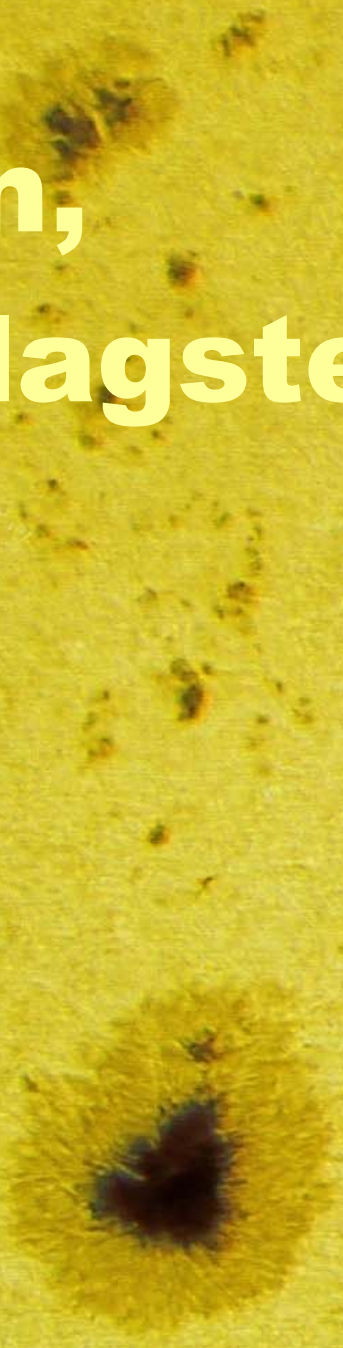
www.astrolab.be
AstroLAB's Educatieve Serie

1

De Zon, onze dagster



Thierry Lewyllie
Carl Vandaele
Philippe Vercoutter

AstroLAB's Educatieve Brochure N° 1

De zon, onze dagster

Versie 1.4
Laatste update: 4 Mei 2004

Oorspronkelijke tekst door Thierry Lewyllie en Carl Vandaele, ACG vzw
Bijgewerkt en aangevuld door: Philippe Vercoutter, ACG vzw
Foto-bijdrages van Franky Dubois, Sébastien Kersten, Bruno Nolf
en Philippe Vercoutter, ACG vzw

© 1982-2004, AstroLAB IRIS, ACG vzw, Ieper, België

Bijkomende informatie is te vinden op:
❑ **AstroLAB IRIS: De Zon Vandaag** (http://www.astrolab.be/html/actueel_zon_nl.html)
❑ **AstroLAB IRIS : Ask Me !** (http://www.astrolab.be) Zoek op de termen :
zon, zonnevlek, granulatie, H-alfa, ASM-40, zonneweer, zonnevlam, enz. …
en kijk dan in het fotoalbum, onze bibliotheek of ga naar een interessante website
❑ Doorheen de tekst staan links naar de AstroLAB kennisdatabank en ASTRID beeldendatabank. Deze URL's staan aangeduid naast het symbool . U vindt er actuele informatie betreffende het behandelde onderwerp.
❑ **NASA, Space Weather** (http://sunearth.gsfc.nasa.gov/sechtml/tut.html)
❑ **The Sun: a pictorial Introduction** (http://www.hao.ucar.edu/public/slides/slides.html)

Apparatuur:
Alle zonnefoto's die werden gefotografeerd in de AstroLAB IRIS II sterrenwacht en die in deze brochure voorkomen werden – tenzij anders vermeld - met behulp van volgende apparatuur gemaakt:
❑ Lichtennecker VAF 200/2400 Olie-gescheiden Triplet Apochromaat
❑ Baader Herschel prisma met Baader Neutral Density Filters (0.6, 0.9, 2.0 of 3.0)
❑ Tele Vue BIG Barlow 2X of Tele Vue Powermate 4X
❑ CANON EOS-10D digitale camera (2048 x 3072 pixels, 3 frames per seconde).



Het zonne-observatorium AstroLAB IRIS II
Provinciaal Domein 'De Palingbeek'

Wilt U zelf dergelijke zonnefoto's komen maken op de AstroLAB IRIS sterrenwachten, aarzel dan niet en contacteer ons op info@astrolab.be . De sterrenwacht is te bezoeken op individuele basis of in groep. Zie voor meer informatie www.astrolab.be .

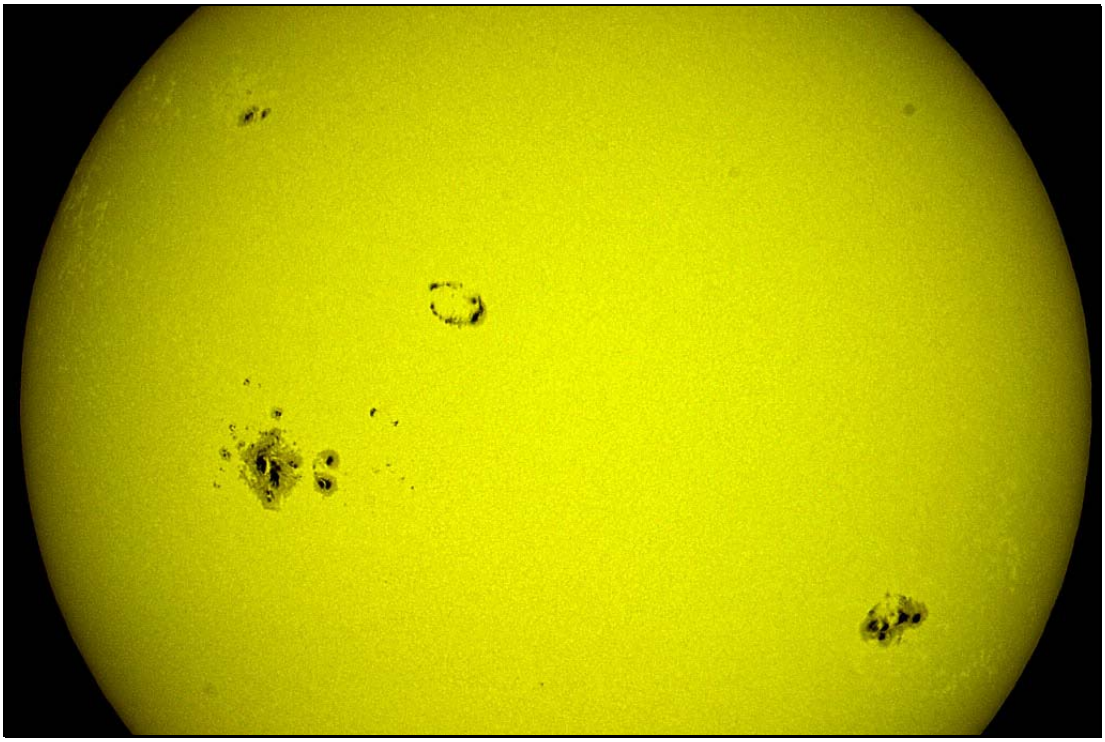
Inhoudstafel

1. Algemene inleiding 4
2. De Zon aan de Hemel 8
   2.1. De baan van de Aarde rond de Zon 8
3. Bouw van de Zon 11
   3.1. De kern: herkomst van de energie van de Zon 11
   3.2. Energietransport van het centrum van de Zon naar haar oppervlak 12
      3.2.1. De stralingszone 13
      3.2.2. De convectiezone 13
   3.3. De fotosfeer 14
   3.4. De chromosfeer 15
   3.5. De corona 16
4. Verschijnselen op de Zon 18
   4.1. Zonne-activiteit 18
      4.1.1. Rol van het magneetveld 19
      4.1.2. Zonnevlekken 20
      4.1.3. Fakkels 28
      4.1.4. Zonnevlammen 31
      4.1.5. Protuberansen 34
   4.2. Verschijnselen die altijd zichtbaar zijn. 37
      4.2.1. De granulatie 37
      4.2.2. De spicules. 39
5. Radio- en deeltjesstraling van de Zon 40
   5.1. De zonnewind 40
   5.2. De Zon-Aarde betrekkingen 42
      5.2.1. Poollicht 42
         De K-Index en de Kp-Index 45
      5.2.2. De ionosfeer 46
      5.2.3. De Van Allengordels & de Plasmasfeer 47
6. Zonnewaarnemingen. 48
   6.1. Filters 48
      6.1.1. Oculairfilters 48
      6.1.2. Foliefilters 49
      6.1.3. Objecttieffilters 50
      6.1.4. H-alfa-filters 51
         Digitaal fotograferen in h-alfa 54
   6.2. Projectie 58
   6.3. Het Herschel Prisma 61
   6.4. De protuberansenkijker (coronagraaf) 63

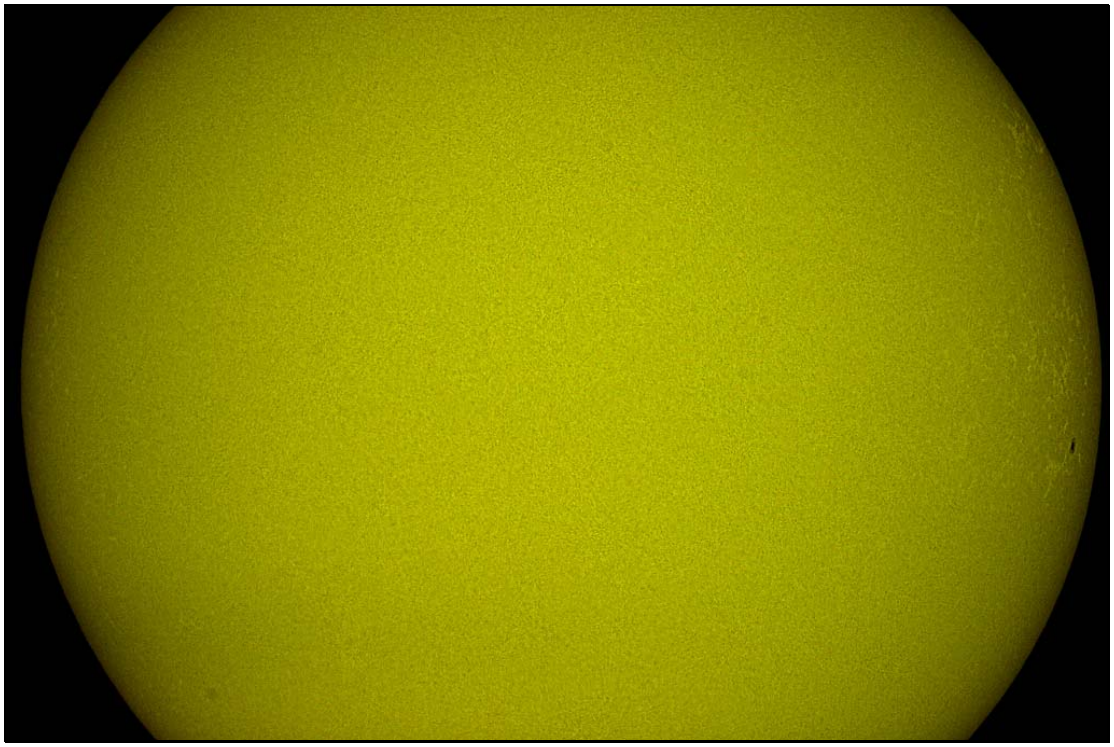
1. Algemene inleiding

- **energieflux**: $4 . 10^{26}$ Watt (slechts een tweemiljardste deel bereikt de aarde)
- **schijnbare magnitude**: -26.75
- **massa**: 330.000 Aardmassa's

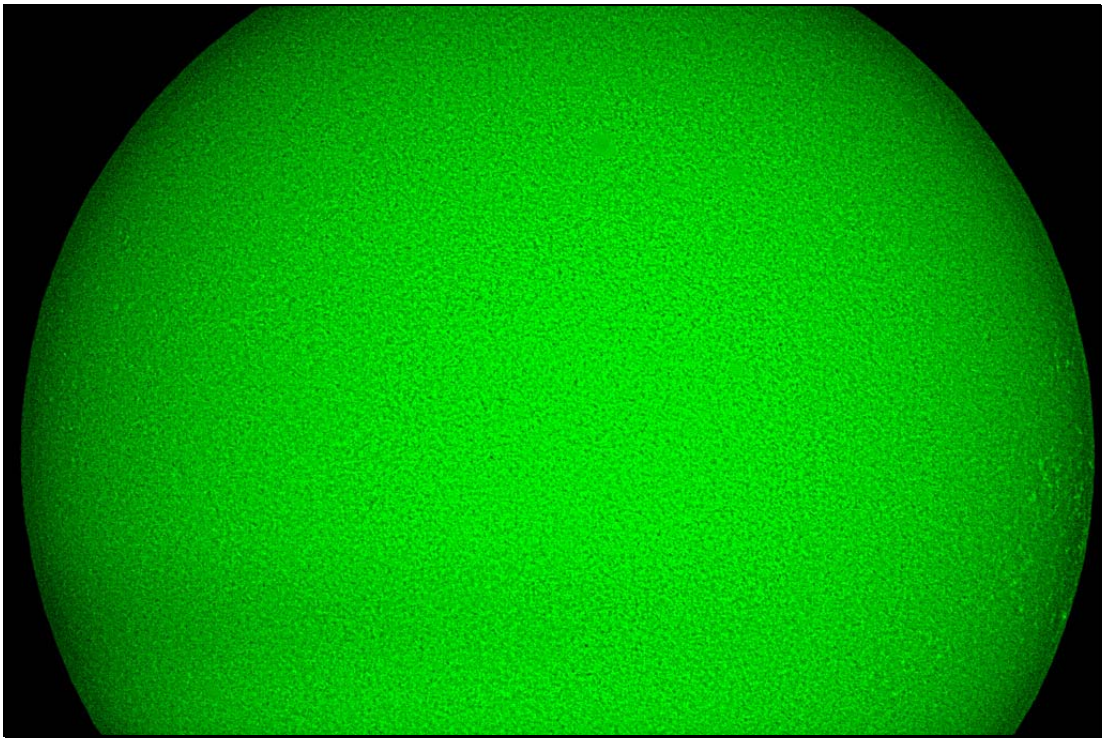
De Zon is een **gele ster van middelmatige grootte.** De diameter van de zogeheten **dagster** bedraagt 1.392.000 kilometer. Dit komt overeen met ongeveer 109 aarddiameters.



De Zon op 27 Oktober 2003, gefotografeerd in AstroLAB II. De gele kleur van de foto ontstond doordat slechts het rode en het groene kanaal van de CANON EOS-10D opname werden behouden. Wanneer we de Zon doorheen een telescoop zien is die eigenlijk wit van kleur. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)

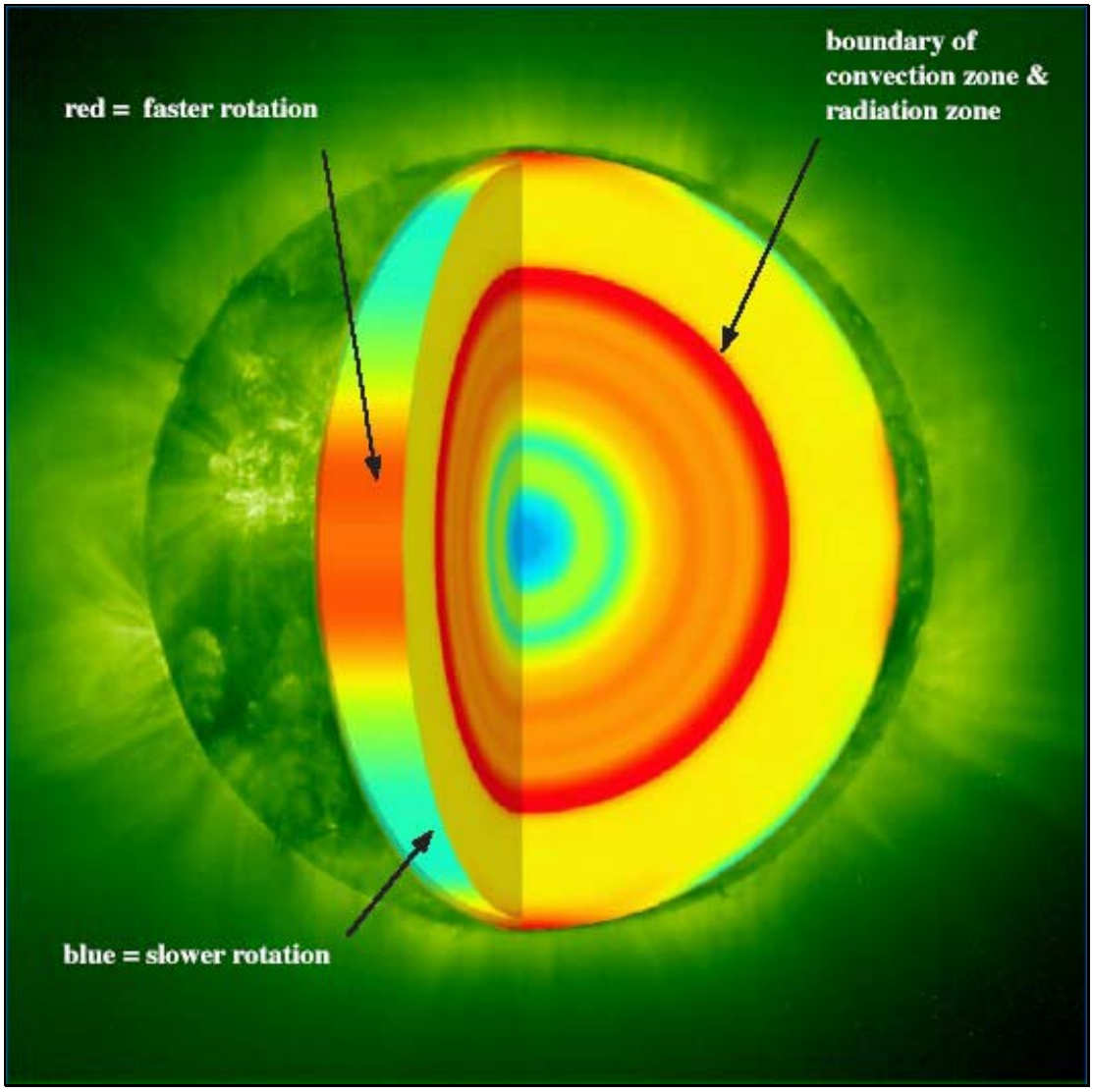


De Zon is niet altijd zo actief. Een goede week nadat de vorige foto werd genomen, op 6 November 2003 om precies te zijn, zag de Zon er duidelijk rustiger uit. Er was nog slechts één zonnevlek te zien omringd door wat fakkelvelden. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)



Nog een dagje later, op 7 November 2003, was het dan eindelijk zover: een volledig vlekkenloze zon. Foto genomen met de CANON EOS-10D op 200 ASA en 1/3.000 s (het groenkanaal staat hier weergegeven). (© 2003, Philippe Vercoutter, België)

De Zon wentelt om haar as, doch deze **aswenteling** is niet voor alle plaatsen op het zonneoppervlak gelijk. Dit fenomeen noemen we de **differentiële rotatie**. Dit komt doordat de Zon een gasvormig lichaam is. Aan de evenaar wentelt ze bijvoorbeeld vlugger dan aan haar polen. De rotatietijd bedraagt gemiddeld zo'n 27 dagen. Aan de polen is dit zo'n 34 dagen.



De lagen in de zonneatmosfeer roteren niet allemaal aan dezelfde snelheid. In bovenstaande animatie zijn de snelste zones rood en de traagst draaiende blauw ingekleurd. (© SOHO, ESA-NASA)

☞ **Wist U dat U met behulp van zonnevlekken zelf de rotatiesnelheid van de Zon kan bepalen ?**

Op het internet zijn diverse nota's of kant en klare brochures terug te vinden over hoe je een experiment kunt opzetten om zelf de rotatiesnelheid van de Zon aan de hand van de beweging van zonnevlekken te bepalen. Zie bijvoorbeeld onderstaande interessante URL's:

- http://www.chabotspace.org/vsc/exhibits/solarb/educationresources/touchthesun/01_SUNSPOTTRACKER.pdf
- http://sohowww.nascom.nasa.gov/explore/activities/Spotexerweb.pdf

en het bijhorende filmpje http://sohowww.nascom.nasa.gov/explore/activities/spotexrS.mov

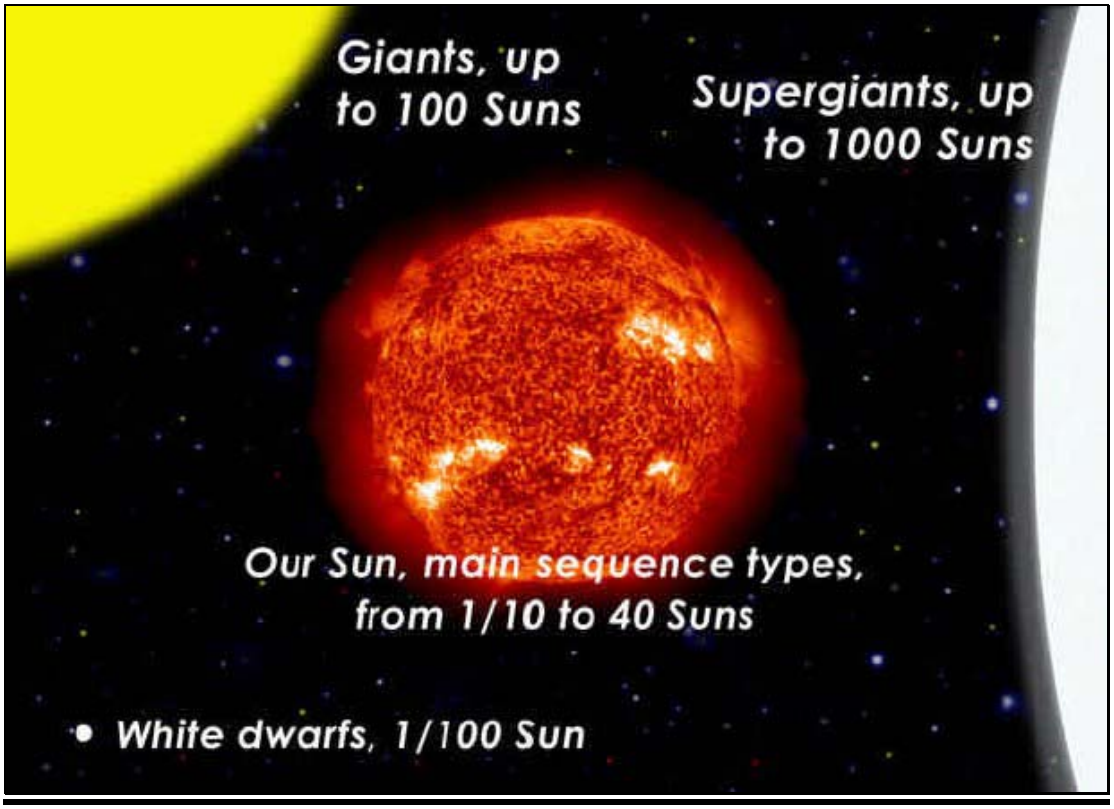
- http://solar.physics.montana.edu/YPOP/Classroom/Lessons/Rotation/

Succes er mee!

Wegens haar grote massa heeft de Zon een **enorme aantrekkingskracht**. Indien iemand op de Zon zou staan, wat uiteraard niet mogelijk zou zijn, dan zou die persoon 27,9 keer zo zwaar zijn als op Aarde. De massa van de Zon is 1,98 . 10^{30} kilogram.

De Zon neemt deel aan de **rotatie van het melkwegstelsel**. Zij bevindt zich op 8.000 parsec van hen middelpunt van het stelsel en beweegt zich dan ook met een grote snelheid (250 km/s) daarrond.

Hoe is de dagster nu opgebouwd ? We kunnen wel zeggen dat ze een **gasbol** is, maar toch is het zo dat we **verschillende lagen** in de Zon zelf en ook een soort atmosfeer rond de Zon kunnen onderscheiden. Wanneer we nu de bouw van de Zon bestuderen, dan bestuderen we in feite ook de bouw van iedere andere ster (hierbij enkele speciale categorieën van sterren buiten beschouwing gelaten). Zo wordt de fysische beschrijving van de Zon eigenlijk een fysische beschrijving van de sterren. Ook de verschijnselen die we op onze Zon waarnemen, mogen we hoogstwaarschijnlijk uitbreiden naar iedere andere 'normale' ster. Het onderzoek van de Zon is dus richtinggevend voor het onderzoek van alle sterren.



*De zon is een ster. We noemen ze een dagster omdat het omzeggens de enigste ster is die we overdag kunnen zien. Er bestaan zowel grotere sterren (reuzen genoemd zoals bijvoorbeeld de **Rode Reuzen**) als kleinere (zoals de **Witte Dwergen** bijvoorbeeld). (© SOHO, ESA-NASA)*

2. De Zon aan de Hemel

2.1. De baan van de Aarde rond de Zon

De Aarde draait één keer per jaar rond de Zon. In eerste instantie kan men deze baan als cirkelvormig beschouwen. De Zon is gemiddeld zo'n 149.000.000 kilometer van ons verwijderd. Deze afstand wordt in de sterrenkunde ook als afstandseenheid gebruikt: de **astronomische eenheid**. Afgekort wordt dit **A.E.** .

