

Het mysterie van de vermiste zonnecyclus

Jan Janssens

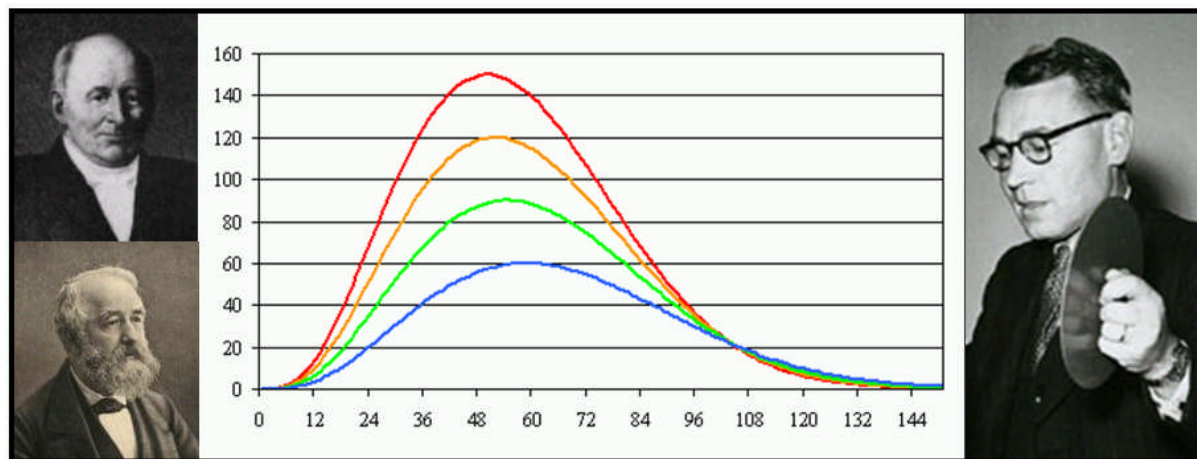
Gepubliceerd in Heelal – Januari 2008

Inleiding

Volgens de recentste NOAA-voorspellingen zou de volgende zonnecyclus in 2008 van start gaan. Tegelijkertijd komt hiermee de 23^{ste} zonnecyclus tot een einde. Officieel begint deze reeks van zonnecycli in 1755, maar de eerste telescopische zonnewaarnemingen gaan reeds terug tot 1610. Het ging toen echter over sporadische waarnemingen, in tegenstelling tot de laatste 250 jaar waar de zon wel systematisch werd geobserveerd. Er was dan ook heel wat opschudding toen Ilya Usoskin in 2001 bekend maakte dat hij en zijn collega's in de officiële reeks een korte, zwakke cyclus hadden ontdekt. Het bijkomende onderzoek van de laatste jaren heeft het bestaan van deze extra cyclus noch ontkracht, noch bevestigd. Het einde van de 23^{ste} zonnecyclus zal echter een nieuw puzzelstukje aan dit mysterie toevoegen.

De zonnecyclus

Het ritmisch op en neergaan van de zonneactiviteit met een periode van ongeveer 11 jaar werd in 1843 ontdekt door Samuel Heinrich Schwabe. Deze ontdekking behoort tot één van de belangrijkste in de astronomie, maar was eigenlijk slechts een bijproduct van zijn zonnewaarnemingen die hij in 1826 was begonnen. Schwabe was immers op zoek naar de planeet Vulcanus. Dit was een hypothetische planeet die zich tussen de zon en Mercurius moest bevinden en die de waargenomen afwijking in de baan van Mercurius zou verklaren. Dankzij Einstein en zijn Relativiteitstheorie weten we vandaag dat deze planeet niet nodig is. Schwabe noteerde echter wel zeer nauwkeurig alle vlekjes die er zichtbaar waren op de zon, en na nauwelijks 17 jaar zag hij in de jaarlijkse variatie het bestaan van de zonnecyclus.



Figuur 1: Samuel Heinrich Schwabe (linksboven), Rudolf Wolf (linksonder) en Max Waldmeier (rechts) legden met hun onderzoek de basis voor de zonnecyclus, het Wolfgetal en de eigenschappen van zonnecycli. De hier afgebeelde curven modelleren zonnecycli met maximale Wolfgetallen van 150, 120, 90 en 60. Actieve cycli bereiken sneller hun maximum dan zwakke.

Schwabe's bevindingen maakten danig indruk op Rudolf Wolf, toen de directeur van het Bern Observatory. Hij startte een diepgaand onderzoek naar zonnevlekken en introduceerde het zonnevlekkengetal, dat later naar hem het Wolfgetal (R) zou worden genoemd. Deze parameter is niets anders dan de som van het totaal aantal zonnevlekken f en tien maal het

aantal vlekkgroepen g . Anders gezegd: $R = 10 \times g + f$. 2 vlekkgroepen met in totaal 12 vlekken geven dus een Wolfgetal van 32. Wolf breidde het gegevensbestand ook uit door historische waarnemingen in zijn onderzoek te betrekken, in een eerste fase tot 1745, maar later zelfs tot 1610. Hierdoor kon hij de door Schwabe afgeleide periode van 10 jaar nauwkeuriger bepalen tot een gemiddelde van 11,1 jaar.

