

Optische verschijnselen op tekeningen en prenten

Regenbogen, kringen om de zon en andere optische verschijnselen in de dampkring vormen dankbare onderwerpen voor waarnemers in het vrije veld. Tegenwoordig wapent men zich met fotocamera's om de verschijnselen vast te leggen; in het verleden was men uitsluitend aangewezen op tekeningen. De sterk uiteenlopende omvang van de verschijnselen, nu eens een fractie van het gezichtsveld, dan weer vrijwel de gehele hemel omspannend en dus veel groter dan de normale gezichtshoek, plaatste de tekenaar meestal voor grote problemen. We laten hier een aantal voorbeelden zijn van wat er zoal mis kan gaan.

C. Floor

Optische verschijnselen in de dampkring doen zich voor wanneer licht van richting wordt veranderd. Meestal gaat het om licht van de zon, maar soms ook om maanlicht, of (bij luchtspiegelingen) om licht dat wordt uitgezonden door voorwerpen aan het aardoppervlak. Kleine richtingsveranderingen van het licht resulteren in verschijnselen die vrijwel in dezelfde richting worden waargenomen als de lichtbron. Ze worden gewoonlijk veroorzaakt door dichtheidsverschijnselen in de atmosfeer. Voorbeelden zijn luchtspiegelingen,

Halo van 8 maart 1610 te Kampen.

gen boven een warm oppervlak en de vervormingen van de zonneschijf bij laagstaande zon.

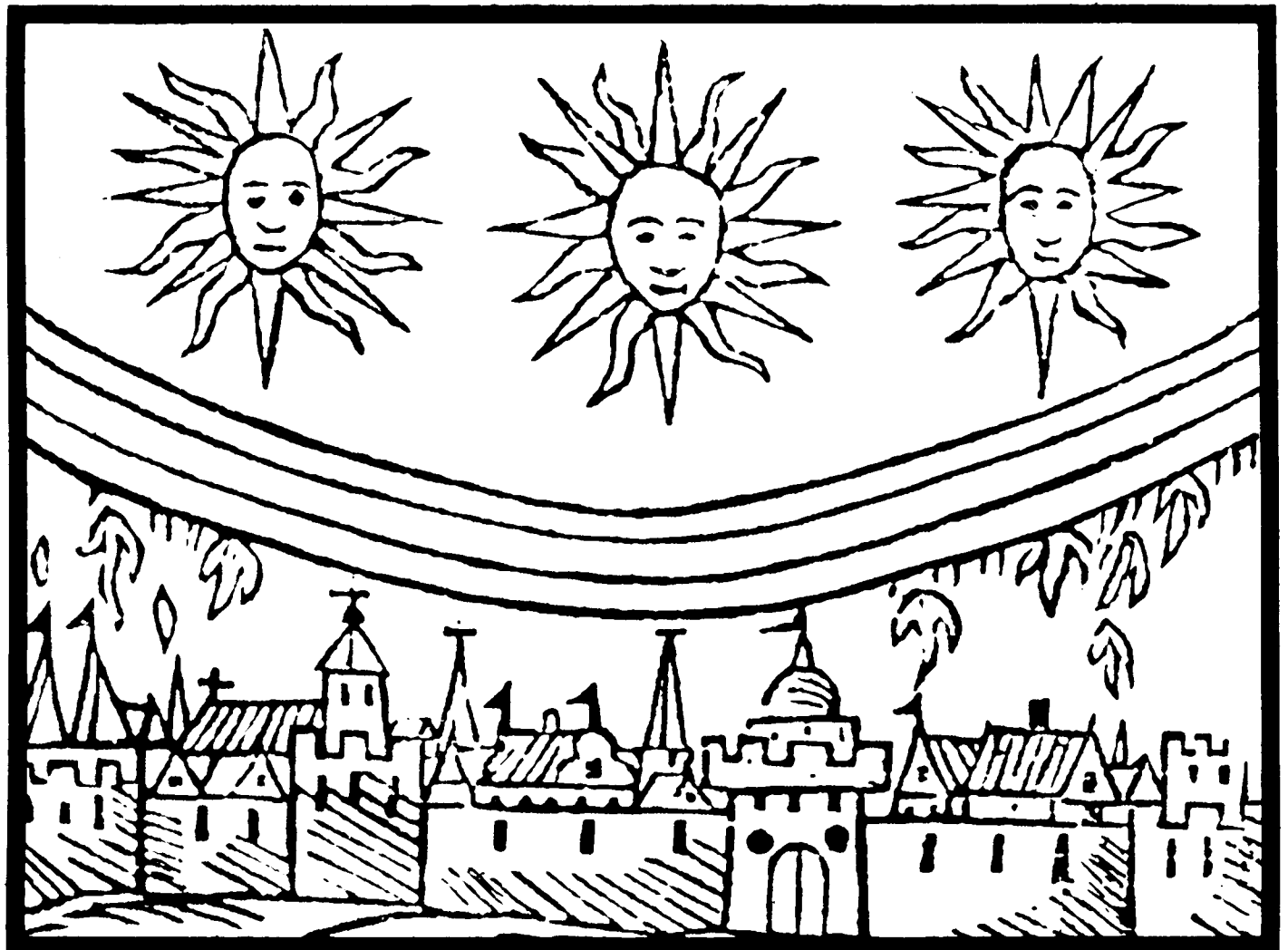
Grotere richtingsveranderingen van zonlicht treden op in ijskristallen. Deze fungeren als prisma's met een tophoek van 60° . De bijbehorende richtingsverandering bedraagt 22° en veroorzaakt verschijnselen als de kring van 22° (de kleine kring) of de bijzonen van 22° , het meest voorkomende type bijzon. In kristallen zijn echter nog allerlei andere lichteffecten mogelijk, die aanleiding geven tot verschijnselen op vrijwel elke plaats van de hemelkoepel, maar deze zijn beduidend zeldzamer dan de halo's van de 22° -familie.

