

# KLIMAATWISSELINGEN EN GEOLOGIE I

## De Pleistocene ijstijden

C.J.Homburg

**Sedert de ontdekking van de ijstijden in het begin van de vorige eeuw zijn we vertrouwd geraakt met het idee dat er gedurende het Pleistoceen een aantal 'glacialen' zijn geweest die door warmere 'interglacialen' van elkaar waren gescheiden. Van de vele hypothesen die zijn opgesteld om de klimaat-wisselingen te verklaren is de astronomische theorie als de meest waarschijnlijke gebleven.**

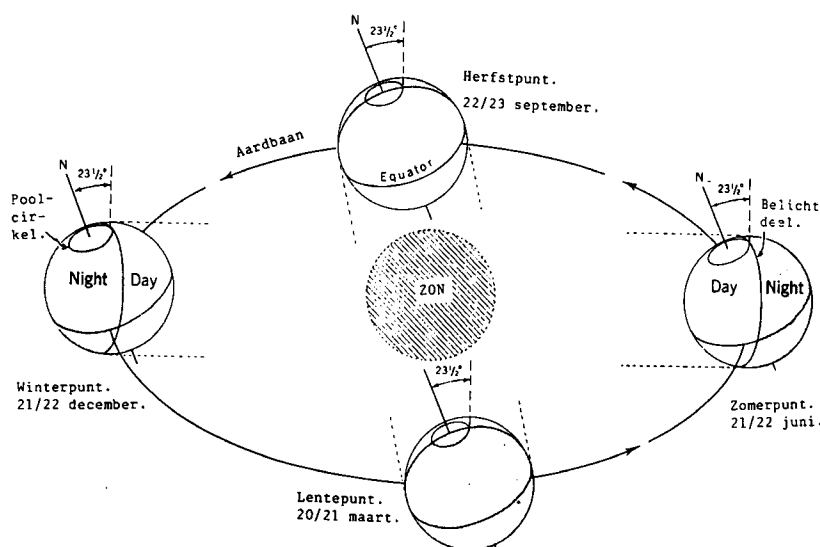
'Zonder zwerfstenen geen N.G.V.'. Deze slagzin is misschien wat overdreven, maar zeker is dat onder de oprichters van onze vereniging er velen waren die een grote belangstelling hadden voor 'erratische' gesteenten. Deze waren immers in grote delen van ons land te vinden, ze konden eenvoudig worden opgeraapt en hoefden 'slechts' vervoerd te worden. Bovendien waren er soms kostelijke fossielen of mineralen in aan te treffen met leeftijden die tot in het Cambrium teruggingen. De meeste tijd ging zitten in het bepalen van de juiste naam en het achterhalen waar ze vandaan kwamen en langs welke weg ze ons land hadden bereikt. Hoewel daarover zeer veel publikaties in 'Grondboor en Hamer' zijn verschenen is het opmerkelijk dat nimmer een artikel over de oorzaak van het optreden van ijstijden in ons blad heeft gestaan, althans voorzover ik dat uit de inhoudsopgaven heb kunnen nagaan. Weliswaar zijn er in verscheidene boeken over algemene geologie een of meer bladzijden aan dit onderwerp gewijd (o.a. Pannekoek e.a. 1982, Zonneveld 1971 en Faber 1960) maar in 'G en H' is daar niets van terug te vinden.

Na een langdurige en soms felle strijd tussen voor- en tegenstanders over het bestaan van ijstijden is tegen het eind van de vorige eeuw algemeen door de geologen aanvaard dat in de recente geschiedenis van de Aarde perioden zijn geweest waarin de ijskappen aan de Noord- en de Zuidpool een aanzienlijk grotere uitbreiding hadden dan thans het geval is. Vooral een boek van Geikie (3e druk 1894) heeft hieraan een grote bekendheid gegeven; in ons land is o.a. Tesch (R.G.D.) in de twintiger jaren nogal actief geweest. Aldra werden een aantal hypothesen opgesteld om deze klimaatwisselingen te verklaren. In 1842 publiceerde Adhémar, een onderwijzer uit Parijs, een boek waarin hij de gedachte opperde dat de drijvende kracht achter de ijstijden gevormd kon worden door de manier waarop de Aarde zich rondom de Zon beweegt. Andere veronderstellingen waren: een langdurige uitstoot van vulkanische as; veranderingen in de energie-afgifte door de Zon; ons zonnestelsel zou herhaalde malen een zone met veel 'kosmische stof' hebben gepasseerd. Van deze en andere hypothesen (totaal 19) heeft alleen de

astronomische theorie zich kunnen handhaven. Hierin wordt verondersteld dat het voornamelijk de relatie tussen de Zon en de Aarde is die het klimaat op onze planeet bepaald.

Sedert meer dan 25 eeuwen hebben mensen niet alleen naar de sterren gekeken maar ook aantekeningen gemaakt over de stand van de Zon en de planeten. De lange reeksen van waarnemingen door sterrenkundigen, die in de loop van de tijd met een steeds grotere nauwkeurigheid werden verricht, hebben aan anderen zoals Adhémar en Croll een basis verschaft om hun klimatologische theorieën op te stellen. De drie hoofdbewegingen die de Aarde maakt ten opzichte van de Zon waren reeds bekend. De Servische natuurkundige Milankovitch heeft deze gegevens gebruikt om te berekenen hoeveel zonnewarmte er telkens in de loop van 600.000 jaren op de Aarde is terechtgekomen en hoe dit in de loop van tijd aan fluctuatie onderhevig is geweest. Hierbij beperkte hij zich tot het noordelijk halfrond, waarbij hij de fluctuaties op een geheel eigen wijze in 'curven van de steeds veranderende temperatuur per breedtegraad' uitdrukte (zie later). De drie hoofdbewegingen, die elkaar beïnvloeden, noem ik tezamen: 'de dans van de Aarde om de Zon'. Zie figuur 1.

