

DE NATUURKUNDE VAN 'T VRIJE VELD

DOOR

PROF. DR. M. MINNAERT

HOGLERAAR AAN DE RIJKSUNIVERSITEIT
TE UTRECHT

DERDE DRUK



LICHT EN KLEUR
IN HET LANDSCHAP

ZUTPHEN — W. J. THIEME & CIE — MCMXLII

Uit: Het Lied van den Open Heirweg.

Te voet en blijmoedig neem ik den open heirweg,
Gezond, vrij, heel de wereld voor mij uit,
De onafzienbare bruine weg voor mij uit, die mij brengt overal
waar ik wens te gaan.

Voortaan zal ik nimmer naar geluk vragen, ik heb geluk in mij-
zelf,
Voortaan zal ik niet meer klagen, niets meer verdagen, voortaan
zal ik mij niets voelen ontbreken,
't Is gedaan met in huiszitten en klagen, met boekenwijsheid,
met het nutteloos oordeel over anderen,
Sterk en tevreden ga ik den open heirweg op.

Ik denk: alle heldendaden en alle vrije gedachten hebben hun
bezieling gevonden in de open lucht,
Ik denk: hier toevende zou ik wonderen kunnen doen,
Ik denk: wat ik ook op den heirweg ontmoete zal mij welkom zijn
en ieder die mij ziet zal mij liefhebben,
Ik denk: ieder dien ik zie moet gelukkig zijn.

Ik adem de ruimte met lange teugen in,
Ik bezit Oost en West en ik bezit Noord en Zuid.

Ik ben groter, beter dan ik dacht,
Ik wist niet, dat ik zo rijk aan goedheid was.

Thans ken ik het geheim om voortreffelijke mensen te gewinnen:
Het is te leven in de open lucht en te eten en te slapen met de
aarde.

Allons! wie gij ook zijt, kom en reis mede!
Met mij reizende zult gij vinden wat nimmer U vermoeit.
De aarde vermoeit nimmer,
De aarde is eerst ruw, zwijgzaam, onbegrijpelijk, de natuur is
eerst ruw en onbegrijpelijk,
Zij niet moedeloos, geef niet op, daar zijn godsdingen diep ver-
borgen,
Ik zweer U daar zijn godsdingen heerlijker dan woorden kunnen
zeggen.

Camerado, ik geef U mijn hand!
Ik geef U mijn liefde, oneindig kostelijker dan geld,
Ik geef U mij-zelf buiten preek of wet om ;
Wilt gij U-zelf aan mij geven? Wilt gij de reis met mij maken?
Zullen wij te zamen en elkaar trouw blijven heel ons leven lang?

WALT WHITMAN, *Leaves of Grass*
(vertaling door Maurits Wagenvoort).

VOORWOORD.

Wie houdt van de natuur neemt haar verschijnselen waar zoals hij ademt en leeft : uit een aangeboren, diepe drang. Zonneschijn en regen, warmte en koude zijn hem even welkome gelegenheden tot opmerken, hij vindt zijn gading in de stad en in het bos, in de zandvlakte en op de zee. Ieder ogenblik wordt hij getroffen door nieuwe en belangwekkende gebeurtenissen. Met veerkrachtige stap zwerft hij over de wijde landen, oog en oor klaar tot het opnemen van de indrukken die van alle kanten op hem aankomen, diep inademend de geur der lucht, voelend elk temperatuurverschil, met de hand soms strelend een struik langs de weg, om in nauwere aanraking te zijn met de dingen der Aarde. Zo voelt hij zich een mens in levensvolheid.

Denk niet dat de oneindig verscheiden stemmingen der natuur voor den wetenschappelijken waarnemer iets van hun dichtertelijkheid verliezen : door de gewoonte van het opmerken wordt ons schoonheidsgevoel verfijnd, en rijker gekleurd de stemmingsachtergrond waarop zich de afzonderlijke feiten aftekenen. De samenhang tussen de gebeurtenissen, het verband van oorzaak en gevolg tussen de onderdelen van het landschap, maken een harmonisch geheel van wat anders slechts een aaneenschakeling zou zijn van losse beelden.

De hier beschreven verschijnselen zijn voor een gedeelte dingen, die u dagelijks waarneemt, en waarvan het leuk is de natuurkundige inhoud naar voren te brengen. Voor een ander gedeelte zijn het verschijnselen die u niet kent, en die toch elk ogenblik te zien zijn ; het is voldoende uw ogen aan te raken met de toverstaf die heet : „weten waar ik op letten moet” ! En tenslotte zijn er ook de zeldzame, merkwaardige natuurwonderen, die zelfs voor den geschoolden waarnemer maar enkele malen in het leven voorkomen, waar hij jaren op wacht, en waarvan het zien ons vervult met het bewustzijn van het buitengewone en met een diep geluk. Hoe merkwaardig het ook moege schijnen, toch is het een feit dat men niet veel anders opmerkt dan de dingen die men al kent ; het is heel moeilijk iets nieuws te zien,

ook al vertoont het zich rechtstreeks voor onze ogen. Gedurende de oudheid en de middeleeuwen heeft men talloze zonsverduisteringen opgemerkt, en toch heeft het geduurd tot 1842 eer de corona behoorlijk werd waargenomen, die wij thans als het meest opvallende eklipsverschijnsel beschouwen en die iedereen met het blote oog kan zien. Wat in den loop van de tijd door de arbeid van vele uitstekende natuurkenners opgetekend is, heb ik getracht in dit boek te verenigen om er uw aandacht op te vestigen. Er is geen twijfel aan dat er nog veel, veel meer in de natuur te zien valt; elk jaar verschijnt weer een aantal nieuwe verhandelingen over nog onopgemerkte verschijnselen; en het is wel vreemd te bedenken, dat wij voor zoveel dingen doof en blind blijven die ons aan alle kanten omringen en die door het nageslacht wel opgemerkt zullen worden.

Onder „natuurwaarneming” verstaat men gewoonlijk de bestudering van planten en dieren; alsof niet ook tot de natuur behoorden het schouwspel van wind en weer en wolken, de duizenden geluiden die de ruimte vervullen, de watergolven, de zonnestrallen, de dreuningen der aarde! Zoals de biologen hun flora's en fauna's hebben, moeten de natuurkundigen in het bezit zijn van een wandel- en waarnemingsboek over alles wat er op hun gebied te zien is aan de „levenloze” natuur in onze Nederlandse gewesten. Wij komen onvermijdelijk op het gebied van den meteoroloog, maar ook op grensgebieden van de sterrekunde, de aardrijkskunde, de biologie, de techniek; toch hoop ik een zekere eenheid gevonden te hebben, waardoor men de samenhang van al de behandelde onderwerpen voelt.

Omdat het ons te doen is om eenvoudige, rechtstreekse natuurwaarneming, laten we stelselmatig weg:

1. alles wat alleen met instrumenten te voorschijn komt (daarentegen is enige aandacht besteed aan onze zintuigen, die onze voornaamste hulpmiddelen zullen uitmaken en wier eigenschappen we dus moeten kennen);
2. alles wat uit lange statistische reeksen waarnemingen wordt afgeleid;
3. theoretische bespiegelingen voor zover ze niet rechtstreeks aansluiten bij wat onze ogen zien. Waar onze verklaringen soms te beknopt mochten zijn, raden wij den lezer aan, zich de fundamentele natuurkundige begrippen met behulp van een elementair leerboek weer te binnen te brengen.

Het zal blijken, dat er dan nog een verrassende overvloed van waarnemingen overblijft; ja, er is nauwelijks één enkel gebied van de natuurkunde, of het vindt zijn toepassing in de open lucht,

en dikwijls op een wijze die in grootsheid al onze laboratoriumproeven overtreft. Houd dus in de gedachte dat alles wat in dit boek beschreven wordt voor u toegankelijk en waarneembaar is! Bij *alles* is de bedoeling dat u het ziet en dat u het doet!

De betekenis van de open lucht-waarnemingen voor het onderwijs in de natuurkunde is nog niet voldoende erkend. Zij helpen ons in het toenemend streven om ons onderwijs te doen aansluiten bij het leven: zij geven ons een natuurlijke aanleiding tot het stellen van duizenden vragen, en ze zorgen ervoor, dat hetgeen op school geleerd is later nog telkens en telkens ook buiten de schoolmuren wordt teruggevonden. Aldus wordt de alomtegenwoordigheid der natuurwetten als een steeds weer verrassende en indrukwekkende werkelijkheid ondervonden.

Daarnaast is ons boek bestemd voor ieder die houdt van de natuur; voor het jonge volk dat trekt door de wijde wereld en samenkomt bij het kampvuur; voor den schilder, die licht en kleuren in het landschap bewondert maar niet begrijpt; voor wie buiten leeft of van reizen houdt; en ook voor den stadsbewoner, omdat er in het rumoer en de drukte onzer donkere straten nog altijd een stuk natuur overblijft. Zelfs voor den geschoolden natuurkundige hopen we dat het nog nieuws brengen zal, daar het behandelde gebied zo veelomvattend is en dikwijls buiten de gewone stroom der wetenschap ligt. Zo zal men begrijpen, dat zeer eenvoudige naast veel moeilijker waarnemingen opgenomen zijn, gegroepeerd volgens de samenhang der verschijnselen in de natuur.

De poging die hier ondernomen wordt is waarschijnlijk de eerste in haar soort, en dus gebrekkig. Meer en meer ben ik overweldigd door de schoonheid en uitgebreidheid van de stof, en door het bewustzijn dat ik haar niet kan uiteenzetten op een wijze harer waardig. Gedurende twintig jaar heb ik stelselmatig natuurwaarnemingen uitgevoerd; een paar duizend verhandelingen uit alle mogelijke tijdschriften zijn hier verwerkt, al zijn daarvan alleen die aangehaald welke een samenvattend overzicht geven, of die welke zeer bijzondere punten nader toelichten. Maar ik weet zeer goed hoe onvolledig deze verzameling nog is. Veel is mij onbekend gebleven van wat al bekend was, veel is ook voor den vakman nog een raadsel. Des te dankbaarder zal ik zijn aan allen die mij door eigen waarnemingen of literatuur-opgaven willen helpen om fouten te verbeteren en leemten aan te vullen.

Het is mijn bedoeling, op dit boek spoedig een tweede en een derde te laten volgen, waarin de overige gedeelten der natuur-

kunde behandeld worden. Het handschrift van het geheel is klaar, en het zal slechts van de belangstelling van het publiek afhangen of de uitgave mogelijk is.

BIJ DE TWEEDE DRUK.

De tekst is woord voor woord herzien, ongeveer 5 geheel nieuwe onderwerpen zijn behandeld en 3 nieuwe foto's zijn opgenomen. Tot mijn vreugde hebben veel lezers mij geholpen door het inzenden van eigen waarnemingen en opmerkingen, die ik getracht heb organisch in het geheel te verwerken. Een bijzonder woord van dank moge ik richten tot Mevrouw Kremer—Priest en tot de Heren E. W. M. Blokhuis, Prof. Dr. E. van Everdingen, Dr. A. J. M. Garjeanne, Prof. N. A. Halbertsma, L. Hobma, Dr. P. Kremer, Dr. M. Pinkhof, Prof. Dr. J. A. Prins.

Februari 1940.

BIJ DE DERDE DRUK.

Geheel nieuwe onderwerpen zijn behandeld in §§ 8, 13, 31, 189, 234, 237. Op talloze punten zijn aanvullingen en verbeteringen aangebracht, dikwijls met de hulp van de lezers. Het aantal figuren is met 10 vermeerderd. Het werk van Ruskin is vollediger bestudeerd en heeft nog tot verrijking van de inhoud aanleiding gegeven.

Juli 1942.

BLADWIJZER.

Voorwoord	VII
Bladwijzer	XI
I Licht en schaduw	1
II De terugkaatsing van het licht	7
III De breking van het licht	36
IV Het meten van lichtsterkte en helderheid	81
V Het oog	96
VI De kleuren	113
VII Nabeelden en contrastverschijnselen	119
VIII Het beoordelen van vorm en beweging	144
IX Regenbogen, kringen, kransen	170
Regenbogen	170
Kringen	193
Kransen	210
Heiligenschijn	233
X Licht en kleur van de lucht	237
XI Licht en kleur van water en vaste stof	296
XII Lichtgevende planten, dieren, gesteenten	348
Enkele wenken voor het fotograferen van natuur- verschijnselen	355
Het meten van hoeken in 't vrije veld	356
Lijst van enkele afkortingen	358
Woordenlijst	359

De Natuurkunde van 't Vrije Veld

I.

LICHT EN KLEUR IN HET LANDSCHAP

Eerst en vooral beschouwen wij de hierop betrekking hebbende ervaringen in 't volle daglicht. We brengen den waarnemer in de open lucht, eer we hem in de beperking van de donkere kamer leiden.

Goethe, Farbenlehre, I, 1, 396.

Voor alle lichtverschijnselen in de vrije natuur raadplege men het standaardwerk van Pernter-Exner, Meteorologische Optik (Wien—Leipzig, 1922). Zie ook: Humphreys, Physics of the Air (New York, 1929). — Jensen, Handbuch der Physik, XIX, 70. — Een rijke bron van gegevens is de jaarlijkse publikatie: „Onweders en Optische Verschijnselen”, uitgegeven door het Kon. Ned. Meteorologisch Instituut te De Bilt.

LICHT EN SCHADUW.

1. Zonnebeeldjes.

*O Zon! Wanneer je glijdt door 't loof der hoge linden,
Dan maak je lichte vlekken op de grond,
Zo mooi, dat ik er niet op trappen durf.*

E. Rostand.

In de schaduw van een groep bomen zien we op de grond een aantal lichtvlekken, onregelmatig verspreid, sommige klein, sommige groot, maar alle mooi gelijkvormig elliptisch. Houd vóór een daarvan een potlood : de verbindingslijn potlood-schaduw geeft u aan, van waar de lichtstralen komen die het vlekje op de grond vormen : natuurlijk is dit zonlicht dat door een of andere opening van de boomkruin dringt ; ons oog ziet hier en daar een verblindende lichtschijs tussen de bladeren.

Het verrassende is nu, dat al die beeldjes dezelfde vorm hebben ; het is toch niet mogelijk dat die reten en spleten alle toevallig zo mooi gelijkvormig en rond zijn! Vang een beeldje op, op een stuk papier dat loodrecht op de stralen gehouden wordt : het is nu niet meer elliptisch, maar cirkelrond. Houd het papier hoger en hoger : het vlekje wordt voortdurend kleiner. Besluit : de lichtbundel die zulk een lichtvlekje vormt heeft de vorm van een kegel ; de vlekjes zijn slechts elliptisch, omdat de grond die kegel schuin doorsnijdt.

Vermoeden : de oorsprong van het verschijnsel is daarin te zoeken, dat de zon niet puntvormig is. Ieder heel klein openingetje P (fig. 1) geeft een scherp „zonnebeeldje” AB, een openingetje P' geeft een ietwat verplaatst scherp beeldje A'B' (stippelijnen!) ; een breder opening die P en P' beide omvat, geeft een iets wazig maar helder zonnebeeldje A'B. Inderdaad zien we lichtvlekjes van allerlei lichtsterkte ; van twee even grote is het helderste ook het minst scherpe.

Ter bevestiging : als er wolken over de zon trekken, ziet men die over elk der zonnebeeldjes schuiven, maar in tegengestelde richting ; bij gedeeltelijke zonsverduisteringen zien de zonnebeeldjes er alle sikkelvormig uit. Als er een grote zonnevlek is,

kan men ze op de scherpste zonnebeeldjes zien. Maak zelf een heel duidelijk zonnebeeldje, door een blad dun karton te voorzien van een kleine, zuiver ronde opening, en het zó op te stellen, dat het zonnebeeldje op een mooi beschaduwde plekje terecht komt.

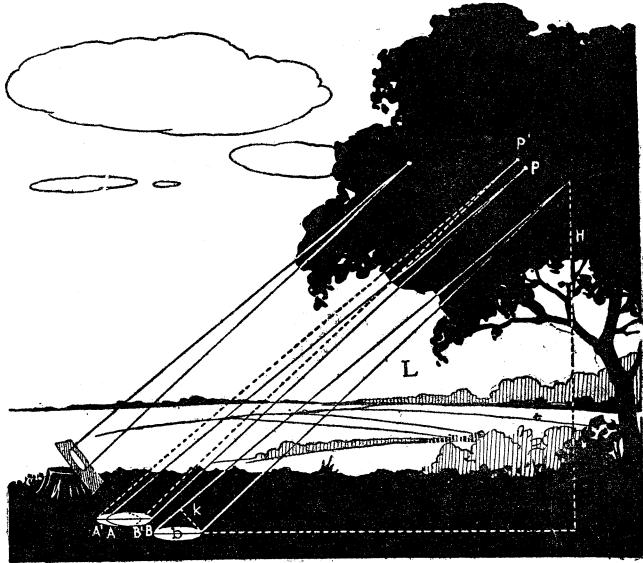


Fig. 1. Zonnestralen dringen door het dichte gebladerte.

Onderzoek op verschillende afstanden het zonnebeeldje, gevormd door een vierkante opening.

De hoek waaronder we de zonneschijf zien moet dus ook de

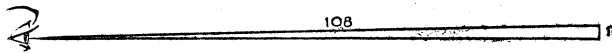


Fig. 2. We zien de zonneschijf onder een hoek van $\frac{1}{108}$ radiaal.

tophoek APB zijn van de kegel die een zonnebeeldje vormt. Dergelijke kleine hoekjes meten we dikwijls in „radialen”. We zeggen: „die hoek is $\frac{1}{108}$ radiaal” hetgeen betekent: de zon lijkt ons zo groot als 1 cm op een afstand van 108 cm, of als 10 cm op een afstand 1080 cm (fig. 2). Evenzo moet dus de middellijn van een scherp zonnebeeldje het 108e gedeelte zijn van zijn afstand

tot de opening; voor een wazig beeldje komt daar nog bij: de grootte van de opening in 't gebladerte. — Vang zwakke, scherpe zonnebeeldjes op een stuk papier op, houd dit goed loodrecht op de lichtstralen, meet de middellijn k van de lichtvlek, en bepaal met een touw de afstand L van het papier tot aan de opening in 't gebladerte. Is inderdaad $k = \frac{L}{108}$ ongeveer?

Bij elliptische zonnebeeldjes zoals ze zich aftekenen op een waterpasvlak meten we de korte as k en de lange as b ; ze verhouden zich zoals de hoogte H van de boom tot de afstand L . Hieruit volgt: $H = \frac{k}{b} L = 108 k \cdot \frac{k}{b}$. Zo had een opvallend groot zonnebeeldje van een beuk de aslengten 53 cm en 33 cm; de hoogte van de opening in 't gebladerte boven de grond was dus $108.33 \cdot \frac{33}{53} = 2200$ cm of 22 meter. — Merk op hoe de zonnebeeldjes 's ochtends en 's avonds langwerpiger zijn, 's middags meer rond.

Mooie zonnebeeldjes vindt men bij beuk, linde, esdoorn, zelden bij populier, iep of plataan.

Let op de zonnebeeldjes van bomen aan de oever van ondiep water: ze tekenen zich zo leuk op de bodem af!

2. Schaduwen.

Kijk naar uw schaduw op de grond: de schaduw van de voeten is scherp, die van het hoofd onscherp. — De schaduw van de onderkant van een boomstam of paal is scherp, de schaduw van de hogere gedeelten wordt toenemend wazig.

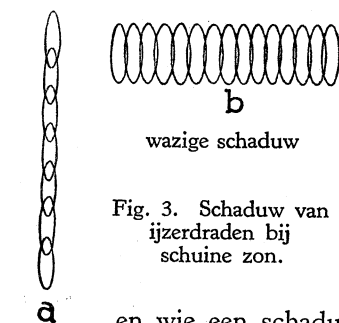
Houd de uitgespreide hand vóór een stuk papier: de schaduw is scherp. Houd ze verder er van af: de *kernschaduw* van elke vinger wordt voortdurend snaller. De *halfschaduwen* worden echter breder en vloeien ineen.¹⁾

Deze bijzonderheden zijn alweer een gevolg van de niet-puntvormigheid der zon, en komen overeen met wat we bij de zonnebeeldjes hebben waargenomen. Kijk naar de schaduw van een vlinder, van een vogel (— hoe weinig zijn we gewoon op zulke dingen te letten! —): die schaduw ziet er ongeveer uit als een ronde vlek, het is een „zonne-schaduwbeeld”.

Eigenaardig zag er de schaduw van een ijzeren vlechtwerk uit, dat als omheining diende en uit rechthoekige mazen bestond; men zag alleen de schaduw der vertikale draden, niet die der

1) Goethe, *Farbenlehre*, I, 1, 394—395.

horizontale! Door een papier met een gaatje in de stralen te houden, bevindt men dat elk punt een ellipsvormig lichtvlekje op de grond geeft; de schaduw van een draad kan men zich ontstaan denken uit een aantal naast elkaar geplaatste dergelijke ellipsjes, ditmaal echter donker: zij wordt dus vrij scherp als de draad in de richting van de lange as loopt, wazig als hij in de richting der korte as loopt (fig. 3).



wazige schaduw

Fig. 3. Schaduw van ijzerdraden bij schuine zon.

a
scherpe
schaduw

Houd een papier vlak achter het metaalgaas, dan verder en verder, zodat het geleidelijk ontstaan der merkwaardige schaduwen te volgen is. Onderzoek gevallen waarin de zon in verschillend schuine richtingen invalt, kantel het scherm in allerlei richtingen, enz.

De schaduw heeft een belangrijke rol gespeeld in het volksgeloof. Het was heel erg als iemand gestraft werd door het verlies zijner schaduw;

en wie een schaduw had waar het hoofd aan ontbrak, zou binnen het jaar sterven! Dergelijke verhalen, die bij alle volkeren en in alle tijden voorkomen, zijn ook voor ons belangwekkend: ze bewijzen hoe voorzichtig men met de bevestigingen van ongeschoolde waarnemers zijn moet, ook al zijn ze talrijk en éénstemmig.

3. Zonnebeeldjes en schaduwen bij zonsverduisteringen en bij zonsomergang.

Gedurende een zonsverduistering ziet men hoe de donkere maan voor de zonnescijf schuift, en weldra slechts een sikkeltje meer vrij laat. Op dat ogenblik is het de moeite waard op te merken hoe de zonnebeeldjes onder 't gebladerte er alle als gelijk gerichte sikkeltjes uitzien, klein of groot, helder of lichtzwak.

Daarmee komt weer de vorm der schaduwen overeen. De schaduwen onzer vingers bijvoorbeeld zijn eigenaardig klauwvormig gekromd. Elk klein donker voorwerpje zou nu een sikkeltje vormige schaduw vertonen; de schaduw van een staafje ontstaat uit een aantal zulke sikkeltjes, en aan het uiteinde komt de kromming te voorschijn.

Een goed voorbeeld van een alleenstaand donker voorwerpje is een luchtballon; men heeft inderdaad opgemerkt dat bij zonsverduisteringen zowel zijn schaduw als die van de mand

sikkelvormig zijn. ¹⁾ Ook een vliegtuig, mits op voldoende hoogte, geeft een gekromde schaduw. ²⁾

Zonsverduisteringen, zelfs gedeeltelijke, zijn zeldzaam voorkomende gebeurtenissen. Daarom is het aardig op te merken, dat dergelijke vervormingen van de schaduw ook te zien zijn als men aan 't strand de zon achter een vrije kim ziet ondergaan en de schaduw onderzoekt van munten en schijfjes van verschillende grootte, die men op een ruit heeft geplakt of aan een dun ijzerdraadje laat hangen. De vorm en de lichtverdeling veranderen naarmate van de afmeting der munten, en naarmate een groter gedeelte van de zonneschijf onder de kim daalt.

4. Verdubbelde schaduwen.

Als de bomen bladerloos zijn, ziet men wel eens plaatsen waar de schaduwen van twee evenwijdige takken elkaar bedekken. De ene is scherp en zwart, de andere is wazig en grijs: de tak is verder verwijderd. Het eigenaardige is nu, dat waar ze elkaar precies bedekken, een *lichte streep* binnen de smalste schaduw ontstaat, zodat deze schijnbaar verdubbeld is (fig. 4). Hoe komt dit?

Denk uw oog achtereenvolgens in A, in B, in C, in D, in E. Het zal dan telkens de zonneschijf zien, met de twee takken ervoor, zoals in de 5 figuurtjes daaronder getekend is; om ze te onderscheiden hebben we aangenomen dat b.v. de tak die het verst van ons af is, iets breder schijnt dan de andere. Nu is het duidelijk, dat men in de standen B en D de zonneschijf op twee plaatsen bedekt zal zien, maar in stand C slechts op één plaats omdat de takken zich dan achter elkaar verschuilen. Zo begrijpt men vanzelf de oorsprong van de helderder middenstreep.

Blijkbaar zal het verschijnsel telkens ontstaan als de beide

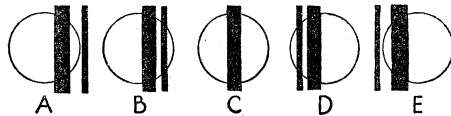
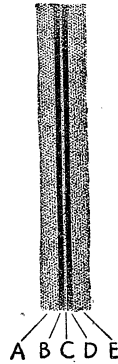


Fig. 4. Het ontstaan van verdubbelde schaduwen.

1) A. Wigand & E. Everling, Verh. d. d. phys. Ges. 14, 748, 1912. — Deutsche Luftfahrer Ztg. 16, 298, 1912.

2) Science, omstreeks 1930.

takken onder een hoek kleiner dan de zonneschijf gezien worden. Men kan het ook opmerken, waar de schaduwen van twee telegraaf- of telefoondraden elkaar overdekken. — In de plekken zonlicht die zich onder hoog geboomte op de grond vertonen, zijn de schaduwen overal op typische manier gewijzigd. Houd een boek zo, dat zijn schaduw zich aftekent in het zwakke licht van een zeer groot zonnebeeld: de schaduw van het boek is veel scherper dan gewoonlijk. Zoek nu plaatsen waar hoge, dunne twijgen een wazige schaduw werpen, en houd daarboven een potlood: u krijgt dubbele of veelvoudige schaduwen, waarvan de ene componente soms sterker, soms zwakker is dan de andere; op diezelfde plaatsen werpt het boek een schaduw met zonderlinge scherpgetekende halfschaduwzomen. Al deze tvpische bijzonderheden zijn gemakkelijk te verklaren.

*Ik ben nog eens vroeger langs het strand gegaan, evenals nu. Dat was op een avond, laat in Maart. De zon ging in het Westen in zee onder, de maan scheen helder in het Oosten. Lange tijd was het de zonsondergang, die mijn schaduw bepaalde, zodat zij naar het Oosten viel; **maar toen kwam er een poos dat ik in 't geheel geen schaduw had**, totdat de helderheid van de maan sterker werd dan het avondrood, en mijn schaduw naar het Westen viel.*

Uit het Ijslands van S. Nordal: Alfur van Windhael.

Is dit juist waargenomen?

Zie ook over schaduwen: §§ 98, 102, 187, 222, 223, 236.

DE TERUGKAATSING VAN HET LICHT. 1)

5. De wet der terugkaatsing.

Zoek een plaats waar u de maan weerspiegeld ziet in een zeer rustig wateroppervlak. Vergelijk de hoekafstand van de maan tot de gezichteinder met die van het weerspiegelde beeld tot de gezichteinder: binnen de waarnemingsfouten zijn beide gelijk. — Als de maan niet hoog staat, kunt u bv. uw wandelstok met gestrekte arm vertikaal vóór u houden, zodat u de punt tegenover de maanschijf ziet, terwijl uw duim de gezichteinder bedekt; draai dan de wandelstok onderste boven om uw arm als as, en kijk of de punt nu aan het spiegelbeeld der maan raakt.

Dergelijke metingen, met de kijker aan scherpe sterrebeeldjes uitgevoerd, geven de nauwkeurigste toetsing der terugkaatsingswet.

Een inspringend raam wordt door een niet te hoge zon schuin beschenen (fig. 5). De richting van de invallende bundel ziet men aan de schaduw AB; het teruggekaatste licht valt als een

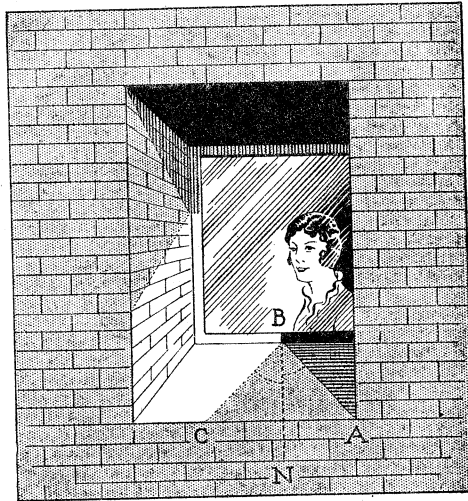


Fig. 5. Zonlicht, teruggekaatst door een inspringend raam.

1) Zie voor dit gehele hoofdstuk: M. Pollock, Light and Water (London 1903).

heldere lichtvlek in de richting BC. Men ziet nu dat die twee richtingen symmetrisch zijn ten opzichte van de normaal BN, dus dat $\angle ABN = \angle CBN$. Dit is niet hetzelfde als de terugkaatsingswet, maar 't volgt eruit. Bewijs dit!

Waarom weerspiegelen de ruiten der verre huizen alleen de op- of ondergaande zon?

6. Terugkaatsing tegen draden.

Een bundel telegraafdraden blinkt in de zon; loopt men evenwijdig aan de draden, dan verplaatst zich de lichtvlek met dezelfde snelheid als de waarnemer. 's Avonds zien we evenzo hoe

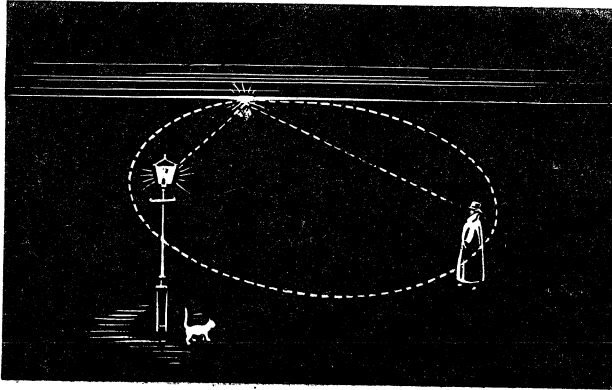


Fig. 6. Fantasiëën van een nachtelijken wandelaar: de weerspiegeling van de straatlantaren tegen telegraafdraden.

het licht van een straatlantaren een verlichte lijn geeft op de trolleydraad van de tram. Waardoor wordt de juiste plaats van die reflexen bepaald? Construeer in gedachte het ellipsoïde dat als brandpunten ons oog en de lichtbron heeft en dat raakt aan de draad (fig. 6). Het raakpunt is dan de verlichte vlek; want het is een bekende eigenschap der ellipsoïde dat in elk punt de verbindingslijnen met de brandpunten gelijke hoeken maken met het raakvlak.

7. Verschillen tussen voorwerp en spiegelbeeld.

Menigeen denkt dat het spiegelbeeld van een landschap in een kalm watervlak er net zo uitziet als het landschap zelf, onderste boven gekeerd. Niets is minder waar! — Let maar 's avonds op,

hoe sommige groepen straatlantarens weerspiegeld worden (fig. 7). — Het spiegelbeeld van de dijk, die naar het water toe helt, schijnt verkort, en verdwijnt zelfs als we hoog genoeg boven het wateroppervlak staan (fig. 8). Zodra we op een schilderij

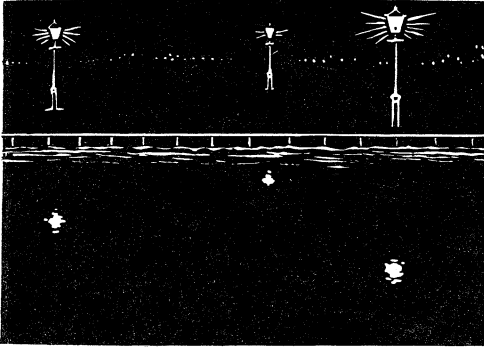


Fig. 7. Weerspiegeling van verschillende ver verwijderde lantarens.

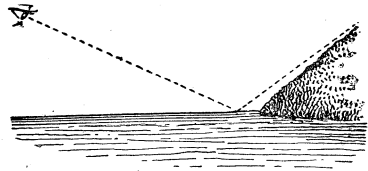


Fig. 8. Verkorting van het spiegelbeeld ener helling.

indruk dat we steil naar beneden kijken. — De top van een steen die in 't water ligt ziet u nooit teruggekaatst in het spiegel-

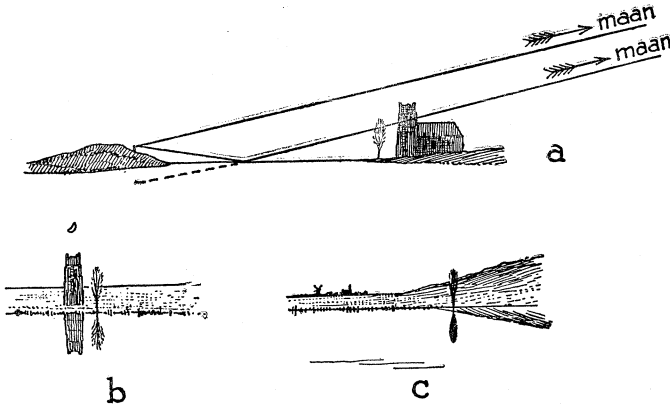


Fig. 9. Verschillen tussen het landschap en zijn spiegelbeeld.

beeld. — *Hoe dichter bij ons de voorwerpen liggen, hoe meer hun spiegelbeelden dalen ten opzichte van die van de achtergrond.*

Nog enkele voorbeelden van deze zo algemene wet ziet men in fig. 9. — Fig. 9(a) vertoont ons hoe het komt dat de waarnemer

de maan ziet schijnen boven de kerktoeren, terwijl in de weerspiegeling de maan door de toeren bedekt wordt. Het effect is voorgesteld in fig. 9 (b): de toeren is gezakt ten opzichte van de ver verwijderde maan. Tevens bemerkt men hoe de nabije boomtop in de weerspiegeling lager komt tegenover de toeren. Vergelijk evenzo in fig. 9 (c) de boom met de heuvelrij in de verte: het effect is hier bijzonder overtuigend en herinnert ineens aan tal van dergelijke tafereelen die we onbewust in ons hebben opgenomen.

Al zulke verschijnselen zijn vanzelfsprekend als men bedenkt dat het spiegelbeeld wel identiek is met het voorwerp zelf, maar er perspectivisch anders uitziet omdat het verschoven is. Wij zien het zó, alsof we 't landschap zelf bekeken van uit een punt onder de waterspiegel, spiegelbeeld van ons oog. De verschillen worden des te geringer naarmate ons oog zich dichterbij de waterspiegel bevindt, en naarmate de voorwerpen verder van ons verwijderd zijn (vgl. § 5 en § 137).

Nog iets anders schijnt echter een rol te spelen! De spiegelbeelden van bomen en struiken in kleine vijvers en in de plassen langs de weg vertonen soms een zuiverheid, een scherpte, een warmte van kleur, bepaald treffender dan die van de voorwerpen zelf. Wolken zien we nooit zo mooi als teruggekaatst in een spiegel. Een straat, weerspiegeld in een winkelruit met een donker gordijn als achtergrond, had een verrassende scherpte.¹⁾ De oorzaak van deze verschillen is meer psychologisch dan physisch. Men heeft ze gezocht in het feit, dat het weerspiegelde tafereel altijd aangevoeld wordt als een schilderij dat in één vlak ligt (*physisch* liggen de spiegelbeelden natuurlijk net zo goed in allerlei vlakken als het voorwerp zelf). Anderen zeggen, dat de omlijsting ons onzeker maakt omtrent de positie van het ding in de ruimte, hetgeen sterkere reliëf-indrukken doet ontstaan.²⁾ Belangrijker nog schijnt mij, dat het oog beschermd blijft tegen overtollige verblinding door het grote, heldere veld van de hemel om het waargenomen tafereel: een effect dus van dezelfde aard als het kijken door een buis (§ 179). De geringere helderheid van het spiegelbeeld is ook op zichzelf al gunstig voor het bekijken van de hemel en de wolken, die anders iets te fel zijn voor ons oog.

1) H. R. Mill, Geogr. Journ. 56, 526, 1926. — Vaughan Cornish, *ibid.* blz. 518.

2) J. O. S. A. 10, 141, 1925.

Ik ging eens langs de oevers van de Aisne, ten prooi aan een onuitsprekelijk lijden, dat geen bepaalde reden had en juist daardoor ongeneselijk scheen. Het beeld van een brug, teruggekaatst in het water, heeft mij opeens het zelfvertrouwen teruggegeven en het kennen van de vreugde. En toch was dit slechts een weerspiegeling; maar geloof nooit wie u zeggen zou dat het slechts een weerspiegeling was.

G. Duhamel, *La Possession du Monde*, blz. 206.

8. Lichtbundels, teruggekaatst door sloten en kanalen ¹⁾ (fig. 10).

Bij zonnig weder weerkaatst elk rustig wateroppervlak een bundel zonnestralen, en al die bundels stijgen op over het landschap als de lichtschijnsels van ontzaglijke zoeklichten. Toch is het slechts zelden dat we hier iets van merken; blijkbaar is er

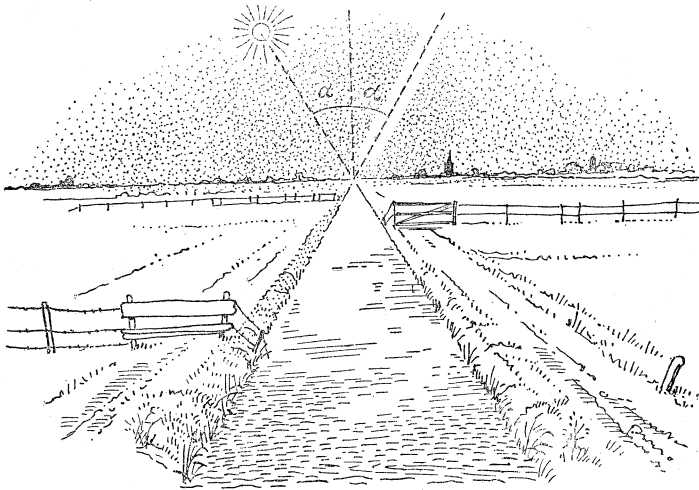


Fig. 10. Bundels teruggekaatst zonlicht tekenen zich in de heilige lucht af.

daartoe een combinatie van gunstige omstandigheden nodig, die maar een enkele maal voorkomt. De meeste kans hebben we 's ochtends of 's avonds, als de zon vrij laag staat en het teruggekaatste licht sterker is (vgl. § 57). Het is duidelijk dat de lucht heilig moet zijn, zodat de bundel gelegenheid krijgt zijn spoor af te tekenen; maar mist kunnen we niet gebruiken, want dan

1) Medegedeeld door de heren G. J. F. Becker en R. J. van der Linde.

worden de stralen te zeer verzwakt, en een sluier van licht zou zich over het gehele tafereel uitbreiden en alle fijnere helderheidsverschillen uitwissen. De sloot of het kanaal moet min of meer in de richting naar de zon toe lopen, willen de stralen het wateroppervlak gemakkelijk kunnen bereiken en verlaten. Uit de mijter beschikking staande waarnemingen schijnt te volgen, dat men liefst in de richting naar de zon toe kijken moet, en niet in de tegenovergestelde (ga na of dit wel zo is!). Het wateroppervlak mag niet rimpelen; de wind moet dus liefst zwak zijn en dwars op het kanaal gericht; hoge oevers zijn gunstig, als ze tenminste het invallende en teruggekaatste licht niet teveel afschermen. De opstijgende lichtband zal des te beter zichtbaar zijn, naarmate het kanaal langer en rechter is, zodat de oplichtende nevel onder een groter laagdikte gezien wordt. Men kan nog beredeneren, dat de linkergrens van de opstijgende bundel scherper moet zijn dan de rechter, als men zich op de linkeroever van het kanaal bevindt; en omgekeerd; wat inderdaad waargenomen is. — Bij gunstige omstandigheden krijgt men dit belangwekkende schouwspel soms te zien bij een aantal achtereenvolgende evenwijdige sloten, zoals ze in onze polderlanden zo dikwijls voorkomen; maar telkens natuurlijk alleen dan, wanneer men zich vlak bij een der sloten bevindt.



Fig. 11. Plekjes zonneshijn in het donkere straatje.

9. Speelse weerspiegelingen. (Plaat III).

Een huizenrij werpt een donkere schaduwstrook over de straat; maar temidden daarvan zijn er hier en daar onverwachte lichtvlekken (fig. 11). Hoe komt het licht daar? — Houd uw hand vóór de lichtvlek, en besluit uit de plaats van de schaduw uit welke richting de stralen invallen: het blijkt dat ze teruggekaast zijn door de ramen van huizen aan de overzij.

Op dergelijke wijze ziet men lichtvlekken glinsteren op het oppervlak van een kanaal dat zelf in de schaduw ligt: de huizen aan de overkant werpen het licht terug.

Aan de oever van 't water staat een rij huizen waarvan de gevels geheel in de schaduw zijn; toch lopen er lichtspelingen over: een lichtschijn met daarin regelmatige, min of meer evenwijdige strepen die voortbewegen. 't Zijn terugkaatsingen van de watergolven (fig. 12). Het gedeelte AB van de golving werkt als holle spiegel en geeft een brandlijntje in L, een gedeelte BC van de golf is veel minder gekromd en verenigt de stralen op veel groter afstand. Zo is er voor elke afstand van de muur altijd een deel van het wateroppervlak dat een scherpe lichtlijn vormt; de andere delen geven dan de algemene lichtschijn.

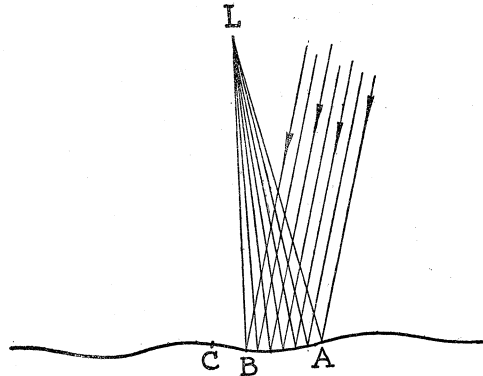


Fig. 12. Vorming van lichte lijnen door weerspiegeling op zacht golvend water.

Dergelijke lichtspelingen ziet men ook langs kaden en tegen 't gewelf van overkapte bruggen. We hebben hier eigenlijk een model van het fonkelen der sterren (vgl. § 44).

Het is een alleraardigst schouwspel, de flikkering van het zonlicht te volgen op het water van een kanaal, dat door een frisse bries tot golfjes gerimpeld wordt. Duizenden felle vonken flikkeren rhythmisch op, 5 maal per sekunde bijvoorbeeld, en vrijwel gelijktijdig voor het gehele golvenstelsel. Die periode komt overeen met de tijd, nodig voor het voorbijtrekken van één golfje (bepaal die, kijk of het uitkomt!). Want telkens na zulk een tijdsinterval zijn de hellingen en de weerspiegelingen van het water weer dezelfde geworden. Dat de flikkering niet overal precies periodiek is, ligt aan de onregelmatigheden van de blazende wind, aan het verdwijnen van sommige golfjes en de vorming van nieuwe.

10. Schieten op een spiegelbeeld.

Bij Salzburg is er een meer, de Königsee, door hoge bergen omsloten en daardoor zeer rustig. Men houdt er schietwedstrijden, waarbij de schutter op het spiegelbeeld van de schijf in 't water

mikt, en de kogel tegen het oppervlak „terugkaatst” en het doel treft. De trefzekerheid schijnt tenminste even groot als bij een rechtstreeks schot. — Wie doet dit hier eens na?

Het eigenaardige is, dat de kogel niet aan de oppervlakte zelf teruggekaatst wordt, maar *in* het water dringt. Volgens een hydrodynamische stelling zijn de vloeistofstromingen dan zó, dat de in het water bewegende kogel door het wateroppervlak „aangetrokken” wordt; hij nadert er meer en meer toe, en treedt tenslotte onder dezelfde hoek uit als waaronder hij in het water gedrongen was. Door schermen op te hangen die onder water dompelden, heeft men de baan van de kogel kunnen volgen. ¹⁾

11. De heliotroop van Gauss. ²⁾

Kaats zonlicht terug met een spiegeltje; vlakbij heeft de lichtvlek de vorm van de spiegel zelf, verderaf wordt ze minder scherp, nog verder wordt ze rond, en op grote afstand is het een echt zonnebeeldje geworden. Als u dan een deel van het spiegeltje afschermt, blijft de lichtvlek rond maar wordt lichtzwakker. Meer dan 50 m ver zult u die lichtvlek wel niet kunnen volgen; een waarnemer echter die zich daar bevindt ziet het spiegeltje nog fel schitteren in de zon.

Zet het spiegeltje in een statief of klem het vast tussen stenen, ergens op een plek met vrij uitzicht, en wel zo dat de teruggekaatste zonnestraal goed waterpas loopt. Ga nu achteruit, zo ver als u het licht nog zien kunt. Het kost enige moeite in de bundel te blijven; gelukkig wordt zijn doorsnede breder naarmate men verder komt: dat merkt u als u zich dwars op de bundel verplaatst, en bepaalt binnen welke grenzen u hem nog ziet; op 100 m afstand is hij al 1 m breed. Verder moet bedacht worden dat de zon zich aan het uitspannel verplaatst; het is daarom best de proef om middagtijd uit te voeren, dan blijft de teruggekaatste bundel althans in het horizontale vlak zonder dat veel bijregelen nodig is.

Het is verbazend, zo ver als zulk een lichtpuntje nog zichtbaar blijft! Gauss heeft op die wijze bij graadmetingen zeer scherpe lichtbronnen gemaakt, die met de kijkers der meetinstrumenten tot op afstanden van 100 km waargenomen konden worden. Zulk een „heliotroop” heeft bijzondere viseerinrichtingen om

1) Ramsauer, Ann. d. Phys. 84, 730, 1927.

2) A. Gruber: Heliograph (Verzameling „Spiel und Arbeit”, No. 29; Ravensburg); met aanwijzingen voor het eigenhandig bouwen van zulk een instrument.

de lichtstraal precies te kunnen richten naar een willekeurig punt. Door afschermen en weer doorlaten van het licht kunt u Morse-tekens seinen.

12. Weerspiegeling in een tuinbol.

De bolle spiegels waarvan men ons op school vertelt zijn altijd klein en weinig gekromd; zij komen overeen met het stukje AB van de tuinbol dat vlak naar ons toe gekeerd is, en waarin we ons eigen spiegelbeeld zien (fig. 13).

Maar de tuinbol als geheel is veel interessanter! Het merkwaardige van het ding is, dat we hier *de gehele oppervlakte van de hemelsfeer* (juister: hemel + aarde) samengedrongen zien in

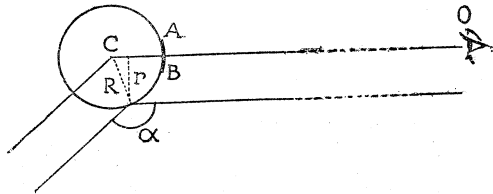


Fig. 13. Hoe een kleine tuinbol het heele weerspiegelt.

een beperkt kringetje: de tuinbol werkt als een optisch toestel met ideaal grote openingshoek! Natuurlijk kan dit slechts doordat de beelden vervormd worden; ze worden samengedrukt in de richting van de straal, en wel des te meer naarmate ze dichter bij de omtrek van de tuinbol liggen (fig. 13). Onderstel eenvoudigheidshalve dat zowel het voorwerp als de waarnemer vrij ver van de tuinbol verwijderd zijn (ver t.o.v. de straal R); dan zal een voorwerp op hoekafstand α van de lijn CO afgebeeld worden op een afstand $r = R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$ van het midden van de bol. Men ziet dat r nadert tot R, wanneer α nadert tot 180° , en dat dus inderdaad de hele ruimte op de bol wordt afgebeeld. Verloren wordt alleen het kleine stukje dat precies achter de tuinbol ligt, en dat des te kleiner wordt naarmate we verder van de bol staan.

Helmholtz heeft eens gezegd, dat een landschap, door een tuinbol vervormd, weer normaal zou bevonden worden als de meetstaaf waarmee men het tafereel uitmeet volgens dezelfde wet vervormd was. Deze uitspraak is nauw verwant aan de beginselen der relativiteitstheorie.

De tuinbol kan voor alleraardigste waarnemingen gebruikt

worden op 't gebied der meteorologische optica, juist omdat hij zulk een goed overzicht geeft van een geheel stuk van de hemel. ¹⁾ Als men zich op een afstand van een paar meter plaatst, en wel zó dat men het spiegelbeeld van de zon met zijn hoofd bedekt, ziet men met bijzondere duidelijkheid (vgl. nog verder):

a. kringen, kransen, iriserende wolken, de ring van Bishop, de schemeringskleuren;

b. de bundels van Haidinger en de polarisatie van het hemellicht. Door de verkleining van het beeld worden de langzaam verlopende tinten omgezet in veel sterkere gradiënten, zodat de verschillen van helderheid en kleur meer in het oog vallen. In de glimmende oppervlakte van mijn fietsbel heb ik meer dan eens heel ijle wolkjes gevonden, die ik bij rechtstreeks waarnemen niet opgemerkt had.

13. Weerspiegeling aan zeepbellen. ²⁾

Boys, die zoveel alleraardigste proeven met zeepvliezen genomen heeft, geeft de raad ook eens bellen te blazen in open lucht. Het is nodig, een windstille dag uit te kiezen en op een goed beschut plekje te gaan zitten; maar dan krijgt men ook de terugkaatsingen in het tere sferische oppervlak op hun mooist te zien.

De naar ons toe gekeerde helft werkt als *bolle* spiegel en vertoont dezelfde rechtopstaande beelden als een tuinbol, des te sterker gekromd en samengedrukt naarmate ze zich dichterbij de randen vormen. Maar tegelijk kijken we dwars door die vóórkant van de zeepbel naar de van ons afgekeerde achterkant, die een *holle* spiegel is en de beelden omkeert. Het rechtopstaande en het omgekeerde beeld zijn vrijwel even groot; ze overdekken elkaar en men zou ze verwarren, was het niet dat het eerste dichterbij ons oog ligt dan het tweede: het rechtopstaande zweeft immers $r/2$ vóór het middelpunt van de bel; het omgekeerde, $r/2$ er achter (althans voor de centrale delen van het tafereel).

Let vooral op de dubbele weerspiegeling van de heldere hemel; op het silhouet van uw eigen hoofd, dat zich donker tegen die lichte achtergrond aftekent, en op de merkwaardig vervormde dakenlijn der huizen; op het zeer vergrote beeld van uw hand, die het buisje vasthoudt waaraan de bel hangt (het duidelijkst in de holle helft); op de weerspiegeling van het punt waar de bel aan het buisje vastzit (natuurlijk alleen in de holle helft);

1) A. Hoffman, *das Wetter*, 34, 133, 1917.

2) Boys, *Soap Bubbles* (blz. 94 van de Duitse vertaling).

op de bijzondere duidelijkheid der aan de hemel zo wazige onbepaalde wolkenmassa's.

Maar geniet vooral ook van de prachtige kleurspelingen waarin alle lichte partijen iriseren, in wisselende tinten die rijker en rijker worden . . . tot de bel barst. Zij ontstaan door interferentie: het zijn de beroemde kleuren van Newton (§ 160).

Maak foto's van de zeepbel en haar reflexen!

14. Oneffenheden van een wateroppervlak.

Een effen plas in een duinpan; windstil weer. Hier en daar steekt een grashalm of een bies uit het water op, en nu is het leuk om te zien hoe elk halmpje omringd is door een schitteringetje van zonlicht, daar waar het uit het water komt: het kleine waterbergje, dat capillair om zo'n halm zit, wordt aldus van verre zichtbaar. Als een deel van de waterplas een donkere duinhelling weerspiegelt, een ander de heldere lucht, ziet men nabij de grenslijn hoe al de kleine waterbergjes oplichten of donker afsteken, al naar de richting waarin men kijkt.

Op dezelfde wijze kunnen we waterwerveltjes opsporen, overal waar een rivier noemenswaardige stroming vertoont. In ieder werveltje is de druk iets kleiner en het oppervlak lichtelijk uitge-

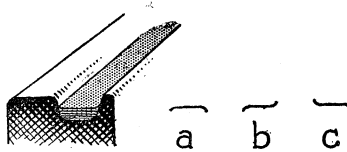


Fig. 14. Regen in een tramspoor vormt een gekromde spiegel.

hold; orde van grootte der uitholling: 4 cm middellijn en een paar mm diep. Nabij een grens tussen licht en donker ziet men zelfs de zwakste werveltjes met grote duidelijkheid. Het is een heel gevoelige „slierenmethode”, toegepast in de vrije natuur.

Het heeft geregend. In de tramsporen staat water, en nu zien we een dwarse horizontale lijn daarin teruggekaatst, b.v. de ophangdraad van de trolleykabel. Kijken we in het verticale vlak van de rail, dan zien we het teruggekaatste beeld symmetrisch vervormd (fig. 14a): een duidelijk bewijs dat het wateroppervlak gekromd staat en een capillaire meniscus vormt. Stellen we ons links van de rail, dan vervormt zich het beeld zoals in fig. 14b; rechts, zoals in fig. 14c. Overweeg eens, waarom het spiegelbeeld juist deze vorm aanneemt.

De beelden, gegeven door een gebogen wateroppervlak, kunt u prachtig bestuderen van op een stoomboot, omdat u altijd in dezelfde stand en richting naar de golven kijkt die met hem

meelopen. Bemerkt vooral hoe de spiegelbeelden al vervormd worden door de eerste golving die de boeg teweegbrengt. ¹⁾ De beelden zijn sterk samengedrukt; ze zijn rechtopstaand of omgekeerd, naarmate ze door een bol of door een hol gedeelte van het oppervlak gevormd zijn.

15. Vensterglas en spiegelglas.

Aan de weerspiegeling in de ruiten van de huizen kan men onmiddellijk zien of ze van spiegelglas of van vensterglas gemaakt zijn: in het eerste geval zijn de beelden vrij zuiver; in het andere geval zo onregelmatig, dat de hobbels in de ruit rechtstreeks te voorschijn komen.

Het is opvallend hoe verschillend de rijke buurten en de bescheidener straten van een stad er ook van dit standpunt uitzien! Midden in een deftige rij met spiegelglas onderscheiden we één enkel huis met vensterglas. Aan twee spiegelglasruiten die naast elkaar zitten, merken we dat ze niet nauwkeurig in 't zelfde vlak liggen, want de spiegelbeelden van een daklijn zijn iets verschoven ten opzichte van elkaar. Elders zien we hoe een goede spiegelruit een ongelukkig hoekje heeft, of hoe een andere in haar geheel zwak gebogen is.

16. Onregelmatige terugkaatsing op een zacht gerimpeld oppervlak. ²⁾

Voor mij zijn de lange lichtstrepen der weerspiegelde lantarens onafscheidelijk verbonden met de rustige stemming van de avond. Ik zie de maan die zich spiegelt in zee, en er een brede stroom van licht over laat vloeien. Of ik denk aan de huizen en torentjes van het oude Brugge, weerspiegeld in de stille reien: iedere lichte vlek, iedere kleur uitgerekt tot een vertikaal lijntje, en al die lijntjes, soms langer, soms korter, wemeld van lichtwisselingen en onvatbare glansen.... Een schoorsteen, een dunne mast, worden duidelijk weerspiegeld, maar de krachtige

1) F. A. Forel, *Le Léman*, II (Lausanne, 1895).

2) Zie vooral: J. Piccard, *Arch. sc. phys. et nat.* **21**, 481, 1889. — Verder: J. Spooner, *Correspondance Astronomique*, 1 Mei 1822, blz. 331. — G. Galle, *Ann. d. Phys.* **49**, 255, 1840. — C. Schoute, *H. en D.* **7**, 1, 1909. — A. Wigand en E. Everling, *Verh. d. d. phys. Ges.* **15**, 237 en 1117, 1913; *Phys. Zs.* **14**, 1156, 1913; *Met. Zs.* **31**, 150, 1914. — K. Stuchtey, *Ann. d. Phys.* **59**, 33, 1919. — W. Shoulejkin, *Nat.* **114**, 498, 1924. — E. O. Hulburt, *J. O. S. A.* **24**, 35, 1934. — Deze verschillende schrijvers kenden geen van allen hun voorgangers!

dakenlijn der huizen is verdwenen: *alleen de vertikale lijnen vinden we in het spiegelbeeld terug*. De vertikale boomstammen zijn vrij scherp te herkennen, maar stammen die enigszins hellen zijn al veel onduidelijker, en hun schuine takken zijn geheel verdwenen. De slanke hals van een zwaan wordt weerspiegeld als een heldere veeg van licht, maar het lichaam van de vogel gaat verloren in het watergewemel.

Het enkele lichtpunt des avonds geeft ons de analyse van het gehele landschap bij dag. Zulk een lichtpunt vormt een vertikale lichtzuil; bij een loodrechte lijn nu leggen die zuiltjes zich netjes onder elkaar en versterken elkaar, bij een waterpaslijn liggen ze naast elkaar en verbreden de lijn tot een wazig oppervlak (vgl. fig. 3).

Het uitrekken van een lichtpunt tot een zuil, die naar ons oog gericht is, terwijl de golfjes toch geheel onregelmatig zijn en in alle richtingen even veelvuldig voorkomen, is dus het fundamentele verschijnsel dat we verklaren moeten. Aan de maan of

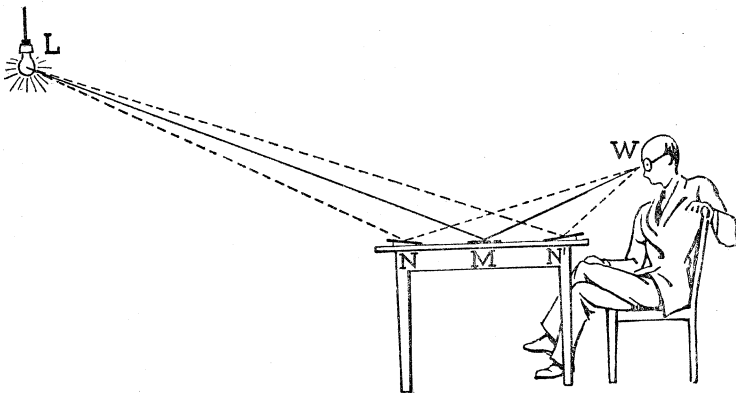


Fig. 15. Model van de vorming ener lichtzuil.

een lantaren, 's avonds weerspiegeld in zacht bewogen water, dicht bij ons, bemerken we hoe eigenlijk ieder golfje een afzonderlijk lichtbeeldje geeft. *Het geheel* van alle verlichte golfjes is *gemiddeld* een langwerpige vlek, met haar langste as in het vertikale vlak oog-lichtbron.

We beginnen met een eenvoudig proefje om ons duidelijk te maken hoe de lichtzuil tot stand komt (fig. 15). Ga zitten aan een tafel, waarop u een spiegelkje legt, en verschuif dit zo, dat het de stralen van de lamp L naar uw oog W terugkaatst; stel dat het

daartoe in M gelegd moet worden. Schuif nu onder een van de uiteinden van het spiegeltje een reepje karton, zo dat het iets naar u toe helt: het weerspiegelt nu voorwerpen, hoger dan de lamp; willen we thans stralen van L in het oog krijgen, dan moet het spiegeltje verschoven worden tot in N. Indien we echter het kartonnetje onder het andere uiteinde van het spiegeltje aanbrengen, zodat dit van ons af helt, moeten we tot in N' verschuiven. — Het spiegeltje in zijn twee hellende standen stelt de sterkste helling der golfjes voor, de afstand van N tot N' is de lengte der lichtzuil. Op alle punten tusschen N en N' zullen er af en toe vlakjes voorkomen van kleinere helling, die net voldoende schuin liggen om de stralen naar ons oog terug te kaatsen; hoe meer van die vlakjes er daar ter plaatse voorkomen, hoe helderder de lichtzuil op dat punt.

Eigenlijk zou men dus de gemiddelde verdeling der lichtsterkte over de zuil als kansvraagstuk moeten opvatten en berekenen. Dit is nooit behoorlijk gebeurd. We zullen het ons dus maar gemakkelijk maken door aan te nemen, dat de hellingen der golfjes niet groter worden dan een bepaalde hoek α , en we vragen alleen naar de grenzen der lichtzuil die zich aldus vormt. Of, anders uitgedrukt: als er op elke plaats een groot aantal kleine spiegelende golfjes zijn, alle hellend over een hoek α , maar naar al de verschillende windstreken, wat is dan de meetkundige plaats van de golfjes die zullen oplichten? Ook aldus gesteld wordt het vraagstuk nog ingewikkeld genoeg!

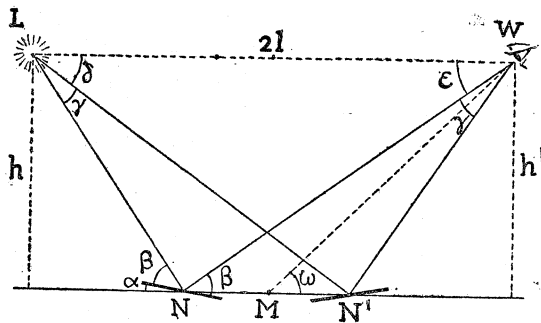


Fig. 16. Berekening van de lange as ener lichtzuil.

1. *Het eenvoudigste geval*: $h = h'$; waarnemer en lichtbron bevinden zich even hoog boven het water (fig. 16).

Een horizontaal spiegeltje werpt licht in het oog van den waarnemer W, wanneer het zich precies halverwege bevindt, bij M, de plaats der regelmatige terugkaatsing. Een spiegeltje dat onder een hoek α helt moet een eind uit het

midden geschoven worden, wil het voor den waarnemer weer licht geven. Hoe ver?

We laten de normaal van het spiegelkje eerst hellen in het vertikale vlak door oog en lichtbron, hetzij naar ons toe, hetzij van ons af, en berekenen beide malen de gunstige stand, die we met N en N' aangeven.

Om symmetrieredenen is $MN = MN'$. Let nu op de hoeken:

$$\begin{aligned}\beta + \alpha &= \gamma + \delta \\ \beta - \alpha &= \epsilon = \delta\end{aligned}$$

Dus is $\gamma = \alpha + \beta - (\beta - \alpha) = 2\alpha$.

Dit is een belangrijk resultaat! De hoek waaronder we de langste as van de lichtzuil zien, is tevens de hoek tussen de twee grootste hellingen van de golfjes (fig. 17).

Geven we nu aan de normaal van ons spiegelkje de helling α in een vlak door M loodrecht op de verbindingslijn oog-lichtbron; om de gunstige terugkaatsing te bereiken is thans een verschuiving vereist in ditzelfde vlak, tot in de punten PP' (fig. 18). Klaarblijkelijk is $MP = MP' = h \operatorname{tg} \alpha$. De lichtzuil is dus breed: $2h \operatorname{tg} \alpha$, en we zien die korte as onder een hoek $\frac{PP'}{WM}$

$$= \frac{2h \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{l^2 + h^2}}.$$

De verhouding der schijnbare assen van de lichtzuil is dus: $\frac{h \operatorname{tg} \alpha}{a \sqrt{h^2 + l^2}}$,

of ongeveer $\frac{h}{\sqrt{h^2 + l^2}} = \boxed{\sin \omega}$ wanneer de lichtzuil niet te groot is; de hoek ω is de hoek tussen de gezichtslijn en het oppervlak, in het punt M waar de regelmatige terugkaatsing plaats vindt.

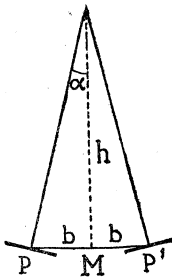


Fig. 18. Berekening van de korte as ener lichtzuil.

Kijken we dus van een heuvel op het water neer, dan is de lichtzuil weinig langwerpig (ω groot, $\sin \omega$ bijna 1). Hoe schuiner we over 't water kijken, hoe langwerpiger de zuil. Bij rakingse blikrichting wordt ze oneindig smal.

We moeten altijd onderscheiden tussen „de primaire ovaal”, een kromme die men op het rimpelende water getekend kan denken, de grens der lichtzuil aangevend; en tussen „de sekundaire ovaal”, die uit de vorige ontstaat door projectie op het vlak loodrecht op onze blikrichting. Van de primaire ovaal kan men wel de assen eenvoudig berekenen, maar de hele figuur is een kromme van de 6e graad, symmetrisch t.o.v. M. De sekundaire ovaal wordt een weinig asymmetrisch, de grootste breedte ligt eigenlijk iets meer naar ons toe dan het punt M waar we de dwarse as berekenden. Vooral kijkend onder een kleine hoek met het oppervlak is die asymmetrie merkbaar.

2. Het algemene geval: $h \neq h'$ (fig. 19).

Door dergelijke redeneringen als daareven toont men de twee fundamentele eigenschappen aan:

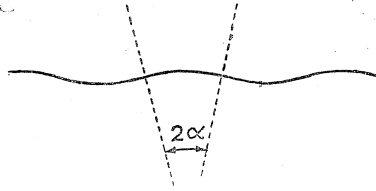


Fig. 17.

$$\begin{array}{l} u + v' = 2a \\ u' + v = 2a \\ \hline u + v + u' + v' = \boxed{\gamma + \gamma' = 4a} \end{array}$$

De verdere berekening bewijst dat de lichtzuil ongeveer elliptisch van omtrek blijft, maar de resultaten zijn ingewikkeld en onoverzichtelijk. *Praktisch heeft het hoogteverschil tussen h en h' alleen invloed op de afmetingen der lichtzuil, niet op haar verhoudingen*; bij benadering is natuurlijk $\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{h'}{h}$, dus

$$\boxed{\gamma = 4a \cdot \frac{h'}{h + h'}}$$

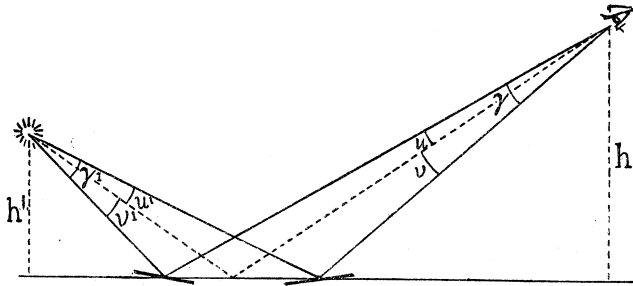


Fig. 19. Waarneming van een lichtzuil wanneer wij ons op een andere hoogte dan de lichtbron bevinden.

3. *Bijzonder geval*: $h' = \infty$. Dit geldt voor de zon, de maan en zeer hoge lantarens.

De formules worden nu: $\gamma = 4a$; $PP' = 2h \operatorname{tg} 2a$ (zoals men bewijst). Wij zien dus de assen der ovaal onder hoeken van ongeveer $4a$ en $4a \sin \omega$. De verhouding van de schijnbare lengte en breedte der lichtzuil is dus $\sin \omega$, precies dezelfde als bij het geval 1, maar *alle afmetingen zijn tweemaal groter*.

Vatten we het resultaat onzer berekeningen samen van het standpunt van den praktischen waarnemer. —

Stel vooreerst dat wij ons even hoog boven het water bevinden als de lichtbron; dan is de hoek waaronder we de langste as van de zuil zien, tevens de hoek $2a$ tussen de twee grootste hellingen van de golfjes (fig. 17). In verhouding daartoe wordt de dwarse as der zuil des te smaller naarmate we schuiner op het wateroppervlak kijken.

Vervolgens, als de lichtbron zich hoger boven het water bevindt dan ons oog, worden alle afmetingen der lichtzuil groter (in hoekmaat); ze naderen tot twee maal de oorspronkelijke, indien de lichtbron zich oneindig ver verwijderd; de verhouding van korte tot lange as blijft echter vrijwel dezelfde.

De volgende redenering geeft zonder berekening een overzicht van de lichtverdeling bij deze weerspiegelingen (fig. 20). Denk u de spiegelende oppervlakjes op heel kleine schaal, vlak bij het centrum van een grote bol; de normaal op het ongestoorde wateroppervlak eindigt in N, de normalen op de hellende golfvlakjes eindigen dus in een cirkeltje op hoekafstand α van N; de oneindig ver verwijderde lichtbron wordt voorgesteld door een punt L op de bol. Om nu te vinden hoe bijvoorbeeld het oppervlakje met normaal OS de stralen weerspiegelt, is het voldoende de grote cirkel LS te trekken, en hem te verlengen tot S', zodat $SS' = SL$. Men ziet aldus onmiddellijk, dat de door alle golfjes teruggekaatste stralen een kegel vormen met zeer langwerpige doorsnede, des te langwerpiger naarmate we schuiner op het wateroppervlak kijken. Het is ook gemakkelijk in te zien, dat de kegel der blikrichtingen, van het oog van den waarnemer naar de grenzen der lichtzuil, geheel en al dezelfde vorm heeft.

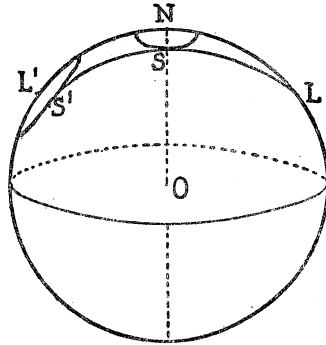


Fig. 20. Het ontstaan van lichtzuilen, toegelicht door een constructie op de bol.

Vergelijk de lichtzuil van de maan met die van een lantaren die u ongeveer in dezelfde richting weerspiegelt ziet. In het algemeen worden de lichtzuilen groter naarmate de lichtbron verder verwijderd is. Voorwerpen, die zich vlak bij het water bevinden geven een bijna puntvormig, niet

uitgerekt beeld.

Vergelijk de lichtzuilen, die u onder verschillende hoeken met het wateroppervlak waarneemt.

Bepaal de hoek 2α uit de lengte der lichtzuilen (in hoekmaat) bij allerlei windsterkten.

Bemerk hoe de lichtzuilen prachtig lang, regelmatig

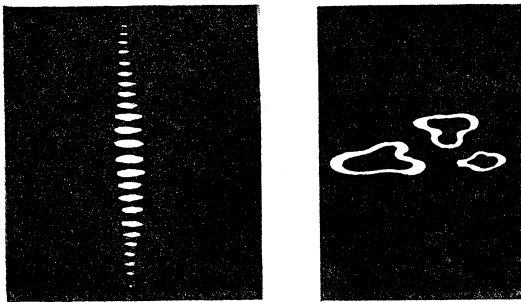


Fig. 21.—a. Lichtzuil op zacht golvend water.
b. Weerspiegeling van lichtreclames in de Amstel als gesloten kronkels.

tig, mooi vertikaal worden als het regent: de golfjes zijn wel klein, maar hebben sterke hellingen.

Er is nog een perspectivische bijzonderheid aan deze lichtzuilen verbonden. Elke lichtzuil ligt altijd in het verticale vlak door mijn

oog en de lichtbron (uitzonderingen, zie § 18). Wanneer ik een tekening of een schilderij maak, projecteer ik alles op een vlak dat vertikaal vóór mij staat, en dus moeten alle lichtzuilen vertikaal lopen, ook al zijn ze buiten het midden van het tafereel. Onderzoek dit, kijkend van uit een raam dat op zee uitgeeft, als de zon of de maan een lange lichtzuil tekent over het rustig golvende oppervlak; als u op de ruit de richting van deze lichtzuil aangeeft, zult u zien dat het een vertikale lijn wordt. — Op een schilderij van Claudes in de Uffizi zit de zon nabij de zijkant van het doek, en heeft de schilder een lichtzuil weergegeven die van de zon schuin naar het midden van het voorplan toeloopt. Dit echter is fout! ¹⁾

Richt een foto toestel op de zee, verlicht door de zon, en bekijk op het matglas de verdeling van het licht dat door de golven weerspiegeld wordt; daaruit zijn de hellingen der golven en eventuele voorkeursrichtingen af te leiden, de gehele toestand van het wateroppervlak is met één blik te overzien en kan fotografisch vastgelegd worden. ²⁾

17. Het detailonderzoek van de lichtzuilen.

Het is de moeite waard, de vormen der lichtweerspiegeling na te gaan op elk der afzonderlijke golfjes. Ieder golfje geeft een in horizontale richting uitgerekt lichtvlekje, des te meer tot een lijntje naderend naarmate de zon lager staat; en al die lijntjes samen vormen de vertikale zuil (fig. 21a). Aan het uiteinde dat naar ons toe gekeerd is, zien we goed hoe die lichtzuil soms langer, soms korter wordt, naar gelang van de golving van het water. Aan het uiteinde dat het verst van ons af is, vloeien daarentegen de lichtvlekjes meer ineen.

Eigenaardig is het verschijnen van *gesloten kronkels* (fig. 21b), die men ziet als het water zacht deint, de golfjes korte kammen hebben, terwijl de lichtbron vrij hoog staat (bv. lichtreclames met neonbuizen). Men kijkt dan steil genoeg op het water om elke lichtbron L in twee onderscheidene punten van elke golf weerspiegeld te zien, bijvoorbeeld bij de top en in het dal; in 't algemeen: in de twee punten S_1 en S_2 waar de raaklijnen net de goede helling hebben (fig. 22). Daar tussen in, stel bij S' , is de helling van de golf steiler en ziet men de weerspiegeling van een lager gelegen, niet verlicht punt L' . — Omgekeerd kan ook een dun voorwerp, dat zich donker tegen de hemelachtergrond

1) Ruskin, *Modern Painters*, III, 511.

2) W. Shoulejkin, t.a.p.

aftekent, als kronkelende donkere ringen weerspiegeld worden : de boegspriet van een schip, een donkere heuvelrij in de verte.

De twee bij elkaar behorende weerspiegelingen S_1 en S_2 liggen natuurlijk altijd op dezelfde flank van het golfje. Als we de blik iets naar rechts of naar links verplaatsen, zien we die twee weerspiegelingen tot elkaar naderen en tenslotte tot een gesloten kromme versmelten, zodat een „ring” ontstaat. Immers, de golfjes hebben niet alleen een bepaalde „golfengte”, maar ook een beperkte „kamlenkte”; waar twee kammen in elkaar overgaan, wordt het raakvlak horizontaal. Al vóór we zover van het invalsvlak afwijken moet dus het laatste punt bereikt zijn waar de helling nog net steil genoeg is om de lichtbron naar ons oog te weerspiegelen; daar vallen S_1 en S_2 samen.

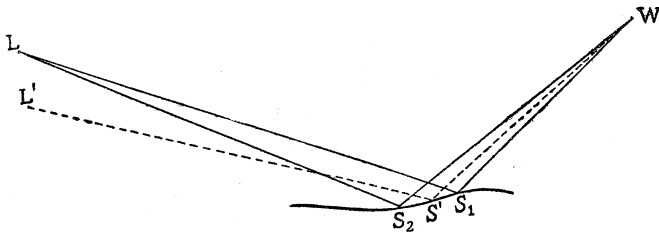


Fig. 22. Het ontstaan van gesloten kronkels in de weerspiegeling van een lichtpunt.

In de golfjes die zich het dichtst bij ons oog bevinden, zien we het weerspiegelde beeld geheel en al vervormd en verwrongen, op de zonderlingste wijze heen en weer dansend; masten, palen, de zware verticale lijnen van een scheepsrump veranderen in grillige kronkels en knopen en slingeringen.

18. Terugkaatsing in een gerimpeld wateroppervlak met voorkeursrichting.

Dikwijls vertonen de lichtzuilen een duidelijke asymmetrie: zodra men schuin ten opzichte van de richting van het kanaal kijkt, liggen ze *niet meer in het verticale vlak door de lichtbron en het oog van den waarnemer*, hun richting nadert dan meer tot de richting van het kanaal zelf (fig. 23). Kijkt men schuin over het kanaal naar de andere kant, dan wijken ze weer af van de vertikaal, ditmaal echter naar de andere zijde hellend: dus weer naderend tot de kanaalrichting.

Toch was onze theorie niet fout, want als het regent bij windstil weder zijn de zuilen zuiver vertikaal, in welke richting men ook

kijkt. De oorzaak der afwijkingen is de wind, die de golfjes bij voorkeur dwars op de kanaalrichting rimpelt, zodat we niet meer van het beeld der ideaal onregelmatige golvingen mogen uitgaan. Ten bewijze dienen de volgende waarnemingen:

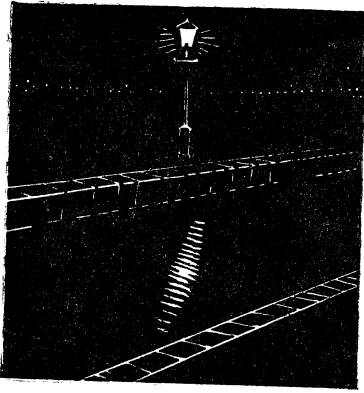


Fig. 23. Een verwonderlijk gezicht: de lichtzuil ligt niet in het vertikale vlak door oog en lichtbron!

waar te nemen als op een kanaal bij wind, zowel aan de terugkaatsing van straatlantarens als aan die van auto- en fietslampen.

a. in een zeer brede rivier is de afwijking veel minder stelselmatig, de golfjes hebben daar geen duidelijke voorkeursrichting loodrecht op de oevers;

b. is het water met een ijslaagje bedekt, dan schijnt dit veel kleine hobbeltjes te hebben: het geeft een duidelijke lichtzuil, en die is vertikaal;

c. op een geasfalteerde straatweg, die vochtig is na een regenbui, zijn dezelfde afwijkingen

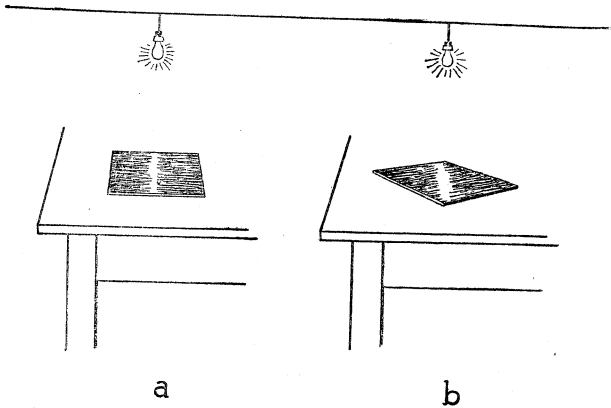


Fig. 24. Model der vorming van hellende lichtzuilen.

En inderdaad: in de asfaltlaag komen er hobbels door 't verkeer (hun ontstaan is op zichzelf een belangwekkend verschijnsel!). Als we het oppervlak van de weg bekijken, kunnen we die hobbels

rechtstreeks zien, en opmerken dat het echte golven zijn, met hun kammen loodrecht op de richting van de weg.

Boots het verschijnsel na met een glazen plaat, waarover u een spoortje boter of vaseline in evenwijdige stroken heeft uitgewreven, en die u voor u op de tafel legt. Het licht van een lamp, niet hoog boven de tafel opgesteld, wordt als een lichtzuil weerspiegeld (fig. 24a), en u kunt die laten hellen over een hoek p door de glazen plaat in haar vlak te draaien over een hoek q (fig. 24b). Als de plaat bijvoorbeeld over $q = 45^\circ$ gedraaid wordt, is de lichtzuil nog maar weinig gaan hellen, misschien maar een graad of

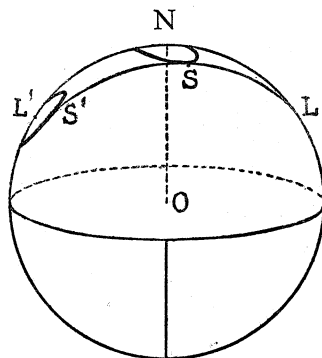


Fig. 25. Het ontstaan van scheve lichtzuilen als er een voorkeursrichting van de golfjes is.

tien; slechts bij nog sterker

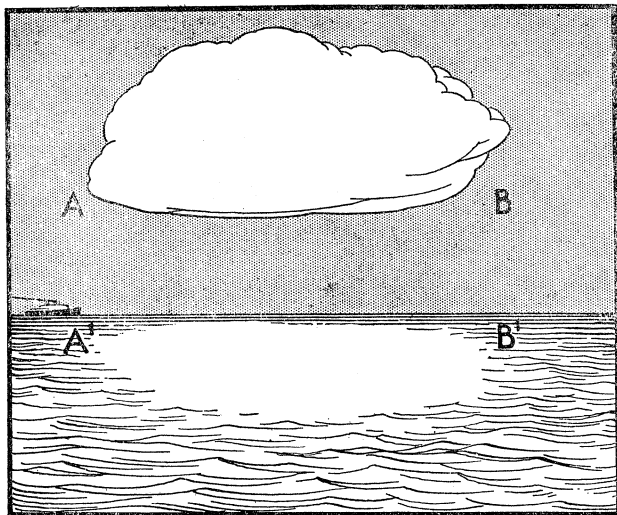


Fig. 26. Weerspiegeling op zee: het spiegelbeeld van de wolk is naar de kim toe „verschoven”.

draaiing haalt de lichtzuil de normaal op de ribbels weer in.

Neem voor de berekening aan, dat alle golfjes volkomen dezelfde richting q hebben. Men bewijst dan gemakkelijk met behulp van fig. 25, dat $\text{tg } p = \text{tg } q \cdot \sin \omega$, waarin ω weer de hoek is tussen de gezichtslijn en het wateroppervlak.

De uitvoerige behandeling van dit verschijnsel is nog niet gegeven. Maar in hoofdtrekken kunnen we 't wel overzien met behulp van onze projectie op de bol, althans voor het geval ener oneindig ver verwijderde lichtbron (fig. 25). Wanneer de normalen over de vlakjes verdeeld zijn zoals voorgesteld door de kromme lijn die N omgeeft, zullen de gespiegelde stralen gericht zijn naar de onderscheidene punten van de kromme lijn om L' ; de as der zuil ligt dus niet meer in het vlak LNL' , maar wijkt schuin af.

19. Weerspiegeling in zeer grote gerimpelde wateroppervlakken. ¹⁾ (Plaat I).

Bij weerspiegeling in de zacht golvende zee treedt een verschijnsel op dat we noemen zullen: *de verschuiving der spiegelbeelden*

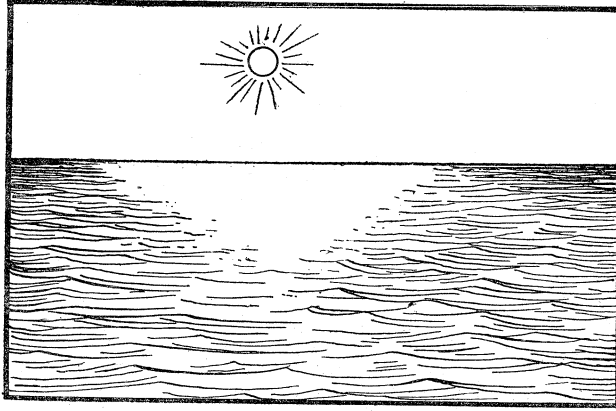


Fig. 27. Zonlicht op de zee.

naar de gezichteinder (fig. 26). De grens AB tussen wolk en blauwe lucht ligt in de weerspiegeling $A'B'$ heel veel dichterbij de horizon dan aan de hemel. De eerste 25° of 35° van de hemel boven de gezichteinder komen eigenlijk nauwelijks te voorschijn in de weerspiegeling! Natuurlijk zijn alle beelden onregelmatig vervormd, maar het effect is toch zeer duidelijk en zo opvallend, dat het de gehele lichtverdeling over de zee beheerst. Zo komt het ook dat men bomen aan de kust, duinen enz. nooit weerspiegeld ziet: ze zijn niet hoog genoeg. Ook schepen zijn ternauwernood ooit in de onregelmatige terugkaatsing terug te vinden,

1) E. O. Hulburt, J. O. S. A. 24, 35, 1934.

want de donkere vlek die ze moesten geven wordt door dit effect tot vlak bij het schip teruggedrongen.

De weerspiegeling van de zon in de golven is een verblindend heldere vlek, die bij laagstaande zon min of meer driehoekvormig is, en dus ook de verschuiving naar de gezichteinder vertoont (fig. 27).

De verklaring van deze verschijnselen is gemakkelijk te geven: op grote afstand zien wij van de golven alleen de naar ons toe gekeerde hellingen; het is dus alsof wij alles wat zich aan de hemel vertoont weerspiegeld zagen in een naar ons toe hellende



Fig. 28. Verklaring van de verschoven spiegelbeelden. De lichtstraal valt steil in maar wordt vrij vlak weerspiegeld.

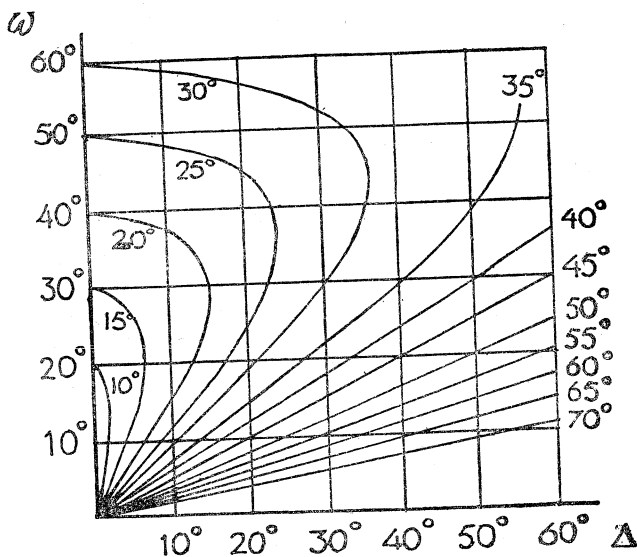


Fig. 29. Het bepalen der hellingen α van de golfjes uit de breedte Δ der lichtzuil aan de horizon. Bij elke waargenomen waarde van ω en Δ past een punt; beoordeel de ligging daarvan t.o.v. de kurven, die iedermet een zekere waarde van α overeenkomen. (Naar E. O. Hulburt, J. O. S. A. 24, 35, 1934.)

spiegel (fig. 28). Dit geeft vanzelf de verschuiving der spiegelbeelden naar de gezichteinder. Uit de verdwijning der eerste 30° in de weerspiegeling volgt, dat de golven gemiddeld hellingen van ongeveer 15° in elke richting vertonen (bij niet uitgesproken rustige noch erg stormachtige zee).

Waarom kwam dit effect niet te voorschijn bij onze theorie in § 16? Omdat we niet het geval hebben beschouwd, waarin $\omega < 2\alpha$, dus waarin we zeer schuin langs het wateroppervlak kijken; dit geval, waarin onze berekeningen niet meer opgaan, komt telkens voor als het wateroppervlak maar zeer uitgestrekt is, en inzonderheid bij de zee. Hoe kalmer het wateroppervlak, hoe schuiner men hiervoor kijken moet.

Of aan deze voorwaarde voldaan is, bemerkt men onmiddellijk bij het gadeslaan van de zonbeschenen zee: *de lichtzuil bereikt dan de gezichteinder*. We kunnen nu de hellingen der golfjes niet meer uit de lengte der lichtzuil meten, maar gebruiken een ander middel: worden de golfjes steiler, dan bedekt zich een toenemend breder stuk van de gezichteinder met fonkelend licht (vgl. plaat I). Meet deze hoek Δ , de breedte dus van de zuil aan de horizon; meet ook de zonshoogte ω , en bepaal nu hieruit de helling α der golven met behulp van de grafische voorstelling fig. 29; ofwel met een formule van Spooner, vereenvoudigd voor zonshoogten beneden 15° :
$$\alpha = \frac{\Delta}{2\omega} \text{ radialen}$$
 (1 radiaal = 57°).

De opgaande en ondergaande zon vertonen in zeer kalme zee een bijna lijnvormig spiegelbeeld, dat met de vurige zonschijf zelf ineenvloeit en een soort Ω vormt (fig. 30). Bij zeer uitzonderlijk effen zee heeft men wel eens het elliptische spiegelbeeld

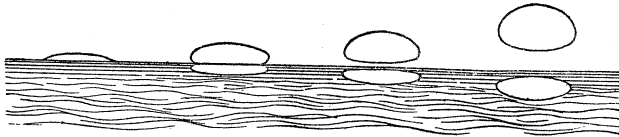


Fig. 30. Kan ik aan het spiegelbeeld der opgaande zon in een uiterst rustige zee de kromming der Aarde waarnemen?

gezien toen de zon al wel 1° boven de gezichteinder was; meestal krijgt men echter al heel gauw de overgang tot de reeds beschreven driehoekige lichtvlek. In dergelijke gevallen begint de kromming van het aardoppervlak ook al een rol te spelen; als er helemaal geen golfjes waren overgebleven, zou men kunnen zeggen dat men hier de rondheid van de Aarde rechtstreeks voor zijn ogen ziet! Echter is in het gunstigste tot nu toe onderzochte geval de waargenomen verschuiving naar de gezichteinder nog altijd

wel dubbel zo groot als de kromming der Aarde kan doen verwachten. 1)

20. Zichtbaarheid van zeer zwakke golvingen.

Heel zwakke golvingen ziet men veel beter als men loodrecht op de golfkammen kijkt dan wanneer men evenwijdig eraan waarneemt. Voor een kanaal moet men dus in 't algemeen evenwijdig aan de kanaalrichting kijken om te zien hoe de wind het water rimpelt. Vandaar ook, dat de prachtige dwarsgolven achter een schip alleen van een brug af waargenomen worden, maar van de oever praktisch onzichtbaar zijn! De reden is precies dezelfde als die waarom het beeld van een lantaren tot een lichtzuil wordt uitgerekt. Kijkt men loodrecht op de golfjes, dan ziet men om zo te zeggen de lange as der lichtzuil; kijkt men evenwijdig er aan, dan ontstaat de korte as. Het komt altijd daarop neer, dat een golfje meer „uitwerkt” in een vlak loodrecht op zijn kamrichting dan in die richting zelf.

21. Lichtzuilen in een vuil wateroppervlak.

Bij een geheel effen, spiegelglad wateroppervlak, zien we toch dikwijls lichtzuilen om de spiegelbeelden der straatlantarens 's avonds. Deze lichtpluimen vertonen niet de wemelende wisselingen der lichtzuilen op de golfjes, ze staan volkomen rustig en onbewegelijk. Ze ontstaan overal waar het wateroppervlak niet geheel schoon is: blijkbaar vormen de stofjes op het water even zovele heel kleine hobbeltjes in het oppervlak, die optisch net als golfjes werken. Men zou dan verwachten, deze lichtzuilen des te slanker te zien worden, naarmate men schuiner op het oppervlak kijkt; — dit komt inderdaad uit.

Bij min of meer loodrechte inval ziet men de lichtzuilen bijna niet; bij rakelings inval zijn ze zeer opvallend, en vormen een gevoelig criterium voor de schoonheid van een wateroppervlak. Het intensiteitsverschil is zo sprekend, dat hier iets bijzonders in 't spel moet zijn. Die stofjes zijn zo klein, dat men al van *verstrooien* van het licht moet spreken; en nu zullen we zien dat de verstrooiing door zulke stofjes verreweg het sterkst is in de buurt van de richting van de invallende lichtbundel (§ 182). Vandaar stellig dat de lichtverstrooiing en de hele lichtzuil sterker en sterker worden, naarmate men schuiner kijkt.

1) A. Ricco, V. Cerulli, A. Venturi, in Mem. Spett. Ital. 17, 203, 1888; 18, 23, 45 en 57, 1889. — Vgl. ook Spooner, t.a.p. blz. 337.

22. Lichtzuilen op sneeuw.

Soms is de sneeuw bedekt met een laag mooie vlakke plaatjes en sterretjes, alle min of meer in horizontale stand. Zoekt men bij lage zon haar spiegelbeeld in de sneeuwlaag, dan ziet men een mooie lichtzuil, die toe te schrijven is aan kleine, onregelmatige afwijkingen van de sneeuwplaatjes ten opzichte van het horizontale vlak. De zon moet laag staan, omdat de lichtzuil zich dan samentrekt in de dwarsrichting en duidelijker te voorschijn komt.

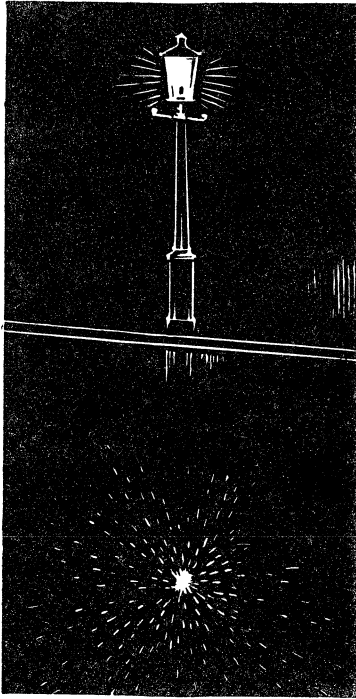


Fig. 31. Regendruppels tekenen vurige vonkjes om het spiegelbeeld van een straatlantaren.

genoeg kijkt (verder van de normaal en meer naar de gezichteinder toe). Vgl. § 18.

De vorming van die lichtzuilen is nog treffender in de avond, als de straatlantarens branden en als ieder licht zich spiegelt in de verse sneeuw.

23. Lichtzuilen op straatwegen.

Dezelfde lichtzuilen, die we op golvend water zien, komen ook te voorschijn op onze straatwegen, het mooist wanneer het geregend heeft en alles van de nattigheid glimt; men ziet ze prachtig op ons moderne asfalt, maar ook op de ouderwetse straatkeien, zelfs op grintwegen. Ook zonder regen spiegelen onze wegen meestal zo goed, dat er wel altijd lichtzuilen ontstaan, *mits men schuin*

24. Lichtreflexen in regenkringen.

Bekijk het spiegelbeeld van een straatlantaren in een waterplas, 's avonds, bij regen. Het is omringd door een aantal lichtvonkjes, die overal ontstaan waar er net een regendruppel valt, en die er alle uitzien als *lichtlijntjes die van het spiegelbeeld uitstralen*

(fig. 31). Forel merkte een dergelijk verschijnsel op, als hij door een donker glas naar het zonsbeeld keek, weerspiegeld in rustig water waar hier en daar luchtbelletjes uit opstegen.¹⁾

Men kan het ook waarnemen, als men door het vensterijs van een bevroren ruit naar een straatlantaren kijkt, het oog vrij dicht bij de ruit houdend; van uit een bewegende tram of bus gezien is dit een echt vuurwerk!

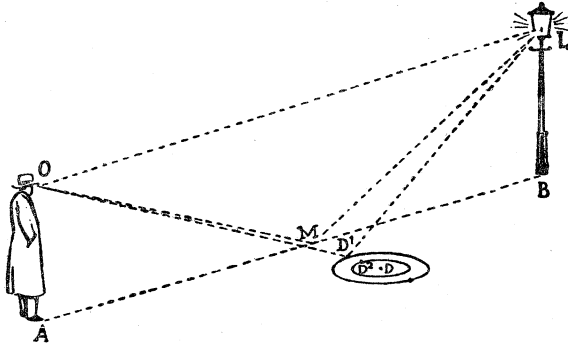


Fig. 32. Hoe de vonkjes om het spiegelbeeld ontstaan.

In deze verschillende gevallen is het oppervlak bedekt met stelsels evenwijdige rimpelingen, in allerlei richtingen lopend. Elk deel van het oppervlak zal dus af en toe een stelsel rimpelingen vertonen, dat juist de richting heeft welke nodig is om de lichtbron te weerspiegelen, en dat een lichtzuiltje doet ontstaan. Als u zich nu die evenwijdige rimpelingen voortgezet denkt tot in het spiegelbeeld zelf, is het duidelijk dat dit ook tot het lichtzuiltje zal behoren: alle lichtzuiltjes zijn dus naar het spiegelbeeld gericht.

Een eenvoudig geval is getekend in fig. 32, waarin lichtbron L en oog O zich even hoog boven het wateroppervlak bevinden, en het druppeltje D even ver van beide neervalt: de punten D_1 en D_2 liggen dan op de lijn MD; als een golfje zich kringvormig om D uitbreidt, beschrijft de lichtreflex een stuk van de lijn DM, en dit zo snel, dat we een lichtlijntje menen waar te nemen.

Algemeen geval: D ligt niet even ver van A als van B. We herleiden het vraagstuk tot dat van de weerspiegeling in golven met voorkeursrichting. Stel $\omega = \text{OMA}$, $q = \text{AMD}$, $p = \text{tweevlakshoek OMA, OMD}$. Men berekent direkt trigonometrisch dat $\text{tg } p = \text{tg } q \cdot \sin \omega$. Maar ga terug tot het

1) Le Léman, II, 507.

eind van § 18: daar werd dezelfde betrekking uit de spiegelwet gevonden; q is de hoek tussen AMB en de horizontale normaal op de waterrimpels, p is de hoek waarover we de lichtzuil gedraaid zien. Besluit: *de lichtzuil is altijd gericht van het spiegelbeeld der lichtbron naar het punt waar de druppel gevallen is.*

Het verschijnsel is na te bootsen als men een lamp gespiegeld ziet in een horizontale glazen plaat, en dan over die plaat een voorwerp verschuift dat concentrisch geribbeld is (deksel van suikerpot, op de draaibank geschuurd plaatje enz.).

25. Lichtkringen in boomkruinen. ¹⁾

Als een bladerloze boom vlak voor een lantaren staat, ziet men 's avonds hoe de takken en twijgen het licht hier en daar weerspiegelen; die lichtglansen zijn eigenlijk kortere of langere

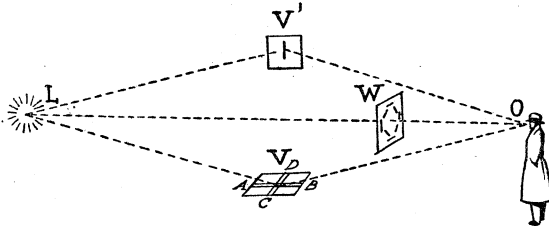


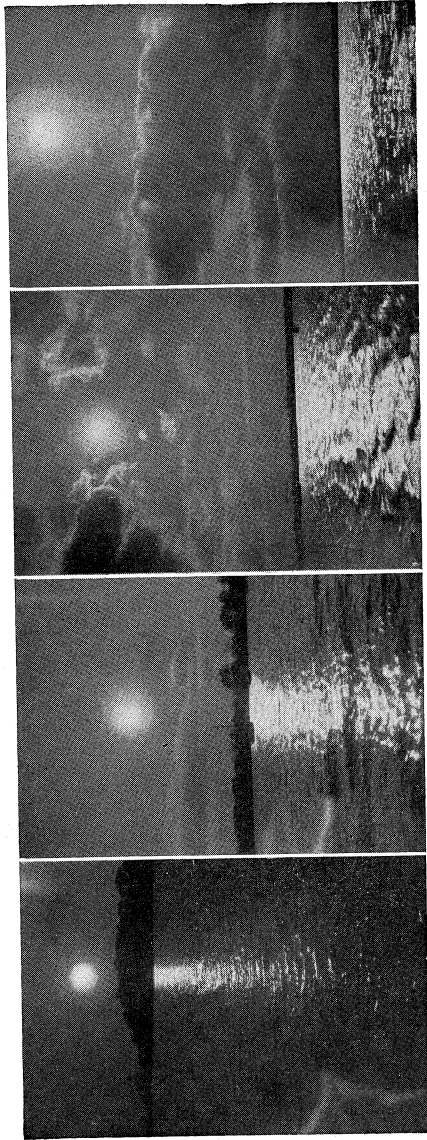
Fig. 33. Hoe de lichtkringen in boomkruinen ontstaan.

lichtlijntjes; en al die lijntjes zijn in concentrische cirkels om de lichtbron gerangschikt! (Plaat II). Men ziet het verschijnsel het best, als men zelf in de schaduw van de boomstam staat en als de lantaren dicht bij de boom hangt. Maar ook met zonlicht is het waar te nemen, bijvoorbeeld als de takken vochtig zijn van de regen, of als zich het fijne lijnenspel van glimmende berketwijggjes tegen een donkere achtergrond aftekent; de zon zelf moet liefst door een muur of tak afgedekt zijn, zodat ze ons niet verblinden kan. Buitengewoon mooi is het effect bij ijsel!

Verklaring (fig. 33). — Beschouw een vlakje V dat het licht van de lantaren naar ons oog weerspiegelt. Alle takjes in dit vlak zullen wij zien glimmen. Maar de takjes zoals AB zien wij sterk perspectivisch verkort, de takjes CD in hun volle lengte. Waar takjes van allerlei richtingen even veelvuldig voorkomen, zullen wij dus in hoofdzaak lichtlijnen zien loodrecht op het vlak OLV . Een dergelijke stelling geldt ook voor andere vlakjes

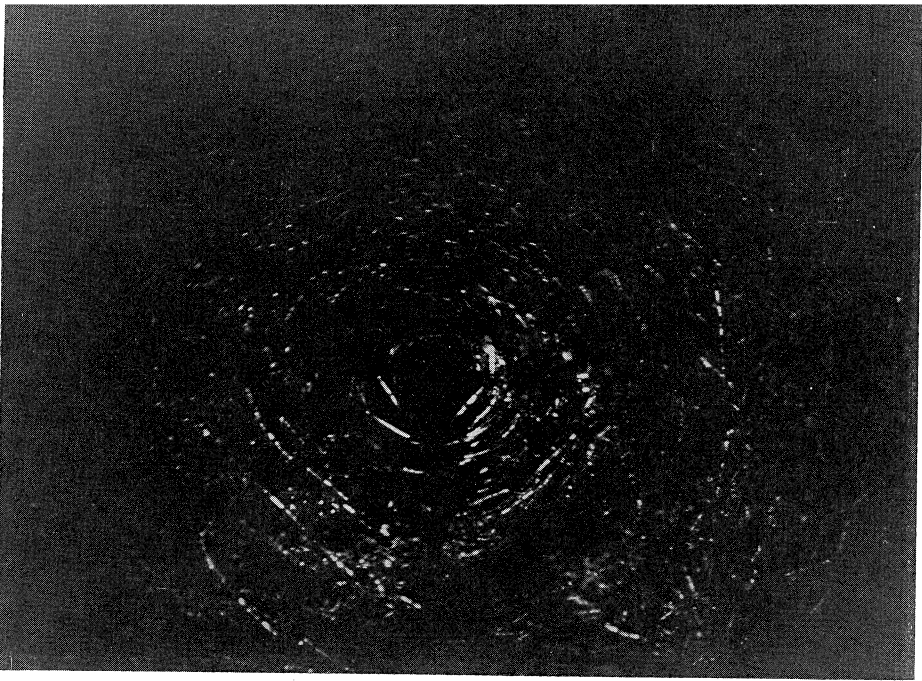
1) Fokker, *Physica*, 2, 238, 1922. — Neuberger, *Met. Zs.* 55, 68, 1938.

PLAAT I.



De zon wordt door de zee weerspiegeld en vormt lichtzuilen, des te breder naarmate ze hoger staat en de zee sterker golft (§ 16). Bemerkt dat de verre kust geen spiegelbeeld heeft. Overal is de lichtzuil het helderst nabij de gezichtsteinder („verschuiving der spiegelbeelden”, § 19).

Naar E. O. Hulburt, J. O. S. A. 24, 35, 1934.



PLAAT IIa. Kijkt men 's nachts dwars door een boomkruin naar een brandende lantaren, dan ziet men de glimmende takken als kringen om de lichtbron (§ 25).

PLAAT IIb. Dezelfde boom en de lantaren bij dag. De glimmende kringen komen één voor één met bepaalde takken overeen.

zoals V' , die wij boven, rechts of links van de lichtbron zien: wij krijgen aldus de indruk van concentrische cirkels. — Men ziet gemakkelijk dat de voorkeur in de richting des te sterker uitgesproken wordt naarmate onze blik een kleinere hoek met de lijn OL vormt, en dat die voorkeur nog iets sterker zal zijn voor een oneindig verre lichtbron zoals de zon, dan voor een lanternen die dichtbij ons staat.

Vergelijk dit geval met de lichtzuilen op golvend water (fig. 34)! We moeten ons nu als 't ware denken, dat boomtakjes niet overal in de ruimte voorkomen, doch slechts in één vlak (= het wateroppervlak). De enige lijntjes die in dit vlak liggen en toch bij benadering deel uitmaken van concentrische cirkels om OL , zijn ieder loodrecht op het vlak OVL gericht, maar vormen samen een zuil in dit vlak. Dit is geheel analoog aan de watergolfsjes.

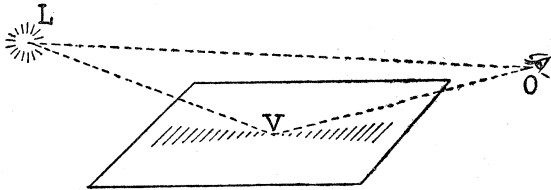


Fig. 34. Vergelijk de lichtkringen in boomkruinen met de lichtzuil op golvend water.

Een dergelijk verschijnsel kan men nog waarnemen als men de laagstaande zon in een korenveld ziet schijnen. Of bij mistig weer, als de spinnewebben bedauwd zijn met kleine druppeltjes, en men door zulk een spinneweb naar een brandende straat-lantaren kijkt. Of aan de krasjes op de ruiten van een treinraampje (vgl. § 164). Of aan het „engelenhaar” van de kerstboom, achter hetwelk de kaarsjes schijnen. In al deze gevallen glimmen in hoofdzaak de lijntjes loodrecht op het invalsvlak van het licht, en krijgt men de indruk van concentrische cirkels om de lichtbron.

DE BREKING VAN HET LICHT.

26. Breking van het licht bij overgang van lucht in water.

De vaarboom waarmee de schipper zijn schuit voortduwt lijkt gebroken daar waar hij door het wateroppervlak gaat; dit beeld ontstaat, doordat de lichtstralen geknikt worden als ze

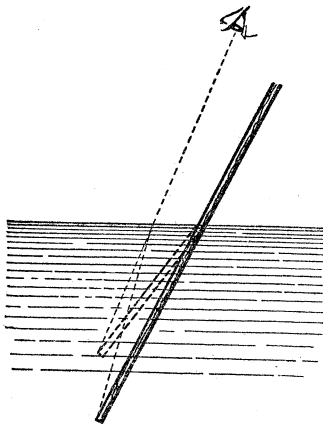


Fig. 35. De breking der lichtstralen veroorzaakt een schijnbare knik van de vaarboom.

van lucht naar water overgaan (of omgekeerd). Merk echter op dat „de gebroken stok” daarom nog geen beeld geeft van de gebroken lichtstraal! Deze laatste is juist in omgekeerde zin geknikt; het verband blijkt uit fig. 35.

Let op een paal in helder water; zet er een merkstreep op, zo dat de hoogte daarvan boven de waterspiegel juist gelijk schijnt aan de lengte van de paal onder water. Bij nameting zult u bevinden, dat deze twee lengten in werkelijkheid zeer verschillend zijn.

Schat de afstand van een voorwerp dat zich onder water bevindt en beproef het snel te grijpen: meestal komt u bedrogen uit, want door de breking van de lichtstralen schijnt het voorwerp opgeheven (vgl. fig. 35). Het ligt dieper dan u dacht. Toch is het verschijnsel niet zo eenvoudig, dat de breking van het licht het voorwerp als 't ware zou vervangen door een hoger gelegen beeld: als u voorbij een heldere sloot wandelt of fietst, ziet u de waterplanten in de diepte een eigenaardige plaatsverandering vertonen: het verplaatste beeld verschuift telkens *en wordt des te meer opgelicht naarmate u schuiner kijkt* (Plaat IVb).¹⁾

Op de bodem van een ondiepe vijver of dicht bij de oever van een riviertje werpt de zon vrolijke lichtsluieren door het

1) F. A. Forel, *L. Léman* (Lausanne 1895), II, 456.

heldere water; de welvingen der golfjes werken als lenzen, en verenigen de lichtstralen in *brandlijnen*, die zachtjes met de golven mee voortlopen (plaat IIIb en fig. 36)¹⁾. We hebben al een dergelijk lichtverschijnsel in teruggekaatst licht leren kennen (§ 9), en vinden nu de tegenhanger bij de breking. — Wanneer de stralen schuin invallen, zijn de lichtlijnen met kleuren omzoomd: blauwachtig naar de zon toe, roodachtig van de zon af. Dit komt, omdat de blauwe stralen sterker gebroken worden dan de rode: het verschijnsel der kleurschifting (= dispersie).

Werp een wit keitje in diep, helder water en stel u op enige afstand om het te bekijken; het schijnt aan de bovenzij blauw en aan de onderzij rood gekleurd.²⁾ Ook dit is een gevolg van de kleurschifting.

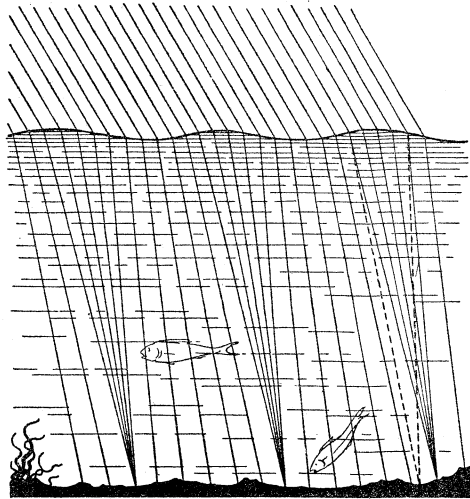


Fig. 36. Zonnestrallen dringen in het water, en worden door de breking der golfjes tot lichtlijnen verzameld. De (gestippelde) blauwe stralen worden sterker gebroken.

27. Breking door een gewelfd wateroppervlak.

Zodra de waterspiegel ook maar iets van de volstrekte vlakheid afwijkt, openbaart zich dit onmiddellijk door de richtingverandering van de gebroken lichtstralen en door een ongelijkmatige helderheid op de bodem.

Let op de kleine werveltjes die spelen over het oppervlak van een onzer Veluwse beekjes; elk werveltje holt de waterspiegel een weinig uit, en nu zien we hoe donkere vlekken daarmee overeenkomen en zich over de zandige bodem voortspoeden. Bij nader toezien blijkt elke donkere vlek omgeven te zijn door

1) F. A. Forel, *Le Léman*, II, 454. Deze verschijnselen zijn nog mooier waar te nemen met behulp van een waterkijker (§ 210).

2) L. Boltzmann, *Populäre Schriften*, 59.

een zoom van licht. Een blik op fig. 37 verklaart onmiddellijk hoe deze lichtverdeling ontstaat, hoe de lichtstralen uit elkaar wijken in het midden, terwijl ze zich daaromheen samendringen.

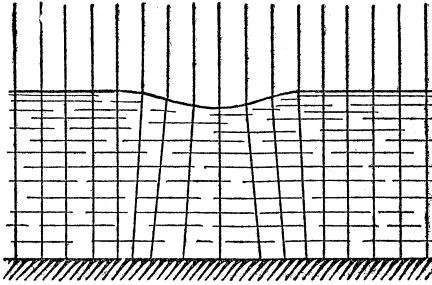


Fig. 37.

Iets dergelijks kan men opmerken aan de schaduwen der „waterlopers”, de bekende wanten die zich als schaatsenrijders over het wateroppervlak voort kunnen bewegen, en daarbij gedragen worden door het capillaire grenslaagje. Elk hunner pootjes maakt een deukje in het wateroppervlak; en, hoe gering de welving ook

moge zijn, toch openbaart die zich direct in het schaduwbeeld, dat 6 donkere vlekjes met lichte aureolen vertoont.

Een andere vorm van oppervlak ontstaat aan de rand van drijvende bladeren, zoals die van de waterlelie, waar het watercapillair tegen de opgekrulde rand opkruipt. De lichtstralen worden in onregelmatige vegen binnen het schaduwgebied geworpen (vgl. § 65); hierdoor ziet de schaduw van die drijvende bladeren op de bodem van een heldere plas er merkwaardig ingesneden uit, alsof het die was van een palmblad.¹⁾

28. Breking door hobbelige ruiten.

Als u in oude treinwagens door de raampjes kijkt, ziet u dikwijls dat er bepaalde stroken van de ruiten zijn die de beelden geheel vervormen. Schijnt de zon door zulk een ruit op een blad papier, dan ziet men bij dezelfde plaatsen heldere of donkere vegen zich op het papier aftekenen; houd het papier wat verder achteruit: zulk een veeg trekt zich samen tot een tamelijk scherpe lichtlijn. — Blijkbaar is de ruit geen planparallele plaat maar vertoont ze dunnere en dikkere delen; deze werken als onregelmatige lenzen: ze spreiden de lichtstralen uit of verenigen ze, geven grillige brandlijnen (vgl. § 26). Zelfs heel kleine afwijkingen in de stralenloop veroorzaken al aanzienlijke helderheidsverschillen, zodat eigenlijk elke ruit van gewoon vensterglas de slieren vertoont.

1) Kerner von Marilaun, Pflanzenleben.

Bijzonder duidelijk komen de slieren te voorschijn, wanneer zonnestralen door een openingetje in dicht gebladerte dringen en een „zonnebeeldje” vormen (§ 1), dat daarna door een ruit gaat. Inderdaad is de invallende bundel op elk punt van de ruit nu nog scherper en zuiverder gericht, aangezien zulk een punt nu geen licht meer krijgt van de gehele zonneschijf, maar slechts van een klein deel daarvan. De geringste afwijking der stralen wordt nu zichtbaar. ¹⁾

Een bijziend lezer schrijft mij, dat hij enkele meters achter een vensterglasruit wel altijd de ene of de andere ster scherp ziet, blijkbaar omdat een toevallige welving van het glas een beeld van de ster dicht vóór zijn oog ontwerpt.

29. Dubbele beelden, teruggekaatst door spiegelglas.

Kijk naar een verre lantaarn of naar het beeld van de maan, teruggekaatst in de spiegelruiten van een huis langs de weg. U ziet *twee* beelden, het ene verplaatst zich op onregelmatige wijze ten opzichte van het andere naarmate de weerspiegeling op het ene of op het andere gedeelte van de ruit gebeurt. ²⁾ — Nog niet zo lang geleden heeft een „wijsgeer” betoogd, ³⁾ dat men hier een geval had van „werkingen zonder oorzaak”!! Laten wij natuurkundigen eens kijken of we hier geen oorzaak kunnen ontdekken.

We merken op dat de mooie gepolijste platen van zwart glas, die bij deftige firma's naast de deur prijken, geen dubbele beelden geven. Het is dus duidelijk, dat bij een spiegelruit het éne beeld teruggekaatst is door het voorvlak, en dat het tweede gevormd is door stralen die door het glas zijn gegaan, tegen het achtervlak teruggekaatst, en dan weer door het glas ons oog hebben bereikt. Bij zwart glas wordt die tweede soort stralen opgeslorpt.

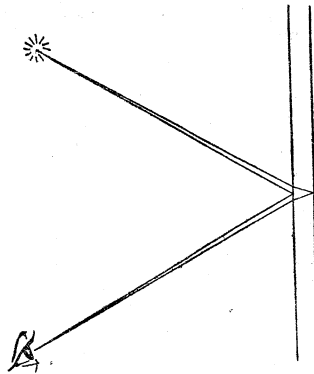


Fig. 38. Een zuivere planparallele spiegelruit geeft dubbele beelden, maar deze liggen uiterst dicht bij elkaar.

1) Deze alleraardigste waarneming werd mij meegedeeld door den Heer K. Braak.

2) Ztschr. f. d. phys. chem. Unterricht, 4, 86, 1891; 37, 90, 1924.

3) E. Barthel, Arch. f. system. Philos. 19, 355, 1913.

De breking doet een der stralen een weinig afwijken van zijn richting (fig. 38). Kan dit de oorzaak der dubbele beelden zijn? — Neen. Want *a*) dan zouden ze niet op bepaalde delen van dezelfde ruit veel dichter tot elkaar naderen dan op andere; *b*) ze zouden niet verder uiteen liggen dan de dikte van 't glas, wat nauwelijks waar te nemen zou zijn; *c*) de verplaatsing zou nul zijn voor zeer kleine en zeer grote invalshoeken (met een maximum nabij 50° , zoals men berekenen kan), terwijl wij ook bij loodrechte inval dubbelbeelden waarnemen; *d*) voor een oneindig verre lichtbron, zoals de maan, zou de afstand der dubbelbeelden altijd nul zijn.

Besluit: een planparallele glazen plaat kan zulke dubbelbeelden niet geven. Deze zullen echter wel ontstaan, indien de ruit hier en daar een weinig wigvormig is, doordat de oppervlakken zwak golven. Eer we echter vrede hebben met die verklaring, moeten we berekenen hoe groot de hoek tussen vóór- en achtervlak moet zijn, om de waargenomen afstand der dubbelbeelden te verklaren; want het is onwaarschijnlijk, dat bij goed spiegelglas de afwijkingen van de evenwijdigheid groot zouden zijn.

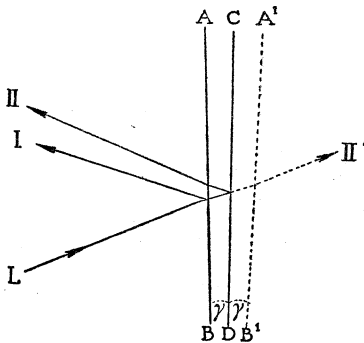


Fig. 39. Het ontstaan der dubbele spiegelbeelden bij een ruit die niet overal even dik is.

$2\gamma + (n - 1)2\gamma = 2n\gamma$; voor glas is $n = 1,52$, dus wordt de hoek ongeveer 3γ .

In fig. 40 ziet men welke gevolgen dit heeft als een waarnemer O naar de lichtbron L kijkt, die ver verwijderd is: de twee stralen I en II, die praktisch evenwijdig van de verre lichtbron aankomen, verenigen zich in het oog van den waarnemer onder een hoek 3γ ¹⁾.

Denk eerst de twee vlakken evenwijdig en volg één straal die zich splitst: de twee teruggekaatste stralen zijn evenwijdig gebleven en alleen een weinig verschoven. Laat nu het voorvlak AB hellen onder een hoekje γ (fig. 39). De straal I draait dan over een hoek 2γ . Om de weg van de straal II te volgen, denken wij ons CD als een spiegel, die van AB een spiegelbeeld in A'B' geeft, en van de straal II een spiegelbeeld II'. Nu zien we dat de lichtstraal LII' door een prisma'tje ABB'A' gegaan is, met een kleine brekende hoek 2γ en een brekingsindex die we n zullen noemen; men leert in de geometrische optica dat zulk een prisma'tje een hoekafwijking $(n - 1)2\gamma$ aan de lichtstraal geeft, wanneer de invalshoek niet te groot is. De totale hoek tussen I en II is dus

1) Voor een ander bewijs, zie § 30.

Besluit: schat de hoekafstand tussen de spiegelbeelden, de hoek van de twee glasoppervlakken is daar het derde gedeelte van.

De schatting van die hoek kan b.v. gebeuren door de afstand a der spiegelbeelden op het glas te bepalen, te delen door de afstand R van oog tot ruit, en te vermenigvuldigen met $\cos i$. Men vindt bij gewoon spiegelglas hoeken van een paar duizendste radiaal¹⁾ = enkele boogminuten. Op 10 cm afstand verloopt de dikte van de ruit dus b.v. 0,2 mm. Dat is zo weinig, dat we 't niet zouden merken zonder nauwkeurige diktemetingen aan de spiegelruit uit te voeren; toen ging men meten vond men die schatting inderdaad bevestigd.

Is het niet prachtig, dat we dergelijke uiterst kleine fouten van het glas zonder enig hulpmiddel, al wandelend, kunnen bepalen? En daarenboven is ons nu gebleken dat onze verklaring van de dubbele beelden wel juist is. Als we voor een verschijnsel in de natuur geen oorzaak weten aan te wijzen, dan ligt dat aan onze onwetendheid!

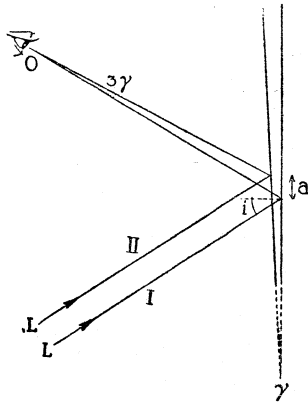


Fig. 40. Hoe men uit de hoekafstand 3γ der twee spiegelbeelden de wigvormigheid ener spiegelruit nauwkeurig bepalen kan.

Algemeener en nauwkeuriger formule: de hoekafstand der twee beelden is $2m\gamma \frac{R'}{R + R'}$, waarin R' = afstand lichtbron—glas, R = afstand oog—glas, en $2m$ de volgende waarden heeft:

invalshoek $i =$	0°	20°	40°	60°	80°	90°
$2m =$	3,0	3,1	3,6	5,0	13,3	

We hebben tot hertoe aangenomen, dat de invallende lichtstraal in het vlak V loopt, dat loodrecht staat op de brekende ribbe van het prismatje γ , gevormd door de beide vlakken van de ruit. Bij een gegeven wigvormigheid en voor een gegeven invalshoek i is de hoekafstand tussen beide beelden dan de grootst mogelijke. In het algemeen zal het invalsvlak een hoek φ met het vlak V vormen, en de hoekafstand tussen de beelden wordt $\cos \varphi$ maal het hierboven berekende bedrag.

Aan gewoon vensterglas kan men de meervoudige beelden niet goed onderzoeken, omdat ze op de vreselijkste wijze door het hobbelig oppervlak vervormd worden: de methode is te gevoelig.

1) Voor het begrip radiaal, vgl. § 1.

30. Meervoudige beelden, gegeven door spiegelglas in doorvallend licht.¹⁾

Kijk 's avonds in schuine richting door een goede ruit van tram, auto of autobus naar een lantaren in de verte of naar de maan. U ziet verscheidene beelden op ongeveer gelijke afstanden van elkaar, het eerste sterk, de volgende steeds zwakker; hoe schuiner u door de ruit kijkt, hoe groter hun afstanden worden en hoe minder ze in lichtsterkte ten opzichte van elkaar schelen.

