

HOOFDSTUK 17 LICHT en KLEUR 20 pag.

Licht: een bijzondere elektromagnetische straling

Op de eerste dag sprak God: “Daar zij licht!” En daar was licht! Ja, ja! Maar... wat is eigenlijk precies “licht”? Daar weten we nu dus wel iets van, maar nog lang niet alles en.... het is helemaal niet zo’n eenvoudig verschijnsel. Licht is een bepaalde soort “elektromagnetische straling”. Licht bestaat uit elektromagnetische golven van zeer korte lengte, in het nanometergebied. (Een nanometer is een miljardste meter). Er is in eerdere hoofdstukken al van alles over geschreven. Wat weten we er eigenlijk nog meer van? We weten dat alle elektromagnetische straling, en dus niet alleen licht, uit “fotonen” bestaat. En fotonen zijn dus energiepakketjes die zowel als golven en als deeltjes gezien kunnen worden. En we “zien” deze elektromagnetische golven alleen, wanneer de golflengte tussen de 380 en 770 nanometer ligt. Daar fotonen zich met de lichtsnelheid c bewegen, kunnen we die golflengte (λ) ook als frequentie (ν) omrekenen, namelijk als volgt:

$$\begin{aligned}c &= 300.000 \text{ km/s} = 3 \times 10^{17} \text{ Nm/s. We weten nog: } \nu = c : \lambda . \\ \nu &= 3 \times 10^{17} : 380 = 0,00789473 \times 10^{17} \text{ Hz} = 789 \times 10^{12} \text{ Hz} = 789 \text{ THz (Terahertz)} \\ \nu &= 3 \times 10^{17} : 770 = 0,00389610 \times 10^{17} \text{ Hz} = 390 \times 10^{12} \text{ Hz} = 390 \text{ THz (Terahertz)}\end{aligned}$$

Zichtbaar licht bestaat dus uit “foton”golven van ongelofelijk hoge frequenties!

Hoe ontstaan nu deze fotonen? De meest bekende manier gaat zo: als we een stuk IJzer verhitten door het in een (smids)vuurtje te leggen, dan zendt het ijzer al snel “licht” in de vorm van warmte uit. Maar we zien eerst nog geen licht, want warmte, in de vorm van infraroodstraling, is voor ons niet zichtbaar (wel voelbaar!). De golflengte is dan dus langer dan 770 nanometer. Maar dán zien we dat het ijzer eerst rood, dan oranje, geel en uiteindelijk wit licht uitzendt. Daarna begint het IJzer te verbranden en neigt het uitgezonden licht zelfs naar blauw.

Hoe komt dit ook alweer? Om het IJzer te verhitten moeten we er energie in stoppen. Dit kan op meerdere manieren. Door een kolenvuurtje, met een oliebrander of met een gasvlam. Met elektrische stroom kan het ook, maar het gaat allemaal om energie in de vorm van “warmte”! Stralingswarmte is dus elektromagnetische straling en bestaat uit energie in de vorm van fotonen. Door deze fotonen worden de elektronen van de IJzeratomen “aangeslagen” en vliegen uit de bocht, komen in een verder naar buiten liggende elektronenschil terecht, kunnen zich daar niet handhaven, vallen dan terug naar hun oorspronkelijke schil en geven hun teveel aan energie weer terug... in de vorm van fotonen. En... hoe verder de elektronen wegspringen, hoe korter de golflengte van de fotonen die vrijkomen als ze (de elektronen) weer terugvallen!

Hebben deze fotonen een golflengte van meer dan 770 Nm, dan is het onzichtbaar, maar wel voelbaar (infrarood) licht. Maar bij 770 Nm, “zien” wij rood licht. Stoppen we er nog meer energie in (verder verhitten) dan wordt de golflengte steeds korter en zien wij dus oranje, geel etc. De golflengte van de lichtgolven bepaalt dus de “kleur”, maar ook de energie: hoe korter de golflengte, hoe energierijker (volgens de formule van Max Planck, weten we al). Violet licht is dus (bij de zelfde hoeveelheid fotonen) energierijker dan rood licht! Wordt de golflengte nog korter (korter dan 380 Nm), dan wordt de straling weer onzichtbaar voor ons: we hebben dan ultraviolet licht!

We weten verder nog dat lichtgolven (fotonen) zich altijd met zeer grote snelheid voortbewegen. Die snelheid kennen we ook: “ c ” ofwel 300.000 Km per seconde in het vacuüm (in de lucht iets langzamer). En die lichtgolven blijven maar voortbewegen,

misschien wel oneindig lang. Men heeft immers al sterren gezien die miljarden lichtjaren van ons af staan?

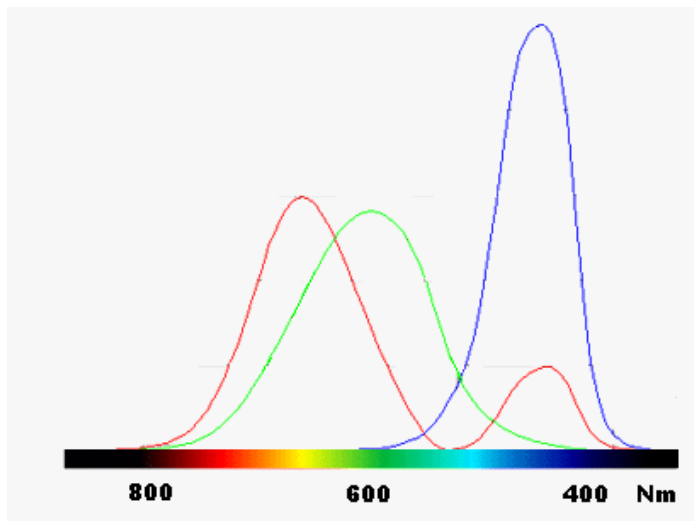
We spreken dus van “zichtbaar” en “onzichtbaar” licht. Dat is eigenlijk een beetje raar, maar infrarode (IR) en ultraviolette (UV) straling worden ook als “licht” gezien, hoewel dit voor óns, mensen, onzichtbaar is. Sommige dieren kunnen infrarood licht trouwens wél zien. En er zijn insecten die ook UV licht kunnen zien.

IR licht is de voor ons voelbare warmtestraling en heeft dus een golflengte van meer dan 770 Nm. UV licht is de straling die ons, onder andere, bruin maakt en heeft dus een golflengte die onder de 380 Nm ligt. Zeer korte golven, korter dan 4,5 (volgens sommige 30 of 100) Nm, noemen we (noem ik) geen “licht” meer, we zijn dan in het gebied van de Röntgen- en daarna van de gammastraling.

Kleur

Onze ogen kunnen kleuren onderscheiden en kunnen dus onderscheid maken tussen de verschillende golflengtes van dit “zichtbare” licht. Maar eerst, wat is eigenlijk “kleuren zien”? Lichamen, voorwerpen, alles waar (zon)licht opvalt, absorberen een deel van dit licht en reflecteren de rest. “Zien” houdt in dat onze ogen dit gereflecteerde licht van alle dingen vóór ons (en natuurlijk ook direct uitgestraald licht), opvangen en als “beelden” via hoornvlies, pupil en de ooglens, op ons netvlies projecteren. Die beelden worden dan door de “gele vlek” via de oogzenuwen aan onze hersens doorgegeven en daar geïnterpreteerd! Dit proces noemen wij “zien”.

Maar... hoe zit 't nu met het zien van verschillende kléuren? We kunnen kleuren zien doordat onze ogen niet alleen lichtgevoelige staafjes, maar ook kleurgevoelige kegeltjes bevatten. Er blijken drie soorten kegeltjes te zijn, voor rood, groen en blauw licht (zou je denken) en iedere soort pakt een deel van het spectrum. Maar...hun “piekgevoeligheid” ligt respectievelijk bij: geel, groen en blauw. Maar hoe zit het dan bij rood? De kegeltjes die het gevoeligste zijn voor geel en groen blijken eveneens gevoelig voor rood te zijn, maar wat minder sterk!



Dit kunnen we het beste op de grafiek van de “piekgevoeligheid” zien. We zien duidelijk de “piekgevoeligheid” van de drie soorten kegeltjes: groen, rood en blauw!

Fig 17.1 spectrum met de piekgevoeligheid van de kegeltjes.

Deze kleurgevoelige kegeltjes geven op een ingewikkelde manier deze, in kleur (= golflengte) verschillende, signalen door aan onze hersenen. Daar worden die signalen zo geïnterpreteerd dat we beelden in kleur “zien”. Dit kleuren zien is dus eigenlijk toch wel een zeer wonderlijk iets. Zou die God dan indertijd toch.....?



Fig 17.2 Spectrum van wit licht

Nemen we nogmaals het begrip “spectrum” onder de loep (zie eventueel ook het hoofdstuk over “spectrum en roodverschuiving”). We kennen allemaal het spectrum van de zon: de regenboog! Als we het kleurspectrum van zonlicht goed bekijken, dan zien we veel meer kleuren dan de drie “primaire” kleuren: rood, groen en blauw. We zien een kleurenband



met vloeiend in elkaar overlopende kleurbanden, die men: “rood”, “oranje”, “geel”, “groen”, “blauw”, “indigo” en “violet” noemt. Eigenlijk zijn het er nog meer, allerlei nuances, maar ja, er is ooit een keuze gemaakt.

