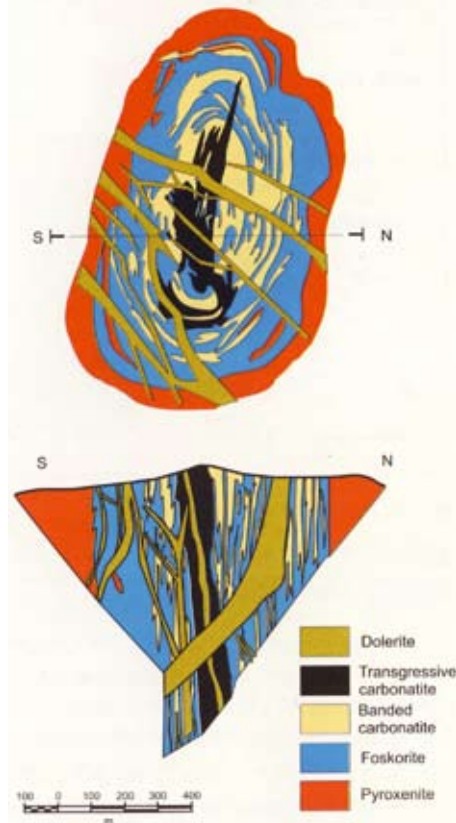
Geologie van het Phalaborwa ringcomplex

(zie afb. 2 en 3)

De twee pijpen waardoor het magma is ingedrongen zijn gefuseerd en bevatten verschillende gesteenten die wijzen op een aantal pulsen in de opwelling. De buitenste rand van de



Afb. 2. Een overzicht van de geologie van het Phalaborwa-complex. Voor een verklaring van de gesteentenaamen: zie de tekst. De pijl met PMC open pit geeft de omvang van de mijn omstreeks 1995 aan. Bron: M.J. Viljoen and W.U. Reimold: *An introduction to South Africa's geological and mining inheritance*. The Geological Society of South Africa and Mintek. 1999.



Afb. 3. Geologie van het centrale deel van het Phalaborwa-complex met onder een verticale doorsnede, afgeleid uit een groot aantal boringen. Hier zijn ook de dolerietgangen aangegeven. Bron: M.J. Viljoen and W.U. Reimold: *An introduction to South Africa's geological and mining inheritance*. The Geological Society of South Africa and Mintek. 1999.



Afb. 4. Een blok gebande carbonatiet. De lichte banden bestaan uit carbonaat en apatiet, de donkere banden uit olivijn en pyroxeen. De grootste breedte van het blok is ongeveer 1 m.

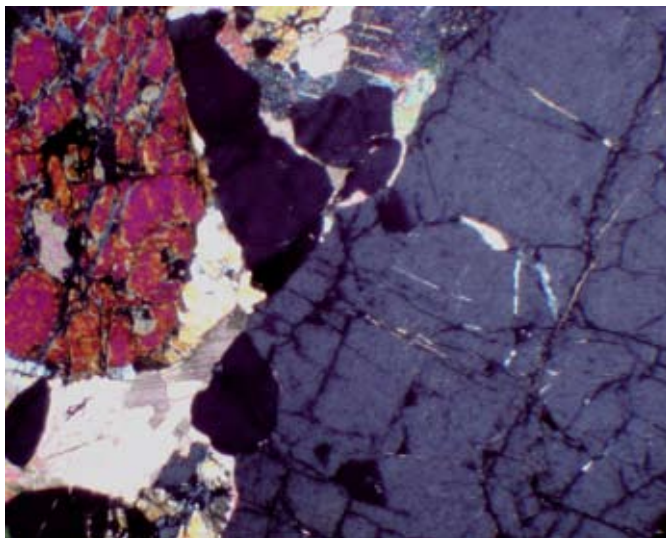
intrusie is beïnvloed door het omliggende gesteente, hier komen veldspaat houdende pyroxeniet en syeniet voor. Hierbinnen ligt een brede rand met glimmerhoudende pyroxeniet. Hierin domineren diopsied (een pyroxeen) en phlogopiet, een magnesiumrijke verwant van biotiet. Phlogopiet is in sterke mate omgezet naar het waterhoudende vermiculiet. Binnen de