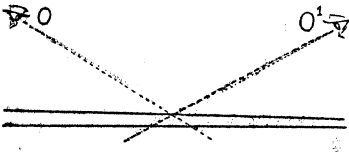


Fig. 41. Het helderste der meervoudige spiegelbeelden ligt altijd aan dezelfde zijde van den waarnemer.

Het is duidelijk dat dit verschijnsel ontstaat door herhaalde terugkaatsingen tegen voor- en achterwand van de ruit. Het lijkt eigenlijk zeer op dat der dubbel teruggekaatste beelden; we hebben weer dezelfde redenen om zeker te zijn dat de voor- en de achterkant niet evenwijdig zijn, en zelfs nog een reden meer: bij een planparallele ruit zou het helderste beeld altijd naar de kant moeten liggen, die het verst van de ruit verwijderd is, onverschillig of we door de ruit kijken in de richting O of O'; de waarneming leert daarentegen dat het helderste beeld altijd aan dezelfde zijde van den waarnemer ligt (altijd links of altijd rechts), zolang men door één bepaald punt van de ruit kijkt (fig. 41). Maar in dezelfde ruit kan men gedeelten vinden waar het helderste beeld het meest linkse is, en andere waar het helderste beeld aan de rechterzijde ligt: in het eerste geval hebben we een wigvormig gebied getroffen, waarvan de dikste zijde naar ons oog toe gekeerd is; in het tweede geval ligt de dikste zijde van ons oog af.

Laten wij de hoekafstand der beelden berekenen volgens een ietwat andere methode dan in § 29. Men ziet (fig. 42) dat de stralen L_1, L_2, L_3 , aan het achtervlak uit treden onder hoeken $r + \gamma, r + 3\gamma, r + 5\gamma, \dots$. Nu is $\sin a_1 = n \sin (r + \gamma)$, of, daar γ een kleine hoek is,

$$\begin{aligned} \sin a_1 &= n \sin r + \gamma n \cos r; \\ \text{evenzo is } \sin a_2 &= n \sin r + 3\gamma n \cos r; \\ \text{dus } \sin a_2 - \sin a_1 &= 2\gamma n \cos r. \end{aligned}$$

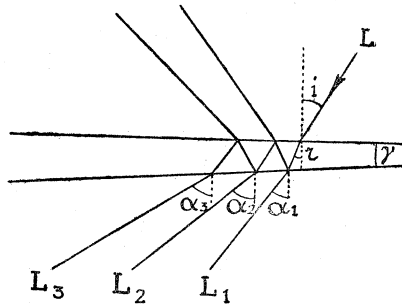


Fig. 42. Meervoudige beelden in doorvallend licht.

1) H. M. Reese, J. O. S. A. 21, 282, 1931.

Aangezien de aangroeiing van α gering is, mogen we de differentiaalformule $\delta(\sin \alpha) = \cos \alpha \cdot \delta\alpha$ toepassen, zodat $\alpha_2 - \alpha_1 = \frac{2n \cos r}{\cos i} \gamma$.

Een dergelijke redenering zouden we met behulp van fig. 32 ook voor de herhaaldelijk teruggekaatste beelden kunnen houden. De scheiding der opeenvolgende beelden is precies even groot bij de waarneming in teruggekaast als in doorvallend licht; de faktor vóór γ is inderdaad dezelfde die wij in § 29 door $2m$ hebben voorgesteld, en waarvan de waarde daar aangegeven is.

31. Weerkaatsing van boomkruinen in spiegelglas.

Het glbladerte van een boom, teruggekaast door een sterk wigvormige spiegelruit, vertoont een eigenaardige „streperigheid”. Nu we weten hoe elk lichtpunt een dubbel spiegelbeeld geeft, begrijpen we ineens dat alle blaadjes, alle lichte tussenruimten van de boomkruin een dubbelganger hebben gekregen; en dat al die dubbele beelden in dezelfde richting verschoven zijn, althans binnen een beperkt gedeelte van de ruit. De richting der streperigheid is die, waarin vóór- en achtervlak het sterkst op elkaar hellen (dus die van het vlak V, aan het eind van § 29 genoemd).

Vergelijk deze waarneming eens met de volgende eenvoudige proef, die u met elke dikke spiegel nemen kunt. — U besprenkelt hem met waterdruppeltjes, er vertoont zich streperigheid, maar ditmaal stralen alle vegen uit van hetzelfde punt: het spiegelbeeld van uw oog. In dit geval is de verplaatsing der twee beelden in hoofdzaak bepaald door de dikte van het glas; van elk druppeltje is het spiegelbeeld verschoven in de richting van het invalsvlak, en die verschuiving is des te groter naarmate u schuiner naar het druppeltje kijkt: vandaar het karakteristieke „uitstralen”.

32. Waterdruppels als lenzen.

De regendruppels tegen de ruiten van een treincoupé geven heel kleine beeldjes, net als een sterk lensje; maar natuurlijk zijn die beeldjes vervormd, aangezien de druppel allesbehalve zuiver lensvormig is. Ze staan onderste boven; en terwijl het landschap buiten in *tegengestelde* richting van de trein schijnt voorbij te schuiven, ziet men de beeldjes in *dezelfde* richting als de trein bewegen.

Het beeld van een paal is boven veel breder dan onder: de lens verkleint de beelden des te meer naarmate ze een kleiner brandpuntafstand heeft, dus een sterker kromming. Aan de bovenzijde is onze druppel inderdaad veel vlakker dan aan de onderzijde.

Als de binnenkant van de ruiten sterk beslagen is, en enkele grote druppels als beekjes naar beneden rollen, kan men prachtig de lichtbreking bestuderen in de aldus gevormde „cylinder-

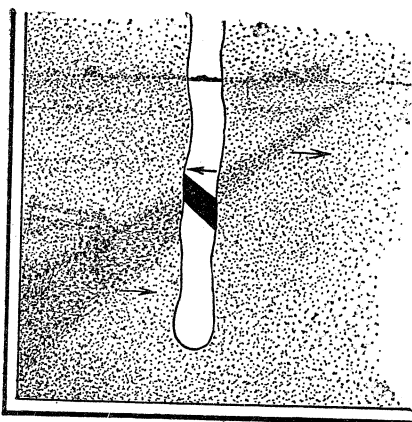


Fig. 43. Sporen van waterdruppels breken het licht als cylinderlenzen.

lenzen” (fig. 43). Duidelijk ziet men hoe rechts en links in het beeld omgewisseld zijn, en hoe alles tegengesteld beweegt ten opzichte van het landschap. ¹⁾

33. Flonkeringen van het licht in dauwdruppels en rijp-kristallen.

Wie kent niet de kleurige schitteringen van het licht in dauwdruppels? Merk op hoe rustig en fel ze schijnen aan de stevige, korte halmen van het grasveld, terwijl ze op de wuivende hoge grassen fonkelen als sterren.

Laten we een bedauwde grashalm van nabij bekijken. Pluk hem niet, raak hem niet aan! De kleine bolronde druppeltjes bevochtigen hem niet, zij liggen er capillair op, maar met een luchtlaagje tussen druppel en halm. Dat het bedauwde gras er zo grijs uitziet, komt door de terugkaatsing der lichtstralen tegen al die druppeltjes, zowel inwendig als uitwendig; een groot gedeelte der stralen bereikt dus niet eens het blad (vgl. § 173). Grote afgeplatte druppels glinsteren zilverachtig mooi onder nogal grote hoeken, omdat de stralen dan totaal teruggekaatst worden tegen de achterwand.

1) Medegedeeld door Dr. D. Tinbergen.

Kiezen wij een grote druppel en bekijken hem met één oog, dan verschijnen kleuren zodra we vanuit een voldoende grote hoek met de invalrichting waarnemen; eerst verschijnt blauw, dan groen, dan het vooral duidelijke geel, oranje, rood. Dit is natuurlijk wat we bij elke regenboog op grote schaal zien (§ 129).

Dergelijke schitteringen en kleuren vertonen ook de kristallen van rijp en verse sneeuw.

Vgl. § 136 en 159.

Vraag aan Professor Clifton u te verklaren waarom een dauwdrop de tint van een groen blad of blauwe bloem tempert tot een zacht grijs, en zich als een lichtgevende schemering op het gras of op zuring vertoont; en waarom diezelfde druppel de kracht van alle warme kleuren versterkt, zodat u onmogelijk kunt beoordelen hoe de kleur is van een anjelier of van een roos tot u ze bedauwd ziet.
Ruskin, The Art and Pleasures of England, XXXIII, 386.

Rijp van goud . . . zie de dauw op een koolblad, of, nog beter, op een grijs korstmos in de vroege zonschijn.
Ruskin, Arrows of the Chase, XXXIV, 536.

Wanneer deze rijp van de takken stoof, schitterde hij in een rijkdom van kleuren in de zonnestralen.

M. Sjolochow, De Stille Don, blz. 273.

DE KROMMING DER LICHTSTRALEN IN DE DAMPKRING.

34. Aardse straalkromming.

Wij zien de hemellichamen iets hoger boven de gezichteinder dan ze in werkelijkheid zijn; die verplaatsing is des te sterker naarmate ze meer tot de gezichteinder naderen. Vandaar de

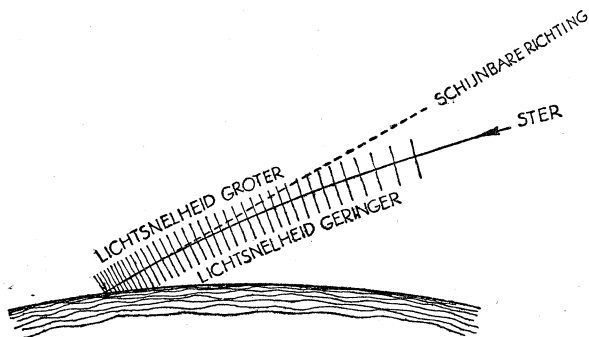


Fig. 44. Door de aardse straalkromming lijken de hemellichamen iets hoger te staan dan met de werkelijkheid overeenkomt.

afplatting van de zon en de maan bij de horizon: bij zonsondergang schijnt de onderrand van de zonneschijf gemiddeld 35 boogminuten hoger dan hij is; maar de bovenrand, die wat verder van de gezichteinder verwijderd is, slechts 29. De afplatting is dus 6 boogminuten, dit is $\frac{1}{5}$ van de middellijn van de zon. We zien hier dus aanschouwelijk hoe de schijnbare opheffing dichter bij de gezichteinder toeneemt. — Dit verschijnsel is eenvoudig het gevolg van het toenemen der dichtheid van de dampkring in de diepere lagen; naarmate de dichtheid groter wordt, neemt de brekingsaanwijzer van de lucht toe en neemt de lichtsnelheid af; wanneer dus de lichtgolven die door de ster uitgezonden zijn in onze dampkring dringen, lopen zij iets langzamer

aan de zijde die het dichtst bij de Aarde is, en zwaaien geleidelijk om. De lichtstralen, die aangeven hoe de *golffronten* zich voortplanten, krommen dus mede, en de verre voorwerpen ondergaan een schijnbare opheffing (fig. 44).

De aardse straalkromming is van dag tot dag veranderlijk, tengevolge van de wisselende temperatuurverdeling in de dampkring. Het zou heel belangwekkend zijn, voor een aantal dagen te bepalen hoe laat de zon op- of ondergaat, en dit te vergelijken met de uit de almanakken of tabellen berekende tijden. Er moet gestreefd worden naar een nauwkeurigheid van 1 seconde, wat door vergelijking met radioseinen wel bereikbaar is. Het schijnt dat men tijdsafwijkingen van 1, zelfs van 2 *minuten* kan verwachten! Vooral een waarnemer die aan ons zeestrand verblijft zou zulk een onderzoek goed kunnen uitvoeren, omdat men daar de zonsondergang boven een zuivere, vrije kim waarneemt. Een dergelijk onderzoek zou te combineren zijn met waarnemingen van de kimhoogte, van de vorm der zonnescijf en van de groene straal (zie §§ 35, 40, 41).

35. Buitengewone straalkromming zonder spiegeling.

Merk op, hoe dikwijls wij aan het strand de golven in de verte boven de horizonlijn zien uitkomen als verheffingen, terwijl

vlakke Aarde,
geen straalkromming



gekromde Aarde,
geen straalkromming



gekromde Aarde,
straalkromming („het
bolle wateroppervlak”).

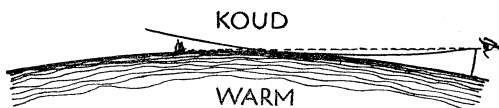


Fig. 45. Hoe wij zeegolven tegen de horizonlijn kunnen waarnemen.

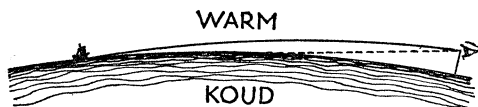
dergelijke golvingen dichtbij ons niet tot de horizonlijn reiken; en toch moest de verbindingslijn van even hoge toppen waterpas zijn, en dus ook door de kim gaan. Ook gedurende een zeereis kan men dit verschijnsel bij zwaar weer geregeld waarnemen; men vat post op een der lage dekken, zodat men de golven dichtbij niet geheel tot de kim ziet opstijgen, en vergelijkt dan met de golven op grote afstand. Indien de lichtstralen zich rechtlijnig

moesten voortplanten, zou deze waarneming alleen te verklaren zijn door de kromming der Aarde, welke wij hier vóór onze ogen als een werkelijkheid zouden zien (fig. 45).

In het verschijnsel dat wij zo juist beschreven hebben, speelt echter de aardse stralkromming een belangrijke rol. Sommige dagen is die buitengewoon uitgesproken, de gezichteinder schijnt nabij, de boten lijken ons verder dan gewoonlijk en groter; het



Het onzichtbaar worden van verre voorwerpen; het wateroppervlak lijkt bol.



Het abnormaal zichtbaar worden van verre voorwerpen; het wateroppervlak lijkt hol.

Fig. 46.

(In beide schetsen is de kromming van de lichtstraal overdreven.)

is, alsof de kromming der Aarde versterkt was. Andere dagen kunnen we ons verbeelden dat de rustige zee of een groot meer er uitzien als een holle schaal. Normaal onzichtbare voorwerpen worden zichtbaar, schijnen dichtbij en kleiner dan gewoonlijk. Verre boten die al op de horizonlijn moesten liggen, schijnen nog in een waterdal te

varen; ze lijken in verticale richting samengedrukt; de horizonlijn loopt boven hun romp, terwijl ons oog toch feitelijk minder hoog is dan de bovenkant van die romp. De gezichteinder schijnt abnormaal ververwijderd.

Deze beide kenmerkende toestanden kunnen we noemen: *het bolle en het holle wateroppervlak*¹⁾ (fig. 46). De ene ontstaat als de dichtheid van beneden naar boven in de dampkring abnormaal langzaam afneemt of zelfs (voor de onderste luchtlagen) toeneemt; de andere ontstaat als de dichtheid van beneden naar boven abnormaal snel afneemt. Zulke anomalieën zijn het gevolg van uitzonderlijke temperatuurverdeling. Is de zee warmer dan de lucht, dan worden de onderste luchtlagen warmer dan de hogere, ze worden dus optisch ijler en minder lichtbrekend; de lichtstralen krommen van de Aarde af. Is de zee kouder, dan ontstaat de omgekeerde kromming. Het is zaak om op zulke dagen de temperatuur op verschillende hoogte te meten, en te zien of men daaruit de waarnemingen verklaren kan.

1) Forel, C. R. 153, 1054, 1911. — Proc. R. Soc. Edinb. 32, 175, 1912.

Er is nog een kenmerk waardoor die beide optische toestanden zich van elkaar onderscheiden: het is de schijnbare hoogte van de gezichteinder. Om die zonder instrumenten waar te nemen, moeten we een vast mijkpunt A kiezen nabij het strand, en een veranderlijk mijkpunt B op een paal of boomstam, een honderd meter landinwaarts (fig. 47). We kijken van uit B, en zoeken op welke hoogte we ons oog moeten houden om de gezichteinder nauwkeurig door het punt A te zien gaan. Als het water kouder is dan de lucht, lijkt de gezichteinder hoger en B daalt; als het water warmer is dan de lucht, lijkt de gezichteinder lager en B stijgt. Verschillen van 6' zelfs 9' in de ene of in de andere richting komen soms voor, vooral bij windstilte; bij een afstand $AB = 100$ m komen deze hoeken overeen met een hoogteverschil van ± 20 en 30 cm. — Deze metingen gelukten heel goed met een stenen paal op het boulevard te Zandvoort, waargenomen van uit een der straten die op het strand toelopen; de afstand was 90 m, hoogteverschillen tot 5 cm kwamen geregeld voor en waren op 0,5 cm nauwkeurig te bepalen. Nog beter zou de waarneming kunnen geschieden met een toneelkijktje.

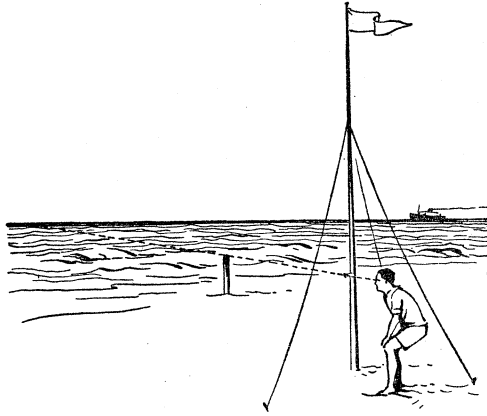


Fig. 47. Het meten van de veranderingen der aardse straalkromming.

In uiterst zeldzame gevallen wordt de kromming der lichtstralen in de dampkring buitengewoon sterk en geeft dan aanleiding tot de merkwaardigste optische verschijnselen. Soms komen er dagen voor van buitengewone zichtbaarheid, waarop ineens een ver verwijderde stad of een vuurtoren duidelijk zichtbaar worden, die men in normale omstandigheden nooit kon waarnemen omdat ze achter de kim liggen. De zeeman spreekt van „opdoeming”. Een dergelijk geval is bijvoorbeeld op de Zuiderzee in de buurt van Stavoren waargenomen, waar men Enkhuizen en Urk verrassend dichtbij zag liggen¹⁾; en van de

1) Onweders enz. 47, 52, 1926.

Zuiderzeedijk bij Amsterdam uit, waar het eiland Pampus eens beneden de kim in plaats van op de kim te zien was. ¹⁾

Omgekeerd zijn er gevallen waarin verre voorwerpen, die gewoonlijk boven de gezichteinder uitsteken, verdwijnen alsof ze achter de kim lagen. Ook in dit geval krijgt men meestal de indruk van grote nabijheid. Op zulke uitzonderlijke dagen lijken de voorwerpen in de verte dikwijls abnormaal groot: een bootje, een aangespoelde kist, de golven van de zee.

De waarnemingen moeten altijd gepaard gaan met het meten der temperatuur van het zeeoppervlak en van de lucht.

Men had haar (de stervende 90-jarige Trien Jans) volgens haar wens in de kussens rechtop laten zitten, en haar ogen gingen door de kleine, in lood gevatte ruitjes naar de verte. Er moest ginder een ijlere luchtlaag boven een dichtere liggen, want er was sterke kimming, en de straalbreking hief op dit ogenblik de zee als een fonkelende zilveren strook boven de rand van de dijk, zodat het licht verblindend in de kamer scheen; ook de zuidpunt van Jeverszand was zichtbaar.

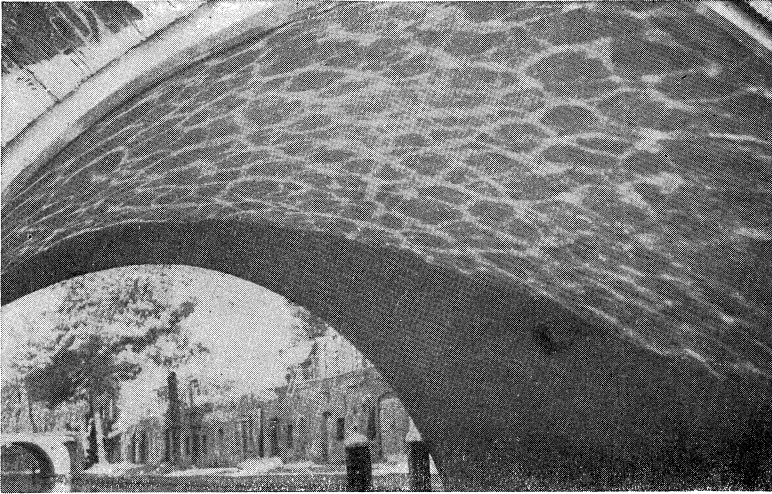
Th. Storm, Der Schimmelreiter.

36. Luchtspiegelingen op kleine schaal. (Plaat Vb).

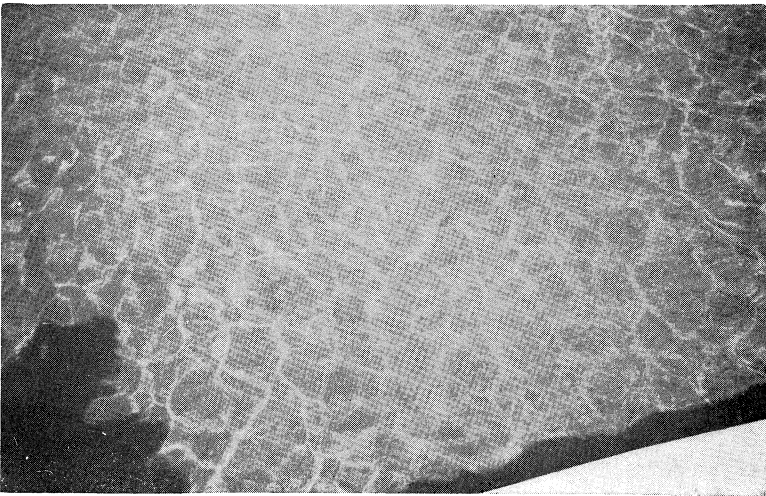
De beroemde luchtspiegeling van de woestijn is gemakkelijk op kleine schaal waar te nemen. We zoeken een teminste 8 meter lange effen muur, of een stenen borstwering, die naar 't Zuiden gekeerd is, en wachten op zonnig weer. Nu leggen we ons hoofd vlak tegen de muur en kijken rakelings er langs, terwijl iemand op zo groot mogelijke afstand een helder voorwerp dichterbij de muur houdt; een eenvoudige sleutel, schitterend in het zonlicht, is bijvoorbeeld zeer geschikt. Zodra de sleutel op enige cm van de muur komt, zien we hoe het beeld zich merkwaardig vervormt, en hoe een „weerspiegeld” beeld van de kant van de muur naar de sleutel toe schijnt te komen; dikwijls kan men zelfs de hele hand die de sleutel houdt mee weerspiegeld zien. Heeft men eenmaal het verschijnsel goed waargenomen, dan kan men het opmerken aan alle verre voorwerpen die rakelings langs de muur te zien zijn. Bij kortere muren is de luchtspiegeling ook nog wel waar te nemen, als het oog er vlak bij kan komen: dit is het geval, indien men bij het uiteinde van de muur voldoende vrije ruimte heeft, zodat men van daar uit kan kijken.

1) Onweders enz. 42, 37, 1921. Een ander, ietwat fantastisch geval is waargenomen te Drachten: Hemel en Dampkring 13, 70, 1915.

PLAAT III.

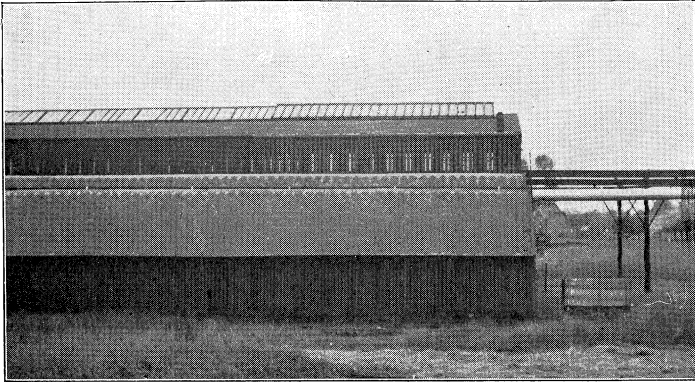


Het gerimpelde oppervlak van de gracht weerkaatst het zonlicht in een grillig netwerk van lijnen tegen 't gewelf van een oude brug (§ 9).

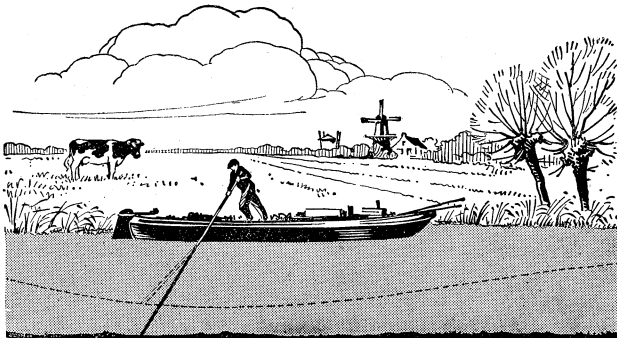


Zonlicht, gebroken door zacht golvend en ondiep water, wordt op de bodem tot lichtlijnen verenigd (blz. 37).

PLAAT IV.



Zwevingen tussen de planken aan de vóór- en aan de achterzijde
ener loods (§ 60).



De man die de schuit voortduwt ziet de vaarboom „gebroken”
en de bodem van het riviertje opgeheven (§ 26).

Bij zeer lange muren die sterk verhit zijn, kan men soms achter het 1e spiegelbeeld nog een 2e spiegelbeeld waarnemen, niet *symmetrisch* t.o.v. het voorwerp, maar er aan *gelijk*.¹⁾ Dit komt uit met een algemene wet, die leert dat de achtereenvolgende beelden ener luchtspiegeling om de beurt omgekeerd en recht-opstaand moeten zijn (Plaat Vb).

De spiegeling ontstaat, doordat de lucht nabij het verhitte voorwerp warmer is, dus ijler, en dus een geringer brekingsindex heeft. Hierdoor krommen de lichtstralen, tot zij evenwijdig aan het oppervlak lopen en zich er daarna weer van verwijderen (fig. 48). Ten onrechte wordt soms van „totale terugkaatsing” gesproken, terwijl de

overgang tussen de verschillende lagen toch overal geleidelijk is; maar anderzijds moet wel bedacht worden dat de straal zijn kromming bijna geheel krijgt in

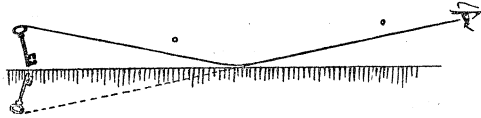


Fig. 48. Luchtspiegeling langs een door de zon beschenen muur (de verticale afmetingen zijn duidelijkheidshalve sterk overdreven).

de onmiddellijke nabijheid van het hete voorwerp. Waarschijnlijk is er vlak langs de muur een luchtlaagje van enkele mm dikte, dat ongeveer de temperatuur van de vaste wand heeft; daarna valt de temperatuur eerst snel, dan langzamer af.

Het is de moeite waard, te beproeven de temperatuur van de muur en van de naburige luchtlagen op te nemen, en te laten zien dat de waargenomen krommingen van de stralen hierdoor quantitatief verklaard worden.

Dergelijke luchtspiegelingen op kleine schaal zijn vroeger waargenomen langs de hete schoorsteen van stoomboten;²⁾ men zag de maan, Jupiter, de opgaande zon weerspiegeld als in een zilveren spiegel, de mast van het schip daarentegen vertoonde het verschijnsel niet. Maar ik geloof niet dat de pijp van moderne schepen heet genoeg wordt om deze waarneming toe te laten.

Boven de kap van een auto, die een tijdje in de zon gestaan heeft, is een duidelijke vervorming van de beelden van verre voorwerpen merkbaar, mits men rakelings langs het verhitte oppervlak kijkt. Reeds boven een plankje van 50 cm lengte dat

1) W. Hiller, Phys, Zs. **14**, 718, 1913; **15**, 303, 1914.

2) Ball, Phil. Mag. **35**, 404, 1868. — Ann. d. Phys. (Pogg.) **134**, 336, 1868.

zich in de zon bevindt, kan men soms al zien hoe alle verre voorwerpen als 't ware uitgerekte worden en door het plankje „aangetrokken”.

37. Luchtspiegelingen op grote schaal boven warme oppervlakken. (Plaat Va). ¹⁾

De vlakheid van het terrein en de waarneming op grote afstand is voor het tot stand komen der luchtspiegeling tenminste even belangrijk als de sterke verhitting van de grond. Vandaar dat ons effene land zo buitengewoon geschikt is voor deze soort waarnemingen, en de luchtspiegeling dikwijls even mooi vertoont als de verzengde Sahara. Dikwijls ziet men de luchtspiegelingen alleen wanneer men zich bukt; ze worden ineens vele malen duidelijker en blijken verrassend dikwijls voor te komen, als men maar een toneel- of veldkijkertje gebruikt en vaak de gezicht-einder onderzoekt. — Wij zullen thans een drietal gevallen beschrijven, waarin het verschijnsel buitengewoon veelvuldig en duidelijk optreedt.

Boven lange, vlakke wegen die met asfalt bekleed zijn is de luchtspiegeling op iedere zonnige dag waar te nemen; de thermometer kan een temperatuurverval van wel 20° of 30° aanwijzen in de eerste centimeter boven het oppervlak, daarna wordt de gradiënt een paar graden per cm. ²⁾ Naar mijn ervaring is de luchtspiegeling nog prachtiger op onze moderne rechte *betonwegen* (Amsterdam—IJmuiden, Hilversum—Bussum); wel wordt de zonnestraling slechter geabsorbeerd dan bij de geasfalteerde wegen, maar blijkbaar is de warmteafgifte ook geringer. Bij zonnig weer schijnt zulk een weg in de verte met plassen water bedekt, die groter en duidelijker worden als men zich bukt, en waarin zich de helder gekleurde verre voorwerpen schijnen te spiegelen. Wat wij voor water houden is niets anders dan de weerspiegeling van de heldere hemel in de verte. Het is merkwaardig, dat de luchtspiegeling helemaal niet verstoord wordt door het drukke verkeer, waardoor toch papier, stof, bladeren opgewerveld worden! Neem nauwkeurig waar welke de kleinste

1) Uitvoerige litteratuur! Zie natuurlijk eerst: Pernter-Exner, t.a.pl. — Verder: Biot, Mém. de la Classe des Sc. math. et phys. de l'Institut de France, 246, 1809. — Trans. Edinb. Soc. 30, 551, 1883. — Fr. Nölke, Phys. Zs. 18, 134, 1917. — A. Wegener, Ann. d. Phys. 57, 203, 1918. — R. Meyer, Met. Zs. 52, 405, 1935. — W. E. Schiele, Veröff. Geophys. Institut. Leipzig, 7, 101, 1935, met litteratuur.

2) H. Futi, Geophys. Mag. 4, 387, 1931. — L. A. Ramdas & S. L. Malurkar, Nat. 129, 6, 1932. — W. E. Schiele, t.a.pl. blz. 144.

afstand is waarop u het verschijnsel nog kunt waarnemen, meet de hoogte van uw oog boven de grond. Uit de formule van blz. 55 kunt u dan de temperatuur afleiden van de luchtlag die in aanraking is met het wegdek, mits u zeker bent dat de weg geheel vlak is.

*In de uitgestrekte weiden van Noord-Holland of van het Veurne-Ambacht, op de vlakke Friese maaivelden, is de luchtspiegeling een geheel normaal verschijnsel, ja zelfs een kenmerkende trek van het landschap, althans in het voorjaar en de zomer, bij enigszins helder weer en niet teveel wind.*¹⁾ Een der beste waarnemingspunten ligt onmiddellijk ten Westen van Heilo (bij Alkmaar) waar het uitzicht geheel vrij is. Men ziet een witte streep aan de gezichteinder, waarboven de verre torens en boomtoppen als 't ware zonder ondergrond zweven. Bukst men zich, dan ziet men het landschap dichterbij vervormd, en er verschijnen grote blinkende „waterplassen”²⁾, waarin zich de huizen en molens spiegelen met de lichte hemel als achtergrond; vooral aan de zonzijde is dit zeer duidelijk. Tegen de middag is dikwijls de kromming der lichtstralen zo sterk, dat men reeds staande overal plassen meent te zien; ook dan is het zeer de moeite waard zich te bukken of een paar meter hoog te stijgen, om te zien hoe de plassen zich schijnen uit te breiden of samen te trekken. Merk op hoe de beelden zich vervormen en vertikaal uitgerekt worden als het oog nog net iets te hoog is om de terugkaatsing te zien. Houdt men het oog zéér laag, dan ziet men de basis der verre voorwerpen niet meer, zij zweven boven een ledige ruimte. Aan de zijde die van de zon afgekeerd is zijn de waterplassen minder helder, vallen dus niet zo op; maar des te mooier ziet men de vervorming der verre voorwerpen en hun spiegelbeelden. Het is belangwekkend, enkele temperaturen op te nemen in de onderste luchtlagen, bijvoorbeeld op 100, 50, 25, 10 en 0 cm hoogte. Des ochtends, als de zon schijnt, vindt men dan geregeld dat de temperatuur dicht bij de grond het hoogste is; bedraagt het verschil (tussen 100 en 0 cm) 3°, dan is er weinig of geen luchtspiegeling; stijgt het tot 5°, dan is er matige luchtspiegeling; bij 8° is het verschijnsel sterk. De sterkste verschillen krijgt men in de lente op een zonnige, heldere dag, volgend op een kille nacht. — Het is over de uitgestrekte weiden bij Bremen dat Busch, de eerste die de luchtspiegeling wetenschappelijk en

1) K. Braak, Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Genootschap, 39, 587, 1922.

2) In Oost-Friesland spreekt men van „mooi weer-katjes” (Das Wetter, 3, 22, 1916).

grondig bestudeerde, in 1779 het spiegelbeeld der verre stad duidelijk kon waarnemen.

Het mooist en het regelmatigst is *de luchtspiegeling aan het strand, over vast en effen zand*, bij warm en windstil weer.¹⁾ We leggen ons plat op de grond, het oog zo dicht mogelijk bij het oppervlak van het zand, en zien dan geen duidelijk gespiegeld beeld; houden we echter 't hoofd iets hoger, dan krijgen we ineens de merkwaardige indruk dat we omgeven zijn door een vijvertje, waarin de voorwerpen weerkaatst worden: voorwerpen van 10 of 20 cm hoog op 30 m afstand ziet men al weerspiegeld. We kiezen een duidelijk, helder voorwerp H (fig. 49), en houden

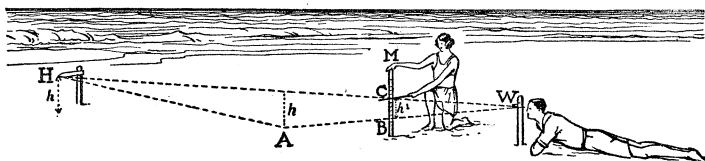


Fig. 49. Hoe we bij een luchtspiegeling de weg kunnen bepalen, die de lichtstralen gevolgd hebben. Alle horizontale afmetingen zijn veel te klein voorgesteld.

het oog in een vast punt W b.v. even hoog boven het zand als het voorwerp, hetgeen gemakkelijk door een takje of stokje aan te geven is. Nu bepalen we experimenteel de baan van de lichtstraal die ons het spiegelbeeld doet zien: een helper houdt een meetlatje M op bekende afstand, en verschuift een staafje tot dit voor ons oog a) in B net het spiegelbeeld afschermt, b) in C de top H van het voorwerp zelf afschermt. We mogen aannemen dat de direkte lichtstraal WH van ons oog naar H rechtlijnig is; achtereenvolgens kan dus de hoogte van de geknikte lichtstraal HAW en zijn gehele baan punt na punt bepaald worden. Zo vinden we dat hij betrekkelijk plotseling, dicht bij het zandoppervlak, een knik moet hebben gekregen. Als dit waar is, verwachten we dat $\frac{h}{AW}$ = $\frac{h'}{BW}$ constant zal zijn, en gelijk aan de hoek die de lichtstraal over het grootste gedeelte zijner baan met het zandoppervlak maakt. Dit blijkt inderdaad uit te komen; men vindt hoeken tot

1) L. G. Vedy, Met. Mag. 63, 249, 1928. — Hemel en Dampkring, 15, 71, 1917. Nergens zo *treffend mooi* waar te nemen als over de ontzaglijke zandplaten onzer Noordzee-eilanden, b.v. over de 8 km lange Vliehors (W.-Vlieland).

0,01 rad. = 0°,5. Uit deze hoek en de bekende brekingsindex van lucht voor verschillende temperaturen leidt men af hoeveel graden heter de lucht vlak bij de grond is dan op ooghoogte :

$$\Delta t = \frac{273}{29 \cdot 10^{-5}} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{h}{AW} \right)^2,$$

hetgeen meestal 5° tot 35° C wordt.

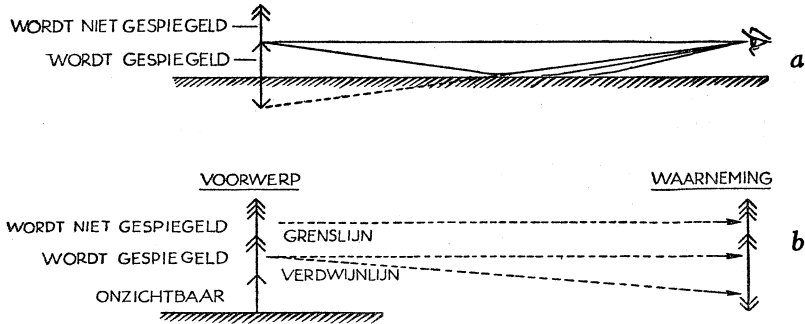


Fig. 50. Bij de luchtspiegeling wordt slechts een gedeelte van het voorwerp weerspiegeld gezien: a) op kleine afstanden; b) op grote afstanden.

In vorig geval is het ontstaan van de luchtspiegeling zeer eenvoudig. Zodra ik mijn blik richt naar een punt van de grond verder dan een zekere grens, treft de gezichtsstraal de hete lagen onder een voldoende schuine hoek om vrij plotseling geknikt te worden; het effect is ongeveer hetzelfde alsof van daar af de grond met een spiegel bedekt was. Verre voorwerpen worden aldus in twee delen verdeeld: het bovenste wordt enkel gezien, het onderste geeft een omgekeerd spiegelbeeld (fig. 50a).

Bij luchtspiegeling op grote afstanden spelen de kromming der Aarde en de gewone straalkromming een zeer merkbare rol; beneden een zekere *verdwinlijn* wordt de voet van de verre voorwerpen onzichtbaar tengevolge van de kromming der Aarde; tussen die verdwinlijn en een hoger gelegen *grenslijn* bevindt zich het gedeelte van het voorwerp dat weerspiegeld wordt gezien, en waarvan het spiegelbeeld meestal iets in verticale richting samengedrukt is; boven de grenslijn tenslotte zien we de voorwerpen waarvan geen spiegelbeeld ontstaat (fig. 50b).

In plaats van de snelle temperatuursprong bij het aardoppervlak zijn er veel ingewikkelder temperatuurverdelingen denkbaar, die ieder weer hun bijzondere optische gevolgen hebben. Bij

sterke luchtspiegeling over het strand kan men door een proef-
ondervindelijk onderzoek, zoals wij het beschreven, uitmaken
hoe de verdwijnlijn en de grenslijn lopen, en daaruit de tempera-
tuurverdeling afleiden. Rechtstreekse temperatuurmetingen zijn
hiermee te vergelijken. Maar zulke onderzoeken zijn moeilijk,
omdat het altijd mogelijk is dat het strand niet geheel waterpas
verloopt.

Bij elke zeereis ziet men tal van luchtspiegelingen, die door
vorige beschouwingen begrepen kunnen worden (fig. 51, 52).

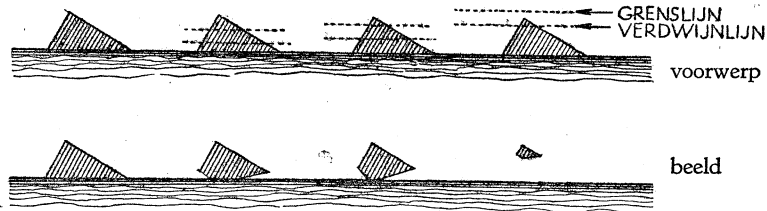


Fig. 51. Een eiland, gezien van toenemende afstanden
bij luchtspiegeling.

Als het verschijnsel weinig ontwikkeld is, zoals gewoonlijk,
wordt het gespiegelde (omgekeerde) beeld zó afgeplat, dat het
slechts een horizontaal lijntje lijkt dat met de basis van het voor-
werp ineenvloeit. Het enige wat nu nog opvalt, is de heldere
lichtstreep van de gespiegelde hemel, waaraan men natuurlijk
de samendrukking niet bemerkt. De verre voorwerpen schijnen
dus als 't ware op een kleine hoogte boven de gezichteinder te
zweven. Dit optisch verschijnsel, dat niets anders is dan een
weinig ontwikkelde luchtspiegeling, is haast dagelijks op zee
waar te nemen, vooral wanneer men gebruik maakt van een
kijkertje. Zo kan men bijna steeds van de Zuiderzeekust of van
Amsterdam uit Urk, Marken en Pampus zien. Als de verschil-
lende delen van een eiland ongelijk ver van ons verwijderd zijn,
worden de verste delen het hoogst door de grens- en verdwijnlijn
getroffen, en ontstaat fig. 52d.

*Dat is het wonderbaarlijke van deze eilanden, dat zij
in straalbreking zich los van de zee schijnen te maken, en
daarboven zweven gaan, alsof zij er heel licht en sprookjes-
achtig dreven in de ruimte van de aether.*

(H. v. Wermeskerken, Terschelling.)

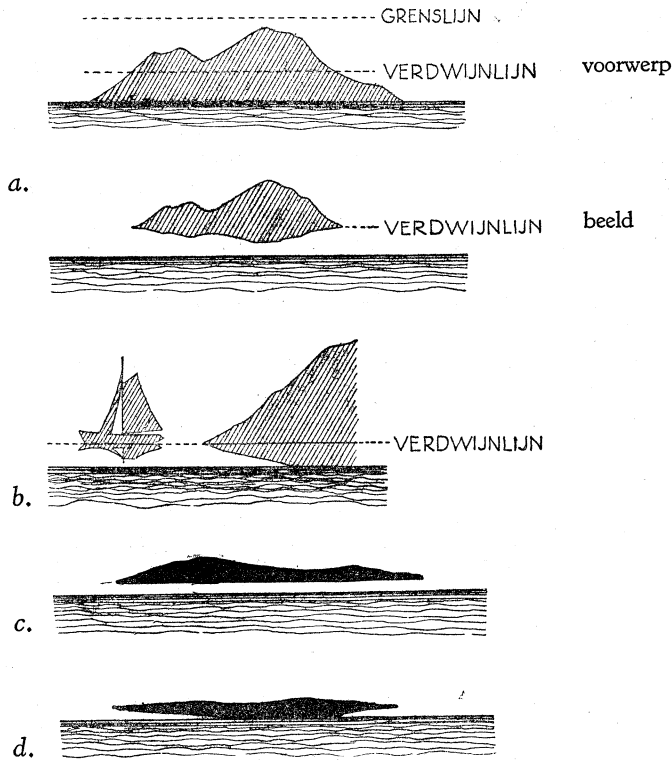


Fig. 52. Waarnemingen van de luchtspiegeling gedurende een zeereis.

De meting van de hoogte der verdwijlijn boven de schijnbare gezichteinder is een eenvoudig middel om de „sterkte” der luchtspiegeling in getalmaat uit te drukken; zij kan geschieden met een der methoden, aangegeven in het aanhangsel, § 250. Men vindt hoeken van enkele boogminuten.

Soms treedt een ander verschijnsel op, dat men hiermede zou kunnen verwarren: een laag fijne waterdruppeltjes, afkomstig van de branding, die boven de zee zweeft en de onderste gedeelten der verre voorwerpen met een laag lichte nevel bedekt.

Luchtspiegelingen, met vervorming der beelden en terugkaatsing, zijn nog in de volgende omstandigheden waargenomen: bij het baden, als het water warmer is dan de lucht;

op de Loosdrechtse plassen; op de grote meren van Z.W.-Friesland: het verschijnsel wordt daar „tillen” genoemd; boven spoorbanen: als men zich bukt ziet men hoe een lokomotief in de verte helemaal vervormd lijkt; boven vlakke geestgronden of vlakke zwarte bouwgrond; langs een duinhelling, als men evenwijdig aan de helling kijkt; langs gewone stadstraten, wanneer men rakelings langs de hoogste top ener helling kan kijken; over een ijsvlakte, als de lucht aanzienlijk kouder is dan het ijs.

38. Luchtspiegelingen over koud water (soms „kimming” genoemd).

Zoals de spiegeling naar beneden vooral optreedt over het verwarmde land, is de spiegeling naar boven voornamelijk over zee waar te nemen, ofschoon veel zeldzamer. Zij ontstaat, wanneer

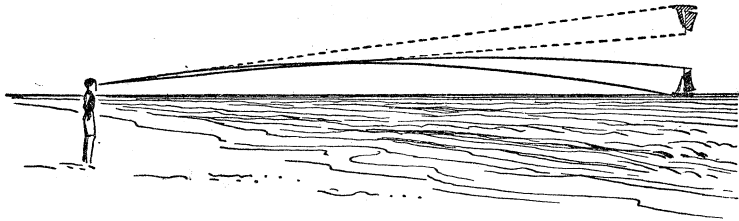


Fig. 53. Het ontstaan der zeldzame luchtspiegeling naar boven.

de zee veel kouder is dan de lucht, zodat de temperatuur in de onderste luchtlagen buitengewoon snel met de hoogte afneemt (fig. 53). Over de Oostzee, als die pas ontdooid is in de lente, en ook over onze Waddenzee, ziet men er merkwaardige voorbeelden van. ¹⁾ Er is grote kans dat zij in ons vlakke land prachtig gezien zal kunnen worden over grote ijsvlakten, wanneer het plotseling gaat dooien, en de lucht vlak bij het ijs kouder is dan daarboven; men zal echter moeten bukken en het oog dicht bij het ijsoppervlak houden.

Bij de straalkromming naar boven kent men meervoudige spiegelingen, die zich hier vrij kunnen ontwikkelen, omdat niets de lichtstralen afsnijdt (zoals de aarde deed bij spiegeling naar beneden); wonderlijke beelden, recht en omgekeerd, van ogenblik tot ogenblik wisselend, veranderlijk volgens de afstand van het voorwerp en de toevallige temperatuurverdeling in de dampkring.

¹⁾ Een voorbeeld van zulk een waarneming nabij Texel, in Onweders, enz. 14, 63, 1893.

39. Luchtkastelen.

In sommige zeer zeldzame gevallen hebben betrouwbare waarnemers allermerkwaardigste luchtspiegelingen gezien, die ze beschrijven als: landschappen met steden en torens en gekanteelde muren, oprijzend boven de gezichteinder, zich vervormend, ineens stortend; sprookjesachtige taferelen die ons met een diep geluk vervullen en met onbedwingbaar verlangen: „fata morgana"! Het is niet te verwonderen dat poëzie en volksverhalen de fraaie waarneming nog hebben opgesmukt met rijke fantasie.

Forel heeft dit verschijnsel in eenvoudiger vormen talloze malen waargenomen over het meer van Genève, en het na 50 jaar studie nauwkeurig beschreven. ¹⁾ Een rustig wateroppervlak van 10—30 km is nodig; het oog moet zich 2 tot 4 m boven het water bevinden, de

juiste hoogte moet door beproeven gevonden worden en komt er erg op aan. 's Namiddags, op heldere dagen, als het water warmer was dan de lucht, zag Forel vier stadia naast elkaar die zich geleidelijk langs de verre oever van het meer verplaatsten en elkaar verdrongen, niet langer dan 10 of 20 minuten op dezelfde plaats blijvend (fig. 54).

- a. De luchtspiegeling over warm water; spiegelbeeld onder het voorwerp;
- b. De abnormale luchtspiegeling over koud water, een zeer vreemd verschijnsel, waarbij het voorwerp normaal gezien wordt, en het spiegelbeeld daaronder sterk samengedrukt is (waarschijnlijk een labiele, tijdelijke overgangsvorm);
- c. De luchtkastelen: men ziet de verre kustlijn vervormd over een afstand van 10° tot 20° (in hoekmaat), uitgerekte tot vertikale, naast elkaar geplaatste rechthoekjes („zone striée”).
- d. De normale straalkromming over koud water: er is geen spiegelbeeld te zien, maar het voorwerp zelf is in vertikale richting sterk samengedrukt.

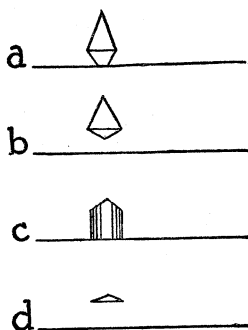


Fig. 54. De „fata morgana” als overgang tussen de straalbreking boven warm en boven koud water.

¹⁾ F. A. Forel, Proc. R. Soc. Edinb. **32**, 175, 1912. — Vgl. ook: Arch. sc. phys. nat. **3**, 545, 1897. — C. R. **153**, 1054, 1911.

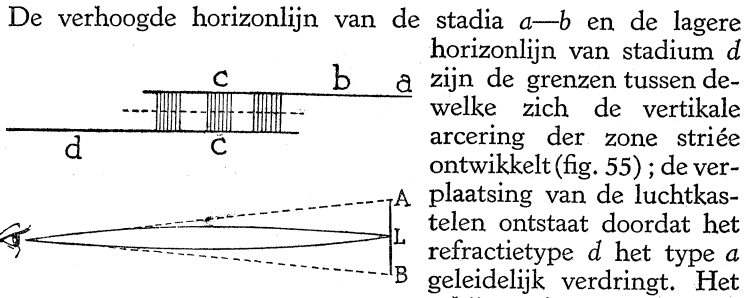


Fig. 55. Het ontstaan der „fata morgana”.

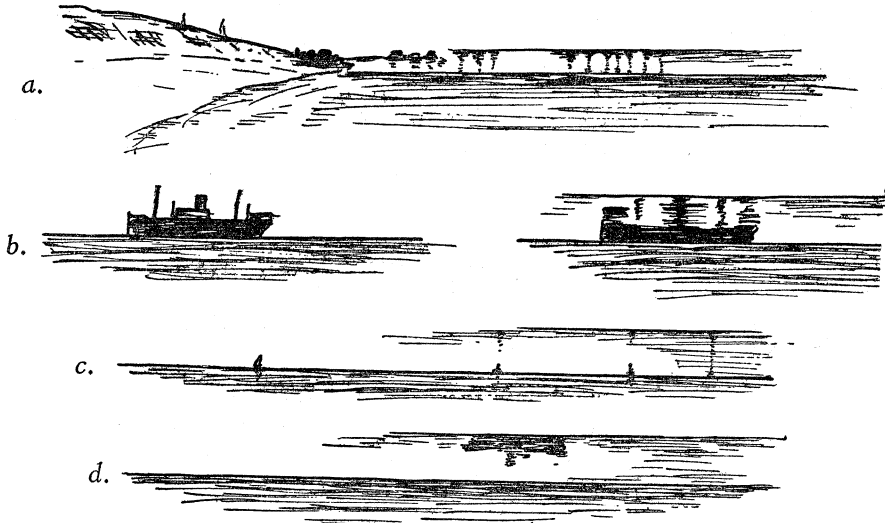


Fig. 56. Luchtkastelen, waargenomen te Zandvoort.
Naar J. Pinkhof (Hemel en Dampkring, 31, 252, 1933).
Cliché in bruikleen van het Kon. Ned. Meteor. Instituut.

- Noordwijk, Katwijk, Scheveningen, in de zone striée: „een palmenwoud”!
- Uitvarend stoomschip, links vrij van spiegeling, rechts in het gebied der fata morgana.
- Zeilscheepjes.
- Stoomschip achter de kim, onzichtbaar, alleen in luchtspiegeling te zien. Het omgekeerde beeld hangt aan de bovenste horizon.

Maar gaandeweg verliest het landschap
 Zijn troosteloosheid voor haar ogen;
 En ze ziet hoe daar verre aan het golven gaat
 Een grote lichte watervlakte.
 De struiken en de waterplanten
 Omzomen 't overstroomde landschap,
 En ze groeien en hullen in schaduw hun top.

Het is een schouwspel fris en hemels,
 Een wonderdroombeeld uit het Oosten!
 Allengskens in de verte langs 't blauwende meer
 Verrijst een stad met hare wallen,
 Haar ring van trots versterkte muren,
 Haar kerken, daken en fonteinen,
 En haar torens die groeien in 't licht van de zon!

De grote schepen en de kleine,
 Met hunne ranke blanke zeilen,
 Komt binnengevaren; en de wind in zijn spel
 Doet lichtjes wappren op de masten
 De vlaggen en de kleurenwimpels.

Fr. Mistral, Mireio, X, strofe 15—17.

Men kan zich afvragen of er geen kans is de typische fata morgana in onze vlakke landen terug te vinden. Wij kennen althans twee goede voorbeelden ervan.

„Verleden Vrijdag (12 Sept. 1917) omstreeks 7 uur stonden we met ons drieën bij de driehoeksmeter te Schoorl. Zo, dat we naar zee keken, zagen we plotseling op enige afstand, doch heel dichtbij, een stad verrijzen; bomen en huizen waren sterk afgelijnd terwijl de huizen heel hoog waren. Zagen we de stad in werkelijkheid, dan zouden we precies kunnen zeggen: die is het.”¹⁾

Nog veel mooier is de volgende prachtige beschrijving, waar de Nederlandse waarnemer bij de éne, uitzonderlijke gelegenheid die hem geboden was, bijna alle kenmerkende trekken heeft opgemerkt die Forel vermeldt (fig. 56). — „Toen ik om 16.20 „(zomertijd) aan het strand te Zandvoort kwam, viel mij terstond „het ongelijke niveau van de horizon op. Deze bevond zich in het „NW. en W. merkbaar hoger dan in het ZW., op vele plaatsen „waren twee horizonten boven elkaar zichtbaar, die enerzijds „in het hogere niveau van W. en NW., anderzijds in het lagere „niveau van ZW. overgingen. De onderlinge afstand was overal „vrijwel dezelfde, circa 7' (2 mm op armlengte afstand van het

1) Mejuffrouw Zevenhuizen-Dil; zie Onweders enz. 40, 46, 1919.

„oog). Voorwerpen die zich tussen de twee niveau's in bevonden, „ondergingen eigenaardige vormveranderingen, waardoor allerlei „bedriegelijke schijnbeelden ontstonden.”¹⁾

40. Vervormingen van de op- en ondergaande zon en maan.²⁾ (Plaat VI).

Bij lage zon ziet men soms de merkwaardigste vervormingen: dikwijls zijn de hoeken van het zichtbare segment afgerond, of de schijf schijnt uit twee samengevoegde stukken te bestaan, of men ziet onder de zon een lichtstreep die opstijgt terwijl de zonnenschijf daalt; in andere gevallen gaat de zon niet nauwkeurig achter de gezichteinder onder, maar reeds enkele boogminuten hoger. Het schijnt dat deze vervormingen 's avonds afgewisselder zijn dan 's ochtends, wat aan meteorologische factoren te wijten is (vgl. § 198); op windstille, wolkenloze dagen vormen zich de lagen van verschillende dichtheid het rustigst, zodat de vervormingen van de zonsrand beschouwd kunnen worden als een aanwijzing voor een stabiele toestand van de dampkring en een voorteken van goed weer. Is de zon te fel, dan houde men voor het oog een blaadje stanniol of gewoon papier, waarin een zuiver rond gaatje geprikt is, of gebruike een donker „lasglas”. Een toneelkijker is niet nodig, maar vergemakkelijkt de waarneming; men houde een goed donker glaasje voor de ogen (niet voor het objektief!), of gebruike ook hier het speldeprik-diafragma.

Het belangwekkendste gedeelte der verschijnselen begint meestal slechts 10 minuten vóór zonsondergang (of duurt tot 10 min. na zonsopgang). Bemerktevens de kleurschakeringen der zonnenschijf, die aan de zijde van de gezichteinder diep rood is, en waarvan de hogere delen geleidelijk in oranje en geel overgaan. Let ook op grote zonnevlekken die soms aanwezig zijn op de schijf, en die men tot „paaltjes” uitgerekt kan zien.³⁾

Het fotograferen is interessant maar moeilijk; een gewone camera geeft veel te kleine zonnebeeldjes, alleen met een kijker

1) J. Pinkhof, *Hemel en Dampkring* 31, 252, 1933; *Onweders*, enz. 54, 40, 1933.

2) A. L. Colton, *Contrib. Lick Obs.*, 1, 1895. — A. Ricco, *Mem. spett. ital.* 30, 96, 1901. — Prinz, *ibid.* 31, 36, 1902. — Arctowski, *ibid.* 31, 190, 1902. — Wegener, *Beitr. z. Phys. d. freien Atmosph.*, 4, 26, 1912. — A. Bracke: *Déformations du Soleil (Mons, 1907)*, met litteratuur. — P. A. S. P. 45, 270, 1933. — Enz.

3) Havinga, *Hemel en Dampkring*, 19, 161, 1922.

van b.v. 75 cm brandpuntafstand en 3 tot 10 cm opening krijgt men bruikbare opnamen, die minder dan 1 sekunde te belichten zijn. Deze belichtingstijd is zo kort, dat meebewegen van de kijker niet nodig is. Gebruik panchromatische platen en raadpleeg nog de litteratuur! (Vgl. Plaat VI).

De oorzaak dezer optische vervormingen is niets anders dan de gewone luchtspiegeling; en wel onderscheiden we weer de luchtspiegeling naar boven en naar beneden. We krijgen een goede benadering van de werkelijkheid, als we (met Wegener) aannemen dat de lichtstraal die van de zon komt *plotseling* geknikt wordt bij een diskontinuiteitslaag. We moeten bedenken, dat een dergelijke laag de kromming van het aardoppervlak volgt; daarentegen kunnen we de lichtstraal vóór hij het diskontinuiteitsoppervlak bereikt en daarna als praktisch recht beschouwen.

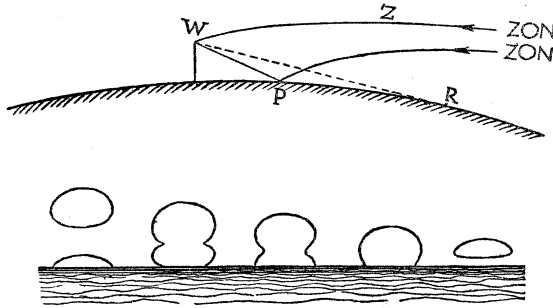
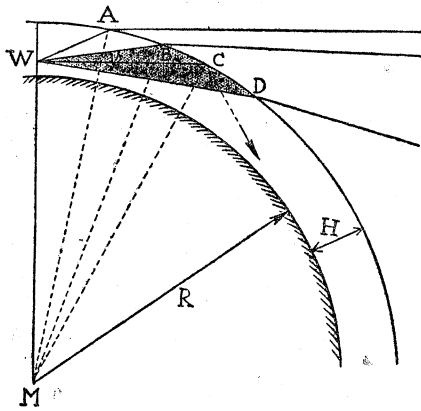


Fig. 57. Zonsondergang met vervormingen door luchtspiegeling volgens „geval 1”.

Geval 1 (fig. 57): op de aarde rust een dunne laag warme lucht PR. We zien dus de zon in de richting WZ en tegelijk daaronder het gespiegelde beeld in de richting WP, terwijl de kim daartussen ligt (WR). Bij zonsondergang rijst er uit de schijnbare kim WP een afgeplatte tegenzon op, naarmate de zon zelf daalt; ze verenigen zich op de plaats waar de echte zon straks zal verdwijnen (WR). Dan schuiven de twee schijven steeds meer in elkaar, terwijl „ballonvormen” enz. ontstaan.

Geval 2 (fig. 58): nu nemen we aan dat de lucht bij de grond kouder is, terwijl boven ABCD een warmere laag ligt (inversie). Het punt M is het middelpunt der Aarde, waar omheen twee cirkelbogen het niveau der zee en dat van de diskontinuiteitslaag weergeven. Stel u voor dat de waarnemer W in steeds vlakker richtingen gaat kijken: in de richting WA bereikt zijn

blik de bovenrand van de zon ; in de richting WB ziet hij een iets



lager punt, maar zijn blik valt al schuiner op de diskontinuiteitslaag ; in de horizontale richting WC ontmoet hij de laag onder een zó grote invalshoek, dat de gezichtsstraal omgebogen wordt en niet meer de Aarde verlaten kan. Staat de waarnemer op een kleine hoogte boven het aardoppervlak, dan zal hij ook onder een kleine hoek naar beneden kunnen kijken ; de invalshoek neemt

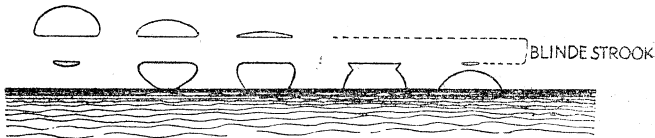


Fig. 58. Zonsondergang met vervormingen door luchtspiegeling volgens „geval 2”.

nu weer af ; van de richting WD af en verder is de invalshoek op de diskontinuiteitslaag weer voldoende klein en kan de gezichtsstraal weer ontsnappen. Binnen het gestippelde hoekje om de horizontale richting bereiken den waarnemer dus geen stralen van buiten de Aarde, hij ziet een „blinde strook” van hoogte $2h$.

Van alle korden door W is de horizontale koorde WC diè welke de kleinste hoek maakt met de cirkel. Bewijs : in driehoek MWB is $\frac{\sin \widehat{WBM}}{WM} = \frac{\sin \widehat{MWB}}{MB}$, dus $\sin \widehat{WBM} = \frac{R}{R+H} \cdot \sin(90^\circ + h) = \frac{R}{R+H} \cos h$; men ziet dat \widehat{WBM} het grootst is voor $h = 0$. — Bij de grens der totale reflectie is $\sin \widehat{WBM} = \frac{1}{n}$, wanneer n de brekingsindex der ene laag t.o.v. de andere voorstelt ; schrijf nog $\frac{H}{R} = \epsilon$, $n - 1 = \delta$, en benader $\cos h$ door $1 - \frac{1}{2}h^2$, dan komt er : $h = \pm \sqrt{\frac{2(\delta - \epsilon)}{n}}$ of ongeveer $\pm \sqrt{2(\delta - \epsilon)}$, daar n vrijwel 1 is.

Men ziet dat de blinde strook zich evenveel boven als onder de horizon uitstrekt (dubbel teken!). Voor $H = 50$ meter wordt $\epsilon = 78 \cdot 10^{-7}$; stel $\delta = 100 \cdot 10^{-7}$, dan wordt $h = \pm 0,0021$ radialen $= \pm 7'$; de blinde strook is dan $14'$ hoog.

Eigenlijk zouden we nog moeten rekening houden met de kromming, die de lichtstraal ondergaat vóór hij het diskontinuiteitsoppervlak treft en daarna; maar het was ons alleen om de hoofdtrekken van het verschijnsel te doen.

Men begrijpt nu dat bij zulk een structuur van de dampkring de zon reeds boven de eigenlijke gezichteinder moet ondergaan, nml. zodra ze de blinde strook bereikt. Bevindt zich de waarnemer op een heuveltje, of op het dak van een schip, dan zal hij waarschijnlijk de onderrand van de zon achter de blinde strook te voorschijn zien komen. Natuurlijk worden de beelden vervormd, nml. in verticale richting *samengedrukt* boven de blinde strook, *uitgerekt* eronder.

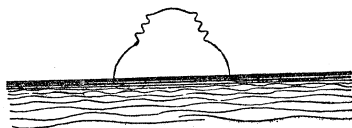


Fig. 59. Vervorming van de zon bij aanwezigheid van verscheiden diskontinuiteitslagen.

In sommige gevallen vertoont het zonsbeeld verscheiden trapjes: die wijzen blijkbaar op de aanwezigheid van meer dan één diskontinuiteitslaag (fig. 59). Soms snoert zich een dergelijke

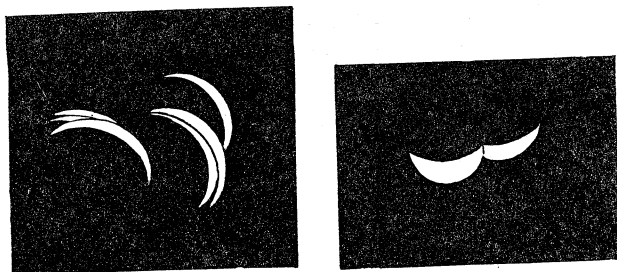


Fig. 60. Meervoudige maansikkels.

Naar Onweders, enz. 21, 51, 1900 en naar Reimann, Met. Zs. 4, 144, 1887.
De afstand tussen de onderscheidene beelden lijkt onwaarschijnlijk groot.

bocht nog dieper in, tot een strookje zich van de bovenkant der zon losmaakt, even blijft hangen, samentrekt en verdwijnt, dikwijls met prachtige groene straal-verschijnselen (§ 41); daarna kan zich weer een volgend strookje afsnoeren, enz. (fig. 66; plaat VI).

Dergelijke vervormingen als aan de zon vindt men ook bij de maan; aan de smalle maansikkel zijn ze bijzonder duidelijk waar te nemen (fig. 60). Vgl. echter § 64!

41. De groene straal.¹⁾

Hebt gij ooit de zon zien ondergaan aan de horizon van de zee? — Ja zeker! — Hebt gij haar gevolgd, tot de bovenrand van haar schijf de gezichteinder net raakte en ging verdwijnen? — Zeer waarschijnlijk wel. — Maar hebt ge 't verschijnsel opgemerkt dat ontstaat op het ogenblik van de laatste zomestraal, wanneer de lucht vrij van nevels is en volmaakt helder? — Wellicht niet. — Nu, de eerste maal dat de gelegenheid voor deze waarneming terugkomt (zij is zeer zelden), merk dan op dat het geen rode straal is die ge zult zien, maar een groene straal, wondermooi groen, van een groen dat geen schilder op zijn palet kan verkrijgen, een groen waarvan de natuur nergens meer de tint heeft nagebootst, noch in de tintverscheidenheid der planten, noch in de kleur der helderste zeeën! Is er groen in het Paradijs, dan kan het geen ander groen zijn dan dit, het ware groen der hoop!

Jules Verne, Le Rayon Vert.

Volgens een oude Schotse legende zal degene die de groene straal ziet zich nooit meer „in gevoelszaken” vergissen.

De groene straal is niet zo zelden waar te nemen als men vroeger dacht; op één enkele reis van Indië naar Holland heb ik hem meer dan 10 maal waargenomen. De beste plaats om hem te zien is ongetwijfeld de zee, hetzij men van het dek van een schip of van het strand kijkt. Men kan hem echter ook waarnemen boven land, als de gezichteinder maar ver en scherp genoeg is; en hij komt soms ook voor als de zon achter een scherp begrensde wolkenbank verdwijnt. Het schijnt, dat bergen en wolken hiervoor niet hoger dan een graad of drie boven de gezichteinder mogen oprijzen. Er zijn enkele gevallen waarin de groene straal gezien is op verrassend korte afstand: Ricco deelt mee hoe hij zich eens aan de rand der schaduw plaatste van een niet ver verwijderde rots, en door het hoofd iets meer naar de ene of de andere zijde te bewegen de groene straal zo dikwijls als hij wilde kon zien;²⁾ Whitnell bemerkte hem aan de rand van een muur op 300 m afstand, en Nijland op een dergelijke wijze,³⁾ maar dit zijn grote uitzonderingen!

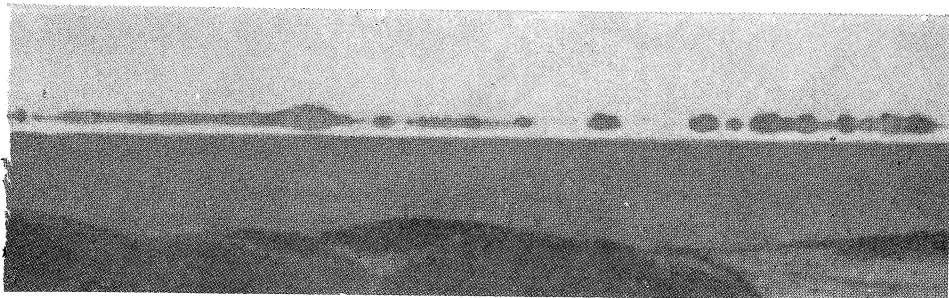
Alle waarnemers zijn het er over eens, dat de groene straal het

1) Fisher, Pop. Astr. **29**, 1921. — Mulder: The „green ray” or „green flash” (Den Haag, 1922). — Feenstra Kuiper: de Groene Straal (Diss. Utrecht, 1926). — Mooie gekleurde platen in Ann. Hydr. **65**, 489, 1937. — In deze verhandelingen vindt men de zeer omvangrijke litteratuur over het onderwerp samengevat en bewerkt.

2) Mem. Spett. Ital. **31**, 36, 1902.

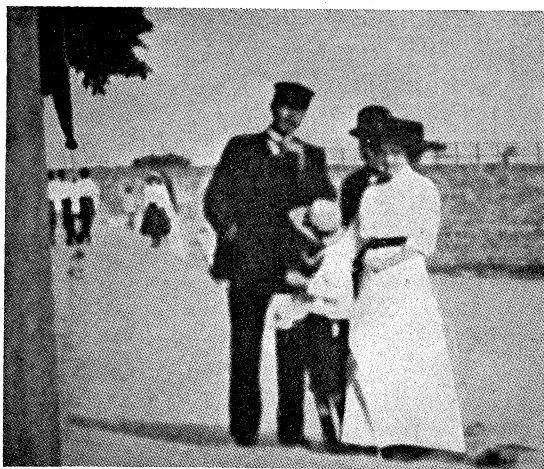
3) Hemel en Dampkring, **33**, 219, 1935.

PLAAT V.



Luchtspiegeling in de woestijn bij het Suez-kanaal. De lage zandheuveld lijken weerspiegeld in een wateroppervlak; de schijnbare horizon ligt $4' \frac{1}{2}$ onder de verdwijlijn (§ 37).

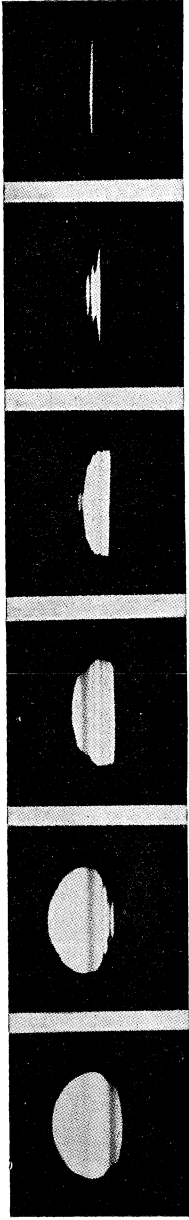
Naar W. H. Steavenson, Quart. Journ. **47**, 15, 1920, met teleobjektief, aequiv. $f = 90$ cm; 1,8 maal vergroot.



Luchtspiegeling langs een door de zon beschenen lange muur. Van den knaap (160 m van den waarnemer verwijderd) is een spiegelbeeld zichtbaar, en zelfs het begin van een abnormaal tweede spiegelbeeld; de muur was $4,5^\circ$ C heter dan de lucht (§ 36).

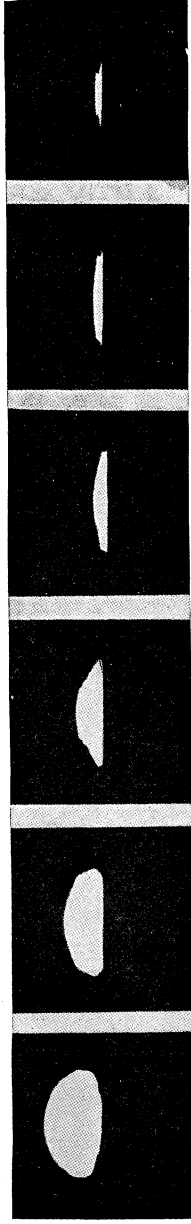
Naar W. Hillers, Phys. Zs. **14**, 718, 1913.

PLAAT VI.



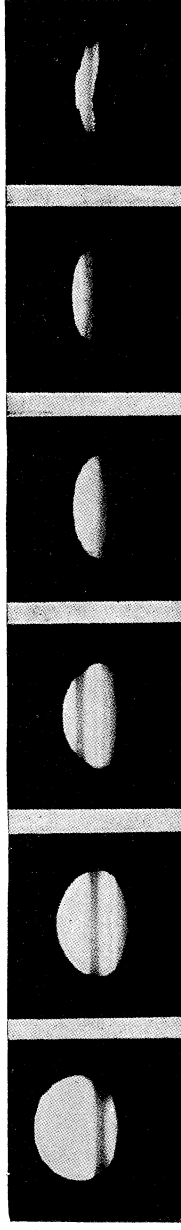
24 Aug. 1933.

6h 44m 00s 6h 46m 00s 6h 48m 5s 6h 48m 45s 6h 50m 00s 6h 50m 30s



25 Aug. 1933

6h 47m 45s 6h 48m 25s 6h 49m 00s 6h 49m 30s 6h 49m 45s 6h 50m 15s



13 Sept. 1933

6h 17m 25s 6h 18m 2s 6h 18m 41s 6h 19m 17s 6h 19m 50s 6h 20m 19s

De ondergaande zon, vervormd door aardse straalkromming (§ 39).
 (Gefotografeerd met een lens van 1,50 m brandpuntafstand, 5 cm middellijn, op panchromatische
 portretfilm, belichtingstijd $1/60^{\text{e}}$ tot $1/12^{\text{e}}$ sec.)

duidelijkst optreedt als de zon nog zeer helder blijft tot ze ondergaat, terwijl hij bijna onzichtbaar blijft als ze zich sterk rood kleurt.

Meestal helpt het gebruik van een toneel- of veldkijker, nog beter van een verrekijker; men ture echter nooit met de kijker in de zon, tenzij de laatste sekunden vóór de ondergang, op straffe van **gevaarlijke** verblinding! Ook met het ongewapende oog kijke men niet te vroeg in het laatste segment der zonneschijf, maar late zich door een helper waarschuwen, terwijl men zich eerst afwendt. — Een andere manier: volg de zon voorzichtig met één oog, neem de groene straal met het andere waar!

Het verschijnsel is zeer vluchtig, het duurt niet langer dan een paar sekunden. Door te Zandvoort de helling van de dijk op te rennen, die 6 meter hoog is, kon ik de groene straal 20 sekunden lang waarnemen; soms werd hij iets blauwer, soms iets witter, naarmate ik iets te langzaam of te snel holde. Evenzo moet het soms mogelijk zijn hem achtereenvolgens van de verschillende dekken van een stoomboot te zien. Nijland zag hem verscheiden malen na elkaar tengevolge van de beweging van het schip. In een zeer bijzonder geval van abnormale straalkromming heeft men hem 10 sekunden en langer gezien.¹⁾ De Portugees Gago Coutinho kon de groene straal onbeperkt lang waarnemen aan het licht van een verre vuurtoren.

Tijdens de Zuidpool-expeditie van Byrd werd hij 35 minuten lang waargenomen, toen de zon bij het einde van de lange poolnacht voor het eerst opging en zich precies langs de gezichteinder bewoog.

In drie verschillende vormen kan het verschijnsel zich vertonen:

1. *De groene rand*, die met een kijker eigenlijk altijd aan de bovenkant van de zonneschijf te onderscheiden is, en die breder wordt naarmate ze naar de gezichteinder daalt; terzelfdertijd kleurt de onderrand zich rood.

2. *Het groene segment* (fig. 61). Het laatste segment kleurt zich groen aan de uiteinden, en de

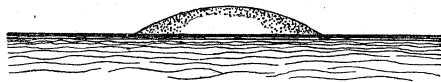
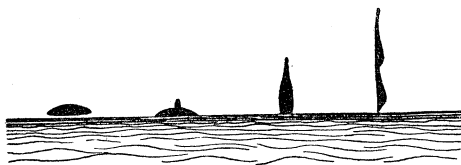


Fig. 61. Het groene segment.

groene kleur schuift geleidelijk naar het midden van het segment toe. Dit groene segment is met het blote oog zichtbaar, dikwijls gedurende een paar sekunden; met een veldkijker duurt het soms 4 tot 5 sec.

1) Onweders, enz. 48, 81, 1927. — Feenstra Kuiper, t.a.p.

3. *De eigenlijke groene straal.* (fig. 62) Dit verschijnsel, met



— 3 — 2 0 + 1 sec

Fig. 62. De echte groene straal. De tijden zijn gerekend van het ogenblik van de zonsondergang. Naar D. P. Lagaaïj.

het blote oog waarneembaar, is uitermate zeldzaam. Het is een groen straaltje of vlammetje, dat juist bij het verdwijnen der zon uit de gezichteinder opschiet.

Bij alle drie de vormen is de kleur zelden geel,¹⁾ meest smaragdgroen, soms meer blauw of zelfs violet. Een waarnemer zag de kleur verlopen van groen over blauw naar violet, in de loop van de paar seconden die het verschijnsel duurde.

Aan de verklaring van de groene straal kan thans geen twijfel meer bestaan. De zon staat laag, haar witte stralen hebben dus een zeer lange weg door de dampkring af te leggen. Van haar gele en oranje licht wordt een groot gedeelte opgeslorpt door de waterdamp, die in dit spektraalgebied banden heeft; haar violette licht wordt sterk verzwakt door de verstrooiing (vgl. § 177): er moet dus

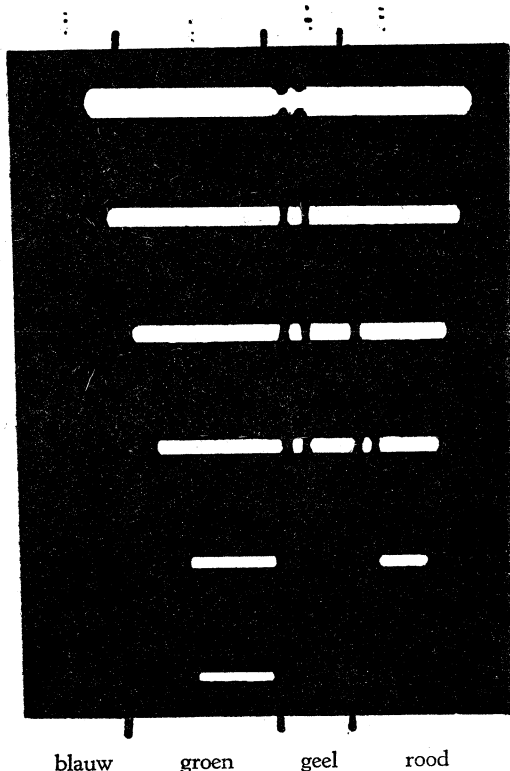


Fig. 63. Spektrum van de ondergaande zon. Naar N. Dijkwel. Cliché in bruikleen van het tijdschrift *Hemel en Dampkring*.

1) *Hemel en Dampkring*, 19, 83, 1921. — N. Dijkwel, *Hemel en Dampkring*, 34, 261, 1936.

vooral rood en groen-blauw overblijven, hetgeen ook door rechtstreekse waarneming is aangetoond¹⁾ (fig. 63). Nu worden de lichtstralen op hun lange weg door de lucht gekromd, de zonschijf wordt daardoor schijnbaar iets opgeheven (vgl. § 34); en die



Fig. 64. Het ontstaan van de groene straal.

opheffing is iets geringer voor rood licht, iets sterker voor de sterker breekbare blauwgroene stralen. Daardoor ziet men nu als 't ware twee elkaar ten dele overdekkende zonschijven, de blauwgroene iets hoger, de rode iets lager; zo ontstaat de rode rand onder, de groene rand boven. Men begrijpt nu onmiddellijk, dat bij zeer lage zon de punten van het segment groen zijn, en dat het rood geleidelijk achter de gezichteinder verdwijnt terwijl het groen het gehele overblijvende segment overdekt.

In vele omstandigheden is echter de straalbreking bij de gezichteinder abnormaal sterk, en kan het groene segment duidelijker en langer zichtbaar zijn. Ontstaan er echte luchtspiegelingen, dan kan het zelfs uitgerekt worden tot een soort vlam of straal.

Deze opvatting zou gesteund worden indien het bleek, dat het groene segment en de groene straal ontbreken wanneer de zee warmer is dan de lucht, zodat het dichtheidsverval en de straalkromming bijzonder gering zijn. Daar zijn inderdaad aanwijzingen voor²⁾.



Fig. 65. Het laatste segment vertoont opwaarts gebogen hoeken. Er is kans op het optreden van de groene straal!

Ook beweert men dat het groene segment bijzonder mooi zichtbaar is, als aan de onderkant de kenmerken der luchtspiegeling aanwezig zijn: geen rechte begrenzing maar opwaarts gebogen hoeken.³⁾

Als de zonschijf trapvormig vervormd is door diskontinuiteitslagen, ziet men hoe zich af en toe aan de bovenkant

1) Naar Dijkwel, t.a.p. Bij zeer sterke verstrooiing verdwijnt ook het groen-blauw: vandaar dat de groene straal onzichtbaar wordt wanneer de zon dieprood is bij het ondergaan.

2) R. W. Wood, Nat. 121, 501, 1928.

3) Nat. 111, 13, 1923.

een strookje afsnoert en onder duidelijke groenkleuring verdwijnt — een zeer merkwaardig schouwspel (fig. 59, 66; plaat VI)! Ander feit dat voor de grote invloed der abnormale straalbreking pleit: in bepaalde gevallen kon de groene straal *wel* waargenomen worden van op het ene dek van een mailboot, en *niet* van op het andere; de hoogte van de waarnemer kwam er dus op aan.¹⁾

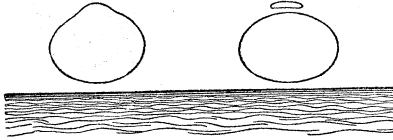


Fig. 66. Het ontstaan van de groene straal bij afsnoering van de bovenste delen der ondergaande zon.

— Toch zijn er anderzijds goede natuuronderzoekers die volhouden dat de *gewone* aardse straalbreking al voldoende is.²⁾

Dit dus is het voornaamste probleem betreffende de groene straal dat nog opgelost moet worden: *hoe sterk moet de straalbreking zijn om een gegeven graad van het optische verschijnsel te doen ontslaan?* Om dit op te lossen zou het voldoende zijn dat iemand aan ons strand op een aantal dagen nauwkeurig bepaalt hoe laat de zon ondergaat, en terzelfdertijd op groene straalverschijnselen let. Het onderscheid tussen de waargenomen en de berekende tijd is een goede aanwijzing voor de afwijking der straalbreking van de normale waarde (vgl. § 34).

Vroeger heeft men nog wel gedacht dat de groene straal een physiologisch nabeeld zou zijn, complementair van kleur t.o.v. het laatste puntje der rode zon³⁾ (§ 93). Deze onderstelling wordt afdoende weerlegd door het feit dat de groene straal ook bij zonsopgang waargenomen wordt, al is het dan iets moeilijker, te weten waar men kijken moet om het eerste, „straks” verschijnende licht onmiddellijk waar te kunnen nemen; men zoekt het helderste punt, of behelpt zich met de schemerstralen of met de bundels van Haidinger (§§ 196 en 186). Nog een ander argument: de groene straal is alleen te zien, als de afstand van de gezichteinder voldoende groot is; dit zou op het nabeeld geen invloed hebben, maar is natuurlijk van groot belang voor de

1) Met. Zs. **49**, 271, 1932. — S. W. Visser en J. Th. Verstelle, Hemel en Dampkring, **32**, 81, 1934. — Deze waarneming verdient herhaald te worden, maar liefst door een zelfde waarnemer, die achtereenvolgens de verschillende dekken bestijgt (vgl. blz. 61).

2) Proc. R. Soc. **126**, 311, 1930. Noch Visser en Verstelle, noch Dijkwel vinden duidelijke correlatie tussen groene straal en aardse straalkrömming.

3) Thans nog verdedigd door P. Moureau, La Nature, 294, 1929 (met interessante physiologisch-optische proeven).

straalkromming. Met veel moeite is het gelukt de groene straal in kleuren te fotograferen op een autochroomplaat.¹⁾

De groene straal is een enkele maal ook waargenomen aan de maan, aan Venus en aan Jupiter. Een waarnemer beschrijft, hoe hij het spiegelbeeld van Venus zag opstijgen, de planeet tegemoet komend, en hoe de kleur ineens van dofrood in groen omsloeg toen ze elkaar ontmoetten.²⁾

Terras op duin, wijd zicht over Noordzee. Water hard blauw, onbewolkt, geen waas, geen damp, kim strak scherp.

Witte gordijnen toonen licht blauw, alle schaduwen vallen op door bijzonder blauwe kleur.

Zon, groote gepoetst koperen schijf, straalt in goudlichtende lucht, zakt als een vuurkogel in de zee; visscher passeert, vliegt niet in brand. Zon blijft koper, nu bijna weg, een stip, helder blauwgroene vlam als een juweel in gouden omgeving op donkerblauwe zee, groene straal is voorbij.

J. P. F. van der Mieden van Opmeer.

Hemel en Dampkring, 30, 234, 1932.

42. De groene branding.³⁾

Aan de kust van Sumatra is waargenomen, dat de schuimende golven der branding aan de verre gezichteinder **groen** leken; dit gold alleen voor de lage golven, de hoge waren gewoon wit. De zee was grauw en er was sterke kimduiking.

Dit verschijnsel lijkt wel identiek met de groene straal: de schitterende lage golven komen overeen met het uiterste randje der ondergaande zon.

43. De rode straal.⁴⁾

Uit de verklaring van de groene straal volgt dat er ook een rode straal moet zijn, die bijvoorbeeld zou moeten optreden als de zon achter een zware, scherp begrensde wolkenbank nabij de gezichteinder is gedaald, en haar eerste puntje onder die wolken-

1) Kerolyr, La Nature, 100, 1931 (II).

2) Waarneming van de groene straal aan Jupiter: zie Hemel en Dampkring, 31, 448, 1933.

3) S. W. Visser, Hemel en Dampkring, 19, 83, 1921.

4) Nat. 94, 61, 1914. De waarneming van de rode straal als de onderrand der zon net opgaat (boven de Alpen) schijnt mij zo moeilijk, dat ik de mededeling in Ann. soc. mét. France 47, 1899 in twijfel moet trekken.

Een alleraardigste waarneming van de rode straal met een toneelkijkertje, bij het ondergaan van grote zonnevlekken: zie W. M. Lindley, J. B. A. A. 47, 298, 1937.

bank te voorschijn komt. Dit verschijnsel is inderdaad waargenomen, maar zeer zelden; het schijnt nog korter van duur dan de groene straal te zijn.

Whitnell, die de groene straal aan een opening in een muur op 300 m afstand waarnam, zag bij diezelfde gelegenheid ook de rode straal.

44. Het fonkelen van aardse lichtbronnen.¹⁾

Het verschijnsel van het fonkelen ziet men in zijn sterkste ontwikkeling boven de komforen, zoals men ze in onze steden dikwijls ziet gebruiken om asfalt voor het wegdek te smelten, of boven de schoorsteenpijp van een lokomotief. De verre voorwerpen zijn dan bijna niet te herkennen, ze schijnen te dwarrelen, te golven; het lijkt wel of de lucht ondoorzichtig geworden is! Deze dwarrelende luchtzuilen werpen echte schaduwen, zo sterk doen ze de zonnestralen in alle richtingen afwijken. Maar ook als men over een lokomotiefketel kijkt, over een plaatijzeren afdak dat door de zon beschenen wordt, ziet men alles in de verte onregelmatig trillen; een stoppelveld, een zandvlakte door de zon verhit zijn al voldoende om het effect teweeg te brengen.

Het zijn vooral de heldere, glanzende voorwerpen waaraan men het fonkelverschijnsel duidelijk ziet: berkestammen, witte palen, vlekken witte zandgrond, tuinbollen, koperen knoppen op kerktorens, of verre ramen waar de Zon in schijnt. 's Zomers of op een zonnige, koude lentedag ziet men de fonkeling van de glimmende spoorrails in de verte: de lijn blijft niet recht, ze kromt in slangelijntjes heen en weer. Legt men het hoofd tegen de grond, dan is de fonkeling veel sterker, men ziet „lucht-slieren” die door de wind meegevoerd worden; deze „golven” kunnen hoger dan zeegolven zijn. Door een kijkertje ziet men de verre voorwerpen eigenlijk nooit scherp wanneer de zon schijnt (kijk vooral in de richting van de zon af). Een geoefend oog kan 's winters door de trilling der beelden van verre voorwerpen de warme lucht boven de daken der huizen zien opstijgen (Oudemans).

„Want de lucht door dewelke wij de sterren zien is voortdurend „in roering; zoals men zien kan aan *de trillende beweging van „schaduwen door hoge torens geworpen*, en aan de flikkering der vaste sterren.” (Newton, Opticks, 3e uitg. blz. 98). — Wie heeft dit wel eens waargenomen?

Al deze verschijnselen zijn te verklaren door de kromming

1) Met. Zs. 9, 138, 1892.

der lichtstralen in de warme luchtstroompjes, die als fonteintjes van de verhitte aarde opstijgen ; reeds op een of twee meter hoogte hebben ze zich in belangrijke mate met de koude lucht vermengd en zijn de slieren minder geworden. Op een effen witte muur, die door de zon beschenen wordt, kan men dikwijls de opstijgende luchtslieren zien, die boven een vensterkozijn omhoogdwarrelen, en „schaduwten” werpen als een zeer ijle rook. Door de slieren is de evenwijdigheid der lichtstralen gestoord, plaatselijk wordt er meer licht verzameld, elders komt er minder. Het is een dergelijk effect als hetgeen op veel duidelijker wijze ontstond bij een golvend wateroppervlak of bij hobbelig vensterglas (§ § 26, 27, 28).

Klaarblijkelijk zal de fonkeling des te sterker zijn, naarmate we over een groter afstand door de onregelmatig warme luchtlaag kijken : lichten die enige kilometers ver verwijderd zijn fonkelen in de avond ; naarmate men dichterbij komt wordt de flikkering geleidelijk minder en verdwijnt. — Een automobiel die aan de kant van de weg staat, weerspiegelt de zon in felle lichtschittering : van een afstand van 500 meter is het één en al gefonkel, op 200 meter is het licht al veel rustiger, en als ik fietsende nog iets dichterbij ben gekomen, is het fonkelen geheel verdwenen.

Men heeft opgemerkt, dat de delen van de lichtweg, die het dichtst bij ons oog zijn ook het meest tot de fonkeling bijdragen. En inderdaad : een brilleglas dat u op dit boek legt vergroot of verkleint de letters niet ; hoe dichterbij het echter bij ons oog gehouden wordt, hoe meer het de beelden wijzigt. — Als een dichte wolk gedurende korte tijd de zonnestraling komt onderscheppen, zodat de lichtweg althans in het dichtst bij ons gelegen gedeelte beschaduwd is, ziet men de fonkeling bijna onmiddellijk ophouden ; omgekeerd verschijnt zij weer zodra de wolk wegtrekt. Het is moeilijk aan te nemen dat de oppervlakte-temperatuur van de grond zo snel volgt als de bestraling verandert ; maar voor grashalmpjes, dorre bladeren, los stof kunnen wij dit wel verwachten. Neemt het fonkelen boven het grind van een spoorlijn ook zo snel af als een wolvenschaduw voorbijtrekt ?

Merkwaardigerwijze ziet men het fonkelen niet alleen boven zand of aarde of huizen, maar ook boven een wateroppervlak, boven sneeuw, boven het gebladerte van het woud, waarvan we dus wel moeten aannemen dat ze temperaturen kunnen krijgen welke sterk van die der lucht afwijken. De rijen fonkelende straatlantarens langs het strand, in de verte, leveren een wondermooi schouwspel op als men ze gadeslaat van op een schip, dat de haven komt binnenvaren, of dat stoomt door het Kanaal, door de Straat van Messina

Wie het fonkelen dikwijls op dezelfde plaats kan waarnemen, krijgt weldra een goed denkbeeld van zijn grotere of geringere sterkte. Bij zonnig weer is het altijd veel duidelijker dan bij bewolkte lucht; vóór zonsopgang is het vrij zwak, wordt al vrij gauw na zonsopgang sterk, bereikt een maximum om middagtijd, en wordt weer veel minder uitgesproken tegen 16 of 17 uur. Op sommige dagen evenwel kan de ontwikkeling een heel andere zijn.

Aardse lichtbronnen vertonen soms kleurverschijnselen bij het fonkelen, maar alleen wanneer ze zeer ver verwijderd zijn. In een uitzonderlijk geval zag men reeds duidelijke kleurwisselingen aan lanternen op slechts 5 km afstand.¹⁾

45. Het fonkelen der sterren (= scintillatie).²⁾

*Het pinkoogt, of 't een meiscen waar'
dat weenen wilt, van verre,
nu zuid, nu noord, nu hier, nu daar,
een nieuwgeboren sterre.*

G. Gezelle, *Tijdkrans*
(„Het Zonnlicht is neergedaald”).

Let op het fonkelen van Sirius of een andere heldere ster

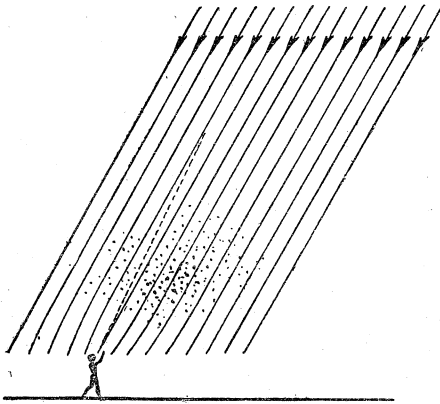


Fig. 67. Hoe ongelijkmatigheden in de dampkring de lichtstralen van een ster doen krommen en de fonkeling veroorzaken. Op dit ogenblik ziet de waarnemer de ster naar links verplaatst en versterkt.

dicht bij de gezichteinder. 1) Door de kijker bemerkt men kleine veranderingen van plaats; 2) met het ongewapende oog ziet u veranderingen van helderheid, en 3) veranderingen van kleur.

Onnodig te zeggen dat dit flinkeren geen verschijnsel is dat op de ster zelf gebeurt; zijn verklaring is dezelfde als die van de fonkeling der aardse lichtbronnen (§ 44). De plaatsveranderingen ontstaan door stralkromming in de slieren warme en koude

lucht die altijd naast elkaar in de dampkring voorkomen, vooral

1) Hemel en Dampkring, 30, 130, 1932.

2) J. Houtgast, Hemel en Dampkring, 34, 169, 1936. Zie verder de uitvoerige behandeling in Pennter-Exner.

ook waar een warme luchtlaag over een koude luchtlaag schuift en luchtgolven met wervelingen gevormd worden (fig. 67). De veranderingen in helderheid ontstaan, doordat de onregelmatig afwijkende lichtstralen plaatselijk dichter, plaatselijk ijler verdeeld zijn, waar ze de aarde treffen (fig. 67); als dit gehele stelsel door de wind voortbewogen wordt (terwijl het zich ondertussen nog voortdurend wijzigt), bevindt zich dus de waarnemer nu eens in een gebied van grotere, dan eens in een gebied van kleinere helderheid. De kleurveranderingen zijn te wijten aan de geringe kleurschifting van de gewone aardse straal**kromming**, waardoor de stralen van de ster een ietwat andere weg doorlopen volgens hun kleur: voor een ster die 10° boven de horizon staat, berekent men dat de afstand tussen de violette en rode stralen

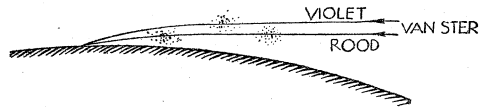


Fig. 68. Het ontstaan der kleuren bij het fonkelen der sterren.

reeds 28 cm is op 2000 m hoogte, 58 cm op 5000 m; de luchtstieren zijn gemiddeld tamelijk klein, het zal dus dikwijls voorkomen dat de violette straal door een slier gaat en afwijkt, terwijl de rode niet onderschept wordt: de ogenblikken waarop de ster helderder of zwakker wordt door de fonkeling, vallen dus voor de verschillende kleuren niet samen (fig. 68).

De fonkeling is het geringst bij het zenith: bij gemiddeld rustige lucht ziet men daar nu en dan de heldere sterren nog net merkbaar even flikkeren. Naarmate de sterren dichter bij de gezichteinder staan fonkelen ze meer, eenvoudig omdat we dan door een dikkere luchtlaag, dus door meer slieren kijken (fig. 71). Kleurverschijnselen schijnen boven 50° hoogte nooit op te treden, onder 35° veelvuldig. Het allerprachtigst fonkelt de heldere ster Sirius, die gedurende de wintermaanden zichtbaar is, en vrij laag staat.

.... en vurig wisselt Sirius van kleur,
En fonkelt als robijn en als smaragd.

Tennyson.

Het fonkelen gaat zo snel, dat wij niet goed kunnen zien wat er eigenlijk gebeurt. Wie echter bijziende is en een lorgnet draagt, kan de fonkeling prachtig bestuderen door zijn lorgnet in de hand te nemen, vóór zijn oog te houden, en het een weinig heen en weer te schommelen in zijn eigen vlak. Het beeld van de

ster wordt aldus tot een lichtlijntje uitgetrokken; liefst zet men de beweging om in een cirkelbeweging, die men gemakkelijk regelmatig leert uitvoeren (3 tot 4 rondgangen per sekunde). Tengevolge van het voortduren der gezichtsindrukken (§ 84) ziet men nu langs de cirkelomtrek uitgespreid al de helderheids- en kleurwisselingen, die de ster achtereenvolgens vertoont: een prachtig schouwspel als de scintillatie sterk is! Soms komen volmaakt donkere plekken in de lichtband voor: er zijn dus ogenblikken waarop we haast geen licht van de ster krijgen. Men kan schatten hoeveel verschillende kleuren op de cirkelomtrek te zien zijn, en daaruit het aantal kleurwisselingen per sekunde berekenen. — Deze waarnemingsmethode berust op het feit, dat een brilleglas vóór ons oog niet alleen als lens werkt, maar ook als een zwak prisma zodra we niet door het centrum kijken.

Andere methoden om het fonkelverschijnsel te ontleden¹⁾: 1) wie een normaal oog heeft, kan een zwak hol brilleglas op de aangegeven wijze gebruiken, maar moet daarbij akkomoderen, alsof de ster dichterbij ons was; 2) kijk door een toneelkijktje, en geef daar kleine stootjes aan; 3) bekijk de ster in een spiegeltje waaraan u kleine draaiingen geeft; 4) beweeg eenvoudig uw blikrichting over de ster (dit lukt alleen met veel oefening! Vgl. § 87).

Er is een eenvoudige waarneming, waarmee men rechtstreeks een schatting kan krijgen van de afmetingen der luchtslieren.²⁾ Kijk naar een sterk fonkelende ster *met gekruiste oogassen*, dus richt uw ogen naar een voorwerp op 1,5 m afstand bijvoorbeeld, dat zich ongeveer in de richting van de ster bevindt. U ziet nu niet één, maar twee beeldjes van de ster, en *die twee beeldjes scintilleren niet gelijktijdig*, omdat de ogen al zover vaneen staan, dat een slier die vóór het éne oog komt nog geen invloed heeft op het andere. Een groot gedeelte der luchtslieren is dus kleiner dan 7 cm, de oogafstand.

Zeer fraai is het scintilleren van het Zevengesternte (de Plejaden), waarvan de sterren zo dicht bijeen zitten, dat men aan de samenhang in het fonkel het voorbijtrekken der afzonderlijke luchtslieren kan herkennen.

1) Phil. Mag. 13, 301, 1857.

2) R. W. Wood, Physical Optics (blz. 76; New York, 1905). — Voor deze belangwekkende proef is dus geen enkel hulpmiddel nodig, alleen: oefening in het beheersen der ogen!

46. Hoe meet ik het fonkelen der sterren?

1. Als men niet weet hoe een verschijnsel te meten, kan men altijd beginnen met een willekeurige, kwalitatieve schaal ervoor op te stellen: voor een ster die *niet* fonkelt gebruik ik het cijfer 0; de sterkste fonkeling die ik ooit nabij de gezichteinder heb gezien noem ik 10; daartussen onderscheid ik de overgangen door de andere cijfers. Het is merkwaardig, hoeveel nut dergelijke voorlopige schalen in alle natuurwetenschappen hebben gehad; sneller dan men het verwachten zou, went men aan de betekenis van elk nummer der schaal; en er komt weldra een ogenblik waarop iemand een middel vindt om de kwalitatieve schaal in getalmaat te ijken.

2. Een andere eenvoudige maatstaf voor de luchtonrust is de hoogte boven de horizon waarop de kleuren verdwijnen; of de hoogte waarop de fonkeling praktisch onmerkbaar wordt.

3. Het aantal lichtwisselingen per seconde, bepaald met het draaiende lorgnetglas, geeft eveneens een ruw kenmerk van het karakter der fonkeling (vgl. § 45).

47. Wanneer fonkelen de sterren het sterkst? ¹⁾

Het sterke fonkelen bewijst eigenlijk slechts dit: dat de dampkring niet homogeen is, dat ongelijke lagen doorengeroerd worden. Doordat echter zulk een dampkring meestal bij bepaalde weertoestanden voorkomt, lijkt het alsof het fonkelen het rechtstreekse gevolg was van dat bijzondere weer.

Het fonkelen neemt gemiddeld toe bij lage barometerdruk, lage temperatuur, grote vochtigheid, sterke kromming der isobaren, groot drukverval per km; bij gemiddeld krachtige wind is het sterker dan bij zwakke of zeer krachtige wind. Het is dus duidelijk dat de grotere of geringere rust in de dampkring van zoveel ingewikkelde factoren afhangt, dat het fonkelen der sterren voorlopig niet gebruikt kan worden voor de weervoorspelling.

Belangwekkend is, dat het fonkelen sterker wordt *in de nabijheid van wolken*: een bewijs dat daar lagen van verschillende temperatuur naast elkaar voorkomen.

Men beweert dat het ook toeneemt *in de schemering*, wat of een physiologische gezichtsbeoogcheling moet zijn, of het gevolg van de bijzondere atmosferische toestanden omstreeks dat uur.

1) Dufour, Phil. Mag. **19**, 216, 1860. — Arch. sc. phys. nat. **29**, 545, 1893. — Bigourdan, C.R. **160**, 579 en verder, 1915. — J. N. Dörr, Met. Zs. **32**, 153 1915. — En vele anderen.

Zelfs wordt gezegd, dat *Noorderlicht* het fonkelen bevordert, maar dat is moeilijk te begrijpen, aangezien het noorderlicht zich zó hoog in de dampkring vormt (100 km!). Ook blijft raadselachtig, waarom *rode sterren* meer zouden fonkelen dan witte.¹⁾

Het fonkelen is het sterkst aan de noordkant van de hemel, wat door iets ingewikkelder beschouwingen begrijpelijk gemaakt kan worden.

48. Het fonkelen der planeten.

Planeten fonkelen veel minder dan sterren. Dit lijkt zo verwonderlijk, omdat zij er overigens voor het ongewapende oog net eender uitzien. De oorzaak van het verschil is daarin gelegen, dat de sterren ons een schijfje vertonen dat tengevolge van de ontzaglijke afstand zelfs voor de sterkste kijkers puntvormig schijnt (ten hoogste 0",05), terwijl de planeten een schijnbare middellijn vertonen van 10" tot 68" (Venus), 31" tot 51" (Jupiter). Door een vlakje op grote hoogte in de dampkring gaat dus in 't geval van de planeten een kegeltje van lichtstralen, waarvan sommige ons oog treffen; een luchtslier die, naar we weten, slechts een afwijking van enkele boogsekunden aan de lichtstralen geeft, zal dus voor gevolg hebben, dat de stralen die eerst ons oog troffen nu vervangen worden door andere stralen van dezelfde kegel, hetgeen niets aan de intensiteit verandert. Alleen in 't geval van een bundel, die ons oog net niet bereikte, en die er nu ten dele in valt, bemerken we een helderheidsverandering; maar het resultaat daarvan zal gering zijn, omdat er veel slieren zijn, en dat sommige de stralen naar ons oog toe buigen, andere van ons oog af. In 't geval van Jupiter bijvoorbeeld, op 30° boven de gezichtseinder, heeft de bundel van ons oog naar de planeet op 2000 m al een doorsnee van 60 tot 100 cm.

Dat de sterren sterker fonkelen dan de planeten, herinnert ons plotseling aan een onzer vorige waarnemingen: de slieren van een hobbelige ruit werden immers duidelijker in een „zonnebeeldje”, waar de invallende bundel scherper was gericht. Beide verschijnselen zijn geheel vergelijkbaar: hoe precieser evenwijdig de stralen invallen, des te sterker zullen alle afwijkingen te voorschijn komen (§ 28).

We begrijpen nu, dat de fonkeling der planeten merkbaar zal worden zodra de richtingverandering die de stralen ondergaan van dezelfde orde is als de schijnbare middellijn der planeet.

Vandaar dat de fonkeling van Venus en Mercurius, die op

1) Arch. sc. phys. nat. 29, 545, 1893.

bepaalde tijden als vrij smalle sikkels worden gezien, soms zeer merkbaar worden kan, ja, zelfs met kleurwisselingen gepaard gaat als Venus vlak bij de kim staat. Op dagen van sterke lucht-onrust en als de planeten laag staan, kan men haast altijd enkele intensiteitswisselingen waarnemen.

Zo geeft ons dus de scintillatie een schatting van de grootte van lichtpuntjes, waaraan we met ons ongewapend oog geen spoor van een schijfje meer kunnen waarnemen! Men heeft zelfs beweerd, op die wijze de middellijn der vaste sterren te kunnen schatten, maar dit schijnt voorlopig nog te optimistisch.

49. **Schaduwbanden.**¹⁾

Het fonkelen der sterren ontstaat dus door de onregelmatige dichtheidsschommelingen in de luchtocëaan, over wiens bodem wij aardbewoners ons voortbewegen. Het is eigenlijk hetzelfde verschijnsel als het plaatselijk verzamelen of uitspreiden van de zonnestrallen door zacht golvend water (§ 26): de vissen zien de zon fonkelen zoals wij de sterren (fig. 35). Er is slechts het verschil, dat de schommelingen in *dikte* der waterlaag vervangen zijn door schommelingen in *dichtheid* van de lucht; deze laatste zijn zoveel minder werkzaam, dat we de fonkeling alleen bij de allerscherpste puntvormige lichtbronnen kunnen waarnemen.

Zoals we de lichtverzamelingen in helder water hebben vertoond, kunnen we nu ook de luchtslieren rechtstreeks zichtbaar maken!

's Nachts, in een kamer die goed donker is, en waarvan slechts een klein raam wordt opengezet door hetwelk het licht van Venus binnenvalt, kan men op een effen muur of op een blad wit karton ijle wolkerigheden zien voorbijtrekken: „schaduwbanden”. Het verschijnsel is alleen duidelijk wanneer de planeet laag bij de gezichteinder staat; telkens als ze even helderder opflikkert, ziet men op het scherm een helderder band voorbijtrekken, en omgekeerd past een helderheidsafneming bij een donkerder band (vgl. fig. 67). Wat de ene waarneming ons „subjektief” laat zien, vertoont de andere „objektief”. Deze luchtslieren hebben geen vaste voorkeursrichting, ze bewegen mee met de wind die toevallig heerst in de luchtlaag waar ze ontstaan.

Jupiter, Mars, Sirius, Betelgeuze, Procyon, Capella, Wega, Arcturus kunnen eveneens tot dergelijke waarnemingen aanleiding geven, zij het ook moeilijker wegens de geringere lichtsterkte. Veel mooier ziet men de luchtslieren, als toevallig een

1) Cl. Rozet, C. R. **142**, 913, 1906; **146**, 325, 1906.

ver verwijderd zoeklicht een muur verlicht bij de plaats, waar men zich bevindt; de afstand moet bv. 25 km zijn.¹⁾

Merkwaardig zijn de schaduwbanden die bij een volledige zonsverduistering kort vóór en kort na de totaliteit te zien zijn op een witte muur of op een uitgespreid wit laken.²⁾ Ze doen denken aan de plooiën van een reusachtig gordijn. Het zijn ook luchtslieren die we nu zien, maar zichtbaar gemaakt in het licht ener lijnvormige lichtbron: de laatste sikkel der nog niet geheel verduisterde zon. De verschijnselen worden daardoor iets ingewikkelder dan bij een puntvormige lichtbron, ieder punt wordt tot een boogje uitgetrokken (§ 1 en 3), en de wolkerige slieren schijnen nu te bestaan uit banden, alle evenwijdig aan het zonneseikkeltje (in zijn helderste punt). De wind doet die banden bewegen, maar we zien alleen de komponente loodrecht op hun eigen richting. Soms duurt het verschijnsel maar enkele sekunden, meestal wel een minuut of meer. De afstanden der banden geven ons een denkbeeld van de gemiddelde grootte der luchtslieren: men vindt meestal 10—40 cm opgegeven.

Om deze schaduwbanden te zien, behoeven we niet te wachten op de zó zeldzame volledige zonsverduisteringen. Bij zonsop- of ondergang zijn dergelijke waarnemingen te doen, gedurende de korte ogenblikken dat slechts een smal segmentje van de zon boven de gezichteinder uitsteekt. In dit geval zijn de banden horizontaal, en bewegen naar boven of naar beneden volgens de windrichting. Hun snelheid is 1—8 m per sec volgens de windsterkte, hun tussenruimten bedragen 3—20 cm. Meestal zijn ze slechts zichtbaar gedurende 3 tot 4 sekunden, omdat weldra de zonneseikkel te breed wordt.

1) Nat. 37, 224, 1888.

2) S. A. Mitchell, Handb. der Astrophysik, IV, 353, 1929.

HET METEN VAN LICHTSTERKTE EN HELDERHEID.

50. De sterren als lichtbronnen van bekende sterkte.

De sterren vormen een natuurlijke reeks lichtbronnen van allerlei lichtsterkten. Met fotometers zijn deze zeer nauwkeurig gemeten en in *grootteklassen* uitgedrukt; de „grootteklasse” m heeft dus niets te maken met de „grootte” van de ster, maar alleen met haar lichtsterkte i .

$m =$ grootteklasse	$i =$ lichtsterkte in willekeurige maat	m	i
—1	251		
0	100	0	100
1	39,8	0,1	91
2	15,8	0,2	83
3	6,31	0,3	76
4	2,51	0,4	69
5	1,00	0,5	63
6	0,40	0,6	58
7	0,16	0,7	53
		0,8	48
		0,9	44

Elke klasse is 2,51 maal zwakker dan de vorige. Op een constante na is $i = 10^{-0,4m}$.

In fig. 69 staan de grootteklassen aangegeven voor de sterren in de omgeving van de Grote Beer, die het gehele jaar te zien zijn. In fig. 70 staan de grootteklassen voor het schitterende wintersterrebeeld Orion. Hier volgen nog enkele opgaven voor zeer bekende heldere sterren:

Sirius = α Grote Hond — 1,3	Altair = α Arend 1,1
Wega = α Lier 0,3	Aldebaran = α Stier 1,1
Capella = α Voerman 0,3	Pollux = β Tweelingen 1,3
Arcturus = α Bootes 0,2	Regulus = α Leeuw 1,6
Procyon = α Kleine Hond 0,6	Castor = α Tweelingen 1,7

Voor andere sterren raadplege men een atlas, bv. Schurig-Götz, *Tabulae Celestes*, of Norton's Star Atlas.

De meeste mensen kunnen nog de 6e grootteklasse waarnemen, althans bij heldere nachten en ver van het licht der steden.

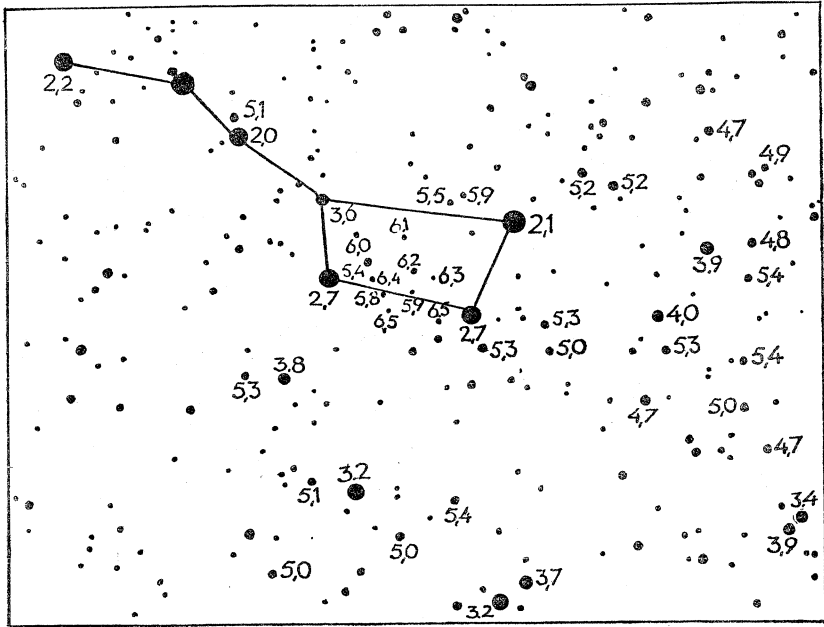


Fig. 69. Helderheid van enkele sterren bij de Grote Beer.

51. Uitdoving van het licht door de dampkring.

Nabij de gezichteinder zien we gewoonlijk maar zeer weinig sterren. Dat komt doordat de lichtstralen verzwakt worden bij hun weg door de lucht; stralen die bijna horizontaal verliepen hebben een veel langere weg afgelegd dan schuin invallende stralen, en worden dus sterker verzwakt.

Die verzwakking gaan we bepalen, zo mogelijk met behulp van een sterre-atlas, aangevuld met een lijst van grootteklassen; maar onze tabelletjes van § 50 zijn eigenlijk al voldoende, als Orion laag, en de Grote Beer hoog staan. De daar opgegeven grootteklassen gelden voor 't geval dat de sterren hoog aan de hemel staan. Nu zoeken we een ster A, die niet ver van de gezichteinder staat, en vergelijken haar helderheid met die van de sterren

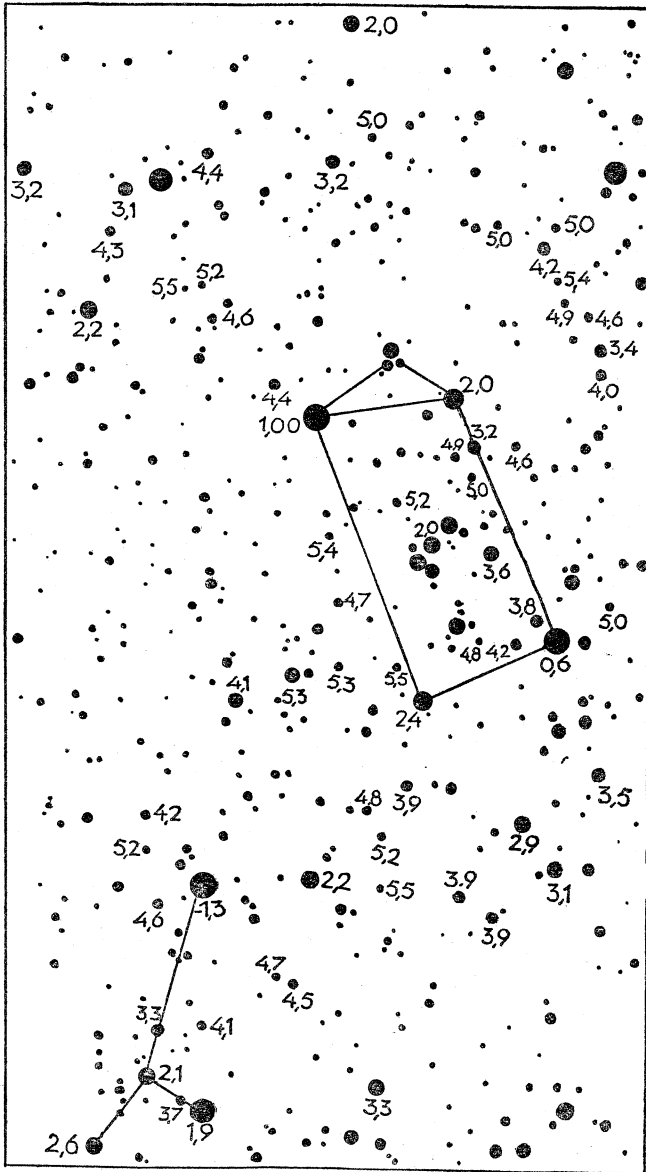


Fig. 70. Helderheid van enkele sterren bij Orion.

om het Zenith (sterren hoger dan 45° , die bijna niet verzwakt zijn). Zoveel mogelijk zoeken we sterren, die precies gelijk zijn aan A of waar A tussenin ligt. Het verschil tussen de *schijnbare* grootteklasse van A en de *ware* grootteklasse volgens de tabellen, wordt opgetekend en bv. Δ genoemd; we bepalen ook nog de hoogte van de ster A op dit ogenblik (§ 250).

Als wij dit voor verschillende sterren op allerlei afstanden h boven de kim uitvoeren (een 10-tal is al voldoende om een eerste indruk te krijgen), komt er een tabelletje dat min of meer gelijken zal op het volgende :

h	Δ	Z	sec Z
90°	0	0°	1
45°	0,09	45°	1,41
30°	0,23	60°	2,00
20°	0,45	70°	2,92
10°	0,98	80°	5,73
5°	1,67	85°	11,4
2°	3,10	88°	

De getallen der tweede kolom zijn gemiddelde waarden voor onze gewesten en voor zeer heldere lucht, maar ze veranderen van plaats tot plaats en vooral van nacht tot nacht.

In het tabelletje staat ook de zenithsafstand $Z = 90^\circ - h$ opgetekend, en sec Z, die aangeeft hoe lang de weg is die het licht door de dampkring heeft afgelegd (fig. 71). Zet nu uit: Δ tegen sec Z, dan vindt u een lijn die niet teveel van een rechte afwijkt; trek zo goed mogelijk tussen de waargenomen punten (fig. 72)! We zien dus uit deze tekening hoeveel grootteklassen de ster zwakker wordt naarmate de

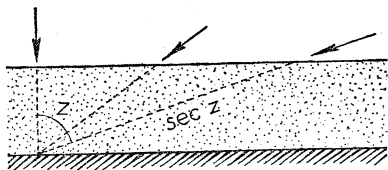


Fig. 71. Hoe schuiner de lichtstraal hoe langer zijn weg door de dampkring.

weg door de dampkring toeneemt. Het buitengewoon interessante van deze figuur is, dat men door de lijn te verlenen vinden kan hoeveel sterker de sterren zouden lijken als wij boven de luchtlag die de Aarde omgeeft konden stijgen, nog hoger dan de stratosfeer! Een ster nabij het zenith zou 0,2 grootteklassen

helderder worden, dit is ongeveer van 83 tot 100. We hebben dus bevonden, dat de dampkring voor steil invallende stralen bijna $\frac{1}{5}$ van het licht uitdooft; en dit geldt zowel voor de zon

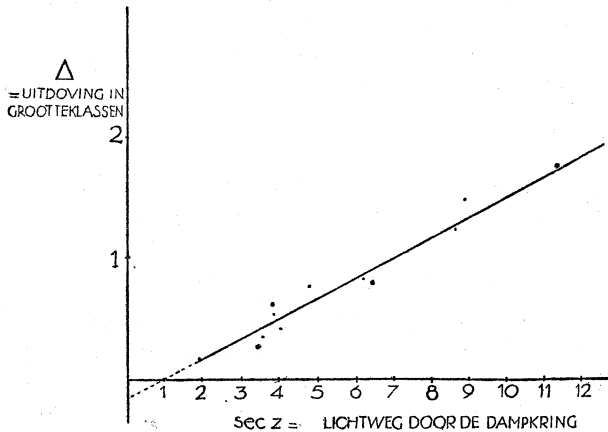


Fig. 72. Uitdoving Δ van het licht ener ster door de dampkring, bij verschillende zenithsafstand Z .

als voor de sterren. Die uitdoving is geen absorptie van het licht, maar *verstrooiing*, dezelfde verstrooiing waardoor de lucht blauw is (vgl. § 177).

52. Vergelijk een ster met een kaars.

Op een terrein met uitgestrekt, vrij uitzicht, bij nacht, vergelijken we de lichtsterkte van een kaars met die van een heldere ster, b.v. Capella. Het is verrassend, hoe héél ver we ons van de kaars moeten verwijderen, wil haar helderheid afgenomen zijn tot die van de ster: op ongeveer 900 m is er gelijkheid. We krijgen dus van Capella een verlichtingssterkte van

$$\frac{1}{(900)^2} = \frac{1}{810.000} \text{ lux (vroeger: „meterkaars“)}.$$

De proef kan ook genomen worden met een zaklantaarn, maar dan zijn nog groter afstanden nodig. Stel het lampje boven op het dak van een huis of voor een torenraam!

Let op het kleurverschil!

53. Vergelijk twee straatlantarens met elkaar.

Bij een avondwandeling merken we op dat we nu en dan twee schaduwen hebben, telkens nml. als we ons tussen twee lantarens bevinden. Naarmate we dichterbij de ene of bij de andere komen, wordt de ene of de andere schaduw zwarter. Waar de twee schaduwen even sterk zijn, krijgen we van beide lichtbronnen evenveel licht; uit de afstanden a en b volgt dan de verhouding

$$\frac{A}{B} = \frac{a^2}{b^2}.$$

Bij vergelijking van gasgloeilicht met elektrische lampen is het verschil in kleur van de schaduwen opvallend.