Fig 17.3 Regenboog

Primaire kleuren

Wij zien dus kleur omdat we kleurgevoelige kegeltjes in onze ogen hebben. De kleursignalen die via onze ogen binnenkomen, moeten daarna in onze hersens “gemengd” worden. Die hersens krijgen van de kegeltjes immers drie soorten signalen binnen. De primaire lichtkleuren zijn volgens de kleurenleer: Rood, Groen en Blauw. Het moeten dus een soort “RGB” signalen zijn, want als dat niet zo zou zijn hadden we wel een ander soort ogen. Toch blijft het (voor mij) een beetje vreemd dat de gele en groene kegeltjes voor rood moeten zorgen. Één verklaring is dat de aantallen kegeltjes per kleur sterk verschillen!

Van deze RGB gevoeligheid van onze ogen en van het feit dat met rood, groen en blauw licht, (bijna) alle kleuren gevormd kunnen worden, heeft men bij de ontwikkeling van de kleurentelevisie vlijtig gebruik gemaakt. Kijken we met een loep naar het tv-scherm, dan zien we rode, groene en blauwe, lichtende puntjes.

Maar hoe kan dit nu? Waarom vormen rood, blauw en groen licht samen wit licht? Ja, dat blijkt toch wel te verklaren, ik zie het als een vereenvoudiging. In plaats van alle afzonderlijke kleuren te nemen heeft men het (regenboog)spectrum in 3 stukken verdeeld:

- 1° rood, oranje: dit vormt een helder rood licht
- 2° geel, groen en blauw: we zien dit mengsel als groen licht
- 3° blauw, indigo en violet. geeft (een paarsachtig) blauw licht

Het regenboogspectrum was oorspronkelijk wit zonlicht, maar is door de regendruppels “gebroken”. En iedere kleur heeft een iets andere brekingsindex zoals we weten. Voegen we nu deze 3 groepen gekleurd licht: “RGB”, weer samen, dan vormen ze samen weer wit licht. Willen we nu een natuurlijk lichtbeeld met drie kleuren vormen, dan is het natuurlijk wel zaak dat we de juiste kleuren rood, blauw en groen, van de juiste intensiteit toepassen. Daar zijn de jongens van Philips, Sony en andere, uitermate goed in geslaagd, beter dan de Amerikanen die heel lang televisie met onnatuurlijke kleuren hadden, onder andere omdat ze een ander systeem hadden. (Hebben ze dat systeem nog?). En zo blijkt de techniek al jaren in staat een

mooi natuurlijk (televisie)beeld te kunnen produceren, door alléén met deze drie kleuren: rood, groen en blauw licht, te werken!

Secundaire kleuren

Mengen we twee van deze drie “primaire” kleuren in gelijke delen (we spreken nog steeds over licht!) dan krijgen we de “secundaire kleuren:

We zien een mengsel van: Rood en Groen licht als “Geel”.

Rood en Blauw licht als “Magenta”.

Blauw en Groen licht als “Cyaan”.

Geel kennen we, maar magenta, cyaan? “Nooit van gehoord!” zullen sommigen zeggen. Als je geen kleurenprinter thuis hebt kan dat kloppen. Maar... als je in de grafische wereld thuis bent, of als je met kleurenprinters werkt, heb je er zeker van gehoord en zie je deze kleuren voor je: magenta is een soort fuchsiarood, cyaan lijkt op turkooisblauw en geel kennen we wel. Magenta, cyaan en geel zijn dus secundaire kleuren maar worden ook “primaire drukkleuren” genoemd. Waarom? Omdat al zeer lang het meeste kleurendrukwerk met deze kleuren gedrukt wordt! Je ziet dit nogal eens onderaan de krant of ander drukwerk: een stripje met deze drie kleuren en soms ook hun mengsels. In de grafische industrie werkt men met professionele, minder simpele meetstrips waarmee men van alles over het drukproces kan controleren. Die strips worden er later dan (meestal) afgesneden.



Fig 17.4 meetstrip

We zien op deze meetstrip de “primaire drukkleuren” cyaan, magenta, geel en zwart als “vol”vlakjes en als “raster”vlakjes, vaak van 80 en 40 %. In 't midden zijn drie mengvlakjes: groen, dat is cyaan over geel, (oranje)rood: magenta over geel en (paars)blauw: cyaan over magenta! Verder zien we nog wat zwarte vol- en rastervlakjes en ook mengvlakjes van cyaan, magenta en geel over elkaar, die hier een redelijk zwart geven. Deze strip geeft de drukker een middel om het te drukproces te beheersen: “meten is weten!” Maar... waarom moeten we juist deze kleuren gebruiken en waarom ook nog zwart? Komen we op terug.

Additieve kleurmenging

Kijken we televisie, dan zijn dus alle kleuren die we op het tv-scherm zien, mengsels van R, G en B licht. (Let wel, we spreken nu weer over licht en niet over verf of inkt.) Bij het “mengen” van gekleurd licht spreken we van “**additieve** (optellende) kleurmenging” omdat we de lichtgolven bij elkaar optellen. Het klinkt vreemd maar toch is het zo: Rood en Groen licht geven samen Geel licht! Tellen we daar nog eens Blauw bij op, dan krijgen we dus weer Wit licht.

Kleur is eigenlijk een ongrijpbaar, abstract iets. We zien kleur alleen als er licht opvalt. Een roos kan nog zo mooi rood zijn, als er geen (wit) licht op valt zien we niet dat de roos rood is, sterker nog we zien helemaal geen roos. Maar... valt er zogenaamd “monochromatisch” (éénkleurig) licht op de roos dan zien we de roos wel, maar niet dat hij rood is! Wit licht bestaat uit alle kleuren en is dus “polychromatisch”. Maar monochromatisch licht is licht van slechts één bepaalde golflengte. Zo geven natriumlampen, die hier en daar nog als straatverlichting toegepast worden, een tamelijk monochromatisch geel licht. Alles wat we in dat licht zien is dan (lichter of donkerder) geel, ook de “rode” roos!

Eerst leek me dit vreemd. Op school leer je dat we rood, groen en blauwgevoelige kegeltjes hebben. Toch kunnen we het gele licht van natriumlampen goed zien! Hoe komt het dat we dat (monochromatische) gele licht toch kunnen zien! Maar dat weten we nu, want dat blijkt uit de grafiek van fig. 17.1. Daar zagen we al dat de pieken bij blauw, geel en groen liggen! We kunnen dus prima zien in geel licht, ook monochromatisch! Blijkbaar doordat de gevoeligheden elkaar overlappen en de aantallen kegeltjes per soort verschillen zien we alle kleuren toch min of meer gelijkmatig.

Kleuren zien.

Willen we écht de juiste kleur van een voorwerp zien, dan kan dat alleen als wit licht met het juiste spectrum erop valt. Dat is dus wit licht dat, op een evenwichtige wijze, uit alle kleuren bestaat. Het betreffende voorwerp zal dan een deel van dit spectrum absorberen en een ander deel terugkaatsen en dat zien wij dan als “kleur”. Maar welk licht bevat het gehele spectrum?

Zonlicht zou alles moeten bevatten. Toch verschilt het van uur tot uur, want de intensiteit van de verschillende kleuren varieert. Zonlicht is niet echt wit, eerder gelig. Een redelijk goed wit licht is het (Noordelijke) daglicht: kunstenaars hebben liefst een atelier met ramen op 't Noorden om zo'n neutraal mogelijk wit licht te hebben. Direct zonlicht is overdag iets aan de gele kant en 's ochtends en 's avonds aan de rode kant. De door mensen gemaakte lichtbronnen: gloeilampen, TL buizen enzovoort, bestrijken evenmin het hele spectrum op evenwichtige wijze, meestal geven ze een gelig licht (te weinig blauw). De “halogeen”lampen van tegenwoordig zijn al beter en er bestaan ook daglichtlampen, die aardig dicht bij het zonlicht komen! Vooral (hennep)planten houden van deze lampen!

Maar..... hoe beoordelen professionals dan de kleuren van iets? Dan moet men kleuren bekijken met gestandaardiseerd licht, namelijk met een “normlicht”. Een normlicht bestaat uit een op de juiste, vastgelegde wijze, opgehangen armatuur met daarin een aantal “genormeerde” TL buizen. Iedere bedrijf dat zich met kleur bezig houdt (zoals drukkerijen), heeft een beoordelingstafel waarboven zo'n normlicht hangt. Zó kan men dus kleuren altijd met een bijna perfect wit licht, onder dezelfde condities, beoordelen.

Kleurendruk.

Spreekende over licht en kleur, kwamen we al eerder op het onderwerp “drukken” en wel in 't bijzonder over de kleurendruk, een thema waar ik in m'n leven nogal wat mee van doen heb gehad. Het onderwerp “drukken” heeft mij trouwens altijd gefascineerd. Op alle druktechnieken zal ik niet ingaan, er zijn zoveel verschillende principes, maar over sommige drukmethodes wil ik toch wel iets vertellen. Ik begin met de textieldruk.