Wolf startte ook een internationale samenwerkingsprogramma tussen waarnemers op. Hun waarnemingen werden gebruikt indien het weer in Zwitserland te slecht was. Uiteraard werden deze waarnemingen voorzien van een correctiefactor k , zodat ze vergelijkbaar waren met deze van Wolf. Hoewel de huidige Wolfgetallen vanuit België (SIDC in Ukkel) worden gecoördineerd, wordt nog steeds een gelijkaardige werkwijze toegepast.

Waldmeier, één van Wolf's opvolgers als directeur van het Swiss Federal Observatory in Zürich, leidde uit de zonnedata talrijke belangrijke eigenschappen van de zonnecyclus af. Eén van de belangrijkste wetten stelt dat actieve zonnecycli, dus met een hoog maximaal Wolfgetal, sneller hun maximum bereiken dan zwakke cycli. Waldmeier formuleerde deze wet reeds in zijn doctoraatsthesis in 1935, maar ze wordt vandaag nog steeds veelvuldig gebruikt in onderzoek naar zonnecycli. Ze wordt naar hem het Waldmeier effect genoemd.

In de loop van de daarop volgende decennia vonden andere wetenschappers nog meer "regeltjes" waaraan zonnecycli zich leken te houden. Zo zou een cyclus die start met een hoog minimum, zeer actief kunnen worden. Ook zouden actieve cycli minder lang duren dan inactieve, en wordt een kortdurende cyclus dikwijls gevolgd door een actieve cyclus. De samenhang tussen de onderzochte parameters is bij de meeste van deze regels echter een flink stuk lager dan bij het Waldmeier effect.

