

LICHTVERSCHIJSSELS IN DEN DAMPKRING.

DOOR

Dr. H. EKAMA.

DE KLEUR VAN DEN HEMEL.

Wanneer de aarde geen dampkring bezat, dan zouden wij den hemel volkomen zwart zien, waartegen de zon als een gloeiende schijf zou afsteken. De blauwe kleur van den hemel heeft, evenals het morgen- en avondrood, reeds spoedig een diepen indruk op de menschen gemaakt; zoodat men niet tevreden zijnde met de bloote beschouwing, alras naar een verklaring heeft gezocht. Het was echter moeielijk een goede theorie op te bouwen, daar men geen overeenkomstige verschijnselen kende, waarmede men haar in verband kon brengen.

Een eerste poging om een verklaring te geven is in het begin der 16de eeuw door LEONARDO DA VINCI gewaagd; doch deze theorie, — welke wel is waar na hem nog enkele verdedigers vond, — werd spoedig vergeten, totdat zij in later tijd door GOETHE met een bijzondere voorliefde, in zijn *Farbenlehre*, weder werd opgevat. Hij beschouwde de atmosfeer als een onvolkomen doorzichtige of troebele middenstof, en kende nu aan alle troebele stoffen de eigenschap toe, om wit licht rood en daarentegen de duisternis blauw te doen schijnen.

Hoewel GOETHE deze theorie met veel overleg heeft ontwikkeld, zoo heeft hij toch bij hare opstelling alles, wat met wetenschappelijke zekerheid omtrent de natuur en het ontstaan der kleuren in zijn tijd bekend was, zoo volkomen genegeerd, dat de Engelsche natuurkundige

FORBES¹ van deze verklaring zeggen kon: »Nog later werd zij, tot schande der nieuwere natuurkunde, door de kleurliovende grillen van GÖTTE weder in het leven geroepen.»

Volledigheidshalve zullen wij nog MUNCKE'S verklaring vermelden, die het blauw van den hemel als een optisch bedrog en slechts als een subjectieve kleur beschouwde.

NEWTON nam aan, dat het licht door in de luchtzwevende waterdeeltjes teruggekaatst wordt, en dat deze deeltjes wegens hunne geringe afmetingen door interferentie de blauwe kleur veroorzaken.

Andere natuurkundigen zoeken de oorzaak van de blauwe kleur in de lucht zelf, en daartoe kennen sommige van hen de lucht een blauwe kleur toe, die evenwel slechts in dikkere lagen merkbaar zou zijn, terwijl de andere haar de eigenschap toeschrijven om van het witte licht de blauwe stralen het sterkst terug te kaatsen, de roode daarentegen beter door te laten.

Deze laatste theorie, die vooral door BOUGUER en later door BRANDES zeer volledig is uitgewerkt, levert echter een groote zwarigheid op. Volgens haar toch moest, — daar de hoeveelheid lucht, die ons omgeeft, bijna altijd even groot is, — het avond- en morgenrood zich bij elken zonsop- en ondergang vertoonen. Dat dit niet het geval is, schreef BRANDES toe aan waterdamp, welke overdag het blauw van den hemel een melkachtig aanzien geeft en 's morgens en 's avonds het rood bij den horizon ook met meer of minder wit bedekt, naarmate de hoeveelheid van den waterdamp grooter of geringer is. Dat echter waterdamp een bepaalde soort van licht in wit licht, — dus licht, dat elke soort bevat, — zou kunnen omzetten, is onjuist.

In 1838 deed FORBES een ontdekking, die den grondslag vormde voor de juistere verklaring van het avond- en het morgenrood. Hij keek, op den Greenwich-spoorweg zijnde, toevallig door den straal waterdamp, die uit de veiligheidsklep der locomotief ontsnapte, naar de zon, en bemerkte, dat de damp een oranjerode kleur aannam. Hij onderzocht de zaak verder, door bij nacht waterdamp uit een stoomketel te laten stroomen, door welken hij naar een lantaarn keek. Onder bij de buis zag hij het licht door den straal onveranderd, iets hooger had het een oranje kleur, die evenwel nog verder van de buis onduidelijk werd, doordat de waterdamp dan geen licht meer doorliet.

