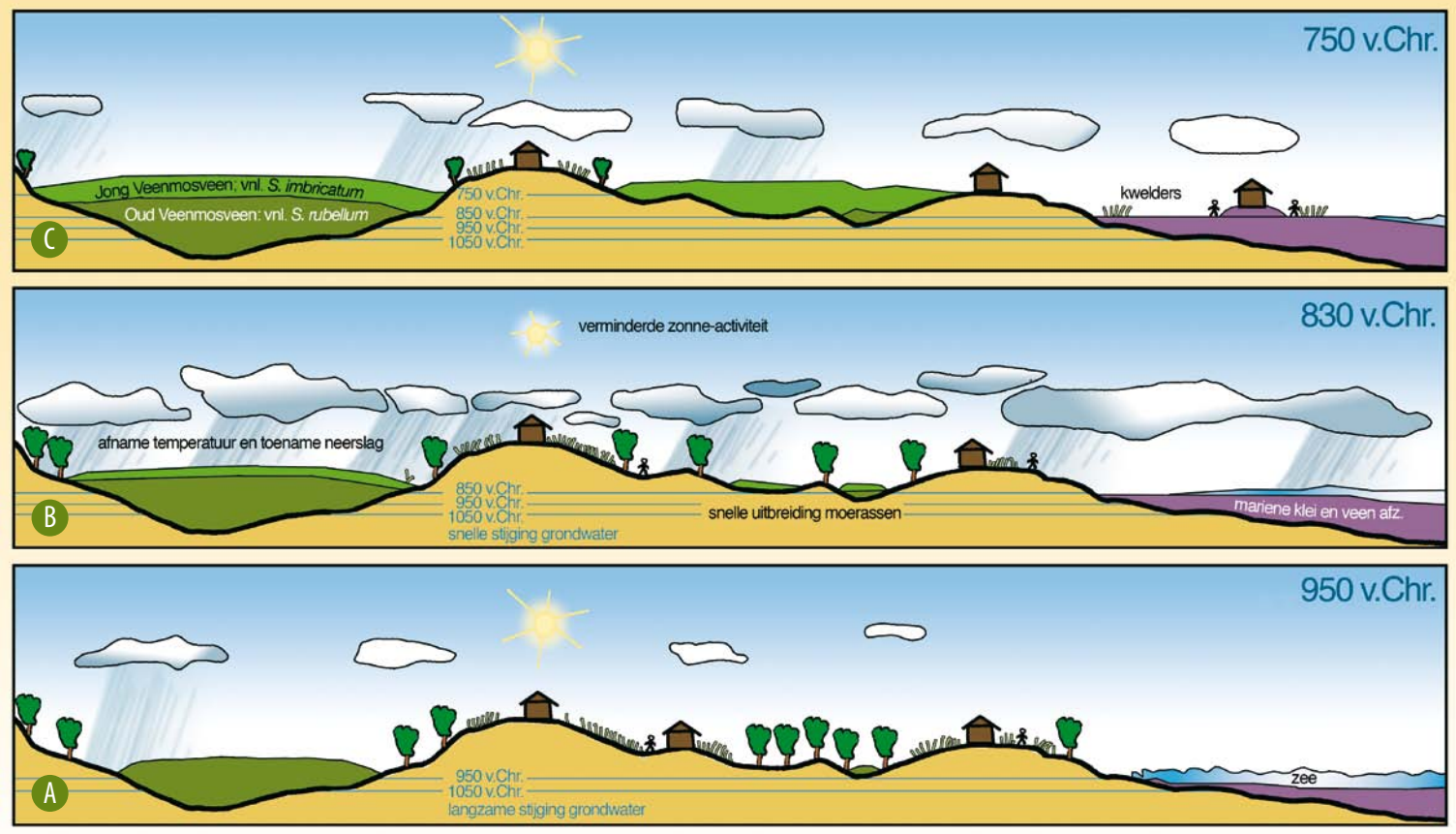




Zongestuurde klimaatveranderingen in het Holoceen

(met implicaties voor het huidige en toekomstige klimaat)

BAS VAN GEEL
 INSTITUUT VOOR BIODIVERSITEIT EN
 ECOSYSTEEM DYNAMICA, UvA
 SCIENCE PARK 904
 1098 XH AMSTERDAM
 B.VANGEEL@UVA.NL

Rond 850 v. Chr. vond een ingrijpende klimaatverandering plaats en die had grote gevolgen voor mensen in hydrologisch marginale gebieden. Een tijdelijke vermindering van zonneactiviteit lag aan de klimaatverandering ten grondslag. Dit verschijnsel stond niet op zichzelf want er zijn inmiddels heel veel aanwijzingen – over de hele periode van het Holoceen – dat de meeste klimaatveranderingen werden veroorzaakt door fluctuerende zonneactiviteit. Het klimaat blijkt hypergevoelig te zijn voor veranderingen in de activiteit van de zon en die constatering is essentieel voor het begrijpen van de opwarming zoals die in de tweede helft van de vorige eeuw heeft plaatsgevonden. Ook het klimaat in de nabije toekomst zal waarschijnlijk grotendeels door veranderende zonneactiviteit worden gestuurd.



AFBEELDING 1 LINKS. | De landschappelijke ontwikkeling van Noord-Nederland in drie stappen. A: het landschap voorafgaand aan de klimaatverandering. B: de veengroei krijgt een sterke impuls vanwege de klimaatverandering (koeler en vochtiger). Boeren in marginale gebieden moeten hun land verlaten vanwege de sterk gestegen grondwaterspiegel. Ze vinden nieuwe, geschikte landbouwgrond nadat een waddengebied door de klimaatverandering veranderd is in een kweldergebied (naar Van Geel et al., 1998).