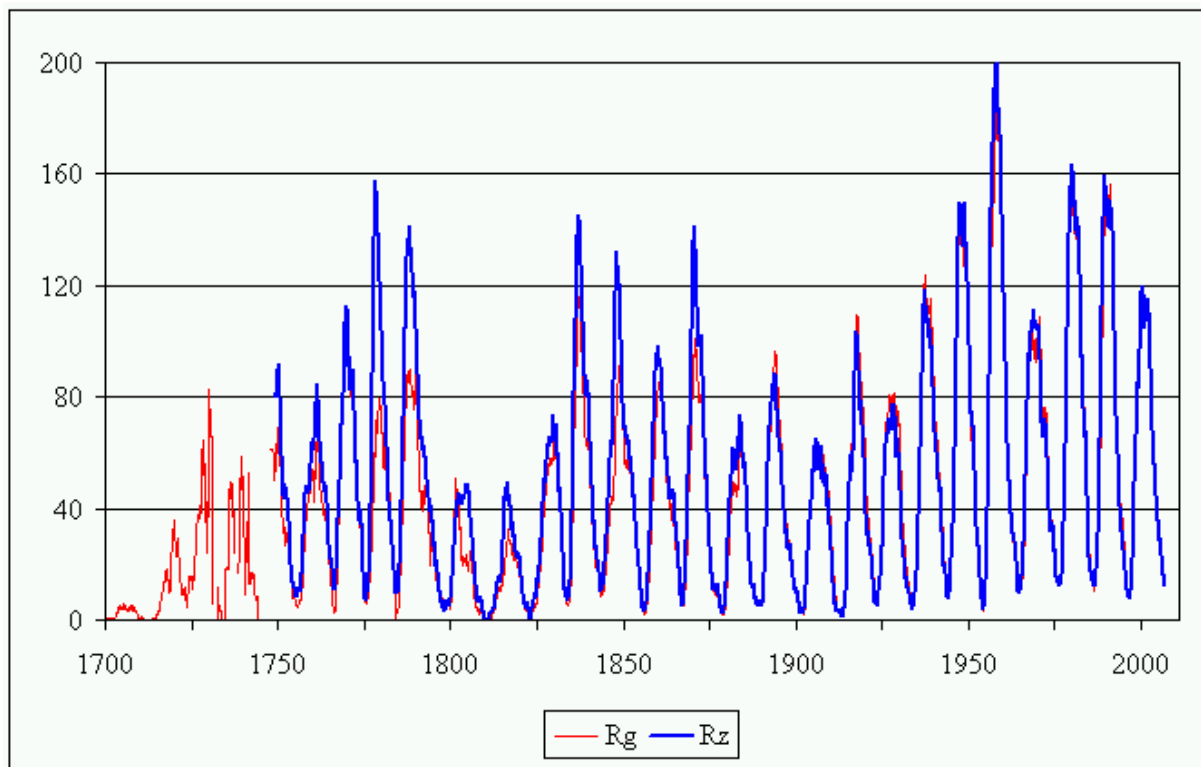
Op zoek naar oude waarnemingen

De gebrekkige verbanden tussen de verschillende zonneparameters hadden zeker wat te maken met het ontbreken van nogal wat waarnemingen tussen 1610 en 1850. Zo kon Wolf slechts beschikken over continue, dagelijkse zonnewaarnemingen vanaf 1848. Voor de periode tussen 1818 en 1848 gebruikte hij gemiddelden van de andere dagen om de sporadische "gaten" op te vullen. Tussen 1749 en 1818 was het aantal dagen met ontbrekende zonnewaarnemingen echter zo groot, dat hij alleen nog maar maandelijkse Wolfgetallen publiceerde. Zelfs dan ontbraken er zoveel gegevens dat hij regelmatig diende te interpoleren. Voor sommige maanden gebruikte hij zelfs geomagnetische waarnemingen om het Wolfgetal af te leiden.

De officiële Wolfgetallen R_z ("z" van Zürich) zijn dus tot 1848 een mengeling van directe zonnewaarnemingen en afgeleide (berekende) waarden. Dit alles had –volgens sommige wetenschappers– tot gevolg dat de oude zonnecycli er dikwijls "anders" uitzagen dan deze die we vandaag waarnemen, en dat had uiteraard een negatieve invloed op de vastgestelde wetten voor de zonnecyclus.

In het begin van de jaren 90 begonnen 2 Amerikaanse onderzoekers, Douglas Hoyt en Kenneth Schatten, aan de monumentale taak om meer zonnewaarnemingen te verzamelen en het verloop van de zonneactiviteit duidelijker vast te leggen. Niet alleen wilden ze de "gaten" opvullen op basis van echte zonnewaarnemingen, ze wilden ook een duidelijke bevestiging of ontkrachting van het Maunder minimum. Deze periode waarin er van enige zonneactiviteit nauwelijks sprake was, had zagezegd plaats gevonden tussen 1645 en 1715.

Hoyt en Schatten ontwikkelden een nieuwe parameter R_g op basis van het aantal zonnevlekkengroepen. In de archieven vonden ze immers dikwijls beschrijvingen of aanduidingen van groepen, zonder details over het aantal zonnevlekken. Bovendien vindt 90% van de variatie in het zonnevlekkengetal plaats door veranderingen in het aantal groepen. R_g hield rekening met de k-factor van de individuele waarnemers, en werd afgelijnd op R_z van 1874-1976, de periode waarin het Royal Greenwich Observatory actief zonnewaarnemingen verrichtte.



Figuur 2: Evolutie van de 13-maandelijks gemiddelden van het groepzonnevlekkengetal R_g en het officiële (Zürich) zonnevlekkengetal R_z . Vóór 1880 is de zonneactiviteit volgens R_g gevoelig lager dan volgens R_z . Links (1700-1715) is het einde van het Maunder minimum te zien. Ook is het zo dat ondanks de vele extra waarnemingen die werden verzameld door Hoyt en Schatten, er nog steeds relatief grote perioden zonder zonnewaarnemingen blijven, zoals in de periode 1740-1750.

In 1998 publiceerden ze de resultaten van hun onderzoek in het gereputeerde vakblad *Solar Physics*, onder de titel “Group Sunspot Numbers: A new Solar Activity Reconstruction”. Het geheel met dagelijkse, maandelijkse en jaarlijkse data, de standaarddeviaties en het aantal waarnemers voor de periode 1610-1995, werd evenwel niet afgedrukt: het betrof hier immers meer dan 9.700 bladzijden! De data werden wel gedigitaliseerd en zijn consulteerbaar op de website van het National Geophysical Data Center. Voor de periode 1610 tot 1850 waren er nu 5 keer zoveel dagen met zonnewaarnemingen beschikbaar dan Wolf voorhanden had, en ze bevestigden het bestaan van het Maunder minimum. Bovendien leek de zonneactiviteit tot 1882 lager dan uit de data van Wolf bleek.

