



Fig. 1. De heiligenschein ▲
rond het hoofd van de waarnemer

DE HEILIGENSCHIJN

Fig. 2. Heiligenschein om de schaduw
van een fototoestel op statief. ▼



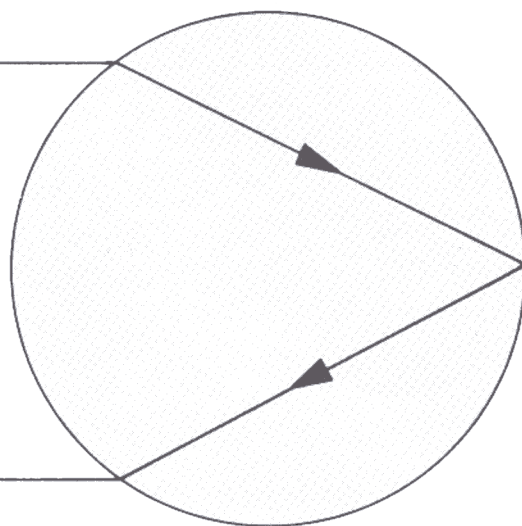
Fig. 3. Heiligenschein op riet ►
rond het hoofd van de waarnemer.



Fig. 4. Stralengang van het licht door een druppel bij het glorie-effect.

INVALLEND LICHT

TERUGGEZONDEN LICHT



De heiligenschijn is een helder aureool dat wij soms rond de schaduw van ons hoofd op de grond zien verschijnen. Het wordt vaak waargenomen op gras, maar ook op koren- of rijstvelden en het is het helderst bij de aanwezigheid van dauw. Ook op droge begroeiing kan het schijnsel echter worden waargenomen: in feite kan het optreden bij bijna alle ruwe materialen. Zo berust de grote zichtbaarheid van de gele autonummerplaten en sommige verkeersborden op een technische toepassing van dit merkwaardige effect.

Bij lage zonnestanden zien we rond de schaduw van ons hoofd op bedauwd gras vaak een zilverwit lichtschijnsel (fig. 1). Minder duidelijk kan een dergelijk aureool ook op droog gras worden waargenomen; het is dan veelal groen van kleur. Het verschijnsel manifesteert zich het opvallendst als de schaduw zich beweegt en wij dus niet worden afgeleid door helderheidsverschillen op de grond. Het heldere aureool is altijd betrekkelijk klein van omvang en draagt de toepasselijke naam *heiligenschijn*. Wij zien de heiligenschijn alleen om onze eigen schaduw, nooit om die van anderen. Om die reden vatte de 16^e-eeuwse Italiaanse kunstenaar Benvenuto

zigheid van dauw is de lichtsterkte van de heiligenschijn echter het grootst. De dauw bedekt de grassprietten niet met een dun laagje water, maar ligt er in afzonderlijke druppels tegen op. Zonder dauw is de heiligenschijn veel zwakker, want als de druppels in een grasveld zijn stukgetrapt, dan is het heldere lichtschijnsel bijna afwezig. Ook als de dauw is verdampt in de ochtendzon, is de heiligenschijn veel zwakker geworden. Hij komt echter weer helder tevoorschijn als wij waterdruppels op het gras sprenkelen. Hetzelfde gebeurt overigens ook als wij in plaats van druppels een handvol doorzichtige knikkers op een grasveld deponeren.

Met een verrekijker of met een foto toestel met telelens kunnen wij nagaan van welke plaatsen van de heiligenschijn er veel licht afkomstig is. Vooral grassprietten waar wij loodrecht op kijken en die vol zitten met kleine dauwdruppeltjes onderscheiden zich dan door hun grote helderheid. Daarnaast zijn er meestal wat geïsoleerde, grotere druppels die flink blijken op te lichten.

C. Floor en G. P. Können

Cellini het lichtschijnsel op als een teken van zijn eigen genialiteit (lit. 1). Fig. 2 laat echter zien dat zelfs de schaduw van een foto-toestel op statief van heiligenschijn is voorzien.