Er moet hier op gewezen worden dat in dit artikel een vereenvoudigd beeld wordt gegeven. Wie zich er meer in wil verdiepen zal naast een behoorlijke kennis van een aantal onderdelen van



*Fig.1 De baan van de Aarde om de Zon en de oriëntatie van de aardas die in de ruimte gefixeerd is terwijl de Aarde om de Zon draait. De scheve stand veroorzaakt veranderingen in de verdeling van het zonlicht gedurende de opeenvolgende seizoenen.*

de geologie, waaronder hogere wetenschap, ook over flink wat tijd moeten beschikken. Hier gaat het er alleen om een indruk te geven van recente vooruitgang. Om die reden worden afgeronde getallen gebruikt. Voorbeeld: de werkelijke omloopsduur van de Aarde om de Zon (een zonnejaar) is 365 dagen, 6 uur, 9 minuten en 11 seconden, maar het wordt afgerond tot 365 dagen.

### De dans van de Aarde.

Van de drie bewegingen van de Aarde t.o.v. de Zon slaat de eerste op de afstand Aarde-Zon, de twee anderen gaan over veranderingen van de as van de Aarde. De 1e beweging betreft de excentriciteit. De Aarde legt in een jaar éénmaal haar baan om de Zon af. Dit is soms een cirkelbaan, waarbij de afstand Aarde-Zon steeds 150 miljoen km bedraagt.

Meestentijds volgt de Aarde echter een min of meer ellipsvormige baan waarbij de Zon niet precies in het middelpunt maar in één van de twee brandpunten staat, zie figuur 2. De afstand tussen het middelpunt en het brandpunt is thans 2 miljoen km. De langste as van de Zon tot de aardbaan bedraagt 152 miljoen km, de kortste 148 miljoen km. De afwijking van de cirkel in procenten van  $[(\text{de som van de langste as} + \text{de kortste as}) : 2]$  is een maat voor de excentriciteit. De excentriciteit verandert op een ogenschijnlijk cyclische wijze ze neemt beurtelings toe en af en wel tussen 6% en 0%. In het laatste geval is de baan dus een cirkel. In het eerste geval is de afstand tussen het brand- en het middelpunt ongeveer 9 miljoen km.

De duur van de (pseudo)-cyclus is  $\pm 100.000$  jaren (variërend tussen 93.000 en 124.000 jaren). Zie figuur 3. Momenteel is het  $\pm 1,6\%$ . Met de variërende afstanden tussen de Aarde en de Zon verandert de hoeveelheid warmtestraling die de Aarde bereikt. Hoewel de totale hoeveelheid zonne-energie zeer groot is en de Aarde hiervan slechts het 1/32.000e deel ontvangt, zijn de relatief kleine verschillen van de afstanden toch goed merkbaar.

De 2e beweging betreft de scheefstelling van de as waar de Aarde eenmaal per dag om draait. Deze as bestaat niet echt maar is een gedachte lijn die door de polen en door het middelpunt van de Aarde loopt.

Verlengen we deze lijn bij de Noordpool dan komt ze bij de Poolster uit. Deze as maakt thans een hoek van  $23\frac{1}{2}$  graad met het vlak dat we door de jaarlijkse baan van de Aarde kunnen denken. De hoek kan variëren tussen  $21\frac{1}{2}$  en 26 graden. Ook de verandering van de scheefstelling is (pseudo)-cyclisch

en heeft een omlooptijd van gemiddeld 41.000 jaren (39.000 - 43.000 jaren), zie figuren 1 en 3.

De 3e beweging noemt men de precessie. De aardas heeft niet altijd door dezelfde punten van de huidige Noord- en Zuidpool gelopen maar is onderhevig geweest aan een langzame verplaatsing langs een cirkelvormige baan. Het beste is dit te verduidelijken aan de bewegingen van een bromtol. Als deze op een goede snelheid is ge-

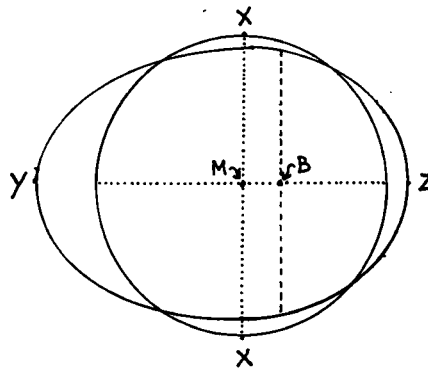


Fig.2 De Zon in het middelpunt (M) waarbij de Aarde op een afstand van 150 miljoen km een cirkelbaan aflegt. Bij een ellipsvormige baan staat de Zon in één van de twee mogelijke brandpunten (B), met het gevolg dat de afstand B-Z kleiner is dan de afstand B-Y. De afstand M-B is in het verleden maximaal 9 miljoen km geweest.

te maken: de tol 'wobbelt'. Hierna volgt bij het langzamer draaien van de tol een toenemende uitslag tot deze de grond raakt, gevolgd door stilstand.

