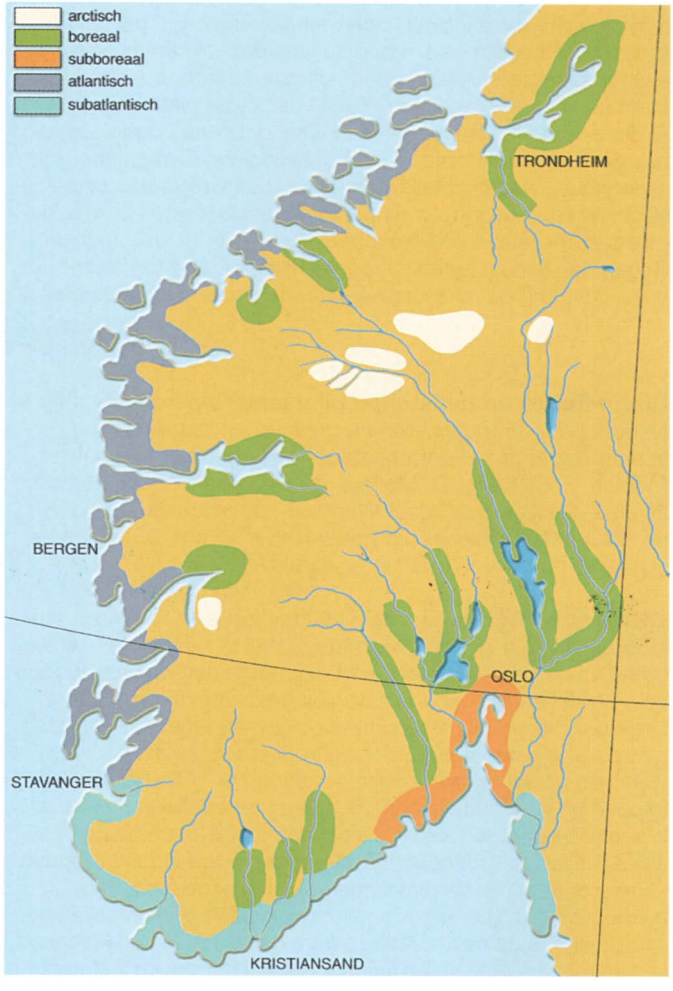
Zijn wij schuldig aan klimaatverandering of is het de Zon?

door Bas van Geel
Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteem Dynamica, Universiteit van Amsterdam
vangeel@science.uva.nl

Het Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) laat er weinig twijfel over bestaan: de mens is verantwoordelijk voor de toename van broeikasgassen en is daarmee schuldig aan een onnatuurlijke opwarming. De invloed van het IPCC op de regeringen van de geïndustrialiseerde landen is groot. Het Kyoto-protocol moet leiden tot een reductie van de uitstoot van kooldioxide, maar veel zal dat niet helpen. In dit artikel komt de vraag aan de orde of de IPCC-conclusies wel juist zijn. Biogeologisch onderzoek wijst namelijk op een heel belangrijke rol van de zon bij klimaatveranderingen in het verleden. Het klimaat blijkt hypergevoelig voor kleine veranderingen in de activiteit van de zon. De kans is groot dat niet alleen in het verleden maar ook nu, en in de toekomst, de rol van de zon domineert over een (eventueel) versterkt broeikaseffect. In misdaadseries op de televisie - maar ook in werkelijkheid - komt het wel eens voor dat een onschuldig persoon zich gaat inbeelden dat hij schuldig is aan een misdaad. Psychologen spreken in zo'n geval van zelfbetrekkingswaan. Waar het gaat om de rol van de mens bij klimaatverandering is er mogelijk sprake van collectieve zelfbetrekkingswaan.



Afb. 1. Kaart van Zuid-Noorwegen met de door Axel Blytt in een publicatie van 1882 aangegeven gebieden die gekenmerkt worden door karakteristieke vegetatietypen, samenhangend met verschillen in temperatuur en neerslag. Dit patroon was het referentiekader voor Blytt bij zijn indeling van het Holoceen.