Na m'n leven als zeeman in de vetput, kwam ik terecht bij een fabrikant van “textielveredelingsmachines”. Al snel bleek dat textiel “veredelen” hoofdzakelijk textiel “bedrukken” te zijn. De eerste keer dat ik zo'n textieldrukmachine zag, was ik diep onder indruk. Ik zag een machine die automatisch doek beschilderde! Ik keek naar een lange tafel met daarop een zwarte band, waarop doek geplakt was. Vlak boven de band hing een aantal grote vlakke ramen, met daarin verschillende kleuren verf. Die zwarte rubberachtige band, waarop het doek geplakt was, schoof steeds een stuk verder over de tafel, stopte dan, waarna de ramen omlaag zakten en de verf met een soort ruitenwisser (de “rakel”) door het “raam” geveegd werd. Daarna gingen de ramen weer omhoog en schoof de band met het doek weer een stuk verder. Keek je tussen de ramen, dan zag je dat er een “patroon” in steeds meer kleuren op het doek ontstond. Aan het einde van de tafel werd het natte bedrukte doek van de

rubberband getrokken en verdween dan in een droogkast. Die (rondlopende, eindloze) rubberband bleek later onder de tafel gewassen en van nieuwe lijm voorzien te worden.

Wat was dat eigenlijk voor 'n machine? Het was een "vlak-" of "filmdrukmachine", een apparaat waarmee je textiel bedrukt door middel van "zeefdruk". Die ramen waren bespannen met blauw gelakt gaas dat hier en daar open was. De verf werd dan door die open gaasgedeelten op het doek gedrukt en met meerdere ramen en verschillende kleuren verf drukte je zo een "dessin" (patroon) op het doek.

Zeefdruk is een techniek die al zeer oud is: de Chinezen pasten zeefdruk al lang geleden toe: ze deden dat met houten ramen die met zijdegaas bespannen waren, zij hadden immers de zijde (van zijderupsen) ontdekt? Op dat gaas werd een laklaag aangebracht waarin figuren uitgespaard waren. Je kon daarmee die figuren dus "drukken" door verf, dóór het gaas, op een onderlaag, zoals textiel, aan te brengen. Zeefdruk wordt nog steeds veel gebruikt. Je kunt er namelijk véél meer verf mee opbrengen dan met andere druktechnieken en dat is nogal eens gewenst. Druk je tijdschriften en dergelijke, dan wil je liefst zo min mogelijk inkt verbruiken. Men past dan liever andere druktechnieken toe, zoals "diepdruk", met gegraveerde walsen, of "offset", met drukplaten die een minieme hoeveelheid inkt vast kunnen houden.

Wil je veel kleur opbrengen? Met de tegenwoordige veel toegepaste "inkjetprinters" ("inktstraaldrukkers" maar dat zegt niemand) zou dat in principe ook kunnen, maar dit kost dan weer zeer veel tijd en de inkt is erg duur! Met zeefdruk kan je vrij eenvoudig veel drukverf op de onderlaag, het "substraat", opbrengen, gewoon door de verf één of meerdere malen door het gaas te "vegen". En dat is interessant als je textiel, behang, stickers, linoleum etcetera, wil (be)drukken. Bij "vlakdruk" werkt men met vlakke gaasramen, die men "sjablonen" noemt. Deze zeefdruksjablonen bestaan tegenwoordig uit stalen profielramen waarop polyestergaas gespannen is. Dit gaas wordt van een laklaag voorzien, waarin op een bepaalde manier (fotografisch) figuren uitgespaard worden. Toch voorzie ik dat textiel ook steeds meer met andere technieken (zoals inkjetprinters) bedrukt zal worden.

"Dessins"

Wil men een tekening of afbeelding, "dessin" genaamd, op doek drukken, dan moet zo'n dessin meestal opnieuw getekend worden, zodat de afbeelding zich netjes, na een bepaalde afstand, herhaalt. Daarna moet de afbeelding in verschillende kleuren gescheiden, "gesepareerd", worden, want je kunt slechts één kleur tegelijk drukken! Dit alles is een secuur werkje, dat vroeger door ervaren tekenaar/schilders, een soort beroepskunstenaars, met de hand gedaan werd, maar tegenwoordig met "scanners" en beeldmanipulatieprogramma's op computers.

De afstand waarna een dessin zich herhaalt wordt "rapport" genoemd. Het woord rapport zal wel van repeteren komen, in 't Engels heet het in ieder geval "repeat". Het meest gebruikte rapport is 64 cm, o.a. in verband met de maten van de mens. Kijk maar eens goed naar bedrukte textiel, japonstof, gordijnen en zo: heel vaak zie je dan dat de patronen zich na 64 of 32 cm herhalen!

Om een dessin te drukken moet van iedere "kleurseparatie" een "film" gemaakt worden. Daarmee kan men dan sjablonen vervaardigen. Het maken van sjablonen, vroeger handwerk, gaat tegenwoordig met behulp van fotografie, computer en laser! Daar iedere kleur apart gedrukt wordt, is het een precies werkje om elke kleur precies op de voorgaande kleur te laten passen om zo een mooie afbeelding of patroon ("dessin") te verkrijgen. Deze precisie verkrijgt men met computers veel sneller en nauwkeuriger dan met de hand. Afhankelijk van het dessin heeft men tot wel 24 sjablonen nodig voor één dessin, normaal niet meer dan 12.

Maar.... waarom toch niet in drie kleuren, de zogenaamde “trichromie”? In de papierdruk doet men dit toch al heel lang? En.... een TV krijgt toch ook alle kleuren op het scherm met R,G en B! Theoretisch zou dit ook op textiel moeten kunnen en het is ook geprobeerd, maar de textielindustrie zit zo vastgebakken aan z'n verschillende zelfgemengde kleurtjes, van allerlei samenstelling, in allerlei tinten, dat zal nog niet één, twee drie veranderen. En dus drukt men een roos in drie of vier kleuren rood, de groene blaadjes in twee, drie kleuren groen, enzovoort. Dan nog een mooi kleurtje als achtergrond en een contourtje, ja dan heb je snel een hoop sjablonen, lees kleuren!

Heeft men eenmaal een set sjablonen en de juiste verf, dan kan men het dessin drukken, laten we zeggen op textiel. Door nu steeds andere combinaties drukverf in de sjablonen te doen, verkrijgt men wel steeds hetzelfde dessin maar dan in verschillende “kleurstellingen” of “colorits”!

Om bedrukte stoffen exclusief (en duur) te houden, drukt men er niet teveel meters van. Een vrouw ziet nu eenmaal niet graag dat een ander in dezelfde jurk loopt als zij. Wil men dus weinig, maar exclusief drukken, dan is de prijs van de sjablonen belangrijker dan de snelheid. Maar er zijn ook goedkope stoffen en eenvoudige dessins en daarvan wil men wél grote metrages drukken en liefst zo snel mogelijk. Dit lukt met een “vlakdrukker” niet zo goed: de productie is vrij laag, zo'n 500 tot 1000 meter per uur. De machine werkt intermitterend, moet steeds stoppen om de sjablonenramen te laten zakken en de verf op het doek te drukken, waarna de ramen gelicht worden en het doek weer een stuk (het “rapport”) kan opschuiven. Vroeger ging het nog langzamer, men bedrukte doek met de hand. Op doek dat op lange tafels geplakt was. Het wordt hier en daar nog wel gedaan: handdruk met zeefdruksjablonen, slecht werk voor je rug: raam oplichten, stukje verder lopen, raam precies neerleggen en dan drukken enzovoort en dan...., weer terug en óp naar de volgende kleur. Er zijn trouwens tegenwoordig ook automatische “handdruk machines”, beter voor je rug, maar handdruk?

Rotatiezeefdruk

Om de snelheid van het zeefdrukken op te voeren was er al lange tijd de wens om met “cilinderzeven” te drukken, waardoor het drukken een continu proces kon worden. Men kon echter nooit heel precieze, naadloze gaascilinders fabriceren. Wel cilinders mét een naad, zeg maar aan elkaar gesoldeerd horrengaas, maar daar kon je echt niet goed en mooi mee drukken.

Maar...in de zestiger jaren werd toch de “rotatiezeefdruk” voor textiel ingevoerd. Een zekere Henk de Vries uit Nijverdal wist namelijk wél hoe je een dunne, naadloze, zeer fijn geperforeerde cilinder (galvanisch) kon fabriceren van nikkel. Een Nederlandse textielmachinefabriek zag er wat in, begon met het fabriceren van cilinderzeven: “rotatiesjablonen” of “rotary screens” genaamd en maakte daarvoor de eerste rotatie zeefdrukmachines. 't Is niet helemaal waar dat het een puur Nederlandse vinding was, want rond die tijd had men ook in Oostenrijk kans gezien een rotatiesjabloon (ook van nikkel) te maken, maar met de gaatjes alleen dáár waar het dessin was. Uiteindelijk hebben de geheel geperforeerde sjablonen het gewonnen!

Deze “rondsjablonen” zijn technische wondertjes, *minder dan 0,1 mm dik*, met duizenden gaatjes per vierkante cm (tot wel 300 gaatjes per strekkende inch). Omtrekken variërend van 64 cm tot meer dan 2 meter, lengtes tot ruim 3 meter. En deze toeters kunnen nog aangedreven worden ook! De rotatiedrukmachine voor het drukken van textiel werd een enorm succes. Door de veel hogere productiesnelheid (tot wel 120 meter per minuut) heeft de rotatiezeefdruk de wereld veroverd, duizenden machines zijn er over de hele wereld geplaatst.