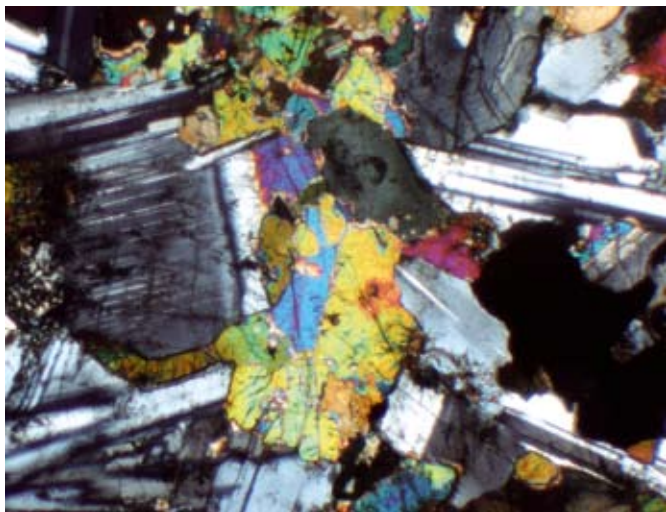
Afb. 5. Detail van een foskorietblok. Het lichte gebied in het midden bestaat uit calciet en apatiet, de donkere korrels hieromheen zijn magnetiet. Bovenin is een zeshoekige doorsnede te zien, karakteristiek voor dit kubische mineraal

glimmerhoudende pyroxeniet liggen gebieden met grofkorrelige pyroxeniet en daarbinnen ligt een zone die grotendeels bestaat uit apatiet en magnetiet. Dit gesteente is belangrijk voor de kunstmestproductie en is naar het bedrijf foskoriet genoemd. Zie afb. 6 voor een slijpplaatje. De magnetiet kan gebruikt worden als ijzererts en er komen kleine hoeveelheden uranothorianiet en baddeleyiet voor, waaruit uranium, thorium en zirkoon worden gewonnen, alsmede enkele zeldzame aarden die als sporen in deze mineralen voorkomen. Tenslotte komen we bij het binnenste gebied, de carbonatiet-plug. Afb. 4 en 5 geven een indruk van dit gesteente op de afvalstorthoop. Daarin worden nog onderscheiden de gebande carbonatiet en de transgressieve carbonatiet. Carbonaten (calciet en dolomiet) komen algemeen in de aardkorst voor, maar hier gaat het niet om gemetamorfoseerde kalksedimenten, maar om carbonaat dat uit het magma komt. De relatieve rijkdom aan o.a. strontium wijst daarop. Sommige auteurs denken dat er een verband bestaat tussen carbonatiet en

kimberliet, het gesteente waaruit diamant gewonnen wordt. De transgressieve carbonatiet is als laatste ingedrongen en het is hier dat de sterkste mineralisatie is opgetreden. De belangrijkste koperertsen zijn: borniet, chalcopyriet en valleriet. Dwars door de carbonatietpijpen lopen nog dolerietgangen die van veel later datum zijn. Afb. 7 toont een slijpplaatje van dit gesteente.



Afb. 6. Foto van een slijpplaatje van foskoriet. De analysator is ingeschakeld, de kleuren zijn dus niet de natuurlijke, maar interferentiekleuren. Rechts is een groot apatietkristal te zien (grijs) en links een olivijnkristal (paars). De lichte plekken hiertussen zijn grotendeels calciet. De beeldbreedte is 2,5 mm.



Afb. 7. Foto van een slijpplaatje van een doleriet. De analysator is ingeschakeld, de kleuren zijn dus niet de natuurlijke, maar interferentiekleuren. De helder gekleurde korrels zijn augiet, de grijze plagioklaas. Het grote plagioklaaskristal links van het midden laat lamellaire tweelingen zien. Ook de augiet vertoont lamellaire tweelingen, o.a. in de kleine korrel nabij de rechter rand. De beeldbreedte is 2,5 mm.