Inleiding

De indeling van het Holocene (Preboreaal, Borea, Atlanticum, Subborea, en Subatlanticum) zoals destijds gemaakt door Blytt en Sernander was vooral gebaseerd op waarnemingen van veenprofielen, met name van profielen in hoogveenafzettingen. Hoogveenmoerassen zijn wat de waterhuishouding betreft geheel afhankelijk van regenwater. Hoogveen kan vele meters dik zijn; het bestaat voor een belangrijk deel uit resten van veenmossen (*Sphagnum*-soorten) die heel veel water kunnen vasthouden vanwege hun typische bouw. *Sphagnum*-blaadjes bestaan uit een enkele cellaag en ze zijn opgebouwd uit twee typen cellen: chlorofyllhoudende, lange smalle cellen die een netwerk vormen en grote, lege kleurloze cellen, de zogenoemde hyaliene cellen, die in de mazen van dat netwerk liggen. De hyaliene cellen staan met poriën in verbinding met de buitenwereld en gezamenlijk kunnen ze een grote hoeveelheid water opslaan. Vandaar dat hoogvenen boven de omgeving kunnen uitgroeien; ze hebben hun eigen, hoge waterspiegel waarbij de “sponswerking” van de veenmossen – ook van dode veenmossen – essentieel is.

Veen dat onder relatief droge omstandigheden gevormd wordt is donker van kleur vanwege de aanwezigheid van heidesoorten, maar ook door meer intense

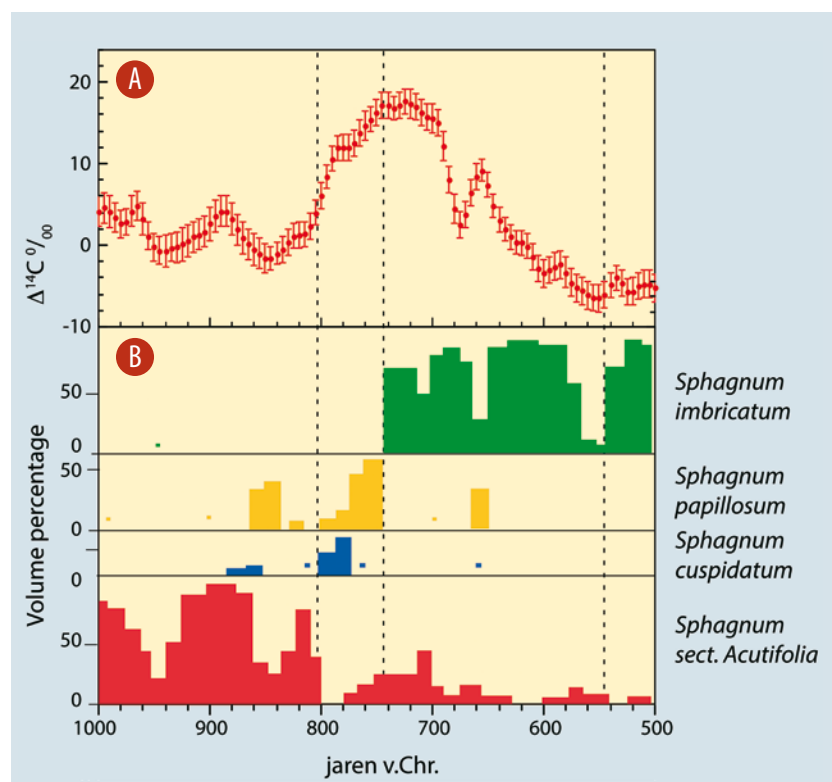
afbraakprocessen in de bovenste veenlaag. Lichtgekleurd hoogveen is juist onder natte omstandigheden gevormd en weinig vergaan. Blytt en Sernander waren zich er van bewust dat afwisselingen van droge, warme perioden en natte, koele fases hun weerslag hadden op de soortensamenstelling van veenvormende planten en ook op de afbraakprocessen in het veen. Zo kwamen zij tot de indeling van het Holocene.

Modern veenonderzoek

In 1968 maakte ik voor het eerst kennis met hoogveenafzettingen tijdens een door professor Thomas van der Hammen enthousiast geleide veldcursus in Twente. Op excursie in een hoogveengebied werd ons de scherpe overgang van sterk naar weinig vergaan veen getoond, zoals die door Blytt en Sernander destijds gezien en benoemd werd als de overgang van het Subborea naar het Subatlanticum. Deze klimaatomslog, waarvan we nu weten dat die rond 850 v. Chr. optrad, heeft een belangrijke rol gespeeld in het onderzoek zoals ik dat in de afgelopen 45 jaar heb uitgevoerd. Als doctoraalstudent werkte ik aan een veenkolom uit het Wietmarscher Moor, gelegen net over de grens ten noordoosten van Twente en tijdens mijn promotieonderzoek (Van Geel, 1976) werkte ik aan de analyse en interpretatie van een veenkolom uit het Engbertsdijksveen (ten zuid-oosten van Sibculo). In beide venen kwam de overgang van Subborea naar Subatlanticum duidelijk tot uiting: veen dat onder relatief droge omstandigheden was gegroeid, ging vrij plotseling over in veen dat onder zeer natte condities was gevormd. Destijds konden we nog geen oorzaak aanwijzen voor de klimaatomslog; we konden slechts registreren wat de effecten waren. Pas vele jaren later konden we – met veel koolstof-14 (^{14}C) dateringen – de overgang in verband brengen met een plotse afname van de activiteit van de zon (Van Geel et al., 1996, 1998). Om dat verband uit te leggen is het nodig kort in te gaan op de rol van de zon bij de vorming van ^{14}C .

