De actualiteit van de pleistocene klimaat en zon paces

In het Pleistoceen was er een merkwaardige fenomeen in de zeer grote variaties in de klimaat data en zonproxies, namelijk een pace van 1470 jaar in de temperatuur stijgingen en de zon maxima. Deze pace is een cyclus die niet altijd 'doorkomt' maar wel permanent aanwezig is, zodat de tijd tussen de veranderingen steeds veelvouden zijn van 1470 jaar, met slechts kleine deviaties. Men kon de Pleistocene paces nauwkeurig vastleggen. In het Holoceen, dus na 11400 jaar BP, is dat moeilijker. Toch zijn veel paces ook hier te traceren, vooral de laatste twee. Merkwaardig is dat ze dan in ons huidige tijdperk geen maxima, maar minima aangeven. Van belang is dat er nu weer een pace aankomt. Het jaar 2060 valt in het Holoceen in de reeks van enkele koude klimaat paces, die vooraf worden gegaan door afnemende zonactiviteit.

Ik kom tot deze conclusies na het een en ander te bestuderen uit het werk van de klimatologen G. Bond, S. Rahmstorf, H. Braun ea. Zij vonden bij onderzoek naar klimaatparameters dat er cycli waren van 1470 jaar in het optreden van warme periodes tijdens de ijstijd, de interstadialen of Dansgaard – Oeschger events. We hebben het dan over warme intervallen met temperatuur stijgingen tot 15 graad die een tot enkele millennia duurden. Hierbij steeg de temperatuur gedurende 1 à 2 eeuwen tot een maximum dat maar weinig koeler was dan thans in het Holoceen. Na enkele eeuwen ging de temperatuur weer dalen tot het 'normale' glaciale niveau en soms ook tijdelijk tot een nog koeler klimaat. De dalingen in de temperatuur waren trager en onregelmatiger dan de stijgingen. Dit alles volgens metingen met water isotopen uit het ijs in Groenland. Ook uit onderzoek aan oa organisch materiaal in veel andere gebieden zijn bewijzen voor deze sterke temperatuur fluctuaties. Deze grote en frequente klimaat fluctuaties waren er waarschijnlijk over de hele planeet, maar zij zijn alleen goed meetbaar met behulp van de isotopen van de ijs boorkernen, dus in poolgebieden. De synchroniciteit van deze gebeurtenissen met steeds grote en snelle klimaatverandering over de hele aarde is echter omstreden, vanwege onzekerheden bij de metingen en vooral bij de vergelijking van de dateringen van het materiaal uit ver verwijderde gebieden. Door de enorme temperatuurverschillen in korte tijd (tot wel 10 graad per eeuw, volgens de metingen met de ijskernen uit Groenland), bij de opwarming fases zijn deze paces ook exact in de tijd te plaatsen. Alle interstadialen volgen de paces van de veelvouden van 1470 jaar, meestal met slechts kleine deviaties, maar lang niet alle paces leidden tot een interstadiaal. Toch is dit klimaat ritme daardoor in het Pleistoceen statistisch zeer significant aanwezig, zoals **S. Rahmstorf** aantoont. Later is door **H. Braun** verband gelegd tussen deze klimaat cycli en de zon. De zon is wel de enige bron van energie voor de klimaatsystemen op aarde, maar de wetenschap heeft weinig kennis over de oorzaken van de variabiliteit van de zon. Ook kent men de mate van de variabiliteit van de zon over vele millennia niet. Verder bestaat er maar een beperkt inzicht over de mechanismen waardoor de verschillende vormen van zon activiteit het klimaat kunnen veranderen. Er staan dus vele onzekerheden in de weg voor beslissende beoordelingen. Toch maakt een covariatie van zon en klimaat factoren een causale samenhang waarschijnlijk, vanwege de dominante aanwezigheid van de zon in de klimaat en energie systemen op aarde. Aldus wees **H. Braun** de periodiciteit in de zonsvariatie aan als oorzaak voor de paces van gemiddeld 1470 jaar. Hoewel de periode van 1470 jaar zelf geen zon cyclus is kan dit in de loop van de veranderingen bij de zon toch ontstaan door interferentie van twee bekende zon cycli: de Gleissberg en de deVries cyclus; 1470 is immers 7 x 210 en 17 x 86,5, ongeveer de gemiddelde periodes van deze cycli. De theorie is dus dat deze cycli elkaar vaak, maar niet altijd versterken na 1470 jaar, de paces. Niet altijd, omdat de werkelijke lengte van de cycli zeer variabel is en vaak afwijkt van de gemiddelde lengte wordt het versterkend effect na 1470 jaar ook vaak gemist. De werkelijke lengte van de paces is daardoor ook

