



# DE ZON



# Inleiding

De zon is verreweg het meest opvallende hemellichaam. Het is dan ook niet verwonderlijk dat hij al in de oudste geschriften wordt genoemd. Er wordt dus al duizenden jaren over de zon geschreven, maar eigenlijk weten we nog maar kort wat zich op en in de zon afspeelt. En veel van de details zijn ook nu nog onduidelijk.

Het lijkt erop dat Griekse geleerden ongeveer 2500 jaar geleden begonnen te vermoeden dat de zon een bolvormig hemellichaam is. Vóór die tijd werd de zon wel gezien als een heldere schijf of juist als een gat in een donkere bol die de aarde als middelpunt had. Het was nog de tijd van het geocentrische wereldbeeld: de aarde stond stil en de rest van de kosmos – alle sterren, planeten, zon en maan – draaide er omheen.

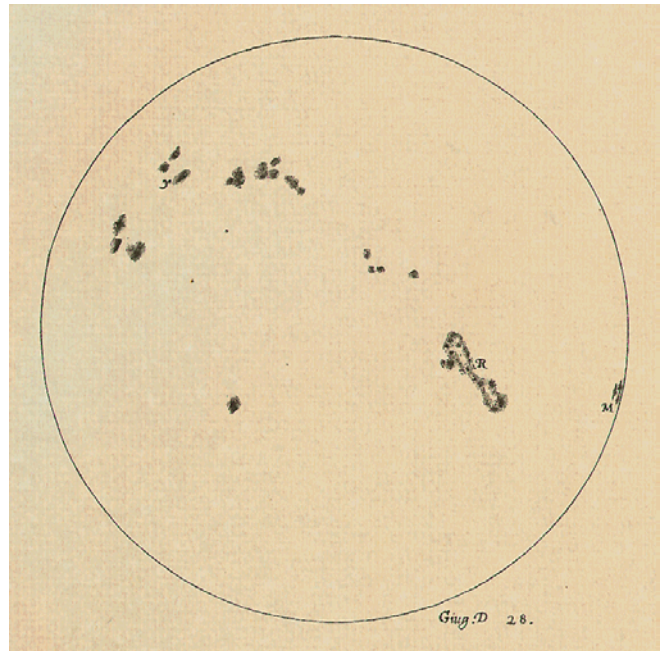
Het duurde heel lang voordat men begon te beseffen hoe *groot* de zon eigenlijk wel is. Dat kwam doordat men niet de geschikte instrumenten had om de afstanden binnen ons zonnestelsel te bepalen. Een van de eersten die een poging deed, was de Griek Aristarchus van Samos (3<sup>e</sup> eeuw v. Chr.). Uit metingen tijdens maansverduisteringen leidde Aristarchus af dat de zon ongeveer 19 keer zo ver weg stond als de maan en bijna 7 keer zo groot was als de aarde. Dat was veel te weinig.

In de 16<sup>e</sup> eeuw – bijna tweeduizend jaar later dus! – begonnen steeds meer geleerden zich te realiseren dat het heelal heel anders in elkaar stak dan men dacht. Bij nader inzien bleek de aarde, samen met de andere planeten, om de zon te draaien – en niet andersom. Maar nog steeds kwam men niet veel verder dan de getallen van Aristarchus...

## Zonnevlekken

In de loop van de zeventiende eeuw kwam hier verandering in. Dat was vooral te danken aan de uitvinding van de telescoop, waarmee ook de eerste systematische waarnemingen van zonnevlekken werden gedaan. Doordat zonnevlekken soms groot genoeg zijn om (bij mistig weer of kort voor zonsondergang) met het blote oog zichtbaar te zijn, waren ze al vele eeuwen eerder waargenomen. Maar nu werd pas duidelijk dat er heel vaak vlekken op de zon te zien waren.

Rond 1610 waren er vier geleerden die, onafhankelijk van elkaar, met een telescoop naar de zon hadden gekeken. Dat waren Thomas Harriot in Londen, Johannes Fabricius (eigenlijk Johann Goldsmid) in Oost-



*Een tekening van de zon met zonnevlekken, gemaakt door Galileo Galilei. Veel meer tekeningen, incl. animaties van de zonsrotatie gemaakt door zijn tekeningen achter elkaar te leggen, zijn te vinden op de website [galileo.rice.edu/scil/observations/sunspot\\_drawings.html](http://galileo.rice.edu/scil/observations/sunspot_drawings.html).*

Friesland (Duitsland), Galileo Galilei in Firenze (Italië) en Christoph Scheiner in Ingolstadt (Duitsland). Deze waarnemers hadden al snel in de gaten dat de zon veel te fel was om met een telescoop te bekijken. Daarom deden ze hun waarnemingen rond zonsopkomst of -ondergang of gebruikten ze donkerkleurig glas om het zonlicht af te zwakken (een zonnfilter dus!).

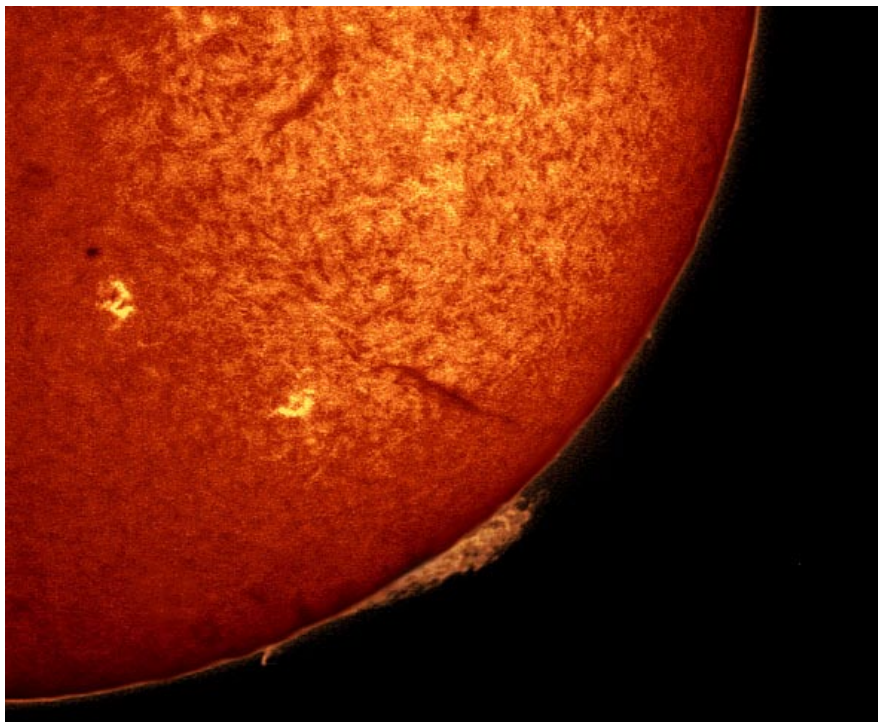
## De zon draait!

Scheiner en Galilei namen de zon regelmatig waar en daarbij bleek dat de zonnevlekken zich in de loop van de dagen langzaam verplaatsten. Scheiner geloofde niet dat de 'volmaakte' zon zulke rare donkere plekken kon vertonen en stelde voor dat het om kleine planeetjes zou gaan die vóór de zon langs bewogen. Galilei dacht daar anders over en verklaarde de verplaatsing terecht als een gevolg van de draaiing van de zon.

Galilei was er dus van overtuigd dat de vlekken op de zon zélf zaten. Maar hij had geen idee wat het waren: hij vond ze nog het meest op wolken lijken. Dat klopte niet, maar toch wordt Galilei beschouwd als de eerste moderne 'zonnekundige'.

De volgende die een poging waagde om de zonnevlekken te verklaren, was de Fransman René Descartes, die sinds 1628 in Holland woonde. Descartes

*De zon is een zeer dynamische gasbol. Dit wordt vooral duidelijk als we op andere golflengten kijken dan gewoon zichtbaar licht, zoals op deze foto waarvoor een filter is gebruikt dat alleen het licht doorlaat van stralend waterstofgas (de zogeheten H-alfa lijn). (Foto: Ralph Encarnacion)*



kwam blijkbaar vaak in de keuken, want hij vergeleek de zon met een pan kokende soep. Volgens hem zouden er soms donkere 'stukjes' uit het inwendige van de zon naar boven borrelen en in een soort schuimlaag terecht komen. Door het koken zou deze schuimlaag soms even oplossen, en konden de donkere stukjes weer wegzakken.

Het lijkt een mal idee, de zon als een bol kokende soep, maar eigenlijk zat Descartes er niet eens zo ver naast. De 'soep' van de zon bestaat in werkelijkheid uit een massa van hete gassen (waterstof en helium), maar gedraagt zich wel degelijk als een kokende vloeistof – met opstijgende bellen en al!

## Nieuwe getallen

De telescoop werd niet alleen gebruikt om zonnevlekken te bekijken. Je kunt zo'n instrument namelijk ook gebruiken om nauwkeurige hoekmetingen te doen. En dat was nu precies wat de sterrenkundigen nodig hadden om de afstanden tussen de planeten en de zon te bepalen.

Tegen het einde van de zeventiende eeuw leverden de nieuwe metingen betere getallen op voor de grootte en afstand van de zon. Maar het duurde nog een hele tijd voordat de geleerden konden geloven dat de zon zó groot en zó ver weg was. Nú kun je in bijna elk sterrenkundeboek lezen dat de zon gemiddeld 149,6 miljoen kilometer van ons verwijderd is en een middellijn van 1,392 miljoen kilometer heeft. En omdat we er inmiddels achter zijn dat de volgende ster nog eens 250.000 keer zo ver weg staat, lijkt de zon helemaal zo ver weg niet meer...

## Een nieuw probleem

Eindelijk wist men hoe ver en hoe groot de zon was. Dat gaf een nieuw probleem. De zon geeft blijkbaar enorm veel licht en warmte af, maar waar haalt hij al

die energie vandaan? Halverwege de 18<sup>e</sup> eeuw dacht men nog dat de zon uit een 'gewone' brandstof zoals steenkool zou kunnen bestaan. Uit berekeningen bleek echter dat de zon dan al binnen een paar duizend jaar opgebrand zou moeten zijn. Dat kon niet kloppen, tenzij er voortdurend nieuwe brandstof werd aangevoerd, bijvoorbeeld in de vorm van meteorieten. Maar dat zouden dan wel erg veel meteorieten moeten zijn.

Een betere verklaring ontstond tegen het einde van de 19<sup>e</sup> eeuw. Volgens de Duitse natuurkundige Hermann von Helmholtz en zijn Britse collega William Thomson zou de zon aan zijn energie kunnen komen door langzaam te krimpen. Hierdoor zou het gas in de zon steeds verder worden samengeperst en gaan gloeien. Uit berekeningen bleek dat de zon slechts enkele tientallen meters per jaar kleiner hoefde te worden om de huidige energieproductie te verklaren. De zon zou op die manier miljoenen jaren kunnen blijven schijnen.

Dat was een leuk idee, maar niet veel later ontdekte men dat sommige gesteenten op aarde minstens een *miljard* jaar oud waren. Er moest dus weer een andere verklaring worden gevonden voor de energie van de zon. Het zou nog tot 1926 duren voordat de Britse sterrenkundige Arthur Eddington met een beter idee kwam: de omzetting van massa in energie door middel van kernfusie. Eddington had zijn idee afgeleid van Albert Einsteins beroemde formule  $E = mc^2$ , maar zelfs hij wist nog niet precies *hoe* dat in zijn werk ging. Verderop in deze brochure kun je lezen hoe dat zit.

