

## De veranderlijke zon domineert bij de grote klimaat veranderingen in het Pleistoceen en bij de overgang naar het Holoceen.

Resultaten van veel wetenschappelijk onderzoek over de grote klimaat veranderingen en de astronomische factoren, die ze veroorzaken, staan op internet met veel meer details dan in de tijdschrift artikelen. Ik kon dan ook als amateur deze problematiek gemakkelijk bestuderen en heb meterslange grafieken gemaakt van de tabellen met gegevens vooral uit ijs boorkernen en die weer op het internet gezet. Hierbij heb ik mij vaak verbaasd over de verbanden. Frappant hierbij zijn de vrij sterke aanwijzingen voor de hypothese dat de fluctuaties in de activiteit van de zon veel groter zijn dan men verwacht en dat dit in belangrijke mate heeft bijgedragen tot de in onze beleving zeer extreme klimaat veranderingen, die er de laatste 40000 jaar geweest zijn.

In **FIG 7a** geeft de **dikke zwarte curve** het verloop van de temperatuur ( $T_N$ ) in Centraal Groenland in de laatste 40000 jaar (40ky), dus 1/3 deel van de laatste ijstijd en de huidige era, het Holoceen. De **blauwe curve** geeft het verloop van de ijs accumulatie en is een directe maat voor de neerslag ter plaatse. Deze grafieken werden gemaakt met de tabel van R.B. Alley ea, [Litt 1] die op NOAA site staan. Zij hebben een temperatuur reconstructie gemaakt met isotopen onderzoek van het ijs uit de boorkern GISP2 op 72,5° NB. Daarbij wordt onderzocht of er meer of minder water met de zwaardere isotopen Deuterium ( $^2\text{H}$ ) en/of  $^{18}\text{O}$ , in de neerslag is geweest in het verleden. Het gewicht van de watermoleculen is bepalend voor de snelheid van verdamping en condensatie. Bij lagere temperaturen komen daardoor minder zwaardere atomen in de neerslag in Centraal Groenland. De verhouding tussen de isotopen ( $\delta\text{D}$  of  $\delta^{18}\text{O}$ ) is dan ook een indirecte maat (proxy) voor de temperatuur op de plaats van de neerslag en in de omgeving. Het blijkt nu dat er tijdens het glaciaal (ijstijd) grote temperatuur fluctuaties waren, waarbij er op millennium schaal opwarmingen waren van meer dan  $10^\circ$ , die ook zeer snel verliepen (tot  $12^\circ$  per eeuw). Zij blijken overeen te komen met klimaat veranderingen over zeer grote gebieden, die al eerder bekend waren door bodem

onderzoek op bijvoorbeeld planten resten. Deze warme perioden worden in de literatuur D-O events, of interstadialen genoemd. Zij zijn te onderscheiden van de interglacialen, die veel langer duren en waarvan onze huidige era, het Holoceen, waarschijnlijk een voorbeeld is. Deze interstadialen zijn op de curve met hun nummers aangeduid. Hierbij is de piek A dan het laatste, het zg Allerød interstadiaal. Dit wordt nog gevolgd door de koude periode van het Younger Dryass (YD). Daarna geeft de piek H de aanzet tot het Holoceen. Het verschil tussen het Holoceen en de ijstijd bij deze curve is dus niet alleen ca  $15^\circ$  verschil op Groenland. Ook is de temperatuur nu tijdens het Holoceen veel gelijkmatiger. Er waren in de laatste ijstijd extreme klimaatsveranderingen in het Noordelijk halfrond met zeer snelle opwarmingen en iets tragere afkoelingen. Geprojecteerd op onze situatie zou dan een opwarming, die begon in 1850 thans hebben geleid tot een tropisch klimaat in Nederland en een afkoeling, die begon in 1600 zou dan nu hier tot een poolklimaat hebben geleid. Wij kennen dergelijke verschuivingen dus niet. Ook al zijn de verschillen tussen het klimaat in Europa in bijvoorbeeld de 17<sup>e</sup> eeuw en nu voor ons groot, toch vallen dezen in het niet in vergelijking met de klimaat variaties tijdens de laatste ijstijd. Deze ijs boring beslaat een totale periode van 49 ky en andere ijsboringen gaan met 125 ky BP (kilo year before present) tot in het laatste interglaciaal. Omdat het tijdens dat interglaciaal warmer was dan nu in het Holoceen, is toen een groot deel van het ijs in Groenland gesmolten. Het ijs van gletsjers die overbleven is daarna tijdens de ijstijd sterk vervormd door de enorme ijsvorming, waardoor de lagen niet goed meer te dateren zijn. Het optreden van deze opvallende interstadialen was er dus vermoedelijk ook in de eerdere ijstijden, maar dat is niet goed meer te achterhalen uit het ijs van Groenland. Verder blijkt dat er een periodieke regelmaat is in het optreden van de interstadialen over de gehele ijstijd. Prof. S Rahmstorf [Litt 2] heeft beschreven dat deze opwarmingen gedurende de hele laatste ijstijd met een zeker ritme

