

Laagstaande, verduisterde zon

KES FLOOR

'Negeer die zonsverduistering, geniet liever van de opkomende of ondergaande zon!'. Slechts weinig Meteorologica-lezers zullen, als de gelegenheid zich voordoet, dit op internet aangetroffen advies van een zelfbenoemd mondiaal futurist ter harte nemen. Toch zit er wel wat in, want de verschijnselen die zich bij zonsopkomst en zonsondergang voordoen, zijn - ook zonder gelijktijdig optredende zonsverduistering - elke keer weer indrukwekkend. De foto's bij dit artikel laten dat nog eens zien en bieden tegelijkertijd de eclipsfanaat de gelegenheid de eigen voorkeur te volgen.

De dagelijkse zonsopkomsten, maar ook de veel zeldzamer zonsverduisteringen, zijn gebeurtenissen die veel waarnemers en fotografen, veelal voorzien van kostbare apparatuur, op de been brengen. De beide verschijnselen kunnen zich ook tegelijkertijd voordoen (figuur 1). Elke totale zonsverduistering begint namelijk ergens op aarde bij zonsopkomst en eindigt elders bij zonsondergang. Voor gedeeltelijke zonsverduisteringen geldt eveneens dat ze zich op een bepaalde plek voordoen tijdens zonsopkomst en later ergens anders bij zonsondergang. De combinatie van een laagstaande zon en een al dan niet totale zonsverduistering komt dus net zo vaak voor als een zonsverduistering zelf. De foto's bij dit artikel geven een aantal voorbeelden.

Afplatting

Van de verschijnselen die bij laagstaande zon optreden, zijn de afplatting en de roodkleuring van de zonneschijf het meest alledaags. De afplatting is een gevolg van de zogeheten atmosferische straalkromming, die maakt dat we objecten aan de hemel hoger zien staan dan in werkelijkheid het geval is. De optilling is groter naarmate het object zich verder van het zenit bevindt. Daardoor wordt de onderrand van de zon meer opgetild dan de bovenrand, wat resulteert in een afgeplatte vorm van de zonneschijf. De afplatting was onder meer goed zichtbaar tijdens de zonsopkomst van 10 mei

2013, waargenomen vanaf een locatie in het noordwesten van Australië (figuur 2). De opname werd gemaakt tijdens een ringvormige zonsverduistering, waarbij de maan net iets te klein is om de zon helemaal af te schermen. We zien dat niet alleen de zon is afgeplat, maar ook de maan. De afplatting is namelijk niet gekoppeld aan het hemellichaam, maar uitsluitend aan de afstand tot het zenit.

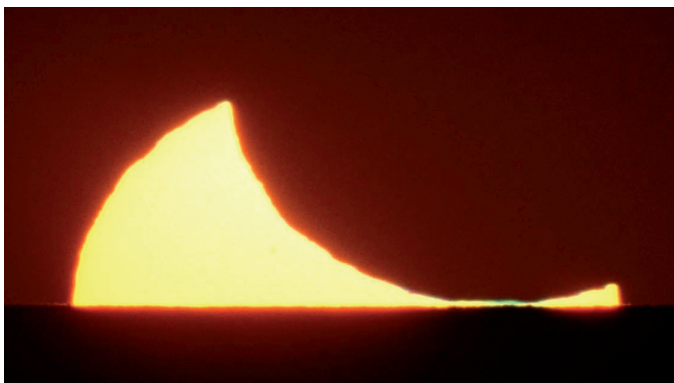
Roodkleuring

Naast de afplatting is de roodkleuring van de zonneschijf een effect dat zich standaard voordoet als de zon de horizon nadert. De roodkleuring is een gevolg van de verstrooiing die optreedt als het zonlicht zich door de atmosfeer voortplant. Bij laagstaande zon is de weg die het licht moet afleggen om de waarnemer te bereiken, langer dan wanneer de zon hoog aan de hemel staat. Daardoor zijn de gevolgen van het optreden van verstrooiing bij zonsopkomst en zonsondergang het grootst. In eerste instantie leidt de verstrooiing tot een afname van de helderheid van de zonneschijf. Doordat de verstrooiing afhankelijk is van de kleur en voor blauw licht sterker is dan voor rood licht, is bij laagstaande zon het meeste violet en blauw uit het zonlicht verdwenen en resteert vooral het rood in het van de zonneschijf afkomstige licht. Bij een gemiddeld verloop van de temperatuur met de hoogte en een constante hoeveelheid vocht en verontreinigingen