54. Vergelijk de maan met een lantaren.

Zoek weer de twee schaduwen die deze lichtbronnen werpen: die tegenover de maan is roodachtig; die tegenover de lantaren, donkerblauw (vgl. § 102). We verwijderen ons van de lantaren: de maanschaduw blijft even sterk, maar de lantarenschaduw verbleekt; stel dat op 20 m van de lantaren beide gelijk zijn. De straatlantaren is een gewone, niet zeer sterke gloeilamp, ik schat:

50 kaars; op 20 m afstand is de verlichtingssterkte $\frac{50}{20^2} = 0,13$ lux.

Dit moet dus tevens de verlichtingssterkte zijn die de volle maan teweegbrengt.

Vorige proef dachten wij ons bij volle maan. Herhaal ze bij eerste of laatste kwartier: de verlichtingssterkte is nu *veel minder dan de helft*; een aanzienlijk deel van het maansoppervlak is verduisterd door de schuine schaduwen der maanbergen (vgl. § 173).

Juiste waarden: volle maan 0,20 lux,
 eerste en laatste kwartier . . 0,02 „ .

55. Helderheid van de maanschijf.

Toen Sir John Herschel zijn reis naar Zuid-Afrika ondernam en zijn schip te Kaapstad aankwam, zag hij de bijna volle maan opgaan boven de Tafelberg, die beschenen was door de ondergaande zon. Het trof hem, dat de maan minder helder leek dan de rotsen, en hij besloot hieruit dat de maansoppervlakte uit donkere gesteenten moet bestaan.

Een dergelijke waarneming kunnen we in onze eigen omgeving doen, als we omstreeks 6 u. 's avonds de opgaande volle maan

met een witte muur vergelijken, die door de ondergaande zon beschenen wordt. De afstanden zon—maan en zon—aarde zijn praktisch gelijk; als maan en muur uit dezelfde stof bestonden, zouden ze nu dezelfde helderheid moeten hebben, *ook al zijn hun afstanden tot het oog nog zo verschillend* (prachtige toepassing van een klassieke fotometrische stelling!). Het waargenomen verschil moet daaraan toe te schrijven zijn, dat de maan uit donkere gesteenten bestaat (vulkanische as).

Wil deze waarneming zuiver zijn, dan moeten zon en maan even hoog boven de gezichteinder staan; hun licht wordt dan in dezelfde mate door de dampkring verzwakt.

56. Enkele helderheidsverhoudingen in het landschap.

Helderheid zon = 300000 × helderheid van de blauwe lucht.

Helderheid van witte wolk = 10 × helderheid van de blauwe lucht.

Op een gewone zonnige dag met blauwe lucht komt 80 % van het licht rechtstreeks van de zon, 20 % van de hemel.

Verlichting op een horizontaal vlakje na zonsondergang, bij onbewolkte lucht ¹⁾:

hoogte der zon :	— 1°	— 2°	— 3°	— 4°	— 5°	— 6°
	250	113	40	13	5	2 lux.

Het oog past zich zo snel en goed aan alle verlichtingssterkten aan, dat wij ons geen voldoende rekenschap meer geven van de kolossale helderheidsvariëaties die om ons heen voorkomen. Vergelijken wij eens een landschap verlicht door de volle zon, en een ander verlicht door de maan :

de zonneschijf zelf	100000 × 40000	de maanschijf	8000
een helderwit voorwerp	50000	een helderwit voorw.	0,10
roetzwart	1000	roetzwart	0,002

In éénzelfde landschap komen dus geen groter helderheidsverhoudingen voor dan ten hoogste 50 : 1; in absolute waarde verandert de verlichting echter ontzaglijk. Roetzwart in de zonneschijn is nog vierduizend maal helderder dan een wit papier bij volle maan!

1) K. Kähler, Met. Zs. 44, 212, 1927.

57. Terugkaatsingsvermogen.

*Je ziel is een groot water,
de sterren vinden geen beeld in jou.*

*Kurt Heynicke, „Ferne Frau“ (uit de bundel:
Rings fallen Sterne. Berlin, 1920).*

Heeft u ooit de sterren in het water teruggekaatst gezien? In de stad lukt dit meestal niet, buiten wel, mits men kijkt in een plas of in een vijvertje bij windstil weer. Bij donkere nacht is die weerspiegeling een zeer mooi gezicht!

Heldere sterren van de 1e grootte, die nabij het zenith staan, ziet men zwak weerspiegeld, ongeveer als sterren van de 5e grootte. Een verschil van 4 grootteklassen komt overeen met een verhouding 40 ongeveer van de lichtsterkten: water weerspiegelt dus maar 2,5 % van de loodrecht invallende stralen. Sterren die lager staan worden beter weerspiegeld.

Het terugkaatsend vermogen hangt samen met de brekingsaanwijzer, volgens de „formules van Fresnel”; voor loodrechte inval is het $\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$. In volgende tabel is het terugkaatsend vermogen aangegeven van glas en van water, onder verschillende hoeken i met de normaal spiegelend.

invalshoek i	Terugkaatsingsvermogen	
	van water	van glas ($n = 1,52$)
0	0,020	0,043
10°	0,020	0,043
20°	0,021	0,043
30°	0,022	0,043
40°	0,024	0,049
50°	0,034	0,061
60°	0,060	0,091
70°	0,135	0,175
75°	0,220	0,257
80°	0,350	0,388
85°	0,580	0,615
90°	1,000	1,000

We begrijpen nu ook waarom we in de stad geen sterren weerspiegeld zien: de hemel is hier niet donker genoeg, sterren

van de 3e grootte zijn al nauwelijks meer zichtbaar : daarenboven is het wateroppervlak zelf teveel verlicht. Alleen planeten ziet men wel weerspiegeld, als ze veel helderder zijn dan de 1e grootte.

Er is een volksgeloof, dat sterren niet weerspiegeld worden door *diepe* wateren. Dit mist natuurlijk elke redelijke grond.

Ook bij dag is uitstekend waar te nemen hoezeer het terugkaatsend vermogen van water van de invalshoek afhangt. Elke willekeurige waterplas aan de kant van de weg ziet er geheel anders uit, naarmate men hem loodrecht naar beneden kijkend of van op afstand in zeer schuine richting waarneemt (§ 214).

Het lijkt ons onwaarschijnlijk, dat de spiegelbeelden van de blauwe hemel, de huizen en de bomen, bij loodrechte waarneming slechts 2 % van de helderheid dezer objecten zouden vertonen ; op sommige schilderijen ziet men nauwelijks verschil tussen de helderheid van voorwerp en spiegelbeeld. Dit komt ten dele, omdat wij een wateroppervlak bijna altijd onder een zeer kleine hoek vak onder de kim waarnemen (fig. 168) ; ten dele is het aan psychologische factoren toe te schrijven.

Neem de terugkaatsing waar van een effen wateroppervlak, terwijl u een zakspiegeltje en een stukje glas horizontaal vóór u houdt ; vergelijk hun helderheid met die van het water bij verschillende invalshoeken.

Een glazen ruit weerspiegelt 0,043 van het licht aan elk harer vlakken, dus 0,086 totaal. In menig van glas gebouwd wachthuisje, waarin een gloeilamp hangt, kan men de herhaalde spiegelbeelden zien, die tussen de twee tegenoverstaande evenwijdige ruiten ontstaan. Van een gewone matte gloeilamp zijn 4 spiegelbeelden aan elke zijde nog wel te zien. Het eerste is gevormd door eenmaal weerspiegeld licht, het tweede door 3 maal, het 3e door 5 maal en het 4e door 7 maal weerspiegelde stralen ; het laatste heeft dus slechts 0,086⁷, zegge minder dan één tienmiljoenste van de oorspronkelijke helderheid ! Deze eenvoudige bepaling is wel geschikt om te laten zien, hoe ons oog de lichtindrukken verwerken kan binnen een ontzaglijk uitgebreid gebied van verschillende helderheden.

58. Doorlating van metaalgaas.

Voor het dragen van lichtreklames zijn soms metaalconstructies op de daken opgesteld en met metaalgaas bespannen. Van verre ziet men de afzonderlijke draden niet meer, het gaas lijkt een gelijkmatig verzwakkende plaat grauw glas. Het is belangwekkend, het gaas van uit toenemend schuine richtingen te bekijken :

het wordt dan steeds donkerder. Dit is een bewijs, dat het uit draden met *ronde* doorsnee bestaat; was het uit *platte* bandjes

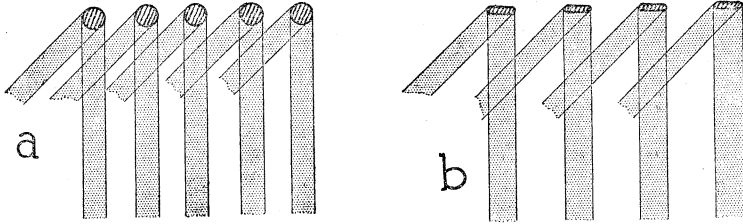


Fig. 73. Doorlating van metaalgaas, gezien vanuit twee verschillende richtingen: a) het gas bestaat uit draden met ronde doorsnede; b) het gas bestaat uit platte bandjes.

opgebouwd, dan zou het onder elke hoek even donker blijven (fig. 73).

59. De ondoorzichtigheid van een bos.

Zolang een bos zich slechts over een geringe diepte uitstrekt,

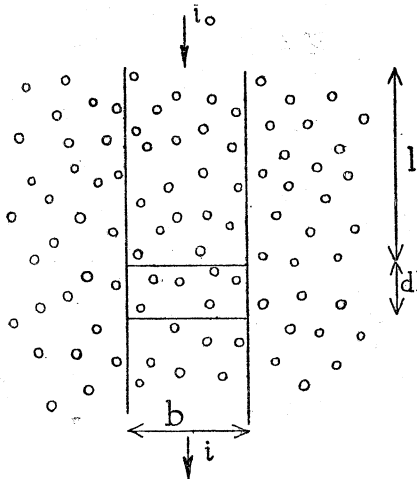


Fig. 74. We berekenen hoeveel licht er tusschen de stammen van een bos nog te zien is.

zien we in de verte de lichte lucht tussen de stammen door. Klaarblijkelijk moet er een eenvoudige betrekking zijn die aangeeft welk gedeelte van het licht nog ongehinderd doorgelaten wordt, als wij aannemen, dat de bomen volgens het toeval verdeeld zijn, dat er N bomen per m^2 voorkomen, en dat zij op ooghoogte een middellijn D hebben.

over een kleine afstand dl verder lopen, wordt weer een kleine hoeveelheid di van het licht weggenomen, en wel is

$$\frac{di}{i} = -\frac{N \cdot D \cdot b \cdot dl}{b} = -ND \, dl.$$

Beschouw een bundel lichtstralen van breedte b , die al een lengte l door het bos heeft doorlopen (fig. 74). Van de oorspronkelijke lichthoeveelheid i_0 is nog i over. Als de lichtstralen nog

Hieruit volgt door integratie :

$$i = i_0 \cdot e^{-NDl} = i_0 \cdot 10^{-0,43NDl}$$

Er wordt dus minder en minder licht doorgelaten naarmate het bos dieper wordt, juist zoals door een donkere vloeistof minder en minder licht gaat naarmate de laag dikker is.

Stel voor een dennebos $N = 1$ per m^2 ; $D = 0,10$ m. Dan vinden we ongeveer :

$$\begin{array}{l} l = 10 \text{ m} \dots\dots\dots \cdot \frac{i}{i_0} = 0,37 \\ l = 25 \text{ m} \dots\dots\dots \cdot 0,10 \\ l = 50 \text{ m} \dots\dots\dots \cdot 0,01 \\ l = 70 \text{ m} \dots\dots\dots \cdot 0,001 \end{array}$$

Men ziet hoe snel de ondoorzichtigheid toeneemt. Uit een ruwe schatting van het breukdeel van de gezichteinder dat nog door de bomen vrijgelaten wordt, volgt de diepte van het bos.

Welke waarde heeft ND bij beukebos? Bij jong en oud dennebos?

Aan dit vraagstuk kan men nog tal van aardige waarschijnlijkheidsbeschouwingen vastknopen. ¹⁾ *Het aantal openingen* bijvoorbeeld is evenredig met $l^2 e^{-NDl}$, wanneer l de afstand voorstelt tot aan de grens van het bos; naarmate men dus de rand van het bos nadert, ziet men het aantal vrije openingen eerst langzaam toenemen, daarna snel afnemen. Dit aantal bereikt een maximum

bij $l = \frac{2}{Nd}$. — Diep in het bos is *het aantal boomstammen, waarvan men nog iets zien kan*: $\frac{4\pi}{Nd^2}$; dus 1257 in het gekozen voorbeeld.

60. Zwevingen tussen twee hekken. (Plaat IVa).

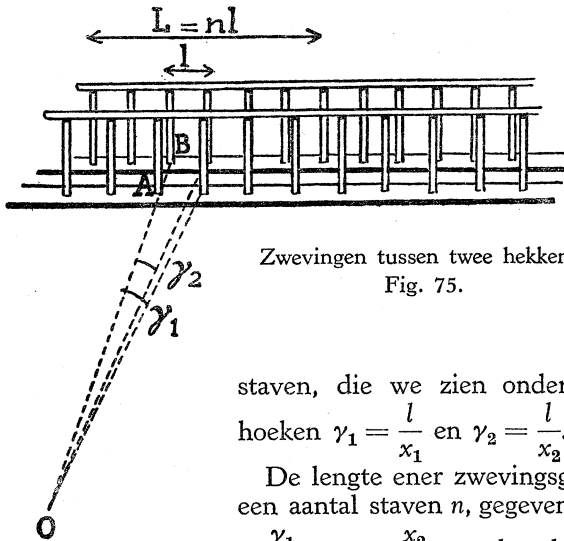
Overall waar men twee hekken, het ene door het andere heen ziet, bemerkt men brede lichte en donkere golvingen in de lichtsterkte, die verlopen zodra men zich beweegt. — Zij ontstaan natuurlijk, doordat de (schijnbare) afstand der staven van elkaar enigszins verschillend is voor de twee hekken, hetzij omdat het éne grover is dan het andere, hetzij doordat ze zich verschillend ver van ons oog bevinden. In bepaalde richtingen schijnen de staven dan ongeveer samen te vallen, in andere vullen de staven van het eerste hek juist de tussenruimten van het andere; zodat er een verschil in de gemiddelde helderheid ontstaat („in de pas” — „uit de pas”).

Heeft men die zwevingen eenmaal opgemerkt, dan ziet men ze op allerlei plaatsen. Elke brug die aan haar beide kanten een

1) H. Bock, Zs. phys. chem. Unterricht, **53**, 139, 1940.

hekvormige borstwering draagt, vertoont die helderheidsgol-
vingen zodra men ze van op een zekere afstand bekijkt. Ze ver-
schijnen ook, als men dwars door een hek de schaduw van dat-
zelfde hek ziet: de periode is dezelfde, maar de afstand tot ons
oog is verschillend. In sommige stations is er metaalgaas om de
goederenlift aangebracht: de naar ons toegekeerde zijde en de
van ons afgekeerde zijde vormen samen een soort moiré, het-
zelfde dat men ook opmerkt als men twee stukken metaalgaas op
elkaar legt, of twee kammen van ongelijke tandafstand. Let ook
op het dubbele rooster boven de verbindingsdeurtjes in onze
elektrische treinen.

Beschouw nauwkeuriger het eenvoudige geval (fig. 75), waarin
wij twee gelijke hekken op ongelijke afstanden $x_1 = OA$ en $x_2 =$
 OB van ons oog zien; stel l de afstand tussen twee opeenvolgende



Zwevingen tussen twee hekken.

Fig. 75.

staven, die we zien onder gezichts-
hoeken $\gamma_1 = \frac{l}{x_1}$ en $\gamma_2 = \frac{l}{x_2}$.

De lengte ener zwevingsgolf omvat
een aantal staven n , gegeven door $n =$
 $\frac{\gamma_1}{\gamma_1 - \gamma_2} = \frac{x_2}{x_2 - x_1}$; dus des te meer

naarmate we ons verder van de hekken verwijderen. Daarentegen is
de hoek θ waaronder we een zwevingsgolf zien altijd dezelfde, want

$\theta = n\gamma_2 = \frac{l}{x_2 - x_1}$. De ware lengte $L = nl = \frac{lx_2}{x_2 - x_1}$ ener zwe-
vingsgolf kunnen we bepalen, door evenwijdig aan het hek te
lopen: de zwevingsgolven verplaatsen zich met een snelheid,
gelijk aan de onze; meet hoever u moet lopen opdat de ene
golving nauwkeurig de plaats schijne in te nemen van de vorige.

— Onderzoek of elk van die betrekkingen uitkomt. Of andersom : uit de bepalingen van n , θ , L haalt men de waarden van x_2 ,

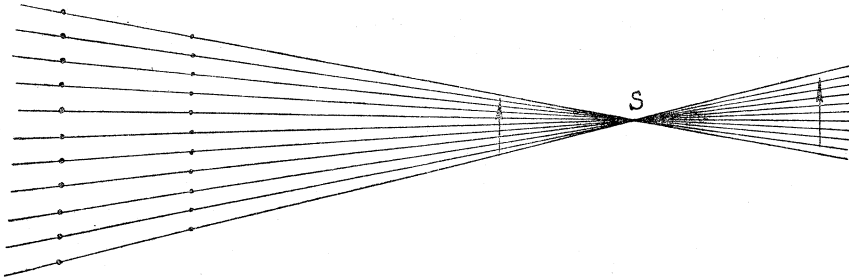


Fig. 76. Zwevingen tussen twee hekken van verschillende periode.

$x_2 - x_1$ en l , en kan aldus zonder enig instrument alle afmetingen van op afstand bepalen.

Als de twee hekken een verschillende periode hebben, zien we bij elke beweging van ons oog de zwevingsgolven op de merkwaardigste wijze verlopen ; soms in dezelfde richting waarin wij

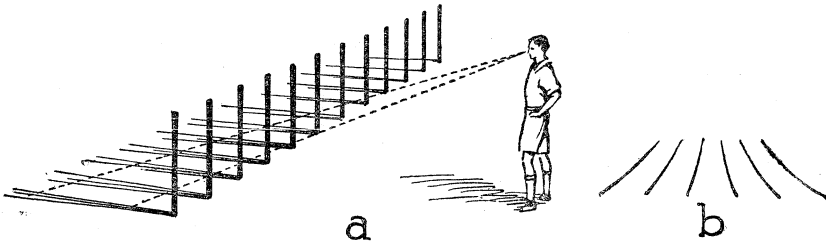


Fig. 77. Zwevingen tussen een hek en de schaduw daarvan.

a. waarnemingsomstandigheden b. vorm der zwevingsgolven.

ons verplaatsen, soms in de tegengestelde, naarmate wij ons vóór of achter het „uitstralingspunt” S bevinden (fig. 76) ; met andere woorden : naarmate $\gamma_1 > \gamma_2$ of $\gamma_1 < \gamma_2$. De zwevingen verplaatsen zich sneller en sneller als we tot S naderen.

Als een verticale omheining haar schaduw werpt op een horizontaal terrein, zien de zwevingen er ietwat anders uit (fig. 77) ; boven liggen ze dichter bij elkaar, onder zijn ze verder van elkaar verwijderd ; daarenboven is er een geringe kromming in

te onderkennen. Inderdaad klopt dit met de vorige beschouwingen: de afstand tussen de twee interfererende hekkfiguren is boven het grootst, wij zien hun periode dus onder een zeer verschillende hoek, en de zwevingen liggen dicht bij elkaar; onderaan is het omgekeerd.

61. Fotografische fotometrie.¹⁾

In alle fotografie-winkels kan men „daglichtpapier” kopen, dat in de zon snel een bruinpaarse kleur aanneemt. Ruw kan men zeggen, dat de tijd, nodig opdat het papier een bepaalde kleur zou bereiken, omgekeerd evenredig is met de lichtsterkte die op het papier valt („regel van Bunsen-Roscoe”). Als men dus altijd met hetzelfde merk werkt, en eens en vooral een stukje bruinpaars karton als „normaaltint” heeft gekozen, kan men gemakkelijk overal lichtsterkten bepalen: men neemt eenvoudig op hoeveel tijd er nodig is opdat het lichtgevoelige papier de normaaltint zou aannemen. Onze kleurnormaal moet zo weinig mogelijk aan het licht blootgesteld worden, om verbleken te vermijden. Deze normale tint kiezen we met zorg. We houden een reepje daglichtpapier in de zon, en dekken er achtereenvolgende trapjes van af, resp. na 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640 sekunden; na afloop bekijken wij het papiertje bij zwak licht; de eerste trappen en de laatste vertonen weinig contrast, de middenste zijn het gunstigst. Kies als normaal een blad karton of sterk papier (boekband, reclameplaat, . . .) dat goed effen van kleur is en zo nauwkeurig mogelijk dezelfde tint heeft als een der middenste trapjes; is de *kleurtoon* niet volmaakt dezelfde, dan moet u bij het vergelijken eer letten op de *helderheid*, en die met half gesloten ogen beoordelen. — Merk op, dat we ons daglichtpapier noch ontwikkelen noch fixeren, de gebruikte reepjes kunnen niet bewaard worden.

Op deze wijze heeft Wiesner tal van onderzoeken over het lichtklimaat uitgevoerd, waaronder de verschillende planten zich ontwikkelen. Hoe ruw de methode ook zij, het is heerlijk om aldus snel, op een groot aantal plaatsen en in allerlei omstandigheden, een schatting te krijgen van een grootheid waarvan zelfs de orde ons niet bekend was!

Onderzoek de belichting van een horizontaal vlak bij verschillende zonshoogte.

1) J. Wiesner, *Der Lichtgenuss der Pflanzen* (Leipzig, 1907). — *Denkschr. Akad. Wien*, 64, 1896 en 67, 1898. — *Sitzungsber. Akad. Wien*, 1900 en 1905.

Vergelijk de verlichting op een horizontaal vlak bij zonschijn :
a. als een schermpje er schaduw op werpt ; *b.* zonder schermpje ;
 vergelijk aldus het licht dat direkt van de zon komt met dat
 hetwelk door de blauwe hemel wordt uitgezonden.

Vergelijk de verlichting van een naar boven en een naar
 beneden gekeerd vlak : boven water is de verhouding 6, boven
 grint 12, boven gras 25.

Vergelijk de helderheid van de blauwe lucht in verschillende
 richtingen, door verscheiden, even grote kokers onder verschil-
 lende hoeken op te stellen, en fotografisch papier op de bodem
 te leggen. Gewoonlijk blijkt de lucht het donkerst op 90° van
 de zon (vgl. § 181).

Vergelijk de verlichting in een bos en daarbuiten (tenminste
 20 m van de bosrand blijven!).

Vergelijk de verlichting in een beukebos *a.* midden Mei ;
b. bij het ontplooiën der eerste bladeren ; *c.* begin Juni. In een
 bepaald geval vond men $\frac{1}{11}$, $\frac{1}{30}$, $\frac{1}{64}$ t.o.v. de verlichting buiten
 het bos.

Meet de verlichtingssterkte op groeiplaatsen van :

weegbree (<i>Plantago major</i>)	1
klimop (<i>Hedera helix</i>)	1 tot 0,22 (bloeiend)
	1 tot 0,02 (onvruchtbare takken).
hei (<i>Calluna vulgaris</i>)	1 tot 0,10
adelaarsvaren (<i>Pteridium aquilinum</i>) tot 0,02.	

Bepaal de verlichtingssterkte binnen in boomkruinen : dit is
 ongeveer de kleinste verlichtingssterkte waarbij zich nog twijgen
 kunnen ontwikkelen. Voor vrijstaande bomen werd gevonden :
 lork 0,20 ; berk 0,11 ; grove den 0,10 ; spar 0,03 ; beuk 0,01 (alles
 t.o.v. de verlichting buiten de boom).

HET OOG.¹⁾

De studie van de mens en de studie van de natuur zijn niet van elkander te scheiden. Als we licht en kleur in het landschap zuiver willen waarnemen, moeten we in de eerste plaats het instrument kennen dat we daarbij voortdurend gebruiken: het menselijk oog. Het werkt in hoge mate verhelderend, wanneer we leren onderscheiden wat de natuur ons inderdaad vertoont, en wat ons gezichtsorgaan daarbij voegt en fantaseert. En nergens zijn de eigenaardigheden van ons oog zo goed te bestuderen als buiten, in de omgeving zelve waaraan wij door de natuur zijn aangepast.

62. Zien onder water.²⁾

Heeft U wel eens beproefd Uw ogen onder water open te houden! Een kleine zelfoverwinning, en 't valt erg mee! Maar

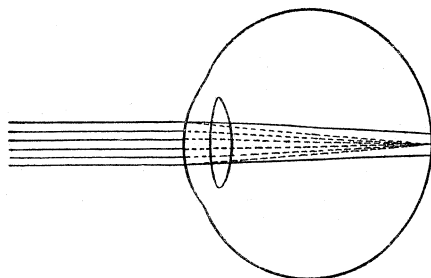


Fig. 78. Bij het zien onder water komt er van de beeldvorming in ons oog niets meer terecht. (Volutgetrokken: loop der lichtstralen bij het kijken onder water; gestippeld: lichtstralen bij het kijken in lucht).

alle beelden die we nu waarnemen zijn buitengewoon onscherp en wazig, ook al geschiedt de proef in een zweminrichting met zeer helder water. In de lucht is het namelijk het voorste oppervlak van het oog, het hoornvlies, dat de lichtstralen verzamelt en de afbeelding op het netvlies tot stand brengt; de kristallenshelpt daar slechts een weinig bij. Maar bij de waarneming onder water vervalt

de werking van het hoornvlies, daar de vloeistof in het oog

1) Voor dit gehele hoofdstuk en de drie volgende raadplege men vooral het klassieke werk van Helmholtz: *Physiologische Optik* (2e of liever 3e uitgave).

2) O. v. Aufsess, *Das Sehen unter Wasser* (1912). — A. Bierman, *Reflex*, 7, 39, 1936.

en het water daarbuiten ongeveer even sterk lichtbrekend zijn : de stralen veranderen dus niet van richting aan de hoornvliësgrens (fig. 78). Nu kunnen we uitstekend beoordelen hoe onvoldoende de werking van de kristallens zou zijn, als die alleen voor de beeldvorming moest zorgen. We zijn hopeloos verziende geworden, zozeer, dat de accomodatie praktisch niets helpt ; een lichtpunt blijft vrijwel even wazig, op welke afstand het zich ook bevindt. De enige mogelijkheid om nog iets van een voorwerp te herkennen is dus, het zò dicht bij ons oog te houden, dat wij het onder een grote hoek zien ; de wazigheid van de grenzen is dan niet al te hinderlijk meer.

In helder water begint een cent zichtbaar te worden op armafstand (60 cm) ; een ijzerdraadje is op geen enkele afstand waarneembaar. Daarentegen kan men tot op 9 m constateren of iemand

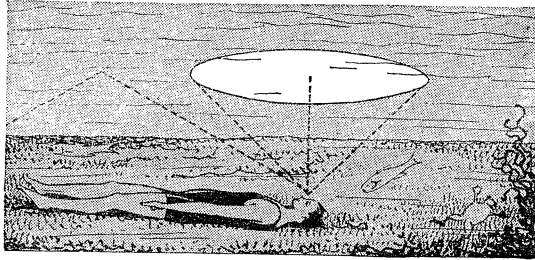


Fig. 79. We bekijken even het landschap op de wijze van de vissen!

voorbijzweemt, omdat in dit geval het voorwerp zo groot is, dat wij er allicht iets van merken. Ruw gezegd is de aanwezigheid van een voorwerp van grootte v nog waar te nemen op een afstand van ten hoogste $30 v$; zijn vorm is enigszins vast te stellen op een afstand van $5 v$; en van redelijk zien is slechts sprake als het voorwerp tot op een afstand gelijk aan zijn eigen afmeting v genaderd is.

Om ons gezichtsvermogen weer enigszins normaal te maken, is dus een zeer sterke bril nodig. Maar het ongeluk wil, dat brillenglazen onder water 4 maal minder sterk werken dan in lucht! En daar komt nog bij, dat een zò sterke bril niet zijn volle effekt heeft, zodra men hem enige millimeters vóór het oog zet. Dit alles in aanmerking genomen, is het nodig een lens van sterkte 100 te nemen, dus van brandpuntsafstand 1 cm! Het lensje van een dradenteller is hiervoor bruikbaar.

Let er op, hoe moeilijk de afstanden te schatten zijn, zowel met als zonder waterbril. De voorwerpen zien er schimmig, spookachtig uit.

Het is nog de moeite waard, van onder water de blik opwaarts te richten. Lichtstralen die van buiten komen dringen in het water onder hoeken met de vertikaal van ten hoogste 46° ; u ziet dus boven uw hoofd een grote lichte schijf; als u uw blik schuiner richt, wordt uw gezichtstraal totaal teruggekaatst tegen het oppervlak, en brengt u slechts de weerspiegeling van de zwak verlichte bodem (fig. 79). Zo ziet er de wereld voor de vissen uit!

Een zeer goede indruk van het landschap, gezien van onder water, krijgt men, door een spiegel in schuine stand onder het oppervlak te houden, terwijl men zelf rechtop in het water staat en vooral het rimpelen van het oppervlak vermijdt. Merk op hoe alle voorwerpen buiten het water sterk samengedrukt lijken in vertikale richting, des te meer naarmate ze tot de horizon naderen. Alles is met prachtige gekleurde randen omzoomd!

63. Het zichtbaar worden van het inwendige van ons oog.

Een geoefend waarnemer kan zonder enig hulpmiddel de gele vlek van zijn eigen oog zien (het gevoeligste en centrale punt van het netvlies), omgeven door een donkerder krans waarin de bloedvaten ontbreken.¹⁾ Men kijkt bij avond naar de wijde, wolkenloze lucht, als de eerste sterren beginnen te verschijnen en men al een tijdje buiten is. Sluit de ogen enige sekunden, en open ze dan snel, terwijl uw blik naar de hemel gericht is. De duisternis verdwijnt eerst aan de omtrek van het gezichtsveld, en trekt zich snel naar 't midden samen, waar de gele vlek met haar donkere zoom even zichtbaar wordt; soms licht ze even op. — Andere waarnemers zien de gele vlek tegen een vrij helder verlichte wand, telkens als men het licht aan en uit doet.

Als men langs een hoog hek loopt, waar doorheen de felle zon schijnt, krijgt men verscheiden malen per sekunde een flits zonlicht in de ogen. Blijf voor u uit kijken, keer de ogen niet rechtstreeks naar de zon! Het merkwaardige is, dat u nu bij elke lichtflits éven een onduidelijke figuur ziet van onregelmatige vlekken en mazen en vertakkingen, helder op een donkerder achtergrond.²⁾ Het is mogelijk dat dit bepaalde delen van het netvlies of vaatvlies zijn, die we bij deze ongewone belichting zien verschijnen.

1) H. von Helmholtz, Physiologische Optik, 3e uitg. 2, 255. Deze proef gelukt mijzelf niet.

2) Waarschijnlijk komt deze waarneming overeen met de „lichtschaduw-figuur van Purkinje” (Helmholtz, t.a.p. blz. 217).

64. Afwijkingen van de scherpe beeldvorming bij het oog.

Sterren zien we niet als zuivere stipjes, maar als kleine onregelmatige figuurtjes, dikwijls als lichtpuntjes waarvan stralen uitgaan; de gewone voorstelling door 5-stralige sterretjes komt niet met de werkelijkheid overeen. Kies voor deze proef de allerhelderste sterren, liefst Sirius; of beter nog de planeten Venus of Jupiter: die vertonen ons een zó klein schijfje dat wij ze praktisch puntvormig zien, en ze zijn helderder dan de helderste sterren.

Houd het hoofd schuin naar rechts, naar links: het figuurtje helt mee. Voor ieder mens is het anders, het is ook verschillend voor elk der beide ogen; maar als men één oog met de hand bedekt en achtereenvolgens met het andere naar allerlei sterren kijkt, ziet men altijd hetzelfde figuurtje. Het zijn dus niet de sterren zelf, die zo onregelmatig van vorm zijn, het is ons oog dat fouten vertoont, en een punt niet precies als een punt afbeeldt.

De stralenfiguur wordt groter en onregelmatiger, wanneer het oog zich in een donkere omgeving bevindt en de pupil wijd geopend is; ze wordt kleiner, als we ons in een goedverlichte omgeving bevinden en de pupil tot een klein gaatje samgetrokken is. Inderdaad heeft Gullstrand bewezen, dat de kristallens van ons oog voornamelijk aan de randen vervormd wordt door de spier waaraan ze bevestigd zit; de afbeeldingsscherpte zal ervan afhangen of er door die randgedeelten licht doorgaat of niet.

Neem een blad papier, prik er een gaatje in van 1 mm middellijn, en houd dit midden voor de pupil. Na enig zoeken slaagt u er wel in, Sirius of een planeet op te sporen: het beeld is zuiver rond. Verplaats nu het gaatje naar de rand van de pupil: daar vervormt zich het lichtpuntje op onregelmatige wijze, bij mij rekt het uit tot een lichtlijntje, volgens de straal van de pupil gericht.

Vele mensen zien ook de hoorns van de maansikkel veelvoudig. Deze afwijkingen van de scherpe beeldvorming zijn in hoofdzaak toe te schrijven aan kleine vervormingen in de oppervlakte van het hoornvlies. Dezelfde vervormingen zien we ook te voorschijn komen wanneer we bijziend zijn, en ons lorgnet buiten afzetten (fig. 80): elke verre lantaren wordt dan een lichtschijsje, waarin de helderheid echter zeer ongelijkmatig verdeeld is. Als het kleine

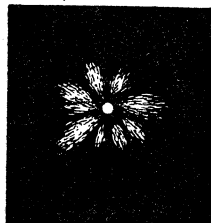


Fig. 80. Een ster of verre lantaren, gezien door een lichtelijk bijziende zonder lorgnet.

druppeltjes regent, ziet u af en toe plotseling een zwart rond vlekje in dat lichtschijfje verschijnen: een regendruppel bedekt een deel van het hoornvlies (fig. 81). U kunt merken dat hij wel een 10-tal sekunden zijn vorm behoudt, indien u er in slaagt al die tijd niet met de oogleden te knippen!

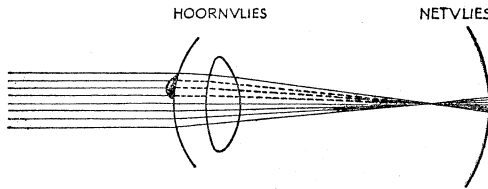


Fig. 81. Een bijziend oog zonder lorgnet ziet de verre lichtbronnen als onregelmatige schijfjes; een regendruppel op het hoornvlies tekent zich daarin als een donker vlekje af.

Wanneer een auto-mobiel op grote afstand zijn felle lampen in onze richting keert, zien we het gehele gezichtsveld in de omgeving van het intense lichtpunt met een lichtwaas bedekt; dit lichtveld is korrelig, soms straalsgewijs gestreept. Deze

structuur ontstaat door lichtbuiging of breking aan een groot aantal onregelmatigheidjes in het oog. Natriumlampen, die de vorm hebben van lange, smalle buizen, geven ook een diffuse schijn om de lichtbron; maar deze lichtschijn vertoont een fijne arcering, waarvan de lijntjes precies evenwijdig aan de lichtbron lopen: elk buigend korreltje heeft nu een lichtlijntje in plaats van een lichtpuntje gegeven.

65. Stralenbundels die van heldere lichtbronnen schijnen uit te gaan.

Lantarens in de verte schijnen soms lange, rechte stralen naar ons oog te schieten. Dat is vooral zo, wanneer we met half-gesloten oogleden kijken; langs de rand van elk ooglid vormt het traanvocht een kleine meniskus die de lichtstralen breekt.¹⁾ Uit fig. 82a ziet men, dat de stralen aan de rand van het *bovenste* ooglid zó gebroken worden, dat ze *van beneden* schijnen te komen: de lichtbron krijgt een naar beneden gerichte staart; het onderste ooglid geeft evenzo een naar boven gerichte staart. Men kan de vorming dezer staarten heel goed volgen, door het éne ooglid vast te houden, en het andere zachtjes te sluiten; of door het hoofd schuin naar boven of naar beneden te richten terwijl men de oogleden half dicht luikt. De stralen verschijnen precies op het ogenblik waarop het ooglid de pupil begint te bedekken;

1) H. Meyer, Pogg. Ann. 89, 429, 1853.

een bijziend waarnemer kan dat heel goed opmerken, daar de lichtbron, die hij schijfvormig verbreed ziet, op dat ogenblik voor een gedeelte afgeschermd wordt. De stralen zijn niet geheel evenwijdig, ook niet die van één oog. Kijk naar een lichtbron vóór u, keer daarna het hoofd wat naar rechts en draai de ogen tot u die lichtbron weer ziet: de stralen staan nu schuin (fig. 82b). Dit komt blijkbaar, omdat de randen der oogleden nu niet meer horizontaal staan daar waar ze over de pupil heen lopen; elke stralenbundel is loodrecht op de ooglidrand die hem

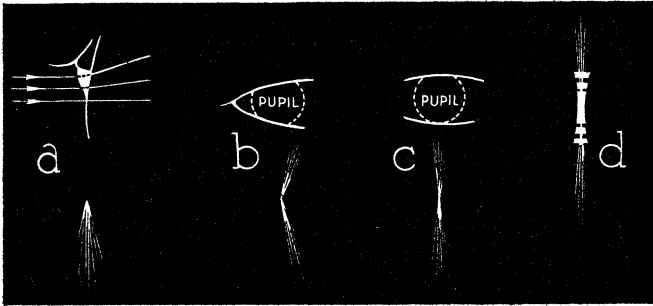


Fig. 82. Het ontstaan van lichtstralen om de lantarens in de verte.

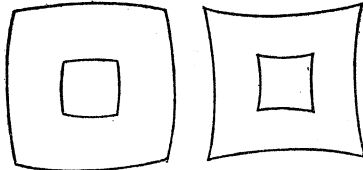
veroorzaakt, 't komt precies uit met de richting. We begrijpen nu ook, dat de stralen niet evenwijdig zijn als we vóór ons uit kijken: het is de gebogenheid der ooglidranden, die reeds binnen de breedte der pupil merkbaar is. Houd uw vinger aan de rechterrand der pupil: de linker stralen van de bundel verdwijnen, precies zoals het moest.

Naast de lange staarten (fig. 82c) zijn er ook korte, zeer lichtsterke, die door *terugkaatsing* tegen de randen van de oogleden ontstaan (fig. 82d). Overtuig u ervan, dat ditmaal het *bovenste* ooglid de *bovenste* korte staart veroorzaakt, en omgekeerd. Deze terugkaatsingstralen vertonen meestal dwarse buigingsstrepen.

66. Waarnemingen aan lorgnetglazen.

Gewone lorgnetglazen vervormen de lijnen, zodra men er sterk schuin doorheen kijkt. Bij holle glazen is de vervorming „tonvormig”, bij bolle glazen „kussenvormig” (fig. 83). Wanneer het er op aankomt te beoordelen of een lijn in het landschap zuiver recht is of loodrecht staat, is die vervorming bijzonder hinderlijk. Aan de uiterste grenzen van het veld treedt een zo

sterk astigmatisme op, dat allerlei kleine bijzonderheden wegge-
wist worden. Deze gebreken van de beeldvorming zijn des
te sterker naarmate de glazen holler of boller zijn, zij zijn veel
geringer bij meniskusglazen.



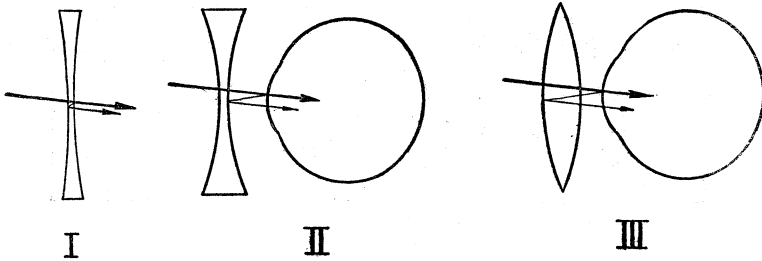
tonvormig

kussenvormig

Fig. 83.

Beeldvorming door lorgnetglazen.

Wie 's avonds door zijn lorgnet naar een brandende
lantaren kijkt, ziet ergens in
de nabijheid daarvan een licht-
schijfje zweven. Het is niet
scherp; als wij ernaar turen verandert vanzelf de accomodatie
van het oog, en we zien het schijfje groter of kleiner worden.



I

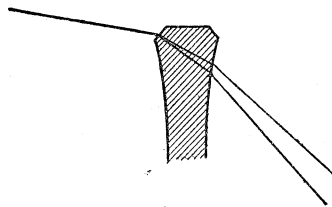
II

III

I. bij zwakke
glazen.II. holle glazen
sterker dan - 5.III. bolle glazen
sterker dan + 3.

Fig. 84. Het ontstaan van dubbele reflexen bij het gebruik van een lorgnet.

Nemen we ons lorgnet af en houden dit een eindje vóór ons
oog, dan zien we 't schijfje overgaan in een scherp lichtpuntje

Fig. 85. Hoe een lorgnetglas een
spectrum kan geven.

dat blijkbaar een zeer verkleind
beeld van de lamp is. Bekijk een
groep van 3 lampen: het blijkt dat
het beeldje rechtopstaand is. — Ver-
klaring: het lichtschijfje ontstaat
door een dubbele weerspiegeling
tegen de oppervlakken van het lorg-
netglas of tegen het hoornvlies van
het oog. Er zouden dus eigenlijk 3
van die schijfjes te zien moeten
zijn, maar men bemerkt alleen die
welke niet al te onscherp zijn; praktisch treedt bij een gegeven
brilleglas slechts één soort dubbele reflex op¹⁾ (fig. 84).

1) W. J. de Bruyne, Reflex, 7, 7, 1936.

Bij glazen zonder montuur ziet men soms aan de uiterste rand een smal spektrum van de lampen in de verte: dit ontstaat als er een schuin randje aan de glazen geslepen is (fig. 85).

Regendruppels op lorgnetglazen: zie § 125.

67. Onderscheidingsvermogen van het oog.

Ieder normaal oog onderscheidt gemakkelijk Mizar en Alcor in De Grote Beer, op een afstand van bijna 12' van elkaar. (fig. 69 en 86). De vraag is nu, hoeveel verder men nog komen kan.

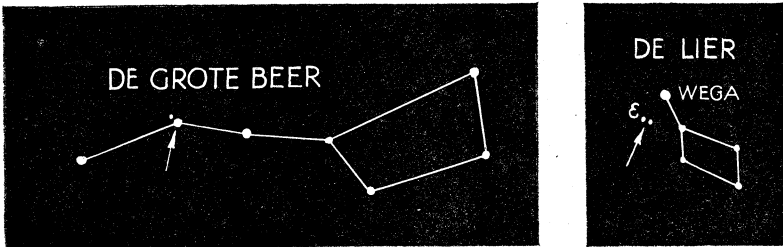


Fig. 86. Enkele wijde dubbelsterren.

Met scherpe ogen kan men nog twee sterren op de helft van die afstand onderscheiden, bijvoorbeeld:

α van de Steenbok — afstand der componenten 6', grootten 3,8 — 4,5.

Slechts een uiterst klein aantal mensen bereikt 4' en 3':

α van de Weegschaal — afstand der componenten 4', grootten 2,8 — 5,3;

ϵ van de Lier — afstand der componenten 3', grootten 5,3 en 6,3.

Dergelijke uitzonderlijk goede waarnemers, bij heldere en rustige lucht observerend, kunnen ongelofelijk veel bijzonderheden onderscheiden.

Een hunner¹⁾ beweert dat hij met het blote oog α van de Weegschaal als dubbelster ziet (afstand bijna 4'). Saturnus is voor hem duidelijk langwerpig; Venus vertoont de sikkelvorm, althans op geschikte tijden en als hij door een donker glas kijkt of door een rookpluim die toevallig de goede doorlating heeft. Hij kan zelfs een paar satellieten van Jupiter zien, maar alleen in de schemering, op het ogenblik dat de sterren van de 1e en 2e grootte beginnen te verschijnen.

1) Stoddard, M. N. 13, 156, 1852.

Ook voor andere waarnemingen is de schemering het beste ogenblik. Dan zijn de bijzonderheden van het maan-oppervlak duidelijker te zien dan in de nacht, daar men minder verblind wordt. — Het is een leuke sport om het smalle maansikkeltje zo kort mogelijk na de nieuwe maan waar te nemen, sommigen

hebben het gebracht tot een tijdsinterval van slechts 11 uren!¹⁾ Natuurlijk is het ook hiervoor van groot belang, te weten *waar* men kijken moet (§ 68).

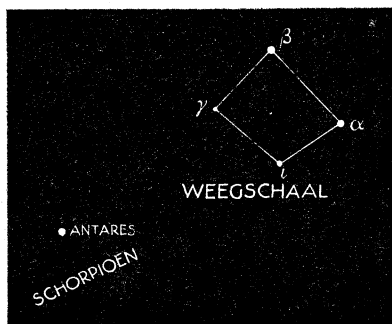
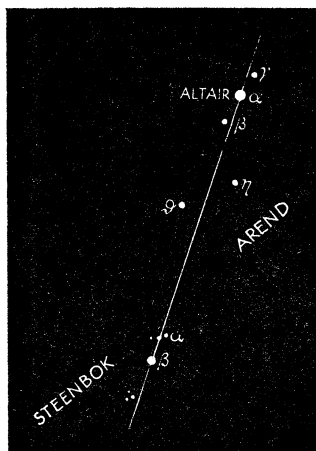


Fig. 87.

Het beperkte onderscheidingsvermogen van het oog verklaart de veranderingen die zich voltrekken in het beeld der voorwerpen die zich van ons verwijderen.²⁾ Op 50 meter afstand zijn de vormen der boombladeren niet meer te onderscheiden, al tekenen ze zich nog zo fel tegen de lucht af; de boomkruin heeft dan nog een wazige omtrek. Maar op 10 kilometer afstand is de omtrek van een bos ragscherp geworden en niet meer te onderscheiden van een heuveltop. De sluier van het luchtperspektief maakt de tegenstellingen van licht en donker minder fel, maar de grenzen behouden hun scherpte.

Let op het gelaat van een u welbekend persoon die u uit de verte tegemoet komt. Eerst ziet u „een witte vlek”; — dan „een gelaat”, terwijl toch nog geen afzonderlijke vlekken zichtbaar zijn; — dan ogen en mond: lippen, wenkbrauwen zijn onherkenbaar, maar toch raadt u meer dan drie donkere vlekken; —

1) Ahmed, *Natuurk. Tijdschr. Ned. Ind.* 98, 48, 1938; omgerekend voor Nederland.

2) Ruskin, *Modern Painters*, III, blz. 327 en 442.

even later ziet u dat het gelaat op dat van uw vriend gelijk is; — nu bent u zeker dat hij het is.

Zo is dus het beeld van een ver verwijderd voorwerp volstrekt niet zonder meer het verkleinde beeld van het nabije voorwerp; het is op zeer typische en interessante wijze veranderd. En overal zijn er details die het oog net niet ziet en toch raden kan en die de structuur, de textuur van het voorwerp aangeven.

68. Lichtgevoeligheid van het rechtstreekse en perifere gezichtsveld.

Wat zijn de zwakste sterren die u nog kunt zien? Kijk naar het vierkant van de Grote Beer en vergelijk met ons kaartje (fig. 69).

De meeste mensen zien nog de 6e grootteklasse, sommige de 7e. Dergelijke waarnemingen moeten geschieden ver van het licht der steden en bij heldere lucht.

Nu gaan we onderzoeken welke sterren u nog kunt zien *als u ze scherp, rechtstreeks aankijkt*. Wilskracht is daartoe nodig: wilskracht om de blik niet af te wenden en hem nauwkeurig op de ster te blijven richten. We bemerken nu het verrassende, dat elke zwakke ster verdwijnt zodra men ze scherp bekijkt; kijkt men er even naast, dan verschijnt ze weer! Voor mij worden de sterren van de 4e grootte al onzichtbaar, terwijl ik die van de 3e nog blijf zien (gebruik fig. 69 en 70). Er is dus een verschil van wel 3 grootteklassen tussen de drempelwaarde voor de gele vlek en die voor het omgevende netvlies. Dat komt overeen met een faktor 16 in de lichtsterkte! Dit verschil in gevoeligheid is te wijten aan het feit, dat het centrale gedeelte van de gele vlek vrijwel alleen bezet is met de cellen, die men „kegeltjes” noemt, het omgevende („perifere”) netvlies ook met „staafjes”, die veel lichtgevoeliger zijn. Zelfs geoefende waarnemers zullen verbaasd zijn over de grootte van het effect: zozeer zijn we gewoon onbewust onze blik een weinig van de zwakke sterren af te wenden, om ze beter te zien.

Het is de moeite waard, een heldere ster of een planeet (bv. Venus) in de ochtendschemering te volgen. Naarmate de hemel helderder wordt, is het moeilijker en moeilijker het lichtpuntje te onderscheiden. Het merkwaardige is nu, dat men het dikwijls *daarom* niet ziet, omdat men niet in de goede richting kijkt, terwijl men het wel kan waarnemen als men het maar eenmaal teruggevonden heeft. Hetzelfde kan men ook opmerken als men beproeft een leeuwerik te vinden die in de blauwe lucht kwinkeleert. — Als men maar goed oplet, kan men Venus dikwijls

volgen tot het volop licht is geworden, en haar de hele dag blijven zien. Met Jupiter gelukt dit soms, maar moeilijker; het is al iets bijzonders wanneer men hem kan waarnemen tot de zon een hoogte van 10° bereikt heeft.¹⁾ Zijn deze waarnemingen niet in tegenstrijdigheid met de geringere gevoeligheid van de gele vlek, die we uit onze proeven met sterren hadden afgeleid? Toch niet: de staafjes komen slechts in werking bij heel zwak licht, bij dag zijn ze uitgeschakeld; in die omstandigheden geeft het groefje van de gele vlek de scherpste beelden, terwijl 's nachts de grote lichtgevoeligheid der staafjes de doorslag geeft.

69. Proef van Fechner.

Als er lichte, wazige wolkjes aan de hemel zijn, zoeken wij er eentje uit dat nog net merkbaar van de achtergrond van de hemel te onderscheiden is. Houd nu voor het oog een stukje rookglas, of een glaasje dat boven de vlam van een kaars licht beroet is, of een ontwikkelde fotografische plaat: hetzelfde wolkje is nu weer net onderscheidbaar.

Fechner besloot hieruit, dat het oog twee helderheden onderscheiden kan, als hun *verhouding* (niet hun *verschil*) een bepaald constant bedrag bereikt (de ene ongeveer 5% groter dan de andere).

Herhaal de proef met een *zeer* donker glas: het wolkje is nu niet meer zichtbaar, al de fijne schakeringen zijn verdwenen. Het net onderscheidbare breukdeel is dus niet geheel constant.

Een tegenhanger van de proef van Fechner is het zich iedere dag herhalende verdwijnen van de sterren. Het helderheidsverschil van de ster ten opzichte harer omgeving is altijd hetzelfde; maar de *verhouding* is heel anders bij dag dan bij nacht.

In 't algemeen kan men zeggen, dat het de *helderheidsverhoudingen* zijn die ons in de eerste plaats treffen. Deze eigenschap van ons gezichtszintuig is van de grootste betekenis voor ons dagelijks leven; zij heeft voor gevolg, dat de voorwerpen een eenheid blijven vormen en herkenbaar blijven, ook bij wisseling van de verlichtingsomstandigheden.

70. Het landschap bij maanlicht.²⁾

Als de wet van Fechner streng gold, en het oog alleen intensiteitsverhoudingen zag, zou een landschap in de maneschijn geen

1) Ann. d. Hydr. 37, 1909. — Hemel en Dampkr. 14, 60 en 180, 1916; 17, 68, 1919. — Die Himmelswelt, 44, 70, 1934.

2) H. v. Helmholtz, Optisches über Malerei, blz. 71 (Populäre Wiss. Vorträge), 1871—73.

andere indruk kunnen maken dan hetzelfde landschap bij zonlicht: alle lichtsterkten zijn duizenden malen geringer, maar de voorwerpen worden op dezelfde wijze verlicht door een lichtbron van ongeveer gelijke vorm en stand.

Hier ziet men bijzonder duidelijk dat de wet van Fechner bij zeer geringe helderheden niet meer doorgaat. Ga een landschap bij maneschijn waarnemen en geef u rekenschap van het verschil vergeleken met de verlichting bij dag! Het typische is, *dat bij maneschijn alles wat niet vol verlicht is zich vrijwel eenvormig donker vertoont*, terwijl daar bij dag nog allerlei helderheidsgraden in voorkomen. Zo komt het dat het fotografische negatief van een landschap met zon, onderbelicht en donker afgedrukt, de indruk weergeeft die we van een landschap met maneschijn krijgen. De schilders geven ons op een dergelijke wijze de suggestie van het nachtelijke landschap, door alles bijna even donker weer te geven; het verzwakken van de tegenstellingen wekt in ons de onbewuste indruk dat de verlichting wel heel gering moet zijn. Zie ook § 71.

71. Het landschap bij felle zonneshijn.¹⁾

Aan 't strand bijvoorbeeld, op een zomerdag, zijn de helderheden zo groot, dat *verblindings* begint te dreigen.

De helderheidsverhoudingen lijken kleiner dan bij gemiddelde verlichting, alles lijkt ongeveer even fel in de gloeiende zonneshijn. Ook dit is een effect waar de schilders gebruik van maken (vgl. § 70).

72. Drempelwaarde voor het waarnemen van helderheidsverhoudingen.

De ruiten der huizen weerspiegelen het zonlicht en werpen lichtvlekken op de straatkeien (§ 9). Als de straat zelf ook door de zon beschenen wordt, zijn die lichtvlekken niet goed te zien, omdat de grond zo weinig gelijkmatig is. Maar als een venster raam een weinig beweegt, merken we de lichtvlek ineens op; of als we voorbijlopen, en onze schaduw als een zwakke schim over de lichtvlek glijdt. (Is dat geen merkwaardige psychologische bijzonderheid? Ons oog heeft stellig een bijzondere geschiktheid om zwakke lichtverschijnselen op te merken, die zich als een eenheid verplaatsen). Een glazen plaat kaatst 4 % terug aan elk van zijn oppervlakken, 8 % totaal; bij schuine inval wordt het iets meer (§ 57). Blijkbaar is dus een helderheidstoename van

1) H. v. Helmholtz, *Optisches über Malerei*, blz. 71 (Populäre Wiss. Vorträge).

10 % ongeveer de drempelwaarde van wat ons oog in gewone omstandigheden en zonder bijzondere voorzorgen onderscheiden kan.

Een kleine plas water ligt vóór een zonbeschenen muur; het weerspiegelde zonlicht moest een lichtvlek op de muur vormen. Als de wind het water rimpelt, zien we lichtlijnen over de muur lopen (§ 9), maar overigens is de lichtvlek ternauwernood zichtbaar, tenzij bij een heel effen muur of op een deurpaneel. Een helderheidstoename van 3 % is dus alleen in zeer gunstige omstandigheden waar te nemen (§ 92).

Stel u 's avonds tussen twee lantarens, zó dicht bij de ene dat de schaduw die de andere wierp net verdwijnt. Uit de afstand tot beide lantarens is de verhouding der verlichtingen af te leiden; dus ook: hoeveel procent de schaduw zich nog onderscheidt van het omgevende veld.

73. Gordijn-effekt.

We lopen buiten, bij dag. Hoe komt het, dat een *doorzichtige* tullen gordijn ons toch belet te zien wat er in de kamers van de huizen gebeurt? — De gordijnsluier is sterk belicht; als de voorwerpen in de kamer slechts een paar procent van die helderheid hebben, zijn de relatieve helderheidsverschillen te klein om onderscheiden te worden: een toepassing dus van de wet van Fechner (§ 69)!

Bij avond, als de lamp in de kamer brandt, ziet men zonder meer door de lichte sluijer heen: hij is nu van onze zijde bijna onbelicht, op de verschillend heldere voorwerpen in de kamer superponeert zich slechts een zeer zwakke extra-belichting.

Het effect is in beide gevallen omgekeerd voor wie in de kamer is, en naar buiten kijkt.

Een dergelijk verschijnsel is het volgende: een vliegtuig, dat bij maanlicht gemakkelijk zichtbaar was, wordt soms onvindbaar als men beproeft het met een zoeklicht beter te belichten! De lucht tussen ons oog en het vliegtuig wordt door de bundel fel verlicht, en belet ons de zwakke lichtcontrasten daarachter te zien.

74. De zichtbaarheid der sterren bij dag.

We beginnen met te letten op de zichtbaarheid der sterren in de nacht. Hoe donkerder de hemel, hoe meer sterren zichtbaar worden; daarentegen verdwijnen zij, wanneer er maanlicht is dat door de lucht wordt verstrooid en een algemene helderheid over het uitspansel verspreidt: het is een waar gordijn-effekt (§ 73).

*Om de maan, die vol is en schoon, verbergen
weer hun glans de fonkelend-lichte sterren,
als zij straalt haar zilveren schijnsel, wijduit
over de aarde.*

Sappho ¹⁾ (Bergk, *Poetae Lyr. Graec. III, 3*).

Een kind dacht dat een wolk voor de maan wel voldoende zou zijn om de sterren weer zichtbaar te maken. Waarom is dit niet het geval? (fig. 88).

Door waarneming van de sterren die nog net zichtbaar zijn, kan men krommen tekenen die aangeven hoe de helderheid over de hemel in de buurt van de maan verdeeld is. — Bij maansverduisteringen verschijnen de „uitgedoofde” sterren weer.

Bij dag is de hemel nog veel sterker verlicht, en dan zijn de sterren volkomen onzichtbaar. Daarenboven is ons oog dan aan het volle licht aangepast, en daardoor duizenden malen minder gevoelig.

Er is een merkwaardig verhaal, ²⁾ dat reeds van de tijd van Aristoteles dagtekent: van uit diepe putten, mijnschachten, schoorstenen zou de lucht donkerder schijnen dan we haar gewoonlijk zien, en zou het zelfs mogelijk zijn enkele heldere sterren waar te nemen. Sedertdien hebben een aantal schrijvers het verschijnsel vermeld, merendeels echter naar hun herinnering of naar de verhalen van anderen. Op geen enkele plaats kan men het verschijnsel thans normaal zien en bestuderen. Aanbevolen wordt, een proef te nemen met een koker van 12 m lengte en 0,50 m middellijn; verder moet er in Valkenburg een gang van de grot zijn, van waaruit men de hemel ziet en waar de proef geprobeerd zou kunnen worden. — Het effect zou alleen daarin kunnen bestaan, dat het oog minder verblind is door licht dat van de hele omgeving invalt. Dit heeft echter stellig slechts een kleine invloed, daar het veld naar hetwelk we rechtstreeks kijken toch altijd verlicht blijft, en in elk opzicht de doorslag geeft.

Nog minder waarschijnlijk is de bewering, dat men bij dag

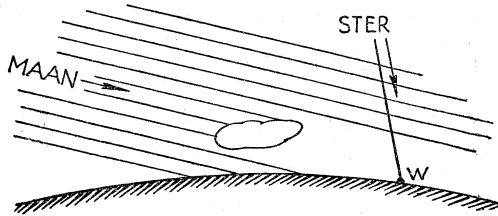


Fig. 88. Een wolk vóór de maan is niet voldoende om voor waarnemer W de sterren goed zichtbaar te maken.

1) Merk de voortreffelijk waargenomen bijzonderheden op: „om de maan”; „verbergen weer hun glans”, want bij het opgaan der maan verdwijnen sterren die eerst zichtbaar waren.

2) W. van der Elst, *Hemel en Dampkring*, 21, 2, 1923. *Die Sterne*, 20, 51, 1940.

sterren weerspiegeld zou kunnen zien in donkere bergmeren. De „waarnemers” hebben wel opgemerkt hoe donker de weerspiegeling van de hemel was, maar hebben vergeten dat de sterren in precies dezelfde verhouding door de weerspiegeling verzwakt worden.

Tegen de ochtend werd het zeer donker, daar de sterren uitgedoofd werden, en de schemering dit lichtverlies nog niet voldoende kon vergoeden. (!!!)

Walter Scott, Waverley, hoofdstuk 47.

75. Overstraling (= irradiatie).

De ondergaande zon schijnt een indeuking in de gezichteinder teweeg te brengen (fig. 89).

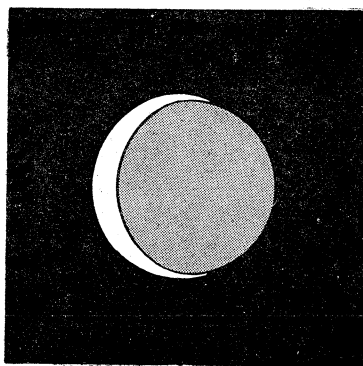
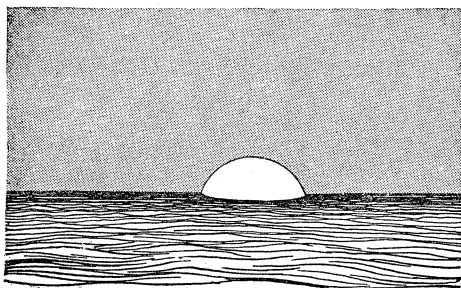


Fig. 89. Voorbeelden van overstraling: de ondergaande zon en de maansikkel.

Als het eerste sikkeltje van de maan verschijnt, en de overige delen van de maanschiif zwak schemeren in „het asgrauwe licht”, valt het ons op dat de buitenrand van de sikkel tot een groter cirkel schijnt te behoren dan de buitenrand van het asgrauwe licht (fig. 89). Tycho Brahe schatte dat de diameters zich verhiel- den als 6 : 5.¹⁾

Zwarte kleren doen ons slanker schijnen dan witte.

„Dit bemerken we, als we de zon bekijken door de ontbladerde „boomtakken: alle takken die zich vóór de zonneschiif bevinden „zijn zo dun geworden dat men ze niet meer ziet. Evenzo een „speer die men tussen het oog en de zonneschiif houdt.”

„Eens zag ik een vrouw in 't zwart gekleed met een witte

1) Goethe, Farbenlehre, I, 1, § 17.

„hoofddoek ; die doek scheen tweemaal zo breed als haar schouders
„welke zwart waren gekleed.”

„De kantelen der versterkingen hebben tussenruimten die
„even breed zijn als de opstekende stukken ; en toch lijken de
„eerste nogal wat breder dan de tweede.”¹⁾

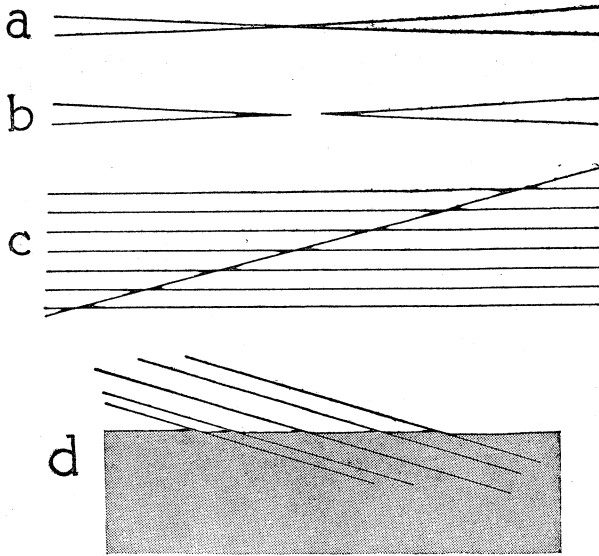


Fig. 90. Voorbeelden van overstraling bij telegraafdraden.

Dikwijls ziet men twee dunne telegraafdraden die elkaar onder een zeer kleine hoek schijnen te snijden als men van uit de geschikte richting kijkt (fig. 90a). Nu is het merkwaardige, dat tegen de achtergrond der lucht het snijpunt als 't ware verdwijnt, overstraald door de grote helderheid daarnaast, en door tegenstelling tegenover de donkere draden van dubbele dikte links en rechts. Zodra de wind maar even de draden iets verplaatst, loopt de witte onderbreking heen en weer (fig. 90b).

Daarentegen is het beeld anders als men een telegraafdraad ziet tegen een geribbelde achtergrond van trappen, pannen daken, een bakstenen gevel : hij lijkt dan eigenaardig gezwollen of bochtig overal waar hij een donkere ribbel kruist (fig. 90c). Hetzelfde verschijnsel treedt op waar bv. de omtrek van een kar zich tegen zulk een achtergrond aftekent (fig. 90d).

1) Lionardo da Vinci, Trattato (uitg. 1804, blz. 308—315).

De oorsprong van al deze vervormingen ligt in het feit, dat de beelden in ons oog door buiging en onvolmaakte afbeelding gewijzigd worden; wij leggen de grenzen der velden daar, waar de helderheid het snelst verandert, — en dit is bij het door buiging onscherp geworden beeld dikwijls op een andere plaats dan in de ideale afbeelding. Inzonderheid verschuift aldus de grenslijn stelselmatig naar buiten voor heldere velden in donkere omgeving: dit is het verschijnsel, dat men „overstraling” noemt, en waarvan we hier enkele voorbeelden hebben leren kennen.

76. Verblindings.

Wanneer de lichtsterkte die in het oog valt te groot is, treedt „verblindings” op. Men verstaat hieronder twee verschillende dingen:

1. doordat een sterke lichtbron in het gezichtsveld komt, worden de overige delen van het gezichtsveld niet goed meer waar te nemen;

2. er ontstaan een indruk van duizeligheid of pijn.

Het eerste is het geval, als een automobiellenschein ons in de nacht tegemoet komt, en zijn felle koplampen op ons heeft gericht. We zien de bomen langs de weg niet meer en zouden er haast tegen aan lopen. Een aandachtiger onderzoek van ons gezichtstaferaal op dit ogenblik leert, dat alles wat we zien overtoegen is met een lichtwaas, vele malen sterker dan het zwakke nachtelijke schijnsel der bomen en andere dingen. Dit algemene lichtwaas ontstaat door verstrooiing van de invallende stralen in de middenstoffen van het oog, welke altijd voldoende korrelig en inhomogeen zijn om verstrooiend te werken. Het schijnt zelfs, dat het verblindende licht niet alleen door de pupil in het oog komt, maar ook voor een gedeelte dwars door de harde oogkroon. Tenslotte komt er nog bij, dat als een punt van het netvlies verlicht wordt, de ooggevoeligheid om dit punt heen plotseling sterk afneemt; op 10° en verder van de verblindingsbron wordt dit effect zelfs belangrijker dan de verstrooiingssluier.

Het tweede gevoel dat bij de verblindings optreedt, is goed te merken als we overdag naar de hemel kijken. We stellen ons in de schaduw van een huis, om de direkte waarneming van de zon te vermijden. Hoe dichter onze blik bij dit hemellichaam komt, des te ondragelijker de felle lichtschijn van de lucht; als er witte wolken zijn, is die schijn haast niet uit te houden. Het is zeer merkwaardig hoe, onder verschillende personen, de één veel gevoeliger is dan de andere en sneller het gevoel van pijnlijke verblindings krijgt.

DE KLEUREN.

Alles wat leeft streeft naar kleur.

Goethe, Farbenlehre, I, 1, 586.

77. Kleurenmenging.

Wanneer we door de ruitjes van een treincoupé naar buiten kijken, zien we tevens het zwakke weerspiegelde beeld van het landschap aan de andere zijde van de trein. Beide beelden overdekken elkaar, en men kan de mengkleur beoordelen. Het spiegelbeeld van de blauwe lucht maakt de groene weide groenblauw; tevens is het opvallend hoe de kleur bleker en minder verzadigd wordt: een algemeen verschijnsel bij kleurenmenging.

Aan moderne winkelruiten is er dikwijls geen lijst; men ziet dan tegelijk dwars door de ruit het binnenste van het vensterkozijn A, en de weerspiegeling van het buitenste gedeelte B (fig. 91). Als A en B verschillend gekleurd zijn treden prachtige mengkleuren op; naar gelang men het oog lager of hoger houdt naderen ze meer tot A of tot B, wat tevens bewijst dat de ruit onder grote invalshoeken meer licht terugkaatst.

De natuur mengt de kleuren nog op een andere wijze voor ons. De bloemen van een weide versmelten op afstand tot één enkele tint; paardebloemen op groen gras kunnen een geelgroene mengkleur geven. Appelbomen en perebomen in bloei zijn vuilwit (ja, *vuilwit!*): een mengkleur van de roze of witte bloemblaadjes, de groene bladeren, de rode helmknoppen der perebomen of de gele helmknoppen der appelbomen, enz. — De fysieke verklaring van die kleurenmenging is, dat ons oog ieder lichtpuntje min of meer onscherp afbeeldt (vgl. § 64), en dat de vlekjes

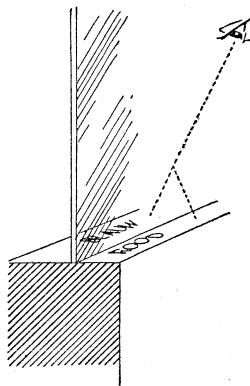


Fig. 91. Kleurenmenging, waargenomen aan winkelruiten.

van verschillende kleur elkaar overdekken. De schilder past hetzelfde beginsel toe in de pointilleer-techniek.

78. Kleurspelingen en weerkaatsingen.

„Gij dus, schilder, toon op uw portretten hoe de weerschijn van de kleur der klederen het naburige vlees kleurt.”

Lionardo da Vinci, Trattato della Pittura, uitg. Preconi, 1804, blz. 86.

„Ge wilt een wit lichaam voorstellen dat geheel door „lucht omringd is. Het witte heeft geen eigen kleur, het „slaat om en verandert in een deel der kleuren die zich „er tegenover bevinden. Als ge een vrouw ziet in een wit „gewaad, in een open landschap, dan zal zij aan de zon- „beschenen zijde zo helder zijn, dat ze de ogen verblindt „bijna zoals de zon zelf. Die zijde der vrouw echter waarop „de lucht schijnt, vermengd met de zonnestralen die er „doorheen geweven zijn, zal blauwachtig lijken. Als zich „daarnaast een weide uitstrekt, en de vrouw staat tussen „het zonbestraalde gras en de zon zelf, dan zullen de plooiën „van haar gewaad, waarop het licht der weide valt, door „de teruggekaatste stralen de kleur van de weide aannemen.”

Lionardo da Vinci, Trattato, blz. 16.

Inderdaad kan een zuiver wit oppervlak, in de nabijheid van goed verlichte, gekleurde voorwerpen, een wonderbare verscheidenheid van tinten vertonen; het oog is buitengewoon gevoelig voor deze schakeringen, vooral als men ze kan vergelijken met het oorspronkelijke wit. Het mooist en het zuiverst kunnen deze effecten onderzocht worden op vers gevallen sneeuw. (Vgl. §§ 102, 103.)

79. De kleuren van colloïdale metalen, violette ruiten.

In de gevels van oude huizen ziet men soms ruitjes met een mooie, zacht violette tint. Deze tint heeft het glas mettertijd gekregen onder de jarenlange invloed van het zonlicht; men kan dezelfde kleuring in een dag verkrijgen, als men het glas aan de felle straling van een kwartskwiklamp blootstelt. De kleur is te wijten aan uiterst geringe hoeveelheden mangaan, die in het glas een colloïdale oplossing vormen; de tint hangt daarbij niet alleen af van de optische eigenschappen van het metaal, maar ook van de grootte der deeltjes. — Door verwarming verdwijnt de violette kleur weer.

Faraday vertelt, dat het glas (in zijn tijd) al zeer merkbaar

purper werd na 6 maanden bestraling door de zon.¹⁾ De kleur vormt zich heel veel vlugger in het hooggebergte.

80. De kleur van lichtbuizen, lichtabsorptie in gassen.

De kleurige lichtreclames die onze grote steden 's avonds omtoveren tot een sprookjesland, zijn glazen buizen, gevuld met een zeer verdund gas, en waar een elektrische ontleding door gaat. Oranje licht geven de buizen met neon; blauw en groen, de buizen met kwikdamp, gemaakt van blauw of groen glas om de verschillende bestanddelen van het kwiklicht te scheiden. Geel licht is helium-ontlading in geel glas.

Een merkwaardig verschijnsel is waar te nemen aan rechte blauwe lichtbuizen. Stel u zò, dat u zoveel mogelijk in de richting van de buis kijkt; dan merkt u op dat de tint veranderd is, meer *blauwviolet*, terwijl zij loodrecht daarop veel-
eer *blauwgroen* was.

— Verklaring: het kwiklicht dat doorgelaten wordt door het glas van de buis, bestaat voornamelijk uit drie stralingen: een violette, een blauwe, en een groene, waarvan de eerste slechts een geringe helderheid heeft. Zoals ze uitgestraald worden door een dun laagje maken ze samen de indruk van blauwgroen op ons oog. Maar kijken we door een zeer dikke laag, bv. in de lengterichting ener lange buis, dan moet het licht van de achterste delen een lange weg door de damp doorlopen eer het ons oog bereikt. Op die weg wordt het groene kwiklicht veel sterker opgeslorpt dan het blauwe, zodat nu de mengverhouding der stralingen een heel andere wordt en de tint omslaat.

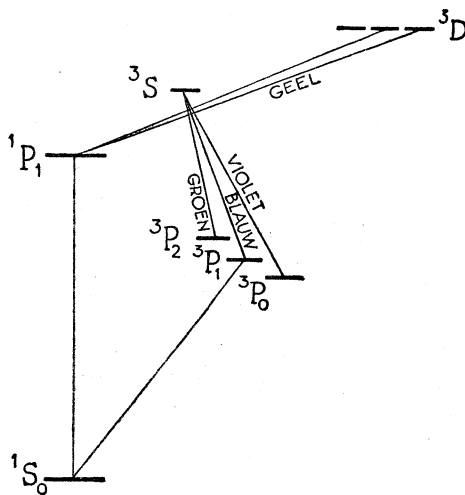


Fig. 92. Elektronenovergangen in het kwikatoom, die bij de uitzending van het zichtbare kwik-spektrum de hoofdrol spelen.

1) Experim. Res. in chem. phys. p. 142.

Inderdaad vormen de groene, blauwe en violette kwiklijnen samen een triplet ${}^3P^3S$ (fig. 92); juist de groene en violette lijnen gaan naar „metastabiele niveaus” 3P_2 en 3P_0 , vanwaar het elektron moeilijk naar lagere toestanden kan overgaan: het aantal atomen, die hun elektron in zulke niveaus hebben is dus altijd abnormaal groot en de absorptie extra sterk.

Evenzo zien er de groene buizen in de lengte geelachtiger uit. Ook hier zijn twee stralingen vooral werkzaam, de groene en de gele kwiklijnen; en ook hier bewijst onze waarneming dat de groene sterker geabsorbeerd wordt.

81. Het verschijnsel van Purkinje. Kegeltjes en staafjes.

„Groen en blauw worden steeds sterker in de halfschaduwen, geel en rood en wit in de lichten.”

Lionardo da Vinci, *Trattato*, uitg. v. Seidlitz, blz. 609.

Zie hoe in dit perk geraniums de bloemen helderrood vlammen op de donkergroene achtergrond van de bladeren. Maar als de schemering komt en de avond, is het duidelijk omgekeerd: nu lijken de bloemen veel donkerder dan de bladeren. Misschien vraagt u zich af, of de helderheid van een rode kleur wel vergelijkbaar is met de helderheid van een groene kleur; maar de verschillen zijn zo sprekend dat men hier althans niet kan twijfelen.

Zoek in een schilderijmuseum een rood en een blauw die er in de dag „even helder” uitzien; bij schemering is het blauw veel helderder geworden, het lijkt wel alsof het licht uitstraalde.

Dit zijn voorbeelden van *het verschijnsel van Purkinje*. Het ontstaat doordat ons oog bij normale belichting waarneemt met de *kegeltjes*, bij zeer zwakke belichting met de *staafjes*. De eerste zijn het gevoeligst voor geel, de tweede voor groenblauw, vandaar dat de helderheidsverhouding van verschillend gekleurde voorwerpen kan omslaan wanneer de sterkte der verlichting verandert.

De staafjes geven ons alleen de indruk van licht, maar niet van kleur. Begeef u naar buiten, ver van de lichten der grote stad. Eerst lijkt de nacht u pikdonker; maar weldra hebben uw ogen zich aangepast: de staafjes zijn in werking getreden en helpen u om de omgeving te herkennen. Bekijk fel gekleurde papieren: ze lijken kleurloos; het rood is diepzwart geworden, het blauw en violet zijn grijswit; we zijn werkelijk kleurenblind! Tevens vertonen zich duizenden sterren in zilverwitte glans; zodra men ze scherp aankijkt verdwijnen de meeste, alleen de helderste blijven als kleine lichtpuntjes over (§ 63). Deze waarnemingen

zijn het treffendst bij donkere nachten, maar ook in de maneschijn is het landschap in hoofdzaak een „staafjeslandschap”.¹⁾

Stil is het en de lucht is vol van zwart

*Violen bloeien uit dat zwarte op,
Twee blauwe bloemviolen, licht valt op
Hen niet, vanwaar?, maar zelve hebben ze
Blauw licht in zich, en daarvan lichten ze.*

H. Gorter, Mei, blz. 144.

82. De kleur van zeer heldere lichtbronnen nadert tot wit.

In de singels onzer grote steden zien we 's avonds allerlei verschillende lichtbronnen weerspiegeld en tot lichtzuilen uitgebreid. Het is opvallend, hoe duidelijk de kleurverschillen nu daaraan waar te nemen zijn, bijvoorbeeld wanneer we elektrisch gloeilicht en gaslicht vergelijken, terwijl de lichtbronnen zelf er alle bijna wit uitzien. Evenzo worden de kleurverschillen duidelijker, wanneer we lampen door de mist zien of door beslagen ruiten, en aldus de oppervlakte-helderheid der lichtbron verzwakken.

Omgekeerd blijkt dat ons oog alle kleuren tot wit ziet naderen, naarmate de lichtbron feller is. Om een dergelijke reden, vermoedelijk, spreken we van „witgloeiend” ijzer, terwijl sterren van dezelfde temperatuur (2000°) ons „rood” lijken: de ster wordt door ons oog onscherp afgebeeld, en het lichtpuntje tot een lichtzwak vlekje uitgebreid.

83. De psychologische uitwerking van het landschap, gezien door gekleurde glazen.

Geel :

„het oog verheugt zich, het hart gaat open, het gemoed wordt opgevrolijkt, onmiddellijk waait warmte ons tegemoet.” Vele mensen voelen zich geneigd tot lachen als zij door geel glas kijken.

Blauw :

„vertoont alles in treurig licht.”

Rood :

„vertoont een helder landschap in een vreselijk licht; dit is de kleur die op de dag van het Laatste Oordeel over aarde en hemel uitgespreid zal zijn.”

Goethe, Farbenlehre, I, 1, 769, 784, 798.

1) Een schilderachtige beschrijving in O. Lummer: Grundlagen, Ziele und Grenzen der Leuchttechnik (München 1918), blz. 70.

Groen :

ziet er zeer onnatuurlijk uit, wellicht omdat groene lucht zo zelden voorkomt.

Vaughan Cornish heeft gezocht waar de grens ligt tussen de kleurengroep welke „warm” en die welke „koud” aandoet in het landschap. Hij vindt, dat rood, oranje, geel, en geelgroen tot de eerste categorie behoren ; blauwgroen, blauw, violet tot de tweede.

84. Kleuren waarnemen bij gebukt hoofd.

Er is een oud recept onder schilders, om de kleuren van een landschap levendiger, rijker te zien : men draait zich om, zet de benen uit elkaar, en bukt zó diep, tot men tussen zijn benen door kijken kan. Het verhoogde gevoel voor kleur zou samenhangen met de grotere hoeveelheid bloed, die naar het hoofd stroomt.

Vaughan Cornish geeft aan dat het al voldoende zou zijn op de zijde te gaan liggen. Hij schrijft dit daaraan toe, dat de bekende overschatting van de verticale afstanden dan vervalt (§ 110), zodat de tinten schijnbaar groter gradiënten vertonen. Het is de vraag of deze verklaring ook vol te houden is voor het veel sterker effect bij gebukte houding.

Over de gevoelswaarde der kleuren en tinten in het landschap, zie : Vaughan Cornish, *Scenery and the Sense of Sight* (Cambridge 1935).

NABEELDEN EN KONTRAST- VERSCHIJSLEN.

85. Het voortduren der lichtindrukken.

Terwijl we zelf op de trein zitten, vliegt een andere trein in tegengestelde richting voorbij. Gedurende enkele ogenblikken zien we nu het landschap dwars door de ruitjes van die andere trein, duidelijk, bijna zonder flikkering, alleen wat minder lichtsterk. — De snelheid van een trein is ongeveer 17 m/sec, dus de snelheid der twee treinen t.o.v. elkaar is 34 m/sec. Stel de raampjes volgen op elkaar met tussenruimten die soms 1 meter kunnen bedragen. De beelden worden dus af en toe onderbroken gedurende 0,03 sec, zonder dat we dit merken: de lichtindruk heeft tenminste zolang voortgeduurd.

Evenzo kunnen we dwars door de ruitjes van een trein kijken als we zelf op de grond staan. Of we kunnen het landschap in de ruitjes weerspiegeld zien. Als we maar rustig, vast voor ons uit staren, zien we in beide gevallen de beelden zonder flikkering. In dit geval bedraagt het voortduren der indrukken tenminste 0.06 sec.

Om na te gaan hoe snel licht en duisternis moeten afwisselen, wil de flikkering voor ons oog verdwijnen, zoeken we ergens een lang en hoog hek en lopen er langs; we regelen onze stap zó, dat we de indruk van een gelijkmatige verlichting krijgen, daarbij zorgende altijd naar éénzelfde punt in de verte te staren.

De snelheid waarbij het flikkeren net verdwijnt, hangt af van de helderheidsverhoudingen tussen „licht” en „donker”, alsook van de verhouding tussen belichtingstijd en afschermtijd. In werkelijkheid verdwijnt de lichtindruk niet plotseling, maar neemt hij geleidelijk af. Het proces van het verflauwen en telkens weer opnieuw verschijnen der lichtindrukken in een bioscoop zal dus zeer ingewikkeld zijn.

Een klassiek voorbeeld is dat van de vallende sneeuwvlokken:

*„de vlokken dichterbij ons lijken sneller te vallen, die
„op afstand trager; en de nabije schijnen samen te hangen
„als witte koorden, de verder verwijderde echter zien we
„nietsamenhangend.”*

Lionardo da Vinci, Trattato, uitg. 1804, blz. 139.

Regendruppels zien we altijd uitgerekt tot lange, dunne streepjes, want die vallen zoveel sneller dan de sneeuw. — Maar ik herinner mij één bepaald geval, waarin de afzonderlijke druppels te zien waren. Het was op een zomermiddag en er viel een onweersbuitje, terwijl toch de helft van de hemel bijna wolkenloos was, en stralende zon de regen fel verlichtte. In een bepaalde richting nu bevond zich de regen in de schaduw van een huizenrij tot op een afstand van 40 m van mijn oog, daarna volgde een smalle strook van enkele meters die in de zon lag; en direkt daarna een achtergrond van donker geboomte. Alleen in de strook die door de zon beschenen werd zag men de druppels oplichten, en dank zij hun grote afstand kon het oog ze ditmaal gemakkelijk volgen in hun val, en zag men ze als grote zwermen lichte stippels, niet tot lijntjes uitgerekt.

86. Het hekverschijnsel. ¹⁾

Een snelrollend wiel met spaken, dwars door een hek gezien,

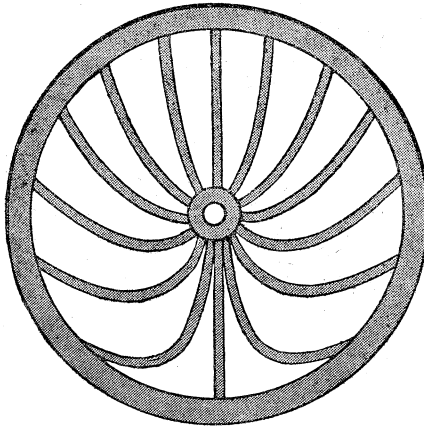


Fig. 93. Het hekverschijnsel: een voortrollend wiel, dwars door een lang hek waargenomen.

vertoont een verrassend patroon: het is alsof al de spaken doorgebogen waren; en merkwaardigerwijze is het patroon symmetrisch, en kan men er de draaiingsrichting van het wiel niet aan herkennen (fig. 93). Hoewel het wiel in snelle draaiing en voortbeweging is, staat dit patroon vrijwel stil. Zeer mooi kan men zulke figuren zien aan de grote wielen van een locomotief, als een trein traag het station binnenrijdt en toevallig door een hek gezien wordt. Het ver-

schijnsel treft ons het meest, wanneer de omtrek van het wiel flink verlicht is, de spaken tamelijk donker, en de open tussenruimten van het hek nogal smal. Men ziet het *niet*, als men door

¹⁾ P. M. Roget, Philos. Trans. **115**, 131, 1825. — Plateau, Pogg. Ann. **20**, 319, 1830. — L. Burmester, Ber. Akad. München, 142, 1914. — Bouasse, Formes et Couleurs, blz. 236 (Paris, 1917). — Pohl, Mechanik, blz. 187, geeft een onjuiste verklaring.

een hek kijkt naar een wiel dat om zijn as wentelt, *maar niet vooruitrolt*: de combinatie van draaiing en voortbeweging is onontbeerlijk.

Om het verschijnsel te begrijpen, gaan we uit van het feit dat de waarnemer het wiel met zijn ogen volgt, en alles wat hij ziet daarop betreft: want dit is de voorwaarde waaraan voldaan moet zijn, en die door de hoger aangegeven omstandigheden van

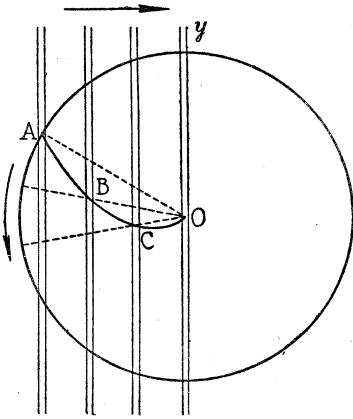


Fig. 94a.

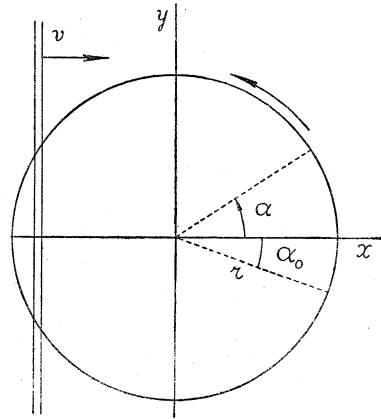


Fig. 94b.

Het ontstaan van het hekverschijnsel.

verlichting enz. bereikt wordt. Denk u dus het wiel draaiend om een *vaste* as O , maar laat de gleuven van het hek met eenparige beweging vooruitschuiven (fig. 94a). Stel dat een bepaalde gleuf een bepaalde spaak het eerst ontmoet in A ; hij snijdt er een stukje uit, dat zichtbaar wordt. Iets later is de spaak in OB gekomen, de gleuf is nu ook vooruitgeschoven, en ze doorsnijden nu elkaar in B . Nog later is het snijpunt C . En zo wordt de hele kromme $ABCO$ achtereenvolgens beschreven. Elk der krommen waaruit het patroon bestaat is dus de meetkundige plaats van de punten waar wij de doorsnijding van één bepaalde spaak met één bepaalde gleuf achtereenvolgens zien; door het voortduren der gezichtsindrukken lijkt het ons alsof we de gehele kromme tegelijkertijd voor ons oog hadden, mits althans het wiel snel genoeg draait.

Elke volgende spaak, door diezelfde éne gleuf gezien, beschrijft een kromme van dezelfde familie, maar met gewijzigde parameter; we krijgen dus een heel patroon. Indien de volgende

gleuf precies de vorige vervangen heeft in dezelfde tijd waarin de ene spaak de volgende vervangen heeft, zal klaarblijkelijk opnieuw dezelfde schaar krommen in dezelfde standen beschreven worden; het gehele patroon staat dan stil. Indien echter de afstand der gleuven een weinig anders is, komt elke spaak iets te vroeg (of te laat) bij de gleuf: elke kromme gaat dus over in een andere, die tot dezelfde schaar behoort welke wij reeds hadden, maar daarin een iets vroeger (of later) nummer inneemt; wij zien dan het gehele patroon langzaam „verlopen”, tegen of met de draaiingszin van het wiel naarmate de gleuven iets te dicht of te ver van elkaar staan; maar dit verlopen is geen draaiing van het patroon als geheel, dit blijft voortdurend symmetrisch om de vertikaal. Tenslotte kan het zijn dat de afstand der gleuven zeer veel te groot of te klein is, stel b.v. 2 maal te klein; in dit geval ontstaan tweemaal zoveel krommen als er spaken zijn, en het patroon lijkt weer onbewegelijk.

Uit deze redenering ziet men, dat in 't algemeen het geval van een langzaam verlopen het waarschijnlijkste is. Dikwijls is het hek zo kort, dat het gehele verschijnsel zich in een sekunde of minder afspeelt, en dat men nauwelijks tijd heeft om deze bijzonderheid op te merken; ik heb ze echter herhaaldelijk kunnen waarnemen.

Men ziet gemakkelijk in welke de vergelijking der krommenschaar is. Kies de coördinaten zoals in figuur 94b aangegeven, en noem v de snelheid der gleuven; dan is $x = vt$, $y = x \operatorname{tg} \alpha$. Tengevolge van het verband tussen draaiing en voortbeweging geldt nu: $\frac{vt}{r} = \alpha + \alpha_0$, dus $x = r(\alpha + \alpha_0)$. Na elimineren

van α komt er: $y = x \operatorname{tg} \left(\frac{x}{r} + \alpha_0 \right)$.

Het blijkt nu inderdaad dat y gelijk blijft indien α en x gelijktijdig van teken veranderen: het patroon is symmetrisch t.o.v. de y -as.

Een lezer deelt mij mede, dat hij het hekerschijnsel ook ziet, als hij naast iemand fietst op een klinkerweg, en door zijn vóór wiel kijkt naar de regelmatige rijen klinkers van de bestrating (vgl. blz. 129).

Ingewikkelder zijn de figuren die ontstaan als men het éne grote wiel van een kar dwars door het andere ziet. Zodra de blikrichting een weinig schuin is, en de wielen elkaar niet meer bedekken, ziet men allermerkwaardigste krommen, die Faraday al heeft opgemerkt, en die hem deden denken aan magnetische krachtlijnen. Zij ontstaan als meetkundige plaats van de punten waar twee spaken elkaar kruisen.

87. Flikkerende lichtbronnen.

Van de lichtreclames die 's avonds in onze grote steden zo fantastisch oplaaian, zijn de oranje neonbuizen de meest opvallende. Zij worden met wisselstroom gevoed, de stroom vertoont 50 wisselingen per sekunde, en de lichtsterkte 100, aangezien een stroomgolf in de ene zowel als in de andere richting een maximum van de lichtsterkte geeft. Deze flikkeringen zijn zo snel dat wij er gewoonlijk niets van merken.

Zwaai echter in het schijnsel der neonbuizen een blinkend voorwerp: u ziet zijn lichtlijnen uitgerekt tot een lichtend vlak, dat een dwarse ribbeling vertoont. Hoe sneller u het voorwerp beweegt, hoe wijder de ribbels van elkaar verwijderd zijn. Uit het aantal ribbels is de frequentie van de wisselstroom te berekenen: als ik met een blinkende schaar 4 maal per sekunde een cirkeltje beschrijf, en die lichtkring vertoont een 12-tal maxima, dan is de frequentie der stroomstoten $12 \times 4 = 48$, en de wisselstroom telt 24 perioden per sekunde.

Voor het uitvoeren der proef kan men ook de lichtbron weerspiegelen in een willekeurig spiegelkje, stukje glas of horlogeglas, die men snel heen en weer laat schommelen. Of men kan zijn lorgnet afnemen, vóór het oog houden, en het dan snel een kringetje laten beschrijven (vgl. § 40). — Tenslotte ziet men de flikkeringen ook zonder enig hulpmiddel, als men het oog naar een punt in de buurt van de neonbuis richt, en dan eensklaps naar een andere richting kijkt: het beeld der lichtbron loopt dan over het netvlies, en elk lichtmaximum komt afzonderlijk te voorschijn. Het is merkwaardig hoe moeilijk het is, aldus de blik heen en weer te wenden, terwijl men toch de *aandacht* op de lichtbron concentreert. Soms lukt het, soms niet.

Onderzoek ook gloeilampen die op wisselstroom branden. Bij zwaaien van een zilveren zakpotlood is de ribbeling duidelijk te zien: een bewijs dat de lampendraad bij iedere stroomstoot iets heter en daartussen iets kouder wordt (fig. 95). Brandt de lamp op gelijkstroom, dan is er geen ribbeling.

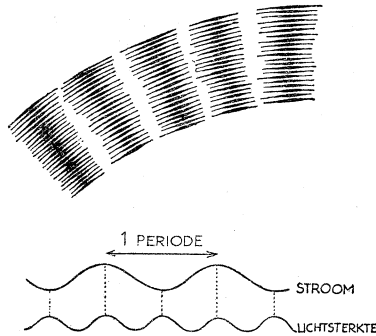


Fig. 95. Het aantonen van snelle flikkeringen in het licht onzer gloeilampen.

Wanneer men 's avonds door de ruit van een treincoupé kijkt naar de natriumlampen die onze grote stations verlichten, ziet men af en toe een heel duidelijke ribbeling. Men moet op een paar meter afstand van de ruit gaan zitten, de ruit moet nat of aangeslagen zijn, en men moet het waterhuidje in *vertikale* richting iets uitwrijven. Zodra de in de verte voorbijschuivende lamp bepaalde delen van de ruit bereikt, vertoont zich de ribbeling. Verklaring: het waterlaagje is niet overal even dik, door het uitwrijven heeft het de vorm aangenomen van een reeks dunne prisma's met verticale ribben en een brekende hoek die van punt tot punt verandert. Het beeld der verre lamp wordt daardoor verplaatst, nu meer, dan minder, in sommige gevallen vrij plotseling; en aangezien natriumlampen met wisselstroom worden gevoed, krijg ik ribbels te zien, net zo goed als wanneer ik zulk een lamp bekijk door een snelbewegend lofgnet.

88. Versmeltingsfrequentie voor het centrale en het perifere gezichtsveld.

In streken waar de wisselstroomfrequentie van het lichtnet gering is (20—25 per.), kan men de volgende merkwaardige waarneming doen. Bekijkt men een gloeilamp, dan ziet men ze gelijkmatig licht geven, maar de muur die door de gloeilamp verlicht wordt flakkert. Richt men de blik naar de muur, dan wordt deze rustig, maar men ziet nu de lamp flikkeren.¹⁾

Het is duidelijk, dat er een verschil moet zijn in het waarnemingsvermogen van ons rechtstreekse en van ons perifere gezichtsveld. Vooreerst zou het kunnen zijn dat de lamp slechts zeer weinig in lichtsterkte schommelt, en dat de drempelwaarde voor het waarnemen van helderheidsverschillen lager is voor het perifere gezichtsveld. Om dit uit te maken, bewegen we bij het licht derzelfde lamp een of ander glinsterend voorwerp in een kringetje rond: we zien nu heel duidelijk de helderheidswisselingen op regelmatige afstanden langs zijn baan, ook als we die scherp aanstaren (vgl. § 82). Het is dus niet, dat ons rechtstreekse gezichtsveld niet gevoelig genoeg is voor kleine helderheidsverschillen, maar dat het de wisselingen *niet snel genoeg volgen kan*.

Die eigenaardigheid van ons oog is ook bij proeven in 't laboratorium te voorschijn gekomen.

1) Woog, C. R. 168, 1222; 169, 93, 1919.

89. Het stilstaande fietswiel.

Het wiel van een voorbijrijdende fiets ziet er ongeveer uit zoals fig. 96; slechts in het midden, waar de spaken langzaam draaien, kunnen we hun beweging voldoende met het oog volgen.

Zet u nu echter in een gemakkelijke houding langs een weg waar veel fietsen voorbijkomen, en tuur scherp naar een vast punt van de weg. Op het ogenblik dat er een fiets aankomt, en dat haar vóórwiël in uw gezichtsveld verschijnt, ziet u ineens een aantal spaken scherp; en zelfs als de fiets *snel* beweegt! Het verschijnsel is zeer treffend, — de kunst is slechts, aldoor in dezelfde richting te blijven kijken, en de aankomende fiets niet met de ogen te volgen.

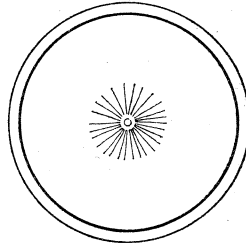


Fig. 96. Hoe we een snel-draaiend fietswiel zien.

Verklaring: waar het fietswiel aan de grond raakt, staat de omtrek van het wiel een ogenblik stil, daar hij op dat punt tegen de rustende grond aansluit. Ook de uiteinden der spaken nabij dit punt staan ongeveer stil, terwijl de hoger gelegen punten door de combinatie van draaiing en voortbeweging met grote snelheid in kromme banen worden bewogen (fig. 97). Als we dus maar even

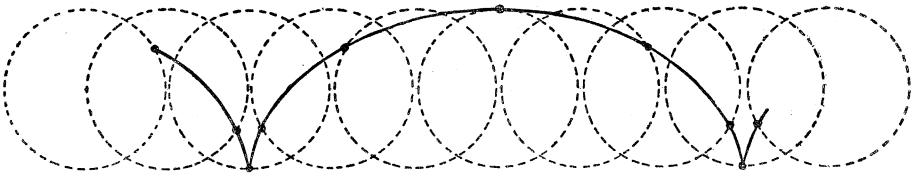


Fig. 97. Baan, beschreven door een punt op de omtrek van een rollend wiel.

de zelfbeheersing hebben de blik in een vaste richting te houden, bv. naar een bepaald punt van de grond gericht, moeten we *de onderste delen* van het wiel min of meer stilstaand zien. Dit komt ook inderdaad uit.

Ik heb de indruk dat we de spaken het duidelijkst zien zolang ze in ons perifere gezichtsveld verschijnen. Het is dus mogelijk dat het vermogen van dit perifere gezichtsveld om snelle lichtwisselingen waar te nemen, hier ook een rol speelt.

90. Het stilstaande automobielwiel.¹⁾

Zodra een automobiel met enige snelheid voorbijvliegt, is het onmogelijk de spaken van zijn wielen nog te onderscheiden. Op elk bepaald punt van het netvlies zijn de wisselingen van licht en donker zo snel, dat de indrukken met elkaar versmelten; en de spieren van het oog kunnen de blikrichting niet snel genoeg een kegelmantel doen beschrijven om enkele afzonderlijke spaken te volgen.

Nu komt het af en toe voor, dat men de spaken van een voorbijrijdend automobiel één ondeelbaar ogenblik ziet stilstaan, alsof er een momentopname van gemaakt was. Meestal zijn slechts enkele spaken zichtbaar, niet alle, maar andere malen heb ik de



Fig. 98.

indruk dat ik het gehele wiel scherp zie. De verklaring die wij van het stilstaande fietswiel gegeven hebben zou dus niet voldoende zijn. Het verschijnsel is zó opvallend, dat men wel eens beweerd heeft dat het wiel werkelijk af en toe even stil stond, — wat natuurlijk onmogelijk is! Weldra bemerkt men echter, dat dit bijna telkens optreedt op het ogenblik, dat men een krachtige stap doet en de voet op de grond zet; u krijgt het ook te zien als u een tikje geeft aan uw bril, of een stoot tegen uw hoofd. Blijkbaar voert het oog of de blikrichting dan een zeer snelle, gedempte trilling uit, die toevallig de beweging van sommige spaken precies volgt, zodat hun beeld op het netvlies een heel kort ogenblik onbewegelijk is. Is het de as van de oogbol die een weinig heen en weer zwaait? Of is het de hele oogbol die in de oogholte schudt (translatorisch)? Kan men aannemen dat het oog bij zulke stootjes ook zeer snelle toevallige draaiingen om de oogas kan uitvoeren?

Een rechtstreeks bewijs voor de hier uiteengezette opvatting krijgt men, als men 's avonds met krachtige, dansende tred loopt, terwijl men de blik scherp turend op een verre lantaan richt. Men ziet dan hoe het lichtpunt bij elke tred een kleine kurve beschrijft in de trant van fig. 98.

Ook als men niet loopt, maar stilstaand naar de auto kijkt, treedt het verschijnsel soms op. In dit geval moet het verklaard worden door plotselinge onbewuste bewegingetjes van het oog. Dat het oog dikwijls op een dergelijke wijze met kleine rukjes beweegt, bemerkt men door *heel even voorzichtig* in de ondergaande zon te kijken: het nabeeld bestaat dan uit een aantal zwarte vlekjes, niet uit een doorlopende band (vgl. § 88).

1) Zs. f. d. phys. u. chem. Unterrichts, 42, 252, 1929.

91. De stilstaande vliegtuigschroef.¹⁾

Een luchtreiziger merkte op, dat hij de schroef van zijn vliegtuig kon onderscheiden, niettegenstaande de snelle beweging, wanneer hij de blik ongeveer 45° afwendde en in het perifere gezichtsveld waarnam. Toch draaide de schroef met een snelheid van 28 omwentelingen per sekunde, hetgeen dus 56 flikkeringen betekent. Het „zien” van de schroef bestaat juist in het waarnemen van deze zeer hoge flikkerfrequentie; en dat dit beter gaat in het perifere dan in het centrale gezichtsveld, is een merkwaardige bevestiging van onze vorige opmerkingen (§ 88).

92. Waarnemingen aan een draaiend fietswiel.

Als een fietswiel draait, zien we de spaken meestal niet afzonderlijk, maar uitgewazigd tot een sluier; die sluier is het donkerst bij de naaf, en wordt naar buiten toe lichter. Hetzelfde zien we aan de schaduw van het wiel op een effen fietspad. *Hoe* donker is de schaduw van het wiel? — Wel, elke spaak is 2 mm dik, en de spaken staan gemiddeld 50 mm van elkaar af (aan de omtrek van het wiel); als het wiel draait is elk punt dus in de schaduw gedurende $2 : 50 = 0,04$ van de tijd: volgens de *wet van Talbot* maakt dit op ons oog dezelfde indruk, alsof de schaduw van het wiel een constante helderheid had, 4 % kleiner dan die daarbuiten. Neem echter in aanmerking, dat de zon niet loodrecht op het wiel schijnt, en dat daardoor de afstand tussen de spaken in het schaduwbeeld kleiner wordt, terwijl de dikte van elke spaak gelijk blijft. Het is dus duidelijk, dat reeds nabij de omtrek van het wiel de schaduw wel 4 % tot 8 % minder helder zal zijn dan het omgevende vlak, en dat dichterbij de naaf de schaduw wellicht 10 % tot 20 % zal bedragen. Toch is het moeilijk een helderheidsverschil waar te nemen: de donkere schaduw van de fietsband vormt daarvoor een veel te krachtige scheiding tussen de twee te vergelijken velden. Het verder geleidelijk afnemen van de helderheid naar binnen toe valt niet op, omdat we altijd de neiging hebben een duidelijk omgrensde, goed

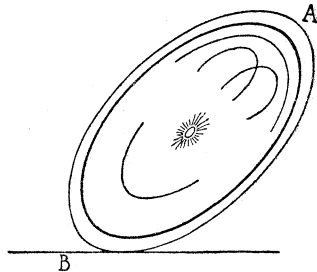


Fig. 99. Licht- of schaduwkurven bij een draaiend fietswiel.

1) H. S. Gradle, Science, 68, 404, 1928.

samenhangende figuur als een eenheid te zien ; en dit psychologische „streven” wist het werkelijk bestaande helderheidsverschil uit.

Bij nauwkeuriger waarnemen bemreken we echter meestal een of meer lichte kringen, die zich in de schaduw van het wiel aftekenen (fig. 99) ; dikwijls zijn het geen gesloten kromme lijnen, maar hebben ze slechts een beperkte lengte. Stap van de fiets af, onderzoek nauwkeurig wáár de lichte boog ontstaat. Het is daar, waar twee spaken elkaar bedekken : op die plaats is het alsof er telkens een spaak minder was, en dus moet inderdaad de gemiddelde schaduwsluier geringer zijn. Wat is het verschil in helderheid gering ; en toch, wat ziet ons oog het duidelijk, nu de te vergelijken helderheden vlak naast elkaar voorkomen, en er geen scheidingsstreep tussen is ! Het kost enige moeite, zich goed rekenschap te geven van het vlechtwerk der spaken ; meestal vormen ze groepjes van 4, die telkens in dezelfde groepering terugkomen. Een doorkruising van 2 spaken beweegt zich langs een bepaalde kromme lijn, die als een licht boogje zichtbaar wordt ; na verplaatsing van het wiel over 4 spaakafstanden herhaalt zich de vorming van hetzelfde boogje ; wanneer toevallig in elk groepje twee doorkruisingen optreden die elkanders sporen volgen, wordt het lichte boogje bijzonder duidelijk. De helderheid van het boogje zou in 't eerste geval 1 % groter zijn dan die zijner omgeving, in het tweede geval 2 % ; doordat we echter meestal de spaken door de projectie ietwat samengedrongen zien, en doordat het lichte boogje zich meestal niet vlak bij de omtrek van het wiel bevindt, worden die getallen wellicht 3 % en 6 %. Dit zijn dus ongeveer de helderheidsverschillen, die men nog kan waarnemen, als twee velden zonder scheidingslijn netjes aan elkaar grenzen (een ongunstige omstandigheid evenwel is bij deze proeven de ongelijkmatigheid van de weg, die als opvangscherm dient). Die uitkomst klopt aardig met onze vorige schattingen (§ 67).

Geef er u rekenschap van, waarom de lichte bogen en kringen meestal het duidelijkst zijn nabij het smalle uiteinde A van de wielschaduw. Onderzoek waarom de figuren *niet* gelijk zijn in deel A en in deel B.

Deze zelfde bogen en kringen ziet u nog mooier, als u niet naar de schaduw kijkt, maar rechtstreeks naar het fietswiel van iemand die naast u fietst ; want nu tekenen zij zich zonder verwaziging (vgl. § 2) en helemaal scherp af. Tegen een heldere achtergrond lijken de spaken donker, en dus zien we de kringen helder ; als echter het wiel verlicht is door de zon tegen een donkerder achtergrond, zijn de kringen juist donker.

Hiermee zijn de merkwaardigheden van het snel draaiende

fietswiel nog geenszins uitgeput! Als u naar de schaduw kijkt, kunt u de scherpe lijnen der spaken af en toe bliksemsnel zien opflitsen, wanneer namelijk uw ogen toevallig een snelle draaiing maakten, zodat uw blik de schaduw net met de goede snelheid volgde (vgl. § 85). Draagt u een bril, of een lorgnet, dan moet u maar even met de hand enkele kleine, snelle verplaatsingen aan de glazen geven, om onmiddellijk de spaken afzonderlijk, op de grappigste manier min of meer met schokjes vooruitgaand te zien. — Maar het allermerkwaardigst is de schaduw als u fietst over een klinkerweg met duidelijke voegen tussen de klinkers: niettegenstaande de ongelijkmatigheid van de achtergrond, onderscheidt u duidelijk een stelsel min of meer radiale maar *kromme* lijnen (fig. 100). In de twee eerste uitgaven van dit boek werd het verschijnsel alleen vermeld, zonder dat een verklaring gegeven kon worden. De kwestie is intussen geheel opgehelderd door een onzer lezers,¹⁾ die in het kurvenstelsel *de wel-*

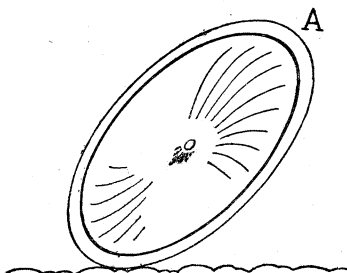


Fig. 100. Eigenaardige kromme lijnen in de schaduw van een fietswiel op een klinkerweg.

bekende figuur van het hekverschijnsel heeft herkend (§ 86)! Men ziet dit het best aan de schaduw van het fietswiel van iemand die naast u rijdt. Het is nu duidelijk dat de voegen tussen de klinkers optisch dezelfde rol spelen als de staven van het hek, terwijl het ook zeer plausibel is dat de waarnemer juist in dit geval de ogen gefixeerd houdt op het wiel zelf.

Geheel onafhankelijk van de tot hiertoe beschreven krommen is er nog een bijzondere lichtfiguur, die alleen te zien is als een fiets met *blinkende*, splinternieuwe spaken door het zonlicht beschenen wordt.

93. Nabeelden.

*Als de zwervende man, die vóór het zinken der zon nog
Eenmaal zijn blik naar haar richtte, — reeds daalde zij
achter de kimme — ;*

*Dan op het donkere bos en op de helling der rotsen
Ziet hij zweven haar beeld; waarheen hij keert zijne blikken.
Snelst het vooruit, en het glanst en trilt in heerlijke kleuren:
Zo bewoog zich voor Herman het liefelijk beeld van het
meisje*

Goethe, Hermann und Dorothea, VIIe zang.

1) De heer E. Blokhuis te Emmen.

Voorzichtig waarnemen! Het oog niet teveel vermoeien! Niet meer dan één of twee proeven achtereenvolgens!

Kijk één ogenblik voorzichtig naar de ondergaande zon en sluit de ogen.¹⁾ Het nabeeld bestaat uit verschillende kleine ronde schijfjes: een bewijs dat het oog met snelle rukjes bewogen heeft in de korte tijd van uw blik. De schijfjes zijn opvallend klein, want door de felheid van de zon zijn we gewoon haar veel groter te „zien” dan ze in werkelijkheid is: de nabeeldjes laten ons haar ware afmeting waarnemen.

Open het oog weer: u ziet de nabeeldjes overal waarheen u de blik richt. Zulk een nabeeldje lijkt des te groter naarmate u het op verder verwijderde voorwerpen projekteert. Natuurlijk is het altijd gelijk in *hoekmaat*; maar als u een voorwerp verweg weet, en het toch onder dezelfde hoek ziet als een ander dat dichtbij is, besluit u onbewust op grond van dagelijkse ervaring, dat het verre voorwerp in werkelijkheid het grootste moet zijn.

Op een donkere achtergrond is het nabeeld helder (*positief nabeeld*); dit ziet men goed als men de ogen sluit, en — omdat de oogleden doorschijnend zijn — nog de hand ervóór houdt. Daarentegen wordt op een heldere achtergrond het nabeeld donker (*negatief nabeeld*).

Blijkbaar heeft het felle licht ons netvlies plaatselijk geprikkeld, en blijft de indruk voortduren; maar tevens is dat gedeelte van het netvlies ongevoeliger geworden voor het opvangen van nieuwe lichtindrukken.

*Ik staarde in de groote, roode zon
Zoo strak, zoo diep ik kon;
En overal waar ik nu keek,
Zag ik zonnen, vaal en bleek.*

*Er danste uit ieder ding
Een donkere, dreigende kring,
Op den grond, op de muur, op de lucht,
Een weemlende zonnenvlucht.*

*Ze spritsten uit mijn oog
En bleven op mijn hart.
De laatste, die ik zag, hing hoog
En zwart.*

René de Clercq, De Noodhoorn.

Bij zwakkere lichtbronnen dan de zon zijn de nabeelden ook veel minder sterk. Reeds na enkele sekunden of onderdelen van

1) Goethe, *Farbenlehre*, I, 1, § 21—22. Titchener, *Experimental Psychology*, I, 1, 29 en I, 2, 47.

een sekunde is dan de prikkeling van het netvlies zeer verzwakt, en alleen de vermoeyenis blijft over, zodat men alleen nog het omgekeerde nabeeld tegen een heldere achtergrond kan waarnemen.

Het omslaan van wit in zwart komt bij gekleurde lichtbronnen overeen met het omslaan van het nabeeld in de *aanvullende kleur* („complementaire kleur”). Rood slaat dus om in groenblauw, oranje in blauw, geel in violet, groen in purper; en omgekeerd.

De mooiste nabeelden ziet men in de schemering; al Goethe's typische voorbeelden van nabeelden zijn 's avonds waargenomen. Dan is het oog goed uitgerust, en de tegenstelling tussen het lichte Westen en het donkere Oosten bereikt een hoogtepunt.

„Toen ik 's avonds in een herberg binnenging, kwam een „flink meisje met verblindend wit gezicht, zwart haar en een „scharlakenrood keurslijf mij in de kamer tegemoet; ik keek „haar in de halve schemering scherp aan, terwijl ze op enige „afstand vóór mij stond. Toen ze een ogenblik later wegging, „zag ik op de witte muur tegenover mij een zwart gezicht, omge- „ven door een heldere schijn, en was de kleding der zeer duidelijke „lijke figuur mooi zegroen.”¹⁾

Nadat men bij een nachtelijk onweder een felle bliksem heeft gezien, kan men soms het nabeeld als een zwart slangelijntje waarnemen tegen de achtergrond van een verlichte witte muur of van de zwak diffuus verlichte hemel.²⁾

Als men aan het strand bij invallende duisternis in de verte tuurt en de gezichteinder afzoekt, komt er een ogenblik waarop men eigenlijk het onderscheid tussen de helderder lucht en de donkerder zee niet meer kan waarnemen. Blijkbaar werkt een lichtprikkel des te zwakker op het oog, naarmate hij langer geduurd heeft: het netvlies wordt vermoeid. Dat dit inderdaad zo is blijkt, zodra we de blik iets hoger richten: daar verschijnt tegen de hemel het (negatieve) nabeeld van de zee als een lichte strook. Laten we integendeel de blik dalen, dan zien we het donkere nabeeld van de hemel tegen de zee.³⁾

94. Het verschijnsel van Elisabeth Linné.⁴⁾

Elisabeth Linné, de dochter van den beroemden plantkundige, bemerkte op een avond dat de oranje bloemen van de Oost-

1) Goethe, *Farbenlehre*, I, 1, § 52.

2) *Nat.* 60, 341, 1905.

3) Helmholtz, *Physiol. Optik*, 3e uitg. 2, 202.

4) Vgl. *De Natuur*, 1900.

Indische kers (*Tropaeolum majus*) licht uitzonden. Men dacht aan een electrisch verschijnsel. Darwin bevestigde de waarneming voor een Zuid-Afrikaanse soort lelie. Haggren, Dowden, en andere oudere onderzoekers vinden hetzelfde, altijd in de ochtenden avondschemering. Canon Russell herhaalt de waarneming bij de goudbloem (*Calendula officinalis*) en bij het essenkruid (*Dictamnus fraxinella*; in 't Nederlands ook: „vuurwerkplant“!), en merkt op dat sommige mensen het sterker dan andere zien.

En toch schijnt het gehele „verschijnsel“, waarover indertijd een gehele reeks verhandelingen verschenen is, eenvoudig aan nabeelden toe te schrijven te zijn! Goethe zag nabeelden als hij scherp naar felgekleurde bloemen keek en dan naar de zandweg: de pioen (*Paeonia*), de oosterse papaver (*Papaver orientale*), de goudbloem, gele crocusjes gaven mooie groene, blauwe, violette nabeelden.¹⁾ Dat was vooral zó in de schemering, en het vlam-achtig oplichten was alleen zichtbaar als men even opzij keek: allemaal omstandigheden die men van nabeelden kan verwachten.

Iemand die het verschijnsel duidelijk meent te zien, zou eens felgekleurde papieren bloemen naast de werkelijke moeten plaatsen, en kijken of die ook licht schijnen te geven.

95. Gekleurde nabeelden van witte lichtbronnen.

De nabeelden verzwakken verschillend snel voor de verschillende kleuren, voornamelijk als de lichtindruk zeer sterk geweest is. Vandaar dat de zon en felle, witte voorwerpen toch gekleurde nabeelden kunnen geven. Meestal ziet men het nabeeld (op donkere grond) eerst groenblauw worden, en daarna purperkleurig.

„Tegen de avond bevond ik mij in een smidse, toen men „juist de gloeiende klomp ijzer onder de hamer bracht. Ik had „er scherp naar gekeken, keerde mij om, en keek toevallig in „een openstaande kolenschuur. Een ontzaglijk purperkleurig „beeld zweefde nu voor mijn ogen, en als ik de blik van de donkere opening naar de heldere plankenbetimmering keerde, „scheen mij het verschijnsel half groen, half purperkleurig, „naarmate het een donkerder of een helderder achtergrond „had.“²⁾

Als men een tijdje gekeken heeft op zonbeschenen sneeuw, of gelezen in een boek waarop de zon schijnt, lijken alle heldere

1) Goethe, *Farbenlehre*, I, 1, 54. — Gesprekken met Eckermann.

2) Goethe, *Farbenlehre*, I, 1, § 44.

voorwerpen om ons heen purper van kleur, terwijl daarna in de schaduw alle donkere mooi groen worden. Ook hier is het nabeeld op heldere grond het complementaire van dat op donkere grond. Sommige waarnemers spreken van „bloedrood” in plaats van purper.

Hier komt nog een andere faktor tussen: het zonlicht schijnt meestal niet alleen *in* ons oog, maar ook *op* ons oog; dit laatste gedeelte dringt gedeeltelijk binnen, dwars door de oogleden en de oogwand, en wordt daarbij bloedrood gekleurd. Ons gehele gezichtsveld wordt door die algemene rode verlichting gevuld; we zien die duidelijk op de donkere partijen, zwarte letters lijken bv. rood. Komen we nu in het getemperde licht van de schaduw, of binnenshuis, dan blijft ons netvlies nog een tijdje vermoeid voor rood licht: wij zien nu alle heldere partijen groen.

Voor den waarnemer die geen bijzondere voorzorgen neemt, zullen het gekleurde nabeeld van het witte licht (dat door de pupil ging) en de vermoeienis voor het rode licht (dat door de oogwand ging) op wisselvallige wijze samenwerken.

Goethe zag zwarte letters rood in het avondlicht, wellicht omdat de ondergaande zon hem in de ogen scheen; ¹⁾ en evenzo Guido Gezelle als hij zijn brevier las, terwijl deze ook opmerkte dat rode letters hem groen leken.

*'k en kan 't niet meer bezien bijkans,
mijne oogen willen dolen;
't is vermiljoen,
dat zwart in mijnen boek gedrukt,
zoo zwart is als de kolen,
en 't rood is groen.*

G. Gezelle, Laatste Verzen. („De Dageraad”).

96. Kontrast door „gelijktijdige tegenstelling”.

Neem een blad zuiver wit tekenpapier; houd het vertikaal vóór u, en stel u bij een open raam, waar de zon niet op schijnt; keert u niet naar het raam, maar kijk evenwijdig aan de ruit. Het papier is nu goed verlicht, mooi helder. — Schuif het papier iets verder naar het raam toe, tot het de heldere hemel bij de horizon gedeeltelijk bedekt: het papier lijkt ineens zwart geworden! Toch is het niet slechter verlicht dan daar even, integendeel, het is nu nog dichter bij het raam. Veranderd is slechts de achtergrond waarop u het papier waarneemt: bij de eerste proef was die achtergrond donker, het papier leek helder door de

1) Goethe, Farbenlehre, I, 1, § 46.

tegenstelling; bij de tweede proef was die achtergrond veel lichter, het papier lijkt nu donker geworden. — Deze eenvoudige proef is fundamenteel. Dergelijke contrastverschijnselen spelen een belangrijke rol bij allerlei waarnemingen in de vrije natuur.

97. **Kontrastzomen.**
(Plaat VII).

Donkere huizenrijen met de lichte hemel als achtergrond schijnen omzoomd door een heldere rand; vooral 's avonds is dit zeer duidelijk. Men kan dit verklaren door aan te nemen, dat het oog kleine onwillekeurige bewegingen maakt, en dat de (heldere) nabeelden van het huis de naburige hemel zullen bedekken en lichter maken. Deze verklaring geldt echter stellig maar voor een klein gedeelte van het effect. Een belangrijker rol speelt de gevoeligheidsvermindering van het netvlies in de buurt van een belicht gedeelte (§ 71).

„Ik zat eens op het veld en sprak met een man die op enige „afstand vóór mij stond, en die zich tegen de achtergrond der „grijze lucht aftekende; nadat ik hem lang had aangekeken, „scherp en vast, wendde ik de blik een weinig af, en daar zag ik „zijn hoofd door een verblindende lichtschijn omgeven.”¹⁾

Pater Beccaria deed proeven met een vlieger; men zag een helder glanzend wolkje om de vlieger en om een deel van het koord. Als de vlieger zich ineens sneller bewoog, scheen het wolkje op de vroegere plaats even heen en weer te zweven.¹⁾

Een zeer treffend voorbeeld van optische tegenstelling heeft men in onze golvende heidelandschappen, waarvan de achter-eenvolgende terreinplooiën door luchtperspektief lichter en lichter worden, en zich tenslotte verliezen in de wazige verte (Plaat VIIb). Iedere rug lijkt donkerder aan de bovenkant dan aan de basis, het effect is zo overtuigend dat niemand zich aan die indruk onttrekken kan. En toch is dit slechts een begoocheling: zij ontstaat, doordat elke bepaalde heuvelrug aan de bovenzijde grenst aan een lichtere strook, beneden aan een donkerder strook. Ten bewijze schermt men met een stuk papier (gestippeld in Plaat VIIb) de bovenkant van het landschap af: dit is al voldoende om het tegenstellingseffekt te doen verdwijnen.

Sharpe bemerkt, hoe twee dagen na nieuwe maan het asgrouwe licht een zwakke lichte rand vertoont, aan de zijde van de schijf, tegengesteld aan de heldere maansikkel. Dit is echter *geen contrastverschijnsel*, maar een gevolg van de grotere witheid der

1) Goethe, Farbenlehre, I, 1, § 30.

maan juist in die randpartijen; het is ook bij laatste kwartier duidelijk te zien. ¹⁾

98. Kontrastzomen aan de grens van schaduwen. ²⁾

Iedereen weet dat een stuk karton, in de zon gehouden, een schaduw geeft op een scherm, en dat er tussen licht en schaduw een *halfschaduw* is, die door de eindige grootte van de zonnescijf ontstaat (§ 2). Maar hadt u ooit opgemerkt, dat die halfschaduw een *lichte rand* heeft, een lichte rand aan de overgang van licht naar halfschaduw?