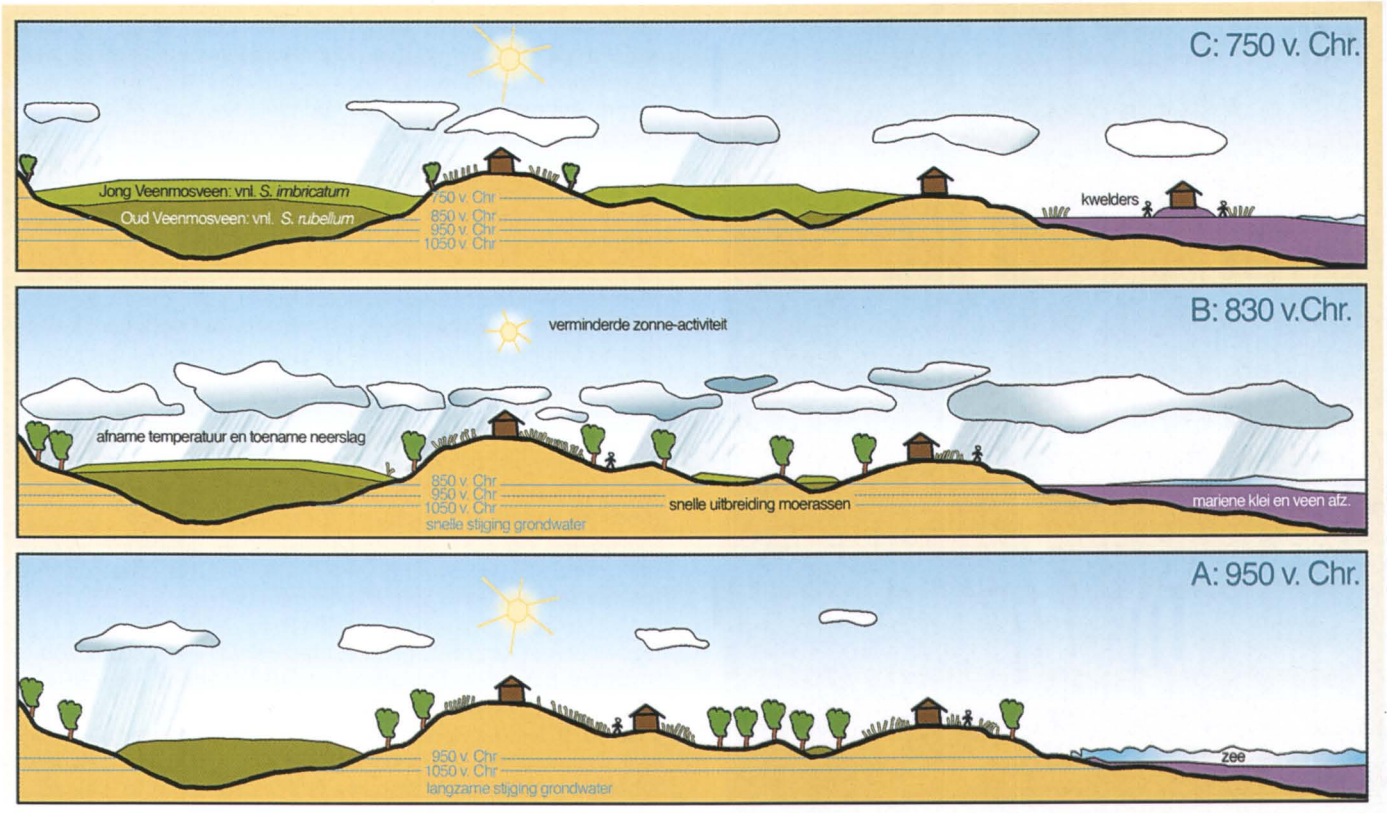
Veen als klimaatarchief

Veenafzettingen groeien als gevolg van onvolledige afbraak van planten en daardoor vormen ze een natuurlijk archief. Stuifmeelkorrels uit de wijde omgeving raken ingebed in het veen. Ze blijven bewaard en kunnen gedetermineerd worden. Paleo-ecologen reconstrueren de geschiedenis van de vegetatie en de factoren die daarbij een rol gespeeld hebben, zoals klimaatveranderingen en menselijke invloed. Behalve de geschiedenis van de vegetatie in de omgeving van het moeras kan ook de ontwikkeling van de veenvormende vegetatie zelf gereconstrueerd worden omdat resten van de planten die ter plaatse het veen gevormd hebben meestal nog herkenbaar zijn (takjes, blaadjes, zaden, etc.). De hoogvenen in noordwest Europa zijn bijzonder omdat ze voor wat betreft de watervoorziening voor de planten geheel op regenwater zijn aangewezen. Daardoor zijn hoogvenen erg gevoelig voor klimaatveranderingen.

Ruim honderd jaar geleden hebben de Scandinaviërs Blytt en Sernander een indeling gemaakt van het Holoceen, dat wil zeggen van de periode na de laatste IJstijd. De door hen onderscheiden opeenvolging van het Preboreaal, het Boreaal, het Atlanticum, het Subboreaal en het Subatlanticum was vooral gebaseerd op waarnemingen aan hoogveenprofielen. Veenafzettingen uit het Boreaal en het Subboreaal waren sterker vergaan (donkerder; meer geoxideerd) en dat veen bevatte veel resten van Struikheide en ook vaak stronken van dennen. Het was Blytt en Sernander duidelijk dat zulke donkere lagen gevormd waren tijdens relatief warme, droge perioden. Daarentegen waren de veenlagen uit het Atlanticum en het Subatlanticum licht gekleurd, weinig vergaan. De moerassen waren toen te nat voor de groei van bomen. De opeenvolgende klimaatfasen waren volgens Blytt en Sernander vergelijkbaar met de verschillen in neerslag, temperatuur en plantengroei die kenmerkend zijn voor verschillende delen van Zuid-Noorwegen (afbeelding 1 toont de door Blytt in een publicatie uit 1882 gegeven indeling van klimaat/vegetatie-zones). Uit later onderzoek weten we dat de indeling van het Holoceen wat al te simpel was: er zijn meer klimaatveranderingen geweest tijdens het Holoceen dan we kennen uit de indeling van Blytt en Sernander. Maar de overgang van Subboreaal naar Subatlanticum is zondermeer een van de meest ingrijpende klimaatveranderingen geweest. De auteur van dit artikel heeft tijdens de afgelopen 35 jaar verschillende afzettingen onderzocht waarin de overgang van Subboreaal naar Subatlanticum aanwezig was. Uitgebreid onderzoek en samenwerking met J. van der Plicht van het Groningse Centrum voor Isotopenonderzoek heeft geleid tot het ontdekken van de oorzaak voor deze klimaatverandering.

Veranderingen in West-Friesland rond 850 v. Chr.

Bij het aanleggen van de dijk tussen Enkhuizen en Lelystad kwam in 1976 onder de aangesneden Westfriese Omringdijk bij Enkhuizen een *in situ* veenlaag aan het licht. De archeoloog D.P. Hallewas werd gewaarschuwd en hij besefte dat er sprake was van een unieke kans om veen te bemonsteren dat elders in West-Friesland door oxidatie en afgraving verdwenen was. Samen met de archeobotanicus J.P. Pals heeft de auteur van dit artikel het veen onderzocht. Datering van de basis van de orga-



Afb. 2. Cartoon waarin de effecten van klimaatverandering in de periode van 950 v. Chr. tot 750 v. Chr. in Noord-Nederland in beeld gebracht worden. Tussen fase A en fase B nam de zonne-activiteit plotseling sterk af (overgang van Subboreaal naar Subatlanticum). Als gevolg daarvan trad er een grootschalige verandering op in de atmosferische circulatie. De regenbrengende westenwinden namen sterk in intensiteit toe. Dit leidde in NW-Europa tot een toename van de neerslag en een afname van de temperatuur. Daardoor vond er een abrupte stijging van de grondwaterspiegel plaats. Moerassen breidden zich snel uit, ondermeer ten koste van landbouwgrond. In de hoogvenen veranderde de soortensamenstelling van de veenmossen onder invloed van de gewijzigde klimatologische omstandigheden. Boeren in laaggelegen gebieden moesten verhuizen als gevolg van wateroverlast. Thermische contractie van oceaanwater leidde tot een tijdelijke stagnatie in de zeespiegelstijging. Voor het eerst ontstonden op grote schaal kwelders langs de Fries-Groningse kust. Deze gebieden vormden een ideale vestigingsplaats (vruchtbare bodem en goede drainage) voor boeren die elders hun land hadden moeten verlaten. In verband met de veiligheid werden terpen aangelegd. Toen de zonne-activiteit weer toenam bleef het klimaat toch nog voor langere tijd koeler en vochtiger dan in de periode voorafgaand aan de klimaatverandering.

