

Inhoud:

Over vorming en ouderdom van diamant	61	Nieuwe vindplaatsgegevens in Engeland	80
De Zândkoele: een nieuw geologisch monument (Heetveld, Overijssel)	65	Het ei van Columbus: tips van amateurs voor ama- teurs	83
Bekende en onbekende mineralen uit de Milltown Quarry (bij Matlock Derbyshire, G.B.)	68	Bol of hol? Optisch bedrog bij fossielenfotografie .85	
Geologische kaarten: sleutels tot een schat aan ge- gevens	71	Onbekende fossiele vissen in Australië	85
		Boekbesprekingen	86

Over vorming en ouderdom van diamant

door Drs. W.C.P. de Vries

Inleiding

Diamant wordt gevonden in een der meest merkwaardige gesteenten die op aarde voorkomen: een vulkanische breccie of agglomeraat die de naam "kimberliet" heeft gekregen. Het gesteente is genoemd naar het stadje Kimberley in Zuid-Afrika, waar een zeer grote diamantmijn wordt geëxploiteerd.

De kimberliet vormt de opvulling van grote kraterpijpen en is, naar het lijkt, ontstaan door hevig explosieve vulkanische activiteit. De pijpen reiken tot voorbij de ondergrens van de aardkorst in de aardmantel. De kimberliet komt in slechts enkele gebieden op aarde voor en wel uitsluitend in de zogenoemde "oude schilden", de oude, Precambriëse gebieden. De kimberlieten werden op een enkele uitzondering na gevormd aan het einde van het Krijt, rond 70 en 80 miljoen jaar geleden, en zijn dus van geologisch jonge ouderdom. Kimberlietpijpen worden onder meer gevonden in zuidelijk en centraal Afrika, Noord-Amerika, Siberië, India en Noorwegen (Fen-gebied bij Ulefoss).

De kimberliet is in de eerste plaats interessant wegens het voorkomen van diamant; men dient echter wel te bedenken dat het grootste gedeelte van de bekende kimberlietpijpen, waarschijnlijk zelfs meer dan 90%, geen diamant bevat.

Diamant is een kristallijne vorm van koolstof en kan worden gevormd onder omstandigheden van zeer hoge druk en temperatuur die heersen in de aardmantel op een diepte tussen de 200 en 250 kilometer.

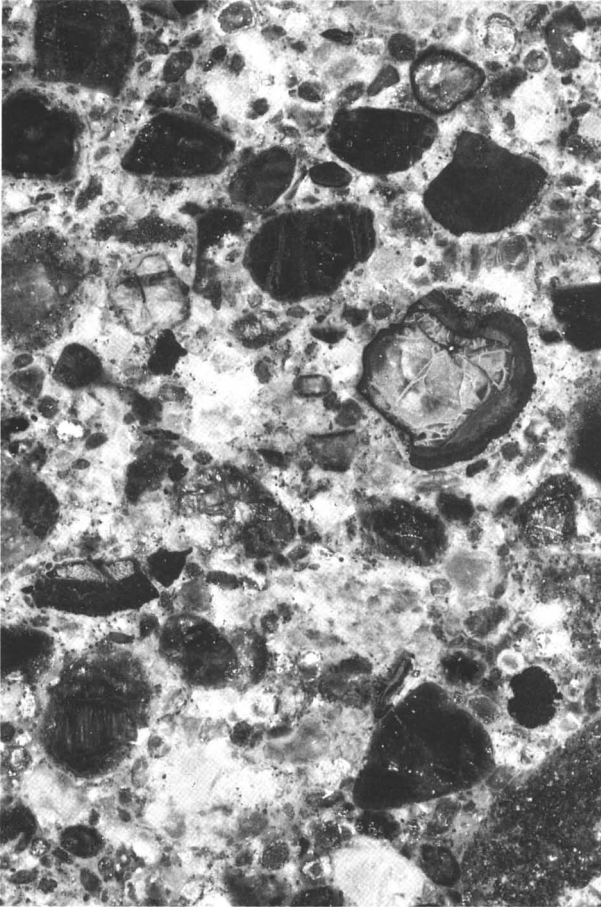
Tezamen met het omhoogkomend eruptief gesteente dat de kimberliet vormde, werden de diamanten naar de aardoppervlakte getransporteerd. Dit vulkanische gesteente is dan de merkwaardige, breccieuse, of eigenlijk aggro-

meratische, voornamelijk uit geserpentiniseerde olivijn bestaande, ultrabasische kimberliet.

