

EEN STRAALTJE KLEURENLEER

Barend de Jong | www.barenddejong.nl | 2009

*Het oorspronkelijke wezen van de kleur
is een dromerig klinken,
is tot muziek geworden licht*

(Johannes Itten 1888-1967)

Op de kleuterschool leerden we al dat je groene verf krijgt wanneer je geel met blauw mengt. De onder digitale fotografen bekende afkorting ‘RGB’ staat echter voor rood, groen en blauw en dat zijn de kleuren die in de digitale fotografie de basis vormen van alle kleuren. Waar is geel gebleven? Hoe zit dat met onze kleuterschoolopleiding? Kunnen we daar nog wat mee in onze digitale wereld? Een artikeltje over kleurenleer.

Kleurenleer van Johannes Itten

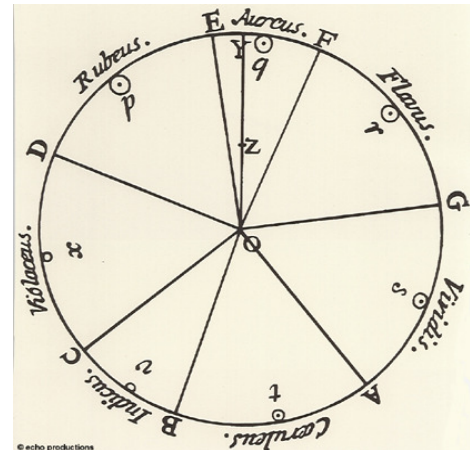
In den beginne was er licht, vervolgens het oog, daarna de schilderkunst en tenslotte de fotografie. De ontwikkeling naar de juiste kleurenleer ging echter via andere wegen. Een van de bekendste kleurenleren is die van Johannes Itten (1888-1967), Zwitserse kunstschilder, ontwerper en docent. Zijn kleurenleer, bekend van onze kleuterschooljaren, is gebaseerd op een in de praktijk ontwikkeld verfmengsysteem met als primaire kleuren rood, geel en blauw (Figuur 1). De secundaire kleuren zijn oranje, groen en violet. De tertiaire kleuren ontstaan uit de menging van een primaire en een secundaire kleur. Hoewel dit een zeer bruikbaar systeem is en ook tegenwoordig nog wordt toegepast in de schilderkunst, veroorzaakt het regelmatig verwarring onder autodidactische (digitale) fotografen, zoals ik. Niet vreemd. Ten eerste is het systeem wetenschappelijk gezien niet 100% correct en ten tweede wordt het verfmengsysteem ten onrechte toegepast op het mengen van licht. Om een en ander beter te begrijpen, moeten we terug naar het licht en ons oog.



Figuur 1. De kleurencirkel van Johannes Itten met van binnen naar buiten de primaire, secundaire en tertiaire kleuren.

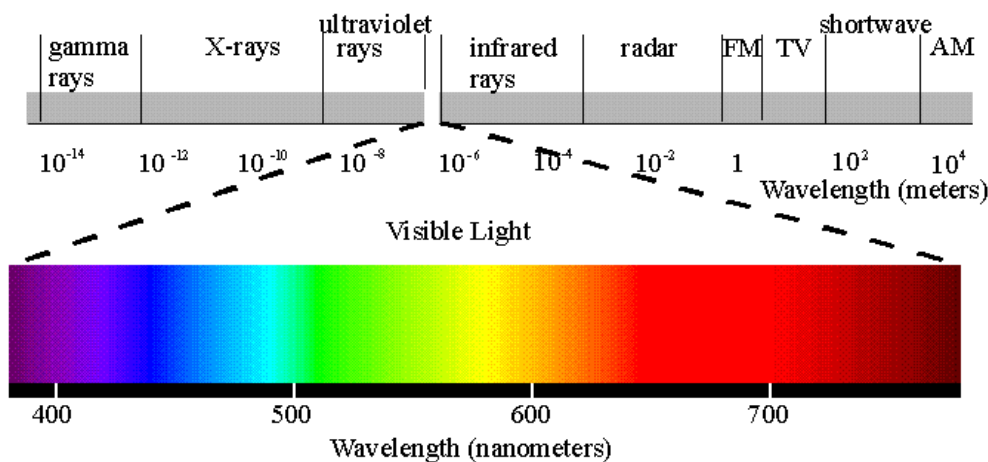
Wetenschappelijk lichtmengen

In 1707 publiceert Isaac Newton zijn *Optics* met de bevindingen van zijn experimenten: gekleurd licht (figuur 2) ontstaat bij de breking van wit licht in een prisma. Andersom ontstaat wit wanneer al die kleuren weer worden samengevoegd. Hij benoemt analoog aan de toonladder 7 kleuren als echte kleuren die met een prisma niet verder te breken zijn: rood, oranje, geel, groen, blauw, indigo en violet.