in de dampkring, mag je een geleidelijke overgang verwachten van gele of oranje tinten in het bovenste deel van de zonneschijf naar roodere tinten onderin. De foto van figuur 3, gemaakt te Egmond aan Zee tijdens de gedeeltelijke zonsverduistering van 20 juli 1982, laat zien dat de werkelijkheid anders kan zijn. De atmosfeer is in dit geval opgebouwd uit een aantal lagen met verschillende hoeveelheden vocht of verontreinigingen. Het gedeelte van de zon dat we zien door 'schonere' lagen kan daardoor een lichtere of gelere tint hebben dan een hoger deel van de zonneschijf. De kleur van de zon op foto's hangt overigens ook af van de belichting: overbelichte delen zijn geler of witter dan 'normaal' belichte of onderbelichte stukken zonneschijf. Afplatting en roodkleuring zijn effecten die zich altijd voordoen; een gemiddeld verloop van de temperatuur met de hoogte in een homogeen samengestelde atmosfeer is al voldoende om de verschijnselen te laten optreden. Vaak, misschien wel altijd, wijkt de opbouw van de atmosfeer echter af van dit gemiddelde. Dat heeft dan direct gevolgen voor de vorm die we de zonneschijf zien aannemen.

Luchtspiegelingen

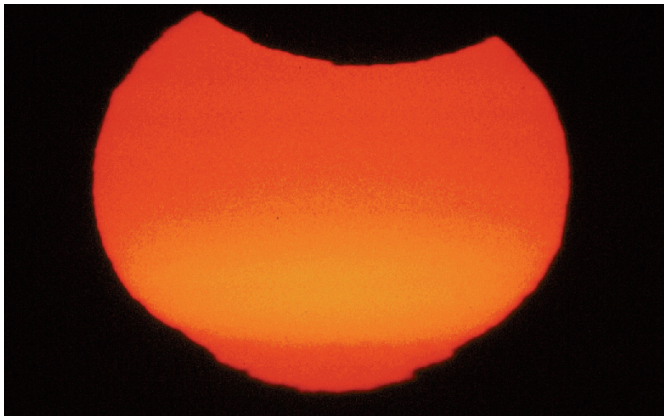
Een van die afwijkende temperatuurprofielen veroorzaakt luchtspiegelingen. Het aardoppervlak, bij waarnemingen van de laagstaande zon bij voorkeur een



Figuur 1. Ondergaande zon tijdens de zonsverduistering van 4 december 2002, Lake Hart, Australië (Foto: Nigel Evans).



Figuur 2. Afplatting van de opkomende zon tijdens een ringvormige zonsverduistering, Pilbara, West Australië, Australië, 10 mei 2013 (Foto: Colin Legg; animatie op [1]).



Figuur 3. Roodkleuring van de zonnescijf tijdens de zonsverduistering van 20 juli 1982, Egmond aan Zee (Foto: Kees Floor).

wateroppervlak, is dan warmer dan de lucht erboven. De onderste, van onderen af iets opgewarmde laag, fungeert in dit soort situaties als spiegel, waartegen licht afkomstig van de hemel reflecteert. We zien dan hemellichamen of objecten in de verte niet alleen rechtstreeks, maar ook nog eens geheel of gedeeltelijk naar beneden weerspiegeld.

