

Nieuwe mogelijkheden met kleur in astrofotografie

Fotografie ('licht-schrijven') is een techniek om de intensiteit van licht in een beeld vast te leggen. Aanvankelijk via een chemisch procedé (met emulsie van zilverhalogenide kristallen op een drager), maar sinds een jaar of dertig steeds meer op digitale wijze waarbij lichtintensiteit zorgt voor een zekere signaalsterkte in elektronische sensoren. Deze ontwikkeling heeft ook grote weerslag gehad op de astrofotografie. Dit artikel bespreekt recente ontwikkelingen in met name het bewerken van kleurenopnamen, verkregen met smalbandfotografie waarin alleen het licht van specifieke golflengten wordt vastgelegd.

Door Rudy Rooth



Figuur 1. Smalband-kleurenopname van de Heksenbezem (NGC 6960) in de Zwaan. Totaal 19 uur belicht in augustus 2024. 3paneels mozaïek. 8910 × 4338 pixels.

- **De digitale revolutie in de astrofotografie heeft voor de amateur ongeken­de mogelijkheden geopend.**
- **De smalband-astrofotografie leidt tot spectaculaire kleurenopnamen in een zelf te kiezen kleurenpalet.**
- **Het toepassen van zogeheten dynamische kleurencombinaties kan leiden tot nog attractiever resultaten.**

Al lang voor het digitale tijdperk, vanaf de jaren zeventig van de vorige eeuw, kwam kleurenfotografie voor consumenten beschikbaar. Hierbij werd gebruik gemaakt van het feit dat licht (een vorm van elektromagnetische straling) bestaat uit een spectrum van golflengten (*Zenit* september 2024, blz. 40-41). Het chemische procedé werd verfijnd door te zorgen dat de intensiteit werd vastgelegd door in een aantal lagen emulsie aan te brengen van zilverhalogenide kristallen die met kleurstoffen gevoelig zijn gemaakt voor verschillende golflengtebanden.¹

Het grote belang van kleur wordt duidelijk in Figuur 2.



Figuur 2. Foto met vogel en framboos in zwart-wit en in kleur.

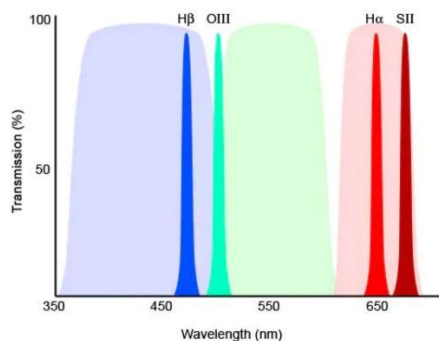
In de zwart-witfoto zijn de vogel en framboos nauwelijks te herkennen (pech voor mens en dier die specifiek daarnaar op zoek zijn). In de rechter foto springen die er duidelijk uit. Mensen, dieren en planten hebben zich zo ontwikkeld dat zij kleur in hun voordeel gebruiken. Mensen en dieren met ogen zodat zij daardoor makkelijker voedsel kunnen vinden, planten met felgekleurde vruchten die daardoor de verspreiding van de plant bevorderen doordat deze vruchten door dieren gegeten worden en de zaden verspreid. Kortom: Kleur in beelden is een manier om details op te laten vallen.

RGB

In moderne digitale fotografie wordt het licht door verschillende optische filters naar de lichtgevoelige sensoren geleid. Deze laten respectievelijk R(ood), G(roen) en B(lauw) licht door omdat onze ogen hiervoor gevoelig zijn. De elektronica toont de drie intensiteitsverdelingen vervolgens gezamenlijk in een kleurenbeeld dat overeenkomt met datgene wat wij ook direct waarnemen. Dit werkt in astrofotografie goed voor objecten die licht over een breed golflengtespectrum uitzenden (of reflecteren) zoals sterren, melkwegstelsels of stofwolken.

