

Is de straling van de zon (bijna) constant of is ze met enkele procenten variabel? Een discussie.

In de tijd voor de satelliet waarnemingen en metingen was het onder astronomen algemeen aanvaard dat de straling van de zon geheel constant is gedurende miljoenen jaren, met een zeer langzame toename over honderden miljoenen jaren. De huidige waarnemingen van 0,1% variatie bracht daar niet veel verandering in. Men gelooft nog steeds dat de zon altijd slechts dergelijke kleine variaties heeft gehad, verbonden met de 11 jarige zonvlek cyclus. Hoewel deze variatie van 0,1% klein is kan hij toch enige invloed hebben op het klimaat. In feite wordt deze bescheiden zon variatie door vele wetenschappers beschouwd als een stimulus voor klimaat verandering, die alleen werkt door de positieve feedback, die het signaal van de zon ontvangt van de systemen op Aarde, zoals hier verder wordt beschreven. Volgens dit inzicht is de zon variatie altijd erg klein, maar kan toch wat meer impact hebben als zij langer duurt. Bijvoorbeeld gedurende de hele periode van het Maunder minimum (1620 – 1715) werden erg weinig zonvlekken geteld. Vanwege de positieve feedback en de duur kon de 0,1% of misschien 0,2% minderstraling dan nu in de zonnemaxima de temperatuur dip van de kleine ijstijd in de 17^e eeuw hebben veroorzaakt. Dit is ongeveer het algemeen aanvaarde beeld van de zon variatie en de invloed daarvan op klimaat verandering. Ik denk echter dat het nodig is om hier vraagtekens bij te zetten, omdat:

We hebben geen enkel bewijs voor de premisse van de constante zon.

Voor de premisse van de variabele zon hebben we ook geen bewijs. Toch is de variabele zon waarschijnlijker dan de (bijna) constante zon, omdat praktisch alles wat we kunnen observeren fluctueert en verandert en meer naarmate de observatie periode groter is. Bovendien zijn er wel enkele specifieke aanwijzingen voor de premisse van de veranderlijke zon:

1^e Apriori

Enige basale kennis van de fysica van de zon leert ons dat een evenwicht van krachten ten grondslag ligt aan de activiteiten van de zon. Dit is al een aanwijzing voor variabiliteit, omdat evenwichten niet kunnen bestaan zonder oscillatie en dus fluctuatie. De implosieve zwaartekracht is altijd in evenwicht met de explosieve kracht van het plasma van de zon. De energie van het hete zonnegas (plasma) wordt opgewekt in de zonnecore door de fusie van atoomkernen, waarbij zwaardere atomen en straling (fotonen) ontstaat. Deze fotonen worden in het lichaam van de zon gedurende honderdduizenden jaren vastgehouden. De fotonen zijn gebonden aan atoomdeeltjes en worden voortdurend van het ene deeltje naar het andere verplaatst. Hierbij is er per saldo een heel trage opwaartse beweging van de energie door straling. In de buitenste 200000 km van de zon bewegen de fotonen, gebonden aan deeltjes, verder naar het oppervlak door convectie (stroming). Bij beide vormen van energie transport is veel interactie tussen de fotonen en de deeltjes wat wel moet leiden tot fluctuaties. Dit is alleen goed te zien aan het oppervlak

van de zon (fotosfeer), die een indrukwekkend beeld vertoont van elektromagnetische interactie. Hierdoor zijn er lokaal zeer grote variaties in transport en uitstraling van energie. De variatie in de totale uitstraling blijft hierbij vooralsnog beperkt in de waarnemingen van 30 jaar, maar bij deze dynamiek verwacht je grotere fluctuaties over langere periodes. Vooral fluctuaties in het transport van de energie zijn waarschijnlijk, terwijl fluctuaties in de energie productie ook niet uitgesloten zijn. Bij deze dynamiek zal de grote voorraad aan energie van de zon ook enigszins variëren en dat zal weer veranderingen geven in de vorm of samenstelling van het zonnelichaam. Als de zon energie verliest en de zwaartekracht constant blijft, kan de hele zon kleiner worden, maar het evenwicht kan ook herstellen als alleen een laag binnen in de zon kleiner en dichter wordt.

