

JANNEKE SCHENK

OVER DE  
REGENBOOG

Regenbogen en andere  
lichtverschijnselen aan  
de hemel, natuurkundig  
verklaard voor iedereen

**FONTAINE UITGEVERS**

6	Inleiding	Meten aan de hemel 8 Zonlicht 10
13	Regenboog	Breking van licht 16 Reflectie 18 Kleurscheiding 20 Regenboog 24
69	Dubbele regenboog	Dubbele regenboog, bijboog 70 Spiegelboog 94
99	Overtallige bogen	Interferentie 102 Overtallige bogen 108
121	Mistboog	
129	Rode regenboog	Verstrooiing 132 Rode regenboog 134
137	Wagenwielregenboog	
147	Corona	Buiging 150 Corona 158 Iriserende wolken 174
177	Glorie	
195	Heiligenschild	Bolle lenzen 200 Heiligenschild 202
215	Halo's	Cirkelvormige halo's 222 – 22° halo 224 – 46° halo 240 – afwijkende straal 246 Bijzonnen 252 Raakboog/omhullende halo 266 Circumzenitale boog 270 Circumhorizontale boog 280
286	Bronnen en literatuur	
288	Dank	



13



69



94



99



121



129



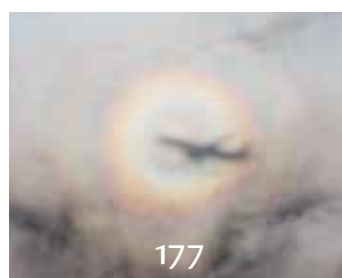
137



147



174



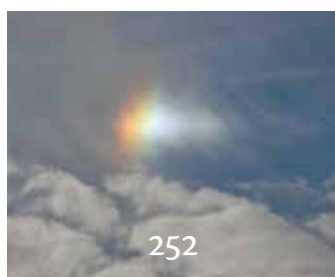
177



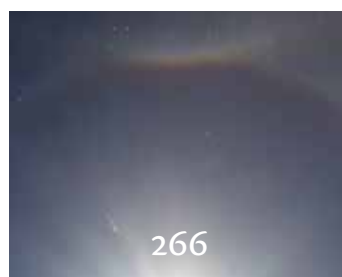
195



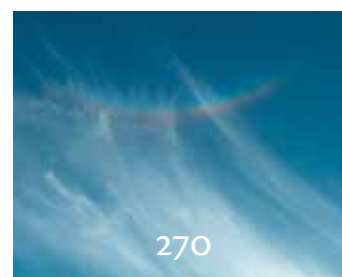
222



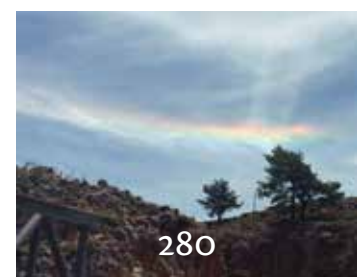
252



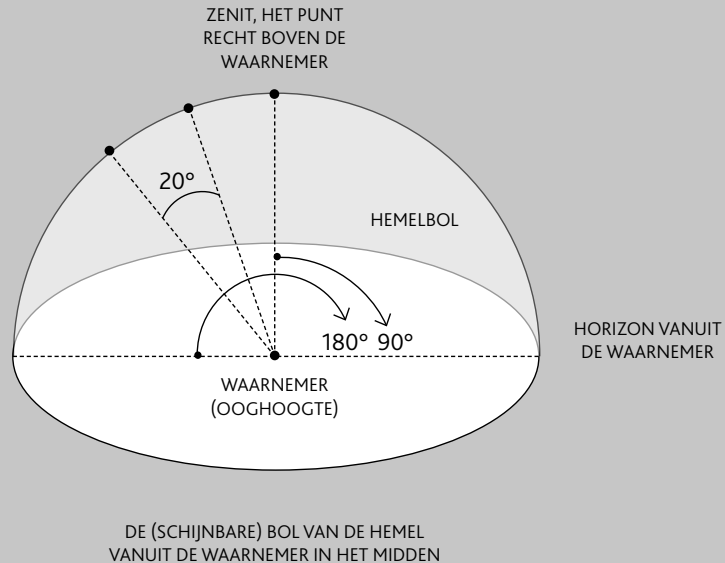
266



270



280

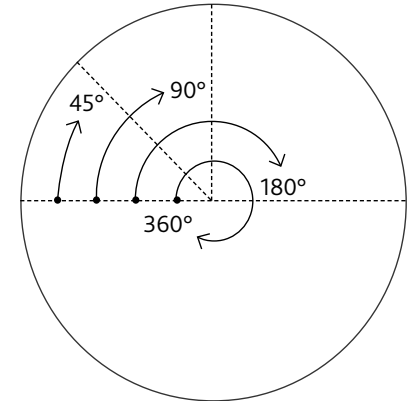