Doe de proef als de zon al wat laag staat en niet te fel meer is, en houd het

scherm ongeveer 4 m achter het karton; beweeg het scherm een weinig om plaatselijke ongelijkmatigheden te vermijden. Het effect is zeer duidelijk te zien, de waargenomen lichtverdeling is voorgesteld in fig. 101.

Is dit te begrijpen? We verwachten de volgende lichtverdeling:

de opeenvolgende punten, 1, 2, 3, . . . van het opvangscherm zien de zonnescijf *eerst geheel*, dan minder en minder afgedekt door het karton; hun helderheid is evenredig met het niet afgedekte stuk, en *moet* dus verlopen volgens de gestippelde kromme van fig. 101. De heldere zoom kan er niet zijn, hij moet door gezichtsbedrog ontstaan.

Inderdaad zijn daarvoor alle omstandigheden gunstig. Mach heeft laten zien dat men overal contrastbanden ziet, waar de helderheidskurve gekromd is. De contrastband vertoont zich altijd als een schijnbare overdrijving van de kromming. En dat dit zo is, kan men wel begrijpen op grond van de opvatting, dat

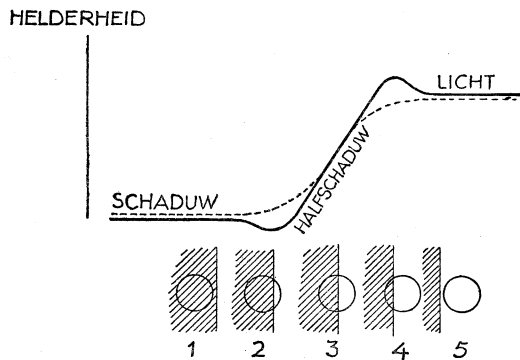


Fig. 101. Kontrastzomen aan de grens van een schaduw.

----- ware helderheidsverdeling
 ——— schijnbare helderheidsverdeling

1) Phil. Mag. 4, 427. Zie ook: J. B. A. A. 28, 29, 45.

2) K. Groes—Petersen, A. N. 196, 293, 1913.

het oog voortdurend kleine bewegingen maakt, ofwel door de verminderde gevoeligheid van het netvlies in de omgeving van belichte velden.

Ook de voorbeelden, besproken in § 91, passen geheel en al bij de theorie van Mach; wij moeten slechts een knik in de helderheidskromme als een sterke kromming opvatten.

Tenslotte komt er af en toe een zeer bijzondere gelegenheid om de theorie te toetsen, n.l. gedurende een gedeeltelijke zonsverduistering. Al naar gelang van de mate waarin de zon door de maan wordt afgeschermd en van de stand van het schaduw-werpensd karton krijgt men nu bij het herhalen van onze proef verschillende ongewone lichtverdelingen aan de halfschaduw-rand. Elk dezer lichtverdelingen vertoont weer zijn (schijnbare) contrastbanden, en men kan in elk der gevallen nagaan dat aan de wet van Mach voldaan is. Het is niet te verwonderen dat dan de schaduwen er zo ongewoon uitzien, dat zelfs de onvoorbereide waarnemer erdoor getroffen wordt (vgl. § 3).

99. Zwarte sneeuw.

Kijk naar de sneeuwvlokken die uit een grijze lucht neer-dwarrelen. Tegen de achtergrond van de lucht lijken de vlokken bepaald zwart! Men moet niet vergeten dat zwart, grijs en wit slechts door de lichtsterkte verschillen, en dat de omgeving daarvoor de vergelijkingsschaal levert. Hier is het de hemel die als maatstaf dient, en die hemel is veel helderder dan men zo zou denken, in ieder geval veel helderder dan de onderkant van een vallende sneeuwvlok. Het verschijnsel wordt al door Aristoteles vermeld.

Vergelijk hiermede de zwart-lijkende bladeren tegen de achtergrond der schemering, §§ 96 en 221.

100. Witte sneeuw en grauwe lucht.¹⁾

Bij een gelijkmatig bedekte, grijze lucht lijkt de besneeuwde aarde veel helderder dan de hemel. Toch is dat klaarblijkelijk onjuist, want het is diezelfde hemel die de aarde verlicht, en het verlichte object kan nooit een groter oppervlakte-helderheid dan de lichtbron hebben. De fotometer toont ook op overtuigende wijze de grotere helderheid van de lucht aan. Neem een spiegel-tje en breng het spiegelbeeld der heldere lucht naast de sneeuw: deze lijkt nu inderdaad grijs t.o.v. de witte lucht. (U moet deze

1) J. O. S. A. 11, 133, 1925.

proef beslist nemen: ze is even overtuigend als verrassend!).

En *toch* blijven we de illusie behouden, ook al weten we dat het eigenlijk anders is! De tegenstelling tussen de sneeuw en de veel donkerder bossen of struiken of huizen is hier wel de bepalende faktor.

Evenzo kan een witte muur op een betrokken dag helderder schijnen dan de hemel.

Foto's en schilderijen die niet met de gezichtsbehoefte stroken, maken een beslist onnatuurlijke indruk!

101. **Kleurcontrast.**

In allerlei gevallen waarin een bepaalde kleur in de omgeving van het oog een overheersende rol speelt, ziet men dat daarnaast de complementaire kleur versterkt wordt. Het schijnt soms mogelijk, zulke gevallen te verklaren op dezelfde wijze als de kontrastzoom: door de onwillekeurige bewegingen die het oog voortdurend uitvoert. Veel belangrijker is echter, dat de delen van het netvlies die de algemene overheersende kleur hebben opgevangen, de omringende delen ongevoeliger daarvoor maken; dat komt op hetzelfde neer, alsof het oog voor de complementaire kleur gevoeliger was geworden, zodat deze frisser en verzadigder lijkt. Zo gezien is het kleurcontrast een nieuw voorbeeld van de algemene wet, dat de indruk van kleur en helderheid bepaald wordt door het geheel van alle beelden die zich op ons netvlies aftekenen; en dat aan gelijke dingen ook gelijke indrukken toegevoegd blijven, zodat de voorwerpen onder wisselende omstandigheden steeds herkenbare eenheden blijven (vgl. §§ 64, 96, 99—102).

Op een binnenplein, met grijze kalkstenen geplaveid, scheen het grasplein oneindig mooi groen op het ogenblik dat de avondwolken het plaveisel purperrood kleurden.¹⁾

Voor iemand die bij matig heldere lucht door de weilanden wandelt en niets dan groen ziet, lijken de boomstammen en de aardewegen roodachtig.¹⁾

Een grijs huis, gezien door groene jaloezieën heen, schijnt roodachtig.²⁾ Als de golven der zee mooi groen zijn, lijken hun beschaduwde delen purperachtig (vgl. §§ 211, 218).²⁾

Een enkele maal komt het voor, dat een der planeten, in haar loop tussen de sterren, toevallig dicht bij een der helderste sterren komt te staan. De witte ster Spica (in het sterrebeeld de Maagd),

1) Goethe, Farbenlehre, I, 1, § 59.

2) Goethe, Farbenlehre, I, 1, § 57.

vlak naast de oranje-rode planeet Mars, maakte bij zulk een gelegenheid een *staalblauwe* indruk.¹⁾

Is uw omgeving verlicht door petroleumlampen, kaarsen, vleermuisbranders, die een roodachtig licht verspreiden, dan lijkt het licht van booglampen of van de maan groenachtig blauw. Dit is vooral treffend als de lichtbronnen niet te fel zijn, bv. als men tegelijk de maan en de gasvlammen in het water weerspiegeld ziet.

„En de blauwe stralen van de Maan schenen met bovenaardse glans over de gloed der toortsen en de vlammen van brand en oorlog.”

(D. Merezjkovski, Leonardo, X, hoofdstuk 8).

Personen die een half uur lang in de oranjegele vlammen van een brand hadden gestaard, zagen de maan *blauw* opgaan.²⁾

Als u 's avonds tien minuten rondloopt met een blauw verduisterde zaklantaarn, lijken u de hemel en de zwak verlichte muren oranje-rood.

U wildet genieten van de zon, en u bent met gesloten oogleden in haar schijnsel gaan liggen. De felle stralen dringen echter dwars door oogleden en oogwand, en vullen het gezichtsveld met rood licht. Als u daarna in de schaduw komt en het landschap bekijkt, lijkt het groenblauw.

In het bos merken we nauwelijks, dat de algemene verlichting groen is. Maar waar enkele zonnestrallen door het groene loof van het bos dringen, en de grond treffen, lijken ze ons lichtroze ten opzichte van de algemene kleur der omgeving.³⁾

„Zwarte kleren doen het gelaat blanker schijnen dan het is, „witte kleren doen het donkerder schijnen, gele vertonen het „meer gekleurd, rode vertonen het bleker.”⁴⁾

Het kleurcontrast doet zich het sterkst voor, als de velden niet veel in helderheid verschillen. Wat er bij groot intensiteitsverschil gebeurt zien we prachtig in de avondschemering, als de huizenrijen zich donker aftekenen tegen de vlammend oranje westerhemel. Van op enige afstand ziet men alleen de donkere silhouetten, en geen detail noch helderheidsverschillen meer in hun gevels. Ook de takken der bomen en de bladeren tekenen zich af als donker fluweel, hun eigen kleuren zijn verdwenen (vgl. § 221); en dat is niet omdat de belichting op zichzelf te

1) O. Meissner, Zs. Angew. Meteor. 57, 263 en 366, 1940.

2) Cassell, Sports and Pastimes, blz. 405 (Londen).

3) Helmholtz, Optisches über Malerei, blz. 125 (Pop. Vorträge und Reden).

4) Lionardo da Vinci, Trattato, blz. 146 (uitg. 1804).

gering is, want op ditzelfde ogenblik zijn bv. alle bijzonderheden op de grond heel goed zichtbaar met hun eigen kleur.

Na een wandeling van enkele uren door een sneeuwlandschap, waarbij we alleen wit en grijs hebben gezien, maken frisse kleuren op ons de indruk van bijzonder verzadigd en warm van tint. Onze ogen waren „uitgerust voor kleur”.¹⁾

„Overigens zullen deze verschijnselen zich overal vertonen, als men er op let, zó zelfs dat men het hinderlijk gaat vinden.”²⁾

102. Gekleurde schaduwen.

Als we een potlood loodrecht op een blad papier houden, aan de ene zijde beschenen door een kaars, aan de andere door maanlicht, vertonen de twee schaduwen een treffend kleurverschil: de eerste is blauwachtig, de tweede geelachtig.³⁾

Nu is er een *physisch* kleurverschil tussen de twee schaduwen: want op de plaats van de ene schaduw wordt het papier alleen beschenen door de maan; op de plaats van de andere, alleen door de kaars; en het licht van de maan is witter dan dat van de kaars. Maar blauw is het in geen geval! Het werkelijke kleurverschil der twee schaduwen wordt dus klaarblijkelijk versterkt en gewijzigd door *physiologische* contrastwerking.

Evenzo zien we 's avonds het kleurverschil tussen onze eigen schaduwen, als de volle maan ons van de éne zijde beschijnt, een straatlantaren van de andere zijde.

Hoe betrekkelijk de „oranje” kleur van de gloeilamp echter is, blijkt ons heel goed als wij ze vergelijken kunnen met een der moderne natriumlampen, bijvoorbeeld in stations en op pleinen die een gemengde verlichting hebben (voorbeeld: station Den Bosch). De natriumlamp werpt een mooi blauwe schaduw, de gloeilamp een oranje! Zodra we in een gedeelte zijn dat alleen door de natriumlampen verlicht wordt, lijkt onze schaduw zwart; komen we al wandelend in de buurt van gewoon gloeilampenlicht, dan zien we de schaduw ineens blauw worden. Omgekeerd zien we de zwarte schaduw die de gloeilamp veroorzaakt naar oranje omslaan, zodra we een natriumlamp naderen. Klaarblijkelijk past het oog zich aan zijn omgeving aan, en heeft neiging om het daar overheersende licht „wit” te noemen; alles wat er dan bijkomt wordt ten opzichte van dit „wit” beoordeeld.

1) E. Schrödinger in Müller-Pouillet, Lehrb. d. Physik, II, 534, 1926.

2) Goethe, Farbenlehre, I, 1, § 57.

3) Goethe, Farbenlehre, I, 1, § 75.

Goethe zegt, dat de schaduwen van kanariegele voorwerpen violet zijn. Dit is zeker fysisch onjuist; maar door fysiologisch kontrastverschijnsel kan het zo schijnen, als bv. de waarnemer de belichte zijde van die gele voorwerpen ziet, zodat de gehele omgeving der schaduw voor hem felgeel is.

Men kan zich afvragen waarom de schaduwen, die de zon midden op de dag doet ontstaan, zo goed als niet gekleurd zijn, terwijl de blauwe lucht toch zo sterk verschilt van de kleur van het zonlicht. Het antwoord is, dat de tegenstelling van de helderheden tussen schaduw en licht te aanzienlijk is. Laat echter het scherm waarop u de schaduw opvangt zó sterk hellen dat de zonnestralen het bijna rakelings treffen: het kleurcontrast wordt nu veel duidelijker.

Klassiek is het geval van de schaduwen op de sneeuw, waarvan de kleur zo bijzonder zuiver te voorschijn komt. Ze zijn blauw, omdat ze alleen het licht van de blauwe lucht krijgen, ze zijn zelfs even blauw als de blauwe lucht zelf. En wij moesten ze nog blauwer zien tegenover hun door de zon geelachtig getinte omgeving. Maar die kleur valt veel minder op dan men zou verwachten, tengevolge van het grote helderheidsverschil. Let echter op de schaduwen wanneer de zon over een sneeuwlandschap ondergaat: vooral de laatste minuten vóór zonsondergang, naarmate zij oranje, rood, purper wordt, kleuren zich de schaduwen blauw, groen, groengeel.¹⁾ Deze tinten worden zo sterk, omdat de helderheden in en naast de schaduw nu veel minder verschillen dan in de dag: de zonnestralen treffen de sneeuw onder zeer kleine hoeken, het diffuse licht van de hemel krijgt relatief een veel groter belang. Daarenboven kleurt de zon zich sterker en sterker.

„Op een reis door de Harz in de winter daalde ik tegen de „avond van de Brocken neer; de witte vlakten boven mij en „beneden mij waren besneeuwd, de heide was met sneeuw „bedekt, alle verspreid staande bomen en vooruitspringende „klippen, alle boomgroepen en rotsmassa's waren geheel berijpt; „de zon daalde juist over de Oder-vijvers. Waren bij dag reeds „zwak violette schaduwen op te merken in de geelachtige tint „van de sneeuw, nu dat een sterker geel de belichte plaatsen „kleurde moest men de schaduwen wel felblauw noemen. Toen „echter de zon eindelijk zou ondergaan, en haar door de damp- „kring getemperd licht de gehele wereld om mij heen met het „prachtigste purper kleurde, zag men de tint der schaduwen in

1) Chevreul, C. R. 47, 196, 1859.

„een groen overgaan, dat in klaarheid met het groen der zee, „in schoonheid met dat van een smaragd te vergelijken was. „Het verschijnsel werd steeds levendiger, men waande zich in „een sprookjeswereld, want alles had zich met de twee levendige „en zo mooi bij elkaar passende kleuren overdekt; tot tenslotte „bij zonsondergang het prachtige tafereel in een grijze schemering „en in een heldere nacht met maan en sterren overging.”¹⁾

Aan het verschijnsel der gekleurde schaduwen op sneeuw is er ook een merkwaardige psychologische zijde.²⁾ Bij blauwe lucht, bij dag worden de schaduwen veel verzadigder blauw gezien, *als men niet weet dat het sneeuw is*; men kan een beschaduwde sneeuwvlek in de verte evengoed zien als „witte sneeuw in de schaduw” of als „een blauw meer”. Vandaar dat op het matglas van een camera de sneeuwschaduwen veel blauwer lijken dan in 't landschap, omdat men ze niet ineens herkent. Een waarnemer, die van uit een donker, dicht sparrebos naar rijp keek die de struiken in de verte bedekte, was blijkbaar onbevooroordeeld; het was precies alsof hij door een buis keek met een gaatje aan het einde (§ 173) . . . en hij zag de rijp inderdaad blauw!³⁾ — De psycholoog weet, dat men de kleuren kan herleiden tot hun werkelijke tint, wanneer men ze door een klein openingetje ziet, het is dan alsof ze in het vlak van het scherm lagen; zodra we ons echter de voorwerpen voorstellen in hun eigen omgeving en belichting, compenseren we daar automatisch voor, en zien eenzelfde voorwerp verrassend onveranderlijk ook bij wisselende omstandigheden.

Er is in de Russische letterkunde een allermerkwaardigste beschrijving van ditzelfde verschijnsel zoals het *door kinderen* wordt waargenomen, dus ook door waarnemers die zonder vooropgezette mening kijken. Ik twijfel er geen ogenblik aan of deze beschrijving is aan de werkelijkheid ontleend; maar vermoedelijk waren enkele bijzonderheden anders dan de schrijver ze uit de herinnering heeft opgetekend: de lucht moet blauw geweest zijn, de sneeuw was dus niet aan het vallen, maar lag al op de grond, en wel in de schaduw.

1) Goethe, *Farbenlehre*, I, 1, 75.

2) I. G. Priest, *J. O. S. A.* 13, 308, 1926.

3) *Das Wetter*, 20, 69, 1903.

„Galja, kijk eens . . . ! Waarom valt er blauwe sneeuw . . . ? Kijk eens . . . ! 't is blauw, blauw . . . !”

De kinderen wonden zich op en begonnen in blijde verrukking tegen elkaar te schreeuwen :

„Blauw! Blauw . . . ! blauwe sneeuw”

„Wat is er blauw? Waar?”

Ik zag rond om me heen, keek naar de besneeuwde velden, de besneeuwde bergen, en raakte ook opgewonden. Het was iets ongewoons: de sneeuw wentelde en zweefde van alle kanten op ons af — ver weg en heel dicht bij, in blauwe golven. En de kinderen schreeuwden in blijde opwinding:

„Is nu de hemel in stukjes gevallen? Ja, Galja?”

„Blauw, blauw . . . !”

En ik werd weer getroffen door de scherpe poëtische opmerkingsgave van die peuters. Daar liep ik nu met hen, en ik had dat zwevende blauw niet opgemerkt, ik had vele winters meegemaakt, vele malen het genot van de sneeuwval beleefd, en geen enkele keer had ik die onafzienbare azuren kringvlucht van de sneeuw boven de aarde opgemerkt.

Fj. Gladkow, *Nieuwe Grond*. Blz. 161. (Amsterd. 1933).

103. Gekleurde schaduwen die door gekleurde lichtflexen ontstaan.

Gekleurde voorwerpen die door de zon verlicht worden, werpen een lichtschijn om zich heen die dikwijls sterk genoeg is om schaduwen te doen ontstaan, welke dan de complementaire kleur vertonen. Om deze lichteffecten op te sporen, is een zakboekje het ideale instrument: men slaat het open tot een rechte hoek; met de éne zijde van de tweevlakshoek houdt men zonlicht of hemellicht tegen, terwijl men op de andere zijde de gekleurde lichtschijn laat vallen. Het potlood dat bij het zakboekje behoort, dient ons om vóór het papier te houden: zijn schaduw neemt een complementaire kleur aan, en is daardoor een uiterst gevoelig reagens om aan te wijzen dat de invallende lichtschijn getint is. Een groen geverfde muur, een groene struik geven rose schaduwen. Een gele muur geeft blauwe schaduwen, die nog op 400 meter afstand aangetoond konden worden! Een okerkleurige bergwand deed hetzelfde. ¹⁾

104. Een nog onverklaard contrastverschijnsel?

Een waarnemer vertelt, ²⁾ hoe hij van op zijn schip bij heldere nacht de maan zag, 20° boven de gezichtseinder, en hoe haar licht weerspiegeld werd door de golven als een lichte driehoek,

1) C. R. 48, 1105, 1859.

2) Cl. Martins, C. R. 43, 763, 1856.

die zich van het schip tot aan de gezichteinder uitstreckte. Het merkwaardige was nu, dat hij een dergelijke driehoek, maar omgekeerd en donker, van de maan tot de horizon zag afdalen (fig. 102). Het verschijnsel moest stellig physiologisch zijn en niet echt, want hij beweert dat het verdween als de onderste lichte driehoek en de maan afgeschermd werden.

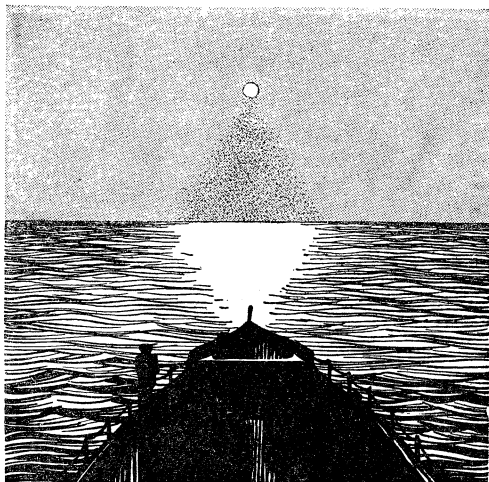


Fig. 102. Een nog onverklaarbaar contrastverschijnsel.

Dit verhaal leek mij zo ongeloofwaardig, dat ik het bij nader overleg al geschraapt had uit de tekst voor de tweede uitgave van dit boek. Geheel onverwachts krijg ik echter de beschrijving van een bijna identieke waarneming, uitgevoerd door den Heer K. Braak ten Zuiden van Oslo! Het enige verschil is, dat deze tweede zegsman de donkere driehoek bleef zien, ook al schermde hij de heldere lichtzuil der verlichte golven af. — Nieuwe waarnemingen zullen dus nodig zijn om uit te maken, wie gelijk heeft. Van het resultaat der afschermproef hangt af, of we met een onverklaard contrast-effect of met een echt optisch verschijnsel te maken hebben.

HET BEOORDELEN VAN VORM EN BEWEGING.

105. Gezichtsbedrog omtrent stand en richting.

Stel ons gezichtsveld bestaat uit twee groepen voorwerpen; binnen elke groep zijn die voorwerpen evenwijdig of haaks op elkaar, maar de twee groepen hellen ten opzichte van elkander: dan zijn we geneigd de „overheersende” groep als werkelijk vertikaal en werkelijk horizontaal te beschouwen.

Als een trein in de bocht stilstaat of langzaam rijdt, en de treincoupé dus in de dwarsrichting helt, zie ik alle palen, huizen, torens daarbuiten in de andere zin overhellen. Blijkbaar geef ik er mij wel *enigszins* rekenschap van dat mijn coupé helt, maar lang niet in voldoende mate.

In de gangen van een schip dat helt (bv. als de wind dwars op het schip blaast), lijken mij alle mensen scheef te staan ten opzichte van de loodlijn. Wanneer we langs een steile helling van een berg afdalen, lijkt de gezichteinder tegenover ons opvallend hoog.

Vooraf voor een fietser spelen dergelijke illusies een belangrijke rol bij het beoordelen van hellingen¹⁾. Het terrein waarop ik rijd zie ik altijd „te horizontaal”; als ik fietsende van een steile helling afdaal, schijnt het water in een reservoir langs de weg niet horizontaal te staan, maar mij tegemoet te hellen. Bevind ik mij op een zacht dalend stuk, dan lijkt de weg verderop te stijgen — terwijl hij feitelijk vlak is; ik zie de stijging in de verte te sterk en de daling te zwak. Mijn ogen leren mij vooral hoe de helling vóór mij *verandert*; dikwijls zijn hun indrukken tegengesteld aan wat ik uit de tegenstand bij het trappen zou besluiten. — Fietsende langs de hooggelegen Schelmsche Weg, even ten noorden van Arnhem, kijk ik in zuidelijke richting over het dalende terrein, tot aan de verre steenbakkerijen met hun hoge schoorstenen. Hoewel ik weet, dat ze in de lage weilanden langs de Rijn liggen, heb ik onweerstaanbaar de indruk dat ze zich op de top van een heuvelkam bevinden, op vrij grote hoogte boven de vlakke grond.

1) Bragg, Het Wonder van het Licht, blz. 49.

Een eigenaardige begoocheling kunnen we waarnemen als we ons bevinden in een trein die remt. Vestig de aandacht op schoorstenen, huizen, randen van treinraampjes en andere vertikale voorwerpen: op het oogenblik dat de trein sterk vertraagt krijgt u de indruk dat al deze lijnen enigszins voorover hellen, het duidelijkst als de trein net stilstaat; onmiddellijk daarna staan ze ineens weer rechtop. Zelfs de horizontale vlakke van een weiland scheen mee te hellen en is nu weer waterpas geworden. — De verklaring is, dat we ons bij het remmen naar voren voelen gaan, alsof de richting van de zwaartekracht gewijzigd was. Ten opzichte van wat onze spieren nu voelen als „de vertikaal” hellen de werkelijke voorwerpen voorover (fig. 103).

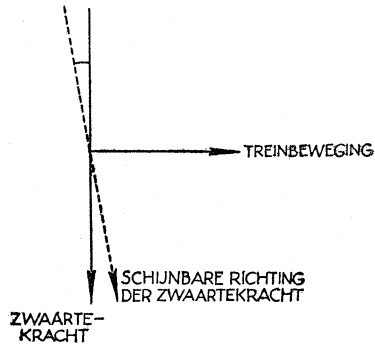


Fig. 103. Schijnbare richtingsverandering van de zwaartekracht bij het remmen van een trein.

106. Het zien van bewegingen.¹⁾

Meestal stelt men zich vóór dat bewegingen waargenomen worden, doordat men een voorwerp ten opzichte van vaste merkpunten eerst in een bepaalde stand, daarna in een gewijzigde stand ziet. Dit is echter niet altijd het geval; een *snelheid* kan als een enkelvoudige indruk waargenomen worden, evengoed als een lengte of een tijd. Als u naar de beweging der wolken kijkt, krijgt u onmiddellijk een indruk van hun richting en van hun snelheid.

Men heeft gevonden, dat wij snelheden kunnen waarnemen die niet groter zijn dan 1' of 2' per sekunde: dit is het geval, wanneer we vaste punten in het gezichtsveld hebben (ook al vergelijken we daar niet bewust mee). Zonder vaste punten wordt de waarneming der snelheid ongeveer 10 maal onzekerder; het onbewegelijke vergelijkingstelsel is in dergelijke gevallen uw eigen oog, waarvan u door uw spieren voelt dat het in rust

1) Pffüger's Archiv, 39, 347, 1886; 40, 459, 1887; en het latere werk van Basler.

is, en waarin u met de gezichtszin de beelden over het netvlies voelt schuiven.

Bekijk de voorbijtrekkende wolken, en tracht hun trekrichting bij het eerste rustige kijken ineens te bepalen. Varieer de omstandigheden: lage wolken, hoge wolken: weinig wind, veel wind; met maan, zonder maan. — Een snelheid van 2' per sekunde betekent dat de wolk in 15 sec over de maanschijf trekt.

Een net met brede mazen is uitgehangen om te drogen. Men ziet duidelijk elke windstoot over het net lopen; maar bekijkt men één der mazen, dan is er nauwelijks beweging te zien. Het oog schijnt erg gevoelig voor kleine bewegingen die in onderling verband geschieden. — Let evenzo op een met wilde wingerd begroeide muur, waar de windgolven over strijken.

107. De bewegende sterren. ¹⁾

Omstreeks 1850 is men groot belang gaan stellen in een geheimzinnig verschijnsel, daarin bestaande, dat een ster die men scherp aankeek soms heen en weer scheen te zwaaien en van plaats te veranderen. Het effect zou in de schemering optreden, en alleen aan sterren in de buurt van de gezichteinder, minder dan 10° hoog. Men zag de sterk fonkelende ster met rukjes bewegen, evenwijdig aan de horizon, dan 5 tot 6 sekunden blijven staan, evenzo weer achteruit bewegen, enz. Het verschijnsel was voor veel waarnemers zó duidelijk, dat zij het als objektief beschouwden en door slieren warme lucht beproefden te verklaren. ²⁾

Er kan echter geen sprake zijn van een natuurkundig verschijnsel. Een beweging van $\frac{1}{2}^{\circ}$ per sekunde voor het ongewapend oog zou overeenkomen met 100° of meer voor een kijker met matige vergroting: de sterren zouden heen en weer zwiepen en door het veld schieten als meteoren. Ieder waarnemer weet dat daar geen sprake van is. Zelfs bij de allerslechtste luchttoestand zijn de plaatsveranderingen tengevolge der scintillatie beneden de grens van wat het oog kan waarnemen. *Psychologisch* behoudt het verschijnsel echter zijn volle belang. Misschien ontstaat het, als er geen vergelijkingsobjekt is ten opzichte waarvan we de stand van de ster goed kunnen beoordelen; wij zijn er ons niet van bewust, dat ons oog voortdurend kleine onwillekeurige bewegingen uitvoert, en moeten dus de verplaatsingen van het beeld over het netvlies wel aan verschuiving van de lichtbron toeschrijven.

1) Pogg. Ann. **92**, 655, 1857. — Nieuwere litteratuur over „autokinetische gezichtsindrukken”: zie Hdb. der Physik, Bd. 20, Physiologische Optik, blz. 174.

2) A. Müller, Pogg. Ann. **106**, 289, 1859.

Iemand heeft mij eens gevraagd hoe het komt dat een ver verwijderd vliegtuig zich steeds met kleine rukjes vooruitbeweegt, als men het aandachtig bekijkt. Blijkbaar was hier een zelfde psychologische oorzaak in 't spel als bij het „bewegen” der sterren. De uitdrukking „ver verwijderd” schijnt er op te wijzen, dat ook dit verschijnsel vooral nabij de gezichteinder optreedt.

Wat moet men ervan denken, dat drie personen, onverwachts en gelijktijdig, de maan op en neer zagen dansen gedurende ongeveer 30 minuten?!¹⁾

108. Begoochelingen omtrent rust en beweging.²⁾

Een zeer bekende begoocheling ontstaat, als men in een stilstaande trein zit en de trein daarnaast in beweging ziet komen. Je meent dan dat het je eigen trein is die heel zachtjes vertrekt. Of we kijken langs een toren of hoge radiomast naar de voorbijtrekkende wolken: weldra lijkt het, alsof de wolken stilstonden maar alsof de toren bewoog. Evenzo zien sommige mensen de maan voorbijsnellen door het stilstaande wolkenzwerk. Als men op een plank over een beek loopt, moet men oppassen niet naar het stromende water te kijken, op straffe van duizeligheid: het oordeel over rust en beweging komt in de war, omdat een zò groot gedeelte van het gezichtsveld beweegt.³⁾ — Degene die voor het eerst op zee vaart, ziet de hangende voorwerpen in zijn hut heen en weer schommelen, terwijl de hut zelf stilstaat.

In al deze gevallen is de begoocheling nauw verwant met die van § 99. Een nader psychologisch onderzoek heeft aangetoond, dat we de neiging hebben, die dingen te zien bewegen, waarvan we bij ervaring weten dat ze gewoonlijk bewegende elementen in het landschap vormen. Daarnaast echter is er een algemenere, zeer machtige wet: het grotere, het omsluitende zien we rustend, het omslotene zien we bewegend. In de hierboven genoemde gevallen komt deze tweede wet in konflikt met de eerste, en zien wij hoe zij de gewone alledaagse ervaring overheerst.

Ik zit bij het raampje van de trein en kijk dromend naar de voorbijvliegende grond. De trein stopt; en terwijl ik zeker weet dat hij stilstaat, heb ik toch bij het naar buiten kijken de onweersaanbare indruk dat hij langzaam achteruit glijdt. Het is niet

1) Nat. 38, 102, 1888.

2) Vgl. W. Metzger, Gesetze des Sehens (Frankfurt 1936), hoofdstuk XI.

3) Helmholtz, Physiol. Optik, 3e uitg. 3, 209 en vlg. — J. J. Opper, Pogg. Ann. 99, 540, 1856.

zó dat het gehele gezichtsveld even snel verschuift : dicht bij mij is de beweging sneller, op grotere afstand langzamer ; zij is ook langzamer op enige afstand rechts en links van het punt naar hetwelk ik tuur. Het is, alsof het gehele landschap om dit punt draaide, en daarbij uit een lederachtig rekbare stof bestond, die zich vervormt : de draaiingsrichting is de tegengestelde van die welke gold toen de trein bewoog (§ 113). Het zou aardig zijn, op het ogenblik dat de trein stopt, fluks aan het andere raampje te gaan zitten : de beweging zou dan in de oorspronkelijke zin moeten doorgaan.

Men zou zich kunnen voorstellen, dat onze oogspieren de gewoonte hebben aangenomen, de voorbijvliegende voorwerpen onbewust min of meer te volgen ; staat de trein stil, dan gaan we voort met die onwillekeurige oogbewegingen, en blijven nog een tijd lang als 't ware een constante „compensatiesnelheid” bij de werkelijke optellen. De wijze echter waarop de snelheid verandert naar de randen van het gezichtsveld toe, kan nooit door één enkele oogbeweging verklaard worden. Men bemerkt het verschijnsel namelijk ook, als men een lange autorit langs rechte wegen heeft gemaakt, zelf sturend, of naast den bestuurder zittend en „meesturend”. Als de auto dan stopt, ziet men alle voorwerpen naderen naar een vluchtpunt in de verte, en men heeft de sensatie achteruit te rijden! Omgekeerd kan men op een lokaaltreintje met achteruitzicht het zich verwijderende landschap gadeslaan ; bij stilstand van de trein ziet men het tafereel weer uiteenwijken. Men heeft ook proeven genomen, waarbij lange tijd getuurd werd naar voorwerpjes die voortdurend van een middelpunt uit naar buiten bewogen werden, de ene naar boven, de andere naar beneden, naar rechts en naar links : bij stop zetten van de beweging zag de waarnemer de lichtpunten van alle kanten naar het centrum terugstromen, hetgeen toch onmogelijk door een oogbeweging te verklaren is! Het is dus veeleer, „onze geest”, die in elk deel van het gezichtsveld een deel van de snelheid heeft leren wegredeneren, en daarmee nog doorgaat na het ophouden der beweging.

De waarneming welke wij beschreven hebben treedt trouwens ook op, wanneer we een stipje op de ruit van de treincoupé fixeren, en dus de oogbeweging uitschakelen ; mits de beweging niet zo snel is, dat de voorwerpen buiten tot strepen ineenvloeiën. ¹⁾

Daartegenover staat nu weer een reeds oude waarneming van

1) Von Kries in Helmholtz, 3e uitg., III, 207.

Brewster, die wel degelijk op onwillekeurige oogbewegingen wijst.¹⁾ Als we uit het treinraampje kijken, lijken de steentjes en keitjes tot streepjes uitgerekt; kijk nu snel naar de grond op een iets groter afstand: een heel kort ogenblik ziet u dan even de steentjes in rust, als werden ze verlicht door een elektrische vonk. Dit bewijst toch dat ons oog inderdaad de bewegende voorwerpen volgt, maar niet met de volle snelheid.

Brewster deed nog een andere waarneming (t.a.p.), toen hij naar de voorbijvliegende steentjes keek door een spleet in een blad papier. Draaide hij opeens de ogen opzij, zodat hij de steentjes in het indirecte gezichtsveld zag (steeds door de spleet kijkend), dan was het gehele tafereel een kort ogenblik scherp. Verklaring??

Ik loop langs een speelterrein voor kinderen, aan mijn rechterhand, afgezet door een zeer lang hek. Al lopende kijk ik naar de kinderen, daarbij voortdurend het hoofd naar rechts gekeerd houdend. Na 1 tot 2 minuten kijk ik weer voor mij uit, en zie nu de straatkeien en andere voorwerpen vóór me van rechts naar links schuiven. Tracht ik de proef te herhalen, maar fixeer ik het hek in plaats van de kinderen, dan is het verschijnsel veel minder opvallend. — Bij dergelijke waarnemingen vindt men, dat men niet altijd de snel bewegende voorwerpen zelf met het oog moet volgen, maar dat het gunstig is naar een voorwerp met weinig structuur te turen, terwijl beelden met sterke tegenstellingen van licht en donker over het netvlies schuiven.²⁾

Ik kijk aandachtig naar vallende sneeuwvlokken, volg één ervan in zijn val, richt dan snel de blik omhoog en zoek er een nieuwe uit; en zo gedurende enige minuten. Werp ik nu mijn ogen op de besneeuwde grond, dan zie ik hem letterlijk oprijzen terwijl ik mezelf voel dalen.

Kijk een tijdje naar het water van een snelstromende rivier, of naar de ijsgang der drijvende schotsen, en fixeer hierbij de punt van een ducdalf, of een detail op een eilandje. Als u nu de blik weer op de vaste grond richt, ziet u een „antistroombeweging”.

Na het bewonderen van een waterval, schijnen de oevers opwaarts te bewegen.

Purkinje keek geruime tijd van uit zijn raam naar een optocht van ruiters; daarna had hij de indruk, alsof de huizenrij aan de overkant in tegengestelde richting bewoog.

1) Proc. Brit. Ass. 1848, blz. 47.

2) Vgl. Basler, Pfüger's Archiv, 132, 131, 1910.

Als u langs een smal paadje tussen het koren loopt en naar de maan in de verte tuurt, zijn de omstandigheden alweer gunstig voor het optreden der begoocheling.

Die omstandigheden zijn, kort samengevat :

de beweging moet tenminste 1 minuut duren ;

ze mag niet te snel zijn ;

het oog moet turen, hetzij naar een bewegend, hetzij naar een rustend voorwerp, maar altijd zo dat de beelden die over het netvlies trekken enige tegenstellingen en een duidelijke structuur vertonen.

109. De slingerende dubbelsterren.¹⁾

Dit is een verschijnsel, reeds door den groten Herschel waargenomen. Kijk met een eenvoudig toneelkijkertje naar de vóórlaatste ster van de Grote Beer. U ziet heel duidelijk dat er naast de heldere ster nog een zwakke zit (fig. 69, 87). Doe nu de proef



Fig. 104. Schijnbare slingering van dubbelsterren, door een heen-en-weer bewegend toneelkijkertje waargenomen.

liefst als die twee sterren min of meer vertikaal onder elkaar zitten (— het gaat anders toch ook —). U beweegt uw kijkertje zachtjes een klein eindje naar links, net zo snel dat u de beide sterren nog als puntjes blijft zien ; dan weer naar rechts ; dan weer terug naar links, enz. Daarbij schijnt het nu alsof

de zwakkere ster telkens iets achterbleef bij de heldere, het lijkt wel alsof ze aan een touwtje hing en een slingerbeweging uitvoerde (fig. 104)!

Het verschijnsel is te verklaren, doordat het licht een zekere tijd nodig heeft om een indruk op ons netvlies te maken. Die tijd is des te korter naarmate de ster helderder is ; tegen dat de zwakste gezien wordt is de heldere al een eindje verder.

Ditzelfde verschijnsel is in de laatste jaren door Pulfrich gebruikt om een nieuw type van fotometer te bouwen.

110. Gezichtsbedrog bij het beoordelen van de draaiingszin.

Een windmolen draait in de avondschemering. We kijken van uit een richting, schuin op het vlak der wieken, en zien in de verte hun donker silhouet (fig. 105a). U kunt u voorstellen, dat de wieken rechtsom draaien, maar evengoed dat ze linksom gaan (fig. 105b). Het overgaan van de éne voorstelling op de

1) Hemel en Dampkring, 29, 348—380—413, 1931.

andere vereist een ogenblik concentratie van de aandacht : meestal is het ook voldoende, rustig te blijven kijken, dan slaat het beeld „vanzelf” om. — Meteorologische stations hebben meestal een windmeter van Robinson : het is een molentje, dat om een vertikale as draait, en gebruikt wordt om de windsterkte te meten.

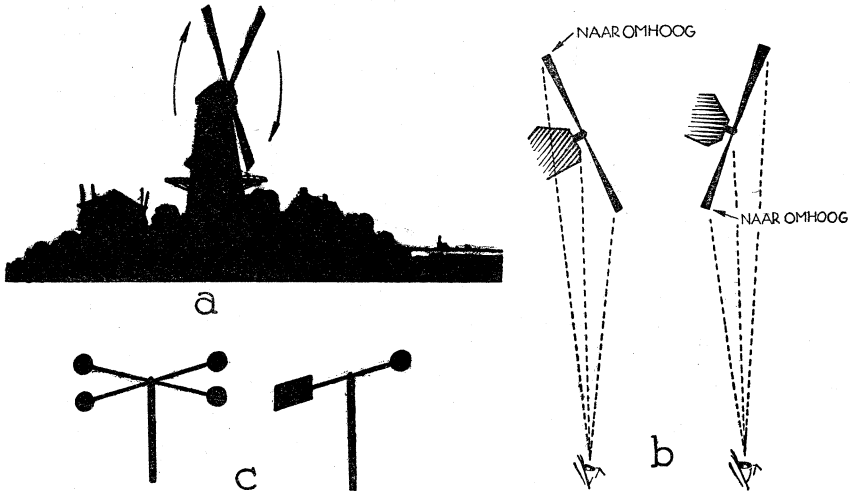


Fig. 105. Het silhouet van de molen in de avond :

- a. wat de waarnemer ziet ; b. welke voorstelling hij ermee verbinden kan.
c. Andere bedriegelijke silhouetten.

Als ik het van op afstand rustig blijf aankijken, schijnt de draaiingszin telkens na ongeveer 25 of 30 sekunden om te slaan, zonder dat mijn wil daar bewust aan meewerkt. Ook een windvaan die heen en weer zwaait kan ons aan het twijfelen brengen, vooral indien hij niet te hoog geplaatst is (fig. 105c).

In al deze gevallen hangt ons oordeel over de draaiingszin ervan af, welke delen van de baan we dichterbij ons, en welke we verder van ons af achten. Die waarop toevallig onze aandacht het meest gevestigd is, lijken ons in 't algemeen dichterbij. Het omslaan van de schijnbare draaiingszin is dus aan een verspringen van de aandacht toe te schrijven.

111. Stereoskopische verschijnselen.

Met slechte treinruitjes, zoals men ze hier en daar nog wel aantreft, kan men een grappig optisch verschijnsel waarnemen.

Wacht tot de trein stopt, en kijk aandachtig door de ruit naar de keien van de grond. Ogen dicht bij het glas, hoofd rustig houden, en u vrijmaken van de vooropgezette gedachte dat de grond vlak is! U bemerkt nu ineens dat hij lijkt te golven, soms

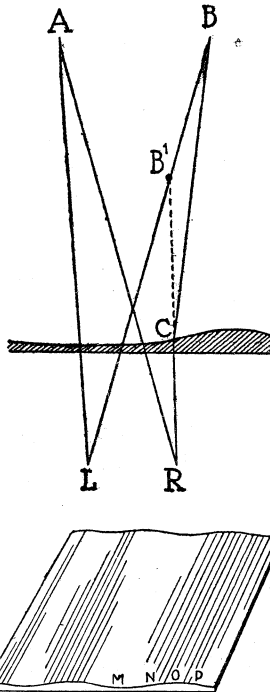


Fig. 106. Als men door een hobbelige ruit kijkt, lijkt de grond te golven.

heel sterk te golven! Verplaatst men langzaam het hoofd, dan lopen de golvingen in tegengestelde zin over de grond; verwijdert men zich een weinig van de ruit, dan schijnen ze ongeveer even hoog te blijven maar wijder te worden.

Verklaring. Het glas van de ruit is niet vlak, het vertoont heel zwakke hobbels, meestal evenwijdig aan een bepaalde richting, want ze zijn ontstaan door het uitrollen van het gloeiend-vloeibare glas onder stalen rollen. Zulk een hobbel werkt als een prisma van geringe brekende hoek en doet de lichtstralen een weinig afwijken. In fig. 106 is aangenomen dat de ogen L, R die naar het punt A van de grond kijken, de invloed van de hobbels in het glas nog niet merken. Bij het waarnemen van het punt B echter, wordt de lichtstraal BR gebroken en volgt hij de weg BCR. Het gevolg is, dat de ogen gericht zijn alsof zij het punt B' bekeken, dat dichterbij ons ligt dan B. In een ander deel van de ruit wijken de stralen weer anders af, zodat het voorwerp verder van

ons af schijnt te liggen. Zo begrijpt men, dat de zwakke hobbeligheid van het glas een sterke schijnbare golving van de voorwerpen buiten zal veroorzaken, al is natuurlijk de samenwerking der invloeden op rechter en linker oog soms vrij ingewikkeld.

Als het linker oog bv. door een effen gedeelte van de ruit kijkt, het rechteroog door de hobbels, kan men gemakkelijk het ontstaan der stereoskopische werking in bijzonderheden nagaan. Sluit het linker oog en schommel met het hoofd een weinig heen en weer: waar de ruit een hol gedeelte (M) heeft (fig. 106), schommelen de bijzonderheden van de grond in dezelfde zin; waar de

ruit bol is (O), tegengesteld (Waarom?). Open nu beide ogen: de gebieden M en O komen nu overeen met plaatsen van de grond die we op normale afstand zien; door N kijkend met het rechter oog zien we een berg en door P een dal. Overtuig u van dit alles door de waarneming en geef u rekenschap van de opgemerkte bijzonderheden!

Een verschijnsel dat hier nauw mee verwant is, neemt men waar als men vlak bij een wateroppervlak staat met zeer zwakke golfjes. De ogen trachten zich te richten naar het spiegelbeeld van een boomtak bijvoorbeeld; maar doordat elk oog op een verschillend golfoppervlak kijkt, worden de twee beelden onophoudelijk op andere hoekafstanden van elkaar gebracht, en is het onmogelijk er de oogassen rustig op in te stellen. Dit geeft een zeer bijzonder en moeilijk te beschrijven gevoel. Zodra we één oog sluiten, zien we het wateroppervlak zelf nauwelijks meer; we kunnen ons voorstellen dat we niet een spiegelbeeld zien, maar de boom zelf, door de wind bewogen. Kijken we met twee ogen, dan krijgen we ineens het bewustzijn van het gerimpeld wateroppervlak zelf, maar dit oppervlak *glanst*: dit is het typische verschijnsel, dat ontstaat, als de twee ogen zeer verschillende beelden waarnemen, het ene licht en het andere donker.

112. Het mannetje in de maan.¹⁾

„Het mannetje in de maan” is een uitstekend voorbeeld om ons te leren voorzichtig zijn bij het waarnemen. De donkere en lichte vlekken op de maan zijn eigenlijk de vlakten en de berglanden, en het is duidelijk dat hun verdeling een zeer grillige is. Onbewust nu zoeken we in die grillige lichtverdeling naar bekende vormen: we vestigen *de aandacht* op bepaalde bijzonderheden, en daardoor schijnen die duidelijker en opvallender te worden; terwijl de vormen waar we niet op letten minder duidelijk worden.

Zo kan men in de volle maan tenminste drie vormen van menselijk gelaat zien: van opzij, drie kwart, en van voren. Men kan er een vrouwefiguur in vinden, een oud vrouwtje met een takkebos, een haas, een kreeft, enz.

Dergelijke begoochelingen hebben aan de beste waarnemers parten gespeeld, onder andere in het beroemde geval van de „kanalen” op Mars. Bij menige fantastische beschrijving van een luchtspiegeling of fata morgana is het goed hieraan te denken.

1) Harley, Moon-lore (London 1885). — Titchener, Experimental Psychology.

113. Het draaiende landschap en de meelopende maan.

Let op twee bomen of twee huizen die ongelijk ver van ons verwijderd zijn: zodra wij bewegen, zien we *hoe het verste van de twee met ons meegaat, en het dichtstbij gelegen achterblijft*. Het is een eenvoudig verschijnsel van *verschilzicht* (= „parallax”), een verschijnsel van meetkundige aard, zonder bijzondere natuurkundige achtergrond.

*Het landschap in de omlijsting van de raampjes
Snelt met een wilde vaart, en hele vlakten
Met plassen, velden, bomen, een stuk hemel,
Zij storten zich in 't wentlen van de draaikolk . . .*

P. Verlaine, *La bonne Chanson*.

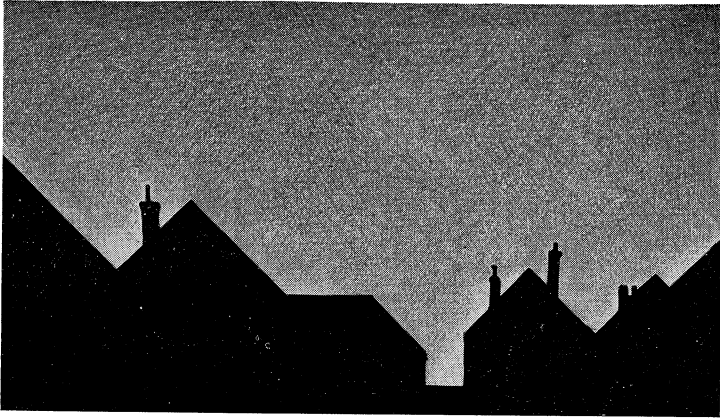
Een van de eerste dingen die mij als kind troffen als ik in de trein zat, is de merkwaardige draaiende beweging die het landschap schijnt uit te voeren. Stel ik kijk aan de rechterzijde van de trein: dan zie ik al de dichtbijgelegen dingen naar rechts wegvluchten, terwijl de ver afgelegen partijen met mij mee naar links bewegen. Het is alsof het gehele landschap draait om een denkbeeldig punt: het punt waar ik toevallig de blik op richt. Of ik in de verte tuur of meer dichtbij, altijd lijkt mij het punt dat ik bekijk op zijn plaats te blijven, terwijl de verdere punten meelopen, de dichterbij gelegen punten achterblijven. Neem de proef! Het is duidelijk dat deze gezichtsindrukken volgen uit het verschilzicht; het nieuwe wat erbij komt, is dat we alles betrekken op het punt waarheen onze blik gericht is: dit is een psychologische eigenaardigheid van onze gezichtswaarnemingen. Als we 's avonds wandelen, fietsen, sporen, zien we de maan aan de verre gezichteinder getrouw „met ons meegaan”. Ook de zon, ook de sterren — maar daar letten we niet zo op. Dit bewijst dat we onze aandacht vestigen op het landschap; de verder gelegen hemellichamen schijnen dan door verschilzicht mee te bewegen.

114. Het zoeklichtverschijnsel.¹⁾ De wolkenbanden. Het vuurtorenverschijnsel.

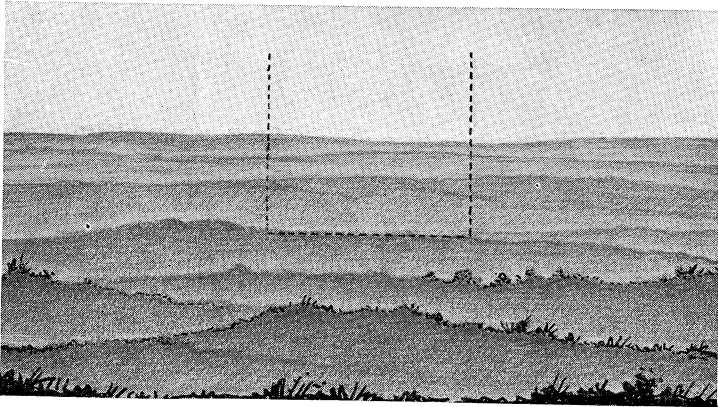
Een zoeklicht werpt horizontaal een slanke, ijle lichtbundel over het nachtelijke heidellandschap. Ik weet dat de bundel zuiver rechtlijnig loopt; maar ik *kan* mij niet onttrekken aan de begoocheling dat hij gebogen is, in het midden het hoogst, aan beide kanten naderend tot de grond. Alleen door een stokje vóór mijn

1) Bernstein, Zs. f. Psych. 34, 132.

PLAAT VII.



Kontrastzoom langs de dakenlijn der huizen in de avond (§ 97).

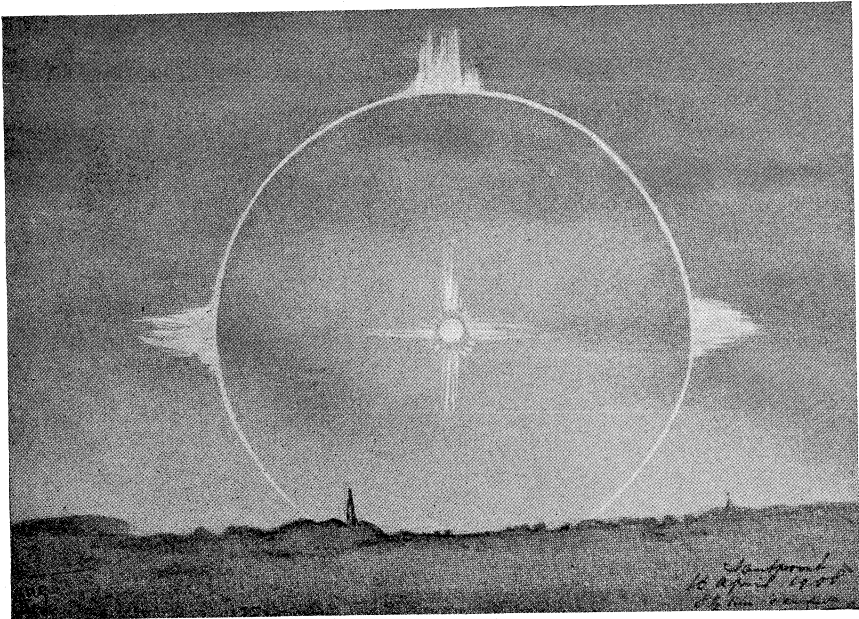


Kontrastverschijnselen bij het waarnemen van een golvend heidelandschap (§ 97).
De begoocheling verdwijnt als men een deel van het landschap volgens de stippellijn afschermt.



PLAAT VIIIa. Lichtsterke regenboog met de zwakkere nevenregenboog en overtallige bogen (§ 127). Vooral rechts onder ziet men goed, hoe de lucht het helderst is binnen de hoofdboog, het donkerst tussen de twee bogen (§ 131).

Naar A. Clark, King's College, Aberdeen.



PLAAT VIIIb. Kring of halo om de maan, met bijmanen, bovenraakboog en lichtkruis (§§ 142, 143, 144, 153).

Naar een aquarel van L. W. R. Wenckebach. Cliché in bruikleen van het Kon. Ned. Meteorologisch Instituut.

oog te houden overtuig ik er mij van dat de bundel werkelijk over zijn gehele lengte recht is.

Wat is de oorsprong van die begoocheling? Ik ben geneigd, de baan als een boog te zien, omdat ik haar aan de ene zijde naar links zie dalen, aan de andere zijde naar rechts. Alsof een simpele horizontale, rechtlijnige telegraafdraad niet net hetzelfde vertoonde! Bij de lichtbundels in de avond heb ik echter geen aanknopingspunten om de afstanden te schatten met behulp van het geheel der omringende voorwerpen, en weet ik a priori niets over de vorm van de bundel.

Een dergelijk verschijnsel zien we 's avonds, aan een rij hoog opgehangen straatlantarens, vooral wanneer er geen evenwijdig lopende huizenrijen zijn, of indien bomen die aan 't gezicht onttrekken. Men ziet dan de rij der lichten *gekromd*, juist zoals een zoeklichtenbundel. ¹⁾

Onmiddellijk hieraan verwant is de waarneming, dat de verbindingslijn der horens van de maan, tussen eerste kwartier en volle maan bijvoorbeeld, volstrekt niet loodrecht schijnt op de richting zon-maan; klaarblijkelijk denken we ons deze richting als een gekromde lijn. Leg die richting echter vast door een touwtje voor uw oog te spannen: hoe onwaarschijnlijk het eerst leek, toch zult u nu waarnemen dat aan de loodrechttheid inderdaad voldaan is!

De wolkenrijen die schijnen uit te stralen van een punt van de gezichteinder, en zich aan de andere zijde van het uitspansel weer verenigen, zijn in werkelijkheid volgens horizontale, evenwijdige rechte lijnen gerangschikt. De kraag van een bui lijkt een donkere boog, maar is in feite een rechte strook. Zie ook § 186.

Het is bijzonder indrukwekkend om zich 's nachts dichtbij een sterke vuurtoren te bevinden. De grote bundels zwaaien over het landschap, convergeren aan de andere zijde naar het denkbeeldige tegenpunt, dat zich een eindje onder de horizon bevindt, en schijnen daar omheen te wentelen. ²⁾ Van elke lichtbundel zie ik alleen dat hij zich bevindt in een bepaald vlak, gegeven door zijn ware ligging in de ruimte en de plaats van mijn oog; als de bundel draait, verandert de stand van dit vlak in de

1) G. Ten Doesschate, Nederl. Tijdschr. voor Geneesk. **74**, 748, 1930.

2) G. Colange en Y. Le Grand (C. R. **204**, 1882, 1937) stellen zich ten onrechte voor, dat dit verschijnsel alleen in de zeer uitzonderlijke omstandigheden te zien zou zijn van de machtige vuurtoren te Belle-Isle. Ik had het reeds prachtig waargenomen bij de vuurtoren van de Koog (Texel). — Vgl. G. ten Doesschate en F. P. Fischer, Annales d'Oculistique, **176**, 103, 1939.

ruimte voortdurend, maar blijft altijd gaan door de lijn vuurtoren—oog—tegenpunt. In plaats dus van de bundels te zien als „horizontale lijnen, uitstralend van een punt achter mij”, kan ik ze fysisch evengoed zien als „stralen, wentelend om het tegenpunt, maar waarvan het onderste stuk afgesneden is, omdat het tegenpunt zich onder de horizon bevindt.” Dat ik onwillekeurig het tweede kies, is een psychologisch zeer merkwaardig verschijnsel, samenhangend met onze neiging, convergerende lijnen als samenhorig te denken en ze tot in het convergentiepunt te verlengen. Hier helpt ook de „onderschatting van verre afstanden” (§ 114), waardoor elke lichtbundel zich niet onbepaald in de verte schijnt uit te strekken, maar tot een punt op eindige afstand van het oog schijnt te naderen.

Keert men zich loodrecht op de richting naar de vuurtoren, en richt de blik opwaarts, dan ziet men ieder der bundels sterk gekromd; het is welhaast alsof de stralen van licht en tegenlicht opwaarts schoten en elkander bij het zenith ontmoetten.¹⁾

115. De schijnbare afplatting van het hemelgewelf.²⁾

Wanneer we buiten in het vrije veld staan, en naar de hemel

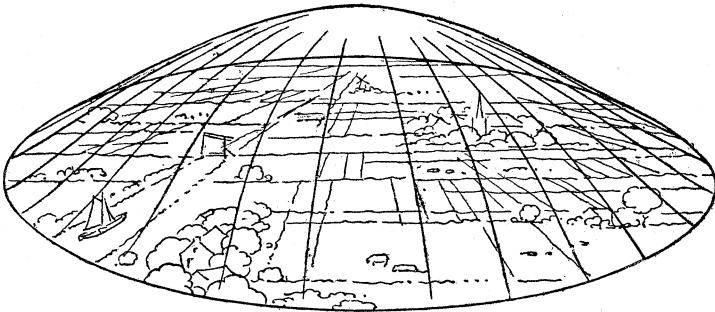


Fig. 107. Over het landschap schijnt zich de hemel als een soort kap te welven.

kijken, hebben we in 't algemeen niet de indruk van een grenzeloze ruimte boven ons; ook niet de indruk van een halve bol, die over ons en de aarde gestulpt is. Veeleer lijkt het een gewelf,

1) L. Dunoyer, C. R. 205, 867, 1937.

2) Voor de zeer rijke litteratuur over dit onderwerp en de volgende nummers zie men: A. Müller, die Referenzflächen der Sonne und der Gestirne.

R. von Sterneck, Der Sehraum auf Grund der Erfahrung (Leipzig, 1907).
E. Reimann, Zs. f. Psych. und Physiol. der Sinnesorgane, 1920.

waarvan de hoogte boven ons hoofd veel geringer is dan de afstand van ons tot aan de gezichteinder (fig. 107). Het is een *indruk*, meer niet, maar voor de meeste mensen een zeer overtuigende, de verklaring zal dus een psychologische moeten zijn, niet een natuurkundige.

Iets van die schijnbare afplatting te *meten* is natuurlijk onmogelijk, maar we kunnen schattingen maken.

a. We vragen ons af hoe groot de verhouding $\frac{\text{oog—horizon}}{\text{oog—zenith}}$ wel schijnt; volgens de waarnemers en de omstandigheden krijgt men antwoorden die meestal tussen 2 en 4 liggen.

b. We schatten zo goed mogelijk de richting waarin zich het midden van de *boog* zenith-gezichteinder schijnt te bevinden. Bij nameting (§ 238) blijkt dit midden niet op 45° hoogte te liggen, maar veel lager, meestal op 20°—30°; veel zeldzamer vindt men waarden zo laag als 12° of zo hoog als 45°. Het komt er op aan, onbevooroordeelde waarnemers te vinden, en hun duidelijk te maken, *dat ze niet de hoek, maar de boog in twee moeten delen*. Ook is het zeer belangrijk, de plaats van het zenith goed te schatten: liefst door zich eerst naar de éne, dan naar de tegenovergestelde windstreek te keren, en te kijken of de twee aldus gemaakte schattingen overeenstemmen.

Voor elk der kenmerkende getallen *a* en *b* neme men het gemiddelde van een 10-tal schattingen.

De schijnbare afplatting van het hemelgewelf hangt van allerlei omstandigheden af. Ze neemt sterk toe als de hemel bewolkt is en bij schemering, ze neemt af bij donkere sterrelucht. Gemiddeld is de „halveringshoek” 22° bij dag, 30° bij nacht. Merk op dat waarnemingen op zee hieromtrent van grote waarde zijn, aangezien daarbij het uitzicht geheel vrij is en geen nevenomstandigheden de schatting storen.

Door een stuk rood glas gezien — zó groot dat men niet afgeleid wordt door de begrenzingen ervan — lijkt de hemel vlakker; door een stuk blauw glas hoger en dichter bij de halve bolvorm.¹⁾

Uitvoeriger schattingen kunnen ons nog nauwkeuriger inlichten over de welving die we onbewust aan de hemelkap toeschrijven. Het blijkt dat veel waarnemers er een soort *helmvorm* in zien (fig. 107).

1) Dember en Uibe, Ann. Phys. 61, 313, 1920.

116. Overschatting van de hoogte (fig. 108).

Met de schijnbare afplatting van het hemelgewelf schijnt samen te hangen, dat wij de hoogten boven de gezichteinder meestal te groot schatten. Blijkbaar verwarren wij onbewust steeds de meting van de *boog* met de meting van de *hoek*; het punt M, zo gekozen dat $HM = MZ$, ligt veel lager dan 45° boven de horizon, en lijkt ons toch halfweg.

De zon in de winter, op middagtijd, schijnt vrij hoogte staan,

en is in onze gewesten toch slechts 15° boven de kim.

's Zomers lijkt ze „bijna in het zenith”, terwijl ze feitelijk nooit hoger komt dan 61° .

Evenzo overschatten we de hoogte van heuvels en de steilheid van een voor ons opstijgende helling. Zelfs

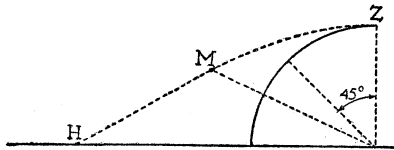


Fig. 108. De schijnbare boog van zenith tot horizon in twee verdelen.

komt het voor, dat waarnemers de kleine kring om de zon of de maan (§ 135) als hoger dan breed beschrijven.

Men vermijdt deze gezichtsbegoochelingen grotendeels, als men het landschap met half dichte ogen bekijkt: dan werken licht- en schaduwpartijen alleen als grote massa's.

117. De schijnbare vergroting van zon en maan aan de gezichteinder.

Dit is een van de sterkste en meest algemeen bekende gezichtsbegoochelingen. Schrikwekkend groot kan de maan koperkleurig oprijzen, maar nietig klein is ze als ze hoog in de lucht zit! En de zon:

*'t wordt watergroene, omhoog;
omleege, brandt en broeit
de groote zonne nog,
die zinkt en groeter groeit.*

G. Gezelle, *Rijmsnoer*, X (*Avondrood*).

*De groote, tomaatroode zon . . .
De zon wierd groeter en groeter, en rood.*

Timmermans, *Pallieter*, blz. 3 en blz. 30.

Is het wel een begoocheling? — We gaan een beeld van de zon ontwerpen en dit meten. Neem een brilléglass van 2 m brandpuntsafstand; ¹⁾ stel het op in een kurk waarin u een snede

1) De opticien noemt het „+ 0,50”; vraag een rond, onafgeslepen glas, met ruwe randen. Prijs ongeveer 0,50 Gld.

gemaakt heeft, en laat er het licht der ondergaande zon op vallen (fig. 109). De proef gebeurt vóór het open raam of buiten, want

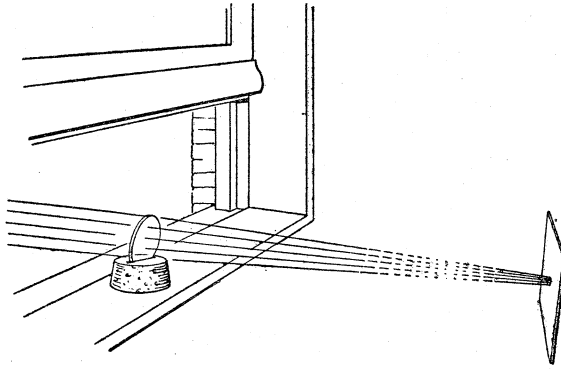


Fig. 109. Het ontwerpen van een zonnebeeldje met een brilleglas van lange brandpuntsafstand.

de vensterruit zou de scherpe beeldvorming bederven. Op ongeveer 2 meter achter het brilleglas vangen we de lichtbundel op een stuk papier op, en zie, daar tekent zich een keurig beeldje van de zon af! Is het niet helemaal rond, dan ligt het daaraan, dat het brilleglas niet goed loodrecht op de invallende zonnestrallen stond: draai het een weinig heen en weer, laat het iets meer of iets minder hellen. Zoek de plaats waar u het zonnebeeldje zo scherp mogelijk te krijgen, teken met twee potloodstreepjes de grootte van de middellijn aan, en meet die met een meetlatje op 0,5 mm nauwkeurig. Neem liefst de *horizontale* diameter, omdat de verticale door de aardse straalbreking iets verkleind wordt. Herhaal deze meting een paar maal en neem het gemiddelde.

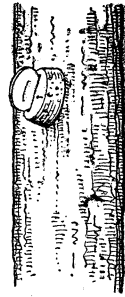


Fig. 110.

Nu dezelfde proef bij hoge zon! De opstelling is iets moeilijker; bevestig de kurk met een spijker hoog tegen een paal: door de juiste zijde van de paal te kiezen, en de kurk om de spijker te laten draaien, kan men het brilleglas goed loodrecht op de lichtstralen instellen (fig. 110). Meet het zonnebeeldje: het is (binnen de waarnemingsfouten) *bij hoge zon precies even groot als bij lage zon!* Zelfs de nauwkeurigste metingen met de sterkste kijkers vertonen niet het minste verschil.

De vergroting van zon en maan nabij de gezichteinder is dus

een psychologisch verschijnsel. Maar ook dat gehoorzaamt aan vaste wetten, ook dat kan in getalmaat geschat worden. Verschaf u een witkartonnen schijf van 30 cm middellijn, en verwijder er u zover van, dat de schijf even groot lijkt als de maan. Natuurlijk is een werkelijke *vergelijking* niet toegelaten, anders vindt u evenals bij een ware meting dat de grootte altijd dezelfde is. Keer u dus eerst naar het hemellichaam, prent u goed in hoe groot het lijkt, draai u om en vergelijk het herinneringsbeeld met de schijnbare grootte van de schijf. 't Gaat nog mooier als u een reeks witte schijven van toenemende grootte op een zwarte achtergrond plakt, en u altijd op dezelfde afstand er vandaan plaatst. Voer dergelijke schattingen zowel bij hoogstaande als bij laagstaande maan uit. — Ook met de zon zijn zulke proeven mogelijk; vermijd verblinding door gebruik van een donker glaasje, bv. een sterk gesluierte fotografische plaat, en kijk daarna met onbeschermd oog naar de witte schijven. De waarnemingen zijn moeilijk, omdat het psychologische verschijnsel de invloed ondergaat van allerlei subtiele factoren, schommelingen van de aandacht, enz. Merk op hoeveel beter het na enige oefening gaat!

De aldus verkregen getallen leren ons, dat de zon of de maan nabij de gezichteinder wel 2,5 tot 3,5 maal zo groot lijken als hoog aan de hemel! Het verschil tussen het natuurkundig en het psychologisch verschijnsel is dus wel zeer opvallend. Het effect neemt nog toe bij bewolkte lucht en in de schemering.

De schijnbare vergroting der ondergaande zon is veel opvallender in de vlakke dan wanneer dit hemellichaam achter hoge bergen ondergaat; op zee nochtans is de vergroting gering.¹⁾

Evenals de zon en de maan lijken ook de sterrebeelden nabij de kim groter, zelfs de bundels van Haidinger (§ 180) schijnen daar ruim 2 maal zo lang en zo breed als hoog aan de lucht.

118. Het verband tussen de schijnbare vergroting der hemellichamen nabij de gezichteinder en de vorm van het hemelgewelf (fig. 111).

Men heeft getracht, deze indruk te herleiden tot die van de schijnbare afplating van het hemelgewelf. De opvatting is, dat wij ons de zon en de maan even denken als dit hemelgewelf, de lage zon dus verscheiden malen verder verwijderd dan de hoge zon; dat wij ze toch onder dezelfde gezichtshoek waar-

1) Vaughan Cornish, *Scenery and the Sense of Sight* (Cambridge 1935), hoofdstuk II; met een belangwekkende theorie voor het verschijnsel.

nemen, schrijven wij (onbewust) daaraan toe, dat de eerste groter is dan de tweede :

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1}{r_2}.$$

Om de juistheid van deze samenhang te toetsen, heeft men de schijnbare grootte van zon en maan op verschillende hoogten boven de kim geschat (vgl. § 117). Deze proeven zijn moeilijk.

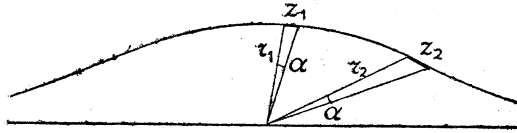


Fig. 111. Waar het hemelgewelf ver verwijderd lijkt, schijnt de zonneshijf groter.

Zowel bij dag en blauwe lucht als 's nachts bij onbewolkte sterrenhemel bewijzen de uitkomsten, dat de grootte van zon of maan inderdaad ongeveer evenredig met de afstand van het hemelgewelf schijnt te veranderen. — De laagstaande zon lijkt door de nabijheid van wolken vergroot (*niet* door voorwerpen op aarde die zich tegen de kim aftekenen); dit komt, omdat het bewolkte hemelgewelf zoveel afgeplatter is dan het onbewolkte, dus zoveel verder van ons verwijderd aan de kim, en wij de zon even ver terugschuiven, om haar althans niet vóór de wolken te denken. — Evenzo wordt de laagstaande maan, bij dag, door de nabijheid van wolkenmassa's groter geschat. Bij heldere lucht is bijzonder opmerkelijk, dat zij in de schemering veel groter lijkt dan bij dag of bij nacht; dat komt overeen met de grotere afplatting van het hemelgewelf bij de schemering. Als het 's nachts nevelig is, zodat de maan de naburige hemel sterk verlicht, wordt voor ons gevoel de weinig afgeplatte hemelvorm van de nacht weer vervangen door de platte schemeringsvorm, en de maan lijkt weer groter. Aan wie zou denken dat de schijnbaar grotere afmetingen van de maan nabij de kim of bij nevel samenhangen met de lichtverzwakking welke zij dan ondergaat, kan door twee waarnemingen geantwoord worden: *a.* de maansikkel lijkt *niet* groter bij nevel; voor ons is dit begrijpelijk, omdat de sikkel de omgevende lucht slechts weinig verlicht; *b.* bij maansverduisteringen lijkt de hoogstaande maan niet vergroot. Uit al het vorige blijkt wel, dat het aankomt op de hemelachtergrond, en dat die bepaalt hoe groot we zon en maan schatten. — Toch moeten wij toegeven, dat er ook bezwaren zijn tegen het leggen van een zo nauw verband tussen beide verschijnselen: vele mensen zien de zon of de maan aan de horizon juist „dichterbij”, of zijn

helemaal niet in staat iets over de schijnbare afstand te zeggen, terwijl ze toch sterk de indruk van de vergroting hebben. Beslissend behoeft zulk een tegenwerping mijns inziens niet te zijn; want het is mogelijk dat we, bij het rechtstreeks stellen van de vraag omtrent de afstand, andere psychologische motieven in werking brengen dan die welke bij de onbewuste beoordeling de doorslag gaven.

119. De holle aarde.¹⁾

Dit is een mooie tegenhanger van de gezichtsindruk die het hemelgewelf op ons maakt: van uit een luchtballon ziet men bij heldere lucht hoe de aarde zich in de verte opwaarts schijnt te welven, zodat ze een holle schaal lijkt boven dewelke wij zweven. Het horizontale vlak door ons oog schijnt ons altijd vlak te blijven; andere horizontale vlakken daarboven of daaronder schijnen zich in de verte altijd naar dit vaste horizontale vlak toe te buigen.

Als de ballon zich op een paar kilometer boven wolkenbanden bevindt, zien wij die gekromd, met de bolle zijde naar beneden en de holle zijde naar ons toe. Is er een wolkenlaag beneden en een andere boven ons, dan schijnen wij te zweven tussen twee reusachtige horlogeglazen.

Dezelfde begoochelingen zullen aflicht ook in een vliegtuig waar te nemen zijn.

120. De onderschattingstheorie.

Op geniale wijze is von Sterneck er in geslaagd, een wiskundige formulering te geven van het schijnbaar zo onbepaalde psychologische verschijnsel van „het hemelgewelf”. Het moge waar zijn dat hij het niet afdoende *verklaart*, hij brengt het in elk geval terug tot een grote groep waarnemingen, waar we door dagelijkse ervaring vertrouwd mee zijn.

Hoe verder de voorwerpen, hoe moeilijker het is om hun afstanden te onderscheiden. Straatlantarens verder dan 150 m lijken 's nachts alle even ver. — De bergen aan de gezichteinder, de hemellichamen lijken de een niet verder verwijderd dan de andere.

De normale, „naieve” waarnemer onderschat al de verre afstanden: een brand bij nacht; inslaande bliksem; de lichten van een haven, gezien van uit de volle zee.

Die onderschatting van de afstanden is gering voor de nabije

1) C. Flammarion, l'Atmosphère (1888), blz. 169.

voorwerpen, en wordt sterker naarmate zij verder verwijderd zijn; tenslotte nadert de schijnbare afstand tot een grens. Rechthoekige velden, gezien van uit de trein, maken de indruk van trapezia:



want de hoek waaronder ik de zijde a zie, past bij haar ware afstand, maar is te klein voor haar (geringere) schijnbare afstand. — Als de trein een tunnel nadert, en u kijkt

uit het raampje naar de gemetselde muur van de tunnelingang, ziet u de stenen zienderogen zwellen en groter worden; ¹⁾ verklaring: als de ware afstand tweemaal kleiner wordt, zien we de stenen onder een tweemaal grotere hoek, maar de schijnbare afstand lijkt ons slechts anderhalf maal kleiner (bijvoorbeeld) en dus is het alsof de stenen zelf waren gegroeid. — Het omgekeerde doet zich voor als U, achter op een trein of tram staande en in de verte turende, de zich verwijderende telegraafpalen snel ziet ineenschrompelen. ²⁾ We onderschatten de snelheid en de afstand, de gezichtshoek lijkt ons dus kleiner dan we hebben verwacht.

Von Sterneck beproefde het volgende eenvoudige verband te leggen tussen de schijnbare afstand d' en de ware afstand d :

$$d' = \frac{cd}{c+d}.$$

Hierin is c een constante voor elk bijzonder geval:

de grootste afstand die we onder de gegeven omstandigheden van belichting enz. nog kunnen schatten; hij variëert van 200 meter tot 20 km. Wij zien hoe volgens deze formule d' praktisch gelijk is aan d , zolang d klein is ten opzichte van c ; wordt d vergelijkbaar met c , dan treedt toenemende onderschatting op; voor grote d nadert de schijnbare afstand tot een grens. De formule beschrijft dus de ervaring kwalitatief goed, en uitvoeriger waarnemingen gaven ook verrassend goede quantitative overeenstemming.

De onderschattingstheorie verklaart de overschatting der berg-hellingen door den waarnemer W die beneden staat, en die

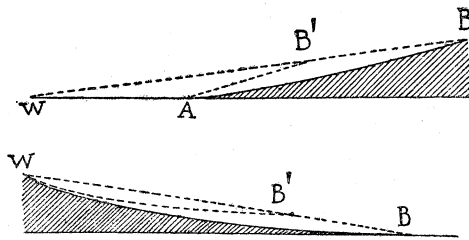


Fig. 112. De waarnemer W overschat de stijging en onderschat de daling.

1) E. Mach, Erkenntnis und Irrtum (Leipzig 1905), blz. 331.

2) Medegedeeld door Prof. E. H. Hazelhoff.

de afstand WB schat alsof het WB' was, dus AB als AB' ziet. En zij eist als logisch gevolg een onderschatting der hellingen door den waarnemer die zich op de hoogte bevindt (fig. 112). We zullen thans zien hoe zij ook de schijnbare vorm van het hemelgewelf tracht te verklaren, en daardoor dus ook de schijnbare vergroting der hemellichamen bij de kim.

Stellen wij ons bijvoorbeeld een wolkenlaag voor, op een hoogte van 2,5 km boven ons hoofd. We zouden die moeten zien als een uiterst vlakke schaal, want door de kromming der aarde is ons oog 178 km van het wolkendek bij de gezichteinder verwijderd, 2,5 km van het wolkendek in 't zenith. Zo zien we echter stellig de bewolkte hemel niet! De korte afstand wordt een weinig, de lange wordt zeer onderschat. Stel dat we de verhouding $\frac{\text{oog—gezichteinder}}{\text{oog—zenith}}$ als ongeveer 5 schatten; dan betekent

dit, dat in deze omstandigheden $c = 10,6$ km bedraagt: de onderschattingsformule levert dan de goede waarden (beproof dit!). Hieruit volgt, dat we de bewolkte lucht als een soort gewelf, een „omwentelingshyperboloïde" moeten zien, wat inderdaad met de algemene indruk overeenkomt die wij ervan krijgen. — Merk op, dat we dus eigenlijk het hemelgewelf niet afgeplat zien, maar juist relatief *hoger* dan het is!

Hoe wordt het nu echter voor de blauwe lucht, voor de sterrenhemel? Von Sterneck neemt telkens maar een andere waarde van c , en het blijkt dat zijn formule dan in elk bepaald geval de waarnemingen verrassend goed beschrijft. Het wordt echter wel moeilijk te begrijpen hoe wij in deze gevallen kunnen spreken van een bepaalde „afstand", die onderschat wordt. — En zo komen wij tot de algemener vragen: hoe krijgen wij enige indruk van afstand bij zulke onbepaalde voorwerpen als wolken? En bij de blauwe lucht? Bij de onbewolkte nachthemel? De onderschattingstheorie moge waar zijn voor aardse voorwerpen, over wier afmetingen en afstanden we door allerlei ervaringen ingelicht zijn, — het lijkt zeer twijfelachtig of zij op het uitspannel toegepast mag worden. Daarenboven is de oorsprong der onderschatting nog onopgehelderd.

121. De blikrichtingstheorie van Gauss.

Er zijn nu een reeks waarnemingen, die aantonen dat de vorm van het hemelgewelf en de schijnbare vergroting der hemellichamen nabij de kim in hoofdzaak samenhangen met de blikrichting ten opzichte van ons lichaam. Door de ervaring van vele

geslachten zijn we beter ingesteld op het waarnemen vóór ons uit dan in de hoogte, en dit heeft blijkbaar invloed op de schatting van afstanden en afmetingen.

Als de volle maan hoog aan de hemel staat, zetten wij ons in een schommelstoel; of op de grond, met de rug tegen een hellend voorwerp. Terwijl we aldus in sterk achteruit hellende houding waarnemen, maar het hoofd in zijn gewone stand ten opzichte van het overige van het lichaam houden, schijnt de maan ons merkbaar groter. Komen we gauw overeind, zodat onze blik nu naar boven gericht moet worden, dan lijkt ze weer kleiner. Omgekeerd lijkt de volle maan nabij de gezichteinder veel kleiner als we ons naar voren buigen.

Beide verschijnselen kan men afwisselend zien als de zon 30° tot 40° hoog zit, en haar licht door mist getemperd is. Buig u achteruit en vooruit:

de schijf lijkt afwisselend groter en kleiner. Leg u met de rug plat op de grond: het hemelgewelf lijkt samengedrukt aan de

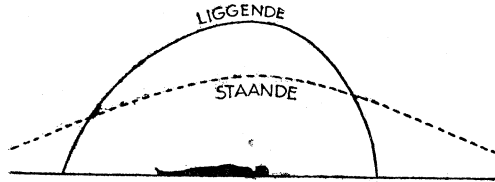


Fig. 113. De vorm van het hemelgewelf voor een staanden en voor een liggenden waarnemer.

zijde naar dewelke nu onze schedel gekeerd is; terwijl het aan de tegenovergestelde zijde zuiver bolvormig lijkt (fig. 113). Wij zien hier duidelijk, dat de (t.o.v. ons lichaam) naar beneden gerichte en de vooruit gerichte blik ongeveer gelijkwaardig zijn, terwijl de naar boven gerichte blik de voorwerpen samengedrukt doet lijken.

Hang u met de knieën aan een rekstok en kijk rond met het hoofd naar beneden: u ziet het hemelgewelf als een halve bol.¹⁾

Al deze waarnemingen bevestigen elkaar. Hier komt nog bij, dat sterrebeelden, gezien door een kijker, dus onttrokken aan de invloed van het landschap, insgelijks groter schijnen wanneer ze zich laag boven de kim bevinden; het enige dat hier invloed kan hebben is de blikrichting.²⁾

Beproof nu niet een verdere contrôle te verkrijgen door de schijnbare grootte van zon of maan in een spiegel te beoordelen, en aldus bv. de hoogstaande maan met horizontale blikrichting te bekijken. Zodra de waarnemer iets merkt van de aanwezigheid

1) Vgl. ook O. Baschin, Naturwiss. 7, 510, 1919; 13, 346, 1925.

2) J. van der Bilt, Hemel en Dampkring 7, 56, 1909.

van een spiegel, is de begoocheling al ten dele verdwenen. Deze soort proef is daarom zeer moeilijk goed uit te voeren.

Verschillende andere theorieën omtrent de hier besproken gezichtsindrukken zijn gemakkelijk te weerleggen. Zo heeft men wel beweerd, een „physische theorie” van de vorm van het hemelgewelf te kunnen geven, welke theorie dan blijkt neer te komen op het zeer onbegrijpelijke beginsel, dat we de hemel des te verder verwijderd zien naarmate zijn helderheid groter is, en wel evenredig met de wortel uit de helderheid. ¹⁾ De blauwe hemel is donkerder in 't zenith dan aan de horizon, en zou daardoor gedrukt schijnen. Deze theorie wordt echter afdoende weerlegd, doordat de gelijkmatig bewolkte hemel gebleken is *helderder* te zijn in het zenith dan aan de kim, ²⁾ terwijl we hem toch ook gedrukt zien. Bij bewolkte lucht schijnt trouwens de plaats waar de zon zit, en die helderder lijkt, altijd dichter bij ons dan de omringende delen van het uitspansel.

Een der meest algemene gezichtsbegoochelingen is de verrassende kleinheid van alles wat men van op een hoge toren ziet. Vooral de kinderen, die heerlijk „naieve” waarnemers, kunnen zich niet genoeg verwonderen over de mannetjes en karretjes die daar beneden krioelen, en die wel bij een poppenspel schijnen te horen, terwijl ze toch zo sierlijk en „net echt” heen en weer bewegen. Klaarblijkelijk onderschat de waarnemer zijn hoogte boven de grond, en wel in belangrijke mate, zodat hij zich verbaast over de kleine gezichtshoek waaronder hij de dingen daar beneden ziet.

Het zou zeer de moeite waard zijn, na te gaan waar deze onderschatting mee samenhangt.

122. Invloed van de aardse voorwerpen op de schatting van de afstand tot het hemelgewelf. ³⁾

Plaats u vóór een lange rij huizen en kijk naar de middelste daarvan: de hemel daarboven is *veel* dichter bij u, boven de uiteinden van de rij is hij veel verder verwijderd. — Evenzo lijkt de hemel boven het bos veel dichter bij ons, over 't vrije veld veel verder weg.

Blijkbaar schatten we dus de afstand van het hemelgewelf op 50 of 60 meter bv.; maar het is voldoende dat we voorwerpen zien waarvan we de verre afstand *kennen*, opdat hun hemelachtergrond ons onmiddellijk veel verder verwijderd zou schijnen:

1) Dember en Uibe, Ann. Phys. **61**, 313, 1920.

2) H. Stücklen, Zur Frage nach der scheinbaren Gestalt des Himmelsgebölbes. Diss. Göttingen, 1919.

3) G. Ten Doesschate, Nederl. Tijdschr. voor Geneeskunde, **74**, 748, 1930. Pohl, Naturwiss. **7**, 415, 1919.

de aardse voorwerpen nemen in zekere mate elk hun hemelachtergrond met zich mee. — Men ziet hoe zuiver psychologisch al deze verschijnselen bepaald zijn, en hoe onmogelijk het is, te spreken van een ideaal „referentie-oppervlak” dat voor ons het hemelgewelf zou zijn!

Kijk langs een lange spoorweglijn of een grote weg met bomen, die ons duidelijk de grote afstand tot bewustzijn brengen: de hemel lijkt in die richting veel verder verwijderd dan in andere richtingen.

Bedek echter het landschap tot aan de gezichteinder met behulp van een stuk papier: de gezichteinder komt ineens dichterbij.

Bij wijze van tegenproef kunnen we op een dergelijke wijze aan de blik een geleiding geven in *vertikale* richting: de hemel lijkt daar dan hogergeworden. Buitengewoon treffend is

dit verschijnsel aan de voet van een hoge toren, of nog beter bij de hoge ranke masten van een groot radiostation. Het hemelgewelf daarboven schijnt een soort koepelvormige opwelving te vertonen; tussen drie masten lijkt de gehele hemel opwaarts gedrukt. Verschillende waarnemers tekenen onafhankelijk van elkaar de schijnbare vorm op dezelfde wijze (fig. 114).

Kijkend naar zulk een mast vindt u een veel groter halveringshoek (§ 115) dan wanneer u op enige afstand een nieuwe bepaling doet met de rug naar de mast gekeerd. Bedek de horizon terwijl u naar de mast kijkt: er komen nu zelfs halveringshoeken van meer dan 45° , tot 56° toe! Het hemelgewelf wordt dus nu hoger dan een halve bol gezien!

Hoe overtuigend deze waarnemingen ook zijn, — toch bedenken men dat zij, op zichzelf beschouwd, nooit de vorm van het hemel-

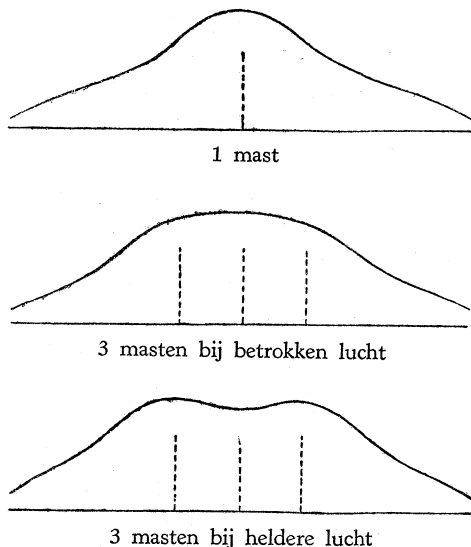


Fig. 114. De schijnbare vorm van het hemelgewelf boven radiomasten.

gewelf of de schijnbare vergroting aan de kim kunnen verklaren. Ook als men door een zeer donker glaasje waarneemt, ziet men nog altijd de hoge zon klein, de lage zon groot, terwijl er dan van het landschap niets meer te bemerken is.

123. De schijnbare grootte van zon en maan, gemeten in centimeters. De methode der nabeelden.¹⁾

We weten dat de „grootte” van zon en maan niet in lengtemaat door ons waargenomen kunnen worden; we kunnen alleen de *hoek* aangeven waaronder wij ze zien. En toch is het merkwaardig, dat een groot aantal mensen volhouden dat ze die hemellichamen zien „als een soepbord”; daarnaast is er een minderheid, die afmetingen opgeeft van de orde van een geldstuk. Wie daarover glimlacht, bedenke wel, dat ook een wetenschappelijk geschoold man het als een volstrekte onmogelijkheid *voelt*, de grootte der maan op te geven als 1 mm of als 10 meter; terwijl hij toch *weet*, dat 1 mm op 10 cm afstand, of 10 meter op 1 kilometer de maanschijf precies zouden bedekken. De psychologische factoren die hier een rol spelen zijn nog zeer weinig bekend.

Iedereen weet, dat men nabeeldjes van de zon te zien krijgt als men heel vluchtig in het felle hemellichaam kijkt en knipoogt (§ 88). Zulk een nabeeldje projekteert zich nu op elk voorwerp waar men naar tuurt; op een dichtbijge muur maakt het de indruk van een erg klein, nietig ding; op verder verwijderde voorwerpen gezien, lijkt het groter. (Let wel: we schatten niet de gezichtshoek, maar de grootte van „het ding zelf”). Dit effect is volkomen begrijpelijk, want wil een voorwerp op afstand onder dezelfde hoek gezien worden als een voorwerp dichtbij ons, dan moet het in lengtemaat groter zijn. — Vraag: *wanneer lijkt het nabeeld even „groot” als de zon zelf?* Verschillende waarnemers oordeelden, dat dit het geval was, wanneer de muur 50 tot 60 m verwijderd was, en wel geldt dit even goed bij dag als bij nacht: ziedaar dus de afstand waarop wij de maan en de zon van ons verwijderd voelen. Aangezien de gezichtshoek $\frac{1}{108}$ is, zou dit overeenkomen met een middellijn van 45 tot 55 cm.

Op dezelfde wijze kon aangetoond worden, dat het nabeeld op een muur die verder verwijderd is dan 60 m, nog altijd even groot lijkt als dat op de hemel vlak erboven (dus aan de kim). Terwijl het nabeeld, hoog in de lucht geprojecteerd, bepaald kleiner leek dan dat op een muur van 60 m afstand. Hier blijkt

¹⁾ Plateau, Bull. Acad. Belg. 49, 316, 1880. — G. ten Doesschate, Ned. Tijdschr. voor Geneesk. 74, 748, 1930.

dus nog eens, dat wij inderdaad de afstand tot aan het hemelgewelf boven ons hoofd kleiner zien dan de afstand tot de kim, en dat 60 m al enigszins de grensafstand is van de onderschattings-theorie (vgl. § 114).

124. **Het tafereel.**

Door een nameting van zijn vroegere schetsen, heeft Vaughan Cornish¹⁾ getracht een belangwekkende grootheid te bepalen: de omvang (in hoekmaat) van het veld dat de mens als een eenheid ziet, *het tafereel*. De algemene indruk van een landschap hangt daar nauw mee samen. Het tafereel, gemeten in hoekmaat, wordt kleiner in de vlakke, groter in 't gebergte; het is groter bij nacht dan bij dag. Hoe beperkter dit tafereel, des te kleiner worden zon en maan getekend; na omrekening in boogmaat echter blijkt dat ze juist groter waargenomen zijn.

1) *Scenery and the Sense of Sight* (Cambridge, 1935).

REGENBOGEN, KRINGEN, KRANSEN.

Regenbogen.

De volgende eenvoudige waarneming is een detailstudie ter inleiding tot het begripen van de regenboog. Wat wij hier aan een enkel waterspatje zien gebeuren, zal zich straks in miljoenen regendruppels vertonen en de kleurenboog doen ontgloeien.

125. **Interferentieverschijnselen aan regendruppels.**¹⁾

De velen onder ons die ook buitenshuis een bril dragen, klagen over de regendruppels die de beelden vervormen en bijna onherkenbaar maken. Misschien kan het hen troosten, als we de aandacht vestigen op de *prachtige* interferentieverschijnselen die 's avonds in diezelfde regendruppels waar te nemen zijn: het is voldoende, de blik te richten naar een verre lichtbron, een straatlantaren bijvoorbeeld. Een druppel die zich toevallig vóór de pupil bevindt, verschijnt dan als vreemd gevormde lichtvlek, met zonderlinge uitsteeksels en inhammen, en is omzoomd door wondermooie buigingsstrepen, waarin ook kleuren zijn te onderscheiden (fig. 115a).

Een eerste merkwaardigheid is, dat de lichtvlek op haar plaats blijft, ook al verschuift men het lorgnet (een weinig) heen en weer. Een tweede, dat de algemene vorm en de uitbochtungen van de lichtvlek op het eerste gezicht geen verband schijnen te hebben met de vorm van de druppel. De verklaring is eenvoudig: vat het oog op als een kijkertje dat een beeld geeft van de verre lichtbron, de waterdruppel als een groep prisma'tjes die vóór het objectief worden gehouden. Dan is het duidelijk, dat elk prisma'tje een groep stralen opzij werpt, onafhankelijk van de plaats van het objectief waar het zich bevindt (mits nog binnen de objectiefopening); de vorm van de lichtfiguur zal echter

1) A. Poppe, Pogg. Ann. **95**, 481, 1855. — Larmor, Proc. Cambr. Philos. Soc. **7**, 131, 1891. — Bouasse, Diffraction, blz. 415 en vlg.

afhangen van de grootte van de brekende hoek en van de oriëntering van elk prisma'tje. Een vertikaal uitgerekte waterdruppel geeft inderdaad een horizontaal uitgerekte lichtvlek.

Maar nu de buigingsstrepen! Zij zouden er niet zijn, wanneer de waterdruppel toevallig de zuivere lensvorm had, en de lichtbron streng in een punt afbeeldde; want dan kwamen alle delen van een golf, die tegelijk van de lichtbron vertrokken zijn, ook tegelijk in het

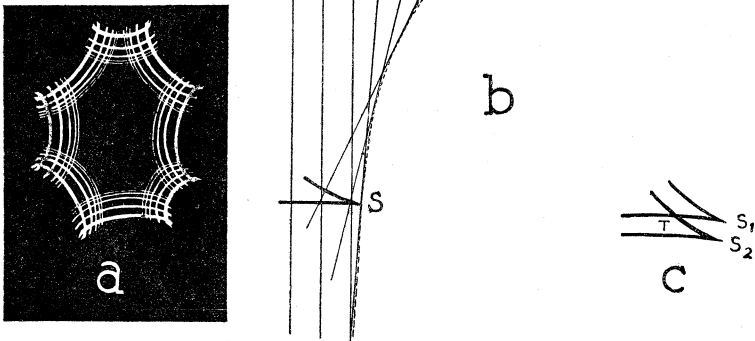


Fig. 115. Buiging der lichtstralen aan een regendruppel op een lorgnetglas.

a. Interferentiefiguur. — b. De loop der lichtstralen; gestippeld: de omhullende brandlijn; met dikke lijn aangegeven: het golfoppervlak, dat bij S zijn omkeerpunt heeft. — c. Twee opeenvolgende golffronten, beide door T gaande.

beeldpunt aan. Maar het wateroppervlak is onregelmatig gekromd; de gebroken stralen ontmoeten elkaar niet in een brandpunt, maar worden omhuld door een *brandlijn* (fig. 115b). En in zulk een geval blijkt altijd, dat een punt in de nabijheid van de brandlijn door twee verschillende stralen getroffen wordt, die een verschillend lange lichtweg hebben afgelegd: er treedt dus interferentie op. Trekt men het golfoppervlak, dan blijkt dit een omkeerpunt te vertonen; op éénzelfde ogenblik gaan er door een punt T dus altijd twee golfoppervlakken, met een bepaald fazeverschil (fig. 115c).

De afstanden der donkere strepen, gemeten van een vast punt uit, zijn gegeven door de wet: $\sqrt{(2m+1)^2}$, waarin $m = 1, 3, 5, \dots$ Zij verhouden zich dus zoals 2,1; 3,7; 5,0; 6,1; enz.

Naast de buigingsstrepen die de druppel omranden, zijn er ook zwakkere, die als ringetjes te zien zijn om elk stofje dat zich in de druppel of op het lorgnetglas bevindt. Hoe zorgvuldiger men het glas schoonmaakt, hoe minder van die ringetjes men waarneemt. Het is de moeite waard al deze bijzonderheden liefdevol te bestuderen.

126. Het ontstaan van de regenboog.

*Mijn hart springt op als in de lucht
Een regenboog ik zie.*

Wordsworth, *The Rainbow*.

*. . . . De goudene Iris lacht!
En stil oversprei ik de vale vallei
Met een gloed van zonnig smaragd.*

J. Perk, *Iris*.

Zomermiddag. Drukkend warm. Donkere wolken aan de westelijke gezichteinder: een bui komt op! Snel verheft zich een zwarte wolkenboog, waarachter de lucht in de verte weer schijnt op te klaren; de voorste rand heeft een lichte zoom van cirri met fijne, dwarse streping. Hij overwelpt de hele hemel, trekt geweldig over ons heen met een paar donderslagen. Weer schittert de reeds lage zon. En in de bui die zich naar het Oosten verwijderd welft zich een rijkgekleurde, wijdgespannen regenboog.

Wanneer hij ook moge ontstaan, altijd vormt zich de regenboog door een lichtspeling in waterdruppels. Meestal zijn het regendruppels, soms de fijnere druppels van een nevel. In de allerfijnste druppeltjes, die waaruit de wolken bestaan, is hij echter nooit te zien. Als dus iemand beweert dat hij een regenboog in een sneeuwbuï heeft gezien,¹⁾ of een ander maal bij geheel heldere lucht,²⁾ wees dan maar zeker dat de sneeuw half gesmolten was of dat er een van die fijne regentjes viel die soms zonder bewolking kunnen ontstaan! Tracht ook zelf dergelijke belangwekkende waarnemingen te doen.

De druppels waarin de regenboog ontstaat, zijn meestal niet veel verder dan een of twee kilometer van ons verwijderd. In een bepaald geval zag ik de regenboog zich duidelijk aftekenen op de donkere achtergrond van een bos dat 20 m van mijn oog verwijderd was: de regenboog zelf vormde zich dus nog dichterbij. Verschillende waarnemers berichten, dat afstanden van 3 of 4 meter soms voldoende zijn.

Een Engels bijgeloof zegt, dat er een pot goud te vinden is bij de voet van de regenboog! Nog zijn er mensen die zich voor-

1) Das Wetter, 30, 117, 1913.

2) Ibid. blz. 214; ook 55, 404, 1938.

stellen dat die voet werkelijk bereikbaar is, dat je er naartoe kunt fietsen, dat daar een zeer bijzonder tintelend licht te zien is. Het moet duidelijk zijn dat de regenboog niet op een bepaald punt is, als een echt ding; hij is niets anders dan *licht dat van uit een bepaalde richting komt*.

Beproof de regenboog te fotograferen op ortho- of panchromatische film, met licht geelfilter; belichting $\frac{1}{10}$ sec met F/16.

127. Beschrijving van de regenboog. (Plaat VIIIa).

De regenboog van Rubens is dofblauw, donkerder dan de lucht. Rubens verdient geen verwijt omdat hij geen optica kende, maar omdat hij nooit eens aandachtig naar een regenboog gekeken heeft.

Ruskin, *The Eagle's Nest*, 22, 212.

De regenboog is een deel van een cirkel; het ligt voor de hand, schattenderwijze zijn „middelpunt” te zoeken, dit wil zeggen: de richting waarin we dat middelpunt zien. Het blijkt ons al dadelijk, dat een lijn die we naar dit middelpunt zouden trekken ergens onder de gezichteinder uitkomt, en wel in het tegenpunt der

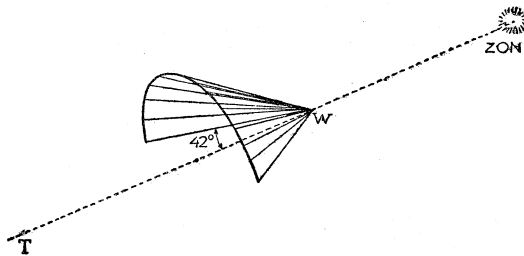


Fig. 116. De richting ten opzichte van de Zon, waarin wij de regenboog waarnemen.

zon T. Denk u dus de verbindingslijn van de zon naar het oog van den waarnemer W, verlengd en in de Aarde dringend: dat is de as waarop als een wiel de regenboogkring zit (fig. 116). De stralen van de regenboog naar het oog vormen een kegelmantel, elk hunner vormt met de as een hoek van $42^\circ =$ halve tophoek van de kegel.

Naarmate de zon lager komt te staan, stijgt het tegenpunt, dus tevens ook de gehele regenboog, terwijl hij zich als een steeds toenemend gedeelte van de cirkelomtrek boven de gezichteinder verheft, en bij zonsondergang een halve cirkel is geworden. Anderzijds verdwijnt hij geheel onder de gezichteinder als de zon hoger dan 42° staat: dit is de reden waarom in onze gewesten niemand ooit een regenboog in de zomer omstreeks middagtijd heeft gezien.

Meet zelf de halve tophoek, bijvoorbeeld door met een speld een briefkaart tegen een boom te bevestigen, en die zó te richten dat een harer kanten nauwkeurig naar de top van de regenboog

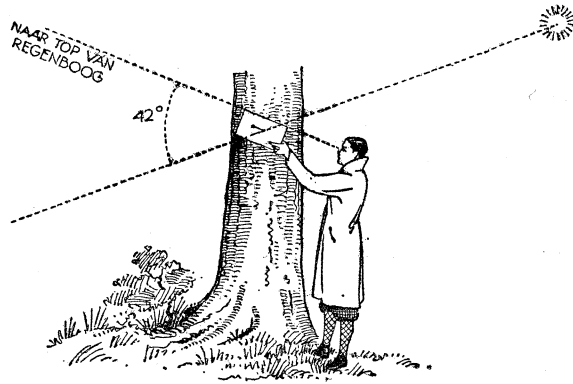


Fig. 117. We meten de hoekafstand van de regenboog tot het tegenpunt der zon.

wijst; de schaduw van de speld geeft de lijn zon-waarnemer, en de hoekafstand van de regenboog tot het tegenpunt der Zon is rechtstreeks af te lezen (fig. 117).

Men kan ook met een der methoden van § 250 de tophoogte h bepalen en

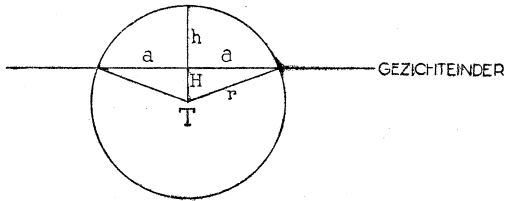


Fig. 118.

metingen vindt men drie verschillende waarden voor de gezochte straal r , waarvan men het gemiddelde kan nemen (zie fig. 118):

$$\begin{aligned} r &= H + h \\ \cos r &= \cos a \cdot \cos H \\ \operatorname{tg} r &= \frac{1 - \cos a \cdot \cos h}{\cos a \cdot \sin h} \end{aligned}$$

Eigenlijk zou de regenboog niet als een boog, maar als een gesloten cirkel zichtbaar moeten zijn; dat we hem niet lager

dan de gezichteinder kunnen volgen, is alleen daaraan toe te schrijven dat er in benedenwaartse richtingen geen zwevende regendruppels te zien zijn. In „Physica”¹⁾ werd opgemerkt, dat men van uit een vliegtuig de volledige regenboogkring moet kunnen zien, met de schaduw van het vliegtuig in 't centrum. Dit grootse schouwspel is inderdaad wel eens waargenomen.²⁾

Een *nevenregenboog* om de hoofdregenboog wordt door veel mensen als iets uitzonderlijks beschouwd. Feitelijk echter is hij heel dikwijls, bijna altijd te zien, ofschoon natuurlijk veel zwakker dan de hoofdboog. Hij is er concentrisch mee, heeft dus ook het tegenpunt der Zon als middelpunt, maar zijn stralen vormen een hoek van 51° met de as Zon-oog.

De „zeven kleuren van de regenboog” bestaan slechts in de verbeelding, het is een spreekwijze die een taai leven heeft, omdat we zo zelden de dingen zien zoals ze zijn! In werkelijkheid lopen de tinten geleidelijk in elkaar over, maar onwillekeurig sorteert het oog hen in enkele groepen. En nu is het opvallende, dat de verschillende regenbogen sterk onderling verschillen; ja, dat eenzelfde regenboog in de loop der waarneming veranderen kan en ook op eenzelfde ogenblik anders is bij de top dan onderaan. Vooreerst vindt men al grote verschillen, wanneer men eenvoudig de totale breedte van de kleurenband in hoekmaat meet (zie het aanhangsel, § 250). Verder is de volgorde wel altijd: rood—oranje—geel—groen—blauw—violet; maar in de verhouding der breedten van de onderscheidene kleuren en in hun helderheden zijn allerlei spelingen mogelijk. Het is mijn indruk dat verschillende waarnemers éézelfde boog niet altijd gelijk beschrijven; om dus zeker te zijn van verschil tussen de regenbogen moet men of de waarnemingen van één enkel persoon onderling vergelijken, of vooruit nagegaan hebben, dat twee waarnemers ongeveer overeenstemmen.

Bij dit „eerlijk” beschrijven van de regenboogkleuren ontdekt men het merkwaardige feit, dat er dikwijls na het violet aan de binnenzijde van de boog nog verscheidene *overtallige bogen* komen; men ziet ze meestal het best waar de regenboog het helderst is, bijvoorbeeld nabij het hoogste punt. Hun kleuren zijn meestal afwisselend rose en groen. Eigenlijk is hun naam verkeerd gekozen, want ze behoren even goed bij de regenboog als de „normale” kleuren, al zijn ze dan ook zwakker. Dikwijls veranderen deze overtallige bogen vrij snel in sterkte en uit-

1) Physica, **11**, 288, 1931.

2) Flammarion, l'Atmosphère, blz. 214 (1888).

gebreidheid, wat wijst op veranderingen in de grootte der druppels (§ 130).

In de nevenregenboog zijn de kleuren in omgekeerde volgorde van die van de hoofdregenboog gerangschikt: *de twee bogen heren het rood naar elkander toe*. Zeer zelden is de nevenregenboog zo helder, dat zijn overtallige bogen zichtbaar worden; ze volgen daar ook op het gewone violet, en komen dus aan de buitenkant van de nevenregenboog voor.¹⁾

*Zoals zich over tere wolken welven
twee bogen, evenwijdig, evenkleurig,
de buitenste uit de binnenste geboren, . . .*

Dante, Paradiso, Cant. XII, v. 10.

128. De regenboog in kunstmatige wolken.

Het ontstaan van de regenboog in een zwerm waterdruppels wordt ons rechtstreeks zichtbaar gemaakt als we de zon zien schijnen in de fijne stofregen die om fonteinen en watervallen zweeft. Aan de kant van een stoomboot op zee, waar de boeggolf breekt en in schuim uiteenspat, ziet men soms regenbogen die heel lang met het schip meelopen, nu sterker, dan zwakker, al naar dat de wolk van druppeltjes dichter of ijler is; vooral wanneer het schip ongeveer in de richting naar de zon toe stoomt, is er veel kans dat u in de juiste richting zult kunnen kijken.

Eenvoudige hulpmiddelen om in de tuin een regenbui na te bootsen, waarin de zon regenbogen zal toveren:

1. een tuinslang, waarmee men een wolk van druppeltjes kan sproeien;

2. het toestelletje van Tyndall,²⁾ waarbij een waterstraal onder druk tegen een rond metalen schijfje spuit, en zich in druppeltjes oplost;

3. de verstuiver van Antolik³⁾ (fig. 119). Het is voldoende, krachtig met de mond bij *a* te blazen. De grootte der druppeltjes is te regelen door het buisje *bcd* een paar mm hoger of lager in te stellen t.o.v. de wijdere buis *ef*, hetgeen bereikt wordt door verschuiven van de doorboorde kurkschijf *g*; het komt ook aan op de grootte der uitlaatopening *u*. Men kan water bijvullen door de wijdere buis *a* zonder het toestelletje te moeten openen. Mijn ervaringen met dit toestelletje zijn voortreffelijk.

1) Waargenomen door Brewster in 1828.

2) Phil. Mag. **17**, 61, 1883.

3) Zs. phys. chem. Unterr. **4**, 275, 1891.

De verstuiers voor kamerplanten geven zó fijne druppeltjes, dat men daarin geen echte regenboog meer ziet, alleen een witte „mistboog” met blauwe en gele randen (vgl. § 135); slechts hier en daar verschijnen toevallig enkele zwermen grotere druppels en ziet men de gewone regenboog opflitsen. Zoek de regenbogen altijd in een richting die 42° van het tegenpunt der zon verwijderd is, en liefst tegen een donkere achtergrond!

Bij dergelijke proeven kan men verschillende aardige waarnemingen doen. Men ziet deze regenbogen dikwijls als een geheel gesloten cirkel, omdat er nu ook *onder* de horizonlijn voldoende waterdruppeltjes zweven. — Als we ons verplaatsen, beweegt de regenboog met ons mee: hij is geen „voorwerp”, men ziet hem niet op een bepaalde plaats, maar in een bepaalde richting; men zou kunnen zeggen dat hij zich gedraagt als een oneindig ver verwijderd ding, dat zich met ons mee verplaatst zoals de maan „meeloopt”. — Als men vlak bij de wolk van druppels staat, zoals bij het sproeien met de tuinslang, ziet men twee regenbogen door elkaar! Hoe komt dat? Sluit afwisselend het éne en het andere oog: het blijkt dat ieder oog zijn eigen regenboog ziet (hetgeen uit het meelopen van de regenboog ook volgt).

Tracht eens een stereoskopische foto te maken van een dergelijke regenboog! — Dikwijls kan men de nevenregenboog en de overvallige bogen mooi zien. — Verandert de richting van de straal of ziet men de regenboog op andere punten van de wolk, dan verandert de kleurschakering in de boog: de druppeltjes hebben daar blijkbaar een andere gemiddelde grootte.

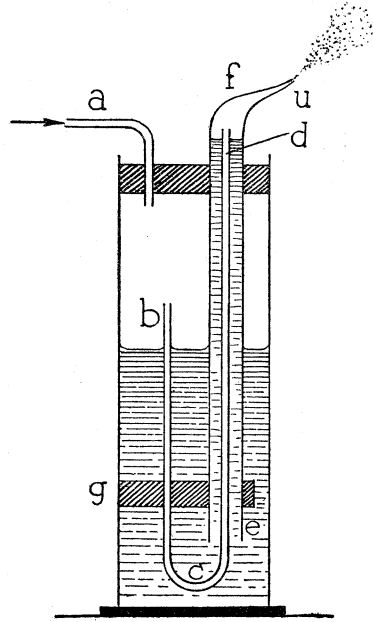


Fig. 119. Verstuiwer voor het nabootsen van de regenboog.

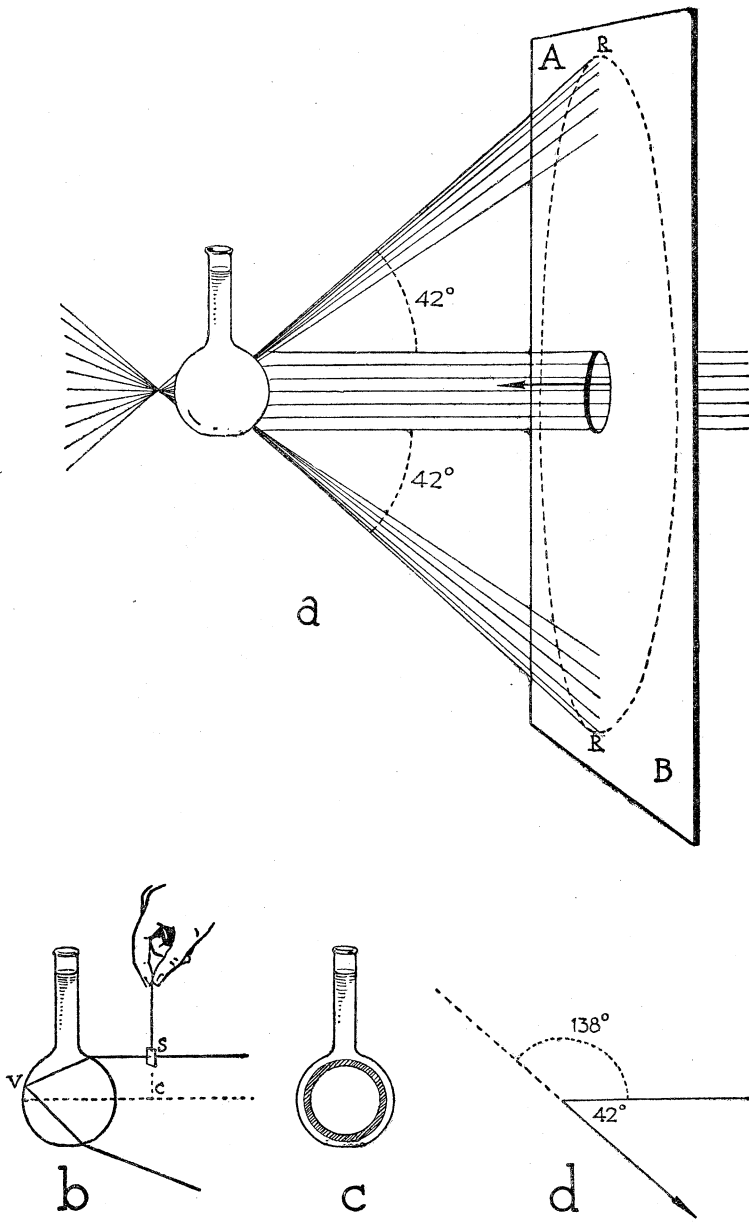


Fig. 120. Nabootsing van de regenboog met behulp van een kookfles met water.

129. Descartes' theorie van de regenboog.

Om te onderzoeken hoe het licht in een waterdruppel loopt, nemen we een kookfles, gevuld met water, en houden die in het zonlicht (fig. 120a). Op een scherm AB, waarin we een passende opening gesneden hebben (iets groter dan de fles), tekent zich nu een zwakke regenboog R af; hij vormt een gesloten kring, zijn hoekafstand is inderdaad ongeveer 42° , en hij heeft het rood naar buiten gekeerd net als een echte regenboog.

De proef lukt ook met een bekerglas of zelfs met een gewoon drinkglas, dat echter min of meer cilindervormig moet zijn. Men werkt dan 's ochtends of 's avonds bij laagstaande zon; op het scherm verschijnt geen cirkel, maar een paar evenwijdige strepen.

Houd vóór de kookfles in S een scherpje dat aan een draadje bevestigd is: er verschijnt een schaduw onder aan de regenboog (fig. 120b). Druk de vochtige vinger ergens bij V tegen de kookfles: er verschijnt een donkerder vlek op dezelfde plaats onder aan de regenboog. Blijkbaar wordt de regenboog dus gevormd door stralen die op de afstand SC van de centrale lijn invielen, en die achter in de waterdruppel in V teruggekaatsd zijn. Als men een ring van enkele mm breedte en 0,86 maal de middellijn van de kookfles goed gecentreerd in de invallende bundel houdt, verdwijnt de regenboog geheel en al (fig. 120c).

Fig. 121 geeft de nauwkeurige stralengang, berekend uit de gewone wetten der terugkaatsing en der breking. Men ziet dat de lichtstralen, die op de druppel invallen, verschillend sterk afwijken volgens het punt waar ze hem treffen; een van die stralen wijkt het minst van alle af, nl. 138° . De uittredende stralen zijn nu over al de verschillende richtingen uitgespreid, alleen die, welke de kleinste afwijking ondergaan zijn onderling bijna evenwijdig en bereiken ons oog dus met de grootste „dichtheid”. De kleuren ontstaan, doordat de verschillende stralensoorten ietwat verschillend breekbaar zijn, en zich een weinig in stralengang en uittredingsrichting van elkaar onderscheiden.

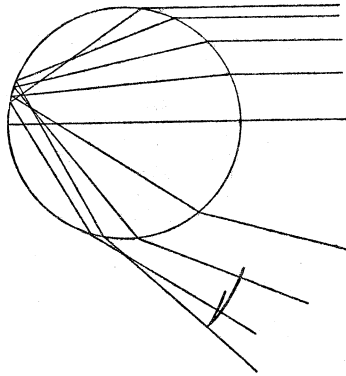


Fig. 121. Het verloop der lichtstralen in een waterdruppel en het ontstaan van de regenboog. De dikke lijn geeft het golfoppervlak aan.

In een goed donker gemaakte kamer kan men ook de nevenregenboog zich bleek op het scherm zien aftekenen, onder een hoek van 51° met de as, 231° ten opzichte van de invallende stralen afwijkend (fig. 122). Door dergelijke proeven als voor de hoofdregenboog bewijst men dat hij ontstaan is uit de *tweemaal* teruggekaatste stralen. De volgorde zijner kleuren is de omgekeerde van die van de hoofdboog, net zoals in de natuur.

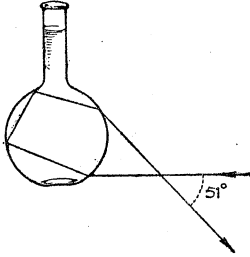


Fig. 122. Het ontstaan van de nevenregenboog.

Denk u nu elk van de druppeltjes ener wolk, aldus veel licht terugkaatsend in een kegelmantel van 42° , en minder in een kegelmantel van 51° . Al de druppels die wij op een hoekafstand van 42° van de invallende zonnestrallen zien, liggen net zó dat ze hun eerste regenbooglicht naar ons oog zenden; en die welke wij op 51° afstand zien, zenden ons hun tweemaal terug-

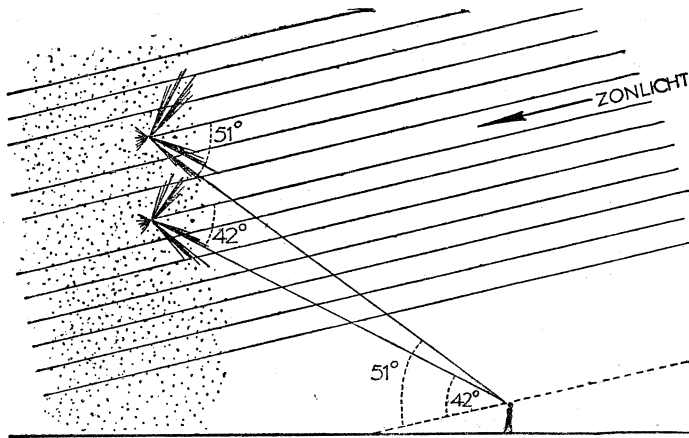


Fig. 123. Zonlicht, dat op een zwerm regendruppels valt, tovert daarin een regenboog en nevenregenboog.

gekaatste stralen. Zo ontstaan dus voor ons de hoofd- en de nevenregenboog (fig 123).

130. De buigingstheorie van de regenboog.

Bij de theorie van Descartes werd alleen gedacht aan de minst afwijkende stralen, alsof die er alleen waren. In werkelijkheid zijn er echter ook een aantal die meer afwijken, en die samen

door een gebogen *brandlijn* worden omhuld. Dat zijn nu juist de omstandigheden waaronder *interferentie* optreedt, zoals wij het hebben gezien nabij de brandlijnen van regendruppels op een lorgnetglas (§ 125). En vooral wanneer de druppels klein worden, komt men er niet meer met *lichtstralen* te beschouwen, maar moet men het *golfoppervlak* onderzoeken, dat in de nabijheid van zulk een brandlijn een *omkeerpunt* vertoont (fig. 121).

Dit golfoppervlak beschouwt men volgens het beginsel van Huygens als de stralingsbron, die het licht uitzendt, en onderzoekt hoe de trillingen die van elk deel ervan in ons oog samenkomen onderling interfereren. Deze rekening, uitgevoerd door Airy, aangevuld en toegepast door Stokes, Möbius, Pernter, leidt tot de beroemde regenboogintegraal $A = c \int_0^{\infty} \cos \frac{\pi}{2} (u^3 - zu) du$, die de amplitude aangeeft van het licht dat ons oog treft, als funktie van de hoek z met de richting der minstafwijkende stralen. Die integraal wordt door reeksontwikkeling berekend, en de lichtsterkte die we in een richting z zien is dan eenvoudig gegeven door A^2 .

In fig. 124 ziet men voor één bepaalde kleur, hoe de lichtverdeling die we bij grote druppels gevonden hebben (a), bij kleine druppels door de buiging gewijzigd wordt (b). De minstafwijkende stralen bij $z = 0$ bepalen nog wel in hoofdzaak het verschijnsel, maar er zijn een aantal zwakkere maxima ontstaan.

Nu moet men dergelijke krommen afzonderlijk tekenen voor een aantal kleuren en die al naar de golflengte ten opzichte van elkaar verschuiven; voor elke afwijkingshoek z krijgt men een mengsel, de kleuren van de regenboog zijn dus nooit echt verzadigde tinten. Aangezien het eerste en sterkste maximum van elke kleur de hoofdrol speelt, en die hoofdmaxima bij toenemende golflengte geleidelijk verschuiven, zien wij de regenboogkleuren in grote trekken zoals dit uit de elementaire theorie zou volgen. De wijzigingen door de buiging bestaan daarin, dat de kleuren er ietwat anders uitzien naarmate van de grootte der druppeltjes, en dat er aan de binnenzijde van de

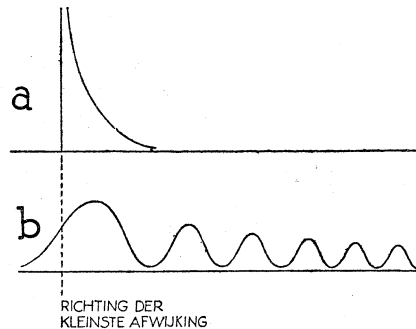


Fig. 124. Lichtverdeling in de stralenbundel die uit een waterdruppel komt: a. volgens de eenvoudige theorie van Descartes; b. volgens de buigingstheorie.

boog overtallige bogen verschijnen. Tenslotte is nog te bedenken, dat de zon geen punt is, en dat dus de zonnestralen niet streng evenwijdig zijn (§ 1), zodat ze door hun spreiding over een hoek van ruim een halve graad de regenboogkleuren ietwat uitwissen.

