

# De vorm van de zonneschijf bij lage zonnestand (2)

KEES FLOOR (KNMI, DE BILT)

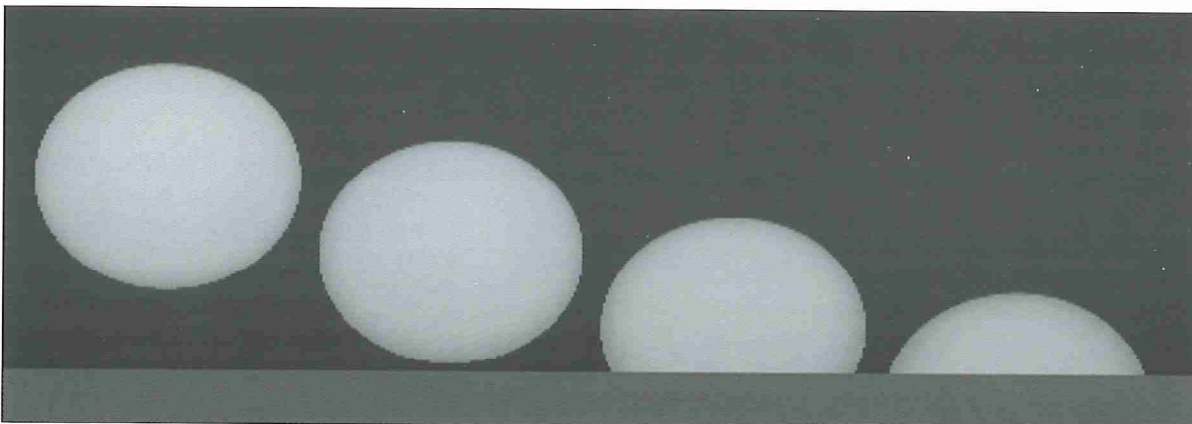
Bij laagstaande zon vertoont het beeld dat de atmosfeer vormt van de zonneschijf, sterk afwijkende vormen. Over deze verschijnselen en hun verklaring is in de literatuur veel geschreven; bijvoorbeeld door Minnaert (1972<sup>3</sup>), O'Connell (1958, 1960), Greenler (1980) en Floor (1979 c, 1981 c, 1982). Gewoonlijk wordt bij de classificatie van de uiteenlopende verschijnselen die tijdens zonsopkomst of zonsondergang aan de zonneschijf te zien zijn, een onderscheid gemaakt tussen effecten die samenhangen met luchtspiegelingen-naar-onder enerzijds en met luchtspiegelingen-naar-boven anderzijds. Zonsondergangen met luchtspiegelingen-naar-onder worden hieronder beschreven. Luchtspiegelingen-naar-boven zijn zeldzamer; ze treden op bij een gelaagde opbouw van de atmosfeer met een of meer scherpe inversies en werden beschreven in het eerste deel van dit artikel in het vorige nummer van Meteorologica.

## ZONSONDERGANG BOVEN WARM WATER OF LAND

De laagstaande zon vertoont altijd een afgeplatte vorm; daarvoor zijn geen afwijkende temperatuurprofielen van de atmosfeer en geen luchtspiegelings-effecten nodig. De afplatting bedraagt in 'normale' gevallen 0,83, maar kan bij afwijkende temperatuuroopbouw van de atmosfeer aanzienlijk sterker zijn. Een computersimulatie van de vorm van de zonneschijf voor een ondergaande zon is gegeven in figuur 1. De simulatie werd uitgevoerd door Dan Bruton; hij ging uit van de zogeheten U.S. Standaard-atmosfeer. De afplatting van de zonneschijf bij lage zonnstanden is terug te vinden op talrijke, veelal sfeervolle opnamen van de ondergaande zon. Wanneer de zon ondergaat boven warm zeewater treden luchtspiegelings-effecten op. Dergelijke luchtspiegelingen-naar-onder doen zich geregeld voor boven een