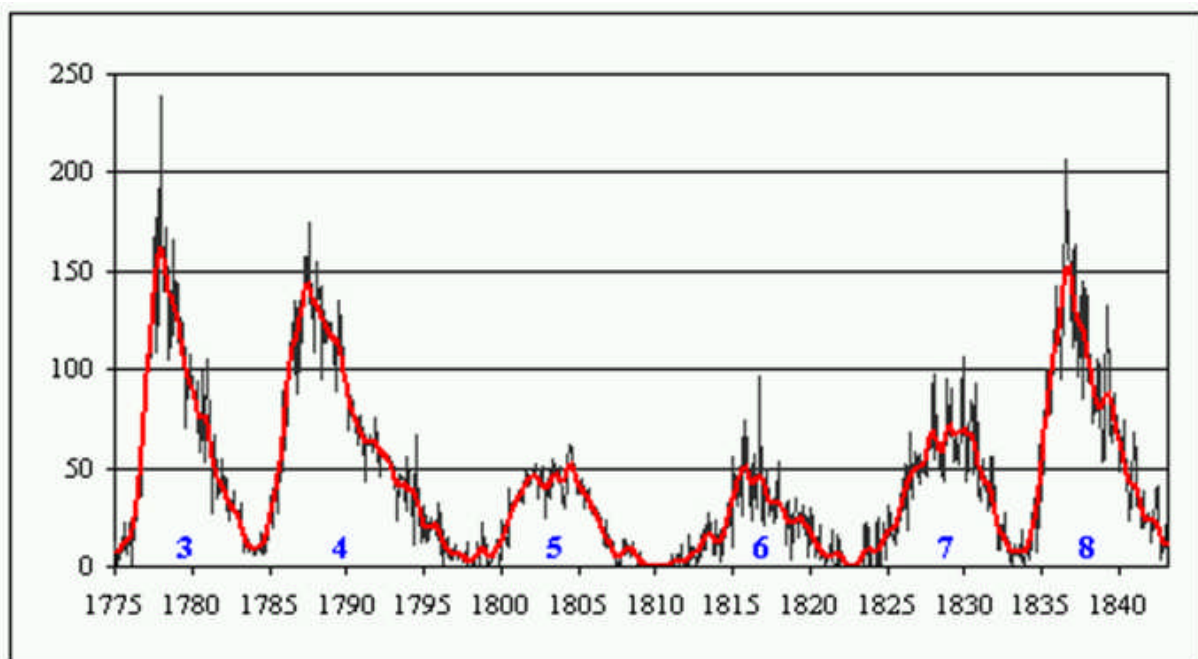
Uiteraard moesten het nut en de betrouwbaarheid van deze nieuwe parameter grondig getest worden. 3 onderzoekers van NASA’s Marshall Space Flight Center namen de handschoenen op en publiceerden in 2002 hun resultaten. Hathaway, Wilson en Reichmann vonden dat de algemene karakteristieken van een zonnecyclus iets beter werden weergegeven met R_z -data. Ook was er een beter verband met fysische parameters zoals de zonneflux en de oppervlakte van de zonnevlekkengroepen. Niettemin werd de algemene evolutie van de zonneactiviteit

vóór 1850 beter weergegeven met de R_g -data. Er werden dus meer cycli en data (tot 1610) aan de reeks toegevoegd waardoor de algemene betrouwbaarheid van de statistieken toenam.

De vermiste zonnecyclus

Een gemiddelde zonnecyclus duurt ongeveer 11 jaar en haalt een maximum Wolfgetal R_z van 117. Het duurt iets meer dan 4 jaar om van het minimum naar het maximum te stijgen (stijgtijd), en iets minder dan 7 jaar om van dat maximum te dalen naar het nieuwe minimum (daaltijd). Behalve de recente nummers 17 en 20 voldoen de meeste zonnecycli niet aan dit ideale plaatje, getuige hiervan de grote onzekerheidsmarges op het maximum (± 40) en op de duur (± 15 maanden).

Ongeveer 200 jaar geleden deed er zich een reeks van bijzonder merkwaardige zonnecycli voor. De 2 kortste cycli –ze duurden beide telkens geen 9 jaar- werden gevolgd door cyclus 4, die zelf meer dan 14 jaar duurde en hiermee de langstdurende uit de officiële reeks is. Dit trioetje behoort ook tot de actieve zonnecycli, met maximum Wolfgetallen tussen 125 en 165. Het was daarom des te opvallender dat ze gevolgd werden door 2 cycli met een maximum R_z dat nauwelijks boven de 50 uitkwam. Deze periode wordt het Dalton minimum genoemd, en ze duurde bij benadering van 1795 tot 1825. De ietwat actievere cyclus 7 sloot het rijtje af, met als bijzondere merkwaardigheid dat de stijgtijd de helft *langer* was dan de daaltijd (respectievelijk 6 en 4 jaar).