iets variabel, maar deze variabiliteit is kleiner dat bij de gewone basale cycli. Dit verband van de zon met de enorme klimaat opwarmingen in het Pleistoceen wordt mijns inziens sterk bevestigd door het onderzoek van **R.C. Finkel** . Hij geeft wat meer directe informatie over de zon variatie door zijn onderzoek naar de 10Be concentratie en fluxus uit de GISP2 ijsboorkern in Groenland over de periode 40000 -3000 jaar BP. Er zijn dan in het Pleistoceen veel grotere variaties in de 10Be concentratie dan in het Holoceen, die zeer nauw samengaan met de enorme temperatuur verschillen van de interstadialen en dus ook met de paces (**FIGUUR 1**). Dit 10Be onderzoek wijst dus op paces van 1470 jaar in de zoncycli. In het Holoceen zijn de variaties in de temperatuur en de zonneproxies veel kleiner en is ook de samenhang tussen zon en temperatuur variatie in het Holoceen kleiner. Tijdens het Holoceen zijn de fluctuaties wel geclusterd in de tijd en dus niet at random Poisson verdeeld, maar is er geen periodiciteit waarneembaar in het optreden van minima en maxima bij de zon en klimaat variaties. Hoewel het mogelijk is dat de vrij onregelmatig optredende extremen berusten op interferentie van diverse cycli en deze paces dus ook in het Holoceen gecontinueerd worden, zijn zij hier statistisch niet aantoonbaar in de curves van temperaturen en zon proxies. Weinig onderzoekers berichten dan ook over paces of ca 1500 jarige cycli in het Holoceen. **G. Bond** deed dat wel , maar op zijn werk is kritiek, (oa **J. Bütikofer**). G. Bond deed onderzoek naar materiaal van twee boringen in de bodem van de Noordelijke Atlantische oceaan. Aan de hand van organisch materiaal kon hij de temperatuur van het zeewater inschatten en met bepaalde zandkorreltjes de uitbreiding van het drijfijs in het verleden. Hierbij vond hij dat er een cyclus was in de minimum temperaturen, die van het pleistoceen naar het holoceen werd voortgezet. De periodelengte is 1470 jaar gemiddeld echter met deviaties tot 530 jaar! Later beschreef **S. Rahmstorf** voor een periode van 40ky (40000 jaar) in het Pleistoceen de paces in de korte, snelle opwarmingen, dus van andere gebeurtenissen en op andere tijdpunten dan de paces van **G. Bond**. In het Holoceen zijn er geen snelle opwarmingen en de perioden van afkoeling waren in het Pleistoceen langduriger, zodat er ook in dat tijdperk geen paces in de minima te bespeuren zijn, tenzij misschien met zeer grote deviaties.

Deze paces van S. Rahmstorf zijn nu, naar mijn idee, van groot belang voor inzichten in de variabiliteit van de zon en de impact daarvan op het klimaat. Het is immers waarschijnlijk dat de snelle opwarmingen in het Pleistoceen door de zon werden getriggerd, of misschien zelfs grotendeels direct veroorzaakt door de zon, omdat er tijdens die interstadialen veel grotere variaties waren in de EM uitstraling van de zon dan we nu in onze tijd meten. Algemeen gaan de onderzoekers uit van triggering, waarbij een energetisch kleine verandering van de zon zeer sterke positieve feedback krijgt in de systemen hier op aarde. Omdat algemeen aanvaard is dat de uitstraling van de zon (vrijwel) constant is gedurende miljoenen jaren – echter zonder enig bewijs – zijn er maar weinig of geen wetenschappers die denken dat de zon wellicht een belangrijke energetische invloed had op de enorme en snelle klimaatveranderingen in het verleden. Desondanks is de invloed van de zon toch als trigger algemeen aanvaard en is daarbij de theorie van H. Braun plausibel dat de periode van 1470 jaar berust op interferentie van de min of meer sinusoïdale Gleissberg en de Vries cycli. Als deze hypothese juist is, geeft dat ook een nieuw inzicht in de gemiddelde lengte van deze cycli namelijk 86,45 jaar en 210 jaar en hun plaatsing op de tijdlijn. Tenslotte zou de samenhang van de paces met de zeer grote fluctuaties in de 10Be concentratie een aanwijzing moeten zijn voor zondrijving van de interstadialen en ook voor grotere variatie in de activiteit van de zon in het Pleistoceen, dan wij in ons tijdperk kennen. Althans een reden om verder onderzoek te doen naar de variabiliteit van de zon over lange periodes, want alleen dit 10Be onderzoek suggereert wel iets, maar verschaft nog geen bewijs. Er zijn namelijk naast de magnetische activiteit van de zon nog tal van andere factoren die de 10Be concentraties kunnen beïnvloeden. Daardoor moet men om het signaal van de zon met deze proxy gegevens goed te kunnen traceren eigenlijk een

aantal 10Be onderzoeken met dezelfde hoge tijdresolutie uit Groenland en Antarctica met elkaar vergelijken. Dat is voor het Pleistoceen niet gebeurt. Ook is vergelijking met 14C in dit grotere tijdsbestek niet goed mogelijk vanwege de korte halfwaardetijd van het 14C. Nu is er, voor zover ik heb kunnen nagaan, slechts één ander 10Be onderzoek uit het Pleistoceen met een dergelijke tijdresolutie en dat is van de GRIP ijskern, ook Groenland, het werk van de Frans – Zwitserse groep met **F. Yiou** ea. Bij dit onderzoek zijn er ook grote fluctuaties in de 10Be concentratie, die dan echter veel minder samenhang tonen met de temperatuur schommelingen van de interstadialen. Dit onderzoek vertoont echter grote problemen, zoals de auteurs ook zelf aangeven. Er zijn namelijk verschillende filters gebruikt bij de isolatie van het 10Be en die geven zeer verschillende resultaten. Deze filters werden echter niet uniform in de tijd gebruikt: variaties in het 10Be berusten hier dus voor een deel op verschillen in de bepalingen! Desondanks wordt in het artikel van **R. Muscheler** ea de relatie tussen de 10Be zonproxy en de interstadialen als niet persistent en onbewezen beschreven, alleen op basis van gegevens uit de GRIP ijskern van hun eigen groep, zonder enige referentie of vergelijking met het 10Be onderzoek uit de GISP2 ijskern. Dus door weinig onderzoek dat ook nog leemtes vertoont worden de onzekerheden over de duiding van de 10Be gegevens versterkt en behoedt men zich voor ingrijpende conclusies over de variabiliteit van de zon en zondrijving in het Pleistoceen. Een belangrijk probleem hierbij is de vraag of de 10Be concentratie, dan wel de 10Be fluxus een betere indicatie geeft over de 10Be productie in de atmosfeer. Het verbaast mij dus dat er niet meer onderzoek gedaan wordt vanwege het buitengewoon grote belang dat we hebben bij meer inzicht in de oorzaken van klimaat verandering.