optraden: er is daarin een periode van 1470 jaar herkenbaar. In dit gemiddelde met relatief kleine afwijkingen zitten vrijwel alle beschreven interstadialen met een aantal kleinere opwarmingen en de snelle opwarming(H) aan het begin van het Holoceen. In de **FIG 7a** wordt het 1470 jaar ritme met de pijlen weergegeven. Je ziet dan echter wel dat niet lang alle 'paces' van 1470 jaar resulteren in een opwarming. Verder waren er ook korte koude periodes, waarbij de temperatuur in Groenland iets beneden het normale kwam. Dit zijn de diepte punten in de curve. Deze extra koude perioden worden Heinrich events genoemd. Ook zij waren al bekend voor de ijsboringen, want zij leidden veel verder naar het zuiden, zoals bij Portugal tot een veel groter temperatuur en klimaat verschil dan op Groenland. Door de toegenomen ijsvorming kwamen in deze gebieden veel ijsbergen. De sedimenten uit die tijd bevatten dan ook stenen die door deze ijsbergen werden meegenomen in deze koude periodes. Deze Heinrich events gaven aanzienlijke afkoelingen in het Noord Atlantische gebied. Wat betreft de neerslag valt op dat deze gedurende de ijstijd gering was en tot ca 15ky BP weinig veranderde. Pas in de laatste interstadialen en tijdens het Holoceen kwam er meer neerslag in Groenland.

De **dunne zwarte curve** geeft de temperatuur ( $T_z$ ) in Oost Antarctica, op 75° ZB, volgens de gegevens uit de EPICA Dome C ijsboorkern in de publicaties van J. Jouzel ea [Litt 3], met de tabel op de NOAA site. De temperatuur interpretatie op basis van de  $\delta D$  is van deze onderzoekers; nulpunt hierbij is het gemiddelde in de laatste 1000 jaar. De totale boring gaat hier tot op 15 m van de rotsbodem, 3260m in het ijs. Omdat in Oost Antarctica geen ijs is gesmolten tijdens de interglacialen heeft men hier de vorming van de ijslagen kunnen dateren tot 800000 jaar (800 ky) terug bij de rots bodem. Het doel van dit onderzoek is de Noord – Zuid vergelijking van de temperatuur over ca 125 ky jaar en het testen van de

Milankovitch theorie door het totale temperatuur verloop van 800 ky in het Zuiden met ca 10 ijstijden en interglacialen te vergelijken met variabelen voor de klimaat drijving door de aardbaan. Helaas zijn de grafieken met alle gegevens over 800 ky in het tijdschriftartikel van de wetenschappers beperkt tot ca 15 cm, terwijl men zonder bezwaar meterslange grafieken op het internet kan plaatsen [Litt 4], waarin de resultaten veel beter zichtbaar zijn. Interessant zijn de verschillen en de overeenkomsten tussen Noord en Zuid: De interstadialen met temperatuur sprongen van 10° tot 16° in het Noorden hebben in het Zuiden pendanten van slechts 2° á 3°. Zowel in het Noorden als in het Zuiden is er een langdurige warme tijd, het Holoceen, vanaf ca 11,5 ky BP (before present), maar de aanloop daartoe is geheel verschillend: In het Zuiden is de opwarming van ca 10° tot het Holoceen gelijkmatig gedurende 6000 jaar met daarin een flauwe onderbreking van ca 1500 jaar, maar in het Noorden is het in slechts 300 jaar tot 11,4 BP 12° warmer geworden. Weliswaar zijn er aan deze snelle opwarming tot het Holoceen in het Noorden in 3000 jaar nog 3 snelle kortdurende opwarmingen vooraf gegaan, maar dergelijke interstadialen zijn er gedurende 110 ky in de hele laatste ijstijd geweest in het Noorden. Verder blijkt dat de temperatuur van EPICA op korte termijn zeer veranderlijk is, maar op de lange termijn vrij constant is. Hierin is een groot verschil met de temperatuur van GISP2. In het Noorden wisselen de perioden met temperatuur stijging en daling elkaar niet zo snel af en daardoor zijn de temperatuur schommelingen volgens GISP2 in totaal veel groter dan volgens EPICA. Hierbij moet opgemerkt worden dat de tijd resolutie van de beide temperatuur curven slechts weinig verschilt. De tijd tussen de metingen neemt bij de tabel van EPICA af van ca 50 jaar op 40 ky BP tot ca 9 jaar bij de laatste resultaten uit ijs van omstreeks 1912 AD. Bij de tabel van GISP2 is dat van ca 80 jaar tot ca 7 jaar omstreeks 1855 AD.

De **paarse curve** bovenaan **FIG 7a** staat voor de klimaat drijving door de aardbaan volgens de theorie van Milankovitch. In de paarse curve is de som van de instraling per gemiddelde dag op 70° NB in de maanden april – augustus uitgezet, volgens de tabellen uit het onderzoek van prof. A. Berger, uit Leuven [Litt 5]. De eenheid is dus  $W/m^2$  per 5 dagen voor de 5 maanden in totaal. Deze tabellen beschrijven de cyclische variatie in de instraling per dag op de verschillende geografische breedten. Deze variatie in de instraling bestaat uit twee componenten: de variatie in de obliquiteit en in de excentriciteit van de aardbaan met daarbij de verschuiving van het perihelium door de seizoenen vanwege de precessie. De intensiteiten in de variaties en in hun periodes zijn enigszins variabel. De periodes in de obliquiteit zijn ca 40 ky en in de precessie van de equinoxen ca 20 ky. De parameter van **FIG 7a** is de variatie aan instraling **per dag**. Deze geeft echter geen volledige informatie over de verschillen in de totale zomerinstraling op 70° NB. Immers als de Aarde tijdens de Noordelijke zomer in het perihelium komt, dus in juni het dichtst bij de zon staat, is de snelheid van de Aarde in haar baan in juni ook het grootst. De hogere instraling per dag in de zomer door de excentriciteit wordt dus ten dele te niet gedaan door de kortere duur van de zomer. De snelheid van de Aarde is volgens de 2<sup>e</sup> wet van Kepler omgekeerd evenredig met de afstand tot de zon en de instraling is omgekeerd evenredig met het **kwadraat** van de afstand tot de zon. Hierdoor wordt de grotere instraling per dag door de kleinere afstand ongeveer voor de helft gecompenseerd door de kortere duur van de zomer tijdens het perihelium. De curve van de netto totale zomer instraling in het Noorden wordt door velen als 'de' aardbaan drijving gezien. Deze is dus meer afgevlakt dan de paarse curve hier aangeeft, en heeft meer invloed van de obliquiteit. Het is echter niet duidelijk welke aardbaan parameters het grootste effect hebben op het klimaat. De totale instraling over een heel jaar op de gehele Aarde is constant. De grotere hoek van de aardas (obliquiteit) geeft warmere zomers en koudere winters en een kleine