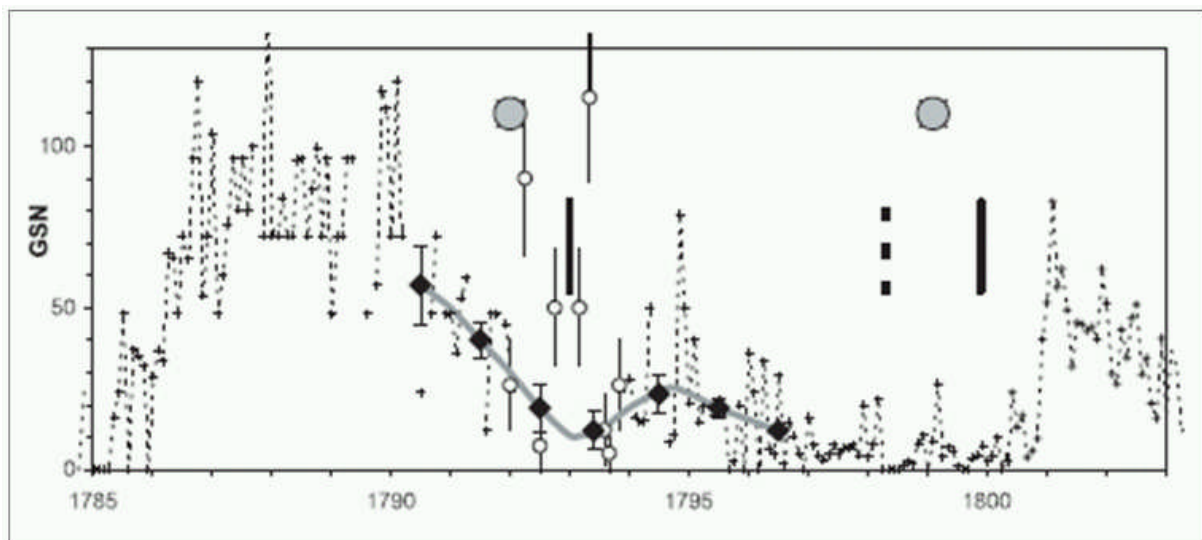
Figuur 3: Het kwartet van abnormale cycli geflankeerd door de wat normalere cycli 3 en 8. Van de 23 officiële cycli was cyclus nummer 4 met meer dan 14 jaar de langstdurende zonnecyclus ooit, cycli 5 en 6 hebben de laagste amplitude, en van cyclus 7 duurde de stijgtijd 2 jaar langer dan de daaltijd. Het Dalton minimum omvat de cycli 5 en 6 en duurde bij benadering van 1795 tot 1825.

Voor de erg lange cyclus 4 trok de aandacht van de Fin Ilya Usoskin. Hem en zijn medewerkers was het immers niet ontgaan dat een groot deel van de dalende tak van deze cyclus (1790-1795) zeer slecht ondersteund was door waarnemingen. Zo waren er bijvoorbeeld in het ganse jaar 1792 voor slechts 4 (vier) dagen zonnewaarnemingen beschikbaar. Bovendien liet de betrouwbaarheid van deze waarnemingen nogal te wensen over. Zo zagen zes verschillende Europese waarnemers op 3 april 1791 tussen 1 en 6 groepen!

Er was echter nog een andere belangrijke reden om die 4^{de} cyclus eens goed onder de loep te nemen. Er bestaat namelijk een veelgebruikte regel die betrekking heeft op de intensiteit van een zonnecyclus, dit is de *som* van alle maandelijksse Wolfgetallen van een cyclus. Het blijkt nu dat de intensiteit van een oneven cyclus steeds groter is dan de intensiteit van de voorgaande, even cyclus. Dit wordt de Gnevyshev-Ohl wet (1948) genoemd, en ze werkt perfect tot... de 4^{de} cyclus.

Om een en ander na te gaan, gebruikte Usoskin de groepgetallen R_g zoals bepaald door Hoyt en Schatten. Hij gebruikte R_g en niet R_z omdat de betrouwbaarheid voor 1850 hoger was. Vervolgens elimineerde hij alle enkelvoudige en onbetrouwbare waarnemingen (grote k-factor). Tenslotte bepaalde hij de best passende curve door de resterende waarnemingen. Die nieuwe curve liet duidelijk een extra minimum begin 1793 en een extra maximum in 1795 zien.

De extra cyclus had belangrijke gevolgen. De 4^{de} cyclus, die oorspronkelijk meer dan 14 jaar had geduurd, werd nu opgesplitst in een cyclus van bijna 9 jaar en één van bijna 7 jaar. De 5^{de} cyclus werd 1 jaar korter, ten voordele van die extra cyclus. Usoskin merkte op dat er nu een veel betere symmetrie bestond in de verdeling van de lengte van de zonnecycli dan in de oorspronkelijke reeks. Bovendien bleek de Gnevyshev-Ohl wet niet alleen te kloppen voor de 4^{de} cyclus, maar ook helemaal tot aan de start van de telescopische waarnemingen in 1610. Ten slotte leidde de nieuwe cyclus tot een gelijkaardig gedrag in zonneactiviteit zowel bij het Dalton als bij het Maunder minimum: een abrupte daling van een normale cyclus naar zeer lage activiteit gevolgd door een geleidelijk herstel van de zonneactiviteit.



