Invloed van de variaties in de aardbaan, 800000 jaar klimaatgeschiedenis.

de Milankovitch theorie.

1e De variatie in de obliquiteit, de ‘schuinte’ of tilt. Dit is 90o - de inclinatie, de hoek tussen de aardas en de richting van de zonnestralen, of het baanvlak van de Aarde. Thans is deze hoek 23o 27’. Deze hoek varieert tussen de 24o36’ en de 21o55’. Dit als graad NB en ZB is dan ook de maximale ‘stand’ van de keerkringen, de grenzen van de tropen, die evenals de poolcirkels over de globe heen en weer schuiven doordat de aardas langzaam ten opzichte van het baanvlak op en neer wipt met een periode van ongeveer 41000 jaar. Eigenlijk verandert de richting van het vlak van de aardbaan om de zon en houdt de aardas dezelfde richting.

2e de mate van excentriciteit in de ellipsbaan, die de Aarde om de zon beschrijft. Deze baan is geen cirkel en er is dus in de loop van het jaar verschil in de afstand tussen de zon en de Aarde. Op 4 januari staat de Aarde het dichtst bij de zon in het perihelium. De afstand is dan 147,1 miljoen km en op 3 juli staat zij in het aphelium, op 152,1 miljoen km de grootste afstand van de zon. Het maximale verschil in afstand in dus een factor 1,034 of 3,4% van het aphelium. De instraling van de zon over de hele Aarde is hierdoor bijna 7% groter op 3 januari dan op 4 juli. Immers $(1{,}034)^2$=1,0692. Hierdoor worden thans de verschillen tussen zomer en winter op het Noordelijk halfrond gematigd en in het Zuiden versterkt. Deze excentriciteit varieert over verschillende periodes; de belangrijkste zijn ong 100.000 jaar en 400.000 jaar. De minimale excentriciteit is 0,0034, thans is het 0,0167 en maximaal is ca 0,058 tov de gemiddelde afstand Aarde-Zon. Het instraling verschil tussen perihelium en aphelium loopt maximaal op tot 25%.

3e de precessie, de aardas wipt niet alleen maar draait ook nog ten opzichte van het vlak van de aardbaan. De schuine stand draait dan als bij een tol, die op de grond draait. Bij deze beweging blijft de hoek tussen aardas en aardbaan constant, maar de richting van de as draait rond en maakt een totale cirkel in de periode van de astronomische precessie van de aardas, die 25765 jaar is. Het zenit van de Noord- en Zuidpool in de sterrenhemel beschrijft vanwege de precessie een cirkel in de sterrenhemel, zodat steeds andere sterren, zoals Thuban en Wega in de loop van duizenden jaren loodrecht boven de Noordpool komen en ‘poolster’ worden. Na verloop van de totale precessie periode is de cirkel rond en staat onze huidige Poolster weer boven de Noordpool echter niet meer met een de mooie 89o15’ van nu. Die hoek is dan wel iets kleiner vanwege de andere beweging, de variatie in de obliquiteit, het wippen. De precessie wordt voornamelijk veroorzaakt door de zwaartekracht van de maan en de zon en is een vorm van getijden werking op de draaiing van de Aarde om haar as. De perioden van de aardas precessie zijn daardoor constant. De andere bewegingen worden meer veroorzaakt door variaties in het zwaartekracht veld dat op de Aarde inwerkt door de wisselende nabijheid van andere planeten, vooral Jupiter, Venus en Saturnus. De Aarde wordt hierdoor enigszins uit haar baan getrokken, zodat periodieke veranderingen in de richting van het vlak van de baan en in de excentriciteit het gevolg zijn. Deze variaties zijn dan ook wat onregelmatig en de maxima en minima van de cycli zijn nogal uiteenlopend, zoals in **fig 3** aangegeven.

Het effect van de obliquiteit is eenvoudig de mate van intensiteit voor de jaargetijden. Bij toenemende obliquiteit wordt de stand van de middag zon in de zomer hoger en duren de dagen langer, maar in de winter worden de dagen korter en staat de zon lager. De verschillen tussen zomer en winter worden dus groter bij toenemende obliquiteit en dit gebeurt op beide hemisferen tegelijk. Over vele cycli is het maximale verschil in obliquiteit is echter slechts 2o40’ en bij de meeste cycli blijft dat beperkt tot ca 2o. Tussen Londen en Parijs is een verschil van 2o40’ in geografische breedte. De vrij kleine klimaat verschillen tussen deze steden geven dus een indruk van het toch bescheiden maximale verschil aan instraling door de variatie in obliquiteit. Niettemin zou dit een rol kunnen spelen bij de grote klimaat veranderingen op aarde. De effecten op het klimaat door dit verschil aan instraling kunnen groter zijn dan lineair, omdat ze versterkt worden door positieve feedback in het klimaatsysteem. Bijvoorbeeld door de koppels: toename obliquiteit → meer zomer

instraling → opwarming → zomer smelt → albedo verlies → opwarming. Het lijkt er inderdaad op dat het gewerkt heeft: Het laatste maximum was ca 10.000 jaar geleden met een obliquiteit van 24°15'. Het warmere interglaciaal was toen al begonnen en het zette dus door. De invloed van de ca 41000 jarige cyclus in de obliquiteit op het klimaat is
eenvoudig te begrijpen en dan ook algemeen aanvaard. Er is bij een grotere hoek van de aardas 's zomers meer instraling en dus smelt het ijs. Een eventueel koudere winter kan dat niet compenseren, want het aangroeien van het ijs op het land wordt hoofdzakelijk door de neerslag bepaald. Het is ook uit te rekenen dat de er bij de grotere hoek een verschuiving optreedt in de verdeling van de algehele jaarlijks instraling op de Aarde. In de beide hemisferen krijgen gebieden met hogere breedte dan meer instraling ten koste van de lagere breedtes.

Het effect van de excentriciteit is echter gecompliceerder en is ook enigszins omstreden. Het peri- en aphelium verschuift over de kalender, relatief, vanwege de precessie die immers ook de sterrenbeelden van de dierenriem[1] doet verschuiven over de kalender, waarbij de seizoenen gebonden blijven aan vaste maanden. De aarde staat dus door de precessie thans dan ook tijdens de zomer op het noordelijk halfrond in een andere plaats op haar baan dan bijvoorbeeld 10000 geleden. Naast de relatieve verschuiving door de astronomische aardas precessie is er een absolute verschuiving waarbij de vorm van de ellips zelf verandert door variaties in het zwaartekrachtveld binnen het zonnestelsel. Hierdoor verandert de mate van de excentriciteit, zodat ook het perihelium wordt verplaatst. De klimaat precessie van de equinoxen verschilt daardoor van de astronomische aardas precessie. De aardas precessie heeft een vaste periode van 25765 jaar, maar het perihelium verplaatst zich door de seizoenen in variabele cycli van 19000 à 23000 jaar. De variabele component, waardoor de precessie van de equinoxen kleinere periodes heeft dan de aardas precessie is dus de veranderlijke excentriciteit van de aardbaan. Thans valt het perihelium op 3 januari, maar bijvoorbeeld 12000 jaar geleden stond de Aarde in juni het dichtst bij de zon en was de instraling toen in dit perihelium ruim 7% meer dan in het aphelium. Dit was dus ook een signaal om het ijs hier te laten smelten en hierdoor kwam er in het Noorden een einde aan de laatste ijstijd, zou je denken. Zo eenvoudig is het effect van de excentriciteit samen met de precessie echter niet. In werkelijkheid is er in de hele zomer niet zoveel meer instraling in een halfrond als het perihelium daar in de zomer valt, want de zomer is dan korter. Eigenlijk is de zomer thans op het zuidelijk halfrond met het perihelium 3% korter, terwijl de instraling op de dag van het perihelium minder dan 7% groter is.

Volgens de 2e wet of perkenwet van Kepler is de duur van de zomer **omgekeerd evenredig met de afstand tot de zon.** Er is immers een evenwicht tussen aantrekkingskracht zon-aarde en de middelpuntvliedende kracht ten gevolge van de **snelheid** van de Aarde in haar baan, anders zou de Aarde op de zon vallen, of ervan wegvliegen. De **instraling is echter omgekeerd evenredig met het kwadraat** van de afstand tot de zon. Dus bij de excentriciteit die nu bestaat (en slechts weinig verschilt van die aan het eind van de laatste ijstijd) is de afstand zon – aarde ca 3,4% kleiner op de dag van het perihelium dan op die van het aphelium . De instraling is daardoor tijdens het perihelium $(1{,}034)^2=1{,}069$ dus bijna 7% meer dan bij het aphelium. Dit verschil tussen de hemisferen is iets kleiner op de andere dagen in de zomer en de duur van de totale zomer met het perihelium is dan ook ong. 3% minder. Hieruit volgt dus dat de totale zomer instraling netto ong 3% groter is in de zomer met het perihelium dan in die met het aphelium. Je kan gemakkelijk uitrekenen dat het verschil aan instraling tussen het perihelium en aphelium over de gehele Aarde steeds met de helft wordt gecompenseerd door het verschil in tijd dat de planeet een bepaalde straling intensiteit ontvangt en dit bij al de verschillende maten in de excentriciteit. Dit netto verschil van 3,5% instraling over de hele planeet in onze tijd tussen 3 januari en 3 juli is in gebieden met een hogere breedte veel effectiever door de grote daglengte. Bovendien

[1] De werkelijke positie van de zon in de ecliptica is door de precessie bijna een heel sterrenbeeld teruggelopen op de bekende astrologische tekens, die gebaseerd zijn op de posities van ca 2000 jaar geleden.

is er interferentie tussen de variatie aan instraling door de obliquiteit en door deze variabele excentriciteit met het verloop van het perihelium over de seizoenen. Dit resulteert in vrij grote verschillen in dag instraling in Watts per m^2 op bepaalde locaties. Dit is duidelijk beschreven door prof A. Berger [Litt 1]. Volgens zijn tabellen kan de variatie aan dag instraling in de zomer maanden op 70° NB of ZB kan oplopen tot ca 12% bruto met de excentriciteit van de laatste 20 ky en nog meer bij een grotere excentriciteit, waarbij echter ook geen rekening is gehouden met het stralingsevenwicht.

De verschillen aan instraling door de variabele aardbaan geven dus a priori een duidelijk signaal voor klimaat veranderingen. De vraag of zij dit in werkelijkheid ook doen kan nu steeds beter beantwoord worden doordat men de laatste jaren steeds nauwkeuriger gegevens heeft over temperatuur veranderingen in het verleden door onderzoek van de ijsboorkernen op hoge breedte, maar ook door onderzoek van sedimenten overal op Aarde. Door deze gegevens te vergelijken met de astronomische gegevens van de instraling variaties door de aardbaan rijst echter twijfel aan de grote invloed van de klimaat forcering door de aardbaan.

