

ARCHAEICUM

door Dr. J. van Diggelen

DE PLANEET AARDE IN HET ARCHAEICUM

Heel schuchter beginnen wij de eerste symptomen te onderkennen van de eerste 25 procent (meer dan een miljard jaar) van de levensloop van de aarde. Voor de illustraties en de informatie bij dit artikel betuigt de schrijver zijn hartelijke dank aan de Earth Physics Branch van het Department of Energy, Mines and Resources te Ottawa, Canada voor zijn grote medewerking.

Bijna alle amateurs op het gebied van de geologie verzamelen mineralen of fossielen. In hun vaak schaarse vrije tijd trekken zij er op uit om in groeven en ontsluitingen hun collectie aan te vullen of uit te breiden. Al verzamelen de vermeerderd tevens hun kennis van deze zaken. Vreemde namen en moeilijk spelbare woorden, die zij aanvankelijk huiverig bekeken, worden langzamerhand bekende begrippen. Terwijl we zo als amateur grasduinen of misschien ook serieus studeren op een bepaald onderdeel van de geologie, dat ons interessant lijkt, verwerven we ook een dosis algemene kennis over onze aarde en de mysteries van haar structuur, haar bouw en geschiedenis. We raken thuis in de namen van de geologische tijdvakken en hun onderverdeling. We filosoferen soms, als we onze verzameling fossielen of mineralen eens overzien, over die lang vervlogen eeuwen, waarvan de menselijke geschiedenis slechts een onbeduidende fractie is. Tijdvakken van miljoenen jaren zijn voor ons mensen onvoorstelbaar groot. Wanneer we dan ook nog eens een museum bezoeken en er de talrijke vaak imposante verzamelingen zien van planten en dieren uit die ver achter ons liggende miljoenen jaren, dan krijgen we vaak niet ten onrechte de indruk, dat in dit opzicht onze kennis van het verleden van onze aarde enorm is. De talrijke vaak ingewikkelde Latijnse namen van de duizenden soorten levende wezens uit die vroegere tijden versterken die indruk bij ons meestal nog eens extra. Allereerst moeten we echter bedenken, dat al die planten en dieren hebben geleefd onder betrekkelijk gelijke omstandigheden als wij op onze toen nog niet door milieuverontreiniging geteisterde aarde. Het is ook heel belangrijk om als amateur eens in gedachte stil te staan bij het feit, dat die enorm lijkende kennis van het leven op onze aarde maar een relatief kleine fractie is van alles wat zich heeft afgespeeld op dit ondermaanse. Bijna al die mooie museumstukken zijn afkomstig uit geologische tijdvakken vanaf het begin van het Cambrium, dat is 570 miljoen jaar geleden. Het zal u wel wat moeite kosten om bijvoorbeeld een trilobiet te vinden, zoals Olenellus uit de oudste lagen van het Cambrium. Het is daarentegen heel wat eenvoudiger om tijdens een reisje naar Skandinavië een stuk graniet of gneis te slaan van veel hogere ouderdom. In 1909 is de naam Precambrium officieel ingevoerd voor de gehele geschiedenis van de aarde vanaf haar ontstaan tot het begin van het Paleozoïcum.

Wanneer u bedenkt, dat het ontstaan van onze planeet 4600 miljoen jaar geleden plaatsvond en als u dat tijdsinterval vergelijkt met het begin van het Cambrium dan is u direct duidelijk, dat die nevelige en mysterieuze tijd van het Precambrium meer dan 85 procent van de levensduur van onze planeet tot op vandaag in beslag heeft genomen. Al zijn er aan dat lange tijdsinterval dan ook in ons tijd-

schrift meestal maar betrekkelijk weinig bladzijden gewijd, voor onze huidige economie zijn de rijke mineraal- en ertsvoorkomens, die in het Precambrium ontstonden van zeer grote betekenis. De jongste van de drie tijdsintervallen, waarin men het Precambrium kan verdelen is het Proterozoïcum. We zouden het begin er van op ca 3500 miljoen jaar geleden kunnen dateren. De vroegste tekens van leven verschillen plaatselijk op aarde. Waarschijnlijk valt in deze tijd de vorming van de voor het leven zo als wij dat kennen zo onmisbare zuurstof in onze dampkring. In dit zeer lange tijdsinterval hebben een aantal periodes van gebergtevorming plaatsgevonden. In een aantal gebieden op aarde vindt men Precambrische Schilden. Dit zijn complex gebouwde gebieden, die grotendeels bestaan uit metamorfe gesteenten en stollingsgesteenten van Precambrische ouderdom. In het Baltische Schild, dat een groot deel van Skandinavië, Finland en een deel van Rusland omvat, onderscheidt men een zestal periodes van gebergtevorming. Hoewel er leven is geweest in het Proterozoïcum zijn de sporen er van schaars en onduidelijk. Pas de mogelijkheid om met behulp van de radioactieve processen de ouderdom van Precambrische gesteenten te bepalen maakte het mogelijk om het Proterozoïcum in regionale systemen te verdelen en deze in de tijd te correleren (zie tabel 1).

Aan het Proterozoïcum ging een tijdsinterval van ongeveer 1100 miljoen jaar vooraf, dat we het Archaeicum noemen en waarin de aarde vanuit zijn geboortefase tot de condities die nu nog heersen moet zijn omgevormd. Alleen de huidige dampkring is vrijwel zeker pas in het Proterozoïcum ontstaan. De tijd, die aan het Archaeicum voorafgaat noemen we het stadium van de protoaarde en dit gedeelte van de geschiedenis van onze planeet valt buiten het arbeidsterrein van de geoloog. Hier zullen astronoom en geofysicus gezamenlijk een oordeel moeten uitspreken. Ook het Archaeicum is echter voor de geoloog in vele opzichten een duistere tijd. Toch zijn er vooral de laatste tien jaren een aantal interessante dingen aan het licht gekomen, die het zeker de moeite waard maken om daar meer van te weten. Immers het ontstaan van het leven vond juist aan het einde van het Archaeicum plaats en alleen al het belang van dit vraagstuk maakt het nodig om met belangstelling kennis te nemen van alles wat over de tijd waarin dat gebeurde bekend is. In 1943 werd in het noorden van Canada tussen de Hudson Baai en Baffin Eiland (figuur 1 no.1) een merkwaardig meer ontdekt met een bijna cirkelvormige vorm. Op het eerste gezicht leek het wel op een van die merkwaardige maaren, die ons Nederlanders goed bekend zijn uit het gebied van de Eifel. Dat het een maar zou zijn was echter hoogst onwaarschijnlijk in dit geologisch zeer oude gebied. Het meer ligt namelijk in het Canadese Schild, een der grootste van de door ons al genoemde Precambrische Schilden. Daarom was een nader onderzoek zeer gewenst. In 1951 werd door Meen, de directeur van het Royal Ontario Museum voor Geologie en Mineralogie onder moeilijke omstandigheden een expeditie naar het meer ondernomen. De expeditie vertrok vanuit het eindpunt van de spoorweg met een watervliegtuig en nam ook enkele boten mee met buitenboord motoren. Vanuit de lucht was het gezicht op het meer indrukwekkend mooi (figuur 2). Op 20 juli bij de