^{14}C en de zon

In de atmosfeer is ^{12}C het meest voorkomende koolstof-isotoop (ca. 99%). Het isotoop ^{13}C komt in mindere mate voor (ca. 1%) en het onstabiele



AFBEELDING 2. | A: de veranderingen van het koolstof-14 gehalte in de atmosfeer ($\Delta^{14}\text{C}$) voor de periode van 1.000 tot 500 v. Chr. B: de successie van veenmossoorten op de overgang van Subborea naar Subatlanticum in een veenkolom uit het Engbertsdijksveen op dezelfde tijds (naar Beer & Van Geel, 2008). De sterke toename van het ^{14}C -gehalte wijst op een terugval in de activiteit van de zon. Daardoor veranderde het klimaat en dat komt tot uiting in de veranderende soortensamenstelling van de veenmossen.

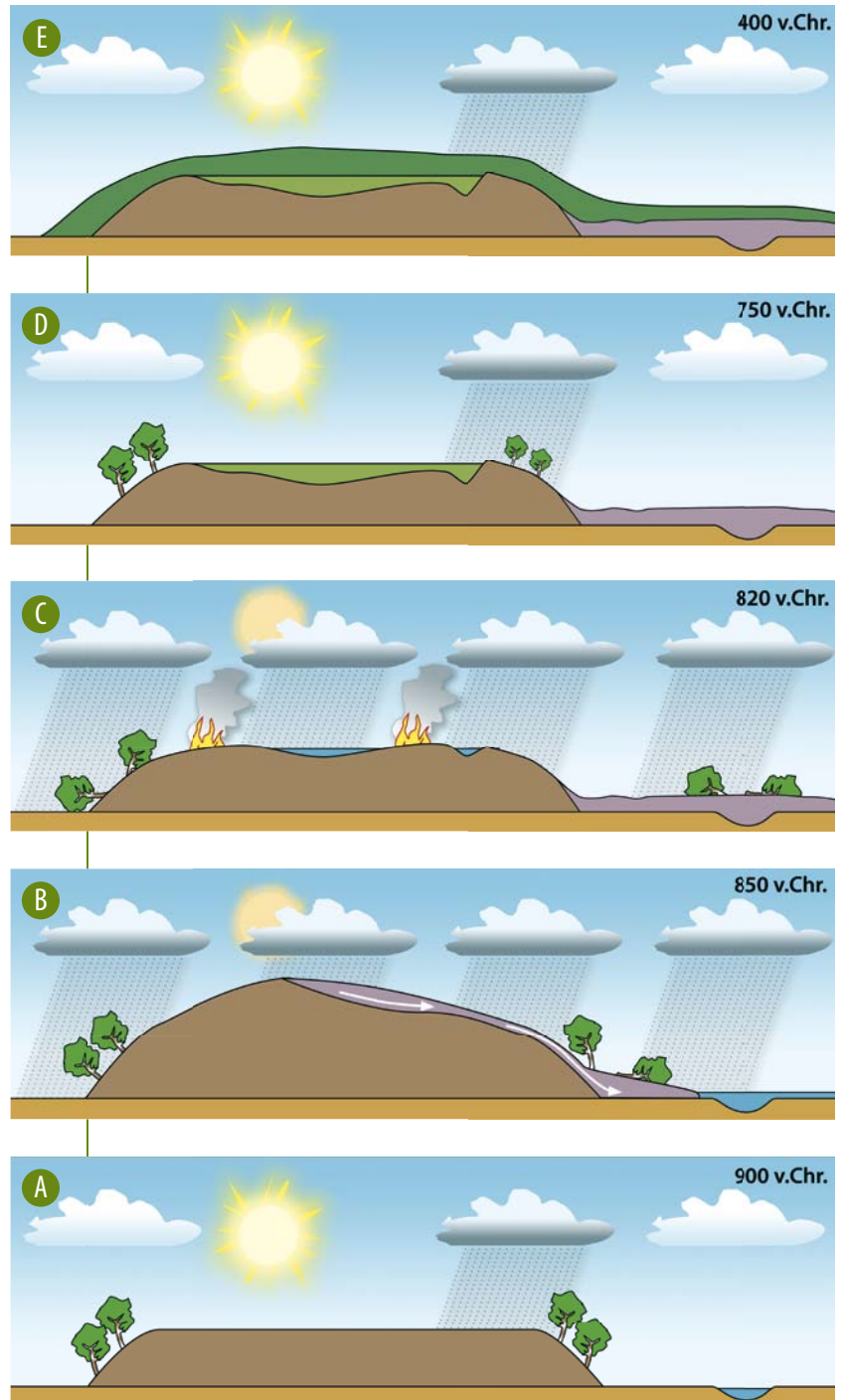


isotoop ^{14}C komt heel weinig voor. Koolstof-14 wordt gevormd onder invloed van straling die vanuit de kosmos in de atmosfeer doordringt; het is een “kosmogeen” isotoop. De intensiteit van het bombardement met kosmische straling hangt af van de activiteit van de zon. Als de zon heel actief is dan houdt de “zonnewind” (een stroom geladen deeltjes, afkomstig van het oppervlak van de zon) veel van de kosmische straling tegen. Wanneer de zon minder actief is, neemt de intensiteit van de kosmische straling juist toe omdat de zonnewind dan minder sterk is. De aanmaak van ^{14}C in het verleden hing dus sterk af van de activiteit van de zon. De zon-gestuurde veranderingen tijdens het Holoceen (de periode na de laatste ijstijd) in de aanmaak van ^{14}C kennen we omdat het ^{14}C -gehalte van heel veel houtmonsters van exact bekende leeftijd (gedateerd via de jaarringen; dendrochronologie) werd gemeten. Laboratoria over de hele wereld hebben met metingen bijgedragen aan de zogenoemde “calibratiecurve” waarmee bepalingen van de resterende radioactiviteit kunnen worden verwerkt tot ouderdomsbepalingen in kalenderjaren (zie C14-datering – Wikipedia). Vanwege het radioactief verval bevat organisch materiaal, naarmate het ouder is, minder ^{14}C , maar omdat we de snelheid van het vervalproces kennen, kan daarvoor gecorrigeerd worden. Dankzij dendrochronologische ouderdomsbepalingen en correctie voor radioactief verval kan de calibratiecurve dus worden omgewerkt tot een curve voor $\Delta^{14}\text{C}$ (Afb. 4 links). Waar het gaat om de rol van de zon bij klimaatveranderingen is het relevant te weten dat de curve van $\Delta^{14}\text{C}$ de veranderingen in het atmosferisch ^{14}C -gehalte – en daarmee vooral de fluctuaties in de activiteit van de zon – weergeeft.