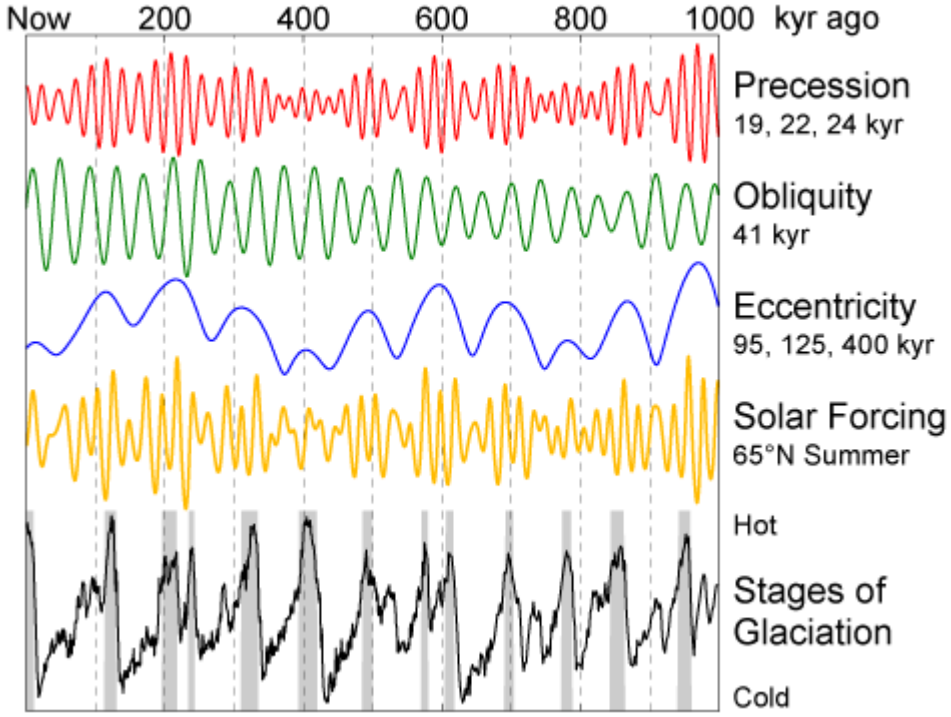


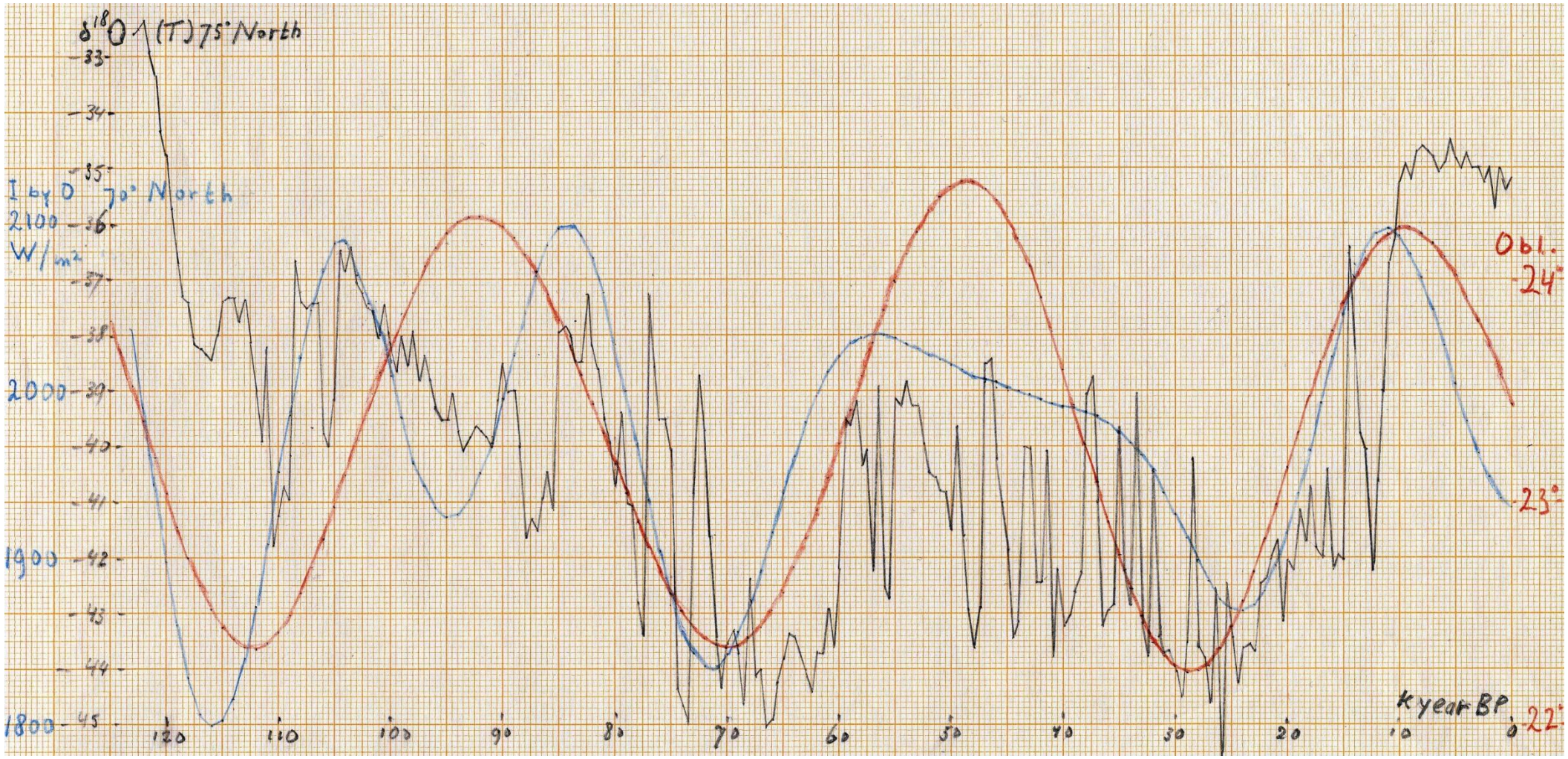
Fig 3 **Bron Wikipedia**

De Milankovitch theorie in de praktijk, vergelijking aardbaan met temperatuur

In de laatste ijstijd en 4 interglacialen

Om de effecten van de variaties in de aardbaan op de instraling van de Zon (insolation) op het klimaat te bestuderen heb ik de curven van **FIG 3a – 3k** gemaakt. In **FIG 3a** is de zwarte curve gemaakt met de gegevens van de temperatuur proxy $\delta^{18}O$ uit de tabel van ijsboorkernen van centraal Groenland, de NGRIP site op $75{,}10^o$ NB en $42{,}32^o$ WL . De zwarte curve van **FIG 3a** is in principe dezelfde als de paarse curve van **FIG 2a.** De $\delta^{18}O$ gegevens zijn gepubliceerd door S.J. Johnsen ea [Litt 2] en de tabellen staan op de NOAA site, zie:
ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/greenland/summit/ngrip/isotopes/ngrip-d18o-50yr.txt
Dit onderzoek heeft een tijdresolutie van 1 in 50 jaar. Om praktische redenen is dit beperkt tot 1 in 500 jaar en zijn alleen de gegevens van de hele en halve millennia voor de curven gebruikt. Het onderzoek van S.J Johnsen gaat tot 123 kyear (123000 jaar) BP (voor heden), dus tot in het laatste interglaciaal. In dat interglaciaal is de Groenlandse ijskap grotendeels gesmolten. Het ijs dat in deze warme tijd nog was overgebleven is door de uitgebreide gletsjer vorming in de daarop volgende ijstijd sterk vervormd. De chronologie in de oudere ijslagen is daardoor sterk verstoord. De datering van deze oude lagen is dus moeilijk en waarschijnlijk minder betrouwbaar. De gegevens uit de ijsboorkernen uit Groenland hebben hierdoor een veel kleiner bereik (ca 120 ky) dan die van Antarctica (ca 800 ky en meer).

FIG 3a



De blauwe curve van **FIG 3a** geeft de variatie aan instraling vanwege de aardbaan (I by O), volgens het onderzoek van A. Berger [Litt 1]. De tabellen staan op de NOAA site: ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/insolation Deze tabellen hebben een tijdresolutie van 1000 jaar. Gegeven wordt de 'mid-month insolation' dus steeds op de 15^{e} van elke maand. Het zijn (als ik het goed begrijp) bruto cijfers, waarbij dus geen rekening gehouden wordt met kortere duur van de maanden bij een grotere instraling. A. Berger gaat uit van de zonneconstante en houdt ook geen rekening met verschillen door het stralingsevenwicht. In deze curve is getracht het verloop van de **bruto** zomer instraling weer te geven door de mid-month insolations van de 5 maanden met de grootste instraling (april t/m augustus) op te tellen. De eenheid is dus W/m^2 per 5 dagen. Een curve van de **netto** zomer instraling zou dezelfde periodiciteit hebben, maar zou dus vlakker zijn, doordat de amplitudo's dan gehalveerd worden. De intensiteit van de instraling en de duur ervan bij bepaalde intensiteit hebben elk een

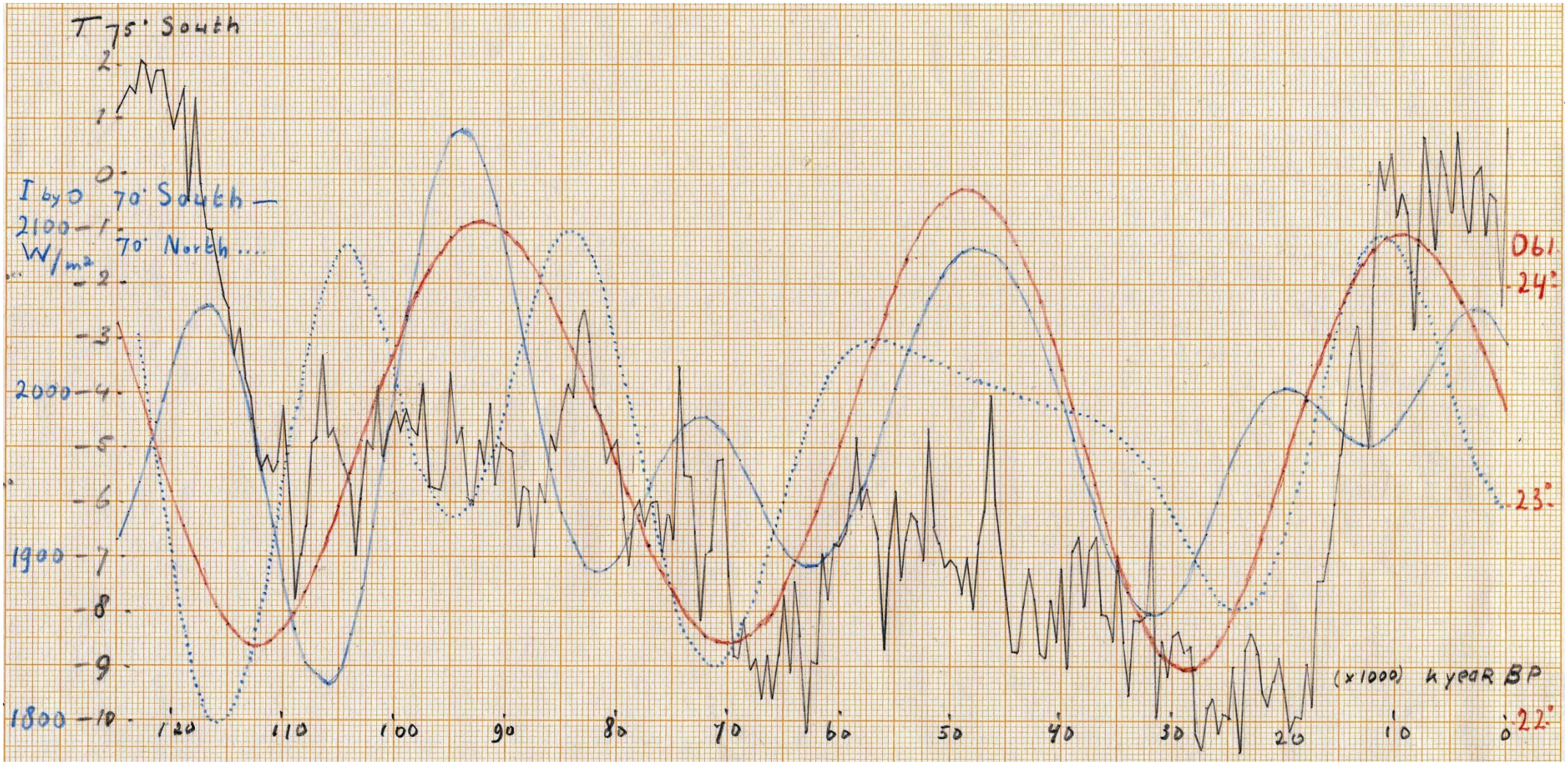
verschillende invloed op de temperatuur en het klimaat. Het lijkt waarschijnlijk dat drempelwaardes van zowel de intensiteit als de duur van belang zijn om processen op gang te brengen die het klimaat kunnen veranderen, zoals het smelten van ijs. Daarom is deze bruto waarde van de zomer instraling ook een zelfstandige parameter, die uit fysisch oogpunt de zomertemperatuur zou moeten beïnvloeden. Er is hier gekozen voor de zomer instraling, omdat deze wellicht drempelwaardes zal overschrijden waardoor het glaciale klimaat warmer wordt. Het is echter eenvoudig inzichtelijk dat bijvoorbeeld de instraling van alleen de maand juni ongeveer dezelfde curve geeft met iets grotere amplitudo's. Ook de instraling over het hele jaar geeft een vergelijkbare curve met iets kleinere amplitudo's. De rode curve geeft de obliquiteit. Eigenlijk is dat 90° – de inclinatie hoek van de aardas met het vlak van de aardbaan. De inclinatie hoek geeft dus de variabele positie van de poolcirkels en deze obliquiteit geeft de positie van de keerkringen aan. De eenheid van de obliquiteit is in booggraden. Een curve, die de instraling door de obliquiteit beschrijft, zou veel kleinere amplitudes hebben dan de blauwe curve van de totale instraling. De aardbaan gegevens van 70° NB zijn gekozen vanwege de nabijheid tot de NGRIP site. De temperatuur gegevens zouden dus moeten passen bij de instraling op deze locatie.