Figuur 2. De kleurencirkel van Newton.

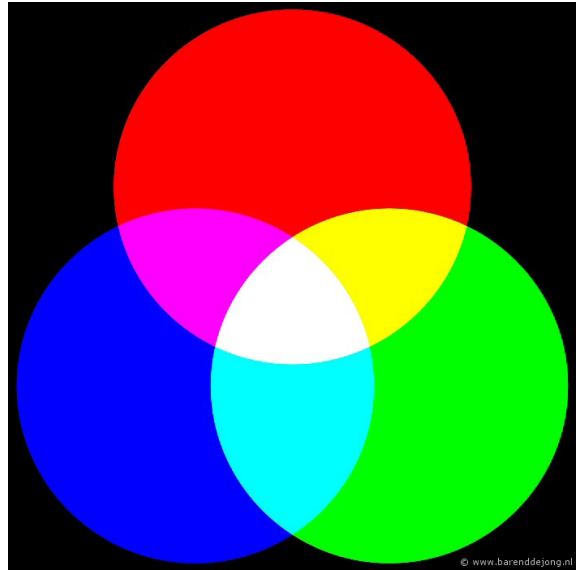
De engelse arts en fysicus Thomas Young voegt hier in 1801 nog aan toe dat het oog gevoelig is voor drie golflengtes die samen het zichtbare licht spectrum beslaan (figuur 3; Young-Helmholtz theorie). Hij ontdekte dat de kegelcellen in het netvlies van gewervelde dieren uit drie typen bestaan elk met een pigment dat licht absorbeert van een andere golflengte: R-kegels, meest gevoelig voor de rode golflengte, G-kegels voor de groene golflengte en B-kegels voor de blauwe golflengte. Wanneer deze kegels worden blootgesteld aan zonlicht, wordt dat door de hersens geïnterpreteerd als wit licht. Wit kan ook verkregen worden door het mengen van twee kleuren, bijvoorbeeld blauw en geel, daarom complementaire kleuren genoemd. Geel ontstaat in de hersenen door stimulering van de R- en G-kegeltjes. Hier komen we later nog op terug.



Figuur 3. Het kleurenspectrum uit wit licht met v.l.n.r. de hoofdkleuren violet, indigo, blauw, groen, geel, oranje en rood

Deze theorie klopt in de praktijk erg goed. Zo kan kleurenblindheid nu goed worden verklaard. Omdat we ook nog grijs tinten kunnen zien, kwam de Duitse psycholoog Ewald Hering in 1920 met een nieuwe theorie met een extra pigment voor de grijs tinten. In 1964 werd alles echter duidelijk. Toen bewezen Edward F. MacNichol en collega's aan de Johns Hopkins Universiteit het bestaan van de drie kleur gevoelige kegeltjes en ontdekten ze tegelijkertijd in een dieper gelegen laag in het netvlies de grijs tint gevoelige staafjes.

Samengevat resulteren deze wetenschappelijke ontdekkingen in de zogenaamde additieve (=optellende) kleurmenging van licht. Van additieve menging is altijd sprake bij het gebruik van lichtbronnen zoals lampen, lasers, beeldschermen en beamers. Figuur 4 geeft een voorbeeld voor drie primair gekleurde lichtbundels. Deze figuur is eenvoudig te begrijpen. Zonder licht is het donker en zie je geen kleur (rand van de figuur). Meng je twee van de primaire kleuren dan ontstaat een van de kleuren geel, cyaan of magenta (de secundaire kleuren). Meng je drie primaire kleuren of een primaire met een secundaire kleur (complementaire kleuren), dan ontstaat kleurloos wit licht (midden in Figuur 4).



Figuur 4. Additieve menging van gekleurde lichtbundels.