Nog verder van de zon af, aan het tegenoverliggende deel van de hemelkoepel, vindt men, als de omstandigheden zich daartoe le-

nen, de regenboog. De richtingsverandering van het zonlicht bedraagt in dit geval 138° en wordt veroorzaakt door bolvormige regendruppels. Op deze manier ontstaat een cirkelvormige boog met een straal van 42° rond het tegenpunt van de zon, dat als middelpunt optreedt. Het verst van de zon af, vrijwel in het tegenpunt van de zon, vindt men de glorie. De glorie is een buigingsverschijnsel dat zichtbaar is in wolkendruppeltjes, bijvoorbeeld vanaf een bergtop of vanuit een vliegtuig. Het verschijnsel bestaat uit een aantal gekleurde ringen rond de schaduw van een waarnemer.

Regenbogen

Afbeeldingen van regenbogen vindt men op talloze tekeningen en schilderijen. In het verleden was het werkelijk voorkomen van dit overbekende natuurverschijnsel vaak ondergeschikt aan de symbolische betekenis die eraan werd toegekend (Rösch, 1960). Middeleeuwse schilderijen tonen vaak een uit twee of drie kleuren bestaande boog, terwijl zelfs een oppervlakkige waarnemer al gauw vijf of zes regenboogkleuren kan opnoemen, misschien zelfs in de juiste volgor-



de. Maar ook zwart-wit afbeeldingen, waarbij er met de kleuren weinig fout kan gaan, tonen soms onmogelijke regenboogbeelden. De boog op Joseph Hechts tekening *Ark van Noach* bijvoorbeeld is erg klein, evenals de boog op Dürers *Melencolia I* (zie de betreffende figuren). In beide gevallen gaat het om een halve cirkel. De afstand tussen beide banen van de boog (twee maal de straal van 42° , dus 84°) bedraagt bijna 90 booggraden, dat is ongeveer een kwart van de omvang van de gezichtseinder. De boog van Hecht past al twee maal op de afgebeelde horizon; niets in de tekening suggereert dat het gezichtsveld van de tekenaar 180° bedroeg.

Ook schaduwen ontbreken op de tekening; ze zijn niet strikt noodzakelijk, maar vaak bevindt de waarnemer of zijn directe omgeving zich wel in de zon en wijzen de schaduwen naar het middelpunt van de regenboog. Het linkerbeen van Hechts boog lijkt zich dichterbij de waarnemer te bevinden dan het rechterbeen. Dit is mogelijk wanneer de voorste begrenzing van de regen in die richting dichterbij is. Uit het bewolkingspatroon valt dit echter niet op te maken. Bovendien wordt in de natuur de suggestie dat de boog scheef staat, zoals de tekening doet vermoeden, nooit gewekt. Op Dürers *Melencolia I* is de zon afgebeeld aan de binnenzijde van de regenboog. In werkelijkheid staat de boog rond het tegenpunt van de zon en moet men de zonnescijf achter de rug van de tekenaar zoeken, dus niet in de tekening.

Kriteria

Tekeningen van regenbogen kan men vergelijken met foto's of dia's. Ik heb dat een aantal malen gedaan, samen met leerlingen van de achtste groep van een basisschool. In eerste instantie vergeleek ik de regenboogtekeningen, die de leerlingen gemaakt hadden, onderling. Daarbij werd gelet op de volgende punten:

- De vorm: een boog, dus een deel van een cirkel. Dit kenmerk is algemeen bekend en dus op alle tekeningen terug te vinden.
- De kleurenrijkdom, het bekendste kenmerk en ook weer op alle tekeningen aanwezig.
- Hoeveel kleuren en welke? Nu beginnen er verschillen te ontstaan tussen de tekeningen. Het aantal kleuren varieert gewoonlijk van drie tot acht. Dit is een moeilijk punt. U heeft natuurlijk wel eens gehoord van de zeven kleuren van de regenboog, maar kunt u ze alle zeven opnoemen? De regenbogen op de plastic tasjes van C&A hebben zes kleuren; op middeleeuwse schilderijen meestal twee of drie. Moeten we zwart (soms op de tekeningen toegepast) meetellen als kleur?
- De volgorde van de kleuren. Ook hier le-

Zon en bijzonnen (1557).