De heiligenschijn ontstaat niet alleen op gras; ook andere vegetatie blijkt geschikt. In Japan bijvoorbeeld heet het verschijnsel 'inada no goko': lichtverschijnsel in een rijstveld (lit. 2). Op koren kan het eveneens worden waargenomen; op riet (fig. 3) blijkt de heiligenschijn zelfs meestal veel helderder te zijn dan op gras. Bij aanwe-

Vergrootglaseffect

Een belangrijke bijdrage aan de lichtsterkte van de heiligenschijn ontstaat door de *lens*werking van de bolvormige dauwdruppels (lit. 3). Vooral de kleine druppels op het gras hebben een bijna zuivere

bolvorm. Deze druppels vormen enerzijds ieder een klein, doch lichtsterk beeld van de zon op de grasspriet waar ze op rusten (onder 'beeld' wordt hier niet verstaan de wiskundig zuivere afbeelding). Anderzijds werkt ieder druppeltje voor ons als een vergrootglas, waardoor wij een (klein) deel van het oppervlak van de grasspriet sterk vergroot te zien krijgen. Kijken wij dus met de zonnestralen mee, dan is dit juist het deel van de spriet waar het beeld van de zon zich bevindt; wij zien dit heldere beeld door de lenswerking sterk vergroot tot bijna de omvang van de druppel. Hierdoor lijkt het oppervlak dat wij van de grasspriet te zien krijgen veel helderder dan wanneer wij bijvoorbeeld dwars op de zon kijken: in het laatste geval zien wij een deel van de spriet vergroot dat zich zelfs in de schaduw van de druppels kan bevinden en altijd veel minder helder is. Alleen als wij met de zonnestralen mee kijken zien wij door de druppels heen het heldere beeld van de zon. Dit verklaart meteen de geringe omvang van het aureool dat de heiligenschijn vormt.

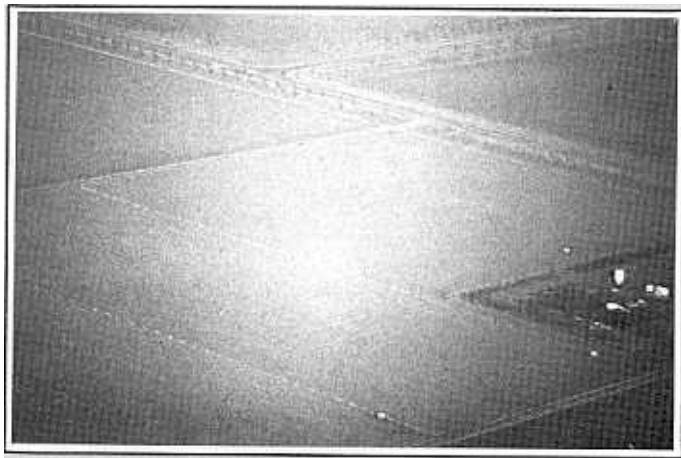
Voor een optimale vorming van de heiligenschijn is het van groot belang dat er zich een scherp beeld van de zon op de grasspriet vormt. Nu blijkt dit beeld weliswaar het scherpst te zijn als de afstand tussen druppel en spriet ongeveer een halve druppelstraal bedraagt (lit. 4), maar ook als deze afstand kleiner is en het beeld zich onmiddellijk achter de druppel vormt, blijkt de scherpte nog mee te vallen. Dit betekent dat de afstand tussen druppel en spriet niet zo kritisch is, en dus bijna alle druppels een heldere bijdrage kunnen leveren aan het licht van de heiligenschijn.

De grassprietten kaatsen het licht het effectiefst in de richting van de zon terug als ze loodrecht op het invallende licht staan. Bij een lage zonnestand is deze voorwaarde voor een groot aantal grassprietten vervuld. Daardoor, en doordat de dauw dan nog niet is verdampt, is het verschijnsel 's ochtends vroeg, als de schaduwen lang zijn, het meest opvallend. Het blijkt hierbij dat het verschijnsel meer wit is dan groen. Dit is een gevolg van het feit dat grassprietten die loodrecht op de zon staan het licht niet zozeer als groen licht, maar als een veel helderder, witte glans terugkaatsen. De bijdrage aan het heiligenschijnlicht zoals hierboven beschreven duiden wij hier kortweg aan met *vergrootglaseffect*.