Smalband

Veel objecten in het heelal, met name emissienevels zoals de Orionnevel, kunnen worden waargenomen omdat zij op specifieke golflengten licht uitstralen. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van hete gassen. Waterstof ($H\alpha$), eenmaal geïoniseerd zwavel (SII) en tweemaal geïoniseerd zuurstof (OIII) zijn bekende voorbeelden. Deze stralen op respectievelijk 656,3, 672,4 en 500,7 nanometer doordat in deze atomen of ionen elektronen – kort gezegd – eerst door energierijke straling in ‘aangeslagen’ toestand (hoger energieniveau) geraken en vervolgens onder het uitzenden van straling van specifieke golflengten terugvallen naar een lager energieniveau. Figuur 3 toont de golflengten waarop de diverse filters de straling van het visuele elektromagnetisch spectrum doorlaten, met op de achtergrond de RGB-banden.²



Figuur 3. De ligging van smalbandfilters in het visuele spectrum

Smalbandfilters proberen niet de spectrale gevoeligheid van het menselijk oog te imiteren. Daarom worden kleurenbeelden die met deze filters worden gemaakt, *valse kleurenbeelden* genoemd. Meestal worden er drie filters gebruikt, waarvan elk is toegewezen aan één kanaal van een RGB-afbeelding. Eén filter vormt het rode deel van een afbeelding, een ander het groene deel en het derde is het blauwe deel. Eenmaal gecombineerd, vertegenwoordigt elke kleur een bepaalde golflengte van licht en dus een bepaald element in de gaswolk. Het toewijzen van de diverse smalle banden aan de RGB-kanalen resulteert in een zogenaamd *kleurenpalet*, bijvoorbeeld van SHO (geïoniseerd zwavel en zuurstof, en waterstof) of HOO (in het laatste geval wordt maar op twee golflengten licht verzameld).

Wetenschappelijk

Naast het produceren van een attractief plaatje is een smalbandafbeelding ook wetenschappelijk interessant. Daarom worden dit soort filters ook gebruikt op de Hubble-ruimtetelescoop en andere professionele instrumenten. De kleuren representeren dan de aanwezigheid van bepaalde gassen in de waargenomen objecten. Het is daarbij belangrijk om te onthouden dat de H α -emissie van waterstof bijna altijd de dominante emissie is, omdat interstellaire gaswolken voor het grootste deel uit waterstof bestaan. Dus als de emissies worden weergegeven in de sterkte verhouding waarin ze worden vastgelegd door de sensoren dan levert dit niet direct de attractiefste beelden op (maar smaken verschillen...). Daarom worden de OIII en SII-beelden vaak verder *gestretched* dan H α (*Zenit* maart 2021, blz. 20-23). In feite komt het erop neer dat voor een wetenschappelijke interpretatie van de individuele golflengten teruggegaan moet worden naar de *monochroombeelden*, waarbij kwantumefficiëntie van de sensoren, transmissie van de filters en lichtopbrengst van het optische systeem (inclusief transmissie van de atmosfeer) een rol spelen. Dit artikel gaat nu verder in op nieuwe mogelijkheden bij het bewerken van smalbandbeelden.