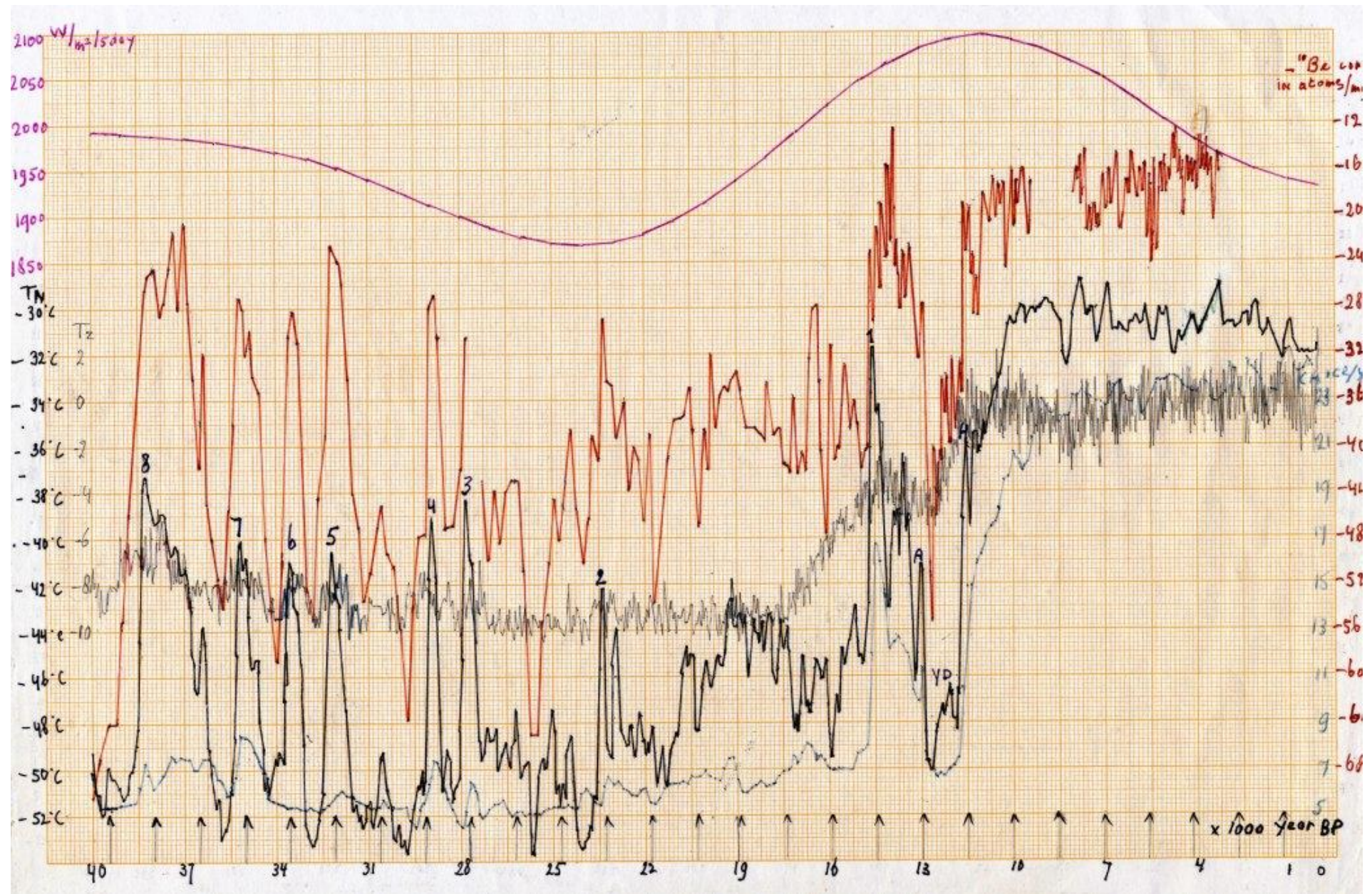
verschuiving van de instraling per jaar van lagere naar hogere geografische breedte. Het perihelium in de zomer geeft warmere en kortere zomers, maar gaat gepaard met het aphelium in de winter waardoor de winter kouder is en langer duurt. De beide Milankovitch componenten hebben dus elk een tegenstrijdig klimaat effect in de zin van opwarming in de zomer bij afkoeling in de winter of omgekeerd. Onderzoekers als P. Huybers [Litt 6,7] verklaren daarmee dan ook een belangrijke paradox bij de Milankovitch theorie: Meer zomer instraling op het noordelijk halfrond tgv de excentriciteit gaat gepaard met minder zomer instraling op het zuidelijk halfrond, terwijl de interglacialen in de beide hemisferen gelijktijdig optreden. De Noordpool is in zee gelegen, die in de ijstijden geheel bevroren is en omgeven door continenten waarop aan de noordzijde kilometers dikke ijslagen liggen. Deze gletsjers beslaan een groot deel van de continenten en komen bijvoorbeeld tot voorbij de plaats van Berlijn in Europa en in Noord Amerika kwam het ijs zelfs tot 37° NB, de plaats van Indianapolis nadat de bekkens van de grote meren werden gevormd door het enorme gewicht van de gletsjers. Door meer instraling in de zomer gaat het landijs smelten. Hierdoor krijgt de opwarming positieve feedback: het oppervlak verliest weerkaatsend vermogen (albedo) en hoogte; ook komen er meer broeikasgassen vrij door verdamping en doordat organismen gaan groeien. Door de langduriger en koudere winter wordt de zomer smelt in het Noorden niet gecompenseerd, want de aangroei van landijs wordt vooral bepaald door de hoeveelheid neerslag. Daardoor is de zomertemperatuur in het Noorden de beperkende factor voor de hoeveelheid ijs en de bepalende factor voor het klimaat. In het Zuiden echter smelt er in de zomer tijdens de ijstijden nooit landijs op Antarctica en is het zeeijs en daarmee winter temperatuur de beperkende en dus bepalende factor voor het klimaat. In koude langdurige winters zal het zeeijs immers onbeperkt aangroeien, zowel aan de bovenzijde door de neerslag als van onderzijde. In de extra warme maar kortere zomer zal het smelten

