

Een polarisatie-effect voor het ongewapende oog

De donkere vlek van Brewster op water

Minnaert sprak in 1967 tijdens een invited lecture voor de Optical Society of America [1] over wat hij noemde *neglected optical phenomena* – een term die precies past bij wat men sinds kort aanduidt met *Brewster's dark patch* oftewel Brewsters (donkere) vlek. Het gaat hier om een verschijnsel dat je iedere onbewolkte dag zonder enig hulpmiddel kunt zien [2], maar waarover bij mijn weten sinds 1980 nauwelijks is gepubliceerd [3-4] en vóór die tijd al helemaal niet [5] – zelfs niet door Minnaert.

Brewsters vlek zie je het beste bij lage zonnestand. Het wachten is op helder weer. De weerkaatsing van de blauwe hemel op een slootje of meertje veroorzaakt dan een glans, die ervoor zorgt dat je niet door het wateroppervlak heen kan kijken. Maar op 90° van de zon vertoont het oppervlak van een meertje een donkere 'vlek', waardoorheen vissen en bij ondiep water voorwerpen op de bodem zichtbaar kun-

nen zijn – iets waar vissende reigers wellicht gebruik van maken bij het speuren naar hun prooi [3]. Bij lichtgerimpeld water is de vlek nog beter te zien dan bij vlak water (figuur 1).

Het ontstaan van de vlek is in figuur 2 schematisch weergegeven. De polarisatie van de blauwe hemel is loodrecht op het strooivlak; bij laagstaande zon correspondeert dat met loodrecht op de horizon. De polarisatie is het sterkst op 90° van de zon en kan bij zonsondergang waarden van 75% bereiken. Dat laatste houdt in dat de verticaal gepolariseerde component zeven keer sterker is dan de horizontale component. Een horizontaal (water-) oppervlak kaatst bij voorkeur horizontaal gepolariseerd licht terug en werkt zoals een natuurlijk polarisatiefilter, die bij de Brewsterhoek van inval (53°) het effectiefst is. De combinatie van gradiënt in de hemelpolarisatie en het verloop van de reflectiecoëfficiënt van water als functie van de invalshoek, resulteert bij laagstaande zon in een

opvallende donkere vlek in het water met als zwaartepunt de Brewsterhoek van inval op 90° graden van de zon. Je kunt hem niet missen.

Zoals gezegd komt de vlek niet voor in monografieën over *De Natuurkunde van 't Vrije Veld*. Dat is verbazend; blijkbaar is het effect aan de wetenschappelijke blik ontsnapt. Maar, zoals Minnaert schrijft in de paragraaf over de contrastdriehoek [6]: "het onbevangen oog van sommige artiesten ziet soms dingen die 'niet kunnen' en legt die ook vast". Er zijn inderdaad schilders die Brewsters donkere vlek hebben geschilderd. Het vroegste voorbeeld dat ik ken is Albrecht Dürers aquarel *Weither im Walde* uit 1495 (British Museum). Een ander, zeer fraai voorbeeld is het schilderij *Le Passeur* van Vuillard uit 1897, zie figuur 3.

Tegenwoordig komt de vlek vaker op schilderijen voor. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de schilderijen van Topalski, waarvan figuur 4 een voorbeeld geeft. De reden is – zoals



Figuur 1 Links: Brewsters donkere vlek in een slootje bij laagstaande zon. De kompasrichting waar de vlek verschijnt wijst naar een punt dwars op de richting van de zon. Rechts: bij een bewolkte hemel verdwijnt Brewsters vlek. Het iets donkerder gebiedje linksonder bij de oever is geen polarisatie-effect, maar wordt veroorzaakt doordat bij zware bewolking de hemel recht boven de waarnemer helderder is dan bij de horizon. (Foto links: Terschelling, $53^\circ 24' 2''$ NB, $5^\circ 16' 57''$ OL, 26 nov 2017 15:15 UTC; zonshoogte 1.1° . Foto rechts: dezelfde plaats op de volgende dag. Horizontaal gezichtsveld: 72° .)

Topalski en andere schilders mij bevestigd hebben – dat de huidige schilders hun werk doorgaans baseren op een foto in plaats van op een schets in het open veld. Uiteraard ontsnapt op zo'n foto de vlek niet aan de waarneming.