¹ *Phil. Mag.*, 1839, Vol. XIV, p. 420. *Trans. of the Royal Soc. of Edinb.*, Vol. XIV, p. 376 en *Pogg. Ann* LI, Erg. p. 51.

FORBES besloot hieruit, dat het water in drie toestanden in de atmosfeer voorkwam: als damp, als blaasjes en als een tusschenvorm, welke in staat zou zijn wit licht rood te maken.

CLAUSIUS¹ neemt, om het verschijnsel zonder behulp van dezen tusschenvorm voor den waterdamp te verklaren, de vroeger vermelde theorie van NEWTON te baat. Neemt men aan, dat de waterdamp in den vorm van blaasjes voorkomt, dan zal de lichtstraal door twee zeer dunne waterplaatjes moeten gaan. Nu is echter bekend, dat dunne plaatjes van het witte licht een andere kleur terugkaatsen, al naar de dikte der plaatjes.

De dünnere plaatjes kaatsen slechts het blauwe, de dikkere daarentegen het roode licht terug. Ook het doorgaande licht wordt veranderd, evenwel niet in zulk een groote mate; zoodat het licht door zeer veel plaatjes moet gegaan zijn, voordat deze verandering merkbaar wordt. Bij zeer dunne plaatjes is de kleur van het doorgelaten licht oranje-rood.

Door dit op de waterblaasjes toe te passen, kunnen wij de hier besproken verschijnselen verklaren. Worden de wanden der blaasjes dikker, dan krijgt men andere kleuren; doch daar er zich voortdurend nieuwe dunne blaasjes vormen, krijgt men deze kleuren niet alleen, maar altijd een mengsel van kleuren, welke ten slotte wit licht zullen geven. Dat men slechts het rood aan den hemel waarneemt, wanneer de zon dicht bij den horizon staat, vindt volgens CLAUSIUS zijne verklaring in het feit, dat dan het zonlicht den grootsten weg door de atmosfeer moet afleggen. Dikwijls vertoont zich de roode kleur op andere deelen van den hemel dan waar de zon staat; maar dat is eenvoudig het gevolg daarvan, dat als het zonlicht eenmaal rood gekleurd is, alles wat het beschijnt een roode kleur zal aannemen.

Uit deze theorie volgt duidelijk de samenhang, dien men toeschrijft aan de kleur van den hemel met het weder; denken wij slechts aan het versje:

Des avonds rood en 's morgens grijs,
 Dan gaat men steeds gerust op reis;
 Doch 's avonds grijs en 's morgens rood,
 Dan stelt men zich aan regen bloot.

Reeds den Joden² ten tijde van CHRISTUS was deze samenhang bekend. Vele andere zaken behalve de waterdamp in den dampkring oefenen

¹ GRUNERT, *Beiträge zur meteorologischen Optik*, Th. I, Heft 4, p. 393.

² Matth. XVI: 2 en 3,

evenwel invloed op het weder uit, zoodat men niet te veel waarde aan dezen samenhang hechten moet.

Somtjids is aan den avondhemel groen waargenomen, o. a. door PLEISCHL in Munchen, VIETH in Dessau, MUNCKE en BRANDES¹. Waarschijnlijk zal dat groen in de meeste gevallen ontstaan, doordat het oranje in den omtrek van de zon en het blauw van den hemel te zamen daar ter plaatse een flauw groen opleveren. Ook zijn door BRANDES groene wolken gezien, zelfs tot tweemalen toe; doch de laatste maal bleek het, dat zij zonlicht terugkaatsten, dat reeds door groene weiden was gereflecteerd.

De verklaring van CLAUSIUS geeft ons het verschijnsel nauwkeurig weer; alleen komen de door hem aangenomen waterblaasjes in de atmosfeer niet voor, want het water neemt den vorm van waterbolletjes aan, en daarmede valt de geheele theorie.

