

Licht en kleur ...ZX ronde 1 maart 2020

Hoe ziet ons oog de kleuren?

Er zijn miljoenen kleuren, en ons oog kan al die kleuren van elkaar onderscheiden. We herkennen het verschil tussen grasgroen, appeltjesgroen, gifgroen en pastelgroen. Hoe doen onze ogen dat? Welk deel uit het oog registreert die kleuren?

De oogbol is enigszins te vergelijken met een superfototoestel dat het beeld op een film vastlegt.

Om een scherp en duidelijk beeld te krijgen, moeten afstand en belichting goed zijn ingesteld. Bij het oog gebeurt dat door hoornvlies, kamerwater, lens en glasachtig lichaam. De signalen worden hierdoor gebroken en vormen een (omgekeerd) beeld op het netvlies.

De iris regelt de lichtinval door de pupil te vergroten of te verkleinen. Dat gaat volledig automatisch via zenuwimpulsen. Het signaal wordt daarna doorgegeven aan de hersenen. Daar wordt het beeld weer rechtop gezet. Hoe de hersenen dat doen is nog voor een groot deel een raadsel.

Kleuren zien heeft eigenlijk niet veel te maken met de waarneming van licht. Licht is niets meer dan een deel van het elektromagnetische spectrum dat ligt tussen 380 en 740 nanometer. Een nanometer is een miljoenste van een millimeter.

Het waarnemen van kleuren berust eigenlijk op het vermogen van onze ogen om licht in verschillende golflengtes waar te nemen en ook om die golflengtes te filteren. Dat filteren gebeurt door lichtgevoelige pigmenten in onze ogen. Zij splitsen het licht uit in rood, groen en blauw.

Maar voor het zien van kleur heb je niet perse licht nodig. Je kunt bijvoorbeeld ook kleuren waarnemen door ze je met de ogen dicht voor te stellen. Er komt dan geen licht binnen. Veel mensen kunnen door op hun ogen te drukken ook 'kleuren' waarnemen.

Buiten het zichtbare deel van het spectrum, is er ook een voor onze ogen niet zichtbaar deel waarin bijvoorbeeld ultraviolet licht valt en infrarood licht.

Ons oog vangt licht en kleuren op via receptoren op het netvlies. Die receptoren kennen wij beter als de zogenaamde kegeltjes en staafjes.

De kegeltjes zetten Rood, Groen en Blauw voor ons om en zijn dus verantwoordelijk voor kleur. Er zijn ongeveer twee keer zoveel kegeltjes voor rood (60%) als voor groen (30%) en voor blauw (10%).

De meeste kegeltjes bevinden zich aan de buitenrand van het netvlies. Om kleur te kunnen omzetten is wel voldoende licht nodig. Als er te weinig licht is nemen de staafjes het over en neemt onze vaardigheid om kleuren te zien af.

De staafjes zorgen voor zicht in lage lichtomstandigheden. Staafjes vormen dus als het ware onze nachtkijker. Als de staafjes niet werken zijn we 'nachtblind'. Tevens gebruiken we deze staafjes voor de ontvangst van perifeer beeld (als we recht vooruit kijken hebben we toch tot 180 graden zicht om ons heen).

De lichtprikkel die wij zo via de kegeltjes en de staafjes van ons netvlies ontvangen worden door onze hersenen omgezet in beeldinformatie.

In ons oog zitten ongeveer 130 miljoen cellen waarvan maar 7 miljoen kegeltjes. Die kegeltjes functioneren dus alleen bij daglicht en maken het ons dus mogelijk om kleuren waar te nemen.

In het centrum van ons netvlies zit de Fovea of gele vlek (zo ziet het er in het echt uit). Beeld dat recht in onze ogen valt komt daar terecht.

De Fovea is een kleine holte. Daar zijn geen staafjes maar alleen maar kegeltjes. Dat wil dus zeggen dat we er beter kleuren kunnen onderscheiden en kunnen scherpstellen.

Waarom ziet een voorwerp er anders uit als licht verandert? Beïnvloedt licht de kleur zo sterk? Het antwoord op die vraag is ja. Er zijn verschillende effecten die bepalend zijn voor de kleur van een voorwerp. Als er licht op een voorwerp valt, kunnen er drie dingen gebeuren: het voorwerp laat het licht door, het absorbeert het licht of het weerkaatst het licht.

Wat er in elke situatie gebeurt, is afhankelijk van het voorwerp. Witte voorwerpen zien er wit uit omdat ze alle kleuren weerkaatsen en zwarte voorwerpen zien er zwart uit omdat ze alle kleuren absorberen.

Een sinaasappel is oranje omdat dit fruit alle kleuren absorbeert, behalve oranje. Dit gaat echter alleen op voor wit licht.

Als je een voorwerp blootstelt aan gekleurd licht, is het een ander verhaal. Stel dat we een blauw voorwerp verlichten met blauw licht. Het voorwerp weerkaatst dan nog steeds blauw en ziet er dus blauw uit. Maar als datzelfde blauwe licht op een rood voorwerp valt, wordt het blauwe licht geabsorbeerd en wordt er geen licht weerkaatst. Het resultaat is dat het rode voorwerp onder invloed van dit licht zwart lijkt.