Aan het begin van de zwarte curve is het staartje van het laatste interglaciaal zichtbaar met temperaturen, die duidelijk hoger waren dan tijdens het Holoceen, aan het eind van de curve. Ook is weer duidelijk herkenbaar het grillige temperatuur verloop tijdens het glaciaal met de warme interstadialen, of D-O events en de koude Heinrich events. Hierbij is ook weer zichtbaar het eerste interstadiaal en het koude Younger Dryas voor het begin van het Holoceen. Uit deze curven blijkt dat de interstadialen steeds op dezelfde wijze aanwezig zijn, of nu de instraling door orbit toeneemt, afneemt, of vrijwel gelijk blijft. Dit is dus een duidelijke aanwijzing dat deze relatief snelle temperatuur veranderingen geen enkel verband houden met verschillen aan totale instraling of met de obliquiteit. Ook is een niet lineair of indirect verband tussen de interstadialen en de verschillen aan instraling door de aardbaan zeer onwaarschijnlijk volgens deze gegevens. Er is echter wel een duidelijke relatie tussen de temperatuur variaties op langere termijn en de verschillen aan instraling volgens de blauwe curve. Ook valt het einde van het laatste interglaciaal en het begin van het Holoceen samen met afnemende, respectievelijk toenemende instraling en obliquiteit. Er is hier dus een aanwijzing dat de afwisseling tussen glacialen en interglacialen verband houdt met forcering door de aardbaan. De relatie tussen de totale instraling en de temperatuur is duidelijker dan die met de obliqiteit en de temperatuur. Dit blijkt vooral in de periode 100 - 85 ky BP, waar de curven van de obliquiteit en de totale instraling antifasisch zijn. Ook is er een afnemende instraling en obliquiteit bij het eind van het laatste interglaciaal en een toenemende instraling en obliquiteit voor het begin van het Holoceen. Dit alleen geeft een aanwijzing voor aardbaan forcering bij de overgang tussen glaciaal en interglaciaal. Het valt echter ook op dat de covariatie niet consequent aanwezig is: De talrijke overige kortdurende klimaat veranderingen hebben geen covariatie met de aardbaan. Alle temperatuurveranderingen, ook die bij de overgangen glaciaal – interglaciaal zijn veel (ca 100x) sneller dan de aardbaan forcering aangeeft. Wel is er een duidelijke samenhang tussen trage (>ca 10ky) temperatuur veranderingen en de instraling door de aardbaan. Deze trage temperatuur veranderingen geven echter geen belangrijke klimaat veranderingen.

De zwarte curve van het temperatuurverloop uit **FIG 3b** is ontleend aan de tabellen van de EPICA Dome C ice core, zie ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/epica_domec/edc3deuttemp2007.txt en de publicatie van J. Jouzel, V. Masson-Delmotte ea in Science van aug 2007 [Litt 3]. Er werd hier een temperatuur reconstructie in decimale graden gemaakt op basis van δD bepalingen. De nul waarde is de gemiddelde locale temperatuur in de laatste 1000 jaar. De locatie is in Oost Antarctica, op $75,1^o$ ZB en $123,35^o$ OL. Merk op dat deze schaal verschilt met die van **FIG 3a**, waardoor oa de temperatuur variaties op millenniumschaal van het Zuidelijk halfrond in deze tekening groter zijn in vergelijking met de interstadialen op het Noordelijk hafrond van **FIG 3a**, dan bij de werkelijke verhoudingen zou moeten. De getrokken blauwe curve van de instraling vanwege

de aardbaan op **70° ZB;** De gestippelde blauwe lijn geeft de instraling op **70° NB**. Deze aardbaan gegevens zijn weer van de tabellen van A Berger, evenals de rode curve van de obliquiteit. De obliquiteit curve van 70° ZB is uiteraard gelijk aan die van 70° NB op **FIG 3a**. Bij de instraling, alleen vanwege de precessie is het Noorden in antifase met het Zuiden. Bij goede vergelijking – door te printen op doorzichtig papier – valt op dat er tussen het temperatuur verloop in het Noorden en het Zuiden veel overeenkomsten zijn, zowel bij de snelle klimaat veranderingen in de tijdschaal van millennia als bij de variaties op langere termijn. Er is in het Zuiden dan ook geen relatie tussen de zuidelijke zomer instraling en de lange termijn variaties in temperatuur tijdens de ijstijd. Dit is dus in tegenstelling tot de situatie in het Noorden volgens **FIG 3a**. Het temperatuur verloop op lange termijn zou in het Zuiden geheel anders zijn als het op dezelfde wijze als in het Noorden zou samenhangen met de instraling.

FIG 3b



Dat zien we dus niet, maar misschien zijn er wel kleine verschillen in het trage temperatuurverloop tussen **FIG 3a** en **3b** die verband lijken te hebben met het verschil aan zomer instraling tussen Zuid en Noord, zoals in de periode 110 – 98ky BP. Wel blijkt dat de lange termijn temperatuur in het Zuiden duidelijk gecorreleerd is met de zomer instraling in het Noorden. Een merkwaardig fenomeen, dat hier verderop echter wel verklaard wordt. De curve van de zomer instraling in het Noorden heeft dezelfde cyclische fasen als de curve van de duur van de zomer in het Zuiden en wordt algemeen beschouwd als een belangrijke parameter van de invloed, die de aardbaan heeft op het klimaat in beide hemisferen. Daarom wordt deze stippellijn curve van de noordelijke zomer instraling hier vergeleken met het temperatuur verloop.

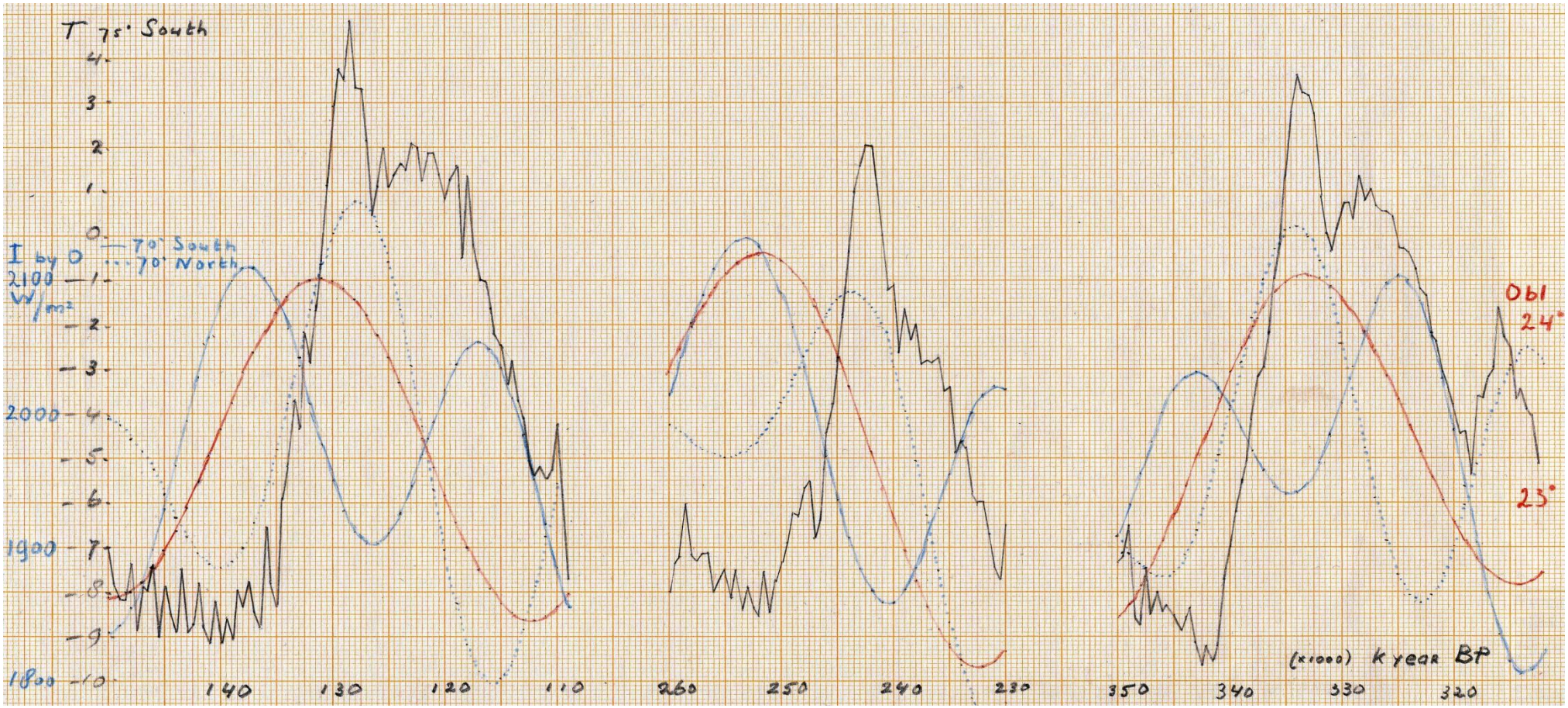


FIG 3c

In **FIG 3c** en **3d** staan curven van het temperatuurverloop van de laatste 4 interglacialen in het Zuiden, samen met de blauwe en rode curven van de forcering door de aardbaan. Ook hier zijn de temperatuur gegevens van de EPICA ijsboor kern weergegeven en voor de aardbaan de tabellen van A. Berger. Samen met het Holoceen in Noord en Zuid kan de opwarming van glaciaal tot interglaciaal hierdoor dus in 6 tijdperken, met in totaal 137 ky, bestudeerd worden. Het bestuderen van deze curven geeft direct een algemeen inzicht in de connectie door covariatie tussen de temperatuur veranderingen en de parameters van de aardbaan. Deze connecties zijn uiteenlopend in deze curven en er zijn ook verschillen in de afstanden in tijd tussen de temperatuur fase (met een begin en eind van de temperatuur verandering) en de aardbaan fase. Er wordt hier een poging gedaan deze connecties te kwantificeren. Het is echter moeilijk daarbij alle aspecten van de covariatie goed te beschrijven. Er zijn immers zeer veel mogelijk significante statistische en fysische connecties. Globaal echter was voor deze periode van in totaal 137 ky in 68% van de tijd covariatie (dwz variatie in dezelfde richting) van de obliquiteit en de temperatuur. Deze covariatie was in 59% van de tijd aanwezig tussen de variatie in de Noordelijke zomer insolatie en de temperatuur. In de situatie zonder invloed van de aardbaan forcering op de klimaat schommelingen tussen glaciaal en interglaciaal zou de te verwachten covariatie dus gemiddeld 50% zijn over vele waarnemingen. Deze covariatie, eenvoudig als gelijktijdige verandering in dezelfde richting, is dus weinig meer dan random verwacht en is dus met een vrij grote waarschijnlijkheid toevallig. Dit betekent dus dat na statistische analyse geen significante verschillen gevonden zullen worden. Een uitgebreider onderzoek met gegevens van meer interglacialen zou mogelijk wel aangeven dat de verschillen significant zijn, maar er zijn nog meer problemen: Het bestaan van een werkelijk causale en dus belangrijke fysische connectie is ook onwaarschijnlijk door de zeer variabele tijd die er is tussen de maxima en de minima in de fasen van de temperatuur en aardbaan gegevens. Dit is vooral het geval in de afnemende fases voor de temperatuur, die vaak lange tijd na de maxima van de aardbaan beginnen. Eigenlijk is het echter door dit kleine onderzoek al wel uitgesloten dat de aardbaan variatie een essentiële determinant (conditio sine qua non) zou zijn voor de schommelingen van ijstijden en interglacialen. Het blijkt immers dat de fases van de aardbaan en temperatuur veranderingen vaak tegengesteld zijn. De temperatuur heeft de aardbaan dus niet nodig en deze is hooguit een aanvullende factor. Daarmee is het algemeen aanvaarde idee ontkracht dat de Milankovitich theorie bewijzen geeft voor ‘de’ oorzaak van de klimaat verschuivingen van ijstijden en interglacialen, namelijk de fysiek aangetoonde en dus essentiële aardbaan variaties.

Dit doet niets af aan de covariatie als bewijsmateriaal voor samenhang tussen de veranderingen in temperatuur op lange termijn en de aardbaan gegevens. In FIG 3a en 3b is duidelijk te zien dat de temperatuur gemiddelden over ongeveer 10000 jaar de aardbaan cycli van ca 40000 en 20000 jaar volgen. Deze temperatuur variatie, die met aardbaan is verbonden is echter veel (ca 100x) trager dan de temperatuur variaties bij het begin en eind van de interglacialen. Ook zijn de amplitudo’s, de maxima en minima, kleiner dan de temperatuur variaties in de glaciaal – interglaciaal cycli. De amplitudo’s van deze trage temperatuur variatie door de aardbaan is waarschijnlijk ook te klein om belangrijke klimaat veranderingen te veroorzaken in dit tijdperk. Dus volgens deze gegevens is de aardbaan forcering inderdaad verbonden met een cyclische temperatuur variatie. Deze trage cyclische variatie heeft geen verband met kortdurende klimaat fluctuaties op millennium schaal, of de interstadialen. De trage veranderingen door de aardbaan kunnen wel een ondersteunende factor zijn bij de glaciaal – interglaciaal klimaat overgangen. Het beeld van FIG 3a – 3d doet inderdaad moeilijke vragen, of paradoxen rijzen bij het vraagstuk van de forcering van klimaatveranderingen door de aardbaan.

