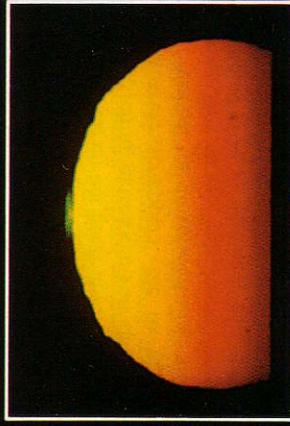
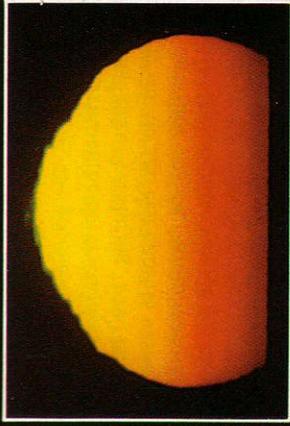


De groene flits

Op heldere dagen is de bovenrand van de zon bij zonsopkomst of -ondergang meestal groen van kleur. Dit verschijnsel staat bekend als de groene flits. De groene kleur wordt veroorzaakt door een combinatie van de effecten die kleurschifting, verstrooiing en selectieve absorptie op zonlicht hebben.

De groene flits is in meerdere vormen waargenomen. De groene rand kan worden opgevat als de basisvorm. Afhankelijk van de atmosferische omstandigheden kunnen andere vormen ontstaan. Het groene segment kan worden gezien als de ondergaande zon over een warm oppervlak wordt waargenomen. Bij een gelaagde opbouw van de atmosfeer kan er een groene afsnoering, in zeldzame gevallen zelfs een groene straal, waargenomen worden.



Bij de foto: Eén van de eerste kleurenopnamen van de groene flits gemaakt op het Vaticaans Observatorium te Rome (1956).

Inzetjes: Twee fasen van een zons-
ondergang, waargenomen te Schier-
monnikoog op 29 mei 1978. Een
nevelige laag grenst aan het
wateroppervlak en veroorzaakt de rode
kleur van het onderste gedeelte van de
zonnenschijf. Een groot deel van de
zonnenschijf (geel) kan worden
waargenomen door een zeer heldere
laag. De vorm van het bovenste
gedeelte van de zonnenschijf op de
linker foto wijst op de mogelijkheid van
een groene afsnoering. De groene
afsnoring is op de rechter foto te zien.
(Brandpuntafstand objectief 800 mm).

C. Floor
*Stichting Opleiding Leraren
Utrecht*

ken van het laatste segment (zie de foto op pag. 397). De derde vorm waarin de groene flits optreedt is de *groene afsnoering*, die soms met een verrekijker of telescoop kan worden waargenomen. Deze kan zich aankondigen door zijwaartse uitstulpingen aan de rand van de zonnenschijf. Een enkele keer zijn wel eens meerdere van dergelijke afsnoeringen recht boven elkaar boven het midden van de zon zichtbaar. Sommige beschrijvingen maken melding van een groene uitstulping aan de bovenzijde van de zon, die op het moment van de ondergang als een straalje uit de horizon oprijst: *de groene straal* (zie Fig. 2). Ze berusten echter al le op waarnemingen met het ongewapend oog.

Verschijningsvormen

Voor we deze verklaring zullen bespreken, staan we even stil bij de verschillende vormen, waarin het verschijnsel zich kan voordoen (zie Fig. 1). Onder geschikte omstandigheden (o.a. zeer helder weer) kan met behulp van een kijker aan de bovenzijde van de zon een *groene rand* worden waargenomen (Fig. 1a). Wanneer het laatste gedeelte dat van de ovale zonnenschijf zichtbaar is een helder-groene kleur aanneemt spreekt men van *groen segment*. Deze vorm van de groene flits wordt meestal waargenomen boven warme oppervlakken; hij kondigt zich vaak aan door opwaarts gebogen hoe-

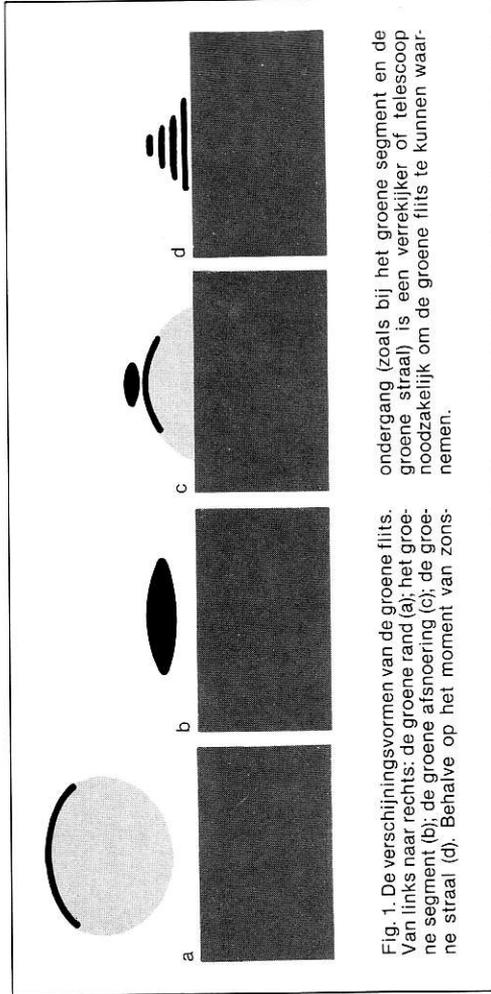


Fig. 1. De verschijningsvormen van de groene flits. Van links naar rechts: de groene rand (a); het groene segment (b); de groene afsnoering (c); de groene straal (d). Behalve op het moment van zons-

meer vergissen in liedsaangelegenheden. Bij een arts-astronoom rond de eeuwwisseling had het verschijnsel een veel minder gunstige klank: voor hem was de waarneming van de groene flits een symptoom voor een gal-aandoening.

Een andere fysiologische verklaring kreeg meer aanhang. De groene flits werd opgevat als een vermoeidheidsverschijnsel van het oog. Volgens deze verklaring zou het bovenste puntje van de zon een nabeheld veroorzaken op het netvlies in de complementaire kleur (groen). De oorzaak van de groene flits zou dus niet in de atmosfeer, maar in het oog van de waarnemer gezocht moeten worden. Op deze manier kon echter niet verklaard worden dat het verschijnsel ook bij zonsopkomst optreedt, zodat de theorie verlaten moest worden.

De opkomst van de kleurenfotografie bood de mogelijkheid om aan te tonen dat de groene flits een objectief verschijnsel is. Aanvankelijk waren de pogingen om dat langs deze weg te doen niet altijd even succesvol. Het gaat namelijk om een zo smalle groene band dat het onmogelijk is om deze met een standaarduitrusting op de film vast te leggen. Sterk vergroten- de objectieven of telescopen zijn nodig om op een foto van de groene flits iets groens te kunnen terugvinden. Daarom zijn het vaak sterrenkundigen die zich met het onderzoek van het verschijnsel bezig houden: zij beschikken over de benodigde apparatuur om foto's, zoals bij dit artikel afgedrukt, te kunnen maken. Gezien de verklaring van de groene flits behoort het echter bij de meteorologische optica.