Dergelijke luchtspiegelingen boven warm water kunnen we beschrijven met behulp van de begrippen verdwijnlijn, grenslijn en optische horizon (zie figuur 4). De verdwijnlijn markeert het laagste gedeelte van de zonnescijf dat we onder deze omstandigheden nog kunnen waarnemen. De optische horizon of kim loopt langs de punten op het aardoppervlak in de verte die we nog net kunnen zien; boven warm water is de optische horizon vaak gekarteld, doordat we door atmosferische stralkromming de golven in de verte boven de kim uit zien steken. Tussen de verdwijnlijn en de optische horizon zien we de weerspiegeling van een gedeelte van de zonnescijf direct boven de verdwijnlijn. Langs de bovengrens van de zone die we zowel direct als gespiegeld zien, loopt de grenslijn.

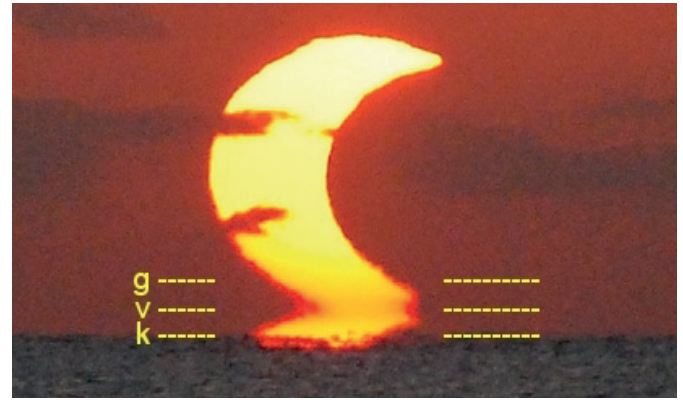
De zon komt boven warm water niet op bij de kim, maar is het eerst zichtbaar bij de verdwijnlijn. Van daaruit breidt de lichte vlek zich zowel naar beneden als naar boven uit. Even later zien we



Figuur 5. Zonsopkomst boven warm zeewater tijdens de zonsverduistering van 3 november 2013, Key West, Florida, VS (Foto: Oneirishman, animatie op [2]).

door het luchtspiegelingseffect het eerste segment van de opkomende zon met afgeronde hoeken. Wat later zien we een zonnescijf die deuken vertoont, om vrij snel daarna de vorm aan te nemen van de Griekse hoofdletter omega (Ω). Het niet door de maan afgeschermd deel van de zonnescijf in figuur 5 toont zo'n deuk, terwijl de zonnescijf in figuur 4, als we ons voorstellen hoe hij eruit zou zien zonder verduistering, de omega-vorm vertoont. Tenslotte komt de zon geheel los van de verdwijnlijn en zinkt de weerspiegeling van de zon weg achter de kim. De volgorde van de verschijnselen is omgekeerd bij zonsopkomst. Een zonsopkomst boven warm water kon bijvoorbeeld worden waargenomen tijdens de zonsverduistering van 3 november 2013; figuur 5 toont een opname die toen werd gemaakt. De verdwijnlijn loopt door het smalste deel van de gedeeltelijk verduisterde zon, dus door de rechter deuk in de zonnescijf; de linkerdeuk is afgeschermd door de maan en daardoor niet te zien. Tussen de optische horizon en de verdwijnlijn zien we het gedeelte van de zonnescijf tussen verdwijnlijn en grenslijn weerspiegeld.

De situatie van figuur 5 kan ook bekeken worden vanuit het perspectief van een maanwaarnemer. Normaliter zal de opkomende nieuwe maan niet zichtbaar zijn, maar met de zonnescijf als achtergrond is dat wel het geval. De maan kwam op bij de verdwijnlijn, evenals dat



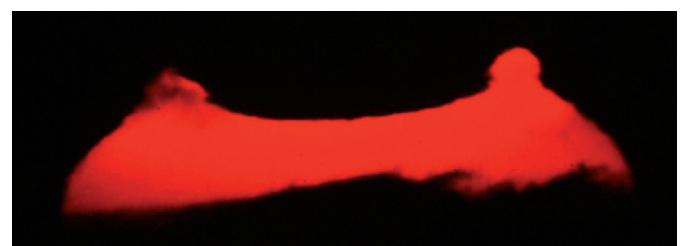
Figuur 4. Zonsopkomst en luchtspiegeling boven warm water met verdwijnlijn (v), grenslijn (g) en optische horizon (k).