warm aardoppervlak; ze zijn onder andere bekend van de illusie dat een warm wegdek of een heet strand in de verte nat lijkt te zijn of zelfs onder water lijkt te staan (Fraser 1975 a, Fraser and Mach 1976, Floor 1979 a, 1983). Figuur 2 geeft de resultaten van een computersimulatie van een zonsondergang boven een warm aardoppervlak. Andrew Young (1999), die de berekeningen uitvoerde, gebruikte net als in het vorige voorbeeld een temperatuuroopbouw van de dampkring volgens de U.S. Standaardatmosfeer, nu echter met uitzondering van de onderste paar meter, die enkele graden warmer werd genomen. In deze situatie worden lichtstralen, afkomstig van de zon of van andere voorwerpen in de verte, weerkaatst door de warme luchtlaag vlak bij het aardoppervlak, dat als spiegel fungeert. De overeenkomst tussen de resultaten van de computersimulaties en door mij waargenomen vormen van de zonneschijf is frappant. Een voorbeeld geeft figuur 3. Zo

zien we vanuit de kim, (Fraser (1975) spreekt van 'optische horizon'), een spiegelbeeld van het onderste gedeelte van de zon oprijzen (figuur 2 [-18] en 3a,b en c); dit spiegelbeeld versmelt met de eigenlijke zonneschijf, waarbij de zonneschijf de vorm van de Griekse hoofdletter omega aanneemt (figuur 2 [-21] en 3d). De karakteristieke deuken in de zijkant van de zonneschijf blijven nog enige tijd zichtbaar (figuur 2 [-27, -30] en 3e). Als ze zijn verdwenen restcert een in verticale richting uitgerekt beeld van het nog zichtbare deel van de zonneschijf, doordat dan de weerspiegeling van de zonneschijf 'naadloos' aansluit bij de rest (figuur 2 [-33]). Wanneer de zon verder zakt, vertoont het laatste segment dat zichtbaar is, afgeronde hoeken (figuur 2 [-39,-42,-45] en 3f). Uiteindelijk verdwijnt de zon, echter niet achter de optische horizon, maar iets daarboven (figuur 2[-48.-51] en 3g); het laatste stukje zon dat zichtbaar is, vertoont bij



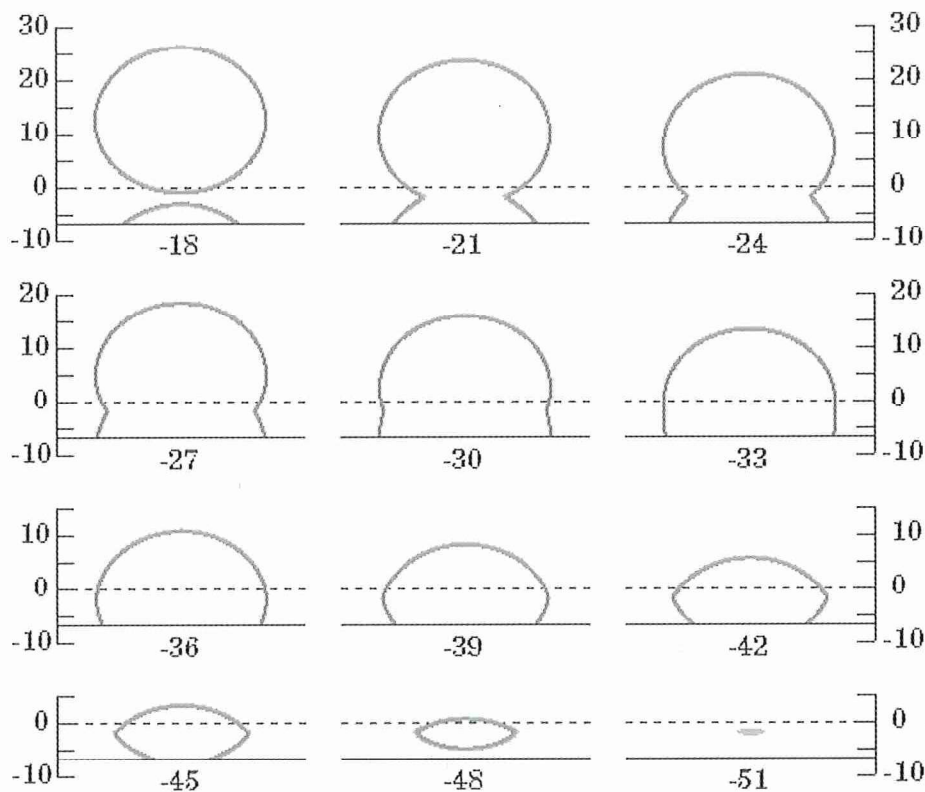
Figuur 1. Computersimulatie van een 'normale' zonsondergang door Dan Bruton (1996). De gehanteerde temperatuuroopbouw van de dampkring is volgens de zogeheten U.S. Standaardatmosfeer. Het beeld dat de atmosfeer vormt van de zonneschijf is afgeplat.