nische afzetting onder de dijk wees op een plotselinge verhoging van de waterspiegel rond 850 v. Chr. Dat verschijnsel had overigens niet te maken met een verhoogde zeespiegel. Door toegenomen neerslag ontstond er plotseling een groot zoetwatermoeras in een gebied dat daarvoor gedurende ongeveer 1000 jaar bewoond was geweest door boeren. Er zijn sterke archeologische aanwijzingen dat vanaf 850 v. Chr. de boeren in West-Friesland in de problemen kwamen vanwege de plotseling stijgende grondwaterspiegel. Aanvankelijk probeerden ze zich te handhaven door op terpjes te gaan wonen en de akkers op de hogere delen in het landschap aan te leggen, maar na enkele decennia moesten ze toch het veld ruimen omdat het gebied één groot moeras was geworden. De zee was daaraan niet schuldig want juist in die tijd ontstonden kwelders langs de kust van Friesland en Groningen waar eerder een ondiepe zee en veenvormende moerassen elkaar in de tijd hadden afgewisseld. In afbeelding 2 wordt in een cartoon een beeld gegeven van de ontwikkeling in de tijd. De vermoedelijke rol van de zon en de daarmee verband houdende veranderingen in de intensiteit van de kosmische straling komen later in dit artikel aan de orde.

Hoogveenonderzoek

Uit zeer gedetailleerd onderzoek aan hoogveenafzettingen in Oost-Nederland en aangrenzend Duitsland bleek dat er rond 850 v. Chr. plotseling een verandering in de veenvormende soorten optrad. Afbeelding 3 toont een hoogveenprofiel in Drente waarin de overgang zichtbaar is. Op zichzelf was de aanwijzing voor een in het veen vastgelegde klimaatverandering niet zo bijzonder (Blytt en Sernander hadden daar destijds al de aandacht op gevestigd), maar een combinatie van zeer veel ^{14}C-dateringen en een zeer gedetailleerde studie van de veenvormende planten leverde een sterke aanwijzing voor de oorzaak: de zon bleek verantwoordelijk. Om een uitleg te kunnen geven over de relatie tussen de zon en het klimaat is het nodig eerst de vorming van ^{14}C en de rol die de zon daarbij speelt te belichten.

Koolstof-14

Het meest voorkomende isotoop van koolstof is ^{12}C. Daarnaast komen de isotopen ^{13}C en ^{14}C voor. Het onstabiele ^{14}C wordt gevormd in de hogere atmosfeer waar uit de kosmos afkomstige hoog-energetische protonen (^{1}H) binnendringen. Door botsing van die protonen met atmosferische gasmoleculen wordt een breed spectrum aan deeltjes geproduceerd, waaronder neutronen. Als die botsen met stikstof, kan de volgende reactie optreden: $^{14}N + {}^{1}n \rightarrow {}^{14}C + {}^{1}H$ (proton).
Het aldus gevormde koolstof-isotoop ^{14}C wordt snel geoxideerd tot CO_2 en verspreidt zich gelijkmatig over de atmosfeer naast het normale, niet-radioactieve CO_2 waarin ^{12}C of ^{13}C aanwezig is. Via fotosynthese wordt $^{14}CO_2$ opgenomen door planten en, via het voedsel, ook door dieren. Als gevolg daarvan is het atmosferische ^{14}C-gehalte ook in alle levende organismen aanwezig. Koolstof-14 is een onstabiel isotoop, met andere woorden het vervalt en daarbij wordt ^{14}N gevormd en ß-straling (elektronen) uitgezonden: $^{14}C \rightarrow {}^{14}N + ß$.
Zodra planten of dieren sterven wordt het ^{14}C-gehalte niet meer aangevuld terwijl het proces van verval tot stikstof wel plaatsvindt.

Zeer belangrijk is het verschijnsel dat ^{14}C vervalt met een bekende, constante snelheid. Omdat de vervaltijd meetbaar is kan het

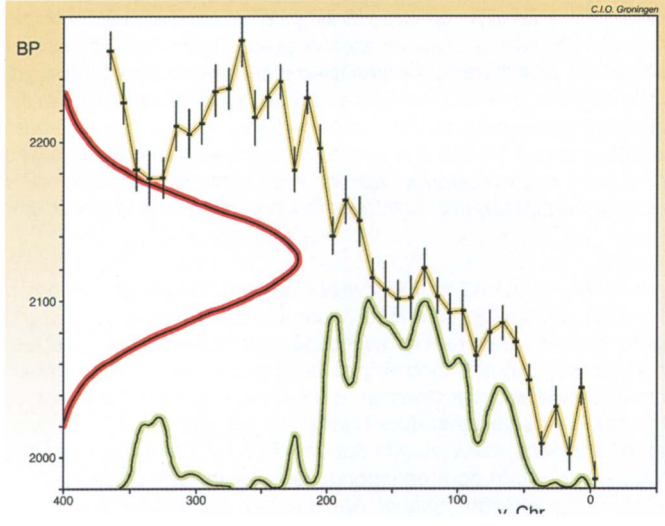
Afb. 3. Monstername door D. van Smeerdijk (links) en W.A. Casparie van een hoogveenprofiel in het Bargerveen (Drenthe). De overgang van Subboreaal naar Subatlanticum is aangegeven met een pijl.

onstabiele ^{14}C gebruikt worden als natuurlijke geologische klok. De klok begint te lopen zodra er geen nieuw ^{14}C meer wordt opgenomen omdat de plant of het dier gestorven is. De ouderdom kan berekend worden door te meten hoever het proces van isotoop-verval verlopen is. Daarbij meet men de radioactiviteit die nog over is (bij conventionele ^{14}C-datering), terwijl de onderlinge verhouding van de koolstof-isotopen kan worden gemeten met een versneller-massaspectrometer (^{14}C AMS-datering). De snelheid waarmee het radioactieve isotoop verdwijnt wordt uitgedrukt in de halveringstijd. Voor ^{14}C bedraagt deze 5730 ± 40 jaar; dat wil zeggen dat na ca. 5730 jaar de helft van het aanwezige ^{14}C vervallen is. Na een volgende periode van 5730 jaar is nog slechts een kwart van het onstabiele isotoop over, etcetera. Na ca. 50.000 jaar is de radioactiviteit zo sterk afgenomen dat een ouderdomsbepaling van oudere monsters met de ^{14}C-methode nauwelijks mogelijk is. Productie en verval van ^{14}C houden elkaar in de atmosfeer ongeveer in evenwicht waardoor het atmosferisch ^{14}C-gehalte min of meer constant is (niet echt constant; zie verder in deze tekst waar het verband tussen zon, klimaat en ^{14}C aan de orde komt).