Samenstelling van kimberliet

Kimberliet bestaat uit ultrabasisch materiaal en kreeg wegens zijn opvallende blauw-groene kleur de naam "Blue-ground". Het gesteente, dat vrij zacht is, voelt vettig aan en bestaat uit een grondmassa van serpentijn met veel calciet, met daarin verspreid een groot aantal verschillende mineralen en een enorme verscheidenheid aan gesteente-fragmenten. Afb. 1.

Verreweg de voornaamste van de primaire mineralen in kimberliet is olivijn; dit vormt tot 75% van het vulkanische materiaal. De olivijn is in alle gevallen in belangrijke mate omgezet in serpentijn. Daarnaast zijn belangrijke mineralen enstatiet en diopsied, die veelal ook zijn geserpentiniseerd. Typisch zijn voorts felgroene, chroomhoudende diopsied, bronskleurige phlogopiet en bloedrode tot bruin gekleurde granaat van een samenstelling die in de buurt komt van pyroop. De granaat is algemeen bekend onder de vanzelfsprekend foutieve benaming "Kaapse robijn". Daarnaast komen als accessoirische mineralen onder meer nog voor: zwart glanzende ilmeniet, ook wel "Carbonado" (zwarte diamant) genoemd, en heldergele zirkoon, wel genoemd "Nederlandse diamant" (Dutch boart), alsmede het zeldzame mineraal dat de kimberliet buitengewoon interessant maakt: diamant. De bovengenoemde mineralen komen alle los in de serpentijnmassa voor. Daarnaast zijn er een groot aantal gesteente-fragmenten aanwezig die bestaan uit alle mogelijke combinaties van deze mineralen. Het meest voorkomende gesteentetype is Iherzoliet, dan volgen onder meer harzburgiet en eclogiet, of, zoals de eclogiet-variëteit die



Afb. 1. Kimberliet, Zuid-Afrika. In dit fragment van 1x1½ cm zijn te zien: granaat, chroomdiopsied, geserpentineerde olivijnkristallen en phlogopiet. De tussenmassa bestaat uit carbonaten, chloriet en talk. (Zie ook: Diepte-gesteenten, Gea vol. 12 (1979) nr. 1, pag. 15).

voorkomt in de kimberlietpijp wordt genoemd: griquaiet. Deze groep van gesteenten wordt wel de "cognate xenolieten" genoemd. Dit is in wezen een contradictie, die aangeeft dat men aanneemt dat deze gesteentefragmenten, die alle afkomstig moeten zijn uit de aardmantel, zouden zijn uitgekristalliseerd in het kimberliet "magma" voordat de eruptie plaats vond. Dit type van insluitels is van groot belang; de eerste diamant die in kimberliet werd gevonden kwam voor als insluitel in granaat van een griquaietbrok.

De xenolieten die niet behoren tot de groep gesteenten die verwant is aan het kimberlitisch magma tonen een enorme variatie en bevatten alle gesteenten waaruit de aardkorst is opgebouwd op de plaats van de vulkanische doorbraak. Deze gesteenten variëren van granieten, gneizen en schisten uit de basis van de continentale korst tot gesteenten die jonger zijn dan de formaties die nu aan het aardoppervlak rond de kimberlietpijp aanwezig zijn.

Dit laatste punt houdt in, dat ten tijde van de eruptie het aardoppervlak op een geologisch beduidend hoger niveau moet hebben gelegen en dat er toenmaals aan het aardoppervlak afzettingen van veel jongere ouderdom aanwezig waren. Tijdens de eruptie zouden brokken van deze jongere gesteenten van de wand van de pijp zijn losgeraakt en diep in de pijp zijn terechtgekomen, weggezakt in het omhoogkomende vulkanische materiaal. Uit het voorkomen van deze jonge gesteentefragmenten kan worden

afgeleid, dat er sinds de vorming van de Zuidafrikaanse kimberlietpijpen in het Boven-Krijt, ongeveer 70 miljoen jaar geleden, rond 1000 meter gesteenteformaties door verwerking en erosie zijn verdwenen (zie afb. 2).