Bovendien is het mogelijk dat er variaties zijn in de zwaartekracht op de zon. Een oorzaak daarvan is de variatie in de getijde krachten, die de planeten uitoefenen op de zon vanwege hun elliptische baan, maar de gevolgen hiervan aan variaties in de vorm van het zonnelichaam en de uitstraling is veel te klein om duidelijke verschillen te veroorzaken. De planeten zijn zeer klein in verhouding met de zon, die 99,8% van de massa van het zonnestelsel bevat. De zwaartekracht en getijde werking van buiten het zonnestelsel is echter veel belangrijker voor de zon. Dit hangt immers samen met de beweging van de zon in een baan rondom het centrum van de Melkweg, met een snelheid van thans ca 220 km/sec. Dat is dus veel meer dan de snelheid van de Aarde in haar baan om de zon, gemiddeld 29,8 km/sec. De bron en de aard van de krachten, die de banen van de sterren door de

Melkweg bepalen is echter nog onbekend. Daardoor kan deze zwaartekracht en getijden werking vanuit de Melkweg op de zon in principe variabel zijn en kunnen ze dus variaties in de activiteit van de zon induceren.

Verder is de straling en de zonnewind, die de Aarde bereikt voor een groter deel afkomstig van de equatoriale gebieden van de zon dan van zijn polen. Daardoor kunnen fluctuaties in het aandeel dat de polaire en equatoriale gebieden hebben in de totale uitstraling van de zon variaties veroorzaken in de instraling van de zon op Aarde, terwijl de totale hoeveelheid energie, die de zon de ruimte instraalt ongeveer constant blijft. Waarnemingen geven aanwijzingen voor dergelijke breedte variaties op de zon.

Er zijn dus a priori veel fysische mogelijkheden voor variatie in de activiteit van de zon, op lange termijn waarschijnlijk groter dan dat het wetenschappelijk onderzoek nu in onze tijd kan vaststellen.

2^e A posteriori

Ook vanuit onderzoek met waarneming zijn er aanwijzingen. Het is mogelijk de magnetische activiteit van de zon te onderzoeken met indirecte parameters, zg proxies. De gegevens van 400 jaar tellingen van de aantallen zonvlekken (SN) en het onderzoek met de radionucleïden (^{14}C en ^{10}Be) voor het tijdperk van het Holoceen (11500 jaar) geeft bewijsmateriaal voor meer variatie van de zon dan nu is waargenomen met de satellieten. Buiten het huidige tijdperk van het Holoceen is slechts weinig onderzoek met ^{10}Be en ^{14}C naar zon variatie. Dat weinige ^{10}Be

onderzoek geeft, zoals beschreven aanwijzing voor veel grotere variatie van de zon tijdens de ijstijd en bij de klimaat overgang naar het Holoceen dan we kennen uit het huidige Holoceen met zijn relatief stabiele klimaat. Hoewel dat in principe een belangrijk gegeven is, is er te weinig vergelijkingsmateriaal waardoor dit onderzoek weinig bewijs oplevert. Vooral over de laatste eeuwen van het Holoceen is er meer bewijs voor de variabiliteit van de zon, maar alle onderzoek van de zon proxies (SN, ^{14}C en ^{10}Be) geven alleen informatie over de specifieke magnetische activiteit van de zon dus van zijn totale deeltjes straling. Bovendien zijn storende factoren mogelijk. Deze observaties kunnen dan ook geen afdoend antwoord geven op de vragen over de klimaatdrijving door de zon, omdat er geen fysische connectie is. Het is immers niet bekend hoe deze specifieke magnetische activiteit het klimaat op Aarde kan veranderen.