Joseph Hecht: *Ark van Noach* (Print Room, New York Public Library)

veren de tekeningen verschillende resultaten. Het is niet altijd makkelijk om de volgorde van vier kleuren te vergelijken met de volgorde van acht kleuren. Wel kun je dan bijvoorbeeld opmerken dat de ene regenboog een rode buitenrand heeft, terwijl bij de andere het rood ergens middenin zit. Staan de kleuren op het plastic tasje van C&A in de goede volgorde? Dan laten sommige tekeningen die ik kreeg ook een goede volgorde zien. Andere tekeningen wijken evenwel sterk af.

- Regen of donkere lucht of een donkere regenwolk komen op een groot aantal tekeningen voor. Bij andere tekeningen is er echter geen spoor van te bekennen.
- Ook de zon is op veel tekeningen aanwezig. Op sommige tekeningen staat de zon ergens binnen de regenboog; bij andere weer erbuiten, vaak in een hoekje van het papier. Op weer andere tekeningen ontbreekt de zon helemaal. Hoort zij er niet bij, is zij vergeten of valt zij buiten het gezichtsveld van de tekening?
- Hoe groot is de regenboog? Bij de één is het maar een klein onooglijk boogje, dat makkelijk op de tekening past. Bij de ander is het een wijde boog, die een groot gezichtsveld vereist.
- Hoe ver staat de regenboog weg? Ook daarin verschillen de tekeningen. Nu eens begint de boog aan of achter de horizon, dan weer staat hij vlak bij en loopt ver vóór de horizon door (bijvoorbeeld voor een huis of een ander voorwerp op geringe afstand).

Wanneer de tekeningen zijn bekeken, worden er dia's bijgehaald. We bekijken ze vanuit dezelfde invalshoeken:

- De vorm van de regenboog op de dia is op het oog al te herkenne als een deel van een cirkelboog.
- De kleurenrijkdom is op de meeste opnamen van regenbogen goed te zien. Er zijn echter uitzonderingen (zie kader over kleurarme regenbogen).
- Hoeveel kleuren en welke? Nu begint het moeilijk te worden. Meteen valt het op dat de verschillende kleuren in de tekening veel makkelijker te onderscheiden zijn dan op de

dia's, waar de kleuren geleidelijk in elkaar over lopen en nooit door zwarte lijntjes gescheiden zijn. Soms is het niet eens te zeggen of er oranje zit tussen het rood en het geel. Verder blijkt op sommige dia's het blauw en violet aan de binnenzijde duidelijk zichtbaar te zijn, terwijl het op andere opnamen ontbreekt.

Aan de binnenzijde van het bovenste stuk van de regenboog zijn soms zogenaamde 'overtallige bogen' zichtbaar, kleurherhalingen in roze en turquoise of violette tinten. Moeten we die meetellen bij het aantal kleuren? Het is duidelijk dat we over het aantal kleuren van een regenboog maar beter geen uitspraken kunnen doen. Of het zou moeten zijn dat het aantal wisselt van boog tot boog. Overigens, de zogenaamde zeven kleuren van de regenboog zijn: rood, oranje, geel,

Kleurarme regenbogen

Een regenboog is gewoonlijk een kleurrijk verschijnsel. Er zijn echter drie uitzonderingen.

- Rond zonsopkomst en zonsondergang, als de zon rood gekleurd is, is de regenboog alleen rood. De regenboog toont namelijk de kleuren van het zonlicht en omdat de kleur van de laagstaande zon rood is, mogen we in de regenboog dus geen andere kleuren verwachten.
- Wanneer de druppels waarin we de regenboog zien erg klein zijn, zoals bij een regenboog in de mist (mistboog), vervagen de kleuren. Dan is alleen de rode buitenrand nog redelijk zichtbaar.
- Bij maanlicht kan soms ook een regenboog worden waargenomen. Nu ontbreken de kleuren (met uitzondering van een rode buitenrand) omdat het oog bij geringe lichtsterktes niet op kleuren reageert.



Albrecht Dürer: Melencolia I (1514).

groen, blauw, indigo en violet. Hierbij dient het indigo om het aantal kleuren van de regenboog op het 'heilige' getal 7 te brengen.

- De volgorde van de kleuren werd zojuist al even genoemd. De volgorde is dezelfde als de volgorde van de kleuren van het spectrum (als we een spectrum uitleggen als de kleuren van de regenboog geeft dat natuurlijk een cirkelredenering). De volgorde op het plastic tasje van C&A is dan goed. Als er 'overtallige bogen' optreden is het natuurlijk moeilijk om van een kleurvolgorde te spreken, omdat er dan herhalingen van kleuren optreden.

- Regen is op dia's van een kleurenboog moeilijk te zien, maar een donkere lucht of een buienwolk wel. Meestal komt de regenboog beter uit tegen de donkere achtergrond van de buienwolken dan tegen de blauwe hemel, die soms onder de wolk door achter de regen te zien is.

- De zon komt op een dia van een regenboog nooit voor. De fotograaf heeft de zon steeds in de rug. Wel is uit de foto's soms op te maken dat de fotograaf met zijn rug naar

de zon stond: de schaduwen op de foto wijzen dan vooruit in de richting van het 'middelpunt' van de regenboog.