van het zeeijs beperkt worden door sneeuwval en de grote warmte capaciteit van water. Ook spelen de vaak harde westenwinden en de sterke zeestromingen rondom Antarctica een rol. Er is daar geen Noord – Zuid circulatie, zoals in de Atlantische Oceaan, zodat het drijfijjs dat in de zomer ontstaat in het Zuiden blijft en weer snel aaneen vriest in de winter. Het smelten van de overmaat zeeijs onttrekt ook zoveel energie dat het op Antarctica niet warmer wordt in perioden met extra zomer instraling. Pas als de winter iets vriendelijker is en korter duurt kan de hoeveelheid zeeijs voldoende afnemen voor een klimaat omslag. Dan pas kan er ook enige positieve feedback komen voor de opwarming, vanuit de oceaan dus. Deze feedback is waarschijnlijk kleiner dan die van de continenten in het Noorden. Verder is volgens P. Huybers [Litt 6,7] is meest zuivere reactie op de Milankovitch prikkels, dus zonder feedback, opwarming als de instraling in het **voorjaar** toeneemt. Niet alleen de intensiteit van de straling, maar ook de capaciteit van de atmosfeer om deze energie op te nemen is van belang en bij de lagere temperatuur in het voorjaar is de atmosfeer daartoe beter in staat. De curve van FIG 1 is dus een benadering van de Milankovitch klimaat drijving doch niet - zoals de literatuur dat algemeen aangeeft - omdat hij de zomer instraling in het Noorden beschrijft, maar meer omdat hij de duur van zomer en winter in het Zuiden beschrijft. In het Zuiden zal dus de aangroei van zeeijs direct stoppen bij toenemende instraling in september en oktober. Deze oplossing van de paradox geeft dus ook aan dat het Noorden minder goed dan het Zuiden kan reageren op de Milankovitch prikkels door de (potentiële) aanwezigheid van veel dynamisch landijs.

De **bruinrode curve** op **FIG 1** is de negatieve  $^{10}\text{Be}$  (beryllium-10) concentratie in de ijsboorkern van de GISP2 locatie, volgens de tabellen van R.C. Finkel ea [Litt 8]. Stoffen uit het ijs, zoals  $^{10}\text{Be}$ ,

worden in het laboratorium bepaald uit een plak ijs van de boor kern. De boven en onderkant van de plak zijn gekalibreerd op diepte en met behulp van de datering wordt dan door de onderzoekers de tijd van vorming van de top en de bodem van de plak gegeven. Bij elke laboratorium waarde past dus als tijd het gemiddelde van de top en de bodem tijd van de plak. In de curve worden de  $^{10}\text{Be}$  concentraties  $x-1$  op deze gemiddelde tijdpunten verbonden. Ook wordt aangegeven als er hiaten zijn, wanneer er over periodes geen bepalingen zijn. Hierbij is de datering, dus van diepte naar tijd, voor de onderzoekers altijd erg moeilijk en een factor van onzekerheid. Soms vind je bij de vergelijking van de curven aanwijzingen voor discrepanties in de dateringen. De  $^{10}\text{Be}$  concentratie is een directe maat voor de kosmische straling. Deze harde straling bestaat vooral uit zeer snelle deeltjes uit het universum. Die zijn in staat om zuurstof en stikstof atomen te splijten, waardoor radioactieve isotopen als  $^{10}\text{Be}$  en  $^{14}\text{C}$  in de atmosfeer ontstaan. Het  $^{10}\text{Be}$  wordt geoxideerd en valt met de sneeuw, of als droog neerslag op de grond en komt daarbij in het ijs terecht. De magnetische activiteit van de zon heeft invloed tot ver in de interplanetaire ruimte doordat de bewegingen van de geladen deeltjes van de zonnwind magnetische velden vormen. Deze magnetische velden houden de kosmische straling in het zonnestelsel tegen. Het doordringen van kosmische straling en de productie van  $^{10}\text{Be}$  wordt dus gemoduleerd dus fluctuaties in de magnetische activiteit van de zon. De op grond hiervan te verwachten relatie tussen het  $^{10}\text{Be}$  en de temperatuur is gecompliceerd. Er is mogelijk een indirect verband tussen de zon en de temperatuur via de kosmische straling, vanwege het koppel: minder magnetische zonactiviteit → meer kosmische straling → meer nucleaire reacties (met o.a.  $^{10}\text{Be}$  vorming) en chemische reacties in de atmosfeer → meer condensatiekernen → meer wolkvorming → afkoeling. Het belang van deze relatie is echter omstreden. Belangrijker is waarschijnlijk een direct effect van de zon