Dit 'wobbelen' geeft een aardig beeld van de 3e aardbeweging, waarbij de punt van de tol staat voor het middelpunt der Aarde. De rondgaande beweging is gemiddeld in 21.000 jaren voltooid (variatie 18.000 tot 24.000 jaren), zie figuur 3. Wie moeite heeft zich de drie bewegingen voor te stellen kan ik het boek van professor van den Bergh (1958) aanbevelen. De bewegingen kunnen elkaar versterken of juist gedeeltelijk opheffen, waardoor de positie van de Aarde ten opzicht van de Zon zich voortdurend wijzigt. Geologen spreken kortheidshalve over 'de 20-, de 40-, en de 100.000 jaars cyclus. Eeuwenlange waarnemingen zijn voorafgegaan aan het huidige inzicht, waarnemingen die gedaan werden vanaf een bol die zelf ronddraait. De 'dans van de Aarde' werd voor de Tweede Wereldoorlog in boeken voor de middelbare school behandeld in het deel 'natuurkundige aardrijkskunde' met als doel een begrip te krijgen over het ontstaan van de seizoenen en de verschillende tijden (klokke, zonne-, en kosmische tijd).

### Milankovitch

In 1911 vatte Milankovitch het plan op om 'een wiskundige theorie te ontwik-

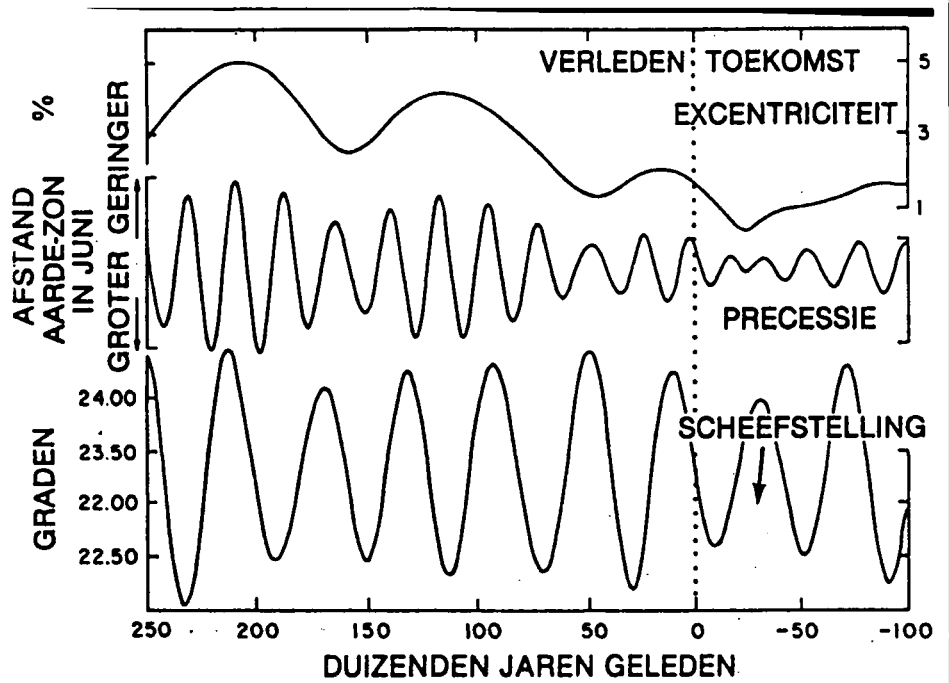


Fig.3 Veranderingen in excentriciteit, scheefstelling en precessie vroeger en in de toekomst. Bewegingen van de planeten (en onze Maan) leiden tot veranderingen van hun aantrekkingskracht waardoor de vorm van de aardbaan voortdurend verandert.

komen draait hij om de vrijwel stilstaande as. Bij afnemende snelheid begint de as zelf een cirkelvormige beweging

kelen die een verklaring zou geven van het klimaat op Aarde, nu en in het verleden' gebaseerd op de reeds verwor-

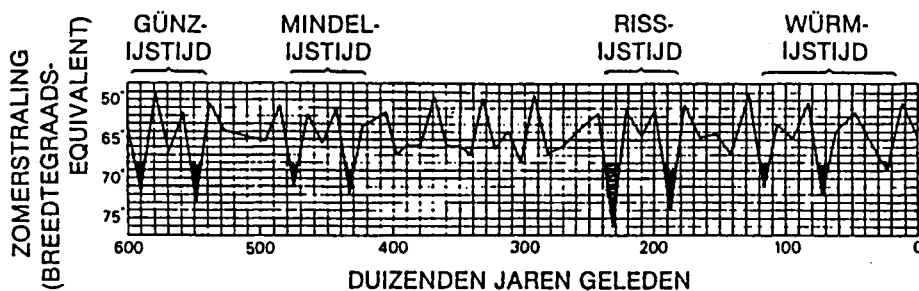


Fig. 4 De stralingscurve van Milankovitch voor 65° noorderbreedte uit 1924, door Köppen voorzien van de toen in gebruik zijnde namen van de vier ijstijden. De veranderingen in de stralingsintensiteit zijn uitgedrukt als breedtegraads-equivalenten: de straling die bijvoorbeeld 590.000 jaar geleden werd opgevangen (op 65° NB) komt overeen met de straling die nu op 72° NB binnenvalt.