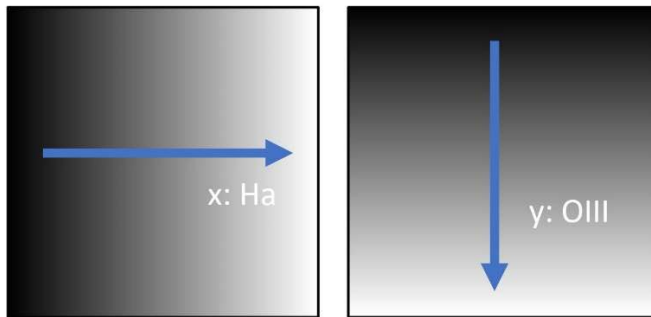
Theorie

Hierboven is al weergegeven wat wordt verstaan onder een kleurenpalet, ook wel kleurenscale genoemd. Binnen dit palet is het mogelijk om tot verschillende resultaten te komen, afhankelijk van de sterkte van ieder kanaal en de relatieve sterkte van de kanalen ten opzichte van elkaar. Beelden zijn het meest contrastrijk als de piek in het zogenaamde histogram rond 0,25 ligt (*Zenit* maart 2021, blz. 20-23). Als veel in de opname hier bovenuit komt dan ervaren we het beeld als overbelicht. Tot voor kort werden altijd vaste factoren gebruikt om kleurenbeelden te genereren. Bijvoorbeeld:

R: SII, G: H α , B: OIII (alle factoren zijn 1)

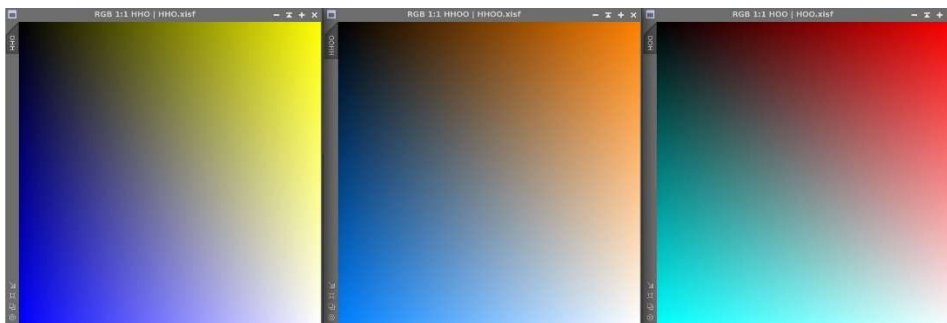
Of voor een zogenaamde bicolor-opname, gebaseerd op H α en OIII: R: H α , G: $0,5 \cdot (H\alpha + OIII)$, B: OIII

Dit noemen we statische combinaties omdat de transferfunctie voor elke intensiteit van het kanaal constant is. Hieronder staat gevisualiseerd hoe deze combinaties uitwerken voor bicolor-opnames op basis van H α en OIII. Dit is gedaan in het beeldbewerkingspakket PixInsight met behulp van de PixelMath-module. Om een voorbeeld te hebben waarin alle intensiteiten voorkomen hierbij een kunstmatig H α -plaatje (met de intensiteit gelijk aan de X-coördinaat in het beeld (schaal 0 tot 1) en idem voor een OIII-plaatje maar dan met intensiteit gelijk aan Y-coördinaat. Steeds geldt: 0 (zwart) is geen signaal en 1 (wit) is maximaal signaal.



Figuur 4. Kunstmatige H α en OIII-opnamen

Aan de kleurkanalen RGB kennen we nu toe: R: H α ; B: OIII; G: een combinatie van H α en OIII. Figuur 5 is het resultaat van de aangegeven keuzes.



Figuur 5. Statische kleurpaletten. Van links naar rechts: G: H α ; G: 0,5*(H α + OIII); G: OIII.