Knickers en katteogen

De heiligenschijn is altijd te zien als er zich achter een doorzichtige bol een reflecterend oppervlak bevindt. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de ogen van katten, honden en konijnen, die in het donker licht lijken te geven als ze worden beschenen door een zaklamp of door de koplampen van auto's. Direct achter het netvlies bevindt er zich bij deze dieren namelijk een reflecterende laag, waarop zich weer een klein beeld van de lichtbron kan vormen. Dit beeld krijgen wij dan door het vergrootglaseffect van de oogbol sterk vergroot te zien. Hier heeft dus de oogbol (met de ooglenzen) de rol van de dauwdruppel overgenomen, en de laag achter het netvlies die van de grasspriet. Bij mensen ontbreekt zo'n reflecterende laag en is het effect afwezig.

Met een doorzichtige knikker laat het effect zich wel zeer aanschouwelijk demonstreren. Houd hiervoor de knikker bij de eigen schaduw tussen duim en middenvinger, en leg vervolgens de wijsvinger tegen de achterkant. Als dit gebeurt licht de knikker sterk op. Hetzelfde is het geval bij knickers waarvan wij de achterkant wit hebben geverfd; bij nadere inspectie van zo'n knikker merkt men het beeld van de zon op, dat zich scherp tegen de verflaag aftekent. Kinderen noemen dergelijke knickers 'katteogen': zouden sommigen zich het effect bewust zijn geweest? In ieder geval worden gelijksoortige knickers ook wel toegepast in de middenstreep van sommige verkeerswegen. Omdat zij met de achterkant tegen de witte houdertjes aangedrukt zijn, lichten ze helder op als ze beschenen worden door koplampen van auto's en bevorderen zo de verkeersveiligheid. Deze vorm van wegmarkering noemt men in de volksmond eveneens 'katteogen'.



Het glorie-effect

Voor het tot stand komen van de heiligenschijn via waterdruppels van een ideale bolvorm is de aanwezigheid van een scherm in de vorm van bijv. een grasspriet achter de druppel beslist noodzakelijk. Dit zou anders zijn als het licht na inwendige terugkaatsing tegen de achterzijde van de druppel precies kon terugkomen in de richting waar het vandaan kwam, zoals dit getekend is in fig. 4. In zo'n geval kan deze inwendige terugkaatsing de rol van het scherm overnemen, en zou er ook heiligenschijn mogelijk zijn op losse druppels, zonder een reflecterend oppervlak erachter. Ook in dit geval moet de intensiteit van het licht vlak bij de schaduw het grootst zijn (lit. 5); deze is dan getooid met een licht aureool. We nemen dit in de natuur ook waar; het is het zgn. *glorie-effect*, dat een extra helderheid voorschrijft voor licht dat weer in de richting van de bron wordt teruggezonden. De enige voorwaarde hiervoor is, dat de teruggekaatste lichtstralen via een *scherende* weg de druppel zijn binnengekomen, zoals dat in fig. 4. getekend is. In principe is hierbij ook het aantal kaatsingen dat het licht tussen intrede en uittreden tegen de wanden van de druppel heeft ondergaan niet van belang. In de praktijk blijkt echter alleen licht dat maar één keer geëkaatst is nog genoeg intensiteit over te houden om een merkbaar glorie-effect teweeg te brengen. Een lichtstraal die, zoals bij fig. 4, een dergelijke weg door de druppel heeft afgelegd, noemt men een *gloriestraal*.

Het blijkt nu dat bij grote, bolvormige lichamen deze gloriestraal alleen mogelijk is als de brekingsindex groter is dan $\sqrt{2}$ (1,41). Voor volmaakte ronde waterdruppels (brekingsindex 1,33) treedt