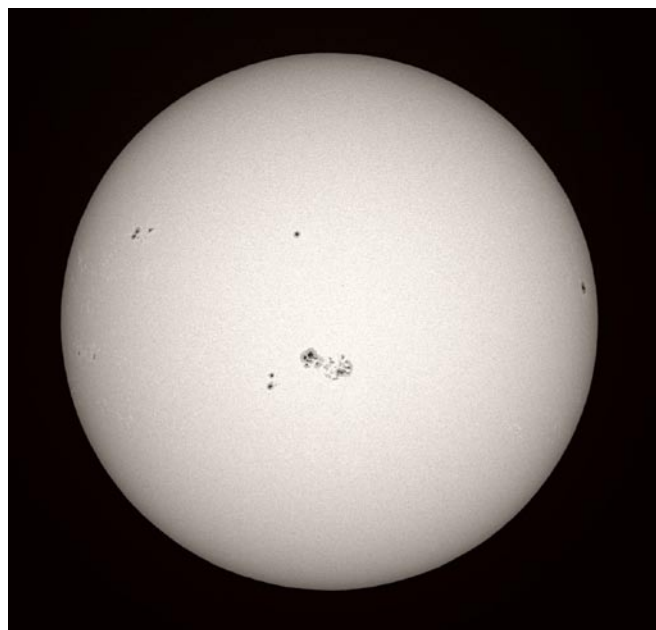
# Wat is er te zien op de zon?

Hoe ziet de zon er van de buitenkant uit? Op de meeste foto's die in zichtbaar licht zijn gemaakt, ziet de zon eruit als een grote gele bol. Dit lijkt misschien een beetje raar, want de zon is immers een bol van gas. De gassen die we hier op de aarde tegenkomen, zoals bijvoorbeeld de lucht die wij ademen, zijn allemaal doorzichtig. Lucht kun je niet zien, omdat het licht er gewoon doorheen gaat. Maar het gas van de zon kunnen we zien, omdat het *zelf* licht uitstraalt. Midden in de zon is het gas heel erg dicht en heet. Daardoor wordt het licht dat in het binnenste van de zon wordt opgewekt op weg naar buiten steeds weer geabsorbeerd en later weer uitgezonden. Pas de buitenste laag van de zon is doorzichtig. Het licht dat hier wordt uitgezonden, kan niet meer worden geabsorbeerd en ontsnapt naar de ruimte. Dat zien wij dan ook als 'het oppervlak' van de zon. Dit schillete gas om de zon noemen we de *fotosfeer* ('fotos' is Grieks voor licht, dit is dus het gebied waar het licht vandaan komt).

De fotosfeer is niet een saai egaal vlak. Als je de zon gaat waarnemen (zie het hoofdstuk 'Het waarnemen van de zon' op blz. 15), zie je een heleboel bijzondere details, waarover we hier het een en ander zullen vertellen.

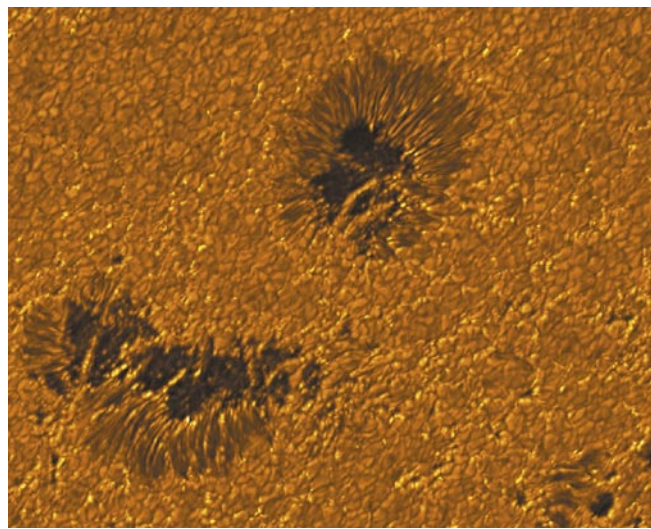
## Randverzwakking

Naar de rand toe lijkt de zon steeds donkerder te zijn. Dat komt doordat je aan de rand van de zon



*Fraaie zwartwitopname van de zon met zonnevlekken. Ook de randverzwakking is goed te zien. (Foto: Stefan Seip)*

veel schuiner de fotosfeer in kijkt dan in het midden van de zonnenschijf. Hierdoor kun je aan de rand veel minder diep de fotosfeer in kijken dan in het midden. Naar buiten toe wordt de fotosfeer steeds koeler en koelere gebieden lijken donkerder. Als je naar de rand van de zon kijkt, kijk je dus naar koelere gebieden. Daarom wordt de zon naar de rand steeds donkerder: we noemen dit de *randverzwakking*. Hieraan kun je goed zien dat de zon een gasbol is!



*Een zeer scherpe opname van een grote zonnevlekkengroep. In de omringende fotosfeer is de granulatie goed te zien. (Foto: DOT, Sterrenkundig Instituut Utrecht)*

## Zonnevlekken

Op het oppervlak van de zon zie je ook een aantal donkere vlekken. De ene keer iets minder dan de andere (zie het kader 'De elfjarige zonnecyclus' op blz. 5). Een zonnevlek bestaat uit een donker centraal deel – de *umbra*, schaduw in het Latijn – en een minder donker gebied eromheen – de *penumbra*, bijschaduw in het Latijn. Dat deze gebieden donkerder zijn, heeft grofweg dezelfde oorzaak als de randverzwakking: je kijkt naar een koeler deel van de fotosfeer. De fotosfeer is zo'n 6000 graden. De penumbra is met 4500 graden iets koeler en de umbra van een zonnevlek is 'maar' 4000 graden. De umbra ligt ook iets lager dan de fotosfeer. Het is een soort kuil van zo'n 600 km diep. De penumbra is de helling van de kuil: deze verbindt de umbra met de rest van de fotosfeer. Je kunt je dus ook voorstellen dat als je er erg schuin op kijkt (dus als de zonnevlek aan de rand van de zon zit), de penumbra aan de ene kant (naar de buitenkant van

de zon) breder lijkt en dat deze aan de kant van het centrum van de zon smaller lijkt. Dit is inderdaad te zien op de zon en dit wordt het *Wilson-effect* genoemd. Hoe zonnevlekken ontstaan, wordt uitgelegd in het hoofdstuk 'De zon van binnen' op blz. 6. Kort gezegd komt het er op neer dat sterke bundels magnetische velden kunnen voorkomen dat hete bellen opstijgen uit het binnenste van de zon, waardoor het oppervlak afkoelt.

Zonnevlekken komen meestal in groepjes voor. Die groepen bestaan dan vaak uit twee grote vlekken en een hele hoop kleinere vlekjes zonder penumbra. Dat het veelal twee grote vlekken zijn, heeft te maken met het magnetische veld waardoor ze worden veroorzaakt. Zoals je misschien wel weet, hebben magneten een noord- en een zuidpool. Een van de vlekken dient dan ook als noordpool en de andere als zuidpool!

Zonnevlekken leven niet oneindig lang. De aanblik van de zon is dan ook altijd weer anders. De aller-kleinste vlekjes ontstaan en vergaan alweer na enkele uren. De grootste exemplaren houden het soms weken vol. Groepen bestaan vaak nog langer dan de afzonderlijke vlekken. Het is dan ook heel interessant om een bepaalde vlekkgroep een poosje te volgen!

Vaak beginnen ze met enkele losse vlekken, die 'samenklonteren' en een groep vormen. Deze groep kan nog een heel stuk groeien en zal na een hele tijd weer langzaam oplossen. Bovendien verplaatsen vlekken-groepen zich over het zonsoppervlak.

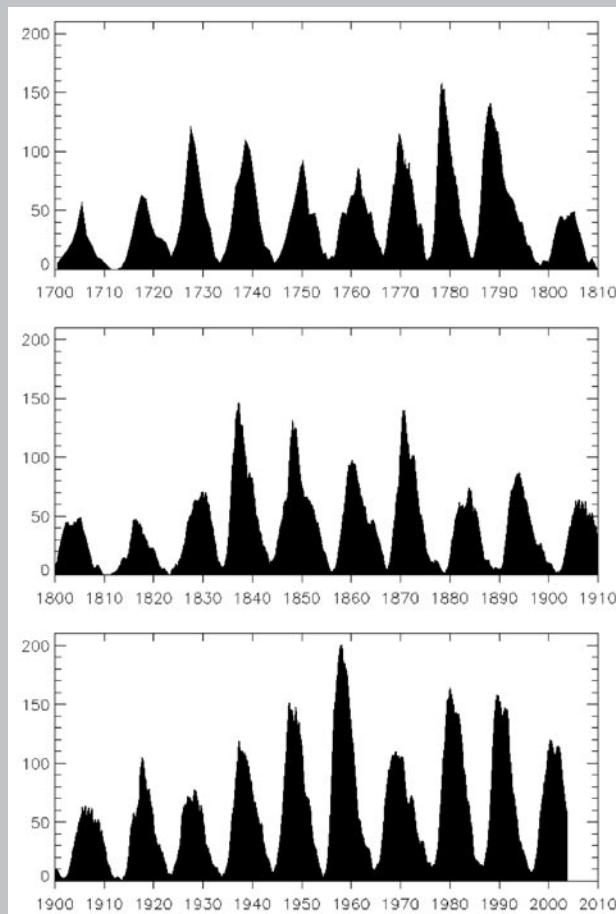
## Granulatie

Als je een goede kijker hebt om de zon waar te nemen, kun je zelf zien dat de buitenste laag van de zon uit borrelend gas bestaat. We noemen dit verschijnsel de *granulatie* en het is over het hele oppervlak zichtbaar. Als je scherp genoeg naar de zon kunt kijken, zie je hier allerlei 'ronde' granulen met daar tussenin een klein beetje ruimte. Deze granulen zijn hete bellen van bovenaf gezien en in de ruimte die ertussen zit zakt het afgekoelde gas weer naar beneden. De granulen zijn ongeveer 1000 km groot en heel beweeglijk. Onder extreem goede omstandigheden zijn ze zelfs al met een kleine kijker zichtbaar te maken! Hoe je dit moet doen, lees je in het hoofdstuk 'Het waarnemen van de zon' op blz. 15.

## De elfjarige zonnecyclus

De zon kent actieve en minder actieve perioden. Dit heeft alles te maken met het magnetische veld van de zon. Zo is er bijvoorbeeld na een aantal jaar bijna geen zonnevlek op de zon te zien. Elf jaar later zal dat weer zo zijn, terwijl je in de tussentijd juist erg veel vlekken zal zien. In 2002 zaten we in zo'n maximum en rond 2013 zullen we dat weer meemaken. Wat hier precies de oorzaak van is, is niet zo goed bekend. Wel zijn de wetenschappers het erover eens dat het te maken heeft met het magnetische veld. Het blijkt namelijk dat de vlekkgroepen (met een noordpool en een zuidpool) na elf jaar ineens van polariteit wisselen! Stel dat de vooroplopende vlekken op het noordelijk halfrond van de zon eerst een magnetische noordpool waren (en op het zuidelijk halfrond een magnetische zuidpool) dan draait dit na elf jaar om. Eigenlijk heeft de zonnecyclus dus een periode van 22 jaar, want pas na 22 jaar is alles weer terug zoals het was!

*In deze grafiek is de zonnevlekkenactiviteit uitgezet vanaf 1700 tot heden. Heel mooi is te zien hoe om de elf jaar het aantal zonnevlekken een maximum bereikt en dat er in de tussenliggende tijd soms zelfs géén vlekken zijn te zien.*

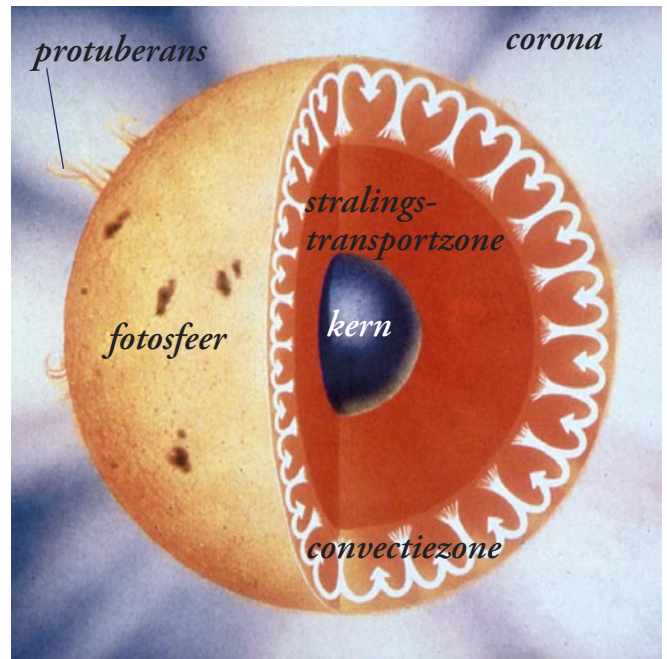


# De zon van binnen

Als we naar de zon kijken, zien we natuurlijk alleen de buitenkant. Die buitenkant is gedeeltelijk doorzichtig, dus kunnen we een goed beeld krijgen van de atmosfeer van de zon. Maar astronomen zouden ook graag dieper in de zon willen kijken. Dat valt helaas niet mee. De meeste kennis van het zonsinwendige is verkregen door natuurkundige modellen te maken, die de processen beschrijven die in de zon moeten verlopen om de verschijnselen te verklaren die we aan de buitenkant kunnen zien. Daarnaast zijn we veel over het binnenste van de zon te weten gekomen door het onderzoek aan 'zonsbevingen' (zie kader 'Zonneseismologie' hieronder).