Volgens de buigingstheorie is het mogelijk, bij het zien van een regenboog onmiddellijk aan te geven hoe groot ongeveer de druppeltjes zijn waarin hij gevormd wordt. De voornaamste kenmerken zijn de volgende.

middellijn:

- | | |
|--------------|--|
| 1—2 mm | Zeer helder violetrose en levendig groen; de boog bevat verder zuiver rood maar bijna geen blauw. Overtallige bogen talrijk (5 bv.), zonder onderbreking bij de hoofdboog aansluitend, afwisselend violetrose en groen. |
| 0,50 mm | Het rood is veel zwakker geworden. Minder overtallige bogen, nog afwisselend violetrose en groen. |
| 0,20—0,30 mm | Geen rood meer; overigens is de regenboog breed en goed ontwikkeld. Overtallige bogen vertonen een meer en meer gele kleur; verschijnt er een onderbreking tussen de overtallige bogen, dan is de middellijn 0,20 mm; als de onderbreking tussen hoofdboog en eerste overtallige boog komt te liggen is de middellijn < 0,20 mm. |
| 0,08—0,10 mm | De boog nog breder, bleker, alleen het violet is mooi. De eerste overtallige boog is flink gescheiden van de hoofdboog en vertoont duidelijk witte tinten. |
| 0,06 mm | De hoofdregenboog bevat reeds een duidelijke witte streep. |
| < 0,05 mm | Mistboog (vgl. § 135). |

131. De lucht om de regenboog.¹⁾

Wie aandachtig waarneemt, zal opmerken dat de lucht donkerder is tussen de twee regenbogen dan daarbuiten. Natuurlijk is er een wolkenachtergrond die van plaats tot plaats een ietwat veranderlijke helderheid heeft, maar gemiddeld is het effect toch duidelijk zichtbaar (plaat VIIIa).

Verklaring: naast de stralen die het minst afwijken, kaatst iedere druppel ook stralen terug in allerlei sterker afwijkende

1) Nat. 109, 309, 1922.

richtingen. In fig. 123 zijn die zwak aangegeven; merk op dat deze stralen voor de nevenregenboog juist naar de *andere* zijde afwijken dan voor de hoofdregenboog. De waarnemer zal dus nog zwak diffuus licht krijgen van de hemel binnen de eerste regenboog, wegens de éénmaal teruggekaatste stralen die meer dan 138° afwijken, dus onder *minder* dan 42° met de as lopen;

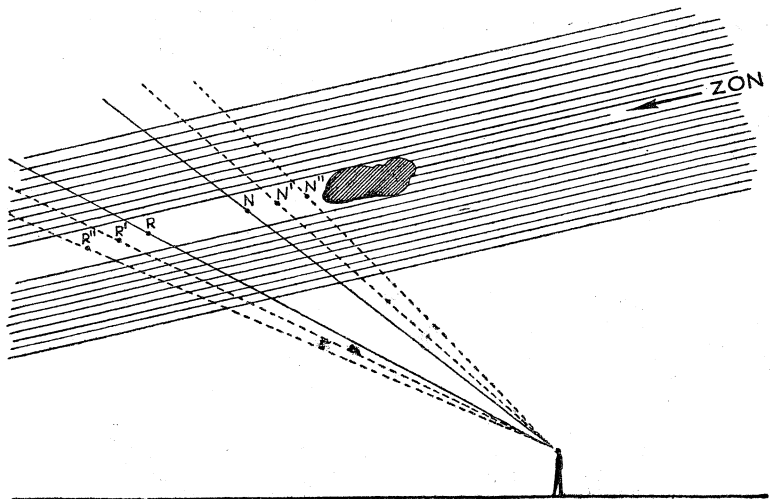


Fig. 125. Wolkenflarden tussen de zon en de regenbui veroorzaken een straalsgewijze streping van de lucht.

en ook zwak licht van de hemel buiten de tweede regenboog, wegens de tweemaal teruggekaatste stralen die meer dan 231° afwijken, dus onder *meer* dan 51° met de as lopen.

*Niet liefde geeft het klaarste inzicht, neen.
Het is uit tranen, tranen ongeschreid,
Dat hoog opstijgt de Regenboog der Smart:
Binnen zijn welving is het helderst licht.*

Fiona Mac Leod: The divine Adventure.

Soms ziet men een straalsgewijze structuur in die diffuse lichtschijn. ¹⁾ Ze herinnert aan schemeringbundels en aan de stralenbundels in bewogen water (§§ 193, 196, 223). Dit verschijnsel is gemakkelijk te verklaren als we ons voorstellen dat er ergens

1) S. Thompson, Nat. 18, 441, 1878.

tussen de zon en de regendruppels een wolkje zweeft (fig. 125). Van de druppels in de schaduwzuil achter het wolkje krijgt de waarnemer geen licht meer; de regenboog, die voor hem bestaat uit licht van al de druppels in de gezichtslijn, mist hier dus de bijdrage van de druppels R; en net evenzo mist de nevenboog het licht van de druppels N, terwijl in het diffuse licht de bijdrage ontbreekt van druppels als R', R'', en N', N'', In het vlak oog—zon—wolk zijn dus alle lichtverschijnselen zwakker: er ontstaat een schaduwstraal, waarvan de verlenging door het tegenpunt der Zon gaat.

132. **Polarisatie van het regenbooglicht.** ¹⁾

Als men beproeft een regenboog weerspiegeld te zien in een stukje glas, kan men een zeer treffende waarneming doen. De

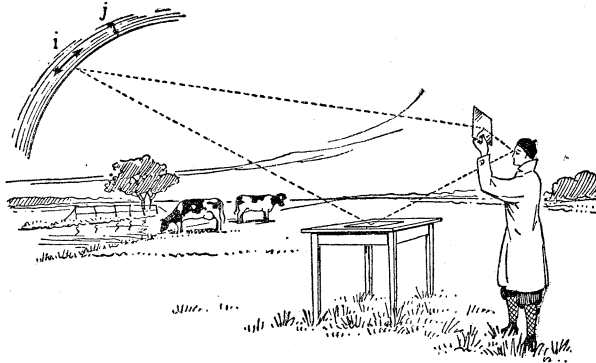


Fig. 126. Het waarnemen van de polarisatie van het regenbooglicht.

proef gelukt niet met een echte (verzilverde) spiegel, maar wel met gewoon glas, liefst donker of althans voorzien van een stukje zwart papier aan de onderkant. Men houdt het plaatje vrij dicht bij zijn oog, en zo, dat de blik nogal schuin invalt (60° met de normaal bijvoorbeeld). Maar dat kan nu nog op verschillende manieren geschieden: ik kan het plaatje waterpas houden, of ik kan het vertikaal houden (fig. 126). Als we in 't bijzonder op de top van de regenboog letten, zullen we zien dat hij in het eerste geval heel duidelijk en lichtsterk weerspiegeld wordt, in het tweede geval zo zwak, dat hij bijna onzichtbaar is. Het licht

1) F. Rinne, *Naturwiss.* 14, 1283, 1926.

van de regenboog heeft dus zijdelingse eigenschappen, het is „gepolariseerd”.

De waarneming geschiedt nog gemakkelijker, als we de regenboog bekijken door een *nicol*, een toestelletje dat onmiddellijk toelaat te onderscheiden of het licht polarisatie vertoont. Men draait de nicol om zijn as : bij de ene stand is de regenboog zeer helder, bij de andere zeer zwak. We kunnen het licht van de regenboog samengesteld denken uit licht dat in de richting *i* trilt en uit licht dat in de richting *j* trilt ; de verhouding der lichtsterkten *i* : *j* blijkt dan ongeveer 21 : 1 te zijn, de polarisatie is zeer sterk. Bij de nevenregenboog is het verschijnsel niet zo uitgesproken, maar toch nog zeer duidelijk : de verhouding is hier 8 : 1. Beide resultaten kloppen met de theorie.

133. Invloed van bliksemontladingen op de regenboog.

Een merkwaardige waarneming werd gedaan door V. J. Laine.¹⁾ Telkens als het donderde, merkte hij op dat de grenzen der kleuren van de regenboog uitgewist werden. Vooral in de overtallige bogen was er verandering op te merken : de tussenruimte tussen 't violet en de eerste overtallige boog verdween, het geel werd helderder. 't Was alsof de hele regenboog trilde. — Volgens de tabel § 130 wijzen deze veranderingen op een groter worden van de druppels.

Het optisch effect ontstond niet op het ogenblik van *de bliksem*, maar verscheiden sekunden later, als 't geluid van de donder aankwam. Men zou zich kunnen voorstellen dat door de luchttrilling de druppeltjes neiging vertoonden om samen te vloeien ; deze werking is echter zo gering, dat een merkbare invloed onwaarschijnlijk lijkt. Ook is mogelijk dat de elektrische ontlading de oppervlaktespanning van de druppeltjes wijzigt, zodat ze gemakkelijker samenvloeien ; dat de tijd die daarvoor nodig is samenviel met de tussenruimte van bliksem en donder zou dan echter een toeval zijn.

134. De rode regenboog.

In de laatste 5 of 10 minuten vóór zonsondergang kan men zien hoe langzamerhand alle kleuren van de regenboog uitgedoofd worden, op het rood na ; er blijft tenslotte een éénkleurig rode boog over. In bepaalde gevallen kan die verrassend lichtsterk zijn, en soms zelfs 10 minuten na zonsondergang zichtbaar

1) Phys. Zs. 10, 965, 1909.

blijven; natuurlijk is het onderste gedeelte van de boog dan afgeschermd, en begint hij maar op enige hoogte boven de gezicht-einder. Eigenlijk ontwerpt de natuur hier voor ons een spektrum van het zonlicht, en laat ons zien hoe dit bij zonsondergang van samenstelling verandert. De oorzaak der verandering is de verstrooiing der kortere lichtgolven (§ 177).

135. De mistboog of witte regenboog.¹⁾

Als de druppeltjes heel klein zijn, gaat de boog er helemaal anders uitzien. Dit is het best waar te nemen als men, zelf op een heuvel staande, de zon achter zich heeft, nevel vóór en onder zich. Men ziet dan de boog als een witte band, wel tweemaal zo breed als een gewone regenboog, waarvan de buitenrand oranje, de binnenrand blauwachtig gekleurd is; aan de binnenzijde ziet men dikwijls, na een tussenruimte, een of zelfs twee overtallige bogen die merkwaardigerwijze de omgekeerde kleurenvolgorde van de normale hoofdboog vertonen (bv. eerst rood, daarbinnen groen).

Deze bijzonderheden kloppen verrassend goed met wat de theorie berekent voor druppeltjes met een straal van 0,025 mm en kleiner (vgl. § 130). Bij deze zeer kleine druppeltjes blijft de straal van de regenboog geen 42° meer, maar begint af te nemen; en aangezien „klein” hier betekent: „klein t.o.v. de golflengte”, zal het effect uitgesprokener zijn voor de rode stralen dan voor de blauwe. Vandaar dat in het rood de overtallige boog al zoveel verkleind is, dat hij zelfs voorbij de blauwe schiet en er binnen komt te liggen.

Wie het zeldzaam mooie verschijnsel ziet, voere ook enige metingen uit om de middellijn 2ϑ der bogen (in graden) te bepalen (vgl. § 250). Het scherpst is de donkere ring te meten tussen hoofdboog en eerste overtallige boog; hieruit is dan de straal a der druppeltjes (in mm) te berekenen met behulp der formule:

$$a = \frac{0,31}{(41^{\circ}44' - \vartheta)^{3/2}}$$

(Neemt men 't gemiddelde tussen de blauwe en de oranje rand van de hoofdboog, dan wordt de constante in de teller 0,18).

Merkwaardigerwijze is de mistboog nog bij uiterst lage temperaturen gezien (—34°!), hetgeen bewijst dat waterdruppeltjes

1) Phil. Mag. 29, 456, 1890. — E. van Everdingen, Hemel en Dampkring, 30, 19, 1932.

in de dampkring sterk onderkoeld kunnen zijn.¹⁾ Soms is de nevelboog waargenomen bij een zó ijle nevel, dat de waarnemer beweerde dat er geen nevel was!

Men ziet bijna altijd een mistboog, als de felle bundel van een zoeklicht in de mist dringt en men de rug naar het zoeklicht keert. Zelfs gewone straatlantarens doen hem *dikwijls* ontstaan, zij het ook zwak, en alleen tegen een goed donkere achtergrond zichtbaar.²⁾ Een mijner lezers bemerkte hem bij het licht van een petroleumhandlampje, en Tyndall bij het licht van een kaarsvlam!³⁾ Als de nevel gezien wordt tegen de donkere aarde of de donkere hei als achtergrond, kan men soms de hele boog als gesloten cirkel waarnemen; de paar meters nevel tussen ons oog en de grond vóór onze voeten zijn dus al voldoende om het verschijnsel te vertonen.³⁾

Een enkele maal is een *dubbele* mistboog waargenomen.⁴⁾

Vgl. nog § 130 en § 170.

136. De dauwboog of horizontale regenboog.

Op een herfstmorgen kan men de hei bedekt zien met miljoenen spinwebbetjes, die anders niet opvallen, maar nu besprenkeld zijn met dauwdruppeltjes en in de zonnestralen oplichten (vgl. § 33). Men treft het dan soms, dat een regenboog zich in die lichtspelingen aftekent, vóór ons op de grond, niet als een kring, maar als een wijd geopende *hyperbool* (fig. 127).

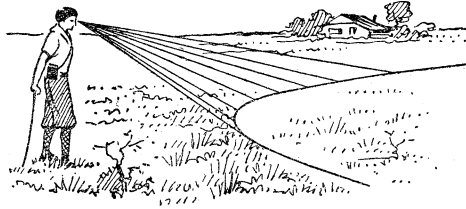


Fig. 127. De dauwboog.

De verklaring is niet moeilijk te vinden: ons oog krijgt licht uit alle richtingen die een hoek van 42° met de as zon-oog vormen; deze kegel snijdt het oppervlak van de grond in een hyperboolkurve, zolang de zon laag staat; later op de dag zou het een ellips worden, maar dat schijnt men slechts zelden te hebben gezien. Men kan de curve door een helper op de grond laten

1) Ch. F. Brooks, M. W. R. **53**, 49, 1925. — G. C. Simpson, **38**, 291, 1912, vermeldt het verschijnen van een mistboog bij -29° C.

2) Met. Zs. **39**, 33 en 324, 1922. — Hemel en Dampkring, **1**, 349, 1903.

3) Phil. Mag. **17**, 148, 1883. — Hemel en Dampkring, **1**, 349, 1903.

4) Lepper, Hemel en Dampkring, **1**, 1903. — Onweders, enz. **52**, 54, 1931.

afbakenen en uitmeten ; met behulp van de tijd der waarneming en de daaruit berekende zonshoogte kan men dan berekenen dat de kurve inderdaad een hyperbool is, en bij een kegel met een halve tophoek van 42° past. ¹⁾ Merk op dat de breedte van de gekleurde band toeneemt, hoe verder hij van ons oog verwijderd is. In een heel enkel geval heeft men ook de nevenregenboog en de overtallige bogen in de dauw waargenomen. ²⁾

Andere omstandigheden waarin de dauwboog gezien is :

1. op een vijver, bedekt met eendenkroos ; ³⁾ op een grasperk ;
2. op een vijver met olieachtig oppervlak, waarop dauwdruppels kunnen liggen *zonder zich met het water te vermengen* ; zulk een oppervlak kan bv. ontstaan door de rookwalm van fabrieken. In een bepaald geval waren de druppeltjes 0,1 tot 0,5 mm groot, 20 druppeltjes per cm^2 gaven al een duidelijk zichtbare dauwboog ; ⁴⁾
3. op een meer of op zee, 's ochtends vroeg, als de lucht afgekoeld is maar het water nog warm, zodat er een dunne nevel over het wateroppervlak drijft ; dikwijls is dan niet de hele boog te zien, maar alleen de twee uiteinden ;
4. op een ijsoppervlak dat zich met goed gevormde dauwdruppels schijnt te kunnen bedekken (— hoe is dat mogelijk? —) ⁵⁾.

Aan deze waarneming is er nog een merkwaardige psychologische zijde. Waarom zien we eigenlijk de regenboog *cirkelvormig*, de dauwboog *hyperbolisch*, terwijl in beide gevallen toch de lichtstralen van uit dezelfde richtingen in ons oog vallen? — „Het is een kwestie van het combineren van waarneming en verwachting. Bij een dauwboog zijn we onder de invloed van de gedachte, dat het lichtverschijnsel in een horizontaal vlak uitgespreid is ; en we stellen ons onbewust de vraag : *hoe moet de ware vorm van de lichtkromme op het gras zijn, opdat wij het verschijnsel zouden zien zoals wij het zien?* Het antwoord is natuurlijk : een ellips, of in andere gevallen een hyperbool. Maar als integendeel de vraag luidt : *hoe zien we de dauwboog?* — dan hangt ons antwoord af van de waarneming gecombineerd met de interpretatie ervan. Zagen we alleen het lichtverschijnsel, en

1) A. E. Heath, Nat. **97**, 6, 1916.

2) W. J. Humphreys, Journ. Frankl. Instit. **207**, 661, 1929.

3) Hemel en Dampkring, **6**, 145, 1908.

4) Nat. **43**, 416, 1891.

5) Clerk Maxwell, Papers, II, 160. — Sitzungsber. Akad. Wien, **119**, 1057, 1910.

wisten we niets over zijn ontstaan, dan zouden we nooit aan anders dan aan cirkelvormigheid denken" (Stokes). — De stereoskopische schatting van de afstand van individuele druppeltjes of groepjes druppels zal stellig meehelpen om de dauwboog in het horizontale vlak te lokaliseren (vgl. §§ 158, 159).

Weerspiegelde dauwboog: zie § 138.

137. Weerspiegelde regenbogen.

Een regenboog, die wij in de richting van het punt A ener wolk zien, vertoont zich tegenover een ander punt B wanneer

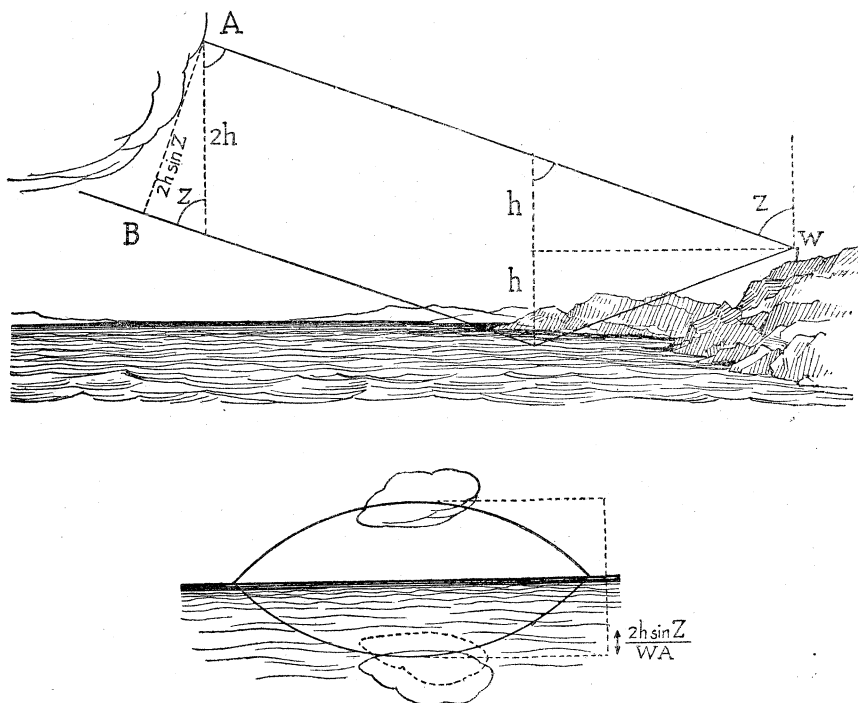


Fig. 128. De weerspiegelde regenboog.

wij het landschap in rustig water weerspiegeld zien (fig. 128). Dat komt door het reeds hoger opgemerkte feit, dat de regenboog zich niet in het vlak van de wolken „bevindt” maar dat hij als 't ware oneindig ver verwijderd is. Eigenlijk is het dus de regenboog die een t.o.v. de horizon volmaakt symmetrisch spiegelbeeld

geeft ; en het is de wolk die verschoven is. De verschuiving wordt pas goed merkbaar, als we ons op enige hoogte h boven de waterspiegel bevinden ; we kunnen zelfs uit een schatting der verschuiving in hoekmaat de afstand WA van de wolk uitrekenen : hoekverschuiving = $\frac{2h \sin z}{WA}$.

Geheel anders werkt de weerspiegeling als de zonnestralen terugkaatsen vóór ze de regenboog vormen.

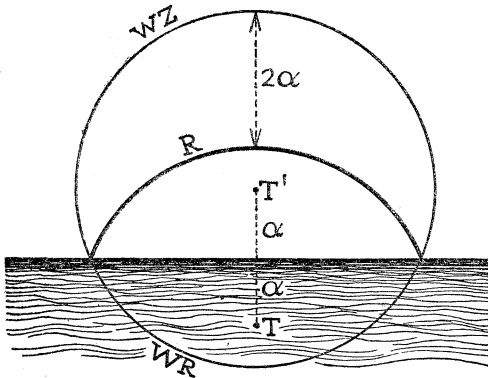


Fig. 129. R = regenboog. — WR = weerspiegelde regenboog. — WZ = regenboog gevormd door de weerspiegelde zon.

Dan verschijnt een verschoven boog WZ met als middelpunt T', het weerspiegelde tegenpunt T van de zon (fig. 129). Hij is groter dan een halve cirkel ; de afstand tussen de toppen der twee bogen is gelijk aan de hoek tussen T en T', dus tweemaal α , de hoogte der zon boven de gezichtseinder. Dikwijls ziet men maar een

stukje van de verschoven boog, bijvoorbeeld de top of de uiteinden ; bij buitengewone regenbogen is het dus zaak allereerst aan de mogelijkheid van een dergelijke weerspiegeling te denken. Overweeg waar er in de buurt grote waterplassen zijn, uit wier ligging men begrijpen kan dat slechts een deel van de verschoven boog waargenomen wordt. ¹⁾

De twee door terugkaatsing ontstane bogen vullen elkaar aan tot een gesloten cirkel (fig. 129).

138. De weerspiegelde dauwboog. ²⁾

Ook de dauwboog kan zich weerspiegelen in het water : de mooiegekleurde hyperbool, gevormd door de druppeltjes die op het oppervlak zweven, is dan *dubbel*. Dat de zwakste der twee bogen door terugkaatsing ontstaat, wordt zeer duidelijk als men

1) Vgl. Dijt, *Hemel en Dampkring*, 29, 14, 1931.

2) *Sitzungsber. Akad. Wien*, 119, 1057, 1910. — W. J. Humphreys, *Journ. Frankl. Instit.* 207, 661, 1929.

toevallig de dauwboog op een ijsoppervlak kan waarnemen: die tweede boog is dan verdwenen!

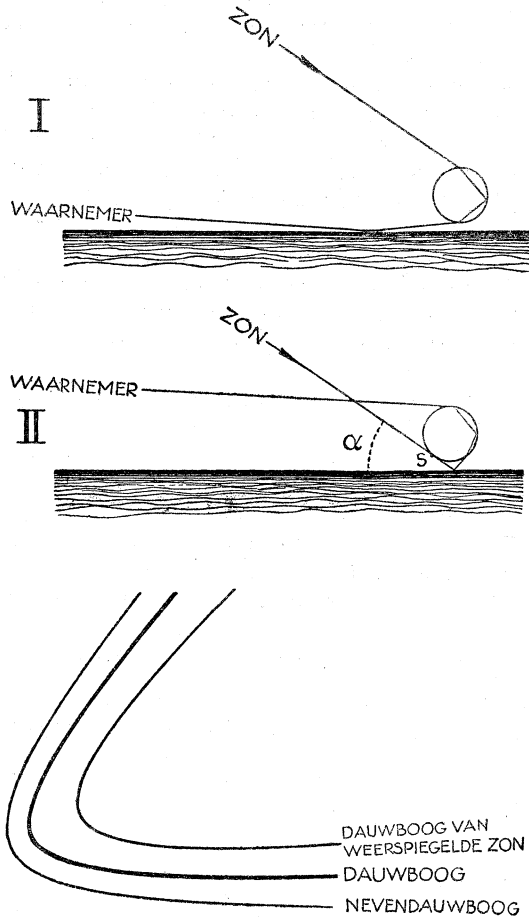


Fig. 130. Weerspiegelde dauwbogen. — I = de dauwboog wordt weerspiegeld. II = de weerspiegelde zon vormt een dauwboog.

De hoekafstand der bogen is weer 2 maal de zonshoogte. Doordat zich nu echter de druppeltjes op het wateroppervlak zelf bevinden, is het hier niet zonder meer mogelijk uit te maken of de weerspiegeling gebeurd is vóór- of nádat de lichtstralen door

de waterdruppels gegaan zijn; beide gevallen zouden *dezelfde* hyperbool geven (vgl. fig. 130; in beide figuren stijgt de teruggekaatste straal onder een hoek $42^\circ - a$ op).

Het gelukt echter twee criteria te vinden, voor het geval dat de zon vrij hoog staat (21° tot 42°).

a. Van de teruggekaatste boog ontbreekt het gedeelte nabij de top. Verklaring: bij stralengang II wordt de invallende stralenbundel door de druppel zelf in S ten dele afgeschermd, vóór hij weerspiegelt en dan in de druppel binnendringt. Bij de andere stralengang I komt die kenmerkende bijzonderheid niet voor.

b. Als ik twee naburige punten van de twee bogen met een nicol bekijk, vind ik dat de trillingsrichtingen van het licht sterk verschillend zijn en in 't algemeen niet horizontaal; men kan aantonen dat dit slechts het geval zal zijn als de terugkaatsing vóór de brekingen gebeurt. Het is dus stralengang II, die in werkelijkheid voorkomt.

Blijft de vraag: waarom vertonen de lichtstralen een voorkeur voor het *eerst* terugkaatsen? Het antwoord is eenvoudig, dat bij de stralengang I de uittredende stralen rakelings over het water lopen en door de naburige druppels onderschept worden.

Als de zon laag staat zullen de lichtstralen éérst door de druppel dringen en dan weerspiegeld worden; de top van de weerspiegelde boog wordt weer afgeschermd, maar de polarisatie is anders. Dit geval is nog niet aandachtig bestudeerd.

139. Afwijkende regenboogverschijnselen.¹⁾

Hier volgen nog enige figuurtjes van uitzonderlijke regenboogvormen, ten dele door weerspiegeling in watervlakken ontstaan,

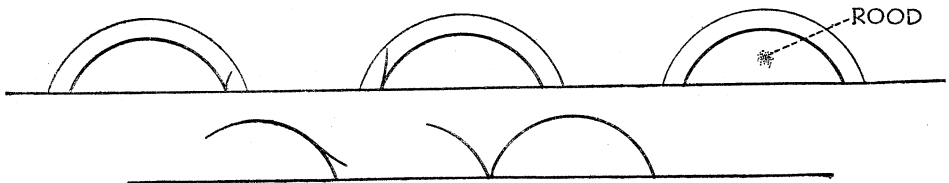


Fig. 131. Afwijkende regenboogverschijnselen.

maar waarvoor geen verklaring bestaat die mijns inziens bruikbaar is. Reden te meer om naar dergelijke verschijnselen te zoeken! Let vooral op, wáár de abnormale bogen hun rode en violette

¹⁾ Onweders, enz. **21**, 54, 1900; **24**, 160, 1903; **29**, 110, 1908. — Hemel en Dampkring **27**, 359, 1929. — Met. Mag. **71**, 230; met foto.

zijde hebben! Zie uit naar gevallen, waarin een vertikale lichtzuil van de voet van de regenboog en van de nevenregenboog opstijgt, wanneer deze zich boven het zee-oppervlak bevinden.

140. Maanregenboog.

— *Ja waarlijk!*

Een regenboog te midden van de nacht!

— *Het is het licht der maan waarin hij schijnt.*

— *Dat is een vreemd en wonderbaarlijk teken!*

Slechts weinig mensen hebben 't ooit gezien.

— *Hij's dubbel; ziet, een blekere erboven.*

Schiller, Wilhelm Tell, II (Rütli-scene).

De maan vormt evengoed regenbogen als de zon, maar natuurlijk zijn deze maanregenbogen zeer lichtzwak. Vandaar dat ze bijna alleen bij *volle* maan opgemerkt worden, en dat men ze maar zwak gekleurd ziet, — zoals in 't algemeen 's avonds de zwak verlichte voorwerpen kleurloos schijnen (§ 81).

Niet verwarren met halo's! De regenboog is altijd *aan de tegenovergestelde kant van de maan* te zien!

De straal van de maanregenboog is soms heel nauwkeurig te bepalen als er toevallig een heldere ster in de nabijheid zit. Vgl. § 144.

Kringen.

141. Algemene beschrijving van de haloverschijnselen.¹⁾

Het is enige dagen lang helder, mooi lenteweer geweest, maar nu daalt de barometer en de wind gaat uit het zuiden blazen. Van 't westen komen de hoge, ijle veerwolken aandrijven, langzamerhand wordt de lucht melkweit, opaliserend door cirrostratussluiers. De zon schijnt als door matglas, haar omtrek is niet meer scherp begrensd maar vloeit geleidelijk uit. Er hangt een eigenaardige troebele belichting over het landschap: ik „voel” dat er een halo om de zon moet zijn!

En meestal komt het inderdaad uit. Een lichte kring van ruim 22° straal tekent zich om de zon af; men ziet hem het best als men in de schaduw gaat staan van een huis, of de hand vóór de zon houdt om niet teveel verblind te worden (§ 165). Het is

1) Voor alles wat halo's betreft raadplege men het boek van R. Meyer: Die Haloerscheinungen (Hamburg, 1929). — Zie ook M. Pinkhof, Verh. Akad. Amsterd. 13, No. 1, 1919. — E. W. Woolard, M. W. R. 64, 321, 1936 en 65, 4, 1937.

een groots verschijnsel! Reusachtig schijnt die kring voor wie hem het eerst ziet — toch is het „de kleine kring”, de andere haloverschijnselen ontwikkelen zich op nog ruimer schaal. Steek de arm uit en strek de vingers der hand wijd uit elkaar : dan ziet u de afstand tussen de toppen van duim en pink bijna even groot als de straal van de zonnekring (vgl. § 250).

Een dergelijke kring kunt u ook om de maan zien. Ik bedoel niet een *krans* van een paar graden middellijn en met het rood binnen, het blauw buiten; maar dezelfde grote kring die we

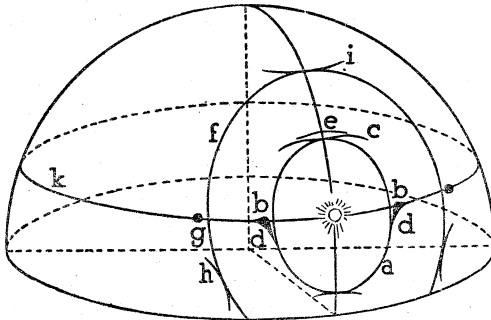


Fig. 132. Enkele der belangrijkste halo-verschijnselen, schematisch voorgesteld.

daareven als zonnekring beschreven. — Eénmaal is het gelukt tegelijk een kring te zien om de ondergaande zon en een kring om de opgaande volle maan!

Denk niet dat zulke kringen zelden waar te nemen zijn. Men kan aannemen dat een geoefend waarnemer, die de hele dag uitkijkt, er in onze ge-

westen gemiddeld één in de 4 dagen kan zien, in April en Mei één in de 2 dagen; de beste waarnemers zien halo's op 200 dagen per jaar! Is het dan niet ongelooflijk, dat er zoveel mensen zijn die nooit een kring om de zon hebben opgemerkt?

Naast de kleine kring ontwikkelen zich dikwijls nog verschillende andere lichtbogen en lichtvlekken, die elk een naam hebben gekregen en die alle samen het haloverschijnsel vormen; de voornaamste zijn in fig. 132 geschetst, alsof zij zich aftekenden op een denkbeeldige hemelbol. Wij zullen deze nu achtereenvolgens kort bespreken maar merken nu reeds op, dat er gewoonlijk maar enkele daarvan tegelijk waarneembaar zijn. De meeste zijn alleen bij de zon gezien; bij de maan zijn ze veel lichtzwakker, kleuren zijn dan bijna niet te onderscheiden ¹⁾ (vgl. §§ 81, 140). Gewoonlijk vormen ze zich in cirrostratussluiers of in cirri, zelden in cirrocumuli of altocumuli; in onweerscirri kan men ze te zien krijgen, maar niet dikwijls. *Alle wolken die halo's geven*

1) C. A. van den Bosch, *Natuurk. Tijdschr. voor Ned.-Indië*, 92, 39, 1932, zag verscheiden maanhalo's gekleurd.

bestaan uit ijskristalletjes, en de regelmaat der vormen van die ijskristalletjes is het, die de mooie symmetrie der lichtverschijnselen veroorzaakt. Dat echter zoveel ijswolken geen kringverschijnselen vertonen, is dàaraan te wijten, dat sneeuwsterretjes en bolvormig samengevoegde kristallen niet de goede vorm hebben om het licht op de wijze van een prisma te breken; en dat bij te kleine kristalletjes buiging de haloverschijnselen uitwist. Daarenboven verdampen de hoeken der ijsprisma's het eerst, zodat in oudere wolken de kristalletjes hun regelmatige begrenzingen hebben verloren.

Het fotograferen van halo's heeft wetenschappelijk belang: het kan leiden tot nauwkeurige hoekmetingen en tot bepalingen van de lichtsterkte; maar daartoe moet de plaat zuiver loodrecht op de as van de camera staan, en de afstand plaat — objektief nauwkeurig bekend zijn. Gebruik een objektief met grote hoek, panchromatische platen met anti-halo laag en geelfilter; wellicht gaat het ook op lantarenplaatjes. Belichtingstijd met sterk geelfilter en $f/12$: ongeveer 0,01 sec.

142. De kleine kring (fig. 132a; Plaat VIIIb).

Het is het meest voorkomend haloverschijnsel. Niet altijd is de kring volledig, als nl. de cirrostratuswolken ongelijkmatig over de hemel verdeeld zijn; meestal is hij onder, boven, rechts of links sterker dan in de tussengelegen richtingen. De binnenrand is vrij scherp begrensd en rood gekleurd, dan volgt geel, groen, en een blauwachtig uitlopend wit. De straal van de kleine kring kan men meten met een der middelen aangegeven in § 250, liefst van het centrum van de zon tot aan de rode binnenrand; de beste metingen geven $21^{\circ}50'$.

's Nachts is de straal van de kring om de maan soms zeer nauwkeurig te bepalen als men de stand van een bepaalde ster opmerkt, die bv. met de binnenrand of met het helderheidsmaximum van de halo samenvalt.¹⁾ Het is dan voldoende de naam van de ster op te tekenen (desnoods met een ster-atlas identificeren), en de tijd op te nemen. Naderhand kan ieder sterrekundige dan onmiddellijk berekenen hoever de twee hemellichamen op dat ogenblik van elkaar verwijderd waren (vgl. fig. 136).

Merk op hoe de hemel binnen de kleine kring er dikwijls

1) C. A. van den Bosch, *Natuurk. Tijdschr. voor Ned.-Indië*, 92, 39, 1932; de schrijver gebruikt zelfs nog sterren van de 6e grootte!

donkerder uitziet dan daarbuiten; soms schijnt het niet uit te komen, maar alleen omdat de halo gesuperponeerd is op een lichtvlek die geleidelijk van de zon naar buiten in helderheid afneemt. Dit verschijnsel herinnert levendig aan wat we bij de

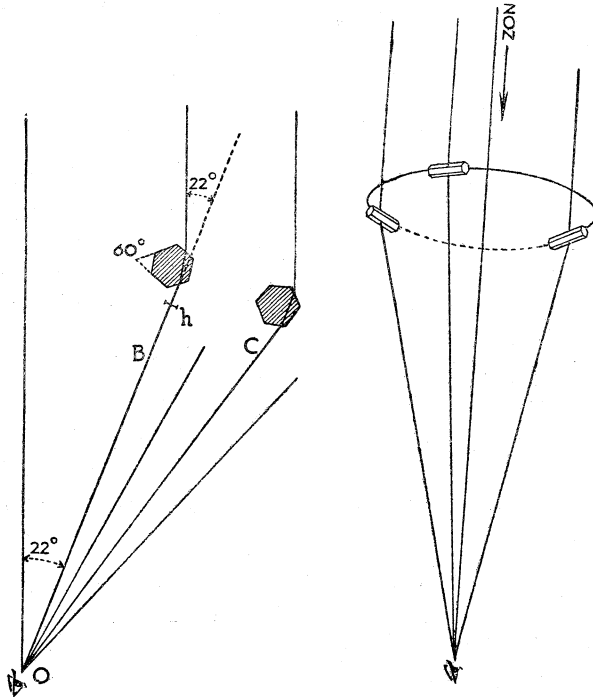


Fig. 133. Het ontstaan van de „kleine kring”.

regenboog hebben opgemerkt (daar was de hemel tussen de twee bogen donker); en het ontstaat op dergelijke wijze.

De kleine kring vormt zich door breking van het zonlicht in een wolk van ijskristalletjes, waarvan bekend is dat ze dikwijls de vorm hebben van een zeskant prisma. In elke blikrichting zweven er ontelbare dergelijke prisma'tjes in alle mogelijke oriënteringen (fig. 133). Zulk een 6-zijdig prisma breekt het licht alsof het een brekende hoek van 60° had: al naar zijn oriëntering t.o.v. de invallende stralen zal het hen meer of min doen afwijken, maar bij symmetrische stralengang zal er een *kleinst*

mogelijke afwijking D zijn, te berekenen uit de bekende formule ¹⁾

$$n = \frac{\sin \frac{A + D}{2}}{\sin \frac{A}{2}}.$$

Voor $A = 60^\circ$ en een brekingsaanwijzer $n = 1,31$ wordt $D = 22^\circ$: dat is precies de straal van de kleine kring!

En inderdaad, men ziet gemakkelijk in (evenals bij de regenboog), dat de stralen OB die de kleinste afwijking ondergaan verreweg de grootste helderheid aanbrengen, omdat bij die stand de richting van de gebroken lichtstraal slechts zeer langzaam verandert als het prisma draait; er zijn dus betrekkelijk veel meer ijskristalletjes die in de buurt van die richting licht naar ons oog zenden, dan in de buurt van andere richtingen. Onze berekening gold ongeveer voor de gele stralen; voor 't rood is de minimum-afwijking iets kleiner, voor blauw iets groter: de kring zal dus aan de binnenzijde rood, aan de buitenzijde blauw zijn. Daar nu echter de stralen OC met een grotere afwijking dan het minimum ook enig licht aanbrengen, zullen de groene en blauwe „minimum-stralen” vermengd zijn met wat geel en rood licht, dus een bleke kleur vertonen. Buiten de kring zal men overal nog wat licht zien, maar binnen de kring niet — hetgeen wij al hadden waargenomen; de scherpe binnenrand en de wazige buitenrand zijn tevens verklaard. Zodra de kristalletjes echter niet volgens het toeval over allerlei verschillende richtingen verdeeld zijn, maar bepaalde *voorkeursstanden* innemen, ontstaat er tekening in de lichtschijn buiten de kleine kring, en vertonen zich daarin bepaalde lichtvlekken of bogen, die we straks verder zullen onderzoeken.

Laten we echter eerst nog de vraag bespreken of de *buigingsverschijnselen* bij de halo niet evengoed een rol spelen als bij de regenboog. ²⁾ Theoretisch moet dit zo zijn; het ijskristal laat slechts een lichtbundeltje door van breedte h (fig. 133), en buigt dus de lichtgolven op dezelfde wijze als een spleet van breedte h dit zou doen. Zeer kleine ijskristalletjes zouden evengoed een witte halo geven met rode rand, als kleine druppeltjes een mistboog (§ 135). Ook kan men verwachten, naast de kleine kring overtallige bogen te zien ontstaan (§ 127), die ook werkelijk wel

1) Ze staat in ieder leerboek der natuurkunde, bij de „minimum-deviatie van een prisma”.

2) Visser, Versl. Akad. Amsterd. **25**, 1328, 1917; **27**, 127, 1918. — Samenvatting in Hemel en Dampkring, **15**, 17, 1917 en **16**, 35, 1918.

eens gezien zijn ; maar de berekening leert, dat ze zwakker moeten zijn dan bij de regenboog, en zowel aan de buitenkant als aan de binnenkant van de kring gevormd worden — die aan de binnenkant zijn 't best te zien, aangezien ze zich op een donkere achtergrond aftekenen. Er zijn in de waarnemingen aanwijzingen voor veranderlijkheid van de kleuren en van de breedte van de kleine kring ; meer waarnemingen zijn zeer gewenst ! De kleuren zijn dikwijls het best te beoordelen door een grauw glas ; schat de breedte van elke kleur en van het geheel ! Noem ze eerlijk en zonder vooroordeel ! Noemen twee waarnemers de kleuren van éénzelfde halo wel gelijk ? Rood en oranje worden dikwijls verward ; groen en violet onderling ook ; merk op hoe zelden geel bij haloverschijnselen optreedt !

Volgens de eenvoudige brekingstheorie zou er praktisch geen blauw in de kleine kring mogen voorkomen, en helemaal geen violet, en ditzelfde moest ook gelden voor bovenraakboog en bijzonnen (vgl. § 143). De waarneming leert echter dat in sommige gevallen het blauw zeer duidelijk kan optreden, vooral in de bovenraakboog en de bijzonnen, die altijd levendige tinten vertonen. De buigingstheorie verklaart nu, hoe blauw en violet kunnen verschijnen, als de grootte der ijskristalletjes maar de juiste is, en zij verklaart ook, waarom de raakboog en de bijzonnen sterker gekleurd zijn dan de kleine kring. Tenslotte maakt de buigingstheorie ons begrijpelijk, dat de kleuren nu eens het levendigst zijn in de kleine kring, dan eens in de grote kring : de kleine kring is sterker gekleurd, als de zijvlakken der prisma's waarin de breking geschiedt breed zijn, zoals bij *plaatvormige* kristalletjes ; als echter de zijvlakken smal en hoog zijn, zoals bij *zuilvormige* kristalletjes, is de kleine kring bleek en de grote meer gekleurd.

Het licht van de kleine kring is gepolariseerd. ¹⁾ In tegenstelling met de regenboog zijn de trillingen hier sterker loodrecht op de kring dan evenwijdig aan de kring ; wat ook begrijpelijk is, aangezien hier geen terugkaatsing, en alleen twee brekingen voorkomen. Het effect is echter op verre na niet zo uitgesproken als het bij de regenboog was.

De kleine kring geldt in de volksmond als verkondiger van regenweer ; ²⁾ als men zegt : „hoe groter de kring, hoe dichterbij de regen,“ bedoelt men dat *de kleine kring* regen aankondigt, *de krans* niet. En inderdaad zijn de cirrostratuswolken dikwijls

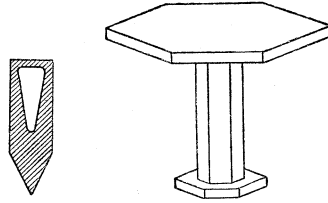
1) Busch, gerefereerd in Met. Zs. 7, 1890.

2) Quart. Journ. 1926, en op veel andere plaatsen.

voorboden van een gebied van lage druk; de regen volgt op de kring met een tussenruimte van gemiddeld 36 uur.

143. **De bijzonnen van de kleine kring** (fig. 132b; plaat VIIIb).

Dit zijn twee heldere lichtvlekken op de kleine kring, op dezelfde hoogte als de zon. Dikwijls is er maar één van de twee goed te zien; andere malen ontbreekt zelfs de kleine kring terwijl de bijzonnen goed zichtbaar zijn. Deze bijzonnen zijn gewoonlijk zeer lichtsterk; duidelijk rood aan de binnenkant, dan geel, en vervolgens uitlopend in een witblauwe uitveegde staart.



Bij nauwkeurige waarneming bevindt men, dat de bijzonnen eigenlijk iets *buiten* de kleine kring staan, en wel des te meer naarmate de zon hoger is; bij zeer hoge zon bedraagt het verschil zelfs verscheidene graden.

Fig. 134. Ijskristalletjes, die bij de vorming van de bijzonnen een belangrijke rol spelen.

De bijzonnen ontstaan, wanneer een groot aantal van de zesante ijskristalletjes met hun as vertikaal gericht zijn. Dit is het geval voor langzaam vallende „parapluvormen”, of voor ijszuiltjes die aan één uiteinde hol zijn (fig. 134). Door zulke prisma's gaan de lichtstralen van de zon niet meer in de richting der kleinste afwijking, want ze vormen een hoek met het hoofdvlak. Bij zonshoogte h is dan de „relatief kleinste afwijking” D' gegeven door de voorwaarde:

$$\frac{\sin \frac{A + D'}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 h}{1 - \sin^2 h}}$$

het is dus alsof voor de schuine stralen de brekingsaanwijzer van het ijs groter geworden was (vgl. § 142). Hieruit berekent men volgend tabelletje.

Zonshoogte.	Afstand bijzon — kleine kring.
0°	0°
10°	0°20'
20°	1°14'
30°	2°59'
40°	5°48'
50°	10°36'

Dit klopt zeer goed met de waarnemingen. Bij zonshoogten boven 40° hebben we helaas bijna geen metingen, omdat het verschijnsel dan meestal onduidelijk wordt; tracht deze leemte aan te vullen!

Een enkele maal heeft men bijzonnen waargenomen in een kunstmatige wolk, die zich vormde in het spoor van een hoogvliegend vliegtuig.¹⁾

144. De horizontale raakbogen van de kleine kring (fig. 132c).

Deze bogen, die men onder en boven aan de kleine kring kan zien als een vermeerdering van de helderheid, ontpoppen zich

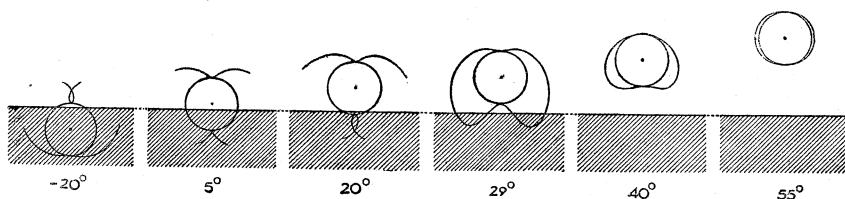


Fig. 135. Verschillende vormen van de omgeschreven halo, bij toenemende zonshoogte (naar de berekeningen van Pernter).

bij gunstige gelegenheid als onderdelen van een veel grotere lichtkromme: de *omgeschreven halo*. Dit zeer eigenaardige halo-verschijnsel ontstaat, als de zeskante prisma's bij voorkeur hun as horizontaal richten, en een weinig om die stand heen en weer schommelen; zo iets zal bv. voorkomen als de kristalletjes niet de vorm hebben van plaatjes, maar die van staafjes.

Deze omgeschreven halo is sterk in vorm afhankelijk van de zonshoogte (fig. 135). Bij geringe zonshoogte (20°) ziet men alleen dat de bovenraakboog aan beide zijden naar beneden terugbuigt; bij grotere zonshoogten ziet men een bijna elliptische figuur. De gedeelten van de krommen onder de gezichteinder zijn door berekening gevonden, en ook wel eens van op een berg of van uit een vliegtuig waargenomen, zodat de blik naar beneden gericht kon worden (misschien ware dit ook van op een toren mogelijk).

1) M. Pinkhof, *Hemel en Dampkring*, 38, 32 en 230, 1940. Vgl. II, 155. *Zs. angew. Meteor.* 57, 95, 1940.

145. De zijdelingse raakbogen aan de kleine kring = „deschuine bogen van Lowitz,,¹⁾ (fig. 132d).

Het zijn merkwaardige boogjes, die van de bijzon schuin naar beneden uitgaan en aan de kleine kring raken. Een zeldzaam verschijnsel! Er is alleen kans het te zien, als de zon hoog is, en de bijzonnen dus vrij ver buiten de kleine kring staan. De boogjes ontstaan, wanneer de verticale ijsprisma'tjes die de bijzon vormen een weinig om de vertikaal schommelen. Dikwijls ziet men alleen dat de bijzon ietwat schuin uitgerekt lijkt, b.v. over 1° of 2° ; de helling van het boogje met de horizon is ongeveer 60° . Slechts in één geval was de boog vrij scherp en lang.²⁾ — Het is dus zaak, de bijzonnen altijd nauwkeurig op dit verschijnsel te onderzoeken, vooral bij hoge zon.

146. De grote kring van 46° (fig. 132f).

Hij verschijnt ruim tweemaal zo ver van de zon als de kleine kring, en is evenzo gekleurd; maar hij is lichtzwakker en veel minder dikwijls waar te nemen. Nauwkeurige metingen van de straal van de binnenrand zijn wenselijk.

Deze halo ontstaat evenals de kleine kring, maar door breking in ijsprisma's van 90° die volgens het toeval gericht zijn. Zoals

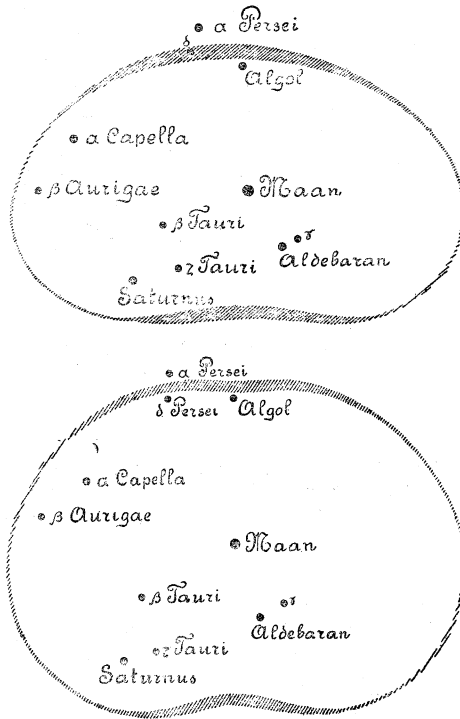


Fig. 136. De omgeschreven halo, vastgelegd ten opzichte van de sterren die in de nabijheid van de maan voorkomen.

Boven: de originele schets. Daaronder: de tekening op juistere schaal gereconstrueerd. Hoogte der maan: ca. 37° .

Naar Veenhuizen, Onweders enz. 35, 119, 1914. Cliché in bruikleen van het Kon. Ned. Meteorologisch Instituut.

1) E. van Everdingen, Hemel en Dampkring, 16, 97, 1918. — Onweders, enz. 39, 66, 1918 en 43, 44, 1922. — Visser, Diss. Utrecht, 1936.

2) Hemel en Dampkring, 20, 39, 1922.

men uit fig. 137 ziet, kan hetzelfde type van ijskristalletjes tegelijk de kleine en de grote kring doen ontstaan.

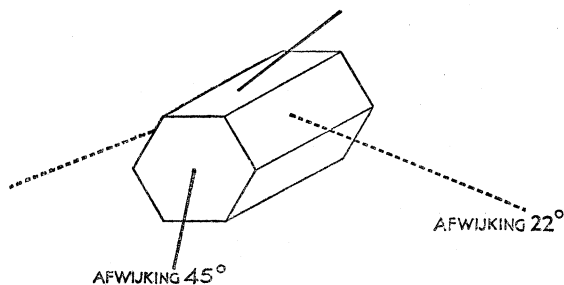


Fig. 137. In een 6-kant ijsprisma kunnen de lichtstralen een kleinste afwijking van 22° en van 46° vertonen.

147. **De bijzonnen van de grote kring** (fig. 132g).

Ze zijn zelden waargenomen; en dat is begrijpelijk: brekende kanten van 90° zouden daarvoor in groten getale vertikaal gericht moeten zijn. Men ziet nauwelijks in, hoe dit bij de gewone ijskristalvormen ooit kan voorkomen.

148. **De raakbogen aan de grote kring schuin onder** (fig. 132h).

Vrij zelden! Zij ontstaan door een voorkeursstand met horizontale as en horizontaal zijvlak terwijl de lichtstralen in de hoek van 90° breken. Bij *zeer* hoge zon kan men die boog recht zien, en tenslotte zelfs hol naar de zon toe.

149. **De bovenraakboog aan de grote kring** (fig. 132i).

Deze moet ontstaan als prisma's van 90° met hun ribbe horizontaal zweven en om die stand schommelen; die welke in de stand der kleinste afwijking zijn geven dan de raakboog. Een dergelijke bovenraakboog wordt dikwijls waargenomen; het schijnt echter niet altijd de echte bovenraakboog te zijn, maar de circumzenithale boog van Bravais.

150. **De circumzenithale boog** (fig. 132i).

Een der mooiste haloverschijnselen! Vrij dikwijls waar te nemen, vooral bij aankomende noordwester-buien: een bonte regenboogkleurige boog, evenwijdig aan de gezichteinder, ongeveer waar men de bovenraakboog van de grote kring zou verwachten, maar meestal *een paar graden hoger*.

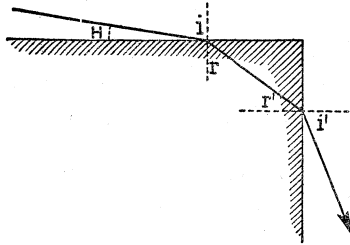
Men denke zich plaatjes of parapluvormen (fig. 134), stabiel zwevend met hun as vertikaal; dan breekt een zonnestraal in het

prisma van 90° , maar dit heeft in 't algemeen *niet* de stand van kleinste afwijking. Uit fig. 138 ziet men dat

$$\sin i' = n \sin r' = n \cos r = n \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{n^2}} = \sqrt{n^2 - \sin^2 i}.$$

Hieruit volgt dan onmiddellijk de afwijkingshoek: $i' + i = 90^\circ$.

Bij een zonshoogte $H = 10^\circ$ wordt dit ongeveer 50° ; bij $H = 20^\circ$ wordt het 46° (het minimum); bij $H = 30^\circ$ weer 49° . De raakboog aan de grote kring, met een afwijkingshoek van 46° , is dus alleen bij hoge en bij lage zon van de circumzenithale boog te onderscheiden.



Het is zeer de moeite waard de circumzenithale boog bij hoge zon waar te nemen en te meten. Theoretisch is nooit meer dan de helft van de cirkel te zien, praktisch niet meer dan 90° ; toch beweert men een enkele maal de volledige cirkel te hebben waargenomen: „de boog van Kern”.¹⁾

Fig. 138. Breking van een lichtstraal door een ijsprisma van 90° .

Mochten de raakboog en de circumzenithale boog *beide* aanwezig zijn, dan moest men *een tussenruimte* van een paar graden tussen de twee zien. Inderdaad is het eens voorgekomen, dat men een brede boog zag, over zijn gehele lengte overlans verdeeld door een donkere band, welke ineens verscheen en iets later verdween.²⁾ Toch is een dergelijke waarneming zeer zelden mogelijk, want daarvoor moet tegelijk een groep horizontaalzwevende plaatjes en een groep onregelmatig gerichte plaatjes aanwezig zijn.

151. De horizontale cirkel (fig. 132k).

Dit is een kring die op de hoogte van de zon evenwijdig aan de gezichteinder loopt; soms is hij over de volle 360° te volgen, dikwijls echter ziet men hem moeilijk in de nabijheid van de zon, waar de hemel al vrij helder is. Aangezien hij *ongekleurd* is, moet hij klaarblijkelijk door terugkaatsing en niet door breking ontstaan: in dit geval zijn de terugkaatsende vlakjes de zijvlakken van ijsprisma's, welke met hun assen vertikaal zweven.

1) Hemel en Dampkring, 20, 39, 1922. — Waarneming van Lambert in 1838, naar Pernter-Exner, blz. 300. — Onweders, enz. 16, 66, 1895.

2) M. W. R. 48, 506, 1920.

Een dergelijke lichtband kan men zien als men naar een lichtbron kijkt door een ruit, welke met een ietwat vette doek in één bepaalde richting gepoetst is; of bij terugkaatsing door fijn geribbeld glas. De lichtband staat altijd loodrecht op de ribbeltjes.

152. Lichtzuilen.¹⁾

Vrij dikwijls ziet men boven de op- of ondergaande zon een vertikale „lichtzuil” of liever lichtpluim, het mooist waar te nemen als de zon achter een huis verborgen zit, zodat het oog niet verblind wordt. De lichtzuil is eigenlijk ongekleurd, maar als de zon laag staat en geel, oranje, of rood is geworden, heeft de zuil natuurlijk dezelfde tint. Meestal is zij maar een graad of vijf hoog, zelden 15° of meer; onder de zon komen lichtzuilen weinig voor en zijn ze korter. Bij hoge zon verschijnen ze zelden,

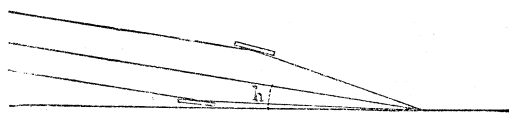


Fig. 139. De eenvoudigste verklaring voor het ontstaan van lichtzuilen onder en boven de zon.

daarentegen ziet men ze dikwijls heel goed als de zon al achter de gezichteinder gezonken is.

Een toevallige plaatselijke versterking van de lichtzuil door wolkenlierten maakt de indruk van een lichtvlek en is wel eens beschreven als „dubbele zon”. Ook dit verschijnsel komt dus begrijpelijkerwijze meer boven dan onder de zon voor.

Denk u een wolk van ijsschilfertjes die alle heel langzaam vallen, en goed horizontaal gericht blijven: de invallende zonnestralen worden erdoor teruggekaatst, maar bereiken ons oog niet. Denk u echter (fig. 139) dat die ijsschilfertjes *een weinig om de horizontaal gaan hellen* over een hoek Δ maar naar allerlei windstreken: de teruggekaatste lichtstralen krijgen nu allerlei kleine afwijkingen; en als de helling Δ kleiner blijft dan $h/2$ (h = zons-hoogte) zien we een zuil onder de zon, — enigszins op dezelfde wijze als zich lichtzuilen vormen in gerimpelde wateroppervlakken (§ 16); wordt de helling der ijsplaatjes groter dan h , dan zien we niet alleen een zuil onder de zon, maar ook een zwakkere zuil erboven.

Deze voorstelling is echter in twee opzichten in strijd met de

1) E. van Everdingen, Onweddr. enz. **28**, 77, 1907. C. Schoute, Hemel en Dampkring, **7**, 1, 1909. — K. Stuchtey, Ann. d. Phys. **59**, 33, 1919. — Vgl. ook de bij § 16 opgegeven litteratuur.

waarnemingen. Vooreerst zouden de zuilen altijd sterker moeten zijn onder dan boven de zon; en verder zouden zuilen boven een vrij hoog staande zon nooit kunnen voorkomen, daar ijsplaatjes die om de horizontale stand schommelen slechts betrekkelijk kleine afwijkingen vertonen (vgl. § 154). — Noch het ene, noch het andere is waar.

Men heeft ondersteld, dat *herhaalde terugkaatsingen* een rol spelen, maar het lichtverschijnsel zou dan veel zwakker zijn, en men kan laten zien dat de zuil veel breder zou worden dan ze zich gewoonlijk aan ons oog vertoont. Men heeft gedacht aan *de kromming der Aarde*, waardoor de waarnemer in éénzelfde gezichtsrichting plaatjes ziet van merkbaar verschillende helling. Men heeft tenslotte ook *ijsplaatjes aangenomen die in snelle rotatie zijn* om een horizontale as en daardoor alle mogelijke standen in de ruimte innemen; en deze onderstelling schijnt wel een der waarschijnlijkste, ofschoon ze nooit volledig dóórgerekend is.

De lichtzuilen leken een zó eenvoudig verschijnsel. Wie had gedacht dat de verklaring al die moeilijkheden zou meebrengen?

153. Lichtkruisen (plaat VIIIb).

Als tegelijk een vertikale zuil en een stukje van de horizontale cirkel optreden, zien we een „kruis” aan de hemel. Wij behoeven niet te zeggen dat de bijgelovigheid hier haar gading gevonden heeft!

Op 14 Juli 1865 betraden de alpinist Whymper en zijn tochtgenoten als eersten de top van de Matterhorn; maar vier der koene mannen gleden bij de terugweg uit, en stortten in de afgrond. Tegen de avond zag Whymper aan de lucht een ontzaglijke lichtkring met drie kruisen: „de spookachtige lichtverschijnselen hingen onbewegelijk; het was een wonderlijk en ontzettend schouwspel, enig in mijn ervaring, en onbeschrijfelijk indrukwekkend op zulk een ogenblik.”

154. De onderzon.

Zij is slechts van op een berg of uit een vliegtuig te zien. Het is een ietwat langwerpig, ongekleurd spiegelbeeld: de zon die zich spiegelt, niet in een wateroppervlak, maar in een wolk! En wel een wolk van ijsplaatjes, die blijkbaar uiterst rustig, bijna horizontaal zweven, gezien de betrekkelijke scherpte van het beeld.

155. Zeer zeldzame en twijfelachtige haloverschijnselen.

Na de vele reeds besproken halovormen, moge nog volgende kleine lijst een denkbeeld geven van de wonderbaarlijk grote rijkdom aan veel zeldzamer verschijnselen, die soms op het meest onverwachte ogenblik met verrassende duidelijkheid verschijnen.

Kringen om de zon van 8° — 9° , 16° — 19° , 23° — 32° . Scherm altijd de zon af om deze lichtzwakke kringen te zoeken! Het is merkwaardig dat ze dikwijls met verscheidene tegelijk optreden. ¹⁾

Kring om de zon van 90° straal, wit. Zeer twijfelachtig.

De tegenzon, een lichtvlek die op de horizontale cirkel ligt tegenover de zon, meest kleurloos en nogal wazig.

De bijzonnen op de kring van 90° ; op 33° van de zon ²⁾; op 19° van de zon. ³⁾

De witte bijtegenzonnen op de horizontale cirkel op 120° van de zon; ook op 40° ? 84° — 100° ? 145° ? ⁴⁾

De bijzon onder de gezichteinder, als spiegelbeeld van de gewone bijzon te zien van uit een vliegtuig of op een berg. ⁵⁾

Lichtzuilen boven de bijzonnen en boven de tegenzon.

Bijzonnen van de bijzonnen (een sekundair haloverschijnsel).

Bijzonnen op de plaats waar de kleine kring en de vertikale zuil de gezichteinder bereiken.

Raakboog aan de kleine kring op de plaats van de bijzon. ⁶⁾

De scheve bogen door de tegenzon, meest wit, éénmaal gekleurd gezien. ⁷⁾ — Dergelijke bogen soms ook door de zon zelf.

Bogen aan de tegenovergestelde zijde van de zon, nl. kringen om de tegenzon, met een straal van 33° , 35° , 38° .

Ongewone circumzenithaalboog op verschillende hoogten.

De boog van Parry, een klein boogje vlak boven de kleine kring (fig. 132e).

Ellips om de zon met de lange as van 10° vertikaal, de korte as van 8° horizontaal.

De kring van Bouguer, om het tegenpunt der zon, met een straal van 35° — 38° ; hij is dikwijls moeilijk te onderscheiden van

1) E. van Everdingen, *Hemel en Dampkring*, 31, 1933. Neuberger, *Met. Zs.* 52, 232, 1935.

2) C. W. Hissink, *Hemel en Dampkring*, 4, 64, 1906.

3) *Hemel en Dampkring*, 30, 207, 1932. — *Gerl. Beiträge z. Geoph.* 1934.

4) S. W. Visser, *Hemel en Dampkring*, 34, 114, 1936.

5) H. Berg, *Met. Zs.* 52, 227, 1935.

6) *Hemel en Dampkring*, 24, 390, 1926.

7) E. van Everdingen, *Hemel en Dampkring*, 34, 177, 1936. — S. W. Visser, *Hemel en Dampkring*, 34, 309, 1936.

een mistboog, maar de kring van Bouguer is geheel ongekleurd, heeft geen overtallige bogen, en is meestal vergezeld van andere haloverschijnselen.

156. **Scheve en vervormde haloverschijnselen.**

Men heeft soms lichtzuilen gezien, die niet vertikaal maar schuin stonden, tot zelfs 20° ten opzichte van de vertikaal hellend! ¹⁾ De scheve lichtzuilen op golvend water hebben we verklaard door een voorkeursrichting in de golfjes; hier ligt het voor de hand, aan te nemen dat de ijskristalletjes niet horizontaal zweven, maar door bepaalde luchtstromingen schuin worden gericht — hoe dat nu precies gebeurt, is niet heel gemakkelijk te verklaren!

Evenzo kent men bovenraakbogen die de kleine kring 10° — 12° naast de top raakten. ²⁾ De horizontale cirkel is soms scheef gezien; eenmaal, toen de zon 50° hoog was, bleek dat hij aan beide zijden naar de gezichteinder toe kromde: op 90° van de zon was hij slechts 25° boven de kim. ³⁾ Een ander maal liep deze cirkel 1° — 2° onder de zon! De bijzon van de kleine kring stond eens 40' te hoog, wat bijzonder duidelijk was omdat de zon op het punt was onder te gaan. ⁴⁾

Meer waarnemingen zijn nodig! En vooral neme men alle voorzorgen om subjektieve beoordelingsfouten te vermijden: schietlood gebruiken; fotograferen terwijl een schietlood op enige afstand vóór het toestel gehouden wordt en zich (ietwat onscherp) op de plaat aftekent.

157. **De ontwikkelingsgraad van haloverschijnselen.** ⁵⁾

De niet-geschoolde waarnemer overdrijft altijd de regelmaat der natuurverschijnselen; hij tekent de sneeuwkrystallen volmaakt symmetrisch, vindt in de regenboog 7 kleuren, en ziet de bliksem als een zigzaglijn! Zo is er ook de neiging, de haloverschijnselen vollediger te beschrijven dan ze in werkelijkheid zijn. — Toch komt het volstrekt niet op hetzelfde neer, of de kleine kring over de helft van zijn omtrek zichtbaar is dan wel helemaal. „De onvolkomenheid” der natuurverschijnselen wordt ook door vaste wetten beheerst en is in haar soort weer een regelmaat.

1) E. Barkow, Met. Zs. 33, 545, 1916.

2) Hemel en Dampkring, 30, 19, 1932.

3) Hemel en Dampkring, 16, 33, 1918. — Vgl. ook noot 2.

4) C. W. Hissink, Hemel en Dampkring, 9, 13, 1911.

5) Chr. A. Nell, Hemel en Dampkring, 7, 41, 1909.

Daarom is het belangwekkend, voor elk haloverschijnsel op te tekenen in welke mate het ontwikkeld is, door een schatting te maken zowel van de lichtsterkte als van de uitgestrektheid van het zichtbare gedeelte. Door het maken van gemiddelden kan men de invloed van toevallige ongelijkmatige verdeling der wolken grotendeels wegwerken. In het algemeen vindt men, dat de gedeelten die het meest lichtsterk zijn ook het veelvuldigst tot ontwikkeling komen. Een halo die bijzonder lichtsterk is is gemiddeld ook bijzonder uitgebreid. Een matig dunne wolkenlaag is het gunstigst voor de ontwikkeling der halo's: de zeer dunne lagen bevatten te weinig kristallen, de zeer dikke laten geen licht genoeg door of verstrooien het diffuus in allerlei richtingen.

Zeer belangwekkend is, dat de bovenkant van de kleine kring gemiddeld ongeveer 3 maal veelvuldiger zichtbaar is dan de onderkant. Men heeft als reden opgegeven dat de weg der stralen door de wolkenlaag zoveel groter is aan de onderzijde; maar dit kan evengoed een voordeel als een nadeel zijn.

158. Haloverschijnselen vlak bij ons oog.¹⁾

Iemand die door een nauw straatje liep, zag een kring om de maan, maar bemerkte, dat een deel daarvan zich projekteerde op de donkere muur, één geheel vormend met de halo aan de hemel. Ook al werd de maan met de hand bedekt, toch bleef de halo zichtbaar: 't was dus geen verschijnsel in het oog, de ijskristalletjes zweefden blijkbaar tussen het oog en de muur, reeds op enkele meters boven de grond.²⁾

Bij zeer koud weer (-10°) vertoonde de stoom van een trein in 't station te Utrecht fraaie haloverschijnselen.³⁾ Nabij een der stationslampen, waar de stoomwolk sterk dwarrelde in allerlei richtingen, zag men een spoelvormig oppervlak verlicht, waarvan het ene uiteinde zich bij het oog bevond, het andere bij de lamp (fig. 140); alle kristalletjes die op dit oppervlak zweefden zag men oplichten, daarbinnen was alles donker; de raakkegel aan de spoel had een tophoek van ongeveer 44° . Men begrijpt onmiddellijk dat het spoelvormige oppervlak eenvoudig de meetkundige plaats is van alle punten P, zó dat OP en PL samen een hoek van 22° vormen.

1) Met. Zs. **27**, 113, 1910. — Hemel en Dampkring, **38**, 78, 1940.

2) Medegedeeld door Prof. Dr. J. A. Vollgraff te Leiden.

3) M. Minnaert, Hemel en Dampkring, **26**, 51, 1928.

Het merkwaardige van deze waarneming is het *driedimensionale* haloverschijnsel; dit is alleen mogelijk doordat de lichtbron zo dichtbij is, en de ogen, samenwerkend, de individuele lichtpuntjes zien en stereoskopisch hun afstand schatten.

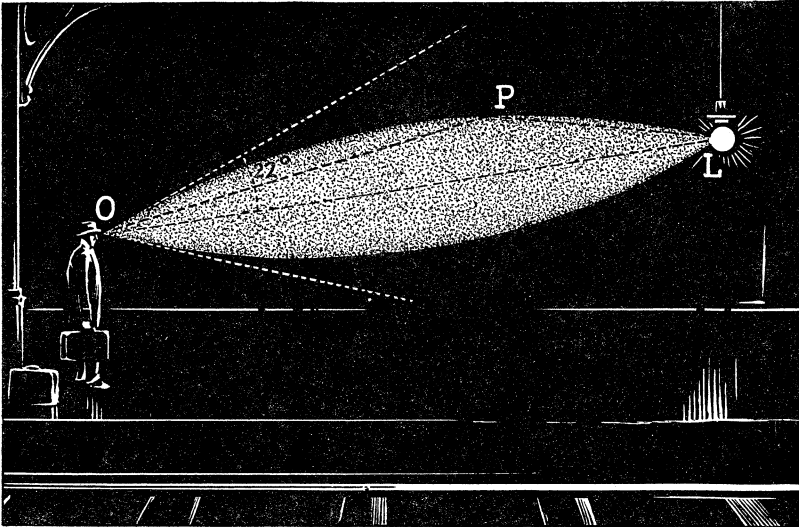


Fig. 140. Een kleine kring, waargenomen in de onmiddellijke nabijheid van ons oog.

Bij diezelfde gelegenheid werd opgemerkt dat lampen in een rustiger gedeelte van het station fraaie lichtkruisen vertoonden. Het verschijnsel is bekend: 's winters in Rusland ziet men dikwijls lichtzuilen boven de lantarens in de verte, een bewijs dat er een nevel van ijskristalletjes in de lucht zweeft.

In opgewervelde sneeuw en in ijsnevel heeft men wel eens de kleine kring, de bijzonnen, de bovenraakboog, en de grote kring gezien; soms zijn de bijzonnen dan zo hoog, dat ze lijken op verticale lichtzuilen met iriserende randen.

159. Haloverschijnselen op de grond.

Evenals we de regenboog geprojecteerd op een horizontaal vlak als dauwboog zagen, zo kan men soms op vers gevallen sneeuw de kleine en de grote kring als hyperboolvormige bogen waar-

nemen (fig. 141), naar het schijnt vooral bij uitzonderlijk lage temperaturen (-12° of lager), minder zelden echter bij rijp.¹⁾

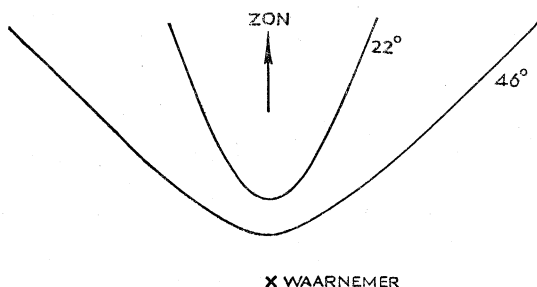


Fig. 141. De kleine en de grote kring, zich op de grond als hyperbolen aftekenend in verse sneeuw.

De zon moet laag staan, men kijke $\frac{1}{2}$ of 1 u. na zonsopgang of vóór zonsondergang.

De lichtstreep bestaat uit een aantal afzonderlijke kristalletjes, die in de prachtigste kleuren fonkelen; aan de naar ons toe gekeerde zijde zijn vooral rood en

goudbruin goed vertegenwoordigd; maar de tinten zijn klaarblijkelijk niet zeer verzadigd. Beweegt men zich, dan verplaatst het lichtverschijnsel zich ook.

Men kan de hoek oog-kristal-zon door eenvoudige metingen bepalen, en aantonen dat de lichtstralen over 22° gebroken worden (resp. 46°). Onderzoek de vormen der kristalletjes onder de loupe, teken en meet ze! Fotografeer het lichtverschijnsel!

Kransen.

160. Interferentiekleuren in olievlekken.

Als de grond nat is na de regen, zien we op onze mooie, donkere geasfalteerde wegen overal prachtig gekleurde vlekken die uit concentrische ringen bestaan; soms kunnen ze wel 50 cm groot worden. Werkelijk mooi zijn ze slechts op bepaalde wegen en op bepaalde dagen, terwijl ze zich anders als blauwgrijze vlekken met weinig kleuren vertonen. Klaarblijkelijk zijn ze gevormd door druppels olie, van de voorbijrijdende auto's weggespat; zulk een druppeltje breidt zich uit tot een heel dun laagje, en er ontstaan *interferentiekleuren* door de samenwerking van het licht dat aan de boven- en aan de onderkant van het laagje teruggekaatst is: de beroemde „kleuren van Newton”, dezelfde die we ook in de fantastisch mooie tinten der zeepbellen terugvinden. Voor hun verklaring verwijs ik naar de gewone

1) Listing, Ann. d. Phys. **122**, 161, 1864. — Meyer, das Wetter, **42**, 137, 1925.

leerboeken der natuurkunde, en wil slechts opmerken, dat wij hier feitelijk voor onze ogen bewezen zien dat het licht een golfverschijnsel is.

In volgend tabelletje zijn de kleuren opgesomd, aan de buitenkant van de vlek beginnend en geleidelijk tot het midden naderend; daarnaast staat de dikte van het oliehuidje in μ (= duizendste millimeter).

I.	zwart	0
	heldergrijs	0,080 μ
	bruingeel	0,115
	rood	0,170
<hr/>		
II.	violet	0,190
	blauw	0,210
	groen	0,270
	geel	0,305
	rood	0,340
<hr/>		
III.	violet	0,385
	blauw	0,400
	groen	0,455
	geel	0,505
	vleeskleurig	0,525
<hr/>		
IV.	grauwblauw	0,595
	groen	0,655
	vleeskleurig	0,695
<hr/>		
V.	blauwgroen	0,820

De olielaagjes zijn dus het dunst aan de buitenzijde en worden naar het centrum toe steeds dikker. Soms bereiken ze zelfs in het midden nog maar een der eerste trappen van de kleurenschaal; andere malen zijn ze zo dik, dat na de kleuren van ons tabelletje nog verscheiden malen rose en groen elkaar afwisselen, steeds bleker wordend en in „wit van hogere orde” overgaand, zodat er in het midden geen ringen meer te zien zijn.

Meet de middellijn van een regelmatig gevormde vlek op de plaats der verschillende kleuren, en teken de doorsnee van het olielaagje op schaal (fig. 142)! Herhaal dit na 10 minuten, en zie hoe de olieberg zich heeft vervlakt! Volg één bepaalde kleur als functie van de tijd: de ring zet eerst uit, daarna trekt

hij samen; waarom? Tenslotte ziet men alleen nog een grijze vlek, waarvan men de oorsprong niet zou hebben vermoed als men die niet in vorming had gezien. De beste manier is, bij één vlek te blijven staan en alle veranderingen te meten. Zo héél veel geduld is er niet voor nodig: misschien maar een half uur. Bescherm hem tegen fietsen en voetgangers; en moge hij het eind van zijn leven bereiken vóór er een auto overheen gereden is!

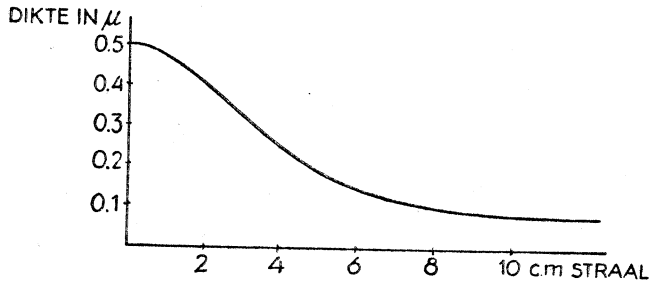


Fig. 142. Doorsnede op schaal van een oliedruppel op nat asfalt, met behulp der interferentiekleuren gemeten.

Bekijk de olievlék onder een schuine hoek: de kleuren verlopen, het is alsof de laag dunner geworden was. Want bij schuiner kijken schijnen de gekleurde ringen zich samen te trekken, in elk punt wordt de kleur dus vervangen door de kleur die eerst bij een dunnere ring behoorde. Geef u daar rekenschap van door het faseverschil der twee interfererende stralen te berekenen. — Mijn tweejarig zoontje strijkt er met de vinger over: de kleuren verplaatsen zich eerst, maar komen verrassend snel terug; de ringen zijn iets kleiner geworden, want er is een weinig olie weggenomen.

Soms ziet men mooi gevormde dubbelvlekken die klaarblijkelijk samenhangen. Hieraan is niets geheimzinnigs: ze zijn ontstaan uit een normale vlek, waar een automobiel over heen gereden is!

Helemaal tevreden zijn we niet, vóór we de gekleurde ringen zelf hebben kunnen namaken. Een druppel petroleum of een druppel terpentijn, op een vijvertje uitgegoten, geven onbeschrijfelijk mooie kleuren. Maar als we 't met *olie* beproeven, wacht ons een verrassing: de olie breidt zich niet tot een huidje uit en we zien niets; het lukt evenmin op een natte weg als op een wateroppervlak. Bestaan de vlekken dan wellicht uit *benzine*? Ook hier worden we teleurgesteld, we krijgen slechts witgrijze vlekken, blijkbaar uiterst dun, en in niets gelijkend op de prachtige kleurenringen. Een nader onderzoek heeft bewezen, dat

alleen de *afgewerkte, geoxydeerde olie*, die uit de motor lekt, het vermogen heeft om zich over water uit te breiden. ¹⁾ Hoe sterker de olie geoxydeerd is, des te dunner wordt het laagje.

De meeste olievlekken vertonen een straalsgewijze streping; elke gekleurde ring gaat als 't ware met franjes in de volgende over, en ook de buitenste, witgrijze ring eindigt in franjes. Bij het uitgieten van benzine over een natte weg zien we hoe de gevormde vlek zich aan alle kanten door uitgroeiende takjes uitbreidt, en ontstaat er vóór onze ogen een radiale streping en uitrafeling. Het verschijnsel is ook herhaaldelijk te zien aan de gekleurde huidjes die hier en daar op verontreinigd water drijven. Misschien spelen zeer bijzondere moleculaire krachten hier een rol.

Interferentiekleuren ziet men overal waar zich een dun laagje gevormd heeft. Bijvoorbeeld aan de huidjes van asfalt en petroleum die op 't water drijven; lijnen van constante kleur zijn tevens lijnen van constante dikte, waarvan de vervormingen ons alle stromingen en wervelingen van de vloeistof verraden. — Op de koperen bekleding van sommige lokomotiefschoorstenen zijn mooie aanloopkleuren te zien. Is het koper heet geworden en geoxydeerd? Of is het door de lange inwerking der buitenlucht en der verbrandingssgasen met een laagje sulfide bedekt?

161. **Prachtige kleuren op een bevrozende ruit.** ²⁾

Dit nog weinig bestudeerd verschijnsel kan men geregeld waarnemen op koude winteravonden (-10°) in trein of bus. Op de ruiten begint de waterdamp te bevrozen die de reizigers in de treincoupé hebben uitgeademd; ineens blijkt dat het licht van elke lantaren een wonderbaar kleurenspeel doet ontstaan: bepaalde delen van het dunne ijslaagje vertonen een hemelsblauwe tint, andere een groene of rode; deze kleuren strekken zich elk ongeveer over een oppervlakje van de orde van 1 cm^2 uit; ze zijn alleen te zien in doorvallend, en niet in teruggekaatst licht. De tinten zijn zo mooi en verzadigd, dat men onmiddellijk voelt: hier zie ik iets heel bijzonders! Het verschijnsel duurt maar enige minuten; daarna is de ijslaag enkele 0,1 mm dik geworden en ziet men niets meer.

Bij temperaturen beneden -5° kan men de proef zo dikwijls

1) K. B. Blodgett, J. O. S. A. **24**, 313, 1934.

2) Schlottmann, Met. Zs. **10**, 156, 1893. — Ook opgemerkt door Ch. F. Brooks, M. W. R. **53**, 49, 1925. — Aan Prof. Dr. J. A. Prins ben ik dank verschuldigd voor het verklaren dezer kleuren als „colours of mixed plates”, naar Wood (Physical Optics).

als men wil herhalen, door een ruitje buiten te zetten, enige minuten te wachten tot het de luchttemperatuur heeft aangegenomen, en er dan van enige afstand op te ademen. De adem slaat eerst neer als kleine halfronde klompjes (a), na een halve minuut ongeveer vormen zich barstjes in de laag en gaan de ijsdeeltjes zich in groepjes verzamelen (b), tot ze tenslotte lange naalden vormen, waartussen men het heldere ijs ziet (c). Het is alleen in het stadium (b) dat de kleuren optreden; vandaar dat ze zo kort duren. Verder is het zeer typische, *dat de lantaren of de lichtbron die men bekijkt zelf gekleurd wordt*, en naarmate men

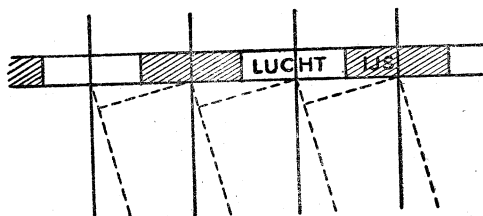


Fig. 143. De kleuren op een bevroren ruit, verklaard als „colours of mixed plates”.

doorgaat met ademen achtereenvolgens bruingeel, purper, blauw, groen, geel... wordt, de volgorde der „kleuren van Newton” doorlopend. Om de lichtbron verschijnt een heldere kran van de complementaire

kleur, met een straal van ongeveer 1° , die langzaam iets schijnt toe te nemen; het volledigst kan men hem waarnemen door het ademen even te onderbreken en het ruitje vlak bij het oog te houden. In de dag kan men bv. de heldere besneeuwde daken rozerood zien, de donkere partijen van het landschap daaromheen groen. Zeer uitgestrekte heldere gebieden, zoals de lichte hemel, veranderen natuurlijk niet van kleur, aangezien we in elke richting tegelijk de gekleurde „lichtbron” zien, en het complementair gekleurde verstrooide licht van de naburige gebieden. *Houdt men het ruitje schuin, dan wijzigen zich de kleuren, alsof de laag dikker geworden was.*

Klaarblijkelijk moeten we aannemen dat het laagje opgebouwd is uit aan elkaar grenzende gebiedjes van twee verschillende soorten stof, in dit geval ijs en lucht. Van de stralen die de lichtbron naar ons oog zendt, zijn sommige door de lucht gegaan, andere door het ijs, zodat ze een phaseverschil ten opzichte van elkaar vertonen: één bepaalde kleur wordt uitgedoofd en de lichtbron kleurt zich. Aan de randen der gebiedjes wordt echter het licht ook gebogen, en bij een bepaalde afbuigingshoek en een bepaalde afmeting der tussenruimten zal het wegverschil net voldoende zijn om de geleden phasevertraging te compenseren: de kleur die in het directe beeld uitgedoofd was, vinden we

in het gebogen licht weer terug. Voor een laagje samengesteld uit ijs en lucht zouden we een laagdikte van de orde 1μ moeten aannemen, de korreltjes zouden ongeveer 0,1 mm van elkaar verwijderd moeten zijn. Zijn alle korreltjes precies even ver van elkaar, dan moet de lichtkrans vrij scherp zijn, en door een donkere zoom van de lichtbron gescheiden zijn; bij onregelmatige afstanden is de lichtbron geheel met licht omgeven. Men vindt dat sommige delen der ruit zich op de eerste wijze gedragen, andere weer op de tweede.

Helemaal uitgeput zijn de merkwaardigheden en geheimen der bevroezende ruit door onze beschrijving stellig niet. Als u bijvoorbeeld het ruitje op enige afstand vóór uw oog houdt, kunt u zien dat elk bepaald punt ervan pas oplicht wanneer het op een passende hoekafstand van de lichtbron gezien wordt; en wel in een kleur die voor elk gebiedje vast gegeven is. In het licht van de hierboven geschetste theorie is dit onmiddellijk te begrijpen. Maar hoe komt het, dat men bij een sterke lichtbron om de aureool nog zwakke kransen ziet van afwijkende kleur? Hiertoe dient men het glaasje dicht bij het oog te houden!

Terwijl u dit alles heeft waargenomen en overwogen, is het ijsneerslag waarschijnlijk al vanzelf verdampt („gesublimeerd”). U kunt nu de proef zonder meer herhalen, net zo dikwijls als u wilt, mits u niet beproeft het glaasje schoon te poetsen: dit zou veel nodeloze moeite kosten.

162. Interferentiekleuren in ijzerhoudend water.

Waar de heidegrond ijzerhoudend is, wordt het bruine water der sloten soms bedekt met een dun, iriserend laagje, dat bleke kleuren vertoont als paarlemoer. Die kleuren ontstaan, doordat het ijzeroxyde, dat kolloidaal in het water opgelost is, zich in evenwijdige plaatjes groepeerd, op afstanden van ongeveer $\frac{1}{4}\mu$ van elkaar¹⁾: zulk een lamellair opgebouwd huidje werkt min of meer als een kleurenfoto van Lippman.

163. De buiging van het licht.

Nacht. Uit de donkere verten van de grote straatweg komt een automobiel aangesnord, een felle lichtbundel voor zich uit werpend. Maar toevallig komt een fietser net vóór het verblindende licht, zodat we een ogenblik in de schaduw staan. En o, ineens is het silhouet van den fietser met een wondermooie lichtlijn

1) Zocher, Zs. f. allg. anorg. Chem. **149**, 203, 1925.

omzoomd, alsof die rand zelf licht ging uitstralen. Ook aan wandelaars, aan bomen is hetzelfde waar te nemen. Dit is nu de „buiging” van het licht: aan de rand van een ondoorzichtig scherm gaat het een weinig om de hoek, en een deel van de golfbeweging bereikt het gebied waar men volgens de gewone „geometrische optica” schaduw zou verwachten. Dit afgebogen licht is vrij sterk voor een zeer kleine afwijkingshoek, maar neemt snel af voor grotere hoeken; vandaar dat het verschijnsel zo mooi is als de fiets ver van ons verwijderd is, en de auto nog veel verder.

Een dergelijk verschijnsel op grote schaal wordt vooral in de berglanden met zuivere lucht waargenomen als men, zelf in de schaduw staande van een heuvel, de begroeide bovenrand zwart ziet afsteken tegen de ochtendhemel: op de plaats waar het licht het felst is en de zon straks zal opgaan, ziet men de bomen schitterend zilverwit omstraald.¹⁾

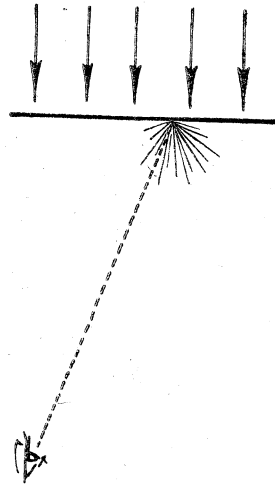
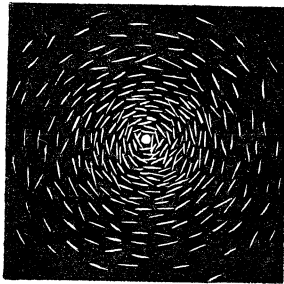


Fig. 144. Buiging van het licht door kleine krasjes op de ruiten.

Het schijnt dat in onze streken vooral de gaspeldoornstruiken, tegen de zon gezien, een dergelijk soort effect kunnen teweegbrengen.

164. Buiging van het licht aan kleine krassen (fig. 144).

Kijk door de ruit van een treincoupé naar de zon, dan ziet u duizenden uiterst fijne krasjes in het glas, alle concentrisch

1) Dit verschijnsel, oppervlakkig waargenomen door Folie, is indertijd druk besproken. Reeds in Rep. Brit. Ass. 42, 45, 1872; later in Nat. 47, 364. — Zs. f. Met. 12, 410, 1877. — La Nature, 21, 58, 1893.

om de zon heen gerangschikt. Door welk deel van de ruit we ook kijken, altijd is de figuur dezelfde. Blijkbaar zijn er dus *overal* op het glas krasjes in *alle* richtingen, maar men ziet alleen die welke loodrecht op het invalsvlak der lichtstralen staan (vgl. § 25). Want elke kras spreidt het licht uit in een vlak loodrecht op zijn eigen richting, en wordt dus alleen voor een waarnemer in dit vlak zichtbaar.

Bij zulke heel fijne krasjes kan men niet goed meer spreken van terugkaatsing of breking, beter is het om dan de afwijking der lichtstralen als *buiging* te beschouwen. Als u aandachtig naar een van die krasjes kijkt, zult u zien dat het in bepaalde richtingen de prachtigste kleuren in allerlei volgorden vertoont; met een nicol zoudt u kunnen merken dat er bij schuine invalsen waarnemingsrichting sterke polarisatie optreedt. — Al deze verschijnselen zijn zeer ingewikkeld, en slechts gedeeltelijk door de theoretische optica verklaard. ¹⁾

165. **Kransen.**

*Een grote, stille vertedering
Daalt uit de hemel, de wolken kleuren
In iristinten om de maan*

P. Verlaine (La bonne Chanson).

Langzaam trekken de ijle witte schaapjeswolken voorbij de maan. Dit verlichte deel van de hemel is het middelpunt van het gehele nachtlandschap, waar ons oog zich onbewust toe aange trokken voelt. En telkens als er weer een wolkje aankomt, zien we mooie bontgekleurde lichtcirkels om het zachtstralend hemellichaam, met een middellijn van slechts enkele malen die van de maan zelf. In Vlaanderen zegt ons volk: „de maan zit in een hof”.

Laten wij nauwkeurig de volgorde der kleuren nagaan! Vlak bij de maan is een blauwachtige rand, die overgaat in een geelachtig wit, en dit heeft zelf weer aan de buitenzijde een bruinachtige zoom. Deze *aureool* is het kransverschijnsel in zijn eenvoudigste vorm, de vorm die verreweg het meest voorkomt. Iets bijzonders wordt het pas als daaromheen nog grotere, fraaie gekleurde ringen voorkomen. De volgorde daarvan is uit volgend tabelletje te zien, dat eigenlijk vrijwel geheel met de schaal van Newton's interferentiekleuren overeenstemt. Alleen hebben de

1) Fizeau, Ann. Chim. Phys. **63**, 385, 1861. — Rayleigh, Phil. Mag. **14**, 350, 1907; Papers V, 410.

meteorologen de grenzen tussen de „orden” ietwat anders dan de physici gekozen, nl. zo dat elke groep met rood sluit. Buiten de aureool heeft men een heel enkele keer nog 3 groepen gezien („4-voudige krans’’).

I.	aureool	{	(blauwachtig) wit (geelachtig) bruinrood
II.			blauw groen (geel) rood
III.			blauw groen rood
IV.			blauw groen rood

Het schijnt wel zeker, dat de kleurschakeringen niet altijd geheel dezelfde zijn; die welke we tussen haken hebben gezet, zijn soms wel, soms niet aanwezig. Bij het onderzoek naar deze veranderlijkheid der kransen houde men rekening met de schijn-gestalten der maan, waardoor de buigingsfiguur soms waziger, soms scherper wordt.

Voor het schatten van de straal der kransen, is het best om op de rode zoom in te stellen waarmee elke orde eindigt, want die kleur tekent zich het scherpst af; men vergelijkt dan de grootte van de krans met de maansmiddellijn (32'). De grootte der kransen blijkt zeer veranderlijk te zijn: zo kan de bruine zoom van de aureool een straal hebben van ternauwernood 1°, terwijl hij andere malen tot 5° toe bereikt; als uiterste waarden vindt men opgegeven: 10' en 13°.

Kransen om de zon zijn zeer dikwijls te zien, tenminste zoveel als om de maan, maar men let er niet op omdat iedereen vermijdt in het felle licht te kijken. En toch zijn door de grote helderheid van de zon de kransen om dit hemellichaam meestal de aller-mooiste.

Men vergemakkelijkt zich de waarneming door een van de volgende hulpmiddelen.

a. Bekijk de weerspiegeling van de zon in rustig water; Newton's beroemde waarneming van een krans om de zon is aldus gebeurd.

b. Gebruik als spiegel een stukje gepolijst zwart marmerglas, waarvan naamplaten vervaardigd worden; of het lasglas van de techniek; of een gewoon glaasje, dat aan de achterkant zwart gevernist is. Men houdt die plaatjes dicht bij het oog, om een groter veld te overzien.

c. Kies marmerglas of lasglas die voldoende doorzichtig zijn om de zon zonder verblinding te kunnen waarnemen als u er doorheen kijkt.

d. Zorg dat de zon door de rand van een dak bedekt wordt.

e. Kijk in een tuinbol van op een afstand van een paar meter, en bedek daarbij het beeld van de zon met uw hoofd.

De aureool ziet men bijna bij elk wolkentype flauwtjes. In altocumuli of stratocumuli is de aureool veel sterker, en de volgende kleurengordel meestal reeds flauw aangeduid. De mooiste, verrukkelijk zuiver getinte kransen ontstaan in lichte cirrocumuli en naar het schijnt in cirri (II, § 118 — § 123).

Soms kan men zelfs om *Venus*, *Jupiter* en de helderste sterren kleine, lichtzwakke kransen waarnemen.

166. De verklaring der kransverschijnselen.¹⁾

De kransen die we in de wolken zien ontstaan vormen zich door buiging van het licht aan de waterdruppeltjes van de wolk. Ze zijn des te groter naarmate de druppeltjes kleiner zijn. In wolken waarin de druppeltjes allemaal dezelfde grootte hebben, zijn de kransen goed gevormd en de kleuren zuiver; waar er echter druppeltjes van allerlei grootte door elkaar voorkomen, ontstaan er tegelijkertijd kransen van verschillende grootte die elkaar overdekken. Vandaar dat mooi ontwikkelde kransverschijnselen slechts in zeer bepaalde soorten wolken voorkomen, waar de waterdamp onder voldoende gelijkmatige omstandigheden is neergeslagen; vandaar ook dat de fijnere onderscheidingen in de volgorde der tinten zullen afhangen van de aantallen druppeltjes van de verschillende grootten, van de dikte van de wolk, enz.

De theorie volgt in grote trekken deze gedachtengang:

a. de buiging aan een niet te dichte wolk van gelijke water-

1) R. Meyer, *Met. Zs.* **27**, 112, 1910. — G. C. Simpson, *Quart. Journ.* **38**, 291, 1912. — Ch. F. Brooks, *M. W. R.* **53**, 49, 1925 (met litteratuur). — Köhler, *Met. Zs.* **40**, 257, 1923.

druppeltjes is dezelfde als aan één druppeltje, maar het afgebogen licht heeft een grotere sterkte;

b. de buiging aan een druppeltje geschiedt op dezelfde wijze als aan een openingetje in een scherm (beginsel van Babinet);

c. de buiging door een openingetje berekent men door die opening te beschouwen als het uitgangspunt van trillingen (beginsel van Huygens), en na te gaan hoe de golven van alle delen der opening in het oog van den waarnemer samenkomen en interfereren.

De gelijkenis tussen de krans en het buigingsbeeld van een rond gaatje is gemakkelijk waar te nemen. Hang voor een raam waarop de zon schijnt een stuk karton, in het midden doorboord en weer dichtgeplakt met een stanniolblaadje,¹⁾ waarin u een prik met een naald maakt; bekijk dit felle lichtpuntje in de richting naar de zon toe en van een afstand van een meter, en houd vlak vóór het oog een tweede stukje stanniol, ook voorzien van een fijn prikje. Deze gaatjes worden gemaakt met de scherpste naald, die tijdens het prikken voortdurend tussen de vingers gerold wordt: ze moeten niet meer dan 0,5 mm groot zijn. U ziet nu het gaatje verbreed tot een schijfje, dat een aureool in miniatuur is, en daaromheen een ringenstelsel dat met de achtereenvolgende orden van de krans overeenkomt. Hoe fijner het gaatje dat u voor uw oog houdt, hoe groter de buigingsfiguur.

De achtereenvolgende maxima en minima zijn geheel te vergelijken met de buigingsstrepen die een evenwijdige spleet geeft, alleen zijn hun afstanden ietwat anders. De uiterste rode

zomen der aureool en der eerste orde liggen bij $\delta = \frac{0,00070}{a}$

en $\frac{0,00127}{a}$ (a = middellijn van het gaatje in mm; δ = hoekafstand van uit middenpunt).

Wij kunnen dus uit de kransen berekenen hoe groot de druppeltjes zijn waaruit de wolken bestaan! Is de straal δ van een aureool om de maan 4 maal de middellijn van dit hemellichaam,

dus $\frac{4}{108}$ radiaal, dan bestaan de wolken uit druppeltjes, met een

middellijn van $\frac{108}{4} \times 0,00070 = \frac{0,076}{4} = 0,019$ mm middellijn.

— Deze berekening is niet geheel juist, omdat de zon of de maan niet puntvormig zijn, maar een straal van 16' hebben. De

1) Het „zilverpapier” waarin toffee's en chocolade gewikkeld zijn.

uiterste zoom schijnt daardoor te groot; men trekt dus dikwijls 16' van de waargenomen hoek δ af, vóór men de formule toepast, maar het is zeer de vraag of deze werkwijze gerechtvaardigd is. ¹⁾ — Als resultaat zult u vinden, dat de druppeltjes in de wolken 0,01 mm tot 0,02 mm groot zijn.

Het is waarschijnlijk, dat kransen ook kunnen ontstaan door zwermen *ijsnaaldjes* van gelijke dikte, die het licht buigen op dezelfde wijze als een spleet. Kransen worden immers af en toe in de ijle, hoge cirruswolken waargenomen: het zijn zelfs de mooist gekleurde en best ontwikkelde; en deze wolken bestaan uit ijskristalletjes.

De berekening van de dikte der ijsnaaldjes geschiedt dan even eenvoudig als voor het geval van waterdruppeltjes: bij de krans die wij als voorbeeld namen, en waar de bruine zoom een straal van 4 maansmiddellijnen had, zou de dikte der ijsnaaldjes $\frac{0,062}{4}$ = 0,015 mm zijn.

Bij het waarnemen van een krans is het heel moeilijk te zeggen, of hij door waterdruppeltjes of door ijsnaaldjes ontstaat. Voor ijsnaaldjes liggen de donkere minima op nauwkeurig gelijke afstanden van het centrum en van elkaar, terwijl voor druppeltjes de aureool een straal heeft, 20 % groter dan de breedte van elk der daaropvolgende gordels. Ook neemt de lichtsterkte der opeenvolgende gordels veel langzamer af voor de ijsnaaldjes dan voor de druppeltjes. Maar dit zijn moeilijk waar te nemen onderscheidingen. De beste metingen spreken nu eens voor de éne, dan voor de andere ontstaanswijze, en wel overeenstemmend met wat men uit de aard der wolken zou verwachten.

De aanwezigheid van een mooie krans is voor den natuurkundige niet alleen een aanwijzing voor de grote gelijkmatigheid der wolkendruppeltjes of der ijsnaaldjes. Hij besluit er ook uit, dat de wolk waarschijnlijk vrij onlangs gevormd is: „een jonge wolk”. Want in zwermen druppeltjes is er een voortdurende neiging tot het ongelijk worden;

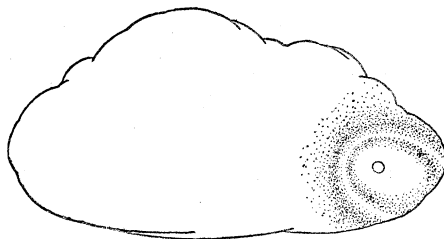


Fig. 145. Asymmetrische krans bij de grens van een wolkje.

1) Onweders, enz. 54, 54, 1933.

die welke toevallig wat kleiner zijn verdampen het snelst, terwijl die welke al iets groter waren ook het snelst verder groeien ten koste van de kleintjes.

Als een lucht van cirrocumuli of altocumuli („schaapjeswolken”) over de maan trekt, ziet men soms heel mooi hoe de kransen *asymmetrisch* uitzetten naar de rand van het wolkje, telkens als er weer een over de maan drijft (fig. 145). Blijkbaar zijn de druppeltjes kleiner in de buitenste delen van deze wolken dan in de binnenste. Het ligt inderdaad voor de hand, dat zij daar reeds beginnen te verdampen.

167. Kransen op de ruiten, in stoomwolken.

Als we op een winteravond langs de goed verlichte koffiehuisen wandelen, kunnen we dikwijls zien hoe de lampen omringd zijn door een kleurenkrans, veroorzaakt door de aangeslagen ruiten; op sommige delen van de ruit is de krans groter, op andere kleiner, dikwijls zien we alleen de aureool, soms echter zijn de gekleurde ringen verrassend mooi: het is alsof sommige ruiten het altijd mooier doen dan andere. Verklaring: de kransen ontstaan door buiging aan de heel kleine waterdruppeltjes op de ruit, ze zijn des te mooier naarmate de druppeltjes meer gelijk van grootte zijn. Het lijkt niet onmogelijk, dat de druppeltjes op sommige soorten glas gelijkmatiger neerslaan dan op andere.

Deze kransen gelijken opvallend sterk op de wolkenkransen, en hun ontstaanswijze is eigenlijk dezelfde. In het ene geval bevinden zich de buigende druppeltjes op de ruit, in het andere geval zweven zij als bestanddelen van de wolk hoog in de lucht. Toch vertonen de kransen op de ruiten een verschil met die welke we in de wolken hebben waargenomen: *om de lichtbron is er een donker veld in plaats van een lichte aureool*. Dit is te wijten aan de regelmatige schikking der druppeltjes, die zich netjes op min of meer gelijke afstanden van elkaar vormen, terwijl de druppeltjes in een wolk op onregelmatige wijze verdeeld waren.¹⁾ De vorming der kransen bij een beslagen ruit is daardoor een ingewikkelder verschijnsel: de een of twee binnenste lichtringen ontstaan nu in hoofdzaak door de *onderlinge* interferentie van de verschillende druppeltjes, die als zoveel lichtbronnetjes werken, op min of meer *gelijke afstanden* van elkaar geplaatst; de buitenste

1) Donle, Ann. d. Phys. **34**, 814, 1888. — K. Exner, Sitzungsber. Akad. Wien, **76**, 522, 1877; **98**, 1130, 1889. — J. A. Prins, Hemel en Dampkring, **38**, 244, 1940. — J. J. M. Reesinck en D. A. de Vries, Physica, **7**, 603, 1940.

lichtringen daarentegen ontstaan reeds door elk der *afzonderlijke* druppeltjes en hun ligging wordt door de min of meer *gelijke afmeting* van al die druppeltjes bepaald.

Kijken we schuin door de ruit, dan zien we de kransen eerst elliptisch worden, dan parabool- en zelfs hyperboolvormig. Als het nu was zoals bij de dauwboog, dan zouden we bedoelen: „de kransen *zoals ze zich op de ruit aftekenen* zijn elliptisch, . . . enz.; maar gezien *van uit mijn oog* liggen ze op zuivere kegel-mantels om de as oog-lamp en projekteren zich als cirkels.” Ditmaal echter is het een ander geval: de kransen worden ook in projectie al elliptisch, ze zijn *nog extra uitgerekt* in horizontale richting: blijkbaar omdat ik elk druppeltje in die richting perspectivisch verkort zie, dus elliptisch. Dit bewijst meteen dat de buigende deeltjes geen bolletjes zijn maar halve bolletjes of segmenten van een bol. In de richting waarin ik de bolletjes het kleinst zie, worden de kransen het *wijdst*.

Aan beslagen ruiten ziet men ook de kransen *om het spiegelbeeld* der zon; dat is een verschijnsel dat strikt genomen aan de hemel niet te zien is, maar dat zich weinig van een echte krans onderscheidt.

Strooi een zeer dunne laag lycopodiumsporen op een glazen plaatje; het is een fijn poeder dat elke apotheker gebruikt om er pillen mee te bestuiven. Kijk nu door die plaat naar een gloeilamp die tenminste 10 m van ons verwijderd is: wij zien de lamp omringd door prachtige kransen. Ander stof dan lycopodiumpoeder vertoont het verschijnsel niet; verklaring: de lycopodiumsporen zijn alle ongeveer even groot, alle sporen werken dus samen; terwijl bij onregelmatige stofdeeltjes de grotere en de kleinere kransen door elkaar komen. — Wanneer u de lycopodiumplaat schuin houdt, veranderen de kransen in projectie *niet*: verschil met de aangeslagen ruit! Het veld om de lichtbron is helder en niet donker, wat klopt met de onregelmatige afstanden tussen de lycopodiumkorreltjes.

Adem zelf op een ruit, van een afstand van 30 tot 60 cm, onderzoek en meet de gevormde kransen. Merk op dat de kransen bij het verdampen van het aanslag niet groter worden: de druppeltjes worden dus minder bol, maar niet kleiner van omtrek.

Bij lage temperatuur ziet men op berijpte ruiten een grote krans ¹⁾ met een straal van ongeveer 8°, . . . die vermoedelijk een *kring* is! Want hij heeft het rood naar binnen en het blauw naar buiten, de ijskristalletjes werken dus als prisma'tjes, zoals

1) Reeds bij Musschenbroek, *Introd. ad Philos. nat.* (1762), II, § 2450.

we dat in § 142 hebben gezien, maar ze hebben een kleinere brekende hoek. Die lichtkring schijnt zelfs dubbel, men zou haast aan dubbelbreking denken! Tegelijk is er om de lichtbron ook een kleine, echte krans waarneembaar.

Let op de kransen die zich soms vormen in de ademwolken die u 's winters uitpuft: de bruine zoom van de aureool heeft een straal van 7° — 9° . In een smalle bundel zonlicht ziet men deze kransen soms zelfs tweevoudig.

Prachtige kransverschijnselen kan men waarnemen boven een kopje dampende thee.¹⁾ Het kopje moet goed gevuld zijn met thee (of water) van 40 tot 65° C, de zon laag, zodat men door de dampwolkjes kan kijken die vlak boven de gouden vloeistof zweven, steeds onder kleine hoeken met het invallende zonlicht waarnemend. Men ziet elk van de dampfarden zich fantastisch mooi kleuren, vooral in purper of groen. Het is wenselijk het oog dicht bij de dampwolkjes te houden, om te vermijden dat de kleuren zich vermengen.

Meet de kransen aan lycopodiumpoeder, bereken de afmetingen der korreltjes, en controleer onder 't mikroskoop.

168. Lichtkransen die in het oog ontstaan.²⁾

's Avonds zie ik een zwakke lichtkrans om booglampen en alle zeer heldere lichtbronnen die zich tegen een diepdonkere achtergrond aftekenen. Ook om de maan zie ik hem bij onbewolkte lucht; en om de felle zon, als die hier en daar door het dichte gebladerte van een boom priemt. De straal van de lichtcirkel bedraagt ongeveer 6° . Hij is gekleurd, binnen blauw, buiten rood: 't moet dus een buigingsverschijnsel zijn, geen breking; de gelijkenis met de kransen in de wolken is opvallend. En toch is er een zeer duidelijk verschil: stel ik mij achter de hoek van een huis, zodat dit net de maan voor mij bedekt, dan blijft een „wolkenkrans” nog steeds zichtbaar; met de „oogkrans” is dat niet zo, die verdwijnt geheel zodra ik de lichtbron afscherm: hij ontstaat dus klaarblijkelijk *in het oog zelf* („entoptisch”).

Zijn het dan kleine korreltjes in het oog, alle ongeveer even groot, die het licht buigen op dezelfde wijze als lycopodiumpoeder of de waterdruppeltjes van de wolken? Bij sommige personen is dat inderdaad het geval.

Maar bij andere waarnemers blijken de lichtkransen sterker

1) S. W. Visser, *Hemel en Dampkring*, 38, 109, 1940.

2) A. Gullstrand in *Helmholtz, Physiologische Optik*, 3e uitg., I, 192.

en duidelijker te worden als het oog voorzichtig aan dampen van osmiumzuur wordt blootgesteld. In die gevallen zijn het de cellen van het hoornvlies die als even zovele hobbeltjes uitpuilen en die voldoende regelmatig van grootte zijn om door buiging een krans te vormen. Een bepaald waarnemer geeft voor zulk een krans de volgende afmetingen op: rode rand van de aureool, straal = $1^{\circ}23'$; blauwgroene ring, $3^{\circ}46'$; rode ring $4^{\circ}22'$.

Een derde soort entoptische lichtkransen is die welke ik zelf waarneem, en welke het veelvuldigst schijnt voor te komen. Dat de verklaring hier een geheel andere is dan bij wolkenkransen, blijkt al uit het feit, dat ik soms weken lang *bepaalde sektoren* van de krans bijzonder helder zie; dit is bij buiging door korreltjes ondenkbaar! Neem een stukje papier, doorboord met een gaatje van 2 mm middellijn, en houd dit vóór de pupil, eerst centraal, dan meer en meer naar de rand der pupil toe: er blijven nu van de krans slechts twee stukjes meer over; als het gaatje zich vóór de onderkant der pupil bevindt, zijn dit het stuk links en het stuk rechts van de lichtbron; en is het gaatje rechts of links, dan zien we de krans onder en boven. Hieruit besluiten we, dat deze krans ontstaat *door buiging aan straalsgewijs lopende vezels*, wellicht in de kristallens; want dan begrijpen we al de bijzonderheden der proef (ga dit na!). De proef met het kleine gaatje is een scherp herkenningsmiddel om deze derde soort entoptische kransen van de twee vorige te onderscheiden. Want als de buigende deeltjes korreltjes zijn en geen vezels, wordt de lichtkrans door het afschermen alleen verzwakt, maar over zijn gehele omtrek in dezelfde mate.

Soms is de krans voor mij een tijd lang vrijwel onzichtbaar tenzij als ik schuin naar boven kijk, of als ik zeer vermoeid ben. Op andere tijden zie ik hem voortdurend.

Uit bepaalde ervaringen kunnen we nog nauwkeuriger aangeven in welk deel van het oog deze krans zich vormt. Hij verschijnt namelijk, als ik 's avonds mijn blik net naar een lantaren gericht heb, maar een paar sekunden later is hij weer verdwenen; het is mij gebleken, dat dit daarmee samenhangt, dat het oog zich aan de duisternis had aangepast, en bij het zien van het felle licht reageert door samentrekking van de pupil. Vandaar dat iemand die midden in de nacht wakker wordt en plotseling een brandende kaars of een lamp ziet, de vlam omgeven ziet door een heldere krans.¹⁾ Het lijkt waarschijnlijk, dat die krans

1) Vgl. een dergelijke waarneming van Descartes in Goethe, *Farbenlehre*, I, nr. 91, 92.

zich vormt in de buitenste delen van de kristallens, en dus verdwijnt zodra de pupil zich heeft samengetrokken.

Bij deze buigingsverschijnselen aan korreltjes of vezels binnen in het oog is het verband tussen de buigingshoek en de grootte der buigende deeltjes ingewikkelder dan gewoonlijk. ¹⁾

Onderzoek en meet de entoptische kransen in 't licht ener gele natriumlamp zoals er langs veel grote straatwegen en in sommige stations gebruikt worden.

169. Groene en blauwe zon. ²⁾

Een waarnemer bericht, dat hij naar de zon heeft gekeken dwars door de stoomzuil die uit de schoorsteen van een lokomotief ontsnapte. Bij drie bepaalde puffen vertoonde de zon een heldergroene kleur, bij al de andere puffen was er niets bijzonders te zien. — Ik heb zelf zulk een verschijnsel eenmaal waargenomen toen een lokaaltreintje vertrok. De (vrij ouderwetse) lokomotief zond dampwolken in de lucht, die de laagstaande zon telkens even verduisterden; naarmate zulk een wolk gaandeweg dunner werd en optrok, kwam er een ogenblik waarop men de zonneschijf weer zag verschijnen, en wel had ze nu eens een heldergroene, dan een lichtblauwe kleur, of zelfs zag men de ene dezer kleuren in de andere overgaan. Een breukdeel van een sekunde later was het licht zo fel en de damp zo ijl, dat er niets meer waar te nemen viel.

Zulke verschijnselen komen te voorschijn, als de druppeltjes water waaruit de stoom bestaat zeer gelijkmatig en zeer klein zijn, nl. tussen 1 en 5 μ . In dit geval is de werking die zij op het licht uitoefenen niet meer te beschrijven door de druppeltjes vervangen te denken door kleine openingetjes of ondoorzichtige schijfjes die het licht buigen. Men krijgt een voorlopig denkbeeld van de verschijnselen, door de samenwerking te onderzoeken van het gebogen licht, het aan de oppervlakte teruggekaatste licht en het rechtstreeks doorgelaten licht. ³⁾ Ook in 't laboratorium kan men deze nevels van heel kleine druppeltjes verkrijgen; zodra de verstrooiende laag voldoende lang is, verschijnen behalve de kransen ook kleuren van de lichtbron zelf.

Uren lang aanhoudende groene, bleekblauwe en azuurblauwe

1) H. Salomonsohn, Arch. Anat. u. Physiol., Physiol. Abt., blz. 187, 1898.

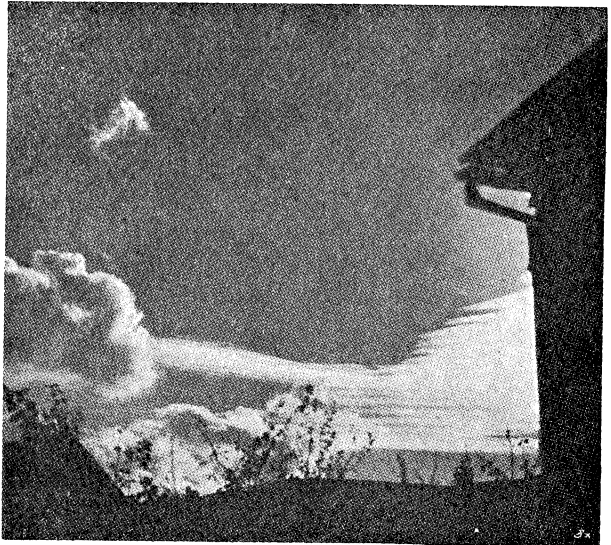
2) Nat. 37, 440, 1888. — Quart. Journ. 61, 177, 1935.

3) C. Barus, Amer. Journ. Sc. 25, 224, 1908. — R. Mecke, Ann. d. Phys. 61, 471, 1920; 62, 623, 1920. Het latere werk van H. Blumer heeft echter bewezen hoe voorzichtig men met deze benaderingen moet zijn (Zs. f. Phys. 32, 119, 1925 en 38, 304, 1926).



PLAAT IXa. Glorie om „het spook van de Brocken''. De schaduw van het fototoestel tekent zich af op een mistbank; zij is omringd door de aureool en een lichte ring (§§ 187, 170).

Naar K. Heller, Photogr. Korrespondenz, 42, 111, 1905 (geelfilter, orthochrom. plaat, 1 sec).



PLAAT IXb.

Iriserende wolken. De zon bevindt zich achter de hut; de wolken rechts vertoonden ribbelforming en iriseerden bijzonder sterk (§ 171).

Naar Stanhope Eyre, Eder's Jahrb. 14,

317, 1900.

PLAAT X.



Heiligenschijn op bedauwd gras: heldere lichtglans om de schaduw van het hoofd van den waarnemer, die zijn camera vlak bij het oog houdt (§ 173).

kleuren van de zon en de maan zijn herhaaldelijk in de natuur waargenomen zonder dat stoom daarbij een rol speelde, bijvoorbeeld bij zandstormen; en verder het mooist in de jaren volgende op de beroemde uitbarsting van de Krakatau (1883).¹⁾ We weten dat er toen ontzaglijke hoeveelheden uiterst fijn vulkanisch stof tot in de hoogste lagen van de dampkring geslingerd zijn, die jaren nodig gehad hebben vóór ze bezonken, en zich in die tussentijd over de hele wereld verspreidden, overal de prachtigste zonsop- en ondergangen teweegbrengend. Men kan zich vóórstellen dat op bepaalde dagen de voorbijtrekkende stofwolken uit zeer fijne korreltjes van éénzelfde grootte bestonden, hetgeen dan de zeer opvallende kleuren van de zon zou verklaren.

Bij dezelfde groep verschijnselen is een abnormale krans te rangschikken die eens in de nevel waargenomen is:²⁾ een fel geelgroene aureool werd gevolgd door een brede rode en een blauwe ring, terwijl ook groene kleuren niet ontbraken. De verklaring is stellig te zoeken in de kleine afmeting der neveldruppeltjes.

170. De glorie³⁾ (plaat IXa).

Bij lage zon, en als we ons op de top van een heuvel bevinden, kan onze schaduw zich soms aftekenen op een mistlaag: daarbij komt het voor, dat wij om de schaduw van ons hoofd een krans zien, met dezelfde levendige kleuren die de kransen van zon en maan vertonen. In een bepaald geval heeft men zelfs een 5-voudige glorie waargenomen. Merk op: ieder ziet zijn eigen schaduw en die der omstanders als ze maar dicht genoeg om hem heen staan en de mist voldoende verwijderd is; maar *de gloriekrans ziet ieder alleen om zijn eigen hoofd!*

Bij het vliegen door een wolk ziet de vlieger dikwijls een krans om de zon, en tegelijk een glorie om zijn schaduw.⁴⁾

De verklaring is nog niet goed bekend. De gelijkenis met de kransen heeft velen doen geloven, dat de zwerm waterdruppeltjes op een of andere manier het zonlicht terugzendt in dezelfde richting waarin het inviel, en dat die terugkerende stralen daarna op hun weg gebogen worden door andere druppeltjes, zoals bij de krans de direkte stralen gebogen werden. Het schijnt

1) Kiessling, Met. Zs. 1, 117, 1884. — Nat. 1883.

2) H. Köhler, Met. Zs. 46, 164, 1929.

3) W. Schmidt, Met. Zs. 33, 199, 1916. — W. Milch, Met. Zs. 43, 295, 1926.

4) Douglas, Met. Mag. 56, 67, 1921.

thans echter waarschijnlijk, dat de glorie reeds gevormd wordt bij de terugverstrooiing zelve.¹⁾

De straal der glorie is dikwijls wisselend: sommige delen van de mist bestaan blijkbaar uit groter druppeltjes, andere uit kleiner. Als de nevel pas ontstaat, vindt men dat de glorie zeer groot is; de daaruit berekende grootte der druppeltjes is soms niet meer dan 6μ .

Dikwijls vertoont zich om de glorie nog de nevelboog, — eigenlijk altijd, wanneer de afstand van ons oog tot de nevel maar groter is dan een 50-tal meter. Het is merkwaardig dat de nevelboog veel verder verwijderd lijkt, de glorie veel dichtter bij ons: ²⁾ psychologische invloeden moeten hier een rol spelen.

Uit het tegelijk waarnemen van die twee verschijnselen volgt met stelligheid, dat de glorie *wel* aan waterdruppeltjes, en *niet* aan ijskristalletjes ontstaat. Van de twee vormingswijzen die we bij de kranen leerden kennen, vinden wij er dus hier maar één terug; met stelligheid is aangetoond dat een glorie op ijswolken slechts een heel enkele maal uit een vliegtuig is waargenomen, en er dan als een witte, helderlichtende vlek uitziet, dus geheel anders dan het verschijnsel dat we hebben beschreven.³⁾

Juist omdat we nu zeker weten dat de glorie aan *waterwolken* ontstaat, is het interessant hier aan toe te voegen dat de temperatuur in de lagen waar het verschijnsel zich vertoonde meestal enkele graden onder het vriespunt lag; hieruit kunnen we dus met stelligheid besluiten dat de wolkendruppeltjes in vele gevallen aanzienlijk onderkoeld zijn.⁴⁾

De vergelijking van de glorie en de begeleidende nevelboog geeft een mooie gelegenheid om te onderzoeken of de gewone theorie van de kranen op de glorie toegepast kan worden. Men kan immers de grootte der druppeltjes berekenen uit de straal van de glorie volgens § 166, en ook uit de straal van de mistboog (§ 135). De vraag is nu of er dan hetzelfde uitkomt. — Die overeenstemming laat wel te wensen over: de nevelboog geeft altijd hoger waarden dan de glorie, soms zelfs 3 maal zo grote uitkomsten! Het is wel waar dat de formule voor de nevelboog hoge eisen stelt aan de meetnauwkeurigheid, maar zulke opvallende en stelselmatige afwijkingen mochten toch niet voorkomen.