Wanneer we de zon zien ondergaan achter een verre, scherpe begrenzing of boven zee, bestaat de kans dat het topje van de zon een helder-groene kleur aanneemt alvorens achter de kim te verdwijnen. Dit verschijnsel staat bekend als de *groene flits*. Het is slechts één van de vele prachtige verschijnselen die de zonnenschijf nabij de horizon vertoont (zie ook het slot van dit artikel) en het heeft al in het verleden de belangstelling getrokken van een groot aantal natuurwetenschappers, die de groene flits zagen. Vooral na de verschijning van de roman 'De groene straal' van Jules Verne in 1882, schonken velen er aandacht aan en verschenen er beschrijvingen van het verschijnsel. Merkw aardig genoeg zijn er zeer weinig publicaties van waarnemingen van voor 1882 bekend; dit ondanks de sterke toename van het aantal geoefende waarnemers van de zon in de zeventiende en achttiende eeuw. Wel zijn er aanwijzingen dat de Egyptenaren reeds ca. 2500 v. Chr. de groene flits kenden. Hun opvatting dat de zon tussen zonsopgang en zonsopkomst groen van kleur is, berust vermoedelijk op waarnemingen van de groene flits.

Keltische volksverhalen bevatten mogelijk ook toespelingen op de groene flits. Hierin wordt soms gesproken over een 'levend licht' dat door de zon kan worden uitgestraald en dat aan bepaalde kruiden een geneskrachtige werking verleent. De oorsprong van deze verhalen gaat vermoedelijk terug tot prehistorische tijden. Volgens een Schotse legende kan iemand die de groene flits heeft gezien zich niet

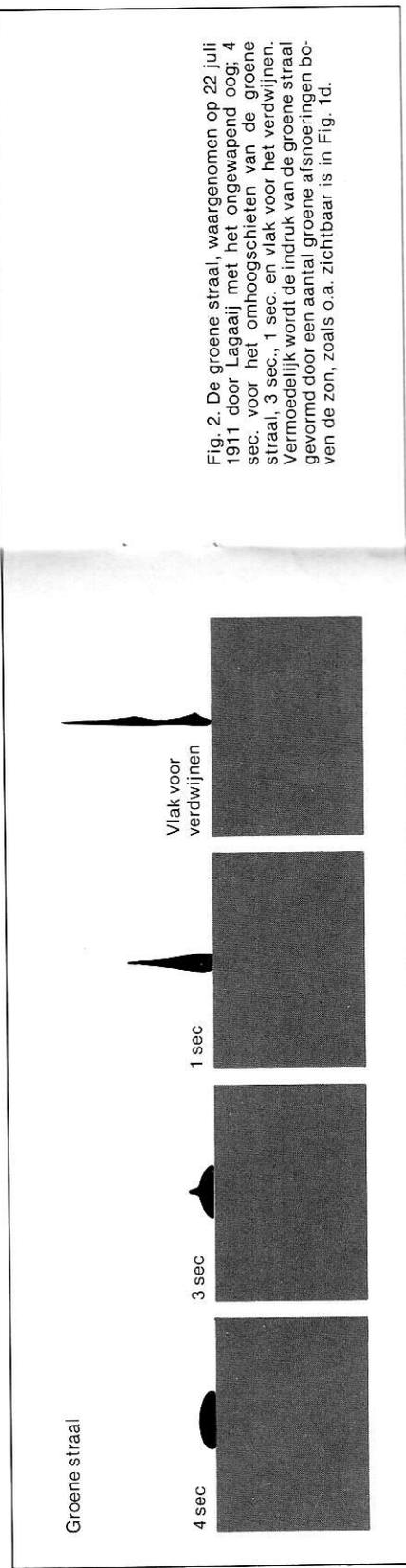


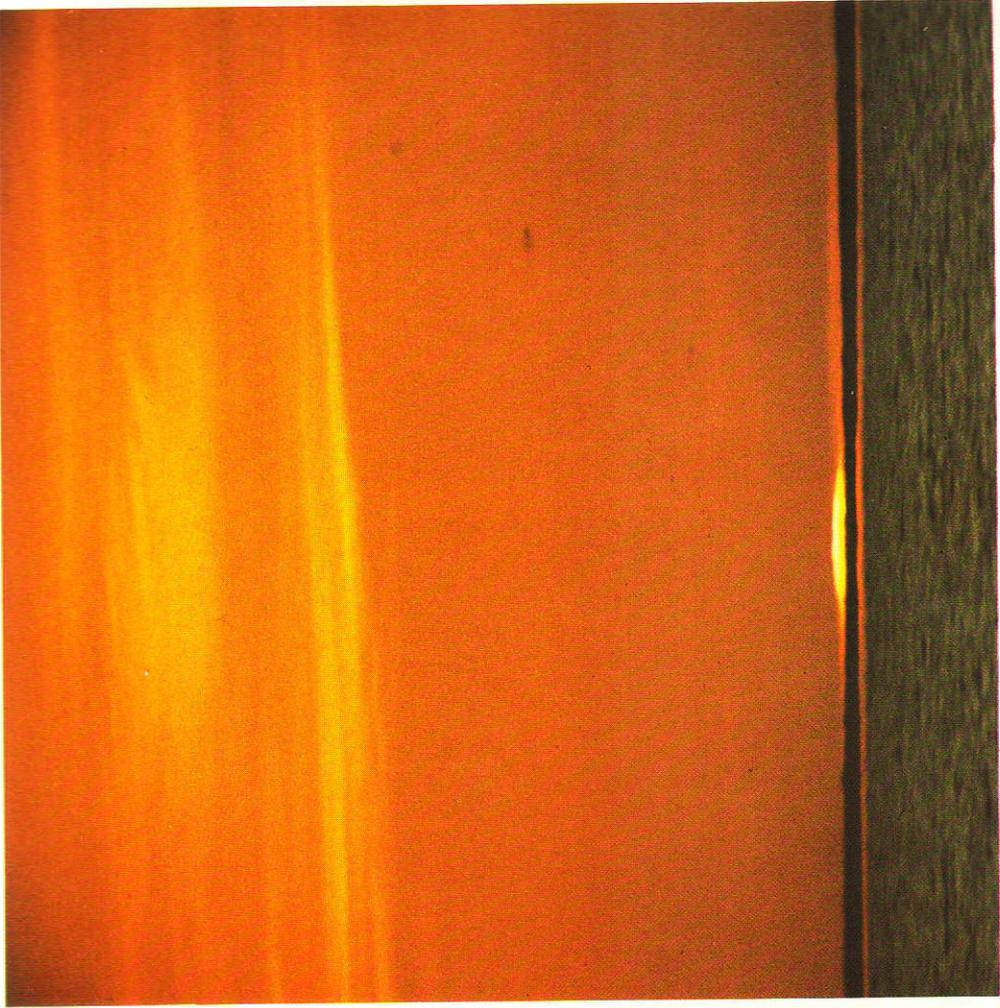
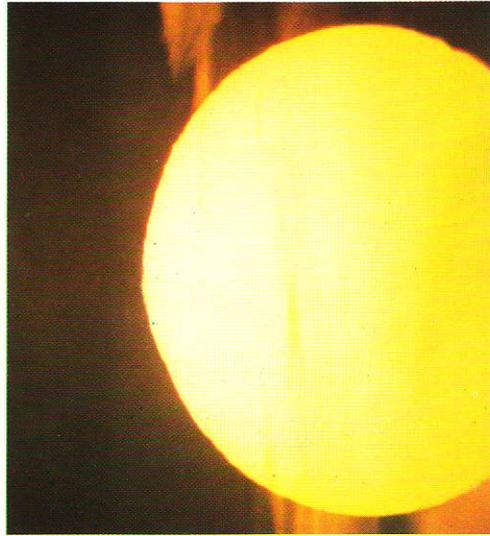
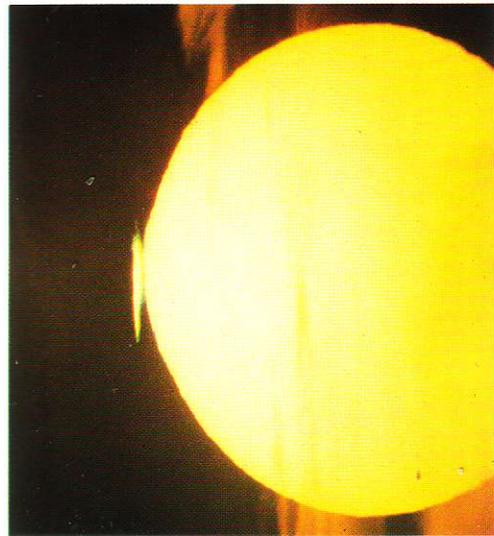
Fig. 2. De groene straal, waargenomen op 22 juli 1911 door Lagaaij met het ongewapend oog: 4 sec. voor het omhoogschieten van de groene straal, 3 sec., 1 sec. en vlak voor het verdwijnen. Vermoedelijk wordt de indruk van de groene straal gevormd door een aantal groene afsnoeringen boven de zon, zoals o.a. zichtbaar is in Fig. 1d.