Het is natuurlijk wel duidelijk hoe verandering in de hoeveelheid van de elektromagnetische straling, voornamelijk in het zichtbaar licht en infrarood, het klimaat kan veranderen. Het is fysisch wel duidelijk dat er kwalitatief een relatie is tussen de onbekende variatie in de elektromagnetische straling en de verandering in de deeltjes straling, of het magnetische veld, waarvan wel gegevens zijn. Deze relatie is echter niet gekwantificeerd. Verder zijn er wel veel statistische correlaties gevonden tussen de magnetische variaties van de zon volgens de proxies en de klimaatfactoren, zoals temperatuur, neerslag, enz. Vanwege deze informatie is klimaat drijving door de zon met positieve feedback door velen aanvaard voor het Holoceen, vooral voor de laatste millennia. Klimaat drijving door de zon wordt echter algemeen

verworpen voor de tijd voor 11500 voor heden (BP), de ijstijd, hoewel de snelle klimaat variaties in die tijd veel groter waren dan in het Holoceen, zodat ze minder gemakkelijk onafhankelijk van de zon door interne fluctuaties op Aarde kunnen zijn veroorzaakt. Ook is de correlatie met de zon proxy ^{10}Be tijdens de ijstijd (Pleistoceen) veel groter dan tijdens het Holoceen bij het weinige onderzoek dat er is. Tenslotte is de zon eenvoudigweg potentieel een goede kandidaat om de snelle en intense klimaat schommelingen tijdens het pleistoceen te veroorzaken, temeer daar er in het optreden van deze interstadialen ook nog een cyclus van gemiddeld 1470 jaar te herleiden is, die overeenstemt met gekende periodes in de zonnecycli. Het is dus merkwaardig dat de relatie tussen zon en klimaat variatie tijdens het pleistoceen niet verder is onderzocht. De grote klimaatvariaties in het verleden voor 11500 BP wijzen op een grotere zon variatie voor iemand die niet zomaar op gezag aanneemt dat de zon vrijwel constant is.

De gemeten variatie

Met de ^{10}Be , de ^{14}C en de SN proxies hebben we dus nogal wat specifieke informatie over de variabiliteit van de zon in het verre verleden, maar wat de exacte kwantitatieve variaties zijn bij de diverse fysische aspecten van de zonneactiviteit is alleen bekend over de laatste 30 jaar. Vele vormen van straling van de zon worden door de atmosfeer tegen gehouden en kunnen dus niet op het oppervlak van de Aarde onderzocht worden.

Daardoor kunnen we alleen met de observaties vanuit satellieten en ruimteschepen een volledig beeld krijgen van de variaties in de diverse aspecten van de zon straling, zoals die de buitenste lagen van de aardatmosfeer bereikt en hierover zijn pas vanaf

1978 gegevens. In tabel 1 staan deze specifieke variaties als jaarlijkse gemiddelden over de laatste ca 30 jaar.

TABEL 1¹

E.M. ZONNENSTRALING	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 μW/m ²	0,7 μW/m ²	rel 50%	0-30 km	Sterk(+nuclear)
Snelle Protonen vd Zon		2 mW/m ²	rel 100%	30-90 km	Sterk(+nuclear)
Aurora protonen en elektronen	1 mW/m ²	20 mW/m ²		100-120 km	Matig
Joule Heating	20 mW/m ²	2 W/m ²		100-150 km	Matig

¹ <http://sdo.gsfc.nasa.gov/mission/science/solarirradiance.php>

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 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, hoewel dat waarschijnlijk wel mogelijk was. Een belangrijke 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 geen zin heeft hiernaar metingen te doen. De Galactische Kosmische Straling (GCR) bestaat grotendeels uit deeltjes, zoals zeer snelle protonen met een energie tot 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 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.