#### Afstanden:

Als de hoek tussen de lijnen vanuit twee punten op de hemelbol naar de waarnemer  $20^\circ$  is, wordt de afstand tussen die twee punten  $20^\circ$  genoemd. Als je de zon en de maan op deze manier meet aan de hemel zijn ze allebei ongeveer  $0,5^\circ$  in diameter.

## Metten aan de hemel

Als je optische verschijnselen aan de hemel bestudeert, kan het van belang zijn de maat en richting ervan te bepalen. Maten aan de hemel kan je niet goed uitdrukken in meters. Als je naar de zon en de maan kijkt, zien die er aan de hemel ongeveer even groot uit, terwijl de diameter van de zon ongeveer vierhonderd keer zo groot is als die van de maan.



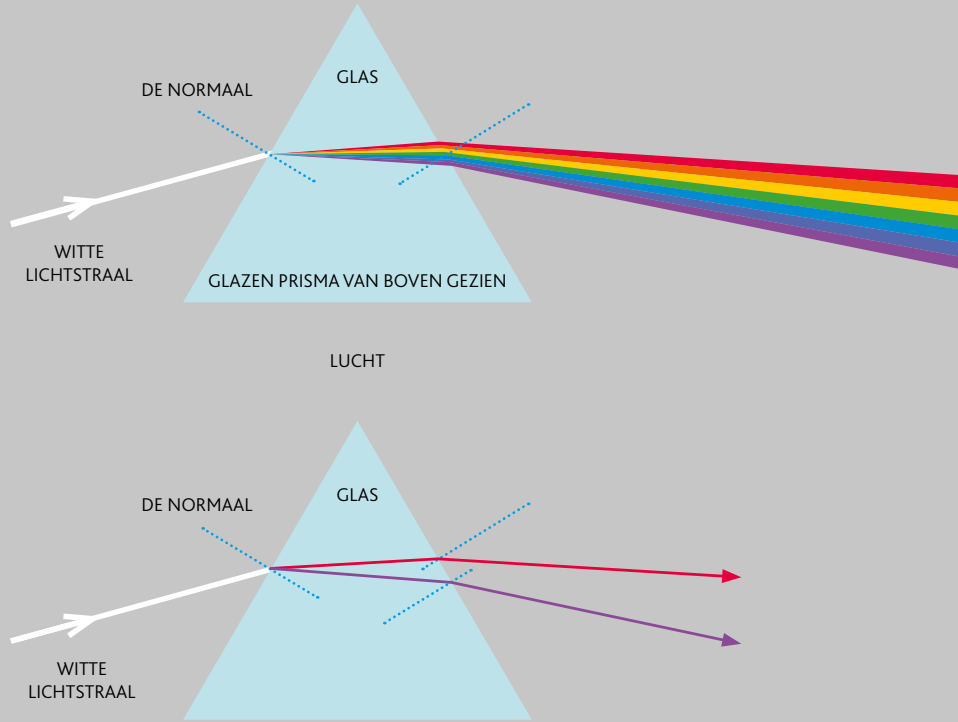
Maten aan de hemel kan je het beste aangeven in graden. Je stelt de hemel dan voor als een halve bol met jezelf als waarnemer in het midden. De omtrek van een complete bol is  $360^\circ$ . De maat van de hemel zoals je die ziet, is de helft:  $180^\circ$ .



# Regenboog

Een regenboog is een indrukwekkend gezicht, vooral als de lucht dreigend en donker is en de zon in de voorgrond schijnt. Waar komen de kleuren van een regenboog vandaan? Wat is de volgorde van de kleuren en waarom is een regenboog een boog?