aankomst van de groep lag er nog sneeuw van het vorige winterseizoen, de krater ligt ver naar het noorden en reeds op 17 augustus viel de eerste verse sneeuw. Ook midden in de nacht is het in deze streken zomers nog volop licht. Men gebruikte daarom dan ook donkergroene tenten om het slapen gemakkelijker te maken. Alleen de kooktent was wit. Allereerst begon men met het terrein nauwkeurig in kaart te brengen. Het meer bleek in een soort kuil te liggen van 3200 m diameter en de kuil is 360 m diep. In de kuil liggen een groot elliptisch meer en enige kleine meertjes. Deze zijn het grootste deel van het jaar bevroren. De binnenhelling bedraagt 45 graden, de buitenhelling is 25 graden. Er groeiden geen planten hoger dan 20 cm, de vegetatie bestond uit een soort heide, korstmossen en gewone mossen, een grassoort en kruipwilgen. De dierenwereld bestond uit allerlei vogels van arctische herkomst, veel muggen en andere insecten, terwijl er slechts drie zoogdieren werden opgemerkt, twee poolvossen en een lemming. Er viel veel regen, waardoor de rotsen steeds glad waren. Op koude dagen viel er ook hagel of natte sneeuw. De gemiddelde temperatuur varieerde van 3 graden tot 9 graden overdag. Het is een land van zeven weken echte zomer. De expeditie verrichtte in de krappe beschikbare tijd een groot aantal specialistische onderzoeken. Met behulp van de boten werd het meer onderzocht. Overal er omheen werden gesteentemonsters genomen en het magnetisch veld van de aarde werd gepeild. De wallen van de kratervormige kuil bestonden uit grijze en witte granietblokken. Hoewel er geen spoor van vulkanisme werd ontdekt, leek het ook moeilijk om een ander bewijs te vinden voor het ontstaan van de krater. Meteorieten of impactieten zag men ook nergens. Jack Keefe, een der expeditieleiden, zocht met de magnetometer overal in het terrein naar magnetisch ijzer van meteorietische herkomst, maar het resultaat was onbevredigend. Toch had deze expeditie een belangrijk gevolg. De aandacht van de geologen in Canada werd opnieuw gevestigd op een vergeten groep objecten: de aardse inslagkraters. In Centraal Arizona in het Canyon Diablo gebied van het zuidelijk gedeelte van het Coloradoplateau

ligt een 180 m diepe krater (figuur 3) van 1200 m diameter. De wal verheft zich 30 à 60 m boven de vlakte er omheen. De buitenhelling van 13 graden bestaat uit materiaal, dat uit de kuil schijnt te zijn opgeworpen. Het bestaat uit brokken van allerlei grootte van fijn zand tot rotsblokken van tientallen meters toe. Deze Arizona-krater is het beste voorbeeld van een geologisch betrekkelijk recente aardse inslagkrater (30.000 jaar oud). Reeds Gilbert kwam in 1896 met de veronderstelling, dat deze krater door inslag zou zijn ontstaan, maar hij liet die theorie varen, omdat hij niet begreep, hoe een inslag een dergelijke krater zou kunnen veroorzaken. Bovendien slaagde men er nooit in de meteoriet terug te vinden. Pas na jaren begreep men waarom dat niet lukte, omdat men toen pas de werkelijke gang van zaken bij zo'n inslag doorkreeg. Iedere vergelijking met ons bekende gewone verschijnselen is hier misplaatst. Hoe ingrijpend een desastreuze frontale botsing van twee auto's, die beide 100 km per uur rijden, ook mag zijn, deze is niet te vergelijken met de botsing tussen de aarde en een flinke meteoriet, waarbij beide op elkaar invliegen met een snelheid van minstens 50.000 km per uur. Zo'n auto heeft een gewicht van misschien 1 ton, maar een meteoriet kan een gewicht van 100.000 ton of meer hebben. Zelfs de vergelijking van het kleine autootje, dat tegen een kolossale wegreus opvliegt, is hier nog misplaatst. De hoeveelheid energie van een voortbewegend object is te vinden door de halve massa (hier op aarde het halve gewicht) te vermenigvuldigen met het kwadraat van de snelheid. Dat betekent, dat de energie van de botsende auto's gevonden wordt door 50×100 te vermenigvuldigen, terwijl die van de meteoriet met de aarde 50.000×50.000 bedraagt. Die laatste is dus 25.000.000.000 (25 miljard) keer groter dan die van de auto's en dit enorme bedrag aan energie komt in enkele seconden vrij. Nadat men de laatste jaren op grote schaal ondergrondse kernexplosies had uitgevoerd, begreep men ook beter wat er tijdens het vrijkomen van zo'n geweldige hoeveelheid energie met het deel van de aardkorst waar dat plaatsvindt gebeurt. Het proces van de vorming van de Arizonakrater moet zich wel