De klimaatverandering van 850 v. Chr. en een hoogveen-successie

In afbeelding 2 p. 125 zien we langs een horizontale tijdsas de veranderingen in de soortensamenstelling van een boring uit het Engbertsdijsveen en op diezelfde tijdsas zijn de veranderingen van $\Delta^{14}\text{C}$ weergegeven. De mossen laten een successie zien, waarbij relatief droog groeiende soorten (*Sphagnum sectie acutifolia*) afgelost worden door “Waterveenmos” (*S. cuspidatum*) en Wrattig veenmos

(*S. papillosum*, groeit ook heel nat), waarna de oceanische soort “Kamveenmos” (*S. imbricatum*) gaat domineren. Het is duidelijk dat rond 850 v. Chr. de activiteit van de zon sterk moet zijn teruggevallen, want het ^{14}C -gehalte liep in de periode tussen 850 en 760 v. Chr. heel snel op tot een opvallend hoog maximum. We konden een verband leggen tussen de verminderde activiteit van de zon en de lokale successie van de mossen in het hoogveenmoeras. Het werd koeler en de effectieve neerslag (neerslag minus verdamping) zal zijn toegenomen



AFBEELDING 3. | Cartoon van de ontwikkeling van het Bargerveen (naar Van Geel et al., 2014). A: Het late Subboreaal was nog relatief droog, maar (B) dat veranderde bij een sterk afgenomen activiteit van de zon. Veel neerslag en een vermindering van de verdamping bij lagere temperaturen deed het hoogveen opzwellen, wat leidde tot een veenuitbraak. De erosie van de veenuitbraak leidde tot een hiaat en drainage tot een tijdelijke uitgedroogd veenoppervlak dat gevoelig was voor brand (C). Vervolgens kwam de hoogveengroei weer op gang (D en E).



gezien de abrupt optredende dominantie van heel nat groeiende veenmos-soorten. Uit langdurige dominantie van *S. imbricatum* blijkt dat de tijdelijke terugval in de activiteit van de zon heeft geleid tot een klimaatverandering die voor langere tijd aanhield. In het hoogveengebied Bargerveen in Zuidoost-Drenthe leidde de klimaatverandering zelfs tot een dramatische ontwikkeling.

Een veenuitbraak in Zuidoost-Drenthe rond 850 v. Chr.

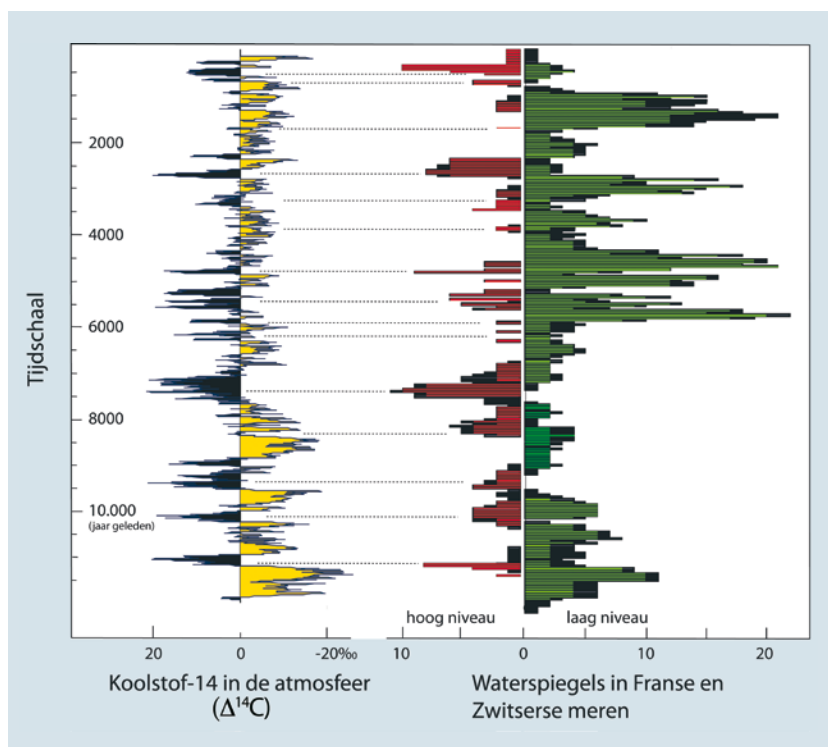
De overgang van Subboreaal naar Subatlanticum heeft door de jaren heen steeds mijn bijzondere interesse gehouden. Toen de naar Australië geëmigreerde geoloog Henk Heijnis enkele jaren geleden contact zocht om een gemeenschappelijk onderzoek te doen, hebben we besloten een veenkolom uit het Bargerveen te onderzoeken. Voor de monsternamen zochten we een plek uit waar de overgang van Subboreaal naar Subatlanticum duidelijk aanwezig was. Met een stalen bak werd 50 cm veen uit een vers gestoken profiel bemonsterd en in het laboratorium werd iedere centimeter onderzocht op microfossielen (stuifmeel, schimmelsporen, etc.) en macroresten zoals mossen en zaden. Met elf ^{14}C -dateringen konden we de bestudeerde veenlaag goed dateren. Uit de analyse bleek tot onze verbazing dat er ongeveer 950 jaar ontbrak; met andere woorden: er was een langdurig hiaat in de veenafzetting. Na het hiaat begon de veengroei weer rond 800 v. Chr. Een hiaat zou kunnen zijn ontstaan doordat veengroei tijdens een lange periode stagneerde, maar dat is in Noordwest-Europa, gezien het neerslagoverschot, buitengewoon onwaarschijnlijk. Veen kan ook zijn verdwenen door erosie. De Groningse onderzoeker Wil Casparie heeft destijds voor zijn proefschrift de veenafzettingen van Zuidoost-Drenthe uitgebreid onderzocht (Casparie, 1969, 1972). Hij heeft met veen gevulde erosiegeulen waargenomen die hij ruwweg kon dateren in het midden van het eerste millennium v. Chr. De erosiegeulen wezen volgens Casparie op een “veenuitbraak”. Dat begrip vraagt enige uitleg. Wanneer een levend (niet door mensen gedraineerd) hoogveenmoeras ver genoeg omhoog gegroeid is en het oppervlak door extra veel neerslag bijzonder nat wordt, kan het gebeuren dat het veenop-