Een regenboog kan je zien wanneer je de zon in je rug hebt en er regen voor je is. De regenboog wordt gevormd door zonlicht dat via regendruppels van richting verandert. Een deel van het licht dat een druppel binnengaat, wordt op het grensvlak van lucht en water gebroken. Vervolgens reflecteert (weerkaatst) het tegen de achterkant van de druppel en wordt bij het verlaten van de druppel opnieuw gebroken. Bij de breking van het licht in de druppel worden de kleuren licht van elkaar gescheiden. Om dit beter te begrijpen begint dit hoofdstuk met een algemene uitleg van breking, reflectie en kleurscheiding. Dit zijn theorieën waarbij licht wordt opgevat als een straal bestaande uit deeltjes; het golfkarakter van licht wordt hierbij buiten beschouwing gelaten.



In de onderste afbeelding zijn alleen de buitenste kleuren, rood en violet, getekend. Violet licht breekt het sterkst en rood licht het minst.

## Kleurscheiding

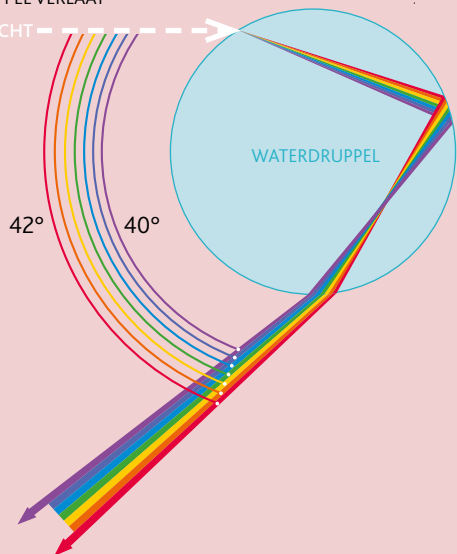
In 1704 toonde Isaac Newton aan dat licht niet wit is, maar bestaat uit verschillende kleuren. Hij liet een straal wit licht door een prisma gaan. Een prisma is een plat stuk glas waarvan de zijden niet evenwijdig zijn. In de illustratie van p. 16 zijn de grensvlakken wel evenwijdig aan elkaar en breekt het licht bij het verlaten van het medium terug in de oude richting. Bij het binnengaan en verlaten van een prisma breekt het licht twee keer in dezelfde richting.

Maar dat niet alleen: het witte licht valt ook uiteen in kleuren. Dat komt doordat de verschillende kleuren licht niet dezelfde brekings-index hebben en daarom niet in dezelfde hoek breken. De twee uitersten zijn het violette licht, dat het sterkst breekt, en het rode licht, dat het minst sterk breekt. Dat gebeurt twee keer dezelfde kant op, waardoor de kleuren nog verder uit elkaar komen te liggen. Tussen het rode en violette licht zit achtereenvolgens oranje, geel, groen, blauw en indigo licht. De kleuren zijn niet begrensd maar lopen in elkaar over.

Newton toonde ook aan dat als de gescheiden kleuren licht over elkaar heen gaan het licht weer wit wordt. Wit licht bestaat dus uit kleuren en die kleuren samen maken wit licht.

INVALLENDE LICHTSTRAAL  
DIE ONDER DE MAXIMALE  
HOEK DE DRUPPEL VERLAAT

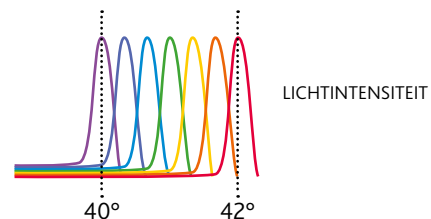
— WIT ZONLICHT —



In de hierna volgende afbeeldingen worden alleen de twee uiterste kleuren, rood en violet, weergegeven. De andere kleuren zitten daar altijd tussen.