Figuur 4: Volgens Usoskin (2003) situeert de nieuwe cyclus zich tussen de 2 dikke verticale lijnen: van 1793,1 tot 1799,8, met een maximum van 35 +/-15 in 1795,0. Verticaal het groepzonnevlekkengetal (GSN, R_g), behalve voor de periode 1792-1793 waar Usoskin zijn geschatte waarden gebruikte (open cirkels met onzekerheidsmarges). De grote grijze cirkels geven waarnemingen van zonnevlekken met het blote oog weer. De dikke gestreepte verticale lijn geeft het einde van de officiële cyclus weer. [Usoskin, 2003]

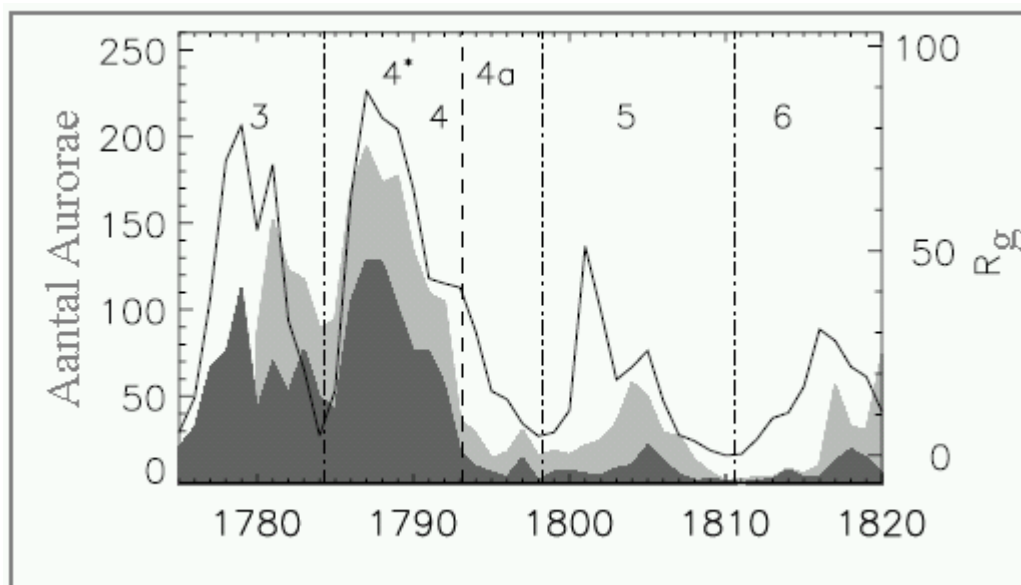
Usoskin was er zich natuurlijk van bewust dat hij zich met deze extra cyclus op glad ijs begaf. In feite kon het bestaan van die nieuwe cyclus enkel bewezen worden op basis van de heliografische breedtes van de diverse groepen, maar die data bestonden niet. Usoskin ging dan maar op zoek naar indirect bewijs door data over poollicht en natuurlijke radioactieve isotopen te verzamelen. Uit de evolutie van het Beryllium isotoop kon niets eenduidig besloten worden, maar aurorawaarnemingen wezen duidelijk op een maximum in 1796-1797.

Dit zou dan perfect passen in de dalende tak van de nieuwe cyclus. Usoskin achtte het onwaarschijnlijk dat deze piek in geomagnetische activiteit toch te wijten zou zijn aan de oorspronkelijke 4^{de} cyclus, want die zou dan ruim 10 jaar na het maximum hebben plaatsgehad: dat leek veel te laat te zijn. In ieder geval spraken de bijkomende analyses het mogelijke bestaan van een extra zonnecyclus niet tegen.

Grote twijfels

Natalia Krivova, een Russische zonneonderzoekster aan het Max Planck Instituut, vatte de bezwaren tegen Usoskin's nieuwe cyclus nog het beste samen: de afwezigheid van zonnewaarnemingen betekent niet automatisch een afwezigheid van zonnevlekken.

In een artikel in *Astronomy&Astrophysics* (2002) toonden zij en haar medewerkers aan dat er toch nogal wat waarnemingen mét zonnevlekkengroepen zijn in de periode 1792-1793. Bovendien verscheen er in 1792 een groep die –volgens Chinese bronnen- zichtbaar was met het blote oog: een gebeurtenis die 4 maal meer voorkomt indien R_g zich boven het cyclusgemiddelde bevindt dan eronder. Perioden met meerdere opeenvolgende dagen zonder zonnevlekken zijn ook niet ongewoon zoveel jaar na het cyclusmaximum. En ook de gemiddelde zonneactiviteit in die twee jaren leek goed overeen te komen met deze van andere, beter waargenomen zonnecycli (3 tot 5 jaar na het maximum). Dat duidde er allemaal op dat de toenmalige activiteit helemaal niet leek op een periode van minimum activiteit, zoals Usoskin beweerde.