De winning en verwerking van de ertsen

(zie afb. 1, 8 en 9)

Het mijngebied is in feite een groot industrieel complex, waarvan de onderdelen nauw samenhangen. We beginnen met de kopermijn: 37 jaar van dagbouw hebben hier geleid tot een gat van 760 m diep en een omtrek van 5 km. De unieke situatie doet zich hier voor dat het kopererts voorkomt in een nauwe pijp met vrijwel verticale wanden, terwijl vanwege de stabiliteit de wanden van de put niet steiler dan 50° mogen zijn. Er moet dus enorm veel niet-koperhoudend gesteente worden verwij-



Afb. 8. Een overzicht in de fabriek van het maalwerk waar het erts wordt fijngemalen.

derd en dit is alleen economisch haalbaar omdat het afval van de kopermijn (de foskoriet) grondstof is voor de kunstmestfabriek die ernaast ligt.

Het kopererts, dat een gehalte heeft van maar 0,6%, wordt eerst in kogelmolens zeer fijn gemalen en daarna vermengd met water en chemicaliën. Doorblazen van lucht leidt tot sterke schuimvorming; het schuim dat sterk verrijkt is aan koper (tot 36%) wordt vervolgens afgeschuimd. Dit proces heet flotatie. De magnetiet wordt met sterke magneten verwijderd en de zwavel wordt door verhitting aan de lucht verwijderd. Hierbij ontstaat SO_2 , dat opgevangen wordt. Na toevoeging van smeltmiddelen en doorblazen met lucht ontstaat koper met een gehalte van 98%. Dit wordt elektrolytisch gezuiverd tot koper van 99,99%, dat in de vorm van platen en draad wordt verkocht. Naast dit primaire product worden nikkel en zirkoon geproduceerd, terwijl het slib dat neerslaat op de bodem van de elektrolyse-tanks wordt verkocht aan een bedrijf dat hieruit goud en platina wint. Hier gaat dus weinig verloren!

Het opgevangen SO_2 wordt in een aparte fabriek omgezet in zwavelzuur, dat geleverd wordt aan Foskor. Deze maatschappij wint tevens in een aparte open mijn apatiet, dat vermengd met zwavelzuur superfosfaat oplevert. Foskor levert niet alleen alle superfosfaat die in Zuid-Afrika wordt gebruikt, maar exporteert ook nog veel.

Zoals we boven zagen bevat de pyroxeniet nogal wat glimmer in de vorm van biotiet en phlogopiet. Deze mineralen zijn voor het grootste deel gehydrateerd tot vermiculiet, dat door zijn lage soortelijke massa makkelijk afgescheiden kan worden. Wordt het tot 300° verhit dan verliest het zijn water en zwelt enorm op tot een poreus materiaal dat goed isoleert, onbrandbaar is en



Afb. 9. Uitzicht in noordelijke richting vanaf de stortbergen naast de mijn. Op de achtergrond vloeivelden en de Foskor-fabriek, waar superfosfaat geproduceerd wordt.

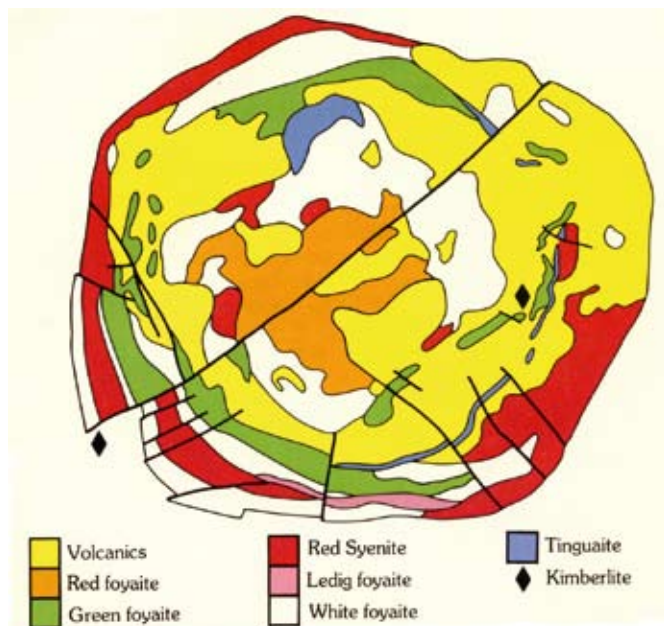
veel vocht kan opnemen. Het wordt gebruikt in de bouw, in garages, en niet te vergeten, als kattenbakvulling. Zo zien we dat gesteenten gevormd in de vroegste era van de aardgeschiedenis vandaag werkgelegenheid en waardevolle producten opleveren voor Zuid-Afrika. Daarbij wordt, door strenge regelgeving, die vanwege de nabijheid van het Kruger-wildpark ook goed wordt nageleefd, het milieu ontzien. Het is niet ongewoon om op het terrein, dat niet omheind is, olifanten te zien, en fietsen is het personeel op het terrein verboden in verband met het risico leeuwen te ontmoeten.

