

Lichtverschijnselen aan de hemel

HALO'S

Ten gevolge van breking of terugkaatsing van zonlicht door zwevende ijskristallen vormen zich op verschillende plaatsen aan de hemel vaak relatief heldere vlekken, zuilen, cirkels of bogen.

Gemiddeld kunnen om de andere dag in ons land dergelijke verschijnselen die men halo's noemt, waargenomen worden. Desondanks is dit prachtige natuurverschijnsel bij velen helaas onbekend.

Bij de foto:
In de nevels van Antarctica
doen zich vaak prachtige
samen gestelde halo-
verschijnselen voor met
zeldzame componenten.
Zie de verklarende tekening
op pag. 376.

C. Floor
Stichting Opleiding Leraren
Utrecht

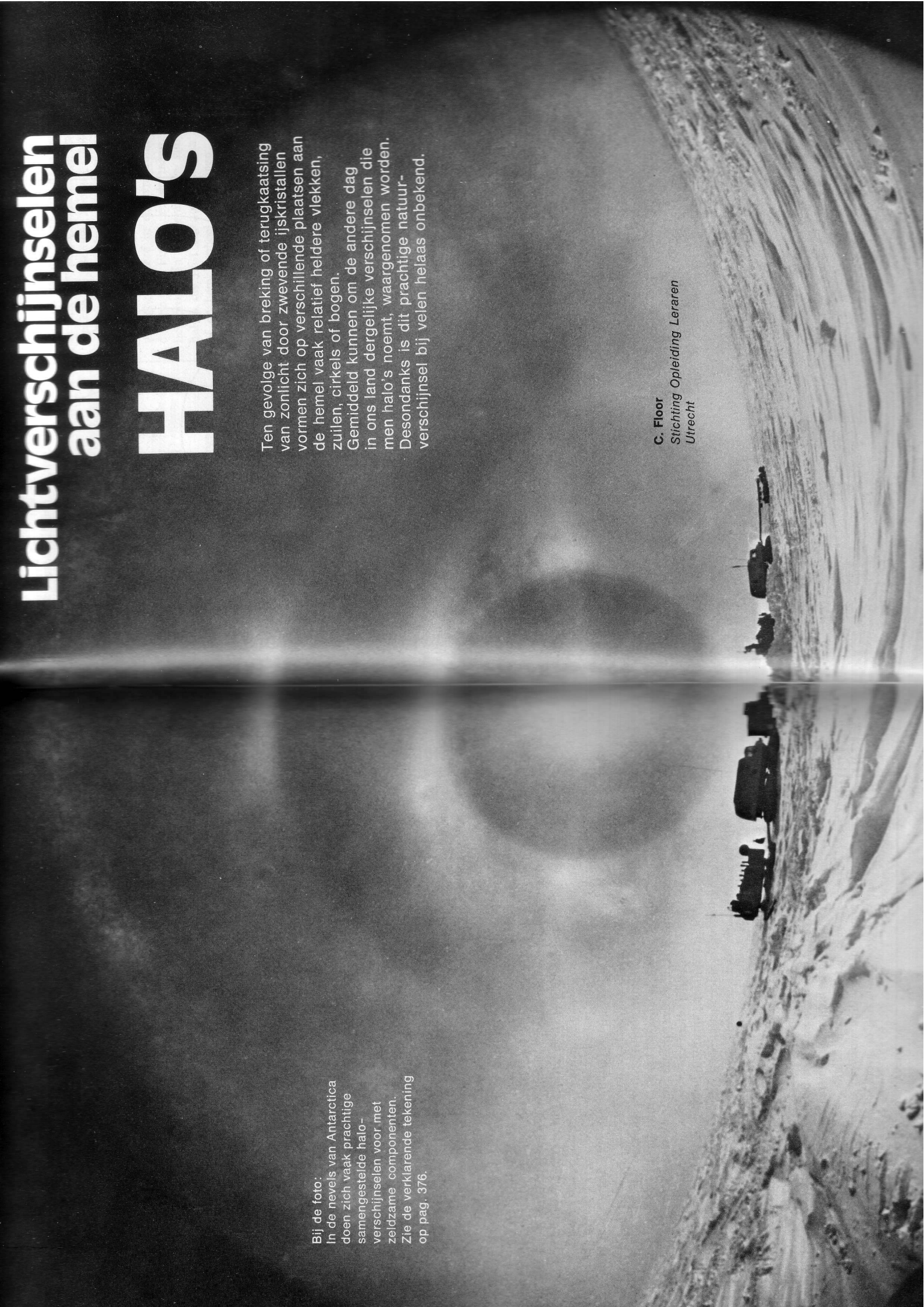
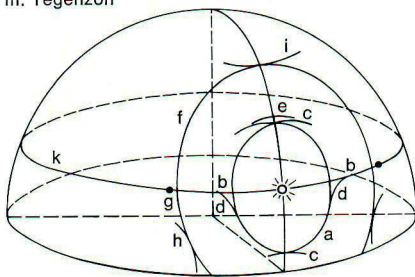


Fig. 1. Haloverschijnselen.
 Links: Afgebeeld op de hemelbol
 Hieronder: Afgebeeld in een projectie op een horizontaal vlak
 a. Kleine kring
 b. Bijzonnen 22°
 c. Boven/benedenraakboog van de kleine kring en omhullende halo
 d. Bogen van Lowitz
 e. Boog van Parry
 f. Grote kring
 g. Bijzonnen 46°
 h. Benedenzijdelingse raakboog aan de grote kring
 i. Bovenraakboog aan de grote kring / circumzenitale boog
 k. Bijzonnenring
 l. Lange scheve bogen door de tegenzon
 m. Tegenzon



Onder de naam *halo's* vat men een aantal lichtverschijnselen aan de hemel samen waarvan de kleine kring de bekendste is. Naast de ringvorm kunnen ook bogen, zuilen of lichtvlekken voorkomen. Sommige halo's zijn wit, andere zijn aan de kant van de zon roodachtig van kleur terwijl ook zeer kleurrijke halo's voorkomen. De meeste haloverschijnselen liggen gegroepeerd in een vrij ruim gebied rond de zon (zie Fig. 1), of de maan, die ook als lichtbron kan fungeren. Er zijn echter ook halo's die juist tegenover de zon zijn gelegen of de hemel geheel omspannen.

In ons land is gemiddeld om de andere dag wel een kleine kring of gedeelte daarvan waar te nemen. Andere halo's komen minder vaak voor, sommige zijn zeer zeldzaam.

Halo's komen slechts voor in een beperkt aantal wol kentypen. Deze hebben met elkaar gemeen dat ze uitsluitend bestaan uit ijs. Bij de verklaring van de haloverschijnselen speelt dat een belangrijke rol. Voor veel halo's heeft men zo'n verklaring al kunnen vinden, maar nog steeds zijn er verschijnselen waarvoor een bevredigende verklaring ontbreekt.

De kleine kring

Verreweg het meest voorkomende haloverschijnsel is de *kleine kring*. In ongeveer 9 van de 10 gevallen, waarin halo's worden waargenomen is hij geheel of gedeeltelijk aanwezig. Het is een lichtring om de zon, waarvan de binnenkant scherp begrensd is op een afstand van ongeveer 22° van de zon (Fig. 2). Om deze reden wordt hij ook wel *kring van 22°*

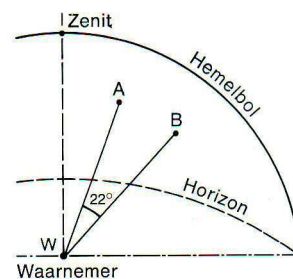
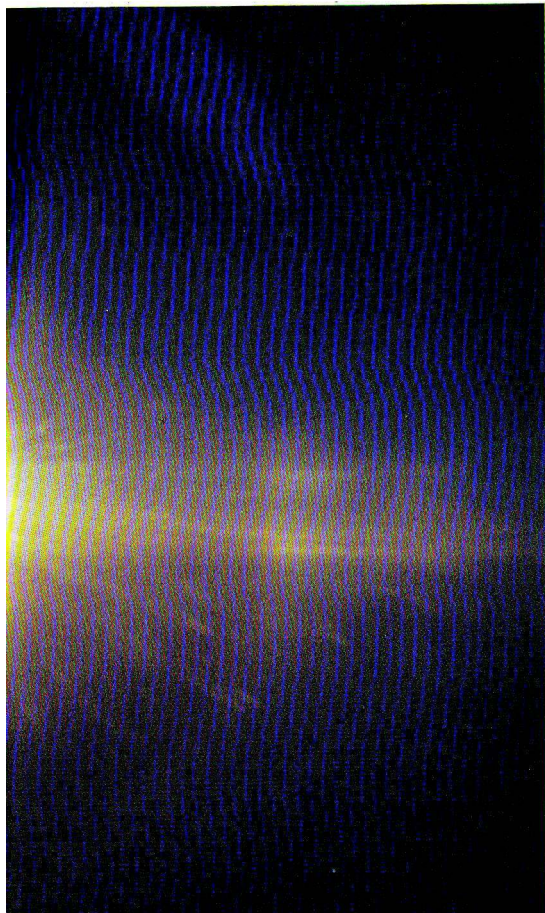