De vraag lijkt gerechtvaardigd: Zijn nu deze Pleistocene klimaat en zon paces van 1470 jaar, zoals beschreven door **S Rahmstorf** en **H. Braun**, nu ook van belang voor het Holoceen en dus actueel voor ons? Bij bestudering van het verloop van de -Δ14C zonproxy, uit het onderzoek van **SK Solanki**, en de −10Be zonproxy volgens **Finkel**, met het verloop van diverse temperatuur data (**FIGUUR 2a en 2b**)valt direct op dat er in het Holoceen zeer veel kleine fluctuaties zijn met vele minima in zonactiviteit en ook in de temperaturen. Hieruit blijkt direct dat veel grandminima en grandmaxima in het Holoceen buiten deze Pleistocene paces vallen, zodat deze paces in het Holoceen statistisch niet aan te tonen zijn. Omdat de 1470 jaar paces wel aanwijsbaar zijn in het Pleistoceen, dus over een zeer veel langere periode dan het Holoceen, is er echter toch een goede reden om de mogelijke voortzetting in het Holoceen te veronderstellen en te trachten in beeld te brengen. Als men dan de cadans voortzet en vergelijkt met de zonproxies, krijgt men echter de indruk dat de paces in het Holoceen geen maxima, maar minima aangeven. Een fase omkering dus ook in de zoncycli. Dat is merkwaardig en roept vragen op. Dit verloop wordt echter duidelijker als men ook de Gleissberg en de de Vries cycli plaatst tussen de paces. Hun positie op de tijdlijn wordt immers aangegeven door de samenvallende maxima en minima om de 1470 jaar (**FIGUUR 3**). Uitgaande van deze fase omkering was de laatste maximum pace 11650 jaar BP. Deze ging gepaard met de laatste snelle opwarming. Sindsdien is het klimaat warm gebleven met relatief kleine schommelingen. Volgens deze -10Be gegevens van Finkel geldt dat ook voor de zon. Na 1470 jaar, dus 10180 BP was er een grandminimum met een deviatie van ca 100 jaar, verder zijn de paces in het Holoceen niet of moeilijk nawijsbaar, tot er 2830 BP weer een grand minimum in de paces opduikt met een deviatie van ca 20 jaar, het Homerisch minimum. Dit had grote consequenties voor het klimaat en de bestaansmogelijkheden voor de mensen, zoals oa door **B. van Geel** beschreven. Uit zijn onderzoek met bodem materiaal en dat van vele anderen blijkt overigens dat de temperatuur en andere klimaat fluctuaties tijdens het Holoceen in gebieden met gematigd en subtropisch klimaat groter waren dan bij het extreem koude klimaat van Groenland, zoals dat hier in de curve (**Figuur 2a en 2b**) bij de zonproxies staat ingetekend. Ook bij 1360 BP, of 590 AD (1950 = 0 Before Present), is er een zonneminimum met temperatuur

daling, zoals oa **G. Bond** aangeeft. Verder treedt iets eerder 536 AD een plotselinge heftige koude op, die echter aan andere oorzaken wordt toegeschreven, bron **Wikipedia 16**. Bovendien zijn er volgens het onderzoek van G. Bond in de Noordatlantische temperaturen ook aanwijzingen voor temperatuur minima al eerder in de Rahmstorf paces op 4300 jaar BP en 5900 jaar BP, waarbij er echter in de zonproxies geen duidelijke grandminima zijn. Men krijgt dus de indruk dat laat in het Holoceen de pleistocene paces weer belangrijker worden maar nu grandminima aangeven, vanwege de fase omkering. De volgende klimaat pace is in 2060 AD, waarschijnlijk met een deviatie en voorafgegaan door afnemende zon activiteit. Dit is dus, gezien de ontwikkelingen in de laatste millennia een aanwijzing voor een komend grand minimum, wellicht dieper dan het Maunder minimum, het laatste grand minimum van de zon tot nu toe.