De zon is zo verschrikkelijk heet dat vaste stoffen en vloeistoffen er niet kunnen bestaan. De zon is in feite een hele grote gasbol, die door zijn eigen zwaartekracht bij elkaar wordt gehouden. Dit gas bevat vooral waterstof (92%), wat helium (8%) en een heel klein beetje andere stoffen (0,1%; let op: deze percentages slaan op de aantallen atomen; je leest ook wel dat de zon voor 75% uit waterstof bestaat, maar dan bedoelt men welk deel van de massa uit waterstof bestaat). Het zonnegas bestaat ook niet uit gewone moleculen en atomen, want die worden door de grote hitte uit elkaar geslagen. Losse elektronen en atoomkernen bewegen kriskras door elkaar. Zo'n gas noemen we een *plasma*.

Als we van binnen naar buiten door de zon zouden kunnen reizen, komen we verschillende gebieden te



In deze opengewerkte tekening van de zon zijn de verschillende lagen aangegeven.

gen die elk hun eigen kenmerken hebben. Hieronder zullen we die kort behandelen.

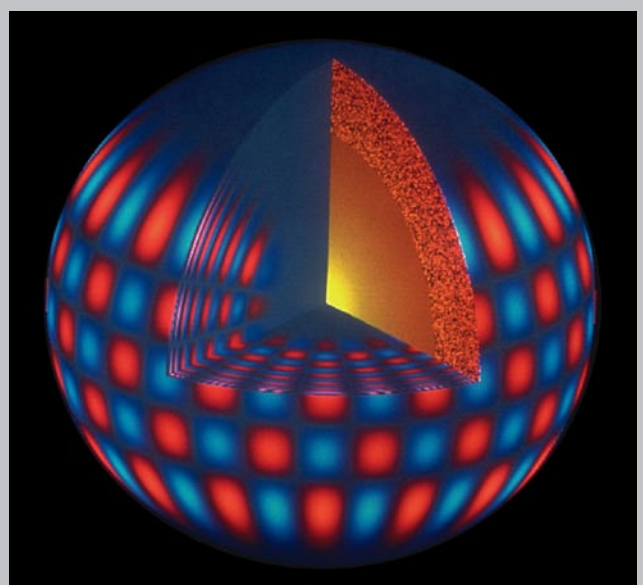
## De kern

Het binnenste deel van de zon noemen we de kern. Deze heeft een doorsnede van 200.000 km. Hier zijn de temperatuur en druk het hoogst. Bij een temperatuur van ruim 15 miljoen graden en een druk die 150 miljard keer hoger is dan de luchtdruk op aarde kunnen kernen van waterstofatomen met elkaar versmelten tot heliumkernen. Bij deze *kernfusie* komt ener-

## Zonneseismologie

Geologen bestuderen het inwendige van de aarde door te volgen hoe trillingen van aardbevingen door de aarde bewegen. We meten deze trillingen alleen aan het oppervlak, maar toch helpen ze om een beeld te krijgen van verschillende aardlagen in het binnenste van de aarde. Deze wetenschap heet seismologie.

Ook de zon blijkt op allerlei manieren te trillen. Sommige van deze trillingen bewegen alleen als golven over het oppervlak, maar andere reizen door het inwendige van de zon. Door het bestuderen van de trillingen kan met bijvoorbeeld afleiden hoe diep de convectielaag is en hoe het inwendige van de zon roteert.



gie vrij in de vorm van zeer energierijke straling (zie kader hiernaast). Kernfusie is heel efficiënt: uit een klein beetje materie kun je heel veel energie winnen. Daardoor heeft de zon al 4,5 miljard jaar kunnen branden. Bijna de helft van de waterstof in de kern is nu omgezet, dus de zon kan nog ongeveer 5 miljard jaar blijven stralen zoals hij nu doet.

## De mantel

De energie die in het hete binnenste van de zon wordt opgewekt, zal naar buiten stromen. Aanvankelijk gebeurt dat in de vorm van straling. Energierijke stralingsdeeltjes – fotonen – zoeken zich een weg naar buiten door de dichte mantel die de kern omringt. Deze mantel wordt naar buiten toe steeds minder heet en dicht. Onderweg botsen de fotonen op de hete gasdeeltjes en staan daarbij wat van hun energie af. Dit deel van de zon noemen we de *stralingstransportzone*.

Verder naar buiten is de mantel zo ver afgekoeld, en hebben de fotonen reeds zo veel van hun energie verloren, dat het energietransport beter verloopt door *convectie*: hete gasbellen stijgen op naar de buitenkant van de zon, stralen hun warmte uit en zakken weer naar beneden, waar ze opnieuw worden opgewarmd. Dit gebied noemen we de *convectiezone*.

De stijgende en dalende bewegingen van het zonnegas in de convectiezone, in combinatie met de rotatie van de zon, is verantwoordelijk voor het opwekken van het magnetische veld van de zon. Net als in een elektromagneet wekken stromen elektrisch geladen deeltjes magnetische velden op. Iets soortgelijks gebeurt in het binnenste van de aarde. Onze planeet heeft echter een eenvoudig magnetisch veld, met maar één noordpool en één zuidpool. Op de zon is het magnetisch veld veel grilliger: wisselende velden komen op steeds weer andere plaatsen de zon uit en duiken elders weer naar binnen. Waar sterke magnetische velden de zon in- of uitgaan, voorkomen ze dat gasbellen kunnen opstijgen of dalen, waardoor het bovenliggende oppervlak afkoelt. Hierdoor ontstaan zonnevlekken. Zonnevlekken zijn dus eigenlijk de magnetische polen van de zon!

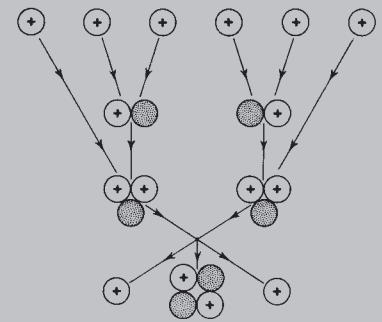
## De fotosfeer

De zichtbare buitenkant van de zon noemen we de *fotosfeer*. De fotosfeer is de laag waar het voor ons zichtbare zonlicht vandaan komt. De fotosfeer heeft een dikte van ongeveer 600 km. De meeste van de

## Kernfusie

De zon wekt energie op door vier waterstofatoomkernen te fuseren tot één heliumkern. Deze heliumkern is wat lichter dan de vier waterstofkernen, en het verschil in massa wordt omgezet in energie. Hoeveel dat is, kunnen we uitrekenen met Einsteins beroemde formule  $E = mc^2$ . Maar wat gebeurt er nu precies tijdens deze reactie?

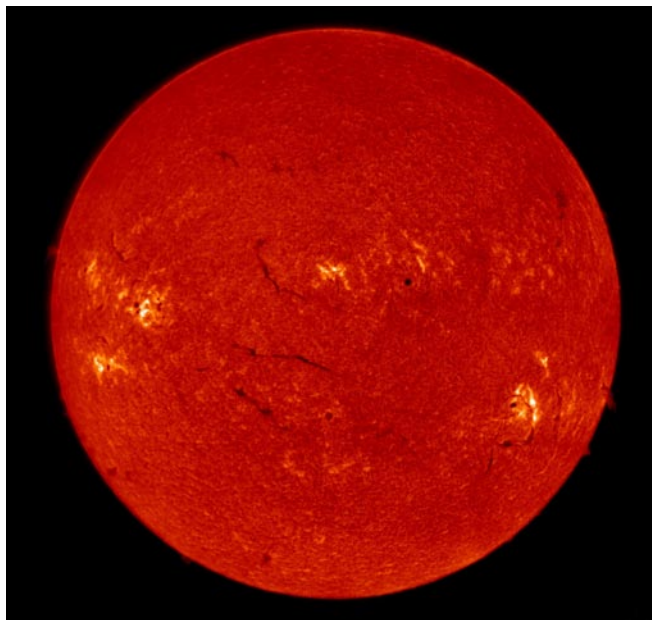
Een normale waterstofkern bestaat slechts uit één proton, een positief geladen kerndeeltje. Omdat protonen elkaar door de gelijke elektrische lading afstoten, is het heel moeilijk om ze dicht bij elkaar te brengen. Maar bij hoge temperatuur en druk lukt dat af en toe wel. De twee protonen smelten dan samen, waarbij een proton wordt omgezet in een neutron – een kerndeeltje zonder lading. Zo'n atoomkern die bestaat uit een proton en een neutron wordt een zware waterstofkern of deuteriumkern genoemd. De positieve lading van het proton dat in een neutron is veranderd, moet ergens blijven: deze wordt uitgestoten als een positron, een positief geladen elektron. Als zo'n positron op een elektron



botst, vernietigen ze elkaar en komt er energie vrij in de vorm van gammastraling. Ook wordt er bij de vorming van de deuteriumkern een zogeheten neutrino uitgestoten, een spookachtig deeltje zonder lading en met vrijwel geen rustmassa, dat nauwelijks met gewone materie reageert.

De deuteriumkern kan nu versmelten met een proton, waarbij een helium-3-kern ontstaat die uit twee protonen en een neutron bestaat. Bij deze reactie wordt ook gammastraling uitgestoten. In laatste instantie botsen twee helium-3-kernen op elkaar en smelten samen tot helium-4, dat uit twee protonen en twee neutronen bestaat, en worden er twee overtollige protonen weggestoten. Helium-4 is in tegenstelling tot helium-3 stabiel en zal niet meer uit elkaar vallen.

De energie die vrijkomt bij bovenstaande reacties, zit zowel in de uitgestoten gammastraling als in de grotere bewegingsenergie van de deeltjes na de reactie.



*Met een H-alfa-filter kunnen we heel mooi de gasstromingen in de chromosfeer zien. De 'wolken' die we donker zien afsteken, zijn protuberansen, die we in dit geval meestal filamenten noemen. (Foto: Big Bear Solar Observatory)*

zichtbare verschijnselen op de zon – zonnevlekken, granulatie randverzwakking – die elders in deze brochure worden besproken, spelen zich af in deze fotosfeer. De granulatie is het directe gevolg van de stijgende en dalende bellen uit de onderliggende convectiezone. De fotosfeer heeft een temperatuur van 6000 graden, behalve in de zonnevlekken, waar het een stuk minder heet is, ongeveer 4000 graden.