Het water kan in drie verschillende toestanden in de atmosfeer voorkomen, namelijk als waterdamp en als grootere of kleinere waterbolletjes. Deze twee laatste vormen zijn zeer verschillend. Volgens c. RITTER² verliezen de grooteren gemakkelijker de ronde gedaante en zijn zij in staat een voorwerp te bevochtigen, terwijl de kleineren hun bolvorm zeer moeielijk verliezen en tegen de voorwerpen botsen, zonder ze nat te maken.

Volgens hem veroorzaken de grooteren, die zichtbaar zijn, de breking der lichtstralen en de kleineren, meestal onzichtbare, de buigingsverschijnselen in de atmosfeer.

Zullen zich evenwel in den dampkring waterbolletjes kunnen vormen, dan is het noodig, dat zich daarin tal van zeer kleine stofdeeltjes bevinden, welke meestal zoo klein zijn, dat zij geheel aan de waarneming ontsnappen. Dat deze deeltjes en ook de waterbolletjes en ijsnaaldjes zoolang in den dampkring kunnen blijven zweven, wordt veroorzaakt, doordat de weerstand van de lucht bij het vallen evenredig is met het oppervlak, en dus met de tweede macht van hunne afmeting toeneemt, terwijl het gewicht slechts evenredig is met de derde macht; zoodat de betrekking tusschen het gewicht en den weerstand van de eerste macht van de afmeting is. In rustige lucht zullen deze deeltjes wel is waar vallen, maar de geringste luchtstroom is dan ook weer in staat hen tot een aanmerkelijke hoogte op te voeren; boven-

¹ GEHLER'S *Neues physikalisches Wörterbuch*. Art. *Abendroth*.

² *Naturwissenschaftliche Rundschau*, Jahrg. IV, N^o. 33, p. 418.

dien worden de waterbolletjes en ijsnaaldjes voortdurend vernieuwd, zoodat deze niet kunnen verdwijnen.

De stofdeeltjes veroorzaken door de capillaire werking, die zij op den waterdamp uitoefenen, de vorming van de druppels. Dat deze zich slechts bij de aanwezigheid van stofdeeltjes kunnen vormen, kan men aantonen met de proef van ROULIER. In een klok, gevuld met vochtige lucht, zal men, wanneer men de lucht zich plotseling laat uitzetten, een vorming van nevels waarnemen, doordat de lucht bij deze uitzetting afkoelt. Brengt men evenwel in de klok lucht, die eerst door een prop katoen is gestreken en daarna eenigen tijd in rust is gelaten, zoodat alle stofdeeltjes verwijderd zijn, dan zal het niet gelukken eenigen nevel te doen ontstaan.

De volledige verklaring van het *blauw* van den hemel en het *morgen-rood* is gegeven door RAYLEIGH ¹, welke beide verschijnselen tot de buigingsverschijnselen heeft teruggebracht. Bevat de ruimte vreemde lichaampjes, die op een willekeurige wijze verspreid zijn en die een deel van het licht onderscheppen, zoo komen deze lichaampjes overeen met onvolmaakte schermpjes. Bij de behandeling der kransen hebben wij gezien, dat wij volgens het beginsel van BABINET ², het verschijnsel mogen omkeeren, en in plaats van al deze kleine schermpjes een scherm kunnen nemen met openingen, die in vorm en plaats met de schermpjes overeen komen.

Wanneer de beschouwde deeltjes klein zijn ten opzichte van de golflengte van het licht, dan zijn zij onzichtbaar. Voor iedere soort van licht komen nu slechts die deeltjes in aanmerking, van welke de afmeting kleiner dan de golflengte van het licht is. Daar het rood de grootste golflengte heeft, hebben op deze soort van licht slechts de grootere, en op het violet, met de kleinste golflengte, slechts de kleinere deeltjes invloed.

De lucht bevat nu, zooals reeds is opgemerkt, — ten minste tot zekere hoogte —, zelfs als hij zeer doorschijnend is, zwevende vaste en vloeibare deeltjes. Onder dezen zullen er van alle afmetingen voorkomen, maar meestal zullen de kleinere deeltjes de overhand hebben.