De Pilanesberg

Ook dit is een ringcomplex, maar het verschilt sterk van Phalaborwa. De vulkanische aard is hier veel duidelijker dan in Phalaborwa, en doordat er geen winbare hoeveelheden erts zijn, is het gebied vrijwel ongestoord. In plaats van een druk industrieel complex hebben we hier te maken met een nationaal park, waar de toeristen vooral komen om wild te zien. Zoals boven al vermeld is er een bezoekersgidsje over de geologie uitgegeven, waaraan ik veel ontleen.

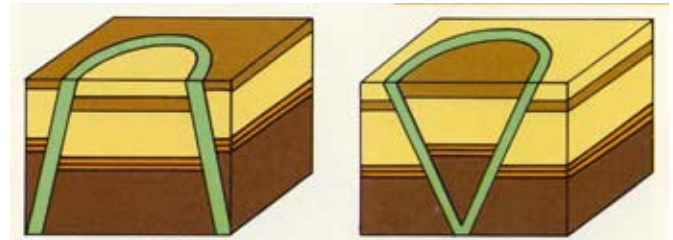
Geologie van de Pilanesberg (zie afb. 10)

De Pilanesberg ligt ongeveer 100 km ten noordwesten van Johannesburg, omringd door graniet en gabbro van het Bushveld Complex. Resten van dit complex en van de hierboven liggende Waterberg groep zijn langs de omtrek van het ringcomplex terug te vinden in de vorm van een tufachtig gesteente dat *graded bedding* vertoont, d.w.z. de fragmenten zijn gesorteerd met de grootste stukken onder, de kleinste boven. Dit materiaal is bij vulkanische explosies in de lucht



Afb. 10. Geologische kaart van de Pilanesberg. Duidelijk zijn de concentrische ringen te zien. De zwarte lijnen geven breuken aan. Let op de verplaatsingen van de ringen. Wat aangeduid wordt als 'volcanics' zijn voor een deel tuffen met fragmenten van het oudere gesteente die ontstaan zijn bij explosieve uitbarstingen, voor een ander deel trachitische lava's.

geblazen en bij het neerkomen gesorteerd naar valsnelheid. Omdat de Waterberggroep ongeveer 1800 miljoen jaar oud is, moet de Pilanesberg-vulkaan jonger zijn. De ouderdom wordt geschat op 1300 miljoen jaar. De huidige doorsnede is 25 km, dus dit moet een reusachtige vulkaan zijn geweest. Het vulkanisme is waarschijnlijk veroorzaakt doordat rekkrachten in de korst plaatselijk verzwakkingen gaven, waarlangs magma



Afb. 11. Op deze twee schema's is te zien hoe de verschillende intrusies gevormd zijn. Rechts zien we hoe door de druk van het magma een trechter van het nevengeesteente omhoog is gedrukt. De zo ontstane spleet is vervolgens opgevuld. De lagen binnen de trechter liggen hoger dan die buiten de trechter. Links zien we hoe een gesteenteblok door het wegvallen van de druk naar beneden is gezakt. Er is een buisvormige breuk ontstaan die opgevuld is.

omhoog kon komen. De Pilanesberg ligt in een systeem van intrusies, die zich over honderden kilometers uitstrekken in een NW-ZO richting. Samen met de intrusies van het complex zelf geeft dit de indruk van een ruit waar een steen tegenaan is gegoooid.