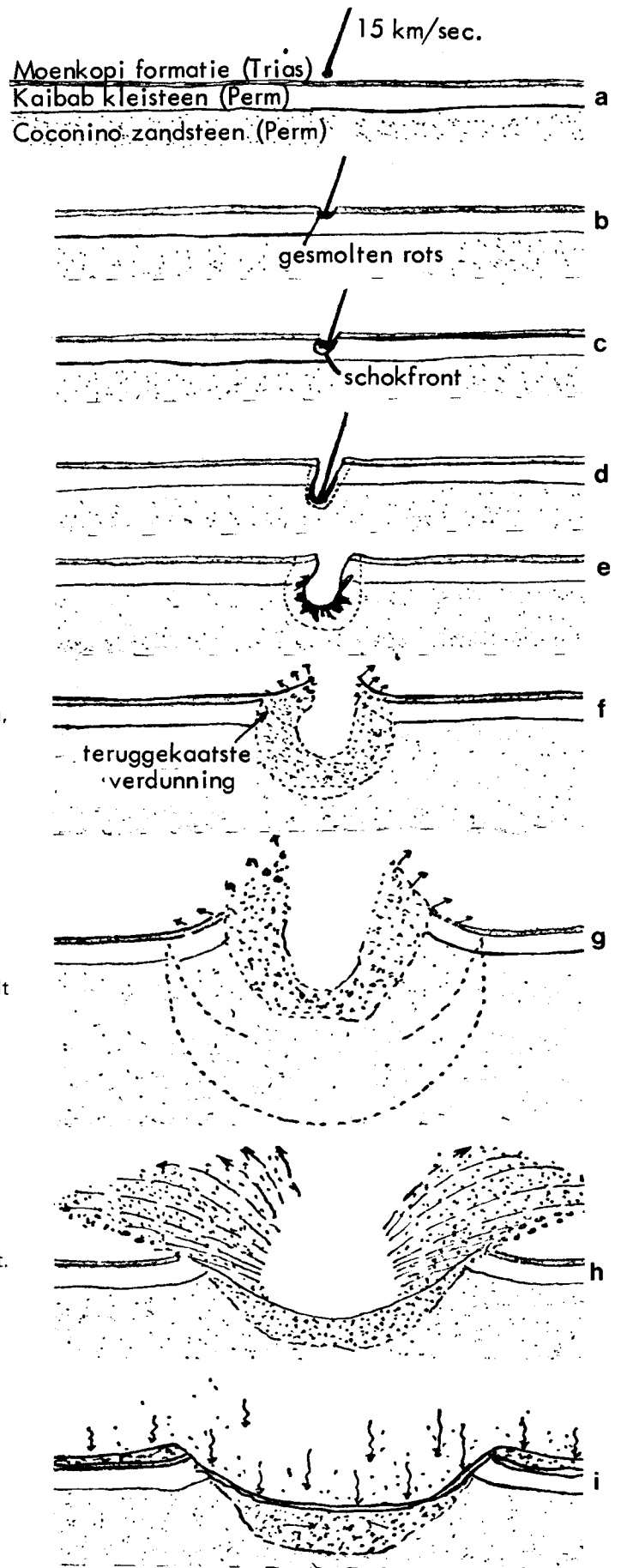


Figuur 2 New Quebec krater vanuit de lucht gezien.

Figuur 3 Luchtopname van de Arizona krater, ook wel de Barringer krater genoemd.



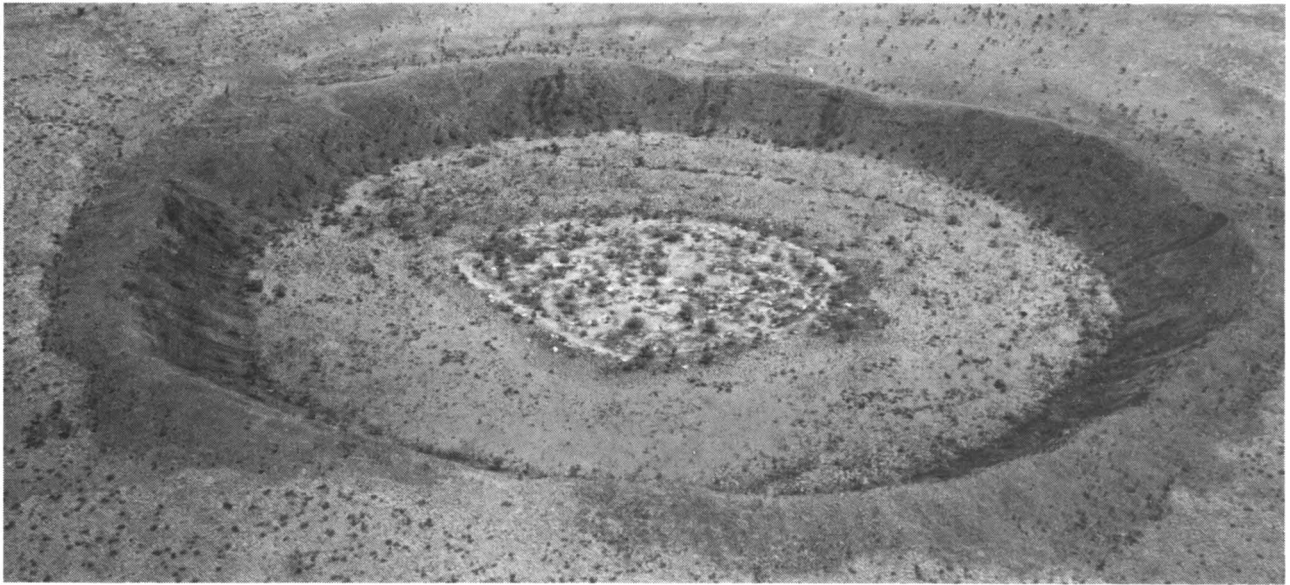
Figuur 4 Het ontstaan van een inslagkrater in negen stappen.



als volgt hebben afgespeeld (figuur 4)

- a) een meteoriet nadert de aarde met een snelheid van 15 km/sec.
- b) de meteoriet slaat in.
- c) de meteoriet wordt in elkaar geperst en schokt de bodem, zodat er zich een schokgolf in voortplant.
- d) de meeste energie is overgegaan op de deels gesmolten klomp gesteente voor de meteoriet, die een holte vormend nog met 5 km/sec. verder opdringt.
- e) het schokfront plant zich vanuit de holte voort en deze expandeert.
- f) om de holte vormt zich een schil van breksies gemengd met gesmolten gesteente en stukjes meteoriet, terwijl ook grote hoeveelheden van dit materiaal naar buiten wordt geslingerd.
- g) de schok wordt door de rotsbodem als een verdunningsgolf teruggekaatst, zodat het materiaal boven de holte wordt opgetild aan de zijanten en opzij gedrukt.
- h) de weggeslingerde fragmenten snellen voort en een schil van breksies, gemengd met meteorietdeeltjes en gesmolten gesteente (soms glas) spreidt zich uit en vormt de wallen van de krater.
- i) de langs lage banen weggeslingerde fragmenten vallen naar beneden en landen in omgekeerde volgorde als waarin ze werden weggeslingerd, eerst de grove dan de fijnere deeltjes, terwijl sommige breksies teruggliden in de krater.