Fig. 2. Afstanden op de hemelbol. Een waarnemer W bevindt zich altijd in het middelpunt van de *hemelbol*. Het punt recht boven de waarnemer op de hemelbol is het *zenit*. Het horizontale vlak waarin de waarnemer zich bevindt snijdt de hemelbol volgens een cirkel: de *horizon* (deze valt dus niet noodzakelijkerwijs samen met de grens tussen land of zee en lucht). De afstand tussen 2 punten op de hemelbol bedraagt 22° als hoek (AWB) = 22° .



genoemd. De buitenrand is onbepaald: de lichtsterkte neemt naar buiten toe geleidelijk af. Gewoonlijk is hij wit van kleur met een rode of roodachtige binnenrand, soms violet aan de buitenzijde terwijl een enkele maal ook andere kleuren voorkomen.

Als de kring moeilijk zichtbaar is en de lichtintensiteit zwak, zoals met name bij kringen om de maan dikwijls het geval is, zijn er nauwelijks kleuren te onderscheiden. De kleuren zijn het duidelijkst in de punten recht boven de zon, recht eronder en links en rechts op dezelfde hoogte als de zon. Dat zijn ook de punten waar de kring het helderst is. Binnen de kring ziet de hemel er meestal donkerder uit dan erbuiten.

De verklaring van de kleine kring berust op de breking van zonlicht in de ijskristallen, die de wolken vormen waarin het verschijnsel optreedt. We zullen daarom eerst die ijskristallen nader bekijken.

Ijskristallen

IJs in de atmosfeer kristalliseert in de vorm van regelmatige zeshoekige kristallen of samenstellingen daarvan. De eenvoudigste en meest voorkomende vormen zijn de *zuiltjes* en de *plaatjes** (zie Fig. 3). Bij beide valt de zeshoekige vorm op; het enige verschil zit in de verhouding tussen de lengte van de as en de diameter van het kristal.

Door hun regelmatige vormen kunnen de ijskristallen beschouwd worden als *prisma's* voor het eropvallende zonlicht. In Fig. 4 is aangege-

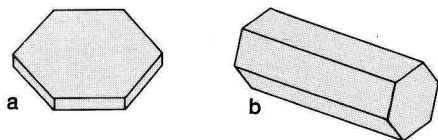
ven hoe men zich deze prisma's kan voorstellen. Er treden brekende hoeken van 60° , 90° en 120° op. De zijvlakken van de prisma's kunnen het opvallende licht *terugkaatsen*. Daarnaast zal er ook licht invallen, dat het kristal weer via een ander zijvlak verlaat. Hierbij verandert de lichtbundel van richting, omdat aan beide grensvlakken tussen ijs en lucht *breking* optreedt. De hoek tussen de invallende en uit-tredende lichtbundel noemt men de *deviatie* (Fig. 7); hij hangt af van de invalshoek van de lichtbundel en de brekende hoek van het prisma. Bovendien is hij afhankelijk van de kleur van het licht, omdat de brekingsindex van ijs enigszins afhangt van die kleur (zie Fig. 7). Op deze *kleurschifting* berust de toepassing van prisma's voor het ontwerpen van spectra.

Verklaring van de kleine kring

De kleine kring wordt gevormd door de breking van zonlicht door ijsprisma's met een brekende hoek van 60° in een willekeurige stand. Het voorkomen van allerlei oriënteringen van de kristallen betekent dat het licht van de zon op het ene ijsprisma onder een andere hoek invalt dan op het andere, zodat allerlei invalshoeken voorkomen. Omdat de deviatie o.a. afhangt van de hoek van inval, zullen ook hiervoor verschillende waarden optreden. Met behulp van de brekingswet van Snellius kunnen deze worden berekend.

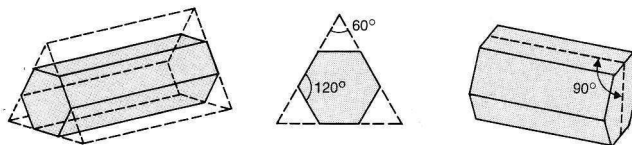
In Fig. 5 is uitgezet hoe de deviatie afhangt van de hoek van inval. Als de invallende straal langs het zijvlak scheert is de invalshoek maximaal en wel 90° . Voor lichtbundels die onder een kleine hoek invallen is geen deviatie opgegeven. Deze bundels vallen n.l. op het andere zijvlak van het prisma in onder een hoek die

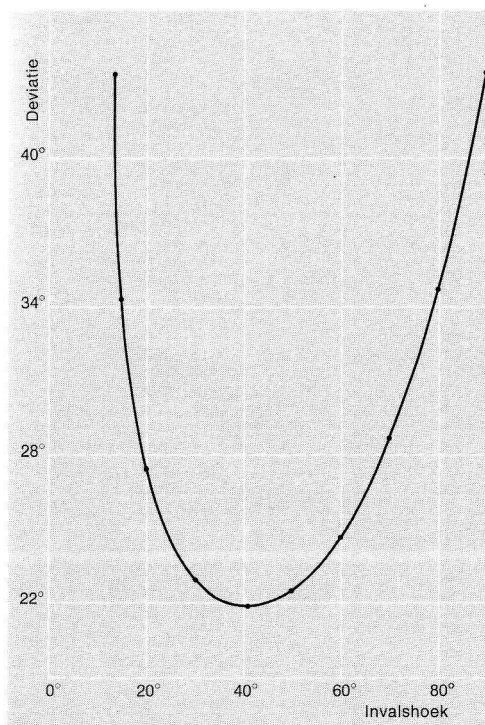
* Zie ook J. C. H. van der Hage: Ijskristallen in de atmosfeer. *Natuur en Techniek*, 45, 3, (1977).



Links: Fig. 3. Een plaatje (a) en een zuiltje (b) in de stand waarin zij in de atmosfeer het meest voorkomen. Beide liggen in een horizontaal vlak.

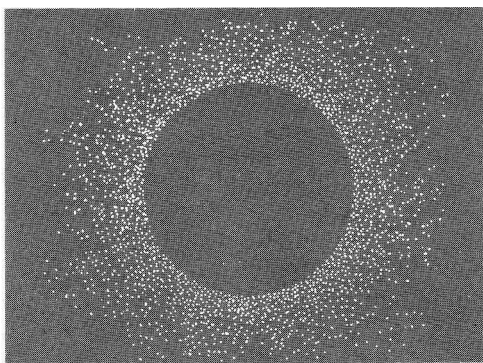
Hieronder: Fig. 4. Ijskristallen als prisma's. Brekende hoeken van 60° , 90° en 120° treden op.





Hierboven: Fig. 5. Verband tussen invalshoek en deviatie van 60° en de brekingsindex van ijs.

Hieronder: Fig. 6. Intensiteitsverdeling van de kleine kring. In het midden van de figuur moet men de zon denken. De witte stippen geven aan waar het zonlicht zoal terecht kan komen na breking door ijsprisma's met een brekende hoek van 60° in een willekeurige stand.



groter is dan de zgn. *grenshoek*. Er treedt dan *totale terugkaatsing* op aan dat zijvlak, waardoor er geen licht zal uittreden.

Uit de grafiek kunnen we aflezen dat de deviatie een minimale waarde heeft van ongeveer 22° . Verder zien we dat voor relatief veel invalshoeken de deviatie in de buurt van 22° ligt. Zo liggen bijv. de deviaties voor lichtstralen die invallen onder hoeken tussen 35° en 55° tussen $21^\circ 50'$ en de $23^\circ 25'$. Kiezen we een ander, evengroot gebied op de horizontale as, dan variëren de deviaties veel sterker. Bij waarden van 15° - 35° van de invalshoek behoren waarden van 22° - 34° voor de deviatie. Dit heeft tot gevolg dat relatief veel van het op de ijsprisma's invallende licht uittreedt onder een hoek van ongeveer 22° met de invallende lichtstraal. Dat betekent voor een waarnemer dat hij in een richting van 22° van de zon af moet kijken om die lichtstralen te zien. Hij ziet dus overal op een afstand van 22° een lichte plek aan de hemel, voorzover zich op die plaatsen vanuit de waarnemer bezien tenminste geschikte wolken bevinden.