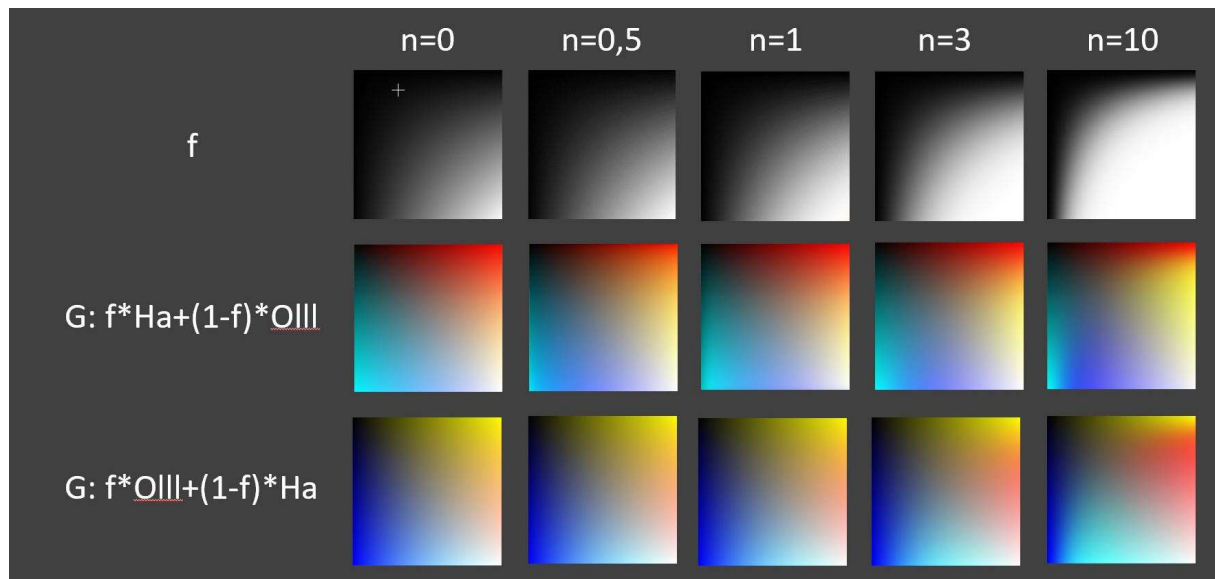
Deze paletten zijn nog aan te passen door andere combinaties te kiezen en/of de verhoudingen aan te passen. Zorg er wel altijd voor dat het intensiteitsbereik in een kanaal tussen 0 en 1 geschaald blijft. Een van de redenen dat voor de invulling van G bij bicolor-opnamen wordt gekozen voor een intensiteitsverdeling die in balans is met die in de andere kanalen is om ervoor te zorgen dat sterren in het beeld geen sterke kleurzwem krijgen. Als sterren en nevels apart worden behandeld dan is dit niet nodig.

Dynamische combinaties

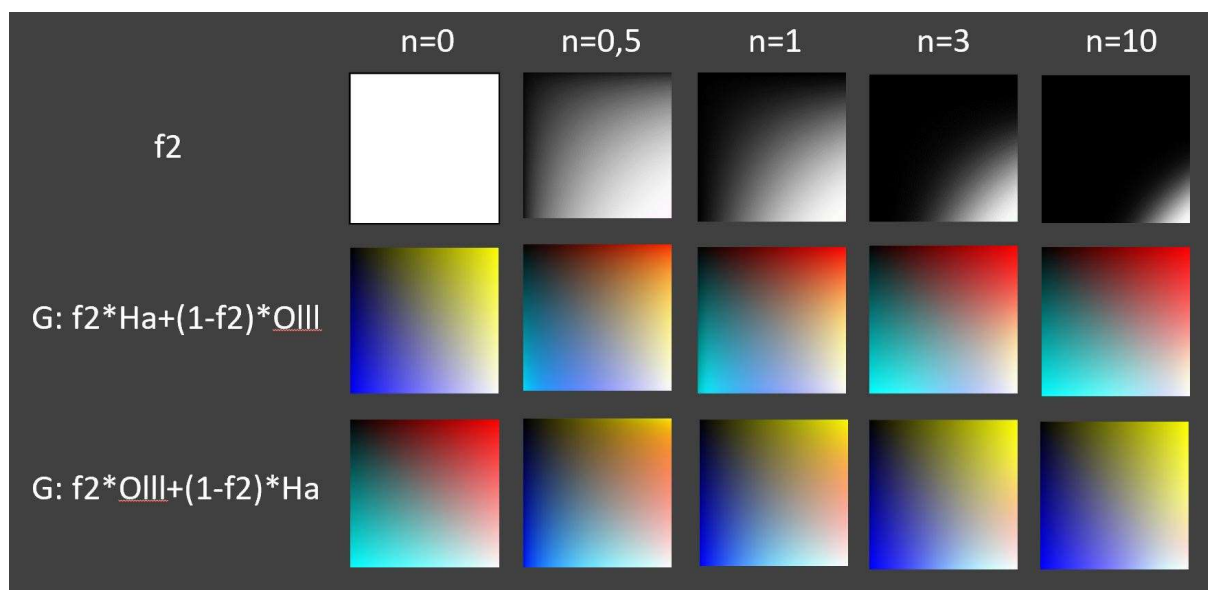
In 2020 is door een blogger een artikel gepubliceerd waarin voor het eerst werd gesproken over *dynamische combinaties*.³ Het kenmerk hiervan is dat de toekenning van de waargenomen intensiteiten aan de kleurkanalen afhankelijk wordt gemaakt van de beelden zelf. Hiervoor wordt een dynamische factor f geïntroduceerd die niet een constante is, maar is gebaseerd op de intensiteitsverdelingen in de opgenomen beelden, in het H α -OIII-voorbeeld:

$F = f c(H\alpha(x, y), OIII(x, y))$, te lezen als: f is een functie van de H α en OIII-intensiteitsverdeling. Zie ook het kader. En als voorbeeld wordt dan het groene kanaal gevuld met $G = f * H\alpha + (1 - f) * OIII$.

Het gebruik van f en $1 - f$ is noodzakelijk om ervoor te zorgen dat het intensiteitsbereik voor het groene kanaal tussen 0 en 1 blijft. De te realiseren kleurenscale's zijn te vinden in de Figuren 6 en 7.



Figuur 6. Dynamische kleurpaletten gebaseerd op factor f. Eerste rij: factor f voor verschillende waarden van n. Tweede rij: het resulterende kleurenscla met groen ingevuld door $f \cdot \text{H}\alpha + (1 - f) \cdot \text{OIII}$. Derde rij: het resulterende kleurenscla met groen ingevuld door $f \cdot \text{OIII} + (1 - f) \cdot \text{H}\alpha$.



Figuur 7. Dynamische kleurpaletten gebaseerd op factor f2. Eerste rij: factor f2 voor verschillende waarden van n. Tweede rij: het resulterende kleurenscla met groen ingevuld door $f2 \cdot \text{H}\alpha + (1 - f2) \cdot \text{OIII}$. Derde rij: het resulterende kleurenscla met groen ingevuld door $f2 \cdot \text{OIII} + (1 - f2) \cdot \text{H}\alpha$.

Voor $n = 1$ zijn de uitdrukkingen f en f2 aan elkaar gelijk en daardoor ook in de middelste kolommen in de Figuren 6 en 7. Het kleurenscla precies in het midden is dat welk door *the coldest nights* is aanbevolen voor bicolor-opnamen met H α en OIII-filters. De hier weergegeven overzichten kunnen helpen bij het creëren van de gewenste kleurcombinaties.

In de kunstmatige H α en OIII-plaatjes (Figuur 4) leiden tot alle combinaties van H α *OIII, en daardoor geven de getoonde kleurenscale's ook alle combinaties inclusief het groene kanaal die bij toepassing van de gekozen factoren f of f2 kunnen worden verwacht. Het dynamische karakter van de paletten is de afhankelijkheid van H α *OIII, dat geïnterpreteerd kan worden als: Daar waar H α en OIII beide hoog zijn verandert de kleurcombinatie (van bijvoorbeeld HOO naar HHO). Dit accentueert de gebieden in het beeld waar dit het geval is.

