

8 *Het Kwartair, problemen en methoden*

*ik heb getracht contact te zoeken
met de versteende dingen
ik heb getracht hun taal
het gestamel in de aarde te lezen
hun monogrammen te spellen*

Chris Smith (Vermoeden van Tijd)

Het kwartaire tijdperk wordt gekenmerkt door het optreden van ijstijden. Het is zelfs zo gesteld dat men bij het vaststellen van de tijdgrens met het Tertiair (en ook bij het onderverdelen van de kwartaire tijd zelf) zich niet—zoals toch gewoonlijk in de historische geologie het geval is—heeft laten leiden door het optreden van kenmerkende gidsfossielen of fossielgroepen, maar door het optreden van koudeperioden (fig. 11). Die koudeperioden, althans de latere, noemt men glacialen omdat in Noord-Europa, in het noordelijk deel van Noord-Amerika (Canada en de noordelijke Verenigde Staten), in het zuiden van Zuid-Amerika, Australië en Nieuw-Zeeland, in de Alpen en vele andere hooggebergten de gletsjers zich toen tot ver buiten hun huidige grenzen hebben uitgebreid. Gedurende een van die tijden raakte Nederland zelfs voor de helft door landijs bedekt dat uit Scandinavië afkomstig was.

De warme perioden tussen de glacialen noemt men interglacialen. De interglaciale klimaten waren soms vergelijkbaar met ons huidige klimaat, maar in de regel waren zij warmer. Wij beleven thans een interglaciale tijd, die ca 10.000 jaar geleden begon en waarvan de verdere ontwikkeling nog in de schoot van de toekomst verborgen ligt.

HYPOTHESEN OVER HET ONTSTAAN VAN IJSTIJDEN

Zo'n ijstijd zelf is gewoonlijk, wanneer hij nader wordt beschouwd, ook niet zonder inwendige afwisseling. Meestal kan men binnen een glaciële periode een aantal koudere en minder koude afdelingen onderscheiden, die resp. stadialen en interstadialen worden genoemd.

Men heeft nog geen kans gezien die afwisseling in het klimaat volledig en doeltreffend te verklaren. Er is in de loop van de tijd een grote verscheidenheid aan theorieën opgesteld, maar waar vele theorieën zijn is maar één ding volledig duidelijk, namelijk dat het probleem nog bij lange na niet is opgelost.

Het Kwartair, problemen en methoden

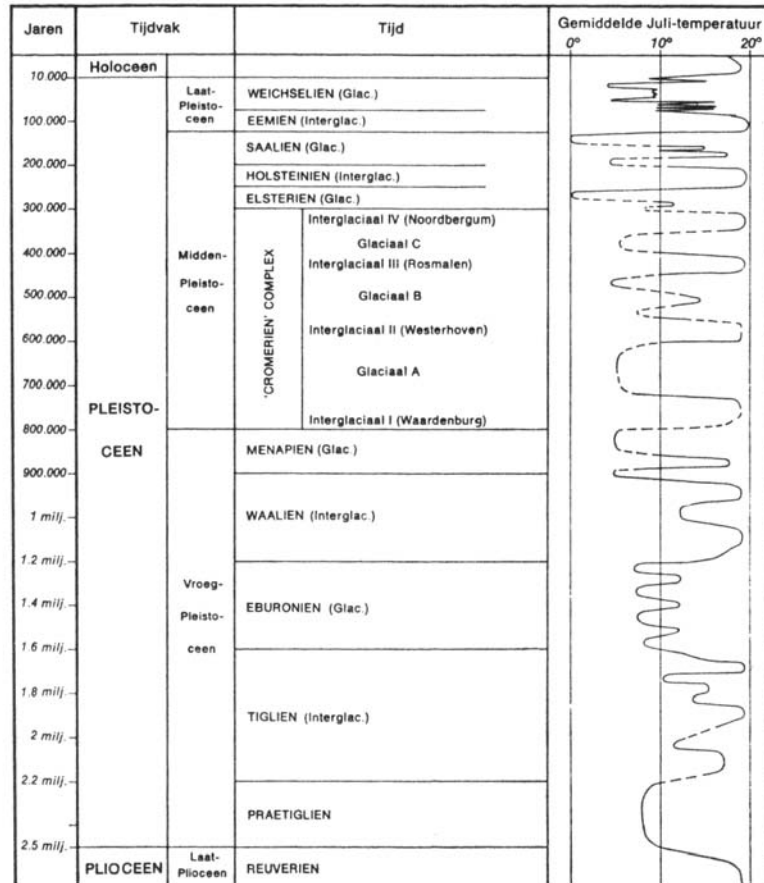


Fig. 11. Overzicht van het Kwartair (uit Zagwijn en Van Staalduinen 1975).

Het Kwartair, problemen en methoden

Verschillende van de naar voren gebrachte hypothesen houden zich met slechts één of maar met enkele principes bezig. Men dient er evenwel rekening mee te houden dat er niet slechts één doch verschillende factoren in het spel zijn, die op een grillige manier door elkaar heen werken en elkaar op allerlei manieren zullen beïnvloeden.

Wanneer men de verschillende ijstijdhypothesen met elkaar vergelijkt kan men een onderscheid maken tussen theorieën die de oorzaak zoeken in (1) toestanden in de wereldruimte, dan wel (2) veranderingen in de baan en de stand van de aarde, (3) veranderingen in de aardatmosfeer, (4) veranderingen in het aardlichaam, of (5) variaties in de door de zon uitgestraalde energie.

1 Kosmische stofwolken

Wat de onder 1 genoemde veronderstellingen betreft kunnen wij volstaan met de mededeling, dat er wel gedacht is aan de mogelijkheid dat er in het heelal gebieden voorkomen, die een lagere temperatuur dan de omgeving bezitten. Bij het passeren van dergelijke 'koude' gebieden zouden op aarde ijstijden optreden. Andere hypothesen hielden rekening met de mogelijkheid dat de aarde bij het passeren van grote kosmische stofwolken minder zonnestraling zou ontvangen waardoor het klimaat tijdelijk wat kouder zou zijn. Maar bij nadere bestudering bleek dat geen van beide veronderstellingen kans maakt de werkelijkheid te benaderen, want naar alle waarschijnlijkheid is de temperatuur overal in de wereldruimte zeer laag, ergens in de buurt van het absolute nulpunt; en in de tweede plaats bleek dat het passeren van kosmische nevels juist een ander effect zal hebben dan nodig is voor het optreden van ijstijden.

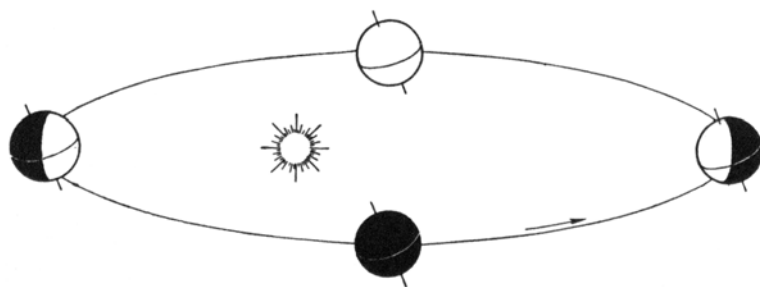


Fig. 12A. De aardbaan en de stand van de aardas (schematisch).

Het Kwartair, problemen en methoden

2 Veranderingen in baan en stand van de aarde

Een voorbeeld van de onder 2 aangeduide theorieën is die van Milankovitch, een Servische wiskundige-astronoom, die een idee uitwerkte dat in eenvoudige vorm reeds in de vorige eeuw naar voren was gekomen.

Milankovitch wees erop dat er zich in de aardbaan en de stand van de aarde bij haar eeuwigdurende reis om de zon enkele zich telkens herhalende veranderingen voordoen. Zo is er in de eerste plaats het feit dat het vlak van de equator niet (steeds) samenvalt met het vlak waarin de aardbaan ligt, het vlak van de ecliptica. Vielen de beide vlakken samen, dan zou de aardas loodrecht op het vlak van de ecliptica staan, de verdeling van de zonne-energie zou voor elke breedte over het gehele jaar hetzelfde zijn: wij zouden geen seizoenen kennen. Maar er bestaat een hoek tussen equator- en eclipticavlak. Gedurende een deel van het jaar is de noordpool en het noordelijk halfrond naar de zon gericht (zie fig. 12A). Het noordelijk halfrond ontvangt dus dan meer warmte dan het zuidelijk. Het is er dan zomer. Voor de gebieden dichtbij de noordpool gaat de zon zelfs geruime tijd achtereen niet onder. Gedurende een ander deel van het jaar echter wijst de noordpool van de zon af; het is dan winter op het noordelijk halfrond en nabij de noordpool heerst de poolnacht.

De genoemde hoek bedraagt thans $23 \frac{1}{6}^\circ$, maar hij is aan een voortdurende verandering onderhevig. Hij wordt nu eens groter, dan weer kleiner (B in fig. 12B). De periode van deze verandering is ca. 40.000 jaar.