In Fig. 6 is schematisch getekend wat men kan waarnemen. In het midden van de figuur moet de zon gedacht worden. De stippen geven aan waar het zonlicht zoal terecht kan komen na breking door ijsprisma's met een brekende hoek van 60° in een willekeurige stand.

Bij een computerberekening, die de tekening van Fig. 6 opgeleverd heeft, is behalve op het bovenstaande ook gelet op stralen, die een hoek maken met het vlak van tekening van Fig. 7 en op de intensiteitsverhouding tussen de gebroken- en de teruggekaatste stralen. Verder vangt een zijvlak van een ijskristal dat loodrecht op het invallende zonlicht staat meer licht in dan een zijvlak in een andere stand. Ook hiermee is rekening gehouden. Uit de figuur is te begrijpen dat de hemel binnen de kring er vaak donkerder uitziet dan daarbuiten. Binnen de kring kunnen geen gebroken lichtstralen komen omdat voor geen enkele invalshoek de deviatie kleiner is dan $21^\circ 50'$.

De roodachtige binnenrand van de kleine kring hangt samen met het feit dat de brekingsindex van ijs voor rood kleiner is dan voor andere kleuren (zie Fig. 7). De minimum deviatie is daardoor eveneens kleiner, zodat het rode licht dicht bij de zon terecht komt dan de andere kleuren. Verder van de zon af komen lichtstralen terecht van verschillende kleuren, zodat de kring er daar wit uitziet, behalve soms aan de buitenzijde, die dan violet is.

De bijzonnen van de kleine kring

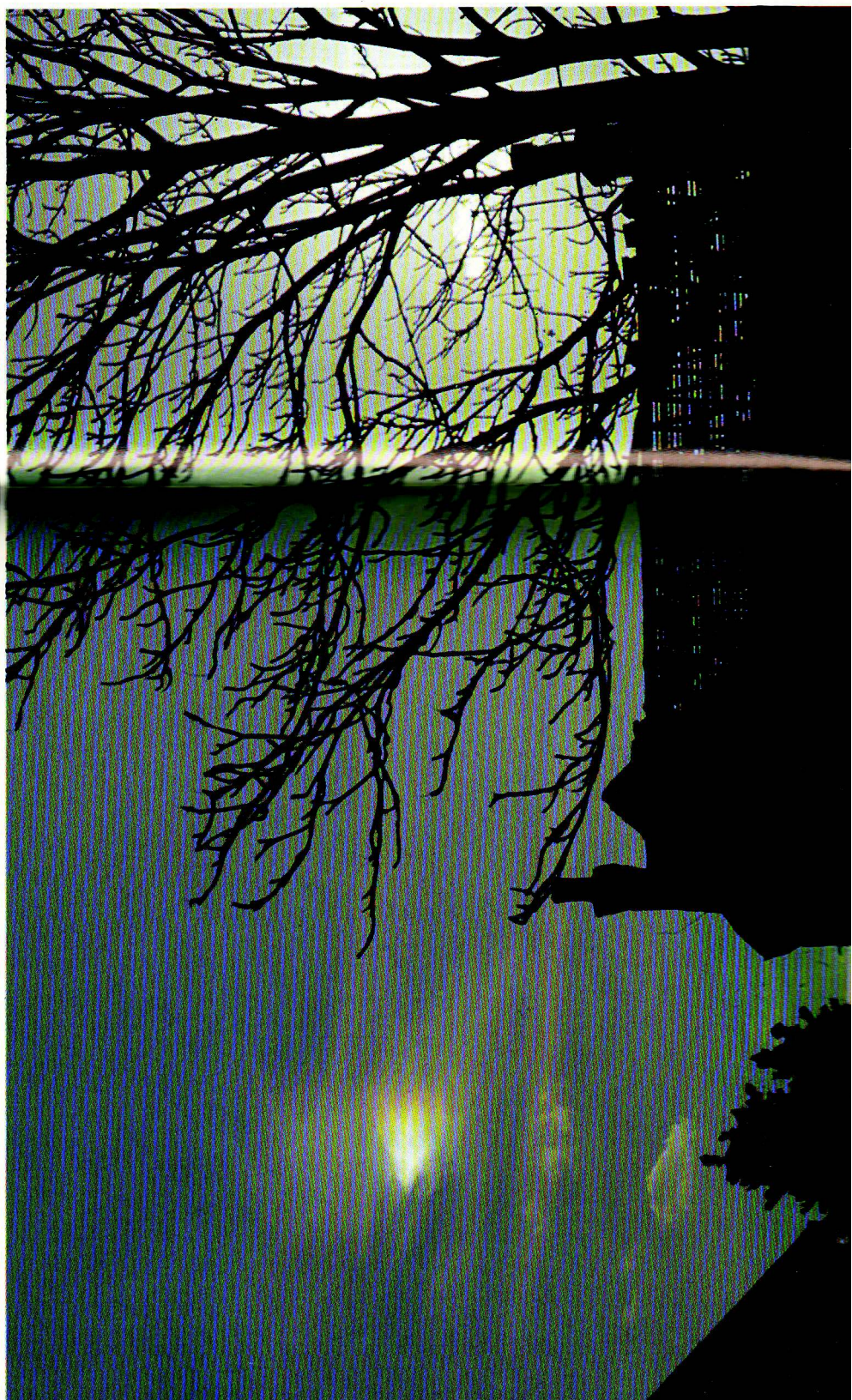
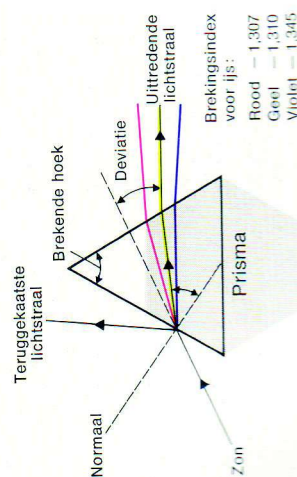
Voor de vorming van de kleine kring waren ijskristallen verantwoordelijk, die zich in een willekeurige stand bevonden. Vaak nemen de kristallen echter gemiddeld een vaste stand aan, zoals aangegeven in Fig. 3. Ze bevinden zich niet voortdurend in die stand, maar schommelen er in meerdere of mindere mate omheen, afhankelijk van de atmosferische omstandigheden. In een onrustige luchtlag met een harde, onregelmatige wind, kunnen alle mogelijke oriënteringen voorkomen.

Veel haloverschijnselen vereisen een min of meer vaste stand van de ijskristallen. Dit geldt voor alle halo's die niet de vorm van een cirkel hebben met de zon als middelpunt. De *bijzonnen van de kleine kring* zijn hiervan het meest bekende voorbeeld. Het zijn heldere lichtvlekken, die op dezelfde hoogte als de zon op de kleine kring liggen of iets daarbuiten. Ze hoeven niet noodzakelijkerwijs beide tegelijk zichtbaar te zijn en de aanwezigheid van de kleine kring is niet vereist. Deze bijzonnen behoren tot de kleurrijkste haloverschijnselen.

De bijzonnen ontstaan in plaatjes die zich ongeveer in de stand van Fig. 3a bevinden. Als de zonshoogte 0° bedraagt verloopt de stralengang als in Fig. 7. De waarnemer ziet de zon, maar ook de bijzon en dus de wolk waarin de

Bij de foto's: Linksonder. Een zeer heldere bijzon. Linksboven: Een bijzon boven Schliermonnikoog, gefotografeerd op 22 mei 1976.