☞ **Hebt U er al eens bij stilgestaan hoe men de afstand tussen de Aarde en de Zon eigenlijk bepaalt ?**

Er zijn eigenlijk niet zoveel methodes gekend om die afstand rechtstreeks of onrechtstreeks te bepalen. Op 8 Juni 2004 vindt er een heel uitzonderlijk natuurfenomeen plaats nl. een zogeheten Venusovergang. Bij dit zeldzaam natuurverschijnsel trekt de tweede planeet van ons zonnestelsel, Venus, over de zonneschijf. Wanneer men van op verschillende plaatsen op Aarde de preciese tijdstippen noteert waarbij dit verschijnsel begint en stopt, dan kan men via berekeningen aan de hand van de genoteerde tijdsverschillen de afstand Aarde-Zon bepalen. Indien U meer wenst te weten te komen omtrent de nu komende Venusovergang en de methode om de afstand Aarde-Zon te bepalen, raadpleeg dan onze speciale website terzake www.venusovergang.be .

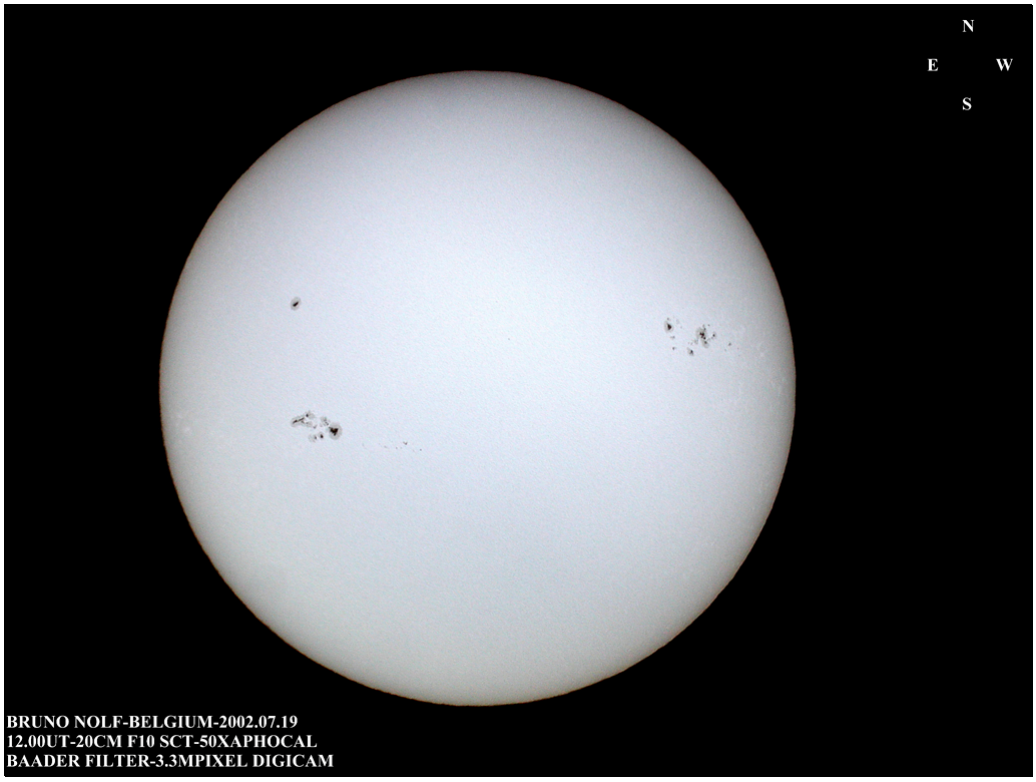
Zou de baan van de Aarde rond de Zon perfect cirkelvormig zijn, dan zou de schijnbare diameter van de Zon aan de hemel steeds gelijk zijn. Wanneer we nu echter de Zon goed waarnemen gedurende één jaar, dan constateren we dat haar schijnbare diameter gedurende dat jaar varieert. Dit komt doordat de **Aardbaan** rond de zon eigenlijk **ellipsvormig** (dus eccentrisch) is. Dit betekent dus dat op bepaalde momenten van het jaar de afstand Aarde-Zon groter of kleiner is dan 149 miljoen kilometer. Of nog anders gezegd: de schijnbare zonneschijf is soms een ietsje groter of kleiner.

☞ **Wilt U zelf eens zien wat het effect van de ellipsvormige baan van de Aarde rond de Zon heeft op de schijnbare diameter van de Zon?**

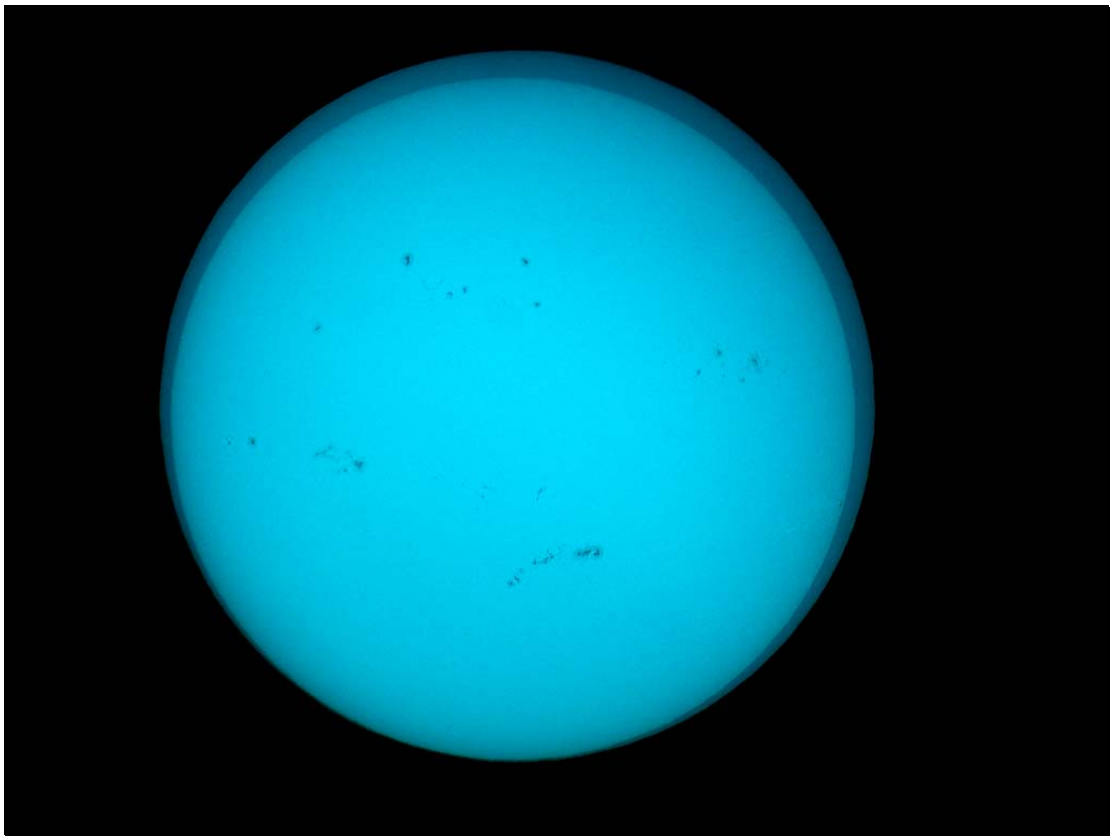
Zo ja, dan kunnen wij jullie dit lesplan aanbevelen:
❑ http://solar.physics.montana.edu/YPOP/Classroom/Lessons/Eccentricity/
Je vindt er onder andere opname's van de Zon gefotografeerd op 4 momenten van het jaar.
Succes ermee!

In tegenstelling tot wat de meeste mensen denken staat de Aarde het dichtst van de Zon in de Winter: begin Januari bevindt de Aarde zich in haar **perihelium** (het punt het dichtst bij de Zon nl. op zo'n 147 miljoen kilometer). Begin Juli, aan het begin van de Zomer dus, staat de Aarde het verst van de Zon (in haar **aphelium**) nl. op zo'n 152 miljoen kilometer. Het verschil tussen de verste en dichtste afstand tot de Zon bedraagt dus maar liefst 4 miljoen kilometer. Dit is een verschil van zo'n 3 %. Of kortweg gezegd: **de schijnbare diameter van de Zon is in de Zomer zo'n 3 à 4 % kleiner dan in de Winter**.

Hieronder vindt de lezer twee opnames gemaakt door de Belgische zonnefotograaf Bruno Nolf. Beiden werden ze, behoudens een ander filter, gemaakt met dezelfde apparatuur en vergroting (bij dezelfde brandpuntsafstand van Kijker en zoomlens van de digitale camera). Meet een de diameters even na en U zult constateren dat de Zon in de Winter het dichtst van de Aarde staat en dus dan het grootst is!







Leggen we beide bovenstaande beelden boven elkaar, dan wordt het verschil in grootte wel zeer duidelijk.Uitmeting van de foto levert hier een grootte-orde op van 660-632/632 pixels ≈ 4 %. Merk op dat de beide foto's niet precies op het moment genomen zijn dat de Aarde het dichtst en het verst van de Zon stond. Het gaat hier dus enkel en alleen maar over een ruwe schatting.

3. Bouw van de Zon

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=inwendige+zon

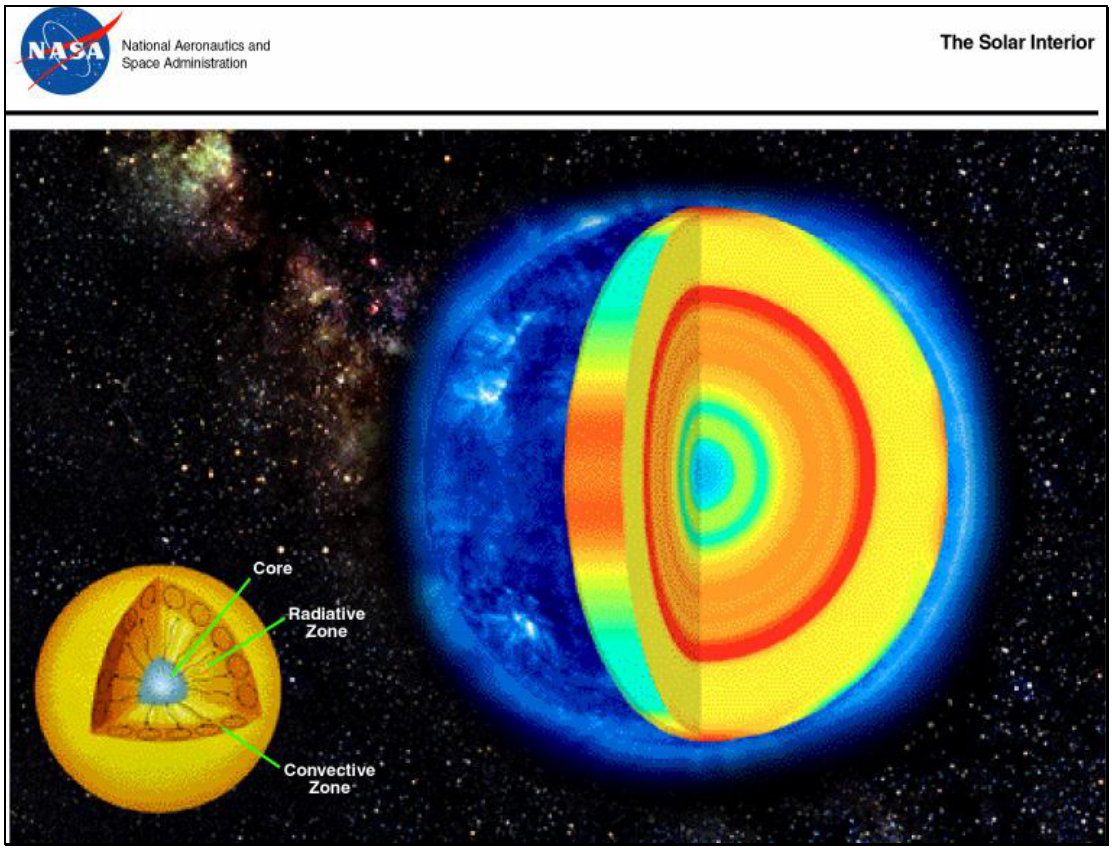
3.1. De kern: herkomst van de energie van de Zon

Het voornaamste bestanddeel van de Zon is **waterstof**. Door de enorme temperatuur in het binnenste van de Zon worden **waterstofkernen gecombineerd tot heliumkernen**. Men noemt dit KERNFUSIE. Vier waterstofatomen leveren 1 heliumkern, waarbij het massaverschil als energie vrijkomt (4.10^{12} Joule). Zulke thermonucleaire reacties zijn slechts mogelijk bij extreem hoge temperaturen. Dit gebeurt in hoofdzaak via de **proton-protoncyclus** (met een temperatuur gelegen tussen 10 en 20 miljoen K.)
Het nettoresultaat is dat vier waterstofkernen overgaan in één heliumkern, twee positronen (e+), twee neutrino's en twee fotonen. Het massaverlies in deze reactieketen wordt omgezet in energie: 600 miljard kg waterstof wordt 595,8 miljard kg helium; er is dus een verlies van 4,2 miljard kg/s. Deze omzetting houdt de straling op peil. Het resultaat hiervan is dat de hoeveelheid helium diep in de bol toeneemt. Uiteindelijk zal de voorraad voor het omzetten in helium beschikbare waterstof uitgeput raken, maar dat zal pas over circa 4 miljard jaar het geval zijn. Het is deze eerste cyclus die overheerst op onze zon.

Een schema die op een duidelijke manier de kernreacties weergeeft zoals die zich op de Zon voordoen vindt U op http://www.urania.be/sterrenkunde/zonnestelsel/zon.php (zie de rubriek:" De kernreacties in de zon").

3.2. Energietransport van het centrum van de Zon naar haar oppervlak.

Dit energietransport gebeurt hoofdzakelijk via twee mechanismen:
a) stralingstransport
b) convectietransport



De energie die in de kern (core) wordt geproduceerd aan de hand van kernreacties wordt eerst via straling naar de buitenste lagen afgevoerd (radiative zone). Nadien gebeurt de energieafvoer via een convectiezone (convection zone). (© NASA)

3.2.1. De stralingszone

Bij de proton-protoncyclus zagen we dat er onder andere **fotonen** vrijkomen en ook neutronen. Deze deeltjes zijn erg energierijk. Zoals we reeds aanhaalden, zijn fotonen eigenlijk **lichtdeeltjes**; hun energiehoeveelheid is bepalend voor de golflengte van de elektromagnetische straling waarmee elk foton kan geassocieerd worden. De fotonen, dus straling, zorgen ervoor dat een gedeelte van de bij de kernfusiereacties vrijgekomen energie naar het zonsoppervlak wordt getransporteerd. Dit gebeurt in een zone net rond de kern van de Zon: de stralingszone of radiatieve zone.

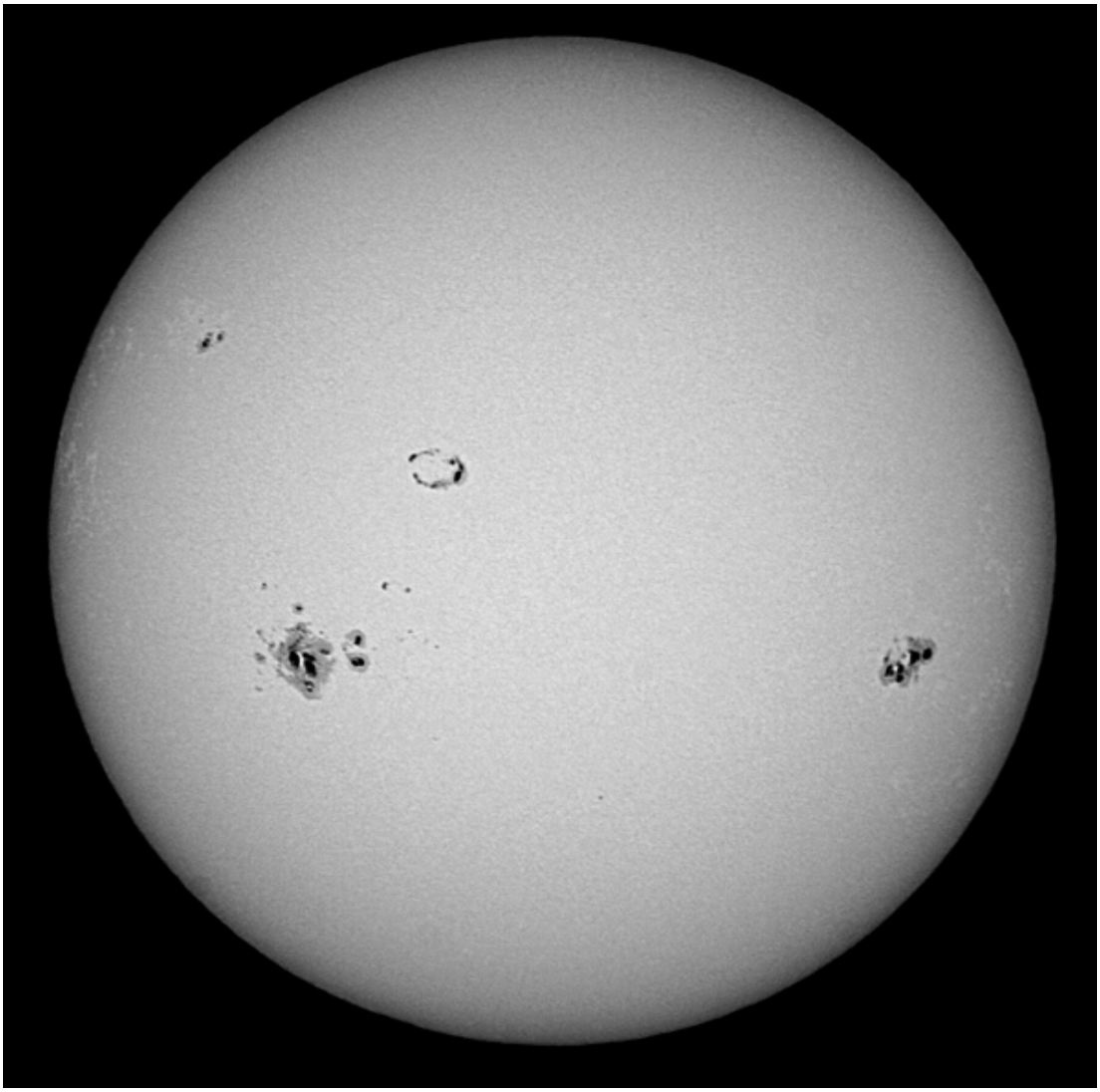
3.2.2. De convectiezone

Fotonen alleen zijn niet voldoende om alle geproduceerde energie naar de buitenste regionen van de zon te vervoeren. Er is een tweede mechanisme nodig; namelijk dat van de convectie. Wat is nu convectie?
Hiervoor beschouwen we **volgende proef**: we verwarmen water tot een temperatuur van 100°C. Wat gebeurt er dan eigenlijk? In het begin van de proef heeft het water overal een gelijke temperatuur en dus ook dichtheid. Verwarmt men het water, dan zal in het begin de warmte zich gelijkmatig verspreiden. Doch wanneer het water al gedurende een zekere periode is verwarmd, zullen we kunnen waarnemen dat er belletjes opstijgen naar hen wateroppervlak. Dit komt omdat er in het water gebiedjes voorkomen waar het heter is dan in hun omgeving. Het komt er eigenlijk op neer dat de warmte op een bepaald ogenblik niet meer gelijkmatig is verdeeld over het hele watervolume. Op deze manier worden hetere bellen gevormd. Tijdens hun stijging geven deze bellen warmte af aan hun omgeving die zoals we reeds schreven koeler is dan de bel zelf. Op deze manier wordt dus ook energie getransporteerd van de warmere lagen naar de koudere. Dit proces noemen we **convectie**. We schetsen hier een voorbeeld met vloeistoffen, maar we mogen het begrip convectie evengoed uitbreiden naar gassen. Als voorbeeld van dit laatste kunnen we onze eigen aardatmosfeer geven: daar zullen de warmere luchtlagen ook naar boven stijgen (door het verschil in dichtheid in vergelijking met koudere luchtlagen).
Het proces van de convectie is ook actief op de Zon. In een schil net onder het oppervlak van de Zon (tot op 100.000 kilometer diepte) gebeurt **energietransport door convectie.** En wat zelfs meer is: we kunnen het convectietransport ook van op Aarde waarnemen als een **korrelige structuur** op het oppervlak van de Zon: de **zonnegranulatie** (zie verder in de tekst).

3.3. De fotosfeer

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=fotosfeer&search_level=1

De fotosfeer is net boven de convectiezone gelegen en is zo'n 250 kilometer dik. Het is de laag van waaruit de voor ons zichtbare straling afkomstig is. We kunnen niet dieper in de Zon kijken dan tot de fotosfeer. De temperatuur bedraagt er ongeveer 6.000 K.



Wanneer men gewoon naar de Zon kijkt dan bekijkt men eigenlijk de fotosfeer: we zien dan de zonnevlekken, de fakkelvelden en de granulatie. Deze foto werd op 27 Oktober 2003 met een 125 mm refractor genomen op de AstroLAB II sterrenwacht. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)

3.4. De chromosfeer



http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=chromosfeer

Deze strekt zich nog enkele duizenden kilometers boven de fotosfeer uit. De chromosfeer is visueel het beste zichtbaar tijdens een totale zonsverduistering als het felle licht van de fotosfeer is afgeschermd door de Maan. De dichtheid ervan varieert van 1/1.000 tot 1/10.000 van die in de fotosfeer. In de chromosfeer neemt de temperatuur toe van 4.800 K tot 20.000 K. In de hoge chromosfeer zelfs nog meer. Dit bovenste deel van de Zon is voortdurend in beweging. De materie is er immers niet in evenwicht en stroomt dus met snelheden tot 30 km/s weg. Deze deeltjesstroom noemt men de zonnewind.

3.5. De corona

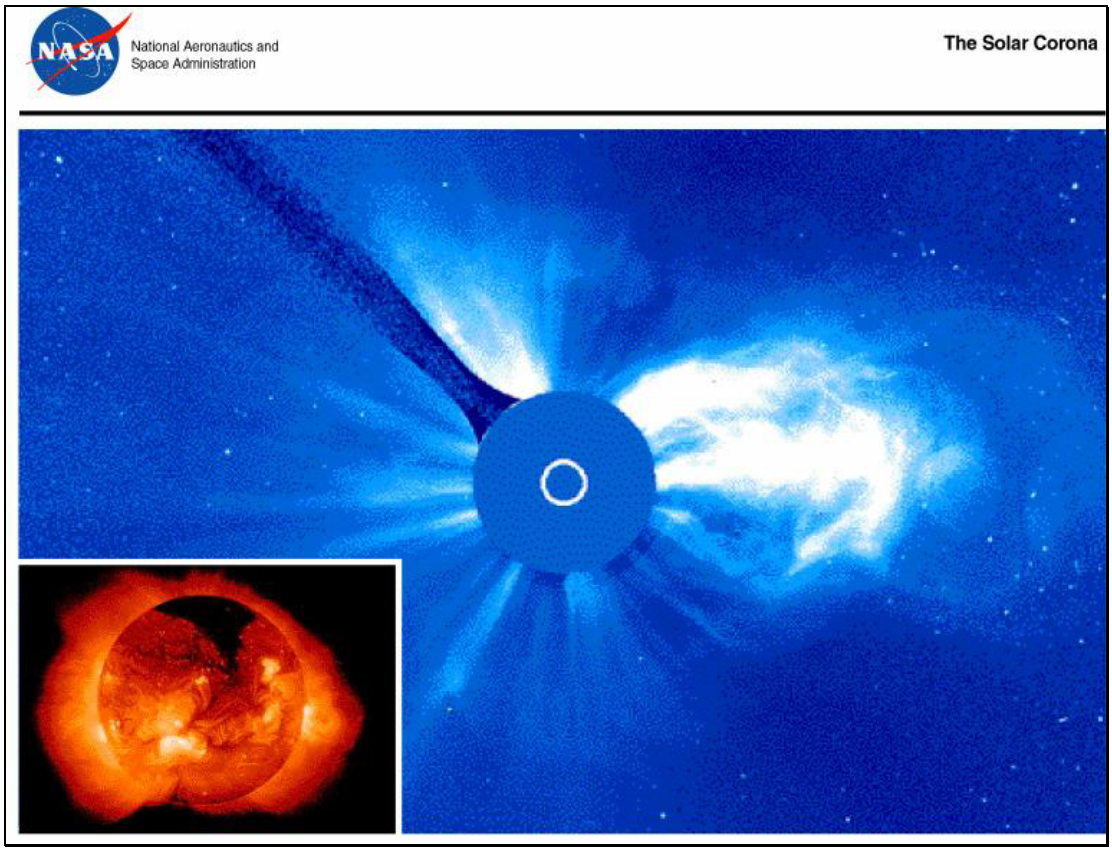
http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=corona
http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=CME+sun

De corona beeft een **zeer kleine dichtheid**. Deze is alleen bij een totale zonsverduistering zichtbaar of met een speciaal instrument: de **coronagraaf**. In een coronagraaf wordt het zonneoppervlak kunstmatig verduisterd waardoor de atmosfeer zichtbaar wordt. De corona strekt zich tot zeer ver buiten de Zon uit. Haar vorm en grootte variëren met de zonneactiviteit.