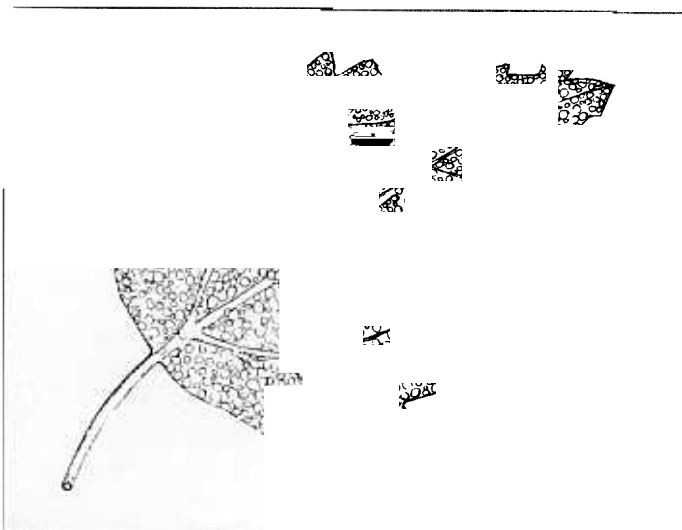


Fig. 6. Het bladoppervlak van *Chenopodium Album* (Melganzevoet), gezien door een loupe bij een vergroting van acht maal. De bolletjes op deze planten zorgen ervoor dat ze een bijzonder sterke droge heiligenschijn vertonen (tekening Rob Meijer naar een schets van B. Zwart).



Fig. 7
Heiligenschijn op
een gerimpeld
wateroppervlak
langs het
strand. De golfjes
werken als bolle
lens, de bodem
fungeert hier
als scherm
(vergroetglaseffect)

het effect dus niet op.* Als de druppel echter een klein beetje vervormd is, dan is deze gloriestraal wel mogelijk. Deze vervorming hoeft niet eens groot te zijn, omdat de brekingsindex van water toch erg dicht bij $\sqrt{2}$ ligt. Grotere dauwdruppels die op het gras rusten zijn al gauw zover vervormd dat de gloriestraal mogelijk wordt. Dergelijke vervormde druppels kunnen dan een extra bijdrage tot het licht van de heiligenschijn geven, vooral doordat de inwendige kaatsing vaak totaal is. Het licht dat zo tot stand komt is helderwit. In het gras ziet men de bijdrage van vervormde druppeltjes tot het heiligenschijnlicht als felle afzonderlijke puntjes dicht bij de schaduw.

Droge heiligenschijn

Bij de vorming van de heiligenschijn volgens het vergrootglaseffect of volgens het glorie-effect spelen dauwdruppels een belangrijke rol. Wij kunnen hier spreken van 'natte' heiligenschijn. Bij nadere beschouwing blijkt er echter ook heiligenschijn te kunnen ontstaan op droge begroeiing: de 'droge' heiligenschijn. Men kan deze gemakkelijk constateren als men langs een weiland fietst met de zon schuin in de rug. Houdt men hierbij een bepaalde graspol in het oog waar de schaduw van het hoofd vlak onderdoor zal gaan, dan ziet men deze pol bij het passeren duidelijk even oplichten. Ook dode graspollen vertonen dit effect, evenals bijvoorbeeld verdorde bladeren die op de grond liggen. Het licht van deze vorm van heiligenschijn is niet altijd even helder; blijkbaar hangt de lichtsterkte af van de aard en de dichtheid van de begroeiing. De droge heiligenschijn is echter ten alle tijde zwakker dan de natte heiligenschijn. Men zal bemerken dat de droge heiligenschijn veel sterker de kleur van de vegetatie waarop hij zich vorm behoudt. Soms kan het verschijnsel toch verrassend helder zijn; vanuit vliegtuigen is te zien

dat dit vooral vlak bij de schaduw het geval is (lit. 6 en fig. 5). In dit geval zijn de waarnemingsomstandigheden extra gunstig doordat de schaduw zelf heel klein of onzichtbaar is, en het dus mogelijk is precies met de zonnestralen mee te kijken. Vaak blijkt de droge heiligenschijn een ietwat langwerpige vorm te hebben; ook dit is het best vanuit vliegtuigen te zien. Droge heiligenschijn is beduidend kleiner van omvang dan natte.