Deze over 30 jaar gemeten variatie van 0,1% in het jaarlijkse gemiddelde van de TSI op Aarde is een sterke aanwijzing voor grotere variatie van de zon. Deze observatie is natuurlijk slechts een momentopname in de miljarden jaren van het bestaan van de zon en in de miljoenen jaren waarin we geïnteresseerd zijn voor de relatief recente klimaatgeschiedenis. De extrapolatie van deze

gegevens uit de waarneming over slechts honderdduizend jaar laat zien dat de gemeten variatie in dit grotere tijdsbestek mogelijk of waarschijnlijk toeneemt tot enkele procenten. Deze eenvoudige extrapolatie van de gegevens uit de satelliet waarneming wijst dus op de zon als een potentieel belangrijke drijver van de snelle en grote klimaat variaties op Aarde in de cycli van de ijstijden met de interglacialen en de interstadialen, die het tijdperk van het quartair kenmerken, onverlet de klimaat drijving door de aardbaan en andere factoren. Verder is van belang dat althans in de huidige situatie ca 75% van de variatie in de energie stroom van de zon naar de Aarde ook het oppervlak bereikt en direct invloed heeft op klimaat veranderingen. De overige 25% variatie wordt geabsorbeerd in de hogere lagen van de atmosfeer en heeft op het klimaat een indirect effect dat dan dus groter of kleiner is dan lineair. Van bijzonder belang is echter dat deze variatie in de hoger energetische deeltjes en straling (fotonen) ook geheel andere effecten heeft op het oppervlak dan klimaatverandering en deze niet-klimaat effecten hebben ongetwijfeld hun sporen nagelaten, als de variaties maar voldoende groot waren.

Een mogelijk voorbeeld van de niet-klimaat effecten door de grotere variatie in de sterk energetische stralingsvormen en dus een mogelijk bewijs voor de grotere zon variatie is een andere indrukwekkende gebeurtenis namelijk de massale uitsterving van grote diersoorten aan het eind van de ijstijd. Op alle continenten, behalve Afrika stierven zeer veel soorten uit. In Noord Amerika was dit 70% van de diersoorten vanaf de omvang van een geit en ook vele plantensoorten. Vele van deze soorten stierven in relatief korte periodes uit, terwijl het tevoren

succesvolle soorten waren, die in grote hoeveelheden voorkwamen. Er was minder uitsterving in de Tropen en ook minder bij de kleinere dieren in de gebieden met een gematigd of koel klimaat. De oorzaak van deze gebeurtenissen is een raadsel. Alle pogingen om dit te verklaren zijn niet overtuigend en hebben oa geleid tot de absurde theorie dat prehistorische mensen soorten als de mammoet zouden hebben uitgeroeid, terwijl deze dieren frequent voorkwamen over de hele continenten en er in de meeste gebieden geen of sporadisch resten van mensen worden gevonden. Verandering in de straling van de zon met enkele procenten in combinatie met genetische factoren kan wel een goede verklaring zijn voor het uitsterven. De intensiteit van de straling van de zon in het zichtbare licht kan wellicht in enkele decennia toenemen van een niveau dat enkele procenten lager ligt tot op het huidige niveau. Als dit gebeurt is de toename in het UV bereik groter dan in het zichtbare licht. Daarbij kan de ozon laag tijdelijk niet alle ioniserende UV straling tegenhouden, omdat de hoeveelheid ozon maar langzaam kan toenemen en dan achterblijft bij de snelle toename van UV straling door de zon. De ioniserende UV straling die zo tot het oppervlak doordringt heeft een mutageen effect bij levende organismen. Sommige mutaties in het DNA kunnen kanker veroorzaken, maar de genetische mutaties zijn belangrijker. Deze mutaties worden doorgegeven naar volgende generaties en gaan zo deel uitmaken van de genetische samenstelling van de populaties. Deze nieuwe genetische mutaties ontstaan vaak door straling op de teelballen. Hoewel enkele van deze mutaties nuttig kunnen zijn doordat ze meer mogelijkheden voor overleving brengen, zijn al de mutaties door UV straling gebaseerd op DNA schade en als dat van belang is voor het organisme betekent dat