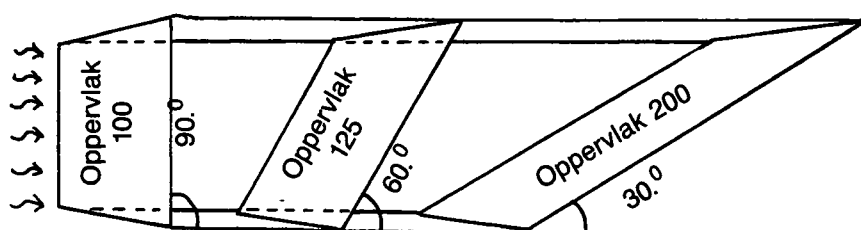


Fig. 5 Effect van een scheef vlak ten opzichte van de zonnestraling. Een bundel van een bepaalde afmeting beschijnt een oppervlak met dezelfde afmeting als dit vlak 90° op de richting van de straling staat. Het oppervlak is 100%. Maakt het vlak een hoek van 60° met de straalrichting dan beschijnt de straling 25% meer. Bij een hoek 30° is het bestraalde vlak zelfs tweemaal zo groot. Per oppervlak neemt de straling af: bij 60° tot 86,5% en bij 30° tot 50% van het eerste vlak (90°).

ven kennis over de onderlinge bewegingen van de Zon, de Aarde en de andere planeten. Verder meende hij dat het mogelijk moest zijn om te berekenen hoeveel zonnestraling per seizoen op elke breedtegraad de Aarde had bereikt. Een eerste artikel in het Servisch werd een jaar later gevolgd door een in de Duitse taal. Dit artikel ontging de geologen, maar niet de klimatologen, waaronder W. Köppen, de schoonvader van Alfred Wegener (van de drijvende continenten). Köppen herkende de koude-pieken van de temperatuurcurve die door Milankovitch waren berekend, als de tijden waarin het Noordelijk Halfrond voor een groot gedeelte door ijs bedekt was geweest.

Uit hun samenwerking ontstond de curve van figuur 4, die tot 600.000 jaren terug ging. Na twee jaren gereken werd deze uitgebreid tot 1 miljoen jaren, zie figuur 7.

Milankovitch nam voor zijn berekeningen sprongen van 10.000 jaren, vandaar dat zijn curve zo puntig is. Hij kon hoogstens gebruik maken van logaritmen. Dankzij computers zijn in recente tijd vloeiende curven gepubliceerd die doorlopen tot in het Paleozoïcum (Berger, 1989). Ondanks twijfels van enkele

len is de astronomische verklaring voor het ontstaan van afwisselende koude en warmteperiodes sedert 1950 algemeen aanvaard. Mede door het pollenonderzoek, zoals dat in ons land o.a. door Florschütz, Van der Hammen en Zagwijn is gedaan, is het beeld van de klimaatwisselingen in het Pleistoceen veel duidelijker geworden, figuur 7.

### Kleine veranderingen, grote gevolgen

Een vraag die zich opdringt luid: hoe kunnen de ogenschijnlijk kleine veranderingen in excentriciteit, scheefstelling en precessie zulke grote gevolgen hebben voor het klimaat? Stel dat de aardas verticaal op de ecliptica staat, dan zal bij de evenaar de zonnestraling loodrecht op de Aarde schijnen. Per oppervlak van bijvoorbeeld 1 m<sup>2</sup> stellen we de aangevoerde zonne-energie op 100%.

Naarmate we vanaf de evenaar poolwaarts gaan zal de straling onder een steeds scherpere hoek op de aardbodem komen, zie figuur 5. Eenzelfde hoeveelheid straling komt op een groter oppervlak, dus per standaardoppervlak arriveert minder warmte. Bij 30° noorderbreedte is dat 86,5%, bij

60° NB is het 50% en bij 90° NB, de noordpool, is het 0%. Naarmate we de pool meer naderen neemt de warmte-energie per gelijk oppervlak sneller af. De scheefstelling maakt het wat gecompliceerder. Zie de figuren 6A en 6B. Op 21 december om 12:00 uur staat de Zon in Amsterdam 14½ graad boven de horizon. Op 21 juni om 12:00 uur is dit 66½ graad. Daar arriveert dan respectievelijk 23% en 85,4% van de maximale zonnestraling. Bij een andere scheefstelling (maxima 21,5° en 26°) staan de berekende warmtepercentages voor Amsterdam in tabel 1. Vooral in de winter kan dat aardig aantikken: van meer dan kwart naar minder dan één vijfde van het maximum aan de evenaar. Dat bij een ellipsvormige baan van de Aarde, als deze zich op de grootste afstand van de Zon bevindt, minder warmte wordt ontvangen is vanzelfsprekend, de afstand Y-B op figuur 2. Door de precessie kan dit verschil nog versterkt worden doordat beurtelings het winter- of het zomerpunt op de lange as valt. Dit is het gevolg van de tegengestelde draaiing van de Aarde (op figuur 1 tegen de klok in) en van het wobbelen van de aardas, waarvan de beweging juist met de klok mee is. De lengte van de aardbaan is ± 950 miljoen km.

Starten we met het zomerpunt, waar op 21/22 juni de Noordpool maximaal naar de Zon is gekeerd, dan zal na ± 10.500 jaren op 21/22 juni de Noordpool van de Zon zijn afgekeerd. Essentieel is dat het zomerpunt van de korte naar de lange as is verlegd: op figuur 2 van Z-B naar Y-B. Dat maakt bij een elliptische baan wel degelijk verschil. De invloed van de precessie is groter naarmate de excentriciteit groter is.