Zo ontstaat in enkele seconden een krater in de aardkorst, terwijl onderdeel i) zich in de daarop volgende uren afspeelt. Na haar ontstaan neemt ze verder deel aan de gewone geologische processen. Erosie knaagt aan haar wallen en vult haar bodem. Transgressies van de zee bedekken het gebied waar de meteoriet insloeg met water en weldra is de krater verdwenen onder lagen sedimenten. Later trekt de zee zich terug en na vele jaren komt de oude bodem weer bloot te liggen, maar nu bijna geheel geëgaliseerd. De wallen van de krater zijn haast niet meer te herkennen en van een kuil is niets meer te zien. Daarom begrijpen wij waarom op aarde maar zo weinig inslagkraters met zekerheid zijn geïdentificeerd. In 1933 publiceerde Spencer een lijst van 28 van dergelijke objecten. Daarnaast onderscheidde hij een groot aantal crypto-vulkanische objecten. Zijn daar duidelijke



3

aanduidingen van een sterk explosieve werking, waarvan de eventueel vast te stellen ouderdom niet past bij die van de gesteenten, die de krater vormen, dan is er alle kans dat we te maken hebben met een inslagkrater. De ontdekking van de "New Quebec Krater" inspireerde Beals om in het Precambrische Schild van Canada, dat bijna de halve oppervlakte van dit land beslaat en dat geologisch zeer lange tijd betrekkelijk ongestoord is blijven bestaan, naar oude kraters te gaan zoeken. Voor het onderzoek waren luchtopnamen beschikbaar, bestaande uit ongeveer twee en half miljoen foto's genomen van hoogtes tussen 1,5 en 10 km. Men begon hierop systematisch te zoeken naar cirkelvormige objecten en besloot om als er een zou worden gevonden dit nader te bestuderen teneinde na te gaan of het op een inslagkrater leek. Nadat men reeds enkele honderdduizenden opnamen tevergeefs had doorzocht, begreep men dat zulke objecten niet bestaan en dat men zich zou moeten toeleggen op structuren, waarvan de kratervorm minder duidelijk was. De juistheid van deze conclusie werd versterkt doordat men nu weldra drie cirkelvormige objecten ontdekte zonder duidelijke wallen (hoewel soms niet volledig zonder) waarvan men, na studie ter plaatse, kon vaststellen dat ze met zekerheid door inslag moesten zijn ontstaan. Men heeft deze objecten daarom geklassificeerd als fossiele meteorietkraters. De Brent Krater (figuur 5) werd in 1951 ontdekt door zijn bijna volmaakte cirkelvorm. Hij is 3200 m groot en ligt in noordoost Ontario. De cirkelvorm is een gevolg van de topografie van de bodem, die hier een inzinking vertoont in de vorm van een ronde kuil met 90m diepte in het midden. Het gehele gebied is sterk bebost en behoort tot het Precambrische Schild. Een dik pakket zand, grint, stenen en klei uit de ijstijd bedekt het grootste deel van de bodem. Daaronder ligt op vele plaatsen een laag kleisteen of schalie uit het Ordovicium. De opvulling van de krater met deze sedimenten wijst er op dat de krater minstens 400 miljoen jaar oud is maar waarschijnlijk nog veel ouder. Ongetwijfeld is de oorspronkelijke wal volkomen weggewist en de ware diameter is dus zeer onzeker. Om meer over de oorsprong van zo'n als inslagkrater verdacht staand object te weten te komen voert men metingen van de zwaartekracht uit, seismische metingen en magnetisch onderzoek. Immers als er een inslagkrater is ontstaan vormt zich in de ondergrond een enorme laag breksies. Doordat de aardkorst daar nu is gebroken en gescheurd zal er per volume-eenheid minder materie aanwezig zijn dan in een com-

pacte gesteentemassa. Daardoor zal de aantrekkingskracht van de aarde daar verzwakken en de gemeten versnelling van de zwaartekracht is kleiner. Het blijkt inderdaad bij Brent Krater het geval te zijn (figuur 6), de metingen geven een zwaartekrachtvermindering van 5 à 6 milligal (1 gal is 1 cm/sec^2) concentrisch met de krater. Er moet dus in de onderliggende gesteenten tot op grote diepte materiaal van kleiner soortelijk gewicht aanwezig zijn. Vondsten van stukken breksie ondersteunden dit denkbeeld. Bovendien wijst het verloop van de afwijkingen van de zwaartekracht op een zone met breukvorming en opheffing in het gesteente op de plaats waar men de kraterwal vermoedt. Daar de voortplantingssnelheid van trillingen in de aardkorst afhangt van het materiaal waar ze doorheen moeten, heeft men door middel van kleine ontploffingen kunstmatige trillingen teweeggebracht en de voortplantingssnelheid daarvan gemeten om zo een beeld te verkrijgen van de structuur van de ondergrond. Uit dit seismisch onderzoek bleek, dat de bodem is opgebouwd uit drie verschillende lagen, die boven elkaar liggen en waarvan de elastische eigenschappen sterk verschillen. De laagste snelheid vond men in de bovenste laag, bestaande uit verweerd materiaal uit de ijstijd, waaronder een gesteente

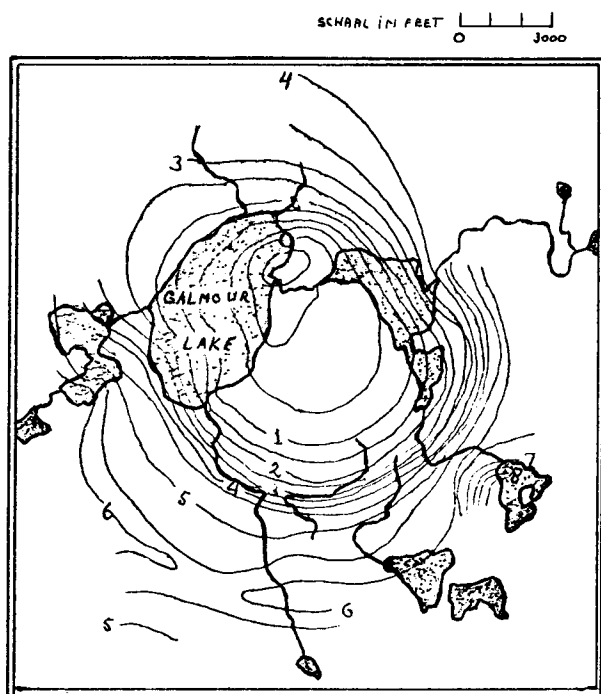
Figuur 5 Brent krater verraadt zijn cirkelvormige depressie op deze luchtfoto door de plaatselijke topografie.