De kimberliet bevat een belangrijk gehalte aan carbonaatmineralen; daarnaast is het vulkanische materiaal van de kimberliet, dat voornamelijk bestaat uit olivijn, intensief geserpentineerd. Dit laatstgenoemde proces houdt een hydratatie in, een toevoegen van water. De intensieve omzettingen door hydratatie en carbonatisatie geven aan dat er tijdens de vorming van de kimberliet een grote hoeveelheid CO₂ en water aanwezig was. Het CO₂- en watergehalte komt overeen met ongeveer 10% van het gesteentevolume en dat is een buitengewoon hoog gehalte. In alle bekende kimberlietvoorkomens worden fragmenten gevonden van eclogiet en verwante gesteenten. Het leidt dan ook geen twijfel dat eclogiet en de veel meer voorkomende peridotiet overal onder de continenten aanwezig zijn. Het voorkomen van diamant in de eclogiet-fragmenten geeft aan dat deze gesteenten op een diepte van tenminste 150 kilometer werden gevormd.

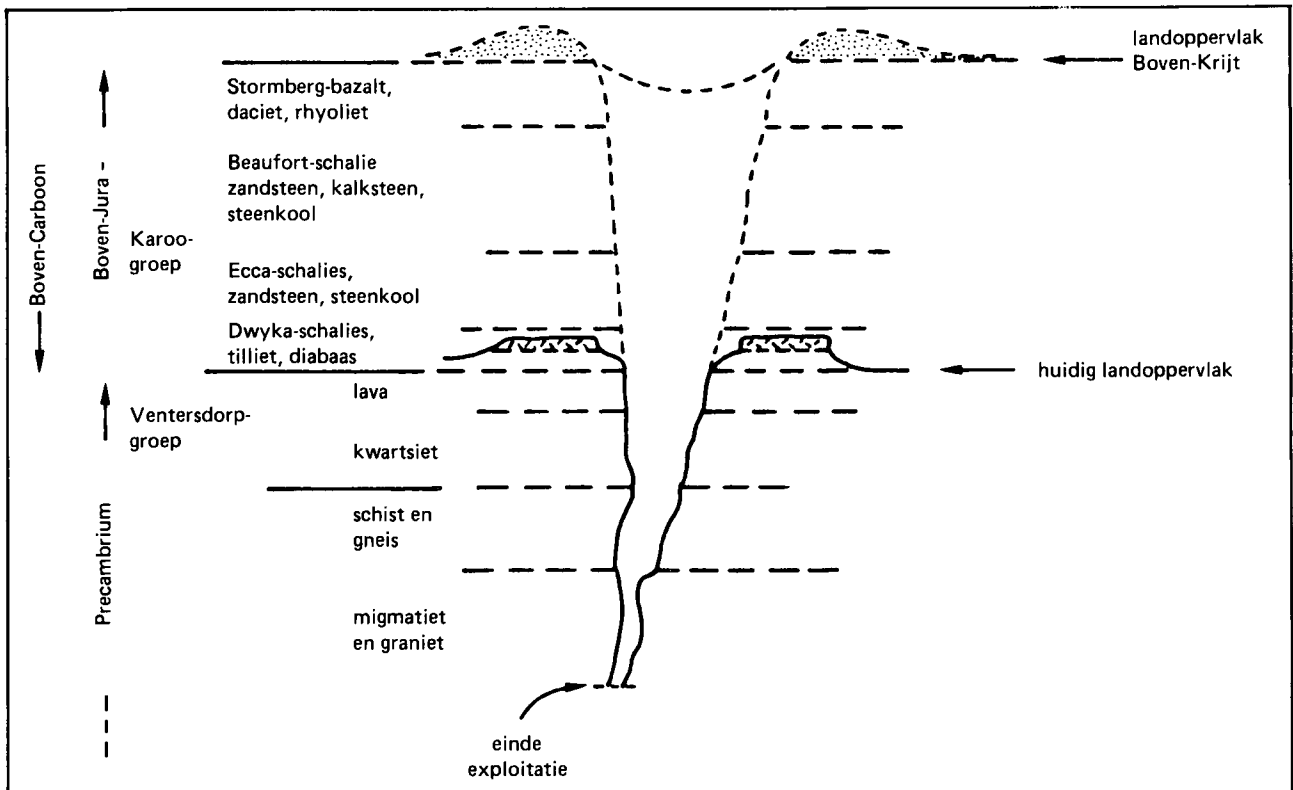
Vorming van kimberliet

Het oorspronkelijke idee over het ontstaan van kimberliet was, dat de pijpen werden gevormd door een serie van uitzonderlijk hevige explosieve vulkanische erupties, waarbij een deel van het gesteentemateriaal dat van de wanden losgewerkt werd in de pijp terugviel. Dit verklaart onder meer in de Zuidafrikaanse pijpen het voorkomen van grote brokken steenkool uit de nu door denudatie verdwenen gesteenten van de Karoo-formaties. Deze verklaring werd lange tijd aangehangen. Het werd echter duidelijk, dat het proces waarbij de kimberliet is gevormd sterk afwijkt van de vergelijkbare, zeer sterk explosieve vulkanische erupties die de grote vulkanotektonische depressies op aarde hebben gevormd, zoals de caldera van Santorini of de inzakkingen die het gevolg zijn van de grote erupties in de Eifel.

In volstrekte tegenstelling tot een explosief vulkanisch karakter van de kimberliet is het voorkomen van de zonder uitzondering fraai afgeronde fragmenten van de ultrabasische gesteenten, welke fragmenten wat afmetingen betreft opvallend weinig uiteenlopen. Ook vele fragmenten van korstgesteenten tonen een goede afronding en weinig variatie in afmetingen. Daarentegen zijn er hoekige fragmenten van soms enorme afmetingen aanwezig en vaak zijn deze hoekige en grotere fragmenten afkomstig uit formaties die na de vorming van de kimberliet door erosie zijn verdwenen. De vorming van de kimberliet kan dus niet zijn geschied door een kortstondige, hevige, explosieve eruptie. Vooral de goede afronding en verkleining van vele fragmenten geeft aan dat het proces lange tijd heeft geduurd. Een ander opvallend punt is het vrijwel ontbreken van metamorfe beïnvloeding van de xenolieten en het nevengeesteente.