Doordat het felle zonsoppervlak door de Maan wordt afgedekt wordt tijdens een zonsverduistering de zonnecorona met haar streamers duidelijk zichtbaar. De reden waarom we de corona kunnen waarnemen is omdat het zonlicht wordt weerkaatst op de aanwezige sterk gïoniseerde hete gassen van die corona. (© Frans Pyck)

De temperatuur van de corona is zeer hoog: circa 1 miljoen K. De corona straalt ook radiostraling uit. In haar buitenste lagen gaat de corona geleidelijk over in de interplanetaire stofwolk. Bij een zonsverduistering zijn in de corona soms **streamers** te zien (ook nog **helmet streamers** genoemd vanwege het feit dat ze dikwijls de vorm aannemen van een helm): gasstromen die volgens de magnetische veldlijnen vanuit de polen "wegstromen".

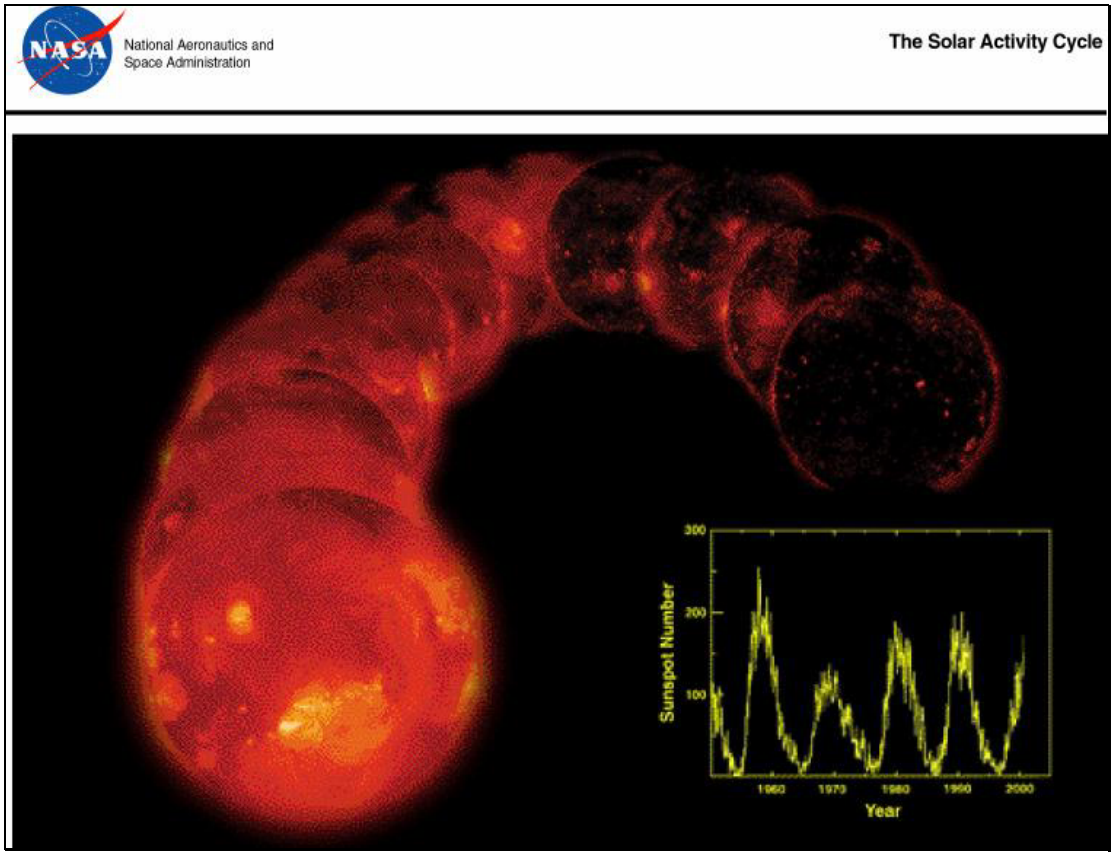


In de zonnecorona komen soms de restanten van heel grote uitbarstingen van energie en materie voor. Die worden ***Coronal Mass Ejections*** *geheten en afgekort als* ***CME****. Gedurende een zonnemaximum kan zo'n CME meerdere keren per dag plaatsvinden. De gemiddelde snelheid waarmee de materie zich voortbeweegt is gemiddeld zo'n 400 km/s, maar soms lopen deze snelheden op tot wel 2.000 km/s (bijvoorbeeld in de CME van 24 Oktober 1989 – data afkomstig van de Solar Maximum Mission SMM). De materie komt als wolken terecht in het zonnestelsel. Na enkele dagen kan zo'n wolk de Aarde bereiken. De interplanetaire ruimte zit vol met fragmenten van dergelijke wolken, en dit tot voorbij de baan van de planeet Pluto. (© NASA)*

4. Verschijnselen op de Zon

4.1. Zonne-activiteit

De Zon is een zeer woelig hemelobject. Voortdurend kan men in haar atmosfeer of op haar oppervlak verschijnselen waarnemen. Zo zien we vlekken ontstaan, groeien en weer verdwijnen, protuberansen rijzen omhoog in de chromosfeer, zonnevlammen flitsen op en de fakkels reizen met de zonnevlekken mee. Deze vier verschijnselen behoren tot de **"actieve Zon"** of de **"zonneactiviteit"**. Gewoonlijk zijn ze met een "actief gebied" geassocieerd en nauw verbonden met het magnetisme van de Zon. De zonet opgesomde verschijnselen keren steeds terug met een **cyclustijd van zo' n 11 jaar**.

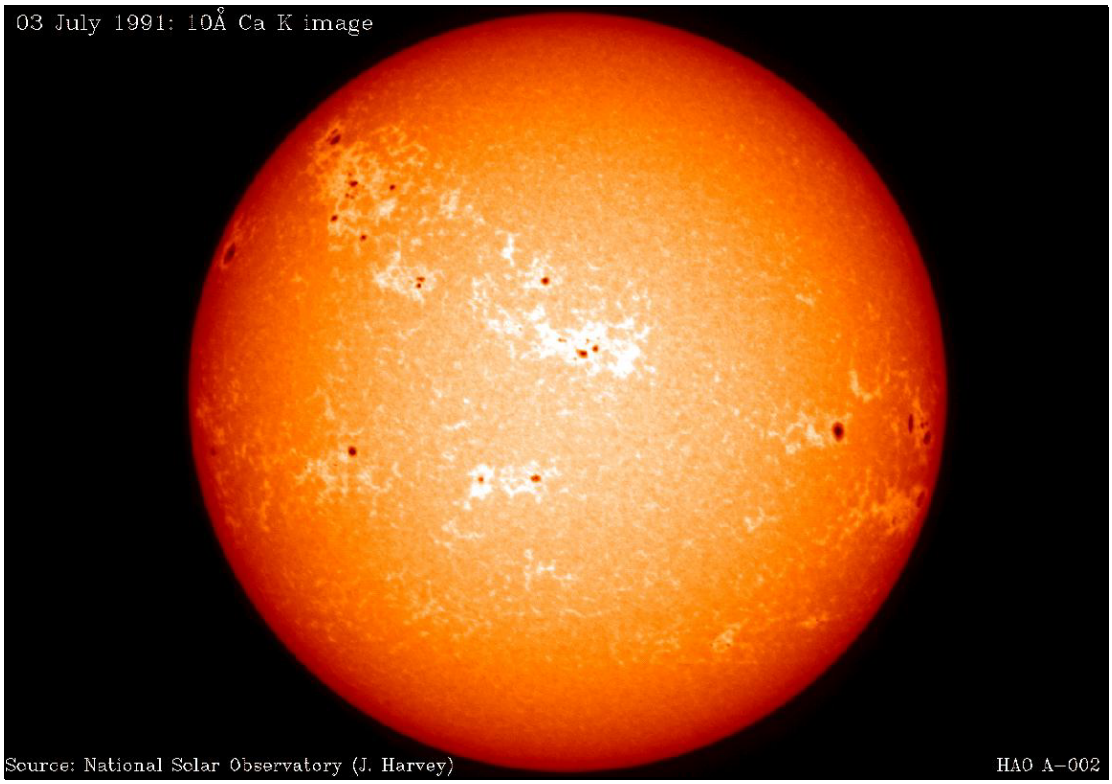


De zon wordt om de 11 jaar zeer actief. (© NASA)

In het begin van die 11-jaren periode, tijdens het minimum, zijn heel weinig verschijnselen te zien. Na drie tot vijf jaar neemt het aantal verschijnselen alsmede de heftigheid ervan snel toe. Bij het begin van de 11 jaar staan de verschijnselen op vrij hoge zonne-breedte, dit wil zeggen op bijvoorbeeld een 35°, om daarna geleidelijk naar de zonne-evenaar te verschuiven

4.1.1. Rol van het magneetveld

De Zon bezit in tegenstelling tot de planeten verschillende plaatselijke magneetvelden. Ze bevinden zich net onder de fotosfeer. Het grootst aantal windingen krijgen we op het maximum van de 11-jarige cyclus. Dit verklaart ook het feit dat de verschijnselen in grotere getale bij de evenaar voorkomen. Nadien gaat het magnetisme opnieuw afnemen. Doordat nu de convectiestromingen de gassen van net onder de fotosfeer alsook de magneetvelden flink dooreenschudden, gaat het geheel een warrige indruk krijgen. Deze velden oefenen een druk uit naar boven. Wanneer die kracht groot genoeg is, kan het veld doorheen de fotosfeer breken. Nu ontstaat er een gebied vol van zonneactiviteit. Zo'n gebied noemen we een **actief gebied**. We gaan nu enkele verschijnselen van die actieve gebieden van naderbij bekijken.



Deze foto werd genomen met een 10 Angström breed filter rond de K-spectraallijn van Calcium. Doordat deze spectraallijn gevoelig is voor magnetisme worden de gebieden op de zon met een sterker magnetisch veld duidelijk zichtbaar. Niet alleen de magnetisch actieve gebieden, maar ook de rest van de Zon (plages, zonnevlekken, enz.) blijven zichtbaar doordat het filter breedbandig is : dit wil zegen dat naast de specifiek Ca K – spectraallijn ook nog een gedeelte van het gewone zonlicht wordt doorgelaten. (© National Solar Observatory)

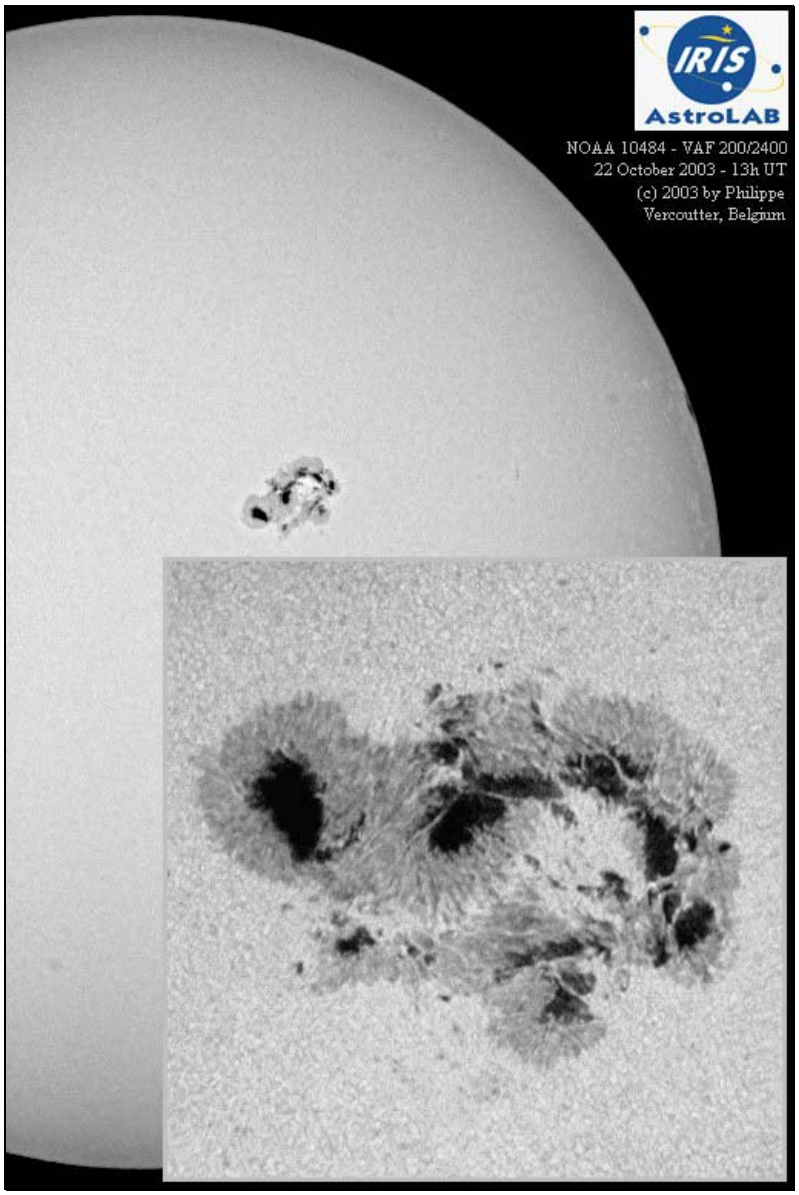
Verschijnsel op de Zon	Sterkte van het Magnetisch Veld
Normale zonneoppervlak	Enkele Gauss
Plages (fakkelvelden)	100 Gauss
Zonnevlekken	1.000 – 4.000 Gauss

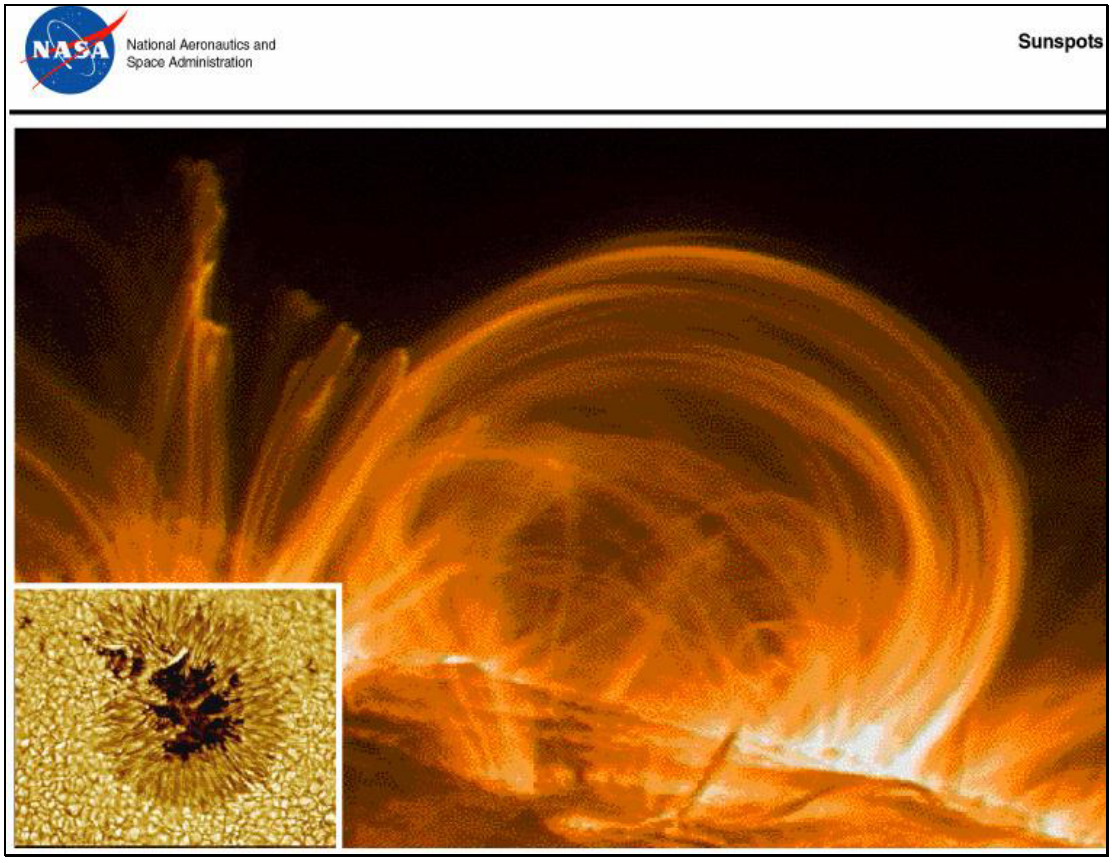
Sterkte van het magnetische veld voor diverse verschijnselen op de Zon.

4.1.2. Zonnevlekken

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=zonnevlek
http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=wilson+effect

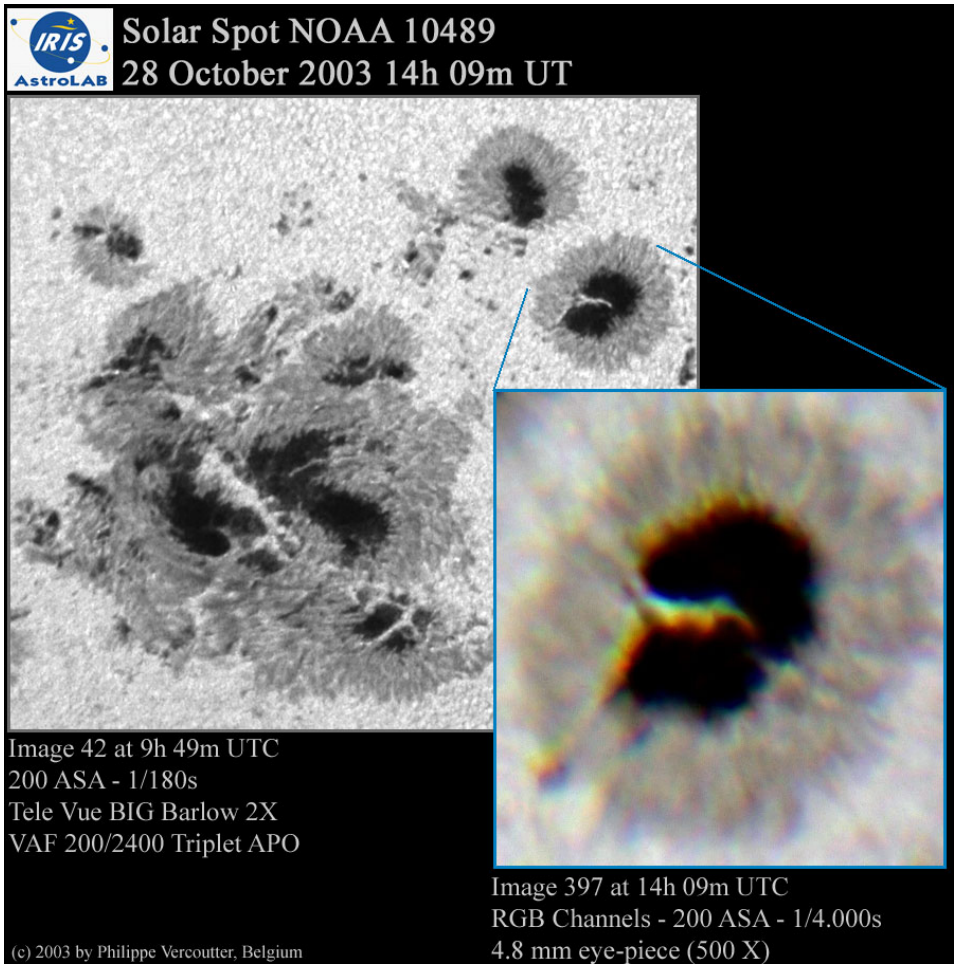
Op de Zon zijn ze zichtbaar als donkere vlekjes. In feite zijn het **putjes** op het zonneoppervlak die **koeler** zijn dan de rest van het zonneoppervlak, doordat het magneetveld ervoor zorgt dat de convectie (het opstijgen van hete gasmassa's) wat wordt afgeremd. Aangezien er nu minder energierijk gas het zonneoppervlak bereikt, bereikt er ook in het totaal minder energie het oppervlak, zodat dit gebied minder straling uitzendt, en dus donkerder en koeler is dan de rest van de fotosfeer. We kunnen een **donker en een minder donker gebied** in een zonnevlek onderscheiden: **de umbra en de penumbra** waar de temperatuur respectievelijk 2.000 K en 500 K lager ligt.





Zonnevlekken komen dikwijls in paren voor. Deze vlekken zijn door sterke magnetische velden aan elkaar gekoppeld. Het magnetische veld van de Zon is tweemaal zo krachtig als deze van de Aarde, maar wordt wel verdeeld over een oppervlak dat zo'n 10.000 x groter is. In een zonnevlek is het magnetische veld echter zo'n 4.000 maal zo sterk als het magnetische veld van de Aarde. Men kan het zich zo voorstellen dat het sterke magnetische veld bij de ene zonnevlek de zon verlaat en bij een andere vlek, zijn tegenganger, weer de Zon binnendringt. Zo'n paar van zonnevlekken gedraagt zich als een reusachtige magneet. (© NASA)

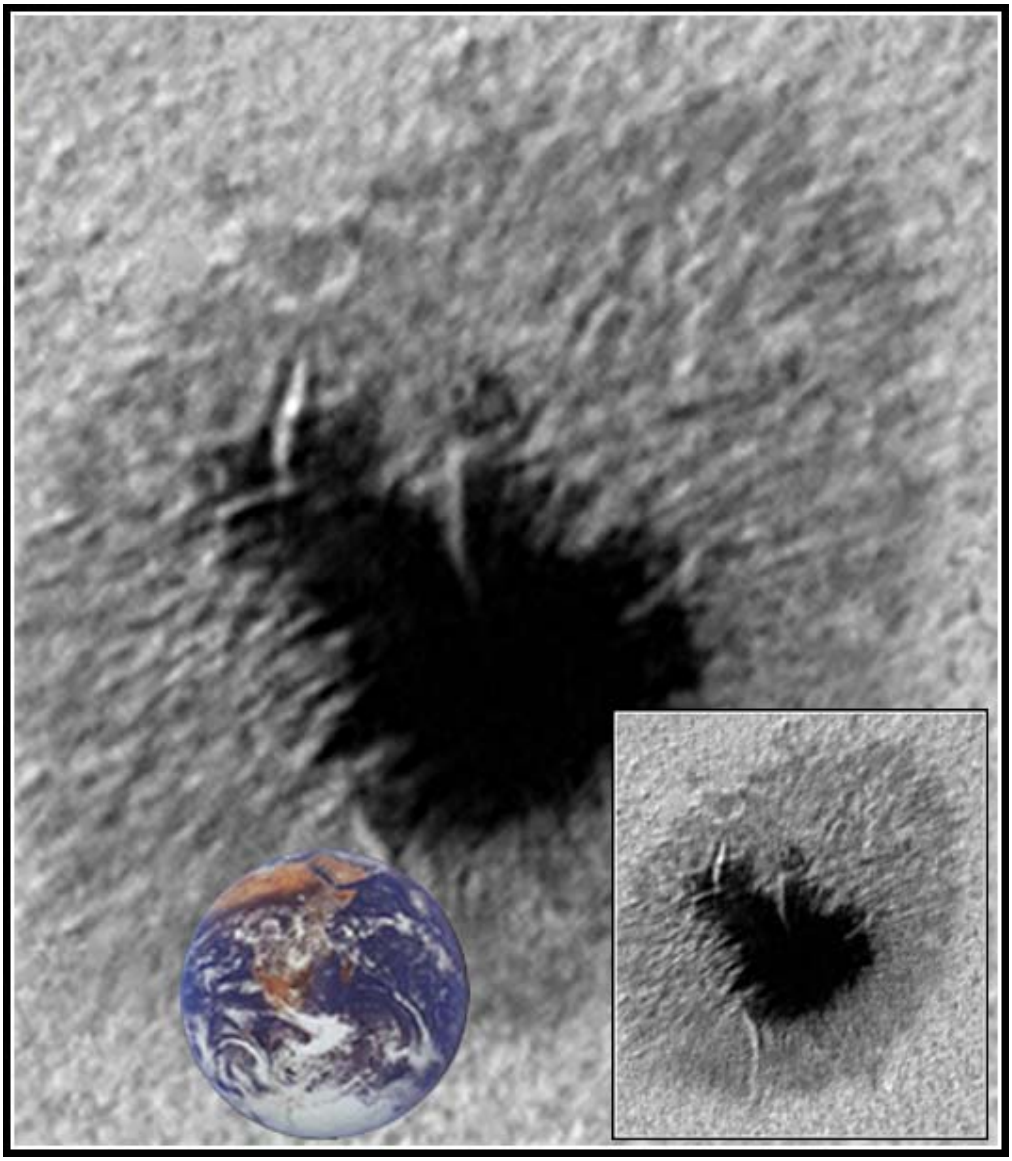
Bij grote uitvergroting zijn in de penumbra **donkere strepen** zichtbaar: de **striae**: dit is materie die uit de penumbra naar de fotosfeer stroomt.