Een andere variabele is de *precessie*, het veranderen van de richting waarin de hellende aardas wijst. Elke schooljongen kent dit verschijnsel. Wanneer een tol op een bepaalde manier wordt opgezet kan het immers gebeuren dat de draaiende tol niet geheel verticaal maar enigszins 'uit het lood' staat. (Als men het vlak waarop de tol 'loopt' met het vlak van de ecliptica vergelijkt is de hoek die de tol met de verticaal maakt de hoek, waarover wij in de vorige alinea spraken.) Zo'n 'uit het lood' staande draaiende tol maakt echter nóg een beweging. De punt kan op zijn plaats blijven, maar de bovenzijde van de tol legt een cirkelbaan af. De aarde nu, die immers ook een tol is, doet eigenlijk hetzelfde (A in fig. 12B), en wel dusdanig dat haar as telkens na ca. 21.000 jaar in dezelfde richting komt te wijzen.

Wanneer men vervolgens bedenkt dat de aardbaan een ellips is met de zon in een van de brandpunten, beseft men dat de aarde niet gedurende het gehele jaar dicht bij de zon staat. Er is een punt in de aardbaan, dat het dichtst bij en er is een punt dat het verst van de zon verwijderd ligt. Het eerste punt heet *peribeliem*, het tweede *apheliem*.

Het Kwartair, problemen en methoden

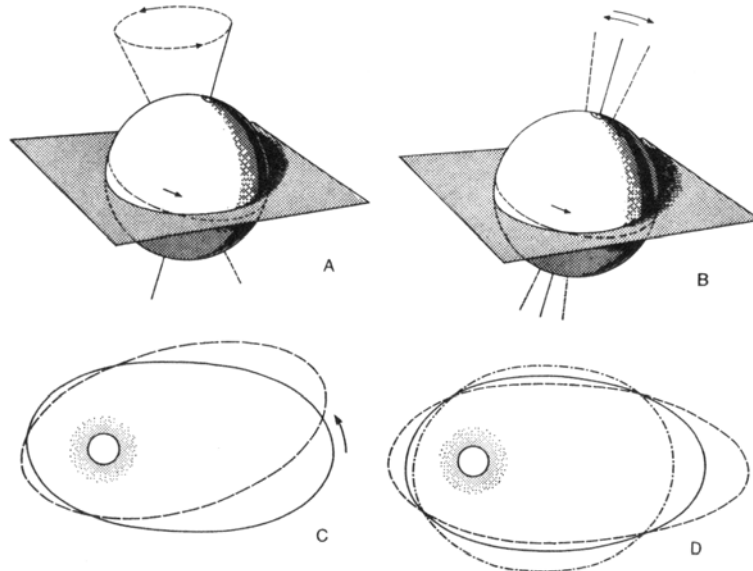


Fig. 12B. Vier variaties in de stand van de aardas en de aardbaan (schematisch). De excentriciteit van de aardbaan in C en D is sterk overdreven weergegeven. Het horizontale vlak in A en B stelt het vlak voor waarin de aardbaan ligt, d.w.z. het vlak van de ecliptica (overgenomen van Gamow).

Ten gevolge van de precessie nu heeft de aardas niet altijd dezelfde 'stand' op het moment dat de aarde het aphelium passeert. In onze tijd passeert de aarde het perihelium wanneer de aardas van de zon afwijkt en het op het noordelijk halfrond winter is; het aphelium wordt gepasseerd in de noordelijke zomer. Was dat andersom dan zou het noordelijk halfrond 's zomers dichterbij de zon staan en dus meer warmte krijgen, de zomers zouden dus warmer zijn. 's Winters zou het noordelijk halfrond minder straling ontvangen, de winters zouden er dus kouder zijn. Men voelt aan dat dit van betekenis kan zijn voor het eventueel optreden van ijstijden.

De derde variatie waarmee wij rekening moeten houden is de verandering in de *excentriciteit van de aardbaan* (D in fig. 12B). De ellips, die de aarde bij haar loop om de zon volgt, is namelijk niet altijd even lang en breed, soms is zij meer langwerpiger, soms benadert zij wat meer de cirkelvorm. Het is duidelijk dat de zojuist genoemde verschillen, veroorzaakt door het samenvallen van peri- en aphelium met de verschillende seizoenen, van des te meer belang worden naarmate de aardbaan 'langwerpiger' is en de verschillen in de afstand

Het Kwartair, problemen en methoden

tussen aarde en zon dus groter zijn. De periode waarbinnen deze variatie zich voltrekt blijkt ca. 92.000 jaar te bedragen. De vierde variatie, tenslotte, is de *precessie van de aardbaan*, weergegeven in C in fig. 12B. De perioden van de verschillende variaties zijn dus verschillend. De diverse factoren die elk van belang zijn voor de hoeveelheid zonnestraling, die de verschillende punten op aarde in de loop van de tijd ontvangen, zullen telkens op een andere manier door elkaar heen werken. Soms werken ze elkaar tegen, soms met elkaar mee. Milankovitch heeft nu het effect van dit dooreenwerken berekend zoals het zich gedurende de laatste miljoen jaar zou hebben voltrokken en kwam toen tot het diagram, dat in fig. 13 is afgebeeld. De zigzaglijn geeft geen temperatuur aan doch bedoelt een indruk te wekken van de zonnestraling, die de aarde in de loop van de tijd op een bepaalde breedte (in dit geval 65° NB) ontvangen zal hebben.

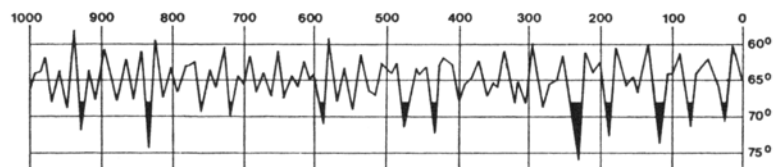


Fig. 13. De kromme van Milankovitch. De cijfers 0-1000 duiden op duizendtallen jaren voor 1800.

Volgt men de lijn van rechts naar links dan begint men bij het heden. Het punt van uitgang geeft de zonnestraling aan die thans op 65° NB wordt ontvangen. Gedurende enige tijd daarvoor echter ontving de aarde op dezelfde breedtegraad evenveel straling als thans de 60° breedtegraad ontvangt. Dat is een zuidelijker breedtegraad. De instraling was dus groter dan thans; ca. 25.000 jaar geleden echter zou de straling overeen gekomen zijn met die welke de aarde thans op 70° NB geniet, m.a.w. het noordelijk halfrond ontving toen minder warmte.

De stralingskromme van Milankovitch vertoont nu een aantal pieken, die aanduiden dat het noordelijk halfrond in de overeenkomende tijden minder straling zou ontvangen hebben en dus een koude periode meemaakte. De pieken staan in groepen bijeen waarbij elke groep een uit enkele koude fasen (stadialen) bestaande ijstijd zou representeren. Zelfs leek er een goede overeenkomst te bestaan tussen het aantal stadialen waarvan de kwartairgeologen de sporen hadden gevonden en het aantal dat Milankovitch voor de verschillende ijstijden had berekend!

Milankovitch scheen dus de weg geopend te hebben tot een zeer

Het Kwartair, problemen en methoden

exacte verklaring van het ijstijdenverschijnsel en bovendien nog tot een nauwkeurige datering van die verschillende perioden!

Maar er waren factoren die de vreugde temperden. In de eerste plaats was er de omstandigheid dat verschillende van de verschijnselen die aan Milankovitch' berekening ten grondslag liggen in principe gevolgen zijn van de tegenstelling der seizoenen op het noordelijk en het zuidelijk halfrond. Als deze factoren werkelijk van overheersende invloed zouden zijn, dan zou een ijstijd in het noorden daardoor samenvallen met een warme tijd in het zuiden. Wij weten echter dat het ijstijdenverschijnsel tegelijk in noord en zuid optrad.

Vervolgens houdt Milankovitch' becijfering alleen rekening met de zonnestraling. Er zijn echter nog vele andere factoren die van invloed zijn op het klimaat. En wie zegt ons dat de in rekening gebrachte waarden van de perioden waarbinnen b.v. de precessie en de excentriciteit van de aardbaan hun variatiecyclus doormaken volkomen juist op grootte waren geschat? Anderen hebben analoge berekeningen gemaakt maar kwamen tot andere resultaten, hetgeen evenmin vertrouwen in de absolute juistheid van de uitkomsten wekt. Tenslotte nog dit: de variaties in precessie, excentriciteit etc. moeten sinds het ontstaan van het planetenstelsel aan de gang zijn geweest. Waarom zouden dan alleen zo nu en dan, zoals gedurende het Precambrium, het Perm en nu in het Kwartair ijstijden optreden?

