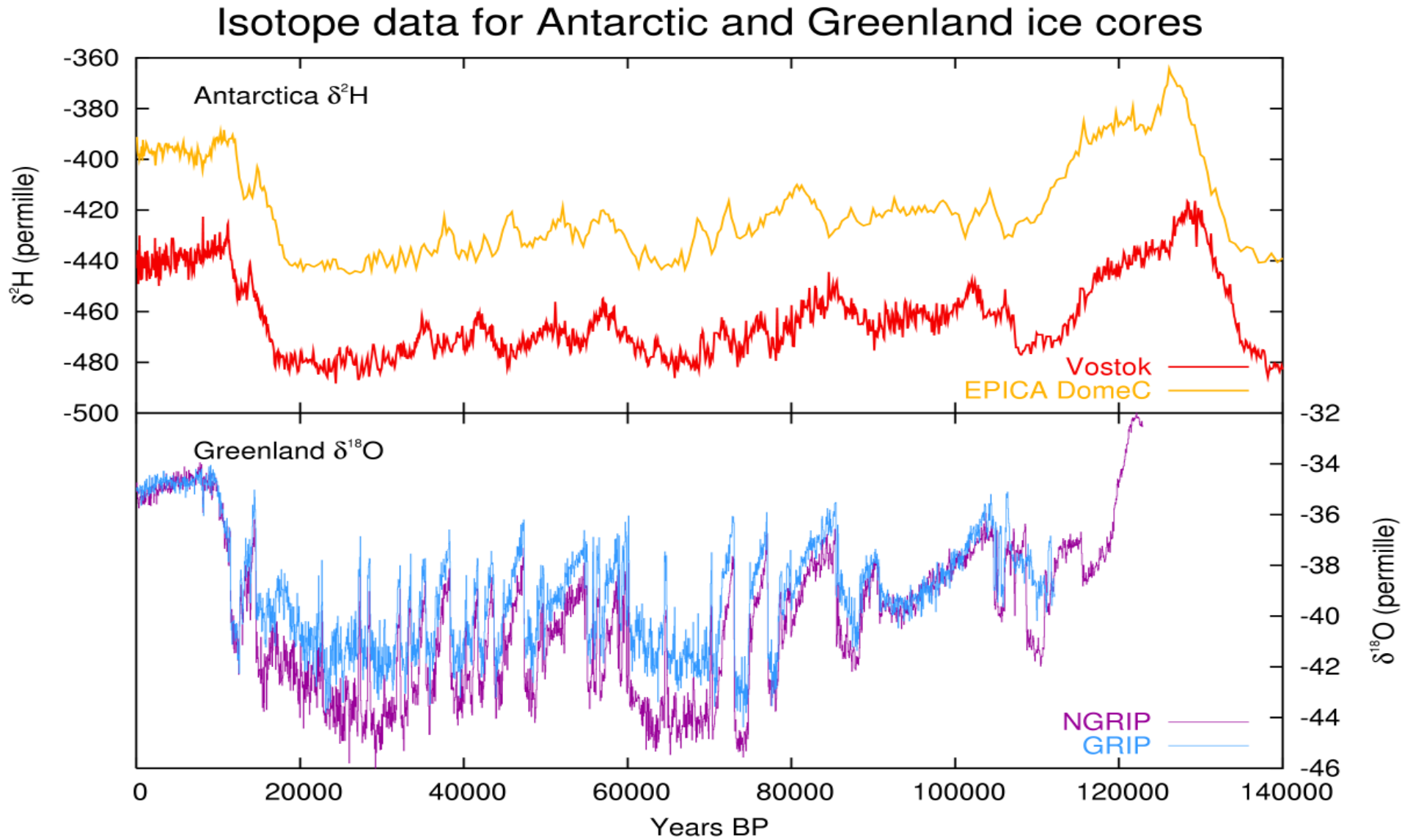


Snelle mega klimaatveranderingen tijdens de ijstijd, niet door fluctuaties in de Golfstroom.