De **diameter** van een zonnevlek ligt **tussen de 2.000 en de 100.000 kilometer**. Vlekken komen meestal in groep voor. De grote vlekken zijn dus veel groter dan de Aarde. Gemiddeld blijven vlekken één tot enkele weken bestaan, maar gedurende die weken maken zij een gans "leven" door. Ze ontstaan als **poriën**. Dit zijn kleine vlekken zonder penumbra, die groter worden. Tevens wordt het aantal vlekken in de groep groter. Daarna kunnen deze vlekken reusachtig worden, vooral tijdens of in de nabijheid van een zonnemaximum, om daarna tenslotte opnieuw kleiner te worden en te verdwijnen.

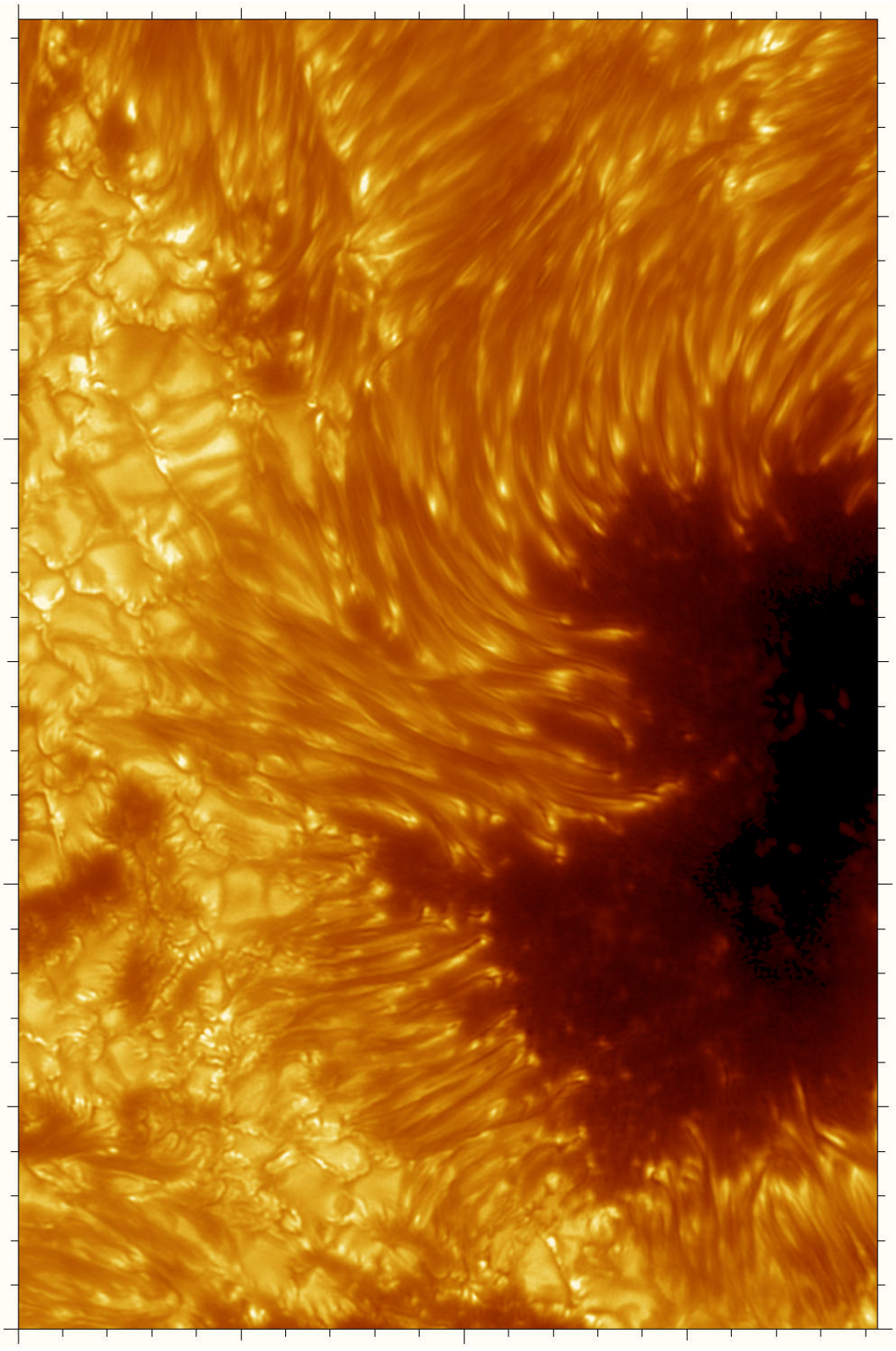
☞ **Hoe kan ik zelf de grootte van een zonnevlek bepalen ?**

Op http://solar.physics.montana.edu/YPOP/Classroom/Lessons/Sunspots/ staat er uitgelegd hoe je uitgaande van gelijk welke zonnefoto de grootte kunt bepalen van een zonnevlek. Meteen ondervind je zelf of een zonnevlek zo klein of zo groot is als een huis, een provincie, de Maan, de Aarde, enz. !



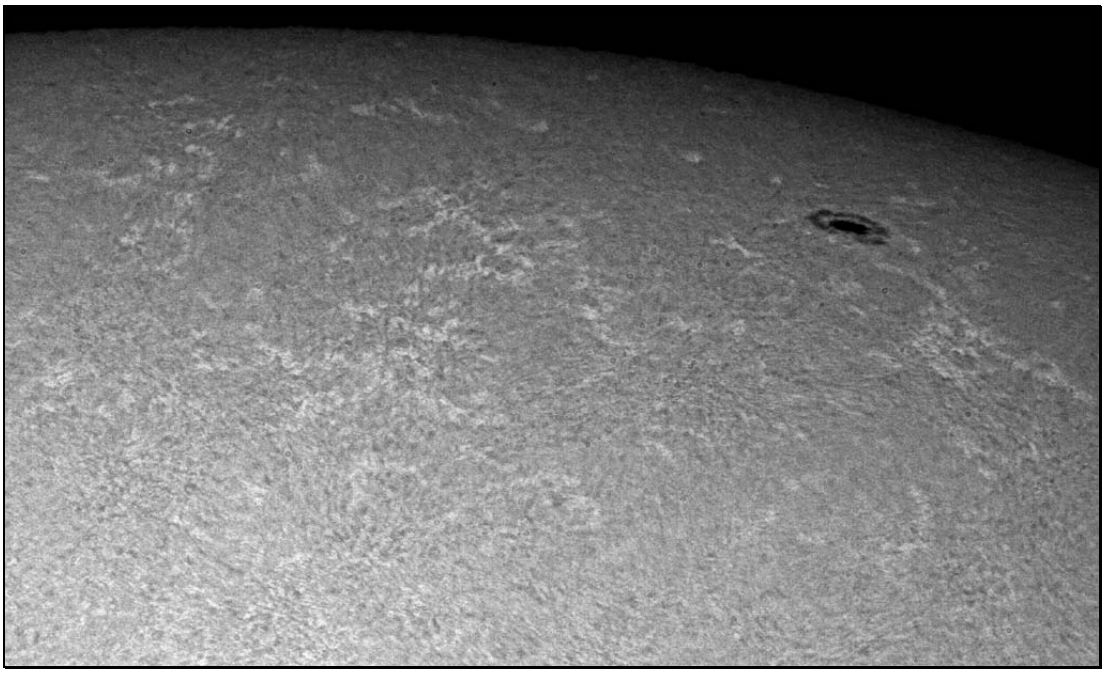
Deze "hoge"-resolutie foto van een zonnevlek werd op 8 Maart 2004 omstreeks 9h 41m UT met behulp van de VAF 200/2400 aprochromaat op AstroLAB IRIS II gemaakt (© 2004, Philippe Vercoutter, België). De Aarde werd op dezelfde schaal als de Zon afgebeeld.

Dat "hoge-resolutie" relatief is bewijzen de opnames door professionele sterrenkundigen genomen met de 1 m zonnetelescoop op La Palma op de Canarische eilanden. Volg deze link om de beste zonnevlekopnames te bewonderen die ooit van zonnevlekken zijn gemaakt: http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=ISP . Op de volgende bladzijde ziet de lezer alvast een voorproefje.



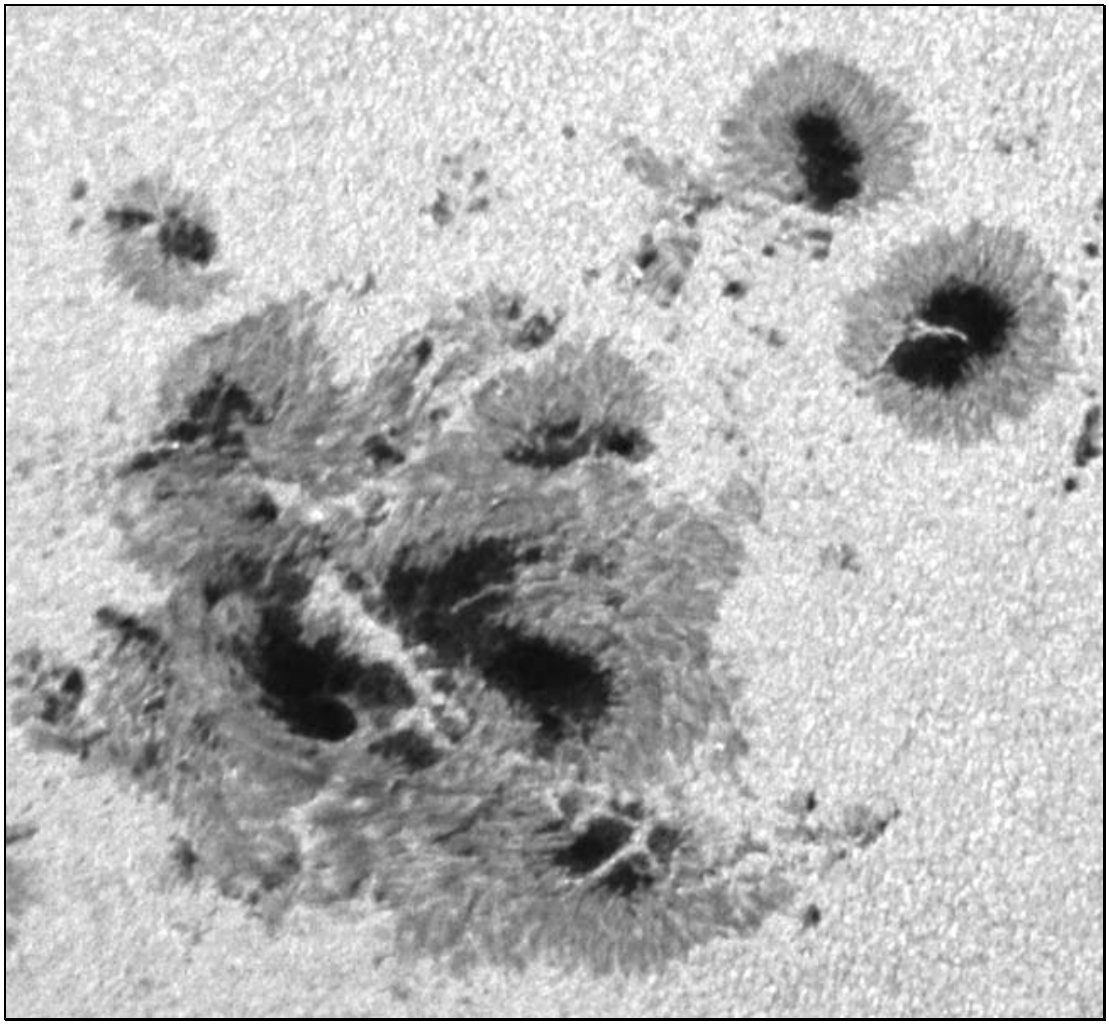
© 2002 Instituut voor Zonnefysica, Zweedse Academie voor Wetenschappen. De afstand tussen twee streepjes is 1000 kilometer. De opname werd op 15 Juli 2002 gemaakt met behulp van de 1 meter zonnetelescoop. Deze telescoop is momenteel de grootste zonnetelescoop ter wereld.

Ook interessant is het **wilsoneffect**: wanneer we grote zonnevlekken aan de zonnerand zien staan is soms (bij zeer goede omstandigheden en bij voldoende uitvergroting) een soort ondiepe put zichtbaar in de fotosfeer: dit bewijst het 3D-karakter van een zonnevlek.

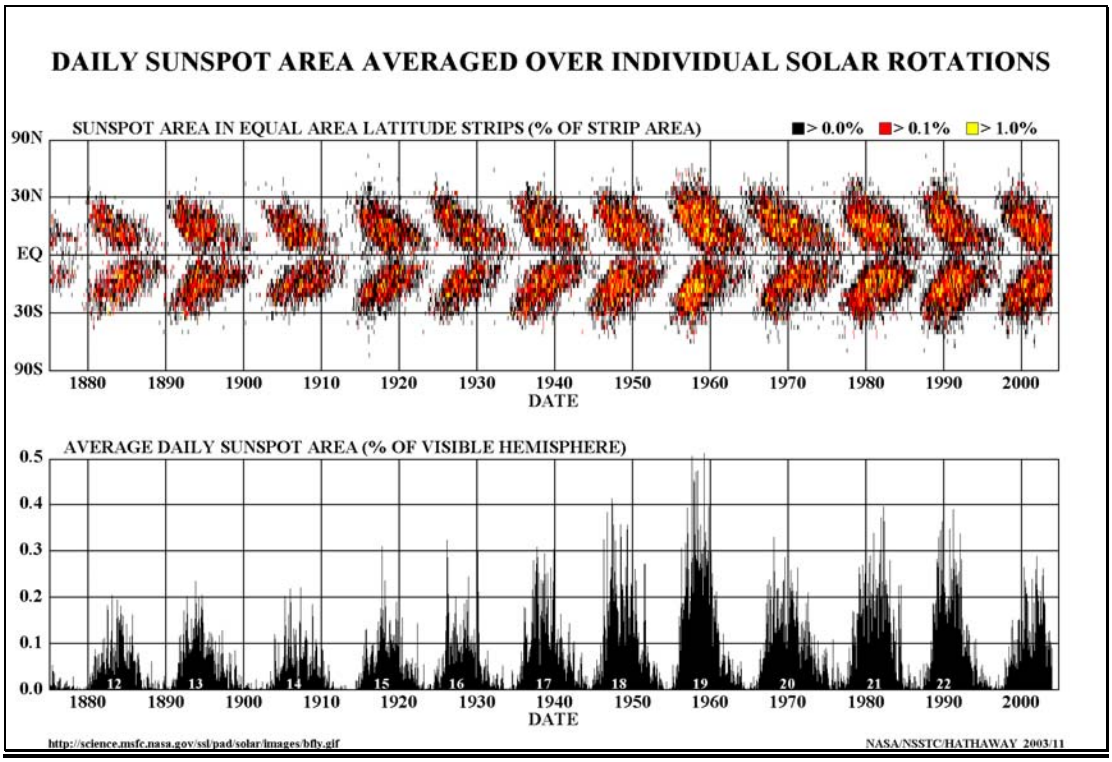


Op deze foto, genomen op 6 November 2003 omstreeks 11h 1m UT, zien we duidelijk het wilson-effect: de zonnevlek vertoont duidelijk een putachtige uitdieping (CANON EOS-10D, 200 ASA, ¼.000 s, © 2003, Philippe Vercoutter, België).

De zonneactiviteit wordt aangeduid met behulp van het **wolfgetal**. Dit getal wordt berekend met behulp van het aantal zonnevlekken die op dat bepaald tijdstip zichtbaar zijn: **Wolff-getal = aantal vlekken + 10 x aantal groepen**. Meestal wordt dit Wolff-getal dan nog met een correctiefactor vermenigvuldigd. Deze factor is onder meer afhankelijk van het type kijker en de waarnemer. Met behulp van het wolff-getal kan men de zonneactiviteit in grafiek weergeven.



Zonnevlekken komen nogal vaak in groep voor. Deze groep werd aangeduid als NOAA 10486 en werd op 28 Oktober 2003 op de AstroLAB IRIS sterrenwachten gefotografeerd met behulp van de VAF 200/2400 lenzenkijker en een Herschel prisma. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)



Zonnevlekken komen langs beide zijden van de evenaar van de Zon voor (bijna nooit op breedteliggingen onder de 5° of boven de 40°).. Wanneer men de breedtelligging van alle zonnevlekken die men waarneemt uitzet op een grafiek, dan bekomt met het befaamde ***vlinderdiagramma*** *(in het Engels spreken we van het Butterfly diagramma). In zo'n grafiek zien we duidelijk dat er een cyclus van 11 jaar is waarbij er beduidend meer of minder zonnevlekken te zien zijn. De zonnevlekactiviteit wordt al opgemeten sedert het begin van de 17e eeuw. In de periode 1645-1715 waren er omzeggens geen zonnevlekken te zien. Men refereert naar die periode als het* ***Maunder Minimum****. Sinds de 1755-1766 cyclus krijgt iedere zonnecyclus een uniek nummer. Momenteel zijn we in de 23-e cyclus.*
(© NSSTC, NASA, Bron: http://science.msfc.nasa.gov/ssl/pad/solar/images/bfly.gif).

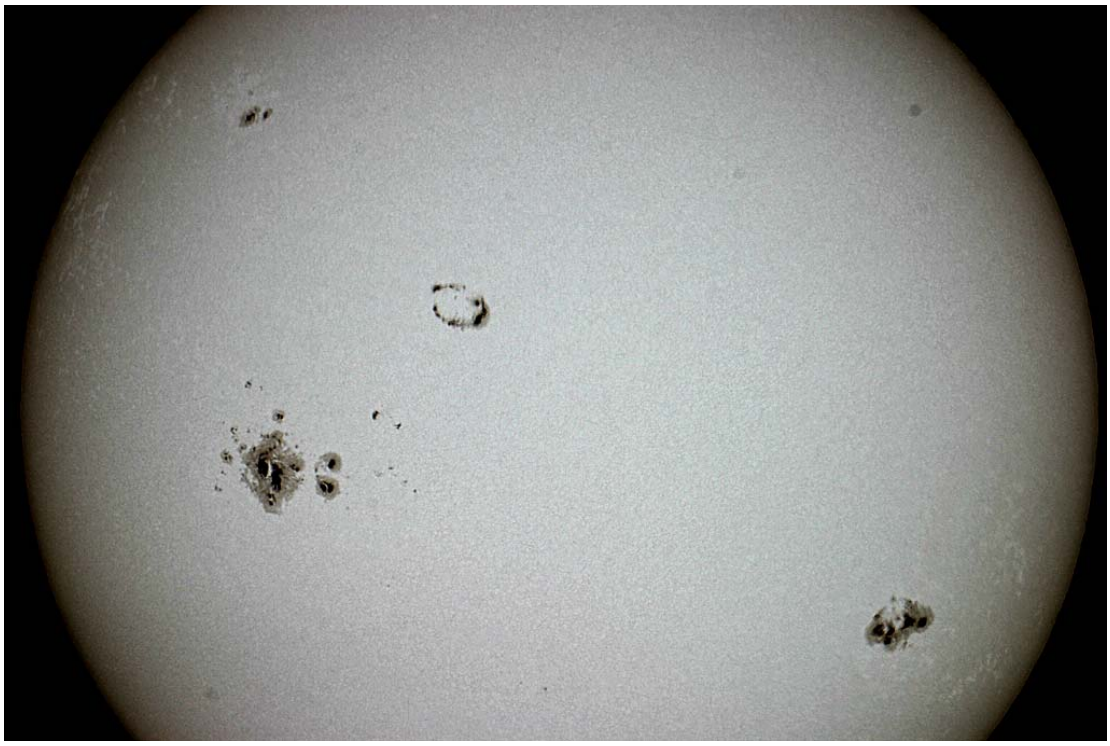
☞ **Hoe kan ik zelf de zonne-activiteit bepalen en alzo de zonnecyclus bepalen ?**

Op http://solar.physics.montana.edu/YPOP/Classroom/Lessons/Cycles/ staat er uitgelegd hoe je de huidige en voorbije zonneactiviteit kunt zien en interpreteren. Je vindt er alle nodige data en grafieken terug om tot een goed resultaat te komen. Alles wordt er gepresenteerd als een lesplan (nuttig dus voor gebruik in de klas).

4.1.3. Fakkels

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=sun+flare
http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=fakkelveld

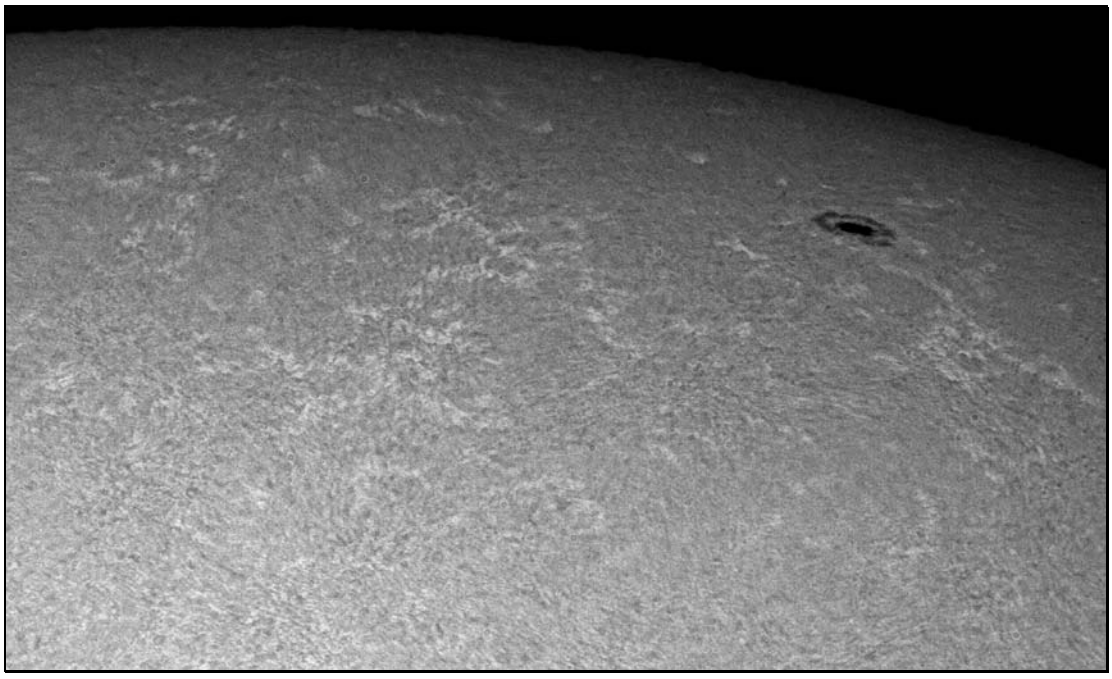
Dit zijn **heldere vlekken op de Zon**, die aan de rand van de zon, ten gevolge van de **randverzwakking,** soms zeer helder, maar in het midden bijna niet te zien zijn. Met randverzwakking wordt bedoeld dat de rand van het zonneoppervlak minder lichtkrachtig lijkt te zijn als de rest. Dit is te verklaren door het feit dat de Zon bolvormig is, waardoor men aan de rand van de zonneschijf minder diep in de fotosfeer kijkt dan in het midden. Aan de rand nemen we hoger gelegen gebieden waar. Deze hebben een lagere temperatuur en dus een kleinere lichtkracht, zodat de randen wat donkerder lijken dan de rest. Op die manier is het contrast groter tussen de witte fakkels en de achtergrond. Ze zijn dikwijls te zien in **fakkelvelden** (in het Engels **plages** geheten), die ontstaan in actieve gebieden een paar dagen voor het verschijnen van de zonnevlekken. Ze zijn lichtsterker dan de rest van het oppervlak omdat ze ongeveer **100 K heter zijn dan de rest** van het oppervlak. Ook in fakkels komen er magneetvelden voor.



