

Waarom een 3CMOS-camera?

Eenieder die zich met onze hobby bezighoudt zal weten dat je op meerdere manieren een kleurenfoto kunt realiseren. De meest gangbare methode is dat na het maken van één opname er een kleurenafbeelding tevoorschijn komt.

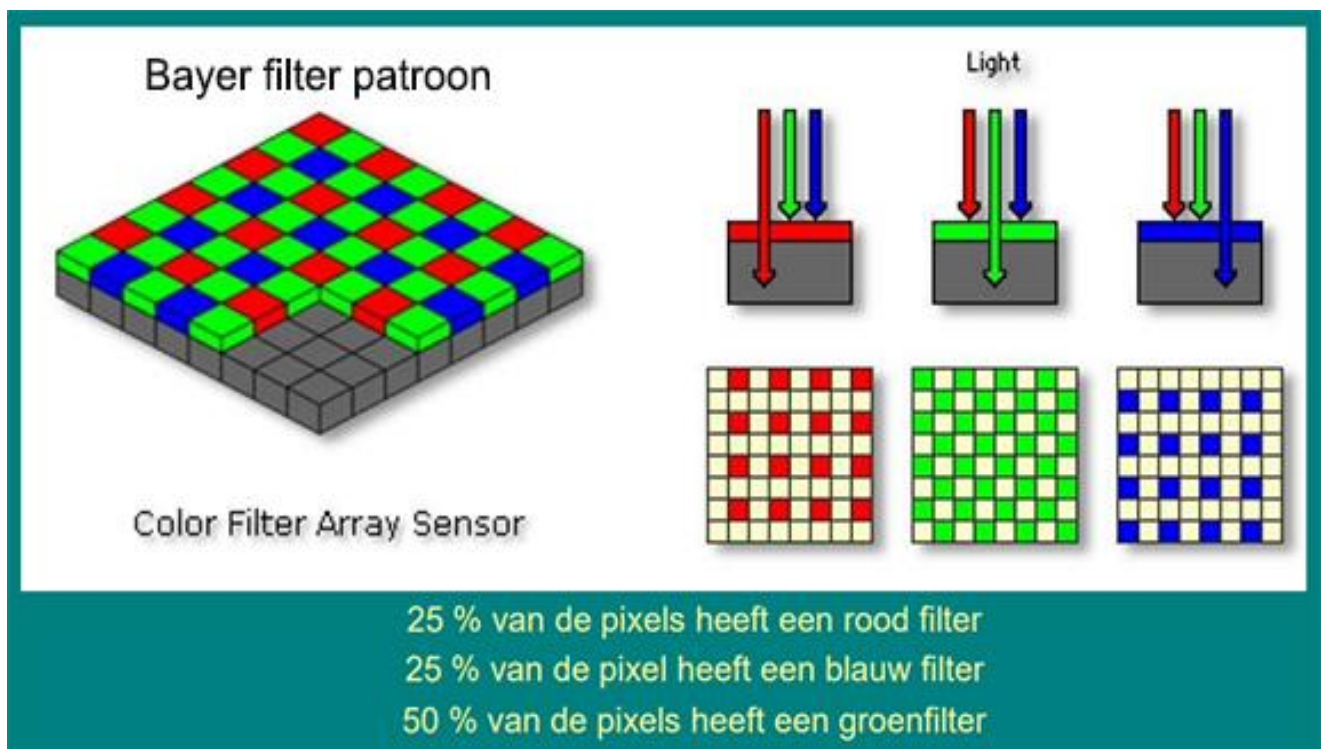
Een andere manier houdt in dat je afzonderlijke opnamen maakt in de kleuren blauw, groen en rood en die samenvoegt tot de gewenste kleurenafbeelding.

Dat is alleen mogelijk als je object niet verandert in de tijd wat in onze praktijk meestal het geval is. Maar in de gewone wereld is dat niet aan de orde en daarom maken we met één opname een kleurenfoto. Dat heeft wel zijn consequentie voor de camera want die moet speciaal daarvoor zijn uitgerust en met noemt een dergelijke camera dan ook een OSC (One Shot Color) camera.

Voor een algemeen begrip van een digitale kleurafbeelding moet duidelijk zijn dat elke pixel waaruit de afbeelding bestaat drie getallen in zich heeft die de helderheid van de kleur blauw, groen en rood van die pixel weergeven.

Het speciale van een OSC sensor is dat elke pixel van de sensor een bepaald kleurfilter heeft gekregen zodat het signaal van die pixel aangeeft hoe de helderheid van die bepaalde kleur op die pixel is. Dit is nodig omdat de pixels voor alle kleuren gevoelig zijn en het signaal van de pixel op zich (als geen kleurfilter aanwezig is) geen informatie over de kleur van het opvallend licht bevat.

Het patroon van filters noemt men de Bayer Array en houdt in dat 25% van de pixels een blauw, 50% een groen en 25 % een rood filter heeft gekregen.

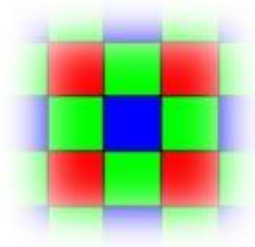


Dat betekent dat 2/3 van het opvallend licht geen bijdrage aan het signaal kan leveren omdat deze kleurfilter telkens 2/3 van het opvallend licht niet doorlaat tot de pixel en dat de kleurresolutie lager is dan wat de sensor doet verwachten!

Elke pixel van een kleurenfoto heeft dus drie getallen in zich die de helderheid van de kleur blauw, groen en rood van de pixel aangeven (de R-G-B waarden). Bij een OSC sensor wordt per pixel echter alleen de helderheid van de kleur van het Bayerfilter van die pixel daadwerkelijk vastgelegd.

De OSC sensor registreert dus maar één kleur per pixel en de waarden van de twee andere kleuren worden verkregen door naar de buurpixels met die bepaalde kleur te kijken. Deze werkwijze wordt interpolatie genoemd.