Literatuur:

1 Bond, G ea: A pervasive millennium scale cycle in North Atlantic Holocene and Glacial climates, Sience, 14 nov 1997 http://ruby.fgcu.edu/courses/twimberley/EnviroPhilo/BondPap.pdf

2 Rahmstorf, S, Timing of an abrupt climate change: a precise clock, geophysical research letters, 2003, vol 30, 1510. http://www.pikpotsdam.de/~stefan/Publications/Journals/rahmstorf_grl_2003.pdf

3 Rahmstorf, S en Ganoipolski, A Rapid changes of glacial climate simulated in a coupled climate model in Nature 409, 11 jan 2001, http://rcg.gvc.gu.se/courses/HolClim_2009/Ganopolski_Rahmstorf_2001.pdf

4 Rahmstorf, S: List of publications: http://www.pik-potsdam.de/~stefan/Publications/index.html

5 Braun, H ea, Solar forced Dansgaard-Oeschger events and their phase relation with solar proxies, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS 20-02-2008, http://www.chialvo.net/files/xx-2008-braun.pdf

6 Braun, H et al 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

7 Braun, H Dissertatie: A new hypothesis for the 1470-year cycle of abrupt warming events in the last ice-age, http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/volltexte/2006/6452/pdf/HolgerBraun.pdf

8 Bütikofer, J, Dissertatie: Holocene climate variability: A proxy based statistical overview, http://www.climatestudies.unibe.ch/students/theses/msc/12.pdf

9 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 en de tabellen: ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/greenland/summit/gisp2/cosmoiso/ber10.txt

10 Yiou, F ea Beryllium 10 in the Greenland Ice core Project, in The Journal of Geophysical Research, Nov 30 1997 pp 784-794:, http://www.ipsl.jussieu.fr/~ypsce/papers/yiou97JC01265.pdf and for the tables: ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/greenland/summit/grip/cosmoiso/grip_10be.txt

11 Muscheler, R and Beer, J: Solar forced Dansgaard-Oeschger events? Geophysical Research Letters 33, 2006, http://www.eawag.ch/forschung/surf/publikationen/2006/2006_solar_forced

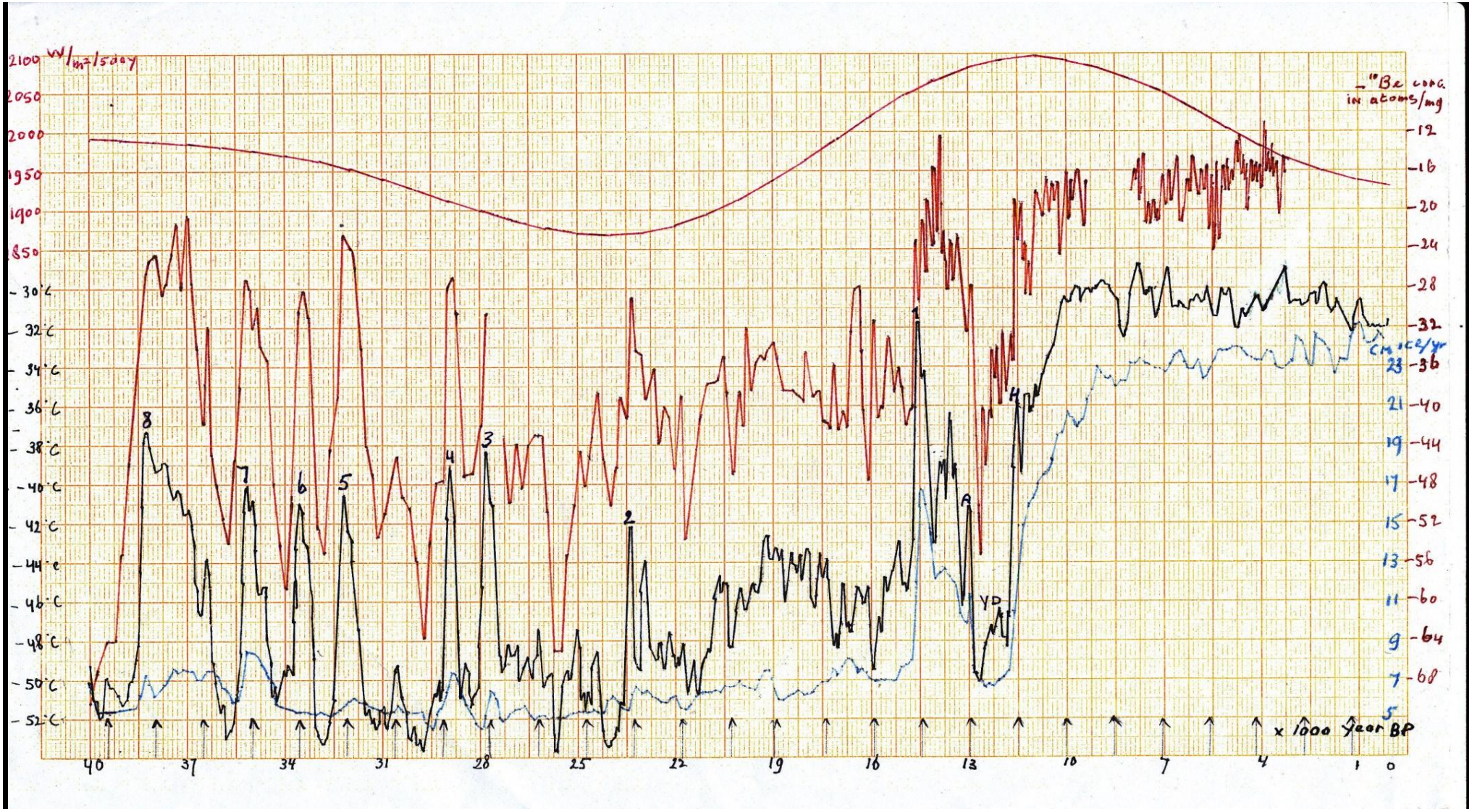
12 Solanki, SK et al. Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature*, Vol. 431, No. 7012, pp. 1084 - 1087, 28 October 2004. http://mirage.mps.mpg.de/projects/solar-mhd/pubs/solanki/Solanki_et_all_2004_nature.pdf