Figuur 5: Volgens Krivova (2002) kloppen er enkele zaken niet wanneer de nieuwe cyclus wordt bekeken vanuit het oogpunt van het aantal poollichtwaarnemingen (linker as). Hierbij stelt de lichtgrijze oppervlakte het aantal wereldwijde poollichtwaarnemingen voor beneden de geomagnetische breedte van 62°, en de donkergrijze zone het aantal beneden 55°. Hoewel er een klein maximum in aurora-activiteit te zien is in de dalende tak van de nieuwe cyclus (1797), is de activiteit hoger bij het begin van deze cyclus (1793) en valt het cyclusmaximum samen met het poollichtminimum (1795). Ter vergelijking het groepzonnevlekkengetal R_g dat wordt weergegeven met een volle lijn (rechter as), waarbij de minima van de officiële cycli met een gepunt gestreepte verticale lijn worden weergegeven. Er blijkt geen nood aan een nieuwe cyclus om deze evolutie te verklaren. [Krivova, 2002 – aangepast]

Nog opvallender waren de conclusies over de aurora. Krivova bevestigde een klein maximum in 1797, maar noteerde meteen ook dat de aurora-activiteit in 1792-1793, tijdens het zogenaamde minimum van de nieuwe cyclus, veel hoger was dan tijdens dit auroramaximum. Bovendien viel het maximum van de nieuwe cyclus (1795) samen met een lokaal minimum in

poollichtactiviteit, wat bij geen enkele andere zonnecyclus werd gezien. Tenslotte was de poollichtactiviteit in 1797 zeer geconcentreerd en beperkt tot het begin en einde van het jaar. Al deze vaststellingen ondersteunden dus zeker niet het bestaan van een nieuwe cyclus.

In haar artikel besteedde Krivova ook een volledige sectie over de ongewone duur van de oude en de nieuwe cycli. Helaas maakte ze daar een rekenfout waardoor haar ganse argumentatie tegen de nieuwe cyclus in het water viel. Bovendien had ze bij de bepaling van de gemiddelde zonneactiviteit in 1792-1793 geen rekening gehouden met de (on)betrouwbaarheidsfactor van de diverse waarnemers. Hierdoor lag haar gemiddelde R_g -waarde meer dan dubbel zo hoog dan Usoskin's. Die zag zijn besluiten over een nieuwe cyclus nog verder ondersteund doordat er ook een zonnevlek met het blote oog werd gezien in februari 1799, pal in het midden van het minimum van de (oude) 4^{de} cyclus. De verschijning van de blote oog vlek in 1792 hoefde dus niet noodzakelijk gezien te worden als een teken van hoge activiteit. Enkel over de weerlegging van Krivova's opmerkingen betreffende de poollichtactiviteit bleef Usoskin vaag, maar het betrof hier dan ook een onrechtstreekse parameter.

De 23^{ste} zonnecyclus

Het al dan niet bestaan van de nieuwe cyclus blijft dus een dubbeltje op zijn kant. Zolang er geen bewijzen komen onder de vorm van bijkomende waarnemingen of breedtebepalingen van zonnevlekken, zal Usoskin's cyclus niet in het rijtje van officiële zonnecycli opgenomen worden.

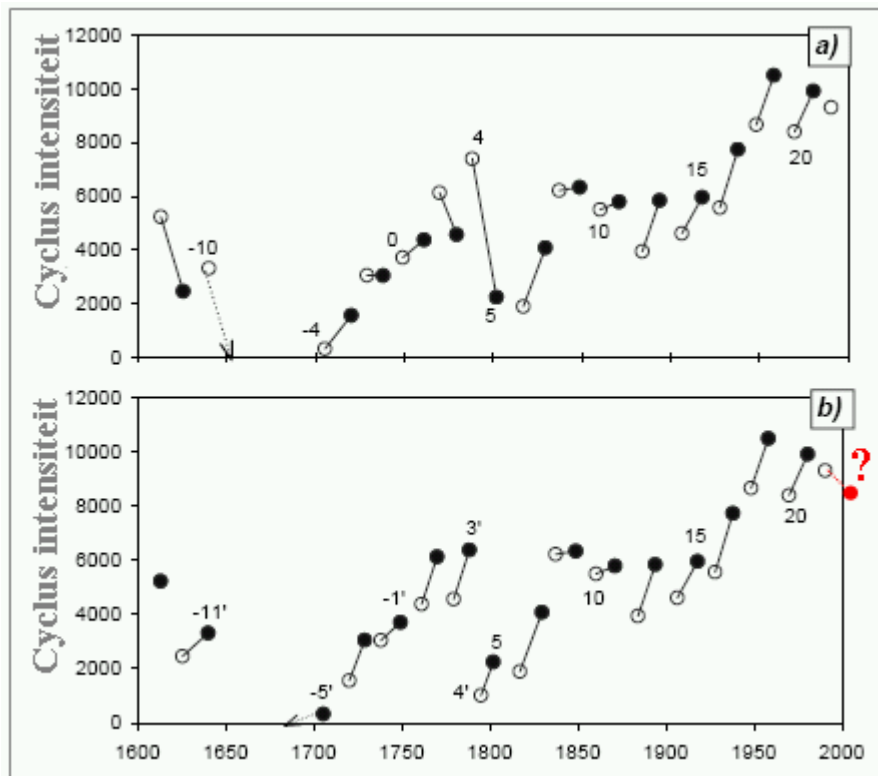
Het lijkt er trouwens op dat een belangrijke, zij het indirecte reden voor het bestaan van de nieuwe cyclus binnenkort niet meer geldig zal zijn. De Gnevyshev-Ohl wet zei immers dat de intensiteit van een oneven cyclus steeds groter is dan deze van de voorafgaande even cyclus. Dit betekent dat de intensiteit van de aan gang zijnde 23^{ste} cyclus groter zal zijn dan die van de 22^{ste} cyclus. Deze wet was trouwens één van de redenen voor NOAA om een actieve 23^{ste} cyclus te voorspellen, mogelijk zelfs nog krachtiger dan de al zeer actieve 22^{ste} cyclus.