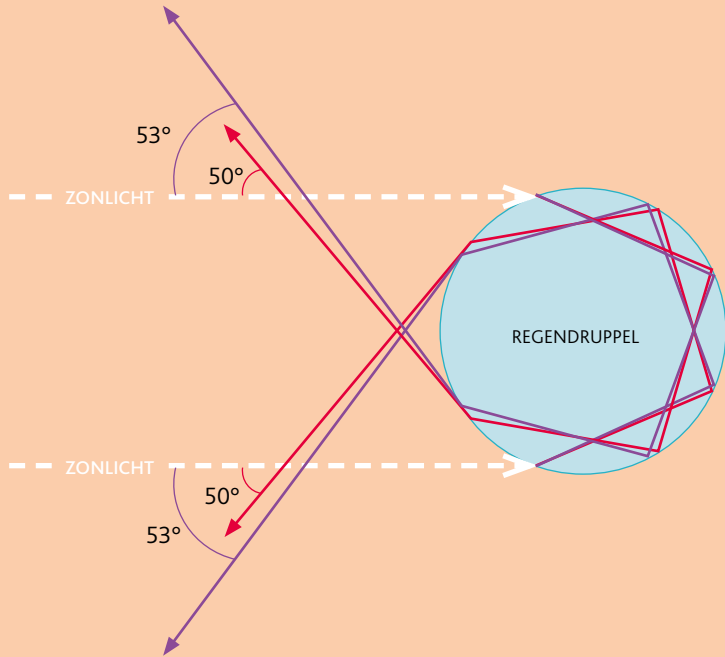
### De kleuren licht worden bij de maximale hoek zichtbaar.

Alle kleuren licht worden zichtbaar bij de maximale hoek waarmee ze de druppel kunnen verlaten. Voor het rode licht ligt dat voor de hand: uit een hoek van  $42^\circ$  kan alleen het rode licht nog uit de druppel komen aangezien alle andere kleuren kleinere maximale hoeken hebben. Maar het violette licht wordt zichtbaar bij  $40^\circ$ , terwijl daar alle andere kleuren licht (die een grotere maximale hoek hebben) ook uit de druppel komen. Dat wordt verklaard doordat alle kleuren bij hun maximale hoek een piek in hun intensiteit hebben: uit die hoek komt het meeste licht (zie ook p. 53). Vandaar dat elke kleur licht bij zijn eigen maximale hoek zichtbaar wordt.









De onderbroken witte lijn is de invallende straal zonlicht, boven en onder, die met de minimale hoeken de druppel verlaat.

**Aan de bovenkant en aan de onderkant van de druppel is een straal die met de minimale hoek uitvalt.**

Om te bedenken hoe de bijboog eruitziet aan de hemel volgen we dezelfde denkwijze als bij de eerste regenboog. Eerst bekijken we de regendruppel weer in het platte vlak. Er is dan zowel aan de bovenkant als aan de onderkant van de druppel een straal die zodanig invalt dat hij na twee reflecties met de minimale hoek uit de druppel komt. De onderbroken lijn in de afbeelding hiernaast geeft de invallende straal zonlicht weer, onder en boven, die met de minimale hoeken uitvalt na twee reflecties binnen de waterdruppel.