pervlak barst. De wegstromende veenblubber kan verdere erosie veroorzaken waardoor veenlagen kunnen wegspoelen. Uit historische bronnen (voor een snelle indruk: gebruik Google en type “bog burst” of “Moorausbruch”) weten we dat een veenuitbraak resulteert in modderstromen die ook dramatische gevolgen kunnen hebben in de omgeving van het hoogveen.

Bij ons onderzoek aan de veenkolom uit het Bargerveen kwamen we tot de conclusie dat de veenuitbraak kort voor 800 v. Chr. plaatsvond. Dat was dus niet op een willekeurig moment in de tijd; we concludeerden, dat de zongestuurde klimaatverandering (tijdelijk zeer veel neerslag) die rond 850 v. Chr. optrad, heeft geleid tot de veenuitbraak (Van Geel *et al.*, 2014). In afbeelding 3 wordt de gang van zaken zoals wij die ons voorstellen in opeenvolgende fasen weergegeven.

Klimaatverandering 850 v. Chr. en het einde van Bronstijdbewoning in West-Friesland

Paleo-ecologisch onderzoek in verband met de archeologie heeft altijd mijn interesse gehad en zo heb ik destijds met twee collega's een organische afzetting onderzocht die bewaard gebleven was onder de rond 1300 AD aangelegde Westfriese Omringdijk bij Enkhuizen (Van Geel *et al.*, 1983). Die afzetting kon bemonsterd worden toen in 1976 de Omringdijk werd doorsneden voor de aanleg van de weg naar Lelystad. De afzetting was gelegen op een bodem van zandige klei met veel houtskoolpartikels. Deze bodem was bedekt met een dunne laag sediment die in stilstand, ondiep, zoet water was gevormd. Dat open water verlandde, waarna laagveenvorming uiteindelijk leidde tot een hoogveenvegetatie gedomineerd door veenmossen. Uit ^{14}C dateringen bleek dat de vernatting van de zandige bodem (plotselinge vorming van ondiep open water) samenviel met de ontvolking van West-Friesland rond 800 v. Chr. Gedurende honderden jaren voorafgaand aan de vernatting was West-Friesland bewoond geweest door boeren tijdens de Bronstijd. Wij trokken de conclusie dat de zongestuurde klimaatverandering (zoals we die al kenden van de hoogvenen in



AFBEELDING 4. | Links de veranderingen in het atmosferisch ^{14}C -gehalte ($\Delta^{14}\text{C}$) gedurende het Holoceen. Positieve uitslagen wijzen op verminderde activiteit van de zon terwijl negatieve pieken verband houden met een actieve zon. Veel van de belangrijke fluctuaties van waterspiegels gaan gelijk op (hoog water bij lage zonne-activiteit) met de curve van koolstof-14, hetgeen wijst op door de zon veroorzaakte klimaatfluctuaties (naar Magny, 2004).



Oost-Nederland) in West-Friesland heeft geleid tot een onbewoonbaar worden vanwege een sterke vernatting (Van Geel *et al.*, 1996). Een vooraanstaand Leids archeoloog karakteriseerde onze conclusie destijds als “ouderwets deterministisch” (in strijd met de “contextuele” archeologie) omdat externe dwang vanuit milieu of klimaat volgens hem ondenkbaar was. Ik ben er nog steeds van overtuigd dat de ontvolking van West-Friesland in de late Bronstijd door een zongestuurde klimaatverandering werd veroorzaakt. Ook elders in Noord-Nederland zien we, in dezelfde periode, regio's waar, vanwege beginnende veengroei mensen moesten verhuizen. Uit geologisch onderzoek van de VU-geologen Roeleveld (1974) en Griede (1978) weten we dat in Noord-Nederland juist in die periode voor het eerst kwelders beschikbaar zijn gekomen. Op die kwelders konden de boeren zich vestigen die elders door wateroverlast hun land kwijtgeraakt waren. We denken dat vanwege een wereldwijde afkoeling er thermische contractie van oceaanwater optrad, leidend tot enige verlaging van de zeespiegel en daarmee tot de overgang van wadden naar kwelders (Van Geel *et al.*, 1996). De boeren die zich in het nieuw beschikbare gebied vestigden gingen er wel toe over om terpen te bouwen als bescherming tegen stormvloed (Afb. 1 p. 124).