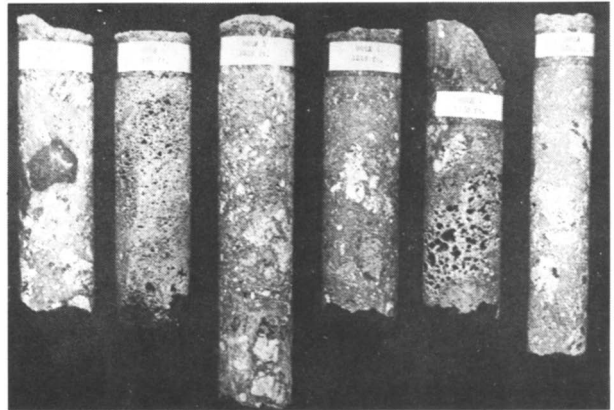
5

ligt van 30 m dikte, waarschijnlijk Paleozoïsche kleisteen en ander sedimentair materiaal uit het Ordovicium. Daar- onder volgt de breksielaag, waarvan de dikte varieert van 300 m onder de rand van de krater tot ongeveer 1000 m onder het centrum van de inzinking. Ook het magnetisch veld van de aarde blijkt sterk te worden gewijzigd door de krater. De dikke laag van sedimenten en breksies belem- mert de doorgang van de magnetische veldlijnen en ver- mindert daardoor de gemeten waarde van de sterkte van het aardse magneetveld. Dat is dus geheel anders dan men vroeger meende. Toen dacht men dat bij de inslag van een meteoriet grote hoeveelheden meteorietijzer in de bodem terecht zouden komen, die een aanzienlijke vergroting van de magnetische veldsterkte zouden teweegbrengen. Het wijd en zijd uiteenvallen van de meteoriet en de dikke laag breksies veroorzaken daarentegen juist een verzwakking van het veld, zoals wel meer wordt geconstateerd in gebie- den waar dikke lagen sedimenten het oppervlak scheiden van de oorspronkelijke aardbodem. Om de op deze wijze verkregen resultaten te bevestigen werd een boorprogramma vastgesteld om de aard van de ondergrond nauwkeurig te onderzoeken. In de winter van 1955 werden de eerste twee gaten geboord. Echter met veel te lichte apparatuur, zodat men er niet in slaagde de ongestoorde Precambrische ondergrond te bereiken. Bij het tweede boorgat ontmoette men 58 m Paleozoïsche sedimenten en daarna gneis-breksies.

In 1959 werd met zwaarder materiaal opnieuw geboord en nu slaagde men er in tot onder de laag breksies door te dringen. Een gedetailleerde studie van de verkregen boor- kernen (figuur 7) maakt het mogelijk de reeds bekende gegevens te toetsen en de structuur van de ondergrond grotendeels te analyseren. Op soortgelijke wijze ging men in Canada vele andere objecten onderzoeken. Op dit ogen- blik zijn er een twintigtal in studie waarvan zeker vast staat dat ze door inslag ontstonden (figuur 1). Daarnaast zijn er nog enkele als verdacht staande objecten genoteerd. Het onderzoek omvat dus luchtfoto's, topografie, oppervlakte- geologie, zwaartekracht-bepalingen, seismisch en magnetisch onderzoek en tenslotte het verkrijgen van boorkernen.



6

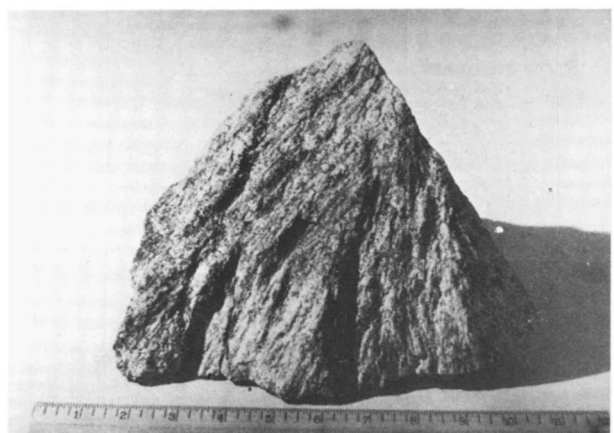


Figuur 7 Boorkernen met breksies van een boring in het centrum van Brent krater.

Dat dit alles in dit reusachtige land, waarvan een groot deel maandenlang onder sneeuw en ijs bedekt ligt, niet eenvoudig is behoeft geen nadere uitleg. Ook de moeilijke verbindingen met bijna onbereikbare plaatsen maken een volledig resultaat dikwijls zeer lastig. In 1946 vestigde Dietz de aandacht van de onderzoekers op het feit, dat bij het optreden van schokgolven niet alleen breksies ontstaan maar ook merkwaardige explosiekegels (figuur 8). Dit zijn door de schokgolven teweeggebrachte breuken van speciale vorm in het gesteente. De grootste druk bij vulkanische explosies is circa 3000 bar. Het enige natuurlijke proces, waarbij veel grotere drukeffecten optreden, is een inslag. Explosiekegels zijn gelaagde structuren, die meestal in carbonaat-gesteenten worden gevonden, maar ook wel in schalie, zandsteen en kwartsiet en zelfs in graniet. Zo'n explosiekegel bestaat uit een reeks golven, die een kegel- vormig stuk gesteente bedekken met een kegeloppervlak van 75 tot 90 graden openingshoek. Gewone explosies veroorzaken ze niet, daarvoor is hun intensiteit te gering. Kernexplosies daarentegen kunnen wel explosiekegels doen ontstaan. Zodra men explosiekegels in of vlak bij een verdacht object aantreft is de kans groot dat we inderdaad met een inslagkrater te maken hebben. Pas in de laatste jaren is men er ook in geslaagd om er achter te komen dat de optredende schokgolven zich ook in de mineralen zelf manifesteren. Bij een zeer hoge schokdruk worden be- paalde mineralen, zoals bijvoorbeeld kwarts, ook in een

Figuur 6 Variatie in het zwaartekrachtsveld in en rondom Brent krater. Afwijkingen van de zwaartekrachtsversnel- ling g in milligal.

Figuur 8 Deel van een grote door schok gevormde explosie- kegel in graniet-gneis van West Clearwater Lake.