De ouderdom van koolstofhoudend materiaal kan berekend worden door het ^{14}C-gehalte te bepalen. De resultaten van ^{14}C-dateringen worden gegeven in *years before present* (BP) waarbij volgens afspraak 'present' gelijk staat aan het jaar 1950. Bij elke ^{14}C-datering wordt door het betreffende ^{14}C-laboratorium een codenummer gegeven en tevens de standaarddeviatie. Koolstof-14-datering kan worden toegepast op allerlei koolstofhoudende materialen, zoals hout, houtskool, veen, meersediment, zaden en botten. Sinds de ontdekking van de bruikbaarheid van het isotoop ^{14}C voor dateringen (W. Libby, USA, eind jaren '40 van de vorige eeuw) heeft men een belangrijke herziening van de ^{14}C-tijdschaal doorgevoerd. Aanvankelijk was Libby ervan uitgegaan dat er in de loop der tijd geen significante veranderingen waren opgetreden in het atmosferische ^{14}C-gehalte. Toen men echter, via de dendrochronologie (jaarringonderzoek), op het jaar nauwkeurig gedateerd hout met de ^{14}C-methode ging dateren bleek dat in bepaalde tijdsintervallen de ^{14}C-ouderdom en werkelijke ouderdom nogal uiteen liepen. Er bleken in het verleden aanzienlijke natuurlijke variaties te zijn geweest in het atmosferische ^{14}C-gehalte:

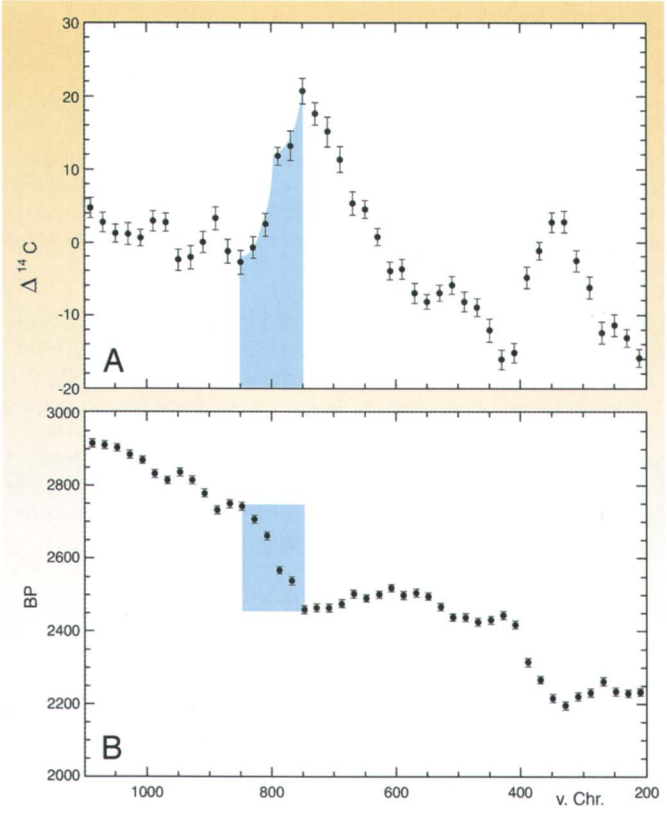
- er is een afwijkende trend over langere tijd, veroorzaakt door veranderingen in het aardmagnetisch veld.
- er zijn kortere variaties (*wiggles*), veroorzaakt door fluctuaties in straling afkomstig van de zon. Het is de 'zonnewind' (proton-electron gas van een lage dichtheid dat uit de zon tevoorschijn komt) die bepalend is voor de hoeveelheid kosmische straling die uiteindelijk in de omgeving van de aarde doordringt. Bij een minder actieve zon is er een zwakke zonnewind en dringt er veel kosmische straling door tot de aarde. De via de zon beïnvloede intensiteit van de kosmische straling is bepalend voor de hoeveelheid ^{14}C die wordt aangemaakt in de atmosfeer. Dus: bij lage zonneactiviteit wordt er veel ^{14}C gevormd en bij een actieve zon wordt er relatief weinig ^{14}C aangemaakt.

Tegenwoordig kan men, gebruik makend van een calibratiecurve correcties toepassen (calibreren) waarbij ^{14}C-ouderdom (BP-waarde) wordt omgezet in ouderdom in kalenderjaren. Voor geautomatiseerd calibreren zijn computerprogramma's beschikbaar waarmee ook niet-specialisten calibraties kunnen uitvoeren (afbeelding 4). De calibratiecurve (afbeelding 5A) is tot stand



Afb. 4. Voorbeeld van een calibratie van een ^{14}C-datering (2125 +/- 35 BP; de rode Gauss-curve op de y-as). Een relevant gedeelte van de calibratiecurve is in geel aangegeven. Het verband tussen ^{14}C-ouderdom en kalenderleeftijd is niet rechtlijnig: er zijn diverse 'wiggles' zichtbaar. De groene curve geeft de waarschijnlijkheid van de ouderdom op de kalender-tijdas aan. De piek rond 340 v. Chr. wordt veroorzaakt door een dal in de calibratiecurve. Het meest waarschijnlijke interval op de kalender-tijdas ligt tussen ca 200 v. Chr. en ca 60 v. Chr.