altijd verlies van functie. De dieren kunnen over het algemeen goed overleven bij enig functie verlies in de stofwisselingspaden, maar dat wordt wel een probleem als de mutaties met de kleine storingen ophopen. Het is bekend dat kleine dieren minder kans hebben dan grote op ophoping van mutaties door straling. Ook dieren in de Tropen lopen minder risico, omdat zij beter aangepast zijn aan hogere doses UV straling. Deze mutaties worden vaak niet verwijderd uit de populatie door de evolutionaire selectie, volgens de 'survival of the fittest'. Integendeel, juist door de selectie accumuleren de mutaties vaak in de populatie.

Beschadiging van het genetisch DNA door UV straling betekent in principe altijd geheel of gedeeltelijk verlies van de functie van het gen en het eiwit waar dat gen voor codeert. Deze functionele achteruitgang kan echter gunstig zijn voor de overleving en is dan evolutionair selectief. Een voorbeeld: Door mutaties in diverse genen kunnen mensen en dieren hun capaciteit verliezen om pigmenten aan te maken. Bij albinisme is dat verlies volledig, maar gedeeltelijk verlies komt veel vaker voor. De dieren hebben dan een witte vacht en een blanke huid. Deze witte kleur kan de kansen op overleving vergroten, omdat het een schutkleur is in gebieden met een koud klimaat en sneeuwval. Ook kan het de kansen op voortplanting vergroten doordat blank en blond bijdraagt aan zaken als seksuele aantrekkelijkheid en sociale status, zoals we dat bij mensen zien. Naast dergelijke voordelen in de korte termijn aspecten van de evolutionaire selectie zijn er vaak nadelen voor de gezondheid en vruchtbaarheid van de individuen, die doorgaans meer op de lange termijn werken. In dit geval maakt het gebrek aan pigmenten het individu gevoeliger voor ziekten als huidkanker. De geringe pigment productie in dit voorbeeld wordt veroorzaakt door mutatie van een of meer van de talrijke genen, die allen voor producten coderen met een functie voor het metabolisme van de pigmenten. Deze genen en hun producten hebben echter ook andere functies, die dan ook achteruitgaan door evolutionaire selectie op de lichte kleur. Ook dit zal doorgaans slechts kleine storingen geven, die echter wel accumuleren als er meer mutaties komen. Soms ontstaan wel direct belangrijke problemen op de andere paden van het metabolisme. Een extreem voorbeeld hiervan is de ziekte PKU, waarbij de verminderde productie van pigment gepaard gaat met ophoping van toxische producten in de stofwisseling wat tot hersenbeschadiging leidt. Het is dus duidelijk dat Darwins these van selectie door 'the survival of the fittests' vaak verwarrend is, omdat daardoor mutaties in het DNA van het organisme ophopen, die gunstig zijn voor de individuele overleving op de korte