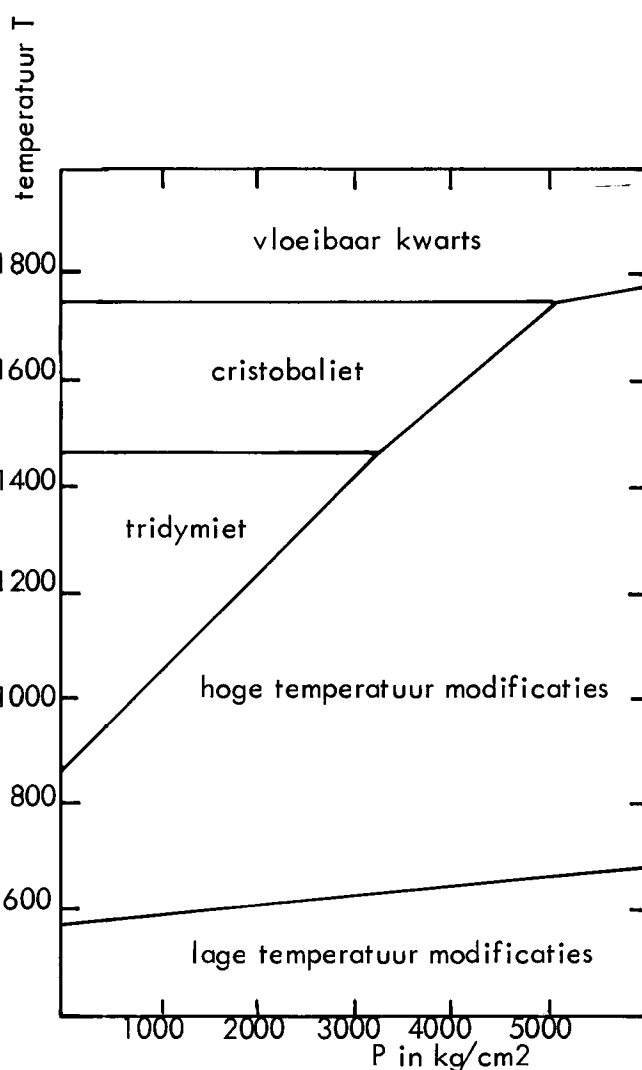
8

TABEL 2 INVLOED VAN DE SCHOKDRUK OP ENKELE MINERALEN

KWARTS (CRISTOBALIET)		evenwijdige strepen en lamellen → → glas	
PLAGIOKLAAS	optreden van breukverschijnselen	evenwijdige strepen → → maskelyniet	vorming van gemengde en homogene glasoorten
PYROXEEN		evenwijdige strepen	
OLIVIJN		evenwijdige strepen	
ILMENIET		lamellen	

200 400 600 schokdruk in kilobar

andere fase getransformeerd (zie tabel 2) door overgangen van de vaste stof van de ene in de andere structuur, of ze worden veranderd in een glasachtig materiaal. Het onderzoek van het maangesteente heeft ons gedwongen om op dit gebied onze kennis aanzienlijk te verruimen. In meteoriet-kraters vindt men allerlei aanwijzingen van dit schok-metamorfisme. Men vindt er twee hogedrukmodificaties van kwarts: coesiet en stishoviet. De ontdekking van deze beide mineralen was van groot belang omdat zij er ondubbelzinnig op wees, dat er zeer hoge drukken waren opgetreden, die slechts door schokeffecten tweeweg konden zijn gebracht. Figuur 9 laat het druk-temperatuur-diagram zien van kwarts en toont de ligging van deze modificaties. Voordat zij ontdekt waren in meteorietkraters waren coesiet en stishoviet alleen bekend uit laboratoriumproeven. In de natuur treden hoge drukken alleen bij inslagen op. Von Engelhardt, Arndt, Müller en Stöffler van de universiteit van Tübingen gingen na wat er met allerlei andere mineralen voorvalt bij hoge schokdruk: Bij drukken tot 300 kilobar ondergaan pyroxeen en plagioklaas een plastische deformatie. De sporen daarvan zijn te zien in slijpplaatjes als series evenwijdige lamellen (Figuur 10). Plagioklaas vertoont soms niet langer zijn karakteristieke dubbelbreking maar is volledig isotroop geworden. Jaren geleden vond men isotroop plagioklaas in een meteoriet en dit is toen maskelyniet genoemd. We weten nu dat dit is ontstaan door een hevige schok. Maskelyniet is ook teruggevonden in de gesteenten om inslagkraters en zelfs in de omgeving van kernexplosies. Bij nog hogere drukken tussen 300 en 500 kilobar wordt plagioklaas in vaste toestand getransformeerd in een amorf diaplectisch glas en in pyroxeen en in olivijn worden nu planaire deformatiestructuren gevormd. Bij een maximale druk van meer dan 600 kilobar smelten alle gesteentevormende mineralen en ze worden weer vast als min of meer gehomogeniseerde glazen. Bij drukken boven de 1000 kilobar (1 megabar) zullen de gesteenten verdampen. Uit de condensatie produkten van de gevormde dampen vormen zich kleine glasbolletjes. Ook in Europa wordt naar inslagkraters gezocht en men heeft er in het Baltische Schild al enkele gevonden, maar er moet op dit gebied nog veel worden gedaan vooral in minder onderzochte streken. Het is echter zeker dat er in de Precambrische Schilden een groot aantal fossiele inslagkraters bestaat, waarvan het merendeel na het Proterozoïcum blijkt te zijn gevormd.