De invloed van kleine temperatuurverschillen kennen we allen aan den lijve bijvoorbeeld als we een dag doorbrengen aan het strand bij helder weer en geen wind. Een groot deel van de dag is het 'puffen' waarbij we nauwelijks merken dat de Zon op haar retour is (gedenk de passerende wolk die de directe straling onderbreekt). Bij een dalende Zon neemt de warmte af, eerst geleidelijk, maar later in toenemende mate. In korte tijd gaan we van 'ons-lekker-voelen' over in huiveren gevolgd door rillen. Het is alsof we naar het noorden liepen, naar een hogere breedtegraad. Op vergelijkbare wijze heeft Milankovitch de verandering van de straling aangegeven. Hij berekende de ontvangen energie tijdens het zomerpunt voor de 65e breedtegraad. Meer geleverde warmte komt overeen met een lagere breedtegraad (dus dichterbij de evenaar gelegen). We kunnen nu zijn curven van de figuren 4

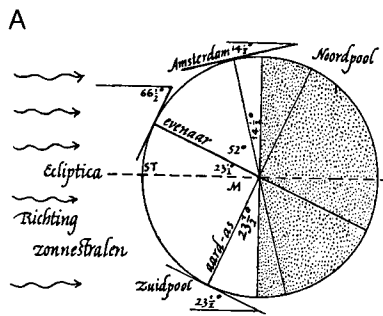
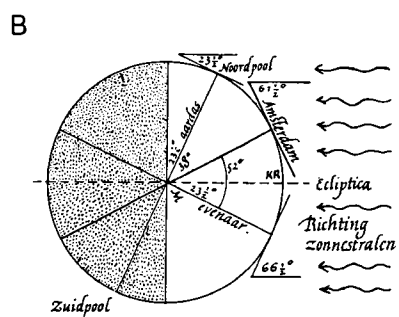


Fig.6 A = De Aarde op 21 december om 12 uur 's middags. De Noordpool is van de Zon afgekeerd. Maximale straling op een punt van de Steenbokskeerkring (ST). In Amsterdam staat de Zon 14,5° boven de horiZon waardoor er slechts 23% van de straling komt. Afstand tot de poolcirkel is maar 1600 km.

B = De Aarde op 21 juni om 12 uur 's middags. De Noordpool is naar de Zon gekeerd. Maximale straling op een punt van de Kreeftskeerkring (KR). De Zon staat in Amsterdam 61,5° hoog waardoor daar 85,4% van de maximale straling arriveert. Naar het punt van maximale straling 3135 km. In Zuid-Spanje is men halverwege.



en 7 lezen. Zie ook tabel 2. We moeten ons bij het bovenstaande wel realiseren dat door hem geen rekening is gehouden met de invloed die de luchtlaag en het oceaانwater hierbij hebben gehad. De atmosfeer, die tot de ozonlaag ± 30 km dik is, beïnvloedt het effectieve warmtepercentage dat de Aarde kan bereiken. Naarmate de Zon onder een kleinere hoek instraalt is de weg die het door de luchtlaag moet afleggen langer, waardoor een steeds groter deel van de warmtestralen wordt verstrooid of teruggekaatst, o.a. door de bewolking, de waterdamp en stofdeeltjes. Behalve voor de opwarming van de lucht (al dan niet met bewolking) wordt veel energie vastgelegd in verwarming van het water van de oceanen, warmte die later weer kan worden afgegeven. Verplaatsingen van oceaانwater (o.a. de - warme - Golfstroom) en in samenhang daarmee de wind beïnvloeden de temperatuurverdeling over de Aarde. Hierdoor komt het dat er aan de polen geen 'kosmische kou' heerst, maar temperaturen tot 'slechts' -70° C.

