

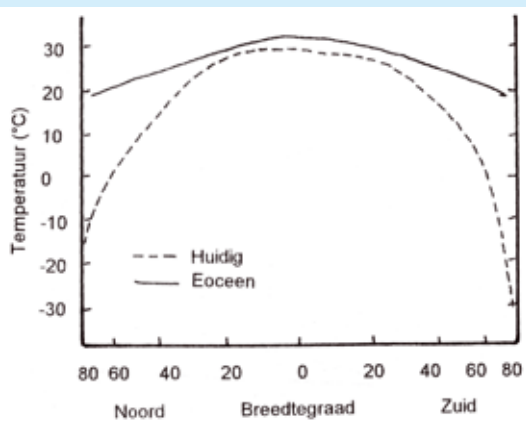
Klimaatveranderingen in het Pleistoceen en Holoceen:

de Kwartaire IJstijd – deel 2: het Holoceen

door Wim de Vries

In deel 1 van dit tweeluik (dat is uitgekomen in het decembernummer van vorig jaar), is het klimaat van het Pleistoceen beschreven. Deel 2 gaat over de laatste 11.000 jaar van onze Aardse geschiedenis, het Holoceen. Dit tijdvak wordt ook wel aangeduid als 'na de IJstijd', of correcter: 'na de – laatste – glaciale periode van de Kwartaire ijstijd'. Het Holoceen is echter niet meer dan een interglaciale periode, vergelijkbaar met warme perioden tussen de Pleistocene glacials. Aangenomen wordt dat het klimaat het optimum van het huidige interglaciaal al is gepasseerd en dat we de graduele afkoeling naar het volgende glaciaal tegemoet kunnen zien.

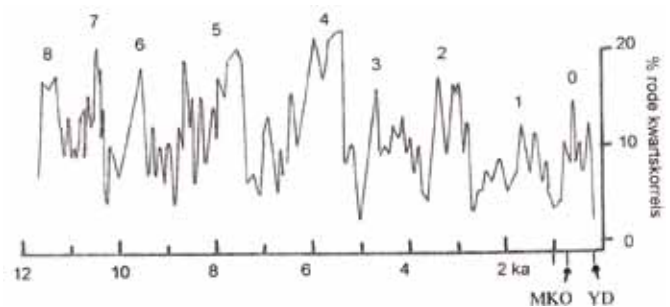
Karakteristiek voor een glaciaal is dat de klimaatzones van de hogere breedten naar het zuiden opschuiven en veel smaller worden, terwijl de savannegordel en de tropen nauwelijks veranderen. De klimaatverschillen op Aarde worden dan dus belangrijk groter, vooral omdat het klimaat op de hogere breedten veel kouder wordt. Andersom geeft de temperatuurverhoging naar een interglaciaal een verschuiving van veel klimaatgordels naar hogere breedten, terwijl de tropen en subtropen slechts in geringe mate veranderen van uitbreiding en gemiddelde temperatuur. Dit is ook het geval geweest tijdens het Mesozoïsche klimaatoptimum: de temperatuurverschillen op Aarde waren toen niet veel meer dan 12°C - heden is het temperatuurverschil tussen de tropen en de poolgebieden rond de 65°C - terwijl de maximum temperatuur in de tropengordel nauwelijks hoger was dan tegenwoordig. Afb. 1



Afb. 1. Temperatuurvariaties in de tropische en arctische gebieden tijdens het warme Eoceen en het huidige klimaat.

Vaak wordt aangenomen dat het klimaat in het Holoceen zeer stabiel is geweest. Er is echter, vooral in de laatste twintig jaar, veel bekend geworden over Holocene klimaatvariaties; zij lijken niet wezenlijk te verschillen van die van het Pleistoceen, zij het dat de temperatuurvariaties duidelijk minder groot zijn. Ook tijdens het Holoceen zijn er plotselinge klimaatvariaties opgetreden van het Dansgaard-Oeschgertype; (de korte, snelle temperatuurvariaties tijdens het Pleistoceen). Deze zijn onder

meer gevonden door variaties in de $\delta^{18}\text{O}$, door het voorkomen van detritisch materiaal in de diepzeesedimenten van de Atlantische Oceaan, en door variaties in foraminiferensoorten in het diepzeesediment. Deze foraminiferen, die aan het zeeoppervlak leven, zijn gevoelig voor de temperatuur van het zeewater. De koudere Holocene klimaatvariaties worden Bond-gebeurtenissen genoemd. Er wordt een negental van deze Bond-cycli onderscheiden (Afb. 2).