Klimaatverandering 850 v. Chr. en de expansie van de Scythen

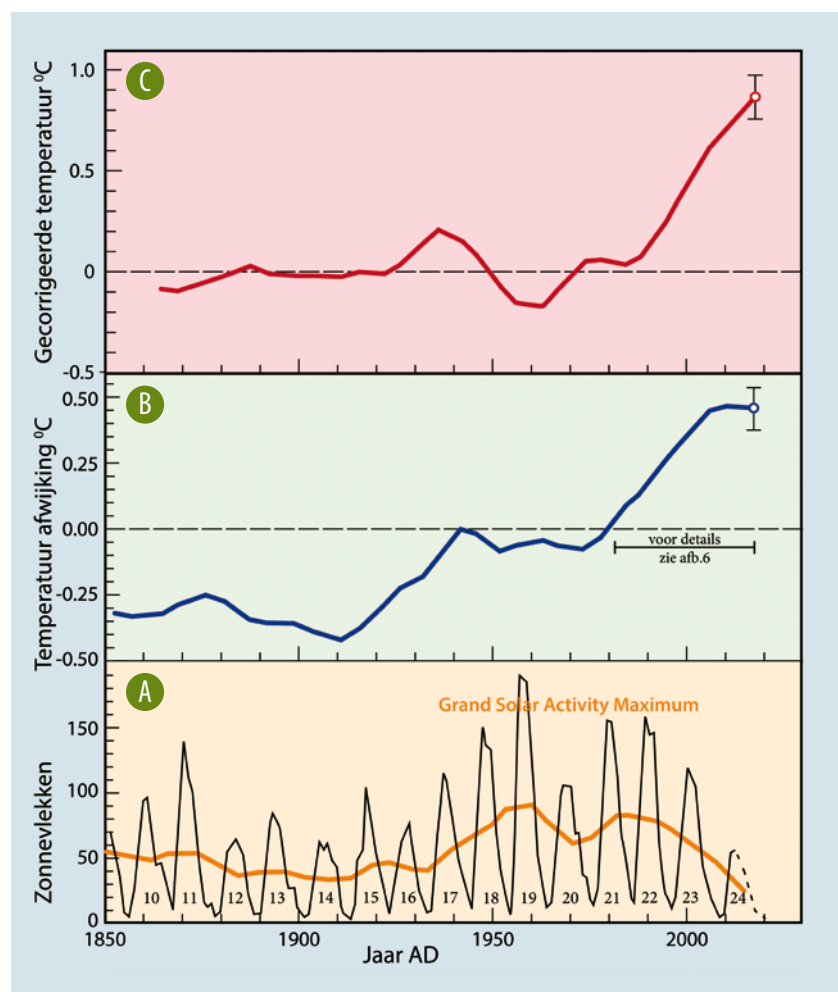
In samenwerking met Russische collega's heb ik gewerkt aan een onderzoek in de Zuid-Siberische republiek Tuva. Daarbij ging het vooral om de plotseling tot grote bloei gekomen cultuur van de Scythen. We onderzochten de sedimenten uit een meertje en vonden sterke aanwijzingen voor een omslag van het klimaat rond 850 v. Chr. in Zuid-Siberië. Het gebied veranderde toen namelijk van een halfwoestijn (heel droog; daar kon bijna niemand leven) in een steppe waar genoeg voedsel was voor dieren en dus ook voor mensen. We kwamen tot de hypothese dat de vrij plotse opbloei van de Scythen-cultuur werd veroorzaakt door dezelfde zongestuurde klimaatverandering die de ondergang van de Bronstijd-bewoning in West-Friesland had veroorzaakt. Een toename van neerslag-brengende westenwinden leidde in

centraal Azië tot een grotere ecologische “draagkracht” van het landschap (snelle bevolkingsgroei). De Scythen waren ruiters en daarom was expansie richting China en ook richting de Balkan juist voor hen goed mogelijk (Van Geel *et al.*, 2004).

Ontwikkelingen in Centraal Afrika

Stuifmeeldiagrammen uit meerafzettingen in Kameroen en omliggende landen wijzen op een rond 800 v. Chr. optredende droogtecrisis: een vegetatie met overwegend regenwoud-soorten veranderde in een vegetatie met vooral savanne-soorten. Lang heeft men gedacht dat uit het zuiden geïmmigreerde Bantoe-boeren verantwoordelijk waren voor de vegetatieverandering (kappen van bos om aan landbouwgrond te komen), maar inmiddels zijn palynologen en archeologen het er over eens dat een klimaatverandering (“droogtecrisis”) ten grondslag gelegen heeft aan de omslag in de vegetatie en dat geïmmigreerde boeren daar hun voordeel mee deden (Van Geel *et al.*, 1998).

De omslag naar droogte in tropisch Afrika rond 800 v. Chr. contrasteert sterk met de omslag naar vernatting in de gematigde gebieden (voor een voorbeeld van het zuidelijk halfrond zie Van Geel *et al.*, 2000). Om die tegenstelling te begrijpen is een uitleg nodig van het meest waarschijnlijke versterkingsmechanisme dat er toe leidt dat betrekkelijk kleine veranderingen in de activiteit van de zon doorwerken in het klimaat. Volgens Haigh (1994, 1996) is UV-straling belangrijk waar het gaat om de rol van de zon bij klimaatverandering. Binnen de kleine veranderingen in de door de zon geproduceerde energie zijn

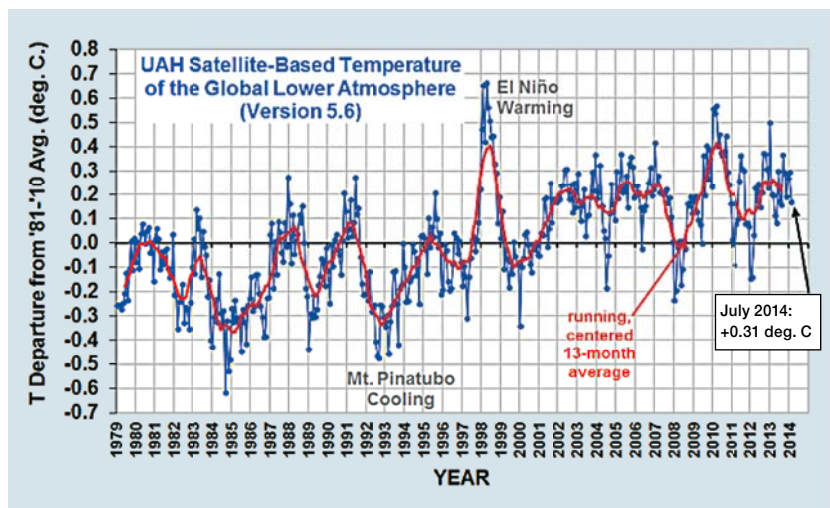


AFBEELDING 5. | A: de cyclische veranderingen in de activiteit van de zon voor de periode 1850 tot heden.