Hoe zijn de ringvormige intrusies ontstaan? Afb. 11. Bij alle intrusies is het probleem: hoe is de ruimte ontstaan waarin de intrusies zijn gevormd? Bij de Pilanesberg gaat het om een volume van omstreeks 1000 km³! Er zijn twee typen te onderscheiden die op iets verschillende manier worden gevormd: 1. Door druk van onderaf ontstaat een breuk in de vorm van een trechter die zich vult met magma. De internationale term voor dit type is *cone sheet*. Het materiaal binnen de kegel is opgeheven.



Afb. 12. Dit is een rode syeniet met een vers breukvlak. Het rode materiaal is alkaliveldspaat dat door insluitels van ijzeroxiden rood gekleurd is. De groene korrels zijn aegiriënaugiet, een natriumhoudende pyroxeen. Beeldhoogte 45 mm.

2. Nadat vulkanisch materiaal is uitgestoten ontstaat er ruimte, waardoor een stuk in de vorm van een cilinder naar beneden zakt en de tussenliggende ruimte door magma wordt opgevuld. Zo ontstaat een intrusie die verticaal is of naar boven toe nauwer wordt. Dit wordt een ringgang (*ring dyke*) genoemd. Het materiaal binnen de intrusie ligt hier lager ten opzichte van



Afb. 13. Een porfirische fonoliet. De witte sanidienkristallen vertonen enige richting, veroorzaakt door het stromen van de lava. De grijze achtergrond bevat nefelien en aegirienaugiet. Beeldbreedte: 44 mm

buiten. Deze processen hebben zich enkele malen herhaald. Het geïntroduceerde materiaal is beter bestand tegen erosie dan de oudere lagen, zodat het zich vandaag aan ons voordoet als een serie ringheuvels.

Het magma van de centrale pijp van de Pilanesberg, maar ook dat van de ringintrusies eromheen, is alkalisch, bevat dus relatief veel natrium en relatief weinig silicium. Er komt syeniet voor, een gesteente dat geen of zeer weinig kwarts bevat, maar wel natriumrijke alkaliveldspaat. Afb. 12.



Afb. 14. Groene foyaiet. Dit slijpplaatje laat de vergroeiing zien van alkali-veldspaat (lichtgrijs) en aegirien (groen) Zo'n vergroeiing betekent dat de mineralen ongeveer gelijktijdig zijn uitgekristalliseerd.

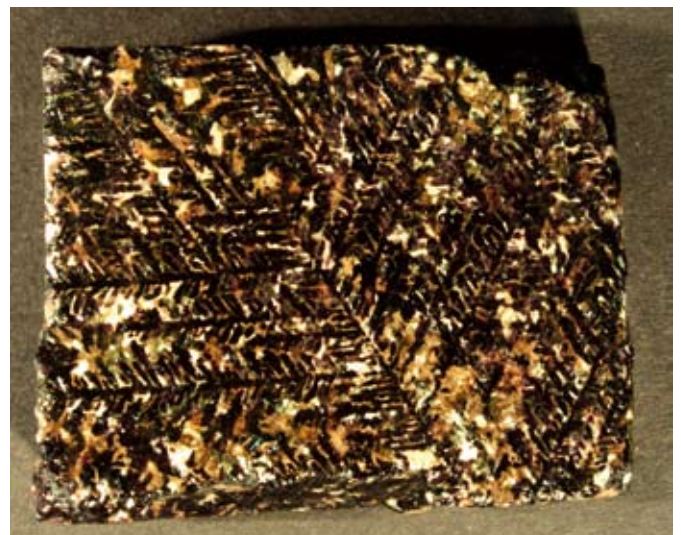
Het merendeel van de gesteenten is onderverzadigd, dit wil zeggen dat er helemaal geen kwarts in voorkomt en dat de veldspaat geheel of gedeeltelijk is vervangen door nefelien. Zulke gesteenten kennen we o.a. uit de Eifel, waar ze fonoliet genoemd worden. Dit is een uitvloeiingsgesteente. Het komt ook op de Pilanesberg voor. Afb. 13.

Maar het meeste materiaal is gestold diep onder de oppervlakte als dieptegesteente en dan noemt men het foyaiet. Afb. 14 en 15 geven een indruk van dit gesteente. Er zijn ook enkele gebieden met het vrij zeldzame ganggesteente tinguaiet. Kenmerkend voor dit gesteente zijn de naaldvormige donkergroene aegirienkristallen.