FIG 2a (free copy from Wikipedia)



Het blijkt dat er tijdens het laatste glaciaal snelle klimaatsveranderingen zijn geweest. Als voorbeeld daarvan enkele resultaten van onderzoeken in de ijs boorkernen naar het verloop van de temperatuur tijdens de laatste ijstijd (glaciaal) en aan het eind daarvan bij de overgang naar het Holoceen, het interglaciaal waarin wij nu leven. De grafieken van **FIG 2a** zijn op Wikipedia gepubliceerd en samengesteld door Leland McInnes met gebruikmaking van de gegevens uit het ijs, die te vinden zijn op de sites [Litt 4] www.glaciology.gfz.ku.dk en www.ncdc.noaa.gov/paleo/indexice.html We zien op **FIG 2a** hoe de isotopen thermometer het temperatuursverloop aangeeft uit het ijs van 2 boorplekken op Groenland en op Antarctica. Hierin kan je al direct zien dat de laatste 'ijstijd' of glaciaal duurde van ca 120.000 tot 11.500 BP (before present). Na 11500 jaar BP is de periode van het Holoceen, de warme tijd waarin wij nu leven en die waarschijnlijk een interglaciaal is. Tussen ca 120000 en 135000 jaar geleden was het vorige interglaciaal (het Eemien). In dat vorige interglaciaal was het blijkbaar warmer dan tot nu toe in het Holoceen! Ook is duidelijk dat het in het glaciaal niet altijd even koud was in het Noorden. Er waren temperatuur pieken, waarbij de temperatuur zelfs bijna even hoog was als nu. Dezelfde maxima in de temperatuur tijdens het glaciaal op Groenland zijn op Antarctica vaak ook aanwezig als opwarmingen met een veel kleiner amplitudo (ca 3°C). De curve van Groenland piekt enorm in vergelijking met Antarctica en heeft een sterk zaagtand aspect met snelle opwarmingen en veel tragere afkoelingen. Het blijkt dat de gemiddelde temperatuur op Groenland vaak in enkele decennia 10°C is gestegen en doorging naar maxima, die tot 15°C hoger waren dan de basis temperatuur in het glaciaal. Daarna is de daling veel langzamer dan de stijging, zodat pas na eeuwen en soms millennia de basis temperatuur weer bereikt wordt. De temperatuur bleef daarbij in deze gebieden op Groenland nog ver onder nul, maar verder naar het zuiden in de enorme ijsvlakten op de continenten ging het ijs smelten. Dit beeld van deze warmere periodes of interstadialen was in een groot gebied aanwezig, zoals blijkt dan ook uit onderzoek van organisch materiaal dat gevonden is in Europa en Amerika en ook verder naar het Zuiden. Deze warme temperatuur schommelingen worden in de literatuur Dansgaard-Oeschger (D-O) events genoemd.

In **FIG 2b** heb ik een meer gedetailleerd beeld gemaakt over het verloop van de temperatuur en neerslag in Centraal Groenland (72° 36' N, 38° 30' W.) in de laatste 40000 jaar (40ky), dus de tweede helft van de laatste ijstijd en de huidige era, het Holoceen. Let op het verschil in de richting van de tijdlijn tussen **FIG 2a** en **2b**. Deze grafiek werd gemaakt met de gegevens van het ice core onderzoek GISP2 van R.B. Alley, USA. ¹ [Litt 5] De temperatuur interpretatie is door R.B. Alley gemaakt met zijn onderzoek op de stabiele isotopen, dus op meer of minder D en/of ¹⁸O in de neerslag. Bij de zwarte curve in **FIG 2b** gaat het dus om een temperatuur verloop in een wat grotere omgeving. De Ice accumulation van de blauwe curve uit **FIG 2b** is een belangrijke maat voor de hoeveelheid neerslag ter plaatse. De belangrijkste temperatuur pieken blijken overeen te komen met de beschreven D-O events of interstadialen, hetgeen met de nummers wordt aangegeven. Hierbij is de piek A dan het laatste, het zg Allerød interstediaal. De piek H geeft de aanzet tot het Holoceen en de laatste koude periode, het Younger Dryas is YD. Bij dergelijk onderzoek heeft prof. S Rahmstorf, uit Potsdam (D) ² ontdekt dat deze opwarmingen met een periodieke regelmaat optraden: er is daarin een periode van 1470 jaar herkenbaar. Rahmstorf laat zien dat vrijwel alle tevoren beschreven D-O events in het ritme zitten. Ook een aantal kleinere opwarmingen en de snelle opwarming aan het begin van ons warme interglaciaal (H), het Holoceen, kwamen tot stand binnen dit ritme. Deze periodes in de maximaal snelle opwarming van het klimaat blijken dus gemiddeld 1470 jaar te zijn met betrekkelijk kleine variaties. Er zijn echter wel een groot aantal 'paces' van 1470 jaar, die niet resulteren in een opwarming. Niettemin is de statistische relevantie van deze paces duidelijk. In de **FIG 2b** wordt het 1470 jaar ritme met de pijlen weergegeven. Verder waren er ook korte koude periodes, waarbij de

¹ Alley, R.B, 2004 GISP2 Ice core Temperature and accumulation data, NOAA/NGDC paleoclimatology program, Boulder CO, USA.