13 Geel van, B: The sun climate change and the expansion of the Scytians after 850 BC, UVA, http://lasp.colorado.edu/sorce/news/2005ScienceMeeting/presentations/fri_am/vanGeel.pdf

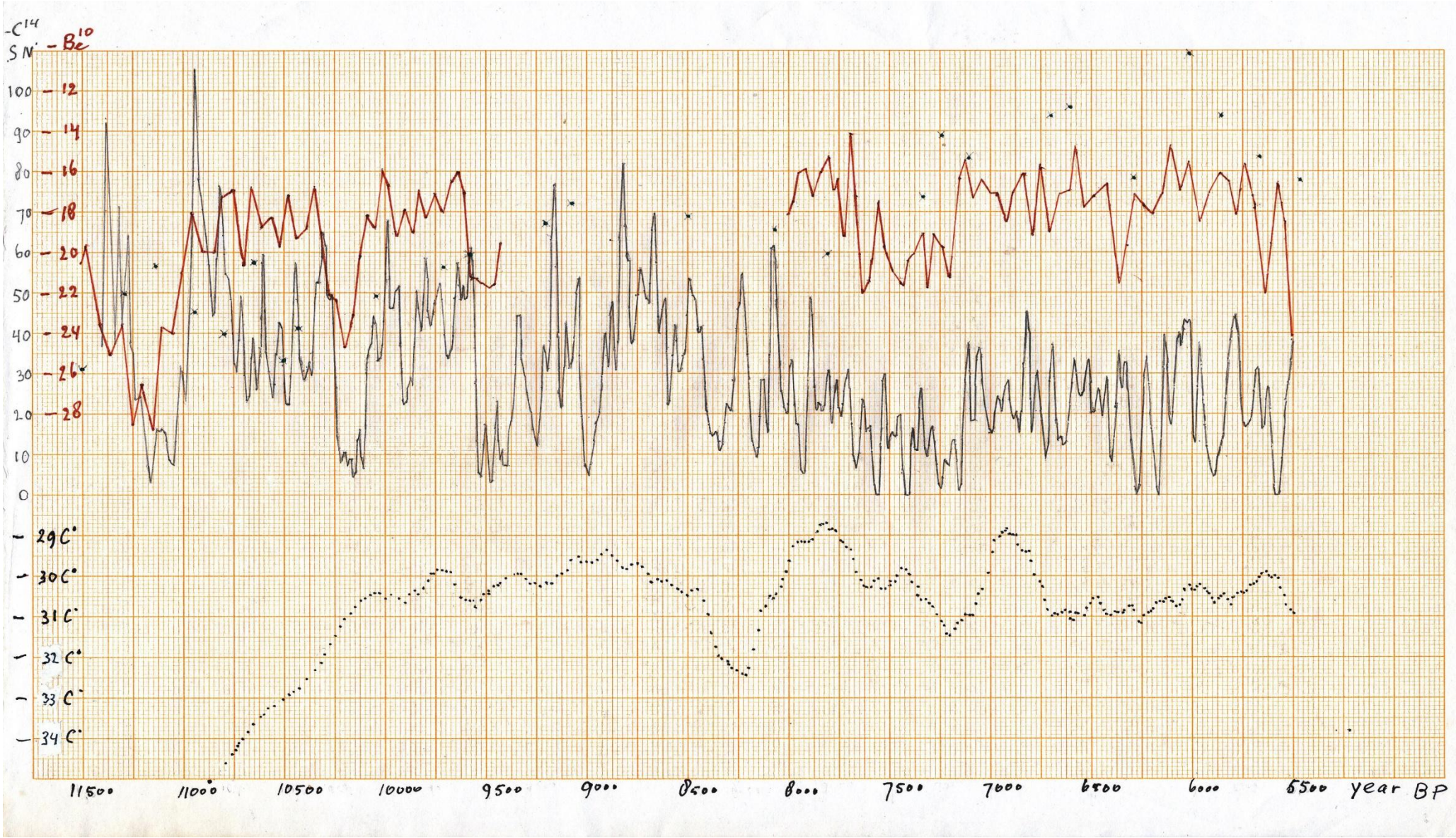
14 Alley, RB: The younger dryas cold interval as viewed from Central Greenland, Quaternary Science Reviews, 2000, 19: 213 – 266. Zie voor de tabellen : ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/greenland/summit/gisp2/isotopes/gisp2_temp_accum_alley2000.txt