helder weer vaak een groene kleur: het groene segment. Bij zonsopkomst kunnen dezelfde verschijnselen worden waargenomen, zij het in omgekeerde volgorde; waarnemingen van zo'n geval zijn uitgewerkt in Floor (1981a, 1981b).

## HET WAARNEMEN VAN ZONSONDERGANGEN

Tot slot van dit tweede deel volgen nog enkele adviezen voor degenen die zelf zonsondergangen willen waarnemen of fotograferen. Om de vormen van de laagstaande zon goed te kunnen bepalen, is een vrije horizon vereist in de richting waar de zon opkomt of ondergaat. Een locatie langs de Nederlandse of Vlaamse kust ligt bij zonsondergangen voor de hand, al zou een hoog uitzichtspunt op een willekeurige plaats in het land eveneens geschikt kunnen zijn. De Waddeneilanden en de westrand van het IJsselmeer lenen zich voor het waarnemen van zonsopkomsten. De tijd van zonsopkomst en zonsondergang is te vinden in dagbladen en almanakken; de richting waarin moet worden waargenomen is te bepalen met bijvoorbeeld Floor (1978). Bewolking gooit vaak roet in het eten; bij zonsondergang schuift de zon erachter voor de hierboven beschreven effecten zichtbaar worden. In heldere lucht, onbewolkt en met goed zicht, zijn de kleureffecten het duidelijkst; dan is ook vaak een groene rand zichtbaar aan de bovenrand van de zonnescijf of aan de buitenzijden van afsnoeringen aan de bovenzijde van de zon (zie deel 1). Voor de 'groeneffecten' is in de meeste gevallen een kijker nodig. Belangrijk is het zich te realiseren dat het gaat om de vergroting; een hoge lichtopbrengst is niet belangrijk en meestal zelfs gevaarlijk voor het oog. Zeker bij gebruik van een kijker is het nodig de lichtsterkte af te zwakken met filters of negatieven.

Voor het fotograferen van de hier en in deel 1 beschreven effecten zijn lange brandpuntsafstanden nodig (Floor 1979 b). De meeste opnamen werden gemaakt met Celestron spiegeltelescopen als telelens; de brandpuntsafstanden van de telescopen bedragen 1000 of 1250 mm. Voor verdere vergroting gebruikte ik soms zogeheten 2X converters, die de brandpuntsafstand verdubbelen. Een 'normale' fotografische lens heeft een brandpuntsafstand van 50 mm; veel instant- en wegwerpcamera's werken zelfs met lensjes van slechts 35 mm. De zon is op daarmee gemaakte foto's