Wanneer mogelijk de veranderingen in de stralingsverdeling op aarde van invloed zijn geweest, ze zullen zeker niet alléén als de oorzaak van het optreden der ijstijden mogen worden beschouwd. Er moeten ook andere veranderingen van geheel andere aard en met b.v. een totaal andere periode in het spel zijn geweest.

3 Koolzuur en stof in de atmosfeer

Er is ook wel gedacht (3) aan veranderingen in het koolzuur- en stofgehalte van de aardatmosfeer. Een stijging van het koolzuur-gehalte zou een broeikaseffect teweegbrengen. De zonnestraling, die door de atmosfeer heen op aarde valt, wordt omgezet in warmtestraling die op zijn weg terug naar de wereldruimte door de atmosfeer te meer wordt tegengehouden naarmate die atmosfeer meer koolzuur en waterdamp bevat. Dat koolzuur zou geleverd kunnen zijn door vulkanen (en tegenwoordig door onze industrieën). Maar het schijnt dat de veranderingen toch niet van een dusdanige aard zullen zijn dat werkelijk ijstijden en interglacialen veroorzaakt kunnen worden.

Wanneer vulkaanuitbarstingen veel stof in de atmosfeer brengen zou misschien de aardoppervlakte minder straling ontvangen. Maar ook in dit geval is het zeer de vraag of de invloed groot zal zijn.

Het Kwartair, problemen en methoden

4a Invloed van hooggebergten

Van meer belang lijken de hypothesen te zijn (4) die ervan uitgaan dat het ontstaan van hooggebergten de vorming van grote gletsjergebieden in de hand werkt. Men redeneert dan aldus: gletsjers worden gevormd door neerslag die in de vorm van sneeuw in koude gebieden valt en daar blijft liggen. Wanneer in een gebied een gebergte omhoog wordt gestuwd zullen b.v. in gematigde of koele streken de toppen spoedig in zulke koude luchtlagen terechtkomen dat zich gletsjers en ijskappen kunnen gaan vormen. Bij voldoende neerslag zullen die ijskappen zich kunnen uitbreiden, tot in de omliggende gebieden waar de bergen en de heuvels niet zo hoog reiken. De aanwezigheid van de ijskap zal echter de temperatuur doen dalen en aldus een nóg grotere uitbreiding mogelijk maken tot ver in de omgevende vlakten. Zo zou dus de gebergtevorming aanleiding zijn tot het optreden van de gletsjermassa's, die zich van tijd tot tijd over een deel van de aardkorst hebben uitgebreid.

Nu is het wel merkwaardig, dat in de geschiedenis van de aardkorst de ijsperiodes ongeveer samenvielen met periodes van gebergtevorming. Het is niet moeilijk de permische ijstijd in verband te zien met de Hercynische gebergtevorming en ook onze kwartaire tijd is inderdaad een periode, waarin niet alleen ijstijden optreden, maar ook veel gebergten tot stand kwamen. Het reliëf van onze dagen is aanzienlijk groter en de bergen zijn hoger dan gemiddeld in de geologische geschiedenis het geval is geweest.

4b Hypothese van Ewing en Donn

Maar bij het overwegen van deze zaken rijst de vraag hoe men dan het optreden van een reeks van glacialen en interglacialen, stadialen en interstadialen binnen één dergelijke ijsperiode moet verklaren. Bovendien gaan niet alle belangrijke gebergtevormingstijden gepaard met glaciaties. Wil men de gebergten aansprakelijk stellen dan zal dus toch weer nog een andere factor (of zullen meer factoren) mede in de beschouwing moeten worden betrokken. Onlangs is een interessante poging gedaan het ritme van de afzonderlijke glaciaties te verklaren. De Amerikanen Ewing en Donn gingen ervan uit dat ijskappen ontstaan waar voldoende neerslag in een voldoende koud gebied valt, en dat de aanwezigheid van een ijskap verkoelend op de omgeving werkt. Terwijl andersom, als er geen neerslag valt, hoe koud het ook is, er geen ijskap zal kunnen ontstaan omdat daar nu eenmaal het bouw materiaal, de sneeuw, ontbreekt.

De noordpool nu ligt midden in de Noordelijke IJszee, een groot en diep zeebekken, dat praktisch aan alle zijden omringd is door

Het Kwartair, problemen en methoden

vasteland. De Beringstraat is zo smal en ondiep dat men haar mag verwaarlozen. De doorgang naar de Atlantische Oceaan tussen Groenland, IJsland en Noorwegen is van groter belang, al is de zee daar plaatselijk slechts enkele honderden meters diep. Deze Noordelijke IJzsee nu levert de waterdamp, die na condensatie in wolken in de vorm van neervallende sneeuw de gletsjers voedt. Dat is blijkbaar vooral het geval geweest daar waar het warme water van de Atlantische Oceaan het Noordelijke-IJzseebekken kon binnenkomen. Scandinavië heeft althans dikke pakketten landijs gedragen in tegenstelling tot Siberië en Noord-Alaska.

Het is duidelijk dat de meeste waterdamp geleverd zal worden wanneer het oppervlak van het zeebekken ijsvrij is en het minst wanneer de Noordelijke IJzsee is dichtgevroren.

Wanneer via de doorgang tussen Groenland, IJsland en Noorwegen de Atlantische Oceaan warm water levert aan de Noordelijke IJzsee, zal de laatste niet dichtvriezen en dus waterdamp leveren, die tenslotte als sneeuw op de ijskappen op het omgevende vasteland terecht zal komen. Deze hoeveelheden sneeuw en ijs worden echter in feite onttrokken aan de oceanen. De zeespiegel zal daardoor dalen. Maar als gevolg daarvan zal de doorgang tussen Groenland en Noorwegen ondieper worden. De hoeveelheden warm water die het Arctische bekken kunnen binnenkomen worden kleiner. De kraan van de centrale verwarming wordt als het ware langzaam dichtgedraaid. Tenslotte zal zo weinig warm water binnenkomen dat de IJzsee gaat bevriezen en geheel bedekt raakt met ijs. Daardoor loopt echter de leverantie van waterdamp sterk terug. Het gevolg is dat er veel minder sneeuw in de omgeving valt. De gletsjers zullen zich niet meer kunnen handhaven; ze nemen in omvang af, verdwijnen mischien geheel. Er breekt m.a.w. een tussenijstijd aan.

Maar afnemend ijs op het land betekent een stijgende zeespiegel; een stijgende zeespiegel betekent meer warm water over de drempel van Groenland—IJsland—Noorwegen en dus meer open water in de Arctische Oceaan en daardoor meer neerslag en... groeiende gletsjers, een oprukkend ijsfront en dus een glaciële tijd.

Zo zou zich volgens deze gedachtengang een voortdurende afwisseling kunnen voordoen met als kern de paradox van het optreden van glaciaties door het ijsvrij zijn van de Arctische Oceaan en het optreden van (warme) interglacialen wanneer deze zou zijn dichtgevroren!

Men kan zich afvragen hoe het komt dat op zeker moment, ongeveer een miljoen jaar geleden dit stuivertje-wisselen begon. Vóór die tijd in het Tertiair waren er immers geen ijstijden. De opstellers van

Het Kwartair, problemen en methoden

deze theorie geven het volgende antwoord: het is bekend dat de aardas niet altijd op hetzelfde punt 'uit de aarde stak', m.a.w. de noordpool heeft vroeger op andere punten gelegen dan nu. Er zijn redenen om aan te nemen dat eertijds de noordpool in het noordelijke deel van de Stille Oceaan lag.

Toen moeten dus de minst bestraalde delen van het noordelijk halfrond in de Grote Oceaan hebben gelegen. Maar die Oceaan is een groot bekken, waarin een voortdurende uitwisseling van koud en warm water werd toegelaten. Tegen het einde van het Tertiair nu zou de zich steeds verplaatsende noordpool via het gebied van Alaska het bekken van de Arctische Oceaan zijn binnengetreken. Van die tijd af aan zou de ritmische afwisseling van glacialen en interglacialen in de landgebieden inderdaad zijn gaan optreden.

Minder gemakkelijk valt de vraag te beantwoorden hoe het komt dat op het zuidelijk halfrond, waar de pool immers niet in een afgesloten bekken doch op het vasteland ligt, niettemin Zuid-Amerika, Zuid-Australië en Nieuw-Zeeland glaciaties hebben doorgemaakt, die voor zover men kan nagaan gelijktijdig met die van onze streken optraden.

Er zijn nog meer bezwaren. Er blijkt immers op aarde tijdens de glaciële tijden meer te zijn gebeurd dan alleen het uitbreiden van ijskappen. Tot in de tropen toe deden zich veranderingen voor. De sneeuwgrens daalde alom, de grenzen van woestijnen verschoven. Kortom, het is zeer de vraag of het idee dat hier naar voren werd gebracht wel een volledige verklaring van het ijstijdenverschijnsel en -ritme kan leveren, al blijft de gedachte toch wel een interessante poging.