Globaal bereikt ongeveer de helft van

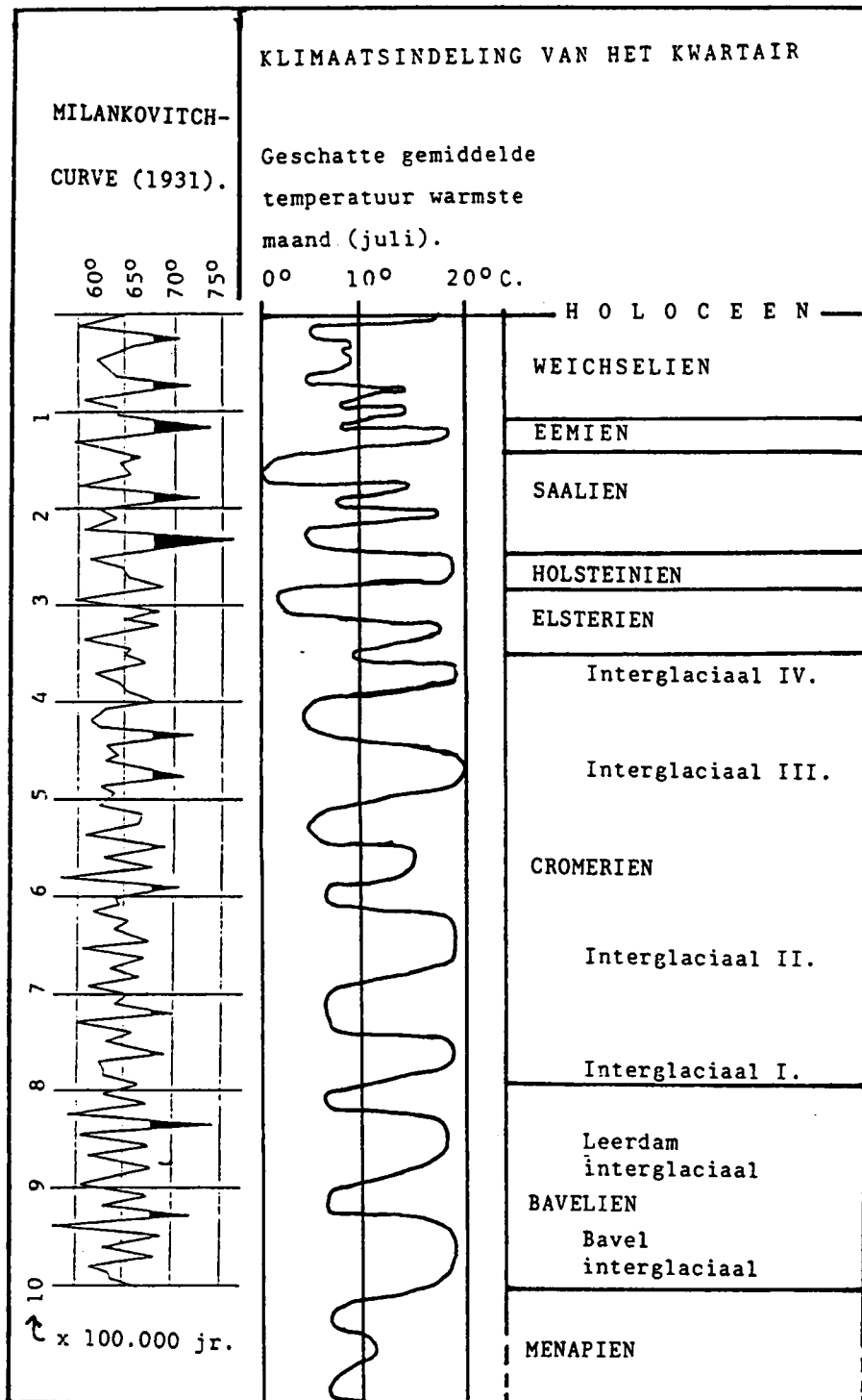


Fig.7 Vergelijking van de Milankovitch-curve (1931) en de temperatuurcurve volgens Zagwijn (1985) op grond van pollenanalyse voor de laatste 1 miljoen jaar.

de straling het aardoppervlak. Een deel hiervan wordt teruggekaatst. Hoe witter het materiaal des te meer wordt er gereflecteerd, zie tabel 3. Men noemt dit de albedo. Deze is het grootst bij ijs en sneeuw, zodat in gebieden die hierdoor zijn bedekt door de albedo het opwarmingsproces nog wordt vertraagd. Aan de ingewikkelde samenhangen tussen de wisselende hoeveelheden zonne-energie en de diverse aardse processen zijn enkele symposia gewijd, zie bijvoorbeeld Berger e.a. 1984.

### Pollenonderzoek en klimaat

Van bomen, struiken en planten, vooral de windbestuivers, kunnen de stuifmeelkorrels in het sediment terecht komen. Gunstige omstandigheden zijn vooral in veen en rivierklei aanwezig. Mits niet door bacteriën belaagd, kunnen pollen vrij goed fossiliseren en worden ze daarom in de stratigrafie gebruikt. Uit de soortensamenstelling en uit de verhouding van de aantallen waarin de verschillende korrels in een monster voorkomen is af te leiden welk

Scheefstelling aardas	Ontvangen straling in Amsterdam (52° noorderbreedte)	
	21 december	21 juni
21,5°	26,7%	83 %
23,5°	23 %	85,4%
26°	19%	89 %

Tabel 1. Straling bij maximale en minimale scheefstelling tijdens zomer- en winterpunt.

Breedte-lijn	Ontvangen straling t.o.v. maximum	Geografische plaatsaanduiding
60°	76,9%	Bergen (Noorwegen)
65°	71,4%	Namsos (Noorwegen)
70°	64,9%	Tromsø (Noorwegen)
75°	58,8%	Z-punt Spitsbergen/ N-punt Nova Zembla

Tabel 2. De ontvangen straling tijdens het zomerpunt op 4 breedtegraden die in de Milankovitch-curve staan met bijbehorende geografische plaatsen ten noorden van Nederland.

Oppervlakt	Albedo (%)
Grond	5-10
Gras	16-26
Woestijn	20-45
Bos	5-20
Sneeuw	40-95
Water (hoge zonnestand)	3-10
Water (lage zonnestand)	10-80

Tabel 3. De albedo-waarden voor enkele oppervlakken.

klimaat er heerste ten tijde van hun vorming. Praktisch alle soorten komen binnen bepaalde temperatuurgrenzen voor. Daarboven of daaronder kunnen ze zich niet handhaven. Door in een steek- of boormonster op diverse diepten de pollen te tellen (pollenanalyse) en de gevonden aantallen in een polendiagram uit te zetten zijn de afwisselende klimaten, die in de loop van duizende jaren hebben geheerst, af te lezen.

Omstreeks 1900 bestond de indruk dat er in het Pleistoceen 4 of 5 koudeperiodes waren geweest. Door het pollenanalytisch onderzoek weten we dat het er meer waren en dat deze niet altijd samen waren gegaan met een fikse uitbreiding van landijs.