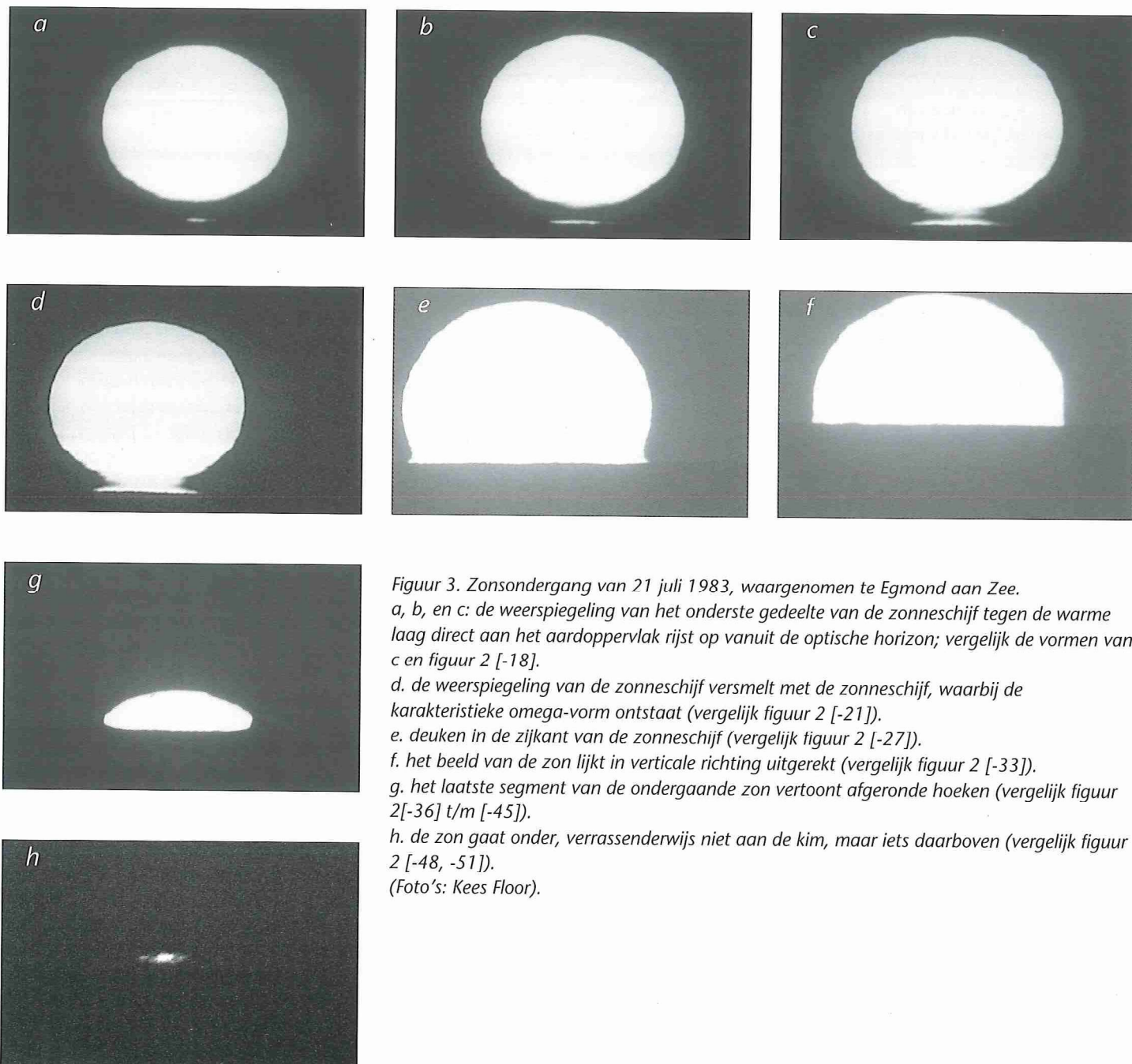
Figuur 2. Computersimulatie van een zonsondergang boven warm zeewater door Andrew Young (1999). De gehanteerde temperatuuropbouw van de dampkring is volgens de U.S. Standaardatmosfeer, met uitzondering van de onderste paar meter, die enkele graden warmer werden genomen. De getrokken horizontale lijn is de kim of de zogeheten optische horizon (Fraser 1975). De streepjeslijn is de astronomische horizon. De getallen onder de berekende vormen van de zonnescijf geven de werkelijke hoogte aan van het middelpunt van de zon in boogminuten; door zogeheten atmosferische straalkromming staat het beeld dat de atmosfeer van de zon vormt, echter hoger aan de hemel. De hoogte waarop we het beeld zien, is af te lezen langs de verticale as; ook hier is de eenheid boogminuten. De hoogte van de astronomische horizon bedraagt 0 boogminuten; negatieve waarden hebben betrekking op posities onder de astronomische horizon. De horizontale diameter van de zon (en bij hoge zonnestanden natuurlijk ook de verticale diameter) bedraagt 32 boogminuten. Bij een zonshoogte van -18 boogminuten (figuur linksboven) is de weerspiegeling zichtbaar van het onderste gedeelte van de zonnescijf in de warme laag direct aan het aardoppervlak. Bij zonshoogten van -21 boogminuten of lager vormen de zonnescijf en zijn weerspiegeling een geheel. Eerst ontstaat de karakteristieke vorm van de Griekse hoofdletter omega [zonshoogten van -21 en -24 boogminuten]; later lijkt het of er deuken zitten in het onderste deel van de zonnescijf [-27, -30]. Als de zon zich 33 boogminuten onder de horizon bevindt, zijn de deuken verdwenen en lijkt het beeld van de zonnescijf in verticale richting uitgerekt; daarna vertoont het laatste segment dat van de zon zichtbaar is, afgeronde hoeken. Uiteindelijk verdwijnt de zon bij een zonshoogte van ruim 51 boogminuten, echter niet aan de kim, maar iets daarboven.

maar een klein rondje waaraan weinig te zien is. Bij een brandpuntsafstand van 2500 mm. verschijnt de zon beeldvullend op een kleinbeeldopname.