4c De hypothese van Wilson

De hypothese die Wilson in 1964 naar voren bracht vestigt de aandacht juist op het andere 'einde' van de aarde, Antarctica, waar de zuidpool niet in een afgesloten bekken maar juist midden in een continent ligt.

Wilson gaat ervan uit dat de ijsmassa' bij het voortdurend dikker worden op een zeker moment een kritische grens overschrijden. Bij toenemende dikte neemt de druk aan de basis toe en bovendien neemt de invloed af die de lage luchttemperatuur op de temperatuur aan de basis kan hebben. Men zou kunnen zeggen dat de invloed van de poolkoude dan niet meer opweegt tegen de invloed van de aardwarmte uit het aardlichaam. Deze omstandigheden leiden ertoe dat het ijs niet meer aan de basis vastgevroren is: het kan gaan glijden. Er begint een beweging op te treden vanuit het centrum, waar het ijs

Het Kwartair, problemen en methoden

het dikst is, naar de randen van het continent, en de omgevende oceaan wordt bedekt met shelfijs en dicht pakij's tot ongeveer 50° zB. Nu kaatsen (witte) sneeuw- en ijsmassa's echter praktisch alle zonnestraling terug het heelal in. Aldus gaat een deel van de te voren door de aarde (met name de oceaan) opgenomen warmte verloren, het algemene temperatuurniveau van de aarde zal daardoor lager worden en in de hooggebergten en de toch al koude gebieden rondom de noordpool zullen gletsjers en landijsmassa's ontstaan: er is een ijstijd aangebroken.

In Antarctica zelf echter zal in Wilson's gedachtengang het wegstromen van de ijsmassa's een verdunning van het landijs opleveren. Daardoor zullen echter de temperatuur en de druk aan de basis ervan weer dusdanig worden dat het wegglijden veel minder gemakkelijk gaat. De shelfijsterreinen worden niet meer aangevuld, de aarde kan weer meer warmte opnemen en de ijstijd is voorbij.

Evenals bij de hypothese van Ewing en Donn het geval was is het hier mogelijk te verklaren waarom de ijstijden alleen gedurende het Pleistoceen optraden, juist doordat ook hier de verschuiving van de polen in het spel is. De vorming van een ijskap die grote shelfijsmassa's levert is immers alleen mogelijk als de (zuid-)pool zich op een continent bevindt. Dezelfde poolverschuiving die miljoenen jaren geleden de noordpool het afgesloten bekken van de Noordelijke IJszee deed binnentreden was er de oorzaak van dat de zuidpool van de oceaan komend op Antarctica terecht kwam.

Helemaal sluiten doet echter deze hypothese niet: levert het dikker worden van de ijskoepel wel een dusdanige stroming op (in een gebied waar de basis waarover het ijs bewegen moet beslist bergachtig genoemd moet worden) dat het shelfijs zo'n grote uitbreiding kan krijgen als Wilson veronderstelt?

5 Veranderingen in de zon

Het is zeker niet onwaarschijnlijk dat een belangrijk deel van de variaties, die de aardse klimaten in de loop der tijden ondergingen, teruggebracht moet worden op veranderingen die zich op (en in) de zon voltrokken (5). Wij weten immers dat de zon, al is zij dan geen typische veranderlijke ster, toch niet op een volslagen constante wijze haar energie uitstraalt. Er doen zich fluctuaties in die uitstraling voor. Wij weten bovendien hoe kleine veranderingen in de stralingsintensiteit, zoals deze tot uiting komen in de zonnevlekkencyclussen, reeds merkbare wereldomvattende wijzigingen in de verdeling der weersomstandigheden kunnen veroorzaken. Iets grotere veranderingen in de straling zullen zonder twijfel van ingrijpende betekenis zijn ge-

Het Kwartair, problemen en methoden

weest voor de luchtcirculatie in de atmosfeer en de verdeling van de verschillende klimaatgordels op aarde.

Daarbij kunnen natuurlijk andere factoren het hunne hebben bijgedragen om bepaalde drempelwaarden te helpen overschrijden. Zo zal misschien de vorming van gebergten, die op zichzelf niet de wereldwijde klimaatwijzigingen zal hebben doen plaatsvinden, of wijzigingen in de stand van de aardas, etc. samen met de algemene vermindering in de zonne-energie aanleiding hebben kunnen geven tot de vorming van ijskappen. Men zal, zoals zo vaak het geval is in ingewikkelde situaties als deze niet slechts één bepaald principe als oorzaak mogen zien.

KLIMAATINDICATIES

Glaciale afzettingen en morenes

Doch welke de oorzaak of oorzaken ook mogen zijn geweest, een feit is dat juist in ons deel van Europa vele verschijnselen in de aardoppervlakte en in de lagen die gedurende de kwartaire tijd werden gevormd gelegenheid geven die klimaatveranderingen te bestuderen.

In de eerste plaats zijn er de sporen van het landijs zelf, dat herhaaldelijk vanuit de Scandinavische bergen komend zich tot ver in de Middeneuropese laagvlakte uitbreidde. Het liet daar grondmorenes achter, met noordelijke zwerfstenen, die als Scandinavische vreemdelingen tussen de inheemse gesteenten verspreid liggen.

Er zijn *drumlins*, stroomlijnvormige heuvels, die onder het ijs uit grondmorenemateriaal werden gemodelleerd. Er zijn vormen als *eindmorenes* en *stuwwallen* die aan het einde van de gletsjermassa's werden gevormd, *sandrvlakten*, *osar*, *kames* en andere vormen bestaande uit zand en grind dat door smeltwater werd neergelegd, alle vormen en afzettingen die direct te maken hebben met de vroegere aanwezigheid van het landijs zelf.

Sporen in de bodem

Doch ook wanneer door welke omstandigheden dan ook—b.v. wanneer de neerslag wat geringer was—geen landijs tot in onze gebieden doordrong, kon de koude in de aardbodem worden geregistreerd. Vorstspleten en opdooiverschijnselen verraden het optreden van perioden waarin strenge vorst en dooi elkaar afwisselen. Onze gebieden waren gedurende glacialen gewoonlijk toendra's, vergelijkbaar met de boomloze of bijna boomloze vlakten van de huidige noordrand van Siberië, Canada en Alaska, waar de bodem gedurende het gehele jaar tot grote diepte bevroren is en alleen het

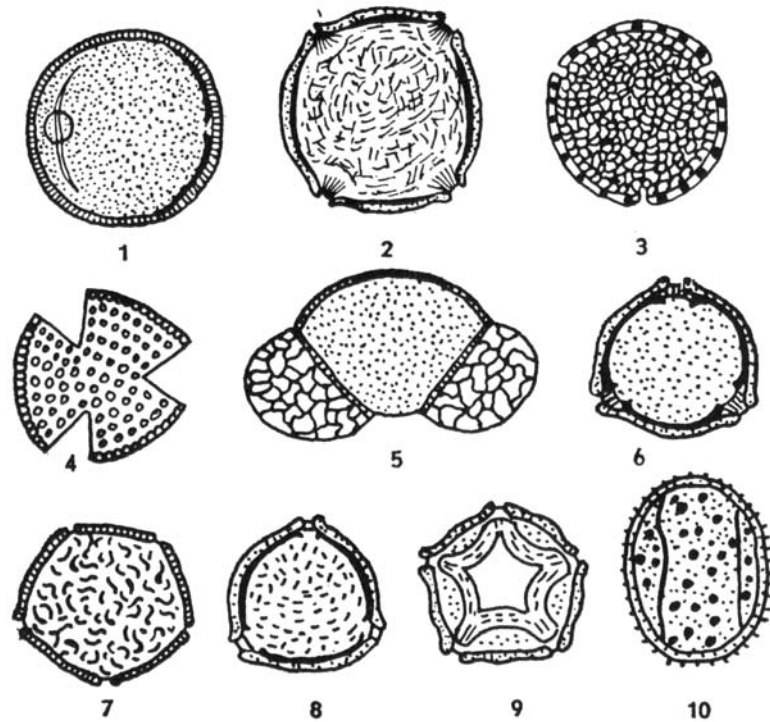


Fig. 14. Stuijmeel-(pollen-)korrels van enkele bomen. 1 beuk; 2 haagbeuk; 3 linde; 4 es; 5 den; 6 berk; 7 iep; 8 hazelaar; 9 els; 10 eik (naar Van Zeist).

bovenste deel 's zomers ontdooit. In de gebergten deed de vorstverwerking de gesteenten in puin vallen. Er was weinig of geen begroeiing die het aldus gevormde gruis bijeenhield en op hellingen konden in het voorjaar en 's zomers bodemvloeïingen (*solifluctie*) ontstaan doordat de met water verzadigde, brijige, ontdooide bovengrond langzaam in beweging kwam. Daar waar de vegetatie zeer schaars was en de grond zandig, konden tijdens droge perioden grote hoeveelheden zand en stof door de wind worden verplaatst waardoor uitgestrekte gebieden door een dikkere of dunnere laag van 'dekzand' of löss konden worden overdekt.