We weten nu hoe we wetenschappelijk verantwoord kunnen lichtmengen. Net als bij Johannes Itten bestaan er drie basiskleuren en ook de additieve kleurencirkel (figuur 5) lijkt erg op die van Itten (figuur 1). Echter, deze figuur is met nadruk geen vervanging van de kleurencirkel van Johannes Itten. Zoals gezegd is vermengen niet hetzelfde als lichtmengen. Ik neem u mee terug naar de schilderkunst om dat uit te leggen.



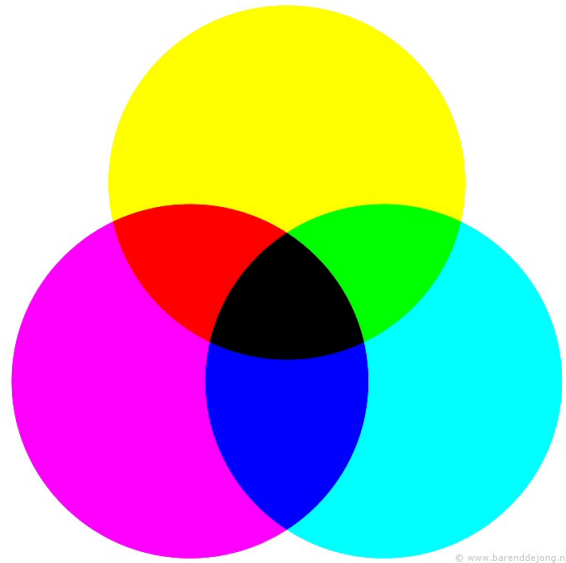
Figuur 5. Kleurencirkel gebaseerd op additieve kleurmenging van licht.

Wetenschappelijk verven

Vóór de ontdekkingen van Newton geloofde men dat de kleur van een voorwerp los van het licht waarbij men ze zag, aanwezig was. Het zat als het ware opgesloten in het voorwerp zelf. Newton toonde echter aan dat juist het licht de bron van alle kleuren is. Een voorwerp krijgt kleur door uit het licht zijn eigen kleur te weerkaatsen en de andere kleuren te absorberen. Met behulp van figuur 4 kunnen we bepalen welke kleuren dat moeten zijn. Een groen blad bijvoorbeeld absorbeert blauw en rood uit het witte zonlicht, het overgebleven groene licht weerkaatst, wordt opgevangen in onze ogen en wordt daar door de G-kegeltjes gedetecteerd.

Nu we dit weten, kunnen we nadenken over vermengen. Hoe vinden we drie verfkleuren, waarmee we alle kleuren kunnen maken? We starten met een wit vel papier. Alle primaire kleuren uit de lichtbron worden nu weerkaatst. Om kleuren te krijgen, moeten er een of meer primaire kleuren uit het licht geabsorbeerd worden. Het is wetenschappelijk aangetoond dat dit alleen kan met de verfkleuren cyaan,

magenta en geel. Cyaankleurige verf bijvoorbeeld absorbeert rood en weerkaatst het groene en blauwe licht (samen cyaan; zie figuur 4). En om rode verf te krijgen, moeten groen en blauw aan het lichtspectrum worden onttrokken. Dat kan alleen met de verfkleuren geel en magenta. De gele verf absorbeert blauw licht, en de magenta verf absorbeert groen licht, beide kleuren weerkaatsen het rode licht wat uiteindelijk door de kegeltjes in ons oog wordt waargenomen. Om het witte vel zwart te maken, moeten alle primaire kleuren geabsorbeerd worden. Dat kan alleen door menging van cyaan, magenta en geel. Omdat de verf licht absorbeert spreekt men wel van subtractieve (=aftrekkende) kleurmenging. Deze zogenaamde subtractieve kleurmenging is



Figuur 6. Subtractieve menging van verf/inkt op een vel wit papier

samengevat in figuur 6. In vergelijking met figuur 4 valt op dat de primaire kleuren uit figuur 4 (rood, groen, blauw) de secundaire kleuren zijn in figuur 6 en andersom voor de primaire kleuren in figuur 6 (cyaan, magenta, geel). Wanneer men het over een primaire kleur heeft, moet dus duidelijk zijn of men het over licht dan wel verf heeft, of men het dus over het additieve of over het subtractieve mengsysteem gaat.