Op figuur 7 staat de klimaatcurve zoals deze door Zagwijn e.a. op grond van pollenanalyses in 1985 is gepubliceerd. Links staat de Milankovitchcur-

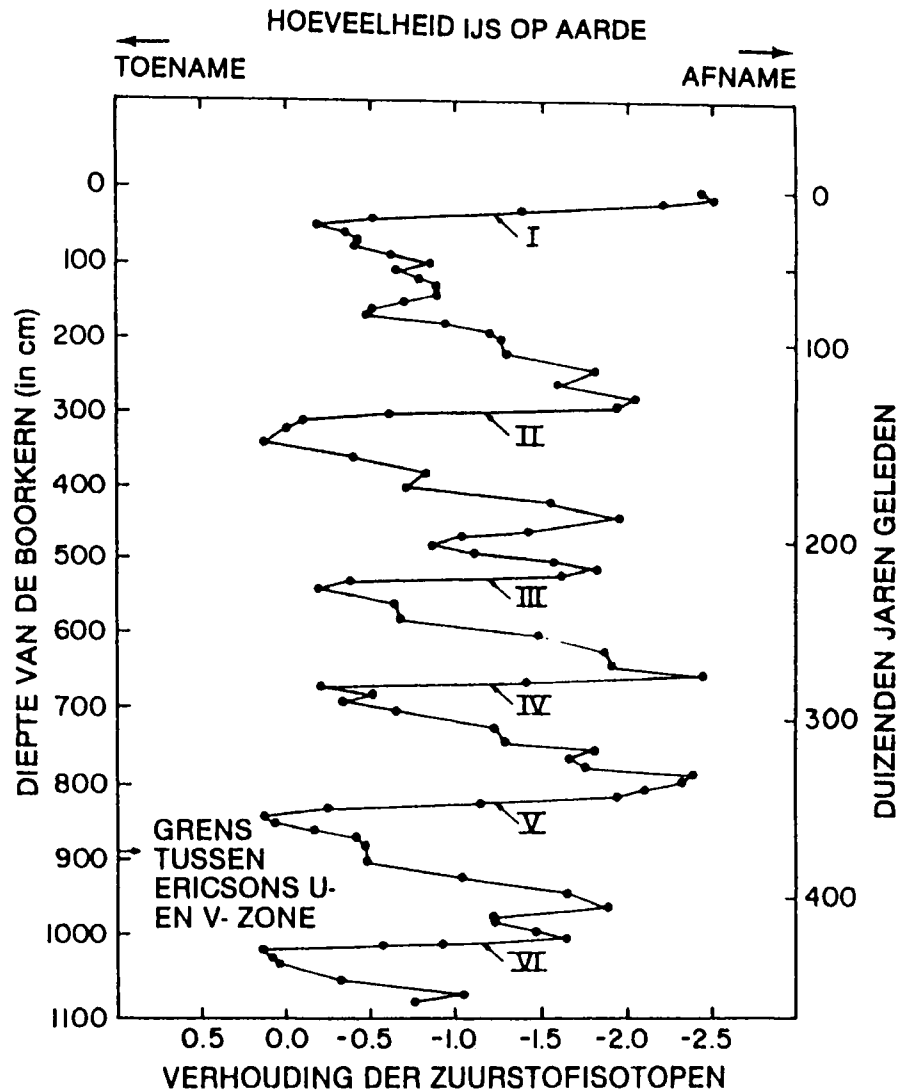


Fig.8 Klimaatveranderingen vastgesteld aan de hand van de verhouding van de zuurstofisotopen in een boorkern uit de Caraïbische Zee. Zes intervallen van snelle opsmelting zijn genummerd.

ve, rechts de Zagwijncurve, beide gaan tot een ouderdom van 1 miljoen jaren. De overeenkomst is opvallend, speciaal indien we op het aantal koudepieken letten. Deze zijn op de figuur naar elkaar gericht. Wat de verschillen betreft het volgende: de M-curve is het resultaat van pure mathematica, terwijl de Z-curve is opgesteld aan de hand van boringen die op verscheidene plaatsen zijn genomen. Maar ook een boring van één plek bevat de nodige onzekerheid. Bemonstering van bijvoorbeeld een veenboring op elke 5 cm afstand in een veenlaag van 5 meter dikte houdt in dat er 100 monsters moeten worden geanalyseerd. Stel dat dit pakket in 8000 jaar is ontstaan, dan wil dat niet zeggen dat er tussen twee monsters steeds een verschil van 80 jaren is geweest, dat is zelfs zeer onwaarschijnlijk. Erosie, ongelijke groei van het veenmos e.d., maar ook de heersende wind tijdens de stuiftijd kunnen van invloed geweest zijn. Belangrijk

voor de verschillen is ook het zogenaamde na-ijleffect. Een periode van afnemende zonnestraling heeft niet direct een effect op de aardse temperatuur maar ondervindt een vertraging. De opgeslagen warmte in de oceanen en de dempende invloed van de luchtlaag kunnen de kosmische afkoeling danig verdoezelen zodat de reële afkoeling van de Aarde mogelijk met vele honderden jaren wordt vertraagd. Een rol hierbij speelt de geografische verdeling van water en land. Thans is het Zuidpoolgebied door zeeën omgeven, in het noordpoolgebied is dit andersom: een Noordelijke Ijszee omgeven door land. In de loop van het Fanerozoïcum waren deze omstandigheden anders door de bewegingen van de continenten. Ook de oceanische waterstromingen verliepen totaal anders dan heden het geval is. Een uitbreiding van het landijs vindt plaats indien gedurende langere tijd 's zomers minder wegsmeelt dan er in de winter aan

sneeuw is afgezet. Mogelijk is de rol van koude zomers groter dan van koude winters, want sneeuw blijft liggen of het nu  $-1^{\circ}$  of  $-35^{\circ}$  C koud is.