Tenslotte kunnen de verweringsbodems en de daarin voorkomende kleisoorten ons een indicatie geven van de temperatuur en de vochtigheid waaronder de verwerking plaatsgreep.

Het Kwartair, problemen en methoden

Vegetatie en fauna

De verschillende klimaten verrieden zich ook in de plantengroei. Wij konden er al eerder op wijzen dat overblijfselen van planten ons in de gelegenheid stellen een beeld te ontwerpen van de plantengesellschaften uit de voor ons liggende tijden.

Vooraf het stuifmeel is daartoe in staat. De stuifmeelkorrels—men noemt ze ook wel pollenkorrels (vgl. fig. 14)—zijn veel resistenter dan de andere delen van de plant. Wanneer ze door de wind zijn meegenomen, in veenterrein of waterplas terecht komen en vervolgens door veen of klei tegen oxydatie worden beschermd, kunnen zij bijzonder lang intact blijven. Ze blijven herkenbaar en bieden de pollenonderzoeker aldus de gelegenheid vast te stellen of in de desbetreffende tijd een toendravegetatie of een koel-gematigd bos voorkwam, of er een steppebegroeiing was of een gemengd eikenwoud. Zo levert het pollenonderzoek een uitstekende indicatie voor de klimaatomstandigheden in vroegere perioden (vgl. fig. 11, 15 en 27 en Van der Hammen c.s. 1971, zie ook Janssen 1974).

Ook de overblijfselen van dieren kunnen ons in dit opzicht soms helpen. Rendieren, poolvossen, mammoets, wolharige neushoorns wijzen op koude, maar dieren als apen en zebra's leefden hier alleen gedurende gunstiger klimaten.

Sporen in de oceaانبodem

De gevolgen van de veranderingen in het klimaat bleven niet beperkt tot het vasteland. Ook in zee en met name op de bodem van de oceanen werden ze geregistreerd. Zoals het leven op de continenten op de klimaatwijzigingen reageerde, zo traden ook veranderingen op in de planktonflora en -fauna, die dicht onder het zeeoppervlak leeft. Wanneer het zeewater koeler werd verdwenen de meer op warmte ingestelde organismen naar elders en wanneer de vroegere condities terugkeerden betekende dat in de regel dat ook de planktonsoorten terugkwamen.

Nu blijft van een groot deel van het plankton, nadat het gestorven is, geen spoor meer over. Van die organismen echter, die een kalk- of kiezelskelet bezitten, kunnen de minder goed oplosbare overblijfselen geleidelijk naar de bodem zakken, waar ze in de loop van vele honderdduizenden jaren in meters dikke lagen werden opgehoopt. Onderzoek van deze gelaagde diepzeeafzettingen (mogelijk gemaakt door moderne, aan kabels neergelaten bemonsteringsapparatuur) gaf nu de gelegenheid op vele punten van de oceaانبodem sporen van de afwisseling der pleistocene klimaten terug te vinden. Daar waar bij uitbreiding van pakijsvelden het uit dit drijvende ijs wegs meltende puin

Het Kwartair, problemen en methoden

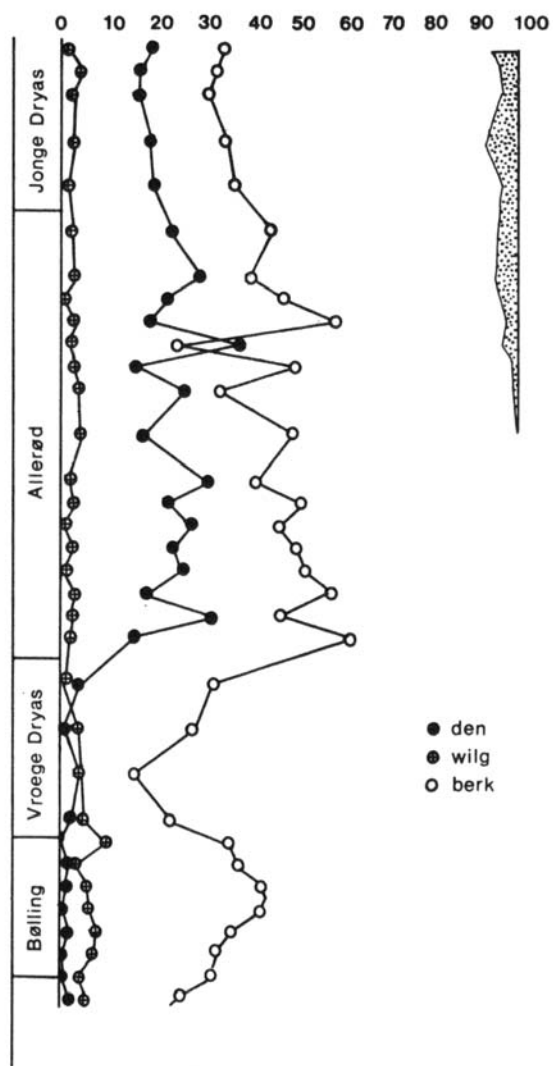


Fig. 15. Een pollendiagram van laatglaciale Würmafzettingen bij Usselo (Ov) (naar Van der Hammen).

Het Kwartair, problemen en methoden

aan de bodemsedimenten werd toegevoegd, fungeerde deze extra-sedimentatie als een extra klimaatindicator.

Zeer interessante resultaten werden verkregen door het onderzoek van de verhouding van zuurstof-isotopen; 'normale' zuurstof heeft als atoomgetal: 16. Eén op de 500 zuurstofatomen wijkt daar echter vanaf, zij hebben een atoomgetal: 18. Zuurstof (O) is een belangrijk onderdeel van de kalkskeletten van bepaalde planktonsoorten; kalk is immers calciumcarbonaat (CaCO_3). Bij de vorming wordt het door het zich ontwikkelende organisme aan het water (H_2O) onttrokken. Nu is het gebleken dat bij lagere temperaturen iets meer zuurstof met atoomgetal 18 (O^{18}) en dus iets minder O^{16} wordt opgenomen dan onder warmere condities.

Het gaat om minimale hoeveelheden, maar ze zijn meetbaar. Daardoor is het mogelijk door het meten van de $\text{O}^{18}/\text{O}^{16}$ verhouding in de kalkskeletjes uit de lagen van de diepzeebodem temperatuursveranderingen op het spoor te komen, die zich in de loop van de tijd aan het zee-oppervlak hebben voorgedaan!

Fig. 16 geeft een overzicht van deze temperatuursveranderingen, zoals zij door Emiliani (1970, 1972) werden bepaald.

Nu gaan bij het verdampen van water de moleculen, waarin zich het lichtere O^{16} bevindt, iets gemakkelijker in dampvorm over dan die met O^{18} . Neerslag—d.w.z. regenwater en sneeuw—zijn dus iets rijker aan O^{16} dan zeewater. Bovendien kan er op grond van de verschillen in temperatuur ook in die neerslag onderscheid in O^{18} gehalte optreden. Doordat bij hogere temperatuur meer verdamping optreedt kon de Deen Dansgaard vaststellen dat b.v. in het Groenlandse landijspakket in de opeenvolgende laagjes, waaruit het is opgebouwd, een deel van de pleistocene klimaatwisselingen zijn geregistreerd.

Doordat gedurende de ijstijden vrij veel ' O^{16} -rijke' neerslag in de vorm van ijspakketten op de continenten werd vastgelegd, was in die perioden het in de oceaan achtergebleven water iets rijker aan O^{18} dan in de interglacialen. Nu is de in fig. 16 afgebeelde temperatuurskromme in feite een lijn, die aangeeft in welke mate de $\text{O}^{18}/\text{O}^{16}$ verhouding afwijkt van een bepaalde standaardwaarde. De veranderingen in deze verhouding, die veroorzaakt worden door de genoemde onttrekking van ' O^{16} -rijker' water aan de oceanen blijken nu geheel parallel te lopen. Met andere woorden: de kromme van Emiliani geeft tevens de variatie in de stand van de zeespiegel weer! (Shackleton 1967).

Veranderingen van de zeespiegel

Wanneer gedurende een ijstijd grote gletsjermassa's zich over de vastelanden uitbreidden, wilde dat zeggen dat er een hoeveelheid

Het Kwartair, problemen en methoden

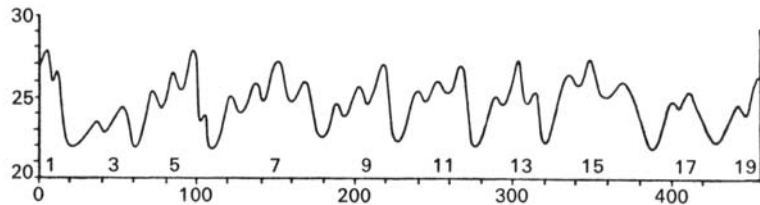


Fig. 16. Temperatuurkromme, door Emiliani geconstrueerd op grond van het onderzoek van zuurstof-isotopen uit diepzeebodemmonsters. Onder het diagram is de ouderdom in duizenden jaren aangeduid. De belangrijkste 'toppen' en 'dalen' in het diagram worden met nummers aangegeven, de 'toppen' met oneven, de 'dalen' met even nummers (deze laatste zijn hier weggelaten). In de verticale schaal: de temperatuur van het zeewater aan het oppervlak in graden Celcius.

water in de vorm van ijs op het vasteland werd vastgehouden en aan de kringloop onttrokken. Het gevolg was, het werd in het voorgaande reeds vastgesteld, dat er minder water naar de oceaan terugstroomde en dat de zeespiegel moest dalen. Wij zagen ook dat deze overgang een rol speelde bij de beschouwingen, die Ewing en Donn ontwikkelden om het ritme van de kwartaire ijstijden te verklaren.