Onbevredigend is de overeenstemming ook als men de straal der druppeltjes berekent uit twee verschillende ringen der glorie,

1) B. Ray, Proc. Ind. Ass. 8, 23, 1923. — Nat. 111, 83, 1923.

2) Tyndall, Phil. Mag. 17, 244, 1883.

3) Met. Zs. 55, 313, 1938.

4) W. Peppeler, Zs. angew. Meteor. 56, 173, 1939.

onmiddellijk na elkaar gemeten : men vindt des te kleiner waarden naarmate men ringen gebruikt heeft die verder naar buiten liggen. Met andere woorden : de middellijnen der opeenvolgende ringen zijn niet geheel zoals men uit de theorie der kransen zou afleiden. — De gehele verklaring is blijkbaar nog niet in orde.

.... gij zijt, zoals
*De man die langs de helling westwaarts stijgt
 In winterochtend, als de dichte mist
 Het kronkelpad met glinstering bedekt.
 Dan ziet hij vóór zich, glijdend zonder tred,
 Een beeltenis met een lichtkrans om het hoofd.
 Verliefd bewondert hij de fraaie kleuren,
 Niet wetend dat hij zelf de schaduw schept
 Die hij vervolgt.*

S. T. Coleridge, *Constancy to an Ideal Object*.

171. **Iriserende wolken**¹⁾ (plaat IXb).

Wie niet gewoon is de hemel aandachtig te bekijken, zal verbaasd zijn te horen dat de wolken soms de prachtigste, zuiverste kleuren kunnen vertonen : groen, roodpurper, blauw, De kleuren die we bedoelen hebben niets te maken met de schemeringsverschijnselen, en verschijnen evengoed bij hoge als bij lage zon. Ze zijn onregelmatig over de wolkjes verdeeld, als gekleurde omzomingen, vlekken, banden ; verschillende waarnemers beweren²⁾ dat ze een „metallische” glans hebben (wat wordt daarmee bedoeld?). Het zien van dergelijke wolken geeft een groot genot, dat moeilijk te beschrijven is, maar waar stellig de zuiverheid der kleuren, hun zacht ineenvloeien en het helderstralende licht voor een niet geringe mate toe bijdragen. Men kan de ogen van dit verrukkelijke schouwspel niet afwenden.

Zulke *iriserende wolken* schijnen in alle jaargetijden, maar vooral in de herfst voor te komen. Ze verschijnen dicht bij de zon : binnen afstanden van 2° van de zon zijn de wolken meestal verblindend wit ; op afstanden van 3° tot 10° is de irisering vaak te zien indien men met een zwart glas waarneemt ; van 10° tot 30° is het iriseren voor het onbeschermd oog het meest voorkomend, en ziet men vooral purperrood en groen, bleker wordend met de afstand. Slechts zeer enkele waarnemers hebben wel

1) H. Van der Linden, *Hemel en Dampkring*, 1, blz. 3, 248, enz. ; 1903. — A. Bracke : *Nuages irisés* (Mons, 1907). — Ch. F. Brooks, *M. W. R.* 53, 49, 1925. — H. Köhler, *Met. Zs.* 46, 161, 1929, geeft een verwarde theorie die van optisch standpunt geheel onhoudbaar is.

2) Ruskin, *Modern Painters*, I pars 2.

eens iriserende wolken op grotere afstanden waargenomen (tot 50°), en zelfs ook omstreeks het tegenpunt der zon (Brooks, t.a.pl.).

De lichtsterkte is dikwijls zó fel, dat veel waarnemers moeite hebben om ze te verdragen. Plaats u altijd in de schaduw van een huis of boom, of vergemakkelijk de waarneming op een der wijzen aangegeven in § 165.

Na lang turen naar de iriserende wolken, zonder gebruik te maken van deze hulpmiddelen, heb ik wel eens ondervonden dat het mij „groen en blauw” voor de ogen werd — of liever: purper en groen, want dit zijn de kleuren die men als nabeeld van zulke felle lichtindrukken bewaart (§ 95). En nu zijn dit net ook de tinten die bij iriserende wolken het best vertegenwoordigd zijn! Zodat ik mij haast ging afvragen of het hele verschijnsel niet een gevolg was van vermoeienis der ogen. — Dit is echter stellig niet zo: want twee verschillende waarnemers zien de kleuren op dezelfde wijze; ze blijven zichtbaar, als men het licht op de hoger aangegeven wijze dempt; en tenslotte is de irisering dikwijls ook te zien aan wolken die betrekkelijk weinig helder zijn.

Tinten zijn vrijwel altijd in de wolken te zien bij gebroken lucht. Cumuli, cumulonimbi en cumulostrati vertonen gekleurde randen, die men meestal niet opmerkt omdat het licht zo fel is, maar die met een spiegel van zwart glas (of een dergelijk hulpmiddel) een fraai schouwspel opleveren. Let bijvoorbeeld eens op een cumulus die bezig is zich op te lossen en die over de zon heen trekt! — Intussen, het echte „iriseren” vertonen deze wolken niet; hun kleuringen zijn op te vatten als delen van kransen, met zeer onverzadigde tinten, omdat de druppeltjes zeer verschillend van grootte zijn.

De werkelijk iriserende wolken zijn bepaalde cirrocumuli en altocumuli, vooral die welke zich snel vervormen, kort vóór en na een storm (vooral cirrocumulus lenticularis, vgl. II, plaat IIIa). De kleuren zijn gerangschikt in strepen, banden, „ogen”; hun rangschikking moet ons belangrijke aanwijzingen geven omtrent de wijze waarop ze ontstaan. Bij de eerste blik lijkt de verdeling der kleuren zeer onregelmatig; maar weldra beginnen we wetmatigheden te ontdekken. In wolken op *ietwat grote afstand* van de zon, is de verdeling der kleuren klaarblijkelijk bepaald door *de structuur van de wolk*: bepaalde vegen vertonen in hun geheel dezelfde kleur, of men ziet een purperrode zoom om de wolk, enz. Zijn de wolken *dichter bij de zon*, dan is *de afstand* de hoofdfactor. Men bemerkt bijvoorbeeld dat de wolken beginnen

te iriseren, telkens als ze een bepaalde plaats aan de hemel bereikt hebben; of de kleuren zijn in min of meer onregelmatige kringen om de zon gerangschikt.

Het licht voor de hand, aan te nemen dat de iriserende wolken niets anders zijn dan delen van kransen. Welke kleur op een gegeven punt ontstaat, hangt af van het produkt:

grootte der deeltjes \times hoekafstand tot de zon (vgl. § 166).

Het is dan duidelijk dat bij grote hoekafstand de afmetingen der wolk te verwaarlozen zijn, en dat alle delen beschouwd kunnen worden als even ver van de zon verwijderd; de kleur wordt dan bepaald door de grootte der deeltjes, die merkbaar anders kan zijn aan de randen van een wolk dan in het midden (§ 166). Bij kleine hoekafstand daarentegen zullen de variaties van de afstand de hoofdrol spelen. Berekent men de afmetingen der druppeltjes volgens de gewone formule der kransen (§ 166), dan komt men op waarden van de orde van slechts 2μ ! Juist bij dergelijke deeltjes vindt men abnormale, zeer schitterende buigingskransen, die niet de gewone kleurevolgorde vertonen (§ 165). Volgens deze onderstelling zouden iriserende wolken dus gekenmerkt zijn door uiterst kleine druppeltjes, die gelijkmatig van afmeting zijn in elk bepaald gedeelte van de wolk, hoewel niet even groot in de verschillende delen. Dit zou dan goed kloppen met het verschijnen van irisering bij wolken, die zich net vormen of oplossen.

Zeer belangwekkend zijn de iriserende wolken op afstanden groter dan 30° van de zon. Dikwijls is wat men aldus heeft waargenomen eenvoudig een stuk halo. Maar er zijn bepaalde gevallen waarin de waarneming onbetwistbaar is; ik heb ook zelf zulk een geval meegemaakt. Men zou dan moeten denken aan uiterst kleine deeltjes (1μ !), of aan buiging door gevederde ijskristalletjes die een soort buigingsrooster zouden vormen.

Het licht der iriserende wolken is *niet* gepolariseerd.

Iriserende wolken om de maan zijn wel waargenomen, maar veel zeldzamer dan om de zon; ze zijn bleker van kleur, blijkbaar tengevolge van te geringe lichtsterkte.

Een enkele maal is het iriseren waargenomen bij de kunstmatige wolken, waarmee een vliegtuig hoog in de lucht zijn reclameletters schreef!

Het is denkbaar dat de fraaie iriseringsen in de nevelslierten boven een kopje thee aan heel kleine druppeltjes ontstaan, en dat ze dus overeenkomen met het verschijnsel der iriserende wolken (vgl. § 167); in gunstige omstandigheden zijn ze tot op 60° van de lichtbron zichtbaar.

172. **Paarlemoerwolken.** ¹⁾

Een zeer zeldzame soort iriserende wolken, op veel groter schaal dan de gewone vormen: hele wolkenbanken die soms iriseren als visschubben, soms prachtig gekleurd zijn in zuivere tinten. Ze vertonen zich bijzonder mooi tegen zonsondergang, op afstanden van 10° tot 20° van de zon. Kenmerkend is, dat ze *nog wel twee uur na zonsondergang* zichtbaar blijven; dit wijst op een zeer grote hoogte! ²⁾ Onlangs is die met nauwkeuriger methoden bepaald op 25 km, terwijl de gewone wolken nooit hoger dan 12 km voorkomen. Door hun grote hoogte schijnen ze zich slechts langzaam te verplaatsen, terwijl ze in werkelijkheid stormsnelheden hebben van 10 tot 90 meter per seconde. Als de paarlemoerwolken op een gegeven ogenblik donker worden, geschiedt dit *vrij plotseling*, in ongeveer 4 minuten: dit is nl. de tijd die de zonneschijf nodig heeft om achter de gezichteinder onder te gaan. Zo wordt het zeer waarschijnlijk, dat ze inderdaad nog rechtstreeks door de zon verlicht worden, niet door de schemering.

De kleuren zijn in hun rangschikking bijna geheel door de plaats in de wolk bepaald. Soms zijn deze wolken streperig, golvend, cirrus-achtig, de hele wolkenbank éénkleurig bijna, met spektraalkleuren aan de randen of in langwerpige horizontale rijen; daartussen ziet men de achtergrond van de hemel, vreemd opaalkleurig, grauwbriin, blauwwit. De kleuren kunnen constant blijven, andere malen veranderen ze geleidelijk; ze verdwijnen zodra de afstand van de zon een 40° overschrijdt. Het gehele tafereel is van een onbeschrijfelijke grootsheid en schoonheid.

De kleuren veranderen als men de wolken door een nicol bekijkt en hem draait. Paarlemoerwolken schijnen te bestaan uit ijskristalletjes, want men heeft er eenmaal een kring in kunnen waarnemen (vgl. § 141). Zij vormen zich vooral als een depressie net voorbijgetrokken is, en de lucht er zeer helder uitziet. Men ziet ze te Oslo meest in de winter, als er een diep minimum ten N. of ten O. ligt, terwijl het stormt over de Atlantische Oceaan en een warme, droge wind blaast („föhnwind”): de hemel is dan zeer helder en men kan de hoogste lagen waarnemen.

1) Mohn, Vid. Selsk. Forh. Christiania 1893, nr. 10. — C. Störmer, Geofysiske Publikasjoner, 9, No. 4, 1931; Beitr. z. Geoph. 32, 63, 1931. — Nat. 145, 221, 1940.

2) Uit de tijd gedurende dewelke ze belicht blijven volgt de hoogte; nauwkeurige berekeningen in Mohn, Met. Zs. 10, 82, 1893 en Vid. Selsk. Forh. t.a.pl., ook bij Jesse, Met. Zs. 1886, enz.

Een buitengewoon mooie ontwikkeling van paarlemoerwolken is waargenomen op 19 Mei 1910, de dag waarop de aarde door de staart van de komeet van Halley is gegaan. Een verband tussen de twee verschijnselen lijkt zeer waarschijnlijk; men zou dan moeten denken aan het binnendringen van kosmisch stof in onze dampkring.¹⁾

Over ultracirri en lichtende nachtwolken: vgl. §§ 203, 204.

Heiligenschijn.

173. De heiligenschijn op bedauwd gras.²⁾ (Plaat X).

In de vroege ochtend, als de zon nog laag is, en onze lange schaduw op bedauwd gras valt, bemerken we een merkwaardige lichtaureool, ongekleurd, die zich naast en vooral boven de

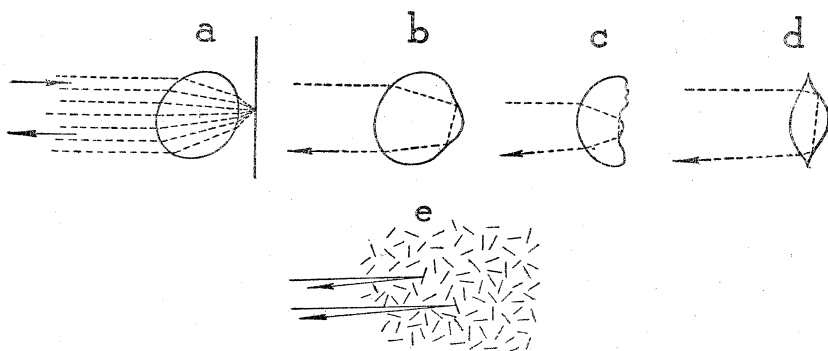


Fig. 146. Het ontstaan van de „heiligenschijn” op bedauwd gras.

schaduw van ons hoofd uitstrekt. — Neen, het is geen gezichtsbedrog, geen contrastverschijnsel: als de schaduw op de grintweg valt ziet u de lichtschijn niet meer.

Het verschijnsel is het mooist als de schaduw tenminste een 15 meter lang is, en als ze valt op kort gras of klaver, die met zóveel fijne dauwdruppeltjes bedekt zijn dat ze grijswit lijken; in zulke omstandigheden is de heiligenschijn uitermate sterk. Minder duidelijk is hij midden op de dag na een regenbui, of 's avonds in het licht van sterke elektrische lampen. Als men twijfelt, kan men zich volgenderwijze het best overtuigen van het verschijnsel:

- 1) Slocum, J. R. A. S. Can. 28, 145, 1934, met mooie foto.
- 2) Quart. Journ. 39, 157, 1913. — E. Maey, Met. Zs. 39, 229, 1922.

1. overzie het geheel van het grasveld, en bemerk hoe het licht nabij uw schaduw toeneemt;

2. doe enige stappen: u ziet de lichtschijn met u meegaan, plaatsen waar het gras niet bijzonder helder was worden verlicht als de schaduw nadert;

3. vergelijk uw schaduw met die van andere mensen: u ziet de heiligenschijn alleen om uw eigen hoofd! (Filozofeer daarover . . .). Benvenuto Cellini, de beroemde Italiaanse kunstenaar van de 16e eeuw, had dit opgemerkt, en dacht dat die lichtglans het teken was van zijn genialiteit! ¹⁾

Wat is de verklaring voor dit eigenaardig verschijnsel? — De dauwdruppels zijn stellig wel zeer essentiël: is de dauw eenmaal verdampt, dan is de heiligenschijn zo goed als verdwenen; men kan hem weer doen ontstaan door waterdruppels op het gras te sprenkelen. Waterdruppels die men op een wit laken of op wit papier gesprenkeld heeft, schitteren duidelijk als de schaduw van ons hoofd dichtbij hen valt.

Vul een bolvormig glazen kolfje met water, en houd het in de zonnestralen: het stelt als 't ware een dauwdruppel in 't groot voor. Een blad papier erachter vervangt het grassprietje waarop de druppel zich gevormd heeft. Als we naar dit kolfje kijken van uit een richting die slechts een kleine hoek met de invalrichting vormt, zien we het kolfje helder verlicht, mits het papier even achter het kolfje gehouden wordt, ongeveer op de plaats van het brandpunt.

Zo komen wij ertoe, aan te nemen dat elk der dauwdruppeltjes een zonnebeeld vormt op het blad waarop het zich bevindt; omgekeerd gaan er ook stralen van dat beeldje uit, vrijwel langs dezelfde weg waar langs ze gekomen zijn, dus ongeveer in de richting naar de zon toe (fig. 146a). Dit zou verklaren waarom de druppels als 't ware van binnen uit licht schijnen te geven: iets dergelijks als het lichten der ogen van een kat. ²⁾ Het verklaart ook voortreffelijk waarom men zoveel licht ziet uit het tegenpunt der zon, en dat de lichtsterkte snel afneemt als men zich daarvan verwijderd.

Maar waarom is dat licht dan niet *groen*?

Er moeten nog andere factoren in 't spel zijn. Als we nog eens ons kolfje met water bekijken, zien we dat er ook weerspiegeling is tegen het glas, zowel aan de achterkant als aan de vóórkant; men schat gemakkelijk, dat het eerste een ongeveer half

1) Autobiografie, boek I, hoofdst. 128.

2) Vgl. ook de ophthalmoskoop van Helmholtz; het lichtmos (*Schistostega Osmundacea*), enz. Zie §§ 243, 244.

zo grote helderheid teweegbrengt als de remissie van de bladeren ; het tweede, een helderheid van $\frac{1}{8}$ maal zoveel. Maar er komt ook zeer veel sterker licht van de hals en de platte bodem, licht dat totale terugkaatsingen heeft ondergaan! En dit is bij onze dauwdruppels waarschijnlijk het belangrijkste: de druppels zijn onregelmatig vervormd (fig. 146b, c, d), vooral op behaarde, wit-wollige planten, en het licht wordt op allerlei plaatsen door totale terugkaatsing gespiegeld, fel en wit zoals het van de zon was gekomen. Deze tweede groep factoren vertoont op zichzelf geen uitgesproken voorkeur voor terugkaatsing volgens de invalrichting. Maar daar is nu een vernuftige opmerking gemaakt: alleen de grassprietjes die door de zon bereikt worden stralen zelf; en die welke door de zon bereikt worden zijn dus in de richting naar de zon toe niet afgeschermd door andere sprietjes, terwijl ze in de meeste andere richtingen geen vrije opening voor zich zullen zien (fig. 146e). Vandaar dat een waarnemer die ongeveer in de invalrichting kijkt, altijd meer licht ziet. — Dit merkwaardig simpele beginsel (afkomstig van Richarz) was al in de sterrekunde gebruikt om de lichtverdeling in een wolk van kleine steentjes te begrijpen (ring van Saturnus!).

De combinatie van de verschillende hier genoemde lichteffecten schijnt wel voldoende om zowel de witheid als de gerichtheid van de heiligenschijn te verklaren.

*Aanschouw den dauw op jong plantsoen,
Zacht-donkerwit op donkergroen,
Teergrijs op grauw.*

*Klein, kleine, fijne, drop op drop,
Met in de plooi een zwaren knop.
Aanschouw den dauw.*

*Aanschouw den dauw voor dag en gloed.
Gelijk de frischheid van 't gemoed
Verdampt hij gauw.*

*Straks breekt de zon door boom en heg,
En kust en brandt uw paarden weg
Aanschouw den dauw.*

R. de Clercq, Uit de Diepten (1911).

174. Heiligenschijn op niet-bedauwde oppervlakken.

Dit verschijnsel is veel moeilijker te zien, en de hulpmiddelen die we in § 173 aangegeven hebben zijn wel zeer nodig. Men heeft het waargenomen op stoppelvelden, op kort gras, en zelfs op ruwe grond; ik heb het onmiskenbaar en duidelijk gezien bij lage zon, op een grasveld dat geregeld met de snijmachine wordt

geknipt en waarvan alle sprietjes mooi loodrecht en even lang waren; nog duidelijker was het op de pollen *pijpestrootjes* (*Molinia coerulea*), vooral wanneer men langzaam voorbij fietste. Als de waarnemer zeer ver van het grasveld verwijderd is, bijvoorbeeld enige honderden meters, is zijn schaduw zo wazig dat er bijna niets van te zien is (vgl. § 2); het enige wat dan opvalt is de heiligenschijn zelf, als een vlek van ongeveer 2° groot (dus 4 maal de middellijn van de maan ongeveer), ietwat langwerpig uitgerekte in verticale richting.¹⁾

De verklaring is dezelfde welke Winterfeld voor de heiligenschijn op bedauwd gras gegeven heeft (vgl. § 173), en die we bijvoorbeeld zo kunnen formuleren: de zon beschijnt de meeste halmen dwars door de tussenruimten van de voorste rijen; wie ongeveer in de richting der zonnestrallen kijkt, ziet al de verlichte vlakjes; wie opzij kijkt ziet door de tussenruimten ook veel beschaduwde sprietjes, dus een kleiner gemiddelde helderheid.

Op de luismelde (*Chenopodium album*) vertoont zich dikwijls een sterke heiligenschijn; de plant is geheel bedekt met een melig overtrek van bolronde cellen, die blijkbaar een dergelijke rol spelen als de dauwdruppeltjes, en die vooral bij bepaalde variëteiten van deze soort sterk ontwikkeld zijn.²⁾

175. Heiligenschijn om de schaduw van een luchtballon.³⁾

Wie ooit het buitenkansje van een ballontocht genieten mag, lette op de schaduw van de ballonmand die zich over de aarde verplaatst. Zij is bijna altijd omgeven door een lichte aureool; en die is geen subjektief contrastverschijnsel, want ze wordt sterker als de velden en weiden bedauwd zijn, en op een korenveld gaat ze over in een verticale lichtzuil, evenwijdig aan de richting der korenhalmen. We hebben hier een bijzonder mooi geval van heiligenschijn: want tengevolge van de grote afstand van de luchtballon tot de aarde kijken we onder een uiterst kleine hoek met de invallende zonnestrallen.

Zweeft de schaduw over wolkenbanken, dan heeft men kans, tevens een prachtig schaduwverschijnsel met gekleurde glorie-ringen waar te nemen (§§ 135 en 170).

Is de heiligenschijn ook te zien om de schaduw van een vliegtuig?

1) Nat. 90, 621, 1913.

2) v. Lommel, Ann. d. Phys. 1874, Jubelband, 10.

3) C. Flammarion, l'Atmosphère, blz. 232 (1888). — Met. Zs. 30, 501, 1913. — Deutsche Luftfahrer Zeitung 17, 83, 1913.

LICHT EN KLEUR VAN DE LUCHT.

176. Verstrooiing van het licht door rook.

We beginnen onze waarnemingen over de verstrooiing van het licht met een wandeling langs een druk bevaren kanaal. Van de schepen die voorbijkomen, zijn er een aantal voorzien van petroleum- of benzinemotoren, die een fijne blauwe rook uitpuffen. Het is merkwaardig dat die rook, gezien tegen de heldere achtergrond van de hemel, helemaal niet blauw lijkt, eerder geelachtig. Deze rook is dus niet blauw op dezelfde wijze als blauw glas, maar omdat hij de blauwe stralen meer verstrooit dan de gele of rode. Tegen een donkere achtergrond lijkt hij blauw licht te geven, omdat hij de zonnestrallen die hem van opzij treffen in alle richtingen en ook naar ons oog verstrooit. Een heldere achtergrond gezien door de rook heen moet integendeel geelachtig lijken, omdat hij daardoor vooral beroofd wordt van blauwe stralen.

„Iets dergelijks pleegde ik in vroeger jaren waar te nemen te „Killarney (in Ierland), wanneer op windstille dagen de rookzuilen vertikaal boven de daken der hutten opstegen. Het „onderste deel der rookzuil tekende zich af tegen een achtergrond „van donkere dennen, het bovenste deel tegen heldere wolken. „Het eerste was blauw omdat men het hoofdzakelijk door het „verstrooide licht zag, het laatste was roodachtig omdat men „het bij doorvallend licht zag” (J. Tyndall).

Dezelfde blauwe kleur in opvallend licht en dezelfde gele kleur in doorvallend licht bemerkt men bijzonder duidelijk aan de rook die uit de uitlaatpijp der Dieseltreinen komt, op het ogenblik dat hun motoren gas geven om de trein in beweging te brengen; vrachtauto's en autobussen met Dieselmotor vertonen hetzelfde. Of aan de rook van dorre bladen, onkruid en afval, die men hier en daar op het veld verbrandt in de herfst. Of aan de rook van onze eigen schoorsteen thuis, als men het vuur met hout aanmaakt. — In al die gevallen bestaat de rook uit buitengewoon kleine, teerachtige vochtdruppeltjes, terwijl de gewone

verbranding van steenkool vlokjes roet oplevert, die veel grover zijn. En van de afmeting der verstrooiende deeltjes, vergeleken met de golflengte λ van 't licht (0,0006 mm), hangt de kleur van de rook af. Bij deeltjes die niet groter zijn dan een of twee tienden van een golflengte, is de verstrooiing evenredig met $\frac{1}{\lambda^4}$, en neemt

dus snel toe naar het violette eind van het spektrum: dergelijke kleine deeltjes, van welke aard ook, verstrooien altijd een mooi blauw-violet licht. Bij grotere deeltjes is die toeneming veel minder uitgesproken, en is de verstrooiing bv. evenredig met $\frac{1}{\lambda^2}$. Bij zeer

grote deeltjes is de golflengte-afhankelijkheid onmerkbaar, en 't verstrooide licht wit; — „zeer groot” is hier alweer ten opzichte van de golflengte bedoeld, dus bv. 0,01 mm!

Vandaar dat de rook van sigaar of sigaret blauw is als men hem onmiddellijk uitblaast, maar wit wordt als men hem eerst even in de mond houdt: de rookdeeltjes bedekken zich dan met een watermantel en worden veel groter.

De stoom van een lokomotief is blauwachtig vlak bij de uitlaatopening van de veiligheidsklep, iets verder is hij wit: de condensatie neemt toe en de druppeltjes groeien. — Let op het verschil tussen de rook en de stoom van de lokomotief, zowel bij op- als bij dóórvallend licht, en verwar die nooit!

Tot hiertoe hebben wij gelet op de verstrooiing aan betrekkelijk ijle rookwolken. Bij zeer dichte rook worden de verschijnselen ingewikkelder: dan wordt het licht herhaaldelijk verstrooid en van het ene deeltje naar het andere geworpen. Let op de rook der hopen dorre blaren die men op het veld verbrandt: aan de randen van de rookzuil is de tint mooi blauw, zoals altijd bij houtvuur; maar in de middengedeelten, waar de rook het dichtst is, vertoont hij een bijna witte kleur. Men kan gemakkelijk aantonen dat voldoende dikke lagen altijd wit licht terugverstrooien, al is de verstrooiing van elk deeltje nog zo blauw. Want alle licht dat op de rookwolk valt moet altijd eindigen met er weer uit te komen, — althans indien er alleen verstrooiing en geen absorptie is (§ 181).

De rook onzer schoorstenen en fabrieken is gewoonlijk zwart in opvallend licht, ook al is de rookzuil dik en ondoorzichtig: hier zijn dus de roetvlokjes niet alleen verstrooiend, maar ook sterk absorberend. Ijle lagen van dergelijke rook vertonen de hemel in doorzicht bruin; toch is de kleur van de rook in opvallend licht nauwelijks blauwachtig te noemen: het is dus de

absorptie, die bij koolstof toevallig snel van het rood naar het violet toeneemt. Denk aan de bloedig-rode kleur der zon, gezien dwars door de rook van een brand!

177. De blauwe lucht.¹⁾

Boven de wolken is de hemel altijd blauw!

H. Drachmann.

In eeuwige schoonheid welft zich de blauwe hemel om de Aarde. Dit blauw heeft iets onpeilbaars, het is alsof men er al de diepte van kon zien. Het is getint in oneindige schakeringen, het verschilt van dag tot dag, van het ene punt van de hemel tot het andere.

Iets waarin u kunt kijken, dwars door de delen die dicht bij u zijn naar die welke zich in de verte bevinden; iets dat geen oppervlak heeft en waarin we kunnen onderduiken, dieper en dieper, zonder paal noch perk, tot in de verte van de ruimte.

Ruskin, Modern Painters, III, 348.

Wat is de oorzaak van die blauwe kleur? Het is niet, dat de dampkring zelf licht uitzendt, want dan zou hij ook des nachts moeten stralen. Het is ook niet dat er een lichtgevende blauwe lichtbron achter zit: 's nachts ziet men, hoe mooi donker de achtergrond is tegen dewelke de dampkring zich ons vertoont. De blauwe kleur is dus eigen aan de dampkring zelf. Toch is het geen gewone absorptiekleur, aangezien de zon en de maan volstrekt niet blauw, maar veeleer geelachtig getint zijn. — Het is dus net zulk een geval zoals bij zeer fijne rook! En we komen tot de onderstelling, dat het licht van de lucht eenvoudig verstrooid zonlicht is. We weten dat de verstrooiing van kleine deeltjes des te sterker is naarmate wij het violette einde van het spektrum naderen: de kleur van de hemel is dus samengesteld uit veel violet (waarvoor ons oog niet erg gevoelig is), nogal wat blauw, een weinig groen en zeer weinig geel en rood; de mengkleur van al die stralensoorten is hemelsblauw.

Wat zijn nu die stofjes in de dampkring die het licht verstrooien? In de zomer, na een lange periode van droogte, is de lucht vervuld met talloze deeltjes zand of klei die door de wind meegevoerd zijn en het landschap in de verte onduidelijk maken: juist dan ziet de lucht er weinig blauw en veeleer witachtig uit.

1) De beroemde Zwitserse geoloog A. Heim heeft een prachtig boekje geschreven, getiteld: *Luftfarben* (Zürich 1912), waarin hij op populaire en geestdriftige wijze de kleuren van de lucht en de schemeringsverschijnselen beschrijft. De gekleurd weergegeven aquarellen zijn onvergelijkelijk mooi.

Maar na enige flinke regenbuien, als al het stof door de regen weggespoeld is, wordt de lucht helder en doorzichtig, de hemel diepblauw en verzadigd van kleur. Zodra er hoge cirruswolken verschijnen, en de lucht zich met ijskristalletjes vult, verdwijnt het mooie blauw en gaat het in een veel witter kleur over. Het zijn dus noch de eigenlijke stofjes, noch de water- of ijsdeeltjes die de blauwe verstrooiing veroorzaken welke aan het uitspansel zijn kleur geeft. De enige mogelijkheid is, *dat de luchtmolekullen zelf verstrooiend werken*; weliswaar zeer zwak, maar voldoende om in een laag van vele kilometers dikte een merkbare helderheid teweeg te brengen; en met een uitgesproken voorkeur voor de violette en blauwe stralen (de $\frac{1}{\lambda^4}$ -wet van Rayleigh).

De blauwe en violette stralen die de lucht verstrooit heeft de zon nu tekort. Daardoor vertoont zij een lichtgele kleur, die des te meer uitgesproken wordt naarmate ze lager staat, omdat haar stralen dan een des te langer weg door de lucht hebben af te leggen. Geleidelijk gaat de kleur over in oranje en dan in rood, het zeer bijzondere rood van de ondergaande zon.¹⁾

De beroemde verstrooiingswet van Rayleigh voor deeltjes kleiner dan 0,1 van de golflengte van 't licht luidt:

$$s = \text{const.} \frac{(n - 1)^2}{N\lambda^4},$$

waarin s = de verstrooiing per volume-eenheid, N = het aantal deeltjes per cm^3 , n = de brekingsindex.

178. **Luchtperspektief.**²⁾

*Het bosch is blauw,
ver tegen 't grijs —.*

J. Reddingius, Johanneskind.

Een bos in de verte is een uitstekende donkere achtergrond om de luchtverstrooiing waar te nemen. Hoe verder wij er vandaan zijn, hoe meer het er nevelig, blauwachtig gaat uitzien: de lange luchtlaag tussen ons en het bos, van opzij verlicht door de zonnestralen, geeft verstrooid licht dat zich op de achtergrond superponeert, zoals het licht van een sluier de voorwerpen overdekt die er achter zijn; voor deze achtergrond worden dus de tegenstellingen van lichte en donkere partijen verzwakt, hij wordt

1) Kleurschalen en kleurstatistieken der op- en ondergaande zon: zie J. Plassman, *Met. Zs.* 48, 412, 1931.

2) Heim, *Luftfarben* (vgl. § 177). — Vaughan Cornish, *Geogr. Journ.* 67, 506, 1926, aan welke verhandeling het eind van § 178 ontleend is.

gelijkmatiger en tevens *blauwer*. Onwillekeurig schatten wij de afstand van boompartijen aan de mate waarin dit *luchtperspektief* optreedt. Een boom die 100 m van ons af is heeft al een blauwiger tint dan een die naast ons staat. Het groen van de weiden wordt in de verte verrassend snel blauwgroen, daarna blauw; nog mooier ziet men dit aan het jonge koren in April, dat dan zulk een zuivere, verzadigde groene kleur vertoont. Heuvels in de verte zijn dikwijls mooi blauw, zoals men het zo dikwijls afgebeeld vindt in de achtergrondlandschappen van onze 16-eeuwse schilders: van Eyck, Memling. Onze begroeide duinen tussen Zandvoort en Haarlem, die oprijzen als de golven van de zee, kam na kam, al verder en verder, vertonen ook mooi de blauwende einders. Door dit luchtperspektief naderen alle tinten tot een zelfde blauwigheid, en vloeien daardoor harmonisch ineen; alleen van veel dichterbij begint men het rood der huizen en het groen der weiden te onderscheiden, en de kleurenharmonie is verbroken. Ga dit zelf na in het landschap!

Omgekeerd kunnen wij ook zoeken naar de tintveranderingen van een heldere achtergrond. In een bergland kiest men hiervoor de sneeuwbergen; wij bekijken de rijen stapelwolken, die dicht bij ons schitterend wit zijn en verder in het landschap geleidelijk *geelachtig* worden. — Toch is het blauwe verstrooiingslicht op donkere achtergrond veel duidelijker dan de geelkleuring van de heldere partijen. In het eerste geval is het een geringe lichthoeveelheid die in de plaats komt van duisternis; in het tweede geval is het slechts een kleine verandering in een reeds aanzienlijke helderheid: het *relatieve* verschil is veel kleiner (§ 69).

*De hemel was van dat zuiver Lieve-vrouwenblauw,
en nevens de aarde schoven hooge, gele, vette
wolken, van boven wit verlicht lijk sneeuw.*

Timmermans, Pallieter.

In de ruime verten van ons vlakke land ontwikkelt het luchtperspektief zich in volle pracht, en door de wisselende vochtigheidsgraad overweegt nu eens de blauwe verstrooiing der lichtmolekulen, dan het sterkere, maar grijzere licht van de heigheid der lucht. —

1. Soms strijkt een wig van hoge druk over ons, tussen twee regenbuien in, en is de lucht zeer doorzichtig en zuiver; of na overgang van een lage drukgebied is de hemel net opgeklaard en er waait een felle westenwind. Het luchtperspektief ontbreekt nu bijna geheel, tenzij op grote afstanden; voortdurend verwondert men zich over de scherpte van het landschap en de

sterke tegenstellingen, over het diepe zwart der donkere partijen. Zelfs aan ver verwijderde gebouwen en torens zijn de details verrassend goed waarneembaar, de kleuren zijn maar heel weinig door de verte veranderd. — Een geoefend oog onderscheidt deze luchttoestand reeds aan voorwerpen op een afstand van 100 of 200 meter.

2. Op een dag met wat heiligheid is de voorgrond minder rijk aan kleur, meer naar het grijze zwemend; de golvingen van het terrein op gemiddeld verre afstand komen beter uit, omdat de dalen door een dichter nevelgordijn gezien worden dan de hoogte (zie echter ook § 97). Achter elkaar oprijzende heuvelruggen of boomgroepen vertonen een prachtige gradatie: dicht bij ons lijken ze donker; de verdere zijn toenemend lichter, omdat we over een grotere lengte door het lichtverstrooiende nevelfloers heen kijken. Helemaal in de verte tenslotte is het zicht veel slechter geworden. —

3. Bij mooi zomerweer en hoge barometerdruk zijn er veel stofdeeltjes in de lucht, de hemel is zeer helder maar weinig blauw, zodat de tegenstellingen van licht en schaduw minder sprekend zijn; daarenboven is de waarnemer voortdurend enigszins verblind door de heldere lucht.

4. In het maanlicht is het landschap het mooist als er helemaal geen neveligheid is, want anders is het licht te zwak, de tegenstellingen minder in het oog vallend en zou het tafereel allicht in een eentonig grijs kunnen overgaan.

5. Het is door het luchtperspektief dat de zeevaarder de kust blauwig en aetherisch ziet opdoemen, kontrasterend met het donkerder blauw van de golven der zee, wier krachtiger vormen zich op de voorgrond van het tafereel ontwikkelen. Hem lijkt het verre land een oord van vrede, het koninkrijk van overzee

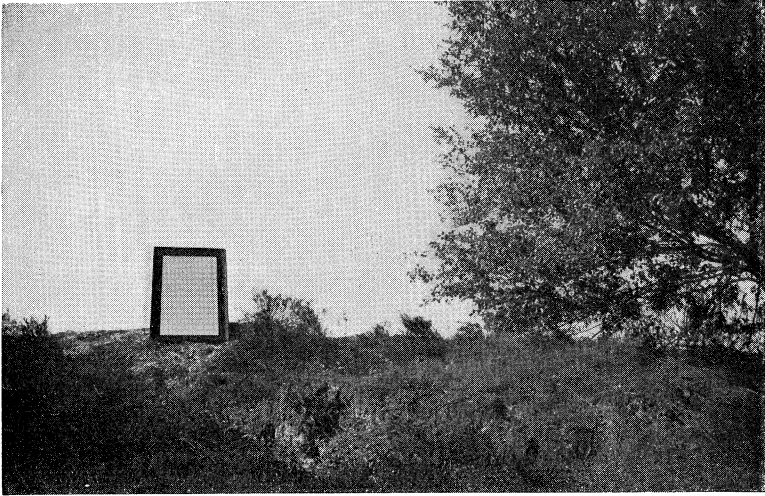
179. Proeven met de nigrometer.¹⁾

„Nigrometer” is een geleerde naam voor een zeer eenvoudig hulpmiddel. Een kartonnen koker, zoals men gebruikt voor het verzenden van tekeningen, 40 cm lang en met een middellijn van bv. 3 cm, wordt aan beide zijden van een dekseltje voorzien. In het ene deksel knipt men een gaatje van 7 mm middellijn, in het andere een van 3 mm; dan rolt men nog aan beide zijden om de koker een kapje van zwart papier, dat hem een eindje verlengt; en het toestel is klaar.

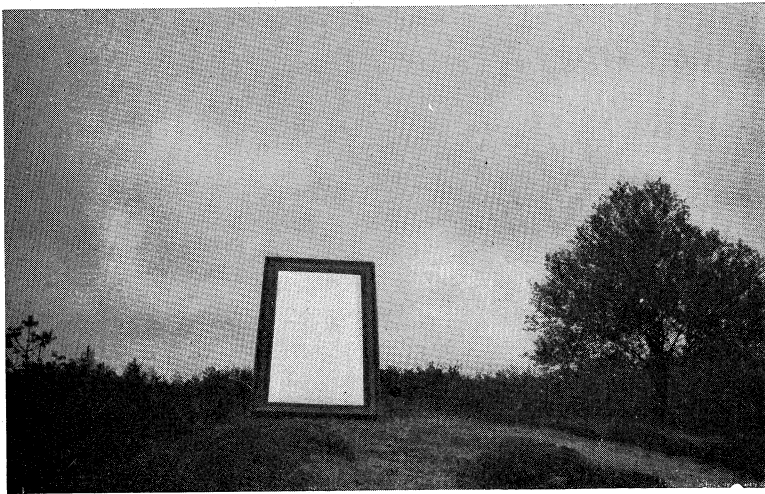
1. Als men door het toestel wil kijken, houdt men het oog

1) R. Wood, Phil. Mag. 39, 423, 1920.

PLAAT XI.



Een grote spiegel is schuin opgesteld en kaatst het zenith terug ;
bij blauwe lucht is dit donkerder dan de hemel nabij de kim (§ 181).



Dezelfde proef bij gelijkmatig betrokken lucht : het zenith is nu helderder
(blz. 301).



PLAAT XIIIa. De zon werpt de schaduw van een zware stapelwolk op de heilige lucht daaronder. Alle bundels schijnen van éézelfde punt te komen, al zijn ze in werkelijkheid evenwijdig (§ 193).



PLAAT XIIb. Mijn schaduw valt op een gerimpeld wateroppervlak: ontelbare lichte en donkere stralen gaan van het hoofd uit (§ 223). De camera werd vlak vóór het oog gehouden.

achter het kleinste gaatje, en ziet dan het andere verlicht tegen een bijna volledig zwarte achtergrond. Richt de buis naar een raamopening op enige afstand; u ziet deze donkere raamopening duidelijk blauwachtig: het is 't verstrooide licht der zonbeschenen lucht tussen u en de raamopening. Nader meer en meer tot het raam: hoe dichter u komt, hoe zwakker het blauwige licht: de verstrooiende lichtzuil wordt korter. Voor kleine afstanden is het nog beter, de nigrometer te richten op een van binnen zwartgemaakte kist, met kleine opening, die een bijna volmaakt „zwart lichaam” is.

2. We gaan nu bepalen welke luchtzuil evenveel verstrooit als de gehele dampkringsdikte. Houd vóór de helft van de opening

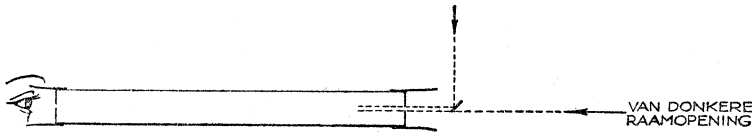


Fig. 147. Waarnemen met de nigrometer: meting van de verstrooiing van onze dampkring.

een stukje glas, waarvan de achterkant zwart is, bijvoorbeeld een stukje donker gesluerde fotografische plaat. Richt het glaasje onder 45° met de as van de koker; als het kan, kies dan uw waarnemingsrichting zo, dat het teruggekaatste licht afkomstig is van de hemel op ongeveer 60° van de zon. Door de andere helft van het gaatje ziet u onze donkere raamopening. Hoever moeten we ons daarvan verwijderen, willen de twee helften van het veld even sterk verlicht zijn? — Bij zonnig, helder weer vindt u ongeveer 330 meter; bij zonnig, maar ietwat heilig weer wordt die afstand misschien maar 130 meter.

Het terugkaatsende glaasje verzwakt het licht tot 5% van zijn sterkte (§ 57). De hemel op 60° van de zon verstrooit dus even sterk als een luchtzuil van $330 \text{ m} \times 20 = 6,6$ kilometer. — Nu zou de dampkring, als men hem op alle hoogten tot normale dichtheid kon samendrukken, een „aequivalente hoogte” hebben van 8,8 km (immers, de dampkring drukt met een kracht van $1,033 \text{ kg per cm}^2$, terwijl 1 cm^3 lucht $0,001293 \text{ g}$ weegt; dus $1033 : 0,001293 = 880000 \text{ cm} = 8,8 \text{ km}$). De overeenstemming met onze optische bepaling is helemaal niet slecht! Ze bewijst, dat dezelfde verstrooiende stof die hier beneden het luchtperpektief verklaart, ook het blauwe licht van de hemel doet ontstaan. Dat onze 6,6 nog iets kleiner is dan 8,8 kan bewijzen,

dat de lucht beneden tengevolge van haar stofgehalte meer verstroot dan de lucht in hoge lagen. — Onze bepaling is overigens in allerlei opzichten zeer ruw en geeft alleen de orde van grootte.

3. De nigrometer vertoont ons elke kleur van het landschap afzonderlijk, vrij van de invloed der tegenstelling met haar omgeving. Sommige waarnemers zien dan alle tinten geelachtiger dan gewoonlijk; de zee en de lucht lijken hun bijna wit; komt er een wolk voorbij, dan verschijnt het blauw opnieuw!¹⁾ Al moge dit voor anderen weer niet gelden, het blijft waar dat de nigrometer een zeer waardevol en belangwekkend hulpmiddeltje vormt.

180. Cyanometer.

Maak in verschillende verhoudingen mengsels van zinkwit en roetzwart met berlijns blauw of met kobaltblauw. Deze mengsels verschieten niet, men kan ze op repen karton brengen, nummeren en met de hemelkleur vergelijken. — Voor waarnemingen op reizen is deze methode nog altijd zeer bruikbaar; de samenstelling van het licht der verschillende nummers van de schaal kan naderhand colorimetrisch onderzocht worden.

Dergelijke schalen zijn voor het praktische gebruik samengesteld en kant en klaar in de handel te krijgen.²⁾

Het is van belang bij het gebruik dezer blauwschalen altijd de rug naar de zon te draaien en de schaal door de zon te laten beschijnen.

181. Lichtverdeling aan de hemel.

Onderzoek op een heldere dag hoe de belichting over de hemel verdeeld is. Wie een cyanometer heeft, kan die hierbij gebruiken; ook onze nigrometer is nuttig, maar de hoofdzaak is toch, aandachtig om u heen te kijken. Gebruik een spiegeltje, om het ene deel van de hemel met het andere te vergelijken (plaat XI). Teken lijnen van constante helderheid en blauwheid in een diagram zoals dat van fig. 148; herhaal dit voor verschillende zonshoogten.

„Langzamerhand ziet het geoefend oog het verloop der isofoten als met blauwe verf op de hemelachtergrond geschilderd.”³⁾

1) J. S. Haldane, *The Philosophy of a Biologist* (Oxford, 1935) blz. 52.

2) De schaal van Ostwald is te bestellen bij de „Meteorologische und Geophysikalische Institute”, Frankfurt a.M., voor een paar gulden; die van Linke bij Unesma (zie *Met. Zs.* 41, 43, 1924; 45, 367, 1928).

3) C. Dorno, *Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung*, blz. 116.

Het donkerste punt ligt altijd in de vertikaal van de zon, op een afstand van 95° van de zon als deze laag staat, op een afstand van 65° als ze hoog staat. Door dit punt loopt de *donkerheidslijn*, die de hemel in twee gebieden scheidt: een helderder gebied om de zon, en een ander helderder gebied daartegenover. De vorm en de grootte dezer gebieden wijzigen zich volgens de zonshoogte. — Deze lichtverdeling kunnen we opvatten als ontstaande uit de samenwerking van drie verschijnselen.

1. De helderheid neemt snel toe dicht bij de zon, ze wordt dan zelfs verblindend groot en de kleur nadert meer en meer tot wit (plaats u in de schaduw van een gebouw dicht bij de schaduwgrens!).

2. Op 90° afstand van de zon vertoont de lucht neiging het donkerst en het blauwst te worden, maar

3. Er is nog een ander effect, waardoor de lichtsterkte toeneemt van 't zenith naar de horizon, terwijl de kleur meer naar wit overgaat, en dat zich met de vorige samenstelt.

Het eerste verschijnsel kunnen we goed meten met de nigrometer.

We bedekken de helft van het veld met een aan de achterzijde zwartgeschilderd glaasje dat de hemel vlak bij de zon weerkaatst; de andere helft is dan gericht op 40° — 50° van de zon. We veranderen de richting een paar graden in de ene of in de andere zin, — hetgeen vooral voor het eerste der twee velden invloed heeft, — en vinden gemakkelijk een punt waarop er ongeveer gelijkheid is; we besluiten nu, dat de helderheid in dit punt nabij de zon wel twintig maal zo groot moet zijn dan op 45° van de zon. — Deze zeer sterke verstrooiing onder kleine hoeken met het invallende licht is te wijten aan grovere deeltjes die in de lucht zweven: stofjes en druppeltjes. Hiermee komt ook overeen, dat de kleur bij de zon minder blauw is, meer wit of zelfs geelachtig zoals de zon zelf, want die grote deeltjes verstrooien ongeveer alle kleuren even sterk (§ 182).

Het tweede effect is een gevolg van de verstrooiingswet der lichtmolekulen. Onder 90° moet hun verstrooiing bijna tweemaal zwakker zijn dan nabij het tegenpunt van de zon; daarenboven

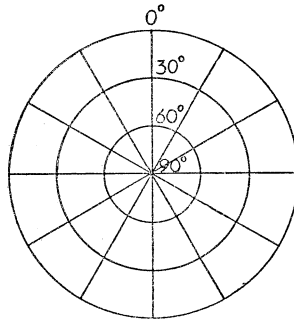


Fig. 148. Diagram voor het tekenen der lijnen van constante helderheid en blauwheid van de hemel. Het middelpunt stelt het zenith voor.

verstrooien de grove deeltjes weinig of niet onder een zo grote hoek, we zien dus alleen het verzadigde, diepe blauw dat de luchtmolekulen zelf verstrooien.

Het derde effect ontstaat vooral door de grote laagdikte waaronder we de dampkring bij de gezichteinder zien; elk luchtdeeltje verstrooit wel bij voorkeur de violette en blauwe stralen, maar juist deze worden weer het meest verzwakt op hun lange weg van het verstrooiende deeltje tot aan ons oog. Bij een zeer dikke luchtlaag heffen die twee werkingen elkaar net op (§ 176).

Stel dat een volume-element op afstand x van ons oog een breukdeel $s dx$ verstrooit; dat licht wordt verzwakt in de verhouding e^{-sx} eer het ons oog bereikt. Van een „oneindig” dikke laag krijgen we dus de straling $\int_0^{\infty} s e^{-sx} dx = 1$, hetgeen zoals men ziet onafhankelijk is van s dus van de kleur. De lucht bij de gezichteinder moet dezelfde helderheid en kleur hebben als een wit scherm dat door de zon verlicht wordt.

Hier kan nog bijkomen, dat de lagen dicht boven de grond meer zwevende stofdeeltjes bevatten, die de lichtverstrooiing sterker maken en de kleur witter, ook wanneer de luchtlaag nog niet als oneindig dik te beschouwen was.

Waar de hemel *het donkerst* is, is hij ook altijd *het blauwst* en is zijn kleur het meest verzadigd. Dit betekent, dat er geen wolken voorkomen waarvan de deeltjes 0,0001 mm of kleiner zijn; want deze zouden plaatselijk de lichtsterkte verhogen en toch de blauwe kleur onveranderd laten.

Ruskin noemt de blauwe hemel als mooiste voorbeeld van een gelijkmatig verlopende kleurgradatie.¹⁾ Hij geeft de raad, na zonsondergang een stuk van de lucht te bekijken zoals het zich weerspiegelt in een ruit of zoals het omlijst is door bomen en huizen. Tracht u daarbij voor te stellen dat u naar een schilderij kijkt, en bewonder de gelijkmatigheid, de rust, de teerheid van de tintovergang.

Bekijk de blauwe hemel door een plaat rood glas, zo groot dat ze uw beide ogen bedekt. Het zenith lijkt onheilspellend donker, vergeleken met de kim; de blauwe kleur wordt door het glas bijna niet doorgelaten, terwijl de witachtige kleur van de kim voldoende door het glas heen schijnt. Evenzo begrijpt men, waarom ijle cirrusluiers, door het rode glas gezien, zulk een wonderlijke fijnheid van structuur vertonen.

1) Elements of Drawing, XV, 35.

182. De veranderlijkheid der blauwe hemelkleur.

De tint van de blauwe hemel is van dag tot dag anders, al naar gelang van de mindere of meerdere hoeveelheid stof en waterdruppeltjes die in de lucht zweven. Het gebruik van een cyanometer is voor dergelijke vergelijkingen onontbeerlijk.

Het diepste donkerblauw vertoont de lucht bij tijdelijke opklaringen tussen de regenbuien, indewigingen van hoge druk. Daarentegen wordt

de lucht witachtig, zodra de ijlste cirruswolken verschijnen, of 's zomers door stof (§§ 177, 182).

Vergelijk de blauwheid van de lucht met „de Italiaanse hemel” gedurende uw vacantiereizen! Vergelijk de blauwheid der lucht in de tropen met die in Nederland!

Vergelijk de blauwheid op verschillende ogenblikken van de dag. Het blauwste is de lucht bij zonsopgang of zonsondergang,¹⁾ hetgeen begrijpelijk is, aangezien een punt bij het zenith dan tegelijk 90° van de zon en 90° van de gezichteinder verwijderd is (vgl. § 181).

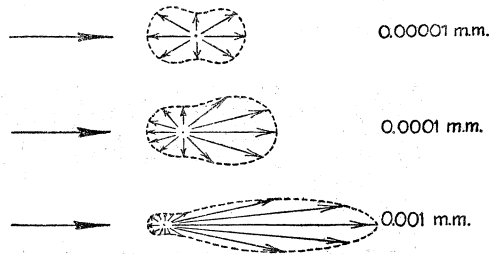


Fig. 149. Verstrooiing van het licht in de verschillende richtingen door korreltjes van toenemende grootte.

Boven alles, o, de hemel zo kalm, zo doorschijnend na de regen, en met wondermooie wolken.

Walt Whitman: „Come up from the fields father.”

Kleine deeltjes verstrooien bij voorkeur violet en blauw licht, en wel ongeveer even sterk naar alle richtingen.

Grote deeltjes verstrooien alle kleuren even sterk (wit licht), en wel voornamelijk onder kleine hoeken (fig. 149).

183. Wanneer is de lucht in de verte oranje? Wanneer groen? ²⁾

Wij hebben gezien, dat bij onbewolkte lucht de hemel aan de kim dezelfde kleur moet vertonen als een blad wit papier, recht-

1) Phys. Rev. **26**, 497, 1908.

2) M. Minnaert, Hemel en Dampkring, **29**, 1, 1931.

streeks door de zon beschenen. Het is dus duidelijk dat we tegen zonsondergang, als de zon alles in een warm oranje gloed kleurt, ook deze zelfde tint overal langs de gezichteinder zullen zien verschijnen.

Maar er zijn ook gevallen, waarin de verre kim zich lang vóór het ogenblik van de zonsondergang oranje kleurt. Een zware,

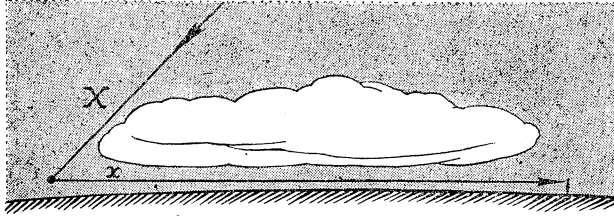


Fig. 150. Als een groot deel van het landschap door een zware wolkenbank bedekt is, kan de gezichteinder een warm-oranje kleur vertonen.

donkere wolkenbank strekt zich uit over het gehele landschap, en alleen heel in de verte is er een lage strook, bij de gezichteinder, waar de zon schijnt (fig. 150). Dan heeft dit stukje van de hemel een verrassende, warm oranje kleur, waartegen zich de donkerzwarte silhouetten der verre boerenhofsteden aftekenen, en dat zulk een bijzondere indruk maakt omdat al het overige van het landschap donker is. Het is aardig dat Ruskin zonder enig theoretisch vooroordeel dit verschijnsel met alle essentiële trekken nauwkeurig heeft opgemerkt: „De horizon 's middags kan geel zijn, als de hemel geheel bedekt is met donkere wolken, op één open strook in de verte na, waar al het licht vandaan komt.”¹⁾

De verklaring is de volgende. De lucht in de verte (afstand = x) wordt bestraald door zonlicht dat een weg X door de dampkring heeft doorlopen; op die weg is een klein breukdeel s per km verstrooid, zodat er nog een lichtsterkte e^{-sX} overblijft. De beschouwde luchtdeeltjes verstrooien naar ons oog een breukdeel van het invallende licht, evenredig met s ; en daarvan bereikt weer een breukdeel e^{-sx} ons oog. Tenslotte is wat wij zien evenredig met $se^{-(X+sx)}$. Deze uitdrukking heeft een maximum voor gemiddelde waarden van s , maar wordt nul voor kleine en grote waarden. Anders gezegd: grote golflengten worden niet genoeg verstrooid door de zonbestraalde lucht; kleine golf-

1) Modern Painters, III, 349.

lengten daarentegen worden teveel verzwakt bij het doorlopen van de lange luchtweg. Uit de tekening fig. 151 ziet men hoe de kleurensamenstelling is van het licht, dat ons van luchtvolumetjes bereikt voor dewelke de afstand $X + x$ gelijk is aan 0, 8, 16 . . . km. Het maximum, de kleur die ons met de grootste sterkte bereikt, verplaatst zich meer en meer van blauw naar rood, naarmate het verlichte deel van de lucht verder van ons verwijderd is. Bij $X + x = 35$ km is de kleur ongeveer groen, bij 45 km al oranje.

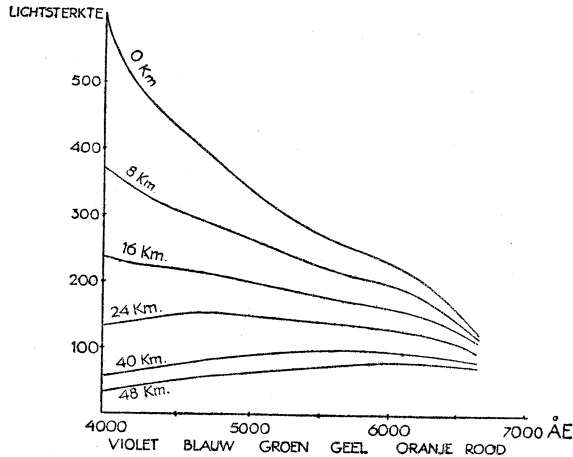


Fig. 151. Samenstelling van het licht, ons toegezonden door een luchtvolumetje op verschillende toenemende afstanden van ons oog.¹⁾

We zien hier dus tevens hoe de mooie groene kleur kan ontstaan die een deel van de lucht soms vertoont, bijvoorbeeld na een sneeuwbuï. Uit fig. 151 volgt, dat in dit lichtmengsel het groene bestanddeel slechts weinig overheerst over de andere kleuren, zodat de groene tint weinig verzadigd zal zijn — wat ook met de waarneming overeenstemt.

Die groene en oranje bestanddelen in het licht van de gezicht-einder zijn er eigenlijk *altijd*, maar bij onbewolkte lucht mengen ze zich met het blauw der dichterbij gelegen deeltjes, en geven daarmee samen wit. De uitzonderlijke kleureffecten komen te voorschijn, zodra een deel van de lichtweg beschaduwd wordt ;

1) Voor de berekening van deze figuur zijn de verstrooiingscoëfficiënten aangenomen welke voor de dampkring als geheel waargenomen zijn. Feitelijk had men die van de onderste dampkringslaag moeten gebruiken.

wanneer verschillende openingen in het wolkendek voorkomen, zijn zeer verschillende kleurschakeringen mogelijk.

184. **Kleur van de lucht bij zonsverduisteringen.**

Bij *gedeeltelijke zonsverduisteringen* is er gelegenheid op te merken, hoe de kleur van de hemel gewijzigd wordt door de schaduw van de maan, hoe anders ze is aan de zijde van waar de schaduw komt dan aan de zijde naar waar de schaduw beweegt.

Bij *volledige zonsverduisteringen* — (helaas, zó zeldzaam!) — is de kleurenpracht onvergelykelyk veel groter. Aan de kant van de aankomende schaduw is de hemel donkerpaars, alsof er een onweersbui aan het optrekken was. Tijdens de totaliteit is de lucht in de verte warm oranje gekleurd, omdat wij daar delen van de dampkring zien buiten de totaliteitsgordel, welke nog beschenen worden door de rechtstreekse zonnestraling, en die nu dwars door een onbelicht gedeelte van de dampkring waargenomen worden (vgl. § 183).

185. **Polarisatie van het licht van de blauwe hemel** (vgl. § 186).

Het licht van de blauwe hemel is vrij sterk gepolariseerd. Dit is gemakkelijk waar te nemen met een nicol, maar we kunnen ons ook behelpen met eenvoudiger hulpmiddelen,¹⁾ bijvoorbeeld een glazen plaatje dat aan de achterzijde donker gemaakt is: als een lichtstraal dit glaasje treft

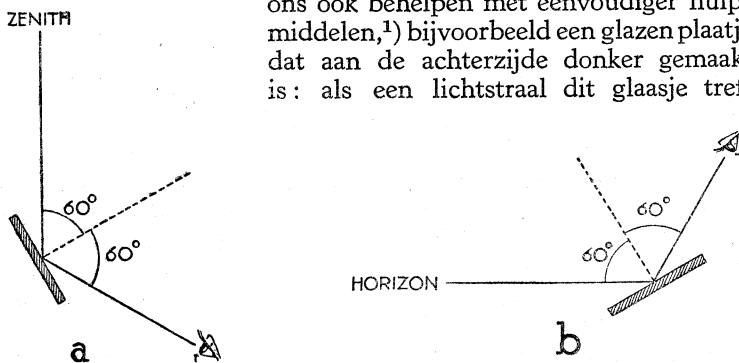


Fig. 152. Onderzoek naar de polarisatie van het hemellicht.
a. bij het zenith, b. aan de gezichteinder.

onder een invalshoek van ongeveer 60° met de normaal („polarisatiehoek”), is het teruggekaatste licht bijna geheel gepolariseerd,

1) Weldra zullen overal in de handel de polariserende films verkrijgbaar zijn, die men onlangs heeft uitgevonden („polaroid”).

en wel zijn het de trillingen *loodrecht op het invalsvlak* die weerspiegeld worden.

We zullen nu onderzoeken hoe de hemel recht boven ons hoofd zich in het glaasje weerspiegelt, en we houden het daartoe een 20-tal cm boven ooghoogte, zodat de terugkaatsing ongeveer onder de polarisatiehoek gebeurt (fig. 152a). Draai u in deze houding achtereenvolgens naar de verschillende windstreken: terwijl het glaasje altijd *hetzelfde* punt boven uw hoofd weerspiegelt, merkt u op dat het spiegelbeeld *helder* is als u zich naar de zon toe en van de zon af keert, *donker* als u zich dwars op deze richtingen heeft gewend. Daaruit blijkt dus dat het licht van het zenith aan het trillen is loodrecht op het vlak zon—zenith—oog. Dit is inderdaad de algemene regel bij licht dat door heel kleine deeltjes verstrooid wordt.

Vervolgens onderzoeken we de weerspiegeling van de hemel bij de gezichteinder; steeds houden we ons glaasje zó, dat het licht onder de polarisatiehoek invalt en weerspiegeld wordt (fig. 152b). We bevinden, dat het spiegelbeeld helder is aan de kant van de zon en daartegenover, terwijl het donker is in de richtingen dwars daarop. De groter helderheid aan de zijde van de zon is niet verwonderlijk; maar de drie andere hemelstreken zien er voor het oog, zonder spiegelend plaatje, vrijwel even helder uit, en het verschil dat we bij spiegeling waarnemen is dus een echt polarisatieverschijnsel: de hemel aan de kim tegenover de zon zendt ons licht toe dat weinig gepolariseerd is, terwijl dwars op die richting de polarisatie sterk is en de trillingen vertikaal zijn gericht, dus weer loodrecht op het vlak zon—waargenomen punt—oog.

Men kan zich afvragen of de natuur niet soms zelf een dergelijke proef voor ons inricht. Het moet immers voldoende zijn de hemel te zien weerspiegelen in rustig water, om ook daar een donkerder gebied waar te nemen; we kijken onder een invalshoek van ruim 50° naar het wateroppervlak, en keren ons naar de verschillende hemelstreken: bij lage zon moest het water aan de Noord- en Zuidzijde merkbaar donkerder lijken dan aan de Oost-, of Westzijde. Naar mijn ervaring gelukt deze waarneming soms, maar zelden; meestal is de hemel niet gelijkmatig genoeg van helderheid, of het water niet voldoende effen.

Overtuigender is, dat nauw zichtbare wolkjes in de weerspiegeling op het water duidelijker kunnen worden, omdat hun licht niet gepolariseerd is en dus veel minder verzwakt wordt dan het gepolariseerde hemellicht. ¹⁾ Hetzelfde is natuurlijk nog

1) Met. Zs. 6, 1889.

opvallender als men de hemel en de wolkjes bekijkt door een nicol of met een spiegeland plaatje donker glas. Men kijke liefst bij lage (westelijke- of oostelijke) zon naar een wolkje op 20 tot 40° hoogte, in 't Zuiden of Noorden, waar het hemellicht het sterkst gepolariseerd is; de trillingen geschieden ongeveer loodrecht op de verbindingslijn van dit stuk van de hemel met de zon, dus vertikaal: in een glaasje dat voor ons op een tafel ligt, zien we het licht van dit punt van de hemel dus sterk verzwakt, en het wolkje wordt duidelijker.

Het echte instrument om de polarisatie van de lucht te onderzoeken is de polariskoop van Savart, een eenvoudig en toch uiterst gevoelig toestelletje. Maar aangezien weinig natuurliehebbers die bezitten, en de verschijnselen een geheel afzonderlijk gebied der meteorologische optica vormen, zullen we slechts naar de litteratuur verwijzen. ¹⁾ Voor belangstellenden die reeksen stelselmatige waarnemingen willen doen is dit onderwerp buitengewoon aardig en veelzijdig.

Met een nicol is de polarisatie van de hemel gemakkelijk waar te nemen: als men hem eenvoudig om zijn as draait, ziet men het licht afwisselend toe- en afnemen. De volgende methode is zeer gevoelig, maar alleen toepasselijk gedurende de schemering. ²⁾ — Zoek een sterretje, zó zwak dat het net zichtbaar is, bekijk het door de nicol, en let op of de zichtbaarheid van het sterretje in bepaalde standen van de nicol groter is dan in andere. De methode berust op hetzelfde beginsel als onze hoger beschreven waarneming van de wolkjes: de ster is niet gepolariseerd, en wordt duidelijker naarmate ze zich op een donkerder achtergrond aftekent; een verandering der zichtbaarheid verraadt dus een verandering van helderheid van de achtergrond, dus polarisatie.

Het is om dezelfde reden dat de nicol bij dag de zichtbaarheid van verre voorwerpen bevordert, mits men hem zó draait dat hij het verstrooide licht van de lucht tegenhoudt. ³⁾ Witte zuilen in de verte, vuurtorens, zeemeeuwen enz. worden duidelijker ten opzichte van de achtergrond. Deze waarneming lukt echter alleen op *heldere* dagen, want als er mist hangt is het licht van

1) Fr. Busch en Chr. Jensen: Tatsachen und Theorien der atmosphärischen Polarisation (Hamburg, 1911). — Plassmann, Ann. d. Hydr. **40**, 478, 1912, met beschrijving van een quadrant die 75 Mk kost en toelaat alle waarnemingen uit te voeren. — Wetter, **34**, 133, 1917. — Jensen in: Kleinschmidt, Hdb. d. Meteorol. Instrumente, blz. 666 (Berlin 1935).

2) C. R. **47**, 450, 1858.

3) H. N. Russell, Science, **63**, 616, 1917.

de grijze lucht niet merkbaar gepolariseerd. De invloed van de nicol is gewoonlijk het duidelijkst op 90° van de zon.

Onderzoek met uw donker glaasje de polarisatie van een aantal punten van de blauwe lucht en tracht een overzicht te krijgen. Zou het gelukken, de gebieden van abnormale polarisatierichting boven de zon en boven haar tegenpunt waar te nemen? En wat is er te bereiken door de blauwe hemel te laten weerspiegelen in een tuinbol, en die weer met ons glaasje onder de polarisatiehoek waar te nemen?

186. De bundels van Haidinger.¹⁾

Menig laboratoriumphysicus is ongelovig en verbaasd, als we hem vertellen dat we zonder enig hulpmiddel, met het ongewaapend oog, kunnen waarnemen dat het licht van de hemel gepo-

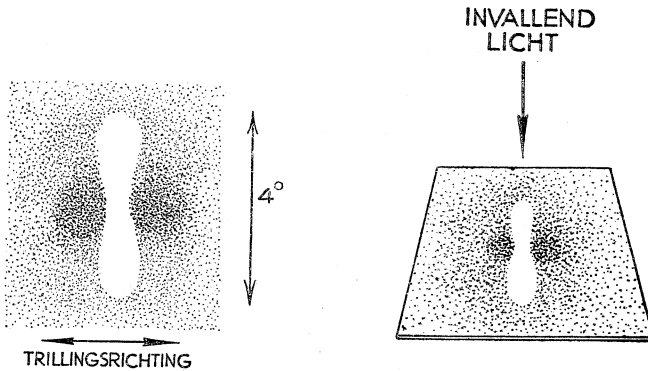


Fig. 153. De bundels van Haidinger: een merkwaardig figuurtje dat men aan de blauwe lucht kan zien, en dat de polarisatie aanwijst (de lichte pluim is geelachtig, de zijdelingse wolkjes zijn blauw).

lariseerd is! — Enige oefening is daar echter voor nodig. Men bekijkt de weerspiegeling van de hemel in een glazen plaat onder de polarisatiehoek (§ 185), ten einde eerst met volledig gepolariseerd licht te oefenen. Nadat men een minuut of twee het spiegelbeeld der gelijkmatig blauwe lucht heeft waargenomen, begint zich een zekere marmering te vertonen. Weldra bemerkt u in de richting waarin u toevallig kijkt het merkwaardige figuurtje dat men „de bundels van Haidinger” noemt, en dat er ongeveer

1) Fr. Busch en Chr. Jensen, Tatsachen und Theorien der atmosphärischen Polarisation (Hamburg 1911). — Helmholtz, Physiologische Optik, 3e uitgave, blz. 2, 256. — Th. Mendelssohn, Rev. Faculté des Sc. Istantoul, 3, fasc. 2, 1938.

uitziet zoals fig. 153 aangeeft. Het is een geelachtige pluim met aan beide zijden een blauw wolkje. De gele pluim blijkt in het invalshoek gericht te zijn van het licht dat op de glasruit weerspiegeld wordt. En aangezien de Natuurkunde ons leert dat het weerspiegelde licht in hoofdzaak loodrecht op het invalsvlak trilt, besluiten we : *de gele pluim staat altijd loodrecht op de richting der lichtrilling.*

Reeds na een paar sekonden is het figuurtje er niet meer ; maar richt uw de ogen naar een naburig punt van de glazen plaat, dan ziet u het opnieuw! ¹⁾ Het figuurtje onderscheidt zich maar heel weinig van zijn omgeving, en ik vermoed dat de oefening daarin bestaat, dat men dit zwakke contrast nog leert opmerken te midden van de onvermijdelijke onregelmatigheden van de achtergrond. Men oefent enkele keren per dag, telkens gedurende enige minuten ; na een dag of twee onderscheidt men al vrij gemakkelijk de bundels van Haidinger bij het bekijken van de blauwe lucht, die toch slechts gedeeltelijk gepolariseerd licht uitzendt. Bijzonder duidelijk zie ik ze in de schemering, als ik naar het zenith staar : de gehele lucht is als het ware met een netwerk bedekt, en overal waar ik de blik naar richt, zie ik de kenmerkende figuur. Het is een echt genot, aldus zonder instrument de polarisatierichting te kunnen bepalen en zelfs een schat-

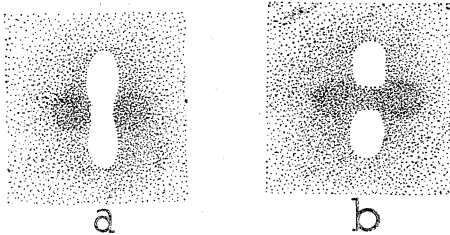


Fig. 154. We zien de bundels van Haidinger niet altijd op dezelfde wijze : bij *a.* loopt het geel door, bij *b.* het blauw.

ting van de sterkte der polarisatie te verkrijgen. Meest altijd vindt men dat *de gele pluim naar de zon wijst*, als men ze als boog van een grote cirkel verlengt ; het verstrooide licht trilt dus in 't algemeen loodrecht op het vlak zon—luchtdeeltje—oog.

Duidelijker nog worden de bundels van

Haidinger, als men de hemel in een tuinbol weerspiegeld ziet, terwijl men het beeld van de zon met het hoofd bedekt (vgl. § 12).

In die omstandigheden bemerkt men ook in de nabijheid van de zon een klein gebied waarin de gele pluim niet naar de zon wijst, maar dwars daarop gericht is ; de grens tusschen het

1) Heeft men een nicol tot zijn beschikking, dan bekijkt men daardoor een witte wolk of een gelijkmatig belicht wit vlak, draait de nicol, en tracht het figuurtje van Haidinger daaraan te herkennen dat het meedraait.

normale en het afwijkende gebied is als een soort schaduw te zien.

De bundels van Haidinger ontstaan, doordat de gele vlek van ons netvlies dichroïtisch is. Dat niet alle waarnemers de kenmerkende figuur op dezelfde wijze schijnen te zien, hangt ongetwijfeld samen met verschillen in de vorm en de bouw dezer gele vlek. Zo zijn er, die het blauwe gedeelte der figuur niet te zien kunnen krijgen.¹⁾ Soms ziet men het gele gebied samenhangend, soms het blauwe (fig. 154); twee beweringen staan hier tegenover elkaar:

A. De eerste indruk die men krijgt zou zijn dat het geel doorloopt; als het oog vermoeid wordt door te lang turen, verandert het beeld en ziet men het blauw dóórlopen.²⁾

B. De kleur die dóórloopt is altijd die welke loodrecht op de verbindingslijn der ogen staat. Kijkt men dus naar eenzelfde punt van de blauwe hemel en draait men het hoofd 90° , dan ziet men eerst de ene, dan de andere kleur dóórlopen.³⁾ Bij de vluchtigheid van het figuurtje is het niet gemakkelijk zich daarover een eigen oordeel te vormen.

De bundels van Haidinger zijn veel duidelijker te zien met een groen of blauw glaasje voor het oog, terwijl ze met een rood of geel glaasje verdwijnen.⁴⁾ Het is merkwaardig dat ze ongeveer tweemaal zo groot lijken nabij de horizon als hoog aan de hemel, juist zoals de zon, de maan en de sterrebeelden (§ 117).

„Soms, alleen blijvend in de zitkamer, laat ik onwillekeurig het boek rusten en kijk door de open balkondeur, naar de sierlijk neerhangende takken der hooge berken, waarover reeds de schaduw van de avond neerdaalt, en naar de heldere hemel, die, als je aandachtig blijft turen, ineens een soort geelachtig wazig vlekje vertoont, dat daarna weer verdwijnt.”

L. N. Tolstoi, *Kindsheid*, blz. 360.

187. Verstrooiing van het licht door nevel en mist.

Lichte morgennevel waar de zonneshijn in doordringt is heerlijk opwekkend en brengt een dichtertelijke atmosfeer in het eenvoudigste landschap. Dichtere mist belemmert het uitzicht, maar geeft aan de dichtbijge bomen en huizen een wazigheid die we gewoon zijn alleen bij voorwerpen in de verte waar te

1) Busch—Jensen, t.a.p. blz. 22.

2) Haidinger, *Ann. d. Phys.* **67**, 435, 1846.

3) Brewster, *Ann. d. Phys.* **107**, 346, 1859. Blijkbaar hiermee in overeenstemming: A. Hofmann, *Wetter*, **34**, 133, 1917.

4) Stokes, *Papers*, 5.

nemen; tegelijk treft ons dan de grote gezichtshoek waaronder zij ons verschijnen, waaruit we weer de indruk krijgen, dat die bomen en huizen wel zeer hoog zijn. Door deze combinatie van indrukken, die meestal niet eens tot bewustheid komt, geeft de mist aan de grote gebouwen de statigheid van reeksen paleizen, en verheft de toppen der torens tot in wolkenhoogte. ¹⁾

Meestal zijn de voorwerpen die men door de mist ziet niet van kleur veranderd. De zon is veel minder helder geworden, maar nog altijd wit; de verre straatlantarens hebben geen merkbaar andere kleur dan de dichtbijzijnde. — Toch komen er ook andere gevallen voor; men ziet soms de zon, op aanzienlijke hoogte boven de gezichteinder, rood door de mist schijnen. Een zeer bijzonder geval van die aard was te Utrecht waar te nemen op 14 Mei 1940, toen de ontzaglijke rookwolk van het gebombardeerde Rotterdam zich tot over onze stad uitbreidde, en de zon en de maan een diepe oranjerode tint aannamen. Alles hangt natuurlijk van de grootte der mistdruppeltjes af: men ziet de lichtbron roodachtig, zodra de druppeltjes zo klein worden dat ze naderen tot de golflengte van 't licht, en dan bij voorkeur de blauwe en violette stralen verstrooien, terwijl de gele en rode meer ongehinderd doorgaan (§ 176).

't Smoort, het smuikt, het smokkelwedert

*Hier en daar een plekke boenend,
 Zit de zonne in 't duister veld;
 rood, gelijk een oud versleten
 stuk ongångbaar kopergeld.*

G. Gezelle, Fiat Lux.

In zulke gevallen is de mist zelf wit, zeer bepaald veel witter dan de vaal-oranje zon: want hij wordt zowel verlicht door de verstrooide als door de doorgelaten stralen. Blauwachtig is zulk een zware mist niet, omdat het verstrooide licht misschien 99 % van het invallende licht bedraagt, en dus in zijn geheel vrijwel wit moet zijn, ook al verstrooit elk volume-elementje bij voorkeur blauw.

Overtuig u ervan, dat de mist de omtrekken der dingen bijna even scherp laat als ze waren. Er spreidt zich een waas van algemeen licht over alles uit, zodat de tegenstellingen veel geringer worden, maar er ontstaan geen overgangen tussen lichte en donkere partijen.

1) Vaughan Cornish, Geogr. Journ. 67, 506, 1926.

Betrekkelijk grote druppeltjes, zoals die waaruit de mist bestaat, verstrooien het meeste licht naar voren, onder geringe hoeken met de oorspronkelijke invalrichting (§ 182). — Vandaar dat een lichte nevel zoveel duidelijker zichtbaar is in richtingen in de omgeving der zon. De prachtige foto's van zonnige nevel in het bos zijn tegenlichtopnamen, waarbij de camera niet ver van de zon gericht was.

Bij wat zwaardere mist is het meest opvallende: „het lichamelijk worden” der schaduwen (fig. 155). Als u nadert tot een boom,

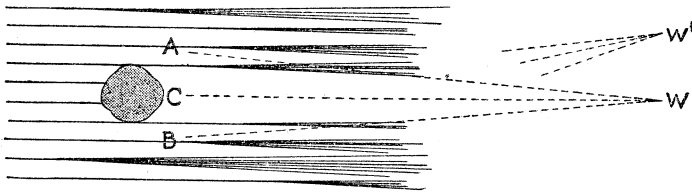


Fig. 155. Het ontstaan van schaduwen achter een voorwerp in de mist.

wiens stam door de zon beschenen wordt, ziet u uit de richtingen AW, BW zeer veel licht komen, omdat daar een aantal verstrooiende mistdruppeltjes zijn die de lucht als 't ware zelf-lichtgevend maken. In de richting CW kijkt u door onbelichte lucht en ziet dus veel minder licht. Gaat u nu met het oog een weinig opzij tot in W', dan schuiven lichte en donkere delen van de mist over elkaar, de schaduw wordt onduidelijk; daarenboven zien we dan bijna geen licht uit de richtingen AW', BW' naar ons oog komen, omdat de verstrooiing onder deze vrij grote hoeken al niet merkbaar meer is (§ 176).

Zo hangt een schaduw in de ruimte achter elke tak, achter elke paal; en van die schaduwen merkt u niets, tot u zich vlak achter hen bevindt. Nog merkwaardiger is het schouwspel bij avond, als elke straatlantaren, elke automobiellamp de mist aan het lichten brengen, en er zich achter elk voorwerp schaduwstrepen aftekenen, die men echter alleen van de achterzijde ziet. Een wandeling door de mist is een waar optisch genot!

Soms kunt u de schaduwstrepen al zien van uit de *dwar*se richting: 's ochtends, in de lente, als de zonnestralen schuin over de daken der huizen vallen en onze blik ongeveer langs de schaduwgrens gericht is, die zich zwakjes in de lucht aftekent.

Veel moeilijker waar te nemen is de *terug*verstrooiing door de

mist. Hij moet uit fijne druppeltjes bestaan en toch dicht zijn ; een felle lichtbron achter ons, een donkere achtergrond vóór ons. Soms is het voldoende 's avonds bij mist het raam te openen en een sterke lamp achter zich te hebben, om onze schaduw op de mist geprojecteerd te zien.¹⁾ Merk op : de schaduw valt niet op de grond ; want zij is er nog, ook al staat de lamp iets lager dan uw hoofd. Laat uw ogen even wennen aan de duisternis buiten, bescherm ze met uw handen tegen zijdelings licht (fig. 156). De schaduw van uw armen op de mist is zeer verlengd, die van uw lichaam schijnt kegelvormig en reusachtig ; alle

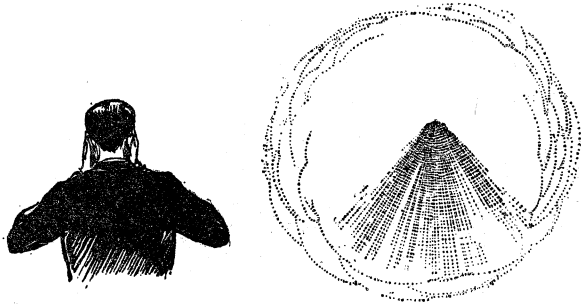


Fig. 156. „Het Spook van de Brocken” op Hollandse mist!

schaduwstrepen convergeren naar de schaduw van uw oog, die tevens het tegenpunt van de lamp is. Om dit punt is een grote lichtschijn, die vooral duidelijk tot bewustzijn komt als u zich iets heen en weer beweegt. Het hele wonderlijke tafereel is niets anders dan wat men „het spook van de Brocken” genoemd heeft en dat bij mist en zon op die hoge bergtop zulk een grote indruk maakt. Het „reusachtige” van het verschijnsel hangt daarmee samen, dat de schaduw zich niet in een plat vlak vertoont, maar zich over een grote diepte van misschien tientallen meters uitstrekt. — Een fietser ziet soms even zijn schaduw op de mist, ontzaglijk vergroot, als een automobilist hem achterop rijdt en met zijn felle koplampen beschijnt ; het is zelfs voldoende dat een tweede fietser zijn lantaren op het hoofd van den eersten richt, opdat deze het verschijnsel al zou waarnemen. — De lichtschijn en de daarin zich aftekenende schaduwen ontstaan, doordat de mistdruppeltjes een klein gedeelte van het licht terugverstrooien ; al de bundels die naar de schaduw van ons

1) F. Richarz, Met. Zs. 25, 19, 1908.

oog schijnen te *convergeren*, zijn in werkelijkheid *evenwijdig* (of bijna evenwijdig (vgl. §§ 193 en 216).

188. Zichtbaarheid van regen- en waterdruppels.

Het is de moeite waard, bij een regenbui eens om ons heen te kijken en op te merken in welke richtingen we de regen het duidelijkst zien vallen. Tegen de heldere hemel als achtergrond

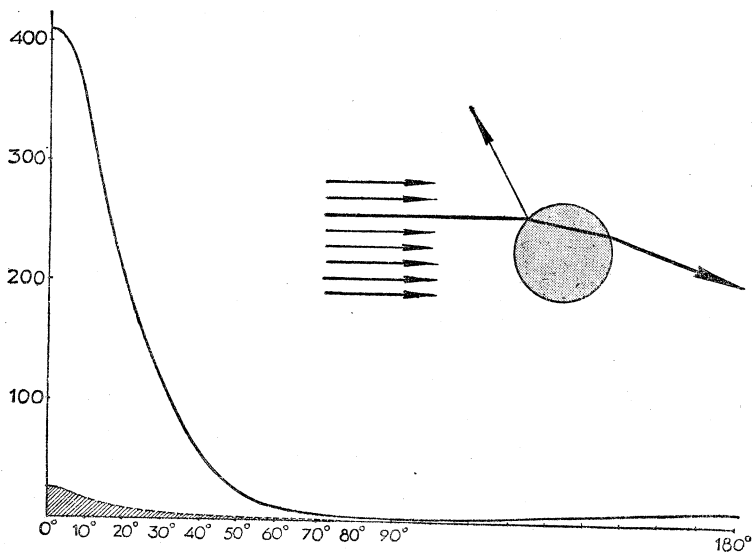


Fig. 157. Zonlicht, dat fonkelt in regendruppels, wordt in allerlei richtingen teruggekaatst en gebroken. De verdeling van het licht over de verschillende afwijkingshoeken. (Gestippeld: het aandeel der teruggekaatste stralen.)

ziet men de druppels niet, noch tegen de grond, maar wel tegen huizen en bomen. Blijkbaar worden de druppels pas zichtbaar doordat ze het licht van zijn baan doen afwijken, licht brengen waar men duisternis zag: en blijkbaar doet een druppel de lichtstralen in hoofdzaak *over vrij kleine hoeken* afwijken, bv. tussen 0° en 45°. Hoe groter de verandering in de lichtsterkte van de achtergrond voor een klein richtingsverschil, des te duidelijker de druppels. — Als de zon schijnt terwijl het regent, zien we bijzonder duidelijk hoe de druppels in de omgeving van de zon helder fonkelen: de zon is zoveel helderder dan de hemel-achtergrond, dat elke druppel die de stralen breekt hier opvalt.

Deze schitterende streepjes van de vallende regen vormen een essentieel element van de zeer bijzondere stemming die dan over het landschap komt, en die ook samenhangt met de tegenstelling tussen het blijde zonlicht en de sombere lucht.

Merk op dat men bijna altijd de druppels als heldere parels tegen een donkere achtergrond waarneemt, en zelden donker tegen heldere lucht. Dat is een toepassing van het algemene beginsel, dat het oog getroffen wordt door *verhoudingen* van lichtsterkten, niet door *verschillen* (§ 69). Doet de druppel van 100 lichteenheden een deel 10 afwijken, dan is dat zeer sterk vergeleken met een donkere achtergrond van bv. 5 lichteenheden; terwijl de vermindering van 100 tot 90 ternauwernood opvalt.— Toch kunnen we dikke druppels vlak bij ons als donkere dingetjes zien vallen, bv. van onze paraplu; of bij een zware bui zien we een zwarte arcering tegen de achtergrond van een heldere scheur tussen sombere regenwolken.

Dezelfde verschijnselen kan men waarnemen aan fonteinen, aan de druppelregen van een sproeimolentje in de tuin.

Door toepassing van de gewone optische wetten kan men gemakkelijk berekenen welk aandeel de aan het oppervlak teruggekaatste stralen en de door de druppel gedrongen, gebroken stralen aan de lichtverdeling van het tafereel hebben (fig. 157). Het blijkt, dat deze laatste verreweg de hoofdrol spelen, en dat ze inderdaad het licht slechts over tamelijk kleine hoeken doen afwijken, zoals wij al uit de rechtstreekse waarneming hadden besloten. ¹⁾ Vgl. § 33.

189. Lichtverstrooiing door een bedauwd weiland. ²⁾

Van uit de trein zwerft mijn oog over grote weilanden, bescheiden door de vroege ochtendzon. Ze zijn gelijkmatig en sterk bedauwd, en de beweging van de trein maakt het mij gemakkelijk, plaatselijke bijzonderheden weg te denken en het tafereel als geheel te overzien. Het treft mij nu, dat het weiland opvallend veel licht verstrooit in de verte; de kleur van het gras is daar bijna niet te zien, het is er veel witter dan dicht bij mij. Natuurlijk zijn het de dauwdruppels die aldus oplichten; in de delen van het weiland die het dichtst bij mijn oog zijn, zie ik slechts hier en daar de afzonderlijke lichtstipjes; hoe verder van mij af, des te talrijker en helderder worden ze.

1) Uitvoerige berekening bij Chr. Wiener, Nov. Act. Leop. 73, 106, 1900.

2) In andere gevallen werd mijn beschrijving van het verschijnsel slechts ten dele bevestigd. Nieuwe waarnemingen aan zeer gelijkmatige grasvelden zijn wenselijk.

De verklaring is eenvoudig: *in de verte is de hoek tussen invallende en teruggekaatste straal het grootst, de afwijkingshoek het kleinst*. Uit vorige paragraaf begrijpen we ineens, dat het verstrooide licht daar ook het sterkst moet zijn, en we zien ook in, dat het verschijnsel vooral bij lage zon opvallen moet.

190. Zichtbaarheid van deeltjes die in de lucht zweven.¹⁾

Voor al wat in de lucht zweeft geldt ongeveer hetzelfde als wij voor de waterdruppels hebben beschreven. Stofwolken en rookzuilen zijn veel beter zichtbaar naar de zon toe dan van de zon af.

Bij zonnig weer zien we in onze lage landen aan de zonzijde dikwijls een lichte zoom van heiligheid, tot ongeveer 3° boven de kim reikend; reeds op 1 km afstand zijn geen duidelijke kleuren in het landschap meer te herkennen, verre kerktorens zijn onzichtbaar. Aan de tegenovergestelde zijde is dezelfde laag als een donkerder zoom langs de horizon te zien. Als het avond wordt en de maan opgaat, zien we hoe ze eerst sterk rood gekleurd is en daarna verrassend snel naar een geelwitte tint overgaat. Bijzonder duidelijk ziet men de heiligheidszoom, helder nabij de zon, donker daartegenover, op het ogenblik dat men bij het bestijgen van een berg of bij een ballontocht de bovengrens van de laag bereikt; op ongeveer 80° van de zon ligt het overgangspunt, waar de laag ongeveer dezelfde helderheid heeft als de hemel.²⁾

Bij lichte mist plaatse men zich in de schaduw van een schoorsteen: de zon is omringd door een heldere aureool van licht, die men niet opmerkte zolang men door het felle zonlicht verblind werd; soms is die aureool rood omzoomd. Ook als er geen mist is, is een dergelijke, zij het ook zwakkere lichtschijn om de zon zichtbaar, veroorzaakt door stof en waterdruppeltjes (§ 202).

Insekten die in de lucht zwermen ziet men als zwevende lichtvonken aan de zijde van de zon, terwijl ze in tegenovergestelde richting haast onzichtbaar zijn. — De baarden der roggearen, die hoog in de lucht opsteken, schitteren in prachtig purpergoud wanneer ze belicht worden door de lage avondzon, en men in de richting naar haar toe waarneemt. — Droge bladeren, stenen, takken schitteren overal als men naar de zon kijkt, weinig of niet in de tegenovergestelde richting.

Inderdaad wordt het licht aan de grenzen van een scherm

1) G. M. Byran, M. W. R. **64**, 259, 1936.

2) Met. Zs. **31**, 257, 1914.

slechts onder kleine hoeken afgebogen. Hetzelfde geldt voor terugkaatsing, breking of buiging door bolletjes, zolang die niet al te klein zijn (§§ 163, 182, 188). Onregelmatige voorwerpen kunnen enigszins door schermpjes of bolletjes benaderd worden.

191. Zoeklichten.¹⁾

Aan de bundel van een zoeklicht in de nacht zijn er verschillende belangwekkende waarnemingen te doen. Vooreerst moeten we bedenken dat de bundel onzichtbaar zou zijn, was het niet door de stofjes en druppeltjes die in de lucht zweven en die

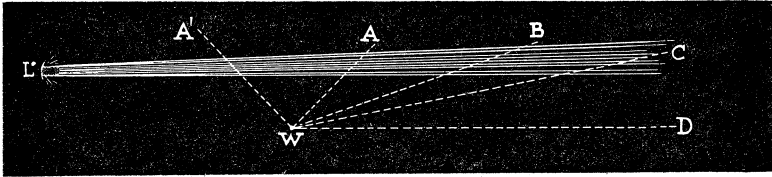


Fig. 158. Het spoor van een zoeklichtbundel schijnt in een zeer bepaalde richting plotseling te eindigen. De verklaring wordt door de figuur gegeven.

door hem verlicht worden. De helderheid van de bundel geeft ons dus aanwijzingen omtrent de zuiverheid van de lucht.

Het lijkt verwonderlijk dat we de bundel zo plotseling zien eindigen, zelfs wanneer de lucht heel helder is, en er nergens een wolkenlaag hangt die als „scherm” kan dienen. Verklaring: de waarnemer W ziet licht komen uit de richting AW, uit BW, uit CW, en van alle verdere punten van de bundel; maar hoe ver die bundel zich ook moge uitstrekken, geen zijner punten zien we in een richting verder dan de richting DW, evenwijdig aan LC. Deze richting, waarin we hem zien „eindigen” geeft dus nauwkeurig aan hoe de bundel in de ruimte gericht is. Dat er nog zoveel licht komt van zulke verafgelegen delen van de bundel is te verklaren, doordat de gezichtsstraal daar zo schuin door de bundel dringt en dus door een zo dikke laag lichtverstrooiende stof heen kijkt; terwijl hij in de richting AW slechts een vrij korte weg door de verlichte lucht aflegt.

Stel u dicht bij de bundel en vergelijk de lichtsterkte onder een hoek van 45° en van 135° : de voorwaartse verstrooiing volgens A'W is veel sterker dan de terugwaartse verstrooiing

1) M. Minnaert, Hemel en Dampkring, 29, 89, 1931.

AW. Toch zien we in beide gevallen dezelfde hoeveelheid licht-verstrooiende stof in de gezichtslijn, en de middellijn van de bundel is waarschijnlijk zo weinig anders in A dan in A' dat dit geen rol speelt. De verklaring is natuurlijk te zoeken in de asymmetrische verstrooiing der stofjes, die vrij groot zijn en dus vooral naar voren verstrooien (§ 182). De proef is nog zuiverder als men zich bij een vuurtoren bevindt en dan twee bundels vergelijkt, op 't ogenblik waarop de ene schuin van ons af, de andere schuin naar ons toe loopt.

Enkele dezer waarnemingen kunnen al geschieden aan de bundel van een *goede* elektrische zaklantaren, mits de nachtelijke omgeving goed donker is. Met zulk een lantaren kan men aan anderen een bepaalde ster aanwijzen, zó duidelijk is „het uiteinde” bepaald! ¹⁾ Vgl. § 114.

192. Het zicht. ²⁾

Waar men een vrij uitzicht heeft, kan men een reeks goed kenbare punten kiezen op toenemende afstanden, bv. fabrieks-schoorstenen of kerktorens van verre dorpjes, waarvan de afstand op een goede kaart af te lezen is. Nu bepaalt men dagelijks welk punt nog net zichtbaar is en noemt de afstand daarvan: „het zicht”. Is het aantal beschikbare punten te klein, dan schat men het zicht naar de algemene indruk in een schaal van 0 tot 10. Deze grootheid is natuurlijk een uiterst ingewikkeld samenstel van allerlei factoren, inzonderheid van de waterdruppeltjes en stofdeeltjes in de lucht, die vals licht verspreiden over de donkere partijen. Stel, het voorwerp kaatst een lichthoeveelheid A terug; de lucht ervóór B; de lucht erachter C; stel nog, dat van deze de lichthoeveelheden a , b , c ons oog bereiken. Dan is de zichtbaarheid van het verre voorwerp bepaald door $\frac{a+b}{b+c}$, en deze breuk is het ook waarvan „het zicht” afhangt. Vandaar dat het zicht niet alleen door de toestand van de dampkring gegeven is, maar dat het ook enigszins afhangt van de stand van de zon. Om deze invloed tot een minimum te herleiden, heeft men afgesproken als kenbare punten liefst donkere voorwerpen te kiezen, ongeveer 3 meter hoog, die gezien worden onder een hoek van ten hoogste 1° . Het oog van den waarnemer moet zo goed mogelijk beschermd

1) Davis, Science, **76**, 274, 1932.

2) W. E. Knowles Middleton: Visibility in Meteorology (Toronto 1935). — Sebastian, Beitr. z. Geophysik, **45**, 35, 1935. — Fr. Löhle, Sichtbeobachtungen (Berlin 1941). — Alle met verwijzingen naar de zeer uitvoerige litteratuur.

zijn tegen vals licht, bijvoorbeeld doordat men de hand boven het oog houdt, of doordat men door een kokertje kijkt dat van binnen zwart gemaakt is. Wanneer aan die eisen voldaan is, kan men aantonen, dat merkwaardigerwijze het zicht vrijwel onafhankelijk is van de richting ten opzichte der zon en van de vorm van de merken. Zelfs hun kleur is betrekkelijk onbelangrijk, daar ver verwijderde voorwerpen altijd hun tint verliezen en grijs worden eer ze verdwijnen, tengevolge van de sluier van verstrooid licht.

's Nachts kiest men bepaalde lantarens op bekende afstand ; of men bepaalt op hoeveel graden boven de gezichteinder een ster van de 1e grootte zichtbaar wordt. Deze bepalingen zullen natuurlijk niet geheel overeenstemmen met de bepalingen bij dag : de gemeten grootheid is eigenlijk een andere.

Tallose waarnemers hebben zichtwaarnemingen uitgevoerd, en hun resultaten statistisch verwerkt. De hoofdfaktor die het zicht bepaalt is wel de hoeveelheid stof die de wind meevoert.

Voor het zicht op kleine afstanden (< 1 km) is van belang, dat om de stofkernen waterdamp neerslaat en de aldus gevormde druppeltjes het licht verstrooien ; daardoor is het begrijpelijk, dat naast het stofgehalte ook de vochtigheidsgraad van de lucht een grote invloed zal hebben : hoe vochtiger de lucht, hoe minder zicht. Het stofgehalte van de lucht wordt in de eerste plaats bepaald door haar oorsprong : „polaire lucht”, uit noordelijke breedten afkomstig, is bijzonder arm aan stof en brengt ons daardoor het beste zicht. Voorbeelden : de smalle wiggen van hoge druk die men soms op de weerkaartjes tussen twee depressies ziet ; de NW-buien. Daarnaast is de invloed van fabrieken en steden van groot belang.

Aan onze kust brengt de zeewind zuivere lucht aan ; de landwind, lucht die over dicht bevolkte streken is gegaan. Het is dus begrijpelijk dat daar de Westenwind helderder zicht zal meebrengen dan de Oostwind ; die vergelijking moet echter wel *bij gelijke vochtigheidsgraad* gebeuren, dus bv. bij ongeveer gelijke verschillen tussen droge en natte thermometer.

— In een plaatsje in Schotland was het zicht wel 6 tot 9 maal zo groot als de wind van uit de bergen blies dan als hij over een sterk bevolkte streek was gegaan. De invloed van de vochtigheid blijkt daaruit, dat het zicht ongeveer 4 maal zo groot was bij een psychrometerverschil van 8° dan van 2° . Zeer aanschouwelijk wordt de voorstelling, als men op de kaart lijnen uitzet in de richting van waar de wind komt en hun lengten geeft die evenredig met de zichtafstand zijn ; dit doet men voor enige verschil-

lende waarden van de vochtigheidsgraad, en vindt aldus een schaar krommen, die de gemiddelde doorzichtigheid der lucht van verschillende oorsprong aangeven. — Bij stakingen is het zicht ineens veel beter!

Blijft een luchtmassa lange tijd onbewegelijk, dan bezinken de stofjes uit de hogere lagen: bij stationaire gebieden van hoge druk wordt het zicht toenemend slechter. Opstijgende luchtstromen, zoals die bij wind en zonnig weer ontstaan, voeren de stofjes in de hoogte en verbeteren het zicht. Regen en sneeuwbuien slepen de stofjes mee en wassen de lucht weer op een andere wijze schoon. — Vandaar dat het zicht beter is bij krachtige wind; beter in de zomer (Maart—Oktober) dan in de winter; beter 's namiddags dan 's morgens. Na een lange periode van regen of sneeuw is bijna al het stof uit de lucht verwijderd en het zicht uitstekend.

Bestudeer ook het zicht bij waarneming door een rood glas, vooral als blauwige heiligheid de verten overdekt. Is het waar dat u aldus bijzonderheden kunt ontdekken die u in wit licht niet zaagt? ¹⁾ Vgl. § 181.

Het is merkwaardig, hoeveel minder ver men ziet in een wolk of in een mistbank, dan in de regenbui waarin ze zich oplossen. En inderdaad, noem V het watervolume in de eenheid van luchtvolume en verdeel V in druppels met middellijn d , dus met een volume van ongeveer d^3 . Er komen $\frac{V}{d^3}$ druppels; iedere druppel schermt een oppervlak van ongeveer d^2 af, tezamen $\frac{Vd^2}{d^3} = \frac{V}{d}$. Hoe kleiner dus de druppels, hoe geringer de doorzichtigheid. ²⁾ Bij zware mist is V van de orde 10^{-6} , en bij stortregen merkwaardigerwijze ongeveer even groot; de druppeltjes mist hebben echter een middellijn van de orde 0,001 cm, de regendruppels 0,05 cm! Beschouw nu een zuil met doorsnee 1 cm² en lengte l ; de druppels in die zuil zullen ongeveer de helft van het licht tegenhouden, indien $\frac{Vl}{d} = 0,5$. Voor mist wordt dus $l = 5$ m; voor regen 250 m. Dit is de goede orde van grootte ³⁾; de gewel-

1) Löhle, Met. Zs. 55, 54, 1938.

2) Dit gaat echter niet meer door, als d kleiner wordt dan de golflengte van 't licht; dit buigt dan om de druppeltjes heen.

3) Men kan gemakkelijk de redenering nauwkeuriger maken; vgl. § 59. Bij een regenbui zijn er ook druppels van zeer verschillende grootte, maar wij nemen een gemiddelde waarde.

dige invloed der fijne of grove verdeling is uit dit voorbeeld duidelijk te zien. Er zijn echter gevallen waarin het zicht gedurende een stortregen aanmerkelijk kleiner wordt: nl. als de druppels bij het treffen van de grond in fijne verdeling opspatten, en we op geringe hoogte boven de grond kijken. Wat weer klopt met onze redeneringen.

193. Het „watertrekken” der zon.

*En zo gingen die twee in de richting der zinkende zonne,
Die zich diep achter wolken verborg en dreigde met onweer;
Dringend nu hier, dan daar, door de sluier, met gloeiende blikken,
Wierp zij over het landschap haar onheilspellende bundels.*

Goethe, Hermann und Dorothea, VIII, 1.

In de frisse herfstmorgen straalt de zon en dringt overal door de openingen van het gebladerte der bomen. Van op afstand zien we hoe de stralenbundels zich mooi evenwijdig in de nevelige lucht aftekenen. Maar komen we dichterbij, dan is het alsof diezelfde lichtbundels niet meer evenwijdig waren, en nu schijnen zij van één enkel punt uit te stralen: van de zon.

Een dergelijk verschijnsel kennen we nu ook op grote schaal. Als de zon verborgen is achter zware, losse wolken en de lucht vervuld is van fijne nevel, ziet men dikwijls groepen lichtbundels van de zon uitschieten, hier en daar door de openingen tussen de wolken dringen en hun weg aftekenen in de nevel, dank zij de verstrooiing door de neveldruppeltjes. Al deze stralen zijn in werkelijkheid *evenwijdig* (hun verlengingen gaan wel door de zon, maar die is zover weg dat ik wel van „evenwijdig” spreken mag). Door het perspectief echter lijken ze ons van één punt uit te gaan, hun „vluchtpunt” is de zon; net zoals bij de spoorrails die in de verte naar elkaar toe schijnen te lopen (Plaat XIIIa). Merk op dat de bundels pas bij de schaduwwerpende wolken beginnen; tussen de zon en de wolken is er slechts een algemene gloed van licht.

Naarmate de wolken verschuiven, ziet men sommige lichtbundels sterker of zwakker worden, zich verplaatsen, enz. Soms is het wijde landschap overal met zulke bundels gevuld; andere malen is het één enkele wolk die de zon verbergt en een schaduw werpt.

Ook de maan kan dergelijke lichtbundels doen ontstaan; ¹⁾ maar bij die geringe lichtsterkte zijn de bundels alleen zichtbaar

1) Met. Zs. 7, 1890.

wanneer de dampkring sterk verstroot. Dit zeer zeldzame verschijnsel maakt een onheilspellende, sombere indruk.

Waarom spreekt het volk in Duitsland van „watertrekken”? Stelt men zich voor, dat het water langs die bundels als langs kanalen naar de zon gezogen wordt? In Nederland zegt men wel: „de zon staat op poten”, wanneer ze vrij hoog staat en de lichtbundels nogal steil naar beneden lopen. De Engelschen hebben de uitdrukking: „Jacobs ladder” of „Engelenladders”.

Waarom ziet men de stralenbundels slechts op tamelijk kleine afstanden van de zon en zelden tot 90° afstand b.v.? — (vgl. §§ 182, 187, 188).

194. De schemeringskleuren.¹⁾

*Toen 't eerste gele uchtend-rood
blonk boven wei en water.*

J. Reddingius, Johanneskind.

De gewone man wil een zonsondergang gestoffeerd zien met purperen en gouden wolken, inwendig gloeiend met een diepe, warme kleur; hij wil er met kinderlijke voldoening een leeuw of een kameel in raden, een vlammend paleis en een fantastische vuurzee. De natuurkundige daarentegen tracht zijn waarnemingen te beginnen met het eenvoudigste geval: hij verkiest een geheel onbewolkte, heldere lucht. Hij onderzoekt fijne kleurschakeringen, onvatbaar tere tinten, overgangen tussen het blauw van de dag en de diepe donkerte van de nacht, die slechts met enige oefening zichtbaar worden, maar die altijd ongeveer in dezelfde opeenvolging terugkeren en waarvan de ontwikkeling een groots natuurdrama vormt: het drama van de scheidende zon.

Waarom maken deze lichtverschijnselen zulk een indruk van oneindige avondvrede? Vergelijk ze met de regenboog, die opwekt en vreugde brengt. Hun stemming hangt blijkbaar samen met de zeer brede, in elkaar vloeiende kleurenbogen, met hun bijna horizontale gelaagdheid. Overal, in de bouworde van het landschap, brengt de horizontale lijn rust en bevrediging.

De aandachtige waarneming der schemeringskleuren kan ons inlichten omtrent de toestand van de hoogste dampkringslagen, ver boven de gebieden waar zich de wolken vormen; lagen,

1) Uitgebreide litteratuur, o.a. samengevat in Pernter—Exner en in: P. Gruner en H. Kleinert, die Dämmerungserscheinungen (Hamburg, Grand, 1917). — Een zeer persoonlijk, prachtig boekje is: A. Heim, Luftfarben (Zürich, Hofer, 1912). — Een klassieke beschrijving van de schemering in onze gewesten bij von Bezold, Ann. d. Phys. 123, 240, 1864. — Zie nog: P. Gruner, Met. Zs. 34, 415, 1917.

waarvan we bijna niets anders te weten komen dan wat de lichtverstrooiing ons leert. — Oktober en November zijn de beste maanden om deze studie te beginnen. De duidelijkheid der verschijnselen verschilt van dag tot dag; stof, heiligheid en vooral de rook van onze steden ontnemen hun de kleurenpracht. Men kijke dus herhaaldelijk! Om de fijne schemeringskleuren goed te zien, moet het oog voldoende uitgerust zijn; kijkt men ook nog zo vluchtig naar de zon vóór haar ondergang, dan is men vooreerst te zeer verblind om het verdere verloop der schemering goed te kunnen waarnemen. Wie de oostelijke kant van de hemel wil bestuderen, mag niet teveel naar de zeer heldere westzijde kijken. Telkenmale dat men het oog laat uitrusten door even binnenshuis te gaan, of een blik in een boek te werpen, zal men bemerken dat de schemeringsverschijnselen veel kleurrijker geworden zijn en zich verder uitstrekken dan men eerst dacht. Mijn raad is dus: begin eerst zonder teveel voorzorgen het algemene verloop der schemering na te gaan, en onderzoek daarna de bijzondere schoonheid van elk deel van de hemel.

Vergelijk dikwijls verschillende delen van de hemel met elkander, met behulp van een spiegeltje, dat u op armafstand voor u houdt: op het deel van de hemel, naar hetwelk u kijkt, projetteert u aldus een stukje uit een geheel andere richting.

Misschien zal het u moeilijk schijnen, iets van een *vorm* te zien in kleurverschijnselen die geheel en al vloeiend in elkaar overgaan. Het geheim is zeer eenvoudig: trek in gedachte aan de hemel *lijnen van gelijke helderheid of van gelijke tint*; die zijn het waarover in de beschrijvingen telkens gesproken wordt. Zo komt men er bijvoorbeeld toe, te zeggen dat de schemeringsverschijnselen zich in 't algemeen als gekleurde bogen ontwikkelen.

.... rijst in het Oosten het daglicht omhoog,
paalloos wassende zegeboog.

C. Verschaeve, *Zeesymphonieën*, I, 1.

Hier volgt nu de beschrijving van een typische zonsondergang in onze gewesten bij heldere hemel (fig. 159). Als de zonshoogte negatief opgegeven is, bedoelen we hoe diep de zon beneden de gezichteinder staat.

Zonshoogte 5°; een half uur vóór zonsondergang.

De hemel krijgt nabij de gezichteinder een warmgele of geelrode rand, geheel anders van kleur dan het gewone witachtige blauw dat wij daar in de dag zien. Boven de zon worden *de horizontale strepen* zwak zichtbaar, als een langwerpige, geelach-

tige kleurenband (door „strepen” wordt alleen bedoeld, dat de lijnen van gelijke tint horizontaal lopen; niet, dat er scherpe grenzen zouden zijn). Daarboven, concentrisch om de zon, een grote, zeer heldere witachtige lichtvlek: *de heldere lichtschijn*, dikwijls omzoomd door een zwak aangeduide *bruine ring*.

Als er witte wolken bij de oostelijke horizon zijn, kleuren ze zich in zachtrode gloed; daarboven vertoont de hemel *de bovenste tegenschemering*: een gekleurde zoom van 6° — 12° hoog, met de overgang naar oranje, geel, groen, blauw.

Zonshoogte 0° ; *zonsondergang*. Nu beginnen de schemeringsverschijnselen eigenlijk pas!

In 't Westen. — Langs de gezichteinder ligt de kleurenbank der horizontale strepen, van beneden naar boven witgeel, geel, groen gekleurd. Daarboven praalt de heldere lichtschijn, transparant wit, omzoomd door de bruine ring; hij bereikt een hoogte van wel 50° .

In 't Oosten. — Bijna tegelijk met de zonsondergang begint zich *de aardschaduw* te verheffen; het is een zeer opvallend, blauwgrauw „segment”, dat geleidelijk over de purperen laag schuift en meestal slechts tot een hoogte van een zestal graden boven de gezichteinder te volgen is. Soms zou men al lang vóór zonsondergang menen, dat men iets van die aardschaduw ziet, maar dat is eenvoudig een laag stof of neveligheid. Boven die aardschaduw, de kleurenzoom van de tegenschemering in volle pracht. Hoger: *de heldere weerschijn* van het westelijke licht, een uitgestrekte, diffuse verlichting.

Zonshoogte — 1° tot -2° ; 10 minuten na zonsondergang.

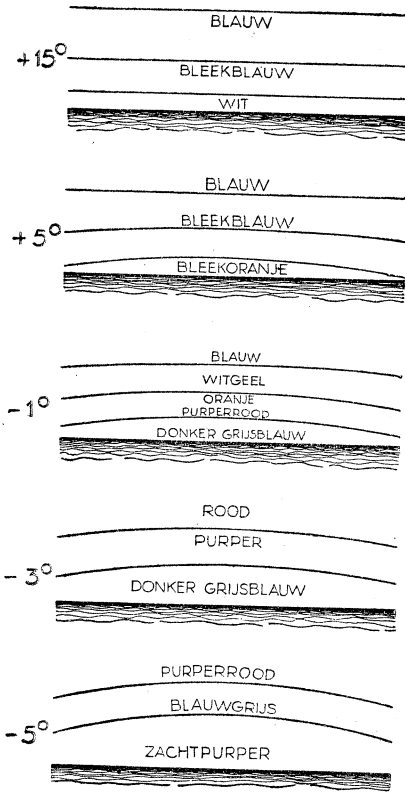
In 't Westen. — De horizontale strepen worden (van beneden naar boven) bruin, oranje, geel. De heldere lichtschijn met zijn bruine ring bereikt nog 40° hoogte.

In 't Oosten. — De aardschaduw stijgt al hoger; in de aardschaduw hebben alle dingen een doffe, éénkleurige tint gekregen, min of meer groenblauw (subjektieve kontrastkleur! zie § 101). De tegenschemering ontwikkelt haar kleurenzoom, (van beneden naar boven) violet, karmijn, oranje, geel, groen, blauw. Daarboven de heldere weerschijn.

Zonshoogte — 2° tot -3° ; 15 tot 20 minuten na zonsondergang.

In 't Westen. — Nu ontstaat het belangwekkendste van alle schemeringsverschijnselen. Aan de top van de heldere lichtschijn, op ongeveer 25° boven de gezichteinder, vormt zich een rozerode vlek; ze wordt snel groter en groter, maar haar denkbeeldig middenpunt glijdt tevens naar beneden, zodat ze zich als een steeds vlakker wordend segment ontwikkelt. Dit *purperlicht*

OOSTEN



WESTEN

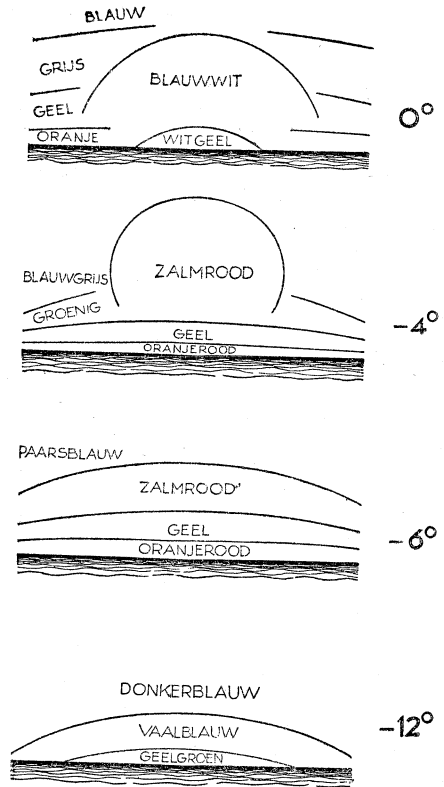


Fig. 159. De kleuren van de lucht bij zonsopgang en heldere hemel. De getallen geven aan hoe hoog de zon boven of beneden de kim staat.

straalt in wonderbaar zachte, doorschijnende tinten, meer rose en zalmkleurig dan eigenlijk „purper”. De horizontale strepen zijn fletser van kleur geworden.

In 't Oosten. — De aardschaduw al hoger. De bovenste tegenschemering bereikt haar sterkste ontwikkeling. Daarboven de heldere weerschijn.

Zonshoogte — 3° tot 4° ; 20 tot 30 minuten na zonsondergang.

In 't Westen. — De heldere lichtschijn is nog 5° — 10° hoog. Sterkere ontwikkeling van 't purperlicht: de grootste lichtsterkte op 15° — 20° boven de gezichteinder, de bovenste grens ongeveer op 40° hoogte.

Zonshoogte — 4° tot 5° ; 30 tot 35 minuten na zonsondergang.

In 't Westen. — Sterkste ontwikkeling van het purperlicht; gebouwen die naar 't W. gekeerd zijn, worden met purpergloed overgoten, de bruine aarde heeft een warme tint gekregen, ook de stammen der bomen (berken!). Te midden van de stad, in nauwe straten waar men de westelijke horizon niet ziet, kan men aan de algemene belichting der gebouwen duidelijk merken, dat het purperlicht aan 't stralen is. Vooral niet te lang naar de buiten gaan om waar te nemen.

In 't Oosten. — In de aardschaduw stijgt soms een bleke, vleesrood getinte zoom op: *de onderste tegenschemering*; hij ontstaat doordat nu het purperlicht in plaats van de zon zelf het Oosten belicht. Dit verschijnsel is in ons klimaat slechts zelden waarneembaar.

De sterren van de 1e grootte zijn zichtbaar geworden.

Zonshoogte — 5° tot 6° ; 35 tot 40 minuten na zonsondergang.

In 't Westen. — De heldere lichtschijn is verdwenen. Nu begint het purperlicht weg te zinken; blijkbaar vermengt het zich met de horizontale strepen, want deze worden helderder, oranjekleurig.

In 't Oosten. — De grens van de aardschaduw is helemaal vervaagd. Als er een onderste tegenschemering is, ziet men daaronder een tweede zwakke aardschaduw oprijzen op het ogenblik dat het purperlicht verdwijnt.

Zonshoogte — 6° tot 7° ; 45 tot 60 minuten na zonsondergang.

In 't Westen. — Het purperlicht verdwijnt, er blijft nog een blauwachtig witte lichtschijn, *de schemeringsschijn*, die 15° — 20° hoog reikt. De horizontale strepen kleuren zich oranje—geel—groenig. Door de verdwijning van het purperlicht krijgen we de indruk dat de belichting van het landschap snel afneemt; lezen wordt moeilijk, „de burgerlijke schemering” is ten einde.

Zonshoogte — 9°.

In 't Westen. — De schemeringsschijn bereikt nog 7° tot 10°.

In 't Oosten. — De onderste tegenschemering is verdwenen, er blijft alleen een laatste, zeer zwakke weerschijn.

Het donkerste punt van de hemel bevindt zich nu nabij het zenith, iets naar het Westen toe.

Zonshoogte — 12°.

In 't Westen. — De horizontale strepen zijn zeer verzwakt, vaal groenig. De groenblauwe schemeringsschijn nog 6° hoog.

Zonshoogte — 15°.

In 't Westen. — Schemeringsschijn nog 3° — 4° hoog.

Zonshoogte — 17°.

In 't Westen. — Schemeringsschijn verdwenen.

Sterren van de 5e grootte worden al zichtbaar. Dit ogenblik is vrij scherp te bepalen, het is veranderlijk volgens het jaargetijde en van dag tot dag. „De astronomische schemering” is ten einde.

Maar in het Oosten rijst reeds een azuren damp, een nevel van opalen strepen over de heuvelen er slieren feeësluiers daar reeds over de verkillende Arno . . . En het zijn het zacht gloeiende roze en het koele, blauwige opaal tegen elkaar . . . Het is het, aan den Westeinder zinkende, bloedrode vuur door het fluweel-zwart der cypressen.

Couperus, Uit Blanke Steden onder Blauwe Lucht, blz. 90 (Amsterdam, 1982).

(Vgl. zonshoogte — 1°).

Zoals de schapen van de heide, laat

Door 't groene avondlicht gaan

H. Gorter, Mei, blz. 23.

(Vgl. zonshoogte — 12°).

Opmerking over het purperlicht. —

De sterkte van het purperlicht is zeer veranderlijk van dag tot dag. De aanwezigheid van heel ijle, hoogzwevende wolken-sluiers kan het in hoge mate versterken; het ontwikkelt zich dikwijls opvallend mooi bij hoge luchtdruk, en wanneer na een lange reeks regendagen het weder voor 't eerst opgeklaard is. Gemiddeld is het in nazomer of herfst sterker dan in lente of zomer. Het purperlicht is weinig gepolariseerd, terwijl de omringende delen van de hemel het juist sterk zijn: de waarneming met de bundels van Haidinger is al voldoende om dit verschil zonder instrumenten aan te tonen (§ 186). Over asymmetrie in het purperlicht, zie § 197.

De ontwikkeling welke het in de loop van de schemering vertoont, is niet altijd die welke wij geschetst hebben. Het kan op een van de volgende wijzen ontstaan: 1)

1. uit de bruine ring die de heldere lichtschijs omzoomt;
2. uit de heldere lichtschijs zelf, die van geel in rose en purper overgaat;

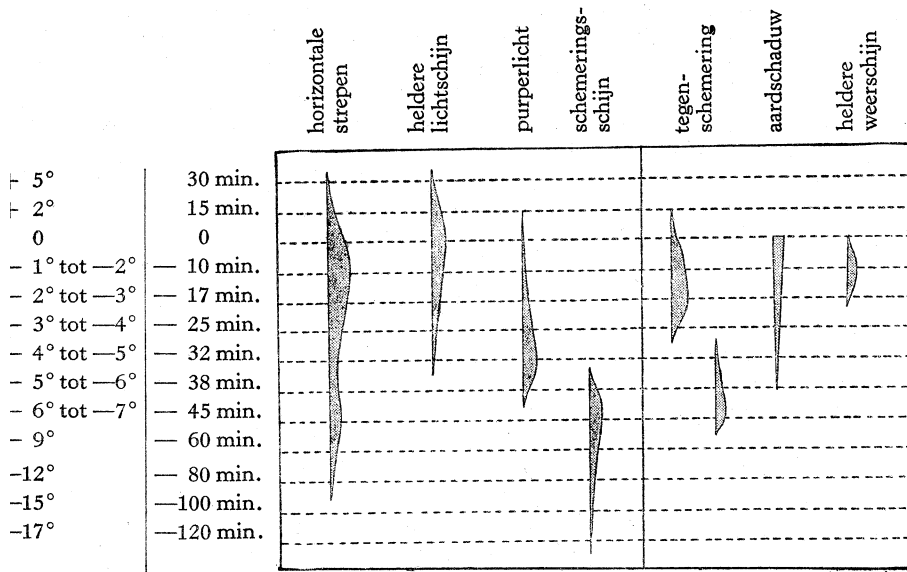


Fig. 160. Samenvattende tabel, de ontwikkeling der verschillende schemeringsverschijnselen voorstellend.

3. uit de tegenschemering, die stijgt, min of meer onzichtbaar over 't zenith heen gaat, het Westen bereikt en daar zichtbaar wordt;

4. uit fijne cirruswolkjes die door de reeds ondergegane zon verlicht worden;

5. uit een purperen vlek, die zich aan de bovenkant van de heldere lichtschijs vormt en uitbreidt. Dit laatste is het klassieke, niet zo heel veel voorkomende geval, dat we in de tekst beschreven hebben.

Ik zou iederen leerling, die zijn kleurensin ontwikkelt, willen vragen om elke morgen een kwartier vóór te behouden voor het waarnemen van de zonsopgang. Hij zal bevinden dat zijn gedachten gedurende de rest van de dag er rustiger en reiner van worden.

Ruskin, *The Ruskin Art Collection*, XXI, 106.

1) Gruner, Beitr. z. Phys. d. freien Atm. 8, 1, 1919.

Als het ook maar enigszins mogelijk is, mis dan **nooit** het schouwspel van zonsondergang en dageraad.

Ruskin, *The Laws of Fesole*, XV, 362.