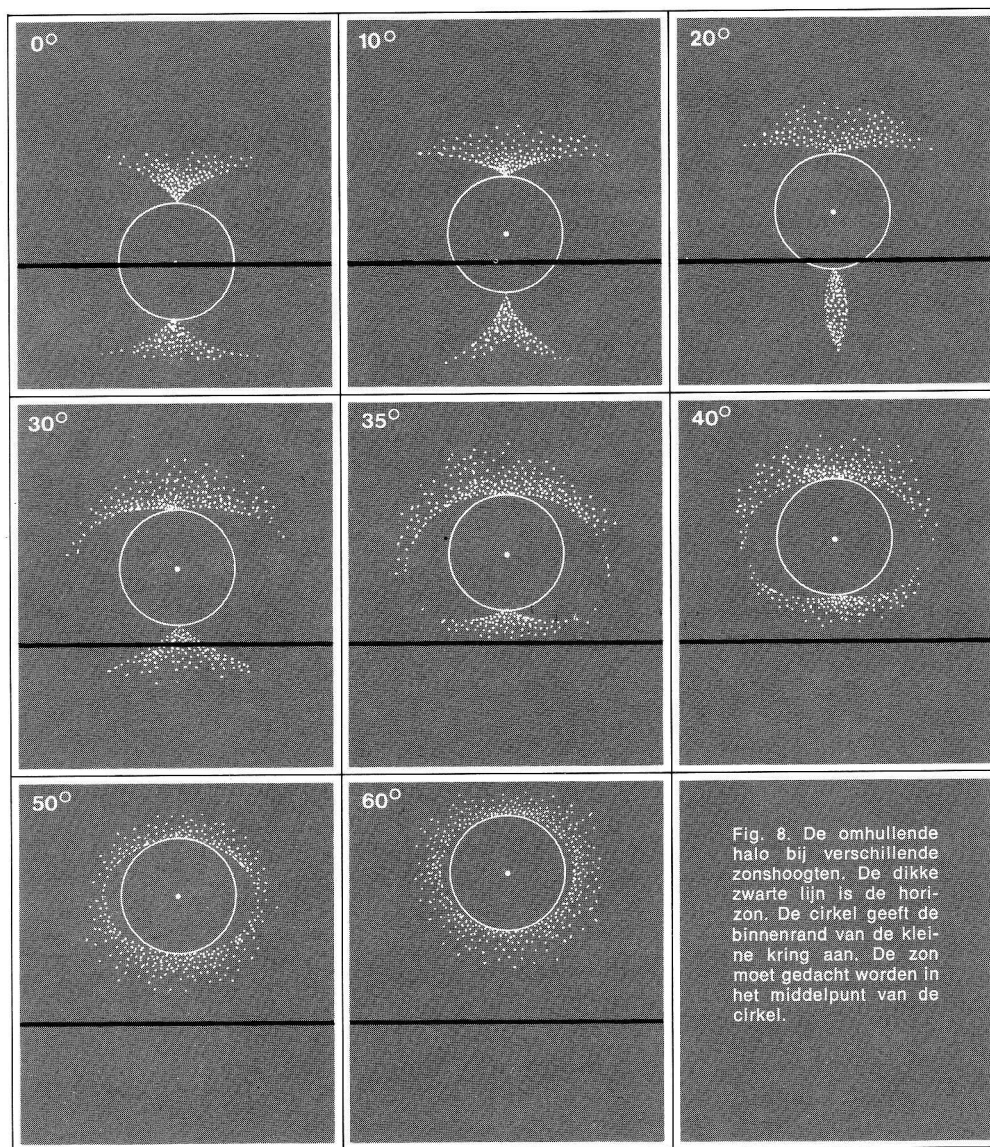
Hieronder: Fig. 7. De stralengang van licht door een prisma. De figuur bevat een overzicht van de gebruikte begrippen uit de geometrische optica. Invalshoek i , terugkaatsingshoek t en brekingshoek r worden gemeten t.o.v. de normaal. Tevens is aangegeven de kleurschifting en de waarden voor de brekingsindex n van ijs voor verschillende kleuren licht (de kleurschifting is overdreven weergegeven).



bijzon wordt gevormd, op de horizon. Het vlak van tekening van Fig. 7 is nu het horizontale vlak waarin zich waarnemer, zon en de bij de vorming van de bijzon betrokken plaatjes bevinden. De invalshoek hangt af van de stand van een plaatje in het horizontale vlak; de deviatie volgt uit Fig. 5.

We zien nu door de vaste stand van de ijskristallen de lichte vlekken alleen op de hoogte van de zon en niet, zoals bij een willekeurige

stand van de ijskristallen, overal op een afstand van 22° van de zon. De afstand tot de zon wordt ook nu bepaald door de kleinste waarde van de deviatie, die uit de grafiek van Fig. 5 is af te lezen. Hieruit kunnen we ook de maximale lengte van de staart, gevormd door lichtstralen, die meer dan het minimum worden afgebogen, aflezen: deze is gelijk aan het verschil tussen de grootste en de kleinste waarde van de deviatie, dus ruim 20° . Wanneer de zon



boven de horizon staat bevinden de lichtstralen zich niet langer in het vlak van tekening van Fig. 7. Het gevolg is dat de deviatie grotere waarden aanneemt. Hierdoor wordt de afstand tussen de zon en de bijzonnen groter. Hoe hoger de zon staat, des te groter wordt ook de kleinste waarde van de deviatie en daarmee dus ook de afstand tussen zon en bijzon (zie Tabel 1).

Theoretisch is de grootste waarde voor de afstand zon-bijzon 50° . Deze waarde wordt bereikt bij een zonshoogte van ruim 60° . De staart is dan ook helemaal verdwenen. Er zijn echter weinig waarnemingen beschikbaar voor zonshoogten van meer dan 40° , omdat de bijzonnen lichtzwakker worden naarmate de zon hoger staat.

De vaste stand van de bij de bijzonnen betrokken ijskristallen zorgt ook voor de grote kleurrijkdom van de bijzonnen. Alle lichtstralen maken dezelfde hoek met het vlak van tekening van Fig. 7. Een naar verhouding groot gedeelte van het invallende licht wordt dan onder de minimale hoek afgebogen zodat veel licht van één kleur van een klein gebied aan de hemel lijkt te komen. Bij de kleine kring is dat een veel geringer gedeelte omdat het zonlicht onder allerlei hoeken met het vlak van tekening van Fig. 7 invalt.

De omhullende halo

Een ander haloverschijnsel dat een vaste stand van de bij de vorming betrokken ijskristallen vereist, is de *omhullende halo*. Deze ontstaat wanneer zuiltjes zich in de stand van Fig. 9 bevinden, of een van de standen, die door draaiing op de aangegeven manier verkregen kan worden.

Een zuiltje in het verticale vlak door de waarnemer en de zon met de lengterichting loodrecht op dat vlak, veroorzaakt breking van de lichtstralen als in Fig. 7. Daardoor verwachten we recht boven en recht onder de zon lichte vlekken op de plaats van de kleine kring. Voor zuiltjes in andere standen en/of buiten dat vlak maken de lichtstralen een hoek met

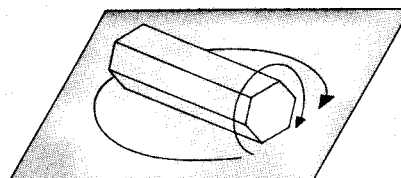


Fig. 9. Zuiltje in de stand waarin het in de atmosfeer het meest voorkomt.

het vlak van tekening van Fig. 7. Bij de bijzonnen zagen we reeds dat dan de kleinste waarde voor de deviatie toeneemt. De lichtvlekken hebben dan ook een afstand van meer dan 22° tot de zon en de omhullende halo bevindt zich dus buiten de kleine kring. De plaats waar een gebroken lichtstraal wordt waargenomen hangt nu zowel van de zonshoogte als van de stand van het zuiltje af. De resulterende vorm (met de bijbehorende lichtsterkten) is te berekenen en is weergegeven in Fig. 8 voor verschillende zonshoogtes. Steeds is de horizon aangegeven; de gedeeltes onder de horizon zijn alleen zichtbaar vanaf bergtoppen of vanuit vliegtuigen. Bij zonshoogtes tot 30° zien we twee afzonderlijke bogen: de *boven-* en de *benedenraakboog aan de kleine kring*. Boven de 30° vloeien de beide raakbogen in elkaar over en gaan geleidelijk over in een min of meer ellipsvormige kromme: de omhullende- of omgeschreven halo.

Bij een zonshoogte van 70° valt deze halo samen met de kleine kring. Voor zonshoogtes tussen de 30° en de 40° is de lichtsterkte op de hoogte van de zon zo gering, dat de omhullende halo daar nauwelijks waarneembaar is. Bij geringe zonshoogtes bevindt zich vaak een lichtsterke van de zon af gerichte witte sluier bij deze halo. Men kan die vergelijken met de staart van de bijzonnen. Dit haloverschijnsel is gewoonlijk niet erg kleurrijk; meestal is alleen een naar de zon gerichte rode of roodachtige binnenrand aanwezig.

TABEL 1. Afstand zon-bijzon voor verschillende zonshoogten.