Figur 7a



op de temperatuur, waarbij het  $^{10}\text{Be}$  een indirecte maat (proxy) is voor de magnetische zon activiteit, volgens: Minder magnetische (en daarmee ook energetische) activiteit van de zon → een zwakker interplanetair magnetisch veld → meer kosmische straling bereikt de Aarde → meer  $^{10}\text{Be}$  productie in de atmosfeer. Samen met: Minder energetische activiteit van de zon → afkoeling en wellicht ook: Minder magnetische activiteit van de zon → afkoeling. Deze laatste relatie is echter onzeker.

Er zijn statistisch wel aanwijzingen dat de zon een grotere invloed heeft op de temperatuur in onze tijd dan verklaarbaar met alleen de variatie in energie uitstraling, maar het is fysisch niet duidelijk hoe de zon het klimaat kan veranderen anders dan door variatie van de instraling van energie op Aarde. In alle gevallen is er dus een negatief verband tussen het  $^{10}\text{Be}$  en de temperatuur en zal de curve van  $-1 \times$  de  $^{10}\text{Be}$  concentratie een meer overzichtelijke positieve samenhang laten zien. Er zijn echter naast de zon meer factoren van invloed op het koppel  $^{10}\text{Be} \rightarrow$  temperatuur, waardoor de studie met het  $^{10}\text{Be}$  naar de invloed van de zon op het klimaat gecompliceerd is en geen volledige zekerheid verschaft. De gecompliceerde fysische lotgevallen van het  $^{10}\text{Be}$  zijn beschreven in de literatuur [Litt 1,9,10]. Naast de zon beïnvloedt het magnetisch veld van de Aarde zelf de kosmische straling en kan de kosmische straling ook primair, bij de bron, variëren. Een belangrijker probleem nog is dat atmosferische veranderingen invloed hebben op de  $^{10}\text{Be}$  concentratie in het ijs. Bij droog neerslag van  $^{10}\text{Be}$  wordt de  $^{10}\text{Be}$  concentratie verdund met de hoeveelheid neerslag. Omdat de ijsaccumulatie echter bekend is kan men daarbij wel de totale flux inschatten uit concentratie  $\times$  accumulatie = flux. Dat wordt dan ook wel gedaan. Verwacht moet echter worden dat het meeste  $^{10}\text{Be}$  met de sneeuw mee komt en de concentratie in de sneeuw (en het ijs) is dan wel een directe maat voor de concentratie in de atmosfeerlaag waar de sneeuw ontstaat, de troposfeer. Bij meer neerslag wordt het  $^{10}\text{Be}$  wel sneller uitgewassen uit de troposfeer waardoor de concentratie daalt, maar de flux zou hiervoor een overdreven

correctie geven. Het punt is dat het  $^{10}\text{Be}$  dat op deze plaats in het ijs terecht kwam in een wijde omgeving is geproduceerd in de stratosfeer en de troposfeer door de kosmische straling. Fluctuaties in de neerslag in heel deze omgeving zijn dus door uitwassing van invloed op de lokale concentratie. Deze neerslag in de omgeving is niet te achterhalen. Te verwachten is wel dat fluctuaties van de totale neerslag in een groot gebied (veel) kleiner zijn dan op locatie. De cijfers van de flux geven dus een overdreven correctie op de concentratie wegens uitwassing bij de natte  $^{10}\text{Be}$  neerslag. Het blijft hierbij echter wel onduidelijk hoe betrouwbaar de  $^{10}\text{Be}$  cijfers nu precies zijn als proxy voor de zonneactiviteit. Om die betrouwbaarheid te testen heb ik het verloop van de verschillende radionucliden,  $^{14}\text{C}$  en  $^{10}\text{Be}$  met elkaar vergeleken en met de zonnevlekken [Litt 4]. Ook zijn daarbij  $^{10}\text{Be}$  concentraties uit Groenland en Antarctica vergeleken. Je ziet dan wel wat verschillen, maar ook overeenkomsten in de essentie van het verloop. Deze covariatie wijst erop dat andere factoren dan atmosferische veranderingen en primaire verandering in de kosmische straling de fluctuaties in het  $^{10}\text{Be}$  voor een belangrijk deel bepalen. Ook in FIG 1 ziet men dat veranderingen in het  $^{10}\text{Be}$  van Groenland samengaan met de temperatuur in Oost Antarctica.

### Theorieën, vergelijking curven en conclusies

Het is a priori plausibel dat oorzaak → gevolg connecties bij klimaat verandering variabel zijn, zodat het naar plaats en tijd verschilt welke factoren domineren bij de klimaat veranderingen. Bovendien ligt voor de hand dat het effect van de verschillende factoren met invloed op het klimaat elkaar afwisselend verzwakken en versterken door competitie en interferentie. Vanuit observaties, dus a posteriori, zoals FIG 1 blijkt dan ook dat daarvoor bewijsmateriaal is. Hierbij geeft het samengaan van de curven (covariatie) direct intuïtief inzicht in statische correlaties, met doorgaans hetzelfde resultaat als vergaande statistische analyses.