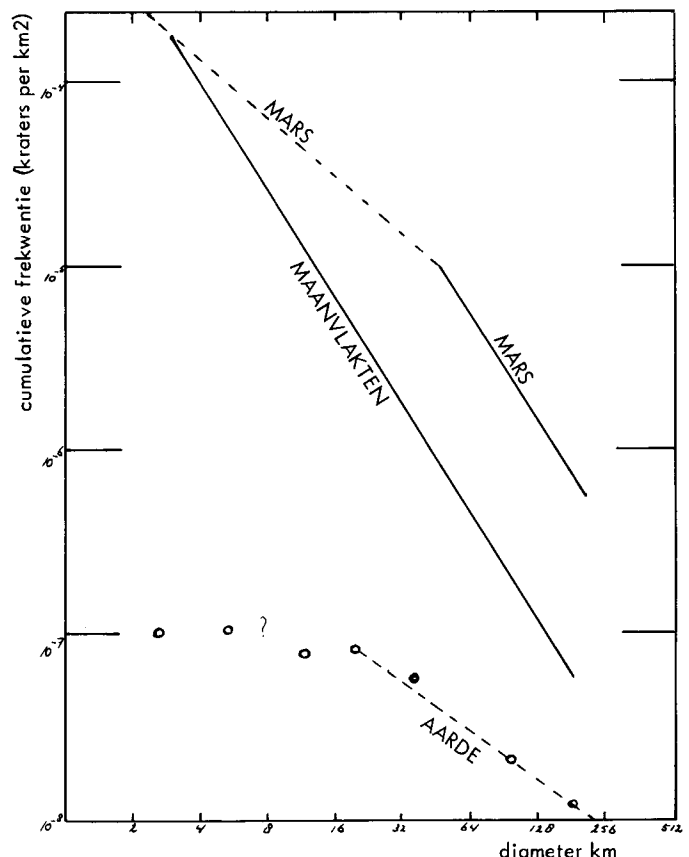
Figuur 9 P-T-diagram van kwarts, P is de druk, T de temperatuur. Bepaalde enorme drukken kunnen alleen bij schok-effecten ontstaan, zoals tijdens inslagen of atomaire explosies

Het onderzoek in Canada schijnt intussen zo ver te zijn gevorderd dat alle inslagkraters van 20 km of meer wel zijn geïdentificeerd. Het aantal inslagen van meteorieten die dit soort objecten deed ontstaan, is 1 op 10^6 km^2 in 10^9 jaar. Eenzelfde getal volgt uit tellingen op het Baltische Schild. Het is uiterst belangrijk, dat langs geologische weg nu definitief schijnt te zijn vast gesteld dat onze planeet ook het slachtoffer is geworden van reusachtige inslagen. Nu wij uit het maanonderzoek de ouderdom van de vlakten op de maan kennen en weten dat die ongeveer even oud zijn als het begin van het Proterozoïcum achter ons ligt kunnen wij tevens bevestigen dat het aardoppervlak evenals de maanvlakten na hun ontstaan vooral in het begin van die periode bestookt is met inslagen. De erosie snelheid op aarde is echter veel groter dan op een planeet als Mars met zijn veel ijlere atmosfeer of als op de maan, waar een dampkring geheel ontbreekt. Het is echter uiterst belangrijk te weten dat alle drie deze hemellichamen eenzelfde kosmisch lot trof, maar dat alleen de erosie daar een andere weg ging (figuur 11). Sinds onze ruimteschepen ook het oppervlak van de planeet Mars voor ons gedetailleerd in kaart brachten (waarover wij u in een volgend artikel misschien meer zullen vertellen) en daar behalve kraters ook vulkanen ontdekten, vragen wij ons af hoe sterk toch wel die aardse erosie is. Uit tellingen van de kraters op Mars volgt dat daar de erosie-snelheid $0,000,04 \text{ cm}$ per jaar bedraagt. Uit de in spleten en groeven van de Egyptische Sfynx verzamelde hoeveelheid woestijnstof leidt Öpik een aardse erosiesnelheid van $0,017 \text{ cm p.jaar}$ af voor onze Sahara. In de Sonora-woestijn in Mexico in een droog klimaat ligt een aardse krater, die gevuld is met een snelheid van $0,4 \text{ cm}$ per jaar. De grote



Figuur 10 Slijpplaatje van een breksie van een kwarts-hoornblend gneis van Brent krater afkomstig 529,5 m diepte. De kwarts vertoont duidelijk evenwijdige lamellen als stille getuigen van het passeren van een hevig schokfront. De streep is $1/2 \text{ mm}$.

verschillen in deze waarden laten ons zien, dat wij van onze eigen aarde op dit gebied nog veel te weinig weten. Uit de getelde aantallen inslagkraters in de aardse Precambriische Schilden is het misschien mogelijk om ook hierover meer te weten te komen. In ieder geval kunnen wij iets over de aarde te weten te komen in deze Precambriische tijd door het oppervlak van de hemellichamen om ons heen te bestuderen, waar de erosie minder hevig heeft toegeslagen dan bij ons. Zo komen wij dan eindelijk bij het Archaeïcum terecht. Aan de tijd van de vorming van die kraters ging op de maan een tijd vooraf waarin zich de grote vlakten of maanzeeën vormden, zoals Mare Orientale of Mare Imbrium. Ongetwijfeld zijn zulke inslagen ook op aarde in grote getale gebeurd maar zij moeten in het Archaeïcum worden gedateerd. Het is een uitdaging voor onze aardse onderzoekers om daar nog iets van te vinden. Het is niet onmogelijk dat de 440 km grote Hudson Baai een dergelijk object is. De Nastapoka Eilanden vormen een boog, die veel lijkt op de restanten van een oude kraterwal. Misschien hebben deze inslagen, die in het Archaeïcum nog veel geweldiger en frequenter moeten zijn geweest, zoals de oude



Figuur 11 Hoe groter de kraters, hoe kleiner hun aantal. Het aantal kraters per km^2 op drie planeten toont dit effect. Op de maanvlakten, waar bijna geen erosie optrad, volgt de cumulatieve distributie een rechte lijn met helling -2 . Ook de grotere kraters op de planeet Mars volgen dit verband maar de kleinere zijn door de erosie in de daar veel ijlere dampkring gedeeltelijk weggewist en wel des te meer naarmate ze kleiner zijn. Hun distributie volgt een geknikte lijn (helling nu -1). Ook de allergrootste aardse kraters volgen deze laatste relatie, maar over de kleinere weten we onvoldoende. (naar W.K. Hartmann, Icarus, 15, 412, 1971).