Slechts die deeltjes, welke een afmeting hebben gelijk aan de golflengte van een bepaalde soort van licht, zijn in staat een deel van

¹ STURTT'S *Phil. Mag.* Ser. IV, Vol. XLI, p. 107 and 275. MASCART. *Traité d'optique*. Tome I, p. 339.

² *Album der Natuur*, jaargang 1889, p. 361.

dit licht van richting te doen veranderen, m. a. w. den lichtstraal te buigen. De hoeveelheid licht, die nu van haar weg zal afwijken is, als de oorspronkelijke hoeveelheid van elke soort dezelfde is, volgens RAYLEIGH omgekeerd evenredig met de vierde macht van de golflengte; zoodat ook de hoeveelheden van de lichtsoorten, die in het blauw van den hemel voorkomen, omgekeerd evenredig moeten zijn met de vierde machten der overeenkomstige golflengten, wanneer men aanneemt, dat het aantal deeltjes van elke afmeting even groot is.

RAYLEIGH heeft nu door middel van den spektroskoop de kleur van den helderen hemel bij het zenith vergeleken met het zonlicht, nadat dit door een vel wit papier was gegaan, en de verhouding tusschen de verschillende deelen van het spektrum bepaald. Vergelijken wij deze uitkomsten met de volgens STRUTT berekende verhoudingen, dan vinden wij voor de volgende lijnen van FRAUNHOFER:

	C	D	b	F
(berekend)	1	1,54	2,62	3,34
(waargenomen)	1	1,64	2,84	3,60

Wanneer men let op de fouten, die bij dit moeilijke onderzoek niet vermeden kunnen worden, dan blijkt de overeenstemming zeer voldoende te zijn. Waarschijnlijk is de tint van den hemel iets rijker aan blauw dan de theorie aangeeft; maar men moet niet vergeten, dat ieder deeltje niet alleen het zonlicht buigt, maar bovendien ook licht, dat reeds door andere deeltjes een verandering heeft ondergaan. Hierdoor zal dus de hoeveelheid blauw in de kleur van den hemel toenemen.

De lichtstralen met een grootere golflengte, dus de roode, worden grootendeels doorgelaten. Wanneer het rood slechts tot $\frac{1}{5}$ van zijn oorspronkelijke intensiteit is terug gebracht, zijn reeds alle lichtstralen van een golflengte, kleiner dan die van 't geel, door de buiging uit het zonlicht verdwenen.

Dit verklaart ons de roode kleur der zon bij den horizon. Bovendien verklaart deze theorie, waarom het ultraviolette deel van het zonnespektrum veel korter is dan dat van de spektra van sommige kunstmatige lichtbronnen bijv. van het electriche licht.

Verder moeten wij nog opmerken, dat het licht, na doorgelaten te zijn door eenige der luchtlagen, door de buiging verspreid wordt, en dat licht, dat eerst verspreid is, later doorgelaten wordt. Door de eene oorzaak verdwijnen de lichtsoorten met de grootere, door de andere die

met de kleinere golfengten; zoodat wij hoofdzakelijk licht van een gemiddelde golfengte overhouden. Deze overblijvende tint hangt af van de afmetingen en van het aantal vreemde deeltjes, die in den dampkring zweven. Hierdoor worden de witte tinten verklaard, die het blauw van den hemel aanneemt, wanneer het helderder wordt; verder de toenemende zuiverheid van kleur, naarmate men het zenith nadert en de zwart-violette kleur, die de hemel heeft op dagen van groote doorschijnendheid en vooral, wanneer men zich op een hoog gelegen plaats bevindt, zoodat het licht niet door de onderste luchtlagen behoefde te gaan.

De vroeger gegeven verklaring van 't verschijnsel, dat het rood zich somtijds op andere plaatsen van den hemel dan in de richting van de zon bevindt, blijft toch gelden. Ook kunnen wij zoo den monochromatischen regenboog verklaren, — zoo genoemd, omdat deze slechts een roode kleur vertoont, terwijl hij op de plaats der overige kleuren bijna volkomen zwart is.