In realiteit bleef cyclus 23 echter behoorlijk onder het activiteitsniveau van zijn voorganger. Met een maximum Wolfgetal van rond de 120 wordt hij zelfs maar als een matige cyclus beschouwd. Toch zegt dit niets over de intensiteit van deze zonnecyclus. Wetenschappers hebben zich de laatste jaren immers enorm verbaasd over zijn hoge activiteitsniveau tot ver na het maximum. Zo waren er bijvoorbeeld de "Halloween" groepen in oktober en november 2003. Toen verschenen niet alleen 3 van de top-10 grootste groepen van deze cyclus, NOAA 0486 was tevens verantwoordelijk voor de krachtigste zonne-uitbarsting sinds de start van de satellietwaarnemingen. Maar ook in de zomer van 2004, in januari en september 2005, tot zelfs in december 2006 (NOAA 0930) verschenen er complexe en zeer actieve zonnevlekkengroepen.

De intensiteit van de 23^{ste} cyclus is dus uiteindelijk hoger aan het uitvallen dan wat op basis van zijn maximaal Wolfgetal zou kunnen afgeleid worden. Toch lijkt het er sterk op dat de Gnevyshev-Ohl wet niet zal gerespecteerd worden. De intensiteit is op dit moment immers nog steeds ongeveer 10% lager dan dat van de voorgaande cyclus. Hoewel een internationaal team zonneprecipitalisten in april 2007 stelde dat het begin van de nieuwe cyclus niet verwacht wordt voor maart 2008 (met een onzekerheid van een half jaar), lijkt de resterende tijd en huidige activiteit niet van die aard om de intensiteit alsnog boven het niveau van cyclus 22 te tillen. Interessant is ook dat indien cyclus 23 pas zou eindigen in maart 2008, hij dan bijna 12

jaar zou geduurd hebben. Een lange cyclus dus, maar niet zo extreem als cyclus nummer 4. En misschien dat als de intensiteit op basis van R_g wordt berekend, deze alsnog groter is dan cyclus 22...

In ieder geval is het duidelijk dat het einde van de 23^{ste} cyclus een nieuw puzzelstukje zal toevoegen aan het mysterie van de vermiste zonnecyclus.



Figuur 6: De Gnevyshev-Ohl wet zegt dat de intensiteit van een oneven zonnecyclus (volle cirkels) hoger ligt dan dat van de voorgaande even cyclus (open cirkels). In de figuur bovenaan wordt de standaardnummering voorgesteld. Hier is duidelijk dat de G-O wet niet opgaat voor de zonnecycli 2-3 en vooral 4-5. In de figuur onderaan is de nieuwe cyclus ingevoerd, alsmede een nieuwe nummering (vóór cyclus 5). De G-O wet is nu hersteld en geldt voor alle cycli sinds 1610. Een probleem lijkt echter op te duiken voor de aan gang zijnde 23^{ste} zonnecyclus, die nog steeds onder de intensiteit van de voorgaande cyclus 22 ligt, en daarmee de G-O wet alsnog lijkt te gaan breken. [Usoskin, 2001 – aangepast]

Referenties en literatuur

- Hathaway, D. H., Wilson R. M., & Reichmann, E. J. 2002, Sol. Phys., 211, 357
- Hoyt, D. V., & Schatten, K. 1998, Sol. Phys., 179, 189
- Krivova, N. A., Solanki, S. K., & Beer, J. 2002, A&A, 396, 235
- Usoskin, I. G., Mursula, K., & Kovaltsov, G. A. 2001, A&A, 370, L31
- Usoskin, I. G., Mursula, K., & Kovaltsov, G. A. 2002, Geophys. Res. Lett., 29, 36
- Usoskin, I. G., Mursula, K., & Kovaltsov, G. A. 2003, A&A, 403, 743

- Beck, R., Hilbrecht, H., Reinsch, K., & Völker, P., Solar Astronomy Handbook, 1995
- Janssens, J., Zon en Aarde: Een unieke Relatie, 2003
- Taylor, P. O., Observing the Sun, 1991

- NGDC (R_g) <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsunspotnumber.html#hoyt>
- SIDC (R_z) <http://sidc.oma.be/sunspot-data/>