Op bovenstaande opname kunnen goed de fakkelvelden worden onderscheiden als heldere gebieden rond de zonnevlekken en aan de rand van de zon. Opname van 27 Oktober 2003 met de VAF 200/2400 refractor genomen op AstroLAB II. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)



Bovenstaande foto werd op 3 November 2003 omstreeks 11h 40m MET genomen. Op dat moment verdwenen de zonnevlekkengroepen NOAA 10486 en 10488 aan de zonnerand. Men ziet duidelijk dat de zonnevlekken ingebed zitten in reusachtige fakkelvelden. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)

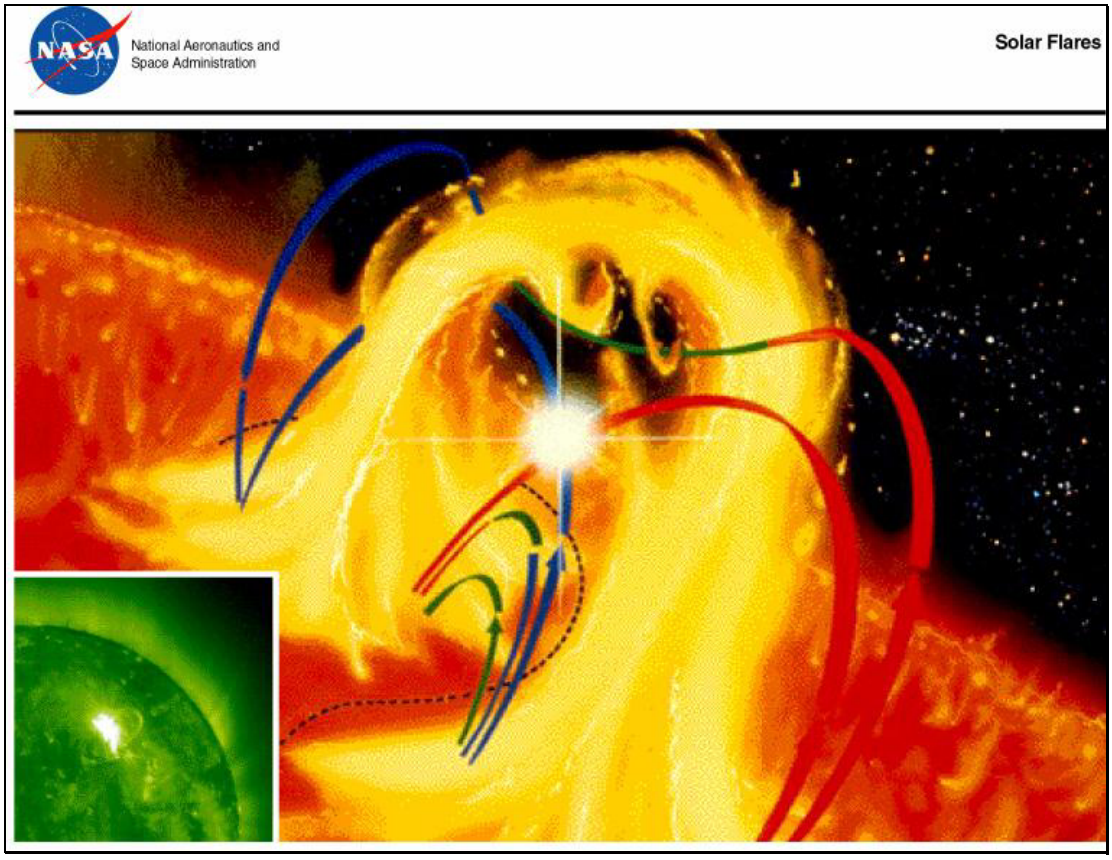


Op 6 November 2003 omstreeks 11h 1m MET werd deze opname gemaakt van zonnevlek NOAA 10495. Ze is omgeven door talrijke fakkelgebieden. Ook deze foto toont heel duidelijk netwerkstructuren die soms perfect cirkelvormig zijn (linksboven op de foto). (© 2003, Philippe Vercoutter, België)

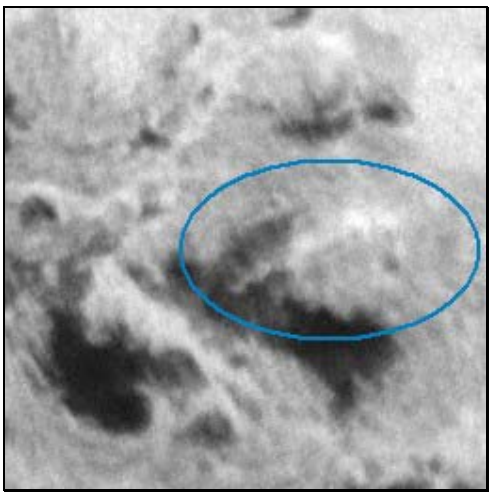
4.1.4. Zonnevlammen

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=zonnevlam

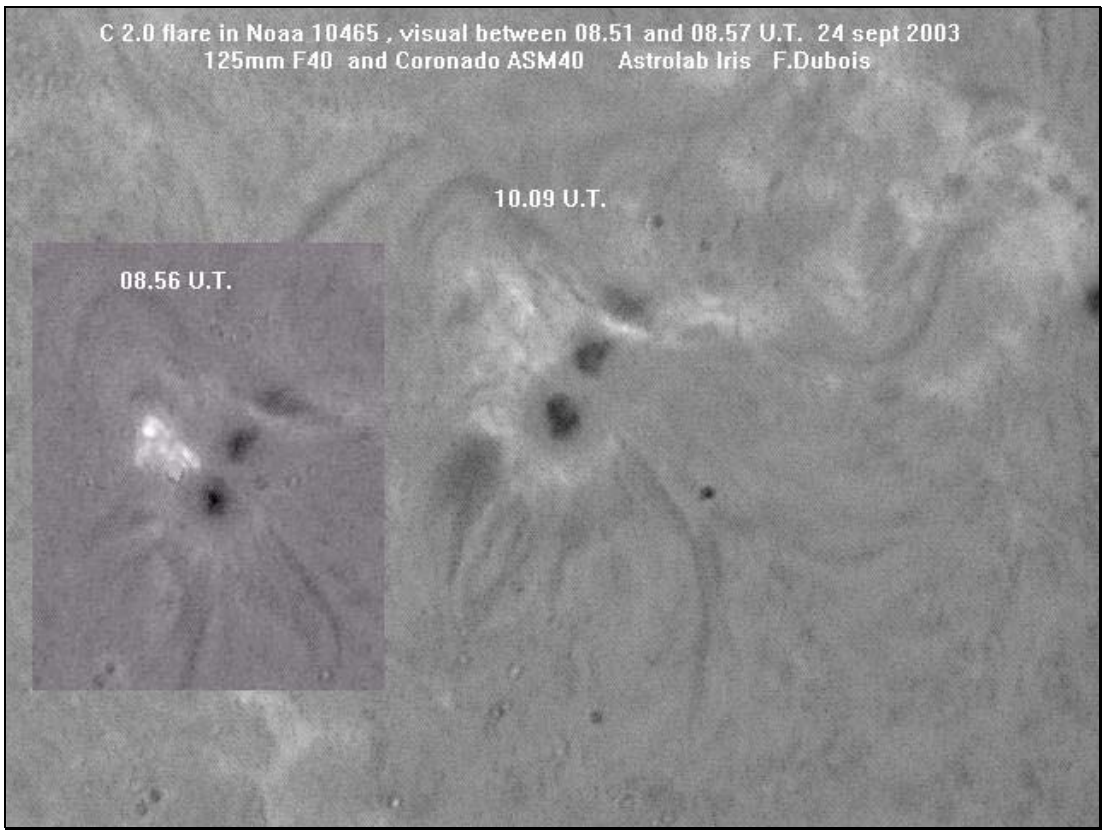
Zonnevlammen zijn **lichtstipjes** die in een paar minuten of seconden oplichten, en daarna in een kwartier weer afnemen in helderheid. Dit alles speelt zich af in de chromosfeer. De temperatuur van een vlam is iets hoger dan die van de chromosfeer; de dichtheid is er 100 tot 1.000 x groter, want hier worden gasmassa's met snelheden van duizenden kilometer per seconde omhooggestuwd. Daarbij worden protonen en elektronen met snelbeden van 100.000 kilometer per seconde uitgestoten. Wanneer die deeltjes in de poolgebieden van de Aarde doordringen, kan het radioverkeer op de korte golflengtes gestoord worden. Tevens kunnen er sterke uitbarstingen van röntgenstraling voorkomen, of kunnen bij zeer sterke zonnevlammen atoomkernen worden weggeslingerd. Dit veroorzaakt dan een toename van kosmische straling. Nog spectaculairder zijn protuberansen.



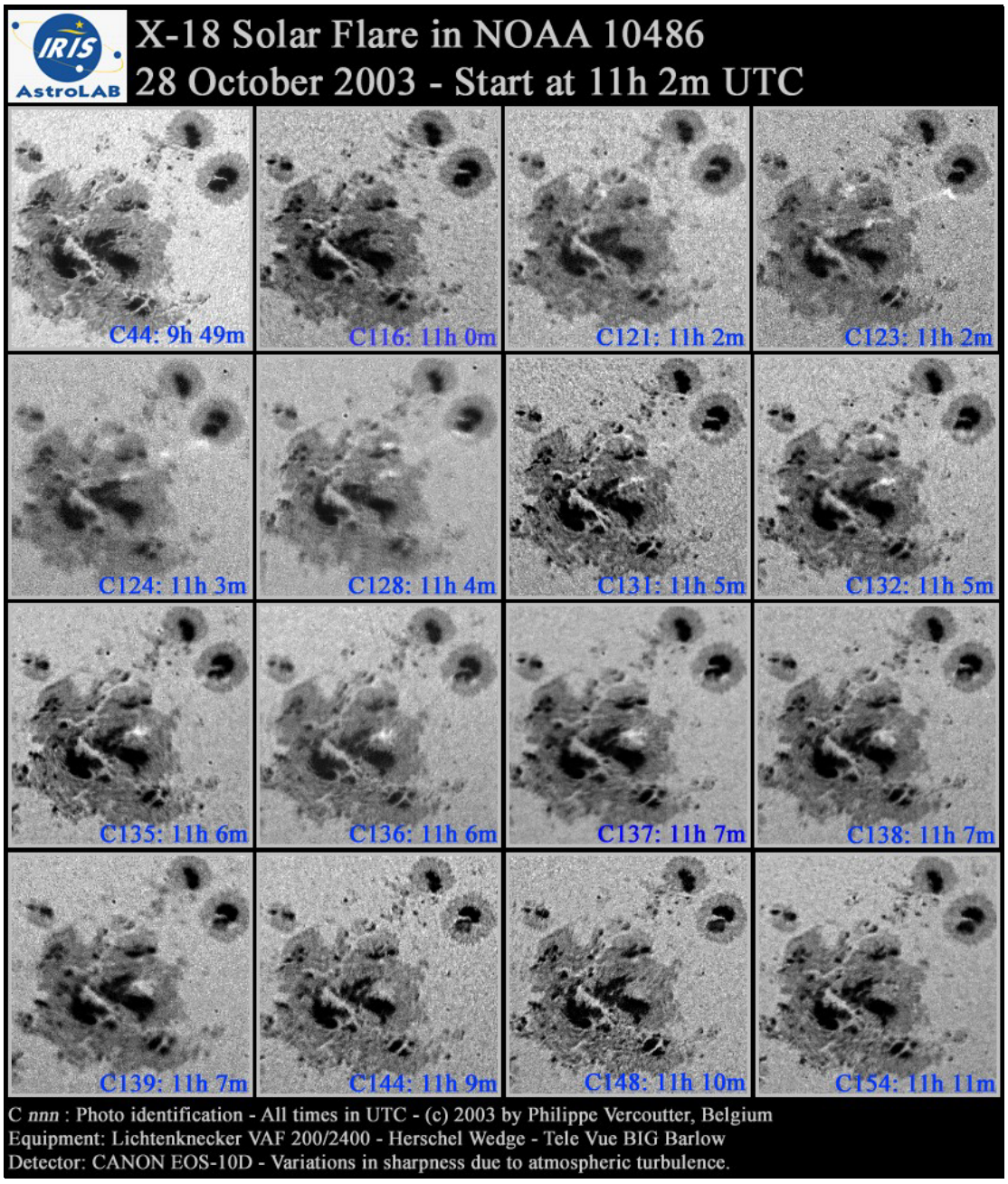
Bij een zonnevlam komt in een heel korte tijdspanne heel wat energie en allerlei deeltjes vrij. (© NASA)



Op 28 Oktober 2003 werd op de AstroLAB II sterrenwacht een zonnevlam in visueel licht waargenomen. Alhoewel deze opname door turbulenties in de Aardatmosfeer niet scherp is, kunnen we toch duidelijk de witte lichtvlek zien die vanuit het donkere gedeelte van de zonnevlek komt. De zonnevlam was gedurende enkele minuten zichtbaar en veroorzaakte enkele dagen later poollicht op de Aarde. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)



Ook in H-alfa licht kunnen zonnevlammen worden gedetecteerd. Deze opname werd gemaakt op 24 September 2003 op de AstroLAB II sterrenwacht. (© 2003, Franky Dubois, België).

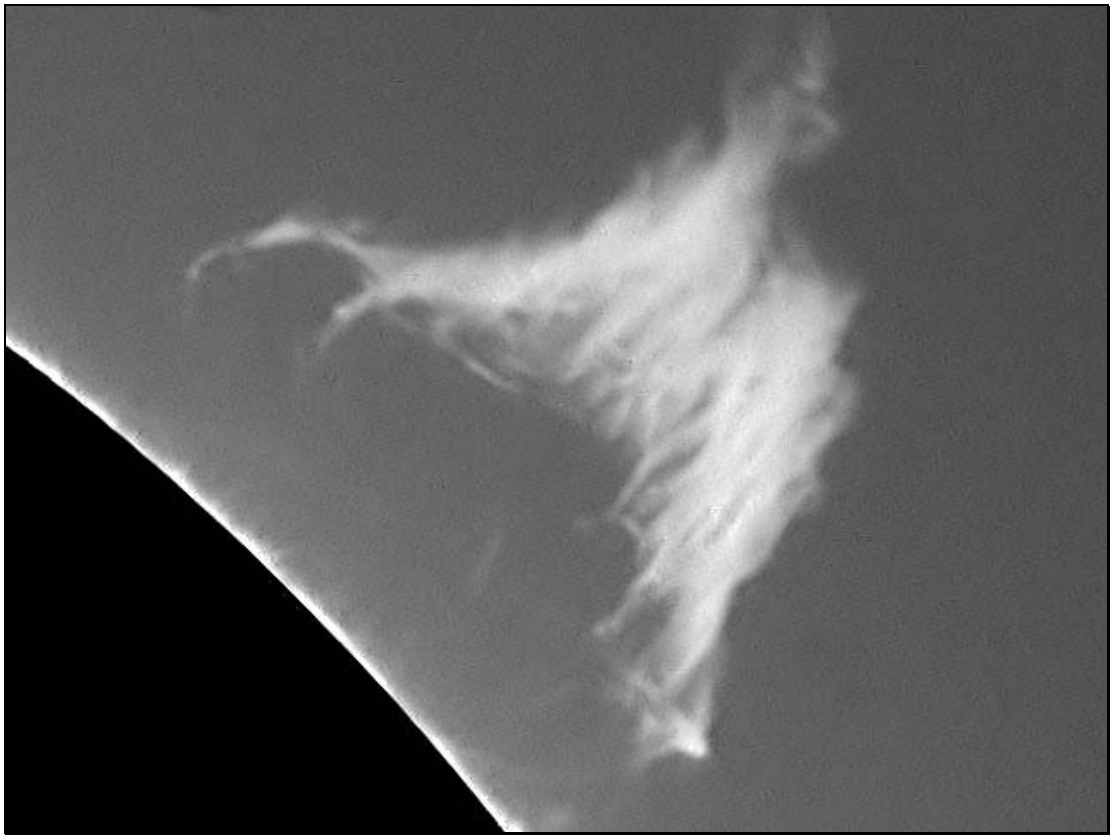


Een zonnevlam waarnemen in gewoon wit licht is technisch gezien niet moeilijk, alleen moet je nogal wat geluk hebben want dergelijke White Light Flares *(of WLFs zoals deze worden afgekort) zijn zeer zeldzame fenomenen. Bovendien blijven deze WLFs niet lang bestaan. In deze fotoreportage zie je duidelijk dat op 28 Oktober 2003 omstreeks 11h 2m UT een zonnevlam ontstond. Omstrees 11h 9m was die al sterk aan het uitdoven en omstreeks 11h 11m UT was die al helemaal weg (toch in wit licht). Als referentiemateriaal bevat de fotosequentie ook foto's genomen van het gebied net voor dat de zonnevlam uitbrak (foto's van 11h 0m en eerste foto van 11h 2m) alsook een hoge resolutieopname van 9h 49m UT waarop deze zonnevlam ook niet te zien was. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)*

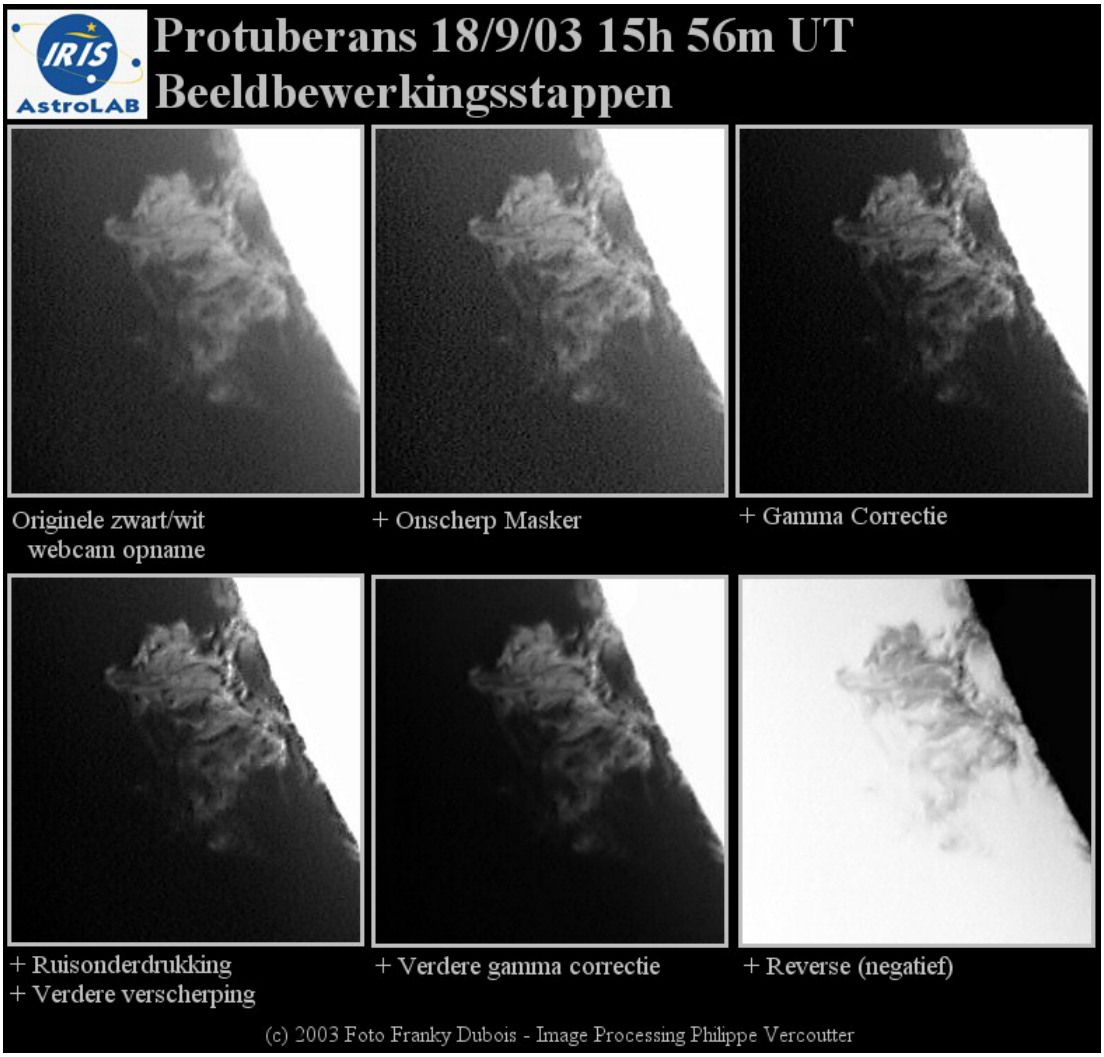
4.1.5. Protuberansen

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=protuberans

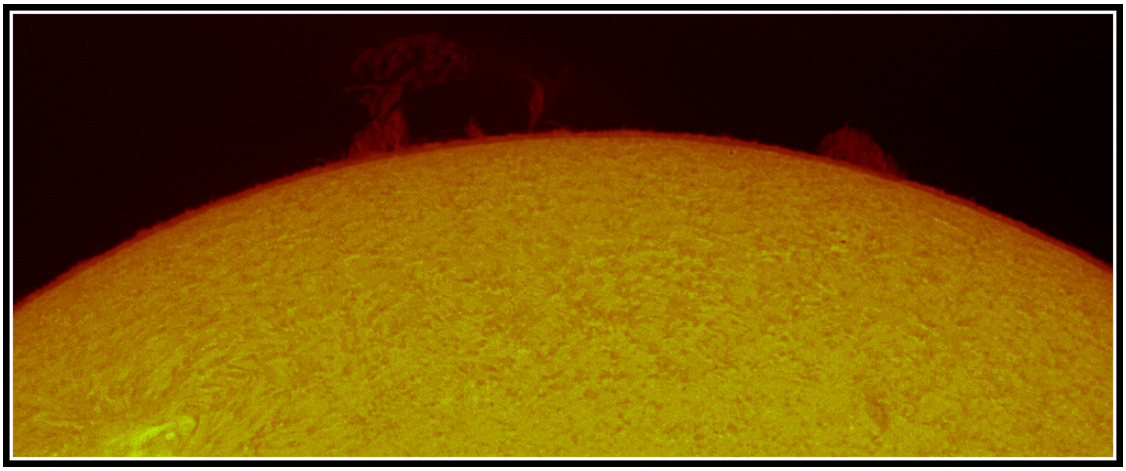
Protuberansen zijn zonneverschijnselen die **zeer dicht bij zonnevlekken** voorkomen. We zien ze als **purperrode gasmassa's** zeer ver boven de chromosfeer in de corona, bij zonsverduistering of door een protuberansenkuker (zie wat verder). Hier vloeit de uitgestoten zonnematerie omhoog langs de magnetische veldlijnen, die uit de fotosfeer zijn gebarsten. Diezelfde materie valt langs dezelfde veldlijnen ook terug op de Zon. De temperatuur is hier lager dan die in de omgevende corona, maar de dichtheid is er veel groter. Langlevende protuberansen blijven weken tot maanden bestaan, maar dan toch wel met talrijke veranderingen van vorm. Kortlevende protuberansen blijven slechts 10 tot 20 minuten bestaan. Gemiddeld zijn de protuberansen 10.000 tot 40.000 kilometer dik. De hoogte ervan kan oplopen tot 300.000 kilometer.



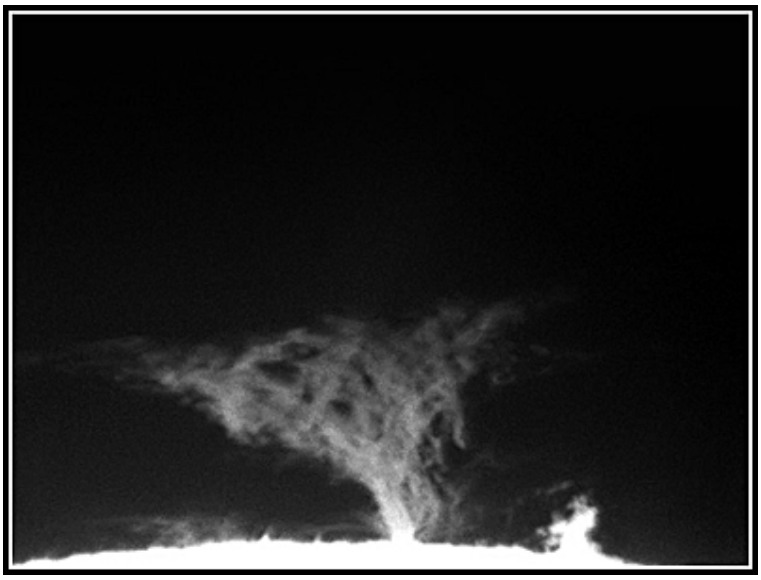
Protuberansen kunnen allerlei vormen aannemen. Ongeacht de vorm is het eindresultaat steeds dat er materie de ruimte wordt ingestuurd. (© 2003, Franky Dubois, Sébastien Kersten, Philippe Vercoutter, België).



Protuberansen fotograferen is niet altijd zo gemakkelijk. Hier ziet U hoe een op AstroLAB IRIS gefotografeerde protuberans wordt bijgewerkt tot een goede foto. Er wordt hierbij gebruik gemaakt van speciale computerprogrammatuur en diverse digitale beeldverwerkingstechnieken. (© 2003, Franky Dubois & Philippe Vercoutter, België)



Opname van verschillende protuberansen gemaakt met een CANON EOS-10D digitale camera op 30 maart 2004 omstreeks 14h 34m UT. (© 2004, Philippe Vercoutter, België)



Protuberansen kunnen allerlei vormen aannemen. Op 28 April 2004 omstreeks 8h 38m UT nam Franky Dubois deze T-vormige protuberans waar op de AstroLAB IRIS II sterrenwacht (© 2004, Franky Dubois, België – Digitale beeldbewerking door Philippe Vercoutter).