Het verkrijgen van de R, G en B waarden bij elke pixels gebeurt als volgt;

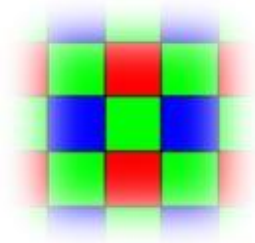


Bij een pixel met **blauw** Bayerfilter

B = de gemeten waarde

G = gemiddelde van de 4 aanliggende groene pixels

R = gemiddelde van de 4 aanliggende rode pixels

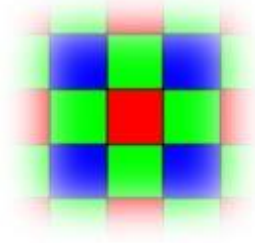


Bij een pixel met **groen** Bayerfilter

B = gemiddelde van de twee aanliggende blauwe pixels

G = de gemeten waarde

R = gemiddelde van de twee aanliggende rode pixels



Bij een pixel met **rood** Bayerfilter

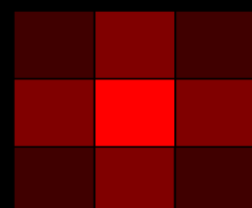
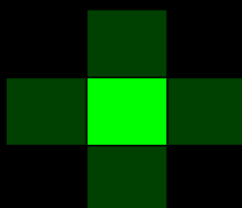
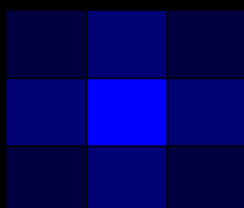
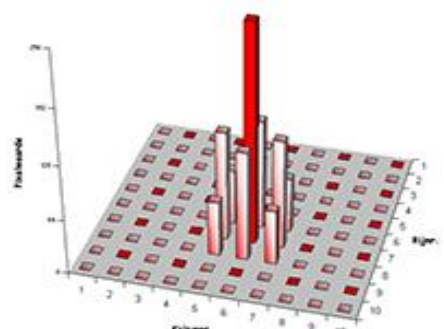
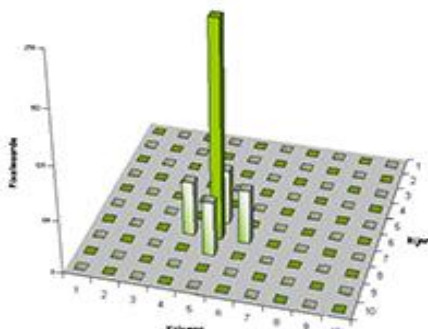
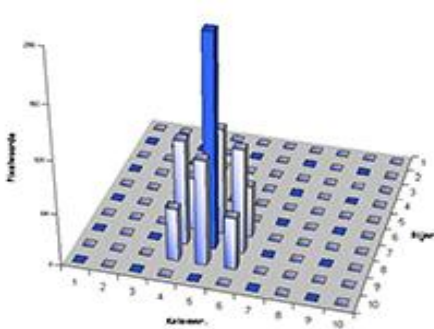
B = gemiddelde van de 4 aanliggende blauwe pixels

G = gemiddelde van de 4 aanliggende groene pixels

R = de gemeten waarde

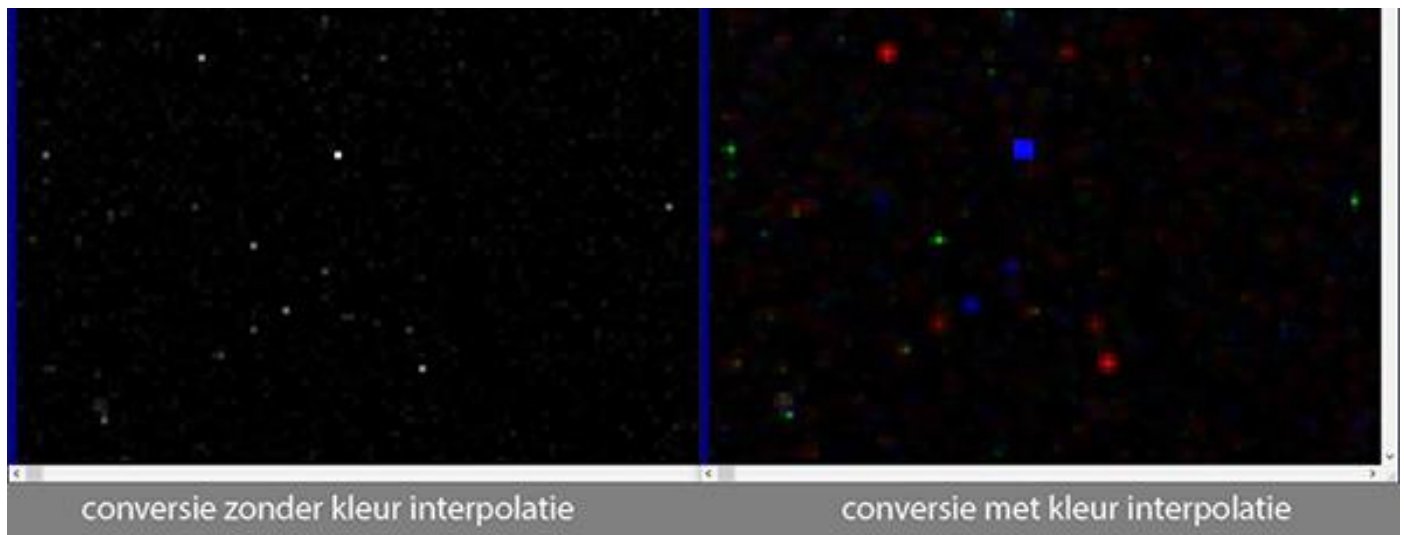
Deze door interpolatie verkregen RGB-waarden hebben een negatieve invloed op de resolutie van de kleurweergave.

Dit wordt hieronder toegelicht; weergegeven zijn de RGB-waarden rond één pixel die alleen een signaal heeft ontvangen.