En toch....voor zeer exclusieve, korte metrages van dure stoffen wordt nog steeds de vlakke zeefdrukmachine gebruikt. Dat zijn vaak enorm lange machines, van wel 30 en meer

meters lang, waar tot wel 24 zeefdrukramen op kunnen liggen, die ieder een andere kleur op het doek drukken. De reden dat exclusieve stoffen nog steeds vlak gedrukt worden, is dat de snelheid niet zo belangrijk is, de metrages kort zijn en de prijs van vlaksjablonen veel lager ligt dan die van rondsjablonen. Grote “rapporten” van meer dan een meter zijn geen probleem en zo zijn er nog wel meer redenen, waar ik hier maar niet op in ga. In ieder geval wordt er naast “rond” ook nog steeds “vlak” gedrukt!

Rouleaudruk

Er is nog wel een andere manier om textiel snel en continu te bedrukken, namelijk “rouleaudruk”, die al veel langer bestaat, maar aan ’t uitsterven is. Enorme, zeer zwaar uitgevoerde machines, waarop textiel met (loodzware) gegraveerde walsen bedrukt wordt en ook hierbij: voor elke kleur een aparte wals. Rouleaudruk loont zich alleen nog voor speciale, zeer precieze dessins waarvan zeer lange metrages gedrukt moeten worden. Neem bijvoorbeeld een dessin bestaande uit zeer regelmatige, kleine ronde stipjes in een “fond” (achtergrond), “polkadots” genaamd, ideaal voor rouleaudruk en altijd te verkopen, dus...drukken maar!

Door de hoge prijs van de walsen en de onhandigheid van het principe raakt deze manier van drukken steeds meer uit de gratie. Toch was ik in de zeventiger jaren nog in een fabriek in de States, die toen nog 64 van deze “rollerprinters” had. Als je bedenkt dat elk van deze machines doek met zo’n 50 tot 100 meter per minuut bedrukt, dan kan je de enorme productie van zo’n bedrijf voorstellen. Intussen zullen die rouleaumachines wel grotendeels vervangen zijn door rotatiezeefdrukmachines, die net zo snel kunnen drukken.

Vierkleurendruk

Het is op ’t eerste gezicht onbegrijpelijk, dat textiel met zoveel verschillende kleuren, die allemaal apart gemengd moeten worden, bedrukt wordt. Intussen werd papier, vooral voor tijdschriften, kalenders, reproducties, folders en zo, al lang met slechts vier kleuren gedrukt. Men drukt dan met drukinkt in de kleuren.....? We kunnen het door het voorgaande wel raden: dat zijn **magenta, cyaan, geel** en als extra: **zwart!** Met deze kleuren kunnen we namelijk alle kleuren drukken...., theoretisch. In de praktijk blijkt toch dat heel lichte kleurtjes: bijvoorbeeld licht beige, heel gevoelig zijn en heel snel een ongewenste kleurzwem hebben. Op papier is dit niet zo’n ramp maar textiel is heel wat anders. Verder: textiel moet wasecht zijn, lichtecht, wrijfacht, en zo zijn er nog wel wat redenen. En dus blijven de textielboeren hun stofjes met nauwkeurig gemengde drukpapjes in honderden verschillende kleuren bedrukken en zijn er blijkbaar volkomen tevreden mee!

Primaire kleuren

Zoals hierboven uitgelegd en besproken is, noemt men Rood, Groen en Blauw de **primaire** (licht)kleuren. Hoewel wit (zon)licht volgens de regenboog uit veel meer kleuren bestaat, blijkt men door de juiste kleuren rood, groen en blauw licht te mengen een behoorlijk zuiver wit licht te kunnen verkrijgen. Door menging van twee primaire kleuren verkrijgt men de **secundaire** kleuren:

- Rood en Groen geeft: Geel
- Rood en Blauw geeft: Magenta
- Blauw en Groen geeft: Cyaan

Het gaat hier dus om menging van licht, waarbij de kleuren als het ware opgeteld worden en men noemt dit dan ook “additieve” kleurmenging. Elke TV werkt met dit soort lichtmenging en bouwt het beeld op, door middel van kleine beeldpuntjes en -vlakjes van deze drie primaire kleuren.

In de 4-kleurendrukwereld werkt men juist met de **secundaire** kleuren, ook wel primaire **druk**kleuren genoemd. Maar waarom en hoe werkt dat nu eigenlijk? We weten nu wel iets over kleur en licht, maar nog weinig over inkt en verf. Wat doet verf en inkt met licht, wat is verf en inkt eigenlijk?

Verf (dekkend) is een stof, die, wanneer er wit licht op valt, een deel van het licht absorbeert en een deel terugkaatst. Dat teruggekaatste deel zien wij dan als “kleur”.

Drukinkt (die transparant moet zijn) absorbeert ook een deel van het witte licht, maar laat de rest van het licht door. Dit deel wordt dan weer door het (meestal) witte substraat eronder (bijvoorbeeld papier) teruggekaatst en ook dat zien wij als “kleur”.

Ook hieruit blijkt weer het abstracte karakter van kleur, valt er geen licht op dan is er geen kleur! Bij deze definities gaan we er dus vanuit dat “verf” dekkend is en “inkt” transparant. Dit is niet altijd waar: aquarelverf dun opgebracht is transparant, maar heet toch verf en ook inkt kan soms dekkend zijn, maar voor de goede orde kunnen we toch wel vasthouden aan dit onderscheid. Verder hebben we ook nog “toner”! De in bepaalde computerprinters gebruikte “toner” is redelijk transparant en kunnen we dus als inkt beschouwen. Wat is het verschil? Toner bevat elektrisch geladen kleurdeeltjes!

Nog even het volgende: terwijl men bij beeldschermen met de drie primaire kleuren kan volstaan, wordt in de kleurendruk op papier met vier kleuren gedrukt: de drie secundaire kleuren plus zwart. De oorzaak is dat een mengsel van Magenta, Cyaan en Gele drukinkt helaas nooit een perfect zwart geeft, het is meestal een heel donker bruin, of blauwachtig zwart en dergelijke. Misschien lukt het in de toekomst ooit om een perfect set MCY te verkrijgen, maar tot op heden is dat nog niet het geval. Men heeft toen maar zwart (gemaakt van roet) als vierde kleur geïntroduceerd.

We gaan verder over de werking van 4 kleurendruk met zwart, cyaan, magenta, geel (“KCMY”). Als we hierbij over “drukken” spreken bedoelen we niet “zeefdruk”, maar “offset”, “diepdruk” (en ook “inkjet”) op papier. Wil men iets (in 4 kleuren) op papier drukken, dan moeten ook hier de te drukken beelden eerst in 4 kleuren gescheiden worden. Dit wordt gedaan met een zogenaamde “scanner”, die het te drukken beeld op een systematische wijze aftast en in 4 digitale kleurbestanden omzet. Met deze bestanden kunnen dan “drukvormen” (platen, walsen) gemaakt worden. Bij computerprinters worden deze (digitale) gegevens direct in beeld omgezet door inktdruppeltjes op papier te spuiten. Voor grote “oplages” worden de beeldgegevens van de 4 kleuren nog steeds op een drukvorm overgebracht. Dit gebeurt via films, waarop het beeld als zwarte “raster”puntjes is aangebracht. Deze films, voor iedere kleur één, worden “litho’s” genoemd, een woord afgeleid van de vroegere steendruk. Met behulp van deze litho’s kan men dan de offsetdrukplaten of diepdrukwalzen maken. Tegenwoordig worden deze “drukvormen” steeds meer digitaal en dus filmloos van beeldpuntjes voorzien. Er zijn zelfs professionele, geheel digitale drukmachines waarbij men geen “drukvormen” als platen, walsen en zo, meer nodig heeft, ze werken met oplaadbare “drukvormen” waarop een onzichtbaar elektrostatisch beeld wordt aangebracht! Dit elektrostatische beeld kan “toner” aantrekken en zo drukken. De meeste kopieermachines werkten al lang zo. Nu meer en meer digitaal!

Professioneel drukwerk wordt meestal in offset gedrukt, maar voor drukwerk (tijdschriften) met zeer grote oplages wordt ook vaak diepdruk toegepast: snel en goed, maar te duur voor kleine oplages. Tegenwoordig zijn er ook al “digitale” drukkerijen en ook thuis

en op kantoor drukt men digitaal, met inkjet- of laserprinters, waarbij de laatste met “toner” werken.

De bijzondere eisen die men aan drukverf voor textiel stelt: bedrukte textiel moet o.a. wasecht, lichtecht en wrijfecht zijn, gelden niet voor de papierdruk. Aan drukinkt voor kleurendruk op papier worden heel andere eisen gesteld. Omdat de beelden in puntjes gedrukt worden, waardoor we hoofdzakelijk met “optische” kleurmenging te maken hebben, stelt men aan drukinkt o.a. de volgende eisen:

- De 4 kleuren KCMY moeten voldoen aan een bepaalde standaard om natuurgetrouw en reproduceerbaar drukwerk te verkrijgen.
- De drukinkten moeten voldoende transparant zijn. Is dat namelijk niet het geval dan zullen de kleuren elkaar gewoon afdekken en krijgen we geen natuurlijke beelden. Als je kleuren over elkaar drukt, moet de onderliggende kleur(en) door de er bovenop gedrukte kleur schijnen, waardoor de mengkleuren ontstaan.
- Worden kleuren over elkaar gedrukt, dan mogen de kleuren elkaar niet afstoten, ze moeten goed over elkaar gedrukt kunnen worden.
- Een eis die we eigenlijk ook zouden moeten stellen is, dat wanneer cyaan, magenta en geel over elkaar gedrukt worden, een zuiver zwart verkregen wordt. Helaas is dit (nog) niet mogelijk. De industrie krijgt het niet voor elkaar om een set inkten van genoemde drie kleuren te fabriceren, die zuiver zwart geeft. Je krijgt een zwart met een donkerbruine of donkerblauwe kleurzweem, maar geen pikzwart en hierdoor is indertijd toen maar besloten om zwart als vierde kleur erbij te doen.
- Er zijn natuurlijk nog wel andere eisen, zoals intensiteit, kwaliteit enzovoort, maar daar ga ik in dit verhaal maar liever niet verder op in.