Dit is de wetenschappelijke vervanging van de kleurenleer van Johannes Itten. Uit de praktijk blijkt dat dit systeem ook werkelijk klopt. Het is namelijk niet mogelijk door menging van pigmenten de verfkleur cyaan, magenta of geel te krijgen. In de kleurenleer nemen ze daarom terecht een bijzondere plaats in, net als rood, groen en blauw. Dat de kleurenleer van Itten niet helemaal juist is, wordt duidelijk bij het mengen van zijn primaire kleuren rood, geel en blauw. Er ontstaat dan geen zwart, maar een vage bruine kleur. Daarnaast wijkt met name de kleur rood nogal af van de primaire kleur magenta. Wat wel in de buurt komt is het roze, paarsachtige Quinacridone. Deze fout heeft weer tot gevolg dat met de primaire kleuren van Itten geen goed paars gemengd kan worden.

Kleurordening

Wat niet mag ontbreken bij een artikel over kleuren is de kleurordening. Onze ogen zijn in staat bijna een miljoen kleuren te onderscheiden. Een mens zou geen mens zijn als hij hierin geen orde wilde aanbrengen. Het communiceren en denken over kleuren wordt daardoor sterk vereenvoudigd.

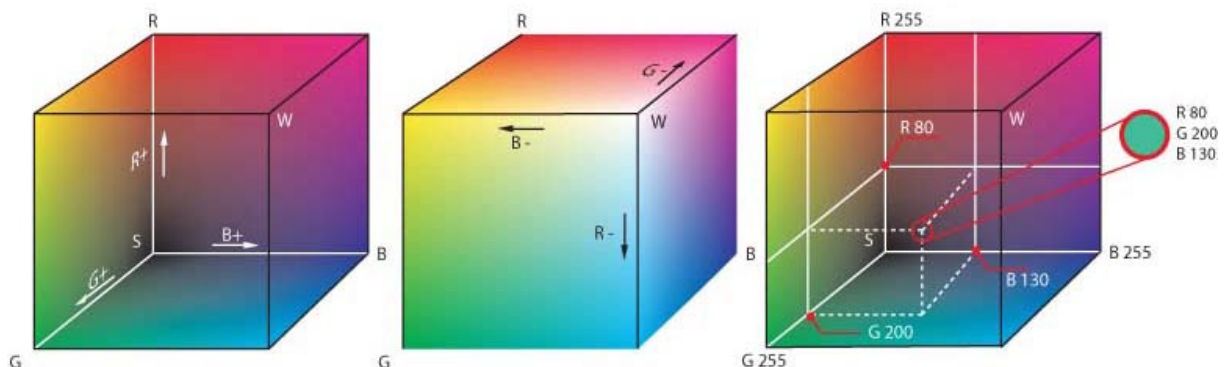
Verschillende systemen, zowel additief (licht) als subtractief (verf), ordenen de kleuren met behulp van de drie begrippen:

- **kleurtoon (hue)** - blauw, paars, violet, geel, etc.
- **verzadiging (saturation)** - intens of mat / verzadigd of grijs
- **helderheid (lightness)** - licht of donker / wit of zwart

Bekend in de digitale wereld (fotografie, beeldschermen, beamers) is het RGB-kleursysteem. Dit systeem drukt kleuren uit als een combinatie van de drie primaire kleuren (rood, groen, blauw), uitgaande van additieve kleurmenging. De drie primairen kunnen zo gecombineerd worden dat alle kleuren, tonen en tinten in het zichtbare spectrum verkregen worden. De intensiteit van elke primaire kleur die nodig is om een specifieke mengkleur te verkrijgen, wordt uitgedrukt in een getal van 0-100% verzadiging. In verband met de digitale achtergrond wordt elke hoeveelheid uitgedrukt in stappen van 0-255 (256 intensiteiten voor elke primaire kleur, dit is gelijk aan het bereik van de binaire nummers 00000000 tot 11111111 (1byte of 8-bits) of de hexadecimale nummers 00 tot FF). Veelal wordt hiervoor het hexadecimale stelsel gebruikt dat door HTML (opmaakcode voor websites) wordt herkend. Op deze manier zijn er in totaal $256 \times 256 \times 256 = 16.777.216$ kleuren mogelijk (24-bits). Tabel 1 geeft een aantal voorbeelden. Omdat deze kleuren met behulp van een drie-assig stelsel een kubus vormen, wordt er ook wel gesproken van kleurruimte (figuur 7).