B: de veranderingen van de gemiddelde wereldtemperatuur.

C: de ontwikkeling van de temperatuur “gecorrigeerd” voor zonneactiviteit (naar Stauning, 2014).





AFBEELDING 6. | De gemiddelde wereldtemperatuur zoals gemeten door satellieten. De temperatuur neemt al ruim 10 jaar niet meer toe, hetgeen door geen enkel computermodel werd voorspeld.
www.drroyspencer.com/latest-global-temperatures/

de veranderingen in UV-straling heel belangrijk. UV-straling speelt een rol bij de vorming van ozon in de stratosfeer en ozon absorbeert energie. Als de zon in een extra actieve fase verkeert, wordt er veel UV uitgezonden en dus ook veel ozon gevormd. Verschillen in ozon-aanmaak leiden volgens Haigh tot veranderingen in de temperatuur en daarmee tot veranderingen in de atmosferische circulatie die (bij een lage zonneactiviteit) leidt tot (1) een versterking van neerslag-brengende westenwinden in de gematigde gebieden; (2) de circulatie in de gematigde gebieden schuift een stuk op in de richting van de evenaar, terwijl (3) in de tropen een afzwakking van de moesson (droogte) zal optreden (Van Geel & Renssen, 1998). Kortom, de bovengenoemde, schijnbaar tegenstelde klimaatveranderingen passen goed in het beeld van een versterkingsmechanisme waarbij UV-straling een belangrijke rol speelt.

De zon in het Holocene

Er is inmiddels heel veel onderzoek gepubliceerd waaruit blijkt dat de zon grote invloed heeft op ons klimaat (zie Beer & Van Geel, 2008; Van Geel & Ziegler, 2013). Uit vele voorbeelden kies ik het werk van Michel Magny (2004, 2007) die uitgebreid onderzoek heeft verricht aan meerafzettingen in Zuidoost-Frankrijk en het aansluitende deel van Zwitserland. Aan de sedimenten kon Magny nagaan hoe tijdens het Holocene de waterspiegels in de meren van zijn veldwerkgebied hebben gefluctueerd. In afbeelding 4 zien we – in groen aangegeven – clusters in de tijd van waargenomen lage waterstanden. In rood zijn de clusters van hoge waterstanden aangeduid. Magny heeft de curve van $\Delta^{14}\text{C}$ (geeft variatie in de zonneactiviteit weer) op dezelfde tijdschaal uitgezet. Wanneer we de gegevens vergelijken, blijkt dat de lage waterstanden vooral tijdens perioden met hoge zonneactiviteit optraden, terwijl de waterspiegels juist hoog waren tijdens perioden met lage zonneactiviteit (hoge waarden van $\Delta^{14}\text{C}$). Tijdens fasen met lage waterstanden was er tijdens het Neolithicum en de Bronstijd veel menselijke bewoning langs de meeroevers, maar tijdens hoge waterstanden zochten de mensen hun heil elders, op hogere, drogere bodems. Na 800 v.Chr. was het helemaal afgelopen met de meeroever-dorpen: de bewoners hadden ervaring opgedaan met een plotselinge, ingrijpende stijging van de waterspiegel en namen kennelijk geen risico meer. Het einde van de laatste meeroever-dorpen valt samen met de verdrinking van West-Friesland en dat is geen toeval (Beer & Van Geel, 2008).

Het huidige en toekomstige klimaat

De veranderingen in de zonneactiviteit volgen een cyclisch gedrag. Iedere ca. 11 jaar vertoont de zon een maximum in de activiteit, die mede tot uiting komt in de aantallen zonnevlekken (Afb. 5A). Gedurende de tweede helft van de

vorige eeuw was de activiteit van de zon bijzonder hoog. Deskundigen spreken van een *Grand Solar Activity Maximum*.

We hebben geconstateerd dat de veranderende zonneactiviteit in het verleden wereldwijd heeft geleid tot klimaatveranderingen. Maar wat zijn nu de implicaties en wat is de relevantie van het paleo-onderzoek naar de rol van de zon bij het verklaren van temperatuurstijging in de vorige eeuw? Wat is het klimaat effect van de door de mens veroorzaakte stijging van de broeikasgassen in de atmosfeer ten opzichte van natuurlijke, zongestuurde klimaatverandering?

Het IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) gaat er van uit dat de rol van de zon onbelangrijk is waar het gaat om klimaatverandering. Dat heeft alles te maken met het feit dat het IPCC niet in aanmerking neemt dat er “versterkingsmechanismen” moeten zijn die kleine veranderingen in zonne-energie sterk laten doorwerken op het klimaat. Voor een kritische benadering van de mening zoals verwoord door het IPCC verwijs ik naar een publicatie van Van Geel & Ziegler (2013).