Terwijl de droge heiligenschijn meestal ongeveer dezelfde karakteristieken bezit, zijn er toch enkele planten aan te wijzen die zich afwijkend gedragen. Zo leveren bij voorbeeld planten die behoren tot de familie der Chenopodiaceae (Ganzevoetachtigen en Melde), een bijzonder heldere, witachtige heiligenschijn op, analoog aan de heiligenschijn op bedauwd gras. De verklaring van dit heldere schijnsel blijkt inderdaad parallel te lopen: het blijkt namelijk, dat de bladeren van deze planten bedekt met zijn kleine, doorzichtige bolletjes van biologische oorsprong (fig. 6). Dergelijke planten hebben dus geen dauwdruppeltjes nodig om via het vergrootglaseffect een heldere heiligenschijn op te wekken. Planten van deze soort zijn vooral als pionierplant te vinden op opgehoogde grond. Behalve op begroeiing blijkt de droge heiligenschijn tenslotte ook op te treden bij bijna alle andere ruwe materialen. Erg sterk is dit het geval bij maangruis, waarin zich kleine, glasachtige bolletjes blijken te bevinden. Ook deze werken dan op dezelfde wijze als de dauwdruppeltjes bij de natte heiligenschijn, met dien verstande dat hier niet alleen het vergrootglaseffect, maar ook het glorie-effect

* Bij zeer kleine waterdruppels (mistdruppeltjes) is de gloriestraal daarentegen wel mogelijk. Als onze schaduw op mist valt zien wij hieromheen inderdaad een helder aureool, dat in dit geval bovendien omzoomd is met een rode rand. Dit is de zgn. *glorie*, die zich kenmerkt door zijn regelmatigte vorm. Aan dit atmosferisch optisch verschijnsel ontleent het glorie-effect zijn naam.

Retroreflectieve materialen

De grote zichtbaarheid van gele autonummerplaten en sommige moderne verkeersborden berusten op een technische toepassing van het heiligenschijneffect. In dergelijke borden bevinden zich talloze kleine glaspelletjes, die voor de helft in een reflecterende laag zijn gebod. Op deze laag wordt de lichtbron scherp afgebeeld en vervolgens weer teruggezonden via het glaspelletje naar de automobilist teruggezonden (vergrootglaseffect). Doordat de reflecterende laag het licht veel beter terugkaatst dan gras, is ook deze heiligenschijn helderder dan die op gras. Bovendien licht zo'n bord altijd even helder op, ongeacht of het recht van voren of schuin van opzij wordt beschenen. De enorme retroreflectie (zoals dit effect in de industrie genoemd wordt) van dit soort materialen is te zien op de foto, waar het nummerbord bij de schaduw van de fotograaf vele malen helderder is dan het nummerbord op enige afstand ervan. Dit is dus juist zoals bij de heiligenschijn het geval is. (De fietsreflector en vele andere reflectoren berusten op een ander systeem van retroreflectie). Een gelijksoortige toepassing van het heiligenschijneffect is het

glasparselscherm voor dia- of filmprojectie. Ook hier is de lichtopbrengst het grootst in de richting waar het licht vandaan komt, dus in de richting van de projector. Men moet daarom recht voor het scherm plaats nemen om een lichtsterk beeld te krijgen: de lichtsterkte is dan veel groter dan bij een normaal scherm. Als men echter te schuin tegen het scherm aankijkt, is het beeld juist veel fletser dan normaal.

Als laatste voorbeeld noemen wij de retroreflectiviteit van de verf die voor sommige wegmarkeringen wordt gebruikt. Hier worden er, onmiddellijk na het aanbrengen van de laag, kleine glaspelletjes op de natte verf gestrooid, die zich er dan stevig ophechten. Men verkrijgt hiermee dezelfde werking als bij de bovengenoemde verkeersborden. Inderdaad is heel goed te merken dat deze verf als gevolg hiervan een bijzonder sterke heiligenschijn te zien geeft! Uit het feit dat deze heiligenschijn niet overal even helder is, kan men besluiten dat de hoeveelheid glaspelletjes niet overal even groot is, en het aanbrengen dus blijkbaar niet altijd even regelmatig gebeurt.