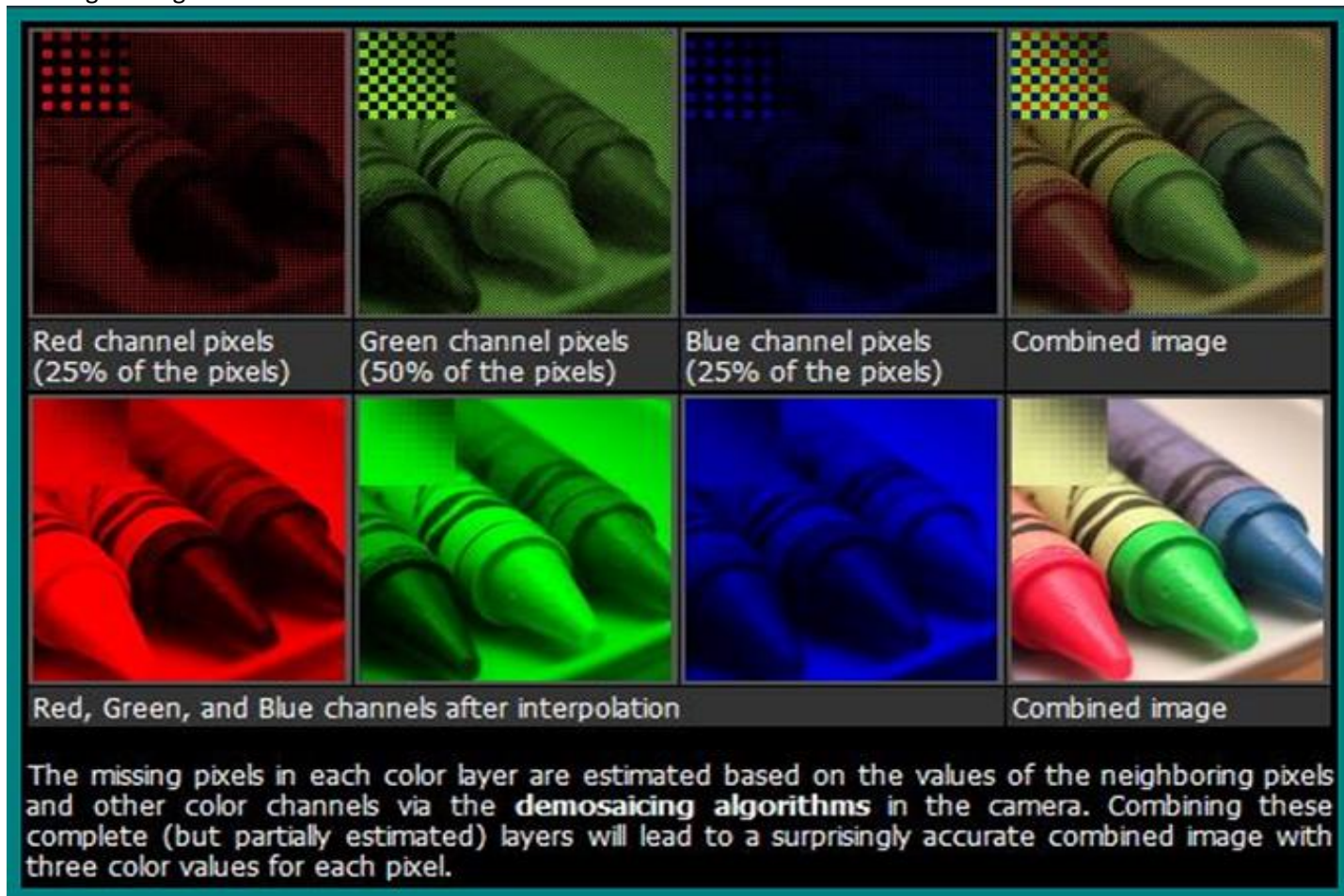


Hier zie je het effect van de Bayer-interpolatie. Als er licht valt op alleen één pixel zal door de interpolatie bij een blauwe en rode pixel er **9 pixels** een signaal genereren. Bij groen zijn dat maar 5 pixels

Hier zie je een praktijkvoorbeeld van dit effect. Het laat een crop van 800% zien van een darkframe van een DSLR die een conversie met en zonder kleurinterpolatie heeft ondergaan. Te zien is dat één pixel met een darksignaal (hotpixel) door de kleurinterpolatie meerdere (tot 8) buurpixels en signaal doet geven.



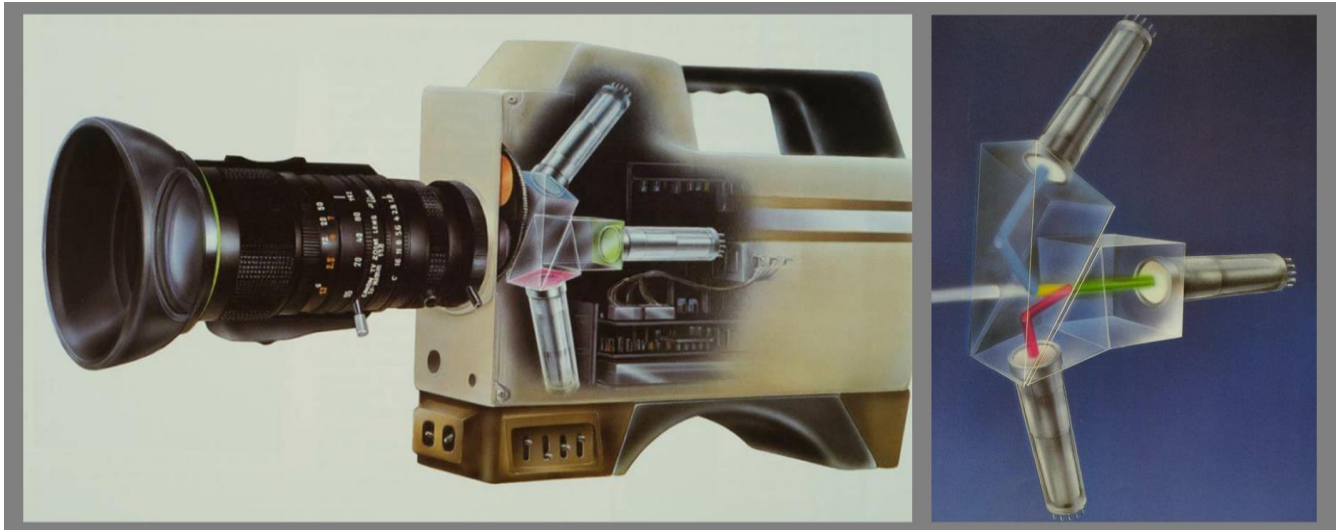
Hier nog een algemeen schema hoe een OSC camera een kleurenfoto realiseert.



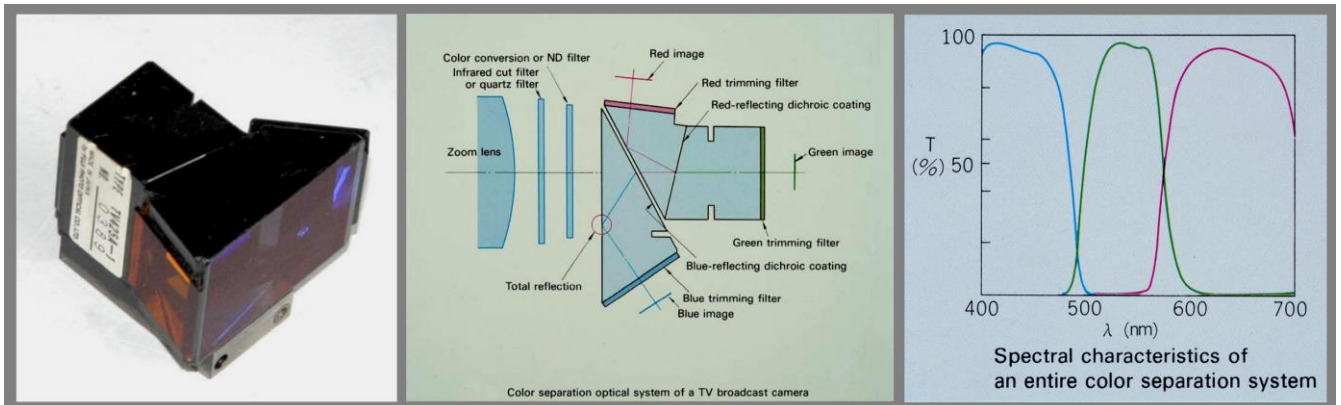
Bij alle opmerkingen hier gemaakt over de nadelen van het OSC principe moet gerealiseerd worden dat vrijwel alle (digitale kleuren) foto's die we te zien krijgen het resultaat zijn van dit OSC principe.