Tabel 1. Kleuren en hun RGB codes

Kleur	RGB code	
	decimaal stelsel	hexadecimaal stelsel
zwart	0, 0, 0	000000
grijs	128, 128, 128	808080
wit	255, 255, 255	FFFFFF
rood	255, 0, 0	FF0000
groen	0, 255, 0	00FF00
blauw	0, 0, 255	0000FF
geel	255, 255, 0	FFFF00
magenta	255, 0, 255	FF00FF



Figuur 7. De RGB kleurruimte met in de rechter kubus een selectie van een groen-punt (R = rood, G = groen, B = blauw, W = wit (255, 255, 255), S = Zwart (0, 0, 0), + = toenemend in verzadiging, - = afnemend in verzadiging).

In de drukwereld kan men uiteraard weinig met een additief kleursysteem. Men gebruikt daar subtractieve systemen. In analogie met het RGB-systeem bestaat er een CMY-systeem (Cyan, Magenta, Yellow; vergelijk figuur 6). Echter, om verschillende redenen wordt er nog een zwarte inkt aan toegevoegd. We krijgen dan de afkorting CMYK. De reden voor de extra zwarte inkt is:

- dat het vrijwel onmogelijk is om de juiste kwaliteit C, M en Y pigmenten te krijgen die te mengen zijn tot puur zwart;
- dat het mengsel van de drie inkten het papier vrij nat maakt. Voor het printen op hoge snelheid waarbij de inkten droog moeten zijn voordat het volgende blad klaar is kan dit problematisch zijn. Daarnaast kan papier van slechte kwaliteit, denk aan krantenpapier, scheuren als het te nat wordt;
- dat tekst over het algemeen zwart is en fijne elementen bevat (serifs, komma's). De printkoppen zouden zeer precies moeten zijn om de drie kleuren precies op dezelfde locatie te laten printen;

- dat het gebruik van één zwart patroon goedkoper is dan het mengen van drie patronen, die meestal ook nog duurder zijn.

Het verschil tussen het additieve en subtractieve systeem heeft als consequentie dat wanneer een digitale foto moet worden afgedrukt het additieve systeem vertaald moet worden naar een subtractief systeem waar de printer mee uit de voeten kan. Een ieder die zelf foto's print of laat afdrukken, weet dat deze vertaling van beeldscherm naar print niet foutloos gaat. Hoe ontstaan die fouten, en nog belangrijker, hoe zijn ze te corrigeren? 'Colormanagement' is het toverwoord, maar dat is weer een heel verhaal apart.

Tot slot

Persoonlijk vond ik het een verademing eindelijk te begrijpen hoe het kleuren mengen nu eigenlijk werkt. Ik begreep nooit waarom de kleurmenging van kunstschilders, digitale fotografen en drukkers van elkaar verschilt. Vrij basaal heb ik geprobeerd het in dit artikeltje duidelijk te maken. Ik ben ervan overtuigd dat de kleurenleer tot de fundamentele bouwstenen behoort van de digitale fotograaf. Onder andere bij fotobewerking is het erg handig kennis te hebben van de additieve kleurmenging. Met "trial" en "error" kunnen we een heel eind komen, maar met kennis van zaken gaat het werk eenvoudiger en sneller.

Bronnen

Kaiser P.K. *Electromagnetic spectrum*, <<http://www.yorku.ca/eye/spectru.htm>>, bezocht januari 2007.

MacEvoy B., *Color vision*, <<http://www.handprint.com/HP/WCL/wcolor.html>>, bezocht januari 2007.

Newman J.R., *Color Vision*, The Harper Encyclopedia of Science, Revised Edition, Harper & Row, publishers - New York and Evanston Sigma, Inc. - Washington, D.C., 1967.

Wikipedia, *Johannes Itten* <http://nl.wikipedia.org/wiki/Johannes_Itten>, bezocht januari 2007.

Wikipedia, *Spectrum* <<http://nl.wikipedia.org/wiki/Spectrum>>, bezocht januari 2007.

Wikipedia, *Color theory*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Color_theory>, bezocht januari 2007.

Wikipedia, *RGB color space*, <http://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_space>, bezocht januari 2007.

Wikipedia, *CMYK color model*, <http://en.wikipedia.org/wiki/CMYK_color_model>, bezocht januari 2007.