Vermoedelijk vestigt een aantal afsnoeringen boven de zon op het moment van de ondergang bij een waarnemer zonder kijker de indruk van een groene straal (Fig. 1d).

Een verklaring van de groene flits dient én de groene kleur én de verscheidenheid van vormen waarin het verschijnsel zich voordoet aan-nemelijk te maken. Bovendien zal het ontbreken van de regelmaat in het optreden van de groene flits een plaats moeten krijgen in de verklaring. Onder omstandigheden die op het eerste gezicht sterk op elkaar lijken wordt de groene flits namelijk nu eens wel, dan weer niet waargenomen. In het navolgende zullen we dieper op het verschijnsel ingaan.

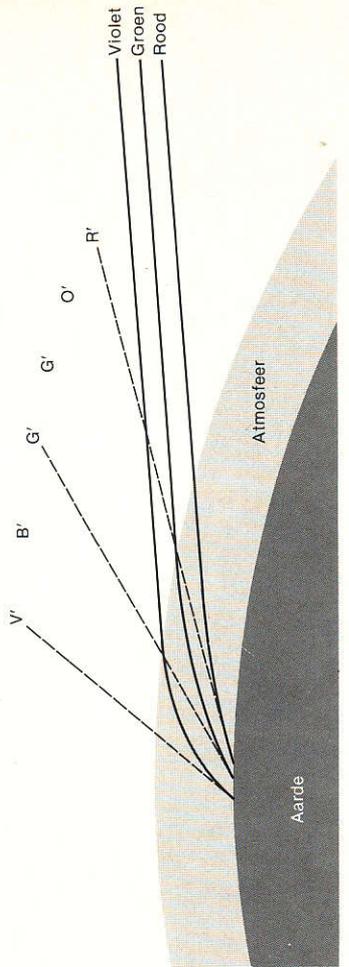
Links en links onder: Een zonsongegang met groene flits, waargenomen te Yport (Normandië) op 26 juli 1978. Op de foto links vormt zich een groene afsnoering. Door overbelichting van de zonnenschijf (die gezien de onverwacht grote lichtsterkte van de zon onvermijdelijk was) doet de zonnenschijf op de foto's geleer aan dan tijdens de waarneming van de zonsongegang. Zo was het gele gebied in de groene afsnoering veel kleiner. Op de onderste foto is boven de zon nog een klein restantje van de groene afsnoering zichtbaar in de vorm van een groen puntje iets links van het midden. De foto's werden kort na elkaar genomen. (Brandpuntstand objectief 2500 mm).

Rechts: Een zonsongegang met groen segment, waargenomen te Hindeloopen op 29 mei 1977. Het laatste segment dat van de zonnenschijf zichtbaar was had een heldergroene kleur. Doordat bij de opname de belichting werd ingesteld op lucht en water is de zonnenschijf overbelicht en daardoor op de afdruk geel van kleur. (Vergelijk met andere opnamen van de groene flits, waarbij de hemel bijna steeds zwart is afgebeeld). Overigens laat de foto wel duidelijk de omstandigheden zien waaronder het groene segment kan worden waargenomen. We zien namelijk de Afsluitdijk, waarachter de zon verdwijnt, zweven boven het water van het IJsselmeer. Dit betekent dat de omstandigheden van de luchtspiegeling boven een warm oppervlak aanwezig zijn. We zien daardoor van het laatste segment van de zonnenschijf een direct beeld en een gespiegeld beeld, zodat de lichtsterkte groter is dan zonder luchtspiegeling. Dit verklaart ook dat het verschijnsel met het blote oog zeer duidelijk te zien was. (Brandpuntstand objectief 1250 mm).



De groene rand

Lichtstralen die van de zon afkomstig zijn, doorlopen de atmosfeer volgens gekromde banen. De kromming is het sterkst voor violet (V) licht, het geringst voor rood (R) licht. Voor een waarnemer op het aardoppervlak lijkt het violet licht afkomstig uit de richting V' (stippellijn) en het rode zonlicht uit R', dat onder V' ligt. Violet licht wordt het meest gekromd en lijkt daardoor van een hoger punt aan de hemel afkomstig dan de andere kleuren; voor rood licht geldt het omgekeerde.



De kleurschifting optreedt zoals bij een prisma. De kleurschifting is het sterkst bij laagstaande zon, omdat het zonlicht dan het schuinste door de atmosfeer heen gaat en daarbij het meest gebroken wordt. Violet licht wordt het meest gekromd en lijkt daardoor van een hoger punt aan de hemel afkomstig dan de andere kleuren (zie Fig. 3); voor rood licht geldt het omgekeerde. De atmosfeer vormt zo een spectrum van

Het groene segment

De groene bovenrand van de zon blijkt toch met het blote oog te kunnen worden waargenomen. Wanneer de zon verdwijnt achter een scherpe rand (bijv. een zee-oppervlak, een wolk of ver verwijderde bergen, dijken of gebouwen) kan de zonnenschijf op een bepaald moment zodanig zijn afgeschermd, dat alleen de groene rand nog boven de begrenzing uitsteekt. In dat geval kan de groene rand wel gezien worden, hoewel details ontbreken (men kan dit vergelijken met sterren die ondanks hun 'te kleine' afmetingen toch zichtbaar zijn, omdat ze als enige punt in hun omgeving licht uitzenden). Bij een dergelijke zonsongegang is het laatste segment dat van de zonnenschijf zichtbaar is groen van kleur (zie de foto op pag. 397). De lichtsterkte en de helderheid van het groene segment kunnen van waarneming tot waarneming verschillen. Hierbij speelt de wisselende invloed van de verstrooiing en de selectieve absorptie een rol. Deze hangt af van de samenstelling van de lucht.

Veel belangrijker nog is echter de rol van de temperatuuroopbouw van de atmosfeer. Bij abnormale straalkromming (Floor, 1978) kan de atmosfeer het beeld dat van de bovenrand van de zon gevormd wordt, vergroten. Bovendien blijkt de atmosfeer onder sommige omstandigheden in staat meerdere beelden te vormen van één punt aan de hemel (nabij de horizon). Dit is onder andere het geval wanneer er zich vlak boven het aardoppervlak een warme laag bevindt waartegen de lichtstralen worden 'gespiegeld' zodat er luchtspiegelingen naar beneden ontstaan (zie Fig. 5). We zien dan het topje van de zonnenschijf en de weerspiegeling daarvan tegen de warme luchtlag als een grotere en lichtsterkere vlek dan zonder luchtspiegeling. Vooral wanneer we de zon zien ondergaan boven een warm zee-oppervlak is het ontstaan van een op deze manier gevormd helder groen segment mogelijk.