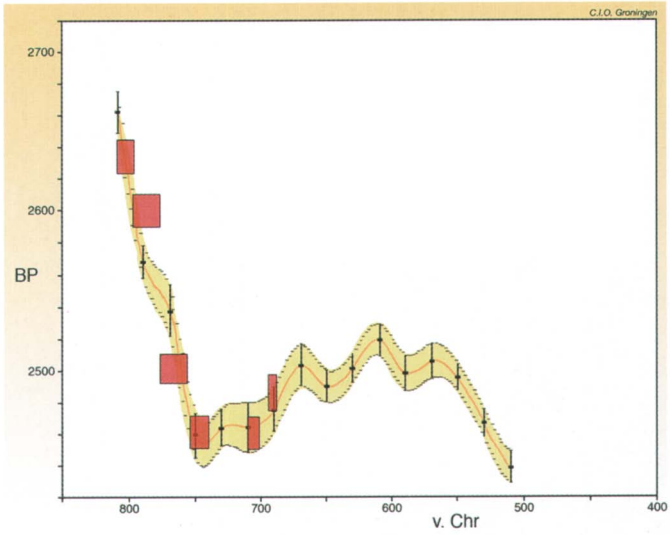
gekomen door de ^{14}C-ouderdom van jaarringen van bomen te plotten ten opzichte van de via de dendrochronologie bepaalde ouderdom in kalenderjaren. Die calibratiecurve omvat inmiddels het gehele Holoceen en laat fluctuaties zien die verband houden met variaties van het atmosferisch ^{14}C-gehalte in het verleden. De van de calibratiecurve afgeleide curve voor $\Delta^{14}C$ (afbeelding 5B) komt tot stand door te corrigeren voor het in de loop van de tijd opgetreden radioactief verval. Deze $\Delta^{14}C$ curve geeft de fluctuaties van het atmosferisch ^{14}C-gehalte te zien (in promilles verschil ten opzichte van het jaar 1950) en deze curve blijkt informatie te verschaffen over de rol van de zon bij klimaatveranderingen in het verleden.



Afb. 5 A. De ^{14}C-calibratiecurve voor de periode van 1100 tot 200 v. Chr. Op de horizontale as staat de ouderdom in kalenderjaren uitgezet. De verticale as geeft de ^{14}C ouderdom in BP. De calibratiecurve is gebaseerd op vele ^{14}C-metingen van exact (via dendrochronologie) gedateerd hout. De fluctuaties in de curve houden verband met door zonne-activiteit beïnvloede veranderingen in de intensiteit van de kosmische straling (^{14}C is een kosmogeen isotoop). Afb. 5 B. De veranderingen in het atmosferisch ^{14}C-gehalte worden berekend door de gegevens uit de calibratiecurve te corrigeren voor radioactief verval. De aldus van de calibratiecurve afgeleide waarden voor $\Delta^{14}C$ geven de fluctuaties van het atmosferisch ^{14}C-gehalte te zien in promilles verschil ten opzichte van een standaard. De $\Delta^{14}C$-curve blijkt informatie te verschaffen over de rol van de zon bij klimaatveranderingen in het verleden. Het blauwe deel in beide grafieken vertegenwoordigt de extreme klimaatfase aan het begin van het Subatlanticum. De ^{14}C-klok loopt tijdens die periode zeer snel (300 ^{14}C-'jaren' in ongeveer 100 kalenderjaren). De curve voor $\Delta^{14}C$ laat zien dat dit verband houdt met een tijdelijk sterk verhoogde aanmaak van ^{14}C (verminderde zonne-activiteit).

^{14}C *Wiggle-match dating* en klimaatonderzoek

Een enkele, op zichzelf staande ^{14}C-datering is meestal niet zeer exact als we een bepaalde gebeurtenis precies willen plaatsen in de tijd. Het gaat per slot om echte kalenderjaren en de omzetting van ^{14}C-'jaren' naar kalenderjaren (calibreren) betekent meestal een grote 'toename' van de onzekerheid (men kan ook zeggen dat ongecalibreerde dateringen vaak een schijn-exactheid ten aanzien van de ouderdom verschaffen). De BP-waarde van een datering met z'n standaarddeviatie (de rode curve in afbeelding 4) is in de eerste plaats een fysische waarde die aangeeft hoe radioactief het monster nog is; deze BP-waarde houdt wel verband met ouderdom, maar z'n ouderdomsbepaling blijkt vaak verre van exact te zijn na omzetting in kalendertijd (vaak een zeer onregelmatige afwisseling van maxima en minima op de kalendertijdas over een periode van soms wel enkele eeuwen; zie de groene curve in afbeelding 4. Bij de stap van ongecalibreerd naar gecalibreerd spelen de natuurlijke fluctuaties van ^{14}C, veroorzaakt door veranderende zonne-activiteit een rol. Voor perioden met een sterk fluctuerende zonne-activiteit wordt de precisie van een datering in kalenderjaren (na het calibreren dus) in het algemeen kleiner. Inmiddels kunnen we bij het dateren van meerafzettingen en venen bovengenoemd probleem omzeilen. We maken namelijk bij ^{14}C-wiggle-match dating