termijn, maar die langzamerhand de gezondheid en vruchtbaarheid ondermijnen en daardoor uiteindelijk fataal kunnen zijn voor het voortbestaan van de soort. In de medische genetica zijn vele voorbeelden van de trucjes van de evolutionaire selectie: Bijvoorbeeld in een malaria gebied is het gunstig voor mensen om zieke rode bloedcellen te hebben, omdat de parasieten daarin niet kunnen overleven. Daardoor is er selectie voor zieke rode bloedcellen, etc. Naast de evolutionaire selectie hopen de diverse mutaties ook op om stochastische redenen in een proces dat genetic drift wordt genoemd. Ook hierdoor neemt 'the genetic load', de ballast aan diverse mutaties bij een populatie of soort, op de duur toe. Als de soort de mutaties niet meer kwijt kan raken, wordt de gezondheid en vruchtbaarheid van de individuen langzaam ondermijnd, hetgeen kan leiden tot plotseling uitsterven. Bij de genetic drift accumuleren de genetische variaties stochastisch, op niet selectieve wijze in processen, die praktisch gebaseerd zijn op inteelt². Een bekend voorbeeld van genetic drift is het founder effect. Als kleine groepjes mensen, dieren, enz in meer gunstige omstandigheden komen, zoals vaak gebeurt na migratie, zullen ze uitbreiden tot grote populaties. Zo kunnen er grote kuddes ontstaan, die allen afstammen van een klein aantal voorouders. Dit leidt tot accumulatie van soms schadelijke mutaties en toename van hun expressie door homozygose. Ook kunnen hierbij belangrijke genen verloren gaan, die nodig zijn voor de ontwikkeling van het immuun systeem. Dus na hun succesvolle vermenigvuldiging kunnen de dieren opeens genetische problemen krijgen en kan hun weerstand tegen infectie afnemen. Dit founder effect is nou precies wat plaatsvond bij de voortplanting en vermenigvuldiging van allerlei levende organismen door de vele klimaat veranderingen in de cycli van ijstijd (glaciaal) met interstadiaal en interglaciaal. Gedurende het koude basis glaciale klimaat waren gebieden, zoals het huidige West-Europa, grotendeels ijswoestijnen, onbewoonbaar voor de meeste soorten. Tijdens de snelle opwarmingsfasen van de interstadialen en interglacialen kon de temperatuur soms wel 10° C per eeuw stijgen, waarbij een klimaat ontstond dat bijde interstadialen bijna zo warm was als het huidige en bij de interglacialen nog warmer was als thans. Dit gaf de dieren uiteraard de mogelijkheid om hun leefgebied snel uit te breiden. Allerlei soorten kwamen dus van Zuid Europa of Afrika naar het Noorden waar ze zich vermenigvuldigden, maar aan het eind van het interstadiaal, of interglaciaal werd het klimaat weer koud en moesten de dieren zich terugtrekken naar het Zuiden. Aan deze gedwongen migratie zuidwaarts tijdens de afkoelingsfasen namen waarschijnlijk meer dieren deel dan aan de migraties noordwaarts bij de opwarmingsfasen. De genetische veranderingen die bij de snelle voortplanting ontstonden werden dus ook meegenomen naar het Zuiden en verspreidden zich over de gehele soort. Deze gebeurtenissen worden vele malen herhaald tijdens

² Hoe de selectieve en stochastische evolutie werkt is meer uitgebreid beschreven in <http://www.genevo.nl/images/bestanden/Micro-%20evo%20Engels.pdf>

het hele tijdperk van het quartair. De genetische veranderingen door de mutaties stapelen zich dus op.

Het is dus duidelijk dat de overleving van vele soorten onder grote druk kwam te staan gedurende het quartair, vanwege de noodzakelijkheid van aanpassing, die vaak ten koste gaat van de vitaliteit vanwege de Darwinse selectie en vanwege de genetische drift bij de vele intense klimaatveranderingen. Daarom is het vanuit genetisch gezichtspunt geen wonder dat veel soorten uitstierven in dit tijdperk, maar het blijft toch wel zeer merkwaardig dat het uitsterven van zoveel soorten tegelijkertijd plaatsvond in een relatief korte periode. Als de zon met mutagene straling gestrooid heeft tijdens enkele of misschien alle perioden met intensieve klimaatopwarming, zijn veel mutaties geabsorbeerd door de snel toenemende populaties in deze perioden. Het is mogelijk dat een extra groot aantal mutaties door de snel toenemende UV-straling van de zon gedurende de zeer intense klimaatovergang van de ijstijd naar het Holoceen het genetische systeem van veel soorten heeft gedestabiliseerd. Deze soorten hadden al een grote genetische ballast waar de nieuwe mutaties door de zon nu nog bijkwamen en dit kan plotseling te veel zijn geweest voor de overleving van de soorten. Dit is een reële verklaring voor deze uitstervinggolf. Er is uiteraard geen goed bewijs vanuit de beschikbare gegevens voor deze theorie. Een mogelijk verband tussen de variatie van de zon en het uitsterven en de evolutie van de soorten van levende wezens is echter wel zo belangrijk dat veel meer gegevens verzameld zouden moeten worden ter bevestiging of ontkenning van deze theorie. Als deze theorie juist is, moeten er gegevens te vinden zijn ter bevestiging: Als de variabiliteit van de zon zo'n impact heeft op Aarde dat dit mede oorzaak is van massale