tabel 3 Een aantal aardse inslagkraters

Naam en lokatie	breedte	lengte
Aouelloul, Mauritania	21° 15' N	012° 41' W
Barringer, Arizona	35° 02' N	111° 01' W
Bosumtwi, Ghana	06° 32' N	001° 23' W
Boxhole, N. Territory, Australia	22° 37' S	135° 12' E
Brent, Ontario, Canada	46° 05' N	078° 29' W
CampodelCielo, El Chaco, Argentina	27° 28' S	061° 30' W
Carswell, Saskatchewan, Canada	58° 27' N	109° 30' W
Charlevoix, Quebec, Canada	47° 32' N	070° 18' W
Clearwater, Quebec, Canada	56° 10' N	074° 20' W
Crooked Creek, Missouri	37° 50' N	091° 23' W
Dalgaranga, Western Australia	27° 45' S	117° 05' E
Decaturville, Missouri	37° 54' N	092° 43' W
Deep Bay, Saskatchewan, Canada	56° 24' N	102° 59' W
Dellen, Sweden	61° 50' N	016° 45' E
Flynn Creek, Tennessee	36° 16' N	085° 37' W
Gosses Bluff, N. Territory, Australia	23° 48' S	132° 18' E
Haviland, Kansas	37° 37' N	099° 05' W
Henbury, N. Territory, Australia	24° 34' S	133° 10' E
Holleford, Ontario, Canada	44° 28' N	076° 38' W
Howell, Tennessee	35° 15' N	086° 35' W
Jänisjärvi, Karelia, USSR	61° 58' N	030° 55' E
Jeptha Knob, Kentucky	38° 06' N	085° 06' W
Kaalijärvi, Estonia, USSR	58° 24' N	022° 40' E
Kentland, Indiana	40° 45' N	087° 24' W
Köfels, Austria	47° 13' N	010° 58' E
Lac Couture, Quebec, Canada	60° 08' N	075° 18' W
Lappajärvi, Finland	63° 10' N	023° 40' E
Liverpool, N. Territory, Australia	12° 24' S	134° 03' E
Lonar, Maharashtra, India	19° 59' N	076° 34' E
Manicouagan, Quebec, Canada	51° 23' N	068° 42' W
Manson, Iowa	42° 35' N	094° 31' W
Middlesboro, Tennessee	36° 36' N	083° 36' W
Mien, Sweden	56° 25' N	014° 55' E
Mistastin, Newfoundland, Canada	55° 53' N	063° 18' W
Monturaqui, Chile	23° 54' S	068° 18' W
New Quebec, Quebec, Canada	61° 17' N	073° 40' W
Nicholson, NWT, Canada	62° 40' N	102° 41' W
Odessa, Texas	31° 48' N	102° 30' W
Pilot, NWT, Canada	60° 17' N	111° 01' W
Pretoria Salt Pan, South Africa	25° 30' S	028° 00' E
Ries, Germany	48° 53' N	010° 37' E
Rochechouart, France	45° 50' N	000° 56' E
Roter Kamm, South West Africa	27° 45' S	016° 17' E
St. Martin, Manitoba, Canada	51° 47' N	098° 33' W
Serpent Mound, Ohio	39° 02' N	083° 25' W
Sierra Madera, Texas	30° 36' N	102° 55' W
Sikhote-Alin, Siberia, USSR	46° 07' N	134° 40' E
Siljan, Sweden	61° 05' N	015° 00' E
Skeleton, Ontario, Canada	45° 15' N	079° 27' W
Steen River, Alberta, Canada	59° 31' N	117° 38' W
Steinheim, Germany	48° 02' N	010° 04' E
Strangways, N. Territory, Australia	15° 12' S	133° 35' E
Sudbury, Ontario, Canada	46° 36' N	081° 11' W
Talemzane, Algeria	33° 18' N	004° 06' E
Temimichât, Mauritania	24° 15' N	009° 39' W
Tenoumer, Mauritania	22° 55' N	010° 24' W
Vredefort, South Africa	27° 00' S	027° 30' E
Wabar, Saudi Arabia	21° 30' N	050° 28' E
Wahnapiatae, Ontario, Canada	46° 44' N	080° 44' W
Wells Creek, Tennessee	36° 23' N	087° 40' W
West Hawk, Manitoba, Canada	49° 46' N	095° 11' W
Wolf Creek, Western Australia	19° 18' S	127° 47' E

delen van de maankorst ons laten zien, bijgedragen tot de vorming der continenten. Misschien zijn zij zelfs mede verantwoordelijk voor het allereerste begin van de evolutie, droegen zij bij tot het ontstaan van het leven of hebben zij breuken in de aardkorst veroorzaakt, die continentale verschuivingen in beweging brachten. Merkwaardig is in ieder geval, dat ook de ouderdom van het maangesteente volgens de meest recente publicaties wijst op twee belangrijke tijdstippen in de geschiedenis van het stelsel aarde-maan. De oudste maangesteenten schijnen ongeveer $4,47 \pm 0,20$ miljard jaar oud te zijn (vierde Lunar Science Conference, 5-8 maart 1973) volgens Wasserburg en zijn medewerkers, terwijl Silver zelfs maan-materiaal van 5,3 miljard jaar beweert te hebben gevonden. Daarna volgt een periode in de geschiedenis van aarde en maan, waarin hevige inslagen beide planeten teisterden. De huidige maancontinenten zijn het restant van de in die tijd gevormde maankorst. Zij eindigde met het uiteenvloeien van reusachtige hoeveelheden magma over grote delen maanoppervlak, waardoor de donkerder vlakten ontstonden. Zowel de daarvan afkomstige bazalten als de vanuit de hooglanden weggeslingerde gesteenten zijn ongeveer 3,95 miljard jaar oud. De periode van inslagen duurde derhalve 500 miljoen jaar. Daarna is het aantal inslagen sterk verminderd, zoals het oppervlak van de maanvlakten bewijst. Wel ontstonden nog veel kraters van kleiner formaat, die echter op aarde volkomen zijn weggewist. Zo is de beroemde Genesissteen, die Scott van de Apollo 15 oprapte bijna zuiver anorthosit en 4,15 miljard jaar oud. Merkwaardig is dat de oudste aardse gesteenten, die Mc Gregor aan de Westkust van Groenland vond, een ouderdom van 3,7 tot 3,9 miljard jaar bezitten. Blijkbaar zijn zowel aard- als maankorst toch vrijwel gelijktijdig tot rust gekomen, althans voorzover hun externe vorming betreft. Het is een betreurenswaardig feit, dat het Apollo-project zo is besnoeid en nu betrekkelijk vroegtijdig is afgesloten. Onze kennis van de vroegste geschiedenis van aarde en maan zal daardoor ongetwijfeld worden vertraagd. Aan de aardse geologen nu de taak door een uiterst minutieus en gedetailleerd onderzoek van de inslagkraters op onze planeet ons aan nadere gegevens over hun ontstaan en ouderdom te helpen. Daarbij zal onze aandacht zich speciaal richten op de zeer oude, vaak cryptovulkanisch genoemde pseudo-inslagobjecten. Hiervan zijn er intussen heel wat ontdekt (zie tabel 3), ook in Europa, zodat het mogelijk moet zijn een verder tipje op te lichten van de sluier, die de donkerste periode van de geschiedenis van onze planeet bedekt.