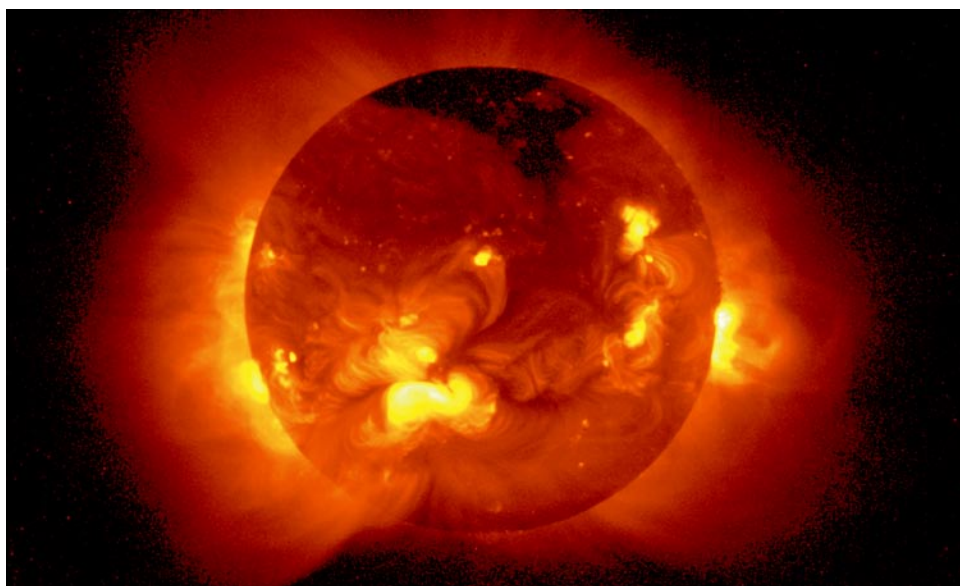
## De chromosfeer

Dit is een laag van ongeveer 5000 km dik, direct boven de fotosfeer. Eigenlijk is het de onderkant van de *corona*, de uitgestrekte atmosfeer van de zon. De

chromosfeer bestaat uit ijl gas met een temperatuur die oploopt tot 10.000 graden. In vergelijking met de fotosfeer zendt de chromosfeer maar weinig licht uit, maar tijdens een totale zonsverduistering steekt hij net boven de maanrand uit. Ook kunnen we filters gebruiken die alleen het rode licht doorlaten dat door heet, stralend waterstofgas wordt uitgezonden. Met zo'n H-alfa-filter kunnen we prachtig de gasstromingen in de chromosfeer zien. Vaak zien we dan ook *protuberansen* of *filamenten*, die zich ver kunnen uitstrekken tot in de corona. Deze bestaan uit gas dat zit opgesloten in magnetische velden. Vaak verbinden ze twee zonnevlekkengroepen met elkaar.

## De corona

De ijle atmosfeer van de zon strekt zich vele miljoenen kilometers in de omringende ruimte uit. Tijdens een totale zonsverduistering wordt deze corona gedurende korte tijd prachtig zichtbaar, maar met satellieten in de ruimte kunnen we de corona tegenwoordig het hele jaar door in de gaten houden. Het gas van de corona bereikt temperaturen van miljoenen graden en zendt naast zichtbaar licht ook radiostraling en röntgenstraling uit. Pas sinds kort beginnen we te begrijpen waardoor deze corona zo heet kan zijn: voortdurende trillingen in het magnetische veld van de zon, in de chromosfeer en de basis van de corona dragen energie over aan het hete gas van deze lagen. Eigenlijk is er niet echt een einde aan de zon. De hete zon staat als het ware langzaam te verdampen en stuurt via de corona een constante deeltjesstroom de ruimte in: de *zonnwind*. Deze zonnwind strekt zich uit tot ver voorbij de baan van Neptunus, waar hij uiteindelijk verloren gaat in de interstellaire ruimte.



*Met röntgentelescopen in de ruimte kan de zeer hete corona van de zon goed worden bestudeerd. Deze foto is gemaakt door de Yohkoh-satelliet, een gemeenschappelijk project van Japan, de Verenigde Staten en Groot-Brittannië.*



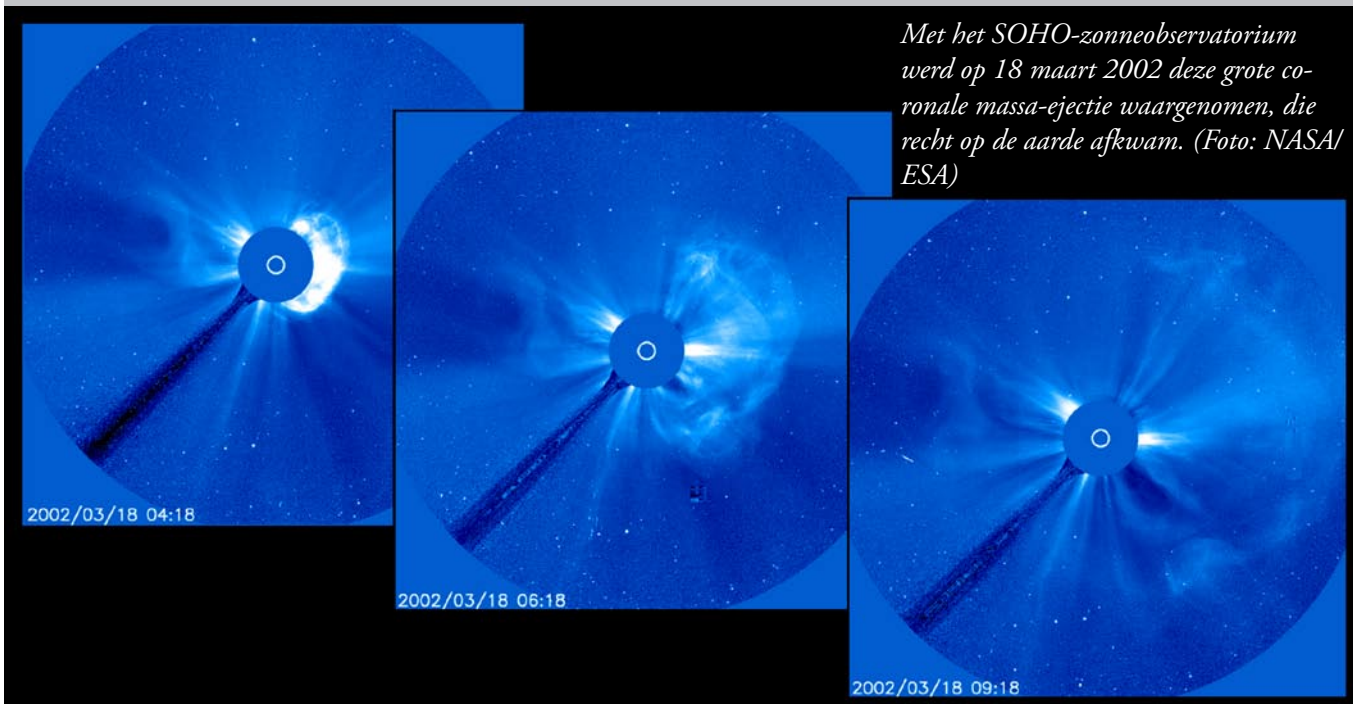
## Invloed op de aarde

De zon heeft gelukkig een zeer constante helderheid. De elfjarige zonnecyclus blijkt maar heel weinig invloed op het aardse weer te hebben. Een groter effect hebben uitbarstingen op de zon. Regelmatig zien we in de buurt van zonnevlekken zogenaamde zonnevlammen optreden: kort durende uitbarstingen die in zichtbaar licht even zichtbaar zijn, maar die hun optreden ook verraden op radio- en röntgengolflengten. De grote lusvormige protuberansen of filamenten kunnen ook tot uitbarsten overgaan, maar de grootste uitbarstingen zijn de zogenaamde *coronale massa-ejecties*. Deze CME's zijn pas enkele tientallen jaren geleden ontdekt met satellieten vanuit de ruimte. Het zijn grote uitbarstingen in de corona van de zon, waarbij veel geladen deeltjes extra snel de ruimte in worden geblazen – een extra sterke zonnewind als het ware. Wanneer zo'n CME in de richting van de aarde uitbarst, blijft dit niet zonder gevolgen. De aarde is redelijk goed beschermd door haar magnetische veld en atmosfeer, maar voor astronauten in de ruimte kan een uitbarsting gevaarlijk zijn. En bij krachtige uitbarstingen kunnen elektrisch geladen deeltjes doordringen in de atmosfeer en daar lichtverschijnselen opwekken: het poollicht of noorderlicht. Meestal is dit alleen dicht bij de polen te zien, maar poollicht van krachtige uitbarstingen kan tot in Nederland zichtbaar zijn. Hevige uitbarstingen van de zon kunnen allerlei ongewenste gevolgen hebben: uitval van satellieten, storing van

radiocommunicatie en overbelasting van hoogspanningsleidingen. Mede daarom wordt de zon nu constant in de gaten gehouden, zodat belanghebbenden tijdig gewaarschuwd kunnen worden.



*Deze fraaie opname van poollicht boven Nederland werd gemaakt door Robert Wielinga uit Utrecht op 6 april 2000.*



*Met het SOHO-zonneobservatorium werd op 18 maart 2002 deze grote coronale massa-ejectie waargenomen, die recht op de aarde afkwam. (Foto: NASA/ESA)*

# De levensloop van de zon

Net als alle andere sterren is de zon ooit ontstaan uit een grote kosmische gaswolk die onder zijn eigen gewicht in elkaar zakke. Zo'n gaswolk begint niet zomaar met samentrekken, maar heeft daarvoor eerst een zetje nodig, bijvoorbeeld van een exploderende reuzenster, een supernova, in de nabije omgeving. In zo'n wolk kunnen honderden sterren tegelijk ontstaan. Zo'n wolk is behoorlijk zwaar – dat moet ook wel, anders kan de zwaartekracht het niet winnen van de naar buiten toe gerichte gasdruk tussen de deeltjes van de wolk. Die gasdruk is het gevolg van botsingen tussen de gasdeeltjes en neemt toe naarmate de wolk verder wordt samengeperst. Sterren ontstaan dus altijd in groepen, zogenaamde sterrenhopen, die pas later grotendeels uit elkaar vallen. Onze zon heeft zijn geboortewolk al lang geleden verlaten.

## Protosterren

Tijdens het samentrekken van een gaswolk ontstaan er verdichtingen in de wolk, die uit zullen groeien tot sterren. Door het samentrekken neemt hun inwendige druk en de temperatuur toe, en de 'protosterren' beginnen hun overvloedige warmte uit te stralen. Hierdoor kan de zwaartekracht een protoster steeds verder samenpersen. De protoster wordt steeds heter, en uiteindelijk straalt hij vooral in zichtbaar licht. Intussen zijn de druk en de temperatuur in het centrum zo hoog geworden, dat waterstof begint te fuseren tot helium. Door de naar buiten gerichte energiestroom stopt het samentrekken en wordt de ster stabiel. Uit het niet gebruikte gas en stof dat in een platte schijf om de ster draait, kunnen planeten ontstaan.

Zware sterren trekken heel snel samen: binnen een paar miljoen jaar. Lichte sterren zoals de zon doen er zo'n 30 miljoen jaar over. Toch is dat maar een



Deze 'vlindernevel' is een fraai voorbeeld van een planetaire nevel. (Foto: STScI/NASA)



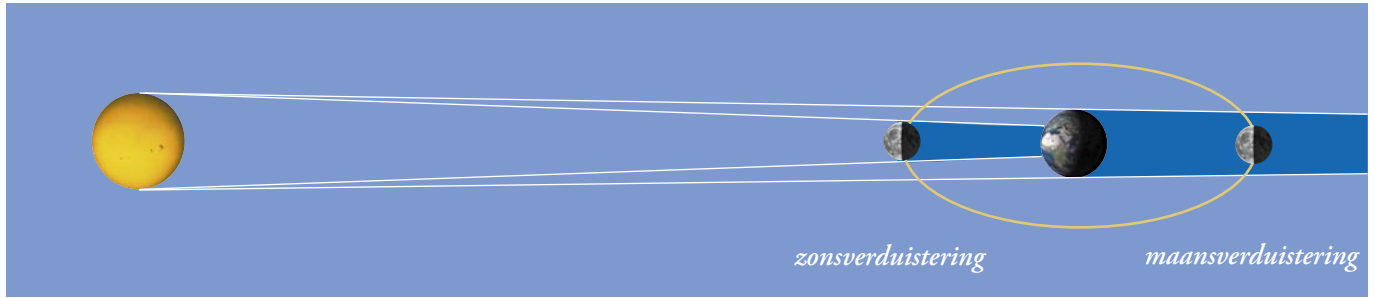
Sterren worden geboren in dit soort gas- en stofnevels. De zwaarste sterren ontstaan het eerst en zullen met hun felle straling de donkere nevel verdampen. Het verhitte gas gaat vervolgens zelf stralen. Deze foto van NGC 2080 werd gemaakt met de Hubble-ruimtetelescoop. (Foto: STScI/NASA)

schijntje vergeleken met de tijd dat de zon kan stralen met zijn voorraad aan waterstof in de kern: ruim 10 miljard jaar. De zon is nu zo'n 4,5 miljard jaar oud, dus ongeveer halverwege.