uitsterving van diersoorten, moet dit meer sporen hebben nagelaten, die door onderzoek te vinden zijn.

3^e De conclusies zijn:

Dat een variabele zon a priori waarschijnlijker is dan een constante zon.

Dat er specifieke aanwijzingen zijn voor veel meer variatie van de zon dan men thans kan meten, waarbij echter geen duidelijk bewijs is.

Dat dit gebrek aan bewijs mogelijk komt doordat er vrijwel geen onderzoek wordt gedaan naar grotere zonvariatie in het pleistoceen, dus meer dan 11500 jaar geleden.

Dus rijst de vraag: Waarom is niet meer onderzoek gedaan naar het mogelijk belangrijke fenomeen van een veranderlijke zon, die het klimaat op aarde laat veranderen. Het is daarbij logisch dat dit onderzoek niet beperkt zou moeten worden tot de periode van het Holoceen met een relatief stabiel klimaat, omdat de bescheiden klimaatveranderingen daarin gemakkelijker onafhankelijk van de zon kunnen ontstaan door interne fluctuaties. Het antwoord op de vraag waarom variatie van de zon niet wordt onderzocht als potentiële oorzaak, naast de aardbaan, van de grote klimaatveranderingen van het pleistoceen is waarschijnlijk culturele invloed op wetenschappelijk onderzoek: meten is weten, maar je meet alleen dat waarin je gelooft. Mensen, ook wetenschappers nemen deel aan een cultuur en aan de visie die deze cultuur heeft op de

natuur. De traditie van een constante zon is stevig gevestigd en wordt ook niet in twijfel getrokken omdat men zich prettiger voelt bij een constante zon, die onze levens niet kan verstoren met zijn variaties.

Een vorm van sociaal bepaalde (on)wil, of beleid, moet het wel zijn, want er zijn mogelijkheden genoeg om de eventuele variabiliteit van de zon op de langere termijn van het quartair te onderzoeken. Meer onderzoek met de radionucliden kan al wat meer duidelijkheid geven. De waarschijnlijkheid neemt immers toe als je ^{10}Be hoeveelheden van zeer uiteenlopende locaties kan vergelijken met elkaar en met andere proxies, zoals ^{14}C . Toch komt daaruit waarschijnlijk geen overtuigend bewijs. De informatie die de radionuclide proxies geven over zon variatie blijft altijd onzeker, omdat ze te aspecifiek is en er te veel andere factoren zijn die verstoring (bias) kunnen geven. Echter als de theorie van de variabele zon juist is, heeft de zon naast deze indirecte proxies ook meer specifieke directe getuigen van zijn activiteiten in het verleden nagelaten. Meer betrouwbare informatie over zonvariatie kan waarschijnlijk gemakkelijk verkregen worden door onderzoek naar de **hoeveelheden waterstof binnen de luchtbelletjes in het poolijs**. Meer dichte ‘wolken’ in de zonnwind, meestal door massale uitbarstingen van de zonnecorona (CME’s) veroorzaken magnetische stormen op Aarde. Deze magnetische stormen zouden dan ook in een verleden met grotere zon variatie zeer veel groter geweest zijn dan men nu vanaf 1844 heeft gemeten. Het is bekend en goed beschreven dat tijdens de magnetische stormen door de bewegende magnetische velden van de zon in de atmosfeer en op het oppervlak van de Aarde elektrische stromen worden