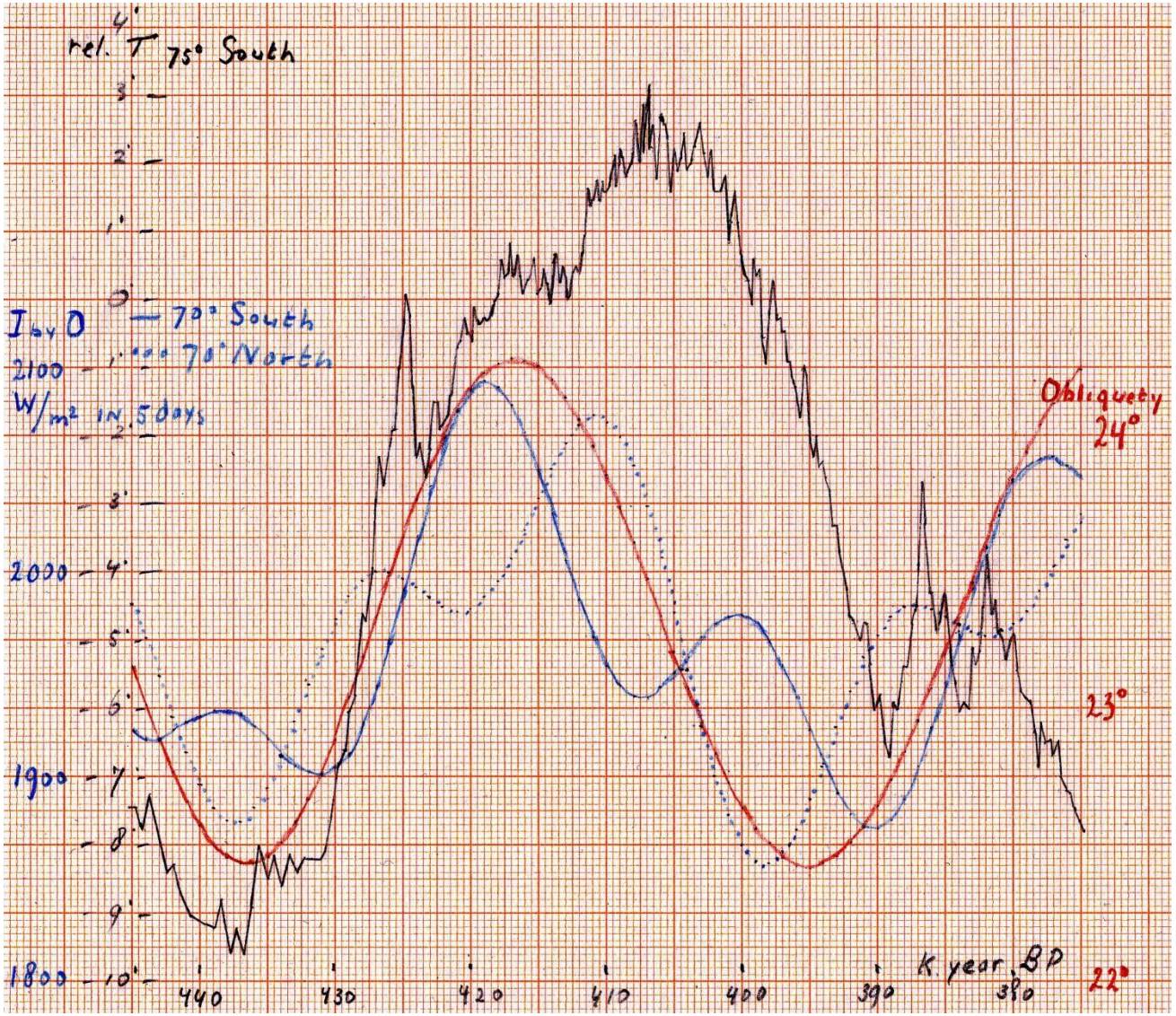


FIG 3d

Overzicht van 800000 jaar aardbaan en temperatuur

In **FIG 3b, 3e – 3k** wordt een overzicht gegeven van het verloop van de temperatuur in Oost Antarctica en de Milankovitch parameters over 800 ky. De zwarte curve van de temperatuur volgens de tabellen uit het ijs boor kern onderzoek van EPICA [NOAA] en gepubliceerd in Science van door Jouzel ea [Litt]. In dit tijdschrift

artikel zijn de gegevens van 5800 deuterium bepalingen over 800000 jaar weergegeven in curven van ca 35 cm en van ca 10 cm voor de vergelijking met de Milankovitch parameters. Op deze internet publicatie staan deze gegevens in een curve van 160 cm, zodat een betere beoordeling van de samenhang mogelijk is. De tijd resolutie van deze gegevens varieert nogal en loopt op van 1 Deuterium bepaling over ca 1000 jaar uit het ijs van 800 ky oud tot 1 op 10 jaar bij de laatste bepalingen uit ijs tot ca 1912 AD. Om praktische redenen is de weergave van de gegevens in de grafieken van **FIG 3** na 340 ky BP beperkt tot 1 op 500 jaar door steeds na ca 500 jaar de gegevens te noteren. Wel zijn de gegevens van de tabel over de laatste interglacialen en het Holoceen fijner weergegeven met ook de maxima en de minima uit de periodes van 500 jaar. In **FIG 3j** wordt hiermee het verloop van de temperatuur in Oost Antarctica tijdens het laatste interglaciaal en het holoceen met elkaar vergeleken. Het verloop tijdens de laatste ijstijd is daartoe weggelaten, maar dat is in **FIG 3b** en **3k** te zien.

FIG 3e

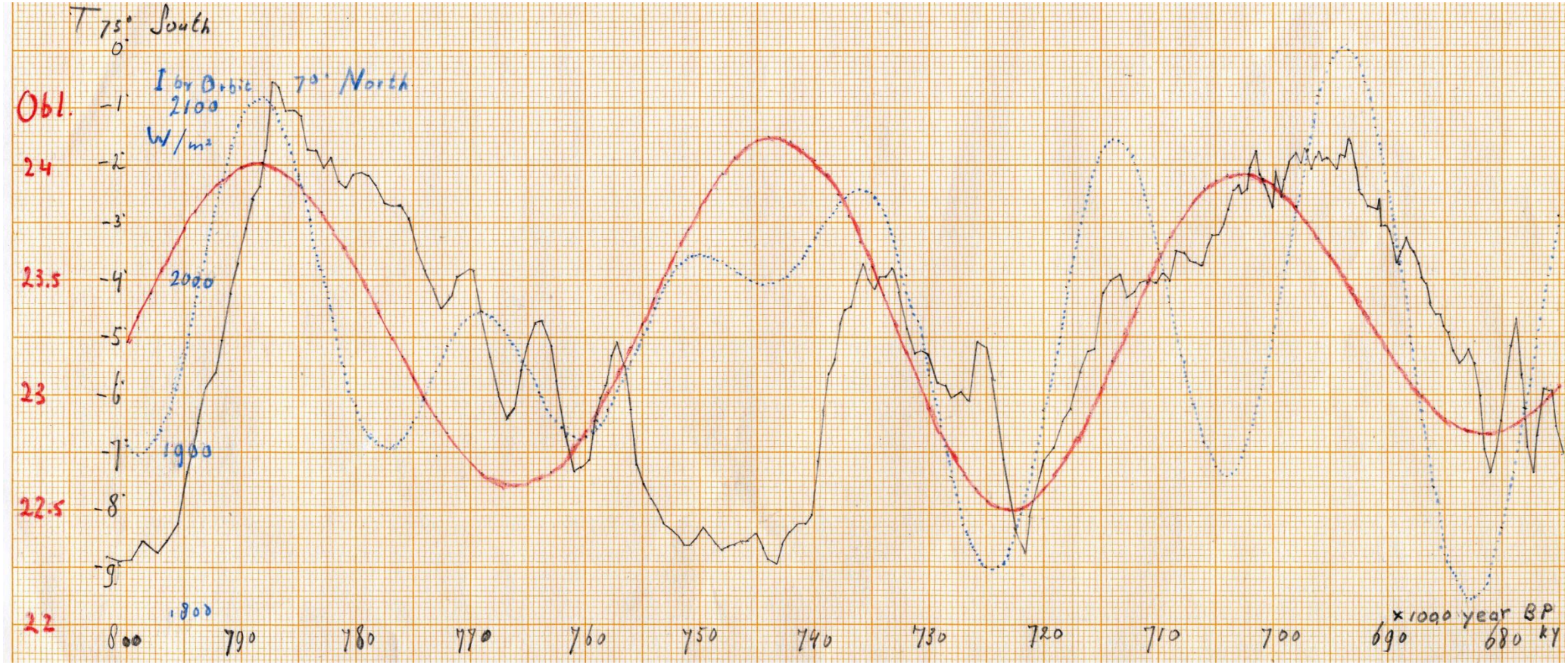
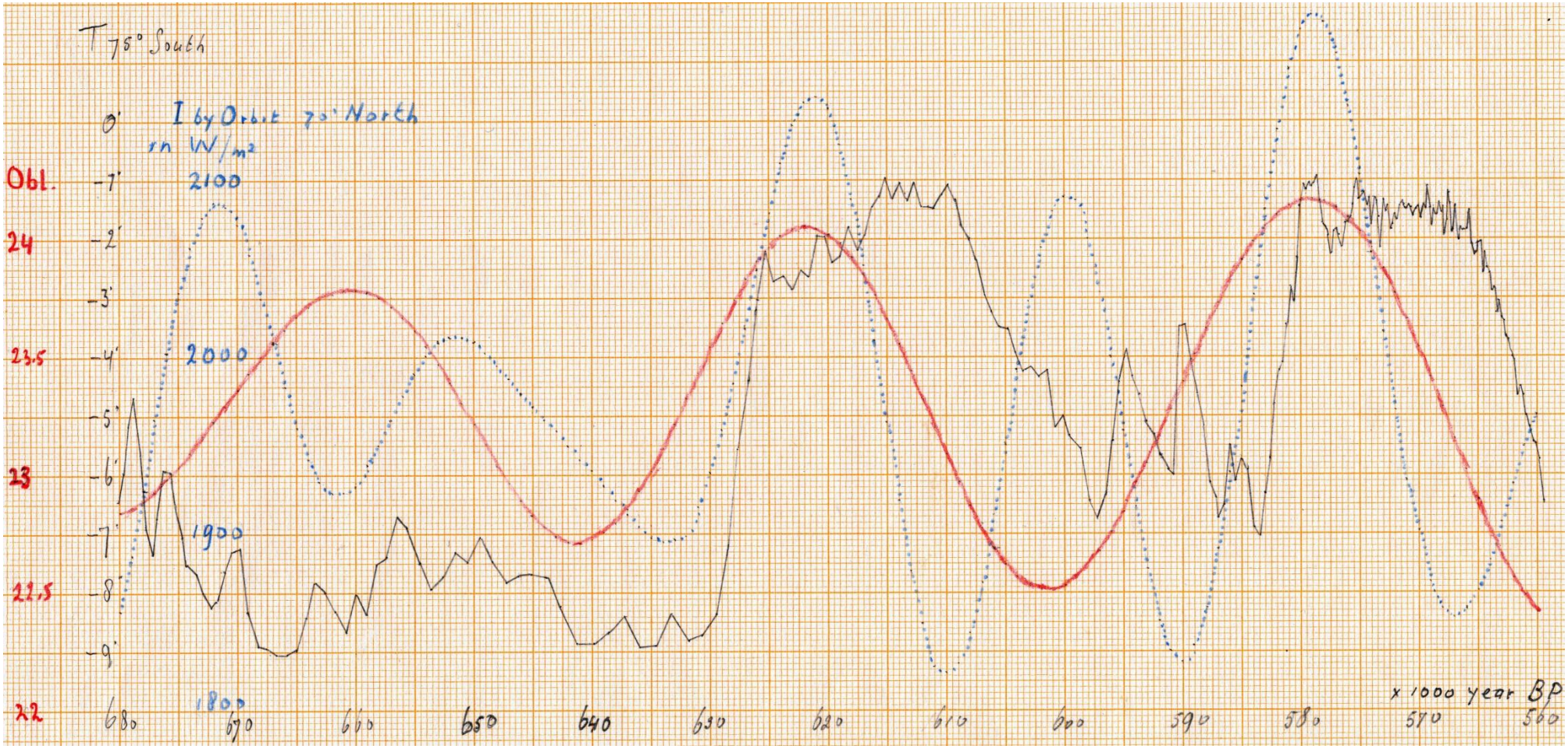