## Rode reus

Als de waterstof in de kern opraakt, komt het einde van de zon in zicht. Zodra er minder energie wordt opgewekt, gaat de zwaartekracht de kern van de zon weer samenpersen. Die wordt daardoor steeds heter en de druk wordt steeds groter. Door dit samentrekken wordt zoveel extra energie opgewekt, dat de buitenzijde van de zon zal opzwellen tot een rode reuzenster. Uiteindelijk begint in de kern helium te fuseren tot koolstof, terwijl in een schil daarbuiten nog steeds waterstof tot helium fuseert. Hierdoor kan de ster zijn leven nog enkele miljoenen jaren rekken. De koolstof hoopt zich op in de kern, waardoor de heliumfusie wordt verplaatst naar een schil daarbuiten. De ster is nu zo groot en opgezwollen – wellicht zelfs tot voorbij de huidige baan van de aarde – dat hij zijn ijle buitenlagen niet langer meer kan vasthouden. Een lichte ster als de zon zal in een tijd van enkele tienduizenden jaren zijn buitenlagen wegblazen. Dit gas kan zichtbaar worden als een planetaire nevel. De kale sterkern die overblijft, zal nog heel lang blijven stralen als een hete, witte dwergster, lang nadat de kernfusie is gestopt.

# Zonsverduisteringen en corona



Het is een prachtige, zonnige dag. Maar langzaam wordt het donkerder. De bijna wolkenloze hemel krijgt een vreemde, staalblauwe kleur. Ook de weinige wolkjes veranderen van witte wattenbolletjes in donkere schimmen. Wat is er aan de hand?

Als je iets van de sterrenhemel weet, heb je het vast al begrepen: er vindt een totale zonsverduistering plaats. Zonsverduisteringen zijn niet echt zeldzaam: bijna elk jaar is er op aarde wel één te zien, soms zelfs twee. Maar jammer genoeg is zo'n verduistering alleen vanaf een smalle strook op aarde zichtbaar. Het kan dus heel lang duren voordat je op een bepaalde plek (weer) een totale zonsverduistering te zien krijgt. Elke plek op aarde krijgt gemiddeld maar eens in de 360 jaar een totale zonsverduistering te zien. De volgende keer dat dit in Nederland gebeurt, is in het jaar 2135 – over meer dan een eeuw dus!

## Wat is een zonsverduistering?

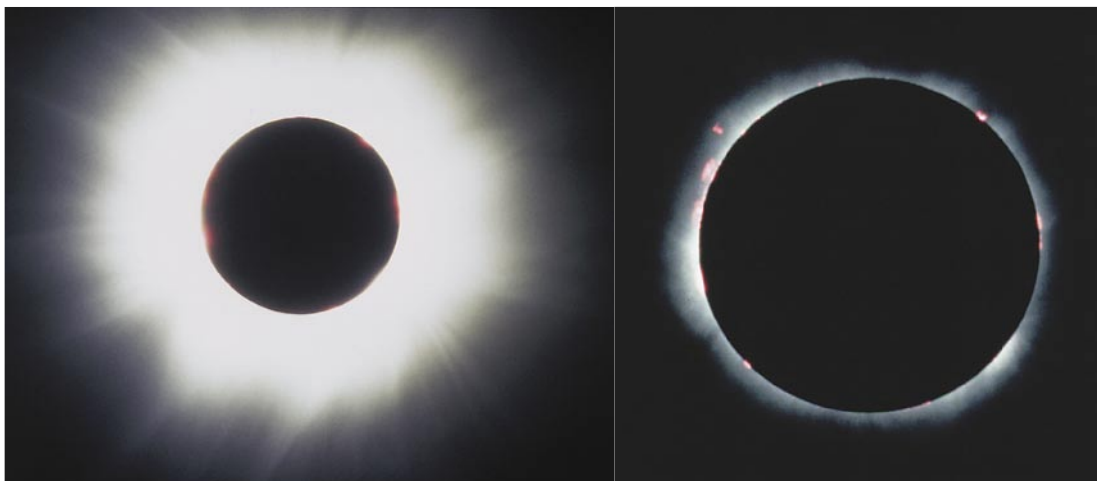
Zonsverduisteringen, ook wel eclipsen genoemd, ontstaan als de maan bij zijn beweging langs de hemel vóór de zon langs schuift. Op dat moment werpt de maan zijn schaduw op de aarde. Doordat de schaduw van de maan vrij klein is – een paar honderd kilometer in diameter – krijgt lang niet iedereen op aarde op dat moment een totale zonsverduistering te

*Bij een zonsverduistering scheert de schaduw van de maan over de aarde; bij een maansverduistering beweegt de maan door de schaduw van de aarde.*

zien. Wel is in een breder gebied, dat net buiten de eigenlijke maanshaduw ligt, een gedeeltelijke zonsverduistering te zien.

Dat we niet vaker dan één of twee keer per jaar een zonsverduistering te zien krijgen, heeft te maken met de beweging van de maan om de aarde. Ruwweg één keer per maand komt de maan tussen de zon en de aarde in te staan. Op dat moment wordt alleen de achterkant van de maan door de zon verlicht en is de maan vanaf de aarde niet zichtbaar – we noemen dat moment Nieuwe Maan. Zonsverduisteringen vinden alleen plaats bij Nieuwe Maan, maar niet bij *elke* Nieuwe Maan. De baan die de maan om de aarde volgt, is namelijk een beetje gekanteld. Hierdoor staat de maan tijdens Nieuwe Maan meestal een stukje 'boven' of 'onder' de zon aan de hemel. En in dat geval valt de schaduw van de maan niet op de aarde en is er geen verduistering.

Zonsverduisteringen komen dus alléén voor als de zon, de maan en de aarde tijdens Nieuwe Maan precies op één lijn staan.



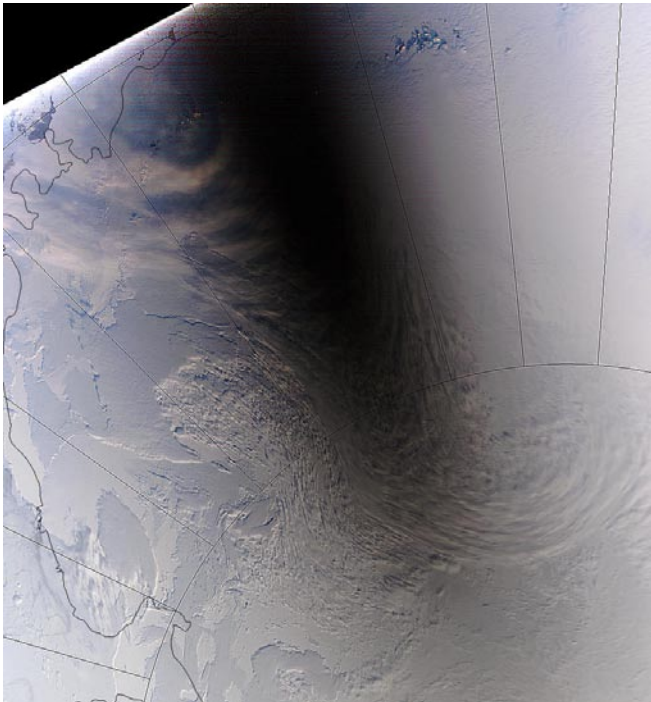
*Twee eclipsfoto's gemaakt door de amateurastronoom Dam Zantema. De foto links laat mooi de uitgestrekte corona zien. De foto hiernaast, die korter is belicht, toont protuberansen die boven de maanrand uitkomen.*

## Tijdens de verduistering

Als je ooit het geluk hebt om een totale zonsverduistering mee te maken, zul je merken dat het een hemelverschijnsel is dat vrij traag op gang komt. Tussen het moment dat de donkere maanschijf het eerste stukje zon bedekt en het moment dat de verduistering compleet is, verstrijkt een uur of meer. In de loop van dat uur kun je een steeds groter stuk van de zonnenschijf achter de maan zien verdwijnen. Maar desondanks is het schijnsel van de zon bijna al die tijd nauwelijks zwakker dan normaal. Je moet zelfs door een speciaal eclipsbrilletje – een soort superzonnebril – naar de zon kijken, om te kunnen zien dat er een hap uit de zon is.

Pas als de maan volledig voor de zon is geschoven, begint het spektakel. Binnen enkele minuten wordt het bijna donker. De zon is ‘verdwenen’ en op zijn plek staat nu een groot zwart ‘gat’ aan de hemel. Langs de randen van dat ‘gat’ – de maan dus – zijn, met een verrekijker en vaak ook met het blote oog, een paar rode uitsteeksels te zien. Dat zijn protuberansen: gloeiende slierten heet gas die uit het zonsoppervlak omhoog schieten (zie ook blz. 8).

Rond de inktzwarte maanschijf is echter nóg een bijzonder verschijnsel te zien: een spookachtige krans van licht. Dat is de corona van de zon (zie blz. 8). Een totale zonsverduistering is de enige gelegenheid



Op deze foto van de Aqua-satelliet is te zien hoe de maan­schaduw op Antarctica valt tijdens de totale zonsverduistering van 23 november 2003. (Foto: J. Descloitres / NASA GSFC)

## Zonsverduisteringen tot en met 2010

datum	soort verduistering	max. duur (min:sec)
8 april 2005	totaal/ringvormig	0:42
3 oktober 2005	ringvormig	4:32
29 maart 2006	totaal	4:07
22 september 2006	ringvormig	7:09
7 februari 2008	ringvormig	2:12
1 augustus 2008	totaal	2:27
26 januari 2009	ringvormig	7:54
22 juli 2009	totaal	6:39
15 januari 2010	ringvormig	11:08
11 juli 2010	totaal	5:20

Deze verduisteringen zijn geen van alle te zien vanuit Nederland. In Nederland is op 3 oktober 2005 wel een gedeeltelijke verduistering te zien. Zie voor meer informatie: [www.zonsverduistering.nl](http://www.zonsverduistering.nl).

waarbij we deze indrukwekkende lichtkrans met eigen ogen kunnen zien. Op andere momenten is de hemelachtergrond door verstrooid zonlicht zó helder, dat de corona hierbij volledig verbleekt. (Behalve tijdens totale zonsverduisteringen kan de zon ook vanuit de ruimte worden waargenomen.) De corona bestaat uit heet gas, met een temperatuur van ongeveer één miljoen graden, dat tot de atmosfeer van de zon behoort.

## Een gelukkig toeval

Dat we op aarde totale zonsverduisteringen te zien krijgen, met corona en al die fraaie protuberansen, is niet meer dan toeval. Vanaf de aarde gezien lijken zon en maan namelijk precies even groot, maar dat zijn ze in werkelijkheid bij lange na niet. De maan is ongeveer vierhonderd keer zo klein als de zon. Tegelijkertijd staat hij echter ook vierhonderd keer zo dichtbij. Als de maan ietsje kleiner zou zijn of iets verder weg stond, zouden we nooit een totale zonsverduistering te zien krijgen! Soms staat de maan echt wat verder weg en dan krijgen we een ringvormige verduistering.

Als de maan juist wat groter was of dichterbij stond, was het verschijnsel minder spectaculair, omdat dan ook de meeste protuberansen achter de maan zouden verdwijnen. Nu krijgen we echt ‘alles’ te zien, zij het dat dit altijd van korte duur is. Want een totale zonsverduistering duurt nooit langer dan een minuut of zeven.

# Hoe bekijk je de zon?

Bij het waarnemen van de zon moet je heel erg voorzichtig zijn! Van de zon komt een hele hoop meer licht dan van de andere objecten die je als sterrenkundige bekijkt. We zullen hier een paar manieren behandelen om veilig naar de zon te kijken. Er zijn al genoeg mensen geweest die ernstige beschadigingen aan hun ogen hebben opgelopen!

## Het 'blote' oog

Kijk nooit met het blote oog in de zon! Behalve dat je uit jezelf al je ogen dichtknijpt als je in de richting van de zon kijkt, doet het ook echt pijn als je zonder bescherming naar de zon kijkt. Ook komt er van de zon gevaarlijke straling die je niet direct ziet en soms zelfs niet eens voelt! Je kunt daar toch blind van worden als je je ogen niet goed beschermt.