Maar... we weten nog steeds niet waarom 4 kleurendruk met “KCMY” (Zwart, Cyaan, Magenta, Geel) moet gebeuren, waarom niet met “RGB” (Rood, Groen, Blauw) of andere kleuren? Dan moeten we de zaak optisch bekijken! Als volgt:

- Wit licht bestaat uit alle kleuren van de regenboog maar voor het gemak gaan we er hierbij van uit dat wit licht alleen uit rood, groen en blauw licht bestaat, die samen dus weer wit licht vormen.
- Drukken we nu bijvoorbeeld een “volvlak” **magenta** op wit papier en laten we er wit licht op vallen, dan gebeurt het volgende: dit magenta volvlak laat het rode en blauwe licht door maar absorbeert het groene licht. Het doorgelaten rode en blauwe licht wordt door het witte papier teruggekaatst, schijnt door de inktlaag en wij zien dit teruggekaatste rode en blauwe licht als de kleur “Magenta”.
- We drukken nu een volvlak **cyaan**, op wit papier. Val er wit licht op, dan absorbeert dit cyaan het rode licht. Het overgebleven groene en blauwe licht worden door de transparante inktlaag doorgelaten, dan teruggekaatst en dit zien wij als “Cyaan”!
- Bij een volbedrukt **geel** vlak waarop wit licht valt: wordt blauw geabsorbeerd, het overblijvende rood en groen zien wij als “Geel”!
- Drukken we **zwart**, dan absorbeert deze inkt alle kleuren en kaatst niets terug en dat zien wij dan als “Zwart”.

We kunnen hieruit het volgende begrijpen: Dekkende verf van een bepaalde kleur is eigenlijk een stof, die, van het erop vallende licht, bepaalde kleuren (en kleur is licht van bepaalde golflengtes) absorbeert en de rest (de eigen kleur) direct terugkaatst.

Als deze verf (of liever inkt) transparant is, absorbeert deze één kleur, en laat de andere kleuren dóór. Die worden dan door de witte ondergrond teruggekaatst.

Bij verf of inkt die dus niet transparant maar “opake” is, d.w.z. geen licht doorlaat, wordt de niet geabsorbeerde kleur direct teruggekaatst. Bekijkt men een geverfde dekkende kleur door een sterke loep, dan ziet men vaak dat die verf een mengsel is van allerlei kleurdeeltjes. De verfkleur is dan dus verkregen door het mengen van verschillende “pigment”deeltjes. Die deeltjes absorberen dus ook verschillende kleuren. Het mengsel van teruggekaatste kleuren is dan de verfkleur.

Nu we dus weten dat “kleur” betekent dat een deel van het opvallende licht geabsorbeerd en de rest gereflecteerd wordt kunnen we ook begrijpen waarom een zwart vlak in de zon heet wordt en een wit vlak veel minder: Het zwarte vlak absorbeert (bijna) al het licht, wit kaatst (bijna) alles terug.

Subtractieve kleurmenging

Hoe werkt het nu als we twee transparante inkten over elkaar drukken? We hebben het dan voor het gemak alleen over transparante inkten van de kleuren: cyaan, magenta en geel, die in volvlak over elkaar gedrukt worden.

Nemen we magenta gedrukt over geel. Valt er dan wit licht op, dan absorbeert magenta het groene licht en het geel eronder absorbeert het blauwe licht. Wat blijft over? Juist: rood! En dat wordt door het papier teruggekaatst.

Inderdaad, wil men zuiver rood drukken dan kan dat op deze wijze. En zo levert cyaan en magenta over elkaar een blauw (eigenlijk paarsblauw) op. Drukken we geel op cyaan dan krijgen we groen.

Veranderen we de volgorde dan verandert er theoretisch niets, praktisch wel, daar men (nog steeds) niet in staat is een perfecte set transparante drukinkten van de genoemde kleuren te fabriceren.

Bekijken we 4 kleurendruk op papier door een sterke loep, dan zien we de eerder genoemde beeldpuntjes in de kleuren: zwart, cyaan, magenta en geel, van variabele grootte, over elkaar en naast elkaar. Doordat onze ogen deze kleine puntjes niet afzonderlijk kunnen onderscheiden, zien we ze als mengkleuren. Wat wij zien is dus een beeld in allerlei kleuren, die “optisch” of “werkelijk” gemengd zijn.

Dit soort kleurmenging noemen we “**subtractieve**” kleurmenging, daar er iets van het witte licht wordt afgetrokken, waardoor er een kleur overblijft.

Kleurmeting

Als we iets in (vier) kleuren willen drukken, willen we eigenlijk iets “reproduceren”. En...als we iets willen reproduceren willen we dit natuurlijk (meestal) zo precies en natuurlijk mogelijk doen. Kleurendrukwerk kan bestaan uit foto's, tekeningen, schilderijen, collages etc. en die willen we zo goed en zo echt mogelijk reproduceren. Dit nu is toch wel een groot probleem, daar onze ogen ongelofelijk gevoelig zijn en zeer kleine afwijkingen kunnen zien. Vooral als we origineel en reproductie naast elkaar leggen zien we met ons oog verschillen, die maar met moeite gemeten kunnen worden. Zelfs dure en gecompliceerde meetinstrumenten hebben daar moeite mee. Door de enorm snelle technologische vooruitgang gaat het echter steeds beter en waarschijnlijk is de wetenschap op dit moment (2006) wel verder dan mijn informatie!

Voor een goede reproductie is het belangrijk dat men met een goede standaard set KCMY -inkten werkt. Eigenlijk zou men met één standaardset kunnen volstaan, maar de praktijk is anders. De diepdrukjongens hebben hun eigen standaard, de offset ook en in Europa werkt men weer anders dan bijv. in de USA.

Wil men precies reproduceren dan moet men deze kleuren natuurlijk in de juiste intensiteit op het papier drukken. Daarom heeft men indertijd het begrip “densiteit” ingevoerd. Densiteit betekent: zwaarte of dichtheid, van de kleur dus.

Densiteit wordt al lang gemeten en wel met een “densitometer”. Hoe werkt zo’n meter? Eigenlijk vrij simpel: een densitometer laat wit (lamp)licht op de gedrukte kleur vallen en meet dan met een fotocel het teruggekaatste licht door een filter. Om goed te meten moet men wel een voldoende groot gedrukt kleurvlakje hebben en die kleurvlakjes of -rondjes zien we nogal eens onderaan drukwerk, zoals kranten tijdschriften en zo, op een meetstrip. Wat doet nu dat filter in die meter? Dan moeten we eerst iets over filters weten:

“Een filter laat die kleur door waar het zelf uit bestaat”.

Een groen filter laat dus alleen groen licht, een rood filter alleen rood licht door. “Ja, da’s logisch!” Welnu...in een densitometer bevinden zich inderdaad 3 filters: RGB.

Willen we nu de “densiteit” van een magentavlakje meten, dan laat de meter er wit licht (dat dus bestaat uit rood, groen en blauw licht) op vallen en meet het gereflecteerde licht door een groen filter! Maar... waarom groen? Magenta absorbeert toch het groene licht? Ja, maar niet al het groen! De thans toegepaste drukinkten absorberen 90% – 99% van de betreffende kleur. Maar..., waarom is dan dit groene licht een maat voor de densiteit van magenta? Omdat dit beetje, niet geabsorbeerde, groene licht zich met een deel van het teruggekaatste rode en blauwe licht mengt... tot wit licht! En dit beetje witte licht “verdunt” als het ware het magenta dat wij zien. Hoe meer groen licht teruggekaast wordt, hoe minder intens, hoe meer wij roze in plaats van magenta zien en dus hoe lager de densiteit!

Over roze gesproken, ik herinner me nog een roze “ramp” die me ooit overkwam op één van de tankers waar ik op voer. Het was een naorlogs schip, voor die tijd een behoorlijk moderne tanker. Geen Chinese, maar Hollandse bemanning. Met een eigen wasserij met een wasbaas aan boord. Enfin, op zekere dag kwam die wasbaas naar me toe en vroeg me mee te komen naar de wasserij. Daar lag een flinke berg wasgoed, onze tropenuniformen, prachtig roze van kleur. In gedachte zag ik alle officieren al lopen, in schattige roze uniformpjes! Wat was er toch gebeurd? Ik had in Singapore, zoals iedereen toen, een aansteker gekocht, een “Ronson Varaflame”: een prachtige gestroomlijnde aansteker in een magentapaarsachtig fluwelen zakje. Dit zakje had ik vergeten uit m’n broekzak te halen toen ik hem in de was deed....met gevolg, alles mooi roze geverfd! De wasbaas wilde proberen het er met bleekwater eruit te halen, maar dat kostte wel twee kratjes bier! Verder ging ik, na pijlsnel nadenken, direct alle hutten langs, vertelde wat er gebeurd was en bood schadevergoeding aan. Als arme vijfde machinist rekende ik zó op de goodwill van iedereen, mocht het fout gaan met het bleken. Gelukkig viel het allemaal mee, de roze kleurstof ging er aardig goed uit en na een paar wasbeurten was alles verdwenen.