195. Metingen aan schemeringsverschijnselen.

Gemakkelijk te meten is de hoogte van de aardschaduw (vgl. de methoden § 250). Zet die hoogte grafisch uit als funktie van de tijd: de aardschaduw stijgt eerst ongeveer even snel als de zon daalt; daarna 2, zelfs 3 maal zo snel.¹⁾ De hoogte boven de horizon waarop de aardschaduw verdwijnt geeft onmiddellijk een indruk van de reinheid van de lucht, het is een scherp reagens op de geringste troebelheid: hoe meer stofdeeltjes, hoe eerder de schaduw onzichtbaar wordt.

Moeilijker zijn de metingen aan de heldere lichtschijn en aan het purperlicht. Behalve dat het oog telkens uitrusten moet, dient men te bedenken dat alle donkere silhouetten tegen de achtergrond van de hemel kontrasteffecten zouden geven en dus te vermijden zijn; het is verrassend, hoe alleen al het uitsteken van een latje, van een potlood, invloed heeft op de plaats waar wij de grens van het purperlicht schatten. De beste methode is het vergelijken van de hoogte met bomen of torens in het landschap.

Het is de moeite waard hier aan te stippen, dat metingen van de helderheid van de hemel hebben aangetoond, dat het purperlicht volstrekt niet in *een toenemen van de helderheid* bestaat, maar in *een langzamer afnemen* voor een bepaald deel van de hemel dan voor de omringende delen. Zo komt er dan een maximum van de *relatieve* helderheid tot stand; en ons oog krijgt de indruk dat zich hier nieuwe straling ontwikkelt. Ook de gewijzigde kleur is toe te schrijven aan het langzamer afnemen in bepaalde golflengten dan in andere.

Na het wegzinken van het purperlicht is de beweging van de schemeringsschijn belangwekkend. De bovenste begrenzing ervan is eigenlijk het laatste stadium van de aardschaduw, die over het zenith heen is gegaan, en nu aan de Westzijde verschijnt. Ze daalt eerst zeer snel, dan langzamer en langzamer.

1) Over de theoretische verklaring van de snelheid waarmee de aardschaduw opstijgt zie men Pernter—Exner. Vooral *niet* raadplegen: H. Dember en M. Uibe, *Ann. d. Phys.* **62**, 517, 1920.

196. **Schemeringsstralen.**

*Als de dagbruid zich baadt, en voor 't schuchter gelaat
Een waaier van vlammen ontplook.*

Perk, Iris.

De roosvingerige dageraad.

Homerus.

De schemeringsverschijnselen krijgen een zeer bijzondere schoonheid, als er achter de westelijke horizon enkele wolken verborgen zitten, wier schaduwstrepen zich dan als een reuzenwaaier over de avondhemel uitstrekken. Zij stralen uit van het denkbeeldige punt onder de horizon waar zich de zon bevindt, geheel op de wijze van het „watertrekken” (§ 193); maar ditmaal is de hemel zeer helder, en nu zien wij hoe de donkere bundels zich vooral aftekenen op de plaats van het purperlicht, waartegenover zij door hun blauwgroene kleur bijzonder goed uitkomen, te meer, omdat het oog hier nog een subjektief kleurkontrast aan toevoegt. De schemeringsstralen tonen ons hoe de hemel er zou uitzien als de purperen verstrooiing ontbrak; nu bemerken we pas hoe ver zich het purperlicht eigenlijk uitstrekt! — Meer dan eens kan men de schemeringsstralen niet alleen aan de zijde der ondergaande zon waarnemen, maar ook *daartegenover aan de oostelijke hemel*, en wel op de purperen achtergrond van de tegenschemering, waar zij in het tegenpunt van de zon bijeenkomen. Als men schemeringsstralen ziet, verzuime men dus nooit, even naar de Oosthemel te kijken. Een nauwkeurige waarneming leert, dat de schemeringsstralen aan Oosten Westhemel precies twee aan twee met elkaar overeenkomen: het zijn blijkbaar *dezelfde* stralen, die eigenlijk over het gehele uitspansel dóórlopen, maar die nabij de uiteinden het best te zien zijn. Soms is het werkelijk mogelijk, de strepen over heel hun weg te volgen, als grote bogen die aan hun uiteinden convergeren. We kennen die lijnen wel en weten dat het evenwijdige lijnen zijn, die slechts door gezichtsbedrog gewelfd schijnen (§ 114). — Merk op dat de schemeringsstralen aan de zijde der tegenschemering niet verder doorlopen dan tot aan de aardschaduw, binnen dewelke zij begrijpelijkerwijze ontbreken.

Alleen daar waar verstrooiende deeltjes in de lucht zweven worden de schemeringsstralen zichtbaar. Bij het „watertrekken” van de zon tekenen zij zich af in de lichte nevel; bij het purperlicht, in de veel ijlere stofjes die dit schemeringsverschijnsel veroorzaken. In schemeringen zonder purperlicht ontbreken ook de schemeringsstralen en zij vertonen zich nooit tegen de groe-

nige delen van het uitspannel. Daarentegen kunnen ze nog lang zichtbaar blijven nadat het purperlicht reeds met de horizontale strepen versmolten schijnt: wel een bewijs dat eerstgenoemd lichtverschijnsel er nog altijd is, en nog een merkbare bijdrage tot het licht van de Westerhemel levert.

Dat de schemeringsstralen beter zichtbaar zijn in de buurt van hun convergentiepunten dan loodrecht daarop, is te begrijpen,

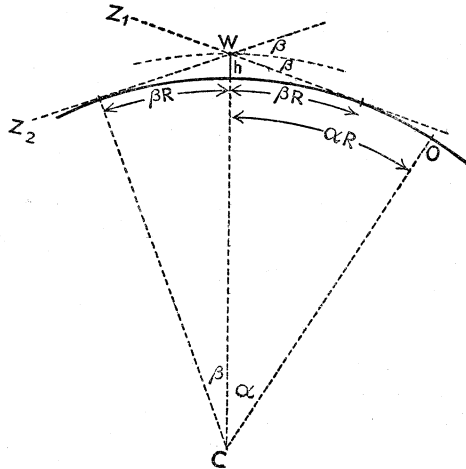


Fig. 161. Schatting van de afstand der wolken die schemeringsstralen veroorzaken.

omdat we in het eerste geval over een groter diepte door de lichte of door de donkere laag kijken, en dus een groter helderheidscontrast waarnemen (vgl. § 187).

We kunnen nog een schatting maken van de afstand waarop de schaduwwerpde wolk van ons verwijderd is.¹⁾ Als die wolk op de aarde rustte, zou de schemeringsstraal ontstaan op het ogenblik dat de zonnestrallen daar aan het aardoppervlak raken. Wanneer de schemeringsstraal dan zichtbaar is op het ogenblik dat de zon een hoek a onder de horizon staat, weten we dat de afstand van de wolk tot ons oog aR bedraagt (R = straal der Aarde). Bevond de wolk zich echter in W op een hoogte h , dan ziet men uit fig. 161 dat haar afstand tot de waarnemer O alle waarden hebben kan tussen $R(a - \beta)$ en $R(a + \beta)$, naarmate

1) Wetter, 9, 1892.

de zon in richtingen tussen Z_1 of Z_2 staat, waarbij $\cos \beta = \frac{R}{R+h}$

of bij benadering $\beta = \sqrt{\frac{2h}{R}}$.

Stel dus dat wij een schemeringsstraal waarnemen een half uur na zonsondergang, dus bij een zonnestand onder de horizon $\alpha = 4^\circ$. De soort wolken die dit verschijnsel veroorzaakt komt stellig niet hoger dan 5 km voor, dus is β op zijn hoogst $\sqrt{\frac{2 \times 5}{6400}} =$

$= \frac{1}{25}$ rad of $2^\circ,3$. Bijgevolg komen $\alpha - \beta$ en $\alpha + \beta$ overeen met $1^\circ,7 = 0,03$ en $6^\circ,3 = 0,11$; de afstand der wolk ligt dus tussen 190 en 700 km. Zo kan men begrijpen dat dergelijke schemeringsstralen soms verschijnen, wanneer de lucht voor ons geheel onbewolkt is.

197. De verklaring van de schemeringsverschijnselen (fig. 162).

Wij stellen ons de zonnestrallen vóór bij zeer lage zon; ze leggen een grote afstand af door de dampkring en kleuren zich

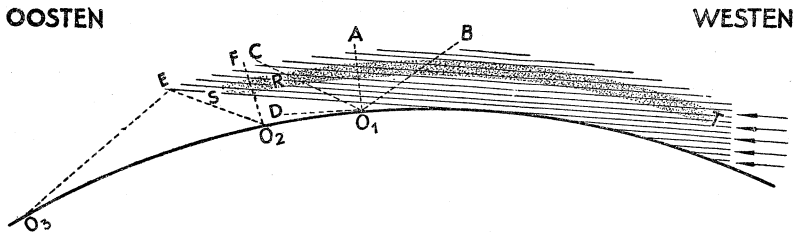


Fig. 162. De verklaring der schemeringskleuren.

roder en roder naarmate de violette, blauwe en groene stralen door de lucht molekulen wegverstrooid worden. Zo krijgt de ondergaande zon haar koperrode kleur; en als ze achter de gezichteinder verborgen is, verlichten haar stralen nog de luchtlagen boven ons hoofd. De onderste lagen zijn het dichtst en verstrooien het meest, de hogere lagen worden ijler en ijler en verstrooien minder en minder. Bevinden we ons in O_1 en kijken we naar boven, in de richting O_1A , dan is de laag weinig dik; daarenboven verstrooien de lucht molekulen niet veel licht onder 90° : bij het zenith zal het dus donker zijn. Daarentegen zien

we veel verstrooid licht in de richtingen O_1B en O_1C , omdat onze blik dan een lange weg door de belichte laag aflegt. Het licht dat van de richting B komt zal het sterkste zijn, omdat zich bij de luchtverstrooiing nog de stralen voegen, die onder kleine hoeken verstrooid zijn door de grotere stofjes en druppeltjes. Zo begrijpen we het ontstaan van de *horizontale strepen*, waarvan de richting overeenkomt met de gelaagdheid van de grotere deeltjes; anderzijds is ook de *tegenschemering* in de richting O_1C verklaard, die van blauw over groen en geel in rood overgaat naarmate wij de blik laten dalen, tot hij tenslotte door lagen gaat, zo dicht en zo uitgestrekt, dat ze alleen nog door de rode stralen verlicht worden. Nog lager, in de richting O_1D , zouden we geen licht zien, want daar strekt de *aardschaduw* zich uit, was het niet dat de voorwerpen die zich daar bevinden een zwakke diffuse verlichting van alle kanten van de hemel krijgen, waarbij alle tegenstellingen verdwijnen. — Enige tijd later bevinden we ons in O_2 , en verdwijnt voor ons de rode zoom der tegenschemering, als nl. de blik een grotere hoek maakt met de richting der zonne-stralen, en niet rakelings meer langs het scheidingsvlak van belichte en onbelichte lucht kan gaan: de lichtstraal uit E brengt niet genoeg licht meer aan, terwijl een steiler verlopende straal uit F evenveel blauw als geel of rood aanbrengt. De grens van het belichte deel van de dampkring wordt dus voortdurend minder scherp en minder gekleurd.

Nog later zijn de verlichte dampkringslagen zoveel steiler gaan hellen, dat we aan de westelijke kant van de hemel ook geen roodkleuring meer zien. We moeten ons nu den waarnemer in O_3 denken. De grens E van de verlichte dampkring, die eerst als grens van de aardschaduw was opgestegen aan de Oostkant, is hoger en hoger gekomen, is (onzichtbaar) het zenith gepasseerd, en verschijnt nu voor ons weer aan de Westzijde: want de blik die naar E gericht is vormt weer een kleinere hoek met het scheidingsvlak belicht-onbelicht; daarenboven gaat de verstrooiing aan grote deeltjes onder kleine hoeken weer een rol spelen; en tenslotte is het gehele landschap zoveel donkerder geworden, dat reeds een geringe lichtsterkte opvalt. Vandaar dat we nu weer E terugvinden als bovenste grens van de schemerings-schijn.

Tenslotte hebben we nog het purperlicht te verklaren. ¹⁾ Het is gebleken, dat dit alleen gaat, door aan te nemen dat er tussen 10 en 20 km hoogte een laag ST van zeer fijne stofdeeltjes vòdr-

1) P. Gruner, Helv. Phys. Acta, 5, 351, 1932. Beitr. z. Geoph. 51, 174, 1937.

komt. De bundel lichtstralen die deze laag verlicht, is afkomstig van de reeds onder de horizon gedaalde zon: hij is sterk rood gekleurd in zijn onderste delen, waar hij door de langste en dichtste luchtlagen gegaan is. Het gedeelte SR van de laag draagt dus het meeste bij tot het verschijnsel van het purperlicht. Het opmerkelijke is echter, dat de lichtverstrooiing van SR alleen gezien wordt door den waarnemer in O_3 , en niet door dien in O_1 (welke haar in het Oosten zou moeten zien). Dit is dus een bewijs dat de lichtverstrooiende stofjes aanzienlijk groter dan de luchtmolekulen zijn en voornamelijk het licht naar voren verstrooien (vgl. § 182). Telkenmale als we 's avonds het purperlicht zien ontstaan, moeten we ons voorstellen dat we nu in de verstrooiingskegel zijn gekomen.

Voor al in de winter kan men in het purperlicht een duidelijke asymmetrie ten opzichte van de vertikaal bespeuren: ¹⁾ de hogere gedeelten zijn naar het zuiden toe verschoven en de zuidelijke rand is scherper begrensd dan de noordelijke, zowel 's ochtends als 's avonds. Dit is dus een asymmetrie van dezelfde aard als wij bij het zodiakaallicht zullen leren kennen (§ 206). Sommigen besluiten daaruit, dat onze dampkring in het baanvlak van de Aarde hoger opstijgt, en dat die luchtgordel om de Aarde door door zijn lichtverstrooiing het purperlicht zou veroorzaken. Deze theorie is echter niet kwantitatief uitgewerkt.

198. Is er verschil tussen de ochtend- en de avond-schemering?

Zo weinig, dat men niet in staat is werkelijk typische kenmerken aan te geven. Van belang is, dat het oog 's ochtends goed uitgerust is en de lichtsterkte steeds ziet *toenemen*, zodat het gevoeliger is voor de schemeringsverschijnselen dan 's avonds. In 't algemeen zijn de verschijnselen 's avonds rijker aan kleuren, vooreerst doordat er dan wat meer waterdamp in de lucht is, en ook doordat de lucht dan wat meer turbulent is en meer stofdeeltjes bevat dan 's ochtends. — Sommigen beweren dat 's avonds de horizontale strepen vuriger en roder zijn, 's ochtends vooral de tegenschemering; de verschijnselen aan de Westzijde van de hemel zouden dus warmere kleuren vertonen dan aan de Oostzijde. ²⁾

1) Schmid, Met. Zs. 54, 10, 1937.

2) Zs. angew. Meteor. 54, 1937.

199. „Het donkerste uur komt even vóór de dageraad.”¹⁾

Denning, de beroemde waarnemer van vallende sterren, gelooft dat dit Engelse spreekwoord letterlijke waarheid bevat. Even vóór het kriecken van de dag schijnt het hem dat voorwerpen verdwijnen, welke tot hiertoe goed zichtbaar waren; een zenuwachtig gevoel komt over hem.

Inderdaad vindt men in de meetreeksen wel eens grillige schommelingen, maar die zijn te veranderlijk en te zwak om hun een werkelijke betekenis te kunnen toekennen. Ik vermoed, dat de eerste ochtendklaarte wellicht de goede aanpassing van het oog verstoort, en toch te zwak is en tot een te klein gedeelte van de hemel beperkt om het landschap merkbaar te kunnen verlichten. Ook is ondersteld, dat het licht van de nachthemel in de loop van de nacht geleidelijk zwakker wordt, als een fosforescentie-verschijnsel dat gaandeweg uitdooft.

200. **Morgen- en avondrood als weervoorspelling.**²⁾

Als het avond geworden is, zegt gij: Schoon weder, want de hemel is rood.

En des morgens: Heden onweder, want de hemel is droevig rood.

Gij geveinsden! het aanschijn des hemels weet gij wel te onderscheiden, en kunt gij de teekenen der tijden niet onderscheiden?

Matth. XVI: 2—3.

Een modern statistisch onderzoek heeft inderdaad aangetoond dat deze zo oude en zo verspreide voorspellingsregel in de meerderheid der gevallen uitkomt. De verklaring verschilt enigszins van geval tot geval. De horizontale strepen zijn slechts opvallend rood, wanneer de lucht stof bevat of waterdruppeltjes; 's morgens is er weinig stof en het ochtendrood moet dus aan water toegeschreven worden. Bij hoge druk en mooi weer is 's avonds de lucht zuiver en men ziet het purperlicht.

Als bij zonsondergang de westelijke hemel bleekgeel is, vaal, druilerig, geldt dit als aankondiging van regen en storm.

*Uw zon zinkt weenend in 't laag Westen neer,
En kondigt wee en storm aan en boos weer.*

Shakespeare, Richard II, Act II, Sc. 4.

1) M. W. R. 42, 503, 1914.

2) A. H. Borgesius, Hemel en Dampkring, 17, 145, 1920.

201. Storingen in 't normale verloop van de schemering.

De schemeringsverschijnselen zijn een uiterst fijn reagens op de zuiverheid van de hoge luchtlagen. De buitengewoon kleurrijke zonsop- en ondergangen in de jaren 1883—1886 waren een rechtstreeks gevolg van de aanwezigheid van fijnverdeelde vulkanische as, die bij de uitbarsting van de Krakatau in Nederlands-Indië hoog in de lucht geslingerd werd en zich in de loop van enige maanden om de hele aardbol verspreidde. Maar reeds vóór die tijd en ook daarna zijn er herhaaldelijk kleinere optische storingen geweest, die men meestal met vulkanische uitbarstingen in verband heeft kunnen brengen:

1831, Pantellaria bij Sicilië; — 1902 tot 1904, Mt. Pelée; — 1907 tot 1909, Sjadutka op Kamtsjatka; — 1912 tot 1914, Katmai in Aljaska. Telkens als er een flinke uitbarsting van de Vesuvius of de Etna gebeurd is, kan men abnormale schemeringsverschijnselen in onze streken verwachten, maar het duurt gewoonlijk ruim een week eer de fijnverdeelde as zich tot hier heeft uitgebreid.¹⁾

Het schijnt zeer waarschijnlijk, dat een sterke ontwikkeling van de vlekken en protuberansen op de zon insgelijks tot storingen in de schemeringsverschijnselen aanleiding geeft, waarschijnlijk omdat de elektronen, ionen en atomen die de zon dan uitzendt, tot de ionisatie in onze dampkring aanleiding kunnen geven. Dergelijke maxima zouden te verwachten zijn omstreeks 1949 en 1960.

Een derde storingsoorzaak is opgemerkt, toen de Aarde op 18/19 Mei 1910 door de staart van de komeet van Halley is gegaan: de prachtige schemeringsverschijnselen schenen er op te wijzen, dat stofdeeltjes van de staartster in onze dampkring waren overgegaan (§ 172). Even opvallend waren de verschijnselen, toen de Aarde in 1908 getroffen werd door een groot meteoroblok, dat in de verlaten vlakten van Noord-Siberië neerkwam en ontplofte.

De voornaamste optische verschijnselen waaraan men het optreden van een storingsperiode kan herkennen zijn de volgende.

1. De „ring van Bishop”: de zon staat heel de dag in het midden van een glanzende, blauwachtig witte schijf, die zelf door een roodbruine ring omzoomd is.²⁾ Het helderste deel van de ring heeft een straal van de orde van 15°. Bij zeer lage

1) A. N. 220, 15, 1923.

2) Dorno, Met. Zs. 34, 246, 1917.

zon vervormt hij zich tot een soort driehoek met horizontale basis. Dat deze ring zeer hoog in de dampkring ontstaat, blijkt uit het feit, dat men er cirruswolken onderdoor kan zien trekken.

2. Een dergelijke koperrode ring is soms ook om het tegenpunt der zon waar te nemen, zijn straal is ongeveer 25° .¹⁾

3. Het blauw van de hemel is troebel, witachtig; als de zon laag staat, is ze dofrood, want ze schijnt door een laag heigheid. De sterren van de 6e en zelfs van de 5e grootte zijn niet meer te zien.²⁾

4. Abnormaal weinig halo's.²⁾

5. Abnormaal heldere nachten.

6. Abnormaal sterk, vurig purperlicht.

7. Napurperlicht. Dit is een wijziging in 't verloop der schemering. Als het purperlicht weggezonden is, en de zon reeds $7-8^\circ$ onder de kim staat, verschijnt een zwakke, roodvioletle lichtschijs op dezelfde plaats waar het purperlicht ontstaan was, ontwikkelt zich op dergelijke wijze en zinkt weg wanneer de zon $10^\circ-11^\circ$ onder de gezichteinder staat.

8. Ultracirri (vgl. § 203).

9. Lichtende nachtwolken.

10. De maan ziet er groenachtig uit.³⁾

De sterkste dezer verschijnselen vallen ook den oningewijde op. Maar de fijne onderscheidingen, die maken dat geen twee zonsondergangen aan elkaar gelijk zijn en die een scherp herkenningsmiddel zijn voor de geringste optische storing, kunnen slechts na lange oefening waargenomen worden.⁴⁾

202. De lichtschijs om de zon.⁵⁾

Als we ons zo plaats en dat de rand van een dak de zon voor ons bedekt, dan zien we, dat er zich een lichtschijs aan alle kanten om de zon uitstrekt, geleidelijk zwakker wordend bij toenemende afstand. Hij is ook goed waar te nemen als u in een tuinbol kijkt, van een paar meter afstand, en met uw hoofd het zonnebeeld bedekt. Sommige waarnemers beweren dat hij uit twee onderdelen bestaat: a. een zilverwitte schijf, van ongeveer $2^\circ-5^\circ$ straal, nogal veranderlijk, vooral 's namiddags opkomend;

1) Hemel en Dampkring, 10, 156, 1913.

2) Nat. 91, 681, 1912.

3) Ann. Soc. Mét. France, 53, 1903.

4) Voorbeeld van uitvoerige bestudering ener reeks storingen met behulp der schemeringsverschijnselen: C. Dorno, Abh. preuss. Met. Institut. 5, 1917.

5) J. Maurer, Met. Zs. 32 en 33, 1915—1916. — Wetter, 33, 275, 1916. — A. N. 201 en 203, 1915—1916.

b. een veel groter lichtschijn, met een straal van wel 30° — 40° , bijna nooit ontbrekend en bij de schemering overgaand in „de heldere lichtschijn”. Anderen onderscheiden een geelachtig witte „aureool” van $\frac{1}{4}^{\circ}$ — 2° straal, een blauwachtig witte „krans” van 2° — 5° , een „middenste schijf” van 15° — 23° , een „inwendige schijf” van 10° — 40° een „uitwendige schijf” van 25° — 70° . De afmetingen zijn sterk afhankelijk van de zonshoogte en variëren van dag tot dag. Het schijnt bijvoorbeeld dat als de zon zeer laag staat, minder dan 2° boven de horizon, een soort aureool van vaalgele stralen om het hemellichaam optreedt. Komt ze nog lager dan 1° boven de kim, dan verdwijnt deze stralenkrans weer.¹⁾

Een exakte fotometrie van het licht om de zon is zelden uitgevoerd. Waarschijnlijk is hetgeen men als een „ring” ziet, eenvoudig een iets langzamer afneming van de lichtsterkte, die anders geleidelijk daalt bij toenemende afstand van de zon. Dit verstrooide licht ontstaat stellig door buiging van het zonlicht aan stofdeeltjes, waterdruppeltjes of ijskorreltjes, die alle voornamelijk onder kleine hoeken verstrooien (§ 182). Doordat ze allerlei grootten hebben, overdekken de verstrooiingsaureolen en kransen elkaar en is er nauwelijks sprake van kleuren. De veranderlijke helderheid en lichtverdeling in deze lichtschijn is een maatstaf voor de zuiverheid der lucht, zodat het zeer de moeite waard is die te blijven waarnemen. Zij verraden onmiddellijk het optreden van de optische storingen van de dampkring en staan in nauw verband met de schemeringsverschijnselen.

Wanneer er vulkanische as in de lucht zweeft, verschijnt een onduidelijke bruinrode ring als omtrek van de heldere lichtschijn: de ring van Bishop (§ 201).

203. Schemeringscirri of ultracirruswolken.²⁾

In sommige zeldzame omstandigheden komt het voor, dat de hemel vóór zonsondergang wolkenloos lijkt en dat hij enige tijd daarna zeer ijle wolkengolven vertoont, laag boven de Westerkim, blauwachtig grijs gekleurd. Zeer merkwaardig is, dat ze alleen zichtbaar zouden zijn omstreeks zonsondergang en daarna bij een stand van -3° en bij -7° ; want dit zou bewijzen, dat ze slechts bij bepaalde belichtingsrichtingen zichtbaar worden. Deze waarneming is echter nog te zelden gedaan om er algemene betekenis aan te hechten. Het verschijnen van ultracirruswolken

1) J. Plassmann, Met. Zs. 48, 421, 1931.

2) M. Wolf. Met. Zs. 33, 517, 1916.

gaat meestal gepaard met bijzonder kleurige zonsondergangen en optische storingen (§ 201), zodat men aanneemt dat ze uit vulkanisch stof bestaan. Ze zijn zo ijl, dat men ze bij dag niet ziet, maar verschijnen blijkbaar in de schemering, omdat ze dan sterk verlicht op een donkerder grond worden waargenomen. Aangezien ze bij een zonshoogte — 7° slechts tot 10° boven de kim te zien waren, moet hun hoogte niet veel meer dan 11 km hebben bedragen; ze zweven dus in de onderste stratosfeerlaag.

204. **Lichtende nachtwolken**¹⁾ (Plaat XIII).

Dit zijn zeer ijle wolken, veel hoger dan alle andere soorten, het mooist waargenomen gedurende algemene optische storingen, maar die ook wel in gewone tijd verschenen zijn; merkwaardigerwijze zijn ze alleen gezien binnen de gordels tussen 45° en 60° noorder- en zuiderbreedte en vooral van midden Mei tot midden Augustus (op onze breedte; kijk vooral omstreeks eind Juni!).

Zolang de zon nog niet onder is, schijnt de hemel volmaakt helder. Ongeveer een kwartier na zonsondergang beginnen fijne veren, ribbels of banden zich soms al te vertonen; maar het duidelijkst worden ze een uur of langer na zonsondergang: ze tekenen zich *helder* af tegen de achtergrond van de „schemeringsschijn” (§ 194), terwijl gewone cirruswolken *donker* zijn. Het is duidelijk dat ze nog in volle zonneschijn baden, en dus hoog in de stratosfeer zweven; echt „lichtgevend” zijn ze niet. Uren lang kan men nog hun blauwachtig wit licht waarnemen, maar naarmate het later wordt is het verlichte oppervlak van de laag kleiner en minder hoog boven de gezichteinder; omstreeks middernacht is het minimum bereikt, het schijnt dat ze na middernacht weer helderder worden dan ervóór. Hoger dan 10° boven de gezichteinder ziet men ze slechts zelden.

Zeer opvallend is hun geheimzinnige zilverwitte glans, die nabij de gezichteinder in goudgeel overgaat. Ze moeten blijkbaar uit zeer fijn stof bestaan dat in hoofdzaak blauw licht verstrooit (§ 176): want door een rood glas ziet men ze niet, door een blauw glas echter wel. Zo kan men begrijpen, dat ze zich niet met de rode gloed van de schemering kleuren; slechts stralen

1) O. Jesse, *Met. Zs.* 1884—1892. — E. H. Vestine, *J. R. A. S. Can.* **28**, 1934. — C. Störmer, *Univ. Observ. Oslo, Publication No. 6*, 1933. — *Astro-physica Norvegica*, **1**, 87, 1935. — R. Süring, *Naturwiss.* **23**, 555, 1935; ook in: *Die Wolken*, blz. 30 (Leipzig 1936), met literatuurlijst. — Overzicht door D. Koelbloed in *Hemel en Dampkring*, **33**, 175 en 241, 1935.

die op een zekere hoogte door onze dampkring gaan en niet rood gekleurd zijn, zullen door de nachtwolken verstrooid worden. Sommige onderzoekers beweren dat hun licht *niet gepolariseerd* is; andere spreken van *sterke polarisatie*¹⁾ (met de elektrische trilling loodrecht op het vlak zon-wolk-Aarde, dus zoals bij de blauwe lucht en bij allerlei soorten verstrooiing). Kan het zijn dat de lichtende nachtwolken soms uit grotere en soms uit kleine deeltjes bestaan?

De hoogte kunnen we bepalen uit de grens van het verlichte stuk, liefst bij verschillende standen van de zon onder de gezicht-einder waargenomen. Men vond dat de bovenste grens in een bepaald geval een hoek $\alpha = 10^\circ, 5^\circ, 3^\circ$ boven de kim bereikte, wanneer de zon op een diepte $\beta = 12^\circ, 13^\circ, 14^\circ$ onder de horizon stond.²⁾ De aldus gevonden hoogte moet dan nog wel wat vermeerderd worden, omdat de stralen die aan de Aarde raken niet verstrooid worden. — De nauwkeuriger methode bestaat in het fotograferen vanuit twee stations; ze levert als resultaat, dat de hoogten meestal 75—90 km bedragen. Is de hoogte bekend, dan kan men ook de ware grootte vinden van de ribbels die zich in deze nachtwolken aftekenen; de afstand van ribbel tot ribbel bedroeg gemiddeld 6 tot 9 km.

De lichtende nachtwolken krijgen een bijzondere betekenis door het feit dat zij alleen ons kunnen inlichten over de stromingen in de hoogste lagen van onze dampkring (afgezien van enkele schaarse meteorwaarnemingen). Als men niet over foto's beschikt, bepaalt men de snelheid met de wolkenpiegel; meestal komen ze uit NO met een snelheid van 40—80 m/sec, soms uit WNW met een snelheid van 30 m/sec; soms zijn snelheden tot 300 m/sec gemeten!

Men heeft vroeger meestal aangenomen, dat het geheimzinnig lichtverschijnsel der lichtende nachtwolken toe te schrijven is aan vulkanisch stof, hetwelk bij sterke uitbarstingen zeer hoog in de dampkring wordt geworpen. Tegenwoordig heeft men het echter zo dikwijls waargenomen dat men ook denkt aan zeer fijn stof, afkomstig uit de wereldruimte, dat op dezelfde wijze in onze dampkring gedrongen is als de vallende sterren en meteorieten en wellicht in verband kan staan met kometen, welke in de

1) Met. Zs. 25, 1908.

2) Met. Zs. 9, 413, 1892. Men bewijst gemakkelijk dat de hoogte der nachtwolken $= \frac{R}{4} \beta^2 \left(\frac{2\alpha + \beta}{\alpha + \beta} \right)^2$, wanneer R de straal der Aarde voorstelt, α en β in radialen uitgedrukt zijn.

nabijheid der Aarde kwamen en daar vrij grote hoeveelheden kosmisch stof hebben achtergelaten. De grote meteorsteen die in 1908 in Siberië viel, werd onmiddellijk gevolgd door zeer opvallende verschijningen van de lichtende nachtwolken. In andere gevallen blijft de vulkanische oorsprong waarschijnlijker. ¹⁾

Voor de fotografie: een lichtsterke camera is wenselijk; met een lens $f/3$ waren de belichtingstijden 16 sec, 35 sec, 72 sec, 122 sec, wanneer de zon resp. 9° , 12° , 14° , 15° onder de kim stond. ²⁾

205. De nachtschemering en de nachtelijke lichtverschijnselen.

Bij het donkere licht, dat van de sterren daalt, . . .

Corneille, le Cid.

Om de zwakste schemeringsverschijnselen te onderzoeken, moeten we 's nachts beginnen en met zeer goed uitgerust oog de aanvang der ochtendschemering waarnemen. We kiezen een nacht zonder maneschijn, bij volmaakt heldere lucht, in Mei of in Augustus—September, en zoeken een waarnemingsplaats die zo ver mogelijk van menselijke woningen verwijderd is. — Het kost enige moeite, de sleur van onze gewone dagindeling te overwinnen en omstreeks middernacht te beginnen met enige uren waarneming in de open lucht! Maar als de eerste weerstand overwonnen is, zullen we onvergelijkelijk genieten van het grootse schouwspel dat zich voor ons ontvouwt.

De stadsbewoner heeft eenvoudig geen denkbeeld van de pracht van de sterrenhemel. Het is verrassend, in hoe sterke mate onze ogen zich aan de duisternis aanpassen en hoeveel meer sterren we zien na een uur wachten, dan toen we voor 't eerst buiten kwamen: het is welhaast, alsof de hele hemel lichtgevend was! Er zijn een aantal heel zwakke lichtverschijnselen, die al naar de omstandigheden min of meer duidelijk waarneembaar kunnen zijn of ook geheel ontbreken. ³⁾

Vooreerst zien we waarschijnlijk in een paar verschillende richtingen een lichtschijs, laag boven de kim; het is de *weerschijs der lichten van verre steden en dorpen*. De ene dag is hij duidelijker dan de andere, naarmate de lucht bewolkt, heilig of geheel helder is. Wie gewoon is op een bepaalde plaats waar te nemen, leert daar vanzelf rekening mee houden.

1) Vgl. de discussie door R. Süring, *Die Wolken*, blz. 30—36 (Leipzig 1936).

2) *Met. Zs.* 9, 413, 1892.

3) Enkele dezer verschijnselen zullen nog uitvoeriger besproken worden bij de behandeling der elektrische verschijnselen van de dampkring in deel II.

Dwars over de hemel loopt *de Melkweg*, als een lint, bestaande uit grote en kleine lichtwolken met donkerder tussenruimten; sommige delen zijn verrassend helder voor degene die nooit een echte sterrennacht heeft waargenomen!

In bepaalde gevallen vertonen zich brede *heldere strepen*.¹⁾ Zij schijnen tweemaal 's jaars bijzonder veel voor te komen en wel in Augustus en in December, en zouden te wijten zijn aan stofjes uit de wereldruimte, die in onze dampkring dringen.

Noorderlicht-verschijnselen zijn in ons land wel enkele malen per jaar waar te nemen, althans in jaren met veel zonnevlekken (omstreeks 1938, 1949). Ze verschijnen aan de Noordzijde van de hemel als bogen, stralenbundels enz.; deze laatste bewegen dikwijls vrij snel en worden nu eens langer, dan korter. Niet verwarren met zoeklichten! — Zie verder II § 223.

Het *zodiakaallicht* geeft aan de hemel een grotere helderheid langs de gehele dierenriem („zodiak”), opvallend sterk dicht bij de zon, snel afnemend naar het tegenpunt van de zon toe. Men ziet het als een schuine lichtpyramide, die van de kim opstijgt, in de lente na zonsondergang in het Westen, in de herfst vóór zonsopgang in het Oosten (vgl. verder § 206).

Waar al deze verschijnselen ontbreken, heeft *de achtergrond van de hemel* nog een duidelijke helderheid. Uw opgeheven hand, de silhouetten der bomen en gebouwen tekenen er zich donker tegen af. Die helderheid is voor 50 % te wijten aan de som der miljoenen onzichtbaar zwakke sterren, voor 5 % aan de verstrooiing van hun licht door de dampkring der Aarde, en voor het overige aan *aardlicht*. De achtergrond van de hemel wordt helderder als onze blik de gezichteinder nadert: daar vormt het aardlicht een zoom om de hele horizon, het duidelijkst op een hoogte van ongeveer 15°. Dit verschijnsel is een soort bestendig, zwak noorderlicht in onze dampkring. Hoe schuiner we onze blik richten, over een des te langer afstand kijken we door de lichtgevende laag en des te helderder wordt dus de lichtschijn; dat hij dichter bij de kim weer zwakker wordt, is aan de uitdoving door de lucht te wijten.

De helderheid van de nachthemel is lang niet altijd even groot; in sommige nachten bereikt ze tot 4 maal de normale waarde, terwijl er toch geen maan is: men kan zijn horloge aflezen en grote letters onderscheiden. Deze veranderlijkheid is toe te schrijven aan helderheidsvariaties van het aardlicht en die zijn op hun beurt te verklaren door de veranderlijke sterkte der

1) C. Hoffmeister, *Die Sterne*, 11, 257, 1931. — *Sitzungsber. Akad. München*, 129, 1934.

elektronen- en ionenstromen, waarmee de zon onze dampkring beschiet.

Tenslotte komen we tot het waarnemen der *nachtelijke schemeringsverschijnselen*.¹⁾ Onderzoek de zoom van aardlicht aan de Noordzijde van de hemel. Daar verheft hij zich een tiental graden hoger in een vlakke welving, die zich ongeveer blijkt te bevinden boven de plaats waar de onzichtbare zon onder de gezichteinder zit. Het is de *nachtschemeringsschijn*. Men herkent hem daaraan, dat hij mee met de zon naar het Oosten gaat naarmate het later wordt. Zijn hoogte boven de zon is van de orde van 40° ; in de beste omstandigheden (Groenland) kan men hem tot 55° boven de zon waarnemen. Het is dus duidelijk dat we op onze breedten 's zomers nooit de nacht volledig donker zien; de schemering duurt eigenlijk de gehele nacht door. 's Winters pas is onze hemel volledig donker. Zo kan men ook begrijpen dat de achtergrond van de tropische sterrenhemel zo diep donker is, daar de zon in die gewesten zo steil daalt en zo laag onder de horizon komt. — In sommige gevallen is de nachtschemeringsschijn abnormaal sterk.²⁾

Twee-en-half of drie uur vóór zonsopgang wordt de schemeringsschijn asymmetrisch; hij verheft zich aan de Oostzijde en valt daar steiler af; weldra vervormt hij zich tot een schuin opstijgende lichtkegel, het *zodiakaallicht*, waarvan de as ongeveer de helling der ekliptika heeft (§ 206).

Omstreeks 2 uur vóór zonsopgang, als de zon nog 20° onder de gezichteinder is, verschijnt aan de basis van het zodiakaallicht, iets rechts van de zon, een zeer flauwe blauwachtige lichtschijs, met moeite waarneembaar, langzaam opstijgend en zich daarbij naar links uitbreidend, dus naar de zon toe (fig. 163): het is de *vóórschemeringsschijn*, die in de loop van een half uur het zenith bereikt. — De schemeringsbogen liggen gewoonlijk vertikaal boven de zon. Als de vóórschemeringsschijn naar rechts verplaatst lijkt, dan is het omdat zijn helderheid zich bij die van het rechts gelegen zodiakaallicht voegt; naarmate hij echter sterker wordt, wint hij het en neemt zijn normale plaats boven de zon in. Verder blijft hij de zon begeleiden in haar dagelijkse beweging en verschuift dus langzaam meer en meer naar rechts.

De zwakste sterren (5e grootte) zijn nu verbleekt, maar de sterkste zijn nog zichtbaar; men kan reeds de grote lijnen van het landschap raden. Aan de Westelijke hemel is de tegensche-

1) Gruner en Kleinert, die Dämmerungserscheinungen, blz. 6 (Hamburg, 1917).

2) M. Wolf, A. N. 203, 387, 1915.

mering zeer intensief geworden. Nu treedt de gele *schemerings-schijn* op, aan zijn bovenkant wegstervend in groenblauwe tint: de eigenlijke schemering is begonnen, de zon staat bij -17° tot -16° (zie verder § 194).

In andere delen van het jaar verlopen de verschijnselen nog

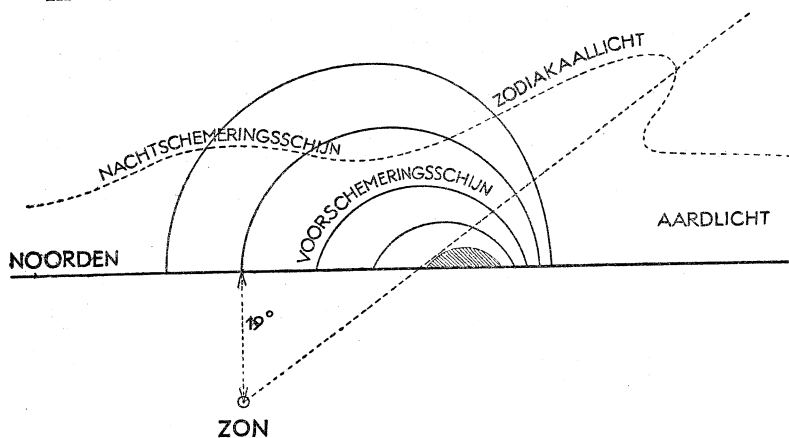


Fig. 163. De nachtschemering.

(Naar Gruner en Kleinert, t. a. pl., gewijzigd)

wel op dezelfde manier, maar de zonshoogte is dan anders: midden Juni bijvoorbeeld komt de zon maar 15° onder de horizon, zodat dan allerlei verschijnselen onzichtbaar zijn, die zich pas bij diepere zonnestanden afspelen.

206. Het Zodiakaallicht.¹⁾

Als de avondschemering afgelopen is, of 's ochtends vóór het begin der schemering, zien we in bepaalde delen van het jaar het zachtstralende zodiakaallicht als een soort afgeronde lichtpyramide schuin opstijgen. Hoe steiler het oprijst, des te beter kunnen wij het waarnemen; de gunstigste tijden zijn: in Januari, Februari, Maart, 's avonds aan de Westhemel; in Oktober, November, December, 's ochtends aan de Oosthemel (iets minder gunstig dan aan de avondhemel).

In Juni en Juli is er in ons klimaat niets van te zien, omdat

1) Fr. Schmid: Das Zodiakallicht (Hamburg 1928); uitstekende verzameling waarnemingen, maar verdedigt op eenzijdige wijze de aardse oorsprong van het zodiakaallicht. — W. Brunner, Publ. Sternw. Zürich, 1935.

de zon dan niet diep genoeg onder de gezichteinder komt; het is dan niet te onderscheiden van de laatste schemeringsverschijnselen.

Om de plaats van het zodiakaallicht te vinden, moeten we beginnen met aan de hemel de „dierenriem” of „zodiak” te zoeken: d.i. de grote cirkel die loopt door de sterrenbeelden: *Ram, Stier, Tweelingen, Kreeft, Leeuw, Maagd, Weegschaal, Schorpioen, Schutter, Steenbok, Waterman, Vissen.*

Dit is de weg die wij de zon „zien” afleggen in de loop van het jaar. Het sterrenbeeld waar ze net zit, kunnen we natuurlijk op dit ogenblik niet zien; maar zodra de zon onder is en de duisternis invalt, wordt het overige deel van de dierenriem zichtbaar. Langs die lijn hangt er een soort lichtgevende nevel, het breedst en het helderst in de nabijheid van de zon, smaller uitlopend naar beide kanten: aan de éne zijde van de zon is het gedeelte van het zodiakaallicht dat wij 's ochtends zien, aan de andere zijde dat wat we 's avonds waarnemen. In de winter kan een goed waarnemer wel 6 maanden lang het zodiakaallicht zowel 's avonds als 's ochtends zien.

Het licht zelf is zwak, van dezelfde orde als de Melkweg, maar niet zo „korrelig” en meer melkachtig. Men moet het „leren zien”. Natuurlijk mag er geen maneschijn zijn; maar ook elke lantaarn, zelfs in de verte, is hoogst hinderlijk, lichtsterke planeten zoals Venus en Jupiter hinderen. De nabijheid van grote steden moet in elk geval vermeden worden; liefst neemt men waar van op een hoogte, met vrij uitzicht in alle richtingen.

Men begint met de omtrek op een sterrekaart te tekenen, ten opzichte van goed kenbare sterren; ¹⁾ daarna tracht men lijnen van gelijke helderheid te schetsen. Het middengedeelte is het helderst, de helderheid valt geleidelijk af naar de top en naar de randen, maar steiler aan de Zuidelijke dan aan de Noordelijke zijde: de grootste helderheid is dus naar het Zuiden verschoven ten opzichte van de symmetrieas der zwakkere delen. Met behulp van dergelijke schetstekeningen kan men schatten, dat de breedte van het lichtverschijnsel, dwars op de as gemeten, ongeveer 40°, 20° en 10° bedraagt op afstanden van 30°, 90°, 150° van de Zon.

Het is de moeite waard, eens een hele nacht te wijden aan de waarneming van het zodiakaallicht, om het wisselende tafereel in zijn schone verscheidenheid te bewonderen. — Ongeveer twee

1) Speciaal daarvoor geschikte kaartjes zijn uitgegeven in Publ. Kwasan Obs. 1, No. 3, 1931.

uur na zonsondergang, bij een zonnestand -17° , wordt in het Westen een zeer zwakke, wigvormige lichtkegel zichtbaar, schuin naar het Z.W. opstijgend. Bij een zonnestand -20° is het zoveel donkerder geworden, dat men nu een geweldig grote lichtpyramide waarneemt. In de loop van de nacht richt dit West-zodiakaallicht zich meer en meer op en breidt zich uit; in hoofdzaak blijft het steeds in dezelfde stand ten opzichte van de sterren. Een kleine verschuiving is nog net merkbaar: sterren die net iets ten Zuiden stonden, komen later meer ten Noorden van het zodiakaallicht te staan. Dit merkwaardige verschijnsel is het best waar te nemen in de eerste helft van de winter. — Langzamerhand begint het West-zodiakaallicht onder te gaan, en het Oost-zodiakaallicht verschijnt in het Oosten. Het is nu tegen middernacht, het ogenblik waarop men zoeken moet naar de beroemde „*Gegenschein*”, een van de moeilijkst waar te nemen verschijnselen, die men alleen in zeer heldere winternachten met diepdonkere hemel kan hopen te zien: in het tegenpunt van de zon, dus ongeveer in het Zuiden, bemerkt men dan een uiterst flauwe lichtbrug, die de toppen van het Oost- en Westzodiakaallicht verbindt. — In de verdere loop van de nacht ziet men nu ook het Oost-zodiakaallicht met de sterren mee bewegen, tevens echter ook een weinig verschuiven: de sterren schijnen zich van de Noord- naar de Zuidkant van de lichtpyramide te verplaatsen. Het is dus weer zo, dat het zodiakaallicht deelneemt aan de dagelijkse wenteling van de hemel, maar een ietsje schijnt achter te blijven t.o.v. de sterren. — De ochtend nadert; bij een zonnestand -20° of -19° is het, alsof de basis van de pyramide van het Oost-zodiakaallicht breder en helderder werd. Bij -19° tot -17° duikt de vóórschemeringsschijn op.

Het zodiakaallicht is een veel samengesteld verschijnsel dan men oorspronkelijk heeft gedacht. In hoofdzaak ontstaat het door de samenwerking van twee oorzaken.

a. Een ontzaglijke schijf of ring van kosmisch stof, die de zon omgeeft en die haar licht verstrooit; wij zien deze stofwolk door de zon verlicht en langzaam in helderheid toenemend naarmate onze gezichtsrichting meer tot de zon nadert.

b. De nachtschemering (§ 205), die te beschouwen is als het heel zwakke licht dat de hoogste dampkringslagen nog verstrooien en dat dus het laatste stadium der schemering uitmaakt; het is mogelijk dat hier nog een eigen lichtuitzending bijkomt, wanneer deze door de zonneschijn sterk geioniseerde dampkringslagen in de schaduw der Aarde komen te liggen en de ionen gelegenheid krijgen zich weer met elkaar te verbinden. De helderheid van dit

licht neemt insgelijks dichter bij de zon toe, maar deze toename is veel sneller dan die van het kosmische bestanddeel (*a*); zijn lijnen van constante helderheid zijn boogvormig over de zon gewelfd, zoals voor alle echte schemeringsverschijnselen het geval is; ze storen zich niet aan de dierenriem (fig. 163). De samenwerking nu van de lichtverschijnselen *a* en *b* vormt de typische lichtpyramide van het zodiakaallicht; en door de wisselende stand van horizon en dierenriem kan men begrijpen, waarom dit lichtverschijnsel in de loop van de nacht en van het jaar bepaalde kleine verschuivingen ondergaat, die ook afhangen

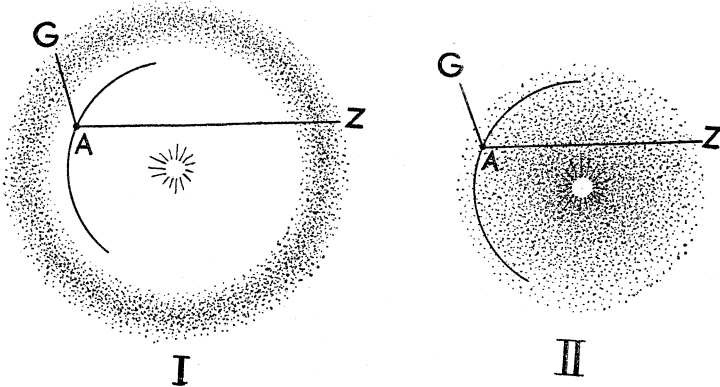


Fig. 164. Twee theorieën voor het ontstaan van het zodiakaallicht.

- I. Ring van kosmisch stof buiten de aardbaan.
- II. Schijf van kosmisch stof om de zon.

van de aardrijkskundige ligging der waarnemingsplaats. Daarbij komt dan nog de lichtschijs, die men als „aardlicht” bestempelt en die zijn grootste lichtsterkte op ongeveer 15° boven de gezicht-einder vertoont. En tenslotte de lichtverzwakking door de dampkring der Aarde, waardoor de lichtschijs dichter bij de kim in toenemende mate verzwakt wordt.

Als de wolk van kosmisch stof, die het zodiakaallicht vormt, zich in de vorm van een ring buiten de aardbaan moest bevinden, zouden wij aan de ene zijde de Gegenschein even helder moeten zien als aan de andere zijde het zodiakaallicht (fig. 164). Dat dit volstrekt niet uitkomt, bewijst afdoende dat de stofwolk zich hoofdzakelijk *binnen* de aardbaan bevindt: het zodiakaallicht is het onder kleine hoeken verstrooide licht; de Gegenschein, het door de buitenste delen van de schijf terugverstrooide licht, dat bij niet te kleine stofdeeltjes altijd heel veel zwakker is (§ 182).

Men heeft beweerd,¹⁾ dat het zodiakaallicht nu helderder, dan zwakker wordt, met een periode van 2 tot 3 minuten; deze wisselingen zouden min of meer overeenstemmen met storingen van de magneetnaald. Het licht zou vooral sterk zijn gedurende magnetische stormen. Eer we deze waarnemingen geloven, zou het goed zijn de realiteit der schommelingen vast te stellen, door tenminste twee waarnemers gelijktijdig en onafhankelijk van elkaar te laten observeren; ook dient met zekerheid uitgemaakt te worden, dat ze niet toe te schrijven zijn aan wolkenluiers of schaduwen van wolken.

Een zeer belangwekkende waarneming zou te doen zijn gedurende een totale zonsverduistering.²⁾ De mogelijkheid is n.l. niet uitgesloten, dat men dan de schaduwkegel der maan zou kunnen zien strijken door de stoflagen welke het zodiakaallicht verstrooien. Hiertoe zou men natuurlijk moeten waarnemen op een tijd waarop de zon al onder is.

Er schijnt ook iets als een maan-zodiakaallicht te bestaan, dat vóór de opgang en na de ondergang der maan verdwijnt. Het is echter tenminste even moeilijk waar te nemen als de Gegenschein.

207. Maansverduisteringen.³⁾

Maansverduisteringen ontstaan, als de schaduw der Aarde over de maan valt. Is het niet de moeite waard eens te kijken hoe deze schaduw er uitziet? Op die wijze bekeken is zulk een maansverduistering eigenlijk een middel, om iets over onze eigen Aarde te vernemen!

Geen twee maansverduisteringen zien er gelijk uit. Slechts zelden is de maan zo volledig verduisterd dat men ze in 't geheel niet meer ziet aan de nachthemel. In 't algemeen is de kleuring in 't midden der schaduw vaal koperrood, met daaromheen toenemend helderder tinten. Men onderscheidt:

het binnenste donkere gedeelte,

0—30'	. . .	roodachtig zwart, naar buiten toe helder bruinachtig oranje,
30'—41'	. . .	grauwe zoom van vrij gelijkmatige helderheid,
41'—42'	. . .	overgangszoom;

1) Vgl. H. Stetson, *Science*, **70**, 635, 1929.

2) A. N. **121**, 37, 1889.

3) Freeman, *Nat.* **15**, 398, 1877. — H. Meyer-Bührer, A. N. **229**, 229, 1927. — W. J. Fisher, *Smiths. misc. Coll.* **76**, number 9, 1924. — W. J. Fisher, *Science*, **70**, 404, 1929.

het buitenste heldere gedeelte ; soms kan men waarnemen dat dit uit ringen bestaat, die achtereenvolgens helder zeegroen, bleek goudkleurig, koperkleurig, perzikbloesemrose getint zijn (van binnen naar buiten).

Deze kleuren en hun veranderlijkheid doen al vermoeden dat we hier niet zo maar met een gewone schaduw te maken hebben. En inderdaad! Bij nadere beschouwing blijkt, dat de schaduw van de aardbol zelf onmogelijk de maan kan verduisteren, omdat de straalkromming in onze dampkring de stralen naar binnen buigt! „De schaduw van de Aarde” is hier niets anders dan de stralenbundel die door de onderste lagen van onze dampkring is gegaan, tot een hoogte van een kilometer of 8, en die op zijn weg donkerrood is gekleurd ; dit geschiedt op dezelfde wijze als bij de zonnestralen die ons bij de schemering dwars door een dikke dampkringslaag bereiken, alleen is de kleur nog doffer, omdat de lichtstralen nu een *dubbel* lange weg door de dampkring hebben doorlopen. De kleur van de centrale gedeelten der schaduw geeft dus een aanwijzing over de grotere of geringere doorzichtigheid van onze dampkring. Het is geen toeval dat de verduisterde maan er erg donker uitziet op tijden dat er veel stof van vulkanische uitbarstingen in onze dampkring zweeft. Gemiddeld zijn de maaneklipsen ook donkerder, wanneer de maan zich meer aan de Noordzijde van de aardschaduw dan wanneer ze zich aan de Zuidzijde bevindt : blijkbaar is er meer vulkaan- en woestijnstof in het noordelijk dan in het zuidelijk halfmond.

Om zich op eenvoudige wijze een oordeel te verschaffen over de helderheid ener maansverduistering, kan men gebruik maken van het eigenlijk zeer merkwaardige feit, dat ons oog bij geringe verlichtingssterkte geen fijnere bijzonderheden meer onderscheidt : in de schemering kunnen we de gewone letters van onze krant niet meer lezen, maar wel nog de grote opschriften. Zo moeten wij er hier op letten, of de grote vlakten (de zogenaamde „zeeën”) van het maansoppervlak, die zich gewoonlijk als grauwe vlekken aftekenen, ook gedurende de verduistering zichtbaar blijven :

- a. voor het blote oog ;
- b. met een kijkertje van 5 tot 15 cm objektiefmiddellijn ;
- c. met een grotere kijker. Dit onderscheid is voldoende voor een ruwe verdeling der maansverduisteringen in : helder, gemiddeld, donker. Uit een stelselmatige vergelijking van dergelijke aantekeningen over een aantal jaren zal een heleboel merkwaar-

digs af te leiden zijn. (Merk op dat de kijker het beeld van een verlicht vlak niet helderder maakt en dat de verhoogde zichtbaarheid dus alleen aan de optische vergroting te wijten is!).

208. Het asgrauwe licht. ¹⁾

Als de maan bijna nieuw gaat worden of pas nieuw geweest is, zien we naast haar smalle sikkeltje het verdere maanoppervlak zwak verlicht (fig. 90). Dit „asgrauwe licht” is afkomstig van de Aarde, die als een heldere en grote lichtbron de maan beschijnt. Het merkwaardige is nu, dat het asgrauwe licht niet altijd even sterk is. Soms is het bijna onzichtbaar, andere malen is het bijna melkwit, zo helder dat men er de donkerder vlekken in kan onderscheiden, welke we gewoonlijk op het maansoppervlak zien. De veranderingen in de sterkte van het asgrauwe licht schrijft men toe aan het feit, dat de naar de maan gekeerde helft der Aarde nu eens veel oceanen, dan eens veel vastelanden bevat, dat zij soms meer bewolkt, andere malen helderder is. Zo geeft een blik op het asgrauwe licht ons ineens een overzichtelijke indruk van de toestand op een halfronde der Aarde! En in zoverre behoort de studie van het asgrauwe licht eigenlijk ook tot de natuurkunde van de Aardbol.

Schat de sterkte van het asgrauwe licht in een schaal van 1 tot 10 op een aantal dagen (1 = onzichtbaar, 5 = tamelijk goed zichtbaar, 10 = opvallend helder). U bemerkt weldra, dat de zichtbaarheid sterk afhangt van de schijngestalte van de maan, omdat, naarmate de maan wast, het deel der Aarde waardoor zij verlicht wordt afneemt; en ook, omdat de heldere sikkel ons verblindt zodra hij breder wordt. Een vergelijking van de zichtbaarheid van het asgrauwe licht op verschillende dagen heeft dus slechts betekenis, als men *bij gelijke schijngestalte* vergelijkt. Daarentegen blijkt de hoogte boven de gezichteinder weinig invloed op de zichtbaarheid te hebben.

1) A. N. 196, 269, 1913. — Die Himmelswelt, 34, 95, 1924.

LICHT EN KLEUR VAN WATER EN VASTE STOF.

209. De kleuren van zon, maan en sterren. ¹⁾

... Meermalen zien wij
Hoe zich verschillende kleuren over haar aanschijn ver-
spreiden:
Blauwig verkondigt ze regen; en als ze rood is, de Oostwind.
Vergilius, Georg. I, 435.

Het is moeilijk de kleur van de zon te beoordelen, omdat haar schittering zo verblindend is. Toch komt het mij voor dat zij beslist *geel* is; samen met het licht van de blauwe hemel ontstaat dan het mengsel dat we „wit” noemen: de kleur van een blad papier bij zonlicht en heldere hemel. Bij dergelijke waarden ontstaat de moeilijkheid tengevolge van het ietwat onbepaalde van het begrip „wit”: in het algemeen zijn we geneigd, de kleur die in onze omgeving overheerst als wit of tot wit naderend te bestempelen (vgl. § 101, 102).

Op een bewolkte of mistige dag zijn de zonnestrallen en de hemelstraling al gemengd door de talloze terugkaatsingen en brekingen tegen de waterdruppeltjes; dan vertoont ons de lucht dus een witte mengkleur. Als we bedenken dat het blauwe licht van de lucht eigenlijk verstrooid licht is dat eerst in het zonlicht bevat was, moeten we besluiten dat de zon, buiten de dampkring gezien, ook ongeveer wit zou zijn.

We weten reeds dat de *oranje* of *rode* kleuren van de ondergaande zon te verklaren zijn uit de snel toenemende lengte van de weg die haar stralen te doorlopen hebben vóór ze ons oog bereiken; langzamerhand zijn de sterker breekbare stralen bijna geheel verstrooid en blijven alleen de dieprode over (§ 177).

In zeldzame gevallen kan men de hoogstaande zon door de nevel *koperrood* gekleurd zien, namelijk als de mistdruppeltjes zeer klein zijn en dus in hoofdzaak de korte golven verstrooien (§ 187).

1) Fournet, C. R. 47, 189, 1858. — Osthoff, Mitt. Ver. Fr. d. Astron. 10, 136, 1901. — J. Plassmann, Met. Zs. 8, 421, 1931.

In andere gevallen is ze *blauwachtig*: men beweert dat dit vooral voorkomt wanneer de wolken een oranje zoom krijgen. Het is mogelijk dat de tegenstelling der kleuren hier een rol speelt, of dat ongeoeffende waarnemers de kleuren van wolken in de onmiddellijke nabijheid van de zon verwarren met de kleur der zonnescijf zelf. Geheel verschillend is het verschijnsel der *blauwe* zon, die wij soms zien door een dichte wolk van zeer gelijkmatige druppeltjes (§ 169).

De maan is in de dag opvallend *zuiver wit*, omdat dan het sterke blauw dat de hemel verstrooit opgeteld wordt bij haar eigen geelachtig wit; ook bij haar op- en ondergang is ze dan vrijwel kleurloos, mat, slechts een weinig geelachtig. Bij zons- ondergang ziet men haar geleidelijk geler worden, naarmate het blauwe licht van de hemel verdwijnt; op een gegeven oogenblik is ze mooi *zuiver geel* geworden: waarschijnlijk lijkt de kleur ons sterker door het physiologische contrast met de nog zwak blauwe achtergrond. Tegen het einde der schemering loopt de kleur weer terug naar *geelwit*; dit zal wel komen doordat de omgeving donkerder wordt, zodat het maanlicht ons zeer helder lijkt en dan door een merkwaardige eigenschap van ons oog tot wit nadert, zoals alle felle lichtbronnen (§ 82). 's Nachts blijft dan verder de maan licht geelachtig, precies zoals de zon bij dag; in zeer heldere winternachten, als ze heel hoog zit, nadert ze nog het meest tot wit; maar nabij de gezichteinder vertoont ze dezelfde *oranje* en *rode* tinten als de ondergaande zon: dat de indruk van die kleuren op ons oog een weinig anders is, komt door de veel geringere lichtsterkte.

De volle maan temidden der blauwe aardschaduw heeft een mooie, uitgesproken *bronsgele* tint, die zonder twijfel door complementaire tegenstelling met de omgeving ontstaat. Als zij omringd is door fel purperrood gekleurde wolkjes, lijkt haar tint eer *groengeel*. Worden de wolkjes zalmrood, dan nadert ze soms zelf tot *blauwgroen*. Deze tegenstellingskleuren zijn nog duidelijker bij de maansikkel dan bij de volle maan.

Niet te verwarren met de kleur van de maan is de kleur van het landschap in de maneschijn, dat algemeen als blauw, groenblauw geldt. Stellig is dit voor een groot gedeelte het gevolg van tegenstelling met ons oranje kunstlicht; de blauwe kleur van de door de maan verlichte hemel is daardoor des te opvallender. ¹⁾

1) Hemel en Dampkring, 31, 209 en 271, 1933. Discussie in Met. Mag. 67, 1932 tot 69, 1934.

Nu is het nacht, de **blauwe** nacht met duizend sterren

P. Verlaine, *Jadis et Naguère* (*Crimen Amoris*).

. . . . Hul nu moederzacht

Mij in uw blauwfluwelen mantel, Nacht

H. Swarth, *Natuurpoëzie* (*Sterrennacht*).

Om een eerste denkbeeld te krijgen van de kleurverschillen die de sterren kunnen vertonen, ¹⁾ bekijken we de grote vierhoek van het sterrebeeld Orion, en bemerken hoe Betelgeuze, de heldere ster α links boven, opvallend geel, ja zelfs oranje is vergeleken met de drie overige (fig. 72). Vlak bij dit sterrebeeld zit een andere oranje ster, Aldebaran van de Stier.

Nu komt het er op aan, zich niet met die eerste, heel gemakkelijke kleuronderscheiding te vergenoegen, maar fijnere tintverschillen na te speuren. Dit stelt hoge eisen aan onze kleurenzin, maar door oefening kan men het een heel eind brengen. Daar de kleuren der sterren te wijten zijn aan hun verschillende temperaturen, is het begrijpelijk, dat ze dezelfde opeenvolging vertonen als een gloeiend lichaam dat men geleidelijk laat afkoelen: van *wit* over *geel* en *oranje* naar *rood*. Het is geen uitgemaakte zaak, of de heetste sterren reeds als *blauwig* te beschrijven zijn, of veeleer als zuiver wit: blijkbaar hebben de verschillende waarnemers niet dezelfde opvatting van het eigenlijke „wit”; sommige ondervinden meer dan andere de invloed van de zwakverlichte hemelachtergrond, die ons blauwachtig lijkt en die wij toch als kleurloos gaan beschouwen, omdat het de gemiddelde kleur van het nachtelijk tafereel is.

De volgende schaal geeft een denkbeeld van de tintverschillen die onder de sterren voorkomen, met de getallen die daar gewoonlijk voor gebruikt worden en enkele voorbeelden. De schatting der kleur door individuele, goede waarnemers valt dikwijls een gehele klasse boven of onder de aangegeven gemiddelde; de hier gegeven schattingen zijn uitgevoerd door waarnemers die de blauwe tint niet als zodanig zagen en dus geen negatieve trappen hadden.

—2	blauw	4	zuiver geel
—1	blauwachtig wit	5	diepgeel
0	wit	6	roodachtig geel
1	geelachtig wit	7	oranje
2	witgeel	8	geelachtig rood
3	lichtgeel	9	rood

1) C. Wirtz in R. Henseling: *Astronomisches Handbuch* (Stuttgart 1921).
Bottlinger en Schrödinger in *Naturwiss.* 13, 1925.

α Grote Hond (Sirius)	0,8	β Kleine Beer	5,8
α Lier (Wega)	0,8	α Bootes (Arcturus)	4,5
α Leeuw (Regulus)	2,1	α Schorpioen (Antares)	7,5
α Kleine Hond (Procyon)	2,4	Venus	3,5
α Arend (Altair)	2,6	Mars	7,6
α Grote Beer	4,9	Jupiter	3,6
β Grote Beer	2,3	Saturnus	4,8
α Kleine Beer	3,8		

Natuurlijk worden de sterren ook roodachtiger als ze dicht bij de gezichteinder komen, maar de fonkeling belet dan meestal het zuiver schatten van de kleur. Het is merkwaardig dat wij op aarde een gloeiend lichaam van 3000° als witgloeiend bestempelen, terwijl een ster van diezelfde temperatuur ons oranje rood schijnt! Waarschijnlijk is dit physiologische verschijnsel aan de veel geringere helderheid van de ster te wijten: de rode componenten van de gezichtsindruk is nog waarneembaar, terwijl de groene en blauwe componenten de drempelwaarde niet meer bereiken. Een andere verklaring vindt men in § 82.

Een goed waarnemer deelt mij mede, dat hij de kleuren der sterren beter bij maanlicht kan bepalen dan bij donkere nachten. Is het mogelijk dat de kegeltjes door de algemene verlichting van de maneschijn een grotere rol spelen ten opzichte van de staafjes van ons netvlies?

210. De kleuren der wolken.

Het is een genot om de mooie, zomerse stapelwolken te zien voorbijdrijven, en zich rekenschap te geven van de redenen waardoor bepaalde delen lichter, andere donkerder zijn. Waar de zon de stapelwolken beschijnt, zijn ze schitterend wit; maar ze worden grauw of donkergrijs als ze boven ons hoofd voorttrekken en wij de beschaduwde onderkanten zien. De waterdruppeltjes zijn zo dicht, dat het licht, nauwelijks in de wolk gedrongen, er al voor een groot gedeelte door de vele terugkaatsingen weer uitkomt; de wolk vertoont zich vrijwel als een ondoorzichtig wit lichaam. Zitten er stapelwolken vóór de zon, dan zien zij er donker uit, maar zijn omzoomd door een rand van licht: „*elke wolk heeft een zilveren omranding*”. De verdeling van licht en schaduw geeft ons dus belangwekkende inlichtingen omtrent wat vóór en achter, onder en boven is en welke de ware vormen zijn van de wolkengevaarten in de ruimte. — Het is

niet altijd gemakkelijk zich die verhoudingen goed voor te stellen, en de plaats van de zon op de juiste wijze in rekening te brengen. Als er bijvoorbeeld vóór mij wolken zijn en de zon staat een eind daarboven, verwonder ik er mij over dat ik bijna alleen schaduw zie (fig. 165a); ik heb niet voldoende het gevoel van de ontzaglijk grote afstand der zon, ik stel ze mij onbewust tamelijk dichtbij vóór en verwacht licht op AB (165b), inplaats van te bedenken dat de zonnestrallen die de wolk beschijnen evenwijdig zijn aan de lijn van de zon naar mijn oog (165c).

Hoe verrassend het spel van licht en donker over de wolkenmassa's ook zij, hoe ingewikkeld de schaduwen die ze op elkaar

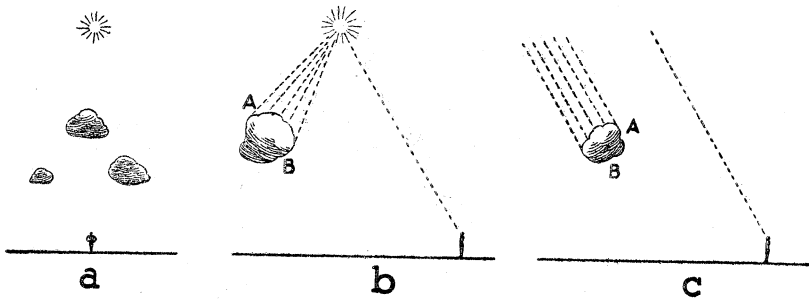


Fig. 165. Licht en schaduw op stapelwolken.

- a. Het landschap en de waarnemer, gezien van N. naar Z.
- b. Verkeerde subjektieve voorstelling en verwachting.
- c. Werkelijke verhoudingen.

(In b en c is het landschap gezien van Oost naar West).

werpen, toch lijkt het wel onmogelijk daarmee al de tintverschillen van de stapelwolken te verklaren.¹⁾ Als er bij opklarend weer maar een paar stapelwolkjes meer overblijven, die fel door de zon beschenen worden en onmogelijk schaduw op elkaar kunnen werpen, ziet men dikwijls hoe ze donkerder en donkerder worden en tenslotte blauwzwart op het ogenblik dat ze gaan verdwijnen. In het algemeen maakt het de indruk dat ijle delen van stapelwolken tegen de blauwe lucht niet een tint vertonen, bestaande uit blauw + wit (zoals men zou verwachten), maar uit blauw + zwart!

In andere gevallen is een stapelwolk grijs, terwijl wij ze zien tegen de achtergrond van een andere die felwit is: in dit geval is dan toch zeker niet waar dat de helderheid eenvoudig met de totale laagdikte zou toenemen. De optika van deze verschijn-

1) C. R. 177, 515, 1923.

selen die we elke dag om ons heen kunnen waarnemen, is nog zeer onvoldoende onderzocht. Zeker moet men wel heel voorzichtig zijn vooraleer aan te nemen dat de wolken het licht echt kunnen *opsorpen*; men moet vooreerst alles trachten te verklaren alsof het vaste witte voorwerpen waren, daarna bedenken dat het eigenlijk verstrooiende nevels zijn en pas tenslotte in aanmerking nemen, dat die ook donker stof zouden kunnen bevatten.

Belangwekkend is een vergelijking van de wolk met de witte stoom van een lokomotief (geen rook!). In een bepaald geval zag deze er lichter uit, als men onder een grote hoek met het invalende licht waarnam; minder licht als men van uit de richting van de zon waarnam en de lichtstralen in het oog kreeg die ongeveer volgens de invalrichting terugkeerden. In andere gevallen was de stoom van alle richtingen uit veel helderder dan de helderste delen der stapelwolken; dit was waarschijnlijk te wijten aan de grote afstand der stapelwolken en de lichtverzwakking door verstrooiing van de lucht.

Donkere stapelwolken op grote afstand zien er dikwijls blauwachtig uit. Dat is niet de kleur van de wolk zelf, maar die van het licht dat verstrooid wordt door de dampkringslucht tussen de wolk en ons oog. Naarmate zulk een donkere wolk verder van ons verwijderd is, moet haar tint aldus meer en meer naderen tot die van de achtergrond van de hemel. — Heldere wolken laag bij de gezichteinder krijgen daarentegen een geelachtige tint (§ 178).

Wij zouden ons onderzoek nog moeten uitbreiden tot de andere wolkentypen en trachten te verklaren waarom bijvoorbeeld de regenwolken zo grauw zijn, waarom de donderkoppen eigenaardige loodkleuren naast een vaal oranje kunnen vertonen (stof?). Van al deze dingen is echter zo weinig goed bekend, dat we liever den lezer willen opwekken tot zelfstandig onderzoek.

De lichtverdeling over het uitspansel, bij volmaakt gelijkmatig betrokken lucht, is zeer kenmerkend en vormt een tegenhanger van de lichtverdeling bij helderblauwe lucht. Vergelijk bijvoorbeeld met behulp van een spiegelkje het zenith en de gezichteinder: deze laatste is altijd het helderst, de verhouding is 0,50 tot 0,80 (Plaat XI).

211. De kleuren der wolken bij zonsopgang en zons- ondergang.

Indien we altijd geleefd hadden in een land waar er geen wolken waren, maar alleen lage mist of nevel, wat zouden we dan gedacht hebben als een vreemdeling ons was komen vertellen dat in zijn land deze mistlagen opstijgen, hoog in de lucht, en dat ze zich purper kleuren, karmozijn, scharlaken en goud?

Ruskin, Modern Painters, VII, 158.

Bij het beschrijven van de zonsondergang hebben we eerst de wolken weggedacht. We willen ons nu afvragen hoe de wonderbare wolkentaferelen tot stand komen met hun oneindig rijke kleurenpracht en vormenwisseling, die aan elke regelmaat schijnen te ontsnappen. Dit zij vooropgesteld: het gaat hier in hoofdzaak om hetgeen te zien is vóór de zon ondergaat, terwijl de eigenlijke „schemeringsverschijnselen” daarna in § 194 besproken zijn. Zodra de zon ondergegaan is, is de wolkenpracht eigenlijk verdwenen.

Kort vóór zonsondergang worden de wolken bestraald:

1. door rechtstreeks zonlicht, langzamerhand meer en meer geel, oranje, rood gekleurd naarmate de zon daalt;

2. door licht van de hemel, oranjerood aan de zonzijde, overal elders blauw; het oranjerode licht is te wijten aan de sterke verstrooiing van de grote stofdeeltjes en waterdruppeltjes, die de stralen maar weinig doen afwijken (§ 187 en 198); het blauwe licht is door de terugverstrooiing der luchtmolekulen ontstaan.

Stel u nu een wolk voor in de buurt van de zon, eerst heel ijl, dan geleidelijk dichter wordend. Haar druppeltjes verstrooien het licht over kleine hoeken; ijle wolkenluiers zullen ons dus wel veel licht toezenden van de zon die schuin achter hen zit; hoe meer verstrooiende deeltjes, hoe sterker het warme, oranjerose licht. Maar er komt een „optimum”: als de lagen tē dicht worden of tē dik, kan het licht er niet goed meer doorheen; zware wolken laten bijna niets door en kaatsen alleen naar ons terug het licht van het blauw gebleven deel van de hemel, waardoor zij van onze zijde verlicht worden (fig. 166, C). Een mooie zonsondergang zal dus vooral te verwachten zijn bij ijle wolken of bij gebroken lucht.

Aan de zijde van de ondergaande zon zien we ijle wolken in doorvallend licht, dichtere of dikkere wolken in opvallend licht; de eerste zijn helder oranjerood, de tweede van een donkerder grijsblauw. Deze tegenstelling van kleur, die dikwijls een verschil

in vorm en bouw begeleidt, is een van de verrukkelijkste trekken dezer wolkentaferelen.

*De wolken liggen in lagen
Van balken op balken gespreid,
Met gouden beslag beslagen,
En blauwe belegsels beleid.*

René de Clercq, Dageraad.

De randen van de zware, blauwgrijze wolken zijn volgens deze regel prachtig met goud omzoomd. Merk op: de rand A, naar de zon toe gekeerd, geeft sterker licht dan de rand B; want:

1. daar is de afwijkingshoek der lichtstralen het kleinst;

2. als we de wolk als een rolronde voorwerp denken, ziet men dat we aan de zijde der zon een strookje moeten waarnemen dat nog rechtstreeks belicht wordt (fig. 166).

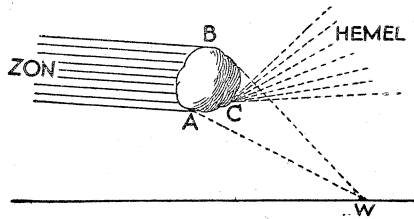


Fig. 166. De verlichting van een wolk kort vóór zonsondergang.

De wolken die veel verder van de zon verwijderd zijn, vertonen niet die mooie verstrooiing aan de randen; ze zijn echter aan de ene zijde rechtstreeks belicht en krijgen aan de andere verstrooid blauw licht, zodat ook daar een kleurenspeel ontstaat van oranje en blauw. Bij lager dalende zon worden de kleuren steeds warmer, tot de wolken tegenover haar in het Oosten het purper van de tegenschemering vertonen.

Als de zon nu ondergaat, trekt zich haar gloed geleidelijk terug van de verschillende delen van de hemel; de hoge wolkjes blijven het langst belicht. Dit wordt nu weer een fraaie tegenstelling, aangezien we naast en achter elkaar de wolkjes zien die nog zonlicht krijgen en die welke alleen licht van de hemel ontvangen (Vgl. II, § 105).

212. De verlichting der wolken door aardse lichtbronnen.¹⁾

Als we 's avonds door het vrije veld wandelen en de hemel is gelijkmatig bewolkt, zien we van verre hier en daar een lichtschijn, laag aan de hemel. Die is afkomstig van een stad of van

¹⁾ La Cour, Övers. Dansk Vidensk. Selsk. Forh. 75, 1871. Een andere eenvoudige methode bij Bravais, Pogg. Ann. 77, 156, 1849.

een groot dorp, dat we aan de richting wel kunnen herkennen. Schat de hoek α van de lichtschijn boven de gezichteinder in radialen (§ 1), bepaal de afstand A tot aan de stad met behulp van een wandelkaart, en bereken de wolkenhoogte $h = \alpha A$. Voorbeeld: van uit Bilthoven zag ik de lichtschijn

boven Utrecht op een hoogte $\alpha = 8^{\circ},5$; hieruit $h = 790$ m;
boven Zeist op een hoogte $\alpha = 6^{\circ}$; hieruit $h = 780$ m.

In 1884 was het licht boven Londen zichtbaar tot op 60 km afstand; ¹⁾ hoever zou dit nu het geval zijn?

Het is de moeite waard, de lichtvlek boven een grote stad nauwkeuriger te bestuderen. Men bemerkt weldra dat zij er van dag tot dag anders uitziet, de veranderlijkheid van het verschijnsel is haast even groot als die van het noorderlicht. Twee bestanddelen zijn in het lichtverschijnsel te onderkennen: 1. een wazige lichtnevel, die ontstaat door de algemene belichting van de lucht met haar stofjes en waterdruppeltjes, en die het sterkst is nabij de gezichteinder; 2. een lichtvlek op de wolkenlaag, die in werkelijkheid ongeveer de omtrek der stad heeft (dus ongeveer rond), maar die van op afstand verkort wordt gezien en dus min of meer ellipsvormig lijkt met vrij scherpe randen, vooral als de wolkenlaag goed effen is. Is de lucht helder en onbewolkt, of zeer mistig, dan ziet men geen licht boven de stad. Is de lucht heilig, dan ontwikkelt zich de wazige lichtnevel. Is de lucht met een wolkenlaag bedekt, dan ziet men de lichtvlek. Alle mogelijke combinaties komen voor, ook ziet men soms afzonderlijke lage wolken een schaduw werpen, of men bemerkt hoe onregelmatige lichtmassa's zich van de hoofdmassa afzonderen. De bepaling van de hoogte der wolken geschiedt natuurlijk uit metingen aan de lichtvlek, het nauwkeurigst door het bepalen van de hoogte harer grenzen. In de handen van een goed waarnemer is de methode zo nauwkeurig, dat men bv. kan onderzoeken of de wolkenlaag de oneffenheden van het terrein volgt.

La Cour slaagde erin, dergelijke waarnemingen ook bij dag uit te voeren. Op een dag toen er sneeuw gevallen was, merkte hij op dat de wolkenlaag donkerder was boven de zee dan boven het besneeuwde land; de grenslijn werd verrassend scherp als men zich zó ver verwijderde dat ze zich minder dan 20° boven de gezichteinder verhief. Daarna vond hij, dat zich ook boven de bossen donkerder gebieden in de wolkenlaag aftekenden; zelfs de stad Kopenhagen, waar de sneeuw op de huizen al gedooid was, kwam met een dergelijk donkerder gebied overeen. Uit

1) Nat. 29, 104, 1884.

al deze lichtschakeringen kon de hoogte der wolkenlaag bepaald worden en volgden er goed samenhangende waarden.

Van deze verschijnselen is het verschil tussen 't besneeuwde land en de zee het gemakkelijkst op te merken en het eerste waar men zich mee moet oefenen. Dit ook aan onze kust goed waar te nemen verschijnsel, is niets anders dan de beroemde „ice-blink” en „water sky” der noordpoovaarders, waaraan ze de nabijheid van het pakij's herkennen.

„Daar zag ik in de avond een merkwaardige lichtschijschijn over de hemel in 't Noorden, het sterkst nabij de gezicht-einder, maar waarneembaar over zijn gehele welving tot aan het zenith, — een wonderlijk, geheimzinnig halflicht, als de weerschijschijn van een geweldige brand, heel ver weg; maar dan in de wereld der spoken, want het licht was spookachtig wit.”

Fr. Nansen, *Boken om Norge* (Kristiania 1914).

Minder bekend is, dat het zand der Egyptische woestijn insgelijks de wolken kleurt met een gloed die duidelijk uit de verte herkebaar is.¹⁾ Een ondiepe plaats in de Indische Oceaan, waar de groene kleur van het zeewater zeer uitgesproken was, wierp een lichtgroene schijn op de 300 tot 400 m hoge wolken.²⁾ En zelfs onze bloeiende hei, door de zon beschenen, kan de onderkanten van losdrijvende wolken paars kleuren.²⁾

213. De factoren die de kleur van het water bepalen.³⁾

Oneindig veranderlijk, door onvatbare schakeringen gemarmerd, in elke rimpeling weer anders — door zijn verfijnde samengesteldheid een eeuwige vreugde voor het oog

Laten we trachten te ontleden!

1. Een gedeelte van het licht dat we van het water toegezonden krijgen is aan de oppervlakte teruggekaatst. Zolang dit oppervlak glad is, werkt het als een spiegel, en het water kleurt zich blauw, grijs of groen naarmate de hemel helder is of zwaarbewolkt, of de zacht hellende oevers met gras bedekt zijn. Rimpelt zich het oppervlak, dan worden de tinten van hemel en oevers dooreengemengd, sprankels van het éne spatten over het andere. Bij sterke golving weerkaatst het water eenvoudig een mengkleur.

1) Vaughan Cornish, *Georg Journ.* **67**, 518, 1926.

2) G. F. Tydeman, *Hemel en Dampkring* **19**, 113, 1922.

3) Uitgebreide litteratuur! Samenvatting van het oudere werk bij W. D. Bancroft, *Chem. News* **117**, 197, 1919. of *Journ. Frankl. Instit.* **187** no. 3. — M. Pollock, *Ligt and Water* (London 1903). — v. Aufsess, *Ann. d. Phys.* **13**, 678, 1904. — C. V. Raman, *Proc. R. Soc.* **101**, 64, 1922. — Raman, *Nat.* **110**, 280, 1922. — Sjoeljekin, *Phys. Rev.* **22**, 85, 1923. — K. R. Ramanathan, *Phil. Mag.* **46**, 543, 1925.

Wat wij gemeenlijk als een wateroppervlak van eenvoudige kleur beschouwen, is inderdaad geschakeerd met een oneindige verscheidenheid van tinten, die dikwijls uitlopers zijn van anders gekleurde vlakken op enige afstand (zoals men het weerspiegelde zonnebeeld tot een grote lichtvlek uitgebreid ziet). Bij het waarnemen van de glans, de zuiverheid en de oppervlakte zelf, speelt ons gevoel voor die veelvuldige tinten geen geringe rol, terwijl de voortdurende bewegelijkheid van dat oppervlak ons belet ze te ontleden of te begrijpen hoe ze eigenlijk ontstaan.

Ruskin, *Modern Painters*, III, 507.

2. Een ander gedeelte van het licht is in het water zelf doorgedrongen en is daar terugverstrooid tegen stofdeeltjes en troebeling. Meestal zijn die stofjes zo groot, dat ze alle stralen even sterk verstrooien en dat het terugkerende licht dezelfde kleur heeft als het invallende; bestaan ze uit zand of klei, dan kan het terugkerende licht een bruine tint vertonen.¹⁾ In zeer diep en zuiver water echter wordt een merkbaar gedeelte van het licht terugverstrooid door *de watermolekulen* zelf, met de heerlijk blauwe kleur die de hemel of een dik blok gletscherijs vertonen.

3. Tenslotte is er in ondiep water altijd een deel van het licht dat de bodem bereikt en daar diffuus teruggekaatst wordt, terwijl het de kleur van die bodem aanneemt.

4. Op hun weg door het water worden de lichtstralen voortdurend gewijzigd:

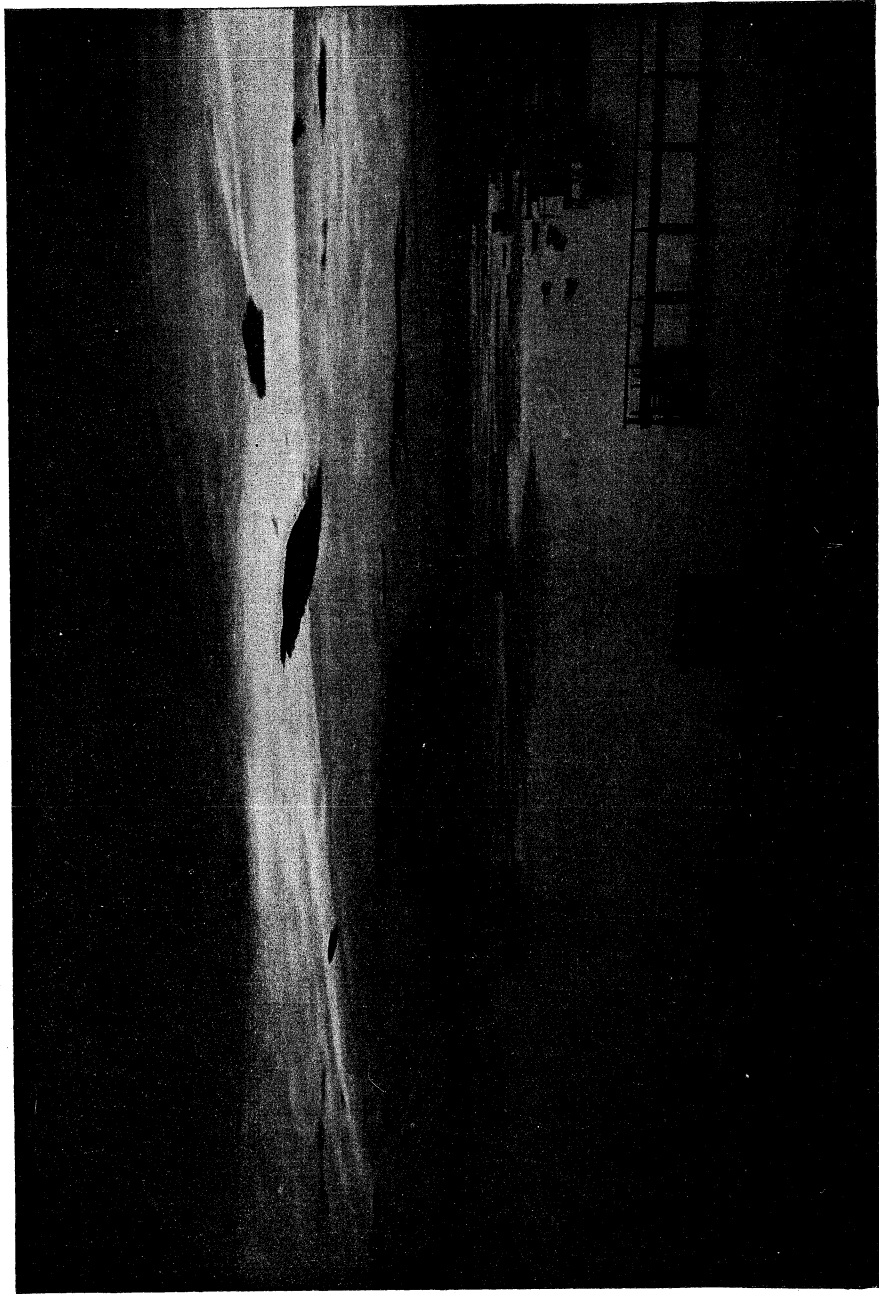
a. door *verstrooiing* verliezen ze een deel van hun sterkte; in zuiver water worden vooral de violette en blauwe stralen verzwakt (§ 176);

b. door de *echte absorptie* van het water, die in lagen van enige meters dikte al zeer merkbaar is, verliezen ze hun gele, oranje en rode stralen, geheel op de wijze van licht dat door gekleurd glas gaat;

c. een deel der blauwe en violette stralen in bepaalde delen van de zee schijnt door *fluorescentie* omgezet te worden in groene: de fluorescerende stof is wellicht een organische zelfstandigheid, die in de zee in voldoende concentratie voorkomt om een belangrijke rol te spelen (vgl. § 245).

Verstrooiing is er altijd in het water, zelfs in het allerzuiverste: want de watermolekulen zelf liggen ongelijk dicht verspreid, hetgeen een ongelijkheid, een zekere „gekorreltheid” veroorzaakt; daar komt nog bij, dat ieder watermolekuul zelf nog van de bolvorm afwijkt. Deze verstrooiing is volmaakt te verge-

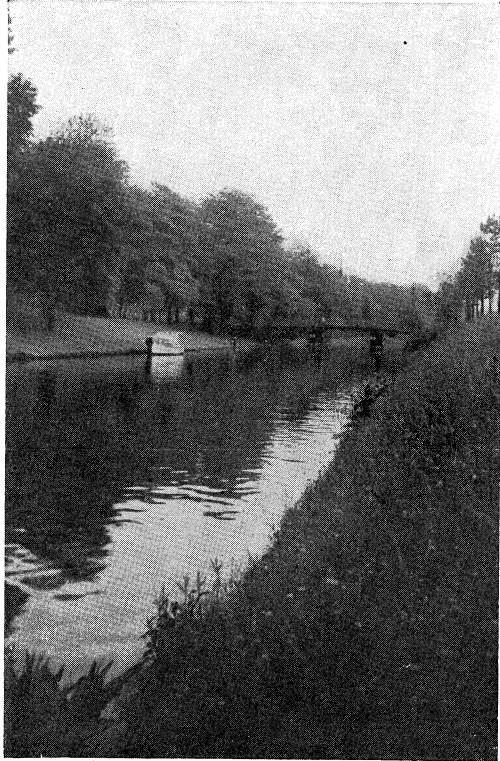
1) Sjoeljeikin, *Phys. Rev.* 22, 85, 1923.



Lichtende nachtwolken § (204).

Naar C. Störmer, Vidensk. Akad. Oslo Avh. I, 1933, No. 2, Pl. IX.
Cliché in bruikleen van de Akademie der Wetenschappen te Oslo.

PLAAT XIV.



De golvingen in een wateroppervlak komen alleen te voorschijn nabij de grens van donkere en lichte spiegelbeelden (§ 215).

lijken met de verstrooiing van de lucht en neemt ook toe met $\frac{1}{\lambda^4}$: zij is dus het grootst voor de blauwe en violette stralen. In minder zuiver water zijn er zwevende deeltjes; zijn die uiterst klein, dan voegt hun werking zich bij die van de molekulen en veroorzaken zij een blauwviolette verstrooiing; zijn ze groter dan 0,001 mm bijvoorbeeld, dan verstrooien ze alle kleuren gelijkelijk, en wel vooral in voorwaartse richting (§ 182). Een goed voorbeeld van een vloeistof met zeer kleine verstrooiende deeltjes is gewoon zeepwater; in opvallend licht gezien tegen een donkere achtergrond lijkt het blauwig, daarentegen is het oranje in doorvallend licht (§ 176).

De absorptie van het water der meren en rivieren is in hoofdzaak toe te schrijven aan ijzerverbindingen (Fe^{+++} -ion) en aan organische humuszuren. Bij concentraties van 1 : 20 miljoen ijzer en 1 : 10 miljoen humuszuur, zoals die in de natuur voorkomen, moest het water eigenlijk veel sterker gekleurd zijn dan het is; het schijnt, dat de Fe^{+++} -verbindingen het humuszuur oxyderen onder de invloed van 't licht en zelf in Fe^{++} -verbindingen overgaan, Fe^{++} neemt weer zuurstof op en wordt Fe^{+++} ; enz.

Wij zullen nu aan enige voorbeelden laten zien, hoe deze verschillende factoren samenwerken om de kleur van het water te bepalen.

214. De kleur van de plassen langs de weg.

Een eenvoudig geval is dat van de plassen die de regen zo dikwijls langs de weg maakt. Als we onder een grote invalshoek kijken, is de terugkaatsing aan het oppervlak bijna volmaakt, we zien de gespiegelde voorwerpen mooi kontrastrijk, de zwarte takken zien er zeer donker uit. Komen we dichterbij, zodat onze blik steiler en steiler invalt, dan wordt de terugkaatsing veel zwakker (§ 57); het is nu, alsof er over alles een gelijkmatig waas werd uitgespreid, alle kleuren zijn bleker geworden; we zien vooral, dat de donkere partijen niet echt donker meer zijn, maar grijs. Dat waas is afkomstig van licht, dat van alle kanten op de waterplas invalt, in het water dringt en in alle richtingen verstrooid wordt; is het water van de plas melkachtig troebel, dan gebeurt die verstrooiing door de zwevende stofdeeltjes; is het water troebel maar bijvoorbeeld door blauwsel gekleurd, dan heeft het verstrooide licht een blauwe kleur gekregen en dan voegt zich die tint bij de weerspiegelde beelden; is het water

helder maar de bodem licht (plassen zeewater op het strand!), dan krijgen alle weerspiegelde beelden een zandkleur en ziet men onder steile hoeken bijna alleen de bodem met nog enkele der helderste weerspiegelingen. Slechts bij helder water en donkere bodem blijven de teruggekaatste beelden ook bij steile invalshoek zuiver en contrastrijk, hoewel lichtzwakker. In zulke donkere, zeer rustige plassen krijgt het groen der bossen soms een zuiverheid van tinten en een scherpte van beelden, groter dan bij de gespiegelde voorwerpen zelf! Dit is een psychologisch effect, in hoofdzaak toe te schrijven aan de geringere verblinding door het omgevende landschap (§ 7).

Laat een helper op verschillende afstanden van de plas staan, en kijk hoe zijn spiegelbeeld verandert! Vooral aan het strand is de proef zeer treffend. — Buk zeer diep; sta rechtop.

We zien hier als 't ware aan een verkleind model toegelicht, hoe de zichtbaarheid van voorwerpen onder de zeespiegel (klippen, duikboten) groter kan zijn, gezien van uit een vliegtuig dan van uit een schip.

Feitelijk is er nauwelijks een plas langs de weg te vinden, die niet evenveel landschap in zich als om zich heeft. Die plas is niet het bruine, modderige, lelijke ding dat we denken dat hij is; hij heeft een hart evenals wijzelf, en op zijn bodem zijn de takken der hoge bomen, en de blaadjes van het trillende gras, en alle soorten tinten van wisselend mooi licht van de hemel.

Ruskin, Modern Painters, III, 496.

215. De kleur van onze binnenwateren (Plaat XIV en XV).

De rimpelingen aan de oppervlakte geven een altijd wisselende verscheidenheid van licht en kleur aan elke singel, aan elke sloot (§ 16—21). Om na te gaan of een bepaald gedeelte van het oppervlak gerimpeld is, moeten we 't van uit verschillende richtingen bekijken; zwakke rimpels worden alleen zichtbaar *aan de grens van heldere en donkere spiegelbeelden*, de spiegeling van de effen blauwe lucht vertoont ze niet, evenmin als de donkere massa van zwaar geboomte (Plaat XIV). Sterke rimpels geven aan de lichtstralen zulke sterke afwijkingen, dat ze ook in vrij grote effen gebieden een arcering van donker of licht brengen, die uit geheel andere richtingen afkomstig zijn; óf doordat de terugkaatsingscoëfficiënt tegen de vóór- en de achterzijde van de golfjes merkbaar gaat verschillen (blz. 315). Meestal zijn de sterk gerimpelde gebieden donkerder, doordat wij daar in hoofdzaak de vóórkanten der golfjes waarnemen; deze weerkaatsen de hoger gelegen, dieper blauwe gedeelten van het hemelgewelf, en wel

met een geringere terugkaatsingscoëfficiënt. Een enkele maal echter hangt er een zware wolkenbank aan de kim, zodat de gerimpelde gebieden de heldere hemel daarboven terugkaatsen en aldus lichter dan hun omgeving worden.

*Ik stond voor een rietveld; ruischende wiegden
de stengels den wind; de plas droeg een donkerder
kleur dan de hemel, smachtend, eindeloos-diep
saffier.*

*Aart van der Leeuw, Joost de
Wandelaar (Vertellingen).*

Bijna altijd zijn de gerimpelde en de ongerimpelde delen van een wateroppervlak verrassend scherp begrensd (Plaat XV). En dit is niet te wijten aan ongelijkmatige verdeling van de windstromingen: juist bij regen bijvoorbeeld, als het gehele watervlak gelijkmatig aan het trillen wordt gebracht, verschijnen die grenzen met volkomen duidelijkheid. De oorzaak is niets anders dan de aanwezigheid van een uiterst dun olielaagje, nog geen miljoenste millimeter dik (= 2 oliemolekulen!), dat toch reeds voldoende is om de rimpelingen te dempen die door wind of regen veroorzaakt worden. Het is te wijten aan dierlijke en plantaardige overblijfselen, aan sporen afgewerkte olie in het kielwater van schepen, aan de afval in het rioolwater. De wind blaast dit laagje vóór zich uit en verzamelt het aan één kant van de singel; u zult altijd opmerken dat het water rimpels vertoont aan de kant vanwaar de wind komt, en effen is bij de oever daartegenover. In het effen gedeelte drijven takjes, blaadjes, maar verschuiven bijna niet ten opzichte van elkaar: ze zitten vast in het oliehuide!

We verkrijgen aldus een geheel begrijpelijke verklaring voor het treffende verschil tussen het bewegelijke, sprankelende wateroppervlak van de beek in het bos en de loodkleurige, stroopachtige wateren in de achterbuurten ener grote stad.

Na de waarneming van de lichtverschijnselen aan de oppervlakte, willen we nagaan hoe deze weerspiegeling voortdurend wedijvert met het licht dat uit de diepte komt, en welke factoren invloed hebben op beider verhouding. — We staan bij de oever onder 't geboomte. Hier en daar zien we de donkere boomkruinen weerspiegeld en daartussen heldere stukken blauwe lucht. Waar de heldere hemel teruggekaatst wordt zien we de bodem niet, want het licht dat van de diepte komt is in verhouding te zwak. Waar de donkere bomen weerspiegeld worden zien we een mengsel van de kleur van hun gebladerte, de kleur

van de bodem en het diffuse licht dat door de stofjes in het water terugverstrooid wordt. — De donkere kiel van een boot wordt met een groenachtige waterkleur teruggekaatst; maar een helderwitte band die langs de boot loopt, blijft gewoon wit.

— Bemerk, dat wij alleen dicht bij de oever iets van de bodem kunnen zien. Op enige afstand lukt dat niet meer, ook al zou de diepte niet veel toenemen; want het weerspiegelde licht wordt veel sterker bij grote invalshoeken en overheerst dan ten opzichte van het licht dat uit de diepte komt.

Hoe hoger de zon, hoe minder licht aan de oppervlakte wordt teruggekaatst en hoe meer er in de diepte doordringt, zodat ook het terugverstrooide licht toeneemt. Het is dikwijls opvallend, hoe een vijver bij hoge, heldere zon, in zijn geheel als met een inwendige gloed oplicht.

„In 't zonlicht is de plaatselijke kleur van het water meestal „sterk en zeer werkzaam, en (zoals we hebben gezien) heeft ze „invloed op alle donkere weerspiegelingen en vermindert hun „diepte. In de schaduw echter neemt het terugkaatsend ver- „mogen van water aanzienlijk toe,¹⁾ en meestal zal men bevin- „den dat de vormen der schaduwen niet bepaald worden door „ware beschaduwing van het oppervlak, maar doordat op die „plaatsen de weerspiegeling der dingen zuiverder is.”

„Een zeer modderige rivier heeft in de zonneschijn een eigen „gele kleur, waardoor alle terugkaatsingen vaal en zwak gemaakt „worden. Maar in de schemering krijgt ze haar terugkaatsend „vermogen geheel en al terug en men ziet de bergen even duide- „lijk weerspiegeld als in een kristalhelder meer.”²⁾

Ruskin, Modern Painters, III, 505.

Er zijn enkele eenvoudige middelen, om de terugkaatsing aan het oppervlak te elimineren.

a. Houd een zwarte paraplu boven uw hoofd.

b. Zoek een punt waar u onder een brug kunt komen. Bij zonnig weer ziet u de mooie geelgroene kleur die door het water

1) „Ik stel dit eenvoudig als een feit; ik ben niet in staat de reden ervan uit de beginselen van de optika af te leiden.” — De verklaring van den natuurkundige: het terugkaatsend vermogen is *precies hetzelfde* in de schaduw als in het licht, maar de verhouding $\frac{\text{teruggekaatst}}{\text{diffuus verstrooid}}$ is kleiner in de zon, groter in de schaduw.

2) Onze verklaring: sterk éézijdige belichting in de schemering, zodat het algemene diffuse licht bijna verdwenen is dat in de dag van alle kanten invalt, verstrooid wordt en zich op alle spiegelbeelden superponeert; daarenboven kan er wegens de grote invalshoek bijna geen licht in het water dringen.

verstrooid wordt. De rimpels die over het oppervlak lopen zijn nu alleen waar te nemen door de lichtbreking welke ze veroorzaken: onder het wateroppervlak schijnen de voorwerpen een weinig heen en weer te gaan, het lijkt wel alsof het water een gelei-achtige massa was.

c. Neem een spiegelkje en dompel dat onder water (fig. 167); houd het onder verschillende hellingen en beoordeel aldus de

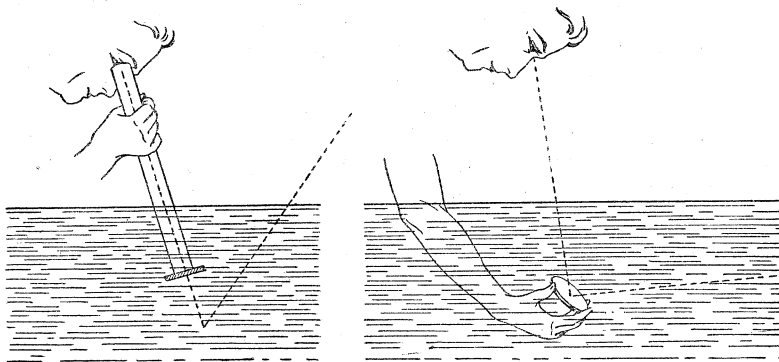


Fig. 167. Het waarnemen van de kleur van het water zonder dat de terugkaatsing aan het oppervlak stoort.

kleur van het licht dat van buiten in het water dringt en een zekere weg door het water heeft afgelegd. ¹⁾ Als u de proef neemt in een willekeurige sloot, zult u de geelachtige kleur van het licht waarnemen, die aan echte absorptie toe te schrijven is. In zeer ondiep water is het al voldoende een witte scherf op de bodem te laten vallen of er een wit papier in te duwen. — In de zee gebruikt men voor een dergelijk doel een witte schijf, die op een zekere diepte wordt neergelaten; maar dit behoort niet meer tot de eenvoudige proeven.

d. Gebruik een *waterkijker*: niets dan een buis van blik, zo mogelijk voorzien van een er op gekit ruitje (fig. 167). Hiermee beoordeelt u de kleur van het licht, dat van uit de diepte terugkeert door verstrooiing van de bodem of van de zwevende stofdeeltjes. Vooral te gebruiken als men baadt. Op ouderwetse schepen vindt men nog wel een zekere gelegenheid, waar de

1) Wittstein, Ann. d. Phys. 45, 474, 1858.

opening vertikaal in het water uitkomt: dit is een echte waterkijker op grote schaal!

e. Kijk door een nicol, zo gericht dat hij het teruggekaatste licht uitdooft (§ 220).

216. De kleur van de zee.

De terugkaatsing is de grote faktor die in 't algemeen de kleur van de zee bepaalt. Maar die terugkaatsing is oneindig verscheiden van aard, omdat het oppervlak van de zee een bewegend, levend ding is, dat zich rimpelt en golft al naar de wind en de strandvorm. Hoofdregel: alle spiegelbeelden in de verte zijn naar de horizon toe verschoven, doordat we tegen de hellende kanten der verre golfjes aan kijken (§ 19). De kleur der zee in de verte is dus ongeveer die van de hemel op 20° tot 30° hoogte, dus donkerder dan de hemel vlak boven de kim (§ 181); en dit des te meer, omdat slechts een gedeelte van het licht teruggekaatst wordt.

Daarnaast heeft de zee echter „een eigen kleur”: de kleur van het licht, dat uit de diepte terugverstrooid wordt. Van een optisch standpunt is kenmerkend voor de zee dat zij in 't algemeen *diep* is, zo diep dat er praktisch geen licht van de bodem terugkeert. *De eigen kleur van de zee is dus te wijten aan de samenwerking van verstrooiing en absorptie in de watermassa.* Een zee die alleen verstrooit zou er (afgezien van de terugkaatsing) melkwit uitzien, want alle stralen die er in dringen moeten er tenslotte ook weer uit. Een zee die alleen absorbeert zou zwart als inkt zijn: want dan keren de stralen slechts terug als ze de bodem bereikt hebben en op die zeer lange weg is de geringste absorptie al voldoende om ze uit te doven. Bij samenwerking van verstrooiing en absorptie echter ontstaat de kleur: de lichtsoorten die weinig verstrooid worden dringen het diepst in het water door eer ze terugverstrooid worden, en op die langere weg worden ze het sterkst door de absorptie verzwakt. In grote trekken kan men zeggen dat de lichthoeveelheid die uit de diepte terugkeert des te groter wordt, naarmate de breuk $\frac{\text{verstrooiingscoëfficiënt}}{\text{absorptiecoëfficiënt}}$ toeneemt. De volledige theorie is echter ingewikkeld.

Een eenvoudig proefje geeft ons een beeld van de wijze waarop de kleur der zee ontstaat. Een blauwgekleurde vloeistof in een bakje van zwart papier-maché stelt een heldere zee voor, zo diep dat we niets van de bodem meer zien; ze lijkt pikzwart. Giet hierbij een troebele vloeistof, bijvoorbeeld verdunde melk: de lichtblauwe kleur komt ineens te voorschijn. — Evenzo kun-

nen we een blauw glaasje leggen a) op zwart papier; b) op wit papier.

Een rechtstreekse invloed van de bodem op de kleur van het watervlak is in onze zeeën niet waar te nemen, althans zodra zij meer dan een meter diep zijn. Ruskin beweert,¹⁾ dat de bodem op 100 m diepte nog merkbaar tot de kleur der zee bijdraagt; en dergelijke beweringen hoort men van veel zeelui. De waarheid is, dat een plaatselijke verheffing van de bodem daar ter plaatse de golfslag en de rimpeling van het water wijzigt; terwijl er daar ook allicht meer vaste deeltjes opgewerveld worden dan in diepe zee, zodat de verstrooiing toeneemt. De bodem heeft dus wel invloed, maar niet rechtstreeks. — Aan kusten waar de zee mooi groen is, ziet men de donkere rotsen en de bossen donker zeewier dikwijls onder de waterspiegel doorschijnen; ze vertonen dan steeds een verrassende *purperen* tint, die ongetwijfeld door tegenstelling met het omgevende groen moet ontstaan. Het oog wordt nog bijzonder gevoelig voor dit contrast door de wazige sluier, die de lichtverstrooiende waterlaag over alles uitspreidt. (Vgl. § 225).

217. Licht en kleur aan het Noordzeestrand.

1. Windstilte, blauwe lucht.

Een spiegelgladde zee in ochtendrust. De hemel blauw, overal blauw, maar nevelig. Alleen vlak vóór ons aan 't strand krult af en toe een smal golfje en tekent zich een schuimrandje af, dat even fluistert en wegsterft. Het is zò stil . . .

We staan op de dijk. Het zee-oppervlak ligt vóór ons als een landkaart. Een gedeelte is zo effen, dat het de zuivere weer spiegeling van de blauwgrijze hemel erboven vertoont, onverschoven, zoals een meer dat kan doen. Andere gebieden zijn ook blauwgrijs, maar hebben een donkerder toon; ze zijn duidelijk begrensd, hun verdeling is zo overzichtelijk, dat men ze onwillekeurig gaat natekenen. Maar na betrekkelijk korte tijd blijkt al, dat ze zich geheel verplaatst hebben. De lichter gekleurde gebieden kunnen dus geen „zandbanken” zijn, zoals de badgasten gewoonlijk weten te vertellen; zij ontstaan, doordat er een onzichtbaar, uiterst dun olielaagje over het zee-oppervlak uitgespreid is, zoals wij dat reeds in sloten en singels hebben opgemerkt (§ 215), en dat voldoende is om de rimpelingen te dempen.²⁾

1) Modern Painters III, blz. 304.

2) Rechtstreeks meting toont aan, dat in die gebieden de oppervlaktespanning van het zeewater abnormaal gering is (Sjoelejkina, C. R. Leningrad, 1, 494, 1935).

Dergelijke olielaagjes zijn hier vermoedelijk afkomstig van het kielwater van schepen, of van stookolie die zij hebben geloosd. Waar het oliehuidje ontbreekt, vertoont het water lichte rimpeningen, — hetgeen ook later op de dag zal blijken, als de zon over de zee staat en de gerimpelde gebieden doet schitteren als een wemeling van licht. — Nu vertonen deze gebieden een donkerder kleur, 1. doordat de voorkant van elk rimpeltje een hoger, dus dieper blauw gekleurd deel van de hemel terugkaatst; en 2. doordat die terugkaatsing minder rakelings gebeurt, dus minder lichtsterk is. Met een nicol, waarvan de trillingsrichting vertikaal staat, ziet men de donkerder gebieden *veel* donkerder, het onder scheid met de lichte gebieden wordt sprekender. — Dat de

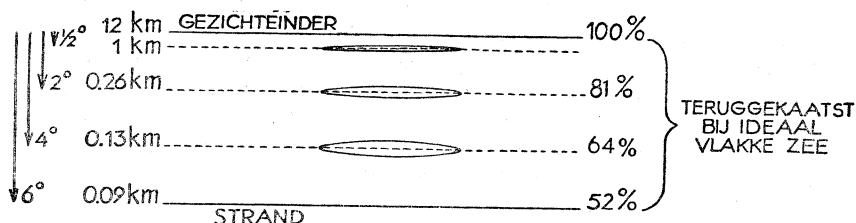


Fig. 168. De zee, gezien van op een 9 m hoge dijk. De ellipsen stellen voor, hoe een cirkel op verschillende punten van het zee-oppervlak perspectivisch verkort lijkt.

grenzen tussen de verschillende gebieden vrijwel overal evenwijdig aan de kust schijnen te lopen, is een gevolg van de perspectivische verkorting; in werkelijkheid kunnen de oliegebieden allerlei vormen hebben (fig. 168). Een paar werkelijke zandbanken tekenen zich af door een iets geler tint, maar alleen als de zee er uiterst ondiep is, bijvoorbeeld 10 of 20 cm.

Na de middag wordt gebaad en dan blijkt hoe ongewoon helder het water van die rustige zee is; tot een meter diepte zien we alle bijzonderheden van de bodem en zelfs heel kleine zwemmende dieren. Er zweeft weinig of geen zand in het water; alleen waar een golfje net gaat breken wervelen aan de achterkant kleine zandwolkjes op. Als we vlak bij ons op het water neerkijken, hindert de terugkaatsing van de hemel weinig of niet en zien we op een diepte van 20 cm het gelige zand van de bodem. Gaan we tot een diepte van 1 m of 1,50 m, dan gaat de kleur over in een verrukkelijk groen; we voegen onze handen tot een kokertje bijeen, dat ons als een waterkijker dient om de terugkaatsing van de hemel te vermijden (§ 215). Dit groen is de kleur van het licht, dat in het water gedrongen en terugverstrooid

is. — Zodra we echter naar het zee-oppervlak iets verder van ons kijken, overweegt de terugkaatsing en weerspiegelt alles de blauwe lucht. Een kleurenspeel van zeegroen en hemelsblauw!

's Avonds gaat de zon onder achter een blauwgrijze wolkenbank van enkele graden hoogte. Daarboven stralen de oranje en gele kleuren van de schemering, die hoger geleidelijk in het donkerder avondblauw van de hemel overgaan. De zee is nog even rustig gebleven en weerspiegelt zonder verschuiving het hele tafereel: maar doordat we nu naar 't Westen kijken, komen de kleinste rimpelingen te voorschijn (§ 20): in het gedeelte van de zee dat het verst van ons af is, waar de blauwgrijze wolkenbank weerspiegeld wordt, tekent ieder rimpeltje een oranjegeel lijntje (de hellende golf weerspiegelt een hoger deel van de lucht). En dicht bij ons, waar de zee oranjegeel is, loopt er een donkerder arcering door: de weerspiegeling van weer hogere, blauwere lucht. Naar het NW en ZW, waar de schemeringskleuren verdwijnen en wij niet meer loodrecht op de golfjes kijken, weerspiegelt de zee zuiver de eenvormige wolkenbank, onveranderd van tint en helderheid, zodat de kimlijn verdwijnt, en zee en lucht ineensmelten, terwijl de zeilboten in de verte schijnen te zweven in een blauwgrijze oneindigheid. — Op een volgende avond, bij ongeveer gelijke weertoestand en wellicht nog minder wind, waren ook 's avonds de gebieden zichtbaar die met een oliehuidje bedekt waren: zij weerspiegelden de blauwgrijze wolkenbank, terwijl de gerimpelde gebieden door verschuiving de oranjegele lucht terugkaatsten.

2. Zwakke wind, helderblauwe lucht met enkele afzonderlijke wolkjes.

Ik ben nog niet op de dijk, of ik word al getroffen door de felle tegenstelling tussen de zwartblauwe zee en de lichte lucht bij de kim. Het zicht is buitengewoon goed, ragscherp tekenen de kim en de verre voorwerpen zich af en deze toestand blijft de hele dag heersen. Er is enige westenwind, de brandingsgolven omzomen de kust met twee of drie rijen schuim, maar in volle zee is er geen schuim te zien. — We vatten post op de dijk.

Bekijk de afzonderlijke brandingsgolven die zich bij het strand vormen (fig. 169). De vóórkant is donker geel-groen-grijs, want onze blik dringt steil in de voorste helling van de golf binnen, we krijgen dus weinig teruggekaatst licht en dan nog van een donker stuk van de hemel; wel zien we het geelgroene licht dat terugverstrooid uit de diepte der zee komt, of dat door de achterkant van de golf is binnengedrongen en nu aan de voorkant

uittreedt : maar dat is eigenlijk heel zwak, de voorkanten van de golven zijn donker. Daarentegen weerspiegelt de achterkant de bleekblauwe hemel bij de kim. Zo vertoont elke golf een mooie tegenstelling tussen de donkergeelgroene voorkant en de lichtblauwe achterkant. Deze achterkanten zetten zich tussen de brandingsgolven voort in brede, weinig gerimpelde en goed spiegelende vlakke valleien, die insgelijks lichtblauw zijn. De twee of drie rijen zandbanken, die zich langs onze kust uitstrekken, zijn ieder duidelijk te herkennen aan hun brandingsgolf, terwijl de tussenruimten gladder en rustiger zijn.

Verder van het strand af wordt de arcering der golfjes fijner

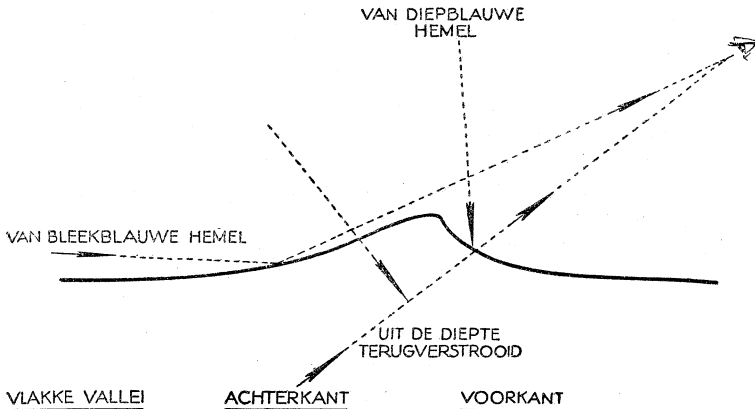


Fig. 169. Het ontstaan der verschillende kleuren bij een golf van de zee.

en fijner. Er zijn geen brandingsgolven meer, maar de tegenstelling in kleur tussen de voorste en de achterste helling blijft bestaan. Doordat we meer rakelings over het water kijken, zien we de valleien tussen de golfjes niet meer en tenslotte verdwijnen de achterkanten geheel; de voorkanten worden minder steil, en weerspiegelen nu voornamelijk de hemel op een 25-tal graden hoogte. Door deze „verschuiving der spiegelbeelden” (§ 19) ontstaat de donkerblauwe kleur der zee en de tegenstelling tussen zee en lucht bij de kim; die tegenstelling is vandaag zo sterk, omdat de lucht bij de kim zo licht is, en al op korte afstand daarboven zo diepblauw. Ga dit na, door met een spiegelkje het beeld der hogere delen van de hemel nabij de kim te werpen: het is verrassend! Merk tevens op, dat de zee in de verte nog heel wat donkerder is dan de donkerste delen van de hemel: het

terugkaatsend vermogen van het zeeoppervlak is ver van 100 %. De tegenstelling tusschen zee en lucht, die het sterkst is in het Westen, wordt geringer naar Noord en Zuid: dit komt, omdat de meeste golfjes uit het Westen aankomen; naar Noord en Zuid kijken we meer evenwijdig aan de golfkammen, die dus minder invloed hebben (§ 20).

Wellicht zouden wij er aan kunnen twijfelen, of de sterke tegenstelling die de zee vandaag met de lucht vertoont nog niet een andere oorzaak heeft dan de snelle helderheidstoename van de blauwe lucht nabij de kim. De natuur zal ons overtuigen: even bedekt zich een deel van de Westelijke hemel met cirrus-sluiers, zodat de lucht over de eerste 30° ongeveer gelijkmatig witachtig is; onmiddellijk is in die richting het sterke contrast van de zee met de lucht verdwenen en heeft zij een veel grijzer, lichter tint aangenomen. Als daarna de cirri verdwijnen, herstelt zich het contrast.

De grote invloed van de terugkaatsing op de kleur der zee mag er niet toe leiden, de andere factoren helemaal te verwaarlozen. Hier en daar ziet u de schaduw van een afzonderlijke wolk. Daar is de zee donkerder, over de zonnige gebieden lijkt ze meer zandkleurig; maar dit laatste is een contrastverschijnsel, want als u door de holle hand of door het gaatje van de nigrometer kijkt (§ 179), ziet u dat ze daar eigenlijk ook blauw is, — ofschoon minder dan in de schaduwgebieden.¹⁾ In elk geval bewijzen deze schaduwen duidelijk, dat de kleur der zee niet geheel door terugkaatsing wordt bepaald, maar dat een gedeelte van het licht terugverstrooid uit de diepte komt. De schaduw wordt zichtbaar, omdat het terugverstrooide licht daar geringer is dan elders, terwijl het teruggekaatste licht niet verzwakt wordt (§ 216).

Schijnt het zand van de bodem niet rechtstreeks door het water heen en kan men aldus de zandbanken niet van verre herkennen? Naar mijn ervaring niet, althans niet voor een waarnemer die op de dijk of aan 't strand staat. Men ziet het zand slechts daar, waar het water uiterst ondiep is, misschien 10 tot 20 cm. De plaats van de zandbanken komt echter te voorschijn doordat zich daar brandingsgolven vormen en doordat de tussenruimten effener zijn (§ 216).

Merkwaardig is, *dat de zee nabij de kim dikwijls een zoom heeft waar het grijs overgaat in blauw* (of het blauw in donkerder blauw);

1) De Noordzee vertoont het mooiste blauw als ze helemaal effen is, de lucht in 't Westen helderblauw, de zon door wolken afgeschermd zodat de zee in de schaduw ligt.

die zoom is wellicht maar een halve graad breed ; hij verdwijnt als we van de dijk afdalen en aan 't strand gaan kijken, hij verdwijnt nog vollediger als we ons aan 't strand bukken! Het is dus geen contrastzoom (§ 97). Waarschijnlijk ontstaat hij, doordat de zee betrekkelijk donker is en dus in de verte *door de verstrooiing van de lucht* blauwachtig wordt (§ 178).¹⁾ Ook zou denkbaar zijn, dat de zee op die grote afstand van de kust minder troebel is en dat we dus rechtstreeks het helderder water in de verte herkennen, als we maar hoog genoeg staan om zo ver te kunnen zien.

Later op de dag verplaatst zich de zon en in de namiddag zien we duizenden fonkelingen op het water in de richting van waar ze schijnt. Haar eigenlijke spiegelbeeld zien we niet, daartoe kijken we veel te vlak over 't water, we zien alleen een stuk van de ontzaglijke lichtzuil die zij over het onregelmatig golvend oppervlak teweegbrengt. De zee wordt naar die richting toe lichtgrijs, bijna wit.

Na zonsondergang weerspiegelt de zee in het Westen de heldere lichtschijs en de goudkleurige cirrusluiers ; door de golving van het oppervlak en de verschuiving der spiegelbeelden vertoont zij ons de gemiddelde tint van het Westelijk gedeelte van de lucht. Naar Noord en Zuid is de hemel minder gekleurd en zijn de tinten der zee doffer. Onze blik wordt steeds weer naar de kleurenpracht van het Westen getrokken. Hier en daar is er tussen de goudgele wolken een stuk blauwe lucht te zien, dat door de tegenstelling onwaarschijnlijk mooi verzadigd lijkt. Geleidelijk gaan de kleuren in oranje over en de zee volgt die tint, terwijl het schuim der brandingsgolven door contrast violet lijkt. Helemaal op de voorgrond is een strook nat zand, dat net door de golven bevochtigd is en dat effen en zuiver bepaalde delen van de hemel weerspiegelt (zonder verschuiving!): eerst prachtig helderblauw, later zachtgroen. Tenslotte zijn de cirruswolken in 't Westen niet meer verlicht, ze krijgen een donker-violette kleurtoon en evenzo dempt zich de kleur der zee ; maar onder deze rustige avondkleuren trekt nog de voorste strook nat zand een streep van warm oranje.