- De grootte van de regenboog is alleen te zien op dia's die met een 'supergroothoeklens' gemaakt zijn, met andere woorden: het gezichtsveld op de opname is extra groot. Een regenboog beslaat bij lage zonnestanden bijna een kwart van de horizon. Ons helemaal rondraaiend kunnen we dan op de horizon slechts vier regenbogen afpassen. Wanneer we dit in gedachten houden blijken de getekende regenbogen vaak te klein. Dat zagen we bijvoorbeeld ook al bij de eerder genoemde regenboog-afbeeldingen van Hecht en Dürer.

- Hoe ver staat de regenboog weg? Op deze vraag kan geen eenduidig antwoord gegeven worden. De regenboog vormt zich in regen die door de zon beschenen wordt en door een waarnemer onder de goede hoek wordt gezien. Is de regen alleen dichtbij, dan moet de boog ook dichtbij zijn. Is de regen alleen ver weg, dan is de boog ook ver weg. Eigenlijk bevindt de regenboog zich niet op een bepaalde plaats, maar is hij overal in de richting waar we hem zien, voor zover zich daar tenminste door de zon beschenen regen bevindt.

Soms is er aan de hand van foto's van regenbogen wel iets over de afstand tot de boog op te merken. Dit is het geval als er een huis of een ander gebouw op de dia staat, waar de regenboog nog vóór langs loopt. Wel is de regenboog vóór zo'n object minder duidelijk dan erboven. Dat komt doordat in het ene geval alleen de druppels tussen de waarnemer en het gebouw bijdragen aan het licht van de regenboog. In het andere geval dragen alle druppels in de gezichtslijn mee aan de vorming van de boog.

- Sommige foto's van regenbogen laten zien dat het regenboogverschijnsel meer omvat dan alleen de grote, kleurrijke boog waarover we tot nu toe spraken. Naast deze boog (de *hoofdrengenboog*) bestaat het volledige verschijnsel uit nog een tweede boog (de *bijregenboog*) en een karakteristiek donker gebied tussen de beide regenbogen (zie ook kader 'Het regenboogverschijnsel').

De positie van waarnemer, zon en regenboog

Een waarnemer die een regenboog ziet, staat met zijn rug naar de zon. De vorm van de boog is een gedeelte van een cirkelboog. Het middelpunt van deze cirkel ligt tegenover de zon en even ver onder de horizon als de zon erboven staat. Als je je ene arm in de richting van het middelpunt van de regenboog laat wijzen en je andere arm in de richting van een punt op de regenboog, dan maken je armen een hoek van 42° .

De middellijn van de regenboog (tweemaal de straal) bedraagt 84° . Als de zon zeer laag staat, staan de benen van de regenboog dus 84° van elkaar af. Dat is bijna een kwart van de horizon.

Halo's

Bijzonnen, kringen om de zon en afbeeldingen van uitzonderlijk fraaie en omvangrijke haloverschijnselen komt men op oude prenten nog wel eens tegen. Op sommige afbeeldingen schijnen de bijzonnen even fel te stralen als de zon zelf. Een voorbeeld geeft de tekening uit een in 1557 te Basel uitgegeven werk van Lycosthenes. De drie zonnen staan vrolijk naast elkaar aan de hemel. De verhouding tussen de diameter van de zonneschijf en de afstand tussen zon en bijzon is helemaal zoek. De afstand bedraagt namelijk 22 graden, terwijl de diameter van de zon ongeveer een halve graad bedraagt. De bewolking op de tekening lijkt wat zwaar; bijzonnen zijn in de natuur het duidelijkst te zien in cirrusbewolking (dunne windveren) of in zogeheten cirrostratus (melkclucht).

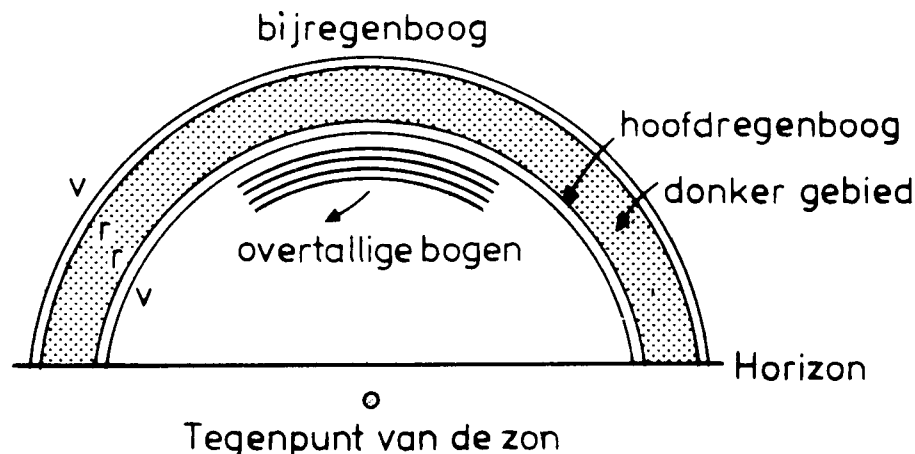
Een zelfde combinatie van zon en bijzonnen vindt men op de oudst bekende Nederlandse halotekening. Deze 'halo van Kampen'

Het regenboogverschijnsel

Het regenboogverschijnsel houdt meer in dan de bekende kleurrijke heldere boog, de zogenaamde hoofdrengenboog. Dikwijls is een tweede boog te zien, de zogenaamde bijregenboog. Deze staat evenals de hoofdboog tegenover de zon. Hij is lichtzwakker dan de hoofdboog, wordt daarom minder vaak opgemerkt en is daardoor minder bekend.