De verklaring voor het ontstaan van de kimberliet is gevonden door vergelijking met het industriële proces dat plaats vindt in de "fluid bed"-reactor. Bij het verbranden van steenkool bijvoorbeeld, wordt een gasstroom van onderaf door de koollaag gejaagd, waardoor de kool in deze gasstroom gaat zweven. De steenkoolfragmenten worden zodoende ieder omgeven door het verbrandingsgas; op deze wijze komt een intensief contact tot stand met het verbrandingsgas en vindt volledige verbranding plaats.

De "eruptie" van de kimberliet moet op vergelijkbare



Afb. 2. Schematisch profiel door de 1200 meter diepe Kimberley-diamantpijp. Aangegeven zijn de sinds het Boven-Krijt door erosie verdwenen formaties.

wijze tot stand gekomen zijn:

Een enorme stroom gas kwam met grote snelheid naar boven, de gesteentefragmenten die uit de diepte werden meegevoerd, alsmede die welke werden losgerukt uit de wanden van de pijp, zweefden in de opstijgende gasstroom, zij werden in een staat van "fluidisatie" gehouden.

De gesteentefragmenten werden door de gasstroom geërodeerd, de sterk turbulent bewegende massa deed de fragmenten afslijten, zij werden verkleind en afgerond. Tijdens het proces van verkleinen werden de fragmenten geleidelijk naar hogere niveaus in de pijp getransporteerd en uiteindelijk als fijn gruis boven uit de pijp de atmosfeer ingeblazen. Grote brokken, die loskwamen van de wand, zakten snel weg in de bewegende, fluïde massa en daalden net zolang totdat zij door de gasstroom in zweving werden gebracht; dan werden zij langzamerhand verkleind en afgerond.

Zo kan dus worden verklaard dat er hoekige brokken van enorme afmetingen weg konden zinken naar een veel lager niveau dan dat van hun oorsprong in de wand van de pijp en dat deze hoekige brokken temidden van kleine, afgeronde fragmenten terecht zijn gekomen.

Deze hoekige fragmenten zijn op het ogenblik nog aanwezig doordat de gasstroom stopte op het moment dat deze brokken op hun huidige plaats, diep in de pijp, waren aangekomen. De grote, hoekige brokken moeten dan ook betrekkelijke nieuwkomers zijn geweest en kort voor het einde van de eruptie uit de wand zijn losgerukt. De afnemende gassnelheid in de hogere niveaus van de steeds wijder wordende pijp maakte dat op hogere niveaus kleinere fragmenten door de gasstroom konden worden gedragen. Zo zijn de grotere fragmenten dieper weggezou-

ken in de wervelende massa. Op een bepaalde diepte bleven zij in een soort evenwichtstoestand zweven en gingen dan langzaam aan hun tocht omhoog beginnen doordat zij door de gasstroom en diens lading van fragmenten werden geërodeerd.