Vroeger gebruikte men wel beroete stukjes glas om door naar de zon te kijken. Later kwamen daar de cd's en metaalkleurige chipszakken bij. Al deze methoden zijn absoluut *niet veilig!* Ook overbelichte zwart-wit negatieven werden veel gebruikt. Dat was vroeger best veilig, omdat het zilver in de film veel schadelijke straling tegenhield. Maar tegenwoordig zit er steeds minder zilver in fotografische film: ook niet meer doen, dus!

Gelukkig zijn er ook nog veilige manieren om zonder telescoop of verrekijker naar de zon te kijken. Een daarvan betreft het zogeheten lasglas. Dat is een extreem donker glas dat in een bril voor lassers zit. Hier bestaan verschillende nummers van: hoe hoger het nummer des te donkerder is het glas. Vanaf nummer 14 zijn ze veilig om naar de zon te kijken. Ook de zogenaamde eclipsbrilletjes zijn veilig (deze worden er



*Gebruik speciale eclipsbrillen om veilig met het blote oog naar zonsverduisteringen of grote zonnevlekken te kijken. (Foto: Dirk Poelman)*



*Met een eenvoudige verrekijker is het al mogelijk om een mooi beeld van de zon te projecteren. Als de twee zonsbeelden over elkaar vallen, doe dan een stofkap op één van beide objectieven. (Foto: Edwin Mathlener)*

zelfs voor gemaakt!). Ze worden verkocht in periodes waarin een zonsverduistering plaatsvindt (zie ook het vorige hoofdstuk over zonsverduisteringen). Ook al heb je een veilig hulpmiddel om door te kijken: kijk nooit langer dan een paar minuten achtereen!

## Projecteer de zon

Met het blote oog is niet erg veel te zien is aan de zon. Maar als je een hulpmiddel als een verrekijker of telescoop wilt gebruiken om de zon te bekijken, moet je nog beter oppassen! De grotere objectieven of -spiegels vangen veel meer licht dan het blote oog en als dit licht onverzwakt in je ogen terecht komt, is een fractie van een seconde al genoeg om ze blijvend te beschadigen, en de kans is groot dat je blind wordt! Een van de veiligste en meest gebruikte methoden is zonneprojectie. Op die manier zorg je ervoor dat al het licht terecht komt op een projectieschermpje, bijv. een stuk stevig wit papier, en niet in je oog. Je kunt dan zelf het scherm bekijken en zo toch zien hoe de zon eruit ziet.

De opstelling die je hiervoor gebruikt is relatief simpel. Je neemt een verrekijker of een telescoop (als het een verrekijker is, laat je een van beide doppen aan de voorkant erop en zet hem bij voorkeur op een fotostatief). Nu hou je een stuk papier achter de kijker en stel je de kijker scherp. Hierbij moet je op een aantal



*Hier wordt de grote Merztelescoop van Sterrenwacht Sonnenborgh gebruikt om een mooi groot zonsbeeld te projecteren. Dit is vooral handig om meerdere mensen tegelijk naar de zon te laten kijken. (Foto: Edwin Mathlener)*

dingen letten. In de eerste plaats moet je natuurlijk niet de kijker richten door er doorheen te kijken! Je kunt dit veilig doen met behulp van zijn schaduw. Als de schaduw op zijn kleinst is (en ook mooi rond) en precies achter de kijker valt, staat deze gericht en zul je een geprojecteerd beeld van de zon zien in de schaduw van de kijker (gebruik eventueel een extra stuk karton om een grotere schaduw te krijgen). Op deze manier kun je een heel mooi beeld van de zon krijgen, zelfs al met een relatief kleine verrekijker of telescoop! Een groot voordeel hiervan is ook dat je met een groepje mensen tegelijk naar de zon kunt kijken. Als je dit met je vrienden of familie doet, zorg er dan alsjeblieft goed voor dat niemand vlak achter de telescoop komt: het is daar namelijk heet!

Nog een waarschuwing is hier op zijn plaats: gebruik deze methode niet te lang achter elkaar. In het brandpunt van de kijker wordt erg veel warmte gebundeld, wat slecht kan zijn voor je kijker. Pas bij een telescoop op wat voor oculair je gebruikt. Duurdere oculairs, met meerdere lensjes die aan elkaar gekit zijn, kunnen slecht tegen zo veel warmte. Goedkope oculairs van het Huygens- en Ramsdentype zijn wel veilig.

## Zonnefilters

Bij kleinere telescopen wordt vaak een oculairzonnefilter meegeleverd. Dat zijn zeer donkere stukjes glas die je achter op je oculair moet schroeven om de zon

te bekijken. *Gebruik deze niet!* Ze zijn te gevaarlijk. Ze zitten in het brandpunt van de telescoop en daar wordt ook de meeste warmte gebundeld! Deze oculairfilters kunnen door de hitte uit elkaar spatten, en als dat gebeurt, kun je aan één oog blind worden! Gebruik ze dus niet, ook al worden ze door de fabrikant meegeleverd en lijken ze bij de telescoop te horen.

Wel veilig, en zelfs één van de beste methoden om naar de zon te kijken, is het zogenaamde objectiefzonnefilter. Deze bevestig je vóór je objectief. Het licht wordt dus al gefilterd voor het je telescoop of verrekijker binnenkomt. Lees altijd wel de instructies die bij een dergelijk filter worden geleverd aandachtig door!

Van objectieffilters bestaan grofweg twee soorten. De eerste en goedkoopste zien eruit als een soort aluminiumfolie. Het heet Solar Screen (spreek uit: solar-skrien) of AstroSolar folie. Het bestaat uit dunne kunststof met daarop een zeer dun laagje aluminium. Meestal wordt het geleverd als een los vel en moet je zelf iets maken om het aan de voorkant van de telescoop te bevestigen. De ene keer moet het in één laag, de andere keer in twee lagen. De ene soort is maar een paar maanden veilig te gebruiken de andere een paar jaar. Let vooral bij dit soort dus goed op de beschrijving die erbij zit, waarin staat hoeveel lagen je nodig hebt en hoe lang je het kunt blijven gebruiken! Natuurlijk is het erg belangrijk dat het absoluut onmogelijk is dat er licht van de zon langs je filter door je telescoop gaat

De tweede en veruit veiligste soort objectieffilters zijn de glazen objectieffilters, die speciaal voor jouw telescoop op maat gemaakt worden. Hier betreft het een glas waar een bepaalde coating op is aangebracht die het zonlicht filtert vóór het op je objectief valt. De beelden door dit soort filters zijn scherper dan met welke andere methode ook, maar de filters zijn ontzettend duur (meestal vergelijkbaar met de prijs voor je hele telescoop!). Hoewel dit de veiligste soort is, blijft het belangrijk dat je het filter vóór ieder gebruik controleert op beschadigingen. Als er krasjes op zitten, kan het te veel licht doorlaten en je oog beschadigen.

Blijf altijd goed oppassen als je de zon bekijkt, hoe en wanneer ook!

# Het waarnemen van de zon

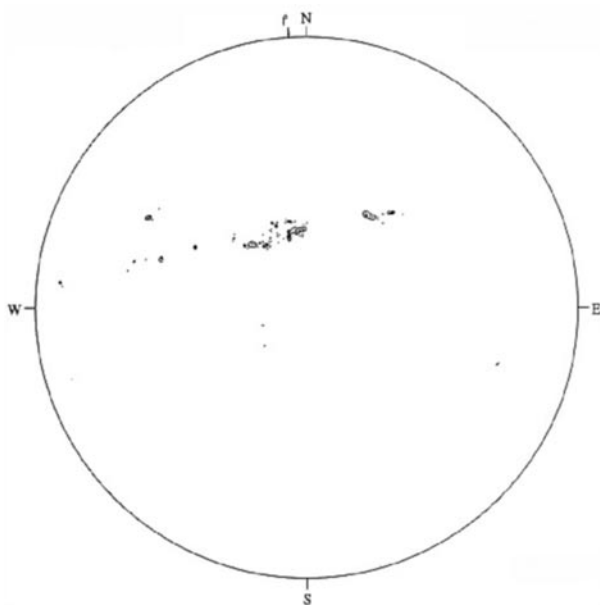
Je weet nu al van alles over de zon: hoe hij eruit ziet, waaruit hij bestaat, hoe hij is ontstaan en zal vergaan, hoe je hem veilig kunt bekijken en wat een zonsverduistering precies is. Nu wil je vast ook wel weten wat je dan ziet als je hem gaat bekijken. Wat kun je zien op de zon?

## Granulatie

Zoals in het hoofdstuk ‘Wat is er te zien op zon?’ (blz. 4) al hebt kunnen lezen, kun je met een redelijk grote telescoop de granulatie op de zon zien. Amateurs hebben hier maar weinig aan. Met de projectiemethode zie je ze zeker niet, met een objectiefilter misschien *nét*. Je ziet alleen de allergrootste en verder een heel saai en stilstaand beeld. Als je, zoals de beroepsastronomen, met een grote zonnetelescoop (zoals de Dutch Open Telescope (DOT) op het Canarische eiland La Palma) de granulatie bekijkt, zie je het zonsoppervlak ook daadwerkelijk bewegen.

## Zonnevlekken en vlekkgroepen

De makkelijkste objecten voor een amateur zijn de zonnevlekken en de groepen van zonnevlekken. Allereerst zie je ze vaak al heel goed met betrekkelijk eenvoudige apparatuur en bovendien zijn het grote objecten die gedurende een waarnemingsessie niet van uiterlijk veranderen. Je kunt ze dus ook goed na-



*Amateurtekening van de zonneshijf waarin de posities van de zonnevlekken zijn ingetekend.*

tekenen of fotograferen. Bij een grote zonnevlek kun je soms zelfs detail zien in de penumbra: er lijken dan strepen te lopen van de ene rand naar de andere (deze strepen heten *striae* (spreek uit: strie-jee)). Deze veranderen in de loop van de tijd van vorm.

Erg interessant is ook het volgend van de ontwikkeling van een zonnevlekkgroep. Enkele kleine vlekjes kunnen in een paar dagen tot een enorme groep uitgroeien. Bij het vergaan van de groep zijn ook vaak leuke dingen te zien. Zo kan bijvoorbeeld de umbra van een grote vlek zich in tweeën delen! Soms ‘brokkelt’ een stukje penumbra van de zonnevlek af en verdwijnt dan binnen een paar uur. Zo kun je een heel ‘stripverhaal’ maken van de ontwikkeling van een zonnevlekkgroep door met bepaalde regelmaat de groep na te tekenen. Let er daarbij op dat je steeds dezelfde schaal gebruikt, dus dat dingen die je even groot getekend hebt in werkelijkheid ook even groot zijn. Teken ook niet te klein; de dingen die je nog maar *nét* kunt zien moeten wel duidelijk op je tekening staan. De vergroting die je moet gebruiken, is erg afhankelijk van de methode van waarnemen, het instrument en het weer. Bepaal dus gewoon zelf bij welke vergroting je het meeste ziet en gebruik die!

## Fakkelvelden

Om een grote vlekkgroep heen zien we vaak de zogenaamde fakkelvelden. Fakkelvelden zijn gebieden die net iets warmer, en dus net iets helderder, zijn dan de fotosfeer. Je kunt ze vooral goed zien aan de rand van de zon (ze steken goed af tegen de verzwakte rand!). Als je het geluk hebt dat je een vlekkgroep net hebt zien verdwijnen (in een paar dagen) aan de rand van de zon, kun je daarna ook nog alleen het bijbehorende fakkelveld zien (deze bestaan namelijk net iets langer)! Fakkelvelden zijn met de projectiemethode moeilijk te zien, maar met erg heldere helemaal aan de rand moet het wel lukken. Met een objectiefilter zijn ze over het hele oppervlak herkenbaar en aan de rand extra duidelijk.