De bijregenboog is groter dan de hoofdrengenboog, de straal bedraagt 51° . De kleurvolgorde van de bijregenboog is tegengesteld aan die van de hoofdboog: de rode rand (r) zit aan de binnenkant, de violette rand (v) aan de buitenkant. Tussen de beide bogen is de hemel donkerder dan binnen de hoofdboog en buiten de bijboog.

Ook de lichtsterkteverdeling is op te vatten als een onderdeel van het regenboogverschijnsel.



Schematische voorstelling van het volledige regenboogverschijnsel.

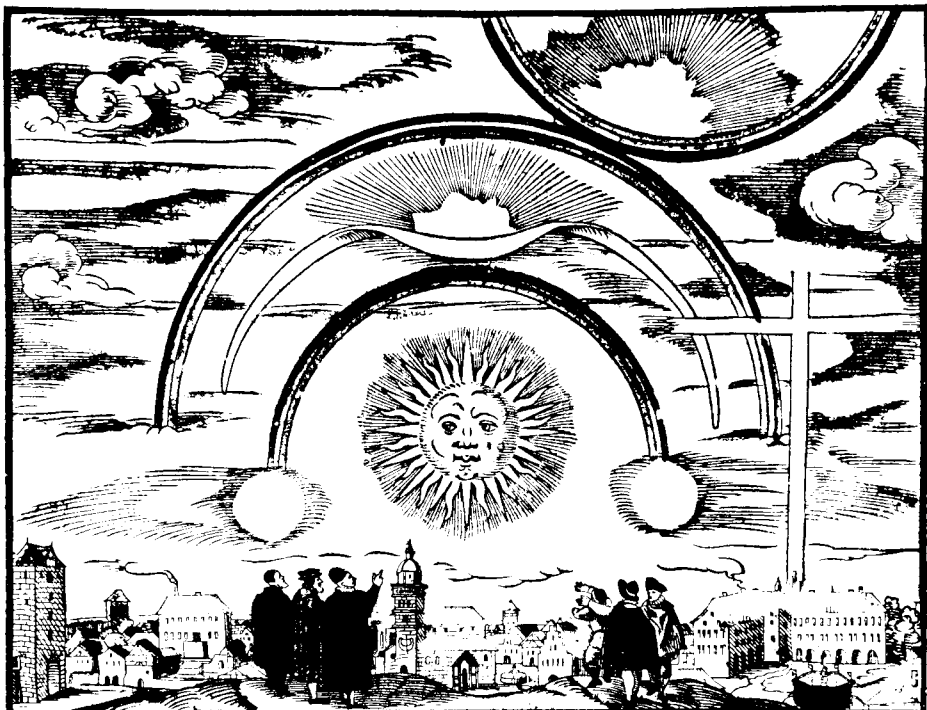
omvatte naast bijzonnen een benedenraakboog van de kleine kring.

Het plaatsen van omvangrijker, samengestelde halo's in een landschap stelt de tekenaar voor nog grotere problemen. De tekeningen zijn schitterend, maar de verhoudingen kloppen vrijwel nooit. De halotekening van Offenbach (uit 1580) geeft hiervan een goede illustratie. Aan weerszijde van de zon is een bijzon zichtbaar. Beide bijzonnen zijn voorzien van een van de zon af gerichte staart. De bijzonnen liggen op de kring van 22° . Tegen deze kring aan bevindt zich een bovenraakboog van de kleine kring. Nog weer verder van de zon af staat een grote kring of kring van 46° . Welk haloverschijnsel met de boog rechtsboven wordt bedoeld is onduidelijk. Net als op de vorige tekeningen is de diameter van de zonneschijf veel te groot in vergelijking met de straal van de kringen. Ook hier is de verhouding tussen de diameter van de kringen en de horizon onjuist. De diameter van de grote kring bedraagt ruim 90° , terwijl de tekenaar weer niet suggereert dat zo'n groot deel van de horizon in beeld is.

De tekening bevat aan de rechterzijde een groot kruis. Mogelijk is hiermee eveneens een haloverschijnsel bedoeld; de tekening geeft namelijk een overzicht van allerlei haloverschijnselen, die in het jaar 1580 te Offenbach werden waargenomen. Het kruis is echter vreemd geplaatst ten opzichte van de andere afgebeelde halovormen. Een kruis bestaat uit een combinatie van twee halovarianten: de zuil en de bijzonnering. Beide ontstaan door terugkaatsing van zonlicht tegen ijskristallen. De zuil is een verticale lichtstreep door de zon, die optreedt bij vrij lage zonnestanden. De bijzonnering is een horizontale lichtstreep door zon en bijzonnen; soms is zij geheel compleet en dan ringvormig, maar meestal zijn er slechts delen zichtbaar. Combinatie van de beide halo's resulteert in de symbolisch beladen kruisvorm.

