De variabiliteit van de Zon

Als je een kind vraagt: waardoor kan het klimaat veranderen zodat het overal warmer wordt of kouder, dan zal het antwoord waarschijnlijk zijn: omdat de zon meer of minder schijnt. Het is eenvoudig plausibel dat klimaat verandering ontstaat door verandering in de activiteiten van de Zon. Desondanks is het wetenschappelijk onderzoek naar de directe invloed van de Zon op ons huidige klimaat beperkt en minimaal bij de intense klimaat veranderingen in de lange geschiedenis van de Aarde. Hierdoor zijn de antwoorden op vele vragen in dit gebied niet bekend, niet duidelijk of onzeker. Wel is het algemeen aanvaard in de wetenschap dat de totale uitstraling van de Zon nagenoeg volledig constant blijft in de loop van vele duizenden jaren. Hiervoor is echter geen bewijs en ik denk dat dit merkwaardige geloof in de constante Zon een verkeerd uitgangspunt is. Immers wat kan er nu constant zijn in het universum??

De uitstraling van de Zon blijkt volgens satelliet waarnemingen in een periode van 30 jaar ca 0,1% te variëren. Als men deze variatie extrapoleert naar een periode van 100.000 jaar levert dat op dat de Zon over deze periode wel 2% à 3% kan variëren in de energie van de uitstraling. Het is niet zeker dat de Zon dan inderdaad een dergelijke variatie over deze periode zou hebben, maar het is wel een mogelijkheid waarmee men rekening zou moeten houden, want als voorlopige a priori verwachting is dat realistisch. Zoals hier verder beschreven, wordt deze verwachting bovendien bevestigd door onderzoek met de radionucleïden ^{14}C en ^{10}Be. Hoewel het onderzoek met deze proxies ook nog geen bewijs oplevert, is dit toch een belangrijk punt. Verder is dit verschil in de totale uitstraling slechts een gegeven uit waarneming tijdens de periode 1978-2011. Het is dus een ervaringsgegeven, maar er is geen theoretische achtergrond waarom dit verschil (altijd) slechts 0,1% is. Bovendien leggen de waarnemingen wel een kwalitatief verband tussen de verschillen in uitstraling en de periodieke zonvlekken met de magnetische cyclus, maar er is hier geen kwantitatief lineair verband. Integendeel, FIG 1 laat zien dat de em uitstraling en de magnetische factoren wel in fase blijven maar qua intensiteit uiteenlopen. Het lijkt mij daarom plausibel te veronderstellen dat de verschillen potentieel veel groter zijn dan deze metingen in een korte periode aangeven. Ook de daggemiddelden in FIG 1 wijzen daarop. Niettemin zijn de deskundigen vrij algemeen van mening dat de uitstraling van de Zon over langere periodes (bijna) niet meer fluctueert dan men thans waarneemt. Ik stel dit standpunt ter discussie in ‘Is de straling van de Zon bijna constant of met enkele procenten variabel?’ De bedoeling van dit artikel is echter een overzicht te geven van actueel onderzoek in min of meer algemeen aanvaarde opvattingen over de variabiliteit van de Zon.

Gemeen goed over de variabiliteit van de Zon zijn echter wel een aantal onderzoeksgegevens te weten:
--A-- Directe metingen van de variatie in de diverse aspecten van de zonneactiviteit met sensoren op satellieten. Dit onderzoek geeft de meest gedetailleerde en meest betrouwbare informatie over de variabiliteit van de Zon. Meting en onderzoek op het aardoppervlak geeft een zeer onvolledig beeld van de diverse vormen van activiteit. Satellieten om buiten de atmosfeer te meten zijn er echter pas sinds 1978.
--B-- Het systematisch tellen van de zonvlekken. Het aantal zonvlekken (SN) is een proxy (indirecte graadmeter) van een belangrijk deel van de zonneactiviteit, nl de magnetische variatie, maar eigenlijk alleen van de equatoriale (toroïdale) velden van de zon. Het verband tussen de SN en deze zon functie blijkt uit tal van waarnemingen in de laatste eeuwen. Men beschikt over redelijk tot goed betrouwbare tellingen van de zonvlekken sinds 1611.
--C-- Metingen van het aardmagnetisch veld op het oppervlak, systematisch met magnetometers op bepaalde locaties. Dit veld wordt uiteraard grotendeels bepaald door de magnetische eigenschappen van de Aarde zelf, maar wordt toch ook beïnvloed door de magnetische velden van de Zon, die hierin snelle veranderingen veroorzaken. Deze metingen, bekend als onder andere de aa index, worden sinds 1868 systematisch gedaan gemeten in Engeland en Australië en vanaf 1844 in st Petersburg en Helsinki. Dit is een directe graadmeter van hoe de magnetisch activiteit van de Zon doordringt tot in de omgeving van de Aarde. Verbonden hiermee is de waarneming van de aurora, het poollicht.

--D-- Het onderzoek met radionucleïden als ^{14}C en ^{10}Be. Ook dit zijn proxies van de magnetische activiteit. Zoals hier beschreven is de betrouwbaarheid van deze onderzoeken minder duidelijk dan bij de zonvlek tellingen. Toch zijn veel onderzoekers het erover eens dat men hiermee een redelijk betrouwbare indruk heeft van de variaties tijdens het Holoceen, dus de laatste 11500 jaar. Aan de resultaten van onderzoeken met deze proxies uit eerdere perioden wordt echter algemeen geen waarde gehecht.

--A-- Een gedetailleerd beeld van de variatie in de diverse vormen van de zonactiviteit staat op Tabel 1. Globaal is de variatie in het jaargemiddelde van de totale uitstraling aan de buitenzijde van de aardatmosfeer ca 0,1% grotendeels als verschil tussen de maxima en de minima in de 11 jarige zon cyclus.

TABEL 1[1]

E.M. ZONNNESTRALING	GEM.ENERGIE STROOM	VERANDERING MET DE ZONCYCLUS VAN CA 11 JR		BELANGRIJKSTE DEPOSITIE HOOGTE	IONISATIE
TSI (vrl zichtbaar en IR)	1366 W/m^2	1,2 W/m^2	rel 0,1%	Oppervlak	Zwak
UV-A (315-400 nm)				Oppervlak	Zwak
UV-B (280-315 nm)				15-50 km (95%)	Zwak
MUV (200-300 nm)	15,4 W/m^2	0,17 W/m^2	rel 1%	15 -50 km	Zwak
FUV (126-200 nm)	50 mW/m^2	15 mW/m^2	rel 30%	30-120 km	Matig
EUV, Xray (→0-125 nm)		10 mW/m^2	rel 100%	80-250 km	Sterk

DEELTJES STRALING	GEM.ENERGIE STROOM	VERANDERING MET DE ZONCYCLUS VAN CA 11 JR		DEPOSITIE HOOGTE	IONISATIE
Galact. Cosmische Straling	0,7 $\mu W/m^2$	0,7 $\mu W/m^2$	rel 50%	0-30 km	Sterk(+nucleair)
Snelle Protonen vd Zon		2 mW/m^2	rel 100%	30-90 km	Sterk(+nucleair)
Aurora protonen en	1 mW/m^2	20 mW/m^2		100-120 km	Matig

[1] http://sdo.gsfc.nasa.gov/mission/science/solarirradiance.php

elektronen				
Joule Heating	20 mW/m^2	2 W/m^2	100-150 km	Matig

De TSI, de Total Solar Irradiation, dus de totaal som varieert ongeveer 0,1% in jaarlijkse gemiddelden tussen de maxima en de minima in de ca 11 jarige zon cyclus gedurende deze observatie tijd van ruim 30 jaar. Hierbij is de variatie in de kortere golflengten van het spectrum (UV en verder) groter en bij de langere golflengten (infrarood) kleiner dan 0,1%. Verder is hieruit te herleiden dat de energiestroom, die het oppervlak of de troposfeer bereikt ca 1350 W/m^2 is, met een variatie van ca 1 W/m^2 dus relatief ca 0,075%. Deze variatie is dus direct van invloed op de temperatuur op het oppervlak en de resterende variatie, 0,025% van de TSI, is hiervoor indirect bepalend. De variatie thans in de zg zonneconstante is dus aan het oppervlak 0,075% en in het zichtbaar licht weer iets meer. Deze variatie is dus nooit vastgesteld voor de tijd van de satellieten. De bepaling van de zonvariatie in de straling in het zichtbaar licht door metingen aan het oppervlak is erg moeilijk, maar is waarschijnlijk niet onmogelijk. Een andere reden hiervoor was vermoedelijk dat de wetenschappers op voorhand het idee hadden, en nog hebben, dat de zon toch sowieso constant is en dat het dus weinig zin heeft hiernaar moeizaam onderzoek te doen. De Galactische Kosmische Straling (GCR) bestaat grotendeels uit deeltjes, zoals zeer snelle protonen met een energie van honderden geV. Deze straling wordt galactisch genoemd omdat ze van buiten ons zonnestelsel afkomstig is. De zon houdt deze straling echter gedeeltelijk tegen door zijn magnetische activiteit, die in het hele zonnestelsel aanwezig is. Daardoor is de GCR bij de Aarde minimaal tijdens het zonnemaximum. De cyclische verandering van de zon in de zeer hoog energetische EM straling en deeltjes berust op explosieve gebeurtenissen op de zon tijdens de maxima: Een zonnevlam straalt EUV en gamma straling uit, die de buitenste atmosfeer van de Aarde in 8 minuten bereikt en daar ionisatie en verhitting veroorzaakt. Bij deze gebeurtenis worden ook snelle protonen uitgestoten, die de Aarde na een half uur tot enkele uren bereiken en een energie hebben van ca 30 meV tot enkele geV. Zij veroorzaken in de atmosfeer ionisatie en zelfs nucleaire reacties. Ook worden hierbij soms veel grotere hoeveelheden plasma (protonen) van de zonnecorona losgeslagen. Deze coronal mass ejections (CME's) bereiken de Aarde na 1,5 tot 3 dagen. Hun impact hier is vooral de snel bewegende magnetische velden, die zij met zich meedragen bij hun passage langs de Aarde. De CME's dragen energie over aan de buitenste atmosfeer door inductie: de bewegende magnetische velden wekken daar elektrische stromen op en dit is een belangrijk deel van de Joule heating. Verder dringen hierbij ook golven van protonen door in de buitenste lagen van de atmosfeer en zij veroorzaken de aurora (poollicht). Bij grotere magnetische schokgolven door deze geladen deeltjes komen er magnetische stormen op aarde, die gepaard gaan met inductie stromen in de lagere atmosfeer en aan het oppervlak. Merk verder op dat niet alleen de kosmische straling, maar ook de snelste protonen van de zon nucleair actief zijn, dwz atoomkernen kunnen veranderen. Hierbij wordt dan oa de radionucleïde proxy ^{10}Be geproduceerd, dus door de kosmische straling die door de zon wordt afgeschermd, maar soms ook gedurende korte tijd door explosieve gebeurtenissen op de zon zelf ontstaat.

--B-- de telling van het aantal zonvlekken is een indirecte maat (proxy) voor de magnetische in het equatoriaal gebied van de Zon

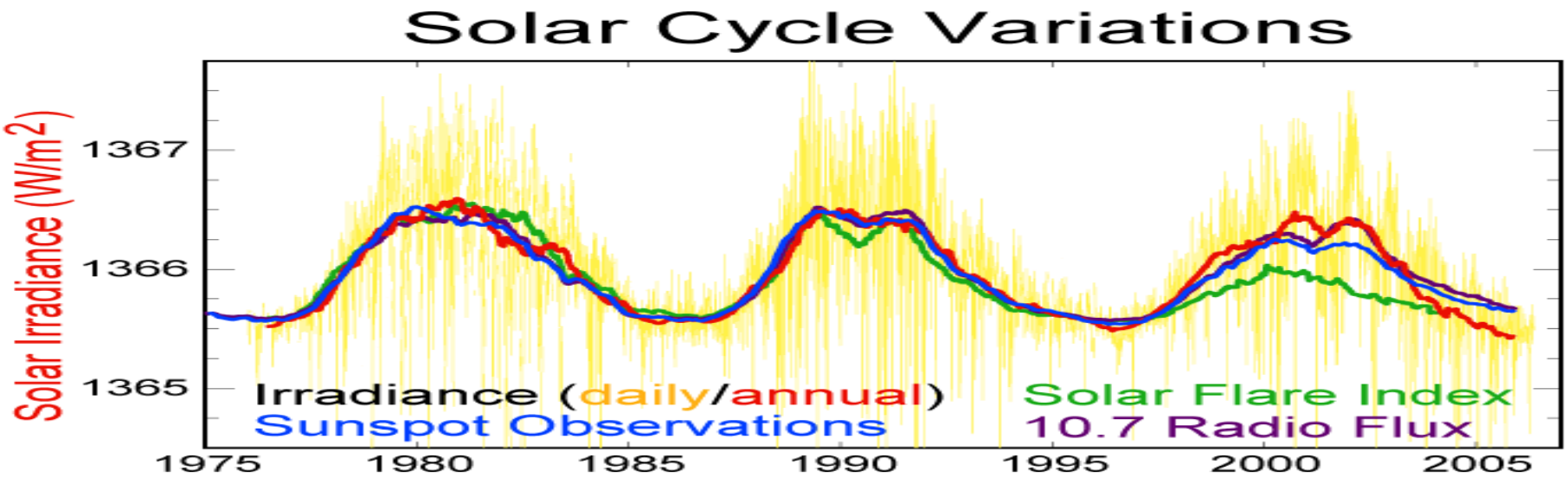


FIG 1

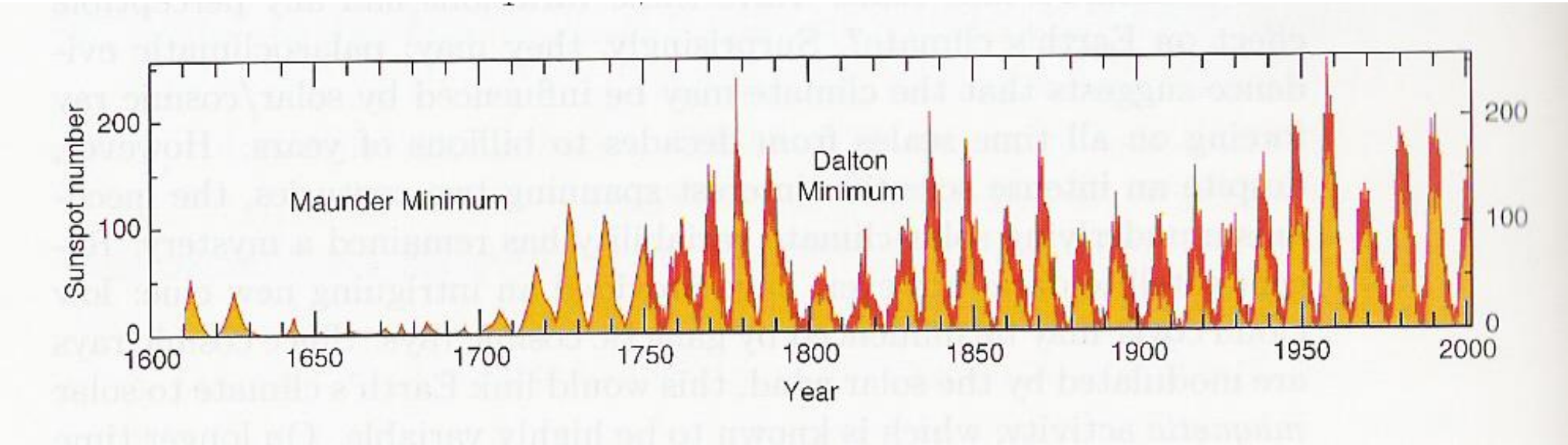


FIG 2

De zonvlekken ontstaan namelijk bij de wisselwerking tussen elektriciteit en magnetisme. Zij treden alleen op in het equatoriaal gebied van de Zon, tussen een zonnebeedte van ca 40° Noord en 40° Zuid. De vlekken zijn niet altijd aanwezig, maar treden op in

periodes van ca 11 jaar gemiddeld, de zonnecyclus vlg Schwabe. Hierbij beginnen ze steeds op ca 40° breedte en eindigen op de evenaar. Het gas van de Zon is volledig geïoniseerd. Het is dus een plasma dat uit geladen deeltjes bestaat, vooral protonen en elektronen. Deze geladen deeltjes dragen ook energie pakketjes (fotonen) waardoor ze sterk in beweging zijn. Aan het oppervlak stralen ze de fotonen uit. Dit is de uitstraling van de Zon in de diverse golflengtes van IR tot UV. Na verlies van energie krijgt de zwaartekracht van de Zon weer meer vat op de deeltjes en gaan ze dalen in de convectie laag van de Zon, terwijl de deeltjes met veel energie gemiddeld meer stijgen. Deze op- en neergaande bewegingen van zeer veel geladen deeltjes zijn verplaatsingen van veel elektrische lading en zijn dus in feite krachtige elektrische stromen. Omdat de deeltjes in veel gebieden min of meer kurkentrekkervormig bewegen ontstaan hierbij krachtige langgerekte magneetvelden. Deze magneetvelden zijn ook in beweging en wekken op hun beurt weer elektrische stromen op, waardoor de beweging van de geladen deeltjes in de omgeving wordt beïnvloed. Dus door inductie in deze velden zijn er gebieden waar positief geladen deeltjes met veel energie bij het opstijgen worden geremd en gebieden waar de opstijging wordt versneld. Als deze gebieden aan het oppervlak van de Zon komen, worden de gebieden met vertraagde opstijging zichtbaar als donkere zonvlekken, omdat er in deze gebieden een lagere temperatuur is (ca 4000°K) dan gemiddeld op het zonsoppervlak (ca 5800°K). Deze donkere zonvlekken zijn echter omgeven door gebieden met meer uitstraling dan gemiddeld door een versterkte opstijging door de inductie. Het is nu gebleken uit metingen met satellieten dat de totale uitstraling iets verhoogd is in perioden met zonvlekken. Blijkbaar wordt dus de afname in straling in de zonvlekken meer dan volledig gecompenseerd door de toename in straling uit de omgeving van de zonvlekken, zoals **Fig 1** laat zien. De heldere gebieden rondom de zonvlekken worden ook activiteitscentra genoemd, want hier treden soms explosieve veranderingen op. Hier ontstaan vaak zonnevlammen. De velden waarlangs de geladen deeltjes bewegen zijn zeer langgerekt en gaan ook door het zichtbare oppervlak heen tot ver in de corona. Omdat de corona zeer ijl is, is daarin veel minder interactie van de deeltjes dan binnen in de convectielaag van de zon. Misschien is dat de reden dat deeltjes als protonen langs de veldlijnen in de corona een steeds hogere snelheid krijgen. Snelheid is temperatuur en deze is in de corona dan ook meer dan 1000.000^{o}K dus veel meer dan aan het oppervlak, wat merkwaardig is. Bij deze hoge snelheid kan de zwaartekracht van de zon niet alle deeltjes meer vasthouden, zodat er protonen, elektronen en helium kernen in de ruimte verdwijnen als zonnewind. Dit lekken van materie uit de Zon is hier echter zeer beperkt doordat de magnetische veldlijnen niet alleen de Zon verlaten, maar ook met een grote lus weer terugkeren en door het oppervlak naar binnen gaan. Er zijn daardoor aan het aan het oppervlak zeer veel magnetische noordpolen en zuidpolen en rondom de zonvlekken zijn dezen groter. Bij deze polen worden deeltjes dus ahw weggeblazen en weer opgezogen door de Zon. Zolang de veldlijnen intact blijven, is er evenwicht in de deeltjes stromen en ook in de energie straling vanuit het oppervlak. Echter de veldlijnen zijn voortdurend in beweging en kunnen daarbij met elkaar in contact komen, hetgeen resulteert in elektromagnetische ontlading, ahw kortsluiting, met afbreken en hergroepering van de veldlijnen. Als dit bij grote velden gebeurt, zoals bij de zonvlekken, is de elektromagnetische orde, die de energiestromen beheerst, op die plaats even verstoord. Het gevolg is een ongeremde uitbarsting van energie, waarin we 3 aspecten kunnen onderscheiden:

--1^{e} Er komt veel heter plasma naar het uitstralend oppervlak (fotosfeer). Hierdoor is daar opeens meer straling in het zichtbare licht, maar relatief extra veel straling in de meer energierijke golflentes, dus in het UV en gamma straling. Normaal is er weinig tot geen em straling in deze golflengtes <125 nm. Dit fenomeen is zichtbaar als zonnevlam (solar flare). Zo'n zonnevlam blijft enkele tot soms tientallen minuten actief. Voor de Aarde is vooral de ongewone energierijke straling van belang. Deze zal de aardatmosfeer in ca 8 minuten bereiken en wordt dan in buitenlagen als de ionosfeer en de

ozonlaag tegen gehouden, zodat deze straling het oppervlak niet bereikt. Niettemin heeft deze straling schadelijke gevolgen voor de ruimtevaart en satellieten. Bovendien is de ionosfeer ‘in gebruik’ als reflector voor radiogolven. Als de ionosfeer sterk verhit wordt door de gamma straling van de zon valt het reflecterend vermogen voor radiogolven uit en zo wordt de communicatie daarmee verstoord. Het optreden van zonnevlammen is niet voorspelbaar.
--2e Al dan niet in samenhang met een zonnevlam kan bij zo’n verstoring van de elektromagnetische evenwichten ook plotseling een hoeveelheid deeltjes, vooral protonen, met zeer grote snelheid de ruimte in schieten. Men spreekt dan ook wel van de snelle protonen in een solar proton event (SPE). Deze corpusculaire of deeltjesstraling is eigenlijk de kosmische straling van de zon. Deze straling heeft in principe dezelfde eigenschappen als de galactische komische straling (GCR), die van buiten ons zonnestelsel komt, alhoewel de snelste en dus meest energierijke deeltjes van de GCR tot 100GeV gaan en dus krachtiger zijn dan de snelste deeltjes van de Zon, die zelden meer dan 2GeV hebben. Deze snelle protonen dringen wel diep door in de aardatmosfeer en hebben daarin een sterke interactie met de luchtmoleculen. Hierbij treden zowel chemische reacties op, na ionisatie, als nucleaire, omdat de deeltjes zoveel energie hebben dat niet alleen de moleculen maar zelfs de atomen erdoor veranderd worden. Zij worden ahw stukgeslagen. Bij de nucleaire reacties door de snelle protonen ontstaan dan ook door de protonen van de Zon dezelfde stoffen als door de GCR, zoals dus ^{10}Be en in mindere mate ^{14}C, stoffen, die bij diverse onderzoeken als tracer worden gebruikt. Hierbij wil ik opmerken dat volgens onderzoeken hier in hoofdstuk--- de invloed van de GCR op de productie van de ^{10}Be tracer veel groter dan die van de SPE’s is over langere perioden, maar dat deze zon factor duidelijk aanwezig is bij onderzoek van ^{10}Be op jaarbasis. Dit is een belangrijk gegeven ivm wat we willen weten over de frequentie van hevige zonexplosies in het verleden. Door al deze interactie dringen de snelle zonneprotonen en de deeltjes van de GCR met hun producten vrijwel niet door tot het oppervlak als gevaarlijke ‘radioactieve’ straling. Buiten de atmosfeer vormen deze plotseling massaal optredende snelle protonen bij een SPE echter een groot risico voor astronauten. Zelfs personen in vliegtuigen lopen enig risico, vooral als deze zeer hoog over de pool vliegen. Ook kan de gevoelige apparatuur van satellieten ed erdoor beschadigd worden. De snelste protonen van een SPE kunnen wel tot 1/3 deel van de lichtsnelheid hebben, zodat ze binnen 30 minuten na de straling en waarneming van de zonnevlam bij de Aarde zijn. Ze zijn dus moeilijk voorspelbaar.
--3e Het zeer hete plasma van de corona (atmosfeer) van de Zon wordt bijeengehouden door de magnetische velden. Bij afbreken en reconnectie van de lijnen in zeer krachtige velden kunnen daarom plotseling grote hoeveelheden elektromagnetisch actief plasma worden losgelaten uit de corona en met kracht in de interplanetaire ruimte gestuwd worden. Men spreekt dan ook van coronal mass ejections, CME’s. Zeer hete ‘plasmawolken’ dus, die door het zonnestelsel bewegen en daarbij energie overdragen aan de atmosferen van de planeten, die zij passeren. De massa daarvan kan wel 1 tot enkele miljarden tonnen bedragen. De CME’s zijn echter zeer groot en dus zeer ijl, maar hebben toch duidelijk invloed op planeten door hun enorme hoeveelheden energie. Door grote potentiaal verschillen worden de gasmoleculen uit de buitenste atmosfeer geïoniseerd, zodat zij ook plasma worden en de wisselwerking tussen elektrische stromen en magnetisme doorgeven naar diepere lagen. Nu heeft de Aarde zelf een planetair magnetisch veld waardoor de geladen deeltjes, die al aanwezig zijn in de omgeving van de planeet door plasma activiteit in het verleden, bijeengehouden worden in stromende plasma gordels, die men de Van Allen belts noemt. Deze plasma gordels hebben de vorm van enorme doughnuts gericht op de magnetische evenaar van de Aarde. De randen van het gat in de ‘koek’ raken aan de atmosfeer in een gebied rondom de polen tussen ca 72 en 60 graad NB en ZB. Het nieuwe plasma van de CME wordt door het aardmagnetisch veld ook naar de Van Allen belts gestuwd, waardoor het veld van de Aarde in de ruimte versterkt wordt. Deze ‘verdediging’ schiet echter

vaak tekort. De wat grotere externe velden van de CME kunnen de lijnen van het aardse veld sterk vervormen, waarbij ook afbreken en reconnectie plaatsvindt. Het plasma wordt hierdoor niet meer goed gefixeerd in de Van Allen belts en lekt naar de atmosfeer. Rondom de polen komt nu dus het plasma dus wat dieper in de atmosfeer wat weer leidt tot ionisatie van luchtmoleculen. Hier kunnen de ionen echter hun energie niet vasthouden door interactie in de dichtere atmosfeer. Zo wordt de energie weer uitgestoten in de vorm van gekleurd licht, dus met specifieke golflengten voor zuurstof en stikstof. Dit is het oplichten van de aurora, het poollicht. Afhankelijk van de intensiteit van de velden van de CME en ook van de richting van waaruit hun velden de Aarde passeren is de vervorming van het aardmagnetisch veld en de Van Allen belts groter of kleiner. Bij hevige zg magnetische stormen kan de aurora ook op lagere breedten en zelfs over de gehele Aarde te zien zijn. Ook gaat de inductie en de ionisatie door de velden van de CME dan verder. Gebleken is dat ook aan het oppervlak in lange manmade geleiders zeer krachtige elektrische stromen kunnen worden opgewekt. Hierbij trad in het verleden al herhaaldelijk schade op aan zaken als telegraafkabels, elektriciteitsnetten en pijpleidingen. Het lijkt mij waarschijnlijk dat er bij dergelijk grote magnetische verstoringen ook ionisatie van water optreedt (maw elektrolyse) in de atmosfeer en aan het oppervlak in de oceanen. Het hierbij ontstane waterstof komt dan terecht in de atmosfeer en zal daaruit niet direct verdwijnen. Nu is het bekend dat in de dikke lagen ijs bij de polen luchtbelletjes zijn ingesloten, die eigenlijk goed geconserveerde stalen zijn van de samenstelling van de atmosfeer in het verleden. Men kan dus wellicht door het waterstof te bepalen in deze luchtbelletjes informatie krijgen over de frequentie van grote magnetische verstoringen in het verleden. Dit is van belang voor de bepaling van de kans op grote schade aan de apparatuur. Thans is het optreden van de magnetische storingen met magnetometers vanaf 1868 systematisch gemeten. Dit is bekend als de aa index, zie **FIG 3**. Hieraan is ontleend de AA(star) index, de aantallen magnetische stormen per jaar met maximale waarden boven 60nT. Op de tijdlijn kan men dan aangeven waar de magnetische stormen liggen, in samenhang met bijv de aantallen zonvlekken. Deze AA index wordt hier weergegeven in **FIG 13 IIIb**. De meeste magnetische stormen zijn tijdens de maxima in de zonvlekken, maar sommigen vallen later. De AA index is daardoor niet helemaal in fase met de zonvlekken; gemiddeld vallen dus de magnetische maxima iets later, althans volgens waarnemingen op Aarde. Merkwaardig is dat niet alleen op Aarde maar ook op planeten die veel verder van de Zon verwijderd zijn de CME's magnetisch storingen opwekken, die zichtbaar zijn aan het optreden van aurora's. Die komen ook voor op Neptunus, terwijl deze planeet 30x verder van de zon verwijderd is dan de Aarde, zodat de gewone EM straling daar slechts 1/900 deel is van die op de Aarde en de temperatuur op de Neptunus maan Triton -235°C is. Ook in deze zeer koude en donkere wereld laat de zon zich dus gelden met zijn magnetische plasmawolken. Het blijkt dus dat zo'n hete gaswolk op zijn reis door het zonnestelsel grotendeels bijeen blijft en niet zeer snel uitdijt, ijler wordt en verdwijnt, zoals dat bij 'normaal' gas bij temperaturen zoals wij die op Aarde kennen wel zou gebeuren. In dit plasma wordt de beweging van de deeltjes bepaald door de elektromagnetische wisselwerking. De geladen deeltjes stromen daarin volgens de veldlijnen blijven zo bij elkaar. De complexe magnetische velden bewegen uiteraard zelf ook snel in de zeer hete plasmawolk die al tuimelend door de interplanetaire ruimte gaat. Ook bij de overdracht van energie van de CME naar de planeten speelt inductie een grote rol. De CME doet er 1,5 tot enkele dagen over om de Aarde te bereiken. Ze zijn dus op deze termijn voorspelbaar.

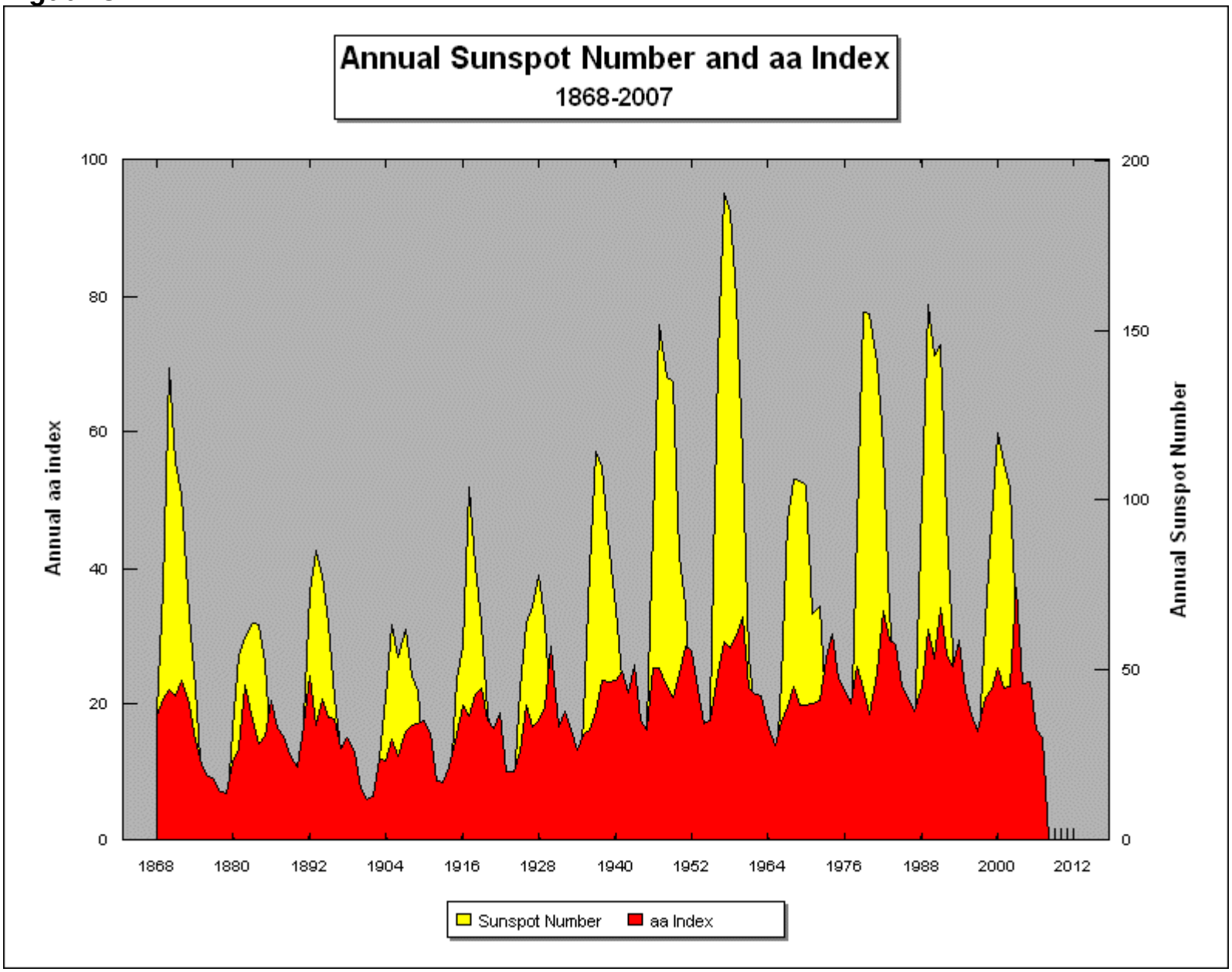
FIG 2 biedt een vrij globaal beeld van de jaarlijks gemiddelde aantallen zonvlekken (Annual SN). Verder staan hier op de site meer gedetailleerde grafieken van de SN ook met maandelijkse en halfjaarlijkse gemiddelden. Er is dus een ca 11 jarige cyclus in de SN, waarbij er echter een zeer grote variatie is in de SN tijdens deze 11 jarige maxima. De zonvlekken kwamen gedurende het Maunder (grand) minimum bijna niet tevoorschijn en het blijkt nu dat dit zelfs ca 100 jaar duurde [Litt 21]. Ook tijdens het Dalton minimum waren er 3 cycli met weinig zonvlekken. In de periode 1940-2000 was er een groot aantal zonvlekken, zodat men spreekt van het modern grand maximum, met het grootste aantal in 1957. Dus naast de ca 11 jarige cyclus in de zonnevlekken zijn er ook lange termijn variaties

in de zon activiteit. De aantallen zonvlekken werden al direct na de uitvinding van de telescoop in 1611 vrij frequent geobserveerd en soms met tekeningen geregistreerd. Men kan echter de zonvlekken op verschillende wijze tellen, zowel de aantallen individuele zonvlekken als de groepen zijn belangrijk. Om vergelijkbare gegevens te verkrijgen over de aantallen zonvlekken (SN) in de loop van de tijd moet men dus volgens een standaard procedure tellen. Dat besefte J.R. Wolff in 1848 en zijn initiatief werd overgenomen, zodat men nu over zeer betrouwbare gegevens beschikt over de periode vanaf 1848. Aan de hand van hem bekende gegevens heeft J.R. Wolff verder een reconstructie gemaakt van gestandaardiseerde tellingen over de periode 1611-1848. Er waren echter hiaten in de gegevens en daardoor onjuistheden in vooral de oudere SN. Omdat er af en toe nog onbekende gegevens van die oude tellingen uit de archieven opduiken is de reconstructie van de oude SN ook thans nog bezig. Nog in april 2011 publiceerden J.M. Vaquero en I. G. Usoskin [Litt 21] een belangrijke revisie: Het aantal zonvlekken in het laatste 11 jarig maximum voor het Maunder minimum blijkt veel kleiner te zijn. Hierdoor verandert het hele beeld van het Maunder minimum: Het is niet bijna plotseling begonnen omstreeks 1645, maar geleidelijk ontstaan vanaf ca 1620. De grafieken van de SN op deze site zijn hier nog niet op aangepast. Dit nieuwe beeld van het Maunder minimum past ook beter bij de curves van **FIG 12b** hier, waarop het verloop staat van de radionucleïden ^{10}Be op een aantal locaties en ^{14}C. Verder hebben DV Hoyt en KH Schatten [Litt 2] veel onderzoek gedaan naar de reconstructie van de oude SN en had I.G. Usoskin [Litt 17] eerder al een revisie gedaan met oude tekeningen. Veel gegevens over de SN staan op de NOAA site [Litt 11] en op de site van SIDC te Brussel [Litt 29]

--C— Uit metingen met grote ‘kompasnaalden’, magnetometers, blijkt dat de intensiteit en de richting van het locale aardmagnetisch veld steeds verandert. Er zijn trage veranderingen van het planetaire veld van de Aarde zelf, maar hier gaat het om de snelle fluctuaties. Deze afwijkingen van het ‘normale’ veld komen tot stand door magnetische activiteit van het interplanetaire plasma, de zonnewind. Daarbij is de mate van de uitslagen in nT ook afhankelijk van de intensiteit en richting van het locale aardse veld en dus van de plaats waar gemeten wordt. Voor inzicht in de oorzaak van deze magnetische fluctuaties op Aarde moet je dus weten hoe de zonnewind tot stand komt, zich ontwikkelt en interfereert met het planetaire veld van de Aarde. Over dit moeilijke onderwerp heeft B.T. Tsurutani een leesbaar artikel geschreven [Litt 15]. Meer toegankelijk zijn de films van NASA en ESO hierover [Litt]. De diffuse zonnewind ontstaat voornamelijk in de zg coronale gaten. Dat zijn grote gebieden in de corona waar de magnetische veldsterkte minder is dan gemiddeld. Er stijgt daardoor minder plasma op vanuit het oppervlak en er daalt ook minder plasma van de corona naar het oppervlak. Per saldo wordt het zeer hete plasma in deze gebieden met zwakkere velden blijkbaar minder goed vastgehouden door de Zon. De zonnewind vanuit de verschillende coronale gaten heeft niet overal dezelfde snelheid, maar gemiddeld is dat ca 400 km/sec, althans in de equatoriale gaten. Met onderzoek met de satelliet Ulysses, die in een afwijkende baan werd gebracht over de polen van de Zon, is echter gebleken dat de snelheid van de zonnewind uit de polaire gaten wel ca 800 km/sec is. Nu beweegt al dit plasma van de zonnewinden niet rechtlijnig door de ruimte. Door de rotatie van de Zon bewegen deze zeer ijle, maar uiterst hete gasmassa’s spiraalvormig, ongeveer zoals bij een draaiende sprinkler die in de tuin het grasveld beregent. Het verschil echter met de sprinkler is dat de plasma massa’s bij deze beweging onderling aanzienlijke verschillen in snelheid hebben. Hierdoor is er interactie en ontstaan wervelende bewegingen binnen het plasma, op dezelfde wijze als in een rivier draaikolken ontstaan door verschil in stroomsnelheid tussen de watermassa’s. In plasma brengen deze draaiende bewegingen echter magnetische activiteit met zeer gecompliceerde veldpatronen. Hierdoor is het interplanetair magnetisch veld in de omgeving van de Aarde zeer variabel met fluctuaties binnen een uur. Naast de veldpatronen van de zonnewind, die in de ruimte ontstaan,

zijn er de krachtige magnetische wolken van de CME's, die al in de corona ontstaan.
De veranderingen in het aardmagnetisch veld zijn uiteraard van groot belang voor de navigatie met behulp van een kompas. Eeuwenlang moest men dus al met nauwkeurige instrumenten het aardmagnetisch veld vastleggen en de langzame veranderingen bijhouden om op de kaarten te kunnen aangeven hoe groot het verschil is tussen het geografische en het magnetische Noorden. Hierbij ontdekte men echter ook de snelle fluctuaties, die soms ook voor zeelieden van belang waren wanneer ze zo heftig waren dat ze ook bij een gewoon kompas tijdelijk afwijkingen gaven en af en toe zelfs dat instrument konden beschadigen. Deze heftige gebeurtenissen gingen in bepaalde gebieden bovendien gepaard met de verschijning van het geheimzinnige poollicht. Ik kan me voorstellen dat zeelieden hierdoor met bijzondere verhalen thuiskwamen. Misschien is er daardoor nog enige informatie over magnetische stormen in het verre verleden. Dat is niet duidelijk, maar het is wel bekend dat onderzoek naar aardmagnetische variatie al voor 1800 werd gedaan en bevorderd door Alexander von Humboldt. Er zijn daardoor al registraties vanaf 1791 [Litt 10], echter van verschillende locaties en met verschillende instrumenten. Bovendien beschreef en benoemde von Humboldt als eerste een magnetische storm met zijn magnetometer en waarneming van de aurora in Berlijn in op 21-12-1806 [Litt 15 en 10]. Bijzonder hieraan was dat dit plaatsvond tijdens het Dalton minimum. Echter pas vanaf 1868 is er een systematische registratie van de magnetische deviaties op bepaalde locaties in Engeland en Australië, die doorgaat tot heden; de aa index. Hierbij zijn de gegevens in nT 8x per dag(!) vastgelegd. De tabellen met de resultaten staan op internet [Litt 12]. Vanaf 1844 heeft men ook in st Petersburg en Helsinki de resultaten van de magnetometer al systematisch geregistreerd, de C9 index. Deze gegevens zijn bestudeerd door Heikki Nevanlinna ea [Litt 7] en ondanks het verschil in locatie blijken ze toch compatibel met de aa index, zodat men dus over betrouwbare gegevens beschikt vanaf 1844.
In FIG 3 is het rode diagram van de aa index in getekend op het gele diagram van de zonvlekken. We zien dat de maxima van de aa index, die dus verband hebben met de grotere magnetische stormen en de AA index, gemiddeld iets later vallen dan de maxima in de ca 11 jarige zonvlek cyclus. Dat geldt ook voor de minima. Interessant is dat dit ook bij de maxima en minima van de variatie in de activiteiten van de Zon op de langere termijn het geval blijkt te zijn: bijvoorbeeld als de zonvlekken na het grote maximum van 1957 weer minder worden in de 11 jarige maxima blijft de aa index nog hoog en stijgen deze waarden zelfs nog iets, totdat er nu in de huidige zon cyclus echt een eind is gekomen aan de hoge activiteit van het moderne maximum. Nu pas dalen ook de waarden van de aa index.