Rayleigh verstrooiing

Rayleighverstrooiing is de verstrooiing van licht door deeltjes die kleiner zijn dan de golflengte van het licht. Het effect werd genoemd naar Lord Rayleigh die het verklaarde. Rayleighverstrooiing treedt op wanneer licht door een transparante vloeistof of vaste stof gaat, maar kan het duidelijkst worden waargenomen bij gassen.

Deze Rayleighverstrooiing is de reden waarom de lucht overdag blauw kleurt en de zon bij zonsopgang en zonsondergang rood wordt.

De sterke golflengte-afhankelijkheid zorgt ervoor dat blauw licht veel meer wordt verstrooid dan rood licht: blauw licht heeft een golflengte die ongeveer twee keer zo kort is als rood licht, en blauw licht wordt daardoor twee keer zo goed verstrooid.

De atmosfeer verstrooit het licht naar alle kanten en geeft de zachtblauwe kleur behalve waar men de zon direct ziet.

Men zou dan ook kunnen denken: "Waarom is de hemel niet violet? De golflengte daarvan is immers nog kleiner." Maar de verklaring daarvan is dat het menselijk oog niet zo gevoelig is voor paars licht als voor blauw licht.

Het rode gedeelte van het licht wordt dus minder verstrooid en gaat verder door de dampkring heen of verlaat deze zelfs weer.

Isaac Newton bewees al in 1665 dat licht kan worden verdeeld in 6 basiskleuren. Elke kleur heeft zijn specifieke werking. Kleur kan een lichamelijke en psychische reactie bewerkstellingen.

Isaac Newton was overigens niet de eerste die met licht in een prisma heeft geëxperimenteerd. Al in 1648 had de Boheemse natuurkundige Johannes Marcus Marci zonlicht door een prisma gestuurd en daarbij waargenomen dat dit werd ontleed in de spectrale kleuren rood, oranje, geel, groen, blauw en violet. Marci had ook geconstateerd dat dit gekleurde licht niet verder kon worden ontleed – een feit dat Newton bij zijn experimenten eveneens vaststelde.

De wetenschapper, die in verband met de dreigende pest in Londen zijn toevlucht had genomen in de boerderij van zijn ouders op het platteland, plaatste achter het eerste prisma een tweede en zag dat het licht daardoor weliswaar eveneens werd afgebogen, maar niet verder werd ontleed.

Kleuren bestaan dus niet uit veranderd wit licht, zo concludeerde Newton, maar ze doen juist wit licht ontstaan, wanneer ze worden gemengd. Daarmee weerlegde hij de tot dan toe bij natuurwetenschappelijke onderzoekers gangbare overtuiging dat de oorsprong van alle kleuren zuiver wit licht is, dat door bijmenging van donkere kleuren wordt vertroebeld. Zijn "New theory on light and colours" presenteerde hij in 1672 in een publicatie aan de Royal Society in Londen.

De opsplitsing van wit licht in zijn spectrale bestanddelen treedt op doordat de breking bij het raken van de vlakken van het prisma van kleur tot kleur verschilt dat zag ook Newton al in. Maar waarom wordt blauw licht sterker afgebogen dan rood licht?

Deze vraag probeerde de wetenschapper te beantwoorden in zijn in 1704 verschenen werk "Opticks". Daarin liet Newton zijn gedachten gaan over de aard van het licht en kwam hij tot de conclusie dat dit bestaat uit minuscule deeltjes, zogenaamde corpusculi. De ontleding van het licht kon echter pas jaren later echt worden verklaard aan de hand van het verband tussen de golflengte en de voortplantingssnelheid van het licht in een medium.

Newtons kleurencirkel, die hij in zijn "Opticks" eveneens presenteerde, is nog altijd van betekenis. Deze kleurencirkel is in feite gebaseerd op niet-natuurkundige aannames: het op een rechte lijn liggende, met behulp van een prisma gegenereerde kleurenspectrum boog Newton tot een cirkel waarin violet en rood zich naast elkaar bevinden.

Deze twee kleuren worden alleen door de mens als verwant waargenomen, maar zijn natuurkundig gezien juist verder van elkaar verwijderd dan ieder andere kleurenpaar in het spectrum van het zichtbare licht.

Het tweede op de waarneming gebaseerde kenmerk van Newtons kleurencirkel is het aantal kleuren dat deze bevat. Newton was overtuigd van de analogie van hoorbare tonen en zichtbare kleuren en koos daarom uit het spectrum van het zichtbare licht naar analogie van de zeven tonen van de Dorische toonladder precies zeven kleuren uit: purper, indigo, blauw, groen, geel, geelrood en rood.

Een bijzonderheid van de kleurencirkel van Newton is dat wit en zwart hierin volledig ontbreken. Dit berust op het feit dat wit volgens Newton niets anders was dan een mengsel van alle spectrale kleuren en zwart de afwezigheid van ieder licht.