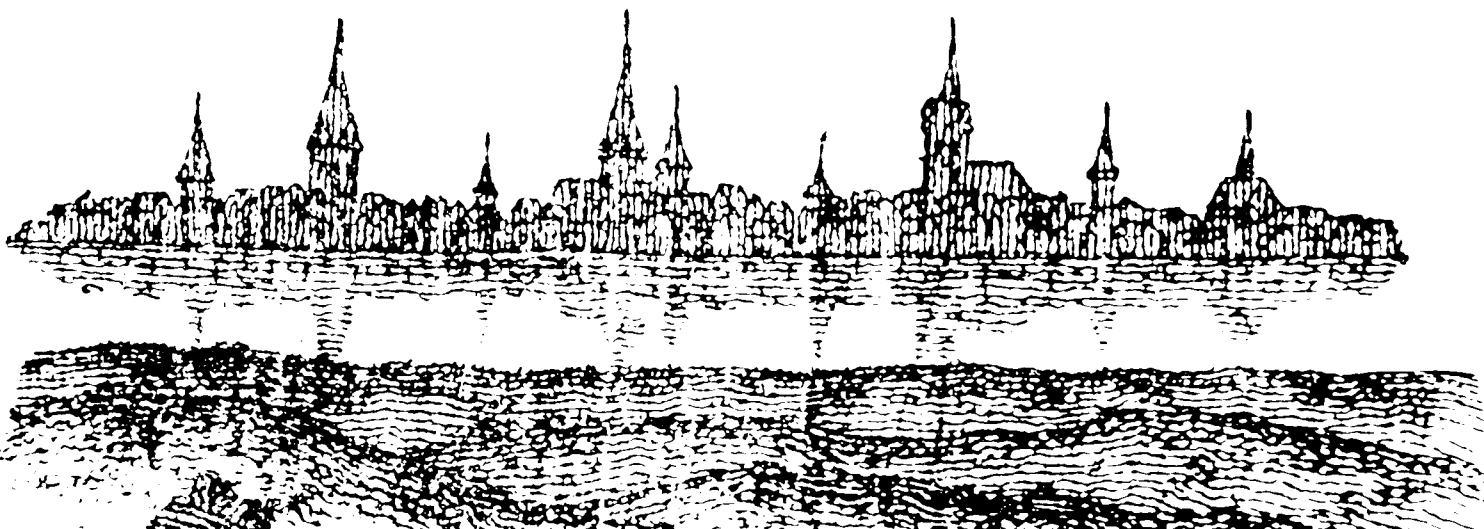
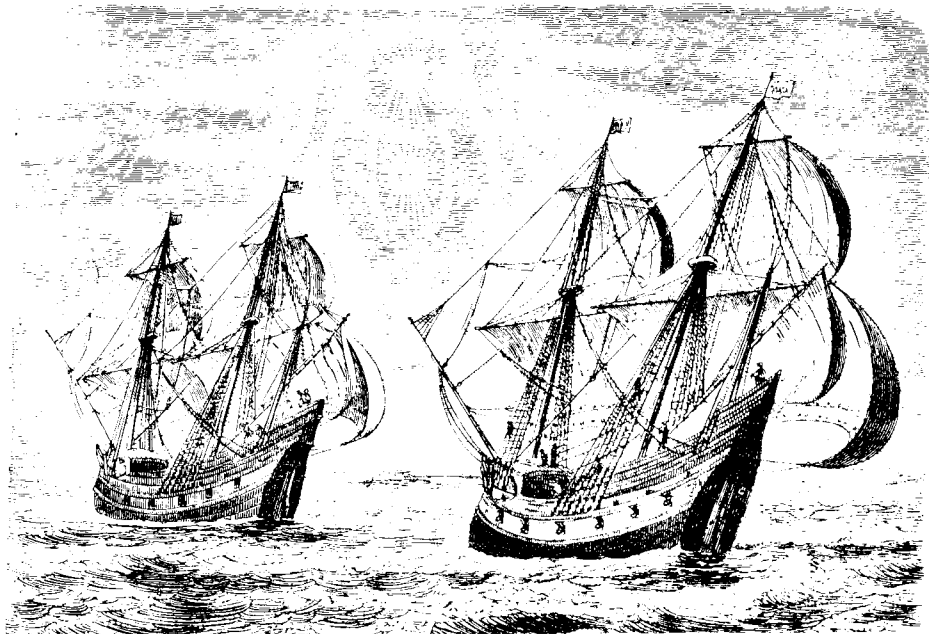
Een kruis is ook te vinden op een halotekening uit 1509, maar het is zeer onwaarschijnlijk dat het hier om het haloverschijnsel 'kruis' gaat. De bijzonnering door zon en bijzonnen is namelijk afzonderlijk afgebeeld.