Figuur 3

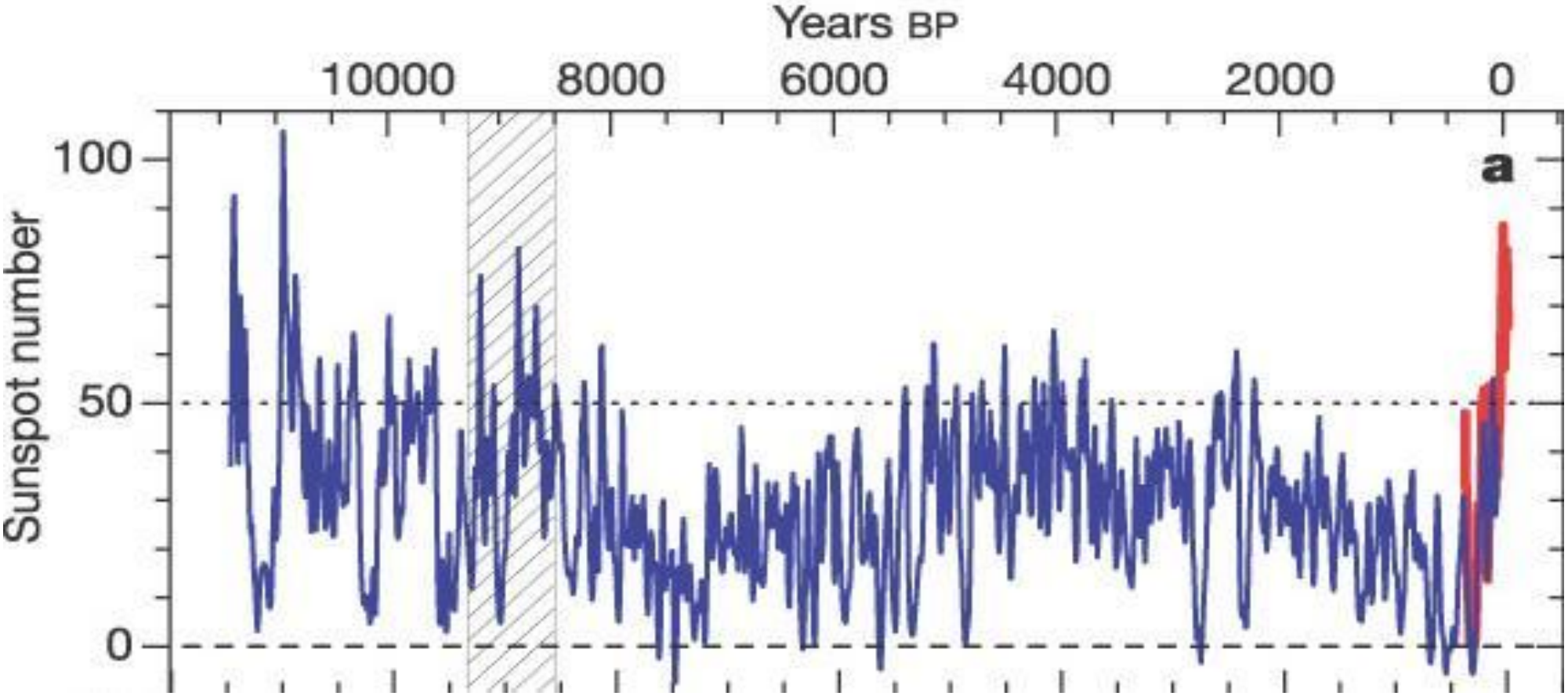

Annual Sunspot Number and aa Index
1868-2007
Annual aa index
Annual Sunspot Number
100
80
60
40
20
0
200
150
100
50
0
1868
1880
1892
1904
1916
1928
1940
1952
1964
1976
1988
2000
2012
Sunspot Number
aa Index

Een aantal van deze fenomenen zijn volgens **FIG 1** exact in fase en zijn dus statistisch gecorreleerd, namelijk: periodieke verandering in de aantallen zonvlekken, in de EM uitstraling van de Zon en in het optreden van zonnevlammen. De statistische correlatie is echter onvolledig men ziet immers op **FIG 1** bij het derde maximum, dus rond 2000, dat de parameters nog wel in fase zijn maar uiteen gaan lopen: In vergelijking met de voorgaande maxima is hier de solar flare index sterker afgenomen dan de zonvlekken en de EM uitstraling is minder afgenomen dan de zonvlekken. Dit wijst er dus op dat er geen kwantitatief verband is tussen deze grootheden, maar dat een kwalitatief verband wel waarschijnlijk is. De magnetische stormen, dus de CME's die de Aarde bereiken, zijn bijna in fase met de zonvlekken en hebben dus ook een statistisch verband met de zonvlekken, maar minder sterk. De magnetische stormen zijn niet afgebeeld op **FIG 3**, maar wel op **FIG 13 part IIIb** in samenhang met de zonvlekken. Niettemin wordt ook op basis van andere informatie aangenomen dat er bij al deze verschijnselen een fysische causale samenhang is, dwz dat ze een gemeenschappelijke oorzaak hebben. Daarvan zijn echter nog niet alle details bekend. Centraal punt in de fysische causaliteit van deze periodieke verschijnselen is volgens veel deskundigen de periodieke variatie in de algehele equatoriale (toroïdale) magnetische activiteit van de Zon. Deze activiteit wordt dankzij het Zeeman effect ook al sinds 100 jaar direct gemeten en blijkt dan heel nauw samen te hangen met de aantallen zonvlekken (SN). Deze zonvlekken worden daarom gehanteerd als proxy (indirecte graadmeter) voor het optreden van al deze fenomenen in het verleden voordat er van al deze dingen goede observaties mogelijk waren. Tellingen van zonvlekken werd immers al sinds 1611 gedaan. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat de Zon naast het equatoriale (toroïdale) veld systeem ook zijn polaire (poloïdale) veld heeft dat ongeveer even sterk is als het equatoriale veld is, maar in de dynamiek van de Zon zijn tegenhanger blijkt te zijn: Als de intensiteit van het polaire veld maximaal is, is die van het equatoriale veld minimaal en omgekeerd. De veld systemen zijn dus in antifase wat betreft de intensiteit en wat betreft de richting van de magnetische polariteit. Het polaire veld van de zon wordt echter pas sinds 40 jaar gemeten en het blijkt dan dat er een goede samenhang is tussen de variatie in het polaire magnetisch veld en de aa_{min} index. Deze aa_{min} index zijn steeds de minima van de waarden in nT, die sinds 1844 met magnetometers op Aarde worden gemeten. C. de Jager ea [Litt 5] wijzen op het belang van dit polaire veld en deze samenhang en hij gebruikt de proxy aa_{min} om de index van de beide veld systemen over een wat langere periode te berekenen. Zij krijgen daarmee een betere indicatie van de Gleissberg cycli en kunnen daardoor de ontwikkeling van de zonnedynamo in de toekomst inschatten. De verwachting van hen is dat we in de 21^{e} eeuw een grand minimum krijgen van het type Maunder.

--D-- Radionucleïden zijn atomen (isotopen) met een instabiele kern, die na verloop van kortere of langere tijd uiteenvalt hetgeen wordt weergegeven met de hafwaarde tijd. Door de zeer harde straling, grotendeels bestaand uit zeer snelle protonen (>1GeV), die uit de ruimte in de atmosfeer komt, worden de gasatomen in de lucht veranderd, soms ahw kapot geslagen. De nieuwe atomen die hierbij ontstaan zijn ten dele instabiel en dezen worden daardoor en door deze unieke ontstaanswijze voor divers wetenschappelijk onderzoek gebruikt. Het bekendste voorbeeld is ^{14}C (radiocarbon) met een halfwaardetijd van ca 5740 jaar. Omdat dit ^{14}C bij de koolstofcyclus vanuit de atmosfeer opgenomen wordt door planten en dieren, kan dit gebruikt worden voor datering, immers: Als we uit zouden mogen gaan van een vaste hoeveelheid ^{14}C in de atmosfeer, in stand gehouden door een constante kosmische straling, is het ^{14}C gehalte in organische resten bijvoorbeeld na 5740 jaar gemiddeld de helft van de vaste uitgangswaarde in de atmosfeer. Hierbij is echter helaas gebleken dat er geen vaste uitgangswaarde van de ^{14}C is door variaties in de kosmische straling door de variabele magnetische activiteit van de zon en ook door de variaties in de koolstof cyclus. Deze variaties zijn over de periode van het Holoceen

(de laatste 11400 jaar) nog vrij beperkt, maar in het Pleistoceen zijn deze variaties vrij groot. Om een goede datering te verkrijgen moet men dus corrigeren op de gewone ^{14}C data met de juiste calibratie, zoals INTCAL98 [Litt 25]. Het is vooralsnog onzeker hoe groot de variaties in de zon proxies tijdens het Pleistoceen waren, maar het onderzoek van oa IG Usoskin ea [Litt 16] en SK Solanki ea [Litt 14] heeft al wel duidelijk gemaakt wat de variatie is van het koppel magnetische zonactiviteit →kosmische straling→^{14}C gehalte in de atmosfeer voor het Holoceen. SK Solanki ea heeft voor exacte datering gebruik gemaakt van onderzoek van boomringen door specialisten en dit vergeleken met het ^{14}C gehalte in hetzelfde materiaal. Dezelfde methode die al eerder door de Vries en M. Stuiver werd gebruikt voor calibratie van de 14C datering [Litt 25]. De verschillen tussen de gemeten ^{14}C in de atmosfeer ($\Delta^{14}C$) over periodes van steeds 10 jaar gedurende het hele Holoceen en de vaste uitgangswaarde is dus een directe maat voor de kosmische straling. De zon voedt de magnetische activiteit van het zeer ijle interplanetaire plasma dat in de hele heliosfeer dus tot ver voorbij de planeetbanen aanwezig is. Deze

Figuur 4



enorme magnetische velden laten de kosmische straling afbuigen, zodat er bij een grotere activiteit van de zon minder kosmische straling doordringt tot in de atmosfeer van de Aarde. Er is daardoor een indirecte negatieve samenhang tussen de zonactiviteit en de ^{14}C productie en hoeveelheid in de atmosfeer. Aldus is -1x de $\Delta^{14}C$ een proxy, die de magnetische zonactiviteit aangeeft. SK Solanki ea hebben verder de samenhang onderzocht tussen de aantallen zonvlekken (SN) met de -Δ14C en andere proxies en deze blijkt vrij groot te zijn. Zij beschrijven de $-\Delta^{14}C$ daarom als de gereconstrueerde SN. Hun curve wordt inmiddels vrij gepubliceerd oa in Wikipedia en staat hier als **FIG 4**. De blauwe curve hierin geeft de gereconstrueerde SN en de rode de werkelijk getelde SN van de laatste 400 jaar. Een belangrijke conclusie van het onderzoek was dat de magnetische activiteit van de zon in de tweede helft van de 20^{e} eeuw uitzonderlijk hoog was in het kader van de variatie in het hele Holoceen. Later hebben critici dat iets genuanceerd ivm de verhouding tussen de getelde en gereconstrueerde SN. De algemene opinie is toch dat dit onderzoek aangeeft dat de activiteit in het laatste grand maximum (lange termijn max.) van de zon extreem groot was in het kader van de laatste 8000 jaar. Dit is temeer van belang, omdat de activiteit verder in het laatste millennium nu juist erg laag was met enkele diepe grand minima, die al eerder werden beschreven. Het laatste daarvan het Maunder minimum is ook bekend uit de tellingen van de SN en blijkt nu bij recent onderzoek [Litt 21] geplaatst te moeten worden in de periode 1620 – 1715, dus slechts ruim 300 jaar voor het moderne grand maximum van 1940 – 2000. De lange termijn variatie in de zon activiteit zoekt dus in onze tijd zowel naar boven als naar beneden de extremen op en de beweeglijkheid hierin is sinds het begin van het Holoceen niet meer zo groot geweest als in de laatste eeuwen. Overigens zijn de tabellen met de gegevens voor de curve van **FIG 4** door NOAA/NCDC [Litt 13] op internet gepubliceerd, zodat men hiermee ook grotere curven kan tekenen, die meer overzicht bieden ook ter vergelijking met andere gegevens. Onder andere de 45 cm lange curven van **FIG 8** hier verder heb ik met deze gegevens gemaakt.

De andere radionucleïde die in dit verband als 'kosmogene' nucleïde van belang is, is het ^{10}Be (beryllium-10). Dit isotoop ontstaat ook door de kosmische straling als brokstuk van zuurstof of stikstof atomen in de atmosfeer. Het beryllium reageert dan weldra met zuurstof en het oxide (BeO) is chemisch vrij inert, maar is wel licht hygroscopisch. Het ^{10}Be ontstaat op verschillende niveaus in de atmosfeer en blijft afhankelijk van de hoogte waar het is ontstaan langere of kortere tijd (max. 2 jaar) zweven en hecht aan aerosolen. Tenslotte wordt het meestal met de neerslag op het oppervlak gedeponeerd, maar er is ook droge depositie. In sediment lagen en in het poolijs kan men dus de depositie van het ^{10}Be uit het verleden aantreffen, zodat men nu de geschiedenis van de kosmische straling en de zon activiteit ahw kan aflezen in deze ijs- of gesteentelagen. Omdat het ^{10}Be een halfwaarde tijd heeft van 1,4 miljoen jaar, veel meer dus dan het ^{14}C, kan men hiermee de geschiedenis van de magnetische zon activiteit bestuderen over zeer lange periodes, bijvoorbeeld over de tijd zolang de ijslagen in Antarctica reiken, dit is meer dan 800.000 jaar. Het radioactief verval is zo gering in betrekkelijk recente ^{10}Be deposities dat men daarmee geen rekening hoeft te houden. Vooral uit het ijs is het ^{10}Be relatief gemakkelijk te analyseren. Hoewel het om uiterst kleine hoeveelheden gaat, aantallen atomen per mg, zijn de bepalingen met oa accelerator massa spectometrie toch goed betrouwbaar. Er is echter wel discussie en onzekerheid in hoeverre de hoeveelheden ^{10}Be in oa ijslagen de juiste informatie geven over de productie van ^{10}Be in dezelfde periode als de ijslagen gevormd zijn. De depositie van het ^{10}Be op het oppervlak wordt namelijk ook bepaald en veranderd door atmosferische verschillen. Men heeft niettemin goede argumenten voor de betrouwbaarheid van ^{10}Be als maat voor veranderingen in kosmische straling en dus zon activiteit wat betreft ^{10}Be bepalingen met een tijd resolutie van 1 op 10 jaar of minder, waarbij dan het ^{10}Be wordt bepaald als gemiddelde uit een ijslaag die gevormd is in een periode van ≥ 10jaar. Een van de punten daarbij is dat deze betrouwbaarheid gebleken is uit vergelijkend onderzoek. Vooral van materiaal uit het laatste millennium zijn een aantal ^{10}Be en ook ^{14}C

onderzoeken bekend. Vergelijking van de curven met elkaar en met de getelde SN leert dan dat er wel geen perfecte, maar algemeen wel een redelijk tot goede overeenkomst is, terwijl de fysische lotgevallen van ^{14}C in de atmosfeer en koolstofcyclus geheel anders zijn dan die van het ^{10}Be en ook de atmosferische factoren die de ^{10}Be depositie hebben medebepaald op Groenland anders hebben gewerkt dan in Antarctica. De vergelijking van 8 curven is door mij gemaakt in **FIG 12b**. Onderzoekers als IG Usoskin [Litt 19] en SK Solanki [Litt 14] bevestigen de betrouwbaarheid van het ^{10}Be en het ^{14}C als zon proxy ook na diepgaande analyses op diverse gronden, als mede de relaties tussen kosmische straling en de activiteit van de zon [Litt 19, 20]. Het is hierbij jammer dat onderzoeken met een hogere tijd resolutie, bijvoorbeeld uit ijslagen van 1 jaar, minder betrouwbaar zijn, omdat hiermee nu juist het effect van de 11 jarige zoncyclus op de ^{10}Be depositie in de omgeving van de polen bestudeerd kan worden. Bij de grafieken die ik maakte met gegevens uit de Siple Dome ice core (West Antarctica) [Litt 24 Nishiizumi ea] met tijdresoluties tussen 0,5 en 2 jaar over de periode vanaf 1698 AD met de getelde SN ter vergelijking, bleek dat het verloop van de ^{10}Be concentraties tijdens sommige zon maxima zeer grillig was, (zie FIG 13). Aanvankelijk vermoedde ik dus dat dit wees op verstoring door atmosferische factoren. Bij verder onderzoek bleek echter een andere verklaring voor deze snelle veranderingen in de ^{10}Be concentraties in de ijslagen meer waarschijnlijk. De snelle stijgingen gevolgd door dalingen in het ^{10}Be bleken vooral in de 19^{e} eeuw samen te vallen met enkele grote magnetische stormen, die goed geregistreerd werden. Het is daarom goed mogelijk dat de snelle stijging in de 10Be concentraties toch berusten op echte veranderingen in de productie van 10Be. Deze magnetische stormen gaan immers vaak gepaard met SPE´s waarbij grote hoeveelheden zeer snelle protonen van de zon vooral in poolgebieden diep doordringen in de atmosfeer. Waarschijnlijk kunnen daardoor in de weinige dagen dat de SPE actief is zulke grote hoeveelheden 10Be ontstaan dat de bepalingen uit de ijslagen van de totale concentraties door de depositie over 0,5 tot ca 1 jaar sterk verhoogde waardes laten zien. In het ijs van de direct volgende laag is deze 10Be depositie door de SPE er al niet meer. De ^{10}Be concentratie kan in deze laag zelfs minder zijn dan gemiddeld als de magnetische activiteit in de interplanetaire ruimte tijdelijk is toegenomen na de explosieve gebeurtenissen op de zon, zodat de kosmische straling van buiten het zonnestelsel (GCR) meer dan gemiddeld wordt tegengehouden (zie **FIG 13 en 14** op blz--). Als 10Be onderzoek met hoge tijdresolutie inderdaad informatie geeft of kan geven over SPE's en grote magnetische stormen in het verleden zou dat van groot belang zijn. De gegevens die men nu heeft over het optreden van deze verschijnselen over 165 jaar is te weinig om te kunnen vaststellen wat in de toekomst de kans is op een catastrofale magnetische storing bij de verschillende variëteiten in zon activiteit. Misschien kan dit ^{10}Be onderzoek daar wel een antwoord op geven. Vervolgens kwamen er gegevens beschikbaar over jaarlijks ^{10}Be onderzoek uit ijslagen vanaf 1389 AD in de NGRIP ice core in Groenland. Ook daarvan heb ik meterslange grafieken getekend en vergeleken met de SN en de ^{10}Be uit Antarctica, zie **FIG 15 en 16**. Er zijn ook daar grillige excursies in het verloop van de ^{10}Be concentraties en fluxen, maar de samenhang met de zonnemaxima is hierbij niet duidelijk. Met het verloop van het ^{10}Be in Antarctica zijn er overeenkomsten, maar ook verschillen. Een verklaring van al deze verschillen is dat de verstoring van het signaal van de zon door atmosferische factoren, zoals verwaaien van de sneeuwlagen, op de ene locatie sterker is dan op de andere. Hierdoor kan ook de datering van de ijslagen moeilijk worden. Met deze interpretatie van verstoring in de depositie en problemen met de datering kan men toch wel dezelfde signalen van de zon zien in het ^{10}Be van Groenland als in dat van Antarctica. Ook kunnen tijdelijke atmosferische veranderingen op dezelfde locatie de datering en interpretatie moeilijk maken. Er zijn veel hiaten in de gegevens van de ijsboorkern uit West-Antarctica, maar de gegevens die wel verwerkt en op internet gepubliceerd zijn, lijken een duidelijk zonnesignaal te tonen. Mogelijk is dit signaal van de zon activiteit inderdaad aanwezig en zijn de dateringen in andere perioden te onzeker om als wetenschappelijke data te verwerken naar het oordeel van de onderzoekers. Het lijkt dus waarschijnlijk dat ^{10}Be onderzoek met hoge tijdsresolutie potentieel belangrijke gegevens oplevert over grote magnetische stormen in het verleden. Voor een goede interpretatie moet men echter veel vergelijkend onderzoek doen. Daarbij moet ook gedacht worden aan andere zon proxies dan ^{10}Be of ^{14}C. Wellicht zijn er meer mogelijkheden, die tot nu toe nog niet gebruikt worden, zoals de waterstof concentraties in de paleoatmosfeer, die in de gasbelletjes van het poolijs aanwezig is. Het is heel begrijpelijk dat er grenzen zijn aan de tijdresolutie van het ^{10}Be onderzoek ivm verstoring door atmosferische factoren. Overigens is deze beperking bij het ^{14}C onderzoek nog groter vanwege de koolstof cyclus. Een andere beperking aan de betrouwbaarheid, of de erkenning van de relevantie van het onderzoek met ^{10}Be als proxy van zon activiteit is echter wel merkwaardig. Hoewel men het ^{10}Be en het ^{14}C onderzoek beschouwt als betrouwbare bron voor de variatie in de activiteit van de zon voor de laatste millennia en eigenlijk voor het hele Holoceen, wordt dit onderzoek voor het Pleistoceen zelfs niet beschouwd als mogelijke indicator voor veranderingen in de magnetische activiteit van de zon. De betrouwbaarheid van radionucleïden als zon proxy houdt dus bij 11500 voor heden (BP) plotseling volledig op, volgens