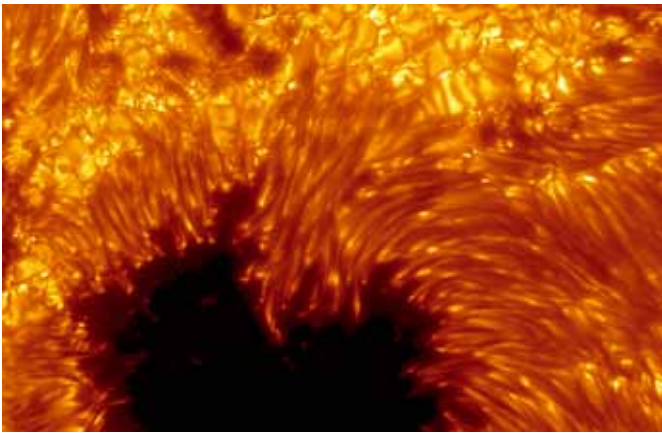


Afb. 2. De Bond-cycli worden afgeleid aan het gehalte aan roodgekleurde kwartskorrels (afkomstig van rode Permische en Triadische zandsteen langs de kusten van Labrador en Groenland) in diepzeesedimenten van de noordelijke Atlantische Oceaan. De cijfers geven de hoogtoppen van de Bond-cycli aan (NB: de toppen van de curve geven de koudste momenten aan) (KIJ = Kleine IJstijd; MKO = Middeleeuwse KlimaatOptimum).

Voorbeelden van de belangrijkste Holocene klimaatvariaties zijn:

- Een zoetwatervloed aan het begin van het Holoceen, 10.800 jaar geleden, heeft gezorgd voor het onderbreken van de Golfstroom; deze vloed heeft in Ontario in Canada enorme hoeveelheden rolstenen achtergelaten die tot 2 meter groot zijn.
- Het leeglopen van een smeltwatermeer aan de rand van de ijskap nabij de Hudson Baai, 8200 jaar geleden, zorgde voor een, zij het zeer korte, verstoring van de watercirculatie in de noordelijke Atlantische Oceaan; de stilstand duurde slechts 80 jaar. Toch veroorzaakte deze gebeurtenis een temperatuurverlaging van rond de 4°C in Noord-Amerika en Europa. Dit leeglopen van het smeltwatermeer was verantwoordelijk voor de laatste van de catastrofale verstoringen van het Noord-Atlantische stroompatroon; er waren daarna geen voldoende grote hoeveelheden smeltwater meer beschikbaar.
- Daarnaast zijn er meerdere cyclische variaties aangetoond met zeer uiteenlopende cyclustijden. Een van de belangrijkste is die met een tijdspanne van ongeveer 1400 tot 1500 jaar; dit is de zogenoemde 1470-jarige cyclus. De duur van opeenvolgende cycli kan echter meer dan honderd jaar verschillen. De klimaatvariaties hierdoor zijn gering, de temperatuurverschillen bedragen maximaal 2°C.

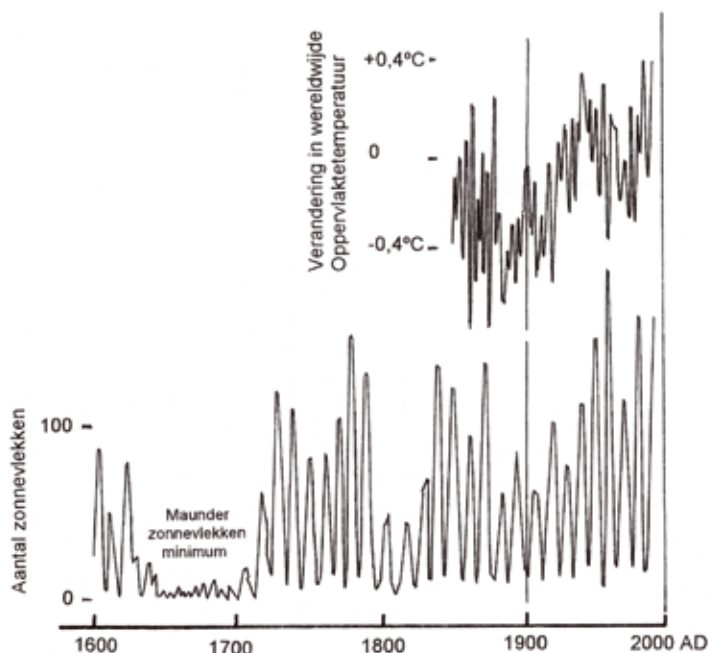
Wat de oorzaak is van het optreden van deze laatstgenoemde en andere cycli in het Holoceen is vaak nog onzeker, maar opvallend is dat vele parallel lopen met fluctuaties in de hoeveelheden radioactieve isotopen van, onder meer, koolstof en beryllium. Deze elementen worden geproduceerd door kosmische straling