De aanwezigheid van een warme laag nabij het aardoppervlak verklaart ook de opwaarts gebogen hoeken van het laatste segment (zie de foto op pag. 397 en Fig. 5) die vaak voorafgaand aan de groene flits worden waargenomen. Deze duiden op een luchtspiegeling naar beneden; het gedeelte van de zonnenschijf onder de hoekpunten is de weerspiegeling van een gedeelte van de zonnenschijf direct daarboven.

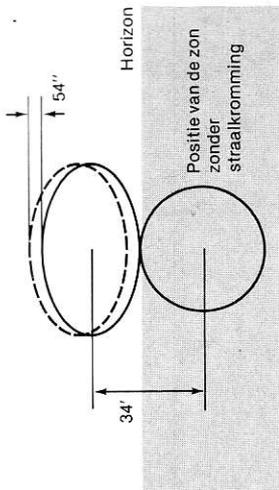


Fig. 4. Door de atmosferische straalkromming zien we de zon hoger aan de hemel, dan in werkelijkheid het geval is. Het beeld van de zon in blauw licht zien we iets hoger aan de hemel dan het beeld in rood licht, omdat het blauwe (violet) licht sterker gekromd wordt. De onderste schijf stelt de plaats van de zon voor zonder straalkromming. De ovale vorm van de zonnenschijf wordt veroorzaakt door het verschil in straalkromming tussen licht dat afkomstig is van de bovenrand resp. onderrand van de zon (Floor, 1978).

de atmosfeer sterk verzwakt, vooral ten gevolge van absorptie door waterdamp, zuurstof en ozon. Het groene en rode licht wordt het minst door verstrooiing of absorptie beïnvloed.

De groene rand, die op deze manier gevormd wordt, is onder normale omstandigheden ca. 10 boogseconden breed, dat wil zeggen even groot als een gulden op ruim 500 meter afstand. Het scheidend vermogen van het menselijk oog bedraagt in theorie ongeveer een halve boogminuut. In de praktijk blijkt echter dat 1 à 2 boogminuten een reële waarde is, zodat de groene rand met het blote oog niet kan worden waargenomen. Enerzijds verklaart dit resultaat waarom we een kijker nodig hebben om de groene bovenrand van de zon te kunnen waarnemen. Anderzijds moeten we ons echter afvragen hoe het mogelijk is dat sommige waarnemers de groene rand (of een andere vorm van de groene flits) met het blote oog hebben kunnen zien.

dat bijna al het violette en blauwe licht verstrooid is en groen licht van de overblijvende kleuren de kortste golflengte heeft (zie de foto's op pag. 400). Daardoor ontstaat aan de bovenzijde van de zon gewoonlijk een groene in plaats van een blauwe of violette bovenrand, die onder geschikte weersomstandigheden met een kijker kan worden waargenomen (zie bijvoorbeeld de foto's op pag. 396). De groene bovenrand en rode onderrand wordt ook waargenomen bij de maan en heldere planeten (zie Floor, 1978).

De overgang van groen naar rood verloopt abrupter dan we op grond van het bovenstaande mogen verwachten. Vaak zien we een roodkleurige zon met een groene bovenrand, waarbij de tussenliggende kleuren geel en oranje ontbreken. Dit uitsluiten van bepaalde kleuren door de atmosfeer noemt men *selectieve absorptie*. Bij lage zonnestanden wordt het gele en oranje licht tijdens zijn lange weg door

elke punt van de zonnenschijf met rood onder en violet boven. Meestal zullen de spectra van meerdere punten elkaar overlappen, zodat ze niet afzonderlijk waarneembaar zijn. Alleen het violette licht, afkomstig van punten aan de bovenrand van de zon en het rode licht, afkomstig van de onderrand, wordt niet overlapt door licht van andere punten op de zonnenschijf. Het gevolg is dat de zon bij lage zonnestanden een rode onderrand en een blauwe of violette bovenrand moet vertonen (zie Fig. 4). Een dergelijke rode onderrand is zichtbaar op de foto op pag. 404 boven.

Een violette of blauwe bovenrand wordt slechts in incidentele gevallen waargenomen; meestal is deze rand groen van kleur. Dit wordt veroorzaakt door de *verstrooiing* van licht aan luchtmoleculen, die voor kortere golflengten (blauw, violet) veel sterker is dan voor langere golflengten. Bij lage zonnestanden legt het zonlicht zo'n lange weg af door de atmosfeer,