De densitometer bestaat nog steeds, maar met de enorme vlucht van de elektronica, wordt kleur tegenwoordig met een fotospectrometer gemeten. Hiermee kan men veel meer meten. Een veel gebruikte methode om een kleur vast te leggen is de “**L.a.b**” meting. De te meten kleur wordt hiermee “driedimensionaal” vastgelegd, waarbij **L** (van luminositeit) de lichtheid of donkerte (verticaal) aangeeft. **a** (van links naar rechts) de kleur van geel naar blauw en **b** (van voor naar achter) de kleur van rood naar groen. Op deze wijze kan men iedere kleur vastleggen.

Het witte daglicht bestaat uit vele kleuren: zie de regenboog. En we weten dat een mengsel van puur rood, groen en blauw licht een wit licht geeft! Hoe kan dit ook alweer? Omdat we hier niet over “monochromatische” kleuren spreken. Een monochromatische kleur heeft één specifieke golflengte. De meeste kleuren die wij zien zijn “polychromatisch”. Dat zien we als we die kleuren analyseren, dat wil zeggen, als we het totale golflengtespectrum

van de betreffende kleur weten te meten. En dat kan met zo'n fotospectrometer! Je krijgt dan een curve met op de X-as de golflengte (380 – 770 Nm) en op de Y-as de intensiteit (de hoeveelheid fotonen)!

Doordat kleuren bijna altijd polychromatisch zijn, kunnen verschillende combinaties van RGB (licht) toch wit licht geven en werken de drukkers met vaak behoorlijk verschillende combinaties van magenta, geel en cyaan. Als de combinatie van kleuren goed op elkaar afgestemd is, verkrijgt men toch een acceptabel, natuurlijk resultaat.

Door zo te meten zien we dat de genoemde kleuren een vrij groot golfgebied beslaan, het zijn mengsels van allerlei golflengtes (kleuren dus) van variërende intensiteit. Nemen we nu de juiste kleuren rood, groen en blauw licht van de juiste intensiteit dan krijgen we toch aardig zuiver wit licht en daar maken de televisiefabrikanten vlijtig gebruik van.

Artistieke primaire kleuren

De primaire kleuren zijn dus rood, groen en blauw, de secundaire kleuren: cyaan, magenta en geel, toch? Welnu, ook hiermee is iets raars aan de hand. In ieder boek over schilderen is altijd een stukje over kleurenleer geschreven. Daarin geeft men altijd aan dat Rood, Blauw en Geel de primaire kleuren zijn. Men wijst dan onder andere op Mondriaan, deze schilder gebruikte naast zwart en wit alleen de "primaire" kleuren rood, blauw en geel! Ondanks discussie hierover geeft men niet toe dat dit niet de primaire kleuren zijn. Verder zegt men ook altijd dat bijvoorbeeld rood niet door menging van andere kleuren (verf) te verkrijgen is. Mengt men echter Magenta met Geel, dan krijg je een keurig helder rood! Discussie hierover heeft geen zin, kunstenaars zijn behoorlijk eigenwijs en geven niet toe! Net als astrologen!

Lichtreflectie

Over kleur en licht is al behoorlijk wat geschreven, maar nu gaan we eens wat dieper op het begrip "reflectie" in, weerkaatsing van licht dus. Licht wordt door bijna alles teruggekaatst en daardoor "zien" wij van alles. Maar... wij zien altijd maar een deel van het licht wat er op valt! Het andere deel wordt geabsorbeerd!

Nu nemen we eens glas, een transparant medium! Glas laat licht dóór! Ja, maar niet alles! Het meeste licht gaat er doorheen, maar een deel "spiegelt" terug. Loop je langs een etalageruit dan zie je wat er in de etalage ligt, maar je ziet ook jezelf! Dit verschijnsel, "gedeeltelijke reflectie" door vlak en transparant materiaal is al heel lang onderwerp van studie: Newton worstelde er al mee! Ook Richard Feynman, bekend wiskundige en professor in de kwantumtheorie, heeft er van alles over geschreven.

Terwijl de mens van alledag dit toch de normaalste zaak van de wereld vindt, is dit gedeeltelijke licht doorlaten en weerspiegelen eigenlijk een zeer vreemde zaak! Er is echter bij mijn weten waarschijnlijk geen enkele vrouw die het vreemd vindt dat ze zichzelf in de etalageruit kan bekijken en ook nog kan zien wat er achter de ruit ligt! Waarom is dit toch zo'n zonderlinge zaak? Wat is er precies aan de hand?

Nemen we goed vlakke ruiten. Volgens de glasjongens laten vlakke ruiten 96 % van het licht door en kaatst er dus 4 % van het licht terug. Hoewel ze dit er niet bij vertellen, moet dit alleen gelden voor licht dat loodrecht op de ruit valt. Valt het licht namelijk schuin op de ruit dan blijkt er veel meer terug te kaatsen!

Laten we het eerst eens over (bijna) loodrecht opvallend licht hebben. En nemen we nu eens "monochromatisch" licht, licht van één golflengte dus. Laten we dit licht loodrecht op (vlak) glas vallen dan blijkt inderdaad 4 % terug te kaatsen! Richard Feynman, de Amerikaanse wiskundige, heeft dit fenomeen beschreven in z'n boekje: "QED, de zonderlinge

theorie van licht en materie”. Feynman zegt het zo: van iedere 100 fotonen (met allen dezelfde golflengte) gaan er 96 verder en 4 terug! Gemeten met een “fotomultiplier” (“fotonvermenigvuldiger”). Hij praat over glas, niet over een glasplaat, en plaatst één fotomultiplier in het glas (hoe deed hij dat?) en één erboven (om die 4 terugkaatsende fotonen te tellen)! Wat is precies een “fotomultiplier”? Het is een instrument dat een zeer gering aantal fotonen met een bekende factor kan “vermenigvuldigen”, zodat het aantal fotonen meetbaar en geteld kan worden. Één foton valt op een receptor, slaat elektronen los, die worden versterkt, waardoor uiteindelijk een meetbaar signaal ontstaat evenredig aan het aantal fotonen. Met zo’n fotomultiplier kan je zo een zeer klein aantal fotonen toch nauwkeurig tellen.

Nu de vraag: Waarom reflecteren er van de honderd fotonen slechts vier en welke vier fotonen dan? 96 Fotonen gaan verder, het glas in, 4 besluiten terug te gaan! Waarom? Niemand die het weet!

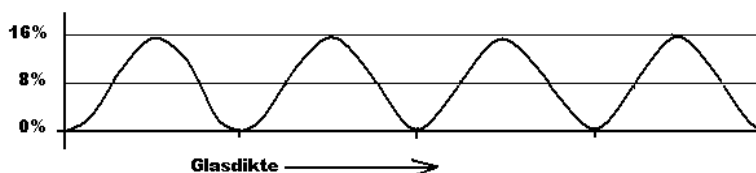
Bij water is iets dergelijks aan de hand. ’s Ochtends loop ik met m’n hondje langs wat slootjes en zie de lucht, de slootkant en de bomen spiegelen in het water. Een deel van het opvallende licht weerkaatst dus direct en het resterende deel van het licht duikt de sloot in en “verlicht” daar het onderwaterleven. Ik “zie” in het water planten, vissen, rommel, die weerkaatsen dus eveneens het erop vallende licht. Dit gereflecteerde licht komt dus het water weer uit, een deel daarvan bereikt mijn ogen en... ik zie vissen en planten! Hè, hè, dat ben ik kwijt!

Er zijn dus fotonen die aan het oppervlak al direct terugkaatsen, het overgrote deel gaat verder en duikt het water in. Daarvan kaatst er ook weer een deel terug het water uit. En de rest van de fotonen? Die staan hun energie af aan het water en wat daarin is en verwarmen het water dus! Hoe hoog het percentage fotonen is dat meteen al aan het wateroppervlak reflecteert weet ik (nog) niet, maar het lijkt vergelijkbaar met een glasoppervlak.

Zou er wel iemand, behalve ik, zijn, die het vreemd vindt dat je de lucht aan ’t wateroppervlak ziet spiegelen maar dat je ook vissen en planten in het water ziet? **VINDT IEMAND DAT VREEMD?** Ik denk van niet maar het *is* en blijft, óók bij water, **VREEMD!**

Nu zou ik m’n schouders op kunnen halen en zeggen: “Soit, het zij zo!” We kunnen het gewoon zo bezien: 96 procent van de fotonen duikt het water in, vier procent besluit om onbekende redenen om te keren. Maar zo zit ik niet in elkaar. Ik wil er toch meer van weten! Ik zoek verder!