Afb. 3. Deze foto van de zon laat haarscherp de randen zien van een zonnevlek (het donkere deel ter grootte van een planeet). De foto is gemaakt op 15 juli 2002 door de Swedish Solar Telescope die op het Canarische Eiland La Palma staat.

die in botsing komt met elementen in de atmosfeer. Er is dus een duidelijke relatie tussen deze cycli en de door de Aarde ontvangen kosmische straling, en die hoeveelheid hangt samen met de activiteit van de zon (Afb. 3, 4).

Een gedeelte van de zonnestraling, vooral die welke afkomstig is van de donkere vlekken van de zon, bestaat uit ionen (atomen die - gedeeltelijk - gestript zijn van hun elektronen). Deze



Afb. 4. Aantal zonnevlekken (gemiddelden van de 11-jarige cyclus) en de gemiddelde wereldtemperatuur van het laatste gedeelte van de Kleine IJstijd tot heden (het Maunder-minimum valt samen met de koudeperiode van de Kleine IJstijd. Ook de afkoeling tussen 1945 en 1975 is te zien).

bewegen zich langs de magnetische krachtlijnen van het Aardse magneetveld. De laag ionen om de Aarde geeft, naast het aardmagneetveld zelf, extra bescherming aan het leven tegen de dodelijke kosmische straling die afkomstig is van de Melkweg. Als er minder kosmische straling in de Aardse atmosfeer terechtkomt, worden er in de atmosfeer minder radioactieve isotopen gevormd. Tijdens fasen van sterkere activiteit van de zon is het gehalte aan, onder meer, ^{14}C en ^{10}Be duidelijk lager. De meest recente Bond-cyclus is duidelijk terug te vinden in de historische klimaatgeschiedenis. Het zogenoemde Middeleeuw-

se Klimaatoptimum duurde van 800 tot 1300 AD, de daarop volgende koude periode (de 'Kleine IJstijd') duurde van 1300 tot 1870 AD. Enkele voorbeelden van lagere gemiddelde temperaturen in de afgelopen duizend jaar zijn: Centraal Engeland: rond 2°C ; Groenland: ruim $2,5^{\circ}\text{C}$; het water van de Sargasso Zee eveneens $2,5^{\circ}\text{C}$. Daarnaast was het op veel plaatsen gedurende het Middeleeuwse Klimaatoptimum ruim twee eeuwen lang droger dan de afgelopen 150 jaar.

De 1470-jarige cyclus is bij lange na niet de kortste van de regelmatige variaties in het klimaat; er komen nog een aantal korte cycli voor. Een van de bekendste is de ruim 11-jarige cyclus die samenhangt met de hoeveelheid zonnevlekken. Het aantal zonnevlekken is verantwoordelijk voor de hoeveelheid zonnestraling die de Aarde ontvangt (zie Afb. 5). Het temperatuurverschil op Aarde bedraagt hierdoor slechts rond de $0,1^{\circ}\text{C}$, maar toch komt het verschil onder meer in Nederland tot uiting in jaren met strengere winters waarin er soms geschaatst kan worden op natuurijs.