De theorie van Milankovitch heeft een goede fysische basis. Door deductieve redenering vooraf is het dan ook algemeen aanvaard dat de variatie aan instraling door de aardbaan bepalend is voor het tot stand komen van belangrijke klimaat veranderingen. Dankzij het onderzoek van het ijs heeft men echter pas de laatste tijd een vrij nauwkeurig inzicht in het verloop van de temperaturen bij de ijstijd cycli en kan men dat vergelijken met de aardbaan drijving. Daarbij blijkt dat deze theorie niet volledig wordt bevestigd door controle achteraf. Bijvoorbeeld de talrijke temperatuur veranderingen in het Noorden, die gepaard gaan met kortdurende klimaat veranderingen (interstadialen) treden evenzeer op bij toenemende als bij afnemende instraling door de aardbaan en zij zijn zelfs een factor 100 sneller dan de veranderingen in de instraling. De interstadialen kunnen dus geen verband hebben met de aardbaan. Wel valt een punt van maximale zomer instraling samen met de laatste snelle opwarming bij het begin van het Holoceen, maar ook dat is geen bevestiging want de opwarming blijft doorgaan en de temperatuur blijft hoog, ook nu in onze tijd met een de minimum aan instraling. Het temperatuur verloop in Antarctica toont echter veel meer overeenkomsten met de aardbaan drijving. In de periode 40 ky - ca 27 ky BP daalt de temperatuur op lange termijn iets, evenals de aardbaan curve. In ca 27 ky – 17,5 ky BP zijn de temperaturen minimaal en het minimum in de aardbaan drijving op ca 24 ky BP valt ook in deze periode. Halverwege de stijgende fase van de aardbaan begint ook de geleidelijke opwarming tot ca 11 ky BP en daarna komt er een langzame afkoeling tot een minimum op ca 8,2 ky BP. Dus ook in 17,5 ky - 8,2 ky BP loopt de temperatuur verandering tamelijk parallel aan de aardbaan. Na ca 8 ky BP stijgt de temperatuur iets en blijft op langere termijn vrij constant, ondanks de dalende aardbaan drijving. Er is dus ook voor het Zuiden geen covariatie in de periodes 23 – 17,5 en 8 – 0 ky BP. Er is in ca 65% van de tijd covariatie, terwijl de fases in gemiddeld 50% toevallig parallel lopen, zonder dat er drijving is en dat kan bij een beperkt

aantal waarnemingen, zoals hier minder of meer zijn. De relatie tussen de temperatuur in het Zuiden en de Milankovitch curven over 800ky met ca 10 ijstijden en interglacialen is bestudeerd door oa P. Huybers [Litt 6] en je kan ook zelf die curven uittekenen in meterslange grafieken[4]. Ook dan blijkt in het Zuiden algemeen ca 65% covariatie te zijn, iets meer dus dan toevallig. Ook sommige temperatuur veranderingen van het ijs uit het Noorden hebben verband met de trage veranderingen in de aardbaan drijving. Dat zijn echter alleen trage en meer subtiele temperatuur veranderingen, terwijl de klimaat veranderingen in het Noorden gedomineerd worden door snelle temperatuur veranderingen, die weinig of geen verband kunnen houden met deze trage veranderingen door de Milankovitch drijving. Duidelijk is dus dat de aardbaan wel invloed heeft op het verloop van temperaturen en klimaat veranderingen, maar dat dit niet de enige factor kan zijn en waarschijnlijk ook niet de belangrijkste is. Naast de mogelijkheid van interne fluctuaties moet hier toch in de eerste plaats gedacht worden aan een belangrijke andere externe drijver, gezien het globale optreden van de temperatuur veranderingen.

De hypothese dat ook de zon een belangrijke klimaat drijver is in de aardgeschiedenis en daarbij vaak domineert, is sterk omstreden maar toch zeer plausibel. De zon levert vrijwel alle energie voor het klimaat. Zonder de zon zou de temperatuur op Aarde bijna 290° C lager zijn en slechts enkele percenten verschil in de energie van de uitstraling van de zon kunnen dus grote klimaat veranderingen veroorzaken. Dat is duidelijk, maar de idee dat er in de loop van millennia variaties zouden zijn van 2 à 3% in de energie stroom van de zon naar de aarde is vrij revolutionair en in strijd met algemeen aanvaarde opvattingen. Astronomen vinden wel dat de zon varieert in aspecten als zonneplekken, magnetische activiteit en de uitstoting van gassen (zonnwind), omdat daarvoor bewijs is uit observaties.

Men houdt er echter geen rekening mee dat de variaties in de magnetische activiteit op langere termijn mogelijk vele malen groter kunnen zijn dan in de 400 jaar tijd met observaties van zonvlekken en ook van 11500 jaar, de tijd van het Holoceen met een betrekkelijk constant klimaat op Aarde. Variaties in de energie uitstraling van 2 of 3 % houdt men voor onmogelijk, omdat daarvoor geen aanwijzingen zijn uit wetenschappelijke waarnemingen. Men kan echter slechts putten uit 30 jaar betrouwbare observatie van de uitstraling van de zon. Dit zegt dus over de mogelijke variatie in 1 miljoen jaar evenveel als een waarneming van het weer gedurende 1 uur over de mogelijke weersveranderingen gedurende 100 jaar. Bovendien blijkt toch uit de observaties dat het jaargemiddelde in de uitstraling met 0,1% varieert in 30 jaar en dit in samenhang met de 11 jarige cyclus in de magnetische activiteit van de zon. Lineaire extrapolatie hiervan geeft een variatie van 3,3% in het eeuwiggemiddelde binnen een periode 100000 jaar, ruim voldoende dus om de enorme klimaat variatie in een ijstijd cyclus te verklaren. Verder zijn er veel fundamentele bezwaren tegen de theorie van de constante zon, waarvan de uitstraling slechts in een tijdschaal van 100 my langzaam toeneemt, doch zonder fluctuaties. Duidelijk is dat de min of meer constante uitstraling van de zon berust op dynamische evenwichten tussen fysische processen, waarbij aanwezigheid van fluctuaties altijd meer voor de hand ligt dan de afwezigheid. De productie van de energie door nucleaire fusie in de zonnekern staat op termijn los van de uitstraling, omdat de fotonen zeer lang worden vastgehouden in het zeer dichte plasma diep in de zon. De zon beschikt dus over een enorme energievoorraad en variatie in het transport alleen kan langdurige fluctuaties in de uitstraling geven. Fluctuatie in transport is iets wat algemeen optreedt en zichzelf versterkt, zoals we zien bij het ontstaan van files op de autowegen. De deeltjes in de zon zijn echter nog wat heter gebakerd dan sommige automobilisten. Het gaat hier om geladen deeltjes, die door beweging enorme elektrische stromen en