Zonshoogte	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
Afstand zon-bijzon (minimum deviatie geel)	$21^\circ 50'$	$22^\circ 10'$	$23^\circ 4'$	$24^\circ 49'$	$27^\circ 38'$	$32^\circ 26'$	$44^\circ 38'$

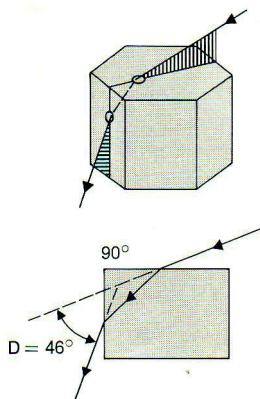


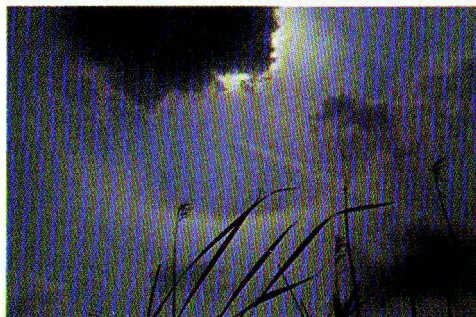
Fig. 10. De stralengang van het licht door een prisma met een tophoek van 90° . Bij deze hoek (minimumdeviatie 46°) ontstaat de grote kring.

Bij de foto's hieronder: Links. De omhullende halo van de kleine kring. Rechts: Een onderraakboog waargenomen vanuit het Heidenskip nabij Workum op 18 juli 1976.

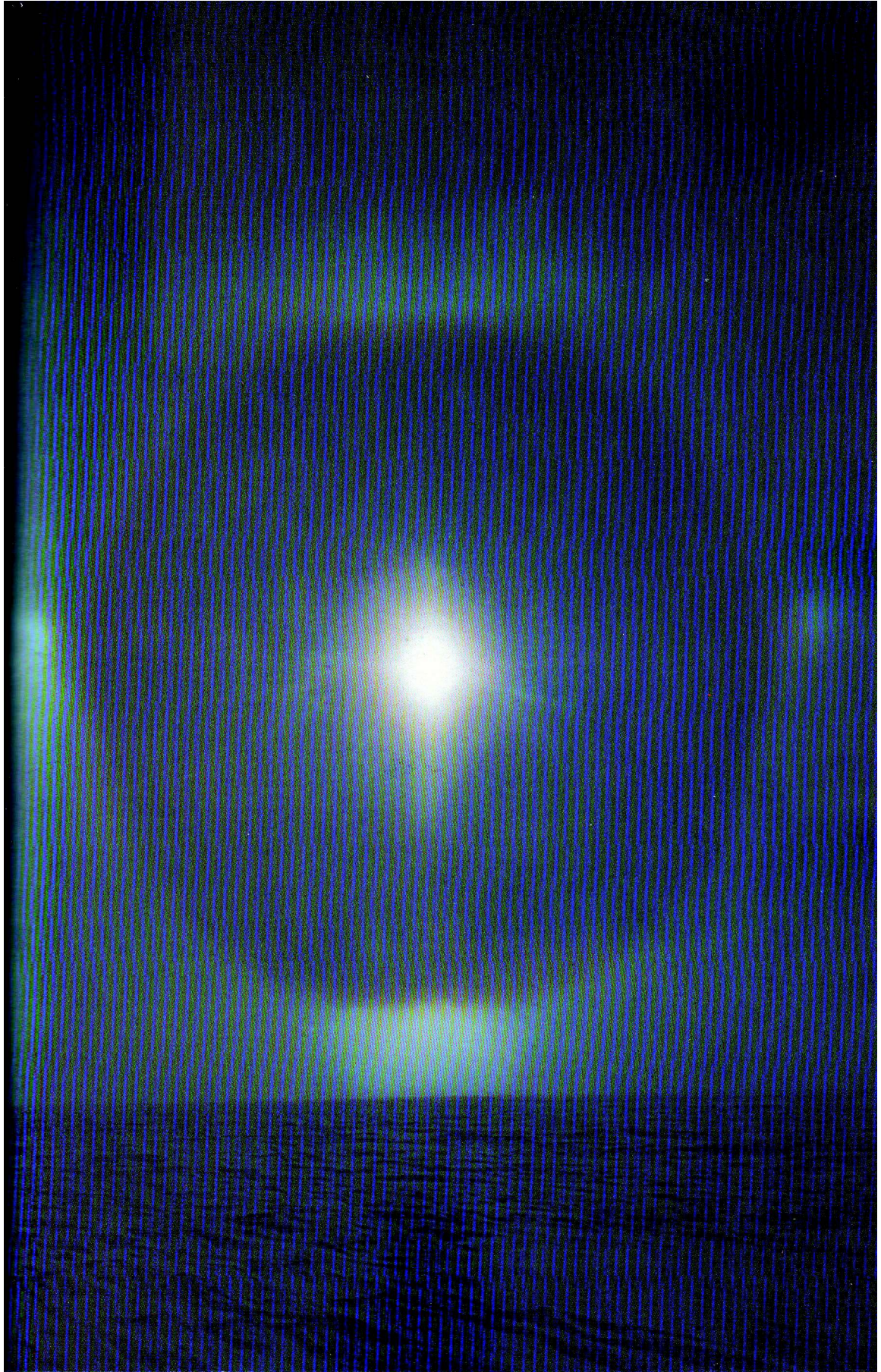
De grote kring

Tot nu toe besproken we alleen halovormen die ontstonden door breking van zonlicht in ijsprisma's met een brekende hoek van 60° . In Fig. 4 werd reeds aangegeven dat we ons in regelmatige zeshoekige kristallen ook prisma's met brekende hoeken van 90° en 120° kunnen denken. We kunnen ons afvragen of dergelijke prisma's aanleiding geven tot vergelijkbare haloverschijnselen. Voor wat betreft de brekende hoek van 120° kunnen we kort zijn. Omdat er totale terugkaatsing optreedt kan door een dergelijk prisma geen licht vallen op de manier van Fig. 7. De grootste waarde van de brekende hoek, waarvoor er nog net een gebroken lichtstraal uit het prisma treedt bedraagt $99,5^\circ$. Dit houdt in dat prisma's met een tophoek van 90° wel licht doorlaten. De minimumdeviatie van rechthoekige prisma's bedraagt ongeveer 46° (Fig. 10).

Bij een willekeurige stand van de ijskristallen kan op dezelfde manier als bij de kleine kring de *grote kring* of *kring van 46°* ontstaan. Het is een cirkel met de zon als middelpunt en een straal van 46° , die lichtzwakker is dan de kleine kring. Meestal zijn alleen gedeeltes zichtbaar. De binnenrand is rood van kleur, evenals bij de kleine kring, terwijl ook weer andere kleuren kunnen voorkomen.



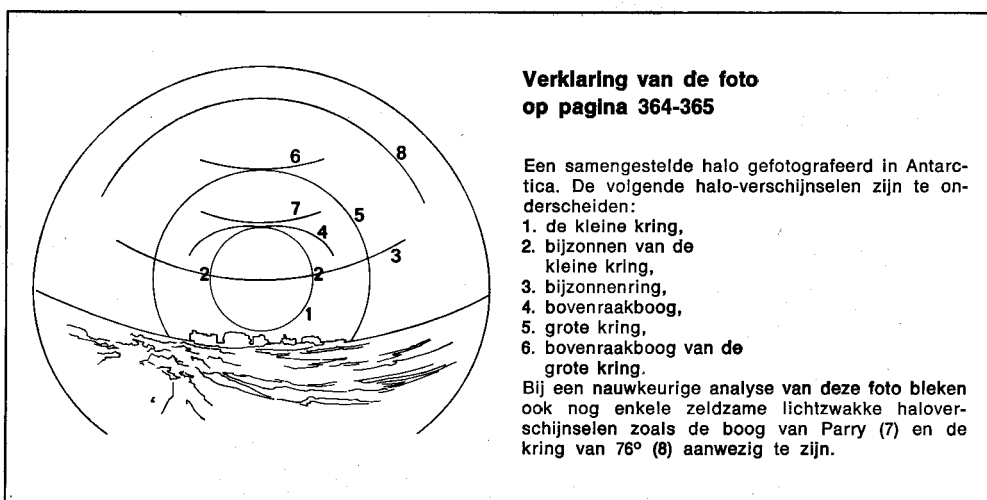
Bij de foto rechts: Een halo, waargenomen tijdens een expeditie naar Birkland in het Zuidpoolgebied. Naast de kleine kring met bijzonnen en boven- en onderraakboog is ook het kruis zichtbaar. Het kruis wordt gevormd door gedeeltes van de bijzonnenring en de zuil.