Ondanks dat deze nadelen een beperkte invloed op de kwaliteit hebben is in de professionele sfeer gezocht naar een manier om deze beperkingen te elimineren. De oplossing hiervoor is dat men de afbeelding door een kleurscheidingsprisma splitst in het blauwe, groene en rode beeld en dan deze drie kleurkanalen aan drie afzonderlijke sensoren aanbiedt. In de camera worden deze drie beelden samengevoegd en de output is dus een kleurenafbeelding. Dit type camera wordt een 3 ccd- of (heden) een 3 cmos-camera genoemd

(verder in dit verhaal zullen we het soms een 3 sensorcamera noemen). Deze techniek is ontwikkeld bij de komst van de kleuren TV en is dus een lang bestaande techniek.



Voorbeeld (oude) TV camera met kleurscheidingsprisma.



Werking prisma.

Het werken met een 3-sensorcamera kunnen we vergelijken met de ons bekende procedure van het maken van afzonderlijke opnamen per kleurkanaal. Alleen worden deze drie beelden op hetzelfde moment opgenomen en automatisch in de camera samengevoegd.

Het grote voordeel van de 3-sensortechniek is dat er geen verlies van kleurresolutie aan de orde is en ook dat al het licht de pixels bereikt wat in termen van ruis een voordeel is.

Als we de kleurresolutie van een OSC camera bij een bepaalde afbeelding in ogenschouw nemen zal een 3-sensorcamera bij een afbeeldingsmaatstaf die de helft kleiner is eenzelfde kleurresolutie hebben. In onze praktijk betekent dat, dat deze kleinere afbeelding een grotere helderheid kan hebben wat dus een groot voordeel is.

Doordat bij de reguliere 3-sensorcamera de afzonderlijke kleurbeelden al in de camera samengevoegd worden moeten die afzonderlijke kleurbeelden bij elke sensor op precies gelijke plaats worden aangeboden en dat vraagt dus grote precisie in het realiseren van een dergelijke camera.

Het prisma brengt een extra glasweg aan tussen lens en sensor. Omdat bij dergelijke camera's uiteraard (zoom)lenzen van de hoogste kwaliteit toegepast worden moet die lens speciaal voor dit gebruik zijn aangepast zodat de extra glasweg geen afbeeldingfouten introduceert. Dit alles betekent dat dergelijke camera's erg duur zijn en daardoor vrijwel alleen in de professionele sfeer in gebruik zijn.

Mijn ATM-activiteiten op dit gebied.

Omdat ik een kleurscheidingsprisma in bezit had heb ik in 2007 daar een 3-ccdcamera omheen gebouwd. Toegepast werden de toen beste webcam voor dit soort werk namelijk de DMK21 webcam. Deze 3-ccdcamera heb ik jaren tot grote tevredenheid gebruikt maar de laatste jaren raakte hij in onbruik. De reden daarvan is dat de moderne cmos camera's vooral wat snelheid maar ook wat gevoeligheid betreft veel betere eigenschappen hebben. Dat verschil komt vooral omdat de DMK-sensoren van het type CCD zijn en de

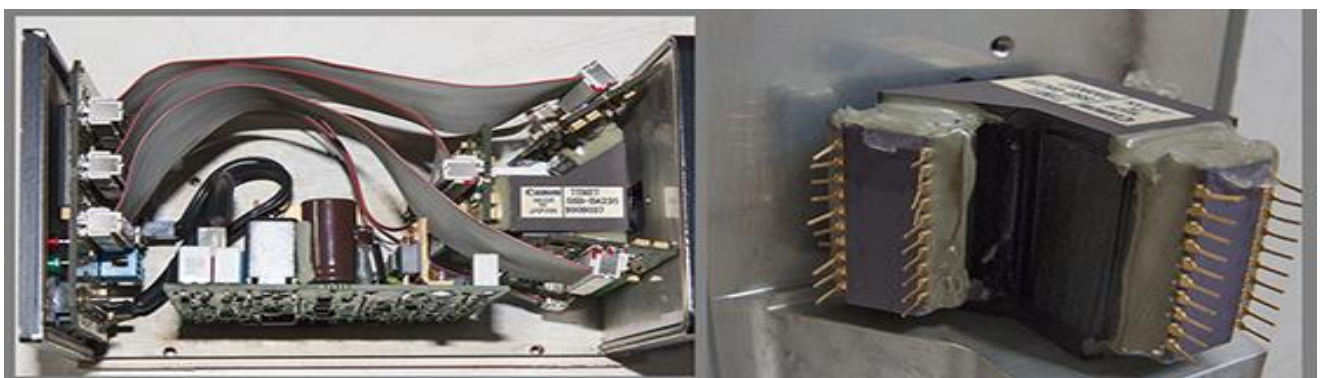
huidige webcams CMOS sensoren hebben. Bij een CMOS sensor zijn de afzonderlijke pixels relatief gemakkelijk uit te lezen terwijl bij een CCD sensor ook als alleen de centrum pixels gebruikt worden toch telkens de gehele sensor uitgelezen moet worden. Door bij een CMOS camera het beeld te croppen kan meestal de frame rate evenredig met die cropfactor stijgen terwijl dat bij een CCD camera vrijwel niet mogelijk is.

Komt nog bij dat toentertijd voor de snelste interface is gekozen en dat was de FireWire bus (USB3 bestond uiteraard nog niet). Ondertussen is FireWire gedateerd en deze camera gebruiken op een moderne laptop is niet meer mogelijk.