opgewekt door inductie. Er wordt echter niet bij stilgestaan, denk ik, dat deze elektrische stromen elektrolyse veroorzaken van vooral water in de atmosfeer en in de oceanen. Hierdoor komt dus waterstof in de atmosfeer en in de luchtbelletjes in het ijs. Elektrolyse door intensieve zonnwind is zeer waarschijnlijk: Het is een goede theorie dat de planeet Venus bijna al haar water heeft verloren door dat proces en het feit dat de zwaartekracht van de planeet de lichte waterstof moleculen en protonen niet goed kan vasthouden. Ook moet een periode met snel toenemende elektromagnetische straling door de zon zijn sporen hebben nagelaten. Als hierbij inderdaad ioniserende UV straling naar het oppervlak is doorgedrongen, omdat de ozonlaag die gedurende enige tijd niet heeft tegen kunnen houden, is ook hierdoor chemische activiteit geweest. Behalve de consequenties daarvan voor levende organismen, zijn er hierdoor wellicht ook kenmerkende veranderingen aan bepaalde mineralen in gesteenten en sedimenten, die dus door bodemonderzoek vastgesteld kunnen worden. Misschien zijn er dus ergens laagjes waarin **de verandering van de zon is vastgelegd als op een fotografische plaat**. Als je daar niet naar zoekt zal je dat ook nooit vinden.

Onderzoek naar de variabiliteit van de zon is niet alleen van belang voor meer inzicht in klimaat verandering. Het is bekend dat de magnetische stormen door de zon schade kunnen aanrichten aan de elektrotechnische uitrusting, maar deze schade was gedurende de laatste 100 jaar beperkt. Als deze trend zich zo voortzet hoeft dat ons dus geen zorgen te baren. Het is echter de vraag of dat zo zal blijven. In de 19^e eeuw waren er enkele grotere magnetische stormen, zo leert de registratie vanaf 1844.

De grootste magnetische storm van 1859 is goed beschreven en men neemt algemeen aan dat een geomagnetische storing van die omvang thans aanzienlijke schade zou veroorzaken. Men hoopt dat dit een zeldzaam verschijnsel was, maar niemand weet iets over de frequentie en intensiteit van de geomagnetische storingen in de laatste eeuwen. Zoals beschreven op .. geeft de ^{10}Be concentratie in de ijskernen vermoedelijk informatie over deze stormen, maar dat is verder nog niet door deskundigen onderzocht voor zover ik heb kunnen nagaan. Aan dit onderzoek kleeft uiteraard de algemene onzekerheid van de ^{10}Be proxy. Bovendien is hierbij een zeer hoge tijd resolutie noodzakelijk. Ik heb grafieken gemaakt van de ca jaarlijkse ^{10}Be concentraties over de laatste 600 jaar uit Groenland en de laatste 300 jaar uit

Antarctica. Er zijn hierbij wel enkele sterke fluctuaties per eeuw. Na 1844 is er daarbij samenhang met de geregistreerde magnetische storingen. Hoewel de beide onderzoeken niet altijd dezelfde duidelijke scherpe fluctuaties gaven, waarbij vermoedelijk een te kort schietende tijd resolutie en dateringproblemen een rol spelen, is er wel samenhang tussen de beide registraties. Ook hier is meer onderzoek naar de variaties van de zon hard nodig, want de risico's zijn wellicht groter dan het nu lijkt. We willen toch wel weten of bijvoorbeeld elektriciteitsnetwerken moeten worden beschermd tegen de zon! Onderzoek met andere tracers zoals waterstofgas in de ijskernen kan wellicht ook hier meer duidelijkheid verschaffen.