Dat bij de vorming van de kimberliet de aanwezigheid van grote hoeveelheden gas een rol heeft gespeeld blijkt uit de intensieve serpentinisatie en carbonitisatie van het magma.

Vorming van diamant

De vorming van de kimberliet werd enkele decennia geleden eenduidig verklaard door het "fluid bed"-mechanisme. De genese van de diamanten is echter tot voor kort een duistere zaak gebleven. De zeer recent verkregen resultaten van de ouderdomsbepalingen aan diamanthoudende mineralen hebben de verklaring dichterbij gebracht. Afb. 3 en 4.

In eerste instantie heeft men de vorming van diamant verklaard uit de metamorfe beïnvloeding van het ongetwijfeld zeer hete en onder hoge druk staande kimberlitische magma op de steenkoolhoudende afzettingen van de Karoo-formaties (Perm en Trias), die voorkomen in het Grondwana-continent. Merkwaardig en voor deze theorie dodelijk is het feit, dat er vele kimberlietpijpen zijn die de formaties uit de Karoo hebben doorboord en die geen diamant bevatten, met daarnaast pijpen die geen Karoo-gesteenten hebben doorsneden, zoals in Noord-Amerika en Siberië, en wel diamant bevatten.

De twee theorieën die lange tijd werden aangehouden luiden:

(1) De diamant is afkomstig uit diamanthoudende eclogiet (de griquaïet), die door explosieve erupties werd vergruisd. Volgens deze verklaring is het voorkomen van diamant in de kimberliet dus een toeval.

Deze theorie wordt ondersteund door de observaties dat: — er vele diamantloze kimberlieten zijn; — vele diamanten



Afb. 3. Diamant, ca. 3 mm, met "trigonen", driehoekige structuren in het oppervlak. Herkomst: Z-Afrika. Foto: P. Stemvers, Weesp.

gebroken zijn, welk punt echter moeilijk te rijmen is met de extreme zachtheid van de kimberliet; — diamant bekend is als primair bestanddeel van granaat-diopsied-insluitels.

Een punt tegen deze theorie is dat er belangrijke diamantproducerende kimberlieten zijn die vrijwel geen griquaïet-insluitels bevatten. Dit is onder meer het geval in de Kimberley-mijn.

(2) De diamant is een oorspronkelijk bestanddeel van het kimberlietmagma en daarin uitgekristalliseerd tijdens de eruptiefase.

Ten gunste van deze theorie spreekt het feit dat de grondmassa van diamanthoudende kimberliet vele microscopische kleine diamanten bevat; — dat er vele verschillende typen diamant voorkomen in verschillende pijpen; — diamant een zonaire opbouw kan tonen; — er insluitels van diamant voorkomen in diamant; — vele mineralen als granaat, diopsied en magnetiet als insluitels in diamant voorkomen.

De conclusie die uit de tweede theorie werd getrokken luidde dan ook dat het grootste gedeelte van de edelsteen is uitgekristalliseerd hetzij in het oprijzend magma, of in het vloeibare gesteentemateriaal tijdens de periode dat de smelt zich nog op grote diepte in of onder de aardkorst bevond. Daarnaast zou een klein gedeelte van de diamant in de kimberliet terecht gekomen zijn doordat een veel ouder, reeds bestaand plutonisch ultrabasisch gesteente (dus de griquaïet) tijdens de kimberlieterupties werd vergruisd. Deze laatstgenoemde verklaring werd gesteund door de theorie dat de kimberliet zelf ontstaat door een gedeeltelijk smelten van holokristallijne peridotiet en aanverwante mantelgesteenten. De sporen van deze gesteenten zijn aanwezig in de vorm van de cognate xenolieten.

De koolstof, die voor de vorming van de diamant nodig is, zal naar alle waarschijnlijkheid ruim voldoende in de mantel aanwezig zijn. De eruptie van de kimberliet werd aangedreven door een grote hoeveelheid gas, die gedurende langere tijd op grote diepte in de mantel werd geproduceerd. Koolstofdioxide vormde een zeer belangrijk bestanddeel van het gas.