Het Pilanesberg-ringcomplex mist de carbonaatplug die we in Phalaborwa zagen. Er is hier dan ook veel minder mineralisatie. Opmerkelijk zijn enkele gebiedjes met kimberliet. Dit gesteente, dat grotendeels uit geserpentineerde olivijn bestaat, is vooral bekend omdat er diamant in voorkomt. Er is hier korte tijd naar diamant gegraven, maar de opbrengst was te laag om econo-

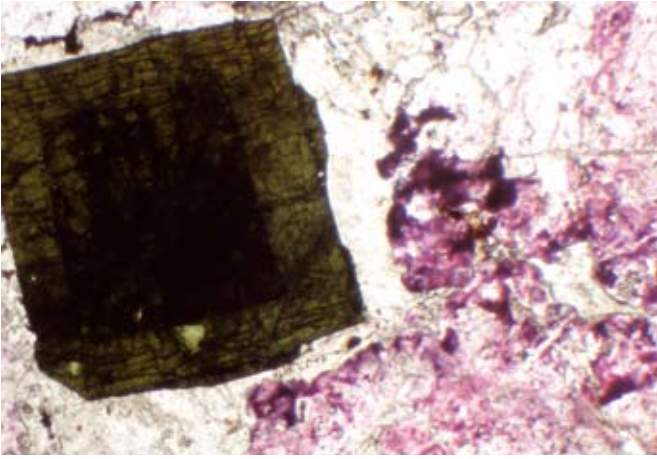


Afb. 15. Foyaiet. Slijpplaatje van een aggregaat van aegirienkristallen. Beeldbreedte 2,4 mm

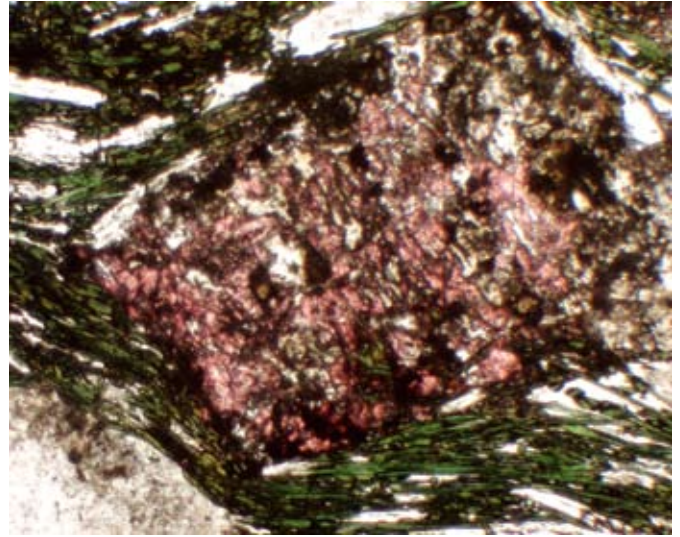


Afb. 16. Dit is een monster uit een oude fluorietmijn. De donkere korrels, die wat aan een dennentak doen denken, zijn fluorietkristallen. Zulke vormen noemt men dendrietten, ze ontstaan als de vloeistof waaruit ze zijn ontstaan sterk oververzadigd is. Het gesteente is foyaiet. Beeldbreedte: 58 mm.

misch verantwoord te zijn. Fluoriet is hier wel korte tijd gewonnen maar dit komt elders in Zuid-Afrika in rijkere mijnen voor. Afb. 16 laat de kristallen zien die hier een karakteristieke vorm



Afb. 17. Fluoriethoudende foyaiet (slijpplaatje). Het vlekkelig paarse deel is (gedeeltelijk omgezette) fluoriet. Het groene vierkant is een dwarsdoorsnede door een aegirienkristal. Let op de splijtingen en de zonaire bouw in de aegirien. Beeldbreedte 2,4 mm.



Afb. 18. Groene foyaiet. Dit slijpplaatje laat een eudialytkristal zien dat omringd is door aegiriennaalden. Beeldbreedte 2,4 mm.