FIG 3f



De parameters voor de klimaat drijving door de aardbaan volgens de theorie van Milankovitch zijn berekend door prof A. Berger. Zijn tabellen staan op internet [NOAA] en hiervan zijn deze curven gemaakt. De rode curve is de variatie in de obliquiteit. De blauwe stippellijn geeft de instraling per dag tijdens de Noordelijke zomermaanden op 70° NB. Tevens is dit bij benadering het verloop van de intensiteit van de Zuidelijke winter, dus de mate van de dag instraling tijdens de wintermaanden april tot september maal -1, samen met de totale duur van deze maanden. Deze parameter wordt algemeen gezien als een belangrijke factor in de drijving tot de ijstijd cycli, waarbij men aan het aandeel van de obliquiteit in deze totale instraling extra gewicht toekent, omdat de invloed van obliquiteit in de in de Noordelijke en Zuidelijke hemisferen gelijk is, dus in fase is, terwijl de invloed van de excentriciteit – precessie combinatie in beide hemisferen tegengesteld is, maw in antifase is. In een gedeelte van dit verloop van 800000 jaar vergelijking van de

temperatuur op Oost Antarctica met deze Milankovitch parameters is ook nog de dag instraling tijdens de Zuidelijke zomer ingetekend als **FIG 3g** een getrokken blauwe lijn, in **FIG 3b** en **3h.**

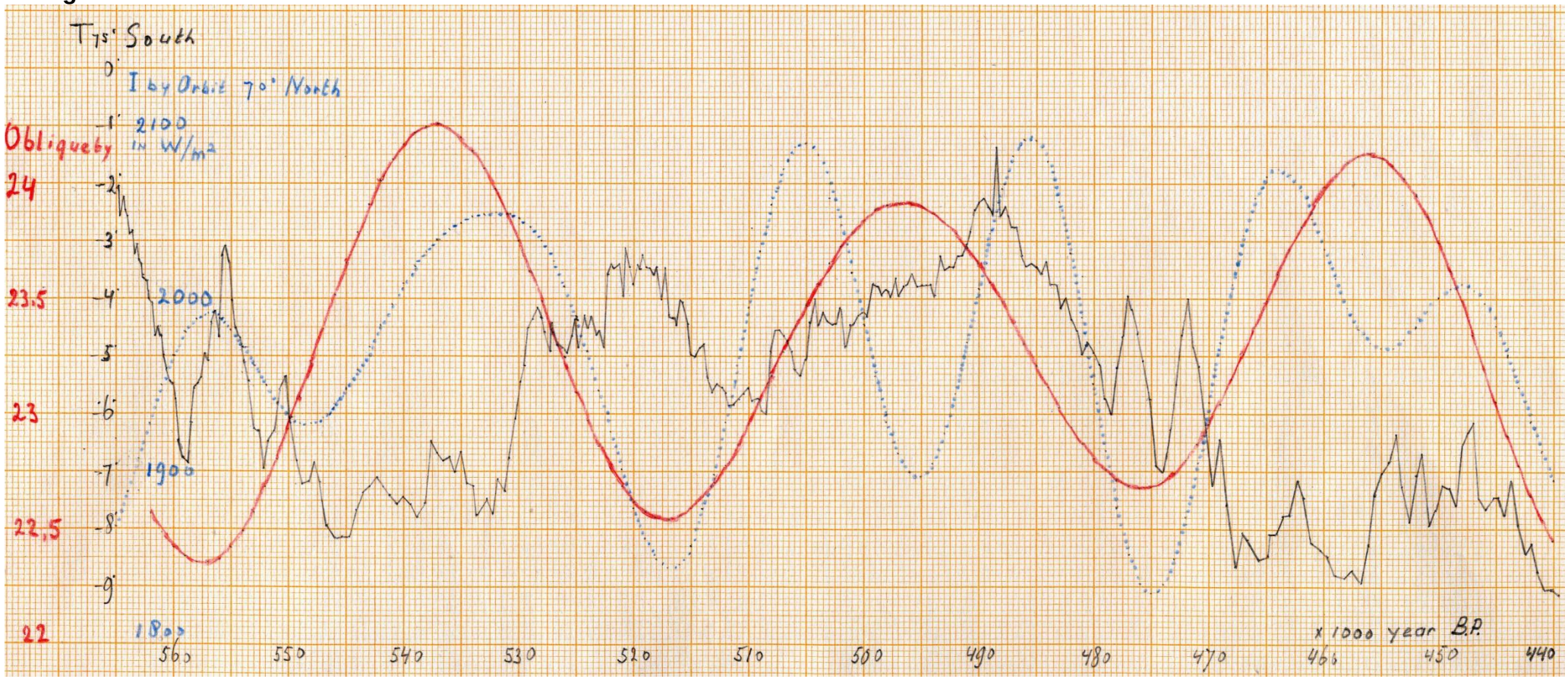


FIG 3h

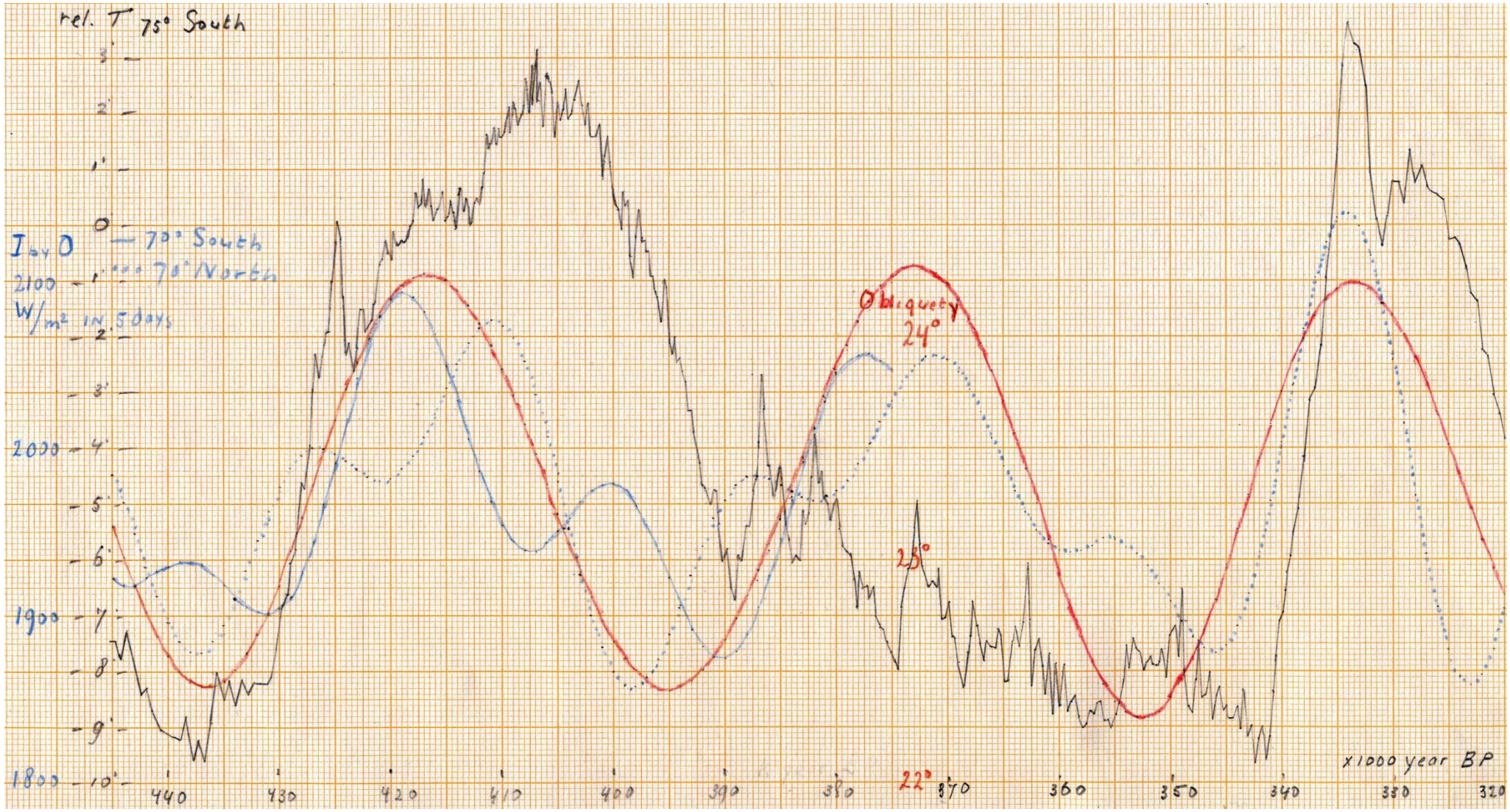

rel. T 75° South
3
2
1
0
I ≈ 0 — 75° South
— 75° North
2100
W/m² IN 50 days
2000
1900
1800
Obliquety
24°
23°
22°
x1000 year BP
440
430
420
410
400
390
380
370
360
350
340
330
320

FIG 3i

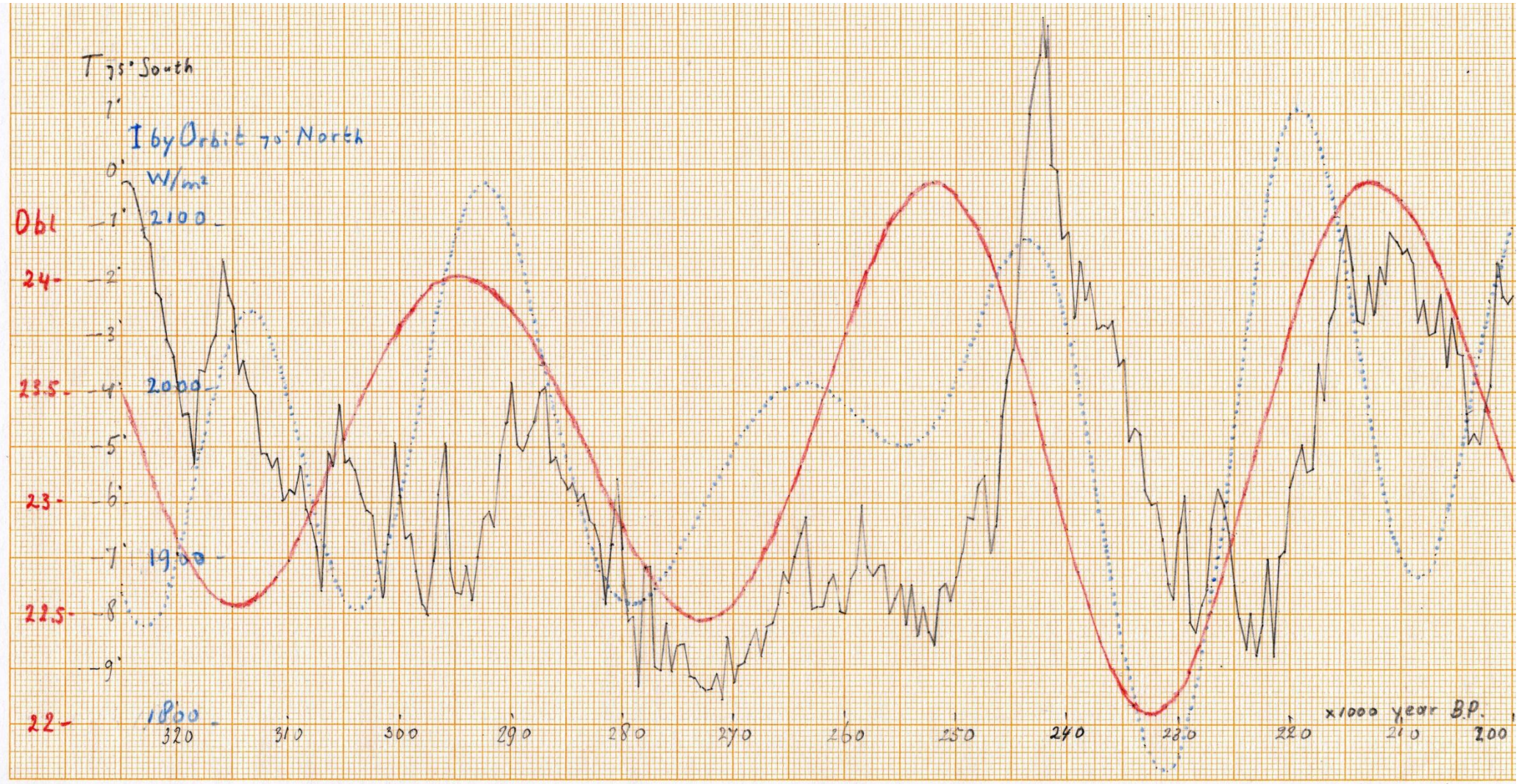

T 75° South
I by Orbit 75° North
W/m²
2100
2000
1900
1800
Obl
24
23.5
23
22.5
22
1°
0°
-1°
-2°
-3°
-4°
-5°
-6°
-7°
-8°
-9°
320
310
300
290
280
270
260
250
240
230
220
210
200
x1000 year B.P.