kort daarvoor ook het geval was geweest bij de opkomst van de zon. In dit geval gaat het om een donkere vlek tegen een lichte achtergrond; de vlek breidt zich geleidelijk naar boven en naar beneden toe uit. In figuur 5 loopt de verdwijnlijn door het breedste stuk van de maan; het donkere gebied tussen de verdwijnlijn en de optische horizon is het spiegelbeeld van het gedeelte van de (donkere) maan tussen de grenslijn en de verdwijnlijn. De figuur laat verder zien dat de zon en de maan geen strakke randen vertonen; dat komt doordat de atmosfeer fungeert als een lens van slechte kwaliteit, vooral in de buurt van de verdwijnlijn.

Gerimpeld beeld

Afwijkingen van het gemiddelde temperatuurprofiel treden ook op bij de aanwezigheid van een of meer warmere lagen in de atmosfeer. De inversies veroorzaken vervormingen van de zonnescijf bij laagstaande zon, die onder meer bepaald worden door de hoogte van de waarnemer en die van de inversie. De vervormingen kunnen er bijvoorbeeld toe leiden dat verschillende horizontale banden van de zonnescijf op een verschillende manier worden samengedrukt of uitgerekt. Daarbij lijkt het onderste deel van de zonnescijf soms als een druppel onder de rest van de zon te hangen; het effect is met wat goede wil zichtbaar in figuur 2, maar kan in andere gevallen ook veel duidelijker zijn.

Een gelaagde opbouw van de atmosfeer geeft in veel gevallen ook aanleiding tot



Figuur 6. Zonsopkomst bij een gelaagde opbouw van de atmosfeer. Bij de omhoog stekende punten van de gedeeltelijk verduisterde zon zijn afsnoeringen zichtbaar. Egmond aan Zee, 20 juli 1982 (Foto: Kees Floor).

het optreden van uitstulpingen of afsnoeringen aan de randen van de zonneschijf. Tijdens zonsverduisteringen zijn die effecten ook geregeld waar te nemen aan de niet door de verduistering beïnvloede delen van de zonneschijf. Veel zeldzamer zijn de afsnoeringen aan de punten van de sikkel van een gedeeltelijk verduisterde zon. Ze deden zich voor tijdens de gedeeltelijke zonsverduistering van 20 juli 1982, zoals waargenomen vanuit Egmond aan Zee (figuur 6).

Groene en rode flits

Wie denkt aan een zonsopgang, denkt vaak tevens aan de groene flits. Dit legendarische verschijnsel komt er op neer dat er bij helder weer een groene of blauwe rand of vlek zichtbaar is aan de bovenzijde van de laagstaande zon of dicht daarbij. Door vergrotingseffecten die optreden tijdens luchtspiegelingen of bij een gelaagde opbouw van de atmosfeer, is het verschijnsel soms met het blote oog te zien. In andere gevallen is een verrekijker of een telescoop vereist om het groen zichtbaar te maken, maar tijdens zonsverduisteringen lijkt dat nooit

een probleem. Het verschijnsel wordt vooral veroorzaakt door de kleurschifting die optreedt bij atmosferische straalbreking. Het blauwe en groene licht wordt sterker gebroken dan bijvoorbeeld rood licht. Daardoor zien we het blauw of groen aan de bovenzijde van de laagstaande zon of

zich dicht bij de horizon bevindende planeten als Venus en Mercurius. Hiermee samenhangend kan de onderzijde soms een rode rand, uitstulping of afsnoering worden waargenomen; in zo'n geval spreekt men van een rode flits.

Figuur 1 geeft een voorbeeld van een zonsopgang met een groene rand, een van de vormen waarin de groene flits zich kan manifesteren. De opmerkelijke foto werd gemaakt tijdens de zonsverduistering van 4 december 2002 vanuit een waarneemlocatie in Australië. Het



Figuur 7. Groene en rode rand bij de opkomende zon tijdens een ringvormige zonsverduistering, Pilbara, West Australië, Australië, 10 mei 2013 (Foto: Colin Legg).

gedeelte van de zonnesikkel dat op de kim ligt en bijna ondergaat, vertoont een groene rand.