Daarvoor gaan we terug naar glas, maar nu naar glasplaten. We laten er weer licht opvallen: monochromatisch licht, en meten alleen het licht dat er loodrecht of bijna loodrecht doorvalt. Feynman gebruikte weer fotomultipliers, één boven, één onder de glasplaat, waarmee hij nauwkeurig kleine aantallen fotonen kon tellen. Hij liet dus steeds fotonen (van één golflengte dus) door een glasplaat vallen en mat het aantal fotonen aan de onderzijde. Hij deed dit bij glasplaten van diverse diktes. En wat blijkt? **Het aantal terugkaatsende fotonen varieert nu van 0% - 16 %, afhankelijk van de dikte.** Hij heeft er een keurig grafiekje bij



gegeven, waaruit blijkt dat de reflectie sinusvormig tussen 0 en 16 % varieert met de dikte. Helaas staan er geen glasdiktes bij, maar deze eigenschap zou zeer ver doorgaan.

Fig 17.5 grafiek glasdikte reflectie

De diktes van de glasplaat zullen bij 0% reflectie wel steeds veelvoudenvan de golflengte van het (monochromatische) licht. De grafiek van de reflectie en de glasdiktes zal

bij andere golflengtes, verschillend zijn. Maar.... dat alles verklaart (mij) nog niet waarom het licht er bij sommige diktes allemaal wél doorgaat en bij andere diktes niet.

Een brok glas, met één vlakke kant, reflecteert dus 4%, een glasplaat reflecteert licht (van één golflengte) zowel boven als onder, waarbij de reflectie varieert tussen 0 en 16 %. Hoe kan dat nu? Weten die fotonen van te voren hoe dik de glasplaat is? Horen ze dat van elkaar? “Ja”, zegt de wetenschap: “dat “horen” ze van de fotonen, die van de onderkant terugkaatsen”. Kunnen fotonen dan met elkaar communiceren? Het moet haast wel! Hebben Chardin en Sheldrake dan toch gelijk? Kan de materie met elkaar communiceren?

Een echt duidelijke verklaring voor het fenomeen “gedeeltelijke reflectie” heb ik nog nergens gelezen. Men praat over gekwantiseerde en niet gekwantiseerde fotonen. Een foton is immers niet alleen een energiepakketje maar ook een golf!

Ook Feynman weet het niet en gezien de titel: “de zonderlinge theorie” ben ik dus niet de enige die dit alles maar vreemd vindt. Wat ik wel denk is, dat ik hier in het park de enige ben die in de slootjes kijkt en dan aan fotonen denkt die wel of niet weerkaatsen!

Ook Newton, die de gedeeltelijke weerkaatsing van licht al in de 17^e eeuw bestudeerde vond het een moeilijk onderwerp en heeft het nooit bevredigend kunnen verklaren! “Gedeeltelijke reflectie is een uiterst mysterieus verschijnsel en Newton had er erg veel moeite mee”, schrijft Richard Feynman.

Breking van licht

Spreek je over reflectie van licht, dan kom je vanzelf op een ander, al genoemd, fenomeen namelijk “(licht)breking”. Bij breking hoort het begrip “brekingsindex”. We kunnen namelijk de “lichtreflectie” berekenen met behulp van de “brekingsindex” van glas of water.

Breking van licht kennen we denk ik allemaal. Steek je een stok (schuin) in het water dan lijkt die op het wateroppervlak “gebroken”. De stok gaat met een andere hoek verder. Ligt er een munt op de bodem van een zwembad dan lijkt deze veel ondieper te liggen dan de in werkelijkheid. Dit alles tengevolge van de eigenschap “breking”, die transparante materialen zoals glas, water, diamant, plexiglas, maar ook lucht hebben. Ieder materiaal heeft een andere “brekingsindex” en die wordt als een getal “n” aangegeven.

Wat houdt deze brekingsindex precies in? We bekijken de figuur, waar een lichtstraal schuin op een glasplaat valt.

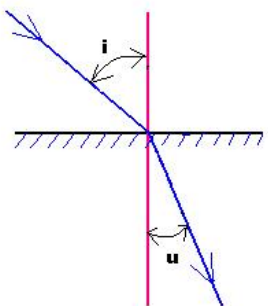


Fig. 17.6 breking van licht

De lichtstraal maakt een hoek, de invalshoek “i” met de “normaal” (de rode, verticale lijn op het glasoppervlak). Na het glasoppervlak gaat de straal verder met een knik, de hoek “u”, die “brekingshoek” genoemd wordt.

Waardoor wordt deze lichtbreking veroorzaakt? Nou ja, het zal wel zo zijn dat de fotonen die vanuit de lucht plotseling op het glas vallen, ineens meer weerstand ondervinden en worden afgeremd door de glasatomen.

De meeste fotonen vliegen verder maar een deel kaatst terug en hoe schuiner de lichtstralen, hoe meer er terugkaatsen, Ook is de snelheid van licht in glas door de weerstand minder dan “c” en deze blijkt af te hangen van de brekingsindex. De brekingsindex is:

$$“n” = c : v,$$

waarin: c de lichtsnelheid in vacuüm is en
v de snelheid van ’t licht in een transparant medium is.

Leuk en aardig maar dan moet je die lichtsnelheden in glas wél kennen en die zijn niet zomaar “even” te meten. De brekingsindices van diverse materialen zijn intussen wél bekend (dus je zou die snelheden daarmee kunnen berekenen), vooral door het denkwerk van een zekere “Snellius”, ja inderdaad, een Nederlander. Hier komen enkele brekingsindices:

- 't Vacuüm 1
- Lucht 1,0003
- Water 1,33
- Glas 1,5 – 1,9
- Diamant 2,4
- Polycarbonaat, (doorzichtig plastic) 1,6

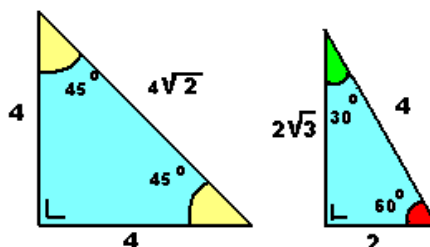
De wiskundige Willibrord Snellius uit Leiden heeft namelijk indertijd een belangrijke formule gevonden (rond de 16^e, 17^e eeuw) om de brekingsindex “n” te berekenen met hulp van de invalshoek **i** en de brekingshoek **u**:

$$n_1 \cdot \sinus i = n_2 \cdot \sinus u$$

We moeten dan wel een beetje “goniometrie” kennen. Hoeken bezitten een paar vaste verhoudingen: sinus, cosinus, tangens en cotangens. Deze verhoudingen zijn op een beetje calculator wel te vinden. In een rechthoekige driehoek is de “sinus” van een hoek de verhouding tussen de “overstaande” en “schuine” zijde.

De “sinus” die in de Snelliusformule voorkomt ligt tussen 0 en 1. Enkele “sinussen” kunnen we vinden in bekende (rechthoekige) driehoeken. Hier volgen er een paar:

- sinus 0^o = 0
- (2)- sinus 30^o = 2/4 = 0,5
- (1)- sinus 45^o = 4/4√2 = 1/√2 = 0,707
- (2) sinus 60^o = 2√3/4 = 1/√3 = 0,866
- sinus 90^o = 1

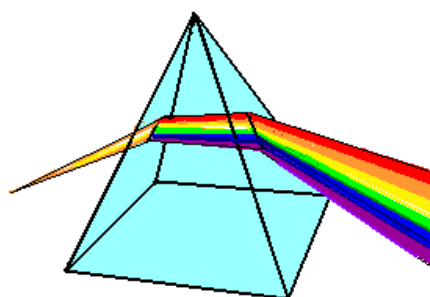


(1) 2 x 45^o (2) 30^o, 60^o

Fig. 17.7 Rechthoekige driehoeken

(Voor andere hoeken, raadpleeg maar een tabel of calculator of... meet!)

Breking en golflengte



Één ding is nog niet verteld: de breking en dus de index hangt ook af van de golflengte van het licht, de waarden van n zijn dus gemiddelden. Rood licht breekt iets minder dan violet licht en laten we een bundel wit licht op een bepaalde manier door een prisma vallen dan breekt het licht twee keer en krijgen we een mooi kleurenspectrum.

Fig. 17.8 Breking door een prisma

Bekijken we nogmaals de “wet van Snellius”:

$$n_1 \cdot \sinus \alpha = n_2 \cdot \sinus \beta \quad (\alpha = \text{invalshoek}, \beta = \text{uitvalshoek})$$

Kennen we dus de hoeken en de brekingsindex van lucht, dan kunnen we de brekingsindex van het “brekende” materiaal berekenen. In de figuur gaat een lichtstraal vanuit lucht het glas in. De brekingsindex van lucht kunnen we rustig op 1 stellen (hij is 1,0003). Dan is de formule voor een lichtstraal die vanuit lucht in een transparante stof, bijvoorbeeld glas, dringen als volgt:

$$1 \cdot \sinus \alpha = n_{\text{glas}} \cdot \sinus \beta \rightarrow \text{dus} \quad n_{\text{glas}} = \frac{\sinus \alpha}{\sinus \beta}$$

Als dan $\alpha = 60^\circ$ en $\beta = 30^\circ$ dan is $n = 0,866 / 0,5 = 1,732$.