De verschijnselen bij een gelaagde opbouw van de atmosfeer, die in deel 1 werden beschreven, zijn het duidelijkst zichtbaar bij een zo hoog mogelijke waarnemingspositie. De omega-vorm van de laagstaande zon en andere luchtspiegelingseffecten boven warm water kunnen daarentegen het best worden bekeken vanuit een relatief laag standpunt, bijvoorbeeld vanaf het strand of een laaggelegen boulevard of promenade.

#### Literatuur

- Bruton, D., 1996, Optical determination of atmospheric temperature profiles, dissertatie Texas A&M University
- Floor, C., 1978, Waar komt de zon op?, *Zenit* 5, 350-352
- Floor, C., 1979 a, Luchtspiegelingen boven warme oppervlakken, *Zenit* 6, 254-257
- Floor, C., 1979 b, Welk objectief voor welk optisch verschijnsel?, *Zenit* 6, 208-211
- Floor, C., 1979 c, De Groene flits, *Natuur en Techniek* 47, 392-407
- Floor, C., 1981a, De omega-vorm van de laagstaande zon, *Zenit* 8, 70-73
- Floor, C., 1981b, The omega-shape of the low sun, *Weather* 36, 78-81
- Floor, C., 1981c, De laagstaande zon, *NTT/De Zee* 10, 106-112
- Floor, C., 1982, The setting sun, *Phys. Educ.* 17, 174-178
- Floor, C., 1983, Inferior mirages in the Netherlands, *Z. Meteor.* 33, 60-63
- Fraser, A.B., 1975, Theological Optics, *Applied Optics* R14, A93-94
- Fraser, A.B., and W. H. Mach, 1976, Mirages, *Scientific American* 234 (1), 102-111; tevens in Lynch (1980)
- Greenler, R.G., 1980, Rainbows, haloes and glories, Cambridge University Press, Cambridge
- Lynch, D.K., 1980, Atmospheric Phenomena: Readings from Scientific American, W.H. Freeman and Company, San Francisco
- Minnaert, M., 1972<sup>3</sup>, *Natuurkunde van 't vrije veld 1: Licht en kleur in het landschap*, Thieme, Zutphen
- O'Connell S.J., D.J.K., 1958, The green flash and other low sun phenomena, *Ricerche Astronomiche* 4, Specola Vaticana, Citta del Vaticano/North Holland Publishing Company, Amsterdam
- O'Connell S.J., D.J.K., 1960, The green flash, *Scientific American* 202, 112-122; tevens in Lynch (1980)
- Young, A.T., 1999, Groene flits, hemelverschijnsel tussen wal en schip, *Zenit* 26, 248-254.



Figuur 3. Zonsondergang van 21 juli 1983, waargenomen te Egmond aan Zee.

a, b, en c: de weerspiegeling van het onderste gedeelte van de zonnenschijf tegen de warme laag direct aan het aardoppervlak rijst op vanuit de optische horizon; vergelijk de vormen van c en figuur 2 [-18].

d. de weerspiegeling van de zonnenschijf versmelt met de zonnenschijf, waarbij de karakteristieke omega-vorm ontstaat (vergelijk figuur 2 [-21]).

e. deuken in de zijkant van de zonnenschijf (vergelijk figuur 2 [-27]).

f. het beeld van de zon lijkt in verticale richting uitgerekt (vergelijk figuur 2 [-33]).

g. het laatste segment van de ondergaande zon vertoont afgeronde hoeken (vergelijk figuur 2 [-36] t/m [-45]).

h. de zon gaat onder, verrassenderwijs niet aan de kim, maar iets daarboven (vergelijk figuur 2 [-48, -51]).

(Foto's: Kees Floor).