Aanvullingen en verklaringen van termen

1. Ringcomplexen komen behalve in Zuid-Afrika ook op vele andere plaatsen voor. Bekende plekken in Europa zijn: Schotland, Auvergne, Corsica. Een zeer groot gebied met alkalische ringcomplexen bevindt zich in Siberië (NW-Siberisch platform). Gezien het feit dat een aantal alkalische ringcomplexen een centrale carbonaatplug hebben, kan men zich afvragen of de vulkanen erboven ooit carbonaat uitstootten. Dit is zeer wel mogelijk, er bestaat nog één vulkaan in de wereld die dit inderdaad doet: de Oldoinyo Lengai (godenberg) in Noordelijk Tanzania. Deze vulkaan spuwt een mengsel van carbonaten uit die relatief koel (550-600°) zijn en dunvloeibaar. De oudere pyroklastische basis bestaat uit nefeliniet, corresponderend met wat we in de ringcomplexen zien. Als deze vulkaan, nu ruim 3 km hoog, eens weggeërodeerd zal zijn kunnen onze verre nakomelingen hier een ringcomplex bestuderen!
2. De vraag hoe zoveel verschillende gesteenten kunnen ontstaan uit één magmabron (als dat al zo is) heeft al veel discussie opgeleverd. Alle auteurs lijken het erover eens te zijn dat een belangrijk proces in deze de magmatische differentiatie is. Hiermee bedoelt men dat in de magmakamer de eerststollende mineralen zich scheiden van de restsmelt. Bij verdere afkoeling kan dit proces zich herhalen. Daarnaast kunnen CO₂ en water, alsmede de invloed van het nevgesteente een rol spelen. Volgens Bonin (1998) vindt de vorming van ringgangen en trechtergangen relatief ondiep (14-20 km) plaats maar begint de magmatische differentiatie op de grens van korst en mantel (30-40 km). Voor details verwijst ik naar Bonins artikel in de literatuuropgave.
3. Carbonatiet is een verzamelnaam. Dit gesteente bevat wisselende hoeveelheden calciet (CaCO₃) en dolomiet (CaMg(CO₃)₂). In Phalaborwa overheerst calciet: meer dan 90% in de oudere carbonatiet en 80-90% in de jongere. Gebande carbonatiet wordt zo genoemd omdat de magnetiet in onregelmatige banden voorkomt. De transgressieve carbonatiet doorsnijdt de gebande en is dus jonger. De mineralisatie is nog weer jonger en kwam tot

stand doordat het gebied opnieuw seismisch actief werd. Langs breuken in de carbonatiet kon heet mineraalrijk water onder hoge druk binnendringen en werden mineralen in de breuken afgezet. De breedte van de ertsvoerende gangen loopt van decimeters tot millimeters.

4. In de tekst wordt gesproken van verzadigde en onderverzadigde gesteenten. Wat bedoelt men hiermee? De samenstelling van stollingsgesteenten wordt voor een groot deel bepaald door de samenstelling van het magma waaruit het is ontstaan. Hierbij onderscheidt men drie groepen. Ten eerste silicium (Si) en aluminium (Al), ten tweede de alkalimetalen natrium (Na) en kalium (K), ten derde de aardalkalimetalen calcium (Ca) en magnesium (Mg). Alles draait nu om de verhouding tussen deze drie groepen. Is er een overmaat silicium dan blijft er nadat alle overige elementen gebonden zijn nog SiO₂ over dat als vrij kwarts uitkristalliseert. Zo'n gesteente noemt men oververzadigd. Een voorbeeld is graniet. Wordt (ongeveer) alle Si gebonden dan is er geen of heel weinig kwarts te zien en spreken we van een verzadigd gesteente. Voorbeeld: syeniet. De gebonden silicium en aluminium bevinden zich in de veldspaten, mineralen die K, Na en Ca bevatten en in de zogenaamde donkere mineralen (mica's, pyroxenen) die vooral Fe en Mg bevatten. Als er niet genoeg Si aanwezig is om de metaalionen als veldspaat te binden dan spreken we van onderverzadigde gesteenten. Deze bevatten zogenaamde veldspaatvervangers, die verhoudingsgewijs minder Si bevatten. Een voorbeeld is nefelien. Een vergelijking tussen alkaliveldspaat: (Na,K)[AlSi₃O₈] en nefelien: Na₃(Na,K)[Al₄Si₄O₁₆] laat dit duidelijk zien. In het eerste geval is de verhouding alkalimetaal : silicium 1 : 3, in het tweede geval is deze verhouding 1 : 1.