De kring van 46° komt veel minder vaak voor dan die van 22° . De bijbehorende *bijzonnen* worden haast nooit waargenomen, omdat voor het ontstaan hiervan zeldzame, samengestelde kristallen nodig zijn. Wel regelmatig waargenomen wordt de *bovenraakboog* aan de *grote kring*. De verklaring en de verandering van de vorm van deze boog met de zonshoogte verlopen ongeveer analoog aan die van de raakboog aan de kleine kring.

praktijk is hij alleen bij lage zonnestanden van de bovenraakboog aan de grote kring te onderscheiden.

Op dezelfde wijze kan ook aan de onderzijde van de grote kring de zgn. *circumhorizontale boog* ontstaan, die op zijn beurt moeilijk te onderscheiden is van de *onderraakboog* aan de grote kring. Door de hoge zonnestand die vereist is zijn deze bogen in ons land hoogst zeldzaam.



De circumzenitale boog

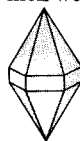
De bovenraakboog van de kring van 46° onderscheidt zich meestal weinig van de zeer kleurrijke en lichtsterke *circumzenitale boog*. Dit is een gedeelte van een horizontale cirkel om het zenit; theoretisch maximaal een halve cirkel maar gewoonlijk is er niet meer dan $1/4$ cirkel te zien. De bolle kant is naar de zon gekeerd en rood; de binnenkant is violet.

De boog ontstaat in plaatjes, die alle precies in de stand van Fig. 3a staan. De zonshoogte bepaalt de invalshoek en met de brekingswetten is de deviatie te berekenen. Alleen voor een zonshoogte van 22° raakt de circumzenitale boog aan de grote kring, omdat bij de dan optredende hoek van inval de deviatie minimaal is. Bij andere zonnestanden ligt de boog iets boven de grote kring. Bij zonshoogten van meer dan 32° verdwijnt de boog omdat dan in het ijsprisma totale terugkaatsing optreedt. In de

Kringen met ongewone straal

Eveneens zeer zelden worden kringen om de zon waargenomen met andere stralen dan 22° of 46° . Men spreekt dan van *kringen met ongewone straal*. Ze komen vaak met meerdere tegelijk voor. Hun stralen lopen uiteen van $6^\circ - 35^\circ$.

De kringen ontstaan op dezelfde manier als de kleine- en de grote kring. De vorm van de benodigde ijskristallen wijkt echter af van die in Fig. 3. Een voorbeeld geeft de figuur hieronder. In dergelijke kristallen komen brekende hoeken voor met andere waarden dan de in Fig. 4 getoonde. De bijbehorende minimumdeviaties komen weer overeen met de stralen van de kringen.



Een voorbeeld van een ijskristal zoals betrokken bij kringen van ongewone straal.

De bijzonnenring

Bij de foto hieronder: De kleine kring en de bijmanenring of paraselenische ring boven Tucson, Arizona, gefotografeerd op 14 november 1975. De ring is wit van kleur omdat hij ontstaan is door terugkaatsing waarbij geen kleurschifting optreedt.

De halo's die tot dusver beschreven werden vonden alle hun oorzaak in de breking van licht in ijsprisma's. Er bestaan echter ook halo-verschijnselen die door terugkaatsing veroorzaakt worden. Een voorbeeld hiervan is de *bijzonnenring*, ook wel parhelische ring of horizontale cirkel genoemd (met de maan als lichtbron: de bijmanenring of paraselenische ring).



Omdat bij terugkaatsing geen kleurschifting optreedt is deze ring wit van kleur. Als hij volledig ontwikkeld is heeft de ring de vorm van een band, die evenwijdig aan de horizon loopt op de hoogte van en door de zon. Hij wordt veroorzaakt door terugkaatsing van zonlicht tegen verticale zijvlakken van plaatjes of zuiltjes. De stralengang is weergegeven in Fig. 11. Omdat het spiegelend oppervlak vertikaal is, maar overigens alle standen kan aannemen, ziet een waarnemer de horizontale cirkel op dezelfde hoogte als de zon. In alle richtingen komt het spiegelbeeld van de zon dus tot stand, althans voor zover zich in die richtingen vanuit de waarnemer bezien geschikte ijskristallen bevinden. Dit behoeft natuurlijk niet altijd het geval te zijn, zodat de ring ook gedeeltelijk kan voorkomen (zie de foto op pag. 375).

De bijzonnenring dankt zijn naam aan de bij-

zonnen (o.a. die van 22° en 46°) die op de plaats van deze ring kunnen voorkomen. Zeer zelden staat recht tegenover de zon de tegenzon als een witte, wazige lichtvlek op de ring.

Onderzon, zuil en kruis

Stelt U zich voor dat U zich in een vliegtuig bevindt met onder U wolken die bestaan uit een groot aantal plaatjes. U kijkt in de richting van de laagstaande zon, waarvan het licht wordt weerspiegeld door de volkomen horizontale zeshoekige bovenzijden van de plaatjes. Hierdoor zou U behalve de zon ook een spiegelbeeld van de zon waarnemen. Als de plaatjes enigszins om hun evenwichtstand heen en weer schommelen wordt het spiegelbeeld groter, vooral in verticale richting. Een dergelijke lichtvlek, die zich even ver onder de horizon

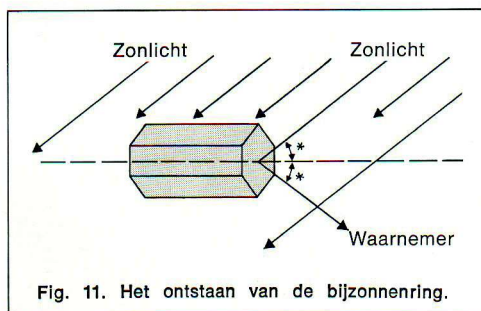


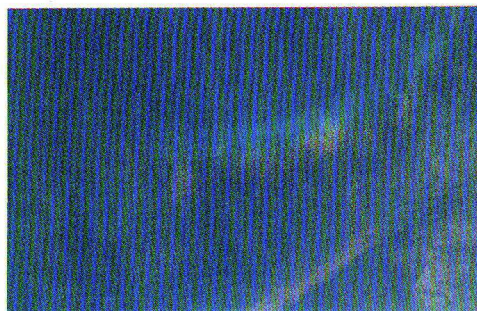
Fig. 11. Het ontstaan van de bijzonnenring.



Rechtsboven: De circumzenitale boog behoort tot de kleurrijkste haloverschijnselen.

Hierboven: Kringen met ongewone straal worden in zeldzame gevallen waargenomen. Op deze foto zijn te zien: de kring van 8° , 17° en 19° .

Rechtsonder: Een gedeelte van de bijzonnenring zoals waargenomen te De Bilt op 4 augustus 1976.



Bij de foto op de pagina hiernaast: Onderzonnen worden regelmatig vanuit vliegtuigen waargenomen. Tevens is rechts op de foto een onderbijzon zichtbaar.

bevindt als de zon erboven, noemt men een *onderzon*. Het verschijnsel kan vanuit vliegtuigen of vanaf bergtoppen worden waargenomen.

Naarmate de plaatjes bij hun schommelende beweging verder uit hun evenwichtsstand geraken, wordt de vorm van de weerspiegeling langgerechter. Op den duur ontstaat de *zuil*, een verticale lichtstreep of lichtpluim, die zowel boven als onder de zon kan worden waargenomen. Hij heeft dezelfde kleur als de zon, wit, maar vaak ook oranje of rood bij de lage zonnestanden waarbij hij het meest wordt waargenomen.

De zuil kan behalve door plaatjes ook gevormd worden door zuiltjes, die zich in een van de standen van Fig. 9 bevinden. In ieder geval moeten op deze manier de zuilen bij hogere zonnestanden worden verklaard, omdat plaatjes dan niet meer tot de vorming van een zuil in staat zijn. Komt de zuil tegelijk voor met een gedeelte van de bijzonnenring, dan zien we een *kruis* door de zon. Aan dit haloverschijnsel werd in het verleden bijzondere, symbolische betekenis gehecht.