15 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

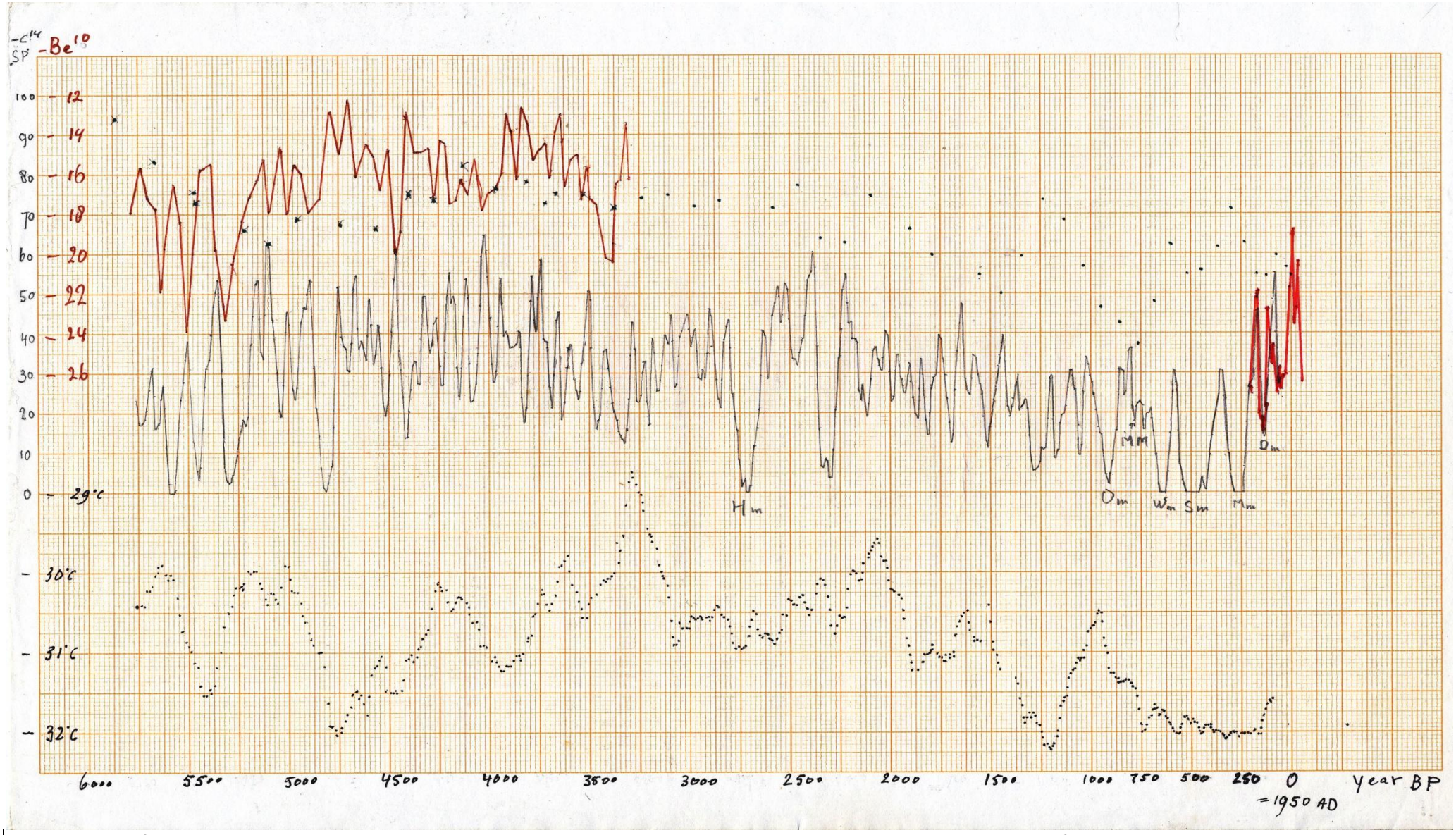
16 Wikipedia: Extreme weather events of 536 – 536, http://en.wikipedia.org/wiki/Climate_changes_of_535%E2%80%93536