Met Kerstmis van het jaar 1887 heeft JOHN AITKEN¹ een dergelijken regenboog gezien, die zich eerst als een roode zuil vertoonde, doch later in een volkomen boog overging. Het rood was zeer gelijkmatig verdeeld en op een of twee plaatsen waren slechts sporen van geel te zien, terwijl de overige kleuren geheel ontbraken. Het zonlicht was nu, voordat het door de grootere waterdruppels gebroken werd, door een laag kleinere druppels gegaan, die er de lichtstralen met een kleinere golfengte uit verwijderd hadden. Ook de omliggende sneeuw vertoonde een hoog roode kleur.

Het licht, dat wij van den hemel ontvangen, vertoont nog een andere eigenschap; het is namelijk gepolariseerd, dat wil zeggen, de trillingen hebben hoofdzakelijk plaats in een plat vlak, dat door den lichtstraal gaat.

Reeds kort na de ontdekking der polarisatie door MALUS in 1810, vonden men, dat het licht van het hemelgewelf gepolariseerd was en stelde, — aannemende dat het licht teruggekaatst werd, vóór het ons oog bereikte, — de regels op, dat de polarisatie het sterkst moest wezen op deelen van den hemel, 90° van de zon verwijderd en het minst bij de deelen, dicht bij de zon of juist tegenover haar gelegen; en dat het vlak, waarin het licht gepolariseerd is, zal gaan door het oog van den waarnemer, het waargenomen punt en de zon. Over het algemeen komen deze regels uit.

¹ *Proc. of the Royal Soc. of Edinb.*: Vol. XV, N^o. 126, p. 135.

ARAGO was de eerste, die een afwijking vond; hem bleek namelijk, dat het licht van het punt van den hemel, — gelegen tegenover de zon, — op den cirkel, gaande door het zenith en de zon, sterk gepolariseerd was; doch dat het polarisatie-vlak dan loodrecht stond op het hierboven aangegeven vlak. Op een afstand van het punt tegenover de zon, en wel 12 tot 25 graden van daar, — afhankelijk van de zonshoogte, — werd geen polarisatie waargenomen. ARAGO noemde dit het neutrale punt.

In 1840 heeft BABINET een dergelijk punt boven de zon ontdekt en eindelijk heeft BREWSTER, na vele vergeefsche pogingen, een dergelijk punt onder de zon gevonden. Uit alle waarnemingen is gebleken, dat de polarisatie het sterkst is op de plaatsen, die 90° van de zon verwijderd zijn.

Uit een groot aantal waarnemingen omtrent deze neutrale punten heeft BUSCH¹ het besluit getrokken, dat het punt van BABINET zich van de zon verwijderd, wanneer deze daalt om bij zonsondergang zijn grootsten afstand te bereiken, en vervolgens weer tot de zon te naderen, terwijl het punt van ARAGO met betrekking tot het punt tegenover de zon, juist de omgekeerde weg volgt. Verder is hem gebleken, dat de afstanden bij den zonsondergang van de neutrale punten tot de zon en tot het tegenover haar gelegen punt, van 1886—1888 voortdurend verminderd zijn en wel voor het punt van BABINET van $23^\circ,8$ tot $17^\circ,8$ en voor het punt van ARAGO van 21° tot $18^\circ,8$. BUSCH heeft ook waarnemingen gedaan omtrent den stand van het polarisatievlak in de nabijheid van de zon; de resultaten hier mede te deelen, zou ons evenwel te ver voeren.

De polarisatie van het licht van den hemel is overigens een zeer veranderlijk verschijnsel. Behalve dat zij afhangt van den stand der zon en dus hiermede voortdurend verandert, hangt zij ook af van den toestand der atmosfeer.

Vroeger nam men aan, dat, wanneer het licht gepolariseerd was, dit een bewijs was, dat dit licht teruggekaatst was, doch STUUTT en anderen hebben aangetoond, dat ook gebogen licht polarisatie zal vertoonen.

Aan BECQUEREL² is het gelukt, een draaiing van het polarisatievlak ten gevolge van het aardmagnetisme aan te toonen.

¹ *Meteorologisch Zeitschrift*. Th. VI, p. 81—95.

² *C. R.* 1889, Tome CVIII, p. 997.