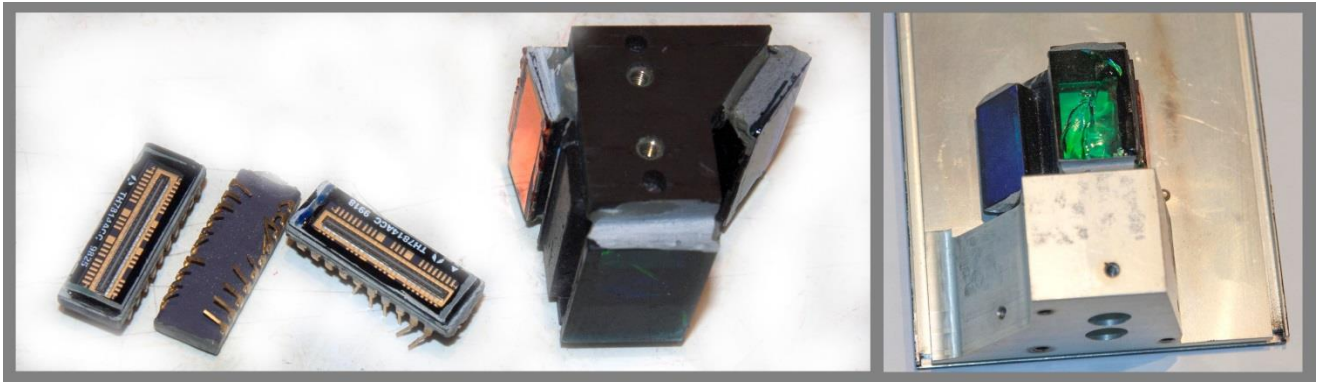
Omdat de DMK21 sensor maar 640 x480 pixels telde is bij deze eerste camera erg veel aandacht en moeite besteed om voor elkaar te krijgen dat het beeld per kleurkanaal exact op dezelfde plaats op de sensoren terecht kwam. In de praktijk bleek snel dat dit niet zo belangrijk was omdat na het bewerken van de opgenomen reeks beelden wegens de seeing en drift tijdens de opnamereeks de plaats op de sensor niet meer relevant was. **Om na de bewerking de kleurbeelden gemakkelijk op elkaar te kunnen leggen was alleen van belang dat de oriëntatie van het beeld op de sensoren precies gelijk is zodat door alleen in hoogte en breedte te verschuiven een juiste uitlijning mogelijk is.**

[Hier](#) is de presentatie te zien die ik toen (eind 2007, later aangevuld met meerdere voorbeelden) over dit project heb gemaakt.

Door mijn goede ervaring met de 3-ccdcamera bleef de wens aanwezig een nieuwe camera te bouwen met toepassing van de huidige sensoren. Dit werd even geleden mogelijk door het krijgen van een paar oude industriële camera's (van begin eeuwwisseling) die afgevoerd moesten worden. Daaruit kon ik de kleurscheidingsprisma's delven die als basis van de nieuwe camera konden dienen.

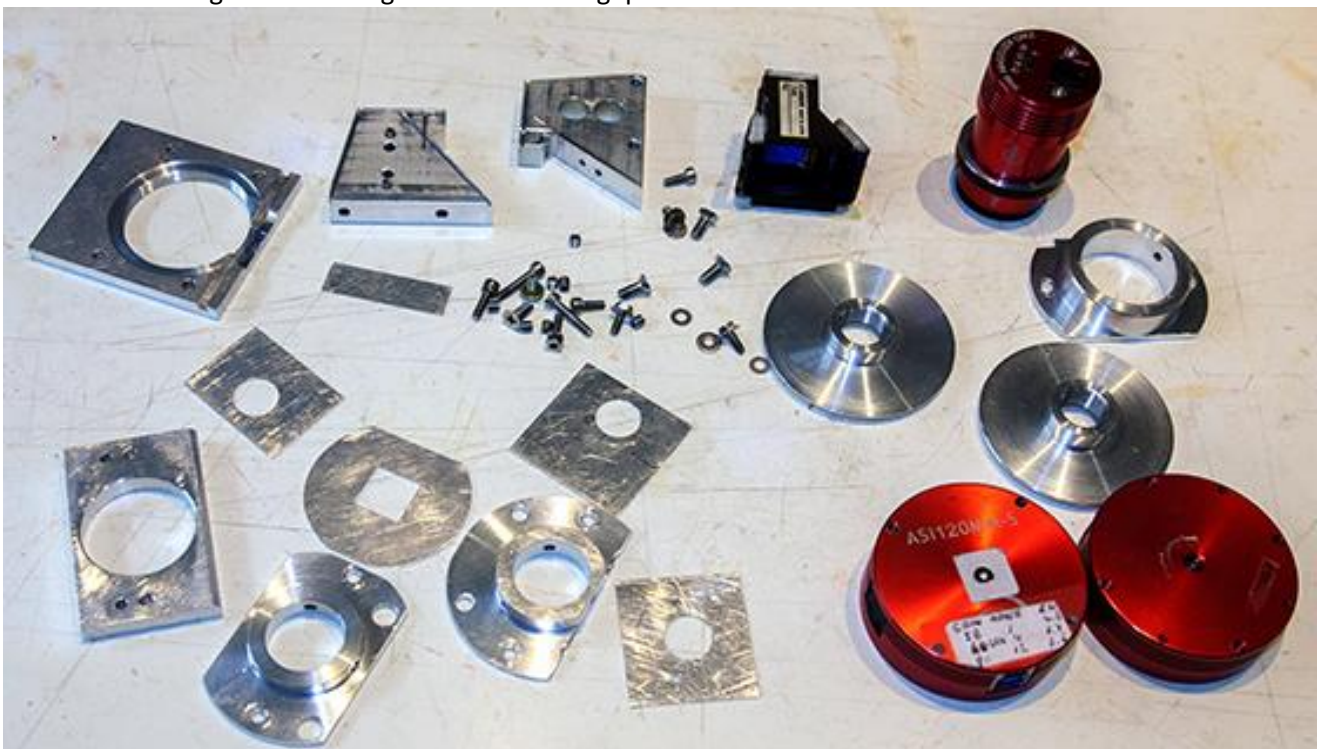


Eigen aan een 3-sensorcamera is dat de 3 sensoren (heel precies) op het prisma zijn vastgelijmd. Het verwijderen van de (in dit geval lijn-) sensoren van het prisma is een delicaat werk wat de eerste keer dan ook niet goed afliep.