de algemeen aanvaarde inzichten. Dit is temeer merkwaardig, omdat bekend is dat er in het Pleistoceen veel zeer grote variaties waren in de temperatuur en het klimaat op Aarde, waarvan men de oorzaken in veel opzichten nog niet goed weet. Er zijn, voor zover ik heb kunnen nagaan, slechts 2 onderzoeken geweest van oudere, dus pleistocene, ijslagen en die gaven een aanzienlijk grotere variatie te zien in de ^{10}Be concentraties in het Pleistoceen dan in het Holoceen. Een hiervan is met materiaal uit de GISP2 ijsboorkern in Groenland [RC Finkel ea, Litt 3]. De variaties in het ^{10}Be zijn bij dit onderzoek zeer sterk gecorreleerd met de proxies voor de temperatuur uit dezelfde ijskern, volgens RB Alley [litt 23], en uit de andere ijskernen van Groenland en zelfs Antarctica (zie **FIG 7 en FIG 7a**). De correlatie tussen de ^{10}Be concentratie in deze GISP2 ijskern en de temperatuur op grote afstand in Oost Antarctica, volgens de gegevens van de Epica DOME C ijskern, is wat minder opvallend maar is ook hier duidelijk aanwezig (zie **FIG 7a** en **FIG 18**). Verder blijkt dat er bij de gegevens uit het Pleistoceen meer samenhang te zien is tussen de temperaturen op Groenland en Antarctica met de 10Be concentraties van Groenland dan dat dit het geval is met de gegevens uit het Holoceen. De gegevens van zowel de zon proxy als de temperatuur volgens de stabiele isotopen in de ijskernen variëren tijdens het Holoceen veel minder sterk dan tijdens het Pleistoceen en alleen bij de grotere variaties tijdens het Holoceen is er samenhang (covariatie) in de curven. Het ^{10}Be onderzoek uit de GISP2 ijskern betreft materiaal uit de ijslagen van 40000 jaar BP tot 3300 jaar BP met een hiaat tussen 8000 en 9400 BP. De tijdresolutie is ca 1 op 20 jaar voor de jongere ijslagen en minimaal 1 op 200 jaar voor de oudste lagen. Over de periode van het ^{14}C onderzoek van Solanki ea [Litt 14], dus vanaf 11400 BP, is er duidelijke samenhang in de gegevens van de zon activiteit volgens deze ^{14}C gegevens en ^{10}Be van de GIPS2 ijskern, zie **FIG 8**. Het andere ^{10}Be onderzoek met gegevens uit het Pleistoceen is uit de GRIP ijskern, dus ook in Groenland [F Yiou ea Litt 22]. Ook dit onderzoek laat grote variabiliteit zien in de ^{10}Be concentraties en fluxen, die ook hier grotendeels samengaan (covariëren) met de enorme variabiliteit in de temperatuur tijdens de ijstijden door de vele interstadialen (D-O events) en bij de overgang naar het warme Holoceen. Bij dit onderzoek zijn echter grote problemen, die de auteurs ten dele ook zelf toegeven [Litt 22]. Desondanks durven zij te concluderen dat de variaties in het ^{10}Be tijdens het Holoceen berusten op reële variaties in de magnetische velden van de Zon en de Aarde, maar dat de grote verschillen in de ^{10}Be concentraties tijdens het Pleistoceen veroorzaakt werden door verdunning vanwege variaties in de neerslag. Volgens deze onderzoekers kan het ^{10}Be onderzoek dan ook geen bijdrage leveren aan een verklaring voor het zeer snel en intensief veranderende klimaat tijdens het quartair door de cycli van glacialen (ijstijden) en interglacialen en het optreden van interstadialen vooral tijdens de glacialen. Het is mijns inziens echter zeer onjuist om de ^{10}Be variaties zonder meer toe te schrijven aan neerslag verschillen. Er waren namelijk geen grote veranderingen in de accumulatie van het ijs tijdens de interstadialen volgens het onderzoek dat RB Alley ea [Litt 23] enige tijd later deed met ijs uit de nabijgelegen GIPS2 kern. Ook bij het onderzoek van F Yiou ea [Litt 22] waren er geen directe aanwijzingen voor sterke toename van de neerslag tijdens de interstadialen, maar zij waren daar onzeker over door problemen met de datering. Tussen het Holoceen en het Pleistoceen (althans de laatste ijstijd) zijn er wel grote verschillen in de neerslag op Groenland volgens het onderzoek RB Alley en ook later onderzoek, maar daarbij loopt de toename van deze neerslag tijdens de klimaat overgang naar het Holoceen iets achter op de afname in de ^{10}Be concentraties, zie **FIG 11a**. Het is wel waar dat de fysische lotgevallen van het ^{10}Be in de atmosfeer niet geheel duidelijk zijn, waardoor er altijd onzekerheden zijn aan de ^{10}Be concentraties als proxy voor de magnetische activiteit van vooral de Zon. Toch zijn deze covariaties tijdens het Pleistoceen een belangrijk signaal dat meer onderzoek verdient en de hypothese van een mogelijk sterk veranderlijke zon, die een belangrijke drijver is bij de enorme klimaat veranderingen tijdens het Quartair niet zonder meer verketterd moet worden op basis van slecht onderzoek. Dit is wel wat er gebeurd is, want deze conclusies van F Yiou ea [Litt 22] worden overgenomen, Muscheler [Litt 6].

Een belangrijk aspect van de variabiliteit van de zon is de periodiciteit daarin. Bekend is de cyclus in de zonvlekken van gemiddeld ca 11 jaar, de Schwabe cyclus. Dit is eigenlijk de helft van de totale Hale cyclus: Omdat de magnetische veldrichtingen rondom de zonvlekken steeds omkeren bij de zonvlek minima is de periode van de totale magnetische cyclus ca 22 jaar. Bij observatie van de aantallen zonvlekken (SN) blijkt verder dat er ook op langere termijn variaties zijn in de activiteit van de zon. De maxima in de SN geven dat duidelijk aan (**FIG 2**). Deze lange termijn variaties zijn van belang omdat zij meer invloed kunnen hebben op het klimaat op Aarde dan de Schwabe cycli door hun langere periodes en hun wellicht ook grotere intensiteit. Hoewel de cyclische regelmaat in de lange termijn variatie aan registratie van de SN, destijds nog over de laatste ca 200 jaar, moeilijk te zien is en statistisch niet van betekenis kan zijn, meende de astronoom Gleissberg in 1944 toch al dat er een cyclus was van gemiddeld ca 88 jaar bij de SN [Litt 4]. Later is door betere reconstructies van de oude SN en vooral door het onderzoek met de radionucleïden bevestigd dat er ook in de lange termijn variatie cycli zijn, die echter niet bij alle analyses van de gegevens even duidelijk aanwezig zijn en meestal ook een vrij grote variatie hebben, zodat

de statistische bewijzen voor deze cycli nog altijd niet geheel duidelijk zijn [Litt IG Usoskin 19, blz 44]. Ook is bij het optreden van de grootste toppen en dalen, de grand minima en maxima in het Holoceen volgens de curve van Solanki (**FIG 4 en 8**) het patroon van de lange termijn cycli statistisch niet herkenbaar. [Litt Usoskin 28]. Niettemin is uit analyses van de algemene variatie in de proxies van de magnetische zonactiviteit gebleken dat er cycli zijn, maar waarvan de periode lengten niet geheel duidelijk zijn. Globaal spreekt men van de Gleissberg cyclus van gemiddeld ca 86 jaar; de de Vries, of Suess cyclus van gem. ca 205 jaar en de Hallstatt cyclus van ca 2300 jaar. Daarnaast zijn er ook aanwijzingen voor andere periodes, zoals ca 600 jaar [Litt 19 Usoskin] . Dit alles is dus op basis van onderzoek met materiaal uit het Holoceen. Anders dan bij de Schwabe en Hale cyclus is er voor deze lange termijn variatie in de magnetische activiteit van de zon geen fysische basis gevonden. Het cyclische karakter van de lange termijn variatie van de Zon tijdens het Holoceen staat hierdoor dus niet onomstotelijk vast, maar dit is wel algemeen aanvaard. Merkwaardig is echter dat de periodiciteit in de zon activiteit in het Pleistoceen veel duidelijker blijkt uit de weinige ^{10}Be gegevens [Litt 3], die we hebben (en waardoor die onzeker zijn), maar niet erkend wordt. De lange termijn zon cycli tijdens het Pleistoceen is opgemerkt door vooraanstaande klimaat onderzoekers, omdat zij in de eerste plaats uit dit onderzoek tevoorschijn kwamen. Uit onderzoek van S Ramstorf ea [Litt 9] is namelijk gebleken dat er in het optreden van de interstadialen tijdens het laatste glaciaal een duidelijke periodiciteit van 1470 jaar was. Deze intense klimaat schommelingen van de interstadialen (of D-O en Heinrich events) werden volgens hen veroorzaakt doordat een op zich waarschijnlijk zeer beperkte zon drijving als trigger werkt op interne factoren binnen de energie verdeling op Aarde, waarbij variaties in vooral de Noord Atlantische golfstroom een centrale rol spelen. Deze oceaan stromingen zijn ahw een lopende band van water dat bij oa de kust van Namibië uit de diepte opstijgt waardoor de equatoriale en de Atlantische stroming versterkt wordt. Deze gaat thans door tot bij Groenland waar het oppervlakte water zo sterk afkoelt en dus in dichtheid toeneemt dat het bezinkt. Op grote diepte stroomt het water dan weer terug naar het Zuiden. Door toevoeging van relatief kleine hoeveelheden zoet smeltwater, dus met een kleine dichtheid, aan de oceaan in het Noorden kan het water niet meer naar grote diepte zinken en hierdoor kwam de lopende band van de Golfstroom in het Pleistoceen herhaaldelijk tot stilstand met grote gevolgen voor het klimaat. Er was daarbij, volgens Stefan Ramstorf [Litt 9] in het Pleistoceen en ook in het Holoceen een cyclus van 1470 jaar in het optreden van meer smeltwater, die alleen in het Pleistoceen leidde tot een stop in de aanvoer van warm oceaan water en dus tot het einde van het warme interstadiaal (of D-O event) en in een aantal gevallen daalde de temperatuur hierbij tot beneden het gemiddelde of stadiale niveau naar een koud Heinrich event. De oorzaak van de cyclische veranderingen in de smeltwater toestroom berusten volgens hem [Litt 9] mogelijk op zon drijving, echter met een geringe energetische capaciteit en waar S. Ramstorf verder geen belang aan hecht. Deze theorie met een dominante rol van de Golfstroom bij deze snelle en intense klimaat fluctuaties roept echter vragen op en ik heb er dan ook op tal van punten kritische opmerkingen over (zie blz---) en ik meen aanwijzingen te hebben voor een veel grotere energetische rol van de zon bij deze vele intense en snelle klimaat veranderingen tijdens het hele Quartair. Hierbij wil ik opmerken dat deze klimatologen in feite niet de mogelijkheid hebben om de onbewezen hypothese van de (bijna) constante Zon van de astronomen ter discussie te stellen en daardoor niet uit kunnen gaan van een mogelijk grotere variatie in de uitstraling van de Zon tijdens het Pleistoceen met substantieel en direct gevolg voor het klimaat. Wat de capaciteit van de variatie in de em-straling van de zon hierbij ook moge zijn, deze cyclus van 1470 jaar, die G. Bond ea [Litt1] en S Ramstorf [Litt 9] vonden bij het verloop van klimaatveranderingen in het Pleistoceen (duidelijk) en Holoceen (minder duidelijk) kan belangrijke informatie geven over de zonnecycli. Het is, volgens H. Braun ea [Litt 26 en 27] goed mogelijk dat deze Bond cyclus in het klimaat berust op interferentie van reeds bekende cyclische fluctuaties in de activiteit van de zon, de Gleissberg cyclus van ca 87 jaar en de deVries cyclus van ca 210 jaar. Steeds na 1470 jaar valt het maximum van deze beide cycli min of meer gelijktijdig. Immers 1470 is gelijk is aan 17x 86,47 en 7x 210.

Ook in deze publicatie [Litt 27] staat dat de zon drijving slechts een kleine stimulus is met grote gevolgen voor het klimaat in het Pleistoceen door instabiliteit van de enorme ijsmassa's en de gevoeligheid van de Atlantische stroming voor smeltwater. Deze precieze getallen werpen echter wel een nieuw licht op de zon periodes. Uit onderzoek met SN en radionucleïden tot nu toe blijkt namelijk dat de lengte van deze cycli variabel is en dat de gemiddelde lengte niet geheel duidelijk is [Litt19] en waarbij er volgens AN Peristykh [Litt 8] wel aanwijzingen zijn dat de cycli met langere periodes de kortere moduleren qua intensiteit en qua lengte. Zo is bijvoorbeeld tijdens een Gleissberg maximum het aantal zonvlekken bij de Schwabe maxima groter en is dan de lengte in deze SN periode kleiner. Dit lijkt bijzonder, omdat er wel inzicht is in de fysische dynamiek van de Hale – Schwabe cyclus, maar de fysische achtergrond van de meer langdurige cycli onbekend is. Deze modulatie zou er dus op wijzen dat de lange termijn cycli meer fundamenteel zijn voor het fysisch functioneren van de Zon dan de korte en dat men de zonnedynamo pas goed begrijpt door inzicht in die lange termijn variatie, zoals ook de Hale cyclus fysisch fundamenteel is voor de Schwabe cyclus. Het opmerkelijke punt dan van deze mogelijk lineaire interferentie van de zonnecycli, waar H. Braun ea [Litt 26 en 27] hier op wijzen, is dat dit direct impliceert dat de periode lengte op de langere termijn constant is. Dit wijst er dus op dat de gemiddelden van de deVries en de Gleissberg cycli fysisch reëel zijn en dat de variaties in de lengtes van de periodes op de korte termijn zouden berusten op onderlinge beïnvloeding, interferentie, van de diverse fysische cycli. Dit is dus een bevestiging van de hypothese van Peristykh. Als er nu 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 $\mathbf{\ln \mu_n = c.(1,2)^n}$, zodat $\mu_n = e^{c(1,2)^n}$, waarin $\mathbf{c = \ln 22,13}$. 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 de 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'. 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 4 en 8**). 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 daarmee wel een meer algemene formule maken van de cycli in de tijd, maar die wordt dan veel gecompliceerder en geeft daardoor weinig inzicht. Interessant is echter dat deze getallen als exponentiële verhoudingen wel algemeen gelden, onafhankelijk van de eenheid van tijd. Bovendien is de constante als grondtal, $c = \ln 22,13 = 3,0969 \approx \pi = 3,1416$, waarbij $c = 0,9858\pi$. Zo kunnen we ook noteren $\mathbf{\mu_n = e^{\pi(1,2)^n}}$, of meer precies $\mathbf{\mu_n = e^{0,986\pi(1,2)^n}}$ 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 $\mathbf{\mu_n = e^{\pi(1,2)^n}}$ 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 $\mathbf{\mu_n = e^{\pi(1,2)^n}}$ 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.

Literatuur:

23 Alley, RB: The younger dryas cold interval as viewed from Central Greenland, Quaternary Science Reviews, 2000, 19: 213 – 266
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
26 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
27 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
2 DV Hoyt en KH Schatten Geophysical research letters, Vol 21 No 18
3 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.
4 de Jager, C: Gleissberg, Zenit juni 2010, blz 289.
5 de Jager, C en S Duhau : The variable solar dynamo and the forcast of solar activity, NOVA publ. en The forthcoming Grand Minimum of solar activity, Journal of Cosmology, Juin 2010 te zien via de site http://www.cdejager.com/sun-earth-publications
6 Muscheler, R and Beer,J Solar forced DO events?, Geophysical Letters Vol 33, 2006.
7 Nevanlinna, H: Results of the Helsinki magnetic observatory 1844 -1912, in Annales Geophysicae (2004) 22: 1691–1704, http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/31/73/52/PDF/angeo-22-1691-2004.pdf
24 Nishiizumi, K and R. Finkel, 2007. Cosmogenic radionuclides in the Siple Dome A icecore. Boulder, Colorado, USA: National Snow and Ice Data Centre, Digital media. See also: http://nsidc.org/data/nsidc-0307.html Also the dating of the depth of the layers is given on this site.
8 Peristykh, AN ea: Persistence of the 88 year solar cycle over the last 12000 years. Evidence from cosmogenic isotopes. Journal of geophysical research, VOL 108, 2003.
9 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
10 Sabine, Edward: Report on the variations of the magnetic intensity observed at different points on the Earth's surface, London 1838, page 52, http://books.google.nl/books?id=mdA4AAAAMAAJ&pg=PA54&lpg=PA53&ots=Sjm7nyROyl&dq=humboldt+1805+magnetic#v=onepage&q=humboldt%201805%20magnetic&f=false
11 Site van NOAA met gegevens over zonnevlekken: ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS
29 Site van SIDC Brussel met gegevens over zonnevlekken: http://sidc.be/sunspot-data
12 Sites for geomagnetic data http://www.geomag.bgs.ac.uk and ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP
13 Site van Noaa/NGDC paleoclimatogogy program. Data contribution series 2005-015, ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/climate_forcing/solar_variability/solanki2004-ssn.txt
14 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
25 Stuiver, M ea: Reporting of ^{14}C Data. Radiocarbon 19**,** 355-363 (1977) en D:\zon-klimaat\INTCAL98 data.htm
15 Tsurutani, BT, The interplanetary causes of magnetic storms, substorms and magnetic quiets: http://trs-new.jpl.nasa.gov/dspace/bitstream/2014/12903/1/01-1269.pdf
16 Usoskin, IG,SK Solanki ea:: Millennium scale sunspot number reconstruction, evidence for an unusual active sun since the 1940"s, Physical review letters 21 Nov 2003 http://cc.oulu.fi/~usoskin/personal/Sola2-PRL_published.pdf
17 Usoskin, IG, ea, a solar cycle lost in 1793-1800: Early sunspot observations resolve the old mystery, The Astrophysical Journal, 700:L154–L157, 2009 August 1, http://cc.oulu.fi/~usoskin/personal/apjl_700_2_154.pdf
18 Usoskin IG personal literature list: http://cc.oulu.fi/~usoskin/personal/List.html
19 Usoskin, I.G. A history of solar activity over millennia, see http://cc.oulu.fi/~usoskin/personal/lrsp-2008-3Color.pdf
20 Usoskin, IG, ea, Heliospheric modulation of cosmic rays: Monthly reconstruction for 1951–2004, journal of geophysical research, vol. 110, 2005 http://cosmicrays.oulu.fi/phi/2005JA011250.pdf
28 Usoskin, IG ea: Grand minima and maxima of solar activity: A new observational constraint. Astronomy and astrophysics 301 – 307 (2007), http://cc.oulu.fi/~usoskin/personal/aa7704-07.pdf
21 Vaquera J.M., Usoskin I.G. ea: Revisited sunspot data in The Astrophysical Journal Letters 731: L24 http://cc.oulu.fi/~usoskin/personal/Vaquero_ApJL_2011.pdf
22 Yiou F. ea, Beryllium 10 in the Greenland Ice Core Project ice core at Summit, Journal of geophysical research, Vol 102, 1997. www.ipsl.jussieu.fr/~ypsce/papers/yiou97JC01265.pdf

Naar onderstaande grafieken wordt in de kleine letter teksten met toelichtingen uit mijn onderzoek verwezen. Zij zijn door mij gemaakt met gegevens uit wetenschappelijk onderzoek die ik op internet vond. Zie de teksten in ‘de zon en de zondvloed’ voor een uitgebreide beschrijving van deze grafieken met volledige bronopgave.