3. *Opkomende krachtige wind, grijze lucht.*

Over heel de zee hebben de aanrukkende golven schuimende kopjes, vier of vijf franjes van schuim omzomen de kust ; uit het Zuidwesten waait de wind en jaagt de golven voor zich uit. De

1) Die zoom was ook duidelijk op dagen met *geheel struktuurloze grijze hemel*, maar matige wind en vrij donkere zee.

zee is grijs zoals de wolken, ietwat groenig grijs; dicht bij de kust zien we de afzonderlijke golfjes en kunnen nagaan, dat het groenige bestanddeel van de kleur afkomstig is van de voorste hellingen der golven, die weinig licht weerspiegelen, maar grauw-groen verstrooid licht uit het inwendige laten uittreden. Het water schijnt erg troebel, er is roering en er moet veel zand in 't water zweven. Naar het Zuidwesten, van waar de wind komt, is de zee het donkerst; naar 't Zuiden en vooral naar 't Noorden toe wordt haar tint lichter en nadert tot die van de grauwe lucht, hoewel nog iets donkerder blijvend (hier kijken we evenwijdig aan de richting der golfjes). Nabij de kim is de zee blauwiger; het is de kleur der donkere lage wolken, blauwend door de lucht-verstrooiing op deze grote afstanden, terwijl ze boven onze hoofden gewoon helder- of donkergrijs zijn; hierbij komt nog het verschijnsel van de blauwe kimrand (blz. 317). Waar een afzonderlijke sombere wolk te midden van de grijze lucht hangt, is op het oppervlak der zee het onduidelijke, verschoven spiegelbeeld te herkennen, donker blauwgrijs. Nergens is de kim scherp; vooral naar het Zuiden en naar het Noorden werpt het schuim van de branding een nevel van waterdruppeltjes in de lucht, die reeds op enkele kilometers afstand het zicht merkbaar slechter maakt en in de verte zee en lucht in elkaar doet vervloeden.

— Bij opklarend weer met NW-wind gelijk de toestand enigszins op de hier geschetste, maar de hemel is een verward door-elkaar van stukken blauw, fel door de zon verlichte, witte wolken (lichtgeel getint door het luchtperspektief, § 178), en donkere, blauwachtige massa's. Naar elke windstreek weerspiegelt de zee een gemiddelde van de hemelkleur op 20°—30° hoogte. Alleen de grote partijen zijn in die weerspiegeling terug te vinden; wel het meest vallen de zonbeschenen wolken op, die een glans van licht werpen over de onrustige, donkere zee.

4. *Storm.*

Nog ben ik achter de dijk en de huizen, en reeds hoor ik de zee razen, luid. Van op de boulevard zie ik de gehele brandings-zoom, ruim $\frac{2}{3}$ van het zeetafereel, met ziedend schuim bedekt, wit bij de golfkammen, vuilwit en uiteengerafeld tot een netwerk in de dalen tussen de golven. Evenals gewoonlijk is de vóórkant der golven donkerder in 't Westen dan naar Zuid of Noord, en daardoor lijkt het tafereel naar West rijker aan tegenstellingen en wilder. In hoge zee steken afzonderlijke schuimende koppen aan alle kanten op uit het donkere water. Een zonbeschenen

strook ver in 't Zuiden tekent zich scherp en schitterend felwit af op het schuimend oppervlak, lijkt eerst heel smal en lang, nadert, en groeit tot een heel gebied. Sterk komt de zandkleur van het water te voorschijn, in de gedeelten waar schuim ontbreekt en de zonbeschenen zee donkere wolken weerspiegelt; bij deze belichting is het terugverstrooide licht zo sterk mogelijk, temeer omdat de roering van de aanstormende golven veel zand zwevende houdt. De lucht is hier en daar zeer donker, elders weer lichter en er zijn enkele stukken blauw; de verschoven spiegelbeelden zijn heel onduidelijk terug te vinden in de algemene tinten der zee. — De allesoverheersende indruk is het schuim.

Onderzoek licht en kleur over de Noordzee bij allerlei toestanden van zee en lucht!

Beoordeel de kleurverdeling van op de dijk; daarna afdalen tot aan 't strand om de afzonderlijke golfjes te bestuderen. Onderzoek ook de kleur der zee als u aan 't baden bent; bekijk de golfjes dan ook eens in de richting van zee naar land; zoek de schaduw van andere baders en van uzelf! Gebruik de waterkijker. — Wandel op het zuidelijk havenhoofd van IJmuiden, en vergelijk de zee tussen de havenhoofden met de zee daarbuiten! De toestand van de lucht is dezelfde, verschillen ontstaan door verschillen in golving van het oppervlak of verschillen in troebelheid.

Onderzoek elke dag de duidelijkheid van de kim, en vraag u af waarvan die afhangt; vergelijk daartoe steeds de horizon in verschillende richtingen. Meestal is de zee donkerder dan de lucht, maar als de bewolking gelijkmatig grauw is tot wel 40° hoogte wordt de kim haast onzichtbaar.

Onderzoek de algemene helderheid van het zee-oppervlak in de late avond en 's nachts. Die is dan zo goed te beoordelen, omdat men geen last heeft van kleurverschillen en niet wordt afgeleid door kleine bijzonderheden.

Hoed u voor contrastverschijnselen! Om verschillende delen van de zee en de lucht met elkaar te vergelijken, kunt u met voordeel een spiegelkje gebruiken (§ 181). Houd de hand of een ander donker voorwerp tussen de twee te vergelijken velden A en B, die aldus aan beide kanten aan hetzelfde vlak grenzend gezien worden. Gebruik de nigrometer!

Verwar nooit de *schaduwen* en de *spiegelbeelden* der wolken, die op geheel verschillende plaatsen vallen! Bij een lucht met afzonderlijke wolken wordt de gehele lichtverdeling over de zee beheerst door de combinatie van spiegelbeelden en schaduwen.

218. De kleur van de zee, gezien van op een schip.

Vergeleken met het tafereel aan het strand, is er een groot verschil: het ontbreken van de brandingsgolven. Daardoor is het gehele beeld veel symmetrischer om den waarnemer. De symmetrie wordt echter toch nog gestoord door de wind, die een voorkeursrichting aan de golfjes geeft; door de rook van het schip, die als een donkere wolk werkt; door het schuimende kielzog; door de zon.

Naast en achter het schip, daar waar wolken luchtbelletjes voortdurend door het water worden gejaagd en dan langzaam opstijgen, ziet men duidelijk een mooie, groenblauwe tint. Dezelfde tint bemerkt men, teruggekaatst door de witte buik van de bruinvissen die om het schip spelen; of door een wit keitje dat men in het water laat vallen. Men ziet ze in alle oceanen, zowel daar waar de zee als geheel indigoblauw als daar waar ze groen is, telkens als we witte voorwerpen op kleine diepte waarnemen dwars door een dunne waterlaag: we willen ze de „waterkleur” noemen.

Zij ontstaat, omdat het licht op zijn weg door het water tengevolge van echte absorptie vooral zijn gele, oranje en rode bestanddelen verliest; de groenige tint is wellicht daaraan te wijten dat de violette stralen het sterkst wegverstrooid worden.

De gedeelten met weinig schuim tussen de schuimende groene massa's vertonen meestal een purperkleur, die complementair is van het groen en als physiologische tegenstellingskleur op te vatten is (§§ 101, 216, 225).

In ondiepe zeeën, dicht bij de havens of aan de mondingen van grote rivieren, is het zeewater zeer troebel. Daardoor wordt er betrekkelijk veel licht uit de diepte terugverstrooid, zodat de omstandigheden enigszins dezelfde zijn als bij het bekijken van de zwermen luchtbellens in het kielzog van het schip. De groene kleur is hier overheersend, wellicht ook omdat het rivierwater humuszuren en ferri-verbindingen aanvoert (§ 213), waarvan de geelachtige absorptie zich op de blauwgroene waterkleur superponeert. — Het is op zulke ondiepe, groene zeeën dat de wolken-schaduw en zich prachtig purperviolet aftekenen op windstille dagen (§ 222).

De „waterkleur”, die door witte voorwerpen op kleine diepte wordt vertoond, is echter in 't algemeen niet dezelfde als „de eigen kleur van de zee” in haar volle diepte. Terwijl de waterkleur groen is, kan bijvoorbeeld de eigen kleur der zee blauw of indigo worden, wanneer de verstrooiende deeltjes heel fijn zijn en bij voorkeur de blauwviolette stralen terugzenden.

Om deze eigen kleur der zee te onderzoeken moet het teruggekaatste licht vermeden worden, door bijvoorbeeld tegen de voorkant van een golf te kijken, of een der hulpmiddelen van § 215 te gebruiken. Deze eigen kleur van de diepe zee verschilt zeer duidelijk volgens de zee waarin men vaart; gedurende een reis

van Nederland naar Indië bijvoorbeeld is dat prachtig waar te nemen. In hoofdzaak geldt volgende verdeling: ¹⁾

olijfgroen	boven 40° N.Br.
indigo	tussen 40° en 30° N.Br.
ultramarijn	beneden 30° N.Br.

Soms komt het vóór, dat olijfgroene gebieden als vlekken tot in lagere breedten afdalen. Het schijnt de moeite waard, te onderzoeken of die groene kleur op éénzelfde plaats niet wisselt met het jaargetijde, want er zijn aanwijzingen in die richting. ²⁾ De oorsprong van de groene kleur van bepaalde diepe zeeën is nog niet geheel opgehelderd. Er is waargenomen, dat hun water veel zwevende deeltjes bevat; toch kan men berekenen, dat de absorptie van water, gecombineerd met verstrooiing zelfs aan grote deeltjes, wel allerlei overgangen van donkerblauw naar bleekblauw of grijs kan veroorzaken, maar nooit de groene kleur verklaart. Sommigen hebben daarom gedacht aan diatomeeën en aan de uitwerpselen van vogels die zich met diatomeeën voeden. Anderen aan een eigen gele kleur van de verstrooiende deeltjes, die bijvoorbeeld uit geel zand zouden kunnen bestaan. Tenslotte werd tot ieders verbazing medegedeeld dat die groene kleur ontstaat door *fluorescentie* van een organische zelfstandigheid! ³⁾ De waarnemingen over invloed van het jaargetijde wijzen in elk geval duidelijk op een organische oorsprong.

In zeldzame gevallen ziet het zeewater er melkweit uit: blijkbaar zijn er dan zoveel zwevende deeltjes nabij het oppervlak, dat de verstrooiing geheel overheerst ten opzichte van de absorptie, en dat het licht reeds in de bovenste waterlagen terugverstrooid wordt.

219. De kleur van de meren. ⁴⁾

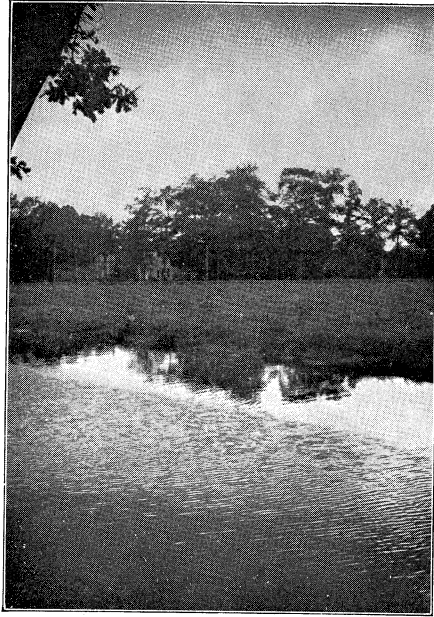
De kleur van het water der meren is een bron van grote schoonheid in het berglandschap. Hun diepte is meestal voldoende groot om de invloed van de kleur van de bodem gering te maken; in dit opzicht gelijken ze dus op de zee. Maar zij onderscheiden er zich van door de veel grotere effenheid, die zelf weer volgt uit het kleinere wateroppervlak en de meestal bergachtige oevers welke de wind tegenhouden. De regelmatige terugkaatsing door het oppervlak krijgt daardoor een veel groter belang dan bij de zee; nergens worden de kleuren van de zonsondergang zo heer-

1) Nat. 84, 87, 1910.

2) Ann. Hydr. 30, 429, 1902.

3) Ramanathan, Phil. Mag. 46, 543, 1923.

4) Arch. sc. phys. nat. 17, 186, 1904; 10, 101, 1905.

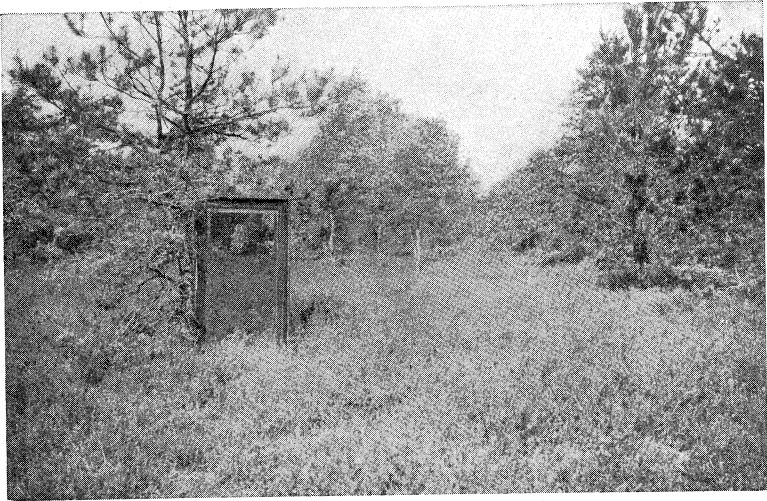


Rimpels in een wateroppervlak, gedempt door een onzichtbaar olieachtiglaagje. De wind waait naar de oever tegenover ons, en heeft het olielaagje naar de zijde van de sloot gedreven (§ 215). Let op de scherpe grens!

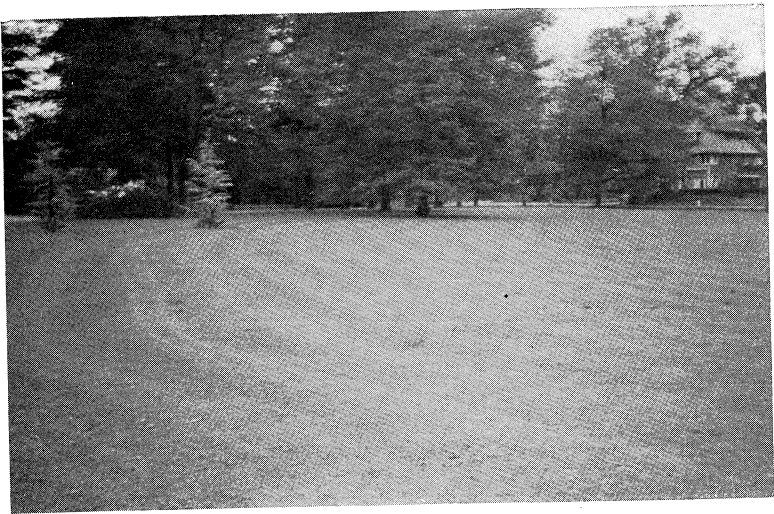


Singel bij regen. Waar het oppervlak met een olieachtig laagje is bedekt, brengen de regendruppels slechts zwakke rimpels teweeg (§ 215).

PLAAT XVI.



Een heideveldje, gezien in de richting van de zon af en naar de zon toe; dit laatste is in de grote, vertikaal opgestelde spiegel waar te nemen (§ 232).



Een grasveld met sporen van de snijmachine. De lichte en donkere banden verdwijnen als men loodrecht daarop kijkt (§ 232).

lijk weerspiegeld als bij een meer, en de zeer verschillende tinten der bergmeren zijn stellig voor een gedeelte toe te schrijven aan weerspiegeling van de oevers. Als deze echter hoog en donker zijn, wordt de terugkaatsing van het oppervlak uitgeschakeld, en ziet men over grote stukken van het meer de kleur van het licht, dat onder steile hoeken in het water gedrongen en weer naar buiten verstrooid is. Met behulp van de vroeger aangegeven hulpmiddelen (§ 215) krijgt men een indruk van die „eigen kleuren”. Ze zijn verschillend van meer tot meer, en kunnen volgenderwijze onderverdeeld worden : 1. zuiver blauw ; 2. groen ; 3. geelgroen ; 4. geelbruin.

Nader onderzoek in 't laboratorium heeft aangetoond, dat bij de blauwe meren het water bijna volmaakt zuiver is en dat de kleur ontstaat door de absorptie van het water in het oranje en rood. Bij de groen, geelgroen, geelbruin gekleurde meren komt er in steeds sterkere mate absorptie in het blauw en violet bij, tengevolge van het toenemend gehalte aan ijzerzouten en humuszuren, of tengevolge van de verstrooiing door bruingekleurde stofjes (§ 213).

De groene kleur van kleine vijvers is dikwijls toe te schrijven aan mikroskopische groenwieren, die in talloze hoeveelheden in 't water leven ; vandaar waarschijnlijk de tint van het „Groene Water” aan de Plasmolen te Mook, dat ook in de winter groen is, als de blaren afgevallen zijn en alles onder de sneeuw ligt. Het „Strandbad” aan de Onderste Molen bij Venlo was de hele zomer zachtgroen gekleurd door de groenwieren *Stichococcus* en *Synedra Ulvella*. Roodkleuring kan veroorzaakt zijn door andere mikroskopische wezentjes : *Beggiatoa*, *Oscillaria rubescens*, *Stentor igneus*, *Daphnia pulex*, *Euglena sanguinea*, of *Peridiniën*. Een plasje bij Tegelen was knalrood door *Sphaerella pluvialis*.

Voor de polarisatie, vgl. § 220.

220. Waarnemingen van de kleur van water met een nicol.¹⁾

Wij herinneren er even aan, dat een nicol alleen de lichtstralen doorlaat, welke „evenwijdig aan zijn korte diagonaal” trillen. Aangezien het licht dat door het water teruggekaatst wordt in hoofdzaak horizontaal trilt, kunnen we dit teruggekaatste licht dus verzwakken door de nicol met zijn korte as vertikaal te houden ; en zelfs is die uitdoving volledig, wanneer we onder een invalshoek van 65° met de loodlijn waarnemen („polarisatie-

1) C. R. 108, 242 en 337 ; 109. 412, 1889. — E. O. Hulburt, J. O. S. A. 24, 35, 1934. De waarnemingen kunnen ook met films van „polaroid” geschieden (§ 185).

hoek"). Doe de proef aan kleine plassen water op de weg, na een regenbui. Stel u op een afstand van 5 m en houd de korte diagonaal van de nicol loodrecht: het effect is verrassend, u ziet nu zó goed de bodem, dat het wel lijkt alsof er geen plas was! Draai de nicol afwisselend horizontaal en vertikaal; het is alsof de plas groter of kleiner werd.

In het algemeen verhoogt de nicol de kleur van het natte strand, zeewier, granietblokken, een natte weg, een tabaksveld, geverfde oppervlakken; kortom, van alle glimmende voorwerpen in het landschap. Want hij neemt altijd een gedeelte van de terugkaatsing aan het oppervlak weg, die een neutraal wit gemengd had bij de kleur van het ding zelf.

Bij rustige zee doet een nicol met verticale trillingsrichting de tegenstellingen sterker uitkomen tussen de zonnige gebieden en de wolkenschaduw: de aan het oppervlak teruggekaatste stralen worden uitgedoofd en de verschillen in 't verstrooide licht komen dus duidelijker te voorschijn.

Eveneens versterkt hij de tegenstelling tussen de gebieden der zee waar er een olielaagje op het water drijft en de overige (§ 215); wellicht omdat de terugkaatsing tegen de rimpelingen onder een andere hoek gebeurt dan tegen de gladde gebieden; ofwel omdat de polarisatie bij terugkaatsing door het olielaagje gestoord wordt. — Opvallend is de uitwerking van de nicol als er wind is. Kijk naar de aanstormende golven met vertikaal trillend licht: de zee lijkt nu veel ruwer dan bij waarneming in horizontaal trillend licht. Want in het eerste geval dooft de nicol het teruggekaatste licht uit, maakt dus het zeeoppervlak donkerder, terwijl het schuim zijn helderheid bewaart en meer opvalt.

Dikwijls wordt de kim duidelijker als men de nicol geschikt instelt. Zo was de uitwerking duidelijk op een ochtend te Zandvoort, in de richting naar 't Zuiden; bij verticale trillingsrichting werd de zee donkerder en de blauwe lucht (relatief) helderder (§ 217). Voor dit doel worden thans wel nicols in sextanten gezet.

De volgende proeven hebben betrekking op de polarisatie van het licht dat door diepe tropische zeeën met zuiver water wordt verstrooid.¹⁾ Neem aan dat we de proef kunnen nemen bij vrij hoge zon en effen wateroppervlak; keer de rug naar de zon, kijk ongeveer onder de polarisatiehoek en houd de korte diagonaal vertikaal: het teruggekaatste licht wordt uitgedoofd, en u ziet de prachtige blauwe gloed van het licht dat, na verstrooiing, uit de diepte komt. Draai de nicol tot de korte diago-

1) C. V. Raman. Proc. R. Soc. 101A, 64, 1922.

naal waterpas staat: de zee lijkt nu *minder blauw* dan zonder nicol. — Neem ook een proef bij halfhoge zon, weer de korte as vertikaal houdend, en variëer nu het azimuth; inzonderheid een vergelijking van de kleur naar de zon toe en van de zon af is belangwekkend: in het eerste geval ziet u een donkere indigo-kleur, omdat u, loodrecht ongeveer op de zonnestrallen kijkend, niet alleen het teruggekaatste licht, maar ook het uit de diepte verstrooide heeft uitgedoofd; in het tweede geval is de kleur helderblauw, omdat u in de richting ongeveer van de zonnestrallen kijkt die in 't water dringen, en het in uwe richting terugverstrooide licht bijna ongepolariseerd is. Beide proeven bewijzen, dat de verstrooiing van het licht in de zee voor een groot gedeelte gepolariseerd is zoals die aan de lucht (§ 185) en dus door zeer kleine deeltjes, vermoedelijk door de watermolekulen zelf moet geschieden.

Met de nicol heeft men ook een kenmerkend onderscheid gevonden tussen de terugverstrooide straling in blauwe meren en in donkere, bruine meren. Men vermijdt de terugkaatsing met behulp van een waterkijker (§ 215) en kijkt naar de windstreek waar zich de zon bevindt. De nicol leert nu, dat bij blauwe meren het terugverstrooide licht horizontaal trilt, zoals men verwachten kan wanneer de verstrooiende deeltjes heel klein zijn; terwijl de grotere deeltjes in bruinere meren vrijwel ongepolariseerd licht geven, waarin de verticale component bij het uittreden uit het water iets gaat overheersen (indien de waterkijker niet van een ruitje aan het eind voorzien is).

221. Schalen voor de schatting der kleuren van water.¹⁾

Veel gebruikt is de schaal van Forel. — Maak eerst een blauwe en een gele oplossing van kristallen kopersulfaat en kaliumchromaat:

0,5 gr CuSO_4 . Aq. + 5 cm^3 ammonia + water tot 100 cm^3 ;
0,5 gr K_2CrO_4 + water tot 100 cm^3 .

Maak nu de volgende mengsels:

(1) 100 blauw + 0 geel;	(7) 73 blauw + 27 geel;
(2) 98 „ + 2 „;	(8) 65 „ + 35 „;
(3) 95 „ + 5 „;	(9) 56 „ + 44 „;
(4) 91 „ + 9 „;	(10) 46 „ + 54 „;
(5) 86 „ + 14 „;	(11) 35 „ + 65 „;
(6) 80 „ + 20 „;	(12) 23 „ + 77 „;
	(13) 10 „ + 90 „;

1) W. Ule, Peter. Mitt. 38. 70. 1892.

Dikwijls doet zich de behoefte gevoelen aan bruinere tinten, vooral bij het schatten der kleur van meren. Maak daartoe een bruine oplossing:

0,5 gr. kobaltsulfaat + 5 cm³ ammonia + water tot 100 cm³.

Meng deze oplossing met de groene oplossing van Forel (trap 11):

(11)	100	groen	+	0	bruin	;	(11—6)	80	groen	+	20	bruin	;
(11—2)	98	„	+	2	„	;	(11—7)	73	„	+	27	„	;
(11—3)	95	„	+	5	„	;	(11—8)	65	„	+	35	„	;
(11—4)	91	„	+	9	„	;	(11—9)	56	„	+	44	„	;
i11—5)	86	„	+	14	„	;	(11—10)	46	„	+	56	„	;
							(11—11)	35	„	+	65	„	;

Deze verschillende mengsels kan men bewaren in reageerbuisjes van b.v. 1 cm middellijn.

De grote moeilijkheid bij de toepassing der schaal is vooral, te weten welk punt van het wateroppervlak men als maatgevend moet beschouwen. Meestal tracht men de eigen kleur van het water te beoordelen (§§ 215, 218).

Geen der schalen voldoet geheel. Men kan beproeven de tint met verf weer te geven en die voor latere vergelijking te bewaren.

222. Schaduwen op het water.

„Overall waar men een schaduw ziet op helder water en in „zekere mate ook op vuil water, daar is het niet als op 't land „een donkerheid die de algemene zonnige tint dempt tot een „lagere toon, maar het is een gebied van geheel andere kleur, „dat zelf door zijn terugkaatsingsvermogen onderworpen is aan „oneindige verscheidenheden van diepte en tint en onder som- „mige omstandigheden geheel onzichtbaar kan worden.”¹⁾

Het licht dat wij van een wateroppervlak toegezonden krijgen, is voor een gedeelte afkomstig van het oppervlak en voor een gedeelte uit de diepte. Onderscheppen wij dus de invallende zonnestralen, dan kunnen beide bestanddelen gewijzigd worden.

a. Invloed van de schaduw op het teruggekaatste licht.

„Als het oppervlak gerimpeld is, wordt een zonnebeeldje „weerkaatst door elke ribbel tot op een bepaalde afstand van „den waarnemer, afhankelijk van de grootte en vorm van die „ribbels (vgl. § 16). Vandaar die verblindend heldere velden

1) Ruskin, *Modern Painters*, III, 505.

„van licht, die men zo dikwijls over de zee uitgespreid ziet. Ieder „voorwerp dat tussen de zon en die ribbels komt, ontnemt hun „het vermogen de zon terug te kaatsen en dus al hun licht : „alle tussengeschoven voorwerpen werpen dus op dergelijke „oppervlakken zeer krachtige schijnbare schaduwen van nauw- „keurig dezelfde vorm en plaats als de echte.”¹⁾

De waarheid van Ruskin's woorden kan men het best nagaan als het water van een singel b.v. sterk gerimpeld is, 's avonds bij winderig weer. We kijken al lopend naar de terugkaatsing van een straatlantaren, uitgebreid tot een onregelmatig flonkerende lichtvlek ; telkens zien we nu schaduwen over die lichtvlek schuiven, bijvoorbeeld die van bomen die zich tussen de lantaren en de singel bevinden. Zolang wij niet op het gunstige punt stonden, merkten wij niets van de aanwezigheid dezer schaduwen op het water ; ze komen slechts binnen een kleine ruimtehoek te voorschijn. Ruskin heeft lange discussies gevoerd met critici en belangstellenden over de vraag of men hier wel van „schaduwen” spreken mag.²⁾ Dit is natuurlijk een woordenkwestie!

Een ietwat ander effect is het, als de maan weerspiegeld wordt in een lange baan van licht en wij plotseling een zeilboot zien opdoemen die vóór deze schitterende lichtstrook schuift als een diepzwart silhouet. De boot wordt hier zelf als een donker *voorwerp* gezien tegen een achtergrond van licht ; maar zij werpt óók een *schaduw* naar ons toe over 't gerimpelde water, en daarvoor gelden dan weer de vorige beschouwingen.

b. Invloed van de schaduw op het terugverstrooide licht.

Op troebel water tekenen zich de schaduwen af ; de grotere of geringere duidelijkheid van de schaduw geeft onmiddellijk een indruk van de troebelheid of helderheid van het water. Let op de schaduwen van bruggen en bomen op onze binnenwateren ! Als u op zee vaart, zoek dan uw schaduw op het water : u vindt ze alleen aan die kant waar het schip het water in roering heeft gebracht en het met luchtbellen heeft vermengd, niet waar de zee helder en diepblauw is. Bemerkt de wolkschaduwen over het zee-oppervlak !

De schaduw wordt zichtbaar, omdat het licht dat in het water dringt en na verstrooiing terugkeert, op die plekken geringer is dan elders. Het aan de oppervlakte teruggekaatste licht daarentegen is niet verzwakt en krijgt dus een relatief groter belang.

1) *Modern Painters*, III, 504.

2) *Modern Painters*, appendix ; III, 655.

Vandaar dat bij blauwe lucht een wolkschaduw op zee dikwijls blauwachtig is; de tegenstelling met het omgevende groen kan die kleur nog iets naar purper verschuiven (§§ 216, 217, 218).

Naast de helderheid van het water is ook de waarnemingsrichting van belang. Bij het baden in zeer helder water ziet u geen schaduwen; bij het baden in licht troebel water ziet u alleen uw eigen schaduw en niet die der andere baders; bij zeer troebel water ziet u die van alle baders.

Merk op hoe de schaduw die een paal over het ietwat troebele

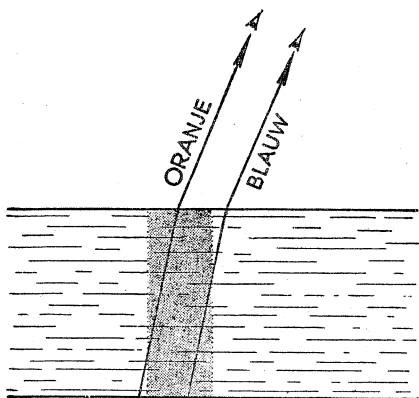


Fig. 170. Het ontstaan der gekleurde randen aan schaduwen in troebel water.

water van een singel werpt, alleen goed te zien is als u gaat staan in het vlak zonnepaal en dus naar de hemelstreek kijkt waar zich de zon bevindt: dan ziet u de schaduw vrij plotseling in het water opdoemen. Het is hetzelfde verschijnsel dat we al bij mist hebben beschreven.

Aan de schaduwen op licht troebel water is er nog iets anders waar te nemen: *hun randen zijn gekleurd*, de naar ons toegekeerde rand is blauwachtig, de van ons afgekeerde is oranje. Dit verschijnsel is op te merken

aan de schaduw van elke paal, van elke brug, van elk schip. Het is een gevolg van de verstrooiing door de ontelbare stofjes die in 't water drijven; daaronder zijn er ook veel zo klein, dat ze bij voorkeur de blauwe stralen verstrooien. Nu ziet men in fig. 170, dat de deeltjes aan de naar ons toe gekeerde zijde der schaduw lichtend gezien worden tegen een donkere achtergrond, zodat zij een blauwachtig licht naar ons oog zullen zenden; terwijl we aan de van ons afgekeerde zijde der schaduw het licht van de bodem zien (of van het verstrooiende water in de buurt), van blauwe stralen beroofd en oranje gekleurd door de niet verlichte deeltjes in de schaduw. Het verschijnsel is dus hetzelfde als de blauwe lucht en de gele ondergaande zon (§ 177). Het contrast der twee tegengestelde randkleuringen maakt ons oog bijzonder gevoelig er voor.

Onderzoek de kleur der randen van allerlei richtingen uit, voor allerlei verschillende gevallen van lichtinval en schaduw. Zeer duidelijk is ook de blauwige kleur van smalle lichtbundels die tussen 't gebladerte dringen, het water bereiken van een heldere sloot in het bos, en een oranje lichtvlek op de bodem maken.

223. **Lichtaureool om onze schaduw in water.** ¹⁾ (plaat XIIb)

*Ik zag ook de fijne middelpuntvliedende lichtspaken
om de schaduw van mijn hoofd in het zonbeschenen water . .*

*Straalt uit, fijne lichtspaken, van de schaduw van
mijn hoofd, van ieders hoofd, in het zonbeschenen water . . .*

*Walt Whitman, Met de Veerpont naar Brooklyn
(Leaves of Grass).*

Dit mooie verschijnsel ziet men het best, als men van op een brug of het dek van een schip naar zijn schaduw kijkt, die ergens op het onrustig klotsende water valt. Men ziet dan hoe duizenden lichte en donkere lijnen van de schaduw van ons hoofd naar alle richtingen uitstralen. Ieder ziet de aureool alleen om zijn eigen hoofd (vgl. § 173)! De stralen convergeren niet *nauwkeurig* naar éézelfde punt, maar slechts ongeveer.

Op rustig water is er niets van te zien; op water met regelmatige golven, ook niet; mooi wordt het verschijnsel alleen wanneer er aan alle kanten onregelmatige heuveltjes van het wateroppervlak oprijzen. Het water moet een weinig troebel zijn: naarmate men zich verder van de kust verwijderd en meer in volle zee vaart wordt de aureool zwakker. ²⁾ Opvallend is ook, hoe de algemene helderheid in de omgeving van de schaduw toeneemt.

Verklaring: elke oneffenheid in het wateroppervlak werpt achter zich een streep van licht of van schaduw; al die strepen zijn evenwijdig aan de lijn zon—oog. Wij zien ze dus perspectivisch samenkomen in het tegenpunt van de zon, d.i. in het schaduwbeeld van ons hoofd (§§ 187, 196).

Soms zijn de strepen zo duidelijk, dat men ze zelfs op vrij grote hoekafstand van het tegenpunt der zon nog volgen kan. Meestal echter zijn ze nabij het tegenpunt het duidelijkst, omdat onze gezichtsstraal daar over een grote lengte hetzij door helder verlicht water loopt, hetzij door beschaduwde water. De toename der algemene lichtsterkte in de nabijheid van het tegenpunt is wellicht daaraan toe te schrijven, dat de verstrooiing der stofdeeltjes in de terugwaartse richting sterker is dan dwars (§ 182).

1) K. Kalle, Ann. Hydr. 67. 22, 1939.

2) C. V. Raman, Proc. R. Soc. 101A, 64, 1922.

Een dergelijke stralenkrans is ook waar te nemen als we ons bevinden in de schaduw van een losse boomkruin, die plekken licht en donker werpt op een effen wateroppervlak. De bundels licht die in de vloeistof dringen geven hetzelfde optische effect als die welke door onregelmatigheden van het oppervlak ontstonden.

Het is interessant, te overwegen dat in werkelijkheid de lichtbundels in het water helemaal niet evenwijdig zijn aan de verbindinglijn zon—oog, want ze zijn tengevolge van de breking over een bepaalde hoek afgeweken. Maar daar staat nu tegenover dat ons oog de sporen dezer bundels in het water óók ziet vervormen door de breking en dus het deel van de bundel dat zich in het water bevindt toch in de verlenging ziet van het deel van de bundel dat in lucht loopt. ¹⁾

224. De waterlijn op de romp der schepen.

„Drie omstandigheden dragen er toe bij, de waterlijn op de „houten romp der schepen te verbergen: waar een golf *dun* is, „ziet men er een weinig de kleur van het hout doorheen; waar „een golf *glad* is, weerspiegelt ze een weinig de kleur van het „hout; en waar een golf *breekt*, bedekt haar schuim min of meer „de waterlijn.” ²⁾

Men zou echter evengoed kunnen beweren, dat de waterlijn juist door deze zelfde factoren zichtbaar wordt! Neem aan stiliggende en varende schepen waar, door welke optische verschijnselen wij beoordelen wáár het water begint, wáár zich dus de waterlijn bevindt.

225. Kleuren van watervallen. ³⁾

Bij watervallen ziet men bij goede belichting dikwijls zeer mooi de groene kleur van het water dat over de rotsen glijdt. Merkwaardig is nu, dat de rotsen, die hier en daar uitsteken, en die eigenlijk zwart of grijs zijn, een roodachtige tint schijnen te vertonen; het is voor de hand liggend dit als een tegenstellingskleur te verklaren (§ 101).

Het verschijnsel is het duidelijkst daar, waar het water wat schuimt en spat. Nu weet men dat in 't laboratorium tegenstellingskleuren altijd sterker optreden als men de grenzen tussen de velden onduidelijk maakt; om ons geval na te bootsen, kan

1) *Physica*, 11, 368, 1931.

2) *Ruskin, Modern Painters*, III, 526.

3) *Richard, Wetter*, 34, 69, 1917.

men b.v. een reepje grijs papier op groene achtergrond leggen, met een blaadje dun zijdepapier erover, en ziet dan de tegenstellingskleur die het grijs krijgt zeer fraai doorschemeren („Florkontrast“). Het schijnt niet onmogelijk dat in de natuur de lichte waternevel een dergelijke rol speelt.

Vgl. §§ 216, 218, 222.

226. De kleur der vaste stoffen.

Aan plassen, rivieren, zeeën hebben we prachtig kunnen bestuderen hoe het licht teruggekaatst wordt door het water, hetzij rechtstreeks aan het oppervlak, hetzij nadat het in de diepte is doorgedrongen en aan de zwevende stofdeeltjes is verstrooid. Daarmee hebben we meteen ook een model verkregen van de wijze waarop een vaste stof verlicht wordt en het licht weer terugzendt. Bij rotsen en gesteenten, aarde, boomstammen, die als „ondoorzichtig“ gelden, vinden wij samengedrongen in een oppervlaktelaagje van nog geen millimeter dikte al wat zich bij het water afspeelt in een laag van vele meters; de verstrooiing en de absorptie zijn zeer veel sterker, maar de optische verschijnselen zijn in wezen dezelfde. Het typische karakter van de vaste stof komt slechts in zoverre tot uiting, dat het oppervlak nu allerlei graden van gladheid, hobbeligheid of matheid kan vertonen: we spreken van regelmatige spiegeling, onregelmatige spiegeling of lichtverstrooiing.

Regelmatig spiegelende voorwerpen zijn zelden in het landschap. Natuurlijk denken we vooreerst aan het gladde oppervlak van het ijs, aan glazen kassen, aan metalen voorwerpen, aan glimmende takjes. Bij geglazuurde pannen daken en in streken waar leisteen gebruikt wordt, kan men waarnemen hoe fel de daken van een stadje soms het zonlicht weerspiegelen. Let eens op, hoe het leien dak van een dorpskerkje in de verte schittert, als oriëntering en helling toevallig passen! En als we van op een heuvel neerzien op een dorp in de Ardennen, of op een oud Duits stadje, bij het rustige licht der volle Maan, voelt u dan niet de zeer bijzondere stemming van gezelligheid en samenhang, die door de afwisseling der groepen donkere en belichte daken ontstaat? — De ruiten der huizen in de verte, die de rode ondergaande zon terugkaatsen, schitteren in warme gloed. — In de vers gevallen sneeuw fonkelen kristalplaatjes op de grilligste en meest onverwachte wijze, wanneer we ons toevallig in de richting bevinden naar dewelke zij het zonlicht terugwerpen.

Voorbeelden van *onregelmatig spiegelende oppervlakken* vertonen

ons de straatkeien, nat gemaakt door de regen. Daaraan ontstaan lichtzuilen, evenals aan golvend water, vooral wanneer men zeer schuin over het oppervlak kijkt. — Een eigenaardig kenmerk van de dingen die aan de oppervlakte spiegelen en inwendig verstrooien is, dat ze tegelijk een *spiegelbeeld* en een *schaduw* van de voorwerpen geven. We hebben dit al opgemerkt bij wolken over de zee (blz. 320); op kleine schaal is het aardig te zien aan vogels die bij zonschijn over vochtig zand rondtrippelen.

Maar verreweg de meeste dingen in de natuur zijn mat, ze zijn bedekt met zulke kleine hobbeltjes dat die niet meer echt spiegelend, maar *lichtverstrooiend* werken. Een bundel zonlicht die op akkergrond valt, op een zandvlakte, op sneeuw, verlicht die terreinen zó, dat ze van elke richting uit vrijwel even goed zichtbaar zijn. Pas bij nauwkeurige waarneming bemerken we, dat de lichtverstrooiing door een vaste stof toch verschillend is in de verschillende richtingen. — Let bijvoorbeeld 's avonds op, hoe u de grond goed verlicht ziet vóór elke lantaren, maar hoe alles voorbij de lantaren pikdonker lijkt; bepaal van op enige afstand zo nauwkeurig mogelijk waar zich het helderste punt bevindt van de lichtvlek die de lantaren op het wegdek werpt; bij nadering zult u steeds opmerken, dat u niet het punt onder de lantaren heeft aangewezen, maar een punt *dichter naar u toe*. Het licht is dus niet gelijkmatig naar alle richtingen verstrooid, het wegdek vertoont een overgang van de regelmatige spiegeling naar de alzijdige verstrooiing. — Een andere manier om de asymmetrie der lichtverstrooiing te bestuderen, bestaat in het vergelijken van het landschap van en naar de zon (§ 232).

Door de veelvuldigheid der verstrooiende oppervlakken ontstaan de zachte overgangen van licht naar donker, van de ene tint naar de andere in het landschap. De spiegelingen van het water en van enkele gladde oppervlakken werpen daartussen hier en daar heldere lichtaccenten, die leven geven en schittering.

227. De lichtverstrooiing door een berijpt oppervlak.

Wanneer na een tijdperk van vorst opeens het dooiweer invalt, bedekken zich de bomen en muren met een rijplaag van duizenden fijne ijskristalletjes. Deze nu verstrooit het licht op zeer bijzondere, vrijwel unieke wijze: loodrecht op de laag kijkend, ziet men bijna niets van het aanslag; maar hoe schuiner onze waarnemingsrichting, des te helderder wordt het muurvlak, tot bij rakelings kijken de laag geheel zilverwit lijkt.

Blijkbaar verstrooit elk kristalletje het licht naar allerlei richtingen als een stralend klein lampje. Hoe schuiner we kijken,

hoe meer van die lichtbronnetjes we binnen een gegeven ruimtehoekje zien; de onder een hoek ϑ met de normaal waargenomen oppervlakte-helderheid neemt dus toe evenredig met $\sec \vartheta$, tot we zò rakelings kijken dat de kristalletjes elkaar gaan bedekken. Het eigenaardige van deze verstrooiing zou ik juist willen zoeken in het feit, dat de afzonderlijke kristalletjes gescheiden zijn door vrij grote afstanden, zodat het slechts bij zeer schuine hoeken is dat de helderheidsgrens bereikt wordt. — Een analoog verschijnsel kan men soms waarnemen aan een helderwit oppervlak, besprenkeld met afzonderlijke waterdruppeltjes.

228. De kleur der groene bladeren.

Bomen, weiden, akkers zowel als de afzonderlijke blaadjes vertonen ons een weelde van groene tinten in eindeloze verscheidenheid. Om regelmaat te vinden in de rijkdom van verschijnselen onderzoeken we vooreerst één blad van een „gemiddelde” boom (eik, iep, groene beuk) en leren daardoor begrijpen hoe de kleurpartijen in het landschap ontstaan.

Een blad aan een boomkruin is meestal veel sterker belicht aan de éne dan aan de andere zijde; en nu komt het er erg op aan, *of we de rechtstreeks verlichte zijde bekijken of de achterkant*. In het eerste geval is het licht dat het blad ons toezendt voor een gedeelte aan de oppervlakte weerspiegeld, zodat de tint lichter maar grijzer wordt. Daarenboven mengt zich bij opvallend licht iets blauwachtigs, bij doorvallend licht iets geelachtigs bij het groen. Dat herinnert aan onze waarnemingen over lichtverstrooiing (§ 178)! Inderdaad spelen zich bij een blad, ook al is het nog geen millimeter dik, alle processen van terugkaatsing, absorptie en verstrooiing af, die we reeds zagen samenwerken toen we het water bestudeerden. De absorptie wordt hier teweeggebracht door de bladgroenkorrels, de verstrooiing geschiedt tegen de talloze korreltjes van allerlei aard waar de celinhoud zo rijk aan is, of ook tegen de oneffenheden van het bladoppervlak. Maar van een optisch standpunt is een blad nog veel ingewikkelder dan een meer of een zee, ja, een ingewikkelder object is nauwelijks te bedenken! *Het wordt namelijk niet aan één, maar aan twee kanten belicht*; en dan is nog het ene oppervlak meestal mat, het andere glimmend; terwijl ook de sterkte en de kleur van het invallende licht aan de twee zijden dikwijls verschillend zijn. De mogelijke combinaties van optische verschijnselen worden aldus bijna onafzienbaar.

Bijzonder bekoorlijk is het smaragdgroen van goed verlicht gras, gezien van uit de schaduw en tegen een donkere achter-

grond (fig. 171a). Het is letterlijk alsof elk blaadje inwendig gloeide in groene gloed. Het overvloedige zijdelings invallende licht wordt door de miljoenen korreltjes verstrooid, zodat het blaadje een stroom van zijdelings licht naar ons oog werpt.

Het verschil in kleur tussen een grasveld bij doorvallend licht en bij opvallend licht is onmiddellijk waar te nemen als men post

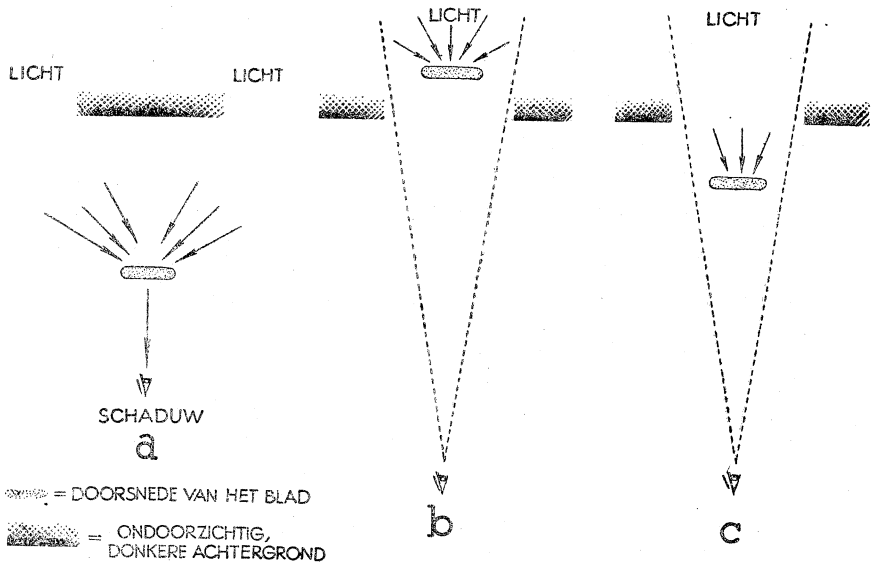


Fig. 171. Groene bladeren bij verschillende belichtingsomstandigheden.

vat in een weiland en afwisselend naar de zon toe en van de zon af kijkt. Met dit verschil komt overeen: het aan schilders welbekende onderscheid tussen het groen van Willem Maris in zijn tegenlichtlandschappen; en het groen van Mauve, die zich bij voorkeur van de zon afwendt.

Belichting door de zon en door de blauwe lucht verschillen daardoor, dat de zon sterker licht geeft, maar licht dat meer plaatselijk weerspiegeld wordt, zodat het blad vlekkerig gaat lijken. Weerspiegelt het blad de zonnestralen ongeveer onder de spiegelhoek, dan nadert de kleur meer en meer tot heldergrijs of wit. Als de zon zeer laag staat en het gehele landschap met dieprood licht overstromt, verliest het gebladerte der bomen zijn frisse groene tint en wordt vaal: er zijn bijna geen groene stralen meer in de lichtbron, die door de bladeren terugverstrooid kunnen worden.

Onder- en bovenkant van de bladeren verschillen van tint, ook al zou de belichting dezelfde zijn. De bovenkant is gladder, dus beter spiegelend, dus meer vlekkerig. De onderkant is doffer en bleker, vertoont meer huidmondjes, de cellen liggen veel lossen en er zijn tussenruimten die met lucht gevuld zijn en het licht terugkaatsen eer het in de diepte van het blad is doorgedrongen (§ 233). Meestal is de bovenkant ook de verlichte kant. Beproof welke kleurverschillen optreden als we een blad van de boom 180° draaien, terwijl de belichting enz. gelijk blijft! — Zodra de wind ietwat sterk wordt, zien alle bomen er aan de lichtkant vlekkerig uit, over 't geheel bleker van tint dan gewoonlijk: dan worden de bladeren in alle richtingen gedraaid, we zien er evenveel van de onder- als van de bovenzijde.

Jonge blaadjes zijn frisser, lichter van kleur dan oude; dat verschil neemt geleidelijk af in de loop van de zomer.

De bladeren aan de buitenkant van de kroon zijn anders dan die binnenin; „lichtbladeren” — „schaduwbladeren”. Grootte, dikte, beharing, maar ook kleur verschillen. De „waterscheuten” aan de voet van de boom en hier en daar langs de stam hebben meestal een zeer lichte kleur.

Tenslotte speelt de *achtergrond* een belangrijke rol! Plaats u onder een boom en bekijk de kruin: dezelfde bladeren die men sappig groen ziet stralen tegen de achtergrond van andere bomen, veranderen in zwarte silhouetten zodra men zich iets verplaatst en ze tegen de lucht bekijkt (§ 96). Het effect hangt af van de verhouding van de helderheid van het blad tot de helderheid van de luchtachtergrond en is dus zwak, als het blad van opzij verlicht wordt door de zon (fig. 171b); en het sterkst, wanneer het blad slechts hemelstraling ontvangt en wel van uit een beperkte ruimtehoek, zoals meestal het geval is als een boom door andere omgeven is (fig. 171c) of bij de eenzijdige belichting der schemering. Het verschil tussen het gewone groen en het zwarte silhouet is dan zo sterk, dat men nauwelijks aan gezichtsbegoocheling kan geloven. En toch is dit niets anders dan tegenstelling: de heldere hemel is zo ongelofelijk veel helderder dan de aardse voorwerpen!

Nog nauwelijks is het groen der boomen groene, en even zijn, toppewaarts, alleen de takken groen gebleven; al 't ander zwarter wordt en zwarter: boomen net, van zwarte zijde zijn 't op blauw satijn gezet.

*In 't heerlijk zonnenveld,
dat donker wordt omhoog,
en langzaam donkerder
en dieper, staan ten tooge,
geschreven, zwart op goud,
een bende reuzen groot:
het eindloos boomenvolk
in 't eindloos avondrood.*

G. Gezelle, *Rijmsnoer*, X (*Avondrood*).

*De groene boomen schijnen zwart,
en in 't verborgen
trilt hoop op morgen.*

R. de Clercq, *Nagelaten Gedichten*.

229. **Direkte invloeden van het licht op de kleur der groene bladeren.**

Behalve de in vorige paragraaf behandelde effecten, die zuiver optisch zijn, veroorzaakt het licht nog direkte wijzigingen in de planten, waardoor hun kleur binnen enkele minuten verandert.

In de schaduw rangschikken zich de bladgroenkorrels in het blad aan de boven- en onderzijde van de cellen, de planten maken een frisgroene indruk. Bij zonneschijn daarentegen verschuiven de bladgroenkorrels naar de zijkanten der cellen, en de bladeren gaan er gelig uitzien. Het verschil is bijvoorbeeld bij eendenkroos goed merkbaar.

Men bemerkt ook dat een aantal planten onder de invloed van zonneschijn en wind gaan schitteren alsof ze gelakt waren. (Voorbeeld: de monnikskap.) Dit is te wijten aan het zwellen der opperhuidscellen, waardoor het bladoppervlak glad gespannen wordt: het oppervlak verstrooit dan minder en weerspiegelt beter.

230. **Licht en schaduw in een boomkruin.**

... „Het gebladerte aan de omtrek van de boomkruin verdeelt zich tot een fijn stof, één en al gewemel van stippels en lijnen tussen u en de hemel. Dringt uw blik dieper in de kroon van de boom, dan wordt dit gewemel steeds dichter, maar nooit ondoorzichtig; het is altijd transparant, met openingen van licht, die u een doorkijk naar de lucht verlenen. Dan vertonen zich, zwaarder en zwaarder, de massa's verlicht gebladerte, verblindend en onontwarbaar, tenzij hier en daar waar een enkel blad aan het uiteinde voorkomt. Dan, onder deze massa's, diepe doorkijkjes van gebroken, onregelmatige duisternis, overgaand in doorzichtige, groen verlichte, wazige holten. De door elkaar gevlochten takken in hun veelvuldigheid. En de bundels zonne-

stralen van omhoog neerregenend, een ogenblik langs de glimmende bladeren lopend; dan zich verliezend, dan opnieuw opgevangen op een smaragden zode of op knoestige wortels, om opnieuw opwaarts verstrooid te worden op de witte onderkanten van onduidelijke groepen gebladerte; de schaduwten hogere takken als een grauw netwerk over de fluwelen stam lopend, en als ruitjesarcering op de glimmende aarde rustend. Maar alles doordringbaar en doorzichtig, en toch ook onontwarbaar en onbegrijpelijk; tenzij waar, dicht bij ons, dwars over de doolhof en het mysterie van verblindend licht en droomgelijke schaduw, twee of drie onbewegelijke grote bladeren zich aftekenen, het type en de verwezenlijking van al wat wij in het overige voelen en ons verbeelden, maar nooit afzonderlijk kunnen onderscheiden." 1)

De boomen waren breed en vol en 't licht dat rond de stammen hing was groen lijk maneschijn.

Timmermans, Pallieter.

231. De plantengroei in het landschap. 2)

De afzonderlijke bomen. — Van alle bestanddelen van het landschap zijn het vrijwel alleen de bomen die, bij zijdelingse belichting, de wondermooie tegenstelling vertonen tussen de zonbeschenen en de beschaduwde helft; daardoor zien wij ze als lichamelijke dingen, die ons telkens weer „de indruk geven, dat de ruimte met haar drie afmetingen een zichtbare werkelijkheid is.” Deze tegenstelling wordt verzacht door de ronding der boomkruinen, maar weer verlevendigd door de tegenstelling van de kleurtint.

Bomen in tegenlicht tekenen zich donker af tegen de verre achtergrond, waarvan zij voor ons gevoel de afstand, de verwijderdheid sterker doen uitkomen; dit is zowel te wijten aan de stereoskopische werking als aan het verschil van kleurtoon. Vandaar bijvoorbeeld dat zo menige stereoskoopplaat, zo menig landschapsschilderij een boom op de vóórgrond heeft. Het is een effect, enigszins vergelijkbaar met dat van een landschap, gezien door een open raam of van onder de welving van een poort. Gezien van onder het geboomte onzer lanen, lijken de gebouwen in de stad groter en statiger.

De tegenstelling met de achtergrond wordt het felst, als de boom zich tegen de oranje gloed van de avondhemel aftekent. Een fantastisch vervormde jeneverbestruijk op een eenzame

1) Ruskin, *Modern Painters*.

2) Het eerste gedeelte van dit hoofdstuk geeft in grote trekken de inhoud weer van een verhandeling van Vaughan Cornish, *Geogr. Journ.* 67, 506, 1926.

zandrug, een plechtige sparreboom hebben zulke dichte naalden, dat zij een zwart, scherp omlijnd silhouet vertonen. De andere bomen zijn meer open; het ijlst zijn de ranke arabesken van de berkeboom, die juist bij dit tegenlicht een verrukkelijk kleurkontrast met de lucht vertoont.

Eind Februari, als er zon is, op een ochtend, zal ik je de kleur der berketwijgen tegen de azuren hemel laten zien. Alle ranke takjes schijnen te gloeien van een purper vuur, en de lucht blikt je met een wondere tederheid aan, dwars door die tengere gloed. Wacht, kijk goed, en ga slechts weg als je begrepen hebt. Men doet er zo'n voorraad geluk van op, dat men tot de volgende winter wachten kan op het weer verschijnen van dit lichtwonder.

Duhamel, La Possession du Monde, blz. 126.

Het woud. — Van dichtbij gezien en in tegenlicht, vertoont het woud wel een zeer grillige kantlijn; maar het is toch weer te doorzichtig en te wisselend belicht om krachtig en massief te werken. Het vormt een beter geheel op iets grotere afstand, als de kruinen in 't volle zonlicht groen en goud stralen tegen een achtergrond van blauwende heuvels; of als groepen zonbeschonen loofhout zich tegen hoog en donker sparrebos aftekenen. In de verte tenslotte is het bos voor onze vlakke landen vergelijkbaar met een golvende heuvelrij; het is tenminste even donker van tint en kleurt zich dus even mooi wazig blauw door de verstrooiing van de dampkring; het rangschikt zich in opeenvolgende rijen, die zich door het luchtperspektief van elkaar onderscheiden (§ 97).

Het landschap binnen in het bos is enig in zijn soort, doordat het noch horizonlijn noch kantlijn bevat. In de lente zien we aan alle kanten boven ons de groene blaadjes, stralend in geelgroen doorvallend licht. In de zomer rust het oog hier uit van de vermoeiende blakering der witte lucht, die de blik afschrikte, doordat het nu weer vrij en naar alle richtingen van de ruimte om zich heen kan zien. 's Middags komt het meeste licht in het bos stromen, omdat de hoogstaande zon dan tussen de kruinen door kan schijnen. Het spel van licht en schaduw is in elk vlak weer anders; de bekoring ervan verdwijnt, zodra wij ons oog op een bepaalde afstand fixeren; en zij verschijnt juist dan weer, als wij er niet bewust naar zoeken en onze omgeving ongedwongen en spontaan op ons laten inwerken. In de herfstochtend dringen de zonnestrallen hier en daar tussen de stammen en men ziet hun weg zich aftekenen in de licht heilige lucht, vooral als men in een richting kijkt in de buurt van de zon (§ 193): zo wordt

de beking van het luchtperspektief in onze onmiddellijke nabijheid gebracht.

De bloemen. — De heide is vrijwel de enige onzer bloemen, die uitgestrekte oppervlakken bedekt. Als ze in Augustus bloeit ontstaat er een merkwaardig kleurenakkoord van de purperen aarde met de diepblauwe hemel, dat sommigen niet mooi vinden maar dat voor anderen in het vele licht der vrije natuur juist een zeer bijzondere stemming medebrengt. Een grijs wolkendek verzacht de kleurenharmonie, maar doet ook tegenstellingen van licht en schaduw verloren gaan.

De bloeiende vruchtbomen danken hun pracht voor een groot gedeelte aan de geringe ontwikkeling der bladeren in dit jaargetijde. Tegen de blauwe lucht komen het wit en teerbleek rose slechts tot hun recht, wanneer de zon er fel op schijnt; anders moet men ze zien van op een hoge dijk, tegen de achtergrond der weilanden.

Enig is de felle kleur der Nederlandse bloembollenvelden in de lente; met hun meetkundige strakke begrenzingen geven ze iets zeer bijzonders aan het landschap.

Het weiland. — Een effen vlak van éénzelfde kleur, de indruk tweeebrengend van vereffening en wijde ruimte; en toch in bijzonderheidjes oneffen genoeg om iets veerkrachtigs, molligs te suggereren. Waarom zou anders de indruk zo typisch verschillen van die ener zandvlakte? Op afstand loopt de groene kleur in blauwgroen over en nog verder nadert zij meer en meer tot het atmosferische blauw der lucht.

232. De belichting van een landschap, gezien van de zon af en naar de zon toe.

Bijna aan elk landschap is er een opvallend verschil in tint en structuur waar te nemen, naarmate we in de richting van de zon of in de tegenovergestelde kijken. 't Gehele voorkomen van de natuur verandert! Gebruik een spiegeltje, om het landschap in twee verschillende waarnemingsrichtingen tegelijk te kunnen zien (Plaat XVI).

1. Een veld jong koren, een weide, een lupineveld zijn naar de zon toe geelgroen, van de zon af blauwig. De oorzaak? — Kijk eens naar één blaadje in het bijzonder, kijk „mikroskopisch"! Pluk het, houd het naar de zon toe en van de zon af. In het eerste geval ziet u vooral licht dat door het blaadje heen valt, in het tweede geval licht dat door de oppervlakte teruggeworpen wordt (§ 228). Soms worden die kleuren en glansen door de invloed van de windrichting gewijzigd.

2. De golven op een rijk roggeveld ontstaan vooral door het wisselend uiterlijk der *aren*. — Onderstel dat de wind naar de zon toe waait :

naar de zon toe kijkend zien we bijna alleen heldere lichtgolven lopen ; zij ontstaan als de aren zó hellen dat ze 't zonlicht naar ons oog weerspiegelen ;

van de zon af kijkend zien we enige heldere, maar meer donkere golven ; deze laatste ontstaan als de aren zó buigen, dat ze op zichzelf schaduw werpen.

Bij andere windrichting, blikrichting, zonshoogte wijzigen zich de verschijnselen weer.

3. Een grasveld dat men met een grasmaaimachine maait, wordt veel lichter van kleur als men van ons af rolt dan wanneer men naar ons toe rolt ;¹⁾ in het eerste geval zien we meer terugkaatst licht (Plaat XVI ; vgl. § 228). Zeer sterk is de tegenstelling op een stoppelveld, waarvan achtereenvolgende banen afwisselend helder en donker lijken, omdat de maaimachine er in omgekeerde zin overheen is gegaan ; keert u zich om, dan ziet u de tinten net omgekeerd. Vers geploegd land glimt, als men loodrecht op de richting der nog vochtige sporen kijkt.

4. Eendekroos dat een sloot bedekt doet net andersom dan gras. Het is van de zon af geelgroen, naar de zon toe bleek grijs-groen. „Mikroskopische” waarneming leert, dat in het tweede geval de onregelmatige terugkaatsing aan het oppervlak veel sterker is. Bij deze plant zien we niet door de blaadjes heen.

5. De uitgebloeiide heide is naar de zon toe donkerder, van de zon af meer glanzend, zijg, licht bruingrijs, blijkbaar door spiegelingen (Plaat XVI).

6. Vruchtbomen in bloei ziet men alleen mooi wit van de zon af. Naar de zon toe tekent de bloesem zich zwart tegen de hemel af (§§ 228, 231).

7. Evenzo zijn de takken en twijgen der bomen grijs of bruin van de zon af, zwart en struktuurloos naar de zon toe.

8. Een klinkerweg was bruinrood naar de zon toe, witgrijs van de zon af.

9. Een grintweg was witgrijs naar de zon toe, bruingrijs van de zon af.

10. 't Schuim der zee is helderwit tegenover de zon. Naar de zon toe echter ziet het er eer donkerder uit dan de omgeving, te midden van de duizenden terugkaatsingen en flikkeringen van het speelse water.

1) Nat. 90, 621, 1913.

11. Naar de zon toe lijkt een oneffen, besneeuwde weg als geheel donkerder dan de effen sneeuw daarnaast; van de zon af is het omgekeerd.¹⁾

12. Golfjes op de Loosdrechtse plassen, wind waiend naar de zon toe. Van de zon af kijkend is de indruk somberblauw; hier en daar stralen zwartblauwe stroken van ons waarnemingspunt uit, overeenkomend met blauwe delen van de hemel; de vele golven tekenen zich individueel af. Naar de zon toe is alles lachend bleekblauw; de golven ziet men alleen in de verte, in ontelbare scharen (§ 217).

13. Merk op hoe u, in de richting van de zon kijkend, de voorwerpen donker ziet, de schaduwzijde naar ons toegerend, maar met mooie lichte randen. Daaraan ontleen „tegenlichtopnamen” hun bekoring!

Enz. enz. enz. Vgl. nog §§ 190, 234 en blz. 334.

Een onuitputtelijke gelegenheid tot waarnemen! Altijd de verklaring zoeken door afwisselend globaal en individueel te observeren!

233. Invloed van vochtigheid op de tinten.

„Het is waar dat de nevelige dampkring alle voorwerpen „verduistert, maar het is ook waar dat de natuur, niet willend „dat onze ogen zonder genot zouden zijn, een rijke vergoeding „heeft verschaft voor deze beschaduwing van de tinten: bij „vochtige lucht worden zij levendiger. Elke kleur, vochtig, is „tweemaal zo schitterend als droog; en wanneer de verten ver- „duisterd worden door mist, de heldere kleuren van de hemel „verdwijnen en de zonneschijnglansen van de aarde, dan neemt „de vóórgrond zijn liefelijkste tinten aan, het gras en het gebla- „derte herleven in hun verzadigd groen, en elke zonverbrande „rots ontgloeit tot een agaet.”²⁾

Verklaring: de vochtigheid zonder meer kan die verlevendiging van de kleur niet veroorzaken; maar zodra een dun waterhuidje de voorwerpen bedekt, is hun oppervlak daardoor gladder geworden, ze verstrooien niet meer het witte licht naar alle kanten, de eigen tint gaat dus overheersen en wordt verzadigder.

Door de regen verandert de kleur van de grond geheel. De straatkeien gaan spiegelen, des te meer naarmate ze verder van ons verwijderd zijn en onze blik hen minder steil treft; het is

1) Russell, Dugan, Stewart: Astronomy, I, blz 173.

2) Ruskin, Modern Painters.

verrassend hoe niet alleen asfalt, maar ook een zeer hobbelige klinkerweg onder grote hoeken voortreffelijk terugkaatsen. Het zand, de aarde, de grintwegen krijgen een donkerder en warmer kleur; ¹⁾ de eerste regendruppels reeds tekenen zich elk afzonderlijk als donkere vlekken af. Hoe komt dat? — Het water dringt overal in de tussenuitruimten tussen de zandkorrels. Een lichtstraal, die anders al in de bovenste lagen terugverstrooid zou zijn, kan nu veel dieper indringen eer hij teruggezonden wordt naar ons oog; op die langere weg wordt hij grotendeels opgeslorpt.

Een plasje water op een asfaltweg vertoont in mooie schakering van tinten:

1. het wateroppervlak dat de blauwe lucht weerspiegelt;
2. een zwarte zoom, waar de grond nog vochtig is;
3. de grijze omgeving.

Groenwieren in een sloot vormen een donkergroene, draderige massa; een gedeelte dat boven het water uitsteekt ziet er veel bleker groen uit, omdat er nu overal lucht tussen de draden is gekomen. Dompel echter die bleker gedeelten onder water, schud ze, druk er op: er komen luchtbellen uit en tevens worden ze donkerder.

234. Lichtaccenten in het landschap na regen.

Na regen is het landschap geheel veranderd, het draagt aan alle kanten de sporen van de bui voor wie het met gevoelig oog bekijkt. Niet alleen de zware, wegtrekkende wolken en de opklarende lucht met haar sterke tegenstellingen, maar ook de glanslichten die overal over 't landschap verspreid zijn dragen tot de zeer bijzondere stemming bij.

Het zijn vooral de natte bladeren die felle lichtplekken geven: het loof van de rapen, de kruinen der eikebomen; het lis langs de sloot. Maar deze schitteringen zijn alleen aan de kant *naar de zon toe* waar te nemen, onder betrekkelijk kleine hoeken met de invallende stralen. Aan de kant van de zon af ziet men slechts hier en daar een enkele fonkelende druppel.

Bij deze belichting worden we getroffen door het felle oplichten van de natte dorre bladeren die hier en daar op het gras liggen, in richtingen naar de zon toe. Dit effect overtuigt ons ineens van het doeltreffende der methode, door de archaeologen toegepast om vuurstenen wapens in de Limburgse en Veluwe zandstui-

1) Droge aarde kaatst ongeveer 14 % van het licht terug, natte aarde 8 tot 9 % (Ångström, Geogr. Ann. 1925).

vingen op te sporen : men loopt in de richting van de zon, die laag aan de hemel moet staan, en speurt naar scherven die men van uit de verte prachtig ziet schitteren. Hierbij maakt men dus gebruik van de spiegelende eigenschappen van het vuursteenoppervlak, dat de lichtstralen slechts weinig doet afwijken, in tegenstelling met het sterk verstrooiende zand.

235. De mens in het landschap.

„Ik zie uit mijn raam een man aan de vloer van de gaanderij „werken, naakt tot aan het middel. Als ik zijn kleur vergelijk „met die van de buitenmuur, merk ik op hoezeer de halftinten „van het vlees gekleurd zijn vergeleken met die van de levenloze „stof. Hetzelfde heb ik gisteren op de Place St. Sulpice opge- „merkt, waar een kwajongen op een der strandbeelden van de „fontein geklauterd was, in 't zonlicht. Mat oranje voor het „vlees, het felste violet voor de schaduwovergangen en gouden „reflexen in de schaduwen die naar de grond toe gekeerd zijn. „Oranje en violet overheersten afwisselend of mengden zich „dooreen. De gouden tint had iets groens. Het vlees heeft zijn „ware kleur slechts in de zon en de open lucht. Laat een man „zijn hoofd uit het raam steken ; hij is helemaal anders dan „binnenshuis. Vandaar de dwaasheid der atelierstudie, waar „men zijn best doet om die vervalste kleur weer te geven.”

(Delacroix, Journal).

236. Schaduwen en donkere partijen.

Kijk om u heen en zoek waar er donkere partijen in het landschap zijn!

1. De bossen en struiken, namelijk de tussenruimten tussen de stammen.

2. In de stad : open ramen in de verte.

Deze beide gevallen zijn voortreffelijke voorbeelden van een „zwart lichaam” zoals de physicus het maakt. Het zijn ruimten waarin we slechts door een nauwe opening kunnen kijken ; de lichtstralen die er in dringen kunnen er slechts uit na een aantal terugkaatsingen, waarbij ze telkens verzwakt worden. Zulk een soort lichaam slorpt bijna alle stralen op : donkere bossen werpen slechts 4 % van het licht terug. Anderzijds moet bedacht worden, dat de duisternis van het bos slechts betrekkelijk is ; komen we dichterbij en heeft het oog zich eenmaal aan het gedempte licht aangepast, dan ziet men hoe alles licht en kleur vertoont. Evenzo

kan men binnen in een kamer alle bijzonderheden onderscheiden, terwijl diezelfde kamer, van buiten gezien door het open venster, toch pikzwart leek.

3. Fijn verdeelde voorwerpen die zich tegen de heldere lucht aftekenen lijken meestal zwart, maar alleen door de tegenstelling (§ 228).

In een open landschap zijn de schaduwen nooit diepzwart, omdat ze licht van de hemel krijgen; hun helderheid is dus tenminste nog 20 % van die der zonbeschenen omgeving.

Onderzoek stelselmatig de kleuren van de schaduwen!

„Alle gewone schaduwen moeten een of andere kleur hebben, „nooit zwart, noch ongeveer zwart. Ze zijn klaarblijkelijk altijd „van lichtende aard Het is een feit, dat de schaduwen „net zo goed kleuren zijn als de lichte partijen” (Ruskin).

Waar de zon schijnt, geven haar felle, geelachtige stralen de doorslag tegenover de straling van de hemel; maar waar er schaduw is, valt alleen licht van de blauwe of grijze lucht. De schaduwen zijn dus in 't algemeen blauwachtiger dan de omgeving en dit verschil lijkt nog sterker uitgesproken door de tegenstelling.

„Ik zie van uit mijn raam de schaduw der mensen die in de „zon wandelen aan het zeestrand; het zand is uit zichzelf violet, „maar het wordt verguld door de zon; de schaduw van die „mensen is zo violet, dat de grond geel lijkt” (Delacroix).

237. Silhouetten.

We spreken van silhouetten, wanneer tegen een lichte achtergrond zich de voorwerpen donkerder, als vlakke figuren aftekenen, vrijwel zonder detail, zonder schaduwstructuren noch reliëf. Een dergelijk effect kan op verschillende wijzen tot stand komen, waarvan wij er enkele reeds hebben beschreven.

1. Als bomen en huizen zich profileren tegen de stralend gouden schemering, terwijl ze aan de zijde van waar we kijken slechts zwak verlicht zijn door de reeds verduisterende avondhemel. De éézijdigheid van de verlichting op dit uur van de dag is hier de bepalende oorzaak (§ 228). Ook midden op de dag ontstaat silhouettering, wanneer de lucht zwaar bewolkt is, op een enkele strook na, laag bij de kim, die dan gloeit in een warme oranjegele kleur (§ 183).

2. Des nachts, als een lantaren het wegdek fel verlicht, en een wandelaar tussen die lichte plek en ons oog voorbijschuift. Evenzo, wanneer de zon of de maan de zee doen schitteren als een stroom

van licht, waarvóór dan een zeilboot zich pikzwart aftekt (§ 222).

3. Als mist of regen een floers verspreidt, dat alle kleinere helderheidsverschillen wegwist, terwijl toch de grote partijen herkenbaar blijven en de omtrekken voldoende scherp. Torens, huizen, geboomte komen donkerder grijs tegen de lichtgrijze achtergrond uit.

4. Des nachts, als grote massa's zich donker tegen de sterrenhemel aftekenen.

*In het toevend licht, dat later
Dan de zonne blijft
Wijlen bij het stille water,
Waar ons bootje drijft,
Schuiven zwart en zonder zwaarte,
Fijngelijnd en strak,
Fietsertjes voorbij de klaarte
Van het hemelvlak
Hunne fijne silhouettes,
Schaduw en gelijk,
Zeer geleidelijk en netjes
Langs den Amsteldijk.*

*Komen twee elkaar te ontmoeten,
Glijden ze meteen,
Zonder botsen, zonder groeten,
Door elkander heen.*

*Jacqueline van der Waals,
Nieuwe Verzen („Silhouetten”).*

238. **Eénzijdige en algemene belichting.**

De indruk van een landschap wordt in hoge mate bepaald door de verlichting waaronder het gezien wordt; zij bepaalt de stemming, zij wekt de dichterlijke sfeer. Uitgaande van een geheel éénzijdige belichting willen we overgaan naar meer alzijdige en tenslotte naar geheel diffuse belichting, daarbij telkens de effecten in het landschap volgend.

Scherpe, donkere slagschaduw krijgt men 's avonds bij het licht ener felle booglamp, die bijna puntvormig is en alle andere lichtbronnen in haar buurt overheerst; de gezichten krijgen een oudachtig voorkomen, doordat de rimpels overdreven duidelijk worden.

Bij zonneschijn en onbewolkte lucht zijn de schaduw nog scherp en donker, hoewel reeds een weinig getemperd door het diffuse licht van de blauwe hemel. Is de zon half achter de wolken verborgen, dan ziet men de schaduw waziger worden; is ze

helemaal verdwenen, dan ziet men geen slagschaduwen meer, maar er kunnen nog altijd donkerder en helderder partijen zijn. De overgang kan ook op andere wijze gebeuren: een open plek in het bos wordt door een beperkt stuk van de hemel verlicht, dat groter of kleiner kan zijn en dat al naar gelang daarvan andere effecten teweegbrengt.

Bij hoogstaande zon spelen de schaduwen geen belangrijke rol in het landschap, alle dingen zijn vermoeiend helder; pas bij lagere zon komt de rijke afwisseling van licht en schaduw te voorschijn.

In vlak of zacht golvend land doen de schaduwen het reliëf overdreven sterk uitkomen wanneer de zon zeer laag staat; haar stralen vallen dan bijna rakelings over het terrein en veroorzaken zeer bijzondere wisselingen van licht en schaduw. Op kleine schaal kan men dit waarnemen aan een zandvlakte omstreeks zonsondergang: ieder keitje, iedere oneffenheid werpt een lange schaduw, het terrein ziet er uit als een maanlandschap en maakt een geheel onwerkelijke indruk. — Een dergelijk effect kan men ook bij hoger staande zon opmerken, als haar stralen bijna rakelings langs de gewitte muur van een boerderij invallen: alle ruwheid van het oppervlak is nu overdreven goed zichtbaar.

Een andere, zeer treffende indruk krijgen we bij lage zon en *tegenlicht*: we zien dan de donkere silhouetten der dingen tegen de fel-heldere lucht om de zon, elk voorwerp omzoomd met een gouden zoom van licht, waar wij nog net iets van de zombeschenen zijde kunnen bespeuren.

Tenslotte moeten we trachten nog iets weer te geven van de harmonie en de rust die over het landschap komen wanneer na dagen zon en strakblauwe lucht de hemel zich met een gelijkmatig wolkendek overtrekt. Alle helderheden zijn nu geringer en hun verhoudingen naderen meer tot de eenheid, de schaduwen zijn vervallen, plaatselijke weerspiegelingen zijn verdwenen. Vrij en zonder verblinding kan het oog weer naar alle kanten uitkijken. „Let in de straten bij avondschemering en betrokken lucht op het gelaat der mannen en vrouwen, hoeveel liefelijkheid en zachtheid erover ligt gespreid.”¹⁾ — Deze opmerking heeft mij meer dan eens verzoend met een troosteloze, grijsgrauwe dag!

„De sneeuwvlakte is in het reeds heel wat verzwakte licht zo volkomen egaal, dat het absoluut onmogelijk is te zien, waar een der flauw golvende heuvels begint of eindigt. Alleen ons

1) Lionardo da Vinci, Trattato, uitgave Preconi, blz. 16.

evenwichtsgevoel kan ons dat vertellen en doet dat ook prompt, zoals blijkt, wanneer we elkaar verbaasd aankijken, omdat we tegelijk het gevoel krijgen, dat we naar beneden lopen op volkomen vlakke bodem." ¹⁾

Vergelijk de structuurloosheid van zulk een sneeuwlandschap met de ragscherpe blauwige schaduwen van skisporen in de zonneschijn! Vergelijk Griekse zuilen bij algemene en bij éénzijdige belichting! Ga na hoe de schittering van een golvend wateroppervlak bij betrokken lucht verloren gaat! Telkens zult u een sterke indruk krijgen van de betekenis van zon en schaduw voor het plastische zien zowel als voor het scheppen van helderheidsverschillen in het landschap.

De beweging, de golving en straling van de gerichte lichtbundel: niet het saaie, alzijdige hemellicht, dat op het landschap valt zonder leven of richting of bedoeling, gelijk op alles en dood op alles; maar het ademende, levende, juichende licht, dat voelt en ontvangt, en zich verheugt, en handelt, — dat het ene verkiest en het andere verwerpt, — dat zoekt en vindt en opnieuw verliest, — springend van rots op rots, van blad naar blad, of fonkelend, volgens wat het treft; of in bezonkener stemming, alles opslopend en omwikkeld in de diepe volheid van zijn rust; en dan opnieuw zichzelf verliezend in verwarring, en twijfel, en wazigheid, — of voorbijgaand en verdwijnend, gevangen in vervloeiende mist, of versmolten met de melankolie der lucht. Maar altijd — oplaaierend of dovend, vonkend of rustig schijnend —, het levende licht, dat in zijn diepste rust toch ademt, dat slapen kan, maar nooit sterven.

Ruskin, Modern Painters, III, 308.

1) De Kampioen, Februari 1940, blz. 43.

LICHTGEVENDE PLANTEN, DIEREN, GESTEENTEN. ¹⁾

239. Glimwormen.

Vertel aan B. dat ik over de Alpen en de Apennijnen ben getrokken; dat ik de „Jardin des Plantes” heb bezocht; het museum dat door Buffon ingericht is; het Louvre, met zijn meesterstukken van de beeldhouw- en schilderkunst; het Luxembourg, met de werken van Rubens; dat ik een glimworm heb gezien!!!

*Brief van Faraday aan zijn moeder
(Life and Letters, 1814, blz. 116).*

Glimwormen zijn eigenlijk geen wormen, maar kevers; de wijfjes zijn ongevleugeld en kruipen, de mannetjes vliegen rond. In ons land komen twee soorten voor: de kleine glimworm (*Lampyris splendidula*, mannetje 8 mm, wijfje 9 mm lang), en de grote glimworm (*Lampyris noctiluca*; mannetje 11 mm, wijfje 16 mm). De lichtgevende orgaantjes bevinden zich aan de twee achterste ringen van het achterlijf; ze bevatten een stof, die bij oxydatie licht geeft door chemiluminescentie. De uitgezonden stralen hebben juist de kleur waarvoor onze ogen het gevoeligst zijn en bevatten geen infrarood, zodat deze kever werkelijk een ideale lichtbron zou kunnen genoemd worden als hij maar wat helderder schijnen wilde!

Er gaat een wonderlijke beking uit van zo'n zachtschijnend, geelgroen lichtpuntje tussen het gras; 't lijkt wel een sterretje. En vanzelf komen we op de gedachte, de lichtsterkte te schatten door vergelijking met een echte ster, bijvoorbeeld met Wega, die op deze zomeravond hoog aan de hemel straalt. — Die vergelijking is niet gemakkelijk; maar door telkens iets dichterbij het insect te gaan staan, dan weer iets verder, kom ik tot de schatting, dat de glimworm op 13 m afstand even helder lijkt

1) H. Molisch: Leuchtende Pflanzen (Jena, 1904).

als Wega. Nu is bekend, dat deze ster ons evenveel licht geeft als 1,4 kaarsen op 1000 m afstand. Daaruit volgt de lichtsterkte

$$i \text{ van de glimworm: } \frac{i}{13^2} = \frac{1,4}{1000 \times 1000}$$

dus $i = 0,0002$ kaars.

240. Het lichten der zee.

Het lichten der zee wordt in onze gewesten voornamelijk veroorzaakt door miljoenen kleine zeediertjes van de soort *zeevonk* (*Noctiluca miliaris*). Het zijn protozoa van de groep der zweepdiertjes, ongeveer 0,2 mm groot, dus nog net met het blote oog als afzonderlijke stipjes te zien. Ze geven slechts licht als er zuurstof in het water opgelost is, hetgeen door roeren, breken der golven, enz. bevorderd wordt. Een bepaalde stof wordt daarbij geoxydeerd, maar niet merkbaar verhit; ook vertoont het licht niet dezelfde samenstelling als dat van een gloeiend lichaam, het is geen „temperatuurstraling” maar „chemiluminescentie”:¹⁾ het bevat noch ultraviolette, noch infrarode stralen, maar alleen de kleuren die op ons oog een sterke lichtindruk maken, zoals vooral geel en groen.

Zijn de lichtgevende organismen talrijk, dan kan men een licht geprik voelen als men de vingers in het zeewater dompelt; dikwijls zult u aldus reeds overdag kunnen voorspellen, of 's avonds het lichten mooi te zien zal zijn.

Prachtig kan men soms het lichten der zee zien op een onweersachtige zomeravond, na een warme dag. In de lichtschijs der lantarens van de dijk of van de hotels is er altijd enige twijfel of men nu het eigenlijke lichten der zee ziet, of veeleer het witte schuim der golfkammen; helemaal mooi is het verschijnsel dan ook alleen in de volledig duistere nacht. Kan men niet in die gunstige omstandigheden waarnemen, dan trekt men kousen en schoenen uit en gaat met de hand *onder water* heen en weer roeren: men ziet wolken van licht, terwijl men toch zeker weet, geen schuim te hebben gemaakt; nog mooier is het lichten om uw benen, want u kijkt dan rakelings langs de lichtende laag.

Als het lichten niet duidelijk waar te nemen is, ziet men bij het roeren toch nog dikwijls hier en daar een afzonderlijk vonkje, dat ongeveer een sekunde licht geeft en dan uitdooft. Wat is de naam „zeevonk” goed gekozen! Schep een emmertje zeewater

1) Het woord „fosforescentie” betekent iets geheel anders en moest eigenlijk nooit voor het lichten der zee gebruikt worden!

en breng dat in de volledige duisternis; zelfs op ongunstige dagen kunt u iets van het lichten zien door het water in een kom uit te gieten, of door er enkele druppels alcohol, formol of zuur aan toe te voegen en aldus de mikroskopische wezentjes te prikkelen. Doe het lichtende water in een glas: de diertjes verzamelen zich bij het oppervlak; stoot tegen het glas: ze geven licht tengevolge van de mechanische trilling, als u de proef herhaalt wordt het lichtgeven geleidelijk zwakker.

Een enkele maal ziet men het zeewater lichten, zonder dat er vonkjes te onderscheiden zijn. De oorzaak is dan te zoeken in bacteriën (*Micrococcus phosphoreus*).

Ontwerp een schaal voor het lichten der zee!

Oefen op koude avonden, als er zeker *geen* lichten te zien is, en onderzoek hoe de schuimende kammen er uitzien; u zult dan op gunstige avonden het verschil kunnen waarnemen.

Als u eens een zeereis maakt, vooral in de tropen, moet u op een donkere avond aan de voor- of achterstevan van het schip gaan staan, waar de schijn der lampen niet meer stoort. U ziet dan bijna voortdurend lichtvonken voorbijschieten: het zijn allerlei verschillende zeediertjes die een weinig licht geven.

In de Indische Oceaan ziet men soms de hele zee lichten, terwijl een stelsel ontzaglijke lichtbanden over haar oppervlak schijnt te wentelen als de spaken van een wiel: het zijn de windgolven en de boeggolven van het schip die voorbijtrekken, overal waar zij zich bevinden het zeewater in roering brengend en aldus het lichtgeven veroorzakend.¹⁾

241. Lichtgevende vis.

Aan lichtgevende bacteriën en niet aan protozoa is het te wijten, dat men 's nachts een enkele maal, in onze thans zo goed verduisterde steden, de etalage van een viswinkel zwak ziet lichtgeven met een groenachtig, bleek licht.

242. Lichtgevend hout. Lichtgevende bladeren.

Soms ziet men op een warme zomernacht, in het vochtige bos, hoe rottend hout zwak licht geeft; dit wordt veroorzaakt door draden van de honigzwam (*Armillaria mellea*), die er zich overal in genesteld hebben.

Zoek 's winters of in de lente boomstronken, waarvan de schors

1) Vgl. de beschrijvingen in *De Zee*, 1910—1912 en 1920—1926.

gemakkelijk van het hout te scheiden is en waarop zich donkere, vertakte draden bevinden. Leg stukken van die stronken tussen vochtig mos en breng ze naar huis; bewaar ze in de schaduw, onder een klok: 's avonds of na een paar dagen beginnen de zwamdraden licht te geven die het hout overal bedekken. Een enkele maal kunnen rottende takken ook licht geven door bacteriën.

De dorre bladeren van de beuk en van de eik, die zich hier en daar in dikke lagen hebben verzameld en half verteerd zijn, geven in een bepaald stadium der ontbinding duidelijk licht. Zoek lagen van 10—30 cm dik; neem niet de bovenste losse bladeren, maar die, welke dieper liggen, dicht op elkaar, met geel-witte vlekken, en breng een handvol daarvan in een geheel donkere kamer. Het lichtgeven is hier te wijten aan zwamdraden van voorlopig nog onbekende soort.

243. Kat-ogen in de nacht.¹⁾

Het is bekend welk een fel licht ze schijnen uit te stralen. Toch is het in werkelijkheid slechts teruggekaatst licht, en wel *gericht teruggekaatst licht*, zoals bij een fietsreflektor of bij de heiligenschijn op bedauwd gras (§ 173): de stralen die in het hoornvlies binnendringen, vormen een zeer helder beeldje op de oog-achtergrond, dit zendt nu weer zijn stralen terug door hetzelfde hoornvlies, en de lichtbundel komt ongeveer in dezelfde richting terug waarin hij inviel. Wil het verschijnsel duidelijk zijn, dan moet men ervoor zorgen dat de lamp, het oog van de kat en dat van de waarnemer zich op één rechte lijn bevinden; dit bereikt men door een zaklantaren op de hoogte van de ogen te houden: de schittering der katogen is dan nog op 80 m afstand zichtbaar. U zult verwonderd zijn te merken, hoeveel katten haar open op u gericht hebben!

Bij de hond is de kleur roodachtig; ook schaap, konijn, paard vertonen het lichten der ogen, de mens echter niet.

244. Terugkaatsing van het licht bij mossen.²⁾

Het is een mooie, heldere ochtend, overal hangt dauw aan het gras. In een flink donker greppeltje groeien weelderige moszoden van de soort *Mnium*, de tere stengeltjes twee-rijig bebladerd,

1) Nat. 88, 377, 1912.

2) A. J. M. Garjeanne, de Levende Natuur, 14, 163, 1909.

en die schijnen nu bezaaid met lichtsterretjes. Elk sterretje straalt een goudachtig groen licht uit, veel rustiger dan dat van een fonkelende dauwdruppel. Bij nader toezien bevinden we, dat er overal onder de mosblaadjes druppeltjes hangen; en we besluiten dat het zonlicht door de randen van het blad dringt, totaal teruggekaatst wordt in de druppel en weer door het blad heen uitreedt, zich daarbij goudgroen kleurend.

Nog veel fraaier zijn de lichtreflexen bij *Schistostega osmundacea*, het beroemde „lichtmos” der spelonken en grotten van het Fichtelgebirge. In dat geval zijn het de bolvormige cellen zelf die als terugkaatsende druppels werken.

245. **Fluorescentie van plantensappen.**

Werp in een glas water enkele stukjes schors of twijgen van de veelgekweekte manna-es (*Fraxinus ornus*). Het sap der plant vermengt zich met het water en dit gaat nu een eigenaardige blauwe weerschijn vertonen, het mooist te zien als u met een bolle lens (brilleglas, loupe) een kegel zonnestrallen door de vloeistof werpt. Het verschijnsel is daaraan te wijten, dat de vloeistof het violette en het (voor ons onzichtbare) ultraviolette licht der zon opsloopt en daarvoor in de plaats blauwe stralen uitzendt. Een dergelijke omzetting noemen we „fluorescentie”.

De schors van de paardekastanje vertoont het verschijnsel ook, maar alleen in de lente. Aan jonge lootjes of winterknoppen kan men het 't hele jaar waarnemen.

246. **Fosforesceren van ijs en sneeuw.**

Er is een oud verhaal, dat ijsvelden, die lang door de zon bestraald zijn geweest, een zwak licht geven in de nacht. Ook sneeuw, verscheidene graden onder het vriespunt bestraald met zonlicht, zou licht geven als men hem in een donkere kamer brengt. Hagelstenen, vooral de eerste van de bui zouden een soort elektrische fosforescentie vertonen.

Wie beproeft dit?

247. **Lichtgeven van gesteenten.**

Dikwijls kan men waarnemen hoe de hoeven van een paard zo krachtig tegen de straatkeien slaan, dat er vonken uit spatten.

1) Dufour, C. R. 51, 31, 1860.

Zoek vuurstenen op de heide; het zijn bruinachtige keien, aan de randen een weinig doorzichtig, meestal zacht afgerond, zonder kristallijne bouw. Sla twee dergelijke vuurstenen tegen elkaar, op een zo donker mogelijk plekje: er ontstaan vonken, men ruikt een eigenaardige lucht. De waarneming is ook wel met andere keien uit te voeren, vooral met kwartsieten. De vonken ontstaan, doordat bij de botsing enkele stofjes weggeslingerd worden en door de stoot zo sterk verhit, dat ze gaan gloeien; daarbij komen bepaalde gassen vrij, die men ruikt.

248. Dwaallichtjes.¹⁾

„... En ik zou willen vragen: hoeveel natuuronderzoekers zijn er thans nog, die in donkere, nevelachtige herfstavonden buiten rondlopen door wind en moeras? Aan de schrijftafel of in de museumkast kan men natuurlijk geen dwaallichtjes waarnemen.”

K. Floericke, *Kosmos*, 5, 270, 1908.

Het volk vertelt van dwaallichtjes die als vlammetjes huppelen over het kerkhof, of den reiziger naar de moerassen lokken.... Hun bestaan is echter geen sprookje! De beroemde sterrekundige Bessel en andere uitstekende waarnemers hebben ze gezien en beschreven; de moeilijkheid is, dat het verschijnsel in allerlei zeer verschillende vormen kan optreden.

Men vindt dwaallichtjes op moerassen of plaatsen waar veen afgegraven wordt, langs dijken; een enkele maal zag men ze op de vochtige, pas gemeste grond ener groentenkwekerij, wanneer men op de aarde stampte; op moddersloten of in riolen als men er in roerde. Ze komen meer voor in de zomer en in regenachtige, warme herfstnachten, dan in het koude jaargetijde. Ze zien er uit als kleine vlammetjes, van 1 tot 12 cm hoog en niet meer dan 4 cm breed; soms zitten ze rechtstreeks op de grond, andere malen zweven ze een 10-tal cm er boven. Dat ze heen en weer zouden huppelen schijnt onjuist; wel doven ze soms snel uit, terwijl een ander vlammetje in de buurt ontstaat, wat de indruk van vlugge voortbeweging kan maken; een enkele maal worden ze enige decimeters ver door de wind voortgeblazen eer ze uitdoven. In vele andere gevallen is waargenomen dat een dwaallicht urenlang rustig brandde, soms de hele nacht en zelfs bij dag.

1) *Ann. d. Phys.* **89**, 620, 1853. — Samenvattend artikel van W. Müller — Erzbach in *Abh. naturw. Ver. Bremen*, **14**, 217, 1897. — *Album der Natur*, 1897. — *Met. Zs.* **17**, 505, 1900. — *Kosmos*, **5**, 270, 1908. — *Wetter*, **20**, 46, 1903 en **33**, 18 en 71, 1916.

Soms hoort men een knalletje als een nieuwe vlam ontbrandt. De kleur wordt afwisselend opgegeven als geel, rood of blauw. In vele gevallen was er geen merkbare warmte te voelen als men de hand in het vlammetje bracht; een wandelstok met koperen beslag werd een kwartier in de vlam gehouden en voelde niet merkbaar warm aan; dorre rietstengels brandden niet. In andere gevallen kon men papier en werk aan het dwaallicht aansteken. Meestal heeft men geen geur waar kunnen nemen, in sommige gevallen een zwakke zwavellucht.

Waaruit bestaan die geheimzinnige vlammetjes? Niemand heeft nog het gas kunnen opvangen dat hier ontbrandt. Men heeft gedacht aan fosforwaterstof, dat uit zichzelf aan de lucht ontvlamt; het schijnt dat een mengsel van PH_3 met H_2S zonder rookringen en zonder geur ontbrandt en dus het natuurverschijnsel tamelijk goed nabootst. Dergelijke gassen kunnen stellig ontstaan door ontbinding van rottende stoffen. De waargenomen vlam is een vorm van chemiluminescentie en haar lage temperatuur is een eigenaardigheid die bij tal van dergelijke reacties voorkomt.

Het zou zeer wenselijk zijn, in onze lage en moerassige streken meer waarnemingen omtrent dwaallichtjes te doen! Omstreeks 1910 heeft Dr. A. J. M. Garjeanne in het Nijkerkerveen, tussen Hoevelaken en Nijkerk, talrijke dwaallichtjes waargenomen, lichtblauw, zo groot als een knikker, overal vonkend tussen hei en wollegras. Na een paar nachten en een regenbui was alles verdwenen; nu is de streek ontgonnen. — De Heer J. Daams beschreef mij dwaallichtjes die hij gezien heeft in het Vragender veen, bij Winterswijk. Iemand liep vóór hem, en toen bemerkte hij kleine vlammetjes die uit de grond kwamen, blijkbaar doordat gassen uit de sponsachtige bodem naar buiten geperst werden en ontsnapten; die vlammetjes waren ongeveer 5 cm hoog, brandden al direkt boven de grond met een blauwachtige schijn, maar doofden even daarna weer uit.

249. ENKELE WENKEN VOOR HET FOTOGRAFEREN VAN NATUURVERSCHIJNSELEN.

Bij elk optisch verschijnsel, hetwelk wij in dit boek besproken hebben, vragen we ons af, of het niet op de gevoelige plaat vastgelegd kan worden. Het is verrassend, hoe veel er in deze richting te doen is en hoe weinig er nog gedaan werd! In de meeste gevallen is een gewone camera voldoende; wil men met een statief werken, dan dient dit voorzien te zijn van een kogelgewricht, dat men voor een paar gulden kopen kan en dat de mogelijkheid geeft de camera onder een willekeurige helling te richten. Voor verschijnselen zoals de regenboog en de halo is een grote hoek-objektief nodig. Voor het opnemen van kranen en vervormingen van de ondergaande zon moet de brandpuntsafstand van de camera tenminste 30 cm bedragen.

Gebruik *altijd* platen of films met een anti-halo laag en liefst ortho- of panchromatisch! Voor landschappen met sneeuw, rijp, bloeiende bomen, wolken, verre gezichteinders: een geelfilter met ortho- of panchromatische platen of films. Vermijd het schijnen van de zon in uw objektief, door een kokertje vóór de lens aan te brengen.

Fotografeer het landschap liefst bij niet te hoge zon. Onderscheid het effect bij belichting van schuin voren; of van schuin achter; of van omhoog (vgl. § 232).

De belichtingstijd varieert van $\frac{1}{100}$ sec uit een vliegtuig tot 1 uur bij maneschijn.

Ontwikkel in 't algemeen met een metol-hydrochinon-ontwikkelaar.

250. HET METEN VAN HOEKEN IN 'T VRIJE VELD.

a. Schat eens de hoogten van sterren zonder enig hulpmiddel. ¹⁾ Bepaal daartoe eerst het *zenith*; keer u om, en zie of u het dan nog op dezelfde plaats zoudt aanwijzen. Bepaal nu de hoogte 45° , dan $22\frac{1}{2}^\circ$ en $67\frac{1}{2}^\circ$, enz. Er is een neiging om het hoofd niet genoeg achterover te buigen (vgl. § 116). Een *goed* waarnemer maakt geen fouten groter dan 3° .

b. Prik drie spelden A, B, C in een plankje of in een briefkaart, zo dat de gezichtslijnen BA, BC de te meten hoek afbakenen. Het plankje moet vast opgesteld zijn, op een tafel liggen of tegen een boom gespijkerd zijn. Trek daarna de lijnen BA, BC en meet hun hoek met een gradenboog.

c. Twee latten, de ene van 1 meter lengte, de andere loodrecht daarop bevestigd; in deze laatste, spijkers of spelden op vaste afstanden van elkaar (fig. 172a). Houd deze soort hark met de steel B tegen uw jukbeen gedrukt; als nu de spijkers A en C met de twee beschouwde punten schijnen samen te vallen, is $\frac{AC}{BA}$ de gevraagde hoek in „radialen”. Eén radiaal = 57° . Als b.v. $AC = 7$ cm, is $\frac{AC}{BA} = 0,07$ rad = 4° .

d. We strekken de arm recht vóór ons uit en spreiden de vingers van de hand zo ver mogelijk uiteen; dan ziet ons oog tussen de top van de duim en van de pink een hoek van ongeveer 20° . Houd met gestrekte arm een latje loodrecht op uw blikrichting en meet (in cm) hoe groot de afstand *a* schijnt te zijn tussen de twee beschouwde punten: de hoek bedraagt dan ongeveer *a* graden. Een nauwkeuriger bepaling verkrijgt men, door bij zichzelf de afstand latje—oog precies te meten.

e. Voor het meten van hoeken boven de gezichteinder is er een eenvoudig hulpmiddel dat een nauwkeurigheid van $0,5^\circ$ geeft. ²⁾ Neem een rechthoekig stuk karton, prik daarin een gaatje C en laat daardoor een draad CM hangen, op een of andere

1) A. A. Nijland, A. N. 160, 258, 1902.

2) Science, 66, 507, 1927. De Harvard—sterrewacht heeft zulk een toestelletje gestuurd aan haar vrijwillige meteor-waarnemers.

wijze bezwaard en als schietlood dienend (fig. 172b). De waarnemer richt de zijde AB nauwkeurig naar de boomtop waarvan de hoogte gemeten wordt, zwenkt het karton even, zodat de draad eerst vrij hangt en dan zacht tegen het karton aandrukt.

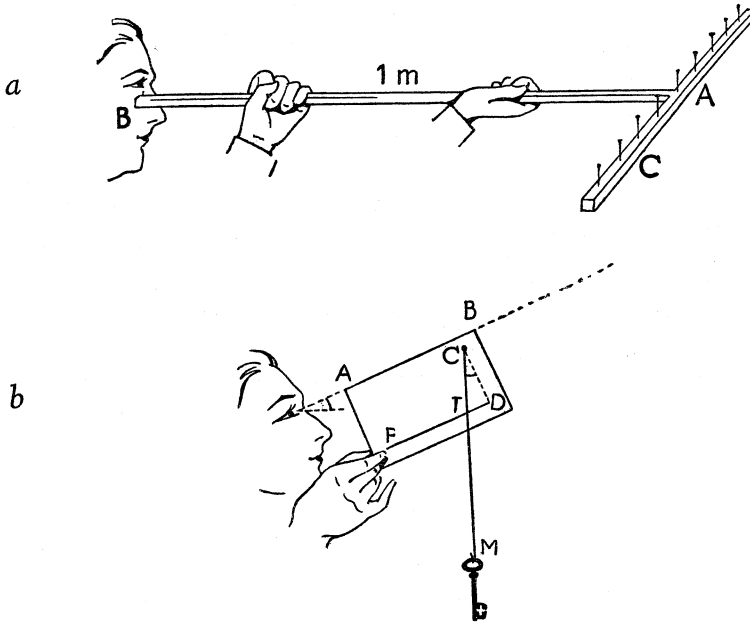


Fig. 172. Eenvoudige hulpmiddelen voor het schatten van hoeken.

Op het karton zijn de lijnen $CD \perp AB$ en $DF \parallel AB$ getrokken, de eerste liefst 10 cm lang. De hoek DCM is nu gelijk aan de hoek van AB met het horizontale vlak, hij is te meten met een gradenboog, of te berekenen uit zijn tangens $\frac{TD}{CD}$; voor kleine

hoeken is $\frac{TD \text{ (in cm)}}{10}$ gelijk aan de hoek in radialen.

Vgl. § 1 en § 127.

LIJST VAN ENKELE AFKORTINGEN, GEBRUIKT BIJ HET AANHALEN VAN TIJDSCHRIFTEN.

- Abh. = Abhandlungen.
Ann. soc. mét. France = Annuaire de la Société météorologique de France.
Ann. = Annalen, Annales.
Arch. = Archives.
A.N. = Astronomische Nachrichten.
Beitr. = Beiträge.
Bull. = Bulletin.
C. R. = Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris.
Eder's Jahrb. = Eder's Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik.
Georg. = Geographical.
Georg. Ann. = Geografiska Annaler.
H. en D. = Hemel en Dampkring.
Helv. Phys. Acta = Helvetica Physica Acta.
J. R. A. S. Can. = Journal of the Royal Astronomical Society of Canada.
J. O. S. A. = Journal of the Optical Society of America.
Journ. Frankl. Inst. = Journal of the Franklin Institute.
Mem. spett. it. = Memorie degli spettroscopisti italiani.
Met. = Meteorological, Meteorologische, Meteorologie.
Mag. = Magazine.
Mitt. Ver. Fr. d. Astron. = Mitteilungen des Vereins der Freunde der Astronomie enz.
M. W. R. = Monthly Weather Review.
Nat. = Nature.
Naturwiss. = die Naturwissenschaften.
Nov. Act. Leop. = Nova Acta Academiae Leopoldinae.
Onweders, enz. = Onweders en Optische verschijnselen in Nederland.
P. A. S. P. = Publications of the Astronomical Society of the Pacific.
Peterm. Mitt. = Petermann's geographische Mitteilungen.
Phil. Mag. = Philosophical Magazine.
Philos. = Philosophical, Philosophie.
Phys. = Physikalische, Physik, Physical.
Pogg. Ann. = Annalen der Physik, Poggendorff'sche Reihe.
Proc. Ind. Ass. = Proceedings of the Indian Association for the Advancement of Science.
Proc. R. Soc. = Proceedings of the Royal Society of London.
Quart. Journ. = Quarterly Journal of Theoretical and Applied Meteorology.
Rep. Brit. Ass. = Report of the British Association.
Rev. = Review.
Smiths. misc. Coll. = Smithsonian miscellaneous Collection.
Trans. = Transactions.
Verh. = Verhandelingen, Verhandlungen.
Versl. enz. = Verslagen der Kon. Akademie van Wetenschappen te Amsterdam.
Vid. Selsk. Forh. = Videnskabs Selskabets Forhandlingar.
Zs. = Zeitschrift.
Het tijdschrift, *das Wetter* heet thans: *Zs. f. angewandte Meteorologie*.
De litteratuur uit Ruskin is aangehaald naar de Library Edition (London 1903—1912); de Romeinse cijfers zijn de nummers der delen.
Verwijzingen naar de Natuurkunde van 't Vrije Veld, tweede deel, zijn voorafgegaan door het cijfer II.

WOORDENLIJST.

- Aanvullende kleur, 131—142.
Aarde, holle —, 162.
„ kleur der —, 331, 342.
Aardlicht 287, 292.
Aardschaduw 269, 273, 275, 278, 297.
„Aardse corona” 282.
Aardse straalkromming 46, 70.
Absorptie in gaas, in bos 89, 90, 343.
„ in lichtbuizen 115.
„ in water 306—.
„ in wolken 301.
Ademwolken 224.
Afplatting hemelgewelf 156—.
Asgrauwe licht 110, 134, 295.
Astronomische schemering 272.
Aureool 217, 220, 222, 233, 258, 329.
Auto 42, 51, 100, 112, 126, 148, 213.
Autokinetische gezichtsindrukken 146.
Autowiel, „stilstaand” 126.
Avondrood 267—280.
- Baden, waarnemingen bij het —, 57,
96, 314, 320, 328.
Ballon: zie *lichtballon*.
Ballonvorm der ondergaande zon 63.
Belichting, eenzijdige en alzijdige —,
339, 345.
Bewegingen, zien van —, 145—.
Bijtegenzon 205.
Bijzon 198, 199, 202, 205, 209.
Bishop, ring van —, 16, 281, 283.
Bladeren 333—337, 342, 350.
Blauwe zon 226, 297.
Blauwe lucht 239—.
Blinde strook 64.
Blikrichtingstheorie 164.
Bliksem 131, 185.
Bloembollenvelden 339.
Bloemen in 't landschap 113, 116,
131, 339—.
Bodem, invloed op kleur der zee 306, 312.
Bomen in 't landschap 1, 34, 90, 95,
330, 336—.
Bos in 't landschap 90, 95, 104, 138,
240, 338, 343.
Bouguer, kring van —, 206.
- Bovenraakboog, 198, 207, 209.
Branding, groene —, 71.
Brandlijn 171, 180.
Breking van 't licht 36—, 96.
Bril: zie *lognet*.
Brocken, spook van de —, 258.
Bui, kraag ener —, 155.
Buiging van 't licht 101, 170, 180,
197, 215, 220. Zie ook *verstrooiing*.
Bukken om kleuren te zien 118.
Bundels van Haidinger 16, 70, 160, 253,
272.
Burgerlijke schemering 271.
- Capillaire meniskus 17, 38.
Centraal gezichtsveld 105, 124.
Circumzenithale boog 202, 206.
Complementaire kleur 131—142.
Contrast 133—143, 274, 328, 330, 337.
Contrastzoom 134, 135.
Corona, aardse —, 282.
Cyanometer 244.
Cylinderlenzen 44.
- Dampkring, uitdoving door —, 82, 294.
„ verstrooiing door—, 239—.
Dauw 44, 187, 190, 233, 260.
Dauwboog 187, 190.
Dichroïsme van netvlies 255.
Diffusie: zie *verstrooiing*.
Direkt gezichtsveld 105, 124.
Diskontinuiteitslagen 63, 69.
Dispersie, 37, 98, 102.
Donkerheidslijn 245.
Doorlating 89—.
Draaiend landschap 154.
Draaiingszin, gezichtsbedrog omtrent —,
150.
Drempelwaarde voor helderheidsver-
houdingen 107, 128.
Druppels 32, 43, 100, 120, 170, 182,
185, 259, 265, 333.
Dubbelbreking 224.
Dubbele zon 204.
Dubbelsterren 103, 150.
Duinhellingen 58.
Dwaallichtjes 353.

- Eendekroos** 188, 340.
Eklips, zie: *Maan-*, *Zonsverduistering*.
Elisabeth Linné 131.
 „Engelenladder” 267.
Entopische verschijnselen 98—, 224.
Extinctie van het licht 82—, 294.
- Fata morgana** 59.
Fechner, regel van —, 106.
Fiets, gezichtsbedrog voor —, 144.
Fietswiel 125, 127.
Flikkeren 123, 124.
Fluorescentie 306, 322, 352.
Fonkelen der sterren 72—.
Fontein 176, 260.
Forel, schaal van —, 325.
Fosforescentie 349, 352.
Fotograferen 62, 173, 195, 207, 286, 355.
Fotografische fotometrie 94.
Fresnel, formule van —, 88.
- Gegenschijn** 291.
Gele vlek 98, 105.
Gesteenten 252.
Gezichtsbedrog 110, 119—169.
Gezichtsveld 105, 124, 169.
Glans 153, 331, 342.
Glas, 18, 38—, 89, 113, 114, 124, 151, 213, 216, 222. Zie ook: *Rood glas*.
Glimworm 348.
Gloeilamp, flinkerend 123, 124.
Glorie 227, 236.
Golffront 47, 171, 181.
Golflengte van 't licht 238.
Golfoppervlak 47, 171, 181.
Golven van 't water 12, 17—, 37, 47, 308, 315, 329, 341.
Gordijneffekt 108.
Gras 137, 187, 233, 334, 340.
Grenslijn 55.
Groene branding 71.
Groene lucht 247, 272, 275.
Groene rand 67.
Groen segment 67.
Groene straal 47, 66—.
 „Groene Water” 323.
Groenwieren 323, 342.
Groene zon 226.
Grootteklasse ener ster 81.
Grot 109.
- Hagelstenen**, fosforescentie 352.
Haidinger, bundels van —, 15, 70, 160, 253, 272.
- Halfschaduw** 3, 135.
Halo 15, 158, 193—, 223, 282, 355.
Halveringshoek 157.
Heide 215, 305, 339, 340.
Heiligheid 239—242, 255—267, 282.
Heiligenschijn 232—.
Hekverschijnsel 120, 129.
Hekken 91, 98, 119, 120, 149.
Heldere lichtschijn 269, 273.
Heldere nachthemel 286.
Heldere strepen aan nachthemel 287.
Heldere weerschijn 273.
Helderheid 81—.
Helderheidsverhoudingen in landschap 87, 106, 133—, 332.
Heliotroop 14.
Helling, gezichtsbedrog omtrent —, 144.
Hemel 109, 156—, 239—, 299.
Hemelgewelf 156—. Zie ook: *lucht*.
Hoeken meten 356.
Holle Aarde 162.
Hout, lichtgevend —, 350.
Horizontale cirkel 203.
 „ ” strepen 268, 273, 278.
Humuszuur 307, 323.
Hyperbool 187, 209.
- Ice-blink** 305.
Ijs 26, 58, 188, 196—, 213, 221, 232, 305.
Interferentie 170, 181, 210—.
Inversie 63.
Iriserende wolken. 229.
Irradiatie 110.
- Jakobs ladder** 267.
Jupiter 71, 78, 79, 103, 106, 219—.
- Kat-ogen** 234, 351.
Kegeltjes 105, 116.
Kern, boog van —, 203.
Kim 47—, 131, 320, 324.
Kimhoogte 47—.
Kimming 58.
Kleine kring 195—.
Kleuren 113—.
Kleur, aanvullende of komplemen-
 taire —, 131—142.
Kleurschifting 37, 98.
Kleurenmenging 113.
Kometen 233, 281, 285.
Komplementaire kleur 131—142.
Kontrast 133—143, 275, 317, 331, 335.
Kontrastzoom 134, 135.
Korenveld 35, 340.

- Kraag ener bui 155.
 Krakatau 227, 281.
 Kransen 16, 194, 210—, 217—, 355.
 Krassen in ruit 35, 216.
 Kringen om zon of maan 16, 158,
 193—210, 223, 282, 355.
 Kringen in boomkruinen 34.
 Kristallens 96, 99.
 Kronkels 24.
 Kruis 205, 209.
 Kwiklicht 115.
- Lantarens in de avond 8, 18—35, 73,
 74, 86, 100, 117, 139, 162, 187,
 225, 256, 264, 332, 344.
 Lichtaureool om schaduw 233, 258, 329.
 Lichtbakteriën 350, 351.
 Lichtbladeren 335.
 Lichtbuizen 100, 115, 123, 139, 226.
 Lichtende nachtwolken 282.
 Lichten der zee 349.
 Lichtgevende bladeren 350.
 „ hout 350.
 Lichtgevende gesteenten 353.
 „ vis 350.
 Lichtgevoeligheid van het oog 105.
 Lichtkringen: zie *kringen*.
 Lichtkruis 205, 209.
 Lichtmos 234, 352.
 Lichtschaduwfiguur 98.
 Lichtschijn om de zon 282.
 „ heldere —, 269, 273.
 Lichtverdeling aan de hemel 244, 301.
 Lichtzuil: zie *zuil*.
 Linné, verschijnsel Elisabeth —, 131.
 Lippmann-foto 215.
 Lorgnet 75, 101, 170.
 Lowitz, boog van —, 201.
 Lucht, kleur en helderheid der —, 95,
 239—, 301.
 Luchtballon 4, 162, 200, 227, 236,
 261, 355.
 Luchtkastelen 59.
 Luchtperspektief 240—.
 Luchtslieren 72—.
 Luchtspiegeling 50—.
 Lux 85.
- Maan bij de kim 46, 62, 158—169.
 „ gekleurde schaduwen 139.
 „ groene straal bij —, 71.
 „ kleur van — en maanlicht 138,
 282, 297.
 „ irradiatie 108.
- „ landschap bij —, 106, 108, 117,
 242.
 „ kontrastverschijnselen 134, 138,
 139, 142.
 „ lichtsterkte 86, 355.
 „ mannetje in de —, 153.
 „ meelopende —, 154.
 „ meervoudige beelden 39, 42.
 „ meervoudige sikkels 65, 99.
 „ onderscheiding details op —,
 104, 153, 294.
 „ richting der horens 155.
 „ schaduw bij zonsverduistering
 250, 293.
 „ schijnbare bewegingen 147.
 „ waarneming sikkeltje 65, 99, 104.
 „ weerspiegeling 7, 18—, 327, 331.
- Maanregenboog 193.
 Maansverduistering 293.
 Maanzodiakaallicht 293.
 Mannetje in de maan 153.
 Marmerglas 39, 219.
 Mars 79, 138, 153.
 Melkweg 287.
 Meniskus 17, 38.
 Mens in het landschap 343.
 Mercurius 78.
 Meren 322.
 Metaalgaas 89, 92.
 Meteoren 281, 285.
 Meterkaars 85.
 Minimum-deviatie 196, 202.
 Mist 186, 227, 255—, 265, 345.
 Mistboog, 186, 228.
 Moiré bij gaas 92.
 Molekulen 240, 309.
 Molen, gezichtsbedrog bij —, 150.
 „Mooi-weer-katjes” 53.
 Morgenrood 267—280.
 Mossen 228, 351.
- Nabeelden 70, 126, 129—, 168.
 Nachthemel 286, 297.
 Nachtschemering 286, 288, 291.
 Nachtschemeringsschijn 288.
 Nachtwolken, lichtende —, 282, 284.
 Napurperlicht 282.
 Natriumlampen 100, 123, 139, 226.
 Nevel 186, 227, 242, 255—, 265, 345.
 Nevelboog 186, 228.
 Nevenregenboog 175—.
 Newton's kleuren 210.
 Nicol 185, 252, 311, 323. Zie: *polarisatie*.

- Nigrometer 141, 242.
 Noorderlicht 78, 287.
 Noordzee, kleur der —, 313—.
 „ zie ook *zee*.
 Oliehuidjes 210, 309, 313, 324.
 Omgeschreven halo 200.
 Onderschattingstheorie 156, 162—.
 Onderscheidingsvermogen van oog 103.
 Onderzon 205.
 Ondoorzichtigheid van gaas, bos, 89, 90.
 Ontwikkelingsgraad van halo's 207.
 Oog 96—, 224, 255, 294.
 Opdoeming 49.
 Oranje kleur der lucht 247.
 „ „ zon 240, 296.
 Ovaal, primaire en secundaire —, 21.
 Overschatting 158, 163.
 Overstraling 110.
 Overtallige bogen 175, 182, 186.
 Paarlemoerwolken 232.
 Parry, boog van — 206.
 Perifeer gezichtsveld 105, 124.
 Planeten, 71, 78, 99, 103, 105, 137.
 Planten, vereiste lichthoeveelheid 95.
 Plassen, kleur van, 307—, 341.
 Polaire lucht 264.
 Polarisatie 16, 184, 198, 217, 231, 232,
 250—255, 272, 285, 323.
 Polarisatiehoek 250, 323.
 Polariskoop van Savart 252.
 Polaroid 250.
 Purkinje 98, 116, 149.
 Prisma 40, 103, 196.
 Purperlicht 269—279, 282.
 Raakbogen 198, 200, 202, 207, 209.
 Radiaal 2.
 Radiomast 147, 167.
 Rand, groene —, 67.
 Rayleigh, verstrooiingswet 240.
 Rechtstreeks gezichtsveld 105, 124.
 Reflex in lorgnetglazen 102.
 Reflexie, totale —, 98, 235.
 Regen 23, 32, 120, 259, 265, 341—, 345.
 Regenboog 172—, 267, 355.
 Regendruppels 32, 43, 100, 170, 259.
 Rijkkristallen 45, 210, 213, 223, 332.
 Ring van Bishop 16, 281, 283.
 Rode straal 71.
 Rood glas 117, 246, 255, 265.
 Rook 188, 237, 261.
 Rottend hout 350.
 Ruiten. Zie: *glas*.
 Saturnus 103, 235.
 Savart, polariskoop van —, 252.
 Schaduwen, donkerheid van —, 86, 343.
 „ van fietswiel 127.
 „ van hekken 92, 93, 98.
 „ kleur van —, 139—142, 344.
 „ kontrastzoom bij —, 135.
 „ onscherpe —, 3, 115.
 „ op gras 232—.
 „ op mist 186, 227, 257, 266.
 „ trillen van —, 72.
 „ op water 310, 317, 326—.
 „ van wolken 266, 275, 300,
 317, 320, 327.
 „ bij zon, bij bedekte lucht
 345.
 Schaduwbanden 79.
 Schaduwbladeren 335.
 Scheefheid van halo-verschijnselen 207.
 Schemering 77, 98, 103, 116, 131, 140,
 267—, 310, 335, 344. Zie ook:
zonsopgang.
 Schemeringscirri 283.
 Schemeringskleuren 16, 267—.
 Schemeringsschijn 271, 273, 289.
 Schemeringsstralen 70, 275.
 Schip 17, 51, 143, 144, 147, 320, 330.
 Schuim 318, 319, 340.
 Scintillatie 72—.
 Segment, groen —, 67.
 Silhouetten 138, 150, 327, 344.
 Simultaankontrast. Zie: *kontrast*.
 Slagschaduwen 345.
 Slierenmethode 17.
 Slieren, lucht—, 72—.
 Sneeuw, fosforesceren van — 352.
 „ helderheid van —, 136, 341.
 „ kontrast na —, 139.
 „ lichtzuilen op —, 32.
 „ lichtschijn op de wolken, 304.
 „ nabebelden van —, 132.
 „ schaduwen op —, 140, 347.
 „ vallende —, 119, 149.
 „ vlokken 119, 149.
 „ „zwarte” —, 136.
 Snelheid, indruk van —, 145.
 Spektrum 103, 186.
 Spiegelbeeld 7—, 39, 43, 89, 107, 153,
 189, 251, 305—322.
 Spiegelglas 18, 39—, 89.
 Spinnewebben 35, 187—.
 Spook van de Brocken 258.
 Spoorweg, luchtspiegeling boven—, 58.
 Staafjes van 't netvlies 105, 116, 124.

- Waterwervels 17, 37.
 Weerspiegeling. Zie: *terugkaatsing*.
 Weerschijn, heldere —, 269.
 Weg, 26, 32, 52, 58.
 Weiland 53, 114, 137, 187, 233, 241, 334, 339, 340.
 Wiel 120, 125—129.
 Windmeter 151.
 Windmolen 150.
 Wolken, invloed op fonkelen 77.
 „ indruk van snelheid 145, 147.
 „ iriserend 229.
 „ kringen, kransen 193—233.
 „ helderheid, kleur 230, 241, 299—.
 „ onderscheiden van ijle —, 246, 251.
 „ ondoorzichtigheid 265.
 „ schaduwen 266, 275, 300, 317, 320, 327.
 „ schijnbare afstand 164.
 „ weerspiegeling 10, 28, 189, 251, 315, 320.
 Wolkenbanden 155.
 Woud in 't landschap, zie: *bos*.
 Zand, weerschijn op wolken 305.
 Zee 5, 28—30, 47—71, 110, 142, 147, 160, 188, 311—324, 349.
 Zeepbellen 16, 210.
 Zeevonk 349.
 Zelfabsorptie in lichtbuizen 115.
 Zicht 263.
 Zichtbaarheid van druppels en stof 259.
 Zodiakaallicht 287—.
 Zoeklicht 80, 154, 262.
 Zon, blauwe en groene —, 226.
 Zon, grootte der —, 2, 158—169.
 „ invloed op Aarde 281.
 „ irradiatie 110.
 „ kleuren der —, 256, 296.
 „ landschap van en naar —, 261, 334, 339, 342.
 „ lichtschijn om de —, 112, 282.
 „ op-, ondergaande —. Zie: *Zonsopgang*.
 „ weerspiegeling 8, 12, 28—30, 107, 331.
 Zonnebeeldjes 1, 39, 159.
 Zonneschijn 107, 296.
 Zonnevlek 1, 62, 71.
 Zonsopgang, —ondergang
 groene straal 66—71.
 irradiatie 110.
 kleuren der zon 140, 185, 240, 296.
 landschap bij —, 318, 334, 346.
 lichtbuiging bij —, 216.
 nabebelden 126, 130, 133.
 schaduwbanden 80.
 schaduwen bij —, 5, 346.
 schemeringsverschijnselen 267—282.
 schijnbare vergroting der zon 158—168.
 silhouettering 344.
 straalkromming 46.
 vervormingen 62—65.
 watertrekken 266.
 weerspiegeling 8, 30, 318.
 wolkenkleur 302.
 Zonsverduistering 4, 80, 136, 250, 293.
 Zuil 18—, 204—207, 327.
 Zwart lichaam 243, 343.
 Zwevingen tussen hekken 91.

ERRATUM.

De noot aan het eind van § 24, blz. 33, is onjuist. De volledige berekening leert, dat de lichtreflex *een hyperboolboog* vormt door het spiegelbeeld der lichtbron M en het centrum der kringgolven D. De geringe kromming van die boog valt meestal niet op.