## De zon fotograferen

Foto's maken van de zon is niet zo moeilijk. Verreweg de eenvoudigste methode gaat via de projectiemethode van het waarnemen (zie het hoofdstuk ‘Hoe bekijk je de zon?’ op blz. 13). Projecteer de zon op

## Voor de gevorderde: de activiteit van de zon en het aantal zonnevlekken

Als maat voor de 'activiteit' van de zon wordt vaak het zogeheten Wolfgetal genoemd. Dit is een getal dat je zelf met jouw telescoop of verrekijker kunt bepalen. Hoe hoger het getal, des te actiever is de zon. Je kunt het Wolfgetal uitrekenen met behulp van de formule  $R = k \times (10 \times G + V)$ . Hierin is  $R$  het Wolfgetal,  $G$  het aantal vlekengroepen en  $V$  het aantal vlekken. Je telt eerst het aantal groepen. Dat doe je keer 10. Daar tel je het aantal afzonderlijke vlekken bij op (ook de vlekken uit de groepen). Dat getal doe je weer keer  $k$ , de correctiefactor. Die  $k$  is iets dat helemaal bij jou en je telescoop hoort en deze is altijd weer anders. De eerste paar keren weet je die ook nog niet. Als je dan alles hebt uitgerekend zonder  $k$ , heb je jouw eigen Wolfgetal. Nu publiceert bijvoorbeeld de Werkgroep Zon van de KNVWS het echte Wolfgetal voor elke datum. Als je die deelt door die van jou, vind je de  $k$ -factor. Als je dat een keer of tien voor verschillende dagen hebt gedaan, neem je het gemiddelde en dat is voortaan 'jouw'  $k$ -factor. Zo kun je voortaan zelf het echte Wolfgetal bepalen. Als je dit regelmatig bepaalt en 'in een grafiek' tegen de tijd uitzet, kun je zelf de elfjarige cyclus van de zon terugzien (zie het kader 'De elfjarige zonnecyclus' op blz. 5). Tijdens de maxima zal  $R$  een stuk groter zijn dan tijdens minima!

Overigens kun je eens in de zoveel tijd met al je gegevens je eigen  $k$ -factor nog preciezer maken met alle waarnemingen die je hebt. Zo wordt ook jouw bepaling van het Wolfgetal steeds beter. Er bestaat geen beste waarde voor de  $k$ -factor. Het enige wat telt is dat jouw eigen  $k$ -factor min of meer constant is en niet de ene dag 1,1 en de andere dag weer 2,8 is, want dan worden je bepalingen namelijk heel onzeker.

een voldoende groot stuk papier en maak hier met een normale camera een foto van. Uiteraard zijn dit niet de meest gedetailleerde foto's.

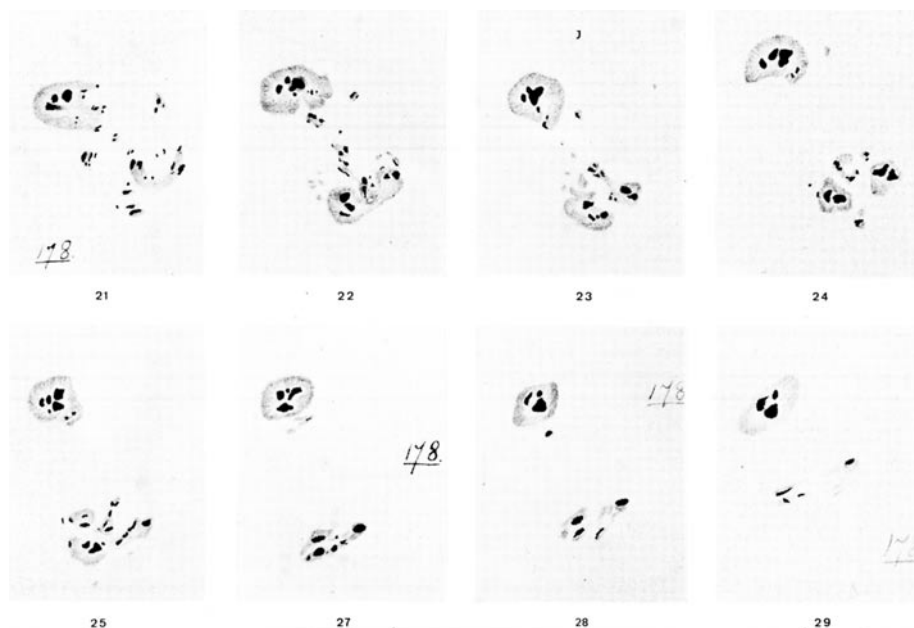
Fotografieren kan ook dóór een telescoop (met objectiefilter!). Daarbij hou je bijvoorbeeld gewoon de camera op de plaats waar je normaal je oog houdt. Voor details over fotografie moet je maar even kijken in een brochure over fotografie. Hier zullen we alleen nog vertellen dat je voor de zon bij deze methode het kleinste diafragmagetal (de grootste opening) moet gebruiken en een film met een laag ISO-getal. Verder moet je de camera scherpstellen op oneindig.

Wat je ook nog kunt doen, is je telescoop als een enorme telelens gebruiken. Je haalt dan de lens van de camera af en projecteert het beeld van je oculair direct op de film. Als het lukt, krijg je op deze manier de scherpste foto's. Deze methode is echter heel moeilijk en eigenlijk alleen weggelegd voor de geoefende fotograaf.

### En verder...

Natuurlijk zijn er met grote of kleine apparatuur nog meer dingen aan de zon te zien. Nog uitdagendere projecten zullen we hier niet bespreken, maar een heel

goed boek om van alles en nog wat met de zon te doen, is het boek *Solar Astronomy Handbook* van Beck, Hilbrecht, Reinsch en Volker, dat bijvoorbeeld bij Stichting 'De Koepel' in Utrecht te koop is.



*De ontwikkeling van een groep zonnevlekken, opgetekend door een amateurastronoom in 1900 (!). De schetsjes zijn gemaakt met oost-indische inkt en potlood. (Bron: archief Stichting 'De Koepel')*



# De rotatie van de zon

Uit de bewegingen van de zonnevlekken kun je afleiden dat de zon om zijn as draait. Hieronder beschrijven we een methode waarop je dat heel netjes aan de hand van een reeks tekeningen kunt laten zien.

## Projecteren maar!

Het is de bedoeling dat je bij het waarnemen gebruik maakt van de projectiemethode (zie blz. 13). Aan de hand van een serie plaatjes wordt duidelijk gemaakt wat je moet doen.

1. Projecteer de zon op een stuk papier, waarop je een cirkel hebt getekend. Die cirkel mag tien tot vijftien centimeter groot zijn – zorg er wel voor dat je de cirkel bij elke waarneming even groot tekent. Nu wordt het lastig: projecteer met een verrekijker of telescoop de zon zo groot dat hij precies in de cirkel past. Wanneer dat het geval is, zet je op de plek waar je een opvallende zonnevlek ziet met een potlood een duidelijke stip.

2. Wacht vervolgens tot de vlek iets verschoven is en zet een kruisje op de plaats van de vlek. Herhaal dat nog een paar keer.

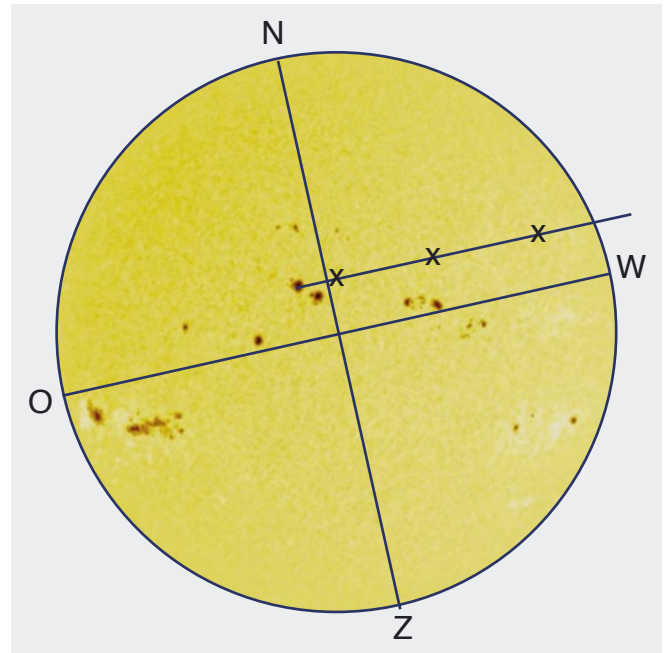
3. Pak een liniaalje en trek een lijntje door de kruisjes. Dat is de oost-west-lijn. De richting waarin de zon beweegt, is het westen.

4. Trek nu een lijn door het midden van de cirkel, evenwijdig aan de oost-west-lijn. Zet daar de windrichtingen bij. De kruisjeslijn kun je nu wel uitgummen, maar pas op dat je zonnevlek niet verdwijnt! Ook de noord-zuid-lijn moet je nog aangeven. Deze staat loodrecht op de oost-west-lijn en loopt door het middelpunt van de cirkel.

Let erop dat bij het intekenen je papier of projectiescherm niet al te zeer verschuift. Daardoor kunnen grote fouten in je positiebepalingen ontstaan. Je kunt deze voorkomen door het scherm stevig en los van je kijker op te stellen. Als je de posities met een zacht potlood (met scherpe punt!) intekent, hoeft je niet zo hard op het scherm te duwen.

## Waarnemingen verzamelen

Je hebt nu één positiebepaling gedaan. Voor het waarnemen op volgende dagen kun je het beste steeds een nieuw blaadje gebruiken. Anders wordt de tekening op een gegeven moment erg onduidelijk. Op elke dag moet je steeds weer opnieuw de windrichtingen be-



*Door een vlek te volgen en af en toe een kruisje te zetten, kun je een hulplijntje trekken dat de oost-west-richting vastlegt. Daarna kun je eenvoudig een lijn trekken midden door de zonneschijf in de oost-west-richting, en loodrecht daarop een lijn in de noord-zuid-richting. De richting van het noorden is eenvoudig te bepalen door de kijker zelf ongeveer naar het noorden te draaien: de zon beweegt dan in zuidelijke richting uit beeld.*

palen. Ook is het natuurlijk van belang dat je steeds dezelfde zonnevlek(ken) intekent. Alleen dan kun je uit de tekeningen de verplaatsing van de zonnevlekken afleiden.

Misschien vraag je je af waarom je de windrichtingen moet bepalen en intekenen. Dat heeft te maken met de stand van de zon aan de hemel: deze verandert van uur tot uur en van dag tot dag. En daarbij verdraait de zonneschijf. Als je de oost-west-lijn niet in je tekening zet, kun je de tekeningen van de verschillende dagen niet goed over elkaar heen leggen, en weet je dus niet in welke richting de zonnevlek(ken) verplaatst zijn!

Om al de waarnemingen te verzamelen, moet je de posities van de zonnevlekken in één tekening overzetten. Let er dan wel op dat de oost-west-lijn steeds dezelfde kant op wijst.