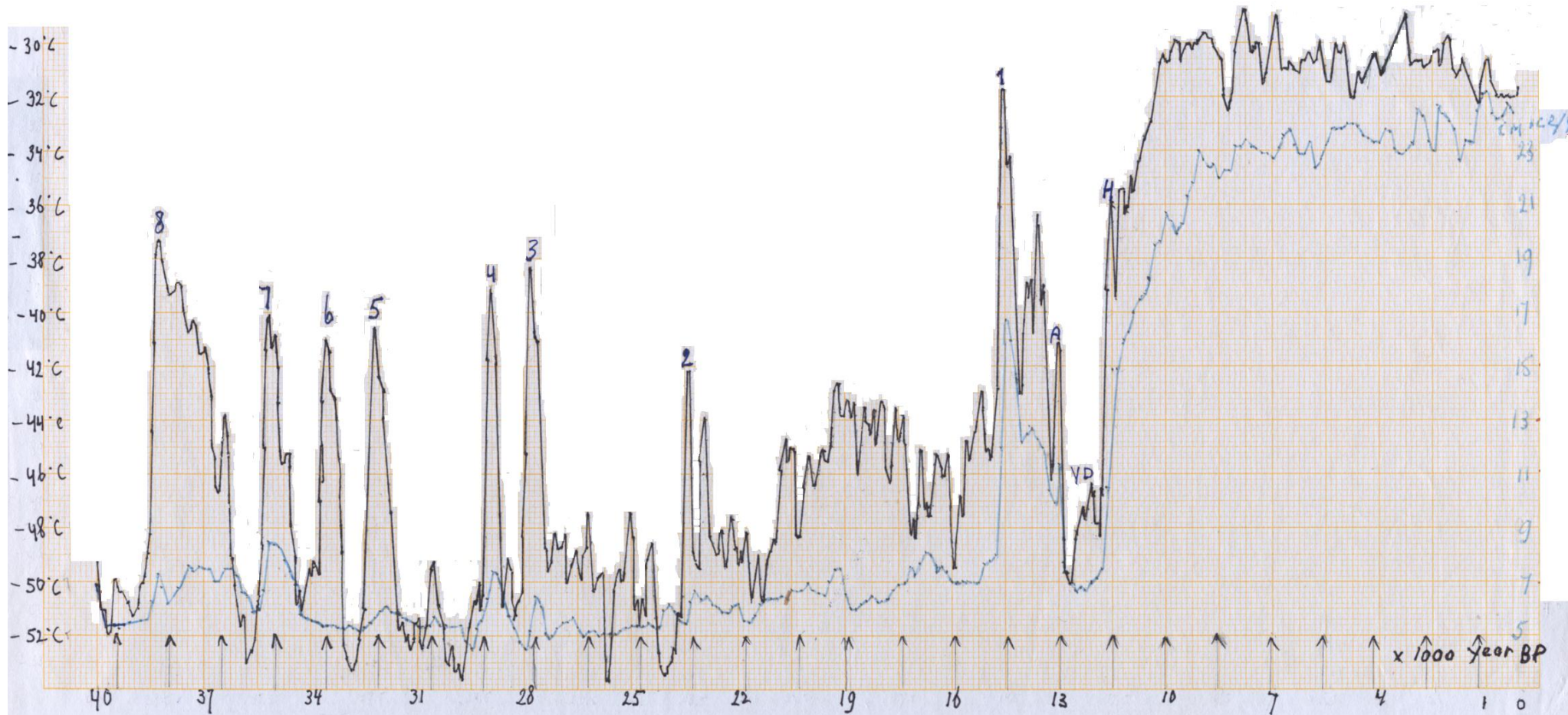
Zie ook http://hurricane.ncdc.noaa.gov/pls/paleo/fm_createpages.icecore