De zeespiegeldaling is overigens niet alleen maar iets theoretisch. Het kon allerwegen worden aangetoond dat gedurende de glaciële tijden het niveau der oceanen tientallen meters lager stond dan thans. Men weet dat gedurende de ijstijden (in elk geval de laatste) de Noordzee en b.v. ook de Soendazee droog lag. Men heeft vervolgens langs vele kusten beneden de zeespiegel terrassen en stranden aangetroffen, die alleen gevormd kunnen zijn bij een lagere zeespiegelstand. Op verschillende punten langs de Noord- en Zuidamerikaanse kusten vindt men dergelijke terrassen en ondiep-water-afzettingen zelfs tot op ca. 150 m beneden het huidige zeeniveau. Er wordt dan gewoonlijk ook niet aan getwijfeld dat vele van dergelijke thans verdronken terrassen evidente aanduidingen van glaciële perioden zijn. Natuurlijk houdt men er bij dit soort overwegingen rekening mee dat in principe een kust ook bij een volkomen niet-veranderende zeespiegel wel onder water kan geraken, nl. wanneer het land plaatselijk daalt zoals in een geosynclinaal of een ander tektonisch verzakkend gebied het geval kan zijn. Nederland is een voorbeeld van een dergelijk dalingsgebied. Maar het is een feit dat ook voor de kusten van stabiele gebieden dit soort terrassen is gevonden en wel over grote afstanden voortdurend op dezelfde diepte, hetgeen nog meer de kans

Het Kwartair, problemen en methoden

uitsluit dat tektonische daling (die immers steeds een lokaal karakter heeft en als gevolg daarvan de terrassen zou hebben verbogen) de oorzaak van hun verdrinken zou zijn.

Ook boven de huidige zeespiegel liggen terrassen die op vroegere waterstanden wijzen en wel op hogere waterstanden dan de tegenwoordige.

Zoals een lage zeespiegelstand verband houdt met koude, glaciële omstandigheden, zo wijst een hoge waterstand in de oceanen op een warmer klimaat dat in de gelegenheid was de landijs- en gletsjer-massa's van de aarde—vooral die van Noord-Europa en Noord-Amerika*—te doen afsmelten. Hoge zeespiegelstanden duiden dus op interglaciële tijden.

Het onderzoek van deze fossiele kusten is vooral in het Middellandse-Zeegebied begonnen. Vandaar dat verschillende van de boven zee liggende kustplateaus (en ook wel de interglaciële tijden waarin zij werden gevormd) namen dragen, die uit het mediterrane gebied afkomstig zijn.

Die terrassen liggen als een soort trap langs de kusten, de oudste het hoogst, de jongste het laagst. Men moet, wanneer tektonische bewegingen uitgesloten zijn, dus aannemen dat de zeespiegel telkens, na gedurende een glaciële tijd verlaagd te zijn geweest in de volgende warme periode nooit zo ver steeg dat het oude niveau werd bereikt.

* Het is zeer de vraag of een interglaciële klimaatverbetering in staat zal zijn de ijsmassa's van Antarctica af te doen smelten. Hoe paradoxaal het ook klinkt, een temperatuurstoename zal zelfs een extra ophoping van ijs teweegbrengen. Enerzijds immers zijn de temperaturen zo laag dat deze bij een toename van 10° bijna overal nog onder het vriespunt blijven, anderzijds levert een hogere temperatuur meer verdamping in de omgevende zee op en dus meer neerslag (sneeuw en ijs).

Overigens is er onlangs op gewezen dat het ijs van West Antarctica (dat deel van Antarctica, dat zich op het westelijk halfrond bevindt), een afwijkend gedrag kan vertonen. De ijsmassa's zijn daar minder dik en minder koud dan in het overige (veel grotere) deel van Antarctica. Bovendien rusten ze er op een ondergrond, die beneden de zeespiegel ligt. Dit ijs zou veel gevoeliger zijn voor afsmelting. Wanneer het zou verdwijnen zou de zeespiegel een verhoging van 5 meter ondergaan.

Het Kwartair, problemen en methoden

Men zou kunnen denken dat elke volgende interglaciale tijd minder warm was en daardoor minder ijs deed afsmelten dan de voorgaande warme tijd. Er zijn echter in het algemeen geen aanwijzingen dat de opeenvolgende interglacialen werkelijk in hun temperaturen een dergelijke regelmatige, in één richting verlopende tendens te zien geven (zie b.v. fig. 11). Men heeft wel de aanleiding in verzakkingen in de oceaانبodem gezocht, waardoor de 'bergruimte' in de oceanen sinds het eind van het Tertiair zou zijn vergroot doordat plaatselijk delen van de oceaانبodem wegzakten.

Op zichzelf is dat geen ongewoon verschijnsel. Wij weten dat op dit ogenblik grote delen van de bodem van de Stille Oceaan in dalende beweging verkeren. Maar er is ook wel gedacht aan de mogelijkheid dat de voortdurende daling van de zeespiegelstand van de interglacialen zou moeten toegeschreven worden aan een geleidelijke toename van de hoeveelheden ijs, die in Antarctica liggen opgeslagen. De ijskap van dit Zuidpool-werelddeel zal in het Pliocen nog niet of nog maar nauwelijks bestaan hebben en is sinds het Oud-Kwartair langzamerhand gegroeid tot zijn huidige omvang en dikte. Zulks doordat vooral in de latere tijden de afsmelting gedurende de interglacialen niet opwoog tegen de aanvoer van nieuwe sneeuw. Ook hier echter is nog geen eenstemmigheid. Men kan tot nog toe eigenlijk alleen gissingen of hoogstens schattingen maken.

STRATIGRAFIE VAN HET KWARTAIR

Chronologie

Maar wat de oorzaken van glacialen en interglacialen, de algemene daling van de zeespiegel en dergelijke ook mogen zijn, men is er in de loop der jaren toe over kunnen gaan het kwartaire tijdperk in te delen op grond van het optreden van koude en warme perioden. Zo werden in het begin van deze eeuw in de Alpen door Penck en Brückner vier ijstijden onderscheiden: de Günz-, de Mindel-, de Riss- en de Würm-tijd. De namen van deze glacialen werden ontleend aan rivieren, die in het Alpengebied ontspringen. Later werd, eveneens in het Alpengebied, het optreden van een nog oudere ijstijd, de Donautijd, waarschijnlijk geacht.

Penck en Brückner hadden de voortreffelijke gedachte de namen zó te kiezen dat zij van oud naar jong in alfabetische zin op elkaar volgen. Men kan zich bij het zien van twee of meer namen uit deze reeks dus niet vergissen aangaande de vraag welke de oudere en welke de jongere periode is. Voor het aangeven van de interglacialen gebruikt men in de Alpen de namen van de beide aangrenzende glacialen. Men

Het Kwartair, problemen en methoden

spreekt dus b.v. van het Riss-Würm-interglaciaal, het Mindel-Riss-interglaciaal etc.

In Noord-Europa, speciaal in de Noordduitse Laagvlakte heeft men slechts de sporen van drie grote ijsperioden gevonden. Ook deze werden naar rivieren vernoemd en ook hier werd een alfabetische volgorde gebruikt. Men kent een Elster-, een Saale- en een Weichselglaciaal. Binnen de Saale-periode worden nog een Drente- en een Warthe-tijd onderscheiden (al zijn in Nederland nog geen sporen uit de laatstgenoemde tijd gevonden). De morenes uit de Drente-tijd liggen o.a. in Midden- en Noord-Nederland, die uit de Warthe-fase o.a. in het gebied van de Lüneburger Heide in Noord-Duitsland.

Men mag aannemen dat de Weichsel-tijd (er wordt ook wel van Weichselien gesproken) samenviel met de Würm-periode. Vermoedelijk kunnen ook de Saale- (Saalien) en de Riss-tijd met elkaar worden gecorreleerd. Maar men mag wel stellen dat de onzekerheid bij het correleren tussen de Scandinavische en de alpiene glaciaties toeneemt met hun ouderdom.