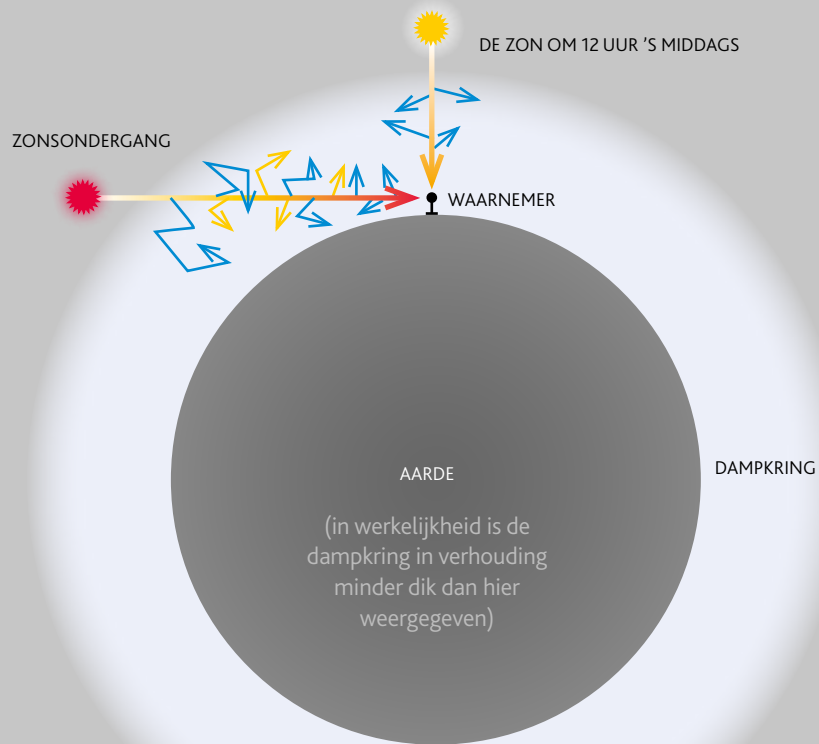


## Spiegelboog

Ook door spiegeling kan een regenboog verdubbelen. Om te beginnen natuurlijk door spiegeling van de boog zelf in water voor je. Maar ook in de lucht kan een tweede regenboog zichtbaar worden wanneer het zonlicht eerst in vlak water, bij voorkeur achter je, weerkaatst en daarna de regendruppels bereikt. De regenboog die dan gevormd wordt heet een spiegelboog. De regenboog en de spiegelboog kruisen elkaar op de horizon.

Als er een gewone regenboog en een bijboog zijn, kunnen beide bogen verdubbelen zodat er vier bogen te zien zijn, zoals op de foto hier naast.

Het centrum van de na weerkaatsing van het zonlicht gevormde boog ligt net zover boven de horizon als dat van de oorspronkelijke boog (het antisolaire punt) eronder ligt.



Als de zon laag staat, is het licht van de zon rood.

Als de zon ondergaat of opkomt, is de luchtlaag waar de stralen doorheen gaan veel dikker dan als de zon recht boven je staat. Het licht komt meer deeltjes tegen en wordt daardoor meer verstrooid. Het blauwe deel van het licht wordt dan zó sterk verstrooid dat het bijna niet meer aanwezig is vanuit de richting van de zon. Ook het groene en gele licht zijn voor een groot deel alle kanten op verstrooid. Het rode licht, met de grootste golflengte, wordt het minst verstrooid en maakt dat het licht dat van de zon komt voornamelijk rood is.

Als vlak voordat de zon ondergaat of opkomt een regenboog wordt gevormd en het licht overheersend rood is, zal in de regenboog ook vooral het rode deel zichtbaar zijn. De andere kleuren zijn dan niet (of veel minder) in het licht, dat via de regendruppels je oog bereikt, aanwezig.

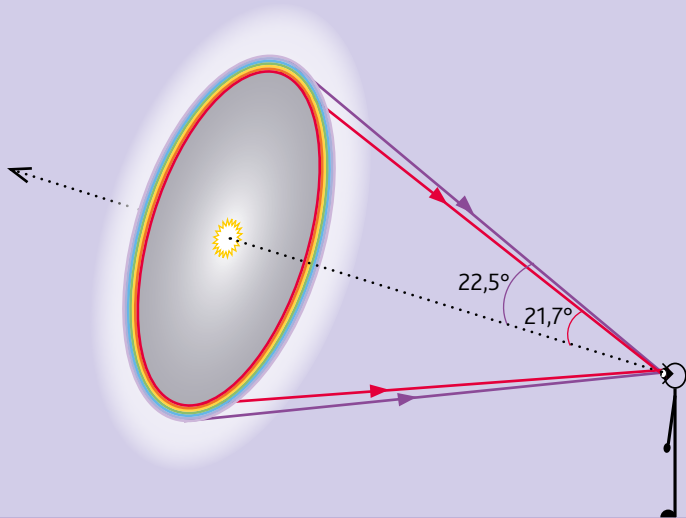


## In de bergen kan je een glorie zien om je schaduw op mist of wolken.

Soms, zoals op de foto op de volgende twee pagina's, is om een glorie heen ook nog een mistboog te zien. Die heeft een veel grotere hoek, net als de regenboog ca.  $40^\circ$ .

Aan de binnenkant van de mistboog op die foto zijn ook nog overtallige bogen zichtbaar. Opvallend is dat de overtallige bogen rood zijn aan de binnenkant van de boog. Als de druppels groter worden, kan de eerste overtallige boog rood aan de buitenkant worden. (Les Cowley laat dit op zijn website [atoptics.co.uk](http://atoptics.co.uk) zien met een computersimulatie.) Bij een regenboog, als de druppels nog groter worden, zijn alle overtallige bogen rood aan de buitenkant.