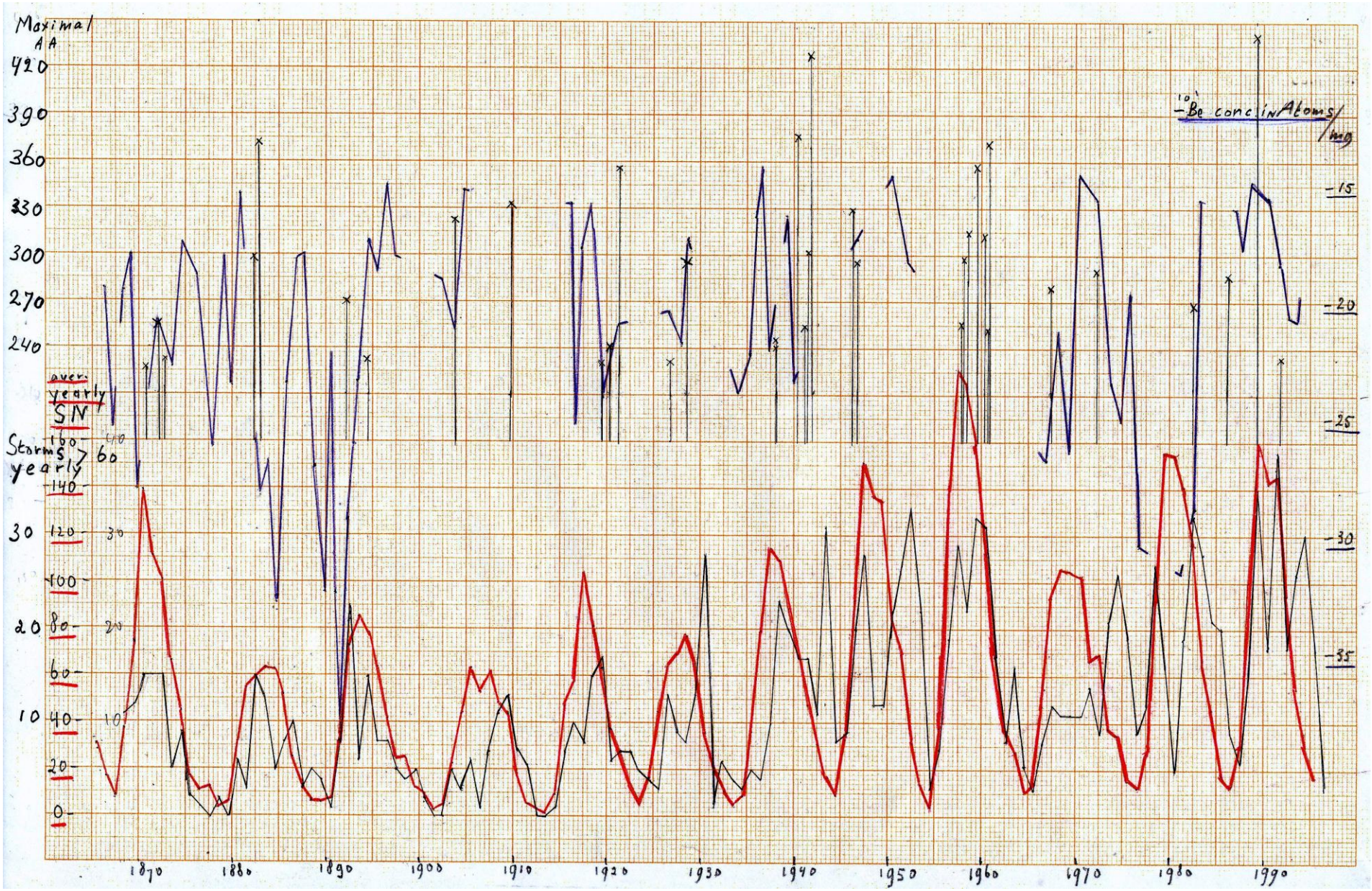


FIG 13 part III b (blz 7 en 11) : De plaats van de grootste magnetische stormen in het verloop van de -10Be concentraties van Siple Dome met daaronder de zonvlek tallen (SN) en het aantal magnetische storingen met aa> 60.

FIG12b (blz 8 en 13): Het verloop van diverse -10Be curven uit het ijs van Groenland en Antarctica, met ook een -14C curve (b)

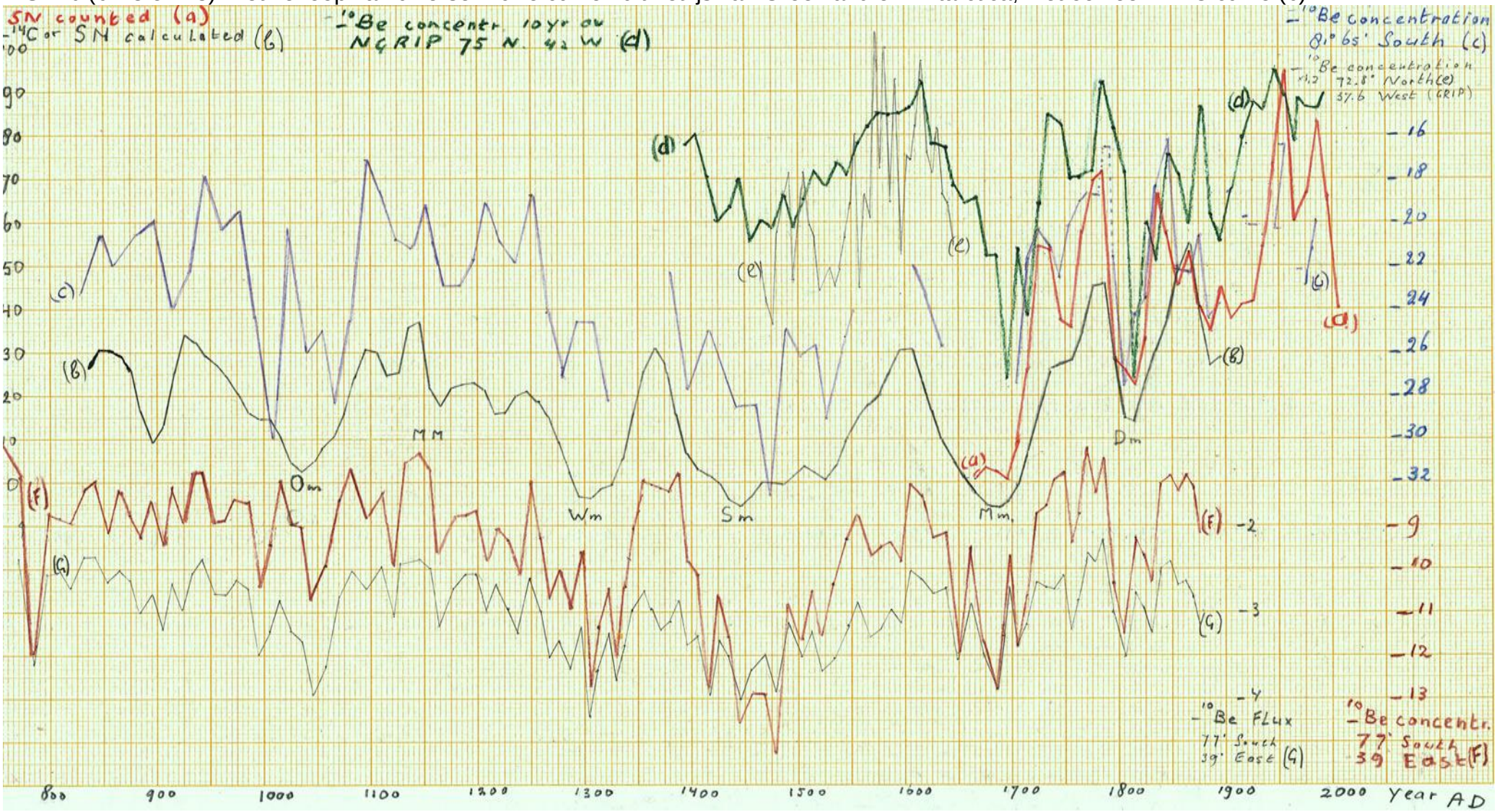


FIG 8 part 1 (blz 13 en 15): vergelijking van de -10Be concentratie curve van de GISP2 ijskern, Groenland met de -14C curve uit boomringen. De dikke punten zijn -10Be gegevens uit de Taylor Dome ijskern Antarctica. De fijne stippels onderin is het temperatuurverloop volgens de GISP2 ijskern.

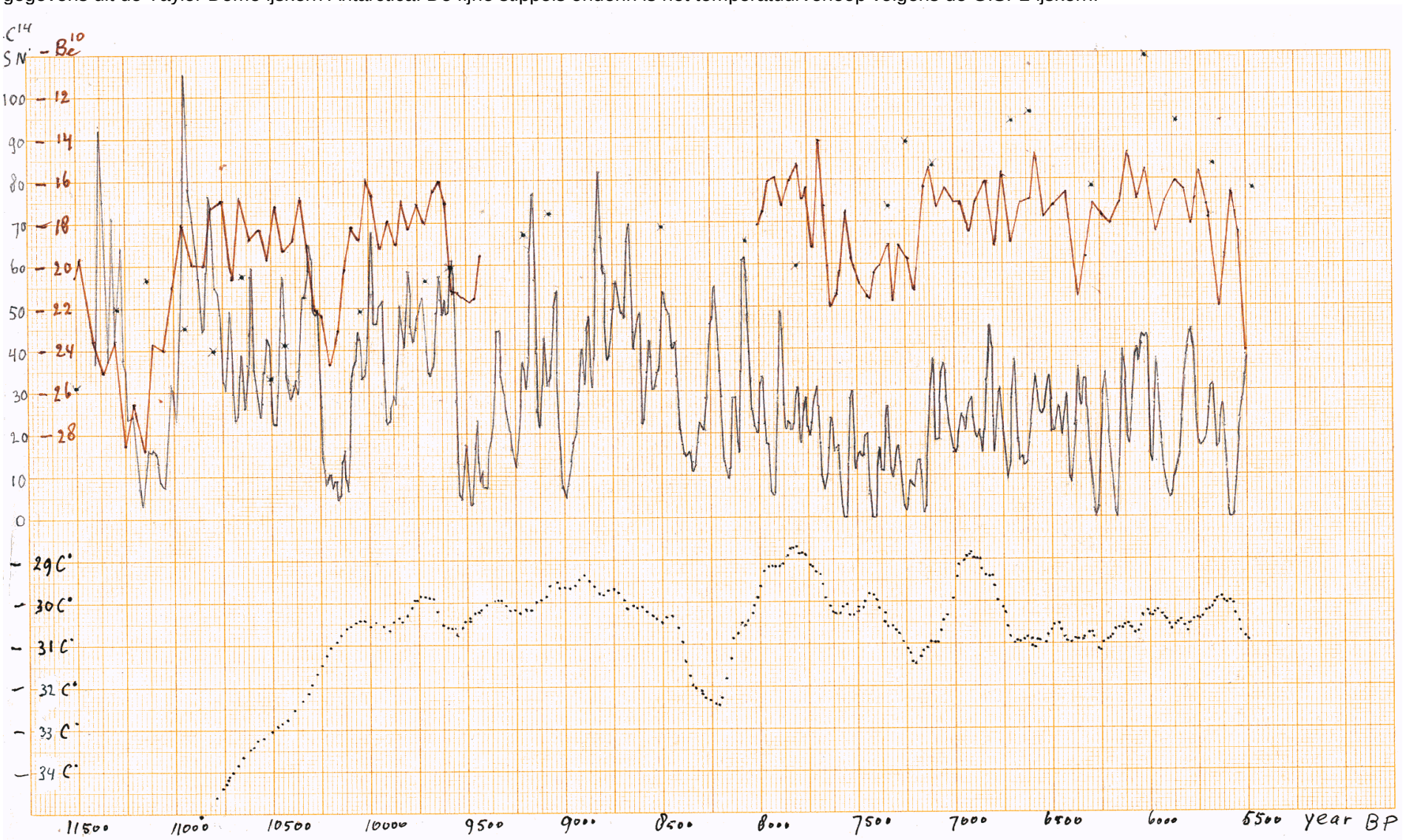
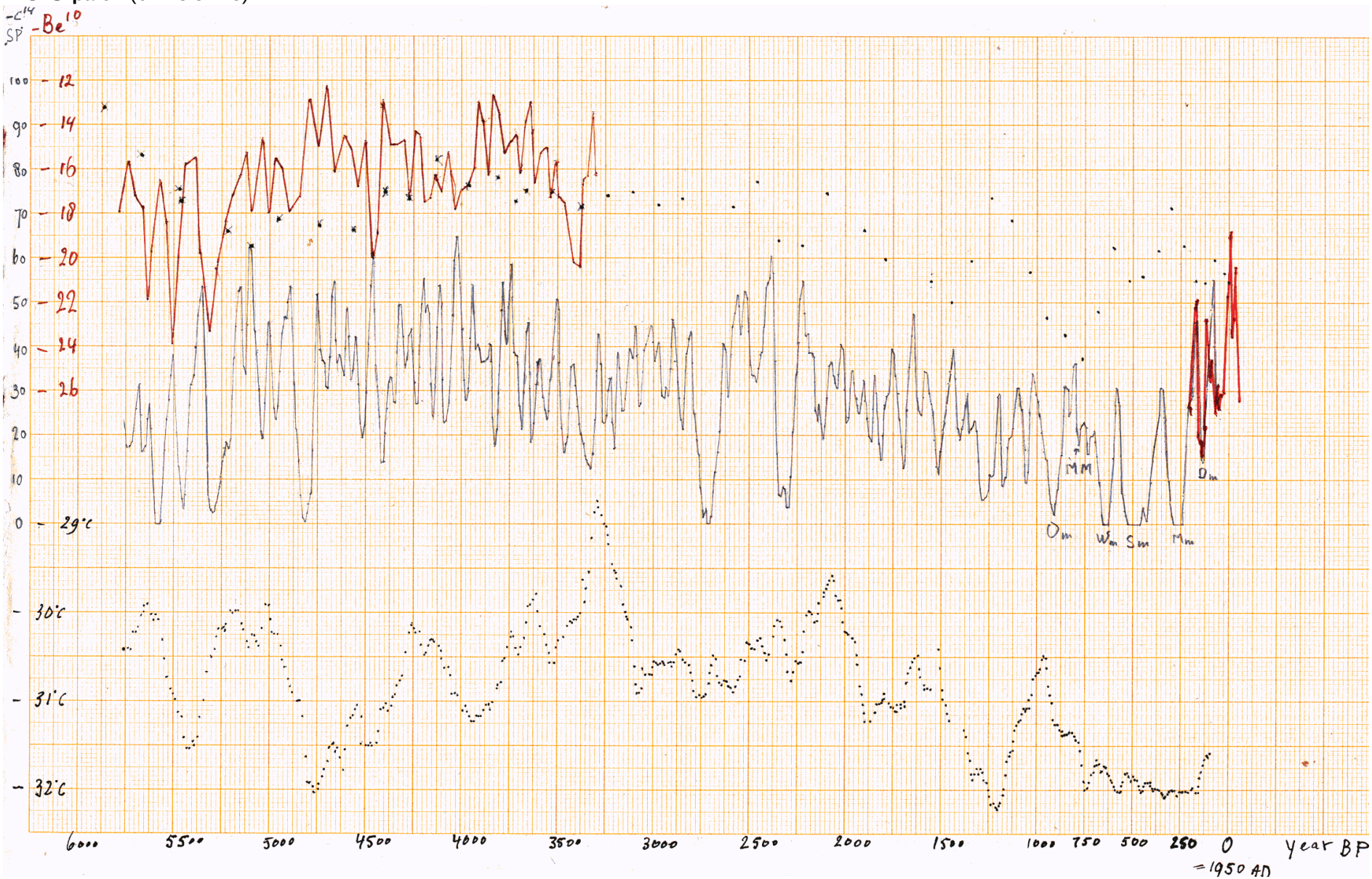
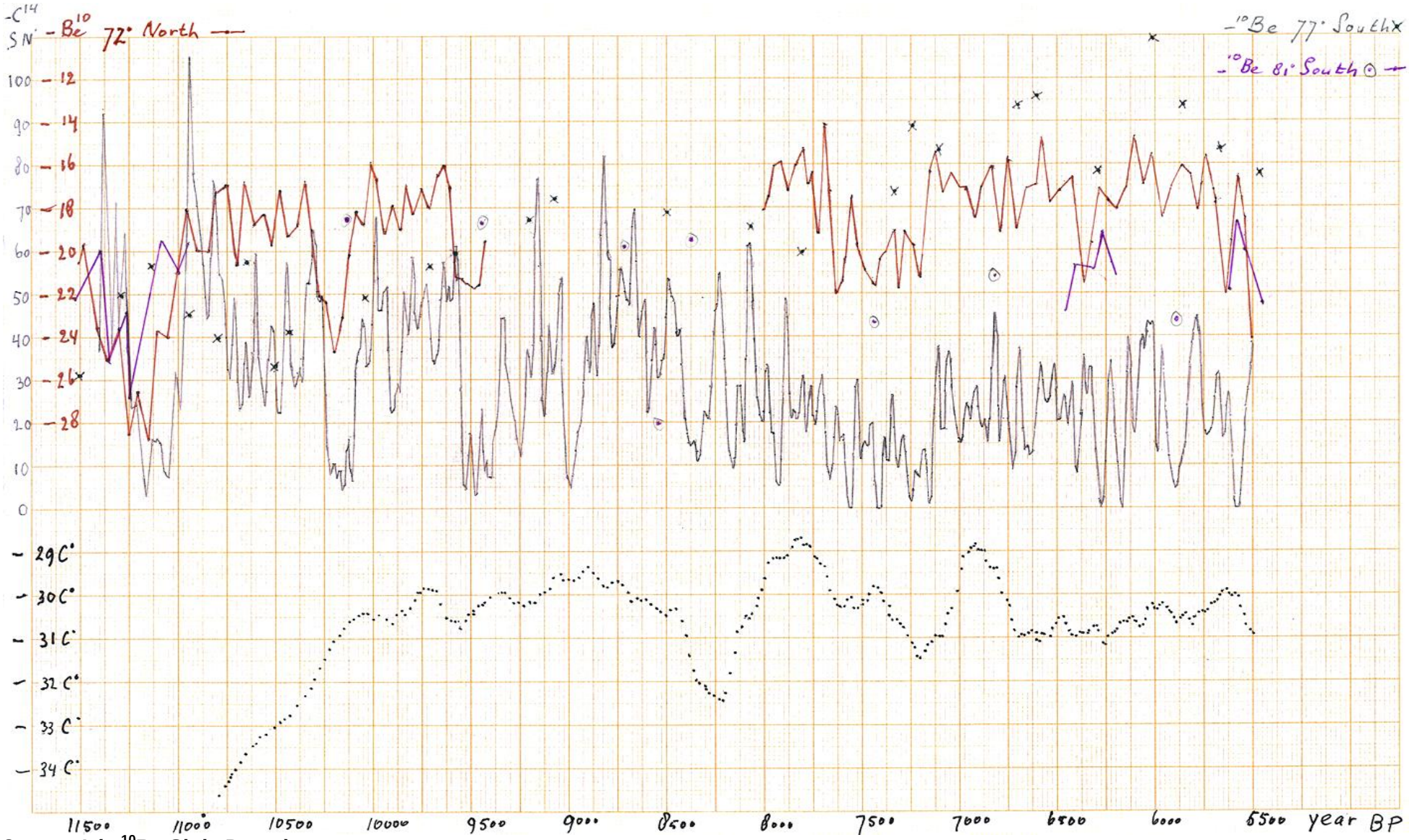


FIG 8 part 2 (blz 13 en 15)





8a part 1 (+ ^{10}Be Siple Dome)

8a part 2 (+ ^{10}Be Siple Dome) De gegevens als van FIG 8, maar hier ook nog ingetekend de paarse -10Be curve van de Siple Dome ijskern, Antarctica.