Gedurende een periode van rond 50 jaar is de onbevredigende situatie blijven bestaan dat er werd aangenomen dat

de diamant uit twee geheel verschillende bronnen afkomstig zou zijn: gedeeltelijk ontstaan als kristallisatieproduct tijdens de eruptie van de kimberliet en gedeeltelijk reeds aanwezig in veel ouder mantelgesteente.

Nieuwe visie

Kort geleden is het gelukt om ouderdomsbepalingen uit te voeren die een betrouwbare uitkomst geven en met behulp waarmee met enige zekerheid een verklaring van de afkomst van de diamant is te geven.

Reeds vele malen is in de afgelopen decennia gepoogd om door middel van radioactieve vervalprocessen ouderdomsbepalingen aan diamanten uit te voeren, doch een goed resultaat werd niet bereikt. Wel werd de aanwijzing verkregen dat de samenstelling van de isotopen van het element helium in diamant overeenkomstig vertoont met die in chondritische meteorieten. Volgens deze vergelijking zou de diamant dus van zeer hoge ouderdom moeten zijn, in de orde van grootte van het tijdstip van het ontstaan van de aarde.

Onlangs zijn echter nieuwe ouderdomsbepalingen gedaan aan granaatkristallen die in diamant waren ingesloten. Deze granaten leverden een ouderdom die tussen de 3.2 en 3.4 miljard jaar ligt.

Dit houdt niet automatisch in dat de omsluitende diamant van vergelijkbare ouderdom is. De diamant zou in een veel later stadium gevormd kunnen zijn, waarbij de granaat als kristallisatiekern heeft gediend. Bij de granaatinsluitels in de diamant is echter vastgesteld dat diamant en granaat gelijktijdig zijn uitgekristalliseerd. De vormen van de contactvlakken tussen granaat en diamant zijn zowel door de granaat als door de diamant bepaald, hetgeen in zekere zin te vergelijken is met de vorming van schriftgraniet. Uit de hoge ouderdom kan worden geconcludeerd dat de diamant als een vreemd insluitel, dus als een xenokristal (een kristal dat niet behoort tot het stollingsgesteente waarin het voorkomt) door het kimberlietmagma is meegenomen.

Een vraag die overblijft is waarom diamanten zich blijkbaar hebben gevormd tijdens een bepaald moment in de aardgeschiedenis. Deze eenmalige vorming geldt overigens niet voor de pyroop-achtige granaten in de kimberliet: er zijn meerdere generaties granaten gevonden die een onderling afwijkende samenstelling hebben en die op verschillende momenten in de mantelgesteenten zijn gevormd.

Afb. 4. Oppervlaktestructuren van een diamant uit Borneo, ca. 3 mm.

Foto: Rijksmuseum van Geologie en Mineralogie, Leiden.



Tijdens een periode van grote onrust in de aardkorst, die plaats vond in het Krijt en die waarschijnlijk leidde tot belangrijke bewegingen van de continentale platen, werd de bovenzijde van de mantel in belangrijke en mogelijk in uitzonderlijke mate beïnvloed. Deze beïnvloeding resulteerde in een gedeeltelijk smelten van het mantelmateriaal op een diepte gelegen tussen de 150 tot 200 kilometer, waardoor het kimberlitisch magma werd gegenereerd. Met de erupterende kimberliet werden de diamanten uit de aardmantel naar het aardoppervlak gebracht.

Dat de natuurkundige en chemische omstandigheden tijdens deze diamantvormende fase niet constant zijn gebleven, bewijzen de verschillen in samenstelling van de diamant. Er zijn onder meer verschillen gevonden in aantal en hoeveelheden van de verschillende koolstof-isotopen. Het is reeds lang algemeen bekend, dat diamanten

uit verschillende mijnen en zelfs uit verschillende niveaus binnen een pijp verschillen vertonen in eigenschappen als kleur, vorm, splijting. Een specialist is veelal in staat te zeggen uit welk gebied, of soms ook wel uit welke mijn een diamant afkomstig is.

Daar het niet voorstelbaar is dat diamant alleen voorkomt op enkele bepaalde plaatsen in de mantel waar kimberlietmagma werd gegenereerd, moet worden aangenomen dat er zich onder de gehele aardkorst een laag mantelmateriaal met diamanten bevindt.