² Stephan Rahmstorf, Timing of an abrupt climate change: a precise clock, geophysical research letters, 2003, vol 30, 1510. Zie ook de site van prof Rahmstorf, <http://www.pik-potsdam.de/~stefan/Publications/index.html>

temperatuur in Groenland iets beneden het normale kwam. Dit zijn de diepte punten in de curve. Deze perioden worden Heinrich events genoemd en zij leidden veel verder naar het zuiden in thans subtropische gebieden, als Portugal tot een veel groter temperatuur en klimaat verschil dan op Groenland. Door de toegenomen ijsvorming kwamen in deze gebieden veel ijsbergen. De oceaan sedimenten uit die tijd bevat dan ook materiaal die door deze ijsbergen werden meegenomen in deze koude periodes. Deze Heinrich events gaven aanzienlijke afkoelingen in het Noord Atlantische gebied. Volgens veel onderzoekers waren er tijdens die

koude periodes in het Noorden nu juist de opwarmingen in Antarctica en waren de klimaat fluctuaties dus antifasisch. Toch is er veel onderzoek wat erop wijst dat de warme en koude periodes in het Noorden en Zuiden grotendeels gelijktijdig waren, dus in fase. Voorbeelden van grotendeels gelijktijdige klimaat variatie zijn **FIG 2a** en duidelijker **FIG 3k** van 'Klimaatinvloed van de aardbaan' hier. De absolute datering van de ijslagen is echter heel moeilijk en daarmee is de tijdsvergelijking tussen materiaal uit Groenland en Antarctica vaak onzeker.

FIG 2b



Wat opvalt aan **FIG 2a** en **2b**:

-Er waren in de laatste ijstijd extreme klimaatsveranderingen met zeer snelle opwarmingen en iets tragere afkoelingen. Geprojecteerd op onze situatie zou dan een opwarming, die begon in 1850 thans hebben geleid tot een tropisch klimaat in Nederland en een afkoeling, die begon in 1600 zou dan nu hier tot een poolklimaat hebben geleid. Wij kennen dergelijke verschuivingen dus niet. Het is dus duidelijk dat het klimaat in de laatste ijstijd veel grilliger was dan wij kennen uit ons tijdperk het Holoceen. Ook hier zijn er verschillen tussen het klimaat in Europa in bijvoorbeeld de 17^e eeuw en nu, maar deze vallen in het niet in vergelijking met de klimaat verschillen tijdens de laatste ijstijd. De vraag is dan ook waardoor werden deze grote en snelle klimaat veranderingen veroorzaakt. Het valt niet mee hiervan in de literatuur een goede verklaring te vinden.

-Er is in de opwarmingen tijdens de ijstijd en de overgangperiode een ritme te herkennen van gemiddeld 1470 jaar. Dit ritme is niet zo duidelijk aanwezig bij de veel kleinere temperatuur variaties tijdens het Holoceen.

-De extreme temperatuur veranderingen tijdens de ijstijd geven relatief kleine verschillen in de hoeveelheid neerslag. Echter tijdens het laatste interstadiaal en tijdens het Holoceen is de neerslag wel duidelijk toegenomen.

Het lijkt mij voor de hand te liggen dat variaties in activiteit van de zon de oorzaak is van deze indrukwekkende klimaat veranderingen, hoewel fysiek niet duidelijk is hoe de zon een dergelijke invloed heeft op het klimaat. Verderop wordt hier uiteengezet waarom variaties in de activiteit van de zon waarschijnlijk een belangrijke directe oorzaak is van deze klimaat veranderingen. Veel wetenschappers, zoals Prof S. Rahmstorf wijzen echter de variaties in de circulatie van het oceaanwater door thermo-haline forcering aan als 'de' oorzaak, waarschijnlijk omdat het fysiek te onderbouwen is, hoe deze variaties in de zeestromen door verschillen in temperatuur en zoutgehalte kunnen ontstaan en klimaatveranderingen **kunnen** veroorzaken. Op de site van Stephan Rahmstorf en de in de literatuur wordt dit uitvoerig uiteengezet. Stefan Rahmstorf et al. beschrijven dat een relatief zeer kleine