magnetische velden opwekken en daarbij de beweging van andere deeltjes beïnvloeden. Vanaf ca 200000 km onder het oppervlak van de zon vindt het transport plaats door convectie, wat fluctuatie eigenlijk al impliceert. De gevolgen hiervan aan het zonsoppervlak worden dan ook waargenomen met wetenschappelijk onderzoek in onze tijd, wat echter een momentopname is. Zelfs bij een constante totale uitstraling kunnen er nog aanzienlijke variaties zijn in de straling die de Aarde bereikt, namelijk door fluctuaties in de verdeling bij transport en uitstraling tussen de polaire en equatoriale gebieden, want de Aarde ontvangt meer straling uit de equatoriale dan uit de polaire gebieden van de zon.

Mogelijkheden genoeg dus voor fluctuaties en daarom is het een belangrijk signaal van het onderzoek met radionucleïden als <sup>10</sup>Be dat de magnetische activiteit en dus ook de daarmee verbonden uitstraling van de zon veel meer varieert op de langere termijn van het Pleistoceen dan dat wij gewend zijn en kennen van studies over het Holoceen. Verder is ook het ritme van 1470 jaar in de Pleistocene klimaat fluctuaties een aanwijzing voor de zon als mogelijke oorzaak, zie ook Braun, H ea [Litt 11]. Van de zon kennen we namelijk periodieke veranderingen in activiteit. Het 11 jarig Schwabe ritme in de zonvlekken is goed bestudeerd. Er zijn ook langere periodes in de magnetische zonneactiviteit, o.a. van 86,5 jaar (Gleisberg) en 210 jaar (de Vries). Telkens na 1470 jaar, dus precies 17 Gleisberg en 7 de Vries periodes, versterken ze elkaar weer door interferentie. Het is hierbij zeker niet algemeen aanvaard dat de zon zo'n duidelijke klok zou hebben in de zin van echt constante gemiddelden over zeer lange periodes in de fluctuaties van de activiteit, maar dat is in principe wel mogelijk. Tenslotte wijst de duidelijke correlatie van de <sup>10</sup>Be variatie met de temperatuur, vooral in de Pleistocene periode (voor 11500 BP) op de zon als belangrijke klimaat drijver. De samenhang tussen de temperatuur curve en die



van de  $^{10}\text{Be}$  concentratie is zeer duidelijk aanwezig in de gegevens van dezelfde ijskern uit Groenland. De  $^{10}\text{Be}$  curve van het Noorden toont veel minder samenhang met de temperatuur in het Zuiden. Als oorzaak hiervan moet in de eerste plaats gedacht worden aan verstoring (bias) van het signaal: Omdat de atmosferische veranderingen een andere bron zijn voor samenhang van de temperatuur en  $^{10}\text{Be}$  curven in het Noorden wordt hier een correlatie gesuggereerd die sterker is dan door de zon. Echter de verschillen in de beide temperatuur curven wijzen erop dat er ook andere verklaringen hiervoor zijn: Waarschijnlijk reageert het klimaat in het Zuiden anders op dezelfde prikkel. De samenhang, die er toch ook is tussen het  $^{10}\text{Be}$  uit het Noorden en de temperatuur het Zuiden bevestigt dat de radionucleïden redelijk betrouwbaar zijn als proxy voor veranderingen in de magnetische activiteit van de zon, evenals ander vergelijkend onderzoek[4]. Er zijn niettemin ook aanwijzingen voor verstoringen en daardoor ontbreekt de volledige zekerheid.

Ondanks de onzekerheden over de betrouwbaarheid van deze proxies als signaal voor zon variatie op lange termijn, zou men deze aanwijzingen toch wat meer serieus moeten nemen en verder onderzoek moeten inzetten op andere directe en meer betrouwbare getuigen van de uitstraling van de zon. Vermoedelijk doet men dat niet vanwege het algemene geloof in de zonneconstante. Andere directe getuigen zijn echter ongetwijfeld aanwezig, als de theorie van de fluctuerende zon juist is. Observaties en inzichten in het fysisch gebeuren op de zon maken duidelijk dat variaties in de aantallen door de zon uitgestraalde fotonen gepaard gaat met veranderingen in de kwaliteit daarvan. De kleine thans gemeten variatie van 0,1% zit namelijk grotendeels in het UV gedeelte. Men kan dus verwachten dat een verandering van bijvoorbeeld 3% in de totale hoeveelheid straling het hele zonnenspectrum doet veranderen. Vooral een snelle toename in het UV deel van het spectrum moet