Van een geheel andere zijde zijn tussen 1960 en 1973 gegevens verzameld die de astronomische theorie ondersteunen. In boormonsters tot ruim 10 meter diepte van de bodem van de diepzee is ondermeer de verhouding van de zuurstof-isotopen  $O^{16}$  en  $O^{18}$  in de skeletjes van foraminiferen bepaald. Deze verhouding wordt behalve door het zoutgehalte vooral beïnvloed door de temperatuur van het zeewater en door de hoeveelheid ijs op de aarde. De  $O^{16}/O^{18}$  verhouding laat ritmische veranderingen zien die overeenkomen met de astronomische cycli, zie figuur 8. Hier nader op ingaan zou een apart artikel vergen. Door deze en andere onderzoeken wordt de invloed van het zonnestelsel bewezen geacht en is de Milankovitch-curve, zij het in een verbeterde uitvoering, een maat-

staf voor andersoortig geologisch onderzoek.

Meer hierover in het tweede deel.

Adres van de auteur

Tarwekamp 4  
1112 HD Diemen

### Literatuur

Berger, A. e.a., 1984. Milankovitch and climate.

Bergh, G. van den, 1958. Aarde en wereld in ruimte en tijd, 7e druk.

Faber, F.J., 1960. Geologie van Nederland IV. Aanvullende hoofdstukken.

Geikie, J., 1894. The great ice age. 3e druk.

Imbrie, J. & Palmer-Imbrie, K., 1979. De ijstijd: het raadsel ontsluit.

Köppen, W. & Wegener, A., 1924. Die Klimate der geologischen Vorzeit.

Milankovitch, M., 1930. Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen. In: Köppen, W. & Geiger, G. (red) Handbuch der Klimatologie I (A).

Pannekoek, A.J. & Straaten, L.M.J.U. v., 1982. Algemene geologie 3e druk.

Zagwijn, W.H. e.a., 1985. Atlas van Nederland, Deel 13: Geologie.

Zonneveld, J.I.S., 1971. Tussen de bergen en de zee, 2e druk.

---

# Een problematisch fossiel in lavendelblauwe hoornsteen van Sylt

W. A. Bartholomäus & M. Lange

**Uit de verkieselde kalken van het Ordovicium/Siluur (lavendelblauwe hoornsteen), die als rolstenen in kaolienzand van Sylt voorkomen, is inmiddels een groot aantal fossielen beschreven (von Hacht, 1985, 1987, 1990). Hier wordt voorlopig verslag gedaan over een problematische vorm. Daarvan zijn er slechts enkele hoornstenen (coll. M. L.). Het lukt thans niet deze systematisch bij een van de gangbare diergroepen in te delen. Met name Bryozoa, Anthozoa, Graptolithina en wormachtigen komen nauwelijks in aanmerking. De gesteentefragmenten en matrix van het gesteente zijn volledig verkieseld. Aangezien de laatste nauwelijks andere schelpfragmenten bevat, zou het om voormalige, tamelijk zuivere lutiet gaan.**

### Beschrijving

De in kolonies (fig. 1) voorkomende levensvorm vormt, bij ongeveer verticale groeirichting, bijna rechte, tot enkele cm lange buizen (tubi), met een constante doorsnede van  $400 \mu\text{m}$ . De wand van de buizen bestaat uit in elkaar geplaatste ringen (segmenta) van verschillende lengte. De boven uitspringende uiteinden veroorzaken in dwarsdoorsnede een vertanding (fig. 2 (c)), die aan paardestaart doet denken. Het uiteinde van de buis wordt afgesloten door een eindsegment (segmentum posterior). De binnenwanden worden gekenmerkt door slecht overgeleverde longitudinaalgroeven (langsgroeven) (costae).

De groei van een buis begint horizontaal met de vorming van een voet (pes) met een vlakke onderzijde (fig. 2 (a)). Eerste orde vertakkingen komen, in tegenstelling tot tweede orde vertakkingen, niet zelden voor (fig. 2 (c)). De aanhechtingsplaats van een vertakking is opvallend dun ontwikkeld. Typisch is ook de opwaartse doorbuiging van het lateraal georiënteerde eerste segment van een zijloot. De buizen maken geen contact.

### Discussie

Afgaande op de gelede bouwwijze, gaat het waarschijnlijk om vrijdragende constructies met een geringe stati-

sche stabiliteit, die hoogstwaarschijnlijk door dierlijke organismen vervaardigd zijn. Aangezien steeds weer nieuwe buizen zich vestigen op verschillende niveaus, is het ook denkbaar, dat alleen het bovenste deel boven het sedimentoppervlak uitstak.

### Zusammenfassung

Aus den verkieselten Kalken des Ordovicium-Silur (Lavendelblaue Hornsteine), die als Gerölle in Kaolinsand von Sylt auftreten, sind mittlerweile eine ganze Reihe von Fossilien beschrieben worden (U. v. Hacht, 1985-1990). Hier soll über eine weitere problematische Form vorläufig berichtet werden.