De interglacialen werden vernoemd naar het gebied Holstein en het Nederlandse riviertje de Eem. Zowel in Holstein als in de buurt van Amersfoort zijn namelijk de afzettingen die in de sterk gestegen interglaciale zeeën werden neergelegd, grondig onderzocht. De term Cromer is afkomstig uit het oostelijke deel van Engeland waar bij het plaatsje Cromer afzettingen uit de betreffende tijd werden gevonden.

De namen van de oudere perioden stammen alle uit Nederland. Men herkent de riviernaam Waal en de plaatsnaam Tegelen (Tiglia is de oorspronkelijke Romeinse naam van het dorp Tegelen bij Venlo). De namen Eburonien en Menapien herinneren aan volksstammen die omstreeks de Romeinse tijd in Zuid-Nederland en België woonden. Zij hebben, evenals de term Pretiglien (de tijd voor het Tiglien) betrekking op (relatief) koude perioden. Er zijn echter in Noord- en Noordwest-Europa uit die tijden voornamelijk geen directe sporen van landijs bekend. (Blijkbaar hadden de vroegere landijspakketten een geringere uitbreiding dan de latere glaciaties waardoor hun overblijfselen door de er overheen oprukkende ijsmassa's van de volgende ijstijden werden opgeruimd). De herkenning van deze koude en ook van de warme perioden uit het Oud-Kwartair berustte dan ook voor het grootste deel op de bestudering van de overblijfselen van planten, met name op de pollenanalyse.

Chronostratigrafie

Het ging in het bovenstaande intussen nog om niets anders dan de indeling van de tijdsruimte van het Kwartair. Wij hebben ons echter

Het Kwartair, problemen en methoden

ook bezig te houden met de afzettingen die gedurende het Kwartair werden gevormd. De helft van het oppervlak van België en praktisch heel Nederland en het aangrenzende deel van Duitsland ontstonden in deze tijd. Het zou nu zeer eenvoudig zijn wanneer gedurende elk van de koude en warme perioden een bepaalde als zodanig te herkennen afzetting was ontstaan. Die afzettingen zouden dan zonder meer kunnen worden aangeduid met de namen uit de tabel. De tijdgrenzen zouden samenvallen met de laaggrenzen, men zou te maken hebben met chronostratigrafische eenheden. Inderdaad is dat het geval voor enkele formaties, b.v. voor de glaciële afzettingen, die immers alleen en uitsluitend door de aanwezigheid of althans nabijheid van landijs tot stand kwamen; al 'vullen' deze afzettingen niet het hele betreffende koude tijdvak omdat nu eenmaal slechts gedurende een deel ervan het ijs binnen onze grenzen lag.

Het kan tot op zekere hoogte evenzeer voor de interglaciële mariene lagen als die van Holstein en Eem, die bij ons alleen konden worden neergelegd doordat de zee in de warme tijd overvol was en (gedurende een deel van de warme tijd) enkele baaien kon binnendringen. Het zou ook nog kunnen voor bepaalde goed te onderscheiden kleilagen, die duidelijk door 'koude' of 'warme' plantengezelschappen gekenmerkt zijn. Maar het wordt wel heel moeilijk voor de meeste andere afzettingen waaruit onze ondergrond bestaat als b.v. het grind en het zand. Grind- en zandpakketten bevatten namelijk in de regel geen plantaardige resten of andere kenmerken die onmiskenbare klimaatindicatoren zijn (men bedenke bovendien dat grote delen van deze pakketten alleen door onderzoek van boormonsters bestudeerd kunnen worden; bepaalde structuren, die b.v. bij onderzoek in grindgroeven mogelijk klimaatconclusies toelaten, vallen daardoor noodgedwongen buiten de beschouwing). Niet zelden bleek dat soms een zandpakket, dat op zichzelf een eenheid vormt, niettemin gedurende enkele op elkaar volgende koude en warme tijden werd opgebouwd, terwijl aan de andere kant in één zelfde tijd twee of meer duidelijk van elkaar te onderscheiden formaties naast elkaar konden worden neergelegd.

Lithostratigrafie

Wanneer ergens een licht hellend vlak langzaam door een stijgende zee wordt overstroomd, terwijl in het kustgebied in moerassen veengroei optreedt, zal zich een veenlaag ontwikkelen als in fig. 17 boven is afgebeeld. De verschillende delen van die veenlaag zijn echter niet even oud. Het deel bij A kwam eerder tot stand dan het gedeelte bij B. Evenzo kan het sediment van een rivier die zich verplaatst of haar

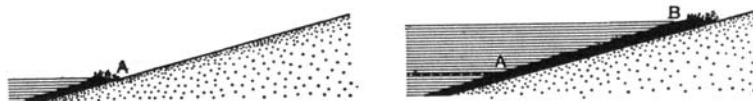


Fig. 17. Gesteentegrenzen en tijdgrenzen vallen niet altijd samen. In het afgebeelde geval groeit een veenlaag tegen een flauwe helling op en wordt daarbij in de loop van de tijd door een zich steeds verder naar rechts uitbreidend kleipakket bedekt.

afzettingsgebied uitbreidt en tenslotte weer inkrimpt, een uit zand en grind (en enige klei) bestaand pakket vormen waarvan de grenzen niet met bepaalde tijdvakken samenvallen.

Al deze omstandigheden zijn er dus samen de oorzaak van dat men de verschillende formaties niet zonder meer met de tijdsbenamingen kan aanduiden. De formaties zijn geen *chronostratigrafische* maar *lithostratigrafische* eenheden (vgl. Zonneveld 1958).

Natuurlijk is bij het onderscheiden van deze eenheden, daar waar de grenzen met die van verschillende tijden samenvielen dankbaar van deze omstandigheden gebruik gemaakt. Maar het besef dat men de lithostratigrafische eenheden niet per se behoefde te koppelen aan de tijdsindeling voorkwam dat men zich verplicht voelde bij het opstellen van een overzicht als dat van tabel 3 op p. 319 de verschillende lagen in het systeem der glacialen en interglacialen te wringen.

Korrelgrootte

Hoe onderscheidt men nu deze lithostratigrafische eenheden van elkaar? In de eerste plaats is er de korrelgrootte of wel de grofheid van het materiaal. Er zijn eenheden, die in hoofdzaak fijnkorrelig zijn zoals de Formatie van Kedichem, die vooral uit fijne zanden en kleien is opgebouwd. Andere, zoals de Formaties van Sterksel en Vianen, bestaan uit grof zand met grind. Daardoor is het in de regel niet moeilijk de grens tussen b.v. de Formaties van Kedichem en Sterksel aan te wijzen. Maar de grofkorrelige Formaties van Sterksel en Vianen houdt men op grond van de korrelgrootte alléén niet uit elkaar. Zij zijn namelijk ongeveer 'even grof'. De samenstelling van het grind biedt hier echter uitkomst. Zo bevat de eerstgenoemde per honderd grindsteentjes meer kwarts en de tweede naar verhouding meer zandsteen en ander materiaal.

Zware-mineralenanalyse

Ook het zandbestanddeel zelf geeft—althans bij nader onderzoek—vaak verschillen te zien. Zand bestaat wel voor een groot deel uit

JAARVELD 484/4

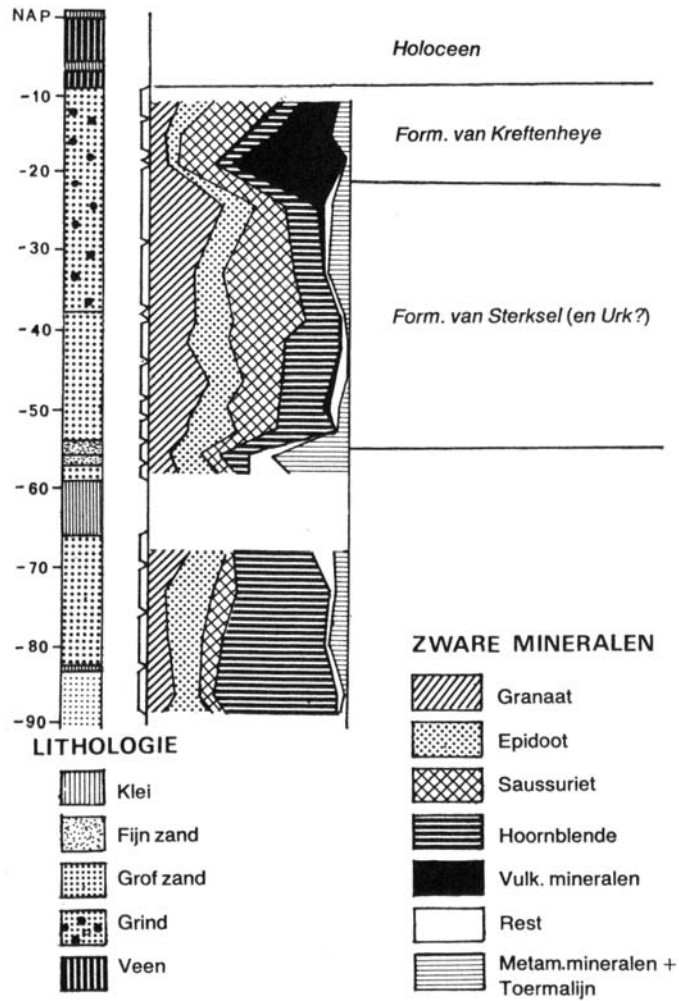


Fig. 18. Een zware-mineralendiagram van een boring bij Jaarsveld.