Als onderverzadigde alkalirijke gesteenten in de diepte gevormd worden noemt men ze foyaieten, wanneer ze als uitvloeiingsgesteente optreden fonolieten. Onderverzadigde gesteenten bevatten naast veldspaatvervangers vaak ook veldspaten.

hebben die wel wat op een dennentak lijkt. Afb. 17 toont een slijpplaatje. Tenslotte nog een mineraal dat maar op weinig plaatsen ter wereld voorkomt: eudialyt, een mineraal dat naast zirkoon zeldzame aardenmetalen bevat. Winning als zirconiumerts is wel overwogen, maar het gehalte is te laag. Anderzijds is het hier algemeen genoeg om in slijpplaatjes op te duiken, we zien het dus in afb. 18.

Dankbetuiging

De Werkgroep Optische Petrologie 2 is de familie Sanders zeer erkentelijk voor hun gift van het geologische materiaal dat Wim Sanders in vele jaren verzameld heeft. De auteur van dit artikel wil ook Kees Maijer bedanken, die een eerdere versie van dit stuk van deskundig commentaar heeft voorzien en verder Wim Lustenhouwer van de VU, die behulpzaam was bij het maken van de vele foto's van slijpplaatjes en handstukken.

Geraadpleegde literatuur

- Bernard Bonin, 1998. Alkaline Rocks and Geodynamics. Tr. J. of Earth Sciences 7, 105-118.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. 1993. An Introduction to the Rock-Forming Minerals. Longman Scientific & Technical.
- Haughton, S.H., 1969. Geological History of Southern Africa. The Geological Society of South Africa.
- Lombaard, A.F., Ward-Able, N.M., Bruce, R.W. The exploration and Main Geological Features of the Copper Deposit in Carbonatite at Loolekop, Palabora Complex. In: Some Ore Deposits of Southern Africa.
- Maijer, C., 2002. Stenen. Gea, 35(3), 1-14.
- Truswell, J.F., 1970. An Introduction to the Historical Geology of South Africa. Purnell and Sons, Cape Town.
- Viljoen, M.J., Reimold, W.U., 1999. An introduction to South Africa's geological and mining heritage. The Geological Society of South Africa and Mintek.

Nieuwe website over geologie in Nederland: www.geosites.nl

TNO Bouw en Ondergrond heeft een website ontwikkeld voor iedereen die geïnteresseerd is in geologie, speciaal gericht op Nederland. Een aardkundig fenomeen – een GEOSite – dat beschreven wordt is bijvoorbeeld de Pietersberg bij Maastricht: een Maasterras dat 800.000 jaar geleden werd gevormd.

GEOSites zijn op veel verschillende manieren ontstaan: door landijsbedekking, als gevolg van eeuwig bevroren bodems, door de werking van rivieren, de wind, de zee, door bewegingen in de aardkorst en uiteindelijk natuurlijk ook de mens. GEOSites zijn overal in Nederland te zien, en ze hebben allemaal een eigen verhaal. Zij zijn in de loop van de tijd gevormd, soms met intervallen van honderd duizenden jaren. Er zijn oude, maar er zijn ook jonge geologische structuren. Het aardkundige landschap van Nederland laat zich daardoor lezen als een spannend boek. (afb. 1)

Via de website www.geosites.nl kan geologische informatie opgezocht worden over waar dan ook in Nederland. Wandelingen, fietstochten, musea, aardkundige monumenten: via de kaart van Nederland, of via een zoekterm zijn alle interessante geologische fenomenen in de omgeving op te zoeken. Daarnaast is er een overzicht van verschillende populaire geologische publicaties die door TNO en andere organisaties tot stand zijn gebracht.



Afb. 1. Het zwerfsteneneiland bij Maarn, een van de aardkundige monumenten van de provincie Utrecht.

GEOSites: www.geosites.nl

Opmerkingen, suggesties of aanvullingen zijn welkom via geosites@tno.nl