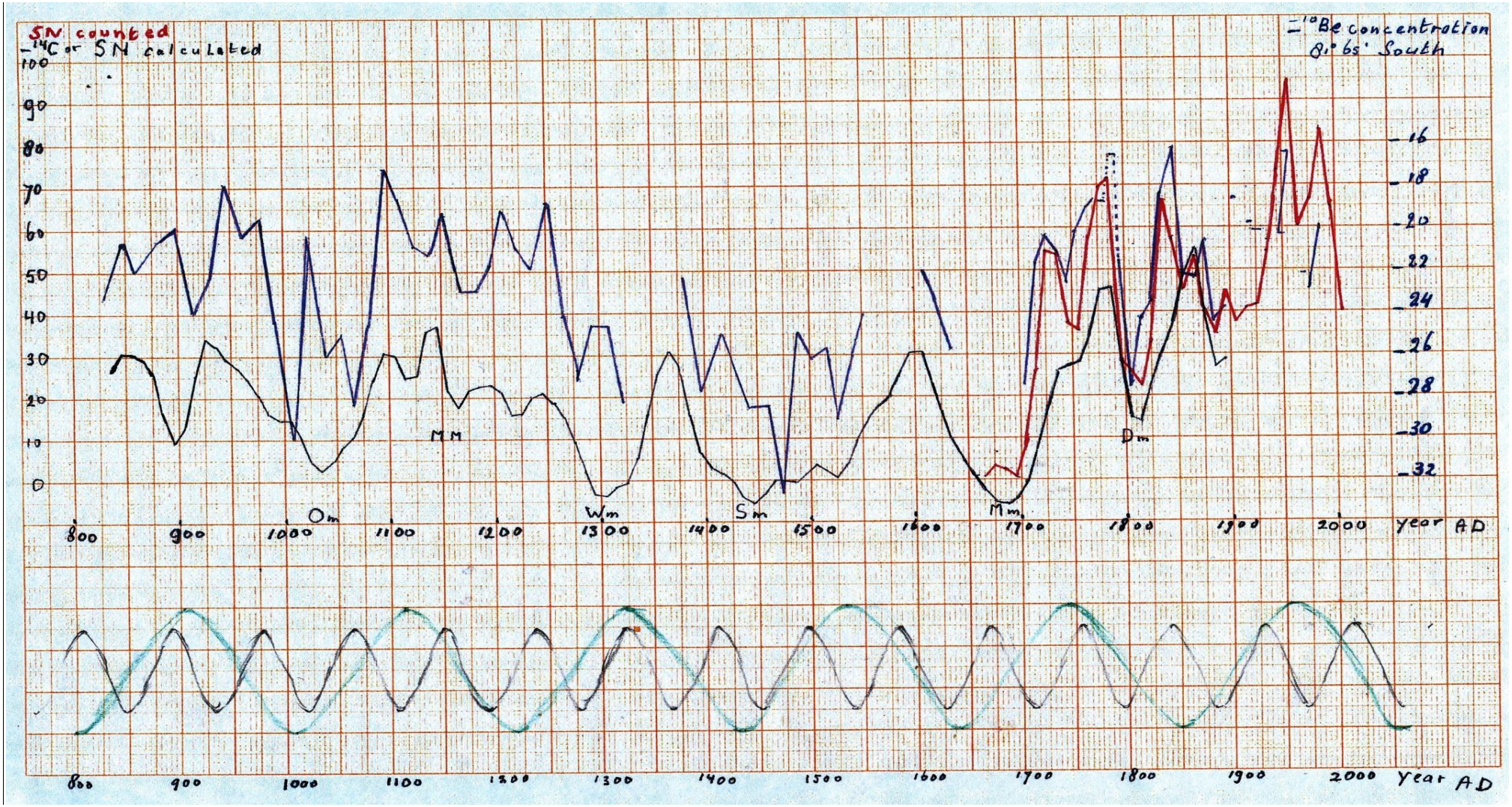
Figuur 1: De zwarte curve geeft de temperatuur volgens de water isotopen in de GISP2 ijskern uit het onderzoek van RB Alley. De blauwe curve de ijs accumulatie uit dat datzelfde onderzoek. De bruinrode curve geeft de -10Be concentratie uit het onderzoek van RC Finkel. De pijlen onderin staan op de paces volgens S. Rahmstorf. De paarse curve bovenin geeft de variatie in de zomer instraling op 70° NB door de aardbaan, volgens het onderzoek van A Berger.



Figuur 2a: De pijlen bovenin staan op de paces volgens S. Rahmstorf, maar hier als minima. De bruinrode curve geeft de -10Be concentratie uit het onderzoek van RC Finkel. De zwarte curve geeft de −Δ14C, of de reconstructie van de aantallen zonnevlekken uit het onderzoek van SK Solanki. De stippellijn geeft de temperatuur volgens RB Alley.



Figuur 2b: Zie bij figuur 2a. Verder zijn de minima aangegeven bij de-Δ14C curve van Solanki: Homerisch minimum, Oort minimum, Wolf minimum, Spörer minimum, Maunder minimum, Dalton minimum en middeleeuws maximum. De rode curve geeft de werkelijk getelde zonnevlekken.



Figuur 3: De zwarte curve geeft de −Δ14C, of de reconstructie van de aantallen zonnevlekken uit het onderzoek van SK Solanki. De rode curve geeft de werkelijk getelde aantallen zonnevlekken. Bovenin is nog een curve van het -10Be concentraties uit de Siple dome ijskern (Antarctica). De sinusoïden onderin geven de deVries en Gleissberg cycli aan op de tijdlijn geplaatst volgens de paces van S. Rahmstorf en de theorie van de interferentie van H. Braun. De fases zijn echter omgekeerd tov de Pleistocene paces, zodat op de pace van 2060 hier de minima van de cycli samenvallen. Er is hier in 1325 een punt waar de maxima in de cycli samenvallen. Merk op dat de −Δ14C waardes met een vertraging van ca 50 jaar de magnetische zonfluctuaties aangeven vanwege de lange verblijftijd van het CO_2 in de atmosfeer en de koolstof cyclus.

Een algemene zoncyclus?