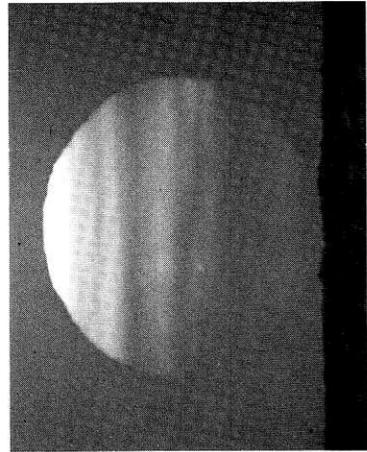


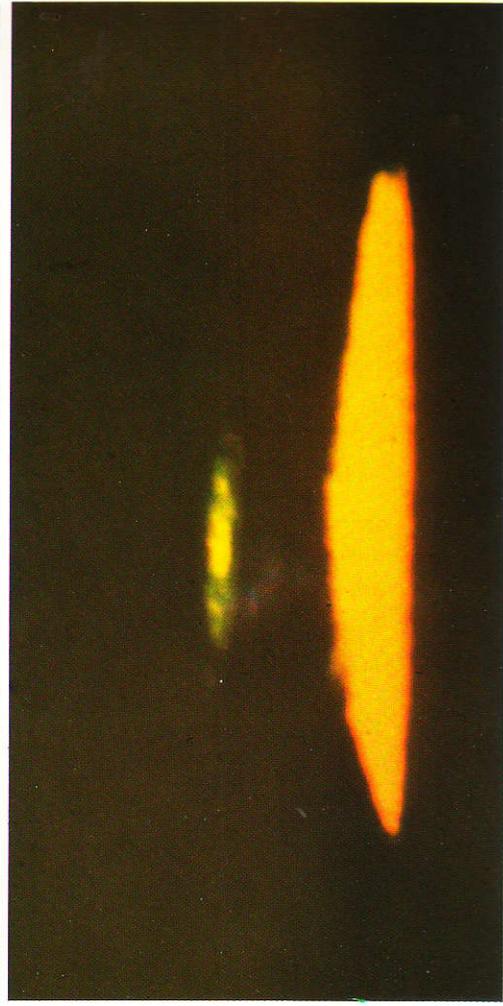
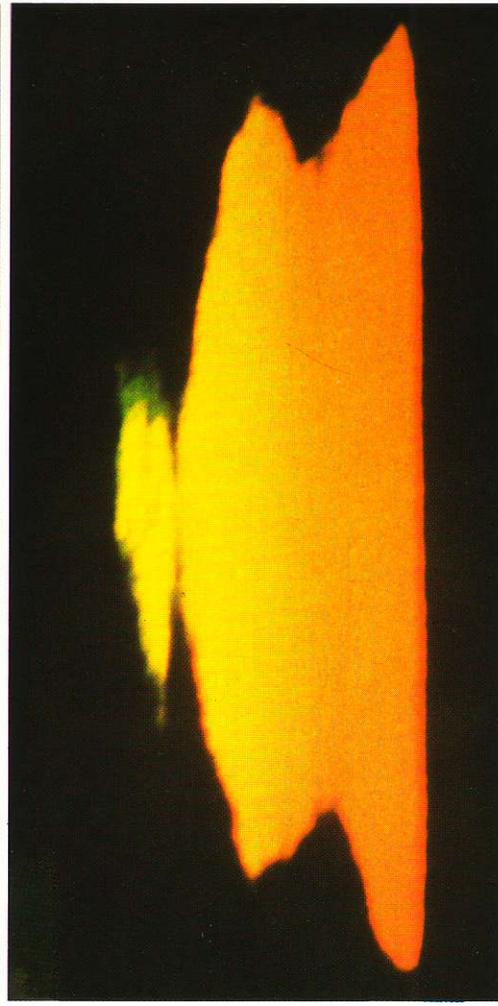
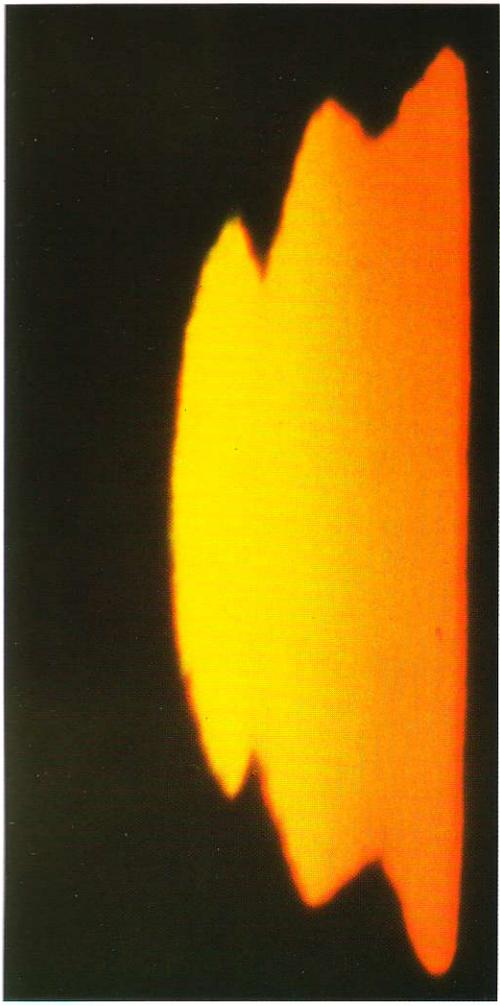
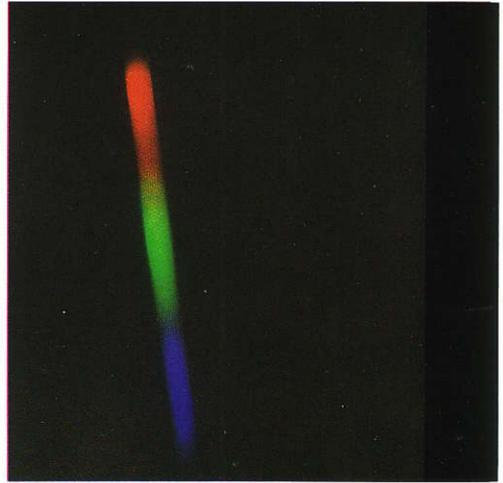
Fig. 5. Boven warme wateroppervlakken ontstaan dikwijls luchtspiegelingen naar beneden. Het gedeelte van de hemel tussen twee horizontale lijnen op enige hoogte boven de kim (de grenslijn g en de verdwijnslijn v) en de objecten die zich daar bevinden zijn dan gespiegeld zichtbaar tussen de verdwijnslijn en de kim. Wanneer een gedeelte van de zonnenschijf zich tussen de verdwijnslijn en de grenslijn bevindt, dan zien we dat gedeelte eveneens weerspiegeld tussen verdwijnslijn en kim. In het onderste gedeelte van de zonnenschijf resulteert dat in 'deuken' (Fig. 5a en de foto rechts); bij het bovenste gedeelte krijgt het nog zichtbare segment van de zonnenschijf opwaarts gebogen hoeken (Fig. 5b en de foto op pag. 397).

De groene afsnoering

Bij een helder groen segment bleek de atmosfeer in staat de afmetingen en de lichtsterkte van het laatste gedeelte dat van de zon zichtbaar is te vergroten door meerdere beelden van één punt van de zonneschijf te vormen. Zijn er nog andere manieren dan de luchtspiegeling naar beneden waarbij iets dergelijks kan optreden? We bekijken hiertoe eerst een atmosfeer die gelaagd is opgebouwd. Dit betekent dat de optische eigenschappen ervan alleen afhangen van de hoogte; in een horizontaal vlak zijn ze overal gelijk. Met behulp van de brekingswet van Snellius kan men laten zien dat in een dergelijke atmosfeer lichtstralen die afkomstig zijn van een punt P van de zon en waarlangs het licht zich naar beneden voortplant, elkaar niet snijden (Fraser, 1975). Er is bij een gelaagde opbouw van de atmosfeer dus geen punt waar meerdere beelden van P boven de astronomische horizon kunnen worden waargenomen (Fig. 6a, b). Bij de luchtspiegeling naar beneden die de zichtbaarheid van het groene segment bevordert, wordt het gespiegelde beeld onder de astronomische horizon waargenomen (Fig. 6c).

Wanneer de optische eigenschappen in een horizontaal vlak niet overal gelijk zijn kan de atmosfeer wél meerdere beelden vormen van één punt van de zon. Een dergelijk horizontaal vlak kan ontstaan bij aanwezigheid van een inversie in de temperatuuroopbouw van de atmosfeer. Een inversie is de aanwezigheid van een relatief warme luchtlag boven een koudere

Onder: Het spectrum van de zon gefotografeerd met een tralie; kort na zonsopkomst (hieronder) en later op de dag (geheel onder); Schiermonnikoog, 29 maart 1977. Bij laagstaande zon is het blauw verstrooid. Rood en groen zijn dan de belangrijkste kleuren die overblijven omdat het geel en oranje bij lage zonsstanden door selectieve absorptie uit het zonlicht verdwijnen.



Rechts: Een zonsopgang waargenomen op het Vaticaan Observatorium te Rome. Duidelijk is de groene afsnoering te zien. De onderrand van de afsnoering boven de zon is het omgekeerde beeld van de bovenrand van de zon. De onderrand van de zon wordt door de kim afgesneden. Tijdens de ondergang van de zon verandert de kleur van de afsnoering van groen via blauw-groen tot blauw. Op de onderste foto is alleen nog maar de afsnoering te zien. Deze foto werd genomen een halve seconde voordat de kleur in diepblauw veranderde. Het beeld van de zon zelf is al achter de horizon verdwenen.