prikkel de dynamiek in de Noord Atlantische Golfstroom totaal kan wijzigen en dat dit de oorzaak is van de snelle opwarmingen bij de D-O events en de afkoelingen bij de Heinrich events. Als er iets meer zoet smeltwater in het Noorden (tussen 50° en 70° NB) in de oceaan komt kan de Golfstroom niet bezinken en zal het hele thermo-haline systeem worden afgeremd en ontstaat daardoor de afkoeling van het Heinrich event. Als er iets minder dan gemiddeld zoetwater in de Golfstroom komt wordt thermo-haline motor versterkt, zodat de stroom verder naar het Noorden reikt en de snelle opwarming van het D-O event ontstaat. De voortgang van de Golfstroom wordt namelijk uitsluitend geforceerd door verschillen in de dichtheid van het water, die bepaald worden door verschillen in temperatuur (thermo) en het zoutgehalte (haline). Het systeem is afhankelijk van deze thermo-haline forcering bij zijn verticale circulatie zo redeneert men. Variaties in het zoutgehalte nabij de oppervlakte konden in de ijstijd in dit model daardoor de mogelijkheid om in het Noorden te bezinken beperken en dus als beperkende factor het gehele globale Golfstroom systeem besturen³.

Er zijn echter veel argumenten dat variaties in de Noord-Atlantische zeestromingen op basis van variaties in wind, watertemperatuur en zoutgehalte deze klimaatveranderingen niet in belangrijke mate hebben veroorzaakt, zoals :

³ Zie Stefan Rahmstorf 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

-Indien de opwarmingen in Centraal Groenland en omgeving veroorzaakt werden door een toenemende invloed van relatief erg warme water van Noord Atlantische zeestromen op het klimaat van de zeer koude continenten en Groenland moet dat ook hebben geleid tot een forse toename van de neerslag. Hiervan blijkt niets uit de ijsboringen, volgens **FIG 2b**. De accumulatie nam iets toe tijdens de D-O events, maar bleef zeer gering. Na 15000 jaar BP en in het Holoceen is er wel meer neerslag, maar het klimaat blijft dan nog droog en ook nu is de invloed van de Oceaan in Centraal Groenland beperkt.

-De constante zeestromingen, worden in belangrijke mate door de zwaartekracht gedreven. Evenals bij de eb en vloedstroom kunnen allerlei variabele factoren zoals wind en verschil in zoutgehalte de stroming wel versterken of verzwakken maar niet stilleggen. De Golfstroom heeft een enorme energie: Als al het water van de Golfstroom tussen Hoek van Holland en Harwich door de relatief ondiepe Noordzee (gem. 35 m) zou stromen, zou het water een stroomsnelheid hebben van ca 10 km/h. Hij heeft dus de energie van een rivier, die sneller stroomt dan de Rijn in Duitsland en de omvang heeft van de Noordzee voor de Hollandse kust. De belangrijkste motor hiervan is volgens mij de g kracht. Het water van de oceaan wordt door de draaiing van de Aarde bij de evenaar naar buiten gezwiept en valt als het ware bij de polen weer naar beneden. Indien de Aarde niet om haar as zou draaien zou de afplatting van de Aarde, het verschil van ca 21 km tussen de aardas vanuit de Noordpool en de equator, fungeren als een groot hoogte verschil. Het water van de oceanen zou dan met grote snelheid naar de polen lopen en volledig gericht worden door de statische zwaartekracht. De vorm van de Aarde met al het water zou dan veel meer op een bol lijken dan nu, maar wel met onregelmatigheden door de verschillen in dichtheid en massa van de onderliggende vaste materie. De afplatting aan de polen is echter veroorzaakt de door centrifugale kracht ten gevolge van de draaiing van de Aarde om haar as en hierdoor wordt ook het oceaan water op zijn plaats gehouden. Echter niet helemaal, want water kan stromen en dezelfde massa van 1 kg water weegt op de pool 5 gram meer dan op de evenaar. Bovendien werkt de centrifuge aan het oppervlak