Dezelfde opname als hierboven maar ditmaal geïnverteerd. Geïnverteerde beelden laten soms meer details van protuberansen zien.

Protuberansen kunnen zich heel snel langsheen de zonnerand ontplooien. Op 17 December 2003 omstreeks 15h 50m UT heeft een team van zonnewaarnemers (Franky Dubois, Edwin De Ceuninck en Bertrand Thooris) op de AstroLAB IRIS II sterrenwacht een prachtige ontwikkeling van een protuberans kunnen vastleggen op video. Volg onderstaande twee URL's om hun spectaculaire resultaten te zien:

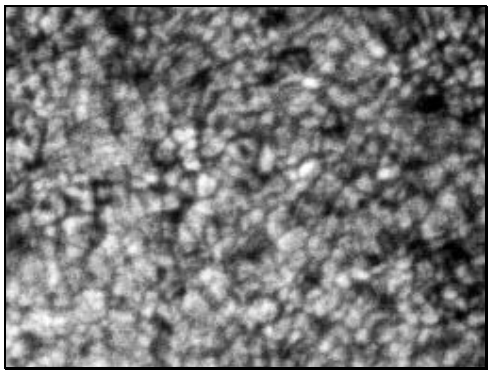
- Fotoreportage:
  http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=20031217
- Foto's & Video in allerlei formaten:
  http://www.astrolab.be/observations/Sun%2020031217/observations.html .

4.2. Verschijnselen die altijd zichtbaar zijn.

4.2.1. De granulatie

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=granulatie

Granulatie is zichtbaar als een **korrelige structuur** op het zonneoppervlak: heldere vlekjes zijn zichtbaar op een donkere achtergrond. Deze heldere korreltjes zijn in feite de **granulatiecellen**, dit is in feite een verzameling van reusachtige hoeveelheden heet gas dat aan het oppervlak opborrelt. De middellijnen van deze gasbellen variëren van 600 tot 2.000 kilometer en ze blijven minimum 10 minuten bestaan. Voortdurend ontstaan er nieuwe granulen en verdwijnen er andere. Ze zijn helderder dan de rest van het oppervlak doordat ze ook heter zijn. Het gas stroomt hier omhoog en in de donkere tussenruimten terug naar beneden.



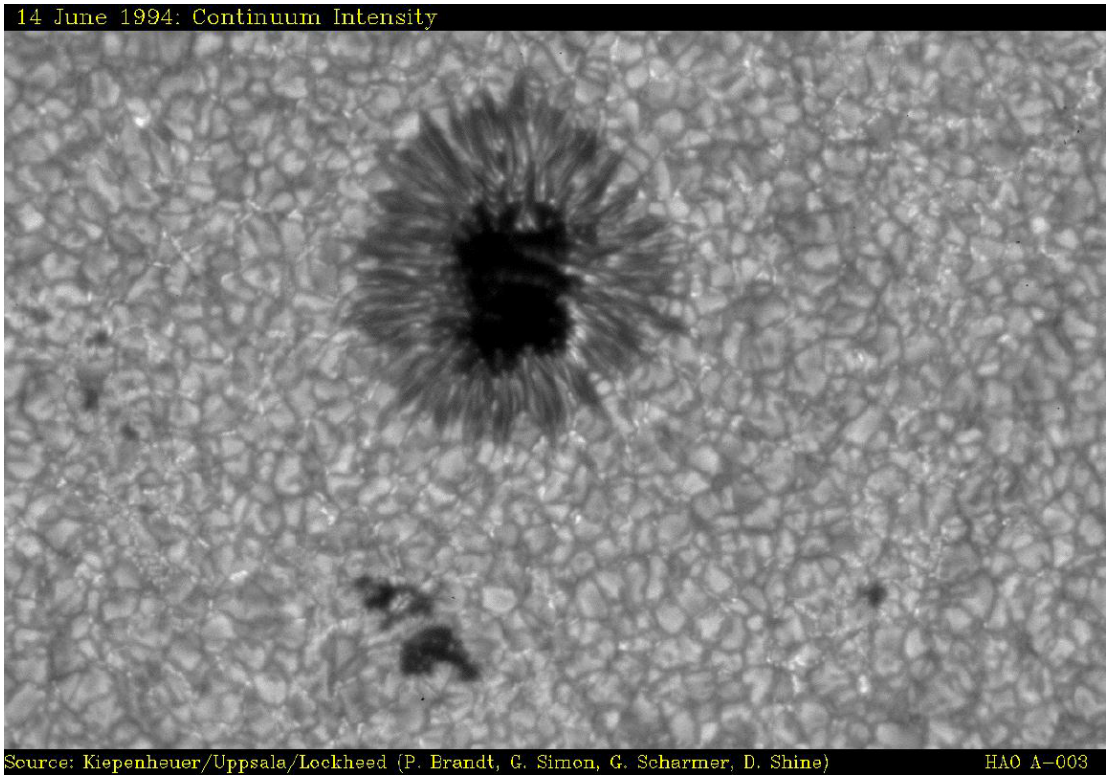
Granulatie op de Zon. Bewerking van een foto opgenomen op 12 Augustus 2003 in AstroLAB II. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)



Voor alle duidelijkheid : de granulatie op de Zon kun je niet zo goed zien als in de kleinere contrastrijke foto van daarnet getoond. In werkelijkheid zie je de zonnegranulatie zoals is weergeven in deze foto: veel zachter van tinten en weinig contrastrijk; een soort van melkachtige brij. Foto opgenomen op 12 Augustus 2003 in AstroLAB II. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)

Groepen van granulatiecellen kunnen zich als één **supergranulatiecel** gedragen: ze hebben een doormeter die is gelegen tussen 20.000 en 40.000 kilometer (groter dan de doormeter van de Aarde).

Wie eens een **driediemensionaal beeld** van het zonneoppervlak wil zien gaat best het persbericht van 18 Juni 2003 van Lockheed Martin Solar and Astrophysics Lab (LMSAL) bekijken op http://www.lmsal.com/Press/SPD2003.html . Deze spectaculaire foto's kun je ook rechtstreeks uit de ASTRID beeldendatabank van AstroLAB IRIS halen: http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=granulatie+ISP .



Een hoge resolutie foto van de zonnegranulatie opgenomen op een van de professionele zonnesterrenwachten op Aarde. (© 1994, P. Brandt (Kiepenheuer Institut für Sonnenphysik, Freiburg, Germany), G. Scharmer (Uppsala, Sweden) and G. Simon (National Solar Observatory)).

4.2.2. De spicules.

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=spicule

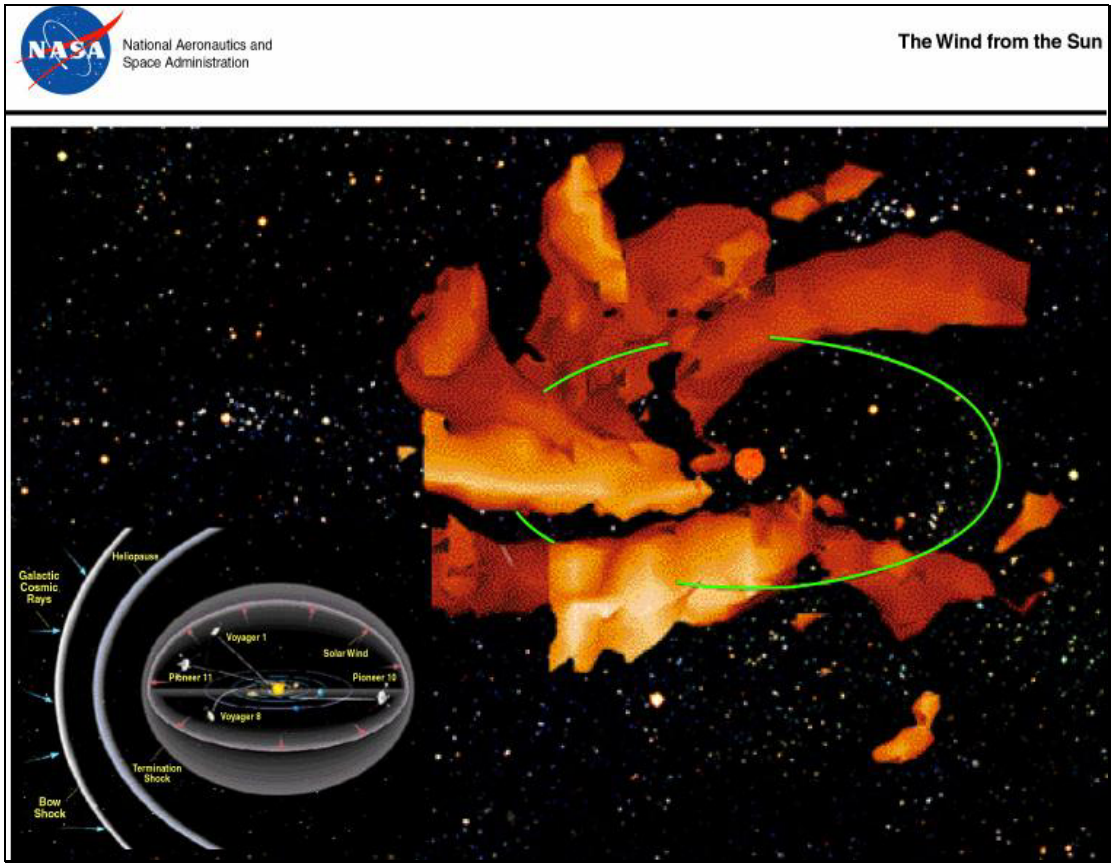
Dit is een **naaldachtige of grassprietachtige structuur** in de chromosfeer van de Zon, die vaak vertrekt vanuit het chromosferisch netwerk en bestaat uit opgestuwde gassen. Ze bebben diameters van ongeveer 1.000 kilometer en strekken zich uit tot 10.000 kilometer boven de rand van de fotosfeer. Ze blijven maar gedurende enkele minuten bestaan.

5. Radio- en deeltjesstraling van de Zon

Naast licht, warmte, röntgenstraling, enzovoort straalt de Zon ook radiostraling uit. De Zon zendt radiostraling van zeer uiteenlopende oorsprong uit. Ten eerste bebben we radiostraling gekoppeld aan zonnevlekken. Deze ontstaat in de hete gebieden van de zonnecorona, net boven de plaatsen waar zonnevlekken aanwezig zijn. Ten tweede zendt de Zon ruisstormen uit, dit wil zeggen afzonderlijke stoten van radiostraling die 0,1 tot 10 seconde duren en als een geruis in luidsprekers hoorbaar zijn. Ze zijn het gevolg van trillingen in het plasma of van het versnellen van elektronen tot bijna de lichtsnelheid.

5.1. De zonnewind

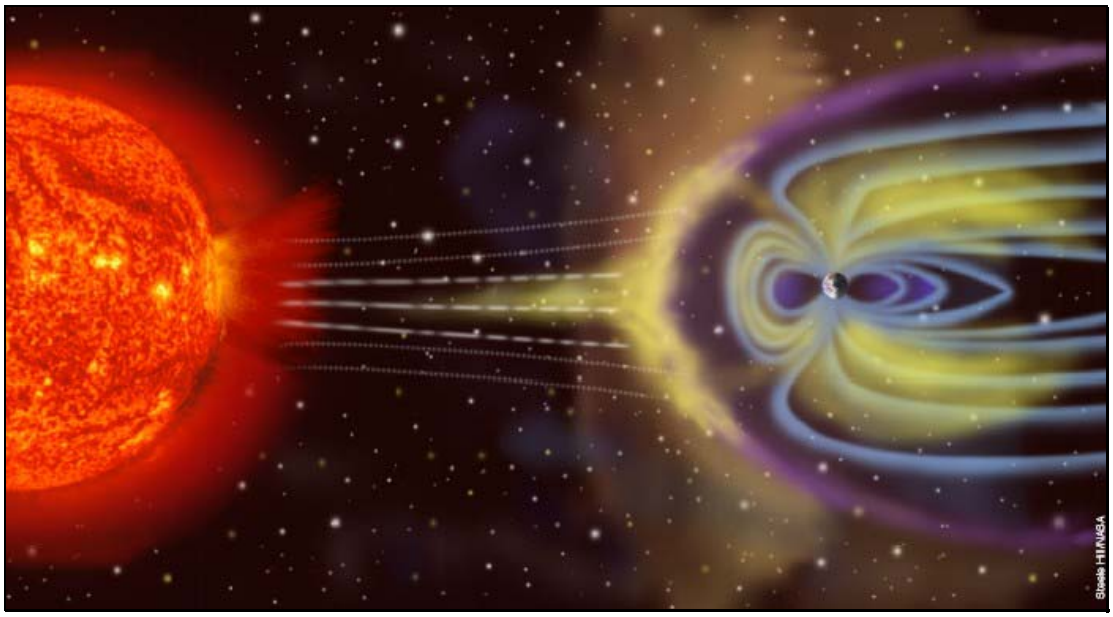
Naast de gewone elektromagnetische straling zendt de Zon ook nog **een stroom van geladen deeltjes** uit. Men noemt deze stroom de zonnewind die "waait" van 450 tot 2.000 kilometer per seconde. Zoals we reeds schreven zijn de zonnevlammen voor een deel van deze straling verantwoordelijk. Zonnevlammen kunnen immers deeltjes in de ruimte brengen die een snelheid hebben die de lichtsnelheid benadert. Daarnaast wordt de zonnewind ook in stand gebouden door de aanhoudende expansieve beweging van de coronagassen.



Lange tijd was een van de grote onopgeloste mysteries hoe het komt dat de zonnecorona meer dan 1 miljoen graden heet is terwijl het zonneoppervlak slechts zo'n 5.800 K heet is. Mogelijks kan dit worden verklaard door de vorming van magnetische lussen ter grootte van een granule. Al deze lussen kunnen kortsluitingen veroorzaken die op hun beurt weer verantwoordelijk zouden kunnen zijn voor de opwarming van de zonneatmosfeer. De gassen aldaar verdampen daardoor en komen

terecht in de corona. Soms kan dit gas dan gevangen zitten in magnetische velden, hetgeen goed zichtbaar is tijdens een zonsverduistering (protuberansen). Het overige gas wordt de interplanetaire ruimte ingestuurd en veroorzaakt de zonnewind. Deze zonnewind bestaat voor 75% uit waterstofatomen en 25% uit heliumatomen. (© NASA)

Aangezien in de corona hoge temperaturen heersen, zijn alle deeltjes **elektrisch geladen**. Hierdoor is de zonnewind sterk geleidend en kan deze worden beïnvloed door magneetvelden.



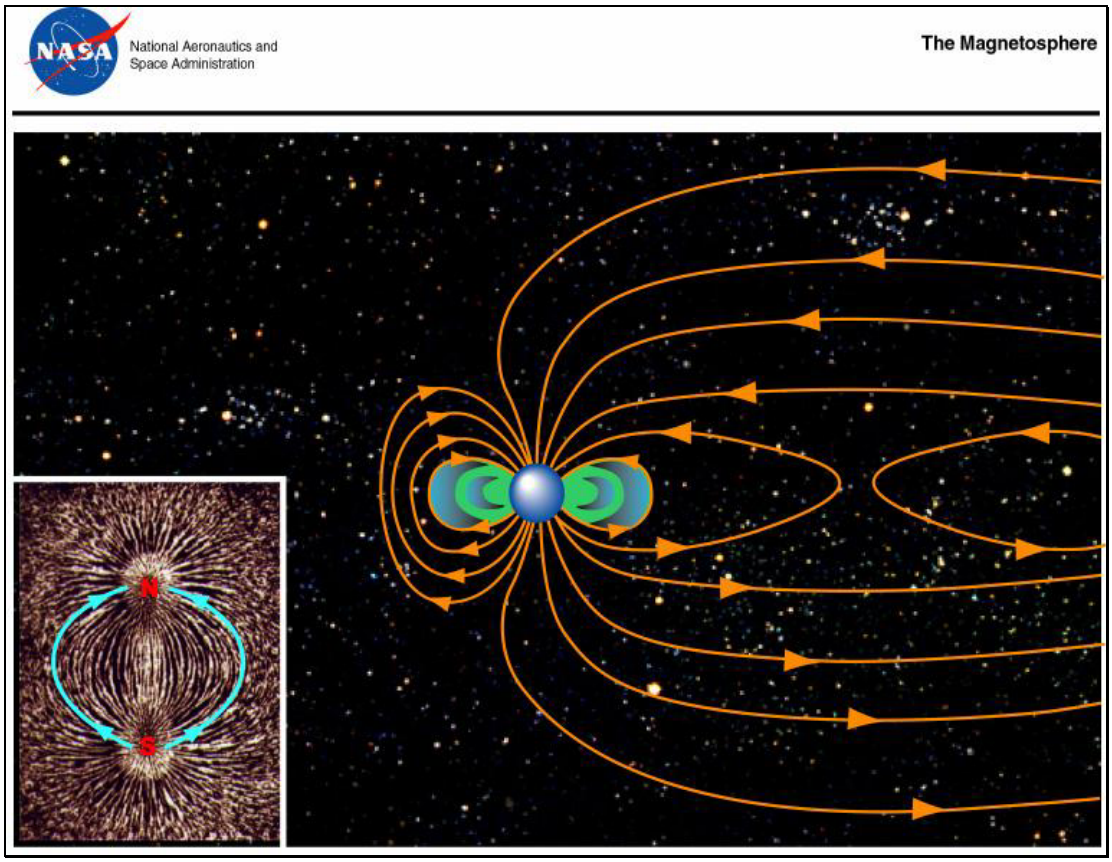
De zonnewind die ontstaat bij uitbarstingen op de Zon komt enkele dagen later aan bij de Aarde. Daar ontstaan dan interacties met de magnetosfeer en ionosfeer en, indien de zonnewind heftig genoeg is, het poollicht. (© SOHO, ESA-NASA)

5.2. De Zon-Aarde betrekkingen

5.2.1. Poollicht

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=aurora
http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=magnetosfeer

Het magneetveld van de Aarde vangt de geladen deeltjes van de zonnewind in. Dit gebeurt via de polen van de Aarde omdat daar het magneetveld het zwakst is.

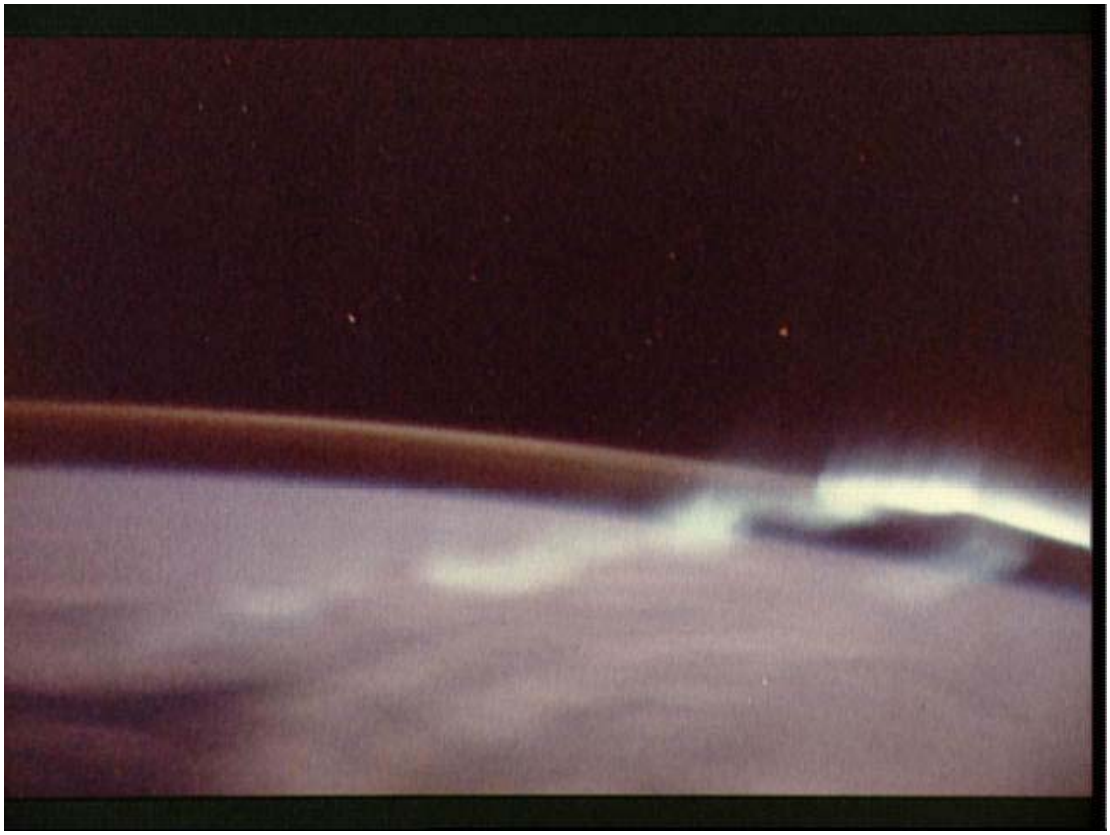


De Aarde heeft een ijzeren kern en daardoor een magnetisch veld. Dit veld zou bij afwezigheid van zonnewind zich uitstrekken tot ver voorbij de Maan. Door de aanwezigheid van zonnewind is dit magnetische veld 11° verschoven. Niemand begrijpt waarom dit zo is, maar deze verschuiving komt ook voor bij sommige andere planeten. Langs de dagzijde, de kant van de Aarde naar de Zon toe gericht dus, is het magnetische veld samengedrukt, terwijl dit langs de nachtzijde sterk uitgerokken is. Door de CME's en doordat de Aarde draait kan de magnetosfeer trillen en daardoor kompasuitlezingen onbetrouwbaar maken (fouten tot enkele graden kunnen dan optreden). De magnetosfeer beschermt de Aarde voor de meeste effecten van de zonnestormen. (© NASA)

De deeltjes afkomstig van de zonnewind gaan de aanwezige deeltjes uit de aardatmosfeer ioniseren (een elektrische lading geven). Daarbij wordt licht uitgezonden. Dit licht kan allerlei kleuren vertonen. Het verschijnsel waarbij de aardatmosfeer wordt gekleurd noemt men het **poollicht**. Het is vooral in Noord-Europa zichtbaar, doch soms zelfs tot in midden-Europa (dit was bijvoorbeeld het geval eind Oktober 2003; toen was er heel duidelijk poollicht te zien in België). Op het Noordelijke halfrond van de Aarde spreken we van het **Noorderlicht** (Aurora Borealis) en op het Zuidelijk halfrond het **Zuiderlicht** (Aurora Australis).