Diamanten zijn een bewaard gebleven getuigenis van een belangrijke fase in de vroege geschiedenis van de aarde – rond 1000 miljoen jaar na de vorming van onze planeet. Het precieze karakter van deze fase kan op het ogenblik nog niet duidelijk worden verklaard.

De Zândkoele: een nieuw geologisch monument

(Heetveld, Overijssel)

door G.P. Gonggrijp*)

In 1981 verscheen in dit tijdschrift een artikel over "Geologische fenomenen in Nederland: waard om bewaard te blijven". Het uitgangspunt van dit artikel was, dat geologische, geomorfologische en bodemkundige objecten die uit het oogpunt van wetenschap en onderwijs van belang zijn beschermd dienen te worden. De gegevens over deze waardevolle objecten worden verkregen uit provinciale inventarisaties die door de Werkgroep Gea worden uitgevoerd. In de afgelopen jaren is verscheidene malen door deze interinstitutionele werkgroep actie ondernomen om waardevolle ontsluitingen en vormen te behouden. Het geologisch monument "De Zândkoele" bij Heetveld op het hoge land van Vollenhove is het resultaat van een dergelijke reddingsactie.

Van 'zand'groeve tot opslag- en crossterrein

De Zândkoele is, zoals verscheidene andere kleine groeven op het hoge land, aangelegd om de plaatselijke behoefte aan zand en leem te dekken. Af en toe werd hier een vracht zand uit gehaald.

De volgende functie van het terrein was die van gemeentelijke opslagplaats. Overtollige straatklinkers en rioleringsbuizen werden hier voor kortere of langere tijd gedumpt. Hoewel de groeve vroeger wel bekend is geweest bij enkele geïnteresseerden, werd de plaats nauwelijks meer bezocht. De wanden hadden door verval hun informatieve waarde geleidelijk aan verloren. In het voorjaar van 1981 bleek echter tijdens een veldbezoek, dat de wand was vrij gemaakt waardoor een fraai keileem-dekzandprofiel ontsloten was. Omdat dit profiel in de verre omgeving het enige in zijn soort is en het bovendien een goed beeld

geeft van de ontstaansgeschiedenis van het hoge land van Vollenhove, werd dit object gemeld aan de gemeente Brederwiede. Deze had inmiddels, naar later bleek, een plaatselijke cross-vereniging toestemming gegeven een cross-baan aan te leggen. Op het voormalige opslagterrein werd nu weer opnieuw zand en leem afgegraven om de baan van enkele heuvels te kunnen voorzien. Het bleek dat de daarbij vrijgekomen profielen een nog grotere verscheidenheid aan geologische verschijnselen lieten zien dan het al eerder genoemde. Afb. 1.

Naar aanleiding hiervan vond er in 1982 met de gemeente over het object een bespreking plaats. Dit resulteerde in 1983 in een rapport over het belang van de groeve voor onderwijs en wetenschap.

De cross-baan bleek geen succes door wateroverlast als gevolg van de aanwezige leem, zodat de cross-activiteiten de stichting van een geologisch monument niet langer in de weg behoefden te staan.

150.000 jaar geologische geschiedenis

De profielwand van de Zândkoele is opgebouwd uit lagen uit drie verschillende geologische perioden en binnen deze lagen komen verscheidene geologische verschijnselen voor; die kenmerkend zijn voor die perioden. Afb. 2. Om de aanwezigheid van deze lagen en verschijnselen beter te kunnen begrijpen, is enige kennis over de geologische ontstaansgeschiedenis van het hoge land van Vollenhove onontbeerlijk.

Ongeveer 200.000 jaar geleden, gedurende de voorlaatste ijstijd: het Saalien werd het zo koud op aarde, dat zich in de gebirgen omvangrijke gletsjers vormden. In de loop van de tijd breidden deze gletsjers, waaronder de ijskap van Scandinavië, zich steeds verder uit. Dit Scandinavische ijs bereikte zo'n 150.000 jaar geleden zelfs ons land en duwde hier verscheidene heuvelrijen (stuwwallen) op, waaronder het hoge land van Vollenhove. Toen het klimaat geleidelijk aan verbeterde, trok het ijsfront zich

*) Drs. G.P. Gonggrijp is secretaris van de Werkgroep Gea, een onderdeel van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer te Leersum.