sterker dan op de bodem van de oceaan. De g kracht is bij de evenaar aan het oppervlak iets kleiner dan op de bodem en dat verschil wordt bij toenemende breedte steeds minder. De hoek tussen de centrifugale kracht en de zwaartekracht is op de evenaar 180° en loopt terug tot 90° op de pool, zodat daar geen effectieve centrifugaal kracht meer is. Het wateroppervlak van een draaiende Aarde zonder continenten, zonder wind en zonder verschillen in instraling en zoutgehalte zou typische wervelingen vertonen tgv de resultante van de g krachten door de massa aantrekking en de centrifugaal kracht. Het is duidelijk dat er hierdoor op de evenaar opwellingen ontstaan en een sterke stroming tegen de draairichting van de aarde in, dus van Oost naar West, zodat het vloeibare oppervlak bij de evenaar iets langzamer met de Aarde mee roteert en de rotatie tijd op de vloeibare equator iets meer bedraagt dan de 23 uur en 56 min van de vaste Aarde. Vanuit deze equatoriale stromen ontstaan aftakkingen naar het Noorden en Zuiden en neringen (tegenstromingen) van West naar Oost, zodat er volledige wervelingen ontstaan op het Noordelijk halfrond met de klok mee en er tegen in op het Zuidelijk halfrond. Ook verticaal kunnen deze wervelingen ontstaan, maar op lage breedte zal nog weinig water bezinken. Wel zijn er grote stromen verder naar de polen en rondom de polen zijn grote West naar Oost tegenstromingen. Van hieruit komt veel water naar de polen gestroomd en komt daar bijeen en gaat bezinken om over de bodem van de oceaan terug te stromen naar de evenaar. Dit principe is dan ook op Aarde duidelijk aanwezig, maar de beweging van het water wordt nu veranderd door de aanwezigheid van continenten en ijs. Belangrijk voor de dynamiek van de zeestromingen is ook de invloed van de wind, verschillen in luchtdruk en de thermo-haline forcering dus door verschillen in temperatuur en zoutgehalte, maar de g krachten domineren. De thermo-haline forcering en de g forcering versterken elkaar vaak: Bij de toenemende breedte krijgt het water aan de oppervlakte een grotere dichtheid door de afkoeling en dus inkrimping en ondergaat het ook de grotere g kracht van de hogere breedte met hetzelfde effect. De atmosfeer heeft een nietige massa in vergelijking met de oceaan, die gelijk is aan de eerste 10 meter oceaan. Toch kan de atmosfeer een belangrijke dynamische invloed

op oceaan stromen uitoefenen. De wind, verschillen in luchtdruk en de thermo halieene forcering kan de stroom versterken en misschien van richting veranderen, maar dit alles kan geen globale zeestroom aandrijven, zoals wel beweerd wordt. De hoofdmotor van de zeestroming is de g kracht. Dit is vergelijkbaar met de beter zichtbare invloed van zon en wind op de getijde stromen en de hoogwater standen. Echter de getijden stroming zelf, wordt gedreven door de wisselende richting van g krachten van de zon en de maan. Een hoofdrol dus voor de g krachten, die ook wel coriolis krachten en effecten worden genoemd. Dat is echter verwarrend, want anders dan bij de bewegingen in de atmosfeer is het hier de drijvende kracht. De forcering van de stromingen door de differentiële zwaartekracht kan men ook beschouwen als differentiële rotatie: de rotatie snelheid van het vloeibare aardoppervlak is op de evenaar trager dan op hogere breedte. Door de traagheid van de massa blijft het oceaan water achter en roteert het aan de evenaar trager dan de vaste Aarde. Dit veroorzaakt horizontale en verticale circulaties in het oceaan water. Door de aanwezige continenten worden de stromingen geblokkeerd en van richting veranderd. Dit effect van de differentiële rotatie is dus aanwezig op Aarde, waar het oppervlak grotendeels vloeibaar is. Op de gas planeten als Jupiter en ook bij de zon is deze differentiële rotatie zeer duidelijk aanwezig en heeft belangrijke gevolgen voor oa de periodes van magnetische activiteit van de zon. Bij planeten en sterren, die uit gas bestaan is de rotatie aan de evenaar juist sneller dan aan de polen. Dit komt doordat gassen uitzetten als ze opstijgen naar het oppervlak, waar druk en temperatuur lager zijn. Gassen worden dus door de rotatie versneld tov vaste lichamen. Vloeistoffen zijn echter niet samendrukbaar en worden vertraagd na opwelling.