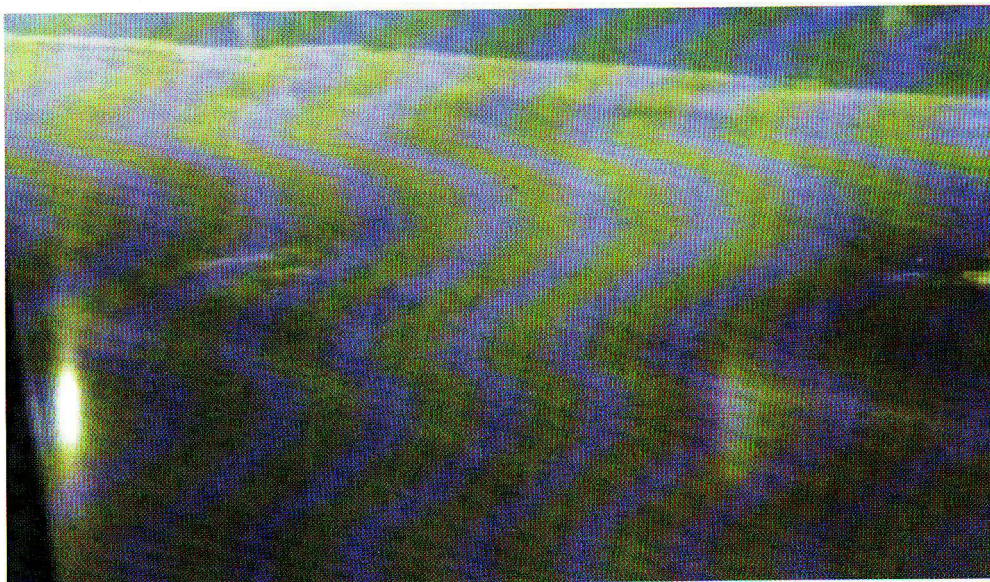
Een versterking van de lichtsterkte van de zuil kan plaatselijk optreden, bijv. door een toevallig voorbijtrekkende veel dichtere cirruswolk. Het zonlicht wordt daar sterker teruggekaatst dan elders het geval is, zodat het lijkt alsof er twee zonnen aan de hemel staan. Men spreekt dan van dubbele zon.

Frequentie van haloverschijnselen

De meeste van de beschreven haloverschijnselen kunnen regelmatig worden waargenomen. We beschikken over getallen voor het gemiddeld aantal dagen per jaar waarop een bepaald haloverschijnsel in ons land kan worden gezien. Deze staan vermeld in Tabel 2, samengesteld op grond van waarnemingen verricht tussen 1918 en 1953. In die tijd was er in ons land een uitgebreid net van vrijwillige waarnemers gevestigd. Daardoor ontstond een verzameling waarnemingsgegevens die uniek is in de wereld.

Bij de verklaring van haloverschijnselen moet men rekening houden met de in de tabel vermelde resultaten. Zo mogen halo's die regelmatig voorkomen geen zeldzaam gevormde ijskristallen of unieke atmosferische omstandigheden vereisen en omgekeerd. De kleine kring, die zeer vaak voorkomt, stelt dan ook geen hoge eisen: zowel plaatjes als zuiltjes voldoen en omdat deze kristallen willekeurige standen mogen innemen, behoeft de atmosfeer ook niet rustig te zijn. Men kan zich afvragen waarom de kleine kring dan niet in alle ijswolken voorkomt. Dat komt, omdat niet alle ijsbestanddelen een geschikte vorm hebben.

Sneeuwsterretjes en bolvormig samengevoegde kristallen breken het licht niet als een prisma. Bij te kleine ijskristallen dooft buiging de



haloverschijnselen uit. Bovendien verdampen de hoeken van de ijsprisma's het eerst, zodat afgeronde vormen ontstaan en de ijskristallen in deze wolken niet langer als prisma fungeren.

Haloverschijnselen die minder dan 5x per jaar voorkomen werden niet in de tabel opgenomen. De meeste besproken haloverschijnselen zijn, met enkele andere, samengevat in Fig. 1. Ze worden weergegeven door een punt of een kromme, die aangeeft waar de lichtsterkte van het betrokken haloverschijnsel het grootst is. De natuur verschaft ons echter een zo grote rijkdom aan haloverschijnselen dat niet naar volledigheid gestreefd kon worden. Hiervoor raadplege men de in de literatuur genoemde boeken van Visser of Tricker.

Halofamilies

Sommige haloverschijnselen vertonen zich vaak gelijktijdig aan de hemel. Een voorbeeld hiervan is de circumzenitale boog en de bijzonnen aan de kleine kring. Men spreekt in zo'n geval van *verwante halo's* of van *halo-families*. De verklaring wordt gevonden in het feit dat ze onder dezelfde omstandigheden ontstaan; in ons voorbeeld bij aanwezigheid van zwevende plaatjes in de stand van Fig. 3a. Het verschaft tevens een extra mogelijkheid om de bovenraakboog van 46° en de circumzenitale boog te onderscheiden: als er tevens bijzonnen voorkomen mag men wel aannemen dat men te doen heeft met een circumzenitale boog.

Het waarnemen van halo's

Om vaak halo's te zien moet men uiteraard vaak naar de lucht kijken. Kijk echter nooit in de zon; het is onaangenaam, slecht voor de ogen en men wordt verblind. Het beste kan men de hand voor de zon houden of op een zodanige plaats gaan staan dat de zon achter een boom, een schoorsteen of de punt van een dak verdwijnt. Het zoeken naar haloverschijnselen heeft alleen zin als er geschikte bewolking aanwezig is: *cirrostratus* (melklucht), *cirrus* (windveren), *aambeelden van cumulonimbuswolken* (buien- en onweerswolken) en *cirrocumulus* (kleinste schaapjeswolken).

Deze wolken bevinden zich alle op grote hoogte (gewoonlijk meer dan 5 km) en bestaan uit ijskristallen, die voor de vorming van halo's noodzakelijk zijn. Het kunnen herkennen van deze bewolking maakt gericht waarnemen mogelijk. Gebruik zo nodig de wolkenatlas van het KNMI om ermee vertrouwd te raken.

Rechts: De zuil is een verticale lichtstreep of lichtpluim die zowel boven als onder de zon kan worden waargenomen.

TABEL 2. Gemiddeld aantal halodagen in Nederland (1918-1953)

Kleine kring	215
Bijzonnen 22°	78
Boven/benedenraakboog en omhullende zuil	64
Zuil	33
Bovenraakboog grote kring en circumzenitale boog	33
Grote kring	17
Bijzonnenring	16
Totaal aantal halodagen	232
N.B.: Haloverschijnselen die minder dan 5 x per jaar voorkomen zijn niet in de tabel opgenomen.	

Verder is het van belang om te weten waar de haloverschijnselen zich aan de hemel kunnen voordoen. Men kan het beste beginnen met te zoeken naar de kleine kring; hij is gemakkelijk te herkennen en is in 9 van de 10 gevallen dat er halo's te zien zijn aanwezig. Kijk verder of er soms bijzonnen aan de kleine kring zijn: ze komen vaak voor en zijn door hun grote lichtsterkte en kleurenrijkdom gemakkelijk te vinden.

De getallen uit Tabel 2 kunnen aanleiding geven tot misverstanden. Ze zijn gebaseerd op gegevens van ervaren waarnemers, die ook weten waar ze lichtzwakke, minder opvallende haloverschijnselen moeten zoeken.

Verder zijn op de voor de tabel gebruikte halodagen ergens in ons land dergelijke halo's gezien. Een tabel, die betrekking zou hebben op één bepaalde plaats in ons land zou dus