Ook vanuit een vliegtuig kan om een glorie een cirkelvormige witte mistboog op de wolken te zien zijn in een hoek van ca.  $40^\circ$ .

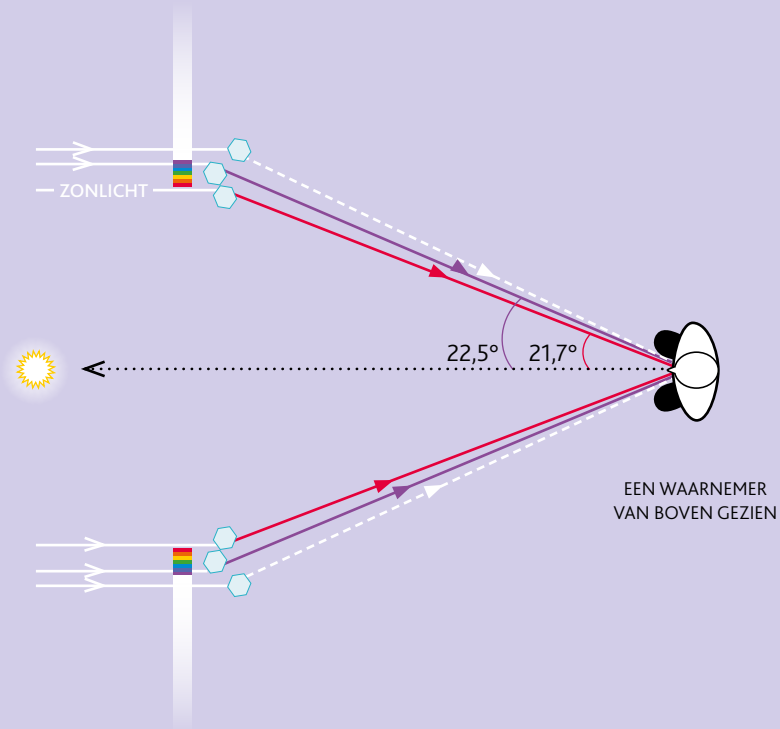


Aan de binnenkant is de halo donker en aan de buitenkant licht.

Omdat de kristallen in alle mogelijke richtingen staan, kun je het verschijnsel overal zien in een hoek van  $22^\circ$  ten opzichte van de lijn tussen je oog en de zon. Je ziet dus een cirkel om de zon met een diameter van twee keer  $22^\circ$ .

De kleinste hoek waarin het licht van richting verandert is  $21,7^\circ$  (van het rode licht). In kleinere hoeken wordt geen licht teruggezonden. Binnen in een halo, om de zon heen, is het dus donker.

In hoeken groter dan ca.  $50^\circ$  komt ook geen licht meer terug, daar houdt de halo op. Omdat de meeste stralen bij ongeveer  $22^\circ$  van richting veranderen zie je daar de halo het sterkst. Soms zie je meerdere kleuren, soms alleen het rood en soms is de halo helemaal wit. Ook om de maan kan een halo zichtbaar zijn.



**Bijzonnen staan op een afstand van  $22^\circ$  of iets meer van de zon.**

De bijzonnen zijn te zien op dezelfde hoogte als de zon. Ze zijn zichtbaar op de cirkel van de  $22^\circ$  halo als de zon laag staat of iets buiten de cirkel, als de zon hoger staat. De  $22^\circ$  halo hoeft niet tegelijkertijd zichtbaar te zijn met de bijzonnen. Ook kan alleen links of rechts een bijzon te zien zijn, afhankelijk van de aanwezigheid van ijskristallen in de lucht.

Een halo krijgt een cirkelvorm om de zon wanneer de schijfvormige zeshoekige kristallen in alle mogelijke richtingen in de lucht voorkomen. Als de kristallen alleen horizontaal georiënteerd zijn, zie je het effect in het horizontale vlak op de hoogte van de zon als bijzonnen.

Het rood van de bijzonnen aan weerszijden van de zon is naar de zon gericht. De intensiteit van het licht in de bijzonnen is groot en de kleuren zijn helder. Dit wordt veroorzaakt doordat de ijskristallen in dezelfde richting georiënteerd zijn, waardoor het licht nu niet over een kegel in alle richtingen verdeeld wordt.