sporen nalaten op Aarde. De ozonlaag boven in de atmosfeer houdt de hardere UV-C straling met sterke fotochemische eigenschappen volledig tegen. Als de UV straling toeneemt, zal de hoeveelheid ozon ook toenemen, maar dat gaat langzaam. Indien de uitstraling en daarbij vooral die in het UV inderdaad steeds zo snel is toegenomen als de rode curve hier suggereert dan kan de ozon laag vaak het UV-C steeds even niet volledig tegenhouden. Als er inderdaad steeds gedurende korte tijd fotochemisch actieve UV straling naar het oppervlak is doorgedrongen moet dit sporen hebben achtergelaten in de vorm van chemische veranderingen bij mineralen in sedimenten. Mogelijk is dus dat de fluctuaties van de zon in de gesteenten zijn vastgelegd als op een fotografische plaat. Ook moeten de fluctuaties van de zon in het UV grote biologische consequenties hebben. Inderdaad is omstreeks de overgang naar het Holoceen vrij plotseling meer dan de helft van de grotere diersoorten in de gematigde zone uitgestorven. In de tropen niet en daar zijn de organismen dan ook beter aangepast aan grotere hoeveelheden UV straling. Verder is bekend dat kleinere dieren minder gevoelig zijn voor mutagene straling dan grotere. Mogelijk is dus dat de zon deze dramatische en geheimzinnige uitstervingsgolf heeft veroorzaakt. Als de zon in het Pleistoceen gestrooid heeft met mutagene straling, wordt het effect daarvan ook nog versterkt door genetische cumulatie van de mutaties. Door de herhaalde klimaat veranderingen bij de interstadialen en interglacialen zijn er ook steeds grote veranderingen geweest in de aantallen dieren en planten van één soort en dit heeft genetische consequenties. Terwijl in perioden van afkoeling de diersoort sterk inkrimpt en vaak opgesplitst wordt tot kleine populaties, die verder in het Zuiden nog kunnen leven, zal de soort bij de snelle opwarmingen weer zeer snel in aantal toenemen. Soms worden enkele dieren dan voorouder van heel grote kuddes, die bij de afkoeling daarna weer ineenschrompelen. Vooral de snelle groei leidt tot een vorm van inteelt (founder effect) met ophoping van genetische mutaties, die

meestal ongunstig zijn voor de gezondheid en voortplanting. Omdat de mutagene straling van de zon daarbij ook nog samengaat met opwarming en dus met sterk groeiende populaties, komen er nog meer mutaties bij de dieren en planten. Daardoor kunnen veel soorten genetisch verzwakken. Als dan na 14500 BP nogmaals extra veel mutagene straling het aardoppervlak bereikt bij de snel groeiende populaties kan dat net te veel zijn geweest voor een groot deel van de fauna en flora. Er zijn dus meer aanwijzingen voor mogelijk belangrijke fluctuaties van de zon. Onderzoek daarnaar is daarom van groot belang en kan waarschijnlijk op vrij eenvoudige wijze meer zekerheid verschaffen.

#### Gebruikte Literatuur:

- 1 Alley, R.B, 2004 GISP2 Ice core Temperature and accumulation data, NOAA/NGDC paleoclimatology program, Boulder CO, USA. Zie ook [http://hurricane.ncdc.noaa.gov/pls/paleo/fm\\_createpages.icecore](http://hurricane.ncdc.noaa.gov/pls/paleo/fm_createpages.icecore)

- 2 Rahmstorf, S, Timing of an abrupt climate change: a precise clock, geophysical research letters, 2003, vol 30, 1510. Zie ook de site van prof Rahmstorf, [www.pik-potsdam.de/~stefan](http://www.pik-potsdam.de/~stefan)
- 3 Jouzel, J ea in Science July 2007: Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800000 years. <http://www.climate.unibe.ch/~stocker/papers/jouzel07scix.pdf>
- 4 Willem Schot, De zon en de zondvloed, [www.genevo.nl/images/the%20sun%20and%20the.pdf](http://www.genevo.nl/images/the%20sun%20and%20the.pdf) en <http://www.genevo.nl/images/the%20sun%20and%20the.pdf>
- 5 Berger A and L.F. Loutre, 1991, Insolation values for the climate of the last 10 millions of years, Quaternary sciences review, Vol 10, number 4, pp 297-317; <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/insolation>
- 6 Huybers, P and G. Denton, Nature Sept 21, 2008: Antarctic temperatures at orbital timescales controlled by local summer duration, <http://www.people.fas.harvard.edu/~phuybers>
- 7 Huybers, P, Science Vol 325: Antarctica's orbital beat, <http://www.people.fas.harvard.edu/~phuybers>
- 8 Finkel, R.C. and K. Nishiizumi, 1997, Beryllium 10 concentrations in the Greenland Ice Sheet Project 2, ice core from 3-40 ka. Journal of geophysical research 102: 26699 – 26706. <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/greenland/summit/gisp2/cosmoiso/ber10.txt>
- 9 Usoskin, I.G. A history of solar activity over millennia, in Living reviews in solar physics, Max Planck Institut; <http://cc.oulu.fi/~usoskin/personal/List.html>
- 10 Usoskin, IG, ea: Millennium scale sunspot number reconstruction, evidence for an unusual active sun since the 1940's, Physical review letters 21 Nov 2003
- 11 Braun, H. ea in Nature 10 nov 2005, vol 438 blz 208-211: Possible Solar origine of the 1470 year glacial climate cycle, demonstrated in a coupled model. <http://www.nature.com/nature/journal/v438/n7065/abs/nature04121.html>