Dynamische combinatiefactoren

Het onderscheidende kenmerk van een dynamische combinatiefactor is dat deze voor elke pixel (X, Y) in het beeld afhankelijk is van het beeld zelf. Deze afhankelijkheid kan meerdere vormen aannemen, maar het is belangrijk te beseffen dat het bereik van minimale en maximale intensiteit in een kleurkanaal niet overschreden mag worden bij gebruik van dynamische combinatiefactoren. In het geval van PixInsight, een veel gebruikt beeldbewerkingspakket in de astrofotografie, zijn die grenzen zwart = 0 en wit = 1. Bij het uitrekenen van intensiteiten moet de uitkomst hieraan voldoen. De combinatiefactoren die in dit artikel worden gevisualiseerd zijn een veralgemenisering van die van de oorspronkelijke auteur van *The coldest nights* (referentie 3). Ze hebben de vorm $f = (H\alpha * OIII)^{((1-H\alpha*OIII)^n)}$ en $f2 = ((H\alpha * OIII)^{(1-H\alpha*OIII)})^n$. n Is een vrij te kiezen getal groter dan of gelijk aan 0. Zowel f en f2 zijn in principe gebaseerd op H α *OIII. Voor de situatie n = 0 en n = 1 versimpelen de dynamische combinatiefactoren tot:

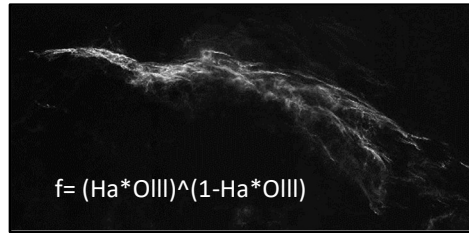
	n = 0	n = 1
f	H α *OIII	(H α *OIII) ^(1 - Hα*OIII)
f2	1	(H α *OIII) ^(1 - Hα*OIII)

De factor onder n = 1 is die welke is geïntroduceerd door *The coldest nights*. Voor de fijnproevers: de exponent (1 - H α *OIII) staat bekend onder PIP (Power of Inverted Pixel). Dit is een exponentiële transformatie die contrastverhogend werkt. Voor PixInsight is een zogenaamd script beschikbaar onder de naam Foraxx.⁴ Voor de duidelijkheid, de gegeven f en f2 zijn slechts voorbeelden om een en ander inzichtelijk te maken. Alle intensiteitsverdelingen zoals in de zwart-wit blokken van Figuur 6 en 7 zijn mogelijk om de toekenning van de bronkanalen aan R, G en B te beïnvloeden.

Praktijkvoorbeeld

Toepassing van dynamische kleurcombinaties maakt de interpretatie van de kleuren in de beelden moeilijker en is daardoor vooral inzetbaar als techniek om attractieve beelden te produceren die meer mogelijkheden bevatten om interessante details te benadrukken. *The coldest nights* geeft ook suggesties voor toepassingen waarbij drie kleurkanalen als bron worden gebruikt. Met bovenstaande als achtergrond is het goed mogelijk om daarmee te experimenteren.

Figuur 1 is tot stand gekomen met het palet gebaseerd op $f = (H\alpha * OIII)^{(1-H\alpha*OIII)}$ en groen ingevuld met $f * H\alpha + (1 - f) * OIII$. Het gebruikte H α *OIII-beeld (gestretched) ziet eruit als Figuur 8.



Figuur 8. Het gebruikte beeld gebaseerd op $H\alpha * OIII$ voor de foto van Figuur 1.



Figuur 9. Deelvergroting (linksboven) van NGC 6960 (Figuur 1). In dit deel is het effect van de dynamische kleurcombinatie goed zichtbaar door de oranje en lichtblauwe tinten naast het rood en blauwgroen uit het bekende HOO-palet.

Referenties

1. <https://rmit.pressbooks.pub/colourtheory1/chapter/colour-chemistry-photography-and-chromatography/>
2. <https://starizona.com/blogs/tutorials/narrowband-imaging>
3. <https://thecoldestnights.com/2020/06/pixinsight-dynamic-narrowband-combinations-with-pixelmath/>
4. <https://remoteastrophotography.com/2023/01/foraxx-palette-script-dynamic-narrowband-combinations>