FIG 3j

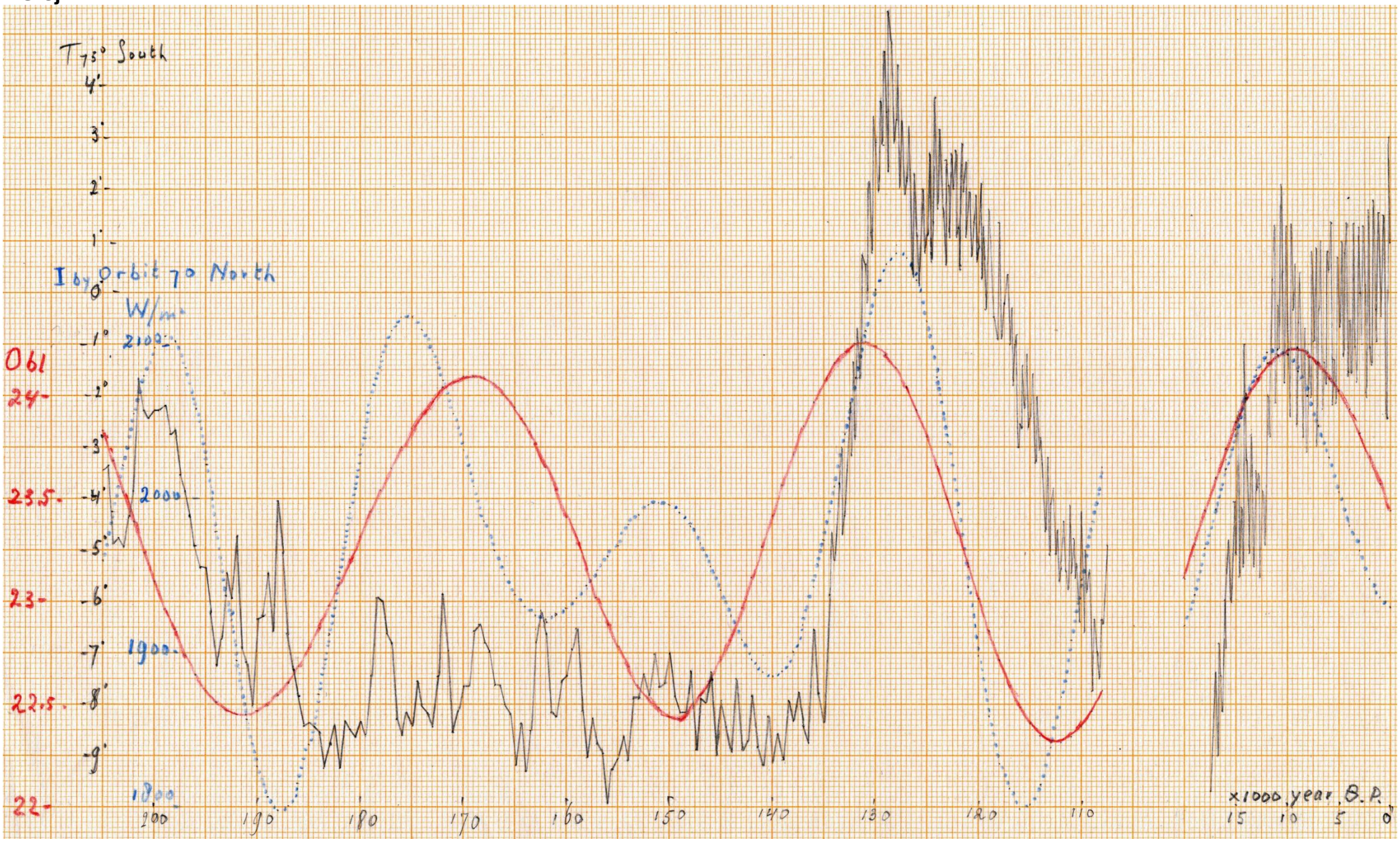

T 75° South
4°
3°
2°
1°
0°
-1°
-2°
-3°
-4°
-5°
-6°
-7°
-8°
-9°
I 64 Orbit 70 North
W/m²
2100
2000
1900
1800
Obl
24
23.5
23
22.5
22
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
x1000 year B.P.
15
10
5
0

FIG 3k

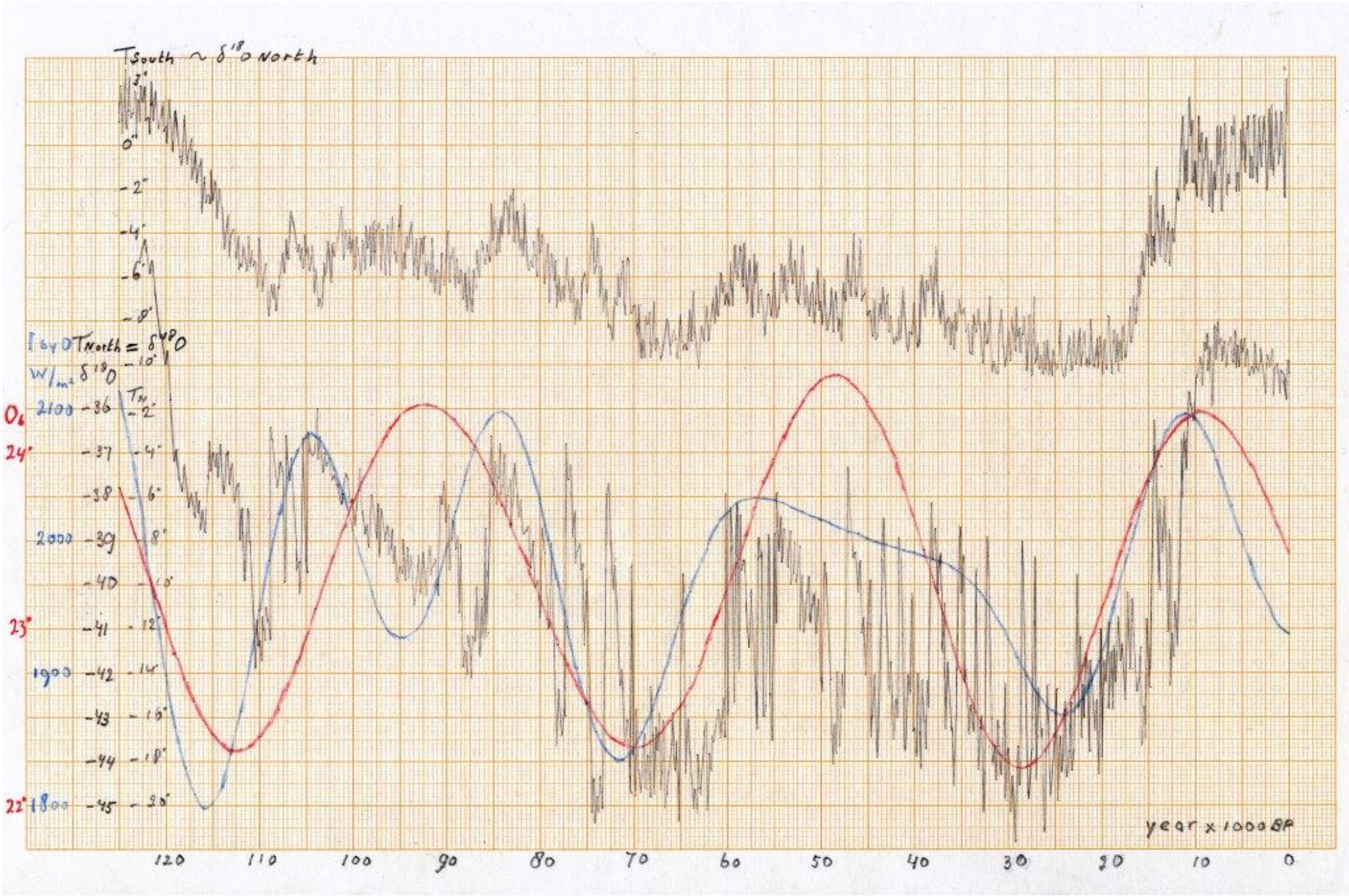

Tsouth ~ δ18O North
I & D Tnorth = δ18O
W/m2 δ18O
Tn
2100
2000
1900
1800
24°
23°
22°
year x 1000 BP
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

FIG 3k is getekend met dezelfde bronnen als **FIG 3a** en **3b**. De bovenste zwarte curve, Tz, is het temperatuur verloop in de EPICA site in Oost Antarctica, volgens de temperatuur reconstructie tabel van Jouzel ea [Litt 3]. Op de tabel is de tijdresolutie over deze periode ca 1 op 40 jaar, maar wordt aan het eind ca 1 op10. De curve geeft hiervan waardes na steeds 500 jaar met daarbij ook de maxima en minima uit deze periodes van 500 jaar, zodat de tijdresolutie van de curve gemiddeld ca 1 op 200 jaar is. De schaal grootte van de temperatuur op de y-as is de helft van de curven in FIG **3b-3j**. Deze schaal is vrijwel gelijk aan die van de temperatuur in Groenland, de onderste zwarte curve in **FIG 3k**. Deze onderste curve is, evenals bij **FIG 3a**, gemaakt met de tabel van Johnsen [Litt 2]. De tijd resolutie van deze tabel is consequent 1 op 50 jaar en ook hier zijn de begin- en eind waardes met de maxima en minima over periodes van 500 jaar weergegeven op de curve. Uit vergelijking met de temperatuur reconstructie van Alley [Litt 4] blijkt dat deze temperatuur curve van Groenland vrijwel dezelfde schaal heeft als die van Oost Antarctica. De tabel van Johnsen is echter een weergave van alleen de $\delta^{18}O$ als temperatuur proxy, terwijl de tabel van Jouzel een temperatuur reconstructie is. Dit is een nauwkeuriger benadering van de werkelijkheid, omdat daar meer gegevens in verwerkt zijn dan alleen de isotoop verhoudingen uit het ijs. Door correctie met de isotoop verhoudingen uit het oceaan water hebben de curven van de temperatuur reconstructies doorgaans iets grotere verschillen tussen de maxima en de minima dan die van de proxies uit het ijs, zodat de maximale excursies van de curve voor Groenland nog iets groter zijn als men ook daarbij, evenals voor de bovenste curve een temperatuur reconstructie had gemaakt. Merk dus op dat er op de schaal van ca 100 ky met de ijstijd cyclus op Groenland volgens de δD proxy temperatuur verschillen zijn tot ruim 25°C in de temperatuur gemiddelden over 50 jaar, terwijl die verschillen in Oost Antarctica ruim 13°C zijn over gemiddelden van ca 40 jaar. Op de tijdschaal van ca 1ky met de interstadialen zijn er in Groenland fluctuaties van ruim 16°C en in Oost Antarctica ruim 5°C. De temperatuur verloop tijdens het laatste interglaciaal (Eemien) gaat hier terug tot 123 ky BP. De temperatuur was toen 4° à 5° hoger dan tijdens het Holoceen. Volgens **FIG 3j** was de temperatuur in Oost Antarctica tijdens het Eemien 6000 jaar eerder ca 2°C hoger. Extrapolerend zou de maximale temperatuur dus in Groenland in 129 ky BP ca 4°C hoger zijn geweest dan **FIG 3k** aangeeft in 123 ky BP en 8° à 9°C hoger dan tijdens het Holoceen, hetgeen overeenkomt met het gegeven dat een groot deel van de ijskap van Groenland gesmolten was tijdens dat laatste interglaciaal. Omdat het temperatuur verloop in Oost Antarctica gelijkmatiger is dan in Groenland heeft dit verloop meer covariatie met de instraling vanwege de aardbaan (I by O) dan de temperatuur van Groenland. De covariatie tussen de Milankovitch parameters en de temperatuur in Antarctica zoals we die zien op de curven van **FIG 3b – 3k** is dus niet representatief voor het Noordelijk halfrond. Er is bij de temperatuur fluctuatie op millennium schaal enige overeenkomst tussen Antarctica en Groenland: veel interstadialen van Groenland hebben in Antarctica pendanten met kleinere amplitudes en een trager verloop. Echter in de periode 80 ky – 70 ky BP zijn fases van de millenium schaal fluctuaties in Antarctica en Groenland tegengesteld. Verder zijn de fluctuaties vooral in Antarctica kleiner in periodes met de temperatuur minima in beide hemisferen.