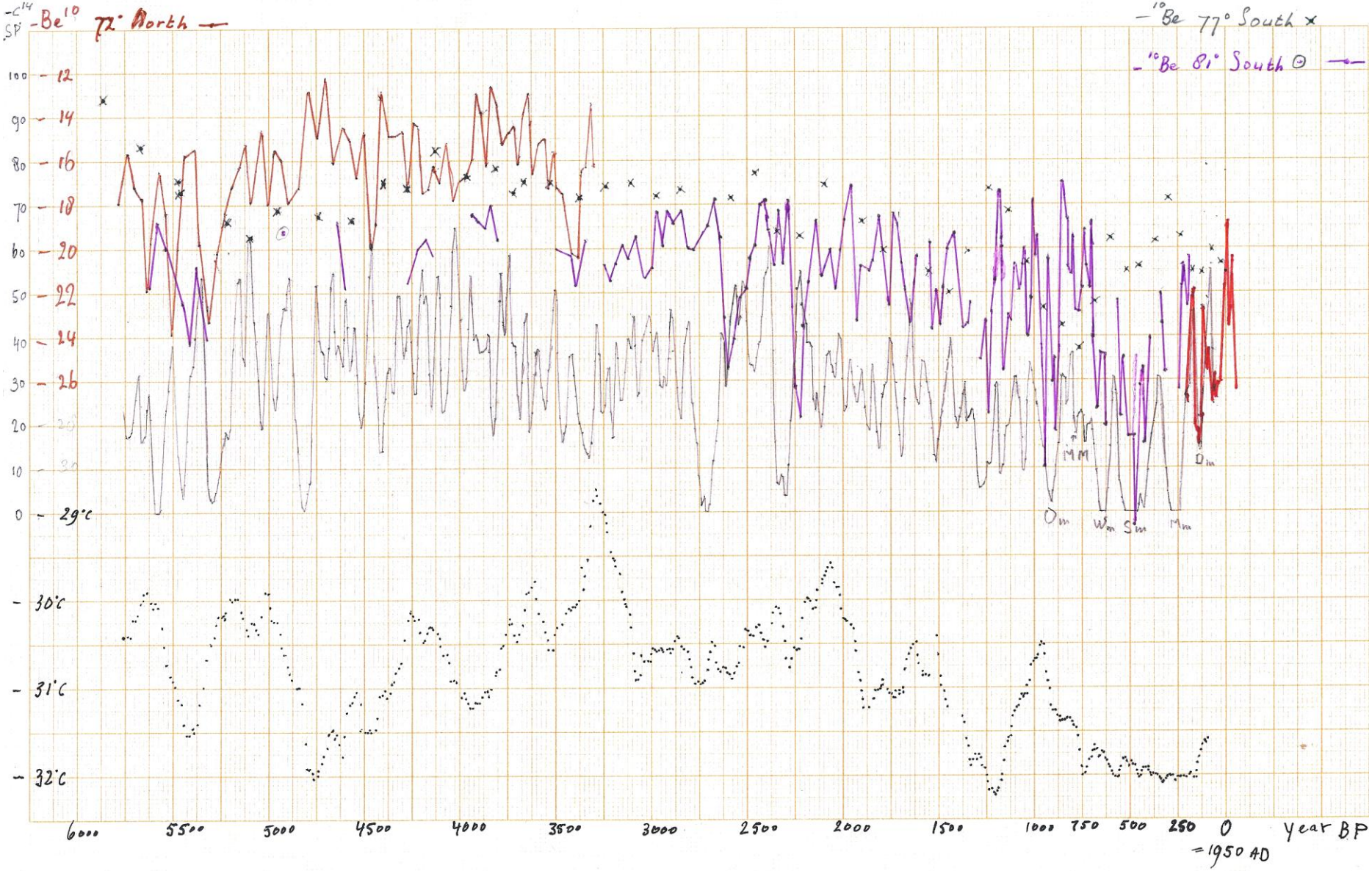


Fig 8a part 2 detail

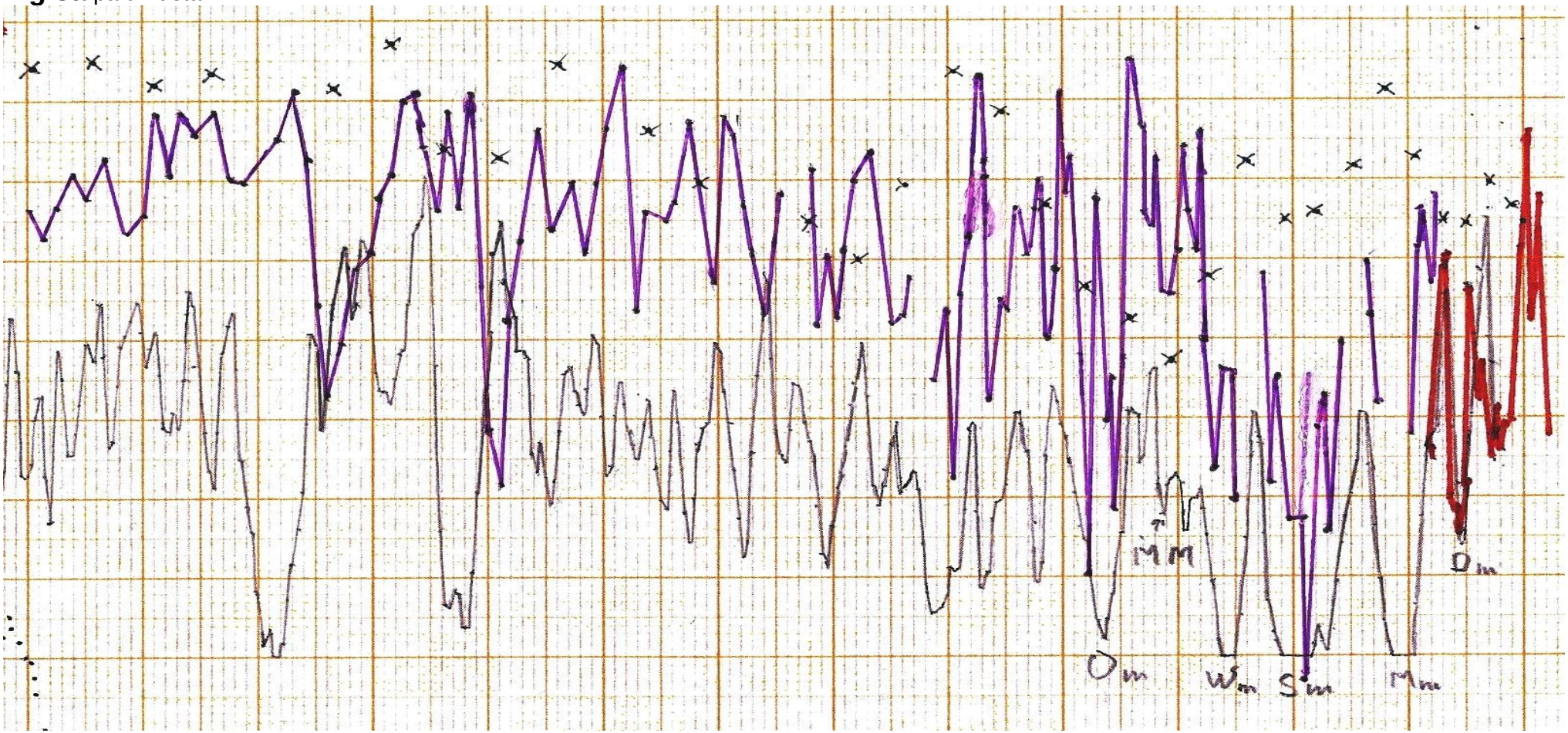
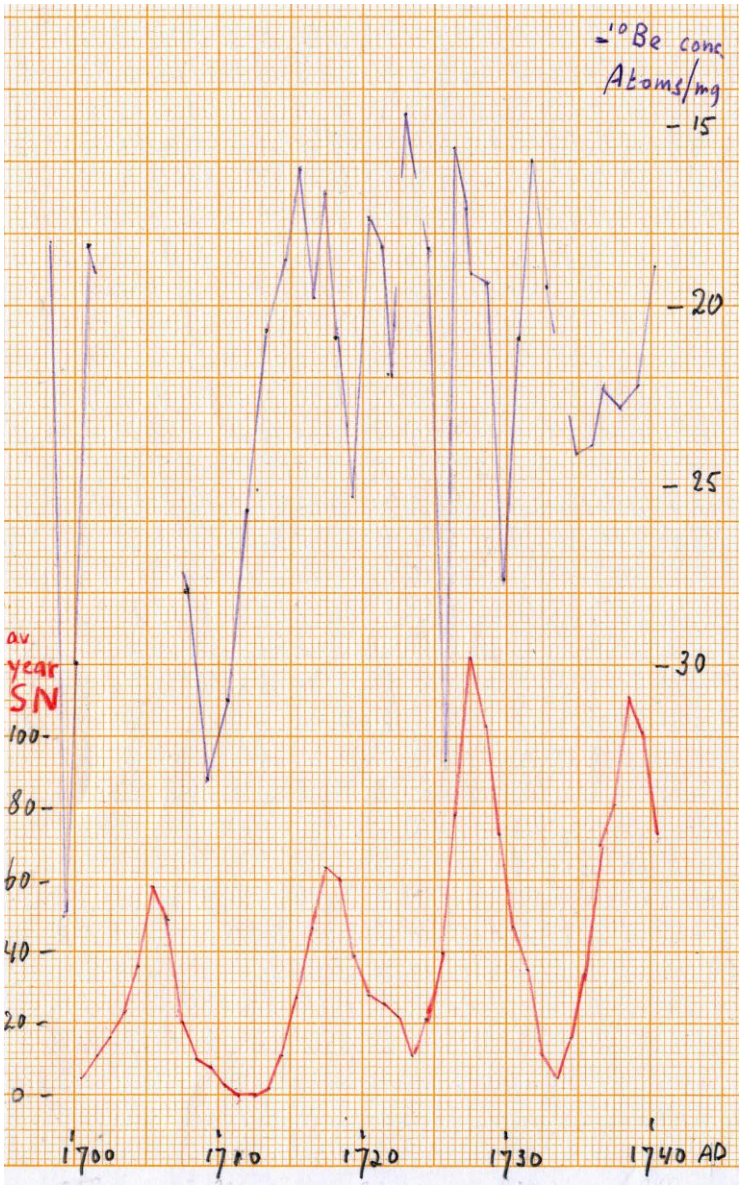


FIG 13 part I (blz 14). De paarse curve van de ±jaarlijkse -10Be concentraties van de Siple Dome ijskern (Antarctica) met de rode zonnevlek tallen.



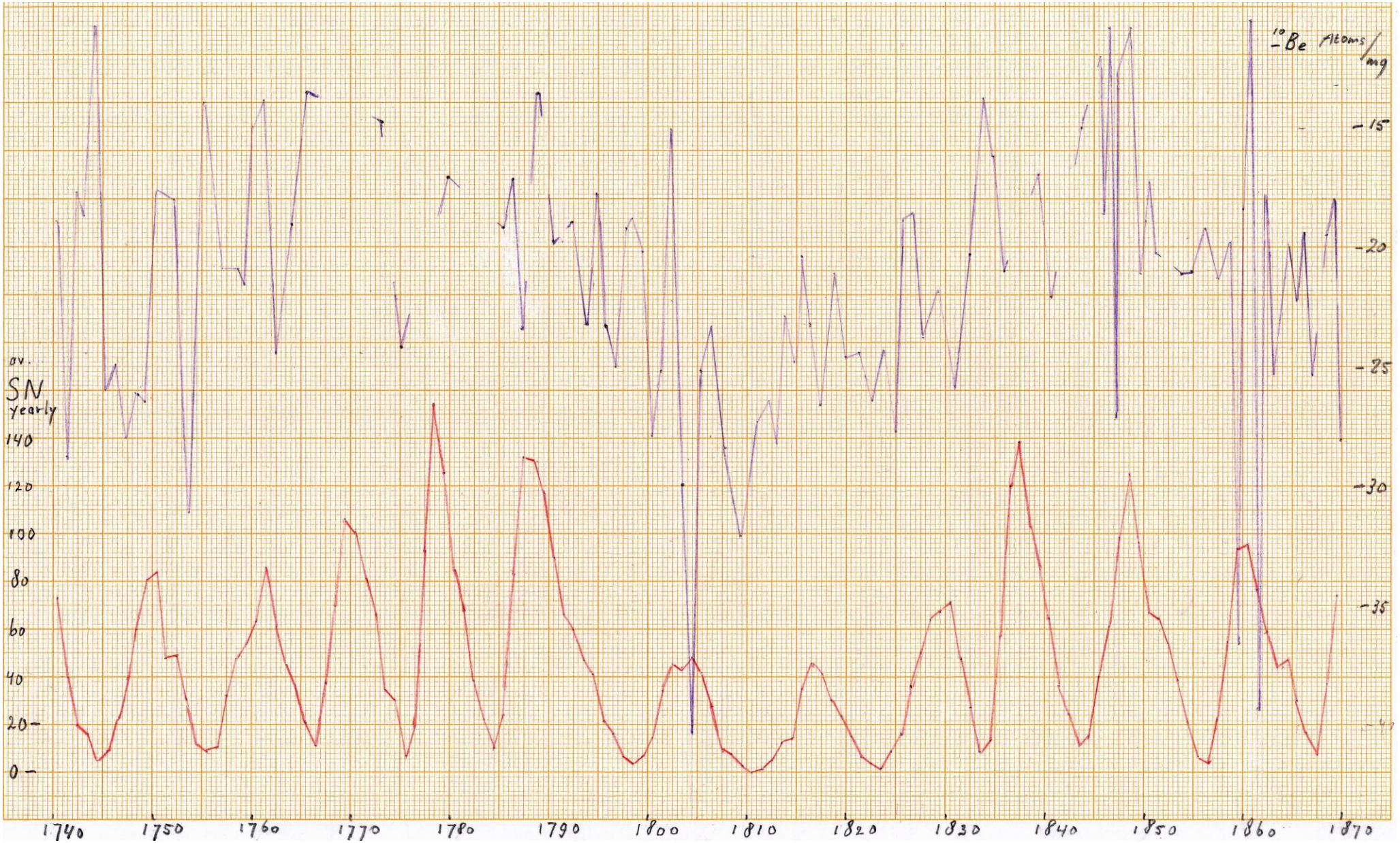
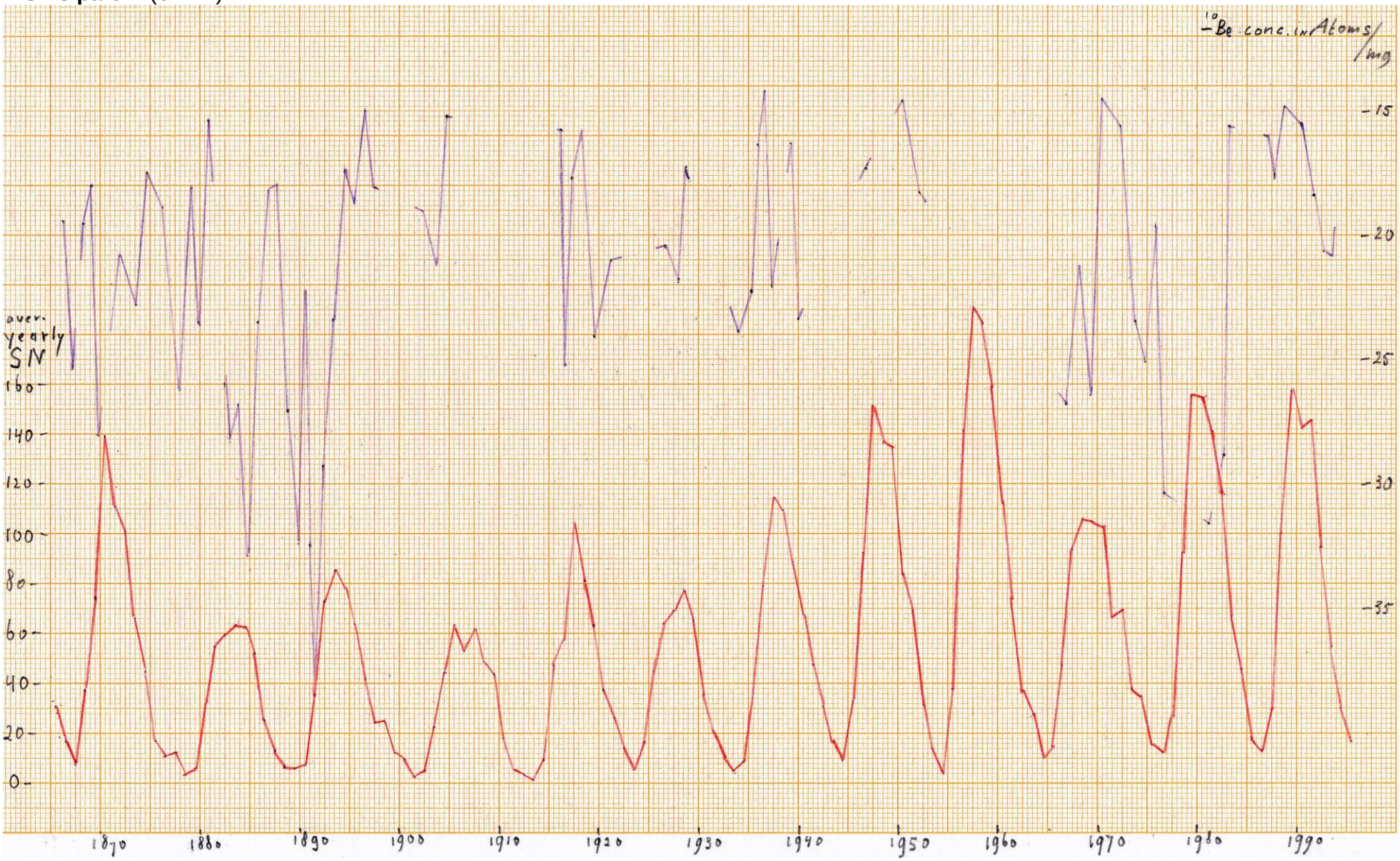


FIG 13 part II (blz 14): Let op het grillige verloop van de -10Be concentraties tijdens de historisch beschreven geomagnetische stormen tijdens de SN maxima. Dit is een aanwijzing dat je met de jaarlijkse -10Be concentraties Solar Proton Events kan traceren.

FIG 13 part III (blz 14)



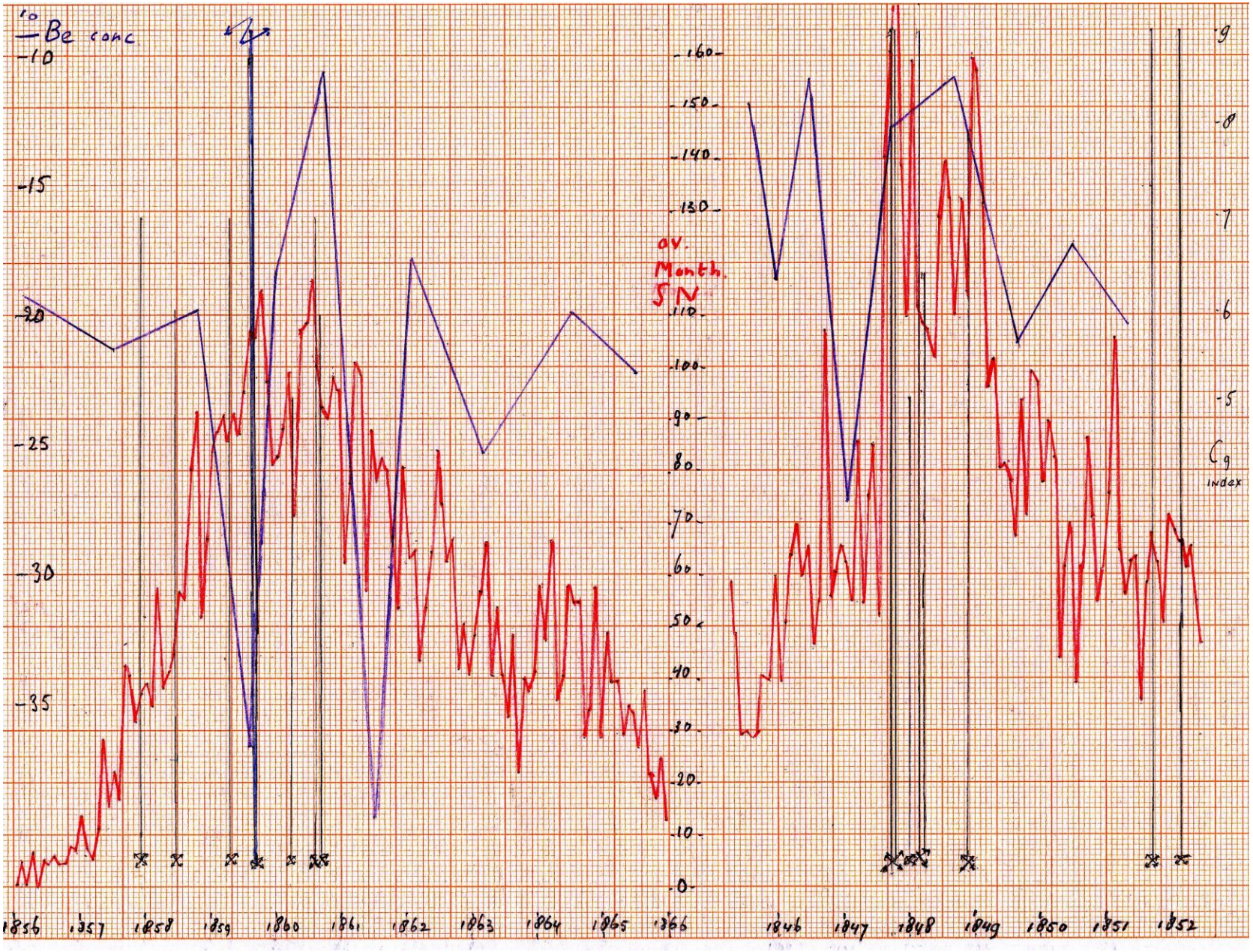


FIG 14 (blz 14): De geregistreerde geomagnetische stormen met de C9 index zijn hier geplaatst in het -10Be verloop en de maandelijkse zonnevlek tallen. De bekende Carrington storm zou dus samen vallen met een Solar Proton Event volgens de -10Be gegevens, maar dit vergt wel erg veel aan exacte datering. Het gaat ook steeds om gemiddelde concentraties over perioden van 0,5 tot 2 jaar. Verder zijn er mogelijk ook SPE's geregistreerd zonder CME bij de aarde en dus zonder magnetische storm.