Als inderdaad de Gleissberg en de deVries cyclus elkaar vaak versterken tijdens het gemeenschappelijk maximum wijst dat erop dat deze cycli een fysisch verschijnsel zijn met een substantiële klok. Er is dan wel veel verschil in de lengte van de afzonderlijke cycli, maar er is toch een constant gemiddelde en dus een constant aantal cycli over langere periodes. Uitgaande van deze exacte gemiddelde periode lengten in de Gleissberg en de deVries cyclus van 86,47 en 210 jaar heb ik getracht om met nog wat meer eenvoudig rekenwerk verband te leggen tussen de diverse bekende cycli. Verrassend snel had ik dat verband gevonden, althans een formule die een algebraïsche samenhang beschrijft tussen 4 bekende zoncycli. Deze samenhang kan op toeval berusten, maar het is mogelijk een formule die de algemene zon cyclus beschrijft of benadert. Deze formule is **$\ln \mu_n = c.(1,2)^n$,** zodat **$\mu_n = e^{c(1,2)^{\wedge}n}$**, waarin **$c = \ln 22,13$.** Hierbij geeft μ_n de periode lengte. Als n=0, dan $\ln \mu_0 = c(1,2)^0 = c$, zodat $\mu_0 = 22,13$, de Hale cyclus. Als n=2, dan $\ln \mu_2 = c(1,2)^2$, zodat $\mu_2 = 86,45$ de Gleissberg cyclus. Als n=3, dan $\ln \mu_3 = c(1,2)^3$, zodat $\mu_3 = 210,92$ de deVries cyclus. Als n=5, dan is $\ln \mu_5 = c(1,2)^5$, zodat $\mu_5 = 2222,0$ de Halstatt cyclus. De constante c is hier dus de natuurlijke logaritme van de periode lengte van de Hale cyclus. Volgens de huidige fysische inzichten wordt de Hale cyclus beschouwd als fundamenteel voor alle periodieke veranderingen. **We zien dus dat de logaritme (met grondtal e=2,718..) van de lengte van de periodes met een constante factor toeneemt, als die beschreven worden in jaren.** Hierbij zijn 2 periodes 'uitgevallen' in de . Als n=1, dan $\ln \mu_1 = c(1,2)$, zodat $\mu_1 = 41,11$ en als n=4, dan $\ln \mu_4 = c(1,2)^4$, zodat $\mu_4 = 615,11$. Deze 'uitgevallen' cycli zijn echter wellicht toch aanwezig en aantoonbaar in onderzoek over zon en klimaat variatie. Vooral voor de cyclus van ca 615 jaar heb ik daarover wel aanwijzingen gevonden bij het ^{14}C onderzoek in het Holoceen (**FIG 2a en 2b**). Als deze perioden inderdaad aantoonbaar zijn, zou dat een bevestiging zijn voor de theorie met deze formule. Het probleem van deze formule is echter dat die in deze vorm alleen opgaat als je de tijd uitdrukt in jaren van de aarde en de baan van onze kleine planeet kan niet van belang zijn bij de activiteit op de zon. Het lijkt daarom dat deze formule niets kan zeggen over fysische processen bij de veranderingen in de activiteit van de zon. Nu kan men wel een meer algemene formule maken van de zon cycli als functie van de tijd, maar die wordt dan veel gecompliceerder en geeft daardoor weinig inzicht. Van belang is echter dat deze getallen als exponentiële verhoudingen wel algemeen gelden,ook als ze geen eenheid van tijd uitdrukken. Bovendien is de constante c bijzonder, $c = \ln 22,13 = 3,0969.. \approx \pi = 3,1416..$ De constante c, hier afgeleid van de periode lengte van de Hale cyclus in jaren heeft dus toevallig een waarde die in de buurt ligt van π, waarbij $c = \pi \times 0,985784758...$ Zo kunnen we ook noteren **$\mu_n = e^{\pi(1,2)^{\wedge}n}$**, of meer precies **$\mu_n = e^{0,986..\pi(1,2)^{\wedge}n}$** Met deze laatste formule wordt dus de 'verhouding', of eigenlijk de exponentiele relatie tussen de cyclus lengten van de zon, onafhankelijk van de tijdsmaat, uitgedrukt als een functie van de bekende constanten e en π. Ook met **$\mu_n = e^{\pi(1,2)^{\wedge}n}$** worden de verhoudingen van deze perioden lengtes dus al tamelijk goed met deze exponentiële getallen rij benaderd en we gaan hier uit van wel de zeer algemeen bekende constanten in e^{π} als basale waarde. Wel is in de verhoudingsreeks van **$\mu_n = e^{\pi(1,2)^{\wedge}n}$** de basale waarde $\mu_0 = e^{\pi} = 23,14$ iets te groot, maar ook de fysische Schwabe en Hale cycli zijn langer dan de lengte van de periodes gemeten aan de tijd tussen de SN maxima. Tijdens de minima begint de nieuwe fysische cyclus namelijk reeds met zonvlekken op hogere breedte als de oude cyclus met zonvlekken bij de equator nog actief is. Er is dus een overlapping van de fysische cycli bij de basale Schwabe – Hale cyclus en misschien doet zich dat ook voor bij de andere cycli. De overeenkomst tussen de reeks met deze constanten en de waargenomen zon periodes kan samenhangen met de fysische achtergronden van deze cycli, zoals de uitbreiding van de magnetische velden in de ruimte van het zonnelichaam (en daardoor ook in de tijd). Dit kan toeval zijn, maar het kan ook berusten op een fysische basis. Het lijkt mij toch nuttig dit verder te analyseren. Op de exponentiële aard van de veranderingen in de magnetische activiteit van de zon wijst ook het verloop van de SN in de curves van bijvoorbeeld **FIG 1,2 en 3.** De toenames in activiteit zijn steeds sneller dan de afnames. Dit is vooral duidelijk bij de curven van de Schwabe cycli, die daardoor een asymmetrisch aspect hebben, maar het is ook te zien bij de variatie op langere termijn. Dit wijst dus op toenames en afnames met een (min of meer) constante factor, dus exponentieel, of met een constante factor in de exponent, dus exponetieel-exponentieel.