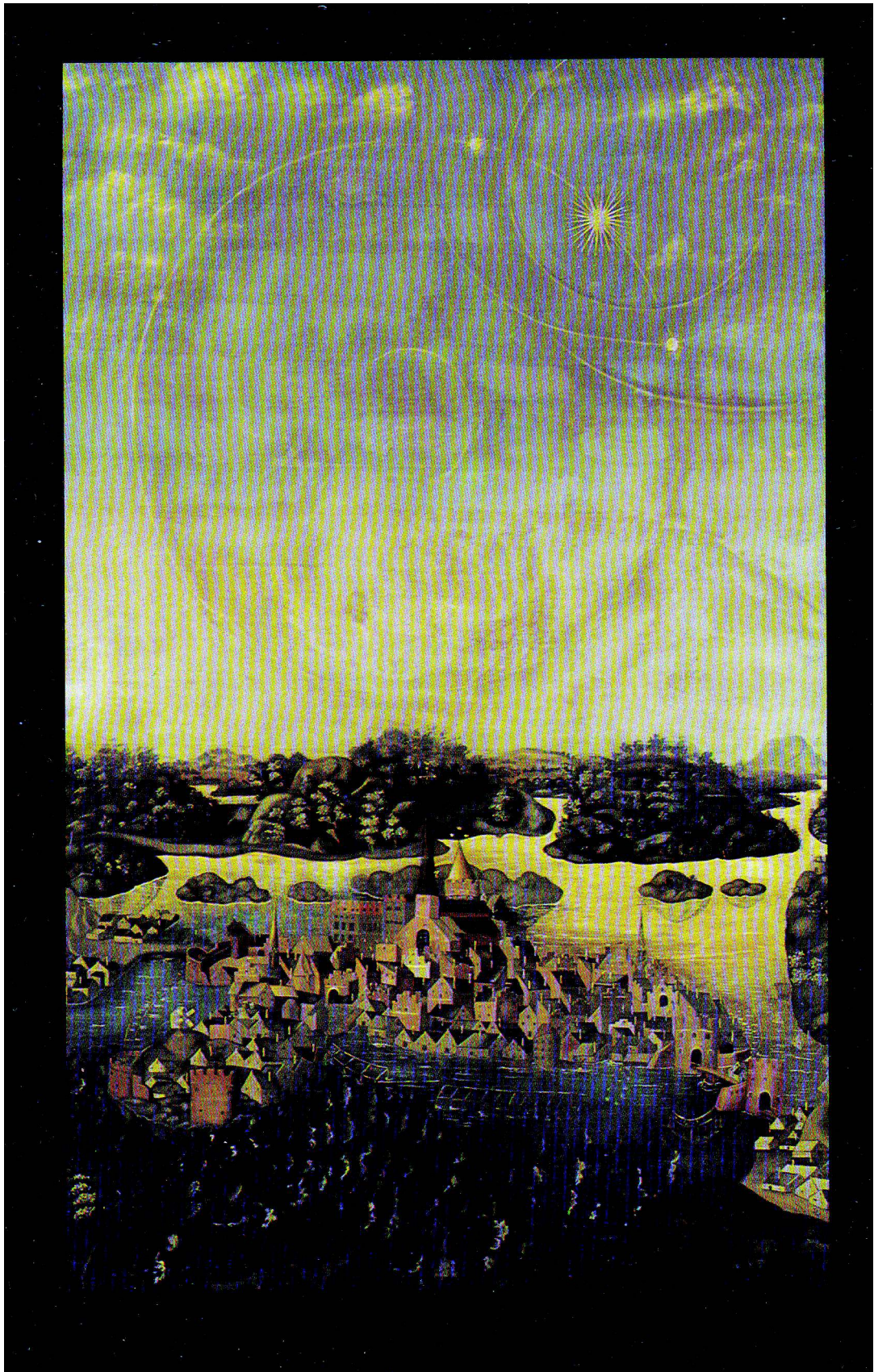


zeker kleinere getallen bevatten. Desondanks komen er toch zo dikwijls halo's voor dat je je afvraagt hoe het komt dat zovelen een dergelijk verschijnsel nooit gezien hebben.

Wil men iets nauwkeuriger speuren naar of rapporteren over haloverschijnselen, dan is het noodzakelijk om hoeken te meten of te schatten. Men moet zich hierbij bewust zijn van bepaalde moeilijkheden die iedereen ondervindt bij het uitvoeren van dergelijke schattingen. Zo doet het hemelgewelf zich aan ons voor als een afgeplatte bol waardoor zon en maan aan de horizon veel groter lijken dan bij een hoge stand aan de hemel. Door dezelfde beoordelingsfout wordt de kleine kring soms peervormig afgebeeld en wel naar beneden toe verlengd. Men overschat dan de onderste helft

t.g.v. de schijnbare afplatting van het hemelgewelf.

Suggesties om dergelijke schattingsfouten op eenvoudige wijze en met eenvoudige hulpmiddelen te voorkomen of te verkleinen bevatten de in de literatuur genoemde boeken van Minnaert en Visser. In ieder geval is het volgende handig om te weten. De schijnbare doorsnede van de zon of de maan bedraagt $0,5^\circ$ (vergeleijk de straal van de kleine kring; 22° , dus doorsnede 44°). De plaats van de kleine kring kan als volgt gemakkelijk gevonden worden. Men steekt zijn arm recht vooruit in de richting van de zon en strekt de vingers van de hand zodanig, dat de toppen van pink en duim zo ver mogelijk van elkaar verwijderd zijn. De straal van de kleine kring is dan iets groter dan de afstand tussen die toppen.



Fotograferen van halo's

Waarnemen van halo's schenkt nog meer vol-
doening in combinatie met het fotograferen er-
van. Steeds moet men er voor zorgen dat de
zon is afgedekt en de opnamen enigszins wor-
den onderbelicht. Bij zwart-wit opnamen is ge-
bruik van een filter noodzakelijk. Een rood-
filter verdient de voorkeur, hoewel ook een
geel-filter of een oranje-filter bevredigende re-
sultaten kunnen geven.

Bij gebruik van groothoeklenzen krijgt men
een groter gedeelte van de hemel op de foto.
Om een volledige kleine kring op een dia te
krijgen is een objectief vereist met een brand-
puntafstand van 28 mm of minder. Met zgn.
fish-eye lenzen kunnen ook uitgebreider halo-
verschijnselen worden gefotografeerd, maar de-
ze objectieven zullen meestal buiten het bereik
van de amateur liggen. Wil men toch een groot
gedeelte van de hemel in beeld krijgen, dan
kan een ronde kerstbal gebruikt worden. De
uitbreiding van het gezichtsveld brengt vervor-
ming met zich mee, maar dat geldt m.i. niet
alleen voor deze goedkope oplossing.

Haloverschijnselen en volkswijsheid over het weer

De kleine kring staat bekend als voorbode
van slecht weer: regen en/of storm. In de volks-
wijsheid over het weer vindt men dat terug:

- kring om de zon, water in de ton;
- kring om de maan kondigt regen aan.

Nog bekender is een gecombineerde vorm, die
echter het bovenstaande gedeeltelijk tegen-
spreekt:

- kring om de maan, dat zal wel gaan
kring om de zon huilen vrouw en kinderen
om.

Afgezien van die onderlinge tegenspraak is
ook niet in te zien waarom een kring om de
zon een andere betekenis zou moeten hebben
dan een kring om de maan. De kring van 22°
geldt ook als voorbode van regen in:

- hoe groter de kring, hoe dichterbij de regen.

Men bedoelt hiermee dat de kring van 22°
regen aankondigt, de krans niet. De krans be-
staat uit een of meer gekleurde ringen in de
onmiddellijke nabijheid van de zon of de maan
en behoort niet tot de haloverschijnselen. Mis-
schien berust de bovengenoemde onderlinge te-
genspraak in een van de weerregels eveneens
op het feit dat in die regels de krans en de
kring soms beide 'kring' genoemd worden.

Overigens is het verband dat gelegd wordt
tussen kringen en regen of storm wel begrijpe-
lijk. Warmtefronten, die voor en tijdens hun
passage regen kunnen brengen, kondigen zich
in de bovenlucht meestal aan door cirrus of
cirrostratus. Behoort het warmtefront bij een
depressie waarvan de baan in de buurt van ons
land of van de Noordzee ligt, dan is ook de
koppeling met storm duidelijk. Men kan deze
zaken echter niet omkeren, met andere woor-
den halo's kondigen niet noodzakelijkerwijze
regen of storm aan. Onderzoekingen toonden
dit aan. Wel lieten zij de mogelijkheid open
dat zeer duidelijk waarneembare lichtsterke
kringen vaker gevolgd worden door regen dan
gemiddeld. Dit zou kunnen samenhangen met
het feit dat het geleidelijk dikker wordende
cirrostratusdek, dat aan de passage van het
warmtefront voorafgaat, kennelijk zeer geschikt
is voor het zich ontwikkelen van lichtsterke,
langdurig zichtbare kringen. Moge de volks-
wijsheid niet geheel uit de lucht zijn gegrepen,
de betekenis voor de weersverwachting is uiterst
gering en kan gerust verwaarloosd worden.

Bij de foto links:

De Stockholmse halo van 20 april 1535 naar een schil-
derij in de Grote Kerk te Stockholm. Het verschijnsel
is niet zo afgebeeld als een waarnemer het kan zien,
veeleer is een weergave zoals ook gebruikt als in
de figuur op pag. 366 op het schilderij aangegeven.

Literatuur:

- Minnaert, M., 1969. *De natuurkunde van het vrije veld*,
Zutphen. (halo's: deel 1; wolken: deel 2; hoekme-
tingen: deel 3).
Scorer, R., 1972. *Clouds of the world*, Lothian Publ.
Co. Melbourne / David and Charles, Newton Abbot.
Tricker, R. A. R., 1970. *Introduction to Meteorological
Optics*, London.
Visser, S. W., 1957. *Optische verschijnselen aan de
hemel*, Den Haag.

Bronvermelding Illustraties:

- R. Scorer, pag. 366-367, 370-371 onder, 374 links, 378
rechtsboven en linksonder, 379, 381.
E. Schulthess, pag. 364-365, 375.
D. O. Staley, pag. 377.
Stadsmuseum Stockholm, pag. 382.