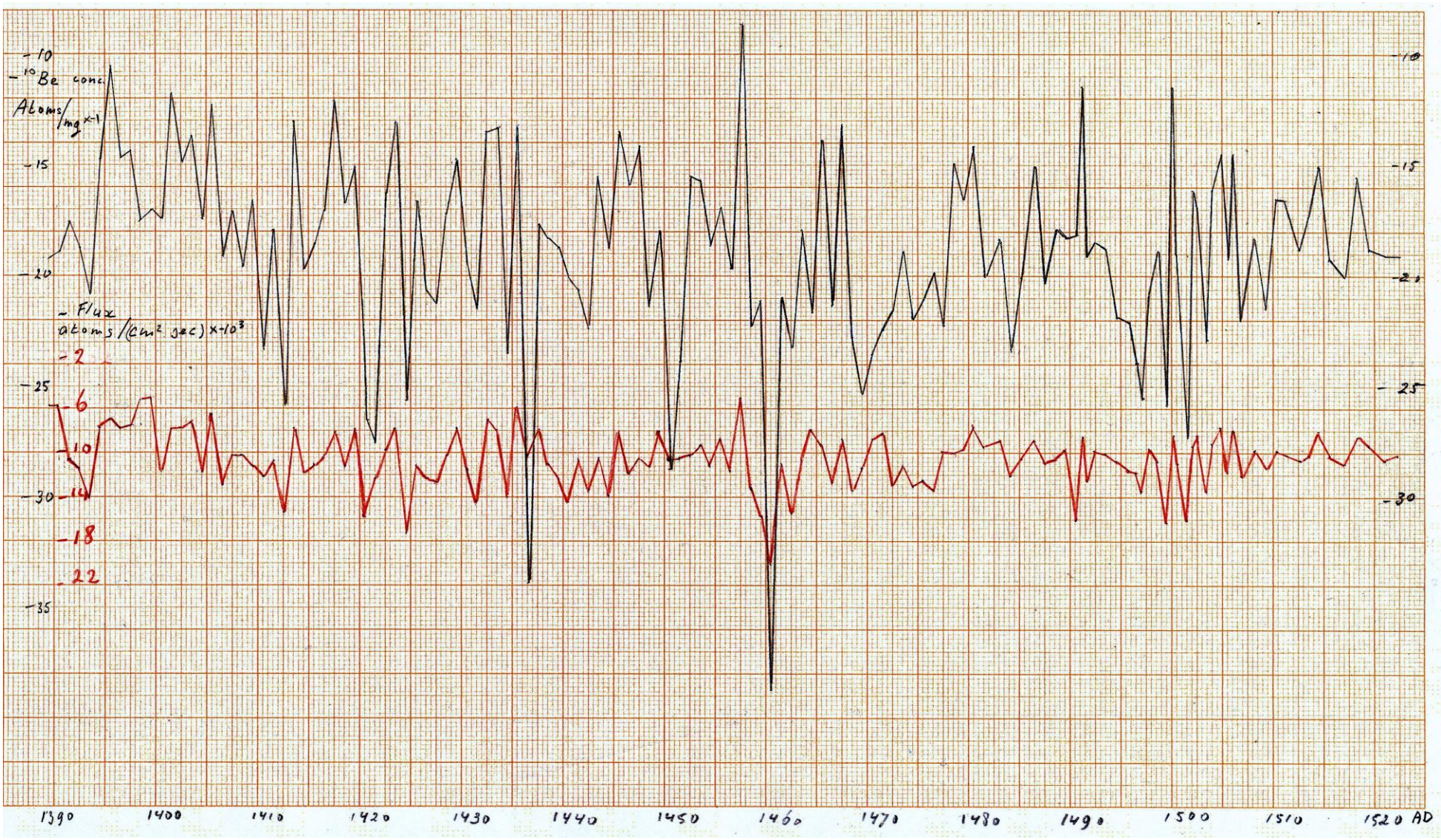


FIG 15 part I (blz 14**):** We zien hier de jaarlijkse -10Be concentraties (zwart) en de -10Be fuxes (rood) van de NGRIP (Groenland) ijskern gedurende 600 jaar. Ook hier kunnen grillige pieken op SPE's wijzen. Het blijkt echter dat de datering bij dit onderzoek moeilijker is mogelijk door onregelmatige ophopingen van de sneeuw door de wind, die hier anders dan in Antarctica niet altijd uit dezelfde richting komt.

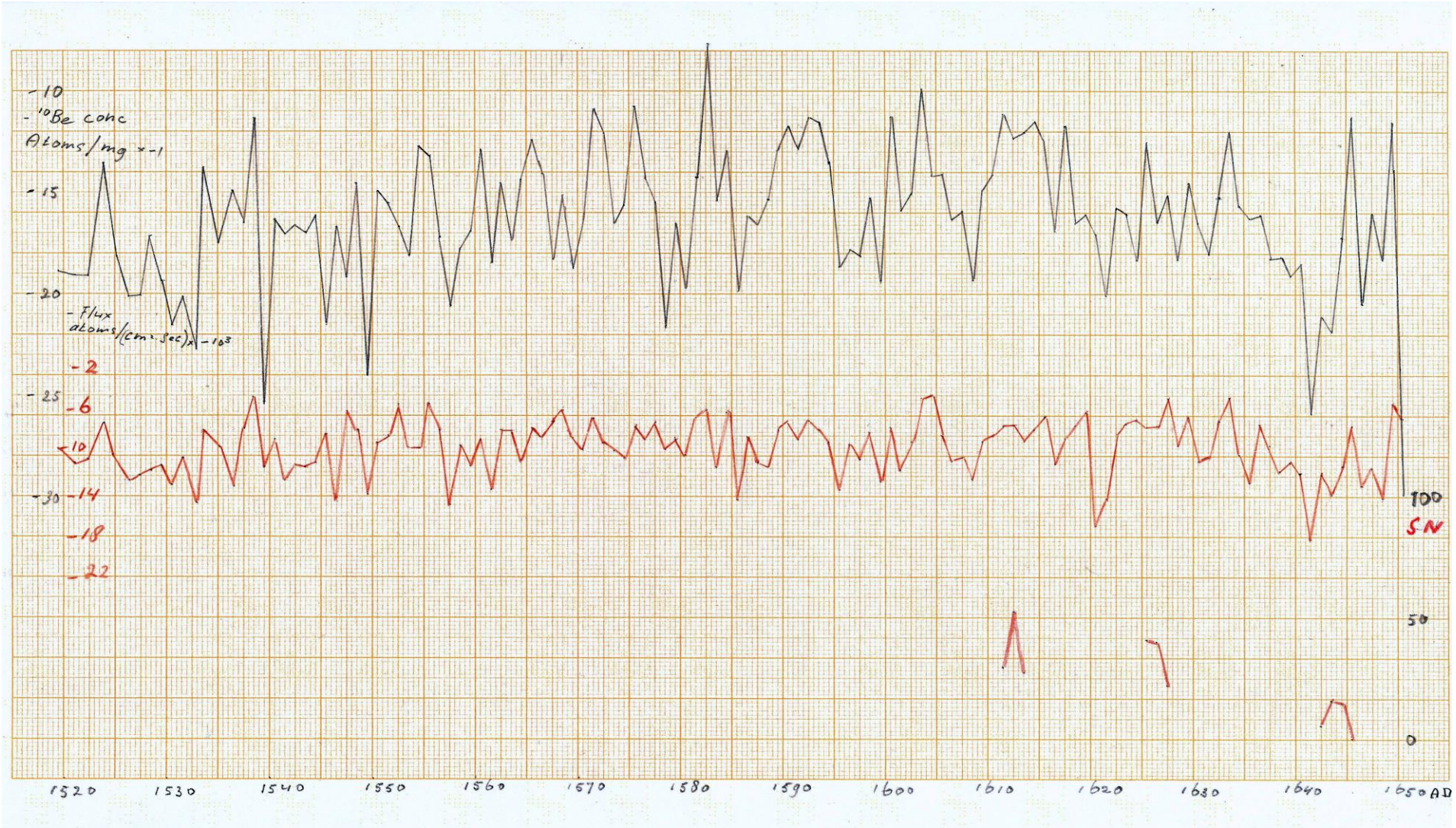
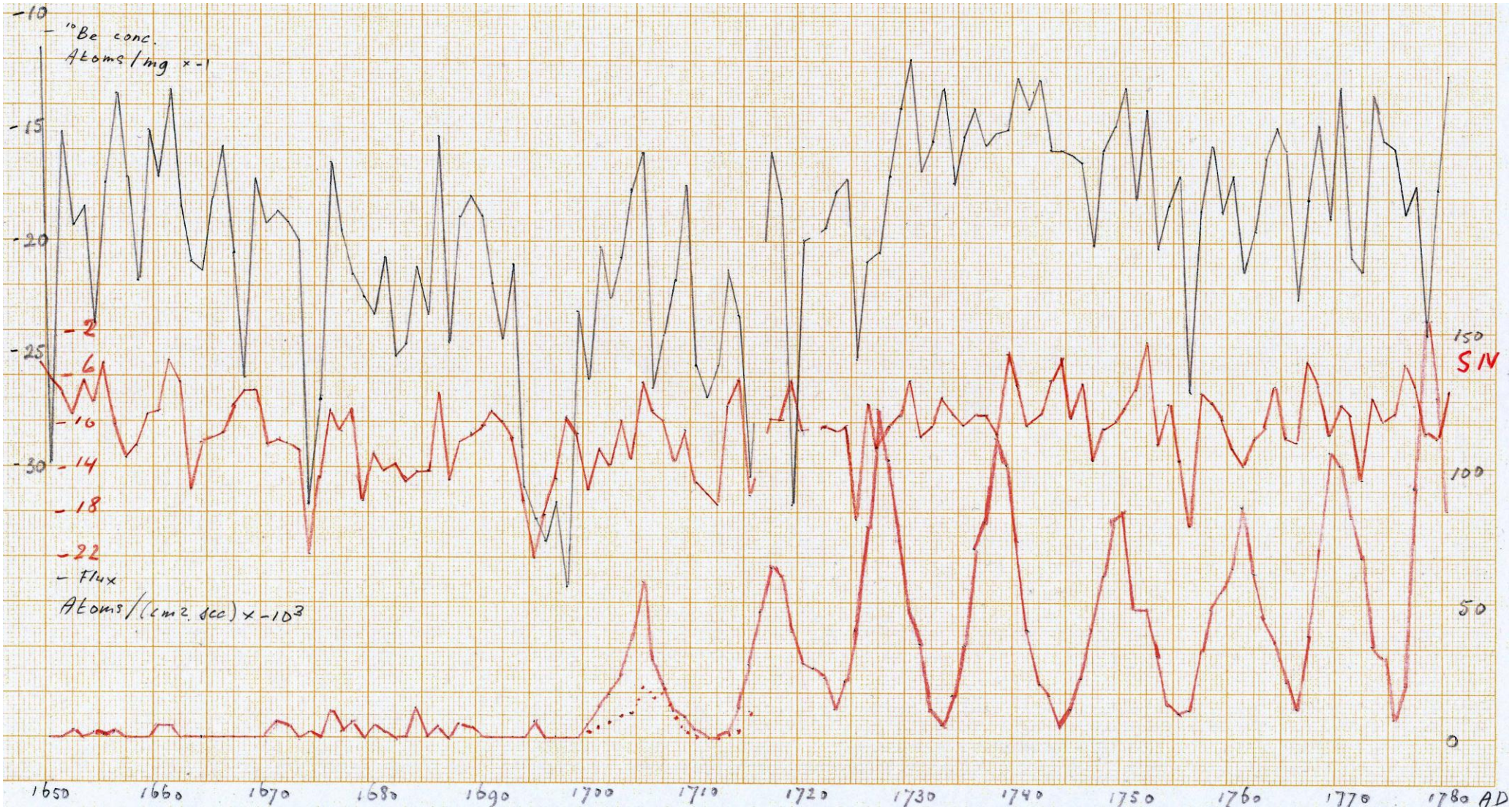


FIG 15 part II (blz 14) Bij de -10Be gegevens zijn hier ook de zonnevlek aantallen ingetekend

FIG 15 part III (blz 14) Bij de -10Be gegevens zijn hier ook de zonnevlek aantallen ingetekend.



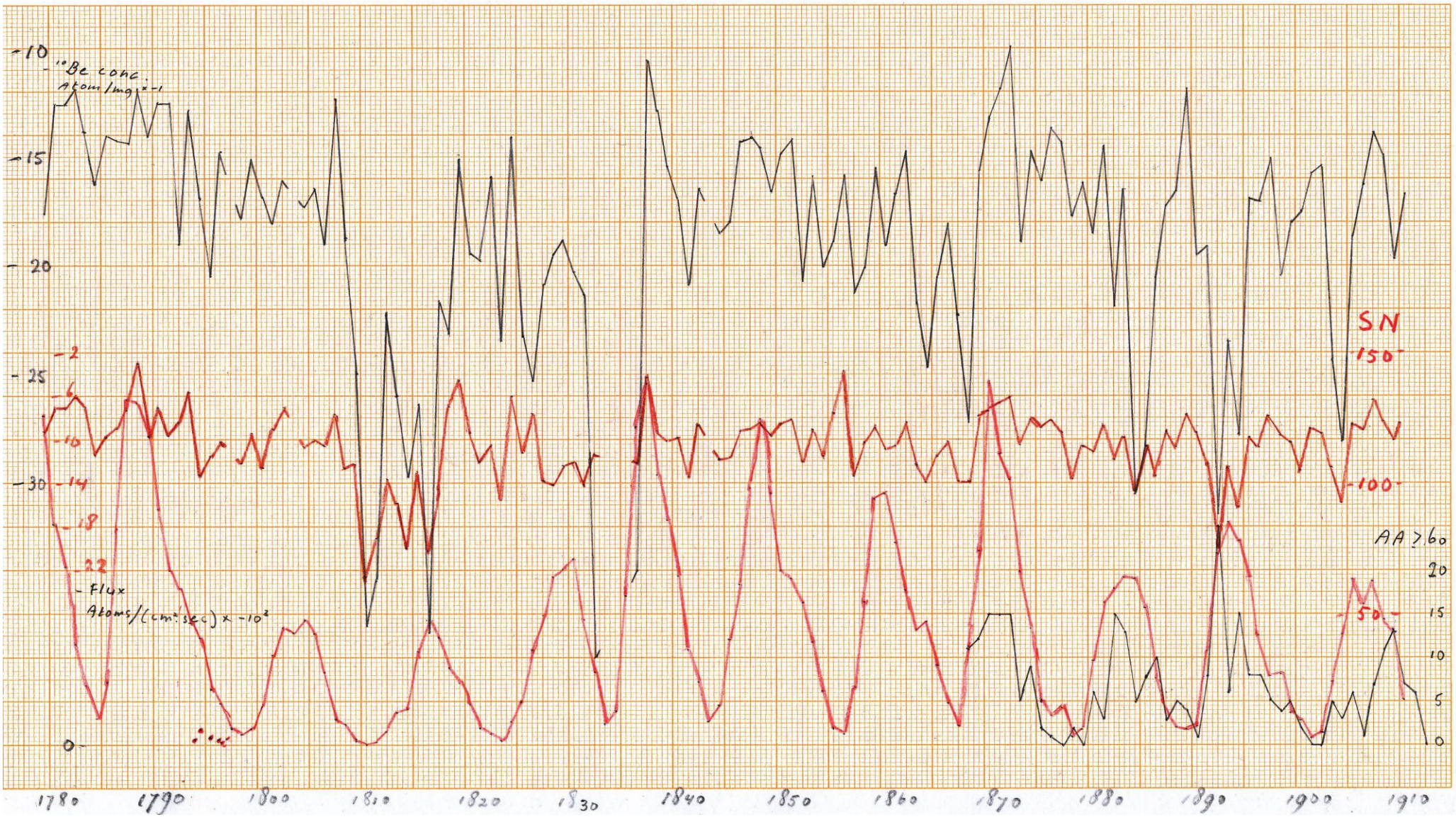


FIG 15 part IV (blz 14): Bij de -10Be gegevens en de zonnevlekken zijn hier ook de aantallen magnetische storingen met aa index >60 nT ingetekend.

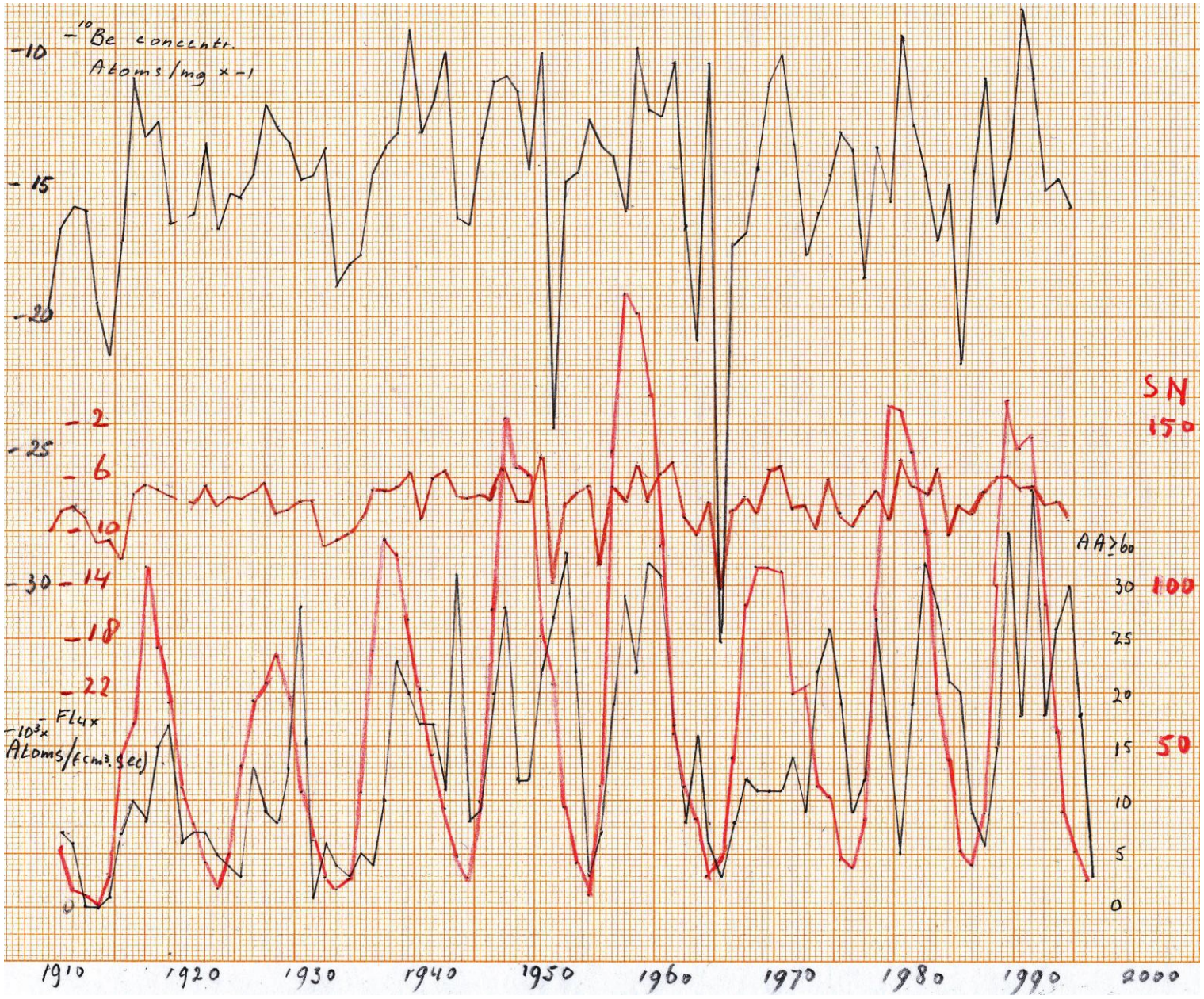


FIG 15 part V (blz 14) Bij de -10Be gegevens en de zonnevlekken zijn hier ook de aantallen magnetische storingen met aa index >60 nT ingetekend.

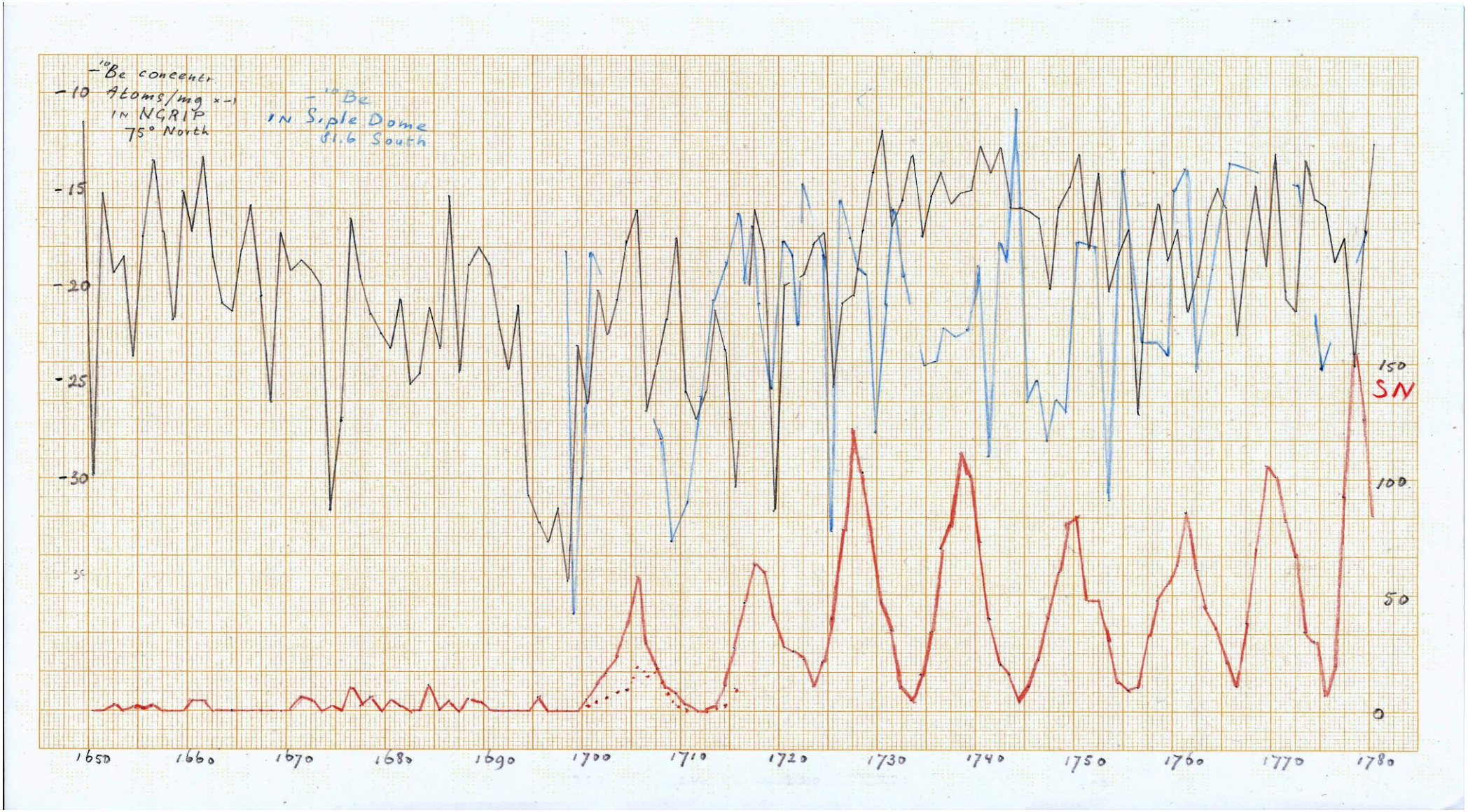


FIG 16 part I (blz 14): De Blauwe curve van de -10Be concentraties van de Siple Dome ijskern (Antarctica) is hier ingetekend in de-10Be curve van de NGRIP ijskern (Groenland) met de Zonnevlek aantallen en aantallen magnetische storingen met aa index >60 nT.