Tijdens de ringvormige zonsopgang van 10 mei 2013 vertoonde de zon niet alleen een groene rand, maar ook een rode. De kleuren waren te zien bij een gedeelte van de heldere ring die tijdens dergelijke zonsverduisteringen korte tijd zichtbaar kan zijn (figuur 7).

Internet

[1] <http://vimeo.com/66223828>

[2] www.youtube.com/watch?v=nM3ibputPVw#t=87

Het verschijnsel “Heat Burst”

HUUG VAN DEN DOOL EN HENK DE BRUIN

Soms doet zich midden in de nacht een spectaculair verschijnsel voor. De temperatuur neemt zeer sterk toe en het dauwpunt neemt heel sterk af, er kunnen flinke windstoten bij voorkomen maar de schade is licht. Het verschijnsel duurt van een paar minuten tot meer dan een uur. Na afloop is het alsof er niets is gebeurd. Zie hier wat nu de “heat burst” heet.

Om de gedachten verder te bepalen zien we in figuur 1 een extreem voorbeeld dat aan duidelijkheid niets te wensen overlaat. We zien in deze figuur dat op 3 augustus 2008 in Sioux Falls (in het uiterste zuidoosten van Zuid Dakota) de temperatuur tussen 4 en 5 uur 's ochtends lokale tijd gedurende een half uur bijna 25°F (bijna 16°C) warmer was dan men normaliter mag verwachten in een zomerse nacht. Het dauwpunt zakte in dezelfde korte periode met ruim 20°F (12°C). Het was in die nacht dus korte tijd ruim warmer dan het overdag is in dit soort weersomstandigheden, en dat zonder hulp van een warmtebron zoals de zon, die pas om 6:30 uur zou opkomen (zie de zonnestralinglijn). Een temperatuur van 100°F (38°C) in het holst van de nacht is iets heel bijzonders, vooral als het zo plotseling gebeurt en weer even plotseling verdwijnt. De zogenaamde Automated Weather Observing Stations (AWOS), hoewel erg bekritiseerd door

klimatologen, zijn natuurlijk een grote hulp om dit soort extremen vast te leggen en te interpreteren. Dat komt voornamelijk door de continue registratie. Met uurlijkse waarnemingen, zelfs door een ervaren waarnemer, is er een grote kans dat figuur 1 er heel anders uit zou hebben gezien.

Mensen die een vergelijkbaar verschijnsel in 1850 meemaakten moeten aan zich zelf hebben getwijfeld (heb ik een opvlieger?), en ook weinig geloof hebben ondervonden mochten zij de moed hebben over deze niet-reproduceerbare ervaring met hun omgeving te spreken. Het verschijnsel duurt niet alleen kort, maar kan heel geïsoleerd zijn zodat men op nabijgelegen plaatsen hier weinig of niets van voelt. De horizontale schaal is slecht bekend. In juni 2013 deed zich in Nebraska een spectaculair geval voor met heat burst(s) gemeten op wel 6 stations die 50-100 km uit elkaar liggen, het

duidelijkst op Grand Island Airport NE. Maar in dit geval liepen de tijden enkele uren uiteen zodat het mogelijk een serie heat bursts waren, en niet een grote heat burst met een schaal van 50-100km. Inmiddels is er in Texas ook een heat burst met een ruim 600 voet hoge mast bemeten (figuur 2) en dat laat inderdaad een rijke structuur in de tijd zien.

Naamgeving en verklaring

De Engelse benaming “heat burst” is helemaal niet oud (Johnson 1983). Voor 1980 bestond de term niet officieel, en werden ook diverse andere informele omschrijvingen gebruikt (bijvoorbeeld warm wake, hot flash). Het is een zeldzaam en vaak zeer lokaal en kortdurend verschijnsel zodat het lang heeft geduurd voor er voldoende metingen van zijn gedaan op weerstations, die in feite toevallig zijn gelegen ten opzichte van kleinschalig weer. Na 1982 komt de term ‘heat burst’ ongeveer 30 keer