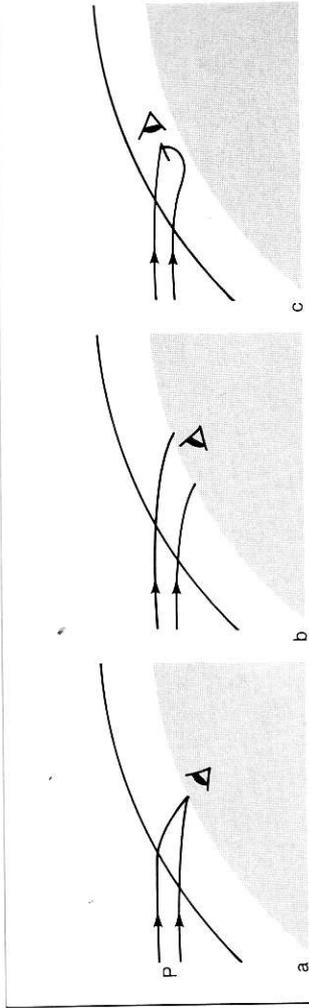


Fig. 6. De lichtstralen die afkomstig zijn van een punt P op de zon bereiken een waarnemer op het aardoppervlak via de atmosfeer. In een gelaagde atmosfeer kunnen de lichtstralen elkaar niet snijden, zodat situatie a onmogelijk is. Daardoor is het in een gelaagde atmosfeer niet mogelijk twee

laag. Door het verschil in temperatuur hebben de beide lagen een verschillende brekingsindex. Op het grensvlak daarvan kunnen zich golven vormen. Dit betekent dat punten in het vlak, zij het soms heel langzaam, op en neer bewegen, bijvoorbeeld ten gevolge van verschillen in windsnelheid in de beide lagen. Het proces is te vergelijken met het stromen van lucht over een wateroppervlak, waardoor eveneens golven veroorzaakt worden.

In Fig. 6d zijn twee lichtstralen getekend, die afkomstig zijn van hetzelfde punt van de zon en die invallen op het grensvlak van twee luchtlagen waarlangs zich golven voortplanten. Doordat de hoeken waaronder de lichtstralen op het gegolfde oppervlak invallen, verschillend zijn, wordt ook de ene lichtstraal sterker gebroken dan de andere en kunnen de lichtstralen elkaar snijden. Een waarnemer op het snijpunt van de lichtstralen ziet daardoor twee beelden van P boven elkaar. De afstand tussen de beelden hangt af van de golfenlengte van de golven aan het grensvlak van de luchtlagen en de hoogte van de inversie boven de waarnemer. Op deze manier ontstaan de afsnoeringen, 'eilandjes' van licht, die boven de zon drijven (zie bijv. de foto's op pag. 396, 401, 404 en 405).

De onderrand van de afsnoering vlak boven de zon is het omgekeerde beeld van de bovengrand van de zon. Meerdere afsnoeringen boven elkaar komen ook voor omdat de golven ge-

woonlijk in golfreinen voorkomen. Eens werven met een telescoop 25 van dergelijke afsnoeringen boven elkaar waargenomen. Onder dergelijke omstandigheden is het aannemelijk dat een waarnemer, die de verschillende afsnoeringen met het blote oog niet als afzonderlijke eilandjes van licht kan waarnemen, een *groene straal* meent te zien (zie Fig. 2).

Evenals bij het groene segment verschafte de zon bij deze vorm van groene flits aanvrijningen, dat het verschijnsel zich kan gaan voordoen. Kenmerkend was namelijk dat de atmosfeer meerdere beelden van P boven elkaar vormde. Wanneer de atmosfeer datzelfde doet met een gebied in de buurt van de rand van de zonnenschijf ontstaan er uitstulpingen. Een ver-

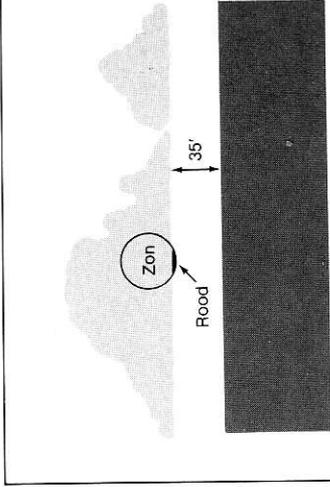
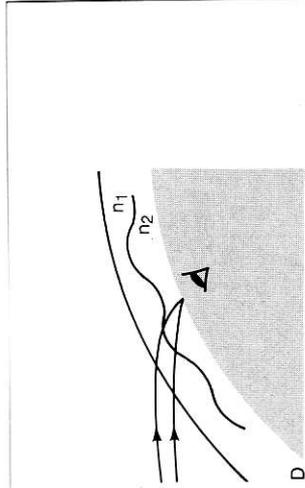


Fig. 7. Een zonnenschijf met uitstulpingen. Elk snijpunt van de vertikale lijn met de rand van de zon is een beeld van hetzelfde punt op de rand van de zonnenschijf. Dergelijke uitstulpingen van de zonnenschijf gaan vaak vooraf aan de waarneming van de groene afsnoering.



waargenomen onder de astronomische horizon (korte lijn) (c). De atmosfeer kan twee of meer beelden van P vormen boven de astronomische horizon wanneer er zich een warmere laag bevindt boven een koude en er zich golven langs het grensvlak tussen die lagen voortplanten (d).

De rode flits

Verschijnselen als de groene flits, maar dan aan de onderzijde van de zon en rood van kleur noemt men de *rode flits*. Met een kijker is bij geschikte omstandigheden een *rode rand* aan de onderzijde van de zon (maan, Venus, Jupiter) te zien (zie foto op pag. 404 boven).

Een enkele maal is hij met het blote oog waarneembaar, wanneer de rode onderrand van de zon bij lage zonnestand achter een scherp begrensd wolk tevoorschijn komt (zie Fig. 8). Aan de onderzijde van de zon kunnen soms rode afsnoeringen worden waargenomen die evenals de groene 'eilandjes van licht' ontstaan bij aanwezigheid van meerdere luchtlagen, langs het grensvlak waarvan zich golven voortplanten (zie foto pag. 404 boven).

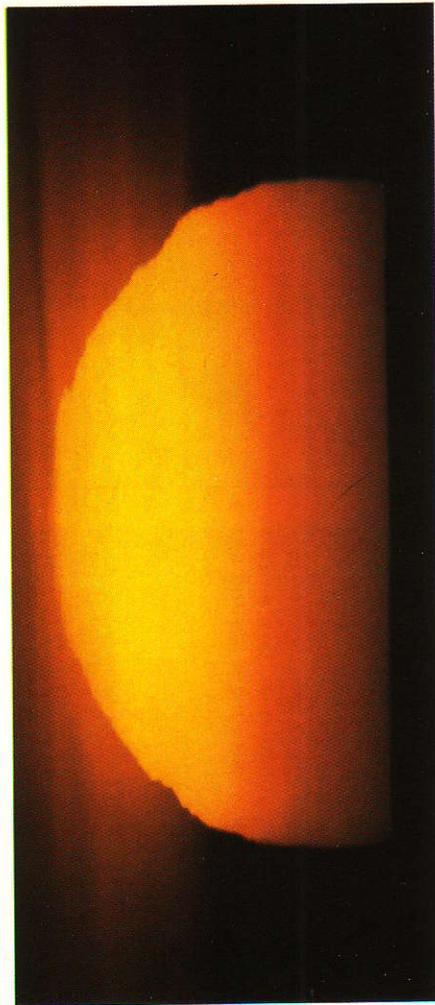
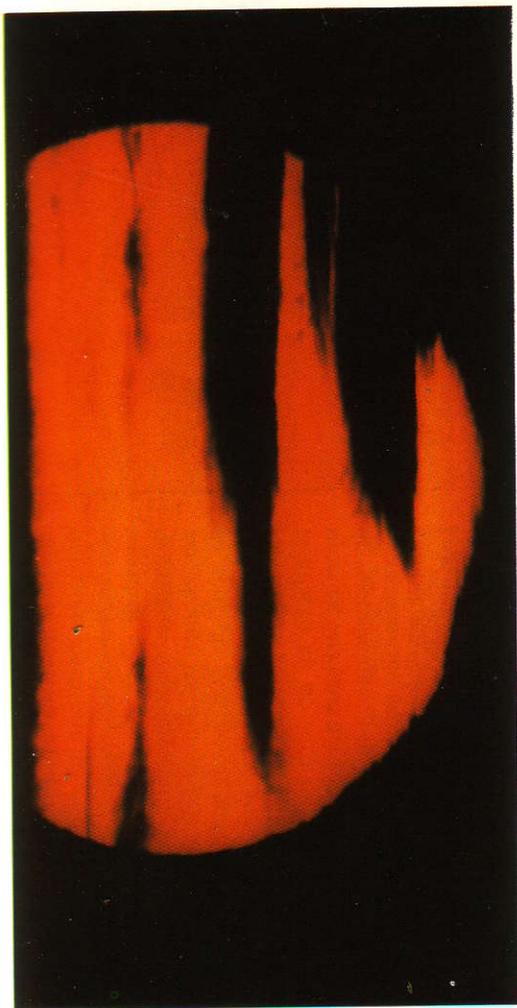
Fig. 8. Om de rode onderrand of de groene bovengrand van de zon met het blote oog te kunnen waarnemen is een scherpe begrenzing vereist, waarbij achter het resterende gedeelte van de zonnenschijf schuil gaat. Tijdens deze zonsongegang waargenomen op 21 augustus 1952, waren beide randen zichtbaar. De onderrand van een cumuluswolk (Cu. stapelwolk) vormde de begrenzing die de rode flits zichtbaar maakte. Bij verdwijnen van de zon achter de kim vertoonde het laatste segment dat zichtbaar was een blauwgroene kleur.