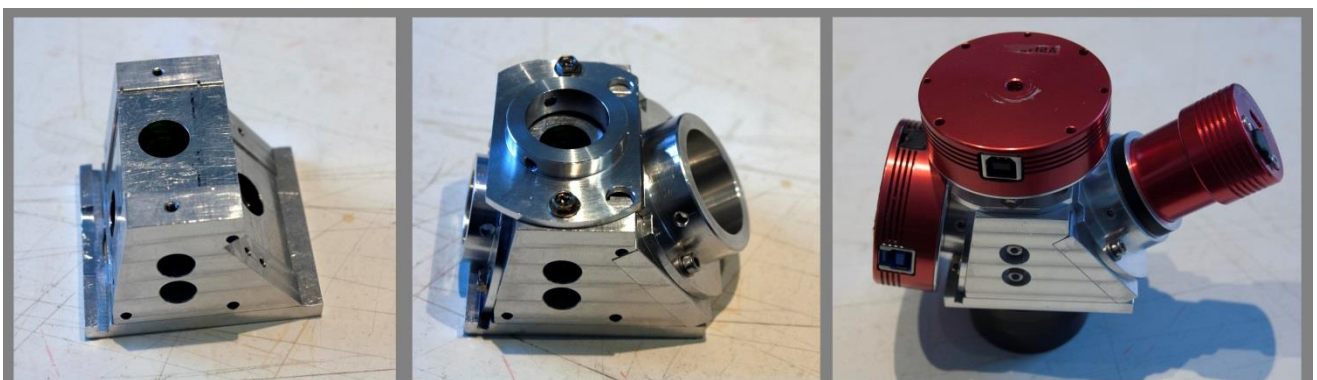


Daarna bleek na wat puzzelen dat een opbouw met 2 maal een gewone Asi120mm en een Asi120mini de camera gerealiseerd kon worden. Het roodkanaal kreeg een USB 3 en de twee andere een USB 2 uitvoering. Eerdere testen met deze camera's tezamen op één USB 3 hub lieten zien dat bij het groen en blauw kanaal de datastroom van USB2 voldoende groot is om de in de praktijk voorkomende opnameformaat en frame rates te kunnen verwerken. De ruimte die de bandbreedte van USB 3 biedt maakt dan nog mogelijk om eventueel in rood een hogere frame rate te kunnen kiezen.

De Asi 120mm camera's kregen een aangepast front waar de borst een veel kleinere diameter had. De mini uitvoering is zonder enige modificatie toegepast.



Achter het prisma kreeg elk kanaal een houder waarin de aangepaste Asi120 kan worden vastgezet. Door mechanisch de hoogte van de houder aan te passen moest gezorgd worden dat de drie sensoren gelijk in focus zijn. Dit werd gecontroleerd via een kleine f/4 newton zodat er geen chromatische aberratie aan de orde was.

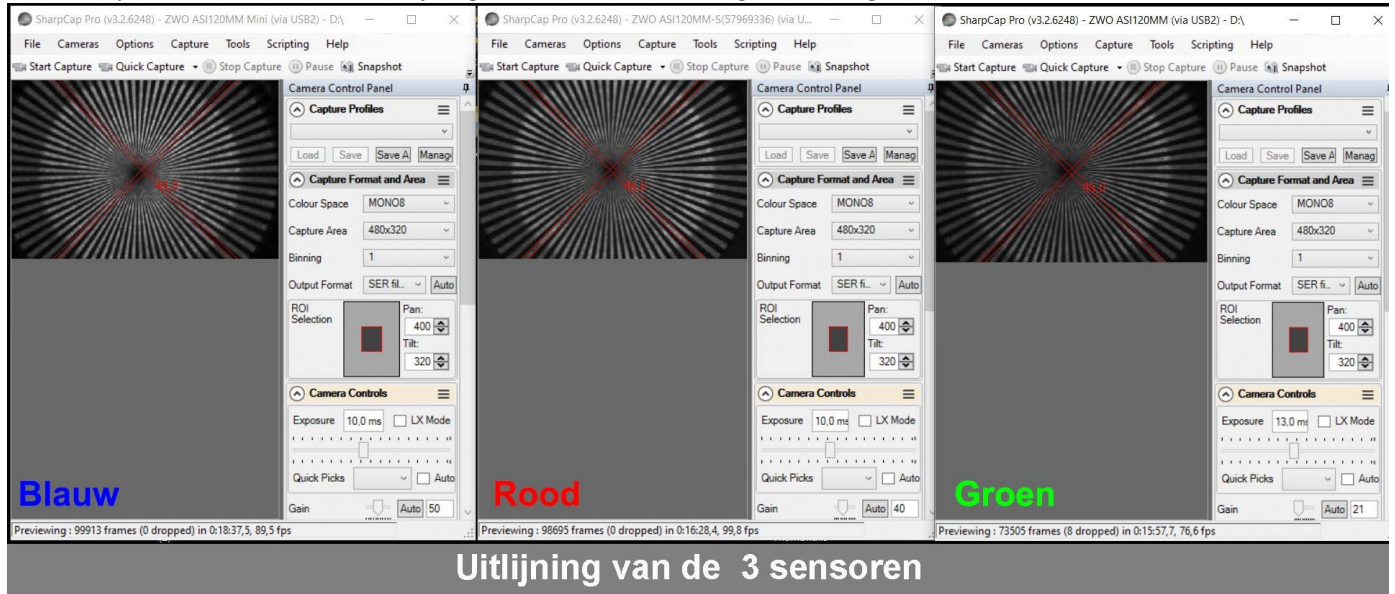


De bevestiging van deze houders laat toe deze in geringe mate te kunnen verschuiven. Daardoor kon ervoor gezorgd worden dat het object op elke sensor op dezelfde plaats wordt afgebeeld.

Als de focus en plaats op de sensor juist zijn ingesteld wacht uiteindelijk nog de belangrijkste instelling namelijk dat het beeld op elke sensor een precies gelijke oriëntatie heeft. Dit omdat dan zoals eerder betoogd het samenvoegen van de 3 deelbeelden mogelijk is door ze in hoogte en breedte te verschuiven en het niet nodig is de deelbeelden nog een weinig te moeten roteren.

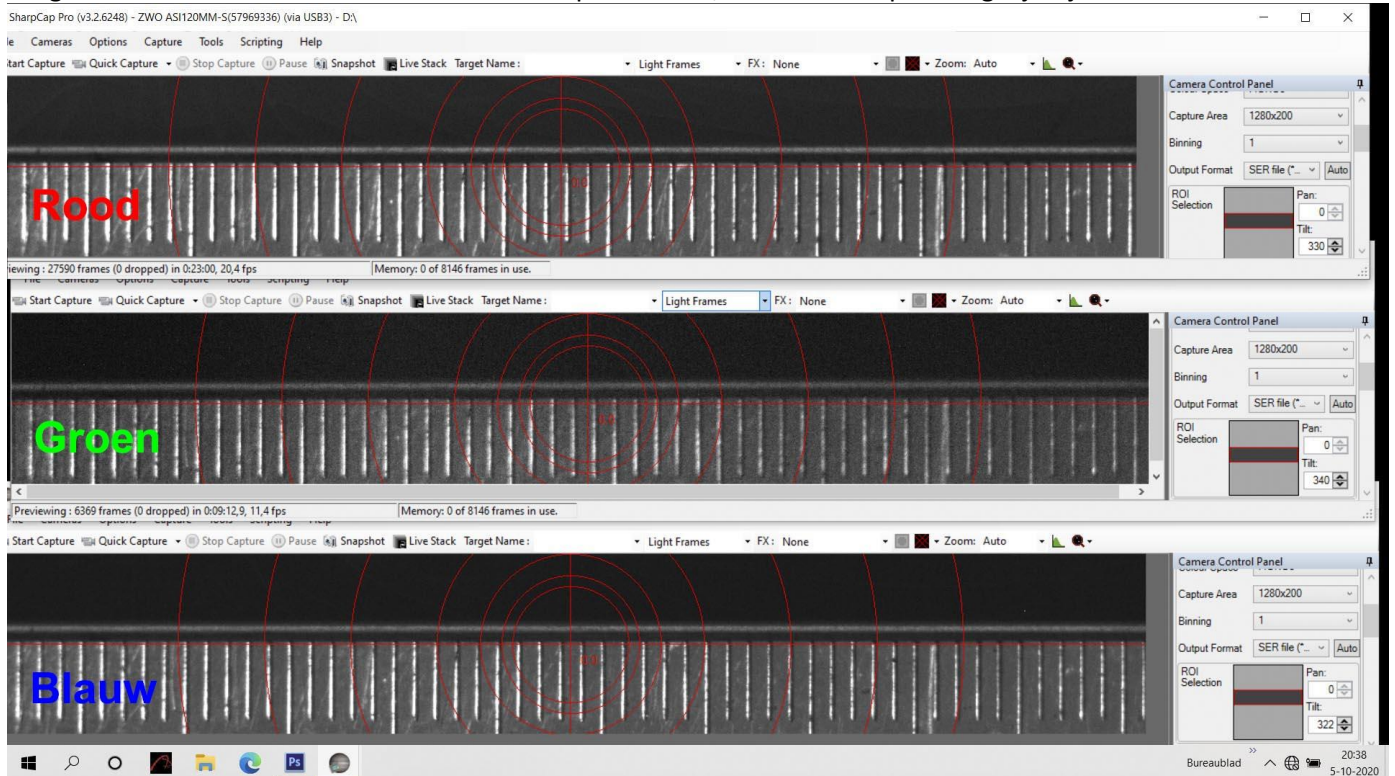
Doordat de camera's in ronde houders zijn bevestigd kon die oriëntatie aangepast worden zonder dat de andere instelling daardoor beïnvloed worden.