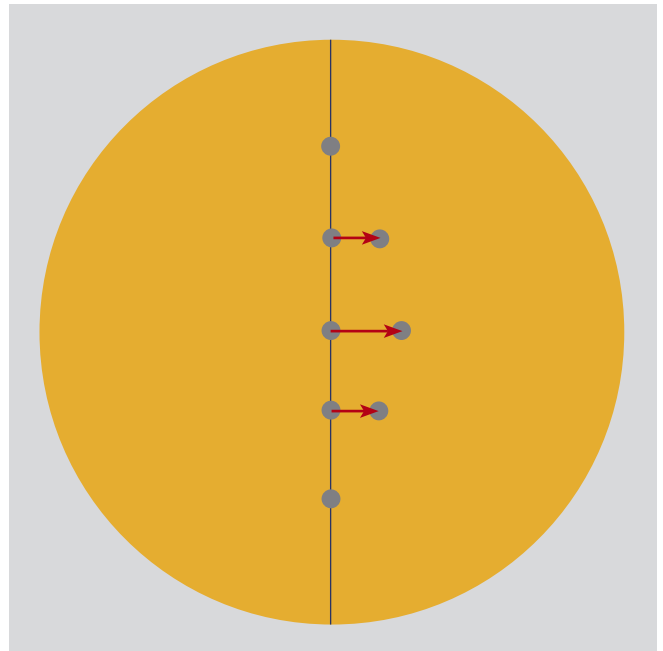
## Een vreemde rotatie

Wat kun je nu uit deze metingen leren? Allereerst zul je kunnen vaststellen dat vlekken dichtbij de zonerand zich veel langzamer lijken te verplaatsen dan die in het midden. Dat is een schijnbaar effect, dat ontstaat doordat de zon bolvormig is. Het is mogelijk om hiervoor te corrigeren, maar dat zullen we hier

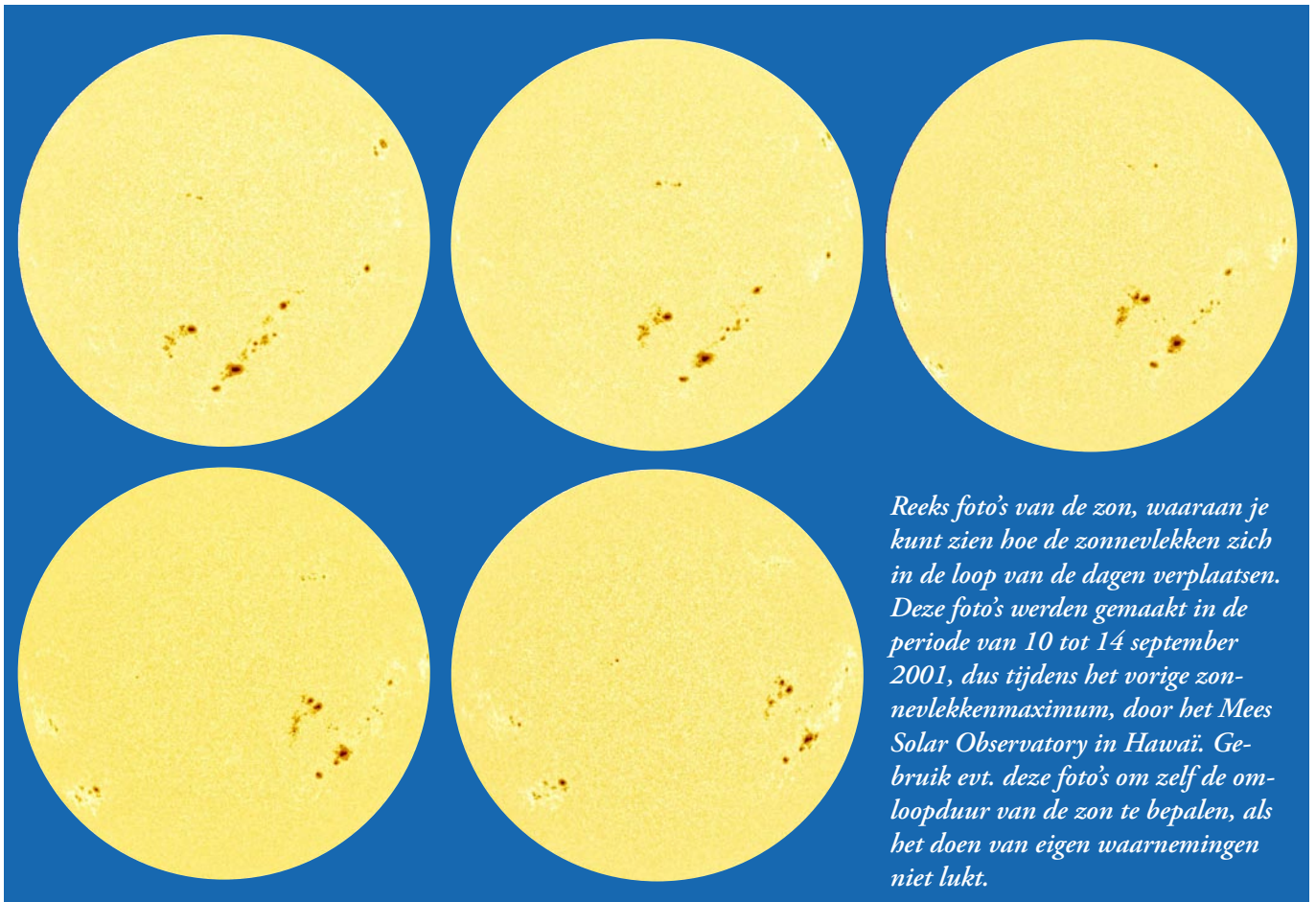
niet doen, omdat het nogal ingewikkeld is. We laten het hier bij de conclusie dat je uit je metingen de verplaatsingsrichting van een zonnevlek kunt afleiden. Ook kun je een reeks tekeningen gebruiken om te meten hoe lang een zonnevlek erover doet om van het midden van de zonneschijf op te schuiven naar de uiterste rand ervan. Dat is dan een kwart van de totale rotatietijd voor die zonnevlek.

Interessanter wordt het als je metingen kunt doen van zonnevlekken op verschillende afstanden van de evenaar van de zon. Dan zul je iets merkwaardigs vaststellen: de zon draait namelijk niet overal even snel. Dat komt doordat de zon geen vast lichaam is, zoals de aarde, maar gasvormig. Gebleken is dat de zon bij zijn 'middel', rond de evenaar dus, sneller roteert dan aan zijn polen. En dat kun je zien aan de zonnevlekken. Hoe dichterbij de evenaar, des te sneller verplaatsen de zonnevlekken zich!

Sterrenkundigen noemen dit vreemde verschijnsel – dat we overigens ook bij de atmosferen van de grote planeten Jupiter en Saturnus kunnen waarnemen – de *differentiële rotatie*. Als je bovenstaande metingen héél netjes doet, voor zonnevlekken op allerlei posities ten opzichte van de evenaar, zul je dit verschijnsel zelf kunnen 'ontdekken'.



*De differentiële rotatie van de zon in beeld gebracht. De zon roteert aan de evenaar sneller dan dichterbij de polen. Na één gemiddelde zonnerotatie zijn zonnevlekken aan de evenaar vooruitgelopen op zonnevlekken elders op de zon. De pijlen geven de rotatierichting aan.*

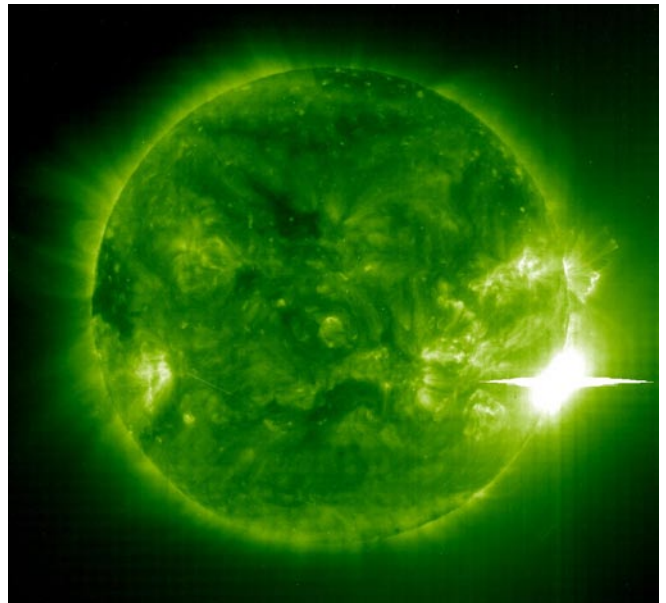


*Reeks foto's van de zon, waaraan je kunt zien hoe de zonnevlekken zich in de loop van de dagen verplaatsen. Deze foto's werden gemaakt in de periode van 10 tot 14 september 2001, dus tijdens het vorige zonnevlekkenmaximum, door het Mees Solar Observatory in Hawaï. Gebruik evt. deze foto's om zelf de omloopduur van de zon te bepalen, als het doen van eigen waarnemingen niet lukt.*

# De zon op internet

Wie meer wil weten over de zon en andere sterren, kan heel veel vinden op internet.

- Een multimediaris naar het binnenste van de zon is te vinden op deze site van Michiel Berger: [www.michielb.nl/od95/kaft\\_nl.htm](http://www.michielb.nl/od95/kaft_nl.htm)
- Voor wie veilig naar zonsverduisteringen wil kijken, is er [www.zonsverduistering.nl](http://www.zonsverduistering.nl)
- Nieuwtjes over de zon en zijn invloed op de aarde is het onderwerp van [www.spaceweather.com](http://www.spaceweather.com)
- Bij uitbarstingen op de zon kunnen grote hoeveelheden elektrisch geladen deeltjes de ruimte ingeblazen worden. Botsen deze op de aardse dampkring, dan kan er poollicht optreden. Soms is dat ook in Nederland te zien, zoals deze website laat zien: [www.poollicht.nl](http://www.poollicht.nl)
- We weten tegenwoordig veel over de zon, omdat hij in zeer veel golflengten tegelijk in de gaten wordt gehouden. Op [umbra.nascom.nasa.gov/images/latest.html](http://umbra.nascom.nasa.gov/images/latest.html) vind je steeds de laatste beelden in allerlei kleuren. De hoofdsite op [umbra.nascom.nasa.gov](http://umbra.nascom.nasa.gov) geeft toegang tot nog meer informatie en archieven.
- SOHO is een zonneobservatorium in de ruimte dat 24 uur per dag ongestoord naar de zon kan kijken: [sohowww.nascom.nasa.gov](http://sohowww.nascom.nasa.gov)
- Ulysses is een satelliet die in een wijde baan over de polen van de zon draait: [ulysses.jpl.nasa.gov](http://ulysses.jpl.nasa.gov)
- De DOT (Dutch Open Telescope) is een van de telescopen waarmee scherpe zonnefoto's in zichtbaar licht worden gemaakt: [dot.astro.uu.nl](http://dot.astro.uu.nl)



*Een extreem-ultraviolet opname van de zon, gemaakt door SOHO, toont de structuren in de onderste regionen van de corona. Rechts zien we een zonnevlam. (Foto: NASA/ESA)*

- Over de levensloop van onze zon: [www.omroep.nl/teleac/sites/de\\_planeten/onzester/](http://www.omroep.nl/teleac/sites/de_planeten/onzester/)
- Over de levensloop van andere sterren: [www.omroep.nl/teleac/sites/de\\_planeten/voorbijzon/1schatkamer.html](http://www.omroep.nl/teleac/sites/de_planeten/voorbijzon/1schatkamer.html)
- Over het ontstaan van sterren en planeten: [www.omroep.nl/teleac/sites/de\\_planeten/anderewereld/](http://www.omroep.nl/teleac/sites/de_planeten/anderewereld/)
- De website over sterren van James Kaler, incl. links naar andere sites: [www.astro.uiuc.edu/~kaler/sow/sowlist.html](http://www.astro.uiuc.edu/~kaler/sow/sowlist.html)
- Algemeen nieuws over sterrenkunde kun je vinden op [www.astronieuws.nl](http://www.astronieuws.nl)

Deze brochure is een uitgave van de *Stichting Universum* t.b.v. de *Jongerenwerkgroep voor Sterrenkunde*. Stichting Universum verzorgt diverse uitgaven over sterrenkunde voor jongeren en andere geïnteresseerden. Haar bekendste uitgave is *'Sterren en Planeten, de sterrenhemel van maand tot maand'*, die elk jaar wordt uitgegeven in samenwerking met Stichting 'De Koepel' te Utrecht.

Adres: Stichting Universum, Zonnenburg 2,  
3512 NL Utrecht.  
Website: [www.planeten.nl](http://www.planeten.nl)

Auteurs: Eddy Echternach, Marcel Haas,  
Edwin Mathlener  
Layout: Edwin Mathlener

De *Jongerenwerkgroep voor Sterrenkunde* (kortweg JWG) is een sterrenkundige vereniging voor jongeren tussen 8 en 21 jaar. De JWG geeft een eigen blad uit – *Universum*, organiseert landelijke bijeenkomsten en sterrenkundige kampen. Verder kun je als JWG-lid kijkers bouwen, dia's lenen voor een spreekbeurt, of meedoen met activiteiten in een afdeling in je omgeving.

Voor meer informatie over de JWG kun je schrijven naar: JWG, Zonnenburg 2, 3512 NL Utrecht.  
Website: [www.sterrenkunde.nl/jwg](http://www.sterrenkunde.nl/jwg)

Copyright © 2004 Stichting Universum, Utrecht