- Het systeem van de Golfstroom en de Noord Atlantische stromen functioneerde gedurende de gehele glaciële periode permanent anders en de hoeveelheid warm water dat vanuit de Golf van Mexico naar het Noorden ging was daardoor waarschijnlijk veel kleiner dan nu, zodat variaties daarin minder groot kunnen zijn dan je met het huidige Golfstroom systeem zou veronderstellen. Het water niveau in de oceaan was in de glaciële tijden tot ca 120m lager dan thans. De kustlijnen waren daardoor anders als nu in het gebied dat thans de 'pomp' is van de warme golfstroom naar het Noord Westen.

Florida was toen veel breder dan nu en de straat van Florida dus veel smaller. Voor de uitgang van deze zeestraat lag toen bovendien een groot eiland, waarvan nu nog slechts de Bahama's resulteren. Het warme water uit de Golf van Mexico werd toen dus geblokkeerd op zijn weg naar het Noorden. De stromingen moeten dus anders geweest zijn tijdens de glacialen en waarschijnlijk ging er hierbij permanent veel minder warm water naar het Noorden. Indien er ten gevolge van de glaciële – postglaciële bodem bewegingen nog meer grote eilanden in de Atlantische Oceaan lagen, bekend als Atlantis (zie blz 118 - 120), dan was de doorstroming van warm water naar het Noorden tijdens de ijstijden permanent vrijwel onmogelijk. De theorie van het bestaan van het eilandenrijk Atlantis dwars over de Oceaan is echter sterk omstreden, maar algemeen aanvaard is wel dat de kustlijn anders was door de veel lagere zeespiegel met beperking van de Golfstroom.

Het is dus duidelijk dat er in de recente geschiedenis van de Aarde enorme klimaat veranderingen waren, die onze vooraanstaande wetenschappers eigenlijk niet goed kunnen verklaren. Dit is jammer, want deze inzichten zijn wel nodig voor een goed beleid inzake het broeikasgas probleem. Laten we dus de factoren die van belang kunnen zijn bij klimaatverandering eens punt voor punt nagaan. Als de grafieken van **FIG 1** meer gedetailleerd worden weergegeven, is te zien dat bijvoorbeeld aan het einde van het glaciële de primaire temperatuurstijging steeds is voorafgegaan aan de toename van de broeikasgassen. Er moet dus een andere oorzaak zijn voor deze primaire temperatuurstijgingen. Pas na enkele decennia tot eeuwen volgt dan de stijging van de broeikasgassen en die kunnen dan het hogere temperatuurniveau bestendigen totdat er door de primaire oorzaak een temperatuursdaling komt, weer gevolgd door een daling van de gassen en bestendiging van het lagere niveau. Het idee is dus dat deze primaire factor een externe factor is, die van buitenaf het aardse klimaatstelsel beïnvloedt. Immers de broeikasgassen spelen een grote rol in het interne klimaat systeem op Aarde. Als het klimaat zou veranderen door interne factoren, zouden de veranderingen in de broeikasgassen waarschijnlijk in veel gevallen vooraf gaan aan de veranderingen in temperatuur. Bovendien blijkt er een regelmaat te zijn in de klimaatveranderingen.

Dit alles wijst erop dat de klimaatveranderingen waarschijnlijk primair veroorzaakt worden door externe factoren. Als waarschijnlijke bron voor de klimaat veranderingen komen dus in

aanmerking: de cyclische variaties in de beweging van de Aarde ten opzichte van de zon en de variaties in de activiteit van de zon zelf.

Literatuurlijst:

- 1 Site van NSDAC over Arctic sea ice news: <http://nsidc.org/arcticseaicenews>
- 2 Site Planet Terre (Franstalig educatief; Info niet in het Engels gevonden): <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-temperature-des-glaces.xml>
- 3 Site van NOAA met gegevens van ijsboorkernen: http://hurricane.ncdc.noaa.gov/pls/paleo/fm_createpages.icecore
- 4 Site van Niels Bohr instituut met gegevens van ijsboorkernen www.glaciology.gfy.ku.dk
- 5 Alley, R.B, 2004 GISP2 Ice core Temperature and accumulation data, NOAA/NGDC paleoclimatology program, Boulder CO, USA
- 6 Rahmstorf, S. Timing of an abrupt climate change: a precise clock, geophysical research letters, 2003, vol 30, 1510. Zie ook de site van prof Rahmstorf, <http://www.pik-potsdam.de/~stefan/Publications/index.html>
- 7 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