Hier de opnamen waarmee de uitlijning van de sensoren is ingesteld en gecontroleerd.



De plaats van het beeld op de sensor is niet zo kritisch.

Dit geldt niet voor de oriëntatie van het beeld op de sensor, die moet wel precies gelijk zijn

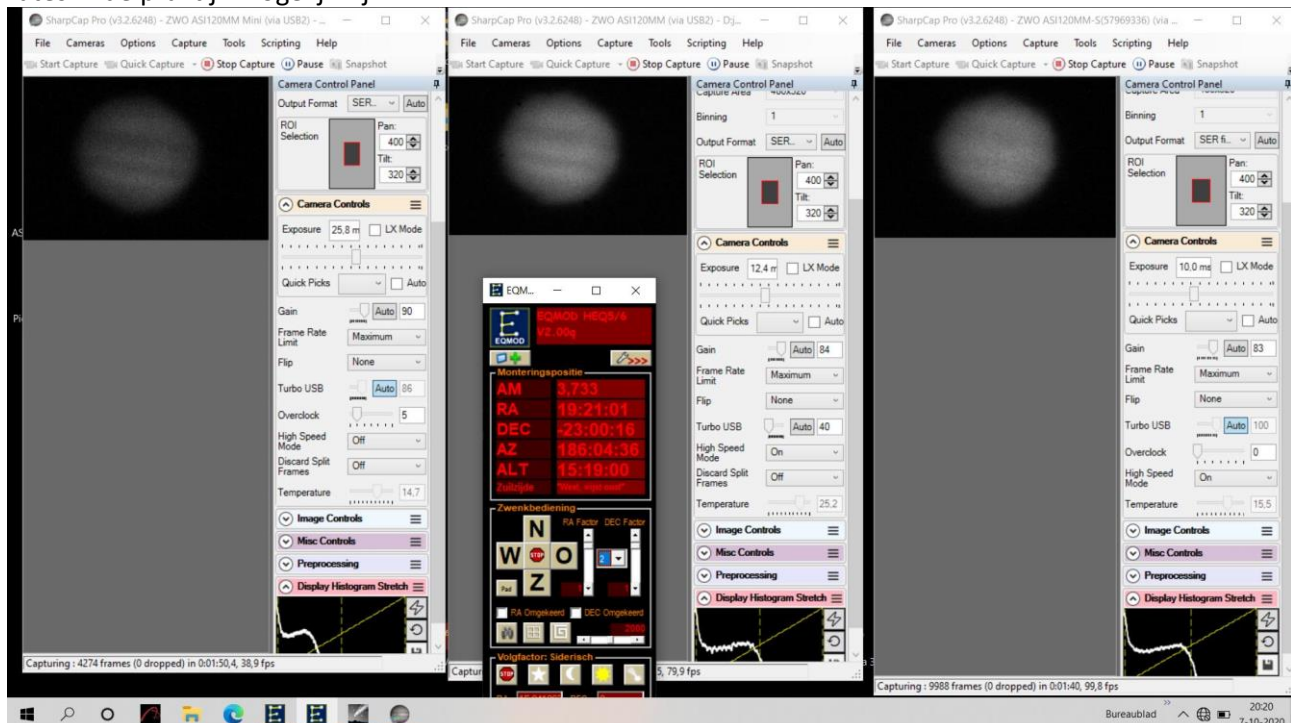




Hier is door een gedeeltelijke demontage de relatief simpele opbouw van de camera goed te zien.

De signalen van de 3 camera's gaan via een USB3 hub met een kabel naar de computer. De voeding van de camera's wordt ook door de USB aansluiting voorzien.