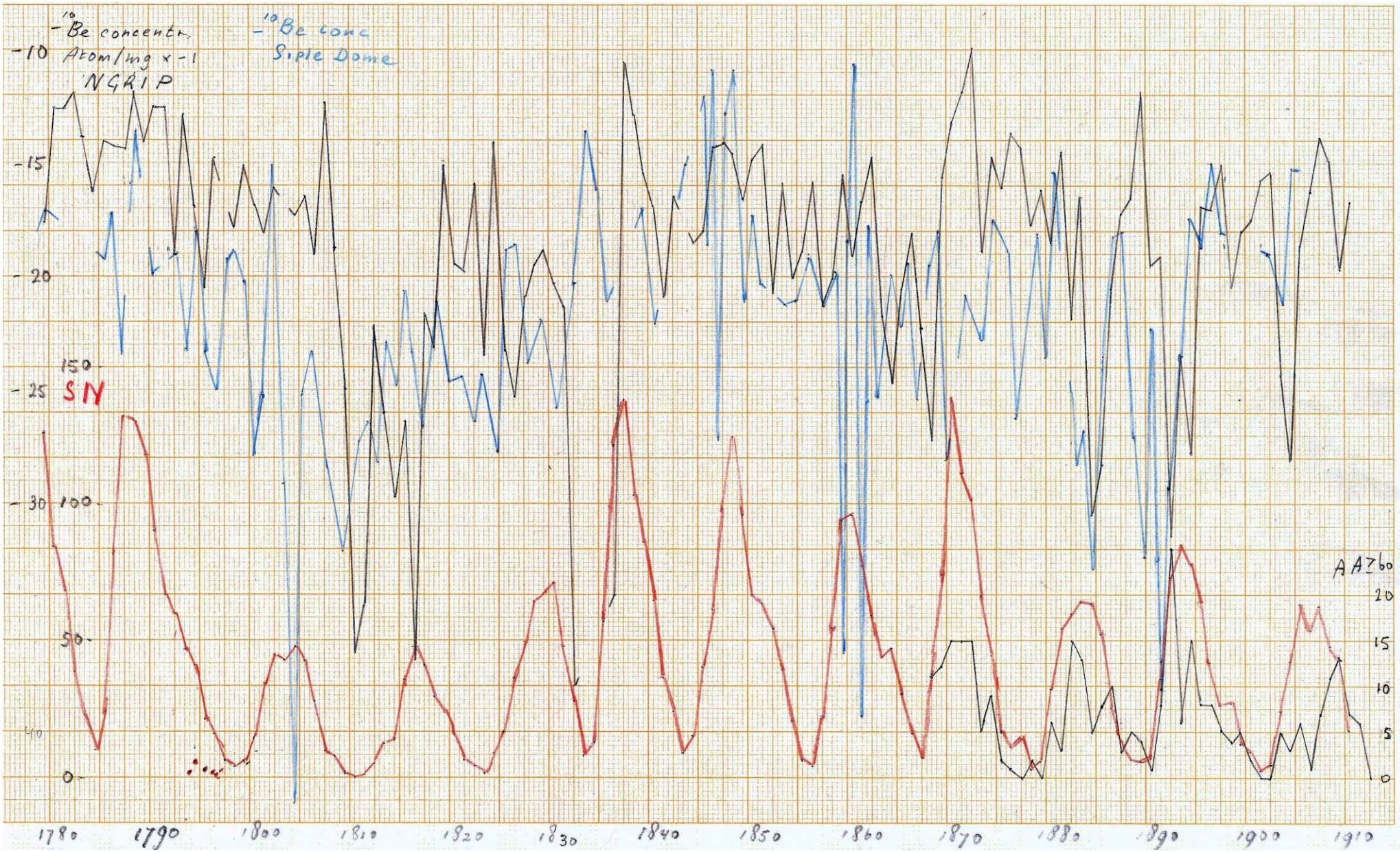


FIG 16 part II (blz 14): De Blauwe curve van de -10Be concentraties van de Siple Dome ijskern (Antarctica) is hier ingetekend in de-10Be curve van de NGRIP ijskern (Groenland) met de Zonnevlek aantallen en aantallen magnetische storingen met aa index >60 nT.

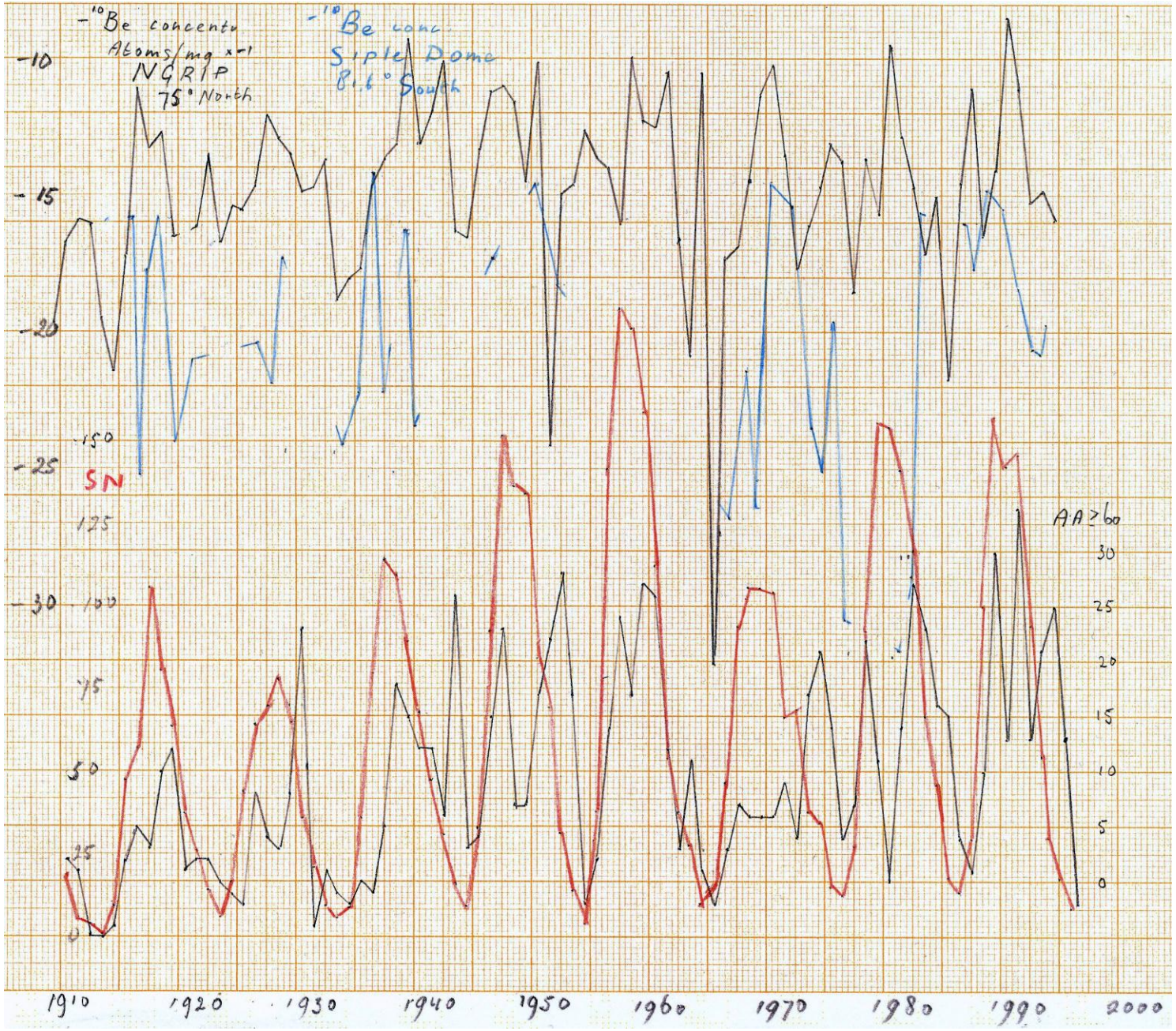
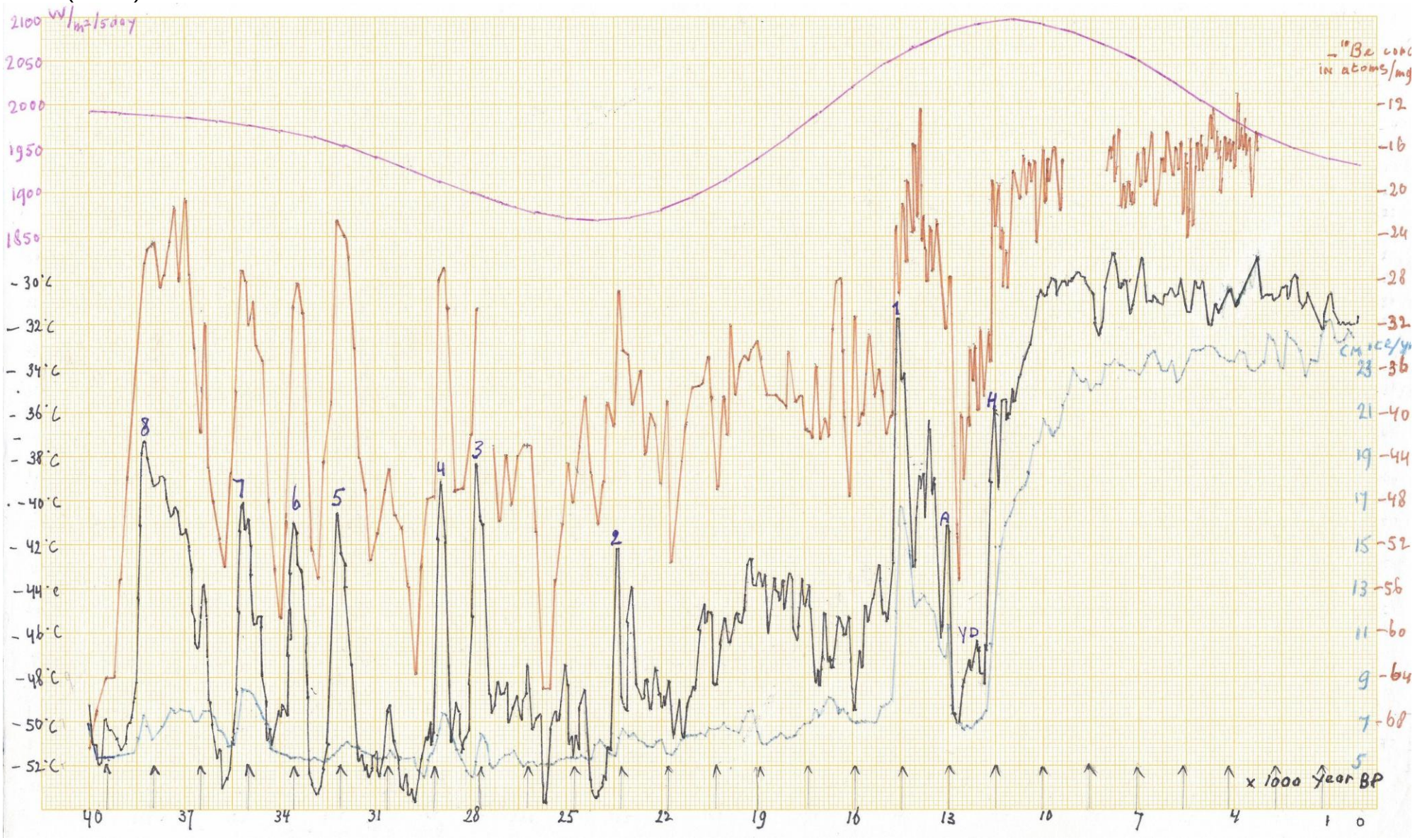


FIG 16 part III (blz 14) De Blauwe curve van de -10Be concentraties van de Siple Dome ijskern (Antarctica) is hier ingetekend in de-10Be curve van de NGRIP ijskern (Groenland) met de Zonnevlek aantallen en aantallen magnetische storingen met aa index >60 nT.

FIG 7 (blz 14)


W/m²/5day
2100
2050
2000
1950
1900
1850
-30°C
-32°C
-34°C
-36°C
-38°C
-40°C
-42°C
-44°C
-46°C
-48°C
-50°C
-52°C
in atoms/mg
-12
-16
-20
-24
-28
-32
-36
-40
-44
-48
-52
-56
-60
-64
-68
23
21
19
17
15
13
11
9
7
5
8
7
6
5
4
3
2
1
A
YD
H
x 1000 year BP
40
37
34
31
28
25
22
19
16
13
10
7
4
1
0

Figuur 7a (blz 14)

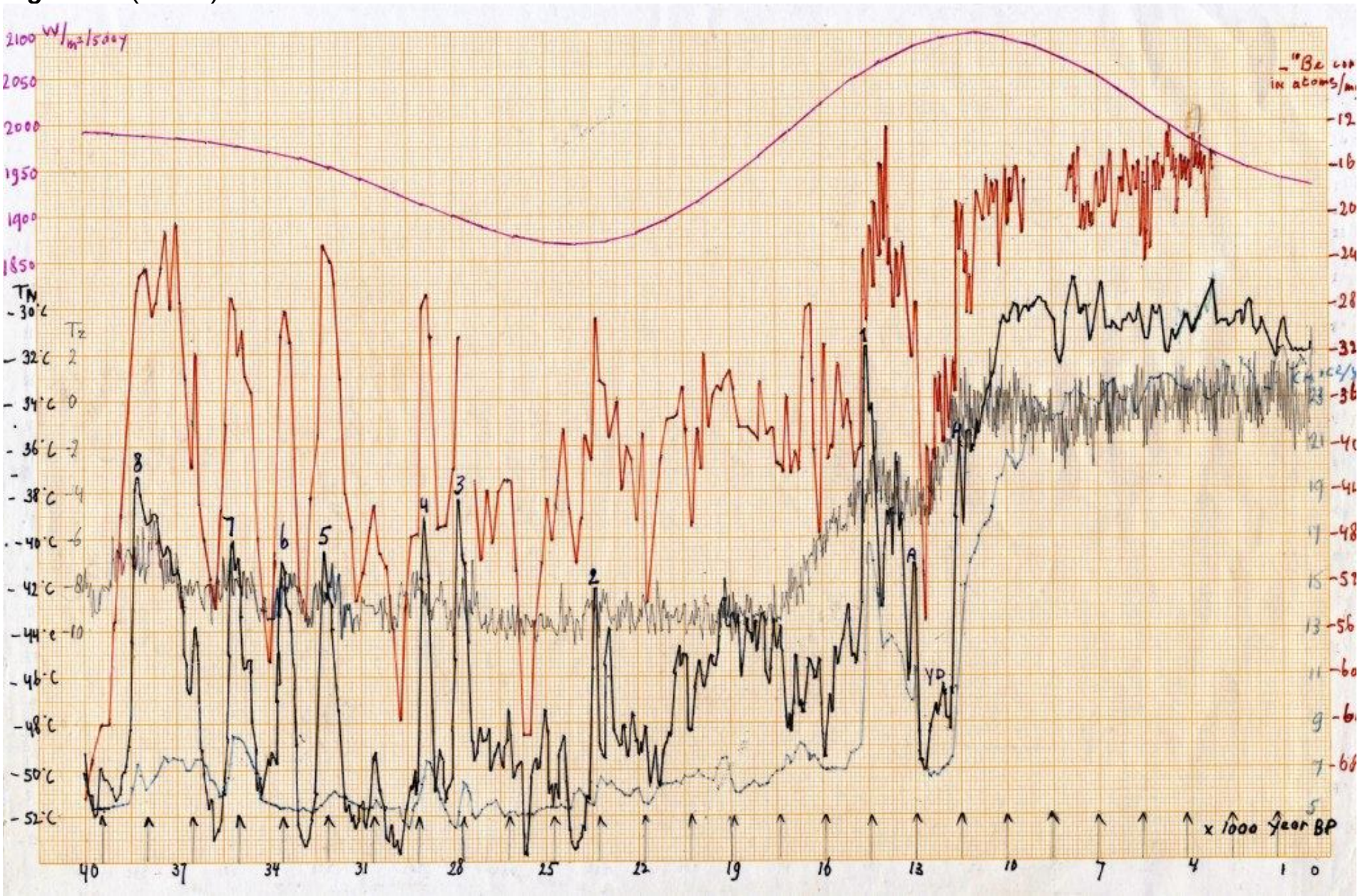


Fig 18 (blz14)

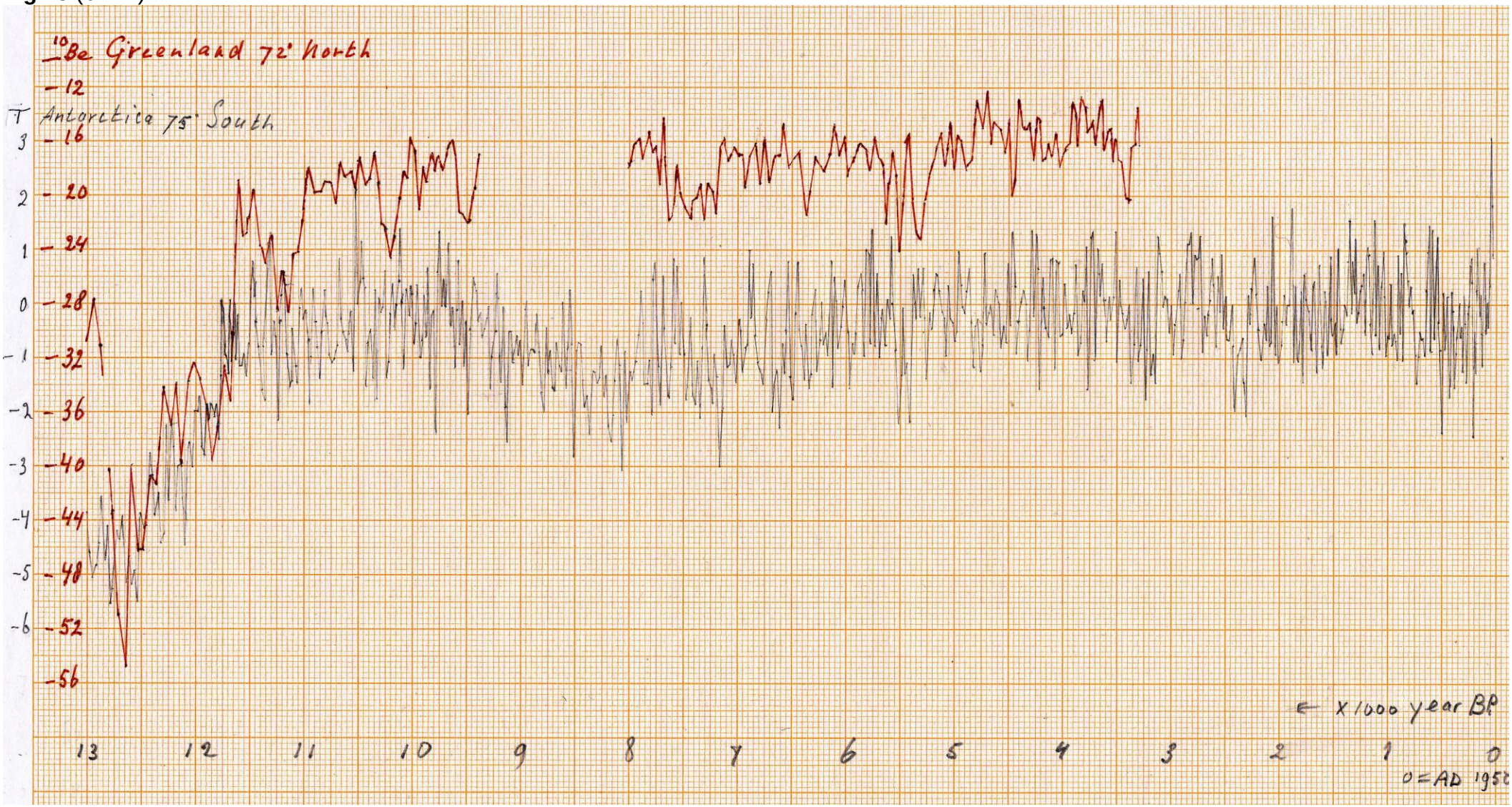

10Be Greenland 72° North
T Antarctica 75° South
-12
-16
-20
-24
-28
-32
-36
-40
-44
-48
-52
-56
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
← x 1000 year BP
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0 = AD 1950

FIG 11a (blz 15)