Het waarnemen van de groene flits

Links: Een zonsondergang waargenomen te Yport (Normandië) op 22 juli 1978. Op dezelfde manier als aan de bovenzijde van de zon soms een groene rand en een groene afsnoering ontstaan, vertoont de onderzijde van de zon zo nu en dan een rode rand of rode afsnoering. (Brandpuntafstand objectief 2500 mm).

Links onder en onder: Een zonsondergang met groene flits, waargenomen te Yport (Normandië) op 24 juli 1978. De gekartelde rand duidt op een gelaagde opbouw van de atmosfeer (foto 1 en 2). De kleur van de zon verloopt van geel (boven) naar rood (onder). Bij aanwezigheid van lichte bewolking is de kleur echter roder dan zonder wolken. Aan de rand van de zon is een aantal horizontaal gerichte uitstulpingen te zien. De groene flits is gewoonlijk alleen zichtbaar wanneer de bovenrand van de zonneschijf door zeer heldere lucht kan worden waargenomen. Zodra de bovenrand van de zon onder de laag is gezakt waarin zich lichte bewolking bevindt (foto 3 en 4) wordt de kans op een groene flits groter. (Brandpuntafstand objectief 2500 mm).

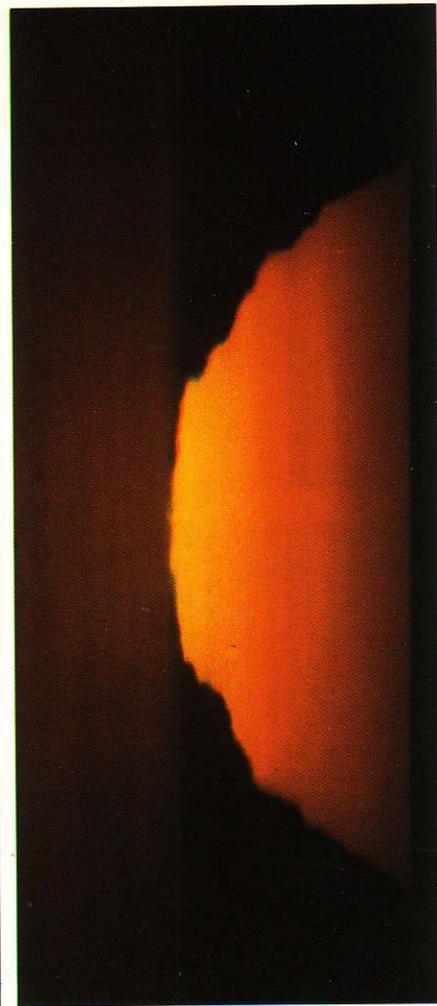
Voor wie de groene flits bij zonsondergang zelf wil gaan waarnemen geven de foto's die bij dit artikel zijn afgedrukt een goede indruk van wat voor verschijnsel men kan verwachten. Bedenk echter dat de meeste foto's werden gemaakt met sterk vergrotende telescopen; in werkelijkheid zijn de groene vlekken zo klein dat ze, als ze geen licht uit zouden zenden, niet met het blote oog zouden kunnen worden waargenomen. Men mag dan alleen verwachten iets groens te zien als de zon op het allerbovenste randje na onder is. Met een verrekijker of telescoop gaat het veel beter. Bij deze kijkers gaat het alleen om de vergroting, niet om de lichtopbrengst. Daar de groene flits optreedt bij zeer helder weer is het licht van de



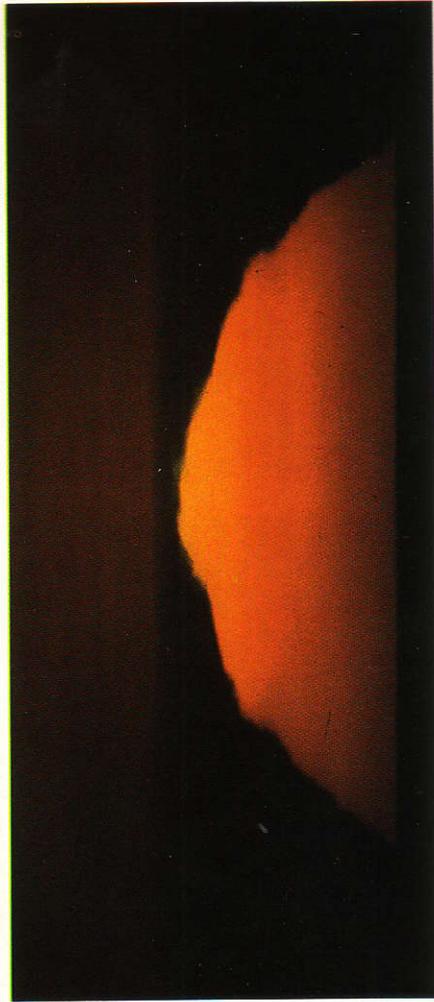
1



2



3



4

De *groene flits* is slechts een van de vele verschijnselen die bij zonsopkomst of zonsondergang kunnen worden waargenomen. Elke keer dat de zon tot aan de kim gevolgd kan worden valt zijn *ovale vorm* op (zie foto geheel links-onder). De rand vertoont vaak *raffels*, die op te vatten zijn als 'scintillatie' van de zon. Een laagde opbouw van de atmosfeer veroorzaakt *kartels* (bijvoorbeeld op de foto op pag. 405 boven), soms ook de *uitsulpingen* en de *afsnoringen* (zoals op de foto op pag. 396 boven), die bij de groene afsnoering reeds werden genoemd. Alleen bij heldere lucht zijn de afsnoringen echter groen van kleur.

We spreken van een *blinde strook* als een gedeelte van de zonnenschijf ten gevolge van het temperatuurverloop in de atmosfeer niet kan worden waargenomen. Bij laaggelegen waarnemingspunten is het alsof de zon niet achter de kim verdwijnt, maar al iets eerder. Vanaf een hoger waarnemingspunt komt de zonnenschijf na korte tijd weer onder de blinde strook tevoorschijn.