Luchtspiegeling nabij Bremen, waargenomen door Busch op 5 oktober 1779. De stad en haar spiegelbeeld lijken te zweven boven de door de zon opgewarmde weiden rond de op drie kilometer afstand gelegen stad.



Halo's waargenomen te Offenbach in 1580.

Halo van Gerrit de Veer, 4 juni 1596. Tekening naar een postzegel, die in 1609 werd uitgegeven te Amsterdam.



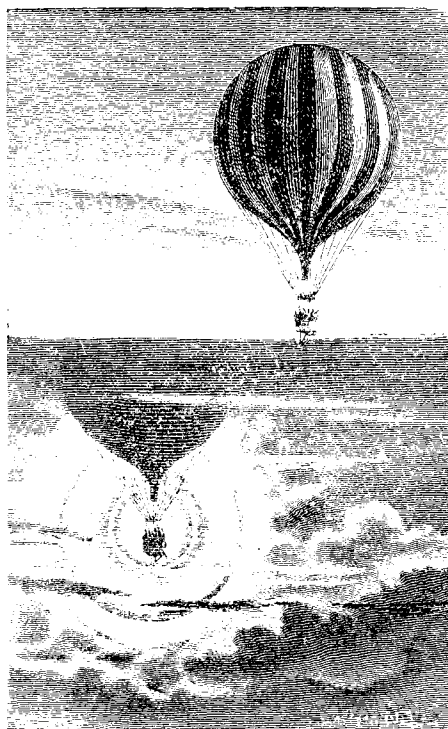
Een zeer omvangrijke halo werd op 4 juni 1596 waargenomen door Gerrit de Veer, deelnemer aan de reis naar het noorden, die zou eindigen met de overwintering op Nova Zembla. De tekening bevat enkele zeldzame halo's (Visser, 1957). De merkwaardige manier waarop de halo in de tekening is geplaatst laat zich het best illustreren aan de bijzonnering. Deze halocomponent, de bijna volledige cirkel die onderaan de afgebeelde samengestelde halo van bijzon naar bijzon loopt, is in werkelijkheid een lichte ring die op constante hoogte (de zonshoogte) boven de horizon staat. Een natuurgeloue weergave op de tekening zou dus moeten bestaan uit een rechte lijn of strook, evenwijdig aan de kim. De halo zou dan echter nooit compleet op de tekening weergegeven kunnen zijn.

Luchtspiegelingen

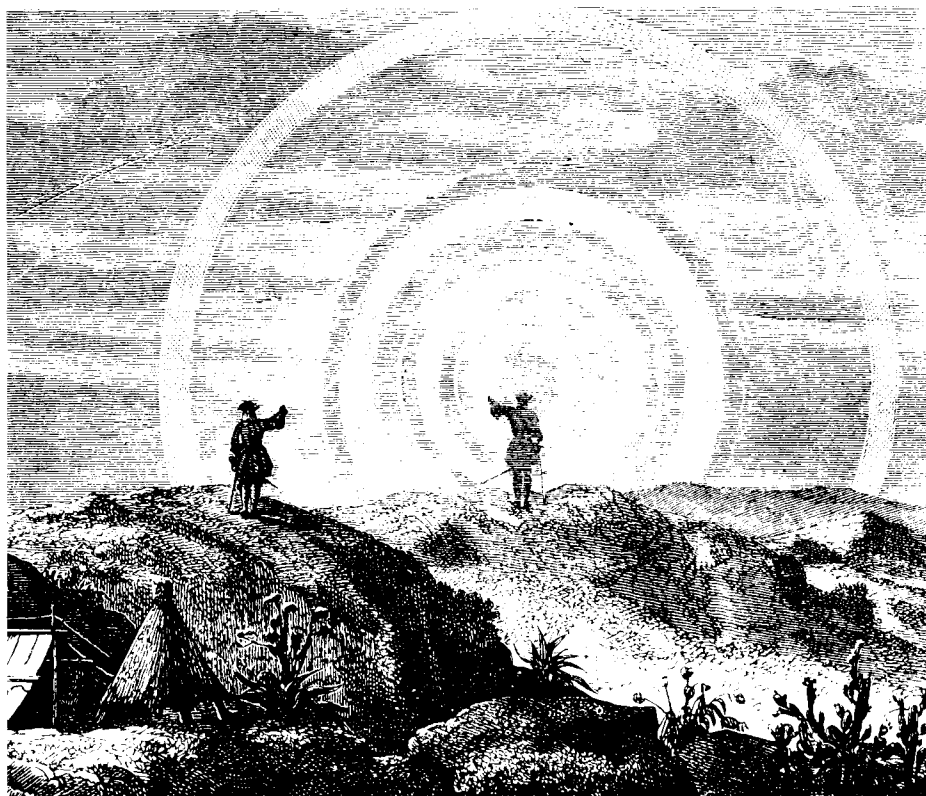
In het voorgaande zagen we dat omvangrijke lichtverschijnselen aan de hemelkoepel dikwijls op vreemde wijze en te klein in het afgebeelde landschap worden geplaatst. Voor effecten die samenhangen met kleine richtingsveranderingen van het licht geldt het tegenovergestelde. De tekenaar/ waarnemer is zo geconcentreerd op wat hij ziet, dat hij het verschijnsel soms een buitenproportionele omvang geeft. De 'drijvende stad' Bremen (zie de betreffende figuur) is een, overigens niet eens zo extreem, voorbeeld. Toch realiseert men zich nauwelijks dat de tekenaar hier een vergroting van 40 à 50 maal moet hebben toegepast. Een fotograaf zou althans een dergelijke vergroting moeten gebruiken (brandpuntsafstand objectief 2000 à 2500 mm) om een plaatje te schieten dat op de tekening van de drijvende stad lijkt (Floor, 1979).