Ondanks alle ophef over *global warming* is de gemiddelde wereldtemperatuur, na de duidelijke stijging die in de tweede helft van de 20ste eeuw optrad, al meer dan 10 jaar niet meer gestegen (Afb. 5B en 6). Stauning (2014) verklaart dit door te stellen dat de temperatuur door het broeikas effect verder zou zijn gestegen, doch dat deze stijging teniet gedaan werd door de verminderde zonneactiviteit in de afgelopen jaren. Zijn “gecorrigeerde” curve (Afb. 5C) geeft de hypothetische stijging weer die zou zijn opgetreden als de zon niet in activiteit zou zijn afgenomen. Daarmee wordt in feite erkend dat de zonneactiviteit invloed heeft op de temperatuur op aarde. Anderzijds wordt echter het *Grand Solar Maximum* dat in de 2de helft van de vorige eeuw optrad niet van wezenlijk belang geacht voor de temperatuurstijging die in diezelfde periode optrad, hetgeen op mij als een curieuze, tegenstrijdige redeneratie overkomt. Kortom: onder klimatologen bestaat er onenigheid over de rol die de fluctuaties in de zonneactiviteit spelen in het verloop van de wereldtemperatuur.



Er bestaat geen verschil van mening over het feit dat temperatuurveranderingen achter kunnen lopen ten opzichte van hun oorzaak. Zo oefenen bijvoorbeeld oceanen een dempend effect uit, want ze kunnen bij opwarming veel warmte opnemen; wanneer de oorzaak van de opwarming tot een einde gekomen is, zullen ze eerst nog veel warmte afgeven, voordat de afkoeling werkelijk effectief wordt. De verwachte verdere vermindering van de activiteit van de zon (Abdussamatov, 2012) zal ons binnen een paar jaar duidelijkheid geven over de vraag welk aandeel de broeikasgassen hebben gehad bij de opwarming tijdens de tweede helft van de vorige eeuw en wat het aandeel was van de zon.

Ondanks alle eventuele twijfels, zijn er goede argumenten om het gebruik van fossiele brandstoffen terug te brengen en te investeren in duurzame vormen van energievoorziening:

- 1) Geopolitiek: op lange termijn zijn er niet genoeg fossiele brandstoffen beschikbaar en afhankelijkheid van onbetrouwbare landen als Rusland maakt ons kwetsbaar.
- 2) Fossiele brandstoffen leiden tot milieuvervuiling.
- 3) Aardolie kan beter gebruikt worden om er producten van te maken dan om het te verbranden.
- 4) Voorkom verdere “verzuring” (minder basisch worden) van de oceanen.
- 5) Misschien leidt een sterk oplopend CO₂-gehalte tot dramatische opwarming.

LITERATUUR

- Abdussamatov, H.I., 2012. *Bicentennial decrease of the Total Solar Irradiance leads to unbalanced thermal budget of the Earth and the Little Ice Age. Applied Physics Research*, 4: pp. 178-184.
- Beer, J. & van Geel, B., 2008. *Holocene climate change and the evidence for solar and other forcings. In: Battarbee, R.W. and Binney, H.A. (eds), Natural Climate Variability and Global Warming: a Holocene Perspective. pp. 138-162. Wiley-Blackwell.*
- Casparie, W.A., 1969. *Bult- und Schlenkenbildung in Hochmoortorf. Vegetatio*, 19: pp. 146-180.
- Casparie, W.A., 1972. *Bog development in southern Drenthe (The Netherlands). PhD thesis, University Groningen.*
- Geel, B. van, 1976. *A paleoecological study of Holocene peat bog sections, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. PhD thesis, University Amsterdam.*
- Geel, B. van & Renssen, H., 1998. *Abrupt climate change around 2,650 BP in North-West Europe: evidence for climatic teleconnections and a tentative explanation. In: Water, Environment and Society in Times of Climatic Change, Eds. Issar, A.S. & Brown, N., Kluwer, Dordrecht: pp. 21-41.*
- Geel, B. van & Ziegler, P.A., 2013. *PCC underestimates the sun's role in climate change. Energy & Environment* 24: pp. 431-453.
- Geel, B. van et al., 1983. *A Late Holocene deposit under the Westfriese Zeedijk near Enkhuizen (Prov. of N-Holland, The Netherlands): palaeoecological and archaeological aspects. Rev. Palaeobot. Palynol.*, 38: pp. 269-335.
- Geel, B. van et al., 1996. *Archaeological and palaeoecological indications for an abrupt climate change in The Netherlands and evidence for climatological teleconnections around 2650 BP. Journal Quaternary Science*, 11: pp. 451-460.
- Geel, B. van et al., 1998. *The sharp rise of $\Delta^{14}\text{C}$ ca. 800 cal BC: possible causes, related climatic teleconnections and the impact on human environments. Radiocarbon*, 40: pp. 535-550.
- Geel, B. van et al., 2000. *Climatic change in Chile at around 2700 BP and global evidence for solar forcing: a hypothesis. The Holocene*, 10: pp. 659-664.
- Geel, B. van et al., 2004. *Climate change and the expansion of the Scythian culture after 850 BC, a hypothesis. Journal of Archaeological Science*, 31: pp. 1735-1742.
- Geel, B. van et al., 2014. *Bog burst in the eastern Netherlands triggered by the 850 BC climate event. The Holocene. doi: 10.1177/0959683614544066.*
- Griede, J.W., 1978. *Het ontstaan van Friesland's Noordhoek. PhD Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, 186 pp.*
- Haigh, J.D., 1994. *The role of stratospheric ozone in modulating the solar radiative forcing of climate. Nature*, 370: pp. 544-546.
- Haigh, J.D., 1996. *The impact of solar variability on climate. Science*, 272: pp. 981-84.
- Magny, M., 2004. *Holocene climate variability as reflected by mid-European lakelevel fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. Quaternary International*, 113: pp. 65-79.
- Magny, M., 2007. *Lake level studies – West-Central Europe. In: Encyclopedia of Quaternary Studies, Vol. 2, pp. 1389-99. Elsevier, Amsterdam.*
- Roeleveld, W., 1974. *The Holocene evolution of the Groningen marine-clay district. Berichten Rijksdienst Oudheidkundig Bodemonderzoek 24 (Supplement): 132 pp.*
- Stauning, P., 2014. *Reduced solar activity disguises global temperature rise. Atmospheric and Climate Sciences*, 4: pp. 60-63.