Boven een warm oppervlak neemt de zonsoms de vorm aan van de griekse letter Ω ten gevolge van een luchtspiegeling (zie foto pag. 406 rechts). Een Ω -vorm treedt ook op als de laagstaande zon zich in de zee weerspiegelt. Bij heldere hemel, soms ook bij zeer gelijkmatige bewolking, is het onderste deel van de zonnenschijf roder van kleur dan het deel daarboven. In andere gevallen wordt de kleur van de zonnenschijf sterk beïnvloed door de toevallige aanwezigheid van wolkenlagen of -flarden (zie bijv. foto links).

Ik dank Dr. G. P. Können van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut te De Bilt voor het kritisch doorlezen van het manuscript.

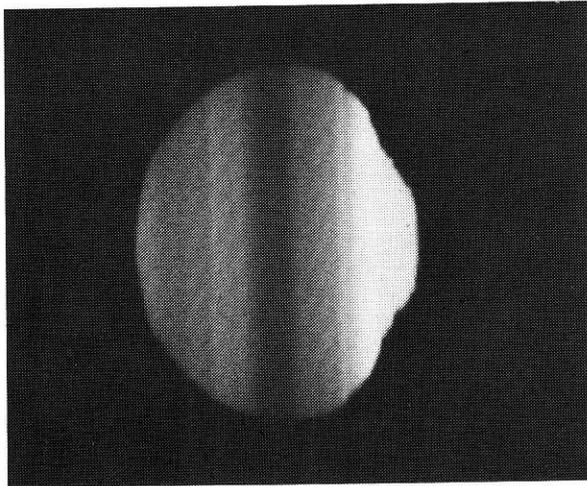
Bronvermelding illustraties:

Vaticaan's Observatorium, Rome; pag. 392-393, 401.
Stichting Opbeiding Leraren, Vakgroep Natuurkunde, Utrecht; pag. 400.
Walter A. Feibelman, Silver Spring, Maryland, U.S.A.; pag. 406 links.
Alle overige foto's zijn afkomstig van de auteur.

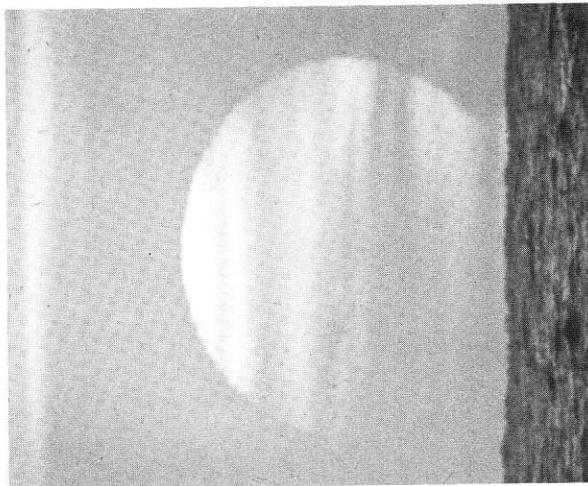
zon maakt en de zon langzamer achter de horizon verdwijnt, is het verschijnsel langer zichtbaar. Op hoge geografische breedtes duurt het verschijnsel langer dan in de buurt van de evenaar, waar de baan van de zon loodrecht op de horizon staat. In Hammerfest (79° NB) kan de groene flits op 21 juni 14 min worden waargenomen: 7 min bij de zonsopgang en 7 min bij de zonsopkomst die er direct op volgt. Tijdens een expeditie naar Little America (78° NB) in 1929 werd het verschijnsel ca. 35 min met enkele onderbrekingen waargenomen, terwijl de zon langs een onregelmatige rand van ijs bewoog. Een sterke temperatuurinversie nabij het oppervlak vergrootte de lichtsterkte. Ook wanneer men de zon langs een bergrand ziet bewegen kan het verschijnsel van de groene flits geruime tijd gevolgd worden.

zon zo sterk dat we, behalve als de zon bijna onder is, niet zonder meer met het blote oog in de zon kunnen kijken, dus zeker niet met kijkers. Met neutrale filters, donkere negatieven of een 'speldeprikdiafragma' kan de lichtsterkte worden teruggebracht.

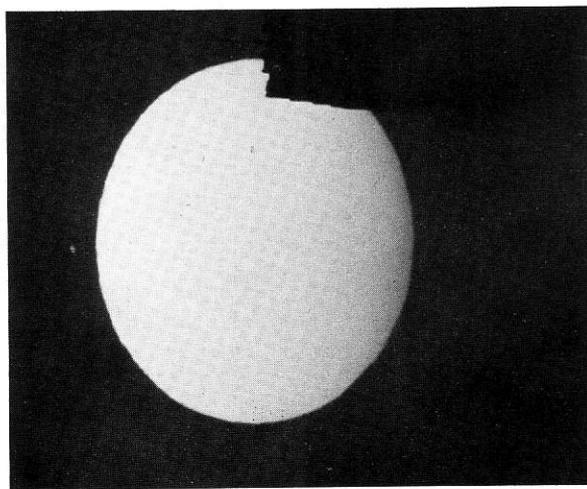
Het waarnemingspunt dient vrij uitzicht te bieden in de richting waar de zon opkomt of ondergaat. Een *scherpe begrenzing* (bijv. een zee-oppervlak) is gunstig voor het waarnemen van de groene rand of het groene segment. Steeds is *heldere lucht* (grote hoogte, zeer helder weer) bevorderlijk voor het optreden van de groene flits. De duur van het verschijnsel is ook van invloed: hoe langer het duurt, des te eerder zal men het opmerken. Naarmate de baan van de zon een kleinere hoek met de hori-



Literatuur
Floor, C., (1978). *Atmosferische straalvorming*. Natuur en Techniek, 46, (1978), pag. 448-463, Cat. no. 503.
O'Connell, D. J. K., (1958). *The Green Flash*. Amsterdam.
Minnaert, M., (1968). *De natuurkunde van 't vrije veld 1: Licht en kleur in het landschap*, pag. 85 e.v., Zutphen.
Fraser, A. B., (1975). *The green flash and clear air turbulence*. Atmosphere, 13, pag. 1 e.v.
Shaw, G. E., (1973). *Observations and theoretical reconstructions of the green flash*. Pageoph, 102, pag. 223.
Corliss, W. R., (1977). *Handbook of unusual natural phenomena*. Glen Arm. Md.



Boven: Een zonsopgang met luchtspiegeling zons-der groene flits boven een warm wateroppervlak, waargenomen te Camperduin (N.H.) op 3 september 1976. Tussen de onderrand van de zon en de kim is het spiegelbeeld van een smalle strook van de zonnenschijf zichtbaar (zie Fig. 5). De zonnenschijf vormt een geheel met de weerspiegeling van het onderste gedeelte van de zonnenschijf; het lijkt als of er zich deuken in de zonnenschijf bevinden (Ω -vorm). (Brandpunt-afstand objectief 1250 mm).



Boven: De afplating van de zonnenschijf bij een zons-der ondergang. Het gebouw rechts op de foto is de wolkenkrabber van de Universiteit van Pittsburgh. De afplating wordt veroorzaakt door de atmosferische straalvorming. Hierdoor zien we de randen van de zon hoger boven de horizon, dan zonder atmosfeer het geval zou zijn. De onderrand van de zon wordt meer 'opgetild' dan de bovenrand, zodat de vertikale diameter ongeveer 20% kleiner wordt dan de horizontale en de ovale vorm ontstaat.