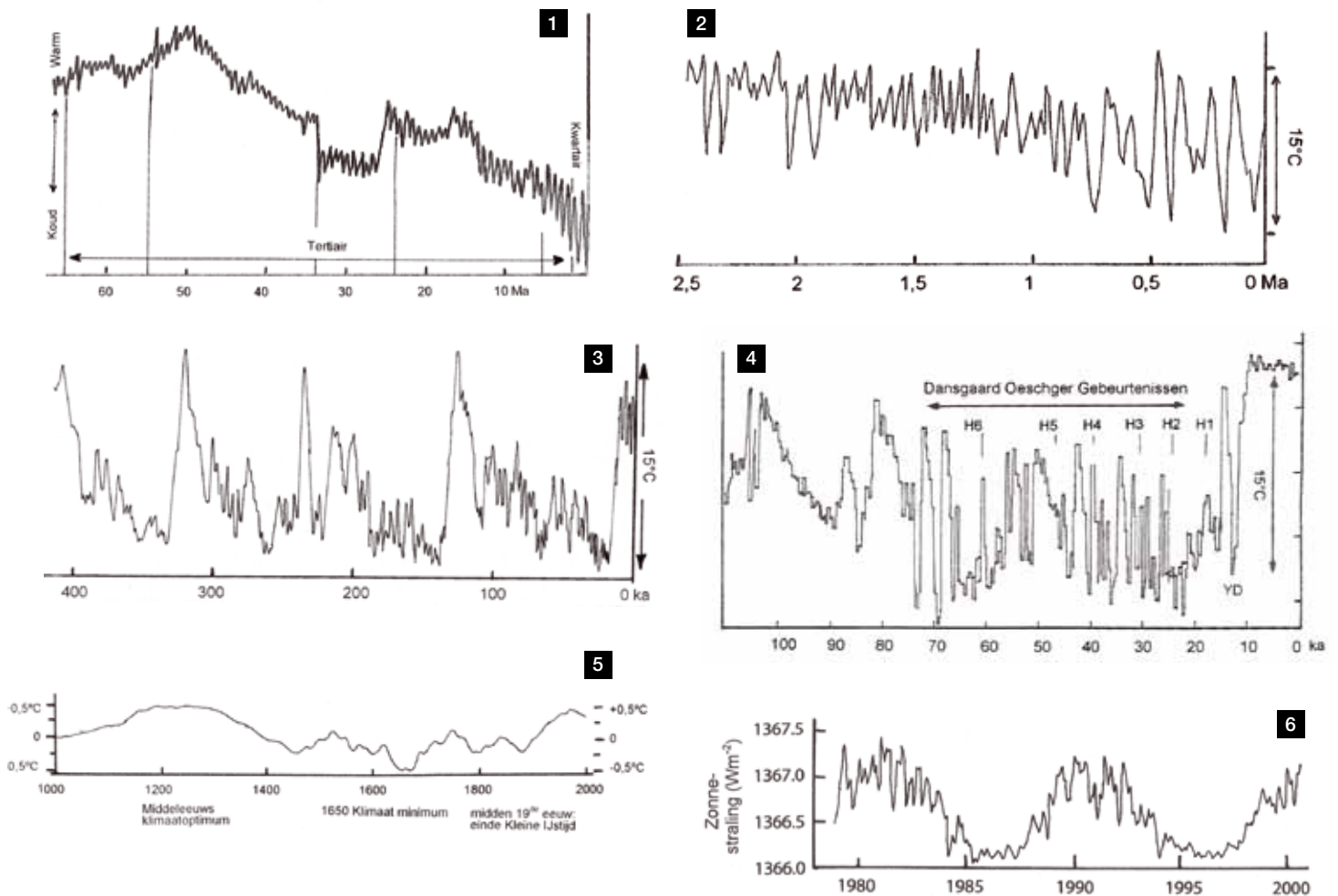
Daarnaast zijn er nog een aantal andere cyclische variaties die verband houden met het aantal en de activiteit van zonnevlekken. Er is een cyclus van ruim 22 jaar; één die tussen de 80 en 90 jaar duurt; en enkele kortere cycli van 8,8, 6,4 en 4,7 jaar, alle gevonden door statistisch optredende isotopenvariaties. Een veel langere cyclus is het 2600-jaar interval, waarvan de Aarde zich de afgelopen paar eeuwen op het hoogtepunt bevindt (de top viel samen met de Kleine IJstijd). De effecten van de voorlaatste cyclus zijn in de menselijke geschiedenis terug te vinden in, onder meer, zeer natte perioden met veel overstromingen van de grote rivieren van Europa en sterke groei van het hoogveen in Nederland. Veel boeren zijn toen uit West-Friesland weggetrokken.

Voor alle klimaatvariaties die waarschijnlijk in belangrijke mate samenhangen met de activiteit van de zon, geldt dat zij in het algemeen niet leiden tot grote veranderingen. De Aarde dient mee te werken, zoals bijvoorbeeld gebeurt door de versterking van de koude doordat de albedo toeneemt door de uitbreiding van sneeuw en ijsvelden. De gletsjers van onder meer Alaska, Zwitserland, Oostenrijk en IJsland hebben zich tijdens de Kleine IJstijd sterk uitgebreid: dit was de grootste uitbreiding van gebergtegletsjers sinds de Jongere Dryas! De Kleine IJstijd, die zijn hoogtepunt had rond het jaar 1830, was de koudste periode van het Holoceen.

Daarnaast kan de Aarde ook haar medewerking verlenen door veranderingen in de oceaancirculatie, zoals we gezien hebben in de verstoringen van de Golfstroom (zie deel 1); daarnaast zijn er onder meer variaties in de cycli van El Niño-La Niña in de Grote Oceaan. Daarbij is ook aangetoond dat tijdens de Kleine IJstijd de Golfstroom rond 10% zwakker was dan tijdens de warmere tijdvakken. Het is daarbij nog allerminst met zekerheid bekend welke factoren oorzaak of gevolg zijn voor de variaties in het klimaat tijdens het Holoceen.