De glorie

Een waarnemer ziet rond zijn schaduw op waterwolken dikwijls gekleurde ringen: een glorie. Het verschijnsel lijkt op de 'krans',



De glorie, waargenomen vanuit een luchtballon op 16 februari 1873 door Gaston Tissandier.



Ring van Ulloa (glorie en mistboog), waargenomen vanaf een bergtop in de Andes te Peru in 1735.

die vaak rond de maan zichtbaar is, maar bevindt zich recht tegenover de positie waar men een krans kan verwachten. Vanaf het aardoppervlak is het verschijnsel zelden te zien, maar vanuit een vliegtuig is het zeer vaak zichtbaar, mits men in de goede richting kijkt. Vóór de komst van vliegtuigen boden ballonvluchten de gelegenheid de glorie op vergelijkbare wijze te zien. De glorie in de tekening geeft aan hoe iemand vanuit een ballon de glorie zou zien. De tekenaar, die kennelijk niet in de cabine onder de ballon zit, ziet de glorie in werkelijkheid rond zijn eigen schaduw, dus niet rond de schaduw van de ballon.

In de dertiger jaren van de achttiende eeuw zond de Franse Academie van wetenschappen twee expedities uit, die gegevens moesten verkrijgen over de afplatting van de aarde. Deze afplatting heeft onder andere tot gevolg dat één breedtegraad aan de pool iets langer is dan aan de evenaar. Eén van de expedities ging naar Lapland, de andere naar Peru. In beide gevallen werden de expedities overspoeld door tegenslag. De deelnemers aan de expeditie naar Peru, die in 1735 vertrokken, moesten soms weken op een bergtop wachten, voordat de mist opgetrokken was en ze de verschillende merktekens die ze in het landschap hadden opgericht konden waarnemen.

Hoewel het niet het hoofddoel van de expeditie was, bood deze situatie een uitstekende gelegenheid om de 'glorie' waar te nemen. Bouguer, één van de deelnemers aan de expeditie, schrijft dan ook dat verschijnsel ('dat zo oud moet zijn als de wereld, maar dat naar het schijnt niemand vóór ons gezien heeft') daar bijna dagelijks voorkomt.

Een afbeelding van de glorie werd gemaakt door een andere Peru-ganger, de Spaanse kapitein Antonio de Ulloa. Hij vatte zijn schaduw op de wolk eerder op als een spiegelbeeld dan als een schaduw. Verder valt het standpunt van de tekenaar niet samen met dat van de afgebeelde persoon. In wer-

kelijkheid zou de tekenaar de glorie dus niet om de aangegeven schaduw zien, maar uitsluitend om zijn eigen schaduw. Hoewel Bouguer en Ulloa beiden in hun beschrijving vermelden dat je de glorie alleen om je eigen schaduw ziet, komt dat in de tekening niet tot uitdrukking. De glorie komt vaak voor in combinatie met een mistboog. De buitenste boog die door Ulloa werd getekend is zo'n mistboog. □

Literatuur

A. Algemene informatie over optische verschijnselen is te vinden in:

S.W. Visser, Optische verschijnselen aan de hemel, KNMI verspreide opstellen nr. 3, Den Haag (1957).

M. Minnaert, De Natuurkunde van 't vrije veld I: Licht en kleur in het landschap, Zutphen (1968).

C. Floor, Halo's, *Natuur en Techniek* 45, p. 364-383 (juni 1977).

C. Floor, Regenbogen, *Natuur en Techniek* 45, p. 814-833 (december 1977).

C. Floor, Licht in 't vrije veld, in: S.L. Kwee e.a. 'Licht belicht' p. 19-28, TH Eindhoven (1979).

C. Floor, Luchtspiegelingen boven warme oppervlakken, *Zenit* 6, p. 254-256 (juni 1979).

R.G. Greenler, Rainbows, halos and glories, Cambridge (1980).

D.K. Lynch, Atmospheric phenomena (verzameling artikelen uit *Scientific American*), San Francisco (1980).

M. van Uden, De regenboog, *Zenit* 7, p. 202 (juni 1980).

G. Cornet, De glorie verklaard, *Zenit* 11, p. 134 (april 1984).

B. Overige literatuurverwijzingen

S. Rösch, Der regenbogen in der Malerei, *Studium Generale* 13, p. 418-426 (1960).

C. Floor, Welk objectief voor welk optisch verschijnsel?, *Zenit* 6, p. 208-211 (mei 1979).

C. Floor, De regenboog in de klas, *De Grabbelt* 3, p. 4-129 t/m 4-133 (1981).