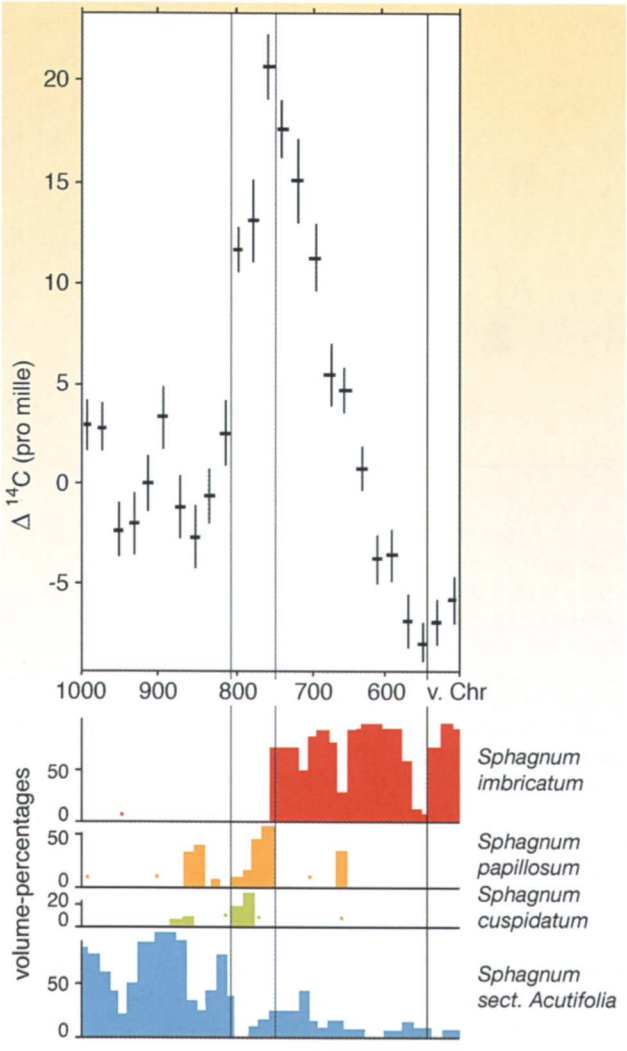


Afb. 6. Voorbeeld van ^{14}C wiggle matching van een stuk eikenhout, opgegraven te Wommels. Zes opeenvolgende ^{14}C-monsters (rood) passen op de ^{14}C-calibratiecurve (geel). Het jongste monster komt overeen met een ouderdom op de kalendertijdas (x-as) van ca 690 v. Chr. Als dat ^{14}C-monster het enig beschikbare was geweest dan had het ook een ouderdom kunnen hebben van ca 760 v. Chr., maar het zou tevens corresponderen met het interval tussen ca 670 en 540 v. Chr.
^{14}C-wiggle-matching van veenmonsters berust op hetzelfde principe: er wordt een stukje van de ^{14}C-calibratiecurve 'nagemaakt' en vervolgens wordt de overeenkomst met de calibratiecurve gezocht. Aldus wordt meer precies gedateerd en kunnen tevens verbanden worden gelegd tussen fluctuaties in zonne-activiteit en klimaatgestuurde veranderingen in hoogveenvegetaties.

(WMD; zie afbeelding 6) juist gebruik van de natuurlijke fluctuaties van het atmosferisch ^{14}C-gehalte:
Door monsters te dateren die zeer dicht boven elkaar liggen in het sediment - en door juist niet te calibreren - kunnen we met onze dateringen een stukje van de calibratiecurve 'namaken', en vergelijken met de calibratiecurve die zeer nauwkeurig gedateerd is via de jaarringen. Langs die weg zijn we niet alleen in staat om zeer precies te dateren, maar we zijn er via WMD ook achter gekomen dat klimaatveranderingen in het verleden veelal samengaan met veranderingen van het atmosferisch ^{14}C-gehalte. Gebleken is dat veranderingen in zonne-activiteit niet alleen effect hebben op de ^{14}C-aanmaak maar ook op het klimaat.

De overgang van Subboreaal naar Subatlanticum en de Zon

De overgang Subboreaal-Subatlanticum was volgens Blytt en Sernander gekenmerkt door een klimaatverandering van relatief warm en droog naar een meer oceanisch (vochtig, koel) klimaat. In NW-Europa komt die klimaatverandering ondermeer tot uiting als de (eerder genoemde) opvallende verandering in de hoogvenen van het donkere, zogenaamde 'Oude Veenmosveen' naar het 'Jonge Veenmosveen' (afbeelding 3). Nu weten we (via WMD) dat deze omslag omstreeks 850 v. Chr. plaatsvond en dat die samenviel met de start van een sterke stijging van het atmosferisch ^{14}C-gehalte (verminderde zonne-activiteit). We hebben deze veen-overgang nauwkeurig op fossiele plantenresten onderzocht (afbeelding 7). Behalve de kleur veranderde ook de soortensamenstelling van het veen op die overgang (de "oceanische" veenmossoort *Sphagnum imbricatum* wordt dominant). De sterke stijging van het ^{14}C-gehalte geeft aan dat een plotseling verminderde zonne-activiteit twee verschijnselen tot gevolg had die we in het veen kunnen registeren:
1. De veranderende veenplanten-samenstelling werd veroorzaakt door een klimatologische afkoeling en een vernatting (hogere effectieve neerslag).
2. Doordat de 'zonnewind' afgenomen was drong er meer kosmische straling door en werd plotseling veel meer ^{14}C gevormd dan in de voorafgaande periode.



Afb. 7. Veranderingen in de samenstelling van hoogveen-vormende mossen tijdens de overgang van Subboreaal naar Subatlanticum in het Engbertsdijksveen (naar van Geel et al., 1996). Sphagnum-soorten uit de sectie Acutifolia groeien vooral onder relatief droge, warme klimatologische omstandigheden. Sphagnum cuspidatum en S. papillosum geven een relatief hoge locale waterspiegel aan. Sphagnum imbricatum is een soort die een hoge luchtvochtigheid en koele omstandigheden prefereert. De grote verandering vond plaats rond 850 v. Chr. toen de zonneactiviteit tijdelijk sterk afnam (snelle toename Δ14C).

Om de invloed van de zon op klimaatveranderingen tijdens het Holoceen te verklaren zouden er mechanismen moeten zijn die de (zeer kleine!) fluctaties in zonne-activiteit versterken. Mogelijke mechanismen zijn:
a. Veranderingen in de intenstiteit van de kosmische straling (veroorzaakt door de veranderende zonnewind) zouden (via ionisatie en vorming van aerosolen) een effect kunnen hebben op de mate van wolkenvorming en aldus op de albedo (weerkaatsing zonnestraling) en op de temperatuur en de neerslag. En/of:
b. Binnen de kleine fluctuaties in zonne-activiteit zijn veranderingen in de ultraviolette straling belangrijk. Deze hebben effect op de vorming van ozon in de stratosfeer. Variaties in de ozon-concentrataties hebben op hun beurt weer effect op de (zonne) warmte-absorptie, en dat leidt tot veranderingen in de stratosferische circulatie, die doorwerkt tot bij het aardoppervlak. Aldus zouden de atmosferische circulatiepatronen wereldwijd kunnen veranderen. Een verminderde zonne-activiteit zou leiden tot koelere, vochtiger gematigde gebieden, terwijl tegelijkertijd, vanwege een afzwakkende moesson, droogte in de tropen zou optreden.
Er zijn twee argumenten die vooral pleiten voor een belangrijke rol van UV en ozon, terwijl (zon-gestuurde) veranderingen in de intensiteit van de kosmische straling vermoedelijk niet, of minder bepalend zijn voor klimaatveranderingen:

1. De abrupte klimaatverandering rond 850 v. Chr. vond plaats juist voorafgaand aan de sterke ^{14}C stijging. Met andere woorden: de toename van de kosmische straling kwam te laat om de klimaatverandering te kunnen veroorzaken.
2. Na 850 v. Chr. trad droogte op in de tropen (zwakkere moesson in Centraal-Afrika en West-India) en dat verschijnsel past wel in het scenario van verminderd UV, maar niet in het scenario dat uitgaat van een belangrijke rol van kosmische straling, leidend tot versterkte wolkenvorming.