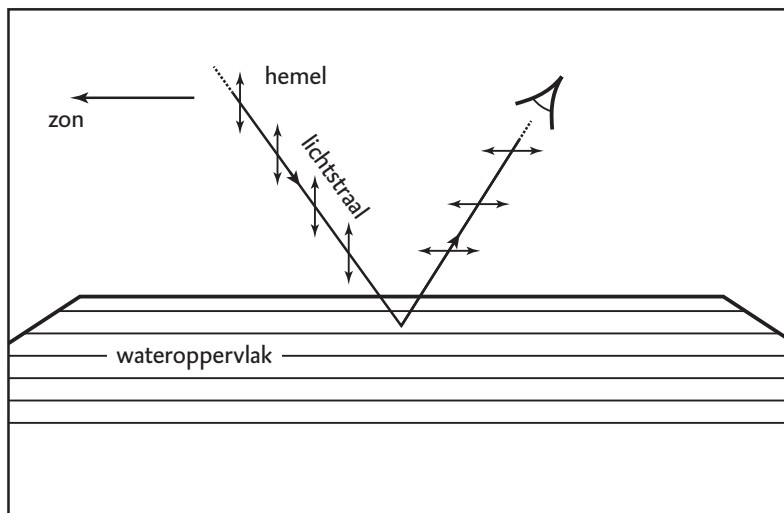
Polarisatie-effecten voor het ongewapende oog: zo'n 25 jaar geleden zat ik bij Henk van de Hulst in de auto en vertelde ik hem over de donkere vlek van Brewster. Als die eerder opgemerkt was, had dat mogelijk het inzicht in polarisatie versneld. Hij vertelde daarop dat ook hij had gefantaseerd over polarisatie-effecten die toevallig gezien hadden kunnen worden. Hij had daarvoor een situatie bedacht waarin polarisatie door reflectie opgemerkt had kunnen worden: een 18^e-eeuwer kijkt 's avonds spelenderwijs door een calcietkristal naar de weerkaatsing van kaarslicht tegen een met rode wijn gevuld wijnglas. Hij ziet dat het beeldje van het vlammetje zich verdubbelt en merkt vervolgens dat hij door het kristal te draaien, één van de twee beeldjes kan laten verdwijnen. Helaas – het heeft niet zo mogen zijn: zo deze situatie zich al heeft voorgedaan, is hij nooit vastgelegd.

G.P. Können

Werkte tot zijn pensionering als fysicus op het KNMI, www.guntherkonnen.com.

Referenties

- 1 M.G.J. Minnaert, *Unusual or neglected optical phenomena in the landscape*, J. Opt. Soc. Am. **58** (1968) 297-303 [Invited lecture at the Detroit meeting of the Optical Society, 12 October 1967].
- 2 G.P. Können, *Gepolariseerd licht in de natuur*, Thieme (1980) (Engelse uitgave: *Polarized light in nature*, Cambridge University Press (1985)).
- 3 D. Pye, *Polarized light in science and Nature*, Institute of Physics publishing (2001).
- 4 P. Takács, A. Barta, D. Pye en G. Horváth, *Polarization optics of the Brewster's dark patch visible on water surfaces versus solar height and sky conditions: theory, computer modeling, photography, and painting*, *Applied Optics* **56** (2017) 8353-8361.
- 5 Rond 1969 merkte ik het verschijnsel op en in 1970 heb ik het in een blaadje genaamd *De Jonge Onderzoeker* beschreven, met foto en al. Het verschijnsel leek me zo triviaal dat ik aannam dat het al vele malen beschreven was, maar ik heb tot mijn verbazing nooit wat kunnen vinden. Dat heeft me wel een stimulans opgeleverd om het boek *Gepolariseerd licht in de natuur* te gaan schrijven (dat verschenen is in 1980).
- 6 M.G.J. Minnaert, *De Natuurkunde van 't Vrije Veld, Deel 1*, Thieme (vijfde druk), paragraaf 117 (1968).



Figuur 2 Nabij zonsondergang is de hemel op 90° van de zon verticaal gepolariseerd. Deze polarisatie is sterk. Een wateroppervlak kaatst bij voorkeur horizontaal gepolariseerd terug. Daarom ontbreekt dwars op de zon in het spiegelbeeld van de heldere hemel de glans op het wateroppervlak en ontstaat aldus Brewsters donkere vlek.



Figuur 3 *Le Passeur (de Veerman)*, schilderij van Édouard Vuillard uit 1897. De donkere vlek in het water (tussen de roeispanen) is Brewsters donkere vlek (Musée D'Orsay, Parijs).



Figuur 4 *Dawn of the River*, aquarel van Darko Topalski uit 2012. De donkere vlek in het water (rechtsonder) is een weergave van Brewsters donkere vlek.