Theorieën, vergelijking curven en conclusies

De theorie van Milankovitch heeft een goede fysische basis. Het berekende verschil aan dag instraling in het totaal van deze periode van 800ky is maximaal zelfs 23% op 70°NB. Berekeningen van de Milankovitch parameters, zoals deze van prof Berger, maakt men al sinds 90 jaar. De kennis over de enorme temperatuur en klimaat variaties door de afwisseling ijstijden en interglacialen was er al in de 19^{e} eeuw door geologisch bodemonderzoek. Door deductieve redenering vooraf is het dan ook algemeen aanvaard dat de variatie aan instraling door de aardbaan bepalend is voor het tot stand komen van belangrijke klimaat veranderingen, zoals de ijstijd cycli. De bepaling van temperaturen aan de hand van bodem materiaal was daarbij uiteraard vrij globaal. Dankzij het onderzoek van het ijs heeft men echter de laatste 15 jaar een vrij nauwkeurig inzicht gekregen in het verloop van de temperaturen bij de ijstijd cycli en kan men dat nu pas goed vergelijken met de aardbaan drijving.

Daarbij blijkt dat de theorie van Milankovitch niet volledig wordt bevestigd door controle achteraf. Vooral met de temperatuur in het Noorden is er een discrepantie (zie **FIG 3a** en **3k**). Daar blijkt nu met de gegevens uit het ijs, dat er tijdens de ijstijden talrijke grote en snelle temperatuur veranderingen zijn geweest, die intense, maar kortdurende klimaat veranderingen in grote gebieden hebben veroorzaakt,de zg interstadialen. Deze frequente klimaat veranderingen tijdens de ijstijden in het Noorden treden evenzeer op bij toenemende als bij afnemende instraling door de aardbaan en bovendien zijn deze temperatuur veranderingen een factor 100 sneller dan de veranderingen in de instraling door de aardbaan. De interstadialen kunnen daarom geen verband hebben met de aardbaan. Wel valt een punt van maximale zomer instraling samen met de laatste snelle opwarming in het Noorden bij het begin van het Holoceen, maar ook dat is geen bevestiging want de opwarming blijft doorgaan en de temperatuur blijft hoog, ook nu in onze tijd met een de minimum aan instraling. Het temperatuur verloop in Antarctica toont echter meer overeenkomsten met de aardbaan drijving (zie **FIG 3b-3k**) dan dat van Groenland, maar ook in het Zuiden lopen de curven in ca 35% van de tijd niet parallel. Er is dus in ca 65% wel covariatie, terwijl de fases in gemiddeld 50% van de tijd toevallig parallel lopen. Afhankelijk van het aantal waarnemingen en hier dus de tijdsduur waarover het onderzoek loopt is er een grotere of kleinere kans op een bepaalde afwijking van dit gemiddelde van 50%.Het totale onderzoek over 800ky is dan ook wel voldoende voor een significant verband tussen de temperatuur van het Zuiden en de aardbaan parameters. Voor het Noorden is dat door de geringere covariatie en de kleinere observatie tijd van 123 ky waarschijnlijk niet het geval. Ook volgens de gegevens uit Groenland op **FIG 3a** en **3k** zijn er wel subtiele, langzame temperatuur veranderingen die samenhangen met de instraling door aardbaan. De meeste klimaatveranderingen in het Noorden, ook die van ijstijd naar Holoceen, komen echter tot stand door de veel snellere temperatuur veranderingen, die geen verband hebben met de parameters van de aardbaan drijving. Het hele temperatuur en klimaat verloop volgens de gegevens uit Oost Antarctica is meer geleidelijk dan in Groenland en toont daardoor meer overeenkomst met de Milankovitch parameters. Duidelijk is dus dat de aardbaan wel invloed heeft op het verloop van temperaturen en klimaat veranderingen kunnen bevorderen, maar dat de aardbaan niet de enige factor kan zijn en waarschijnlijk ook niet de belangrijkste is. Naast de mogelijkheid van interne fluctuaties moet hier toch in de eerste plaats gedacht worden aan een belangrijke andere externe drijver, gezien het globale optreden van de temperatuur veranderingen met daarbij geweldige verschillen aan geabsorbeerde energie in betrekkelijke korte tijd op wereldschaal.

De theorie van de aardbaan drijving roept dus een aantal vragen op, de Milankovitch paradoxen:
1^{e} De cycli in de instraling door de aardbaan hebben fases die voor de beide hemisferen tegengesteld zijn vanwege het belangrijke aandeel dat de precessie – excentriciteit combinatie daarin heeft, maar de interglacialen blijken in beide hemisferen gelijktijdig op te treden.
2^{e} Er zijn aanzienlijke verschillen aan instraling door de aardbaan, maar de temperatuur curven lopen hiermee niet in de pas. Meer gespecificeerd: Er is geen respons van de temperatuur op een groot aantal maxima in de instraling vaak ook als die in fase zijn met de obliquiteit. Niet alle interglacialen blijken verband te hebben met maxima in de instraling en/of de obliquiteit (535ky BP – 480ky BP). Meestal is er bij begin van de interglacialen wel samenhang tussen de aardbaan parameters en de temperatuur. Maar er zijn hierbij grote tempo verschillen, terwijl de tijd tussen de maxima van aardbaan en temperatuur ongeveer constant moet zijn als de aardbaan ‘de’ oorzaak is van het interglaciaal. De snelle temperatuur veranderingen kunnen geen verband houden met de aardbaan.

Een goede oplossing van de problemen door de Noord – Zuid antifase bij de precessie (1^{e} paradox) echter geeft P. Huybers ea in Science 325 [Litt 6] en in Nature van september 2008 [Litt 5]. In deze optiek reageert het klimaat in het Noorden op grotere intensiteit van de instraling met opwarming als het perihelium in de zomer valt. Het klimaat in het Zuiden echter reageert met opwarming op de langduriger zomer en de grotere intensiteit van de instraling in het

vroege voorjaar en dit is dus als de zomer in het aphelium valt. Hierdoor reageert het klimaat steeds in de beide hemisferen met dezelfde effect (opwarming of afkoeling) op tegengestelde precessie prikkels. De oorzaak van dit verschil ligt in de geografische situatie. De Noordpool bevindt zich in de zee, maar is omgeven door veel land, waarop zich in de glaciale tijden enorme hoeveelheden ijs bevinden. De grens van al dat ijs haalt in Amerika soms wel de 37° NB, maar varieert met klimaatveranderingen. Het smelten van dit landijs tijdens de zomer geeft positieve feedback aan opwarming door verlies van albedo, hoogteverlies en de productie van broeikasgassen. Tijdens de extra lange en extra koude winter met het aphelium groeit het landijs nauwelijks aan, want de aangroei is meer afhankelijk van de neerslag dan van de wintertemperatuur. De Zuidpool, daarentegen bevindt zich op het continent Antarctica, dat omgeven is door zee. De ijsvorming op zee blijft wel doorgaan in de hele extra lange en koude winter bij het winter aphelium in het Zuiden. Dit zee ijs moet dan in de zomer weer smelten en dit geeft afkoeling, zodat de temperatuur in Antarctica niet kan profiteren van de extra instraling tijdens de zomer met perihelium. Het landijs op Antarctica zal tijdens het glaciaal bij het zomer perihelium niet smelten, want daarvoor is de zomertemperatuur nooit toereikend. Er is dus in het Zuiden geen positieve feedback aan de warmte tijdens de zomers met perihelium. Als echter de grens van het zee ijs verder naar het Zuiden verplaatst wordt, doordat de winters korter worden, geeft dat wel enige feedback door extra productie van broeikasgassen. Dit gebeurt tijdens de kortste winters, dus met het perihelium in de winter en het aphelium in de zomer. P. Huybers wijst er verder op dat opwarming als het directe, zuivere effect van de precessie, dus zonder feedback, het sterkst is als het perihelium in het (vroege) voorjaar valt. De instraling van de zon is namelijk mede bepaald door de temperatuur van de atmosfeer, want vanwege het stralingsevenwicht is de atmosfeer bij een lagere temperatuur ontvankelijker voor meer instraling. Door deze lagere temperaturen heeft een toename van de instraling door de zon in het voorjaar meer effect dan in de zomer. De maximale instraling in het vroege voorjaar en de maximaal korte winter in het Zuiden in de precessie fasen komt dus grotendeels, respectievelijk volledig overeen met het perihelium in het solstitium van de Noordelijke zomer.

Verder valt het niet mee om de 2^{e} paradox, op te lossen en hoewel de Milankovitch theorie in de leerboeken algemeen wordt aangeprezen en ook onder professionele onderzoekers nog veel gezag heeft, komen er nu hierover kritische artikelen. Zo vindt P. Huybers in science 313 [Litt 7] dat er in het begin van het Pleistoceen een goede samenhang is tussen de klimaatcycli van ca 40 ky en vooral de obliquiteit. Voor de periode vanaf ca 440 ky BP met zijn klimaatcycli van meer dan 100 ky vindt hij echter geen duidelijk verband meer met de forcering door de aardbaan. Prof C. Wunsch [Litt] stelt duidelijk dat de variaties aan instraling door de aardbaan niet de oorzaak zijn van de grote klimaat veranderingen bij de cycli glaciaal – interglaciaal. In zijn uitgebreide statische analyse stelt hij dat toevallige veranderingen binnen het klimaatsysteem in een random walk elkaar min of meer periodiek versterken, waardoor deze grote klimaatveranderingen tot stand komen. Het totale aandeel van de forcering door obliquiteit en precessie in de temperatuur variatie is ca 20% bij sommige analyses. C. Wunsch [Litt 8] ziet dus de klimaat variatie als een stochastisch proces binnen het aardse klimaat systeem, omdat de aardbaan als externe determinant nagenoeg kan worden uitgesloten. *Het is hierbij echter wellicht aan de aandacht ontgaan dat mogelijk ook andere externe factoren, zoals de zon variatie, bepalend kunnen zijn voor de klimaatverandering en daarbij kunnen domineren over de aardbaan forcering. Indien deze enorme klimaat verschillen inderdaad volledig of hoofdzakelijk als een stochastisch verschijnsel zouden moeten worden geduid, zou dat impliceren dat het klimaat op Aarde zeer instabiel is en dat het dus zeer onverstandig is om dingen te doen, die het klimaat zouden kunnen veranderen. Zoals hier verder uiteengezet is het echter waarschijnlijk dat de zon variatie de klimaat verschillen veroorzaakt ten dele op een wijze, die vooralsnog door de fysica niet begrepen wordt*

De aardbaan en andere factoren

De grafieken van **FIG 3a – 3k** geven mijns inziens op een eenvoudiger inzichtelijke wijze hetzelfde beeld als gecompliceerde statistische analyses. Door gewoon inzicht, maar ook door vergaande mathematische analyse, kan men aan de temperatuur curven 2 patronen onderscheiden:

1e De langzame, lange termijn (>10ky) verschillen in temperatuur op beide hemisferen hangen inderdaad samen met de intensiteit van de zomer instraling op het Noordelijk halfrond door de aardbaan, of te wel met de duur van de winter op het Zuidelijk halfrond.
2e De snelle kort durende (ca 1 à 5ky) temperatuur veranderingen tijdens het glaciaal zijn volgens de ice core gegevens in het Noorden groter dan in het Zuiden. Het is bekend dat deze betrekkelijk kortdurende temperatuur veranderingen gepaard gingen met belangrijke klimaatveranderingen in grote gebieden (D-O en Heinrich events). De curven van **FIG 3** geven als duidelijke indicatie dat deze relatief snelle kortdurende klimaat veranderingen geen verband hebben met de aardbaan, omdat zij evenzeer optreden in periodes met toenemende, afnemende en ongeveer constante instraling door de periodieke verschillen in de aardbaan en omdat de temperatuur veranderingen hier ca 100x sneller zijn dan de aardbaan veranderingen.

Het beeld van de grafieken wijst op een oorzaak → gevolg relatie van de aardbaan naar de langzame temperatuur fluctuaties, waarbij een andere oorzaak voor de snelle fluctuaties er echter steeds tussen komt. Vooral in het Noorden domineert deze factor vaak het verloop van temperatuur veranderingen. Dit beeld van verschillende oorzaken voor de langzame en snelle fluctuaties doet zich ook voor bij de grote klimaatveranderingen met de afwisseling tussen de glacialen (ijstijden) en de interglacialen. Deze grote klimaatveranderingen zijn algemeen aanwezig en treden globaal synchroon op, maar wel met locale verschillen in de details van het verloop.
Het is hierbij nodig om onderscheid te maken in interne en externe factoren. Een ander belangrijk onderscheid is in primaire of onafhankelijke factoren en secundaire factoren. Interne factoren functioneren op Aarde en de externe komen van buiten. Ten opzichte van de systemen op Aarde zijn de externe factoren altijd primair. Een interne factor kan primair zijn, maar kan ook afhankelijk zijn van een andere factor. Van belang is vooral die afhankelijkheid van veel factoren, want hierdoor treedt interactie op. Enkele voorbeelden: Meer instraling door de zon (extern en primair) → opwarming → meer broeikasgas (intern en secundair) → opwarming. Meer instraling door de aardbaan (extern en primair) → opwarming → meer broeikasgas (intern en secundair) → opwarming. Meer actie van bepaalde organismen of mensen (intern primair) → meer broeikasgassen (intern secundair) → opwarming. Merk op dat door de secundaire factoren sprake is van interactie: de zon en aardbaan hebben hierdoor een directe en indirecte invloed op de opwarming. Verder is er ‘eerlijke’ competitie tussen factoren op hetzelfde niveau, zoals hier de zon en de aardbaan, maar niet tussen de verschillend niveaus vanwege de afhankelijkheid. Vanwege deze interacties kan je de werking van de ongelijke niveaus niet zomaar bij elkaar optellen, hoewel dat wel vaak gedaan wordt. In deze voorbeelden is heeft de zon zowel direct als indirect invloed op de opwarming, de organismen alleen indirect. Bovendien is de afhankelijkheid zeer breed en zijn de begrippen primair en secundair relatief. De koppel: meer instraling door de zon (extern en primair) → opwarming → meer organismen(intern en secundair) → meer broeikasgassen (intern tertiair) → opwarming kan ook aanwezig zijn. Het aandeel van de zon en de organismen bij de opwarming is door de interactie niet meer te bepalen in deze situatie.