Deze brekingsindex moet dus van een bepaalde glassoort zijn (n_{glas} : 1,5 -1,9). De snelheid van het licht in dit glas is dus:

$$v = c / n = 300.000 : 1,732 = 173.210 \text{ km/s}$$

Oké, dat weten we ook weer! Maar toch is er wat vreemds, wat onbegrijpelijk (voor mij). Bij loodrechte lichtinval is α gelijk aan 0 en is dus $\sinus \alpha = 0$ want $\sinus 0^\circ$ is gelijk aan 0. Dan is n dus gelijk aan 0 en dat kan dus niet, is er eigenlijk wel breking bij loodrechte lichtinval? Nee dus. Nu de lichtsnelheid door het glas bij loodrechte inval.

$$n = c : v \rightarrow v = c : n \rightarrow v = \text{oneindig} (n = 0)$$

Is dit zo? Nee natuurlijk! (Je mag niet door 0 delen!)

Reflectie van licht

Nu nog even de reflectie van licht door een transparant oppervlak. Een zekere Fresnel heeft dit onderwerp bestudeerd en, het klinkt eentonig, er (niet al te moeilijke) formules voor ontwikkeld. Door zijn studies kunnen we in een aantal eigenschappen misschien wat meer inzicht krijgen. Zo blijkt dat – hoe schuiner het licht op het oppervlak valt – hoe meer er reflecteert! Ook kunnen we eenvoudig berekenen dat de reflectie van glas ongeveer 4 % is, maar een formule voor glasplaten waaruit zou blijken dat de reflectie van monochromatisch licht varieert tussen 0 en 16 %, nee, die is er niet!

Hoe berekenen we nu de gedeeltelijke reflectie van glas en water? Met de volgende formule (deze geldt nu weer alléén bij invalshoek 0°):

$$R_0 = \{ (n_2 - n_1) : (n_2 + n_1) \}^2$$

n_1 = brekingsindex van de lucht (1), n_2 = brekingsindex van glas (1,5)

$$R_0 = \{ (1,5 - 1) : (1,5 + 1) \}^2 = (0,5 : 2,5)^2 = 0,04$$

De reflectie van glas is dus 4%! Nu de reflectie van water!

n_1 = brekingsindex van de lucht (1), n_2 = brekingsindex van water (1,33)

$$R_0 = \{ (1,33 - 1) : (1,33 + 1) \}^2 = (0,33 : 2,33)^2 = 0,02, \text{ is dus } 2 \%$$

De reflectie van water is dus 2%! Klopt dit alles? Laten we het hopen. Of deze formules empirisch of bewezen zijn? Ik heb geen idee! Wat kunnen we nu voor voorzichtige conclusies trekken?

- Water reflecteert minder dan gewoon glas. Om jezelf te zien kan je je dus beter in een etalageruit bekijken dan in (sloot)water! Toch zag Narcissus zichzelf in 't water zo goed, dat hij verliefd werd op zichzelf! Narcisme!

- Je zou een slootkant aan de overkant beter weerspiegeld moeten zien dan aan je eigen kant, door het invalshoekverschil. Ik zie wel verschil, maar of het heel duidelijk is?



Fig 17.9 Linkerslootkant

Rechter slootkant

Die twee procent reflectie van water vertrouwde ik eerst niet. Ik zelf zou deze veel hoger geschat hebben. Kijk maar naar de volgende foto van een huis aan een vijver. Ik zie maar weinig verschil in lichtsterkte van het spiegelbeeld met de werkelijkheid. Hoe komt dit? Door de schuine reflectie! Hoe schuiner de invalshoek, hoe meer er reflecteert, zeggen de wetten!



Fig. 17.10 Waterreflectie

We weten nu een stuk meer over licht en kleur, maar natuurlijk nog lang niet alles. Verder zoeken dus maar. En... er is nog een onderwerp dat bespreking waard is, namelijk de "biofotonen".

Biofotonen

In dit verhaal over licht en kleur zijn de lichtdeeltjes, de “fotonen” nogal eens ter sprake gekomen. Maar..., één soort fotonen nog niet: de “biofotonen”. Planten en dieren bestaan uit cellen en volgens sommigen communiceren al deze cellen met elkaar door middel van licht, met fotonen dus, die men biofotonen zou kunnen noemen. Inderdaad is gebleken dat planten, groente, vruchten, eigenlijk alle organische cellen, licht uitzenden, heel weinig, maar wel meetbaar! Ook menselijke cellen zenden dus fotonen uit en zouden door middel van deze fotonen met elkaar communiceren.

Wat mij vooral intrigeert is de ontdekking van een zekere dr. Fritz Albert Popp die, samen met zijn studenten, in de negentiger jaren deze biofotonen bestudeerde. Met een heel gevoelige fotomultiplier kon hij het zeer weinige licht dat door plantaardige en dierlijke cellen uitgestraald wordt, meten. En zo ontdekte hij steeds weer dat fotonen met een golflengte van 380 nm erg belangrijk zijn voor de menselijke cellen, zij zouden een belangrijke rol in de reparatie van beschadigde cellen spelen. In ons lichaam sterven continu miljoenen cellen af, worden steeds nieuwe gevormd maar daarbij gaat het nogal eens fout. Onze cellen hebben echter een sterk zelfreparerend vermogen. Licht zou daarbij dus wel eens een zeer belangrijke rol kunnen spelen.

Nog verbazender was Popp's bevinding dat bepaalde “PAK's”, juist dit helende licht, met golflengte 380 nm, omzetten in een andere golflengte. Hierdoor verhinderen deze “PAK's” dus de celreparatie. “P.A.K” is de afkorting voor: “Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen”, stoffen waarvan gebleken is dat ze kanker kunnen veroorzaken. Een voor velen bekende “PAK” is bijvoorbeeld “benzeen” dat, in plaats van lood, in onze benzine bijgemengd wordt als antiklop middel en inderdaad een gemeen “aroma” heeft. Popp bestudeerde vooral de PAK: “benzo(a)pyreen” waarvan bekend is dat deze sterk kankerverwekkend is en ontdekte daarbij het genoemde verschijnsel. Simpel gezegd verhinderen deze kankerverwekkende stoffen dus de reparatie van beschadigde cellen, waardoor deze kunnen gaan woekeren en tumoren vormen.

Dit “celreparerende” licht van 380 nm is trouwens een lichtsoort die zich in het spectrum precies op de grens van zichtbaar (paars) licht en onzichtbaar ultraviolet licht bevindt. Paars is dus zo'n gekke kleur nog niet! Zouden daarom die paarsachtige vruchtensappen van druiven, bosbessen, bramen enzovoort zo gezond zijn? Ze zouden zelfs kanker kunnen voorkomen! Drink rode wijn!

Na deze ontdekking ging dokter Popp op zoek naar planten die fotonen met deze golflengte van 380 nm uitzenden en hij vond er inderdaad één: de “maretak”, ook bekend als “vogellijm” of in 't Engels: “mistletoe”. Hé, dat is interessant, op onze jaarlijkse reis naar Spanje, waarbij we door Elzas Lotharingen rijden, zien we daar altijd opvallend veel bomen met “heksenbezems”, zoals in de volksmond de maretak wordt genoemd. In het golvende landschap langs de snelweg staan vaak groepjes vrijstaande bomen, meestal berken, vol met maretakbollen. Al rijdend en kijkend naar die bomen met “nesten”, kwam toen ook al de wens bij mij op om meer van deze plant af te weten.



Fig. 17.11 Heksenbezems

Deze maretak is eigenlijk een vreemde plant. Ook in Nederland zien we ze nogal eens, hoewel minder vaak dan in Frankrijk. Het is een parasietplant, een “halfparasiet”. Ze leeft alleen hoog in bepaalde bomen, meestal in berken en populieren, maar komt ook een enkele keer voor in eiken en fruitbomen. Het is een plant die’s winters groen blijft en vaak als kerstversiering wordt gebruikt! De maretak heeft de mens altijd gefascineerd en komt in allerlei sagen en legendes voor. Deze plant groeit als een bol en trekt zich niets aan van de zwaartekracht! De bladeren groeien in alle richtingen en de plant wil niets met de grond te maken hebben. (Zou de maretak het geheim van de zwaartekracht kennen?) Een bepaalde lijster zorgt voor de verspreiding van de zaden door de kleverige bessen te eten en z’n uitwerpselen met zaadjes te verspreiden. De kleverige substantie van de maretak werd vroeger gebruikt op lijmstokken om vogels te vangen (kwalijke zaak!), vandaar de naam “vogellijm”.

Hoewel de plant en vooral de bessen giftig zijn, blijkt ze toch bij juist gebruik een sterk geneeskrachtige werking te hebben en zelfs kanker te kunnen genezen! Ik begrijp ook dat er meerdere soorten maretak bestaan. In Nederland komt slechts één soort voor: de “Viscum Album”, maar er zijn toch verschillen, die afhangen van de boom waarin de maretak groeit. De meest geneeskrachtige soort groeit in de eik en daarvan wordt al tientallen jaren het geneesmiddel “Isador” bereid! De Druïden hadden dit vroeger ook al in de gaten, zij beschouwden de maretak van een eik als heilig en gebruikten die voor allerlei doeleinden!

Daar we het hier over “alternatieve” geneeswijzen hebben, worden deze middelen niet op grote schaal toegepast, maar er zijn door bepaalde (alternatieve) doktoren zeer goede resultaten mee behaald. Ook hier weer: als er in deze bevindingen waarheid schuilt en daar lijkt het toch wel op, dan zou de “gevestigde medische wetenschap” hier toch eens wat meer aandacht aan moeten besteden. Het zou toch heel mooi zijn: beschadigde cellen en kanker genezen met (paars) licht!