Het Middeleeuwse Klimaatoptimum en de 'Kleine IJstijd' hebben in de menselijke geschiedenis nog een beroemd spoor achtergelaten. Aan het einde van de 10de eeuw (tijdens het klimaatoptimum) vestigden de Vikingers zich in het zuiden van Groenland, waar toen ruim voldoende graan verbouwd kon worden voor mens en vee; het voedsel bestond voor 80% uit producten van het land en 20% uit zee. Enkele eeuwen later, aan het begin van de Kleine IJstijd, was graanbouw vrijwel niet meer mogelijk en werd 80% van het voedsel uit zee verkregen. De omstandigheden op zee verslechterden snel door de grotere verspreiding van drijfsijs in de noordelijke Atlantische Oceaan; de verbindingen met Europa werden moeilijker. De Vikingers zijn in de loop van de 15de eeuw van Groenland verdwenen; er is niets bekend over hun lot.

Tijdens het Middeleeuwse Klimaatoptimum kon er op het Europese vasteland ruim voldoende voedsel worden verbouwd en waren de landeigenaren en de kerk rijk. Er was geld en mankracht te over om de grote kathedralen van Europa te bouwen met hun indrukwekkende, dure en bewerkelijke beelden



Afb. 5. Een overzicht:

1. De Grote Afkoeling van einde Krijt tot heden.
2. De variaties in de temperatuur gedurende de afgelopen 2,5 miljoen jaar.
3. De afwisseling van de glaciële en interglaciële perioden van de afgelopen 400.000 jaar.
4. Heinrich- en Dansgaard-Oeschgergebeurtenissen na de laatste glaciële periode.
5. Van het Middeleeuwse Klimaatoptimum en de Kleine IJstijd tot heden.
6. De 11-jarige cyclus van de zonnevlekken.

en versieringen. Toen het klimaat slechter werd, aan het begin van de Kleine IJstijd, verminderde de voedselproductie, er moesten meer mensen worden ingezet in de landbouw en er was geen tijd en geld meer voor de bouw van grote werken. De Kleine IJstijd heeft vele prachtige wintergezichten opgeleverd van de bekende Hollandse schilders; aangenomen mag worden dat de schilders niet allemaal eens in de 11 jaar op een rijtje hebben gezeten om het zeldzame wintertafereel vast te leggen.

Een recentere interessante gebeurtenis is de koudeperiode tussen 1955 en 1965 met gemiddelde temperaturen die tegen de één graad Celsius lager waren dan in de voorafgaande periode. De dreiging van de wereldwijde afkoeling werd zo serieus genomen dat, midden in de Koude Oorlog, er overleg geweest is tussen de Sovjet Unie en de Verenigde Staten over de mogelijkheid tot afsluiting van de Bering Straat tussen Alaska en Siberië.

We bevinden ons op het ogenblik nog altijd in de herstelfase van de Kleine IJstijd, we merken dit aan het nog altijd kleiner worden van veel gletsjercomplexen; de Alpengletsjers hebben hun – geringe – grootte zoals die was gedurende het Klimaatoptimum nog niet bereikt. En op de zuidpunt van Groenland wordt de laatste paar jaar weer voorzichtig geëxperimenteerd met de verbouw van graan. Afb. 5.

Een goede raad

'Recent concerns about the possible effects of the man-made greenhouse gases have only heightened the need to understand the basic natural processes that cause the climate to change' (Broecker).

Meer over deze en aanverwante onderwerpen vindt U in:

- Broecker, W. (2010). *The Great Ocean Conveyor. Discovering the Trigger for Abrupt Climate Change*. Princeton University Press.
- Duff, D. (1998). *Holmes Principles of Physical Geology*. 4th edition. Stanley Thornes.
- Fagan, B. (ed.), (2009). *The Complete Ice Age: How Climate Change Shaped the World*. Thames & Hudson.
- Holmes, A. (1965). *Principles of Physical Geology*. Nelson.
- Imbrie, J. en Imbrie, P.K. (1986). *Ice Ages: Solving the Mystery*. Harvard University Press.
- Kroonenberg, S. (2006). *De Menselijke Maat: de Aarde over Tienduizend Jaar*. Atlas.
- Kurtén, B. (1972). *The Ice Age*. Rupert Hart-Davis, London.
- Macdougall, D. (2004). *Frozen Earth: The Once and Future Story of Ice Ages*. Univ. of California Press, Berkeley.