Het Kwartair, problemen en methoden

kwarts en wat veldspaat, maar tussen deze zeer algemene zandkorrels in bevinden zich nog andere minerale deeltjes. Het zijn de zogenaamde 'zware mineralen' die, al maken ze gewoonlijk niet meer dan enkele procenten uit van het totaal, toch voor ons doel van grote betekenis zijn doordat zij een grote verscheidenheid te zien geven. Ze worden 'zwaar' genoemd omdat zij zich van de kwarts en de veldspaat onderscheiden door hun grotere soortelijke gewicht. Representanten van deze groep zijn granaat, zirkoon, toermalijn, topaas en nog een tien- of twintigtal andere mineralen, waarvan enkele—wanneer zij althans in kristallen optreden die wat groter zijn dan zandkorrels—bekendheid verwerven als edelstenen of halfedelstenen.

Roert men een zandmonster in een zware vloeistof als bromoform (s.g. 2,9) dan zullen de kwarts- en veldspaatkorrels blijven drijven en de zware mineralen zinken. Microscopisch onderzoek van de aldus uit het zand afgescheiden 'zware fractie' geeft dan de gelegenheid zich een beeld te vormen van de onderlinge getalverhoudingen van de mineraalkorrels. De Maas voert een andere mineraalassociatie aan dan de Rijn en bovendien hebben in de loop van de tijd de rivieren als het ware wijzigingen aangebracht in de door hen afgeleverde associaties. Zo biedt het zware-mineralenonderzoek de mogelijkheid onderscheid te maken tussen zanden, die 'zo op de hand' nauwelijks of geen verschillen vertonen (fig. 18).

Natuurlijk heeft men bij het onderscheiden van de lithostratigrafische eenheden die in tabel 3 bijeengebracht zijn, niet steeds maar een van de hier genoemde criteria gebruikt. Waar mogelijk werden zowel de korrelgrootte, het al of niet mariene of fluviaatiele karakter van het sediment als de grind- en de zware-mineralenassociaties in de beschouwing opgenomen en niet te vergeten de relatieve ouderdom zoals deze uit paleontologisch onderzoek (b.v. pollenonderzoek) kan worden bepaald.

TEPHROCHRONOLOGIE

Een correlatiemethode, die in vulkanische gebieden kan worden toegepast is de tephrochronologie, waarbij gebruik wordt gemaakt van de aslagen (tephra = vulkanische as) die bij uitbarstingen in de wijde omgeving van de vulkaan worden neergelegd. In ons deel van Europa heeft in dit opzicht het Eifel-vulkanisme een zekere rol gespeeld. Zo geeft het al of niet aanwezig zijn van vulkanische mineralen in de Rijnzanden aan, of die zanden ná dan wel vóór de pleistocene uitbarstingen werden gevormd. De aslaag die in de Allerød-tijd door de Laachersee-uitbarsting werd gevormd en die tot in België, N. en Z. Duitsland in lössen en veenafzettingen worden teruggevonden (zie

Het Kwartair, problemen en methoden

pag. 234), bood de mogelijkheid deze verschillende afzettingen met elkaar te correleren.

OUDERDOMSBEPALING

Bij het spreken over de ouderdom van afzettingen moet men onderscheid maken tussen *relatieve* en *absolute* ouderdom.

Men heeft een relatieve ouderdom bepaald, wanneer men de volgorde heeft kunnen vaststellen waarin de desbetreffende afzettingen de een na de ander gevormd werden. Overzichten als die van fig. 16, fig. 18 en tabel 1 (afgezien van de linkerkolom) geven een inzicht in de relatieve ouderdom.

Van een absolute ouderdom is sprake wanneer het mogelijk bleek in jaren uit te drukken hoe lang het geleden was dat de bewuste afzettingen, gesteenten of structuren tot stand kwamen. Er zijn in de loop van de tijd verschillende methoden ontwikkeld, die daartoe gelegenheid geven. Enkele daarvan zijn:

Radiocarbon-methode

De radiocarbon-methode, ook wel de C^{14} -methode genoemd, berust op het feit, dat er een radioactief koolstofsotoop bestaat met het atoomgetal 14. Het wordt in de atmosfeer gevormd doordat kosmische stralen stikstofatomen bombarderen waardoor C^{14} ontstaat. Deze radioactieve koolstof valt vervolgens uiteen, waarbij na ca. 5730 jaar de oorspronkelijke hoeveelheid gehalveerd is. Anders gezegd: de halveringstijd is ca. 5730 jaar. Het verspreidt zich door de atmosfeer en wordt met de 'gewone' koolstof door de levende organismen opgenomen. Zo lang het organisme leeft en zich door stofuitwisseling in stand houdt, blijft het gehalte aan C^{14} in de weefsels constant. Zodra het sterft wordt echter geen nieuwe C^{14} meer opgenomen en begint het gehalte af te nemen.

Het is nu mogelijk op grond van de verhouding tussen de 'normale' koolstof en radioactieve koolstof (C^{14}), en rekening houdend met de genoemde 'halveringstijd', vast te stellen hoe lang het geleden is dat in de overblijfselen van een organisme (b.v. houtskool, bot, schelpmateriaal) de vermindering van het C^{14} -gehalte begon. Men kan daarbij gaan tot ca. 50.000 à 70.000 jaar.

Kalium-argon methode

De kalium-argon (K/Ar)-methode berust op de radioactiviteit van het isotoop K^{40} , dat uiteen valt en daarbij o.a. het edelgas Argon (Ar) levert. Door bepaling van de verhouding tussen K en Ar kan de tijd worden vastgelegd gedurende welke in een bepaald mineraal (b.v.

Het Kwartair, problemen en methoden

bioliet of hoornblende) het radioactieve proces zich voltrokken heeft, m.a.w. hoe lang geleden het bewuste mineraal ontstond.

De halveringstijd van K^{40} is aanzienlijk langer dan die van C^{14} , de 'ouderdommen', die ermee bepaald kunnen worden dus ook. De methode is daardoor geschikt voor bepalingen in de orde van enkele honderdduizenden tot enkele miljoenen jaren. Het zijn vooral stollingsgesteenten als lava's en basalten, maar ook vulkanische assen waarvan men op deze manier de ouderdom heeft kunnen bepalen.

Geomagnetisme

Tenslotte wordt hier een methode genoemd, die berust op veranderingen in het aardmagnetisme. Zij geeft op zichzelf geen absolute ouderdom, maar kan toch, in combinatie met b.v. de K/Ar-methode interessante resultaten opleveren.

De methode berust op het feit, dat gedurende de loop van de geologische tijden het aardmagnetisme bij herhaling is 'omgepoold', waarbij de magnetische noordpool zuidpool werd en andersom. Nu kan men aan een gesteente, waarin magnetische mineralen voorkomen nagaan hoe het aardmagnetische veld gedurende het ontstaan van dat gesteente georiënteerd was: bij de vorming of eventueel de sedimentatie van die magnetische mineralen richtten deze zich namelijk overeenkomstig het toen heersende aardmagnetische veld. Zo wijzen a.h.w. de 'magneetnaaldjes' van afzettingen uit een bepaalde periode naar het noorden, die uit andere perioden wijzen naar het zuiden, ze hebben een tegengestelde 'polariteit'.

Nauwkeurige vergelijking van gegevens over de gehele wereld heeft het mogelijk gemaakt een overzicht samen te stellen van de 'ompolingen', die zich in de loop van de laatste miljoenen jaren hebben voorgedaan. Daarbij werden voornamelijk K/Ar-bepalingen voor de vaststelling van de absolute ouderdom van de ompolingsperioden gebruikt.

Blijkt nu een afzetting of een lavastroom gevormd te zijn in een periode met een aardmagnetische richting gelijk aan de tegenwoordige, dan weet men in elk geval dat de ontstaansperiode niet samenviel met tijden waarin de aarde tegengesteld gemagnetiseerd was. Vindt men binnen een pakket de sporen van een ompoling van de ene in de andere richting, dan geeft vergelijking met de ompolingsgeschiedenis weer extra aanknopingspunten. Bij de vaststelling van de ouderdom van afzettingen uit het 'Cromer Complex' en de Formatie van Tegelen werd van deze methode gebruik gemaakt. Zoals uit de linkerkolom van fig. 11 blijkt houdt men er tegenwoordig (mede op grond van geomagnetische overwegingen) rekening mee, dat de Kwartaire tijd ca. $2\frac{1}{2}$ miljoen jaar geleden begon.