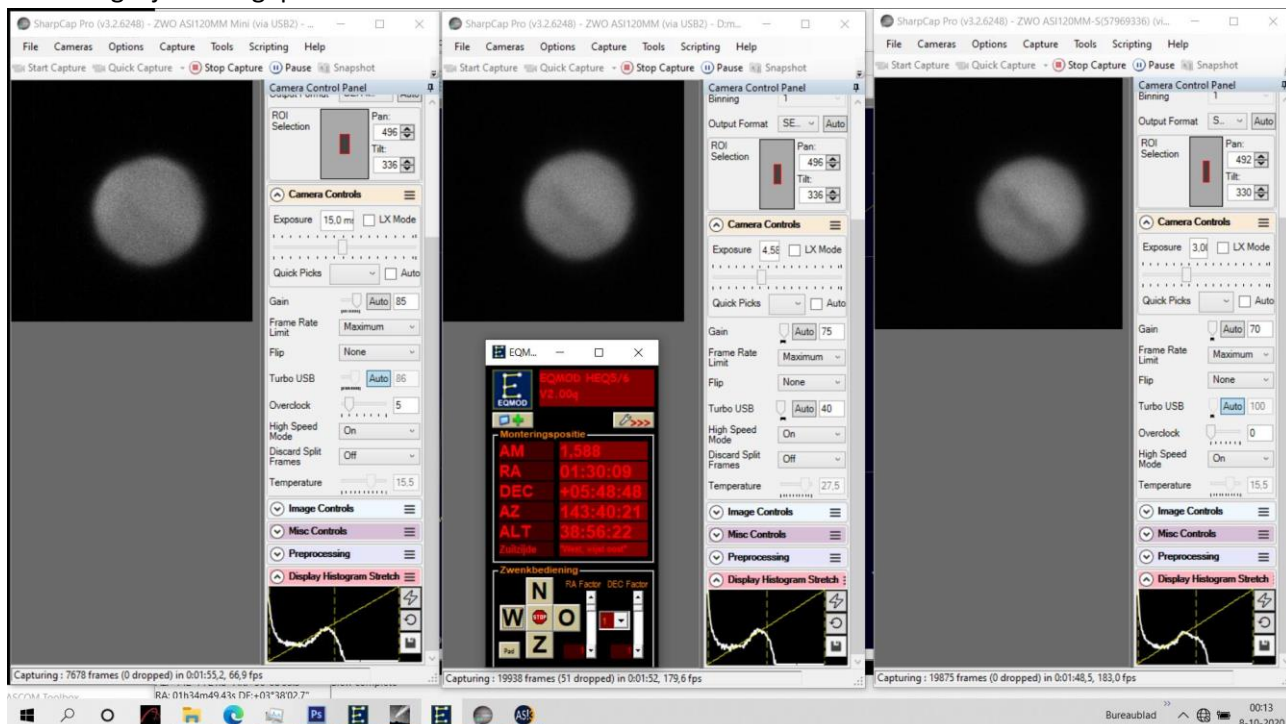
Hier enkele voorbeelden uit de eerste praktijkervaring met een C9,25 + 2x barlow die laat zien welke frame rates in de praktijk mogelijk zijn.



Door de verschillen in helderheid van de afzonderlijke kleurbeelden en de gevoeligheid van de sensor voor de kleurenkanalen is de belichtingstijd per kleurkanaal meestal niet gelijk. Bij Jupiter bleek de framerate door de belichtingstijd bepaald te worden waaruit blijkt dat de bandbreedte van USB2 bij blauw en groen hier geen beperkingen geeft.

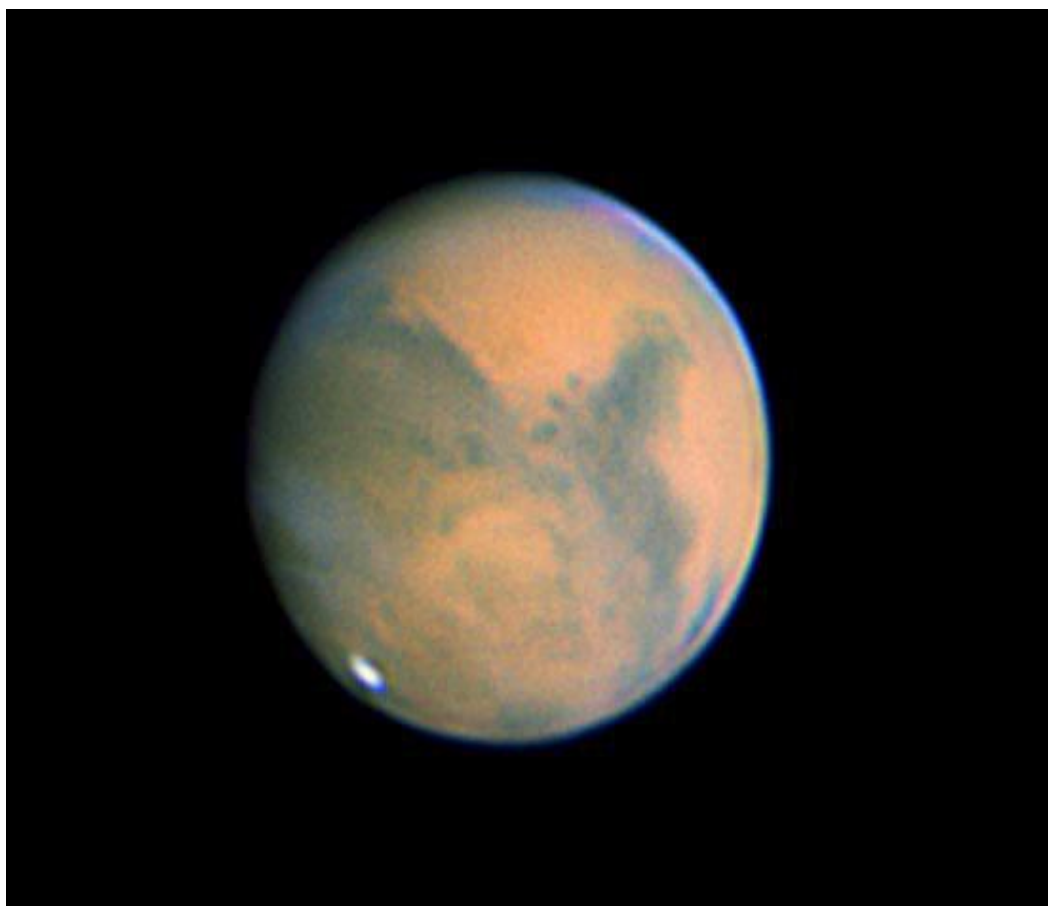
De framerate's die hier aan de orde waren was bij blauw 40, bij groen 80 en bij rood 100 fps. De kwaliteit van de reeks was door de seeing en de erg lage stand zodanig slecht dat verdere uitwerking niet zinvol was.

Het tweede voorbeeld dezelfde avond betreft Mars. Door de veel grotere helderheid konden hier kortere belichtingstijden toegepast worden.



Dan komt de limiet van de totale USB3 bandbreedte wel aan de orde. Hier is alleen bij blauw de framerate bepaald door de belichtingstijd. Zowel bij groen met 4,55 ms als bij rood met 3 ms belichting is de framerate door de begrenzing van de resterende bandbreedte uitgekomen op een gelijke waarde van 180. Experimenteren met het verder croppen van het beeldveld liet zien dat hier ook de situatie mogelijk is dat de frame rates van rood en groen bepaald worden door de belichtingstijd wat betekende dat die van rood 330 en voor groen het 220 was.

Hier het resultaat van een opnamereeks met een D 250mm f/4,8 newton +5x barlow van 8 -11-2020 bij redelijk goede seeing.



Mars is nu niet het meest aangewezen object om de kracht van een 3 sensorcamera te demonstreren omdat rood de aller overheersende kleur is en er geen verandering van het beeld in korte tijd is.

Een en ander betekent wel dat in korte tijd een grote hoeveelheid data binnengehaald wordt. Gelukkig kunnen de huidige laptops daar voldoende goed mee overweg en wordt dit meer een probleem van de fotograaf om dat allemaal verder uit te werken.