Retroreflecterende nummerplaten van auto's. De nummerplaat bij de schaduw van het hoofd van de fotograaf licht het sterkst op.



mogelijk is ten gevolge van de hoge brekingsindex. Het totale effect van de maanheiligenschijn is dan ook aanzienlijk, zoals maanreizigers met eigen ogen hebben kunnen waarnemen (fig. 8).

Het schaduwen-effect

De meeste materialen die de droge heiligenschijn vertonen bevatten echter geen spoor van bolvormige deeltjes. Het is duidelijk dat hier de tot nu toe gegeven verklaringen niet meer opgaan. Inderdaad bestaat er, naast het vergrootglaseffect en het glorie-effect, nog een derde mogelijkheid voor vorming van heiligenschijn, die wij hier

aanduiden met het *schaduwen-effect*. Kortweg komt het er op neer dat men in de buurt van de eigen schaduw nooit de onderlinge schaduwen van grassprietjes (of andere oneffenheden) zal zien. Kijkt men daarentegen meer dwars op de zon, dan zijn er wel grassprietjes te zien die in de schaduw van hun soortgenoten liggen. Dit betekent dat het verlichte deel van het oppervlak dat men in de buurt van zijn schaduw ziet groter is dan elders, en daarmee ook de hoeveelheid teruggekaatst licht. Bij de maan treedt zo'n schaduwen-effect eveneens op; bij eerste kwartier ziet men wel, en bij volle maan geen schaduwen op het maanoppervlak. Dit is er de oorzaak van dat de volle maan niet minder dan negen keer helderder is dan bij eerste of laatste kwartier. Hoe ruwer het materiaal, dus hoe



Fig. 8. Heiligenschijs op het maanoppervlak rond de (onzichtbare) schaduw van de Apollo 8 orbiter (foto NASA, beschikbaar gesteld door het World Data Centre A).

dieper de gaten of oneffenheden erin, des te sterker is deze bijdrage tot de heiligenschijs. Op gras is de droge heiligenschijs dus sterker dan op zand of ruw beton, maar ook op deze laatste materialen is hij onmiskenbaar aanwezig.

Van alle bijdragen die tot heiligenschijsvorming leiden is het schaduwen-effect ongetwijfeld de zwakste, althans in die zin dat het voor het minst geprononceerde aureool zorgt. Maar juist dit mechanisme is er voor verantwoordelijk dat eigenlijk *ieder* ruw oppervlak in meer of minder sterke mate de heiligenschijs vertoont.

Er zijn maar weinig optische verschijnselen om ons heen waarbij er zoveel verschillende mechanismen aantoonbaar een rol kunnen spelen als de heiligenschijs. In dit opzicht neemt dit verschijnsel een bijzondere plaats in. Anderzijds is de heiligenschijs allesbehalve een zeldzaam verschijnsel, dat men op de meest onverwachte momenten kan tegenkomen (Fig. 7). Bij iedere heiligenschijs die men ziet kan men zich altijd weer afvragen welk van de drie ontstaanswijzen (vergrootglaseffect, glorie-effect of schaduwen-effect) in dit geval de overhand heeft.

De schrijvers danken drs. B. Zwart, die ons er op gewezen heeft dat droge heiligenschijs ook sterk bij bepaalde plantensoorten kan optreden.

Literatuur

1. M. Minnaert, *'De natuurkunde van 't vrije veld I'*, Thieme, Zutphen 1968 blz. 267 e.v.; blz. 392-393
2. W. R. Corliss, *'Handbook of unusual natural phenomena'*, Sourcebook Project, Glen Arm, Md 1977, blz. 215-216
3. R. A. R. Tricker, *'Introduction to meteorological optics'*, Elsevier, New York 1970, blz. 24 e.v.
4. H. Mulder, *'Breking in een bol'*, Faraday 45, 161 (aug. 1976)
5. G. P. Können, *'Overeenkomsten en verschillen tussen licht- en deeltjesstrooiing'*, Ned. Tijdschr. v. Natuurkunde 38 blz. 265-271 en 283-287 (1972)
6. L. Larmore en F. F. Hall, *'Optics for the airborne observer'*, S.P.I.E. Journal 9, blz. 87 (mrt 1971)
7. N.N. *'Meer zekerheid in het donker'*, 3M, Leiden