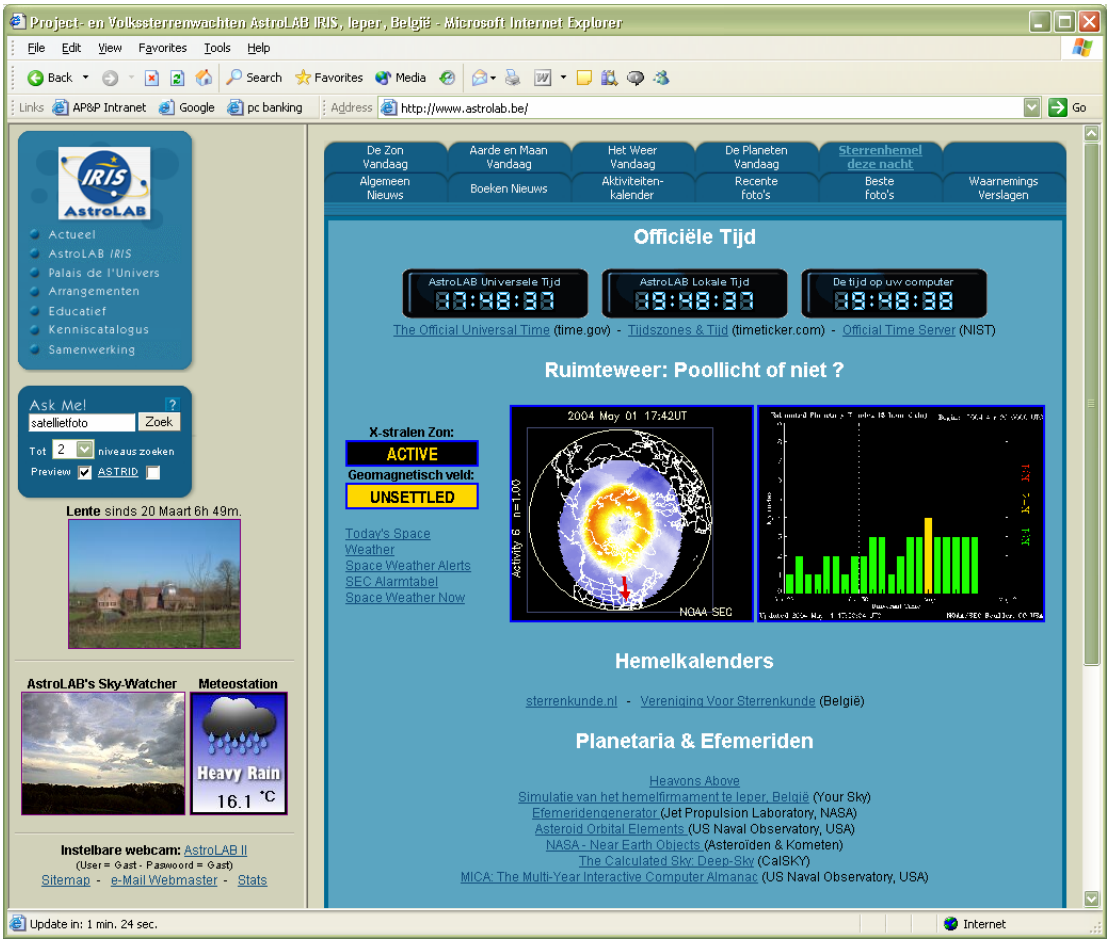
Poollicht is te zien als lichtgordijnen in de atmosfeer. Deze lichtgordijnen kunnen in een tijdspanne van enkele minuten heel erg van vorm en kleur veranderen. Ze zijn het resultaat van zonnedeeltjes die interageren met de aardatmosfeer. De kleuren zijn het gevolg van geëxciteerde zuurstof- en stikstofatomen.(© NASA)



Op 8 Januari 1973 namen de astronauten vanuit Skylab het zuiderlicht waar. Op de foto zien we duidelijk dat het poollicht in lagen boven *de aardatmosfeer plaatsvindt en niet* in *de aardatmosfeer. (© NASA)*

De K-Index en de Kp-Index

Er bestaan diverse zogeheten indicatoren of indexen die de maat van geomagnetische activiteit weergeven. Een overzicht van deze indexen vindt U op http://ousrvr2.oulu.fi/~spaceweb/textbook/indices.html . Een veelgebruikte index is de zogeheten Kp-index. Ze wordt opgesteld aan de hand van metingen die gebeuren in 13 observatoria die niet al te polair zijn gelegen (tussen de 44^{e} en 60^{e} Noorder- of Zuider-breedtegraad). Bij verhoogde magnetische activiteit zal de Kp-index ook groter worden. De **K-index** werd in 1938 door J. Bartels geintroduceerd. De **Kp-index**, de *planetaire* K-index, is eigenlijk een gemiddelde K-index over een periode van 3 uren en geobserveerd door de 13 observatoria. Wil je weten of er kans is op poollicht dan moet je eigenlijk deze Kp-index opvolgen. Je kunt deze index onder andere vinden op onze website www.astrolab.be in de rubriek 'Actueel' op het tabblad 'Sterrenhemel deze nacht'. Vanaf een waarde 7 of zo is het de moeite om eens naar buiten te gaan en te kijken of er daadwerkelijk poollicht is of niet.



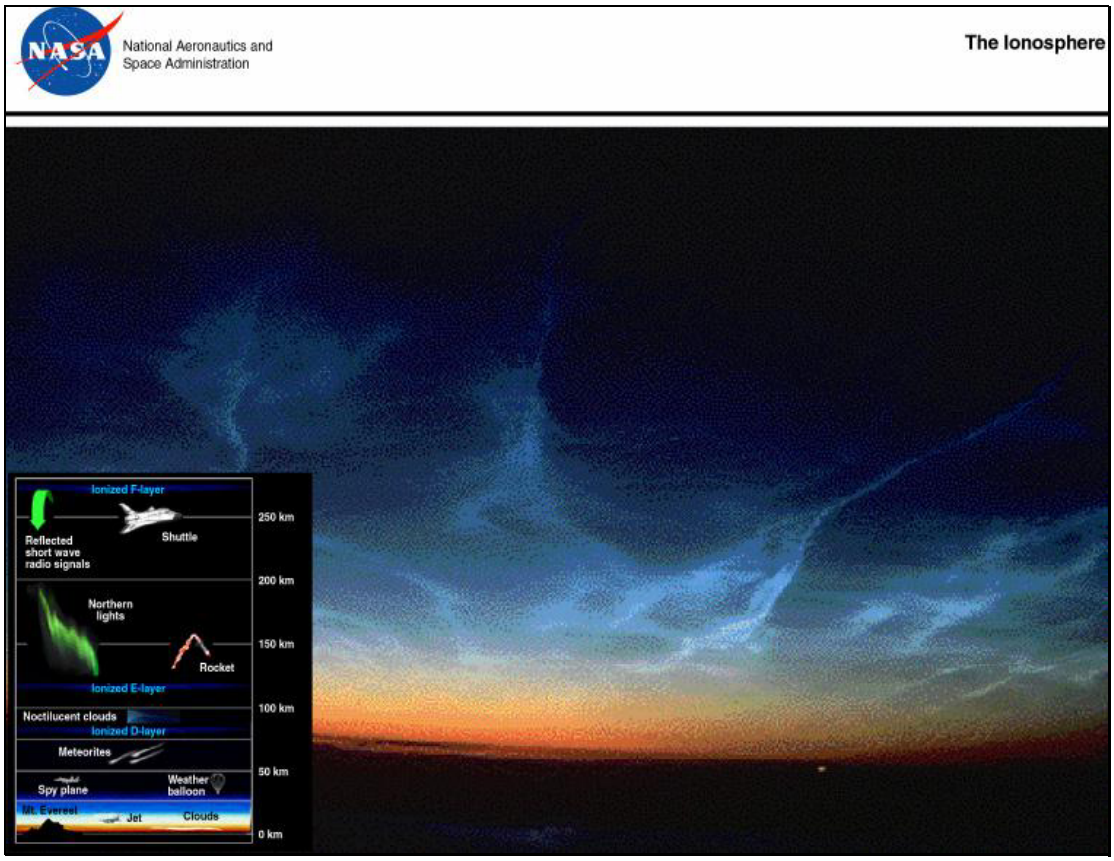
Via de AstroLAB IRIS website (www.astrolab.be) kan men de Kp-index permanent opvolgen.

Nog meer lezen hierover ? Ga bijvoorbeeld naar de "**Poollicht - Internethandleiding"** op http://www.weerboek.nl/poollicht_inthandleiding.htm .

5.2.2. De ionosfeer

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=ionosfeer
http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=nachtwolken

Tevens zorgt de energierijke ultrasterke röntgenstraling van de Zon ervoor dat de buitenste lagen van de aardatmosfeer sterk worden geïoniseerd. Daaruit ontstaat dan wat men noemt de **ionosfeer**: het is deze laag van de atmosfeer die het hoogste aantal geladen deeltjes bevat, vandaar de naam. Deze ionosfeer is zeer belangrijk voor de lange afstandscommunicatie. De radiostraling wordt immers weerkaatst op deze laag. Wanneer nu de deeltjesstraling van de Zon gaat afnemen of toenemen gaat de hoogte van de ionosfeer en de concentratie aan ionen afnemen of toenemen, zodat in perioden van grote zonneactiviteit **het radioverkeer kan gestoord worden**.

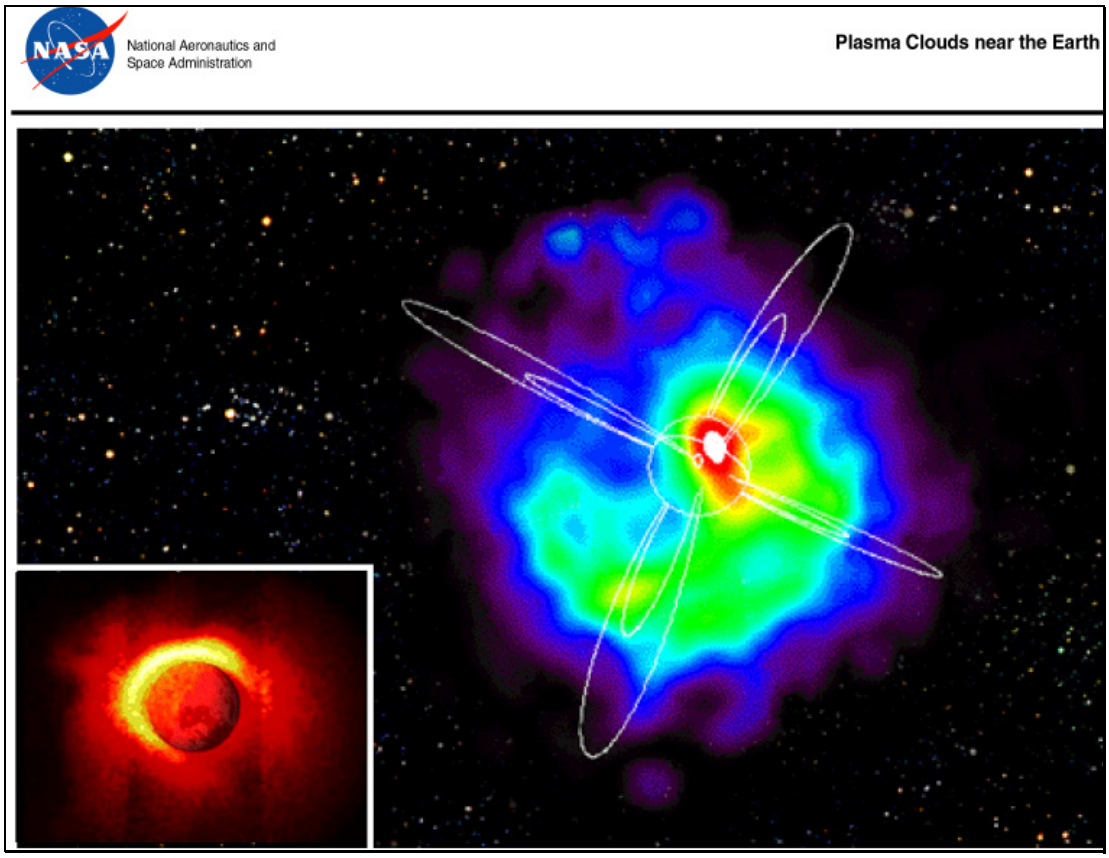


*De ionosfeer is een laag op zo'n 100 kilometer hoogte in de aardatmosfeer die vol met geladen deeltjes zit. Deze laag wordt door de mensheid als een reflecterende spiegel gebruikt om radiogolven (lange golven; AM radio band) de wereld rond te sturen. De ionosfeer kan sterk worden beïnvloed door zonnestormen waardoor radiocommunicaties ernstig kunnen worden verstoord. Als de zon al goed is ondergegaan is het mogelijk dat we wolken zien die zich hebben gevormd in de onderste lagen van de ionosfeer (**noctilucent clouds** geheten in het Engels). Hoe en waarom deze wolken worden gevormd is nog steeds onduidelijk. (© NASA)*

5.2.3. De Van Allengordels & de Plasmasfeer

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=plasma+wolk

Sommige deeltjes van de zonnewind komen in het magneetveld van de Aarde terecht. Ze spiraliseren er rond de magnetische veldlijnen. Er zijn twee voorname tubusvormige gordels rond de Aarde waar de concentratie van ingevangen deeltjes het grootst is. Men noemt deze gordels **Van Allengordels**. De eerste ligt op zo'n 700 tot 12.000 kilometer hoogte en de tweede tussen de 25.000 en 40.000 kilometer. Dit zijn gemiddelde waarden want deze gordels vertrekken allen uit de polen van de Aarde, waar de gordels het smalst zijn. Ze zijn het dikst aan de aardevenaar. De deeltjes die zich binnen deze gordels bevinden zijn **levensgevaarlijk voor de ruimtevaarders**. Voor gewone vluchten, bijvoorbeeld met de spaceshuttle (op een hoogte van 350 - 400 kilometer), stelt dit geen probleem want de Van Allengordels worden nooit bereikt. Bij de vluchten naar de Maan (**apolloproject**) moesten de Apollo-capsules de Aarde verlaten langs de polen omdat daar de deeltjesdichtheid het kleinst was.



*De Aarde heeft, naast de Van Allengordels, ook nog een zogeheten **plasmasfeer**. Een plasma is een sterk geïoniseerd gas. De plasmasfeer bevat deeltjes met een **lage energie** en dit in tegenstelling tot de Van Allengordels die hoog-energetische protonen en electronen bevat. Naast die plasmasfeer bestaat er ook nog een zogeheten **stroomring** (in het Engels **ring current** geheten). Deze ring bevindt zich tussen de 8.000 en 30.000 kilometer hoogte en neemt ten dele dezelfde ruimte in als de Van Allengordels. Deze ring is niet zo vlak als bijvoorbeeld de ringen van Saturnus en het sterkst aan de nachtzijde. Tijdens zonnestormen kan deze ring worden gezien als een rivier van geladen deeltjes die haar eigen magentische veld heeft. Deze kan op haar beurt het magnetische veld in de equatoriale gebieden van de Aarde verzwakken. (© NASA)*

6. Zonnewaarnemingen.

Dit kan gebeuren met het **blote oog**, met een **binoculair (verrekijker)** of een telescoop. De twee eerste methoden zijn eenvoudig en worden verder in deze cursus besproken. Hier spitsen we ons toe op datgene wat de sterrekijker ons te bieden beeft. Zowel voor het blote oog, de verrekijker als de telescoop moet het volgende in acht worden genomen:

NOOIT ZONDER VERANTWOORDE BESCHERMING NAAR DE ZON KIJKEN.

6.1. Filters

6.1.1. Oculairfilters

Een eerste veelgebruikte methode is het gebruiken van een **zonnefilter,** dat onderaan het oculair bevestigd wordt. Toch is dit sterk af te raden, vooral voor kijkers met een tamelijk grote objectiefdoormeter. Door de grote hitte die bij het waarnemen van de Zon in het oculair aanwezig is, kan de filter soms barsten. Daarbij is deze methode zeer vermoeiend en soms schadelijk voor het oog. Een dergelijk filter **in combinatie met een zonneprisma**, dat het grootste deel van de zonnehitte en -warmte afbuigt kan wel gebruikt worden.

6.1.2. Foliefilters

Beter plaatst men een **zelfgemaakt filter van SOLAR SCREEN** voor het objektief. Dit is een zeer veilige methode, niet schadelijk en weinig vermoeiend voor het oog, die toch toelaat een behoorlijk aantal details waar te nemen. Een solar screen kun je best vergelijken met een soort van aluminiumpapier dat het zonlicht slechts ten dele doorlaat. Zo'n folie moet op een goede manier voor het objectief worden bevestigd met behulp van een (zelfgemaakte) ring. Hetgene waarvoor je als zonnewaarnemer moet oppassen bij het gebruik van dergelijke folie-filters is dat ze niet per ongluk scheuren of geperforeerd worden. Zou dit gebeuren, dan kan toch teveel zonlicht worden doorgelaten en kunnen ernstige beschadigingen van het oog optreden.



Bart Taillieu van Sterrenwacht Halley te Ledegem (België) illustreert hier hoe hij, aan de hand van een zonnefilter die voor de lens van zijn 15 cm Helios refractor geplaatst is, de zon waarneemt. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)

6.1.3. Objecttieffilters

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=ERF

Ook bestaan er duurdere en soliedere **objectieffilters**. Dit zijn in principe stukken glas die optisch gepolierd zijn en die slechts een gedeelte van het zonlicht doorlaten. Dergelijke filters zijn veiliger aangezien ze niet per ongeluk kunnen scheuren.

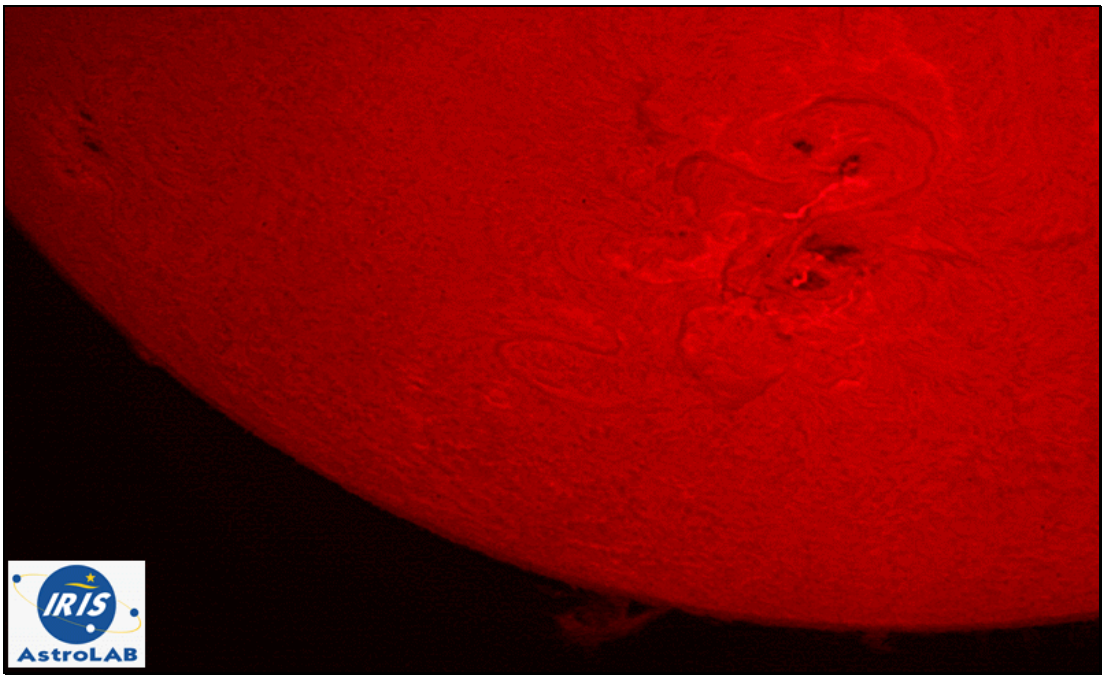


In AstroLAB II wordt gebruik gemaakt van een 125 ERF filter. ERF staat voor Energy Rejection Filter. Hier ziet U hoe dit objecttieffilter met behulp van een adaptorplaat voor het 20-cm objectief van de Lichtenknecker VAF is vastgemaakt.

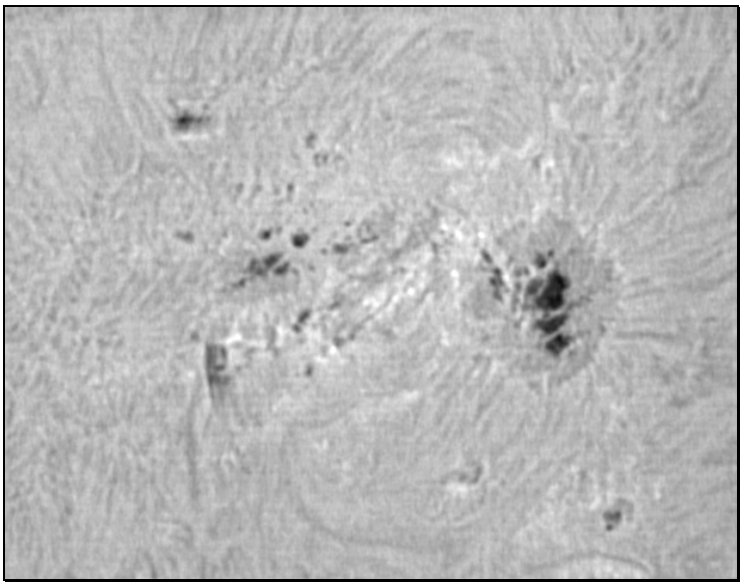
6.1.4. H-alfa-filters

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=h-alfa+zon

Er bestaan er nog **speciale filters**, zoals het **H-alfa-filter (H-α filter)**, dat alleen het rode licht van geïoniseerd waterstof doorlaat. Daardoor worden een reusachtig aantal details zichtbaar, zoals de fakkels, zonnevlekken, filamenten, zonnevlammen en zelfs protuberansen. H-alfa is afkomstig van het waterstof dat wordt gevormd in de chromosfeer (dat zich net boven de fotosfeer bevindt). H-alfa heeft een golflengte van 6.563 Angström. Een **filament** en een protuberans zijn eigenlijk net hetzelfde: het zijn beiden condensaties van koeler gas hoog in de zonneatmosfeer maar in de twee gevallen kijken we onder een andere hoek naar het fenomeen: bij een filament kijken we er frontaal op, bij een protuberans kijken we er van de zijkant naar. Of nog anders gesteld: protuberansen zie je als bogen aan de rand van de Zon, filamenten als donkere slierten bovenop het zonsoppervlak. Filamenten hebben de neiging voor te komen bij de overgang van gebieden met tegengestelde gepolariseerde magnetische velden. Aan de ene kant van het filament is het magnetische veld positief gepolariseerd, aan de andere kant negatief. Wellicht is het dus zo dat het lokale magnetische veld de gassen tegenhoudt om opnieuw neer te vallen op de Zon. Hier wordt dus een strijd gestreden tussen gravitationele en magnetische krachten.



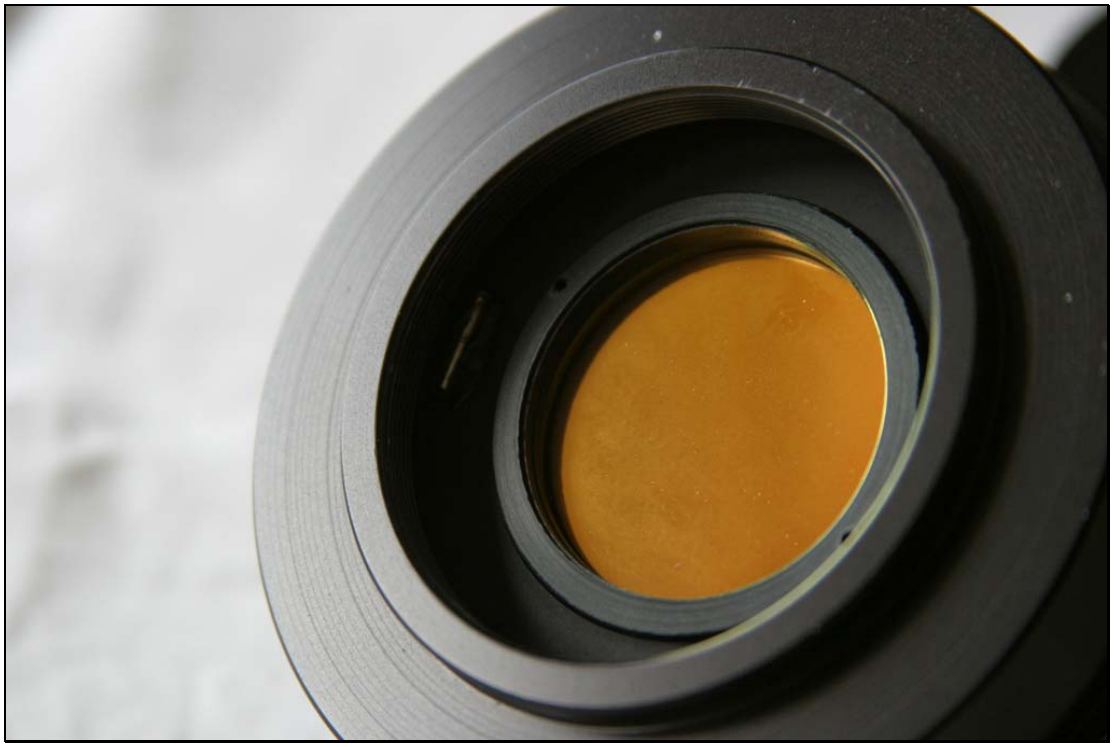
Wanneer een speciaal H-alfa-filter wordt gebruikt worden details in de chromosfeer van de Zon zichtbaar. Op deze opname van 26 Oktober 2003 zijn zogeheten filamenten en ook enkele protuberansen aan de rand van de Zon zichtbaar. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)



Wanneer gebruik gemaakt wordt van een speciale zwart/wit webcam in combinatie van een H-alfafilter, dan kan men zeer fijne structuren in en in de nabijheid van een zonnevlek waarnemen. Deze opname dateert van 4 Mei 2003. (© 2003, Franky Dubois en Sébastien Kersten, België)



Een hele constructie is nodig om op de Lichtenknecker VAF 200/2400 refractor van AstroLAB IRIS de Zon in H-alfa-licht te kunnen waarnemen. Op de focuseerinrichting ziet U achtereenvolgens geplaatst: 3 verlengstukken (om het brandpunt van de telescoop te kunnen bereiken), een 2X telecentrische Barlow (om zo zicht mogelijk bij het optimale f/45 te kunnen komen), vervolgens het H-alfa-filter, het instelbare Blocking Filter (die het laatste overtollige licht weglaat) en uiteindelijk het oculair. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)

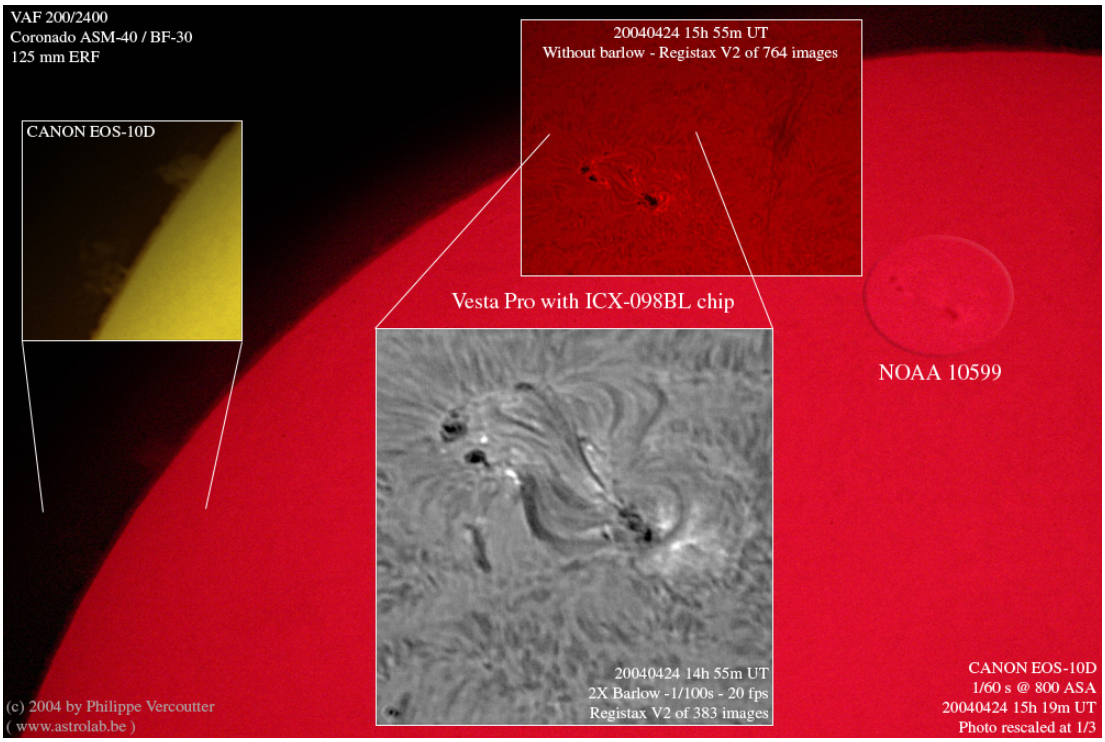


Een H-alfa filter is een interferentiefilter: op een stuk optisch glas worden diverse speciale lagen (coatings) aangebracht waartussen interferentie kan optreden met als gevolg dat slechts welbepaalde golflengtes worden doorgelaten. Deze lagen samen zorgen voor het typisch goudgele uitzicht van het Coronado ASM-40 H-alfa-filter.