We hebben gezien dat bovengenoemde klimaatverandering zeer ingrijpend was voor bewoners van gebieden waar al een relatief hoge grondwaterstand was. Door verhoogde neerslag en afgenomen verdamping werden bepaalde gebieden plotseling ongeschikt voor bewoning omdat ze zich na de klimaatverandering tot moerassen ontwikkelden. Zoals eerder genoemd kwam de Bronstijd-bewoning van West-Friesland tot een einde en ook andere gebieden in Noord-Nederland werden onbewoonbaar door veenvorming na een plotselinge stijging van het grondwater.

De expansie van de Scythen en de Zon

De auteur heeft de afgelopen jaren een samenwerkingsproject gehad met Russische collega's. Daarvoor werd veldwerk verricht in de Zuid-Siberische republiek Tuva. Er werden boringen verricht om daaraan stuifmeelonderzoek te doen en de archeologen uit het team richtten zich op de overblijfselen van de cultuur van de Scythen. Dat was een nomadisch ruitervolk dat na 850 v. Chr. tot een enorme culturele bloei kwam. Er vond een bevolkingsexplosie plaats en de Scythen migreerden vanuit Centraal Zuid-Siberië tot in Bulgarije en Griekenland. Uit het onderzoek aan de boorkernen is gebleken dat rond 850 v. Chr. Tuva veranderde van een halfwoestijn tot een vruchtbare steppe. Als gevolg van toegenomen neerslag werden gebieden die tot dan toe onleefbaar droog waren geweest plotseling zeer aantrekkelijk voor nomaden en hun kudden. Meer neerslag betekende een sterk toegenomen biomassa-productie en dus een grotere voedselvoorraad voor dieren en mensen. De Scythen profiteerden van de zongestuurde, enigszins naar het zuiden opgeschoven, meer regen brengende westenwinden.

Conclusie

De geschetste samenhang tussen veranderend atmosferisch ^{14}C-gehalte (bepaald door zonne-activiteit) en klimaatverandering rond 850 v. Chr. staat niet op zichzelf. Er zijn steeds meer aanwijzingen dat veranderende zonne-activiteit ook tijdens andere perioden ingrijpende effecten had op het klimaat (bijvoorbeeld tijdens de Kleine IJstijd). De Franse onderzoeker Michel Magny heeft aangetoond dat de waterspiegels in meren in zuid-oost Frankrijk gedurende het Holoceen voortdurend veranderden in samenhang met de fluctuerende zonne-activiteit. Ook onderzoek aan afzettingen uit grotten in Oman en boringen in de afzettingen uit het noordelijk deel van de Atlantische Oceaan wijzen erop dat het klimaat buitengewoon gevoelig is voor kleine veranderingen in zonne-activiteit.
In feite is het klimaat nooit werkelijk stabiel geweest en het is dan ook maar de vraag of de nadruk die de laatste jaren gelegd wordt op het versterkt broeikaseffect wel terecht is. Het is namelijk niet onwaarschijnlijk dat de temperatuurstijging van de afgelopen decennia voornamelijk veroorzaakt werd door de toegenomen zonne-activiteit. De aanwijzingen die we - via paleo-onderzoek - hebben voor de zon als sturende factor bij natuurlijke klimaatveranderingen zijn in elk geval zo sterk dat het hedendaagse en het toekomstige klimaat waarschijnlijk ook voor een belangrijk deel door fluctuaties in zonne-activiteit worden, respectievelijk zullen worden bepaald.

Dankwoord

De auteur bedankt Jan van Arkel (IBED-UvA) voor zijn hulp bij het produceren van de illustraties.

Literatuur

. Bond, G. et al., 2001. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene, Science 294: 2130-2136.
. Lockwood, M. et al., 1999. A doubling of the Sun's coronal magnetic field during the last 100 years. Nature 399: 437-439.
. Magny, M., 2004. Holocene climate variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. Quaternary International 113: 65-79.
. Mauquoy, D., van Geel, B., Blaauw, M., Speranza, A., v.d. Plicht, J., 2004. Changes in solar activity and Holocene climate shifts derived from 14C wiggle-match dated peat deposits. The Holocene 14: 45-52.
. Neff, U. et al., 2001. Strong coherence between solar variability and the monsoon in Oman between 9 and 6 kyr ago. Nature 411: 290-293.
. Solanki,S.K. et al., 2004. Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 y. Nature 431: 1084-1087.
. van Geel, B., Buurman, J., Waterbolk, H.T., 1996. Archaeological and palaeoecological indications for an abrupt climate change in The Netherlands and evidence for climatological teleconnections around 2650 BP. Journal of Quaternary Science 11: 451-460.
. van Geel, B. et al., 1998. The sharp rise of $\Delta^{14}C$ ca. 800 cal BC: possible causes, related climatic teleconnections and the impact on human environments. Radiocarbon 40: 535-550.
. van Geel, B. et al., 1999. The role of solar forcing upon climate change. Quaternary Science Reviews 18: 331-338.
. van Geel, B. et al., 2004. Climate change and the expansion of the Scythian culture after 850 BC, a hypothesis. Journal of Archaeological Science 31: 1735-1742.
. von Storch, H. et al., 2004. Reconstructing past climate from noisy data. Science 306: 679-682.

Boekbespreking

Aarde, vele medewerkers, redactie J.F. Luhr, uitg. ANWB, 519 p., form. 25x30 cm, prijs € 49,95. ISBN 90-18-01876-7.