1e Interne factoren. Variaties in gebeurtenissen binnen de klimaatsystemen op Aarde kunnen wellicht deze zeer indrukwekkende klimaat veranderingen veroorzaken. Variaties in factoren als de broeikasgassen, de albedo, de oceaan stromen en de atmosferische patronen blijken inderdaad een belangrijke invloed te hebben. Veel wetenschappers, zoals prof. C. Wunsch [Litt 8] en prof S. Rahmstorf [Litt 9] gaan dan ook uit van de dominantie van deze factoren. Deze interne factoren kunnen getriggerd worden door externe factoren. Daarbij veroorzaakt een kleine stimulus grote indirecte effecten in de klimaatsystemen op aarde. De hoeveelheden energie, die de klimaatverschuiving tot stand brengen, zijn vele malen groter dan de energie van de stimulus. Naast de aardbaan wordt ook de zon wel beschouwd als een factor, die kan bijdragen aan vormen van klimaat verandering door triggering. Vaak wordt de trigger gezien als onbelangrijk en het is een mening, die door veel wetenschappers aanvaard wordt dat ook zonder de externe prikkel veel klimaat verandering tot stand komt in zuiver stochastische processen, waarbij toevallige variaties elkaar min of meer periodiek versterken. Bij klimaat veranderingen door interne factoren, al dan niet met triggering, is het dus de variatie in de ontvankelijkheid van de atmosfeer en het oppervlak voor de instraling van de energie van de zon, waardoor de enorme klimaat veranderingen dan geheel of bijna volledig tot stand komen. Toch is het goed om een vraagteken te plaatsen bij dit vrij breed aanvaarde standpunt. Het probleem van de premisse van de dominantie van de interne factoren is dat deze

factoren een beperkte capaciteit hebben. De enorme klimaat veranderingen over de gehele Aarde, soms met temperatuur veranderingen tot meer dan 10° per 100 jaar in grote gebieden betekenen zeer grote veranderingen in de adsorptie van energie door de systemen op Aarde. Dit zou dan dus tot stand gebracht moeten worden door factoren als verschillen in broeikasgassen en in de albedo. De minimale broeikasgassen concentraties zijn in een typische glaciale periode ca 180 ppm voor CO_2 en ca 450 ppb voor CH_4. In de interstadialen en interglacialen zijn deze hoeveelheden ca 280 ppm CO_2 en 800 ppb CH_4 maximaal. Deze verschillen zijn veel te klein om een belangrijke bijdrage te kunnen leveren aan deze enorme fluctuaties in de energie huishouding van de Aarde. Ook het verlies aan albedo kan niet zo belangrijk zijn bij een opwarming, oa omdat de opwarming vaak veel sneller tot stand komt dan dat de kilometers dikke ijslagen op de continenten kunnen smelten.
Verandering in de transport van energie over de Aarde door zeestromingen komt ook al niet in aanmerking als belangrijke factor, omdat deze zeestromingen een locaal bereik hebben en de klimaatveranderingen zijn er over de hele Aarde. Bovendien kunnen veranderingen in zeestromen en in atmosferische stromingen alleen voor een andere verdeling van de warmte zorgen, maar zij hebben geen invloed op verandering in de absorptie van energie op de gehele planeet.
Een ander argument tegen de grote toevallige fluctuaties in het klimaat systeem als de dominante en potentieel primaire oorzaak van de grote klimaat veranderingen komt van de holistische biologische opvattingen. Vanuit het standpunt van de statistische en energetische entropie is het inderdaad plausibel a priori dat deze fluctuaties in de interne systemen op Aarde zeer groot en primair kunnen zijn. Het probleem is echter dat vele dingen en in het bijzonder levende organismen alleen op Aarde kunnen bestaan binnen een systeem met grote orde. Er moet dus een basale stabiliteit bestaan en gehandhaafd worden op aarde, gezien haar geschiedenis. In feite zijn de tegengestelde activiteiten van de diverse soorten van organismen de gemakkelijk zichtbare sleutel bij dat handhaven van evenwichten binnen de systemen. Sterke schommelingen in de koolstof cyclus en de broeikasgassen worden tegengegaan door de contraire acties van de organismen in hun strijd om te overleven. In dit opzicht zijn de autotrofe (CO_2 absorberende) organismen in dynamisch evenwicht met de heterotrofe (CO_2 producerende) organismen. Deze evenwichten worden altijd actief in stand gehouden en daardoor kost het energie om ze te verstoren. Als ze toch verstoord worden komt het evenwicht op een ander niveau en wordt daar weer gehandhaafd door de contraire biologische activiteit. Dat is altijd het beeld van de klimaat veranderingen, zoals hier verder beschreven wordt. Het punt hier is dus dat er kennelijk een orde bestaat in de systemen op Aarde, die door biologische processen actief in stand wordt gehouden, waardoor het zeer onwaarschijnlijk is dat sterke interne fluctuaties de primaire oorzaak zouden zijn van belangrijke klimaat veranderingen.

2^e Externe factoren. De meest waarschijnlijke verklaring van het beeld van de grafieken van **FIG 3a – 3k** en ook de meest eenvoudige is toch wel dat de zon als een andere externe factor domineert over de forcering door de aardbaan. Het probleem van de premisse dat de klimaatveranderingen op Aarde vaak gedomineerd worden door variaties in de activiteit van de zon is echter dat de natuurkunde daarvoor niet voldoende basale logische samenhang kan geven. Ook is het moeilijk om degelijk bewijsmateriaal te vinden over de variatie van de zon activiteit in het verleden. Er zijn globaal 2 aspecten aan de zon activiteit: de variatie in de energetische uitstraling en variatie in de magnetische velden van de zon en dus ook van het zonneplasma in de interplanetaire ruimte. Als er een variatie is van enkele procenten in de uitstraling, kan dat, ook fysisch gefundeerd, grote klimaat verschillen geven. Het idee dat de energie van de zonnestraling mogelijk wel zo'n 2% of 3% zou variëren wordt echter door astronomen doorgaans verworpen. Zij zijn van mening dat de uitstraling van de zon (nagenoeg) volledig gelijkmatig is en slechts heel langzaam in de loop van vele miljoenen jaren verandert vanwege de ontwikkeling in de kernfusie processen. Hoewel er geen enkel bewijs is voor een constante zonnestraling en dit a priori duidelijk minder waarschijnlijk is dan een variabele straling geldt de traditie van de zonneconstante helaas als wetenschappelijk

aanvaard. Zoals hier verder uiteengezet is een variabele straling waarschijnlijker vanwege het primaat van de entropie, de chaos, van waaruit dan vanwege de dialectiek van de natuur evolutie is. Er is dus een geleidelijke ontwikkeling van wanorde naar orde met bijvoorbeeld een (meer) gelijkmatige uitstraling. Hierbij verdwijnt de wanorde uiteraard niet, maar is er altijd een eenheid, of evenwicht van orde en wanorde. Op grond daarvan en vanwege alles wat we van de zon weten en nog niet weten, maar wel waarnemen, is zijn bestaan gebaseerd op dynamische evenwichten. De kennelijk bestaande dynamische balans in allerlei fysische processen maakt het a priori zeer onwaarschijnlijk dat de zon geen fluctuaties zou vertonen, terwijl ook a posteriori, dus door waarneming en ervaring, duidelijke aanwijzingen zijn voor een variabele uitstraling: Steeds meer sterren blijken nu variabel bij de moderne observaties. Ook de zon heeft men de laatste 30 jaar nauwkeuriger kunnen observeren en blijkt een variatie in de uitstraling te hebben van ruim 0,1% voornamelijk nog binnen het kader van de allang bekende zonnevlek cyclus. Alleen al de simpele extrapolatie van deze 0,1% over 30 jaar naar vele millennia is een goede verklaring voor de grote klimaatschommelingen op Aarde, die in **FIG 3a – 3k** zijn beschreven, door de dominante invloed van de zon erop.

De variatie van het magnetisch veld van de zon hangt fysisch samen met de cyclus in de zonnevlekken, die al ruim 400 jaar wordt waargenomen. Daardoor is de variatie in de aantallen zonnevlekken (SN) algemeen aanvaard als een parameter voor de magnetische activiteit van de zon. Deze variatie in de magnetische zon activiteit hangt verder statistisch en fysisch nauw samen met de kleine verschillen aan instraling, die men tot nu toe gevonden heeft. De variabele magnetische activiteit van de zon blijkt bij statistisch onderzoek ook samen te hangen met klimaat en temperatuur veranderingen. Waarom deze geconstateerde samenhang bestaat kan men fysisch niet volledig verklaren. Ook zijn de sinds 1978 gemeten verschillen aan instraling te klein om de klimaat verschillen te kunnen verklaren. Hoewel deze samenhang in fysisch opzicht dus nog niet goed begrepen wordt en nog niet verklaard kan worden als een fysische eenheid, is de waarschijnlijkheid ervan wetenschappelijk wel aanvaard, althans voor een beperkte periode. Alleen voor de laatste millennia, of wellicht het hele Holoceen wordt de relatie tussen magnetische zon activiteit en klimaat veranderingen algemeen als waarschijnlijk juist gezien. De laatste 11000 jaar is echter een periode met relatief weinig natuurlijke klimaat veranderingen. In de geologische context van veel langere perioden waren de klimaat veranderingen in het Holoceen klein, maar de impact op mensen hiervan is al wel aanzienlijk. De veel (tot 20X) grotere klimaat schommelingen van voor het begin van het Holoceen zijn in de officiële opvatting ineens niet meer door de zon veroorzaakt, maar door de aardbaan en getriggerd in het interne klimaat systeem, misschien ook enigszins door de zon. Zoals hier verder wordt uiteengezet zijn er echter door waarneming sterke aanwijzingen voor samenhang tussen de magnetische activiteit van de zon en de temperatuur in het Pleistoceen, meer dan in het Holoceen. Bepalingen van proxies (indirecte parameters), zoals ^{10}Be geven namelijk een duidelijke indicatie, zie **FIG 7**. Meer onderzoek zou hiervan wellicht op vrij eenvoudige wijze echte harde bewijzen kunnen geven over de relatie Zon – Aarde bij de grote natuurlijke klimaatveranderingen.

Literatuurlijst

1 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

2 Johnsen, S.J. ea: Nature Vol 431, September 2004. High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period, http://www.nature.com/nature/journal/v431/n7005/full/nature02805.html met de gegevens waarvan de grafieken zijn gemaakt: ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/greenland/summit/ngrip/isotopes/ngrip-d18o-50yr.tx

3 Jouzel, J ea in Science July 2007: Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800000 years. http://www.climate.unibe.ch/~stocker/papers/jouzel07scix.pdf met de gegevens waarmee de grafieken zijn gemaakt: ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/epica_domec/edc3deuttemp2007.txt

4 Alley, RB: The younger dryas cold interval as viewed from Central Greenland, Quaternary Science Reviews, 2000, 19: 213 – 266

5 Huybers, P and G. Denton, Nature Sept 21, 2008: Antarctic temperatures at orbital timescales controlled by local summer duration, http://www.people.fas.harvard.edu/~phuybers/Doc/Antarctic_summer_duration.pdf
6 Huybers, P, Science Vol 325: Antarctica's orbital beat zie http://www.people.fas.harvard.edu/~phuybers
7 Huybers, P. Science Vol 313: Early Pleistocene glacial cycles and the integrated summer insolation forcing.
8 Wunsch, C in Quarternary science rewiew Vol 23, 2004: Quantitative estimates of the Milankovitch forced contribution to observed quaternary climate change, http://ocean.mit.edu/~cwunsch/papersonline/milankovitchqsr2004.pdf
9 Rahmstorf, S et al in Nature 11 jan 2001, Vol 409, blz 153-158 en zijn site http://www.pik-potsdam.de/~stefan/thc_fact_sheet.html