Digitaal fotograferen in h-alfa

A. Gevoeligheid van de detector voor h-alfa licht

Wanneer U foto's probeert te maken van de zon in h-alfa licht, dan moet U er voor zorgen dat U een detector gebruikt die voldoende gevoelig is binnen dit specifieke gebied van het spectrum. Onderstaande compositie, aangemaakt met behulp van opnames van 24 April 2004, toont duidelijk de relatieve ongevoeligheid van de CANON EOS-10D voor h-alfa licht aan. Deze digitale camera heeft dan wel een zeer groot beeldveld (diens detector is een CMOS met een grootte die 2/3 van een kleinbeeldcamera bedraagt) waardoor een heel stuk van de Zon in één keer kan worden gefotografeerd, maar door diens relatieve ongevoeligheid voor dit soort van licht is hij voor h-alfa-fotografie eerder ongeschikt. Kleinere webcamera's, vooral deze met ingebouwde zwart/wit chips (zoals bijvoorbeeld de SONY ICX-098BL), hebben dan wel een bijzonder klein beeldveld maar scoren duidelijk beter qua gevoeligheid. Onderstaande compositie spreekt boekdelen.

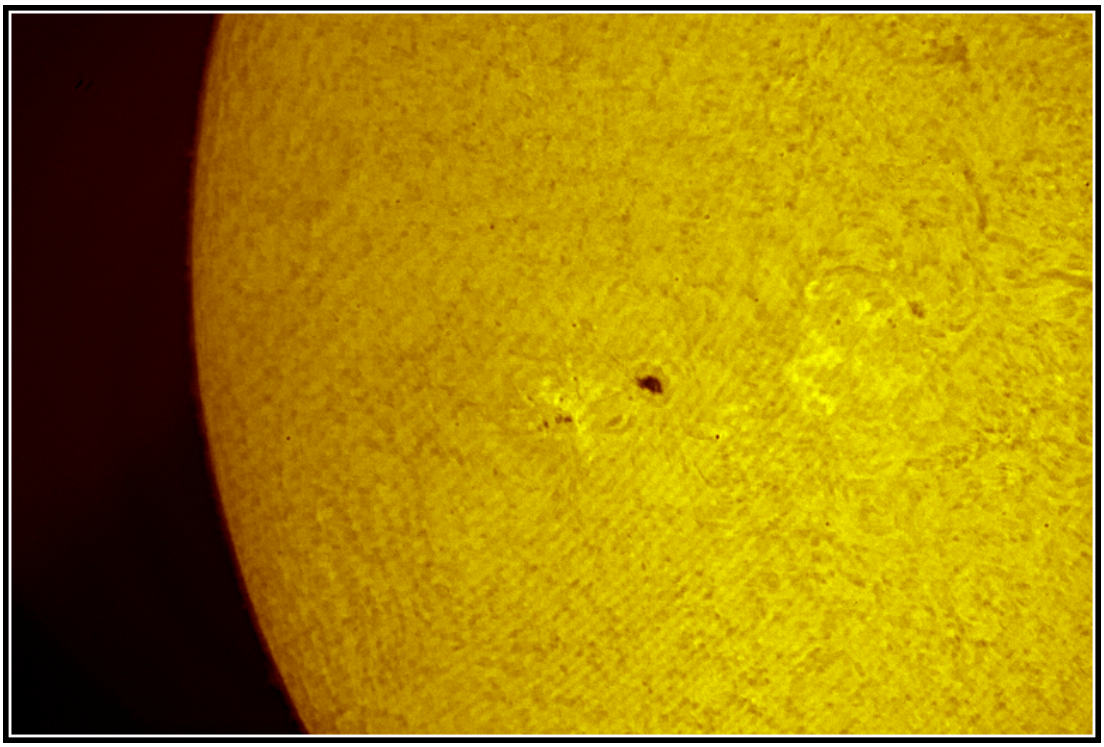


(© 2004, Philippe Vercoutter, België)

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=20040424+h-alfa

B. Storende interferrentie-patronen

Een tweede zaak waar de fotograaf zich rekenschap dient te geven is dat de meeste digitale camera's bij de fotografie in monochromatisch licht (zoals bijvoorbeeld h-alfa) last hebben van interferrentie-verschijnselen (cfr. Newton ringen). Deze patronen ontstaan door interferrentie van het licht tussen de detector enerzijds en een filter, dat zich net voor de detector bevindt, anderzijds. Hierdoor komt het dat men een typisch lijntjespatroon bekomt in de foto. Onderstaande opname, gemaakt op 20 April 2004 omstreeks 10h 36m UT, illustreert deze interferrentiepatronen heel duidelijk.



Digitale camera's kunnen interferrentiepatronen veroorzaken bij het werken in monochromatisch licht. (© 2004, Philippe Vercoutter, België)

Het weze echter duidelijk dat men met dergelijke digitale camera's toch nog mooie h-alfaopnames kan maken. Wil men de absolute top bereiken, dan is – tot op vandaag toch nog - een echte CCD camera onontbeerlijk.

C. Opvangen van verschillende belichtingstijden

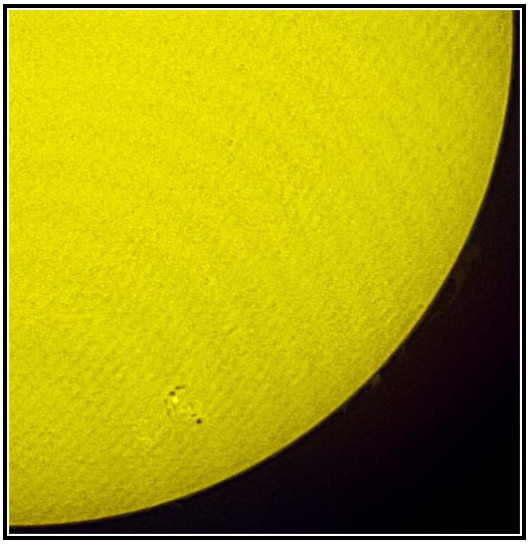
Een derde probleem waar digitale h-alfafotografen mee zitten is dat men een hele andere belichting nodig heeft voor de protuberansen als voor het zonne-oppervlak zelf. Een methode die wordt gehanteerd om de beperktheid van het dynamische bereik van de camera te omzeilen is het systematisch overbelichten van de opname. Door deze sterke overbelichting in het rode licht, lopen de overtollige electronen in de detector over naar de naburige groene en/of blauwe kanalen. Een dergelijke foto ziet er op het eeste zicht niks uit, maar doordat alle kanalen nu worden benut kan door digitale beeldverwerkingstechnieken het ene kanaal worden bewerkt om de protuberansen te laten uitkomen op de foto, terwijl een ander kanaal bijvoorbeeld zodanig wordt bewerkt dat het zonne-oppervlak er beter uit ziet. In principe zou men ook, in plaats van zo'n overbelichte foto te maken, twee opnames met totaal verschillende belichtingstijden kunnen maken en deze nadien samenbrengen.



Overbelichting van de h-alfaopname is een van de technieken die wordt gebruikt om in één keer zowel de protuberansen (heel lichtjes in het geel te zien rechts aan de zonnerand) als het zonne-oppervlak (zie bijvoorbeeld de zonnevlekken onderaan rechts op de foto) vast te kunnen leggen. Via digitale beeldverwerking worden nadien de beide fenomen afzonderlijk bewerkt en versterkt.

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=20040503+h-alfa

Onderstaande foto kwam tot stand door verder digitaal bewerken van bovenstaand ruw beeld.Je kunt er nog net de protuberansen op zien. De zonnevlekken en interferrentiepatronen komen er ook versterkt naar voren.

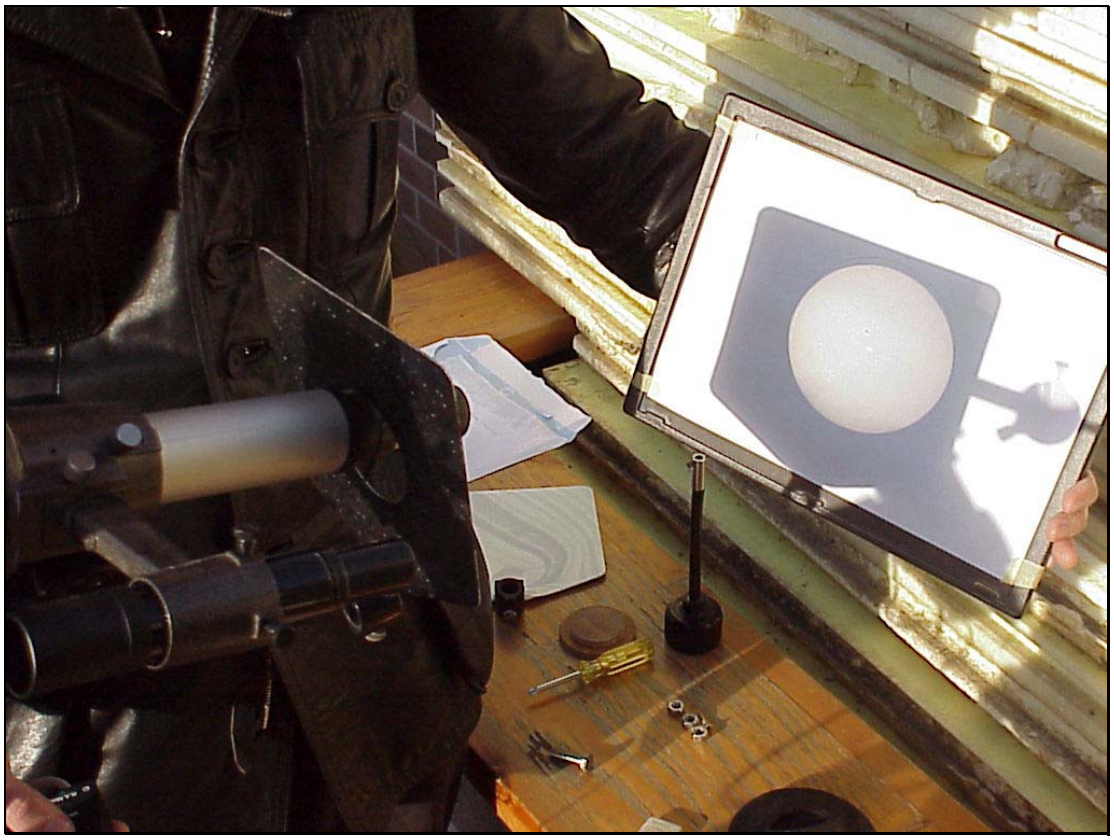


Deze opname van de Zon werd op 3 Mei 2004 omstreeks 13h 39m op de AstroLAB IRIS II sterrenwacht genomen. (© 2004, Philippe Vercoutter, België)

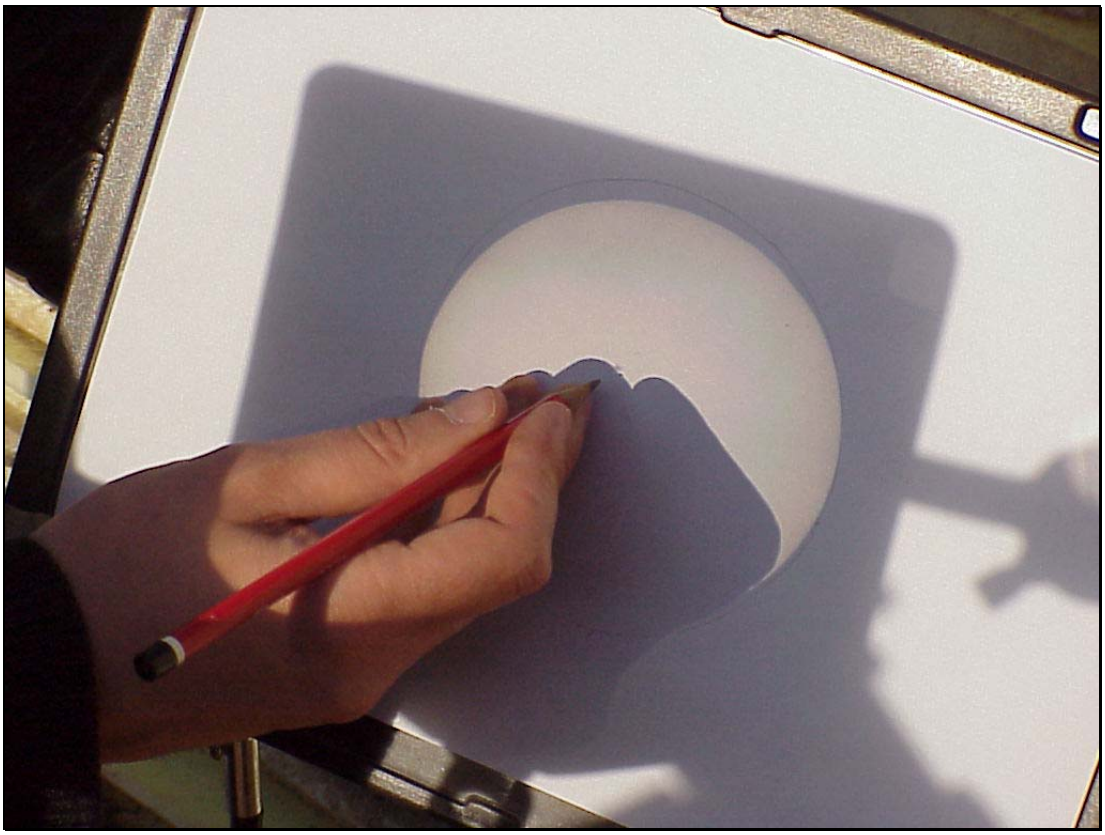
6.2. Projectie

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=zonnewaarneming+projectie

Een andere veel gebruikte methode is echter **de projectie**: de zonneschijf wordt geprojecteerd op een **wit schermpje** dat aan de telescoop is bevestigd. Daarop zullen, zoals bij de eenvoudige oculair- en objectieffilters, enkel de zonnevlekken, fakkels en granulatie te zien zijn. Maar dit is wel degelijk de veiligste methode. Op deze manier kan de zon het gemakkelijkst worden overgetekend op waarnemingsformulieren. Men kan een beter beeld verkrijgen door het scherm wat af te schermen met een stuk karton.



Jan Claus van AstroLAB IRIS illustreert hier hoe de zon vanuit een sterrenkijker (hier een 10 cm POLAREX refractor) kan worden geprojecteerd op een scherm. Op dit scherm wordt een blad geplakt en op dat blad kan dan het gevormde zonnebeeld worden overgetekend. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)



Het geprojecteerde zonnebeeld kan met behulp van een potlood gemakkelijk worden overgetekend op het blad papier. Deze manier van werken werd op AstroLAB I onder andere ook gebruikt om de Mercuriusovergang van 7 Mei 2003 waar te nemen. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)



Eenmaal de zon goed is afgeschermd met behulp van een zonnefilter, kan men doorheen het oculair op een veilige manier de Zon waarnemen. Op deze foto zien we hoe Edwin De Ceuninck, tijdens de Mercuriusovergang van 7 Mei 2003, bovenop het oculair van zijn refractor ook nog eens een fototoestel monteerde om alzo het gevormde beeld fotografisch vast te leggen. Ook hier spreken we van ***oculairprojectie****. In plaats van het beeld te projecteren op een scherm komt het beeld hier terecht op een foto-emulsie. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)*

Het solar-screen en het projectiescherm kunnen **ook bij de verrekijker** worden gebruikt.

6.3. Het Herschel Prisma

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=herschel+zonneprisma

Er bestaat nog een andere manier om de hoeveelheid zonlicht dat het oculair bereikt af te zwakken namelijk door een speciaal prisma te gebruiken. Zo'n prisma noemen we een Herschel prisma. Een Herschel prisma is een soort van zenitprisma die meer dan 99% van het licht dat het ontvangt naar buiten afvoert via een speciaal daartoe aangebrachte opening. Het weinige licht dat nog wel door wordt gelaten kan dan verder worden afgezwakt door gebruik te maken van een of ander geschikt grijsfilter (Neutral Denisty filters) of polarisatiefilter.



Het Herschel prisma wordt steevast gebruikt in combinatie met een adaptorstuk (waarin het oculair kan worden aangebracht; rechts op de foto) en een of ander grijsfilter (onderaan op de foto). Door een goede keuze te maken van het type grijsfilter, kan men het geheel zo regelen dat men bijvoorbeeld steeds de Zon op een ¼.000 s kan fotograferen. Door deze snelle sluitertijd kan men eventuele trillingen in de montering vermijden en effecten van atmosferische turbulentie bevriezen. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)



Franky Dubois, leider van de werkgroep Zon van de VVS, zien we hier aan het werk bij het verrichten van zonnewaarnemingen. Het oculair is aangesloten op een Herschel Prisma (ten dele achter zijn arm verscholen). In het schuine vlakje dat aan het Herschel Prisma vastgemaakt zit, zit een spiegel langswaar het overtollige zonlicht wordt afgevoerd. We zien duidelijk dat een Herschel prisma een soort van zenitprisma is: de kijkrichting staat loodrecht op de optische as van de VAF refractor. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)

6.4. De protuberansenkijker (coronagraaf)

http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=protuberanzenkijker

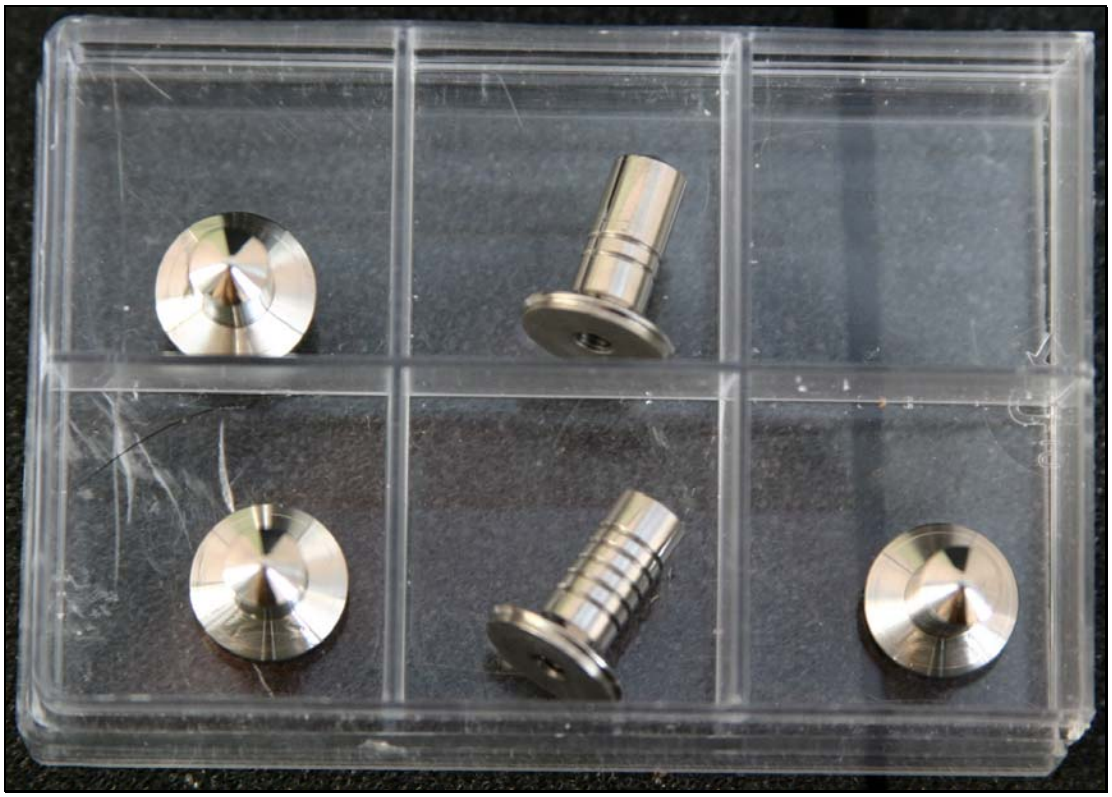
Er bestaat een instrument dat speciaal is ontworpen om protuberansen mee waar te nemen en te fotograferen: de **coronagraaf**. Bij dit instrument worden in feite **totale zonsverduisteringen gesimuleerd:** de zonneschijf wordt afgedekt waardoor de minder lichtsterke protuberansen zlchtbaar worden. Wanneer we met een protuberansenkijker naar het hooggebergte zouden trekken, kan door de zeer transparante lucht alginds, zelfs de corona worden waargenomen.

Voor alle duidelijkheid: wanneer men de Zon enkel en alleen met een H-alfa-filter waarneemt zijn er reeds protuberansen zichtbaar, doch om deze te fotograferen zou men de rest van de zon moeten overbelichten omdat protuberansen nu eenmaal lichtzwakker zijn. Daarom is het interessanter om protuberansen met een coronagraaf waar te nemen.

Een van de meest bekendste coronagrafen bevindt zich aan boord van de ruimtesatelliet SOHO. Meer informatie en beelden van SOHO vindt u hier: http://sohowww.nascom.nasa.gov/ .



Voorbeeld van een protuberansenset. Met behulp van dit hulpstuk, die op de focuseerinrichting van een telescoop wordt geplaatst, wordt een kunstmatige zonsverduistering veroorzaakt Vooraan links in de tubus zit een kegeltje die dezelfde schijnbare grootte heeft als het zonneoppervlak. Doordat het zonneoppervlak afgedekt is, worden enkel de verschijnselen in de zonneatmosfeer zichtbaar. Van deze verschijnselen zijn de protuberansen de bekendste. Middenin de tubus zien we een hendeltje waarmee een mechanisch diafragma wordt bediend. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)



In een protuberansenkijker wordt de zon met behulp van een metalen kegeltje kunstmatig verduisterd. Een protuberansenset komt met een aantal kegeltjes die elk een verschillende doormeter hebben. Naargelang de schijnbare doormeter van de Zon, die in de loop van een jaar steeds maar verandert, wordt een welbepaald kegeltje uitgekozen en geplaatst op de lens die zich vooraan in de tubus van de protuberansenset bevindt. Ieder kegeltje wordt eenduidig geïdentificeerd met behulp van een uniek aantal groeven. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)



Het kegeltje met de juiste doormeter wordt vooraan in de protuberansenset gemonteerd op een lens. Die lens houdt het kegeltje perfect gecentreerd. (© 2003, Philippe Vercoutter, België)



Ook in een protuberansenkijker wordt gebruik gemaakt van een H-alfa-filter (het rode filter die U ziet) Daardoor worden de fijne uitbarstingen (protuberansen) aan de zonnerand zichtbaar. (© 2003, Franky Dubois, België)

■