Volgens het verspreide persbericht is 'Aarde' een 'baanbrekend boek over de aarde en al haar facetten... een naslagwerk met deskundig onderbouwde tekst'. Maar is dit wel zo? Als je met een beetje geoefend geologisch oog naar 'Aarde' kijkt, kom je veel ongerijmds tegen. Deze ongerijmdheden komen overal voor, je vraagt je af waar die vandaan komen, uit het origineel of via de vertaling/bewerking. 'Aarde' is een zeer indrukwekkend, groot en dik boek, mooi uitgegeven op fraai glanzend papier dat goede afdrukken garandeert van de vele illustraties met fraaie voorbeelden van resultaten van aardse processen. Een eerste indruk is dat dit boek een Engelse uitgave is, maar al snel blijkt dat het een oorspronkelijk Amerikaans werk is met de zo vaak voorkomende beperkingen: een populaire, oppervlakkige tekst, met veel mooie illustraties die de aandacht van de tekst afleiden. Er zijn - en dit is een verschil met veel Amerikaanse uitgaven - toch een redelijk aantal voorbeelden van over de hele wereld opgenomen. Wat betreft de controleerbare Nederlandse voorbeelden is er echter duidelijk met de pet naar gegooid: de Nederlandse Centrale Slenk schijnt de loop van de Maas te hebben bepaald en het Noordzeebekken is een ronde inzakking ver buiten de kusten van Nederland en Groot-Brittannië. Een ander onjuist voorbeeld: de 'centrale ring van Gosses Bluff in centraal Australië wordt beschreven als de inslagkrater van een meteoriet; wat afgebeeld is en beschreven wordt is echter de rand van de teruggeveerde centrale kegel, over de verder weg liggende rand van de krater wordt niet gepraat. Er kan gevreesd worden voor de juistheid van voorbeelden die de recensenten niet nader bekeken hebben of kennen.
Het boek geeft veel ruimte aan geologische onderwerpen. Het is jammer en irritant dat de informatie rommelig wordt gepresenteerd; opmerkingen over een bepaald onderwerp komen door het hele boek voor, veel in herhalingen te pas en te onpas, met de ene keer een juiste opmerking en de volgende keer met grove fouten. De vele verwijzingen maken dat men zich suf bladert. Zo kan men op vele pagina's opmerkingen tegenkomen die verband houden met de plaattektoniek, soms heel verstandige en soms de meest ongelooflijke rariteiten. De plaattektoniek is toch het belangrijkste en meest unieke aspect van de Aarde, dit wordt behandeld in een wat vaag verhaal. Nog rommeliger wordt het deel over gebergten, dat als hoofd 'Bergen' heeft. Een berg is geen geologisch gedefinieerd begrip, daarnaast blijkt dan dat alle wat grotere verhevenheden op een hoop worden gegooid en dat het ook vulkanen blijken te zijn. Veel aanduidingen van de verschillende 'bergen' zijn op zijn zachtst gezegd hoogst verwarrend ofwel onzinnig: het Noordzeebekken is een 'afschuiving'; de Rijndalslenk wordt een 'opschuiving' genoemd; de Drakensberge van Z-Afrika (een plateau van stapels bazaltische lava's met een gemiddelde hoogte van 2 km) worden aangeduid als een 'slenk'! Alleen de deskundig geoloog kan met beredenering en raden erachter komen wat de reden is om deze gebieden een 'opschuiving', resp. een 'slenk' te noemen; dit helpt echter de belangstellende amateur helemaal niet en ook hier zal een goedwillende geoloog weer jaren werk hebben om deze nonsensopmerkingen uit de wereld te helpen.
Heel aardig zijn de serie afbeeldingen van de platen van de Aarde, een jammerlijke omissie is dat er nergens is aangegeven wat de uiteengaande of de converterende plaatranden zijn en wat de bewegingssnelheden zijn. Dat zou het beeld van de bewegende aardkorstplaten heel wat aanschouwelijker maken; de lezer kan er dan vanzelf achter komen dat er meer plaatsen zijn waar continenten botsen dan alleen daar waar 'de Himalaya wordt opgeheven'.
Hoewel het broeikaseffect in het algemeen met sympathieke voorzichtigheid wordt behandeld staan er wel heel rare opmerkingen in: de Aarde heeft zijn huidige klimaat met vloeibaar water te danken aan zijn 'CO_2-rijke atmosfeer' (SIC!); daarnaast schijnt een 17 maal zo hoge concentratie aan CO_2 een temperatuur te geven die lager is dan heden en geeft een daling van het CO_2-gehalte een stijging van de temperatuur. Daarnaast schijnt de huidige IJstijd veroorzaakt te zijn door het ophouden van het broeikaseffect. Verwarming van het aardoppervlak en de atmosfeer gebeurt door 'een beetje infrarode straling' dat de zon uitzendt (neen dus: de zonnestraling verwarmt het aardoppervlak en dit geeft warmtestraling terug). Voor een onderwerp dat op het ogenblik al zo vaak op ondeskundige wijze wordt misbruikt, zijn dit op zijn minst onaanvaardbare opmerkingen. Dit had ook een aandachtspunt voor de vertaler/bewerker moeten zijn. Op veel plaatsen begrijpt men het onderscheid tussen mineralen en elementen niet: magnesium en ijzer, en vele andere elementen worden aangeduid als opgeloste mineralen. Onzinnige formuleringen zijn er te over; wat te denken van 'het schild van zuidelijk Afrika is bedekt met het diamantrijke zand'; of 'het stijgend O_2-niveau maakt een einde aan de gelaagde ijzerformaties'. Volledig nieuw is ook dat het Kaenozoïsch vulkanisme verband houdt met 'hete pluimen'. 'Aardbevingsgolven bewegen door een zogeheten schaduwzone' (de schaduwzone wordt juist zo genoemd omdat daar geen seismische trillingen aankomen); melkkwarts is wit want het absorbeert geen licht; het voorbeeld van granaat in een slijpplaatje is geen granaat en dus alles behalve 'kenmerkend'; gabbro schijnt een andere benaming te zijn voor clinopyroxeen en splijtvlakken van een kristal geven het een grote sterkte; het voorbeeld van citrien is typisch een gebrande amethyst. Basalt schijnt ook een intrusief gesteente te zijn; de Antarctische ijskap is in de loop van 'vele honderdduizenden jaren aangegroeid'; en werkelijk de meest verschrikkelijke uitspraak: 'de eilandketen van Hawaii is ontstaan uit een rij hotspots van 6000 km lang'.
Dit boek werd bekeken door verscheidene adviseurs van GEA, zij vonden het moeilijk een waardeoordeel aan het boek te geven door de vele inconsistenties in de tekst, die deels up-to-date en deels verouderde en ook onjuiste informatie bevat en op een rommelige wijze bijeen gebracht is. Het is een mooi plaatjesboek maar geen reclame voor de geologie. Het 'deskundig onderbouwd' kan men beter weglaten.
Bij de genoemde Amerikaanse adviseurs zijn enkele eminente geologen, maar waarschijnlijk hebben niet zij maar veel mindere goden de tekst gewrocht. Bij de vertalers en bewerkers vinden we geen bekenden in geologische kringen.

Wim de Vries