

Astrocave 5/2/2026

Kalibratie (en valkuilen)

BART BOGAERT



De crashcourse indachtig...

Fotonen Vangen: De Pixel als Emmer

Camerasensor: Fotonen Vangen

1. Fotonen Komen Aan



2. Vangen & Accumuleren



3. Tellen & Conversie



Digital Value:
15

De Analogie:
Pixel = Emmer,
Foton = Bal

Analogie: Emmer & Ballen

1. Ballen Komen Aan



2. Vangen & Accumuleren



3. Tellen & Conversie



Aantal:
15 Ballen

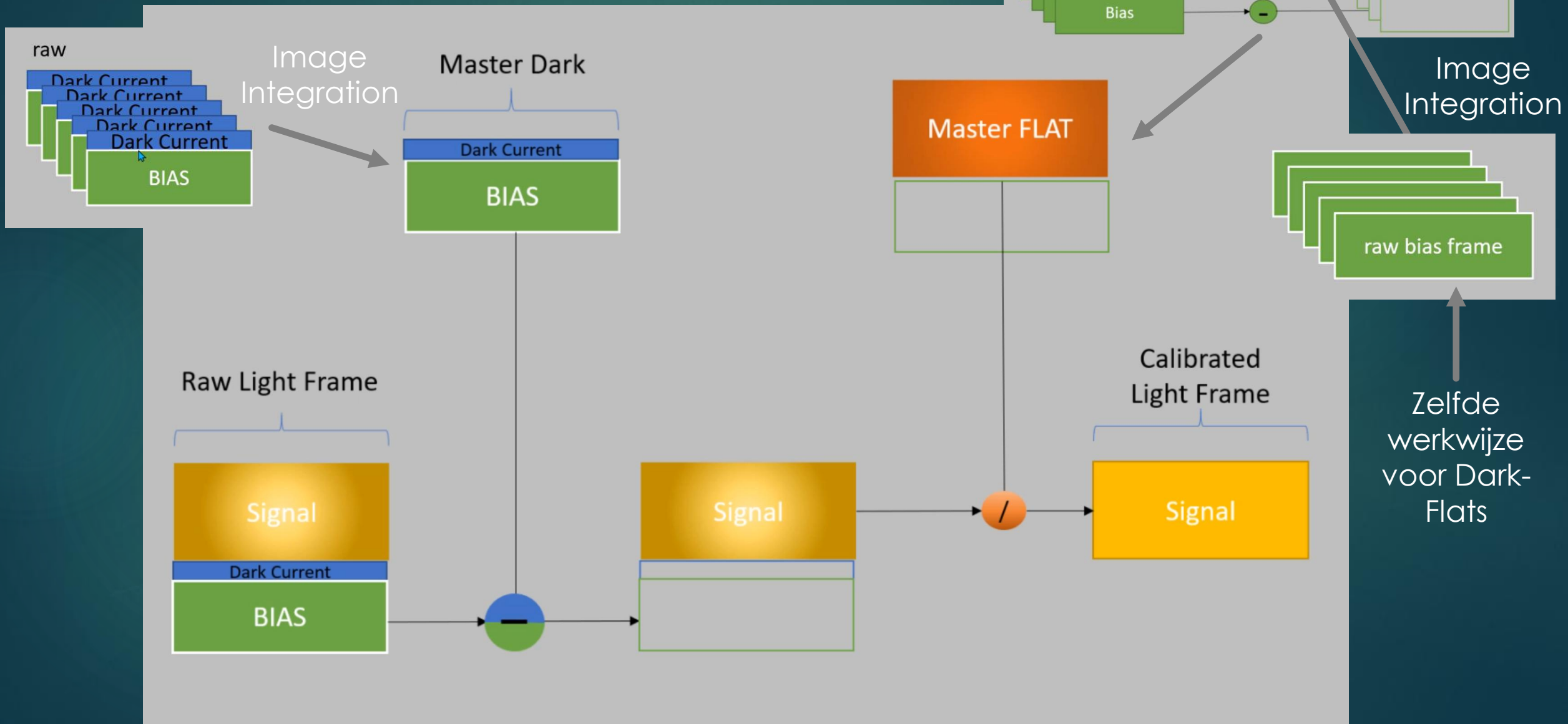
Waarmee hebben we te maken boven op 'nuttig signaal' ?

- ▶ Additieve componenten:
 - ▶ Uitlees- en thermische ruis zijn signalen die door de sensor en hardware worden toegevoegd aan het geregistreerde signaal.
 - ▶ Voltage offset om afrondingsfouten te vermijden (zie volgende dia).
 - ▶ Dit dient dus te worden afgetrokken van de data.
- ▶ Multiplicatieve fouten:
 - ▶ Vignettering, stofjes op de sensor zijn geen extra licht maar een procentuele vermindering van efficiëntie.
 - ▶ Een pixel in de hoek krijgt een percentage van het beschikbare licht als gevolg van de bouw van de telescoop.
 - ▶ Dit kan niet gecorrigeerd worden door af te trekken maar door te delen.

Waarom offset?

- ▶ In een ideale wereld zouden 0 fotonen resulteren in een digitale waarde van 0, maar:
 - ▶ Elektronische componenten zijn inherent storingsgevoelig.
 - ▶ Het process van het uitlezen van de sensor introduceert uitleesleesruis die zowel boven (+) als onder (-) het actuele signaalniveau fluctueert.
 - ▶ Negatieve waarden worden door de AD-conversie herleidt naar 0 waardoor je eigenlijk het statistisch profiel van de ruis verliest.
 - ▶ Door een kleine offset-waarde toe te passen, tillen we het signal iets hoger of, om het anders te zeggen: het histogram komt op die manier los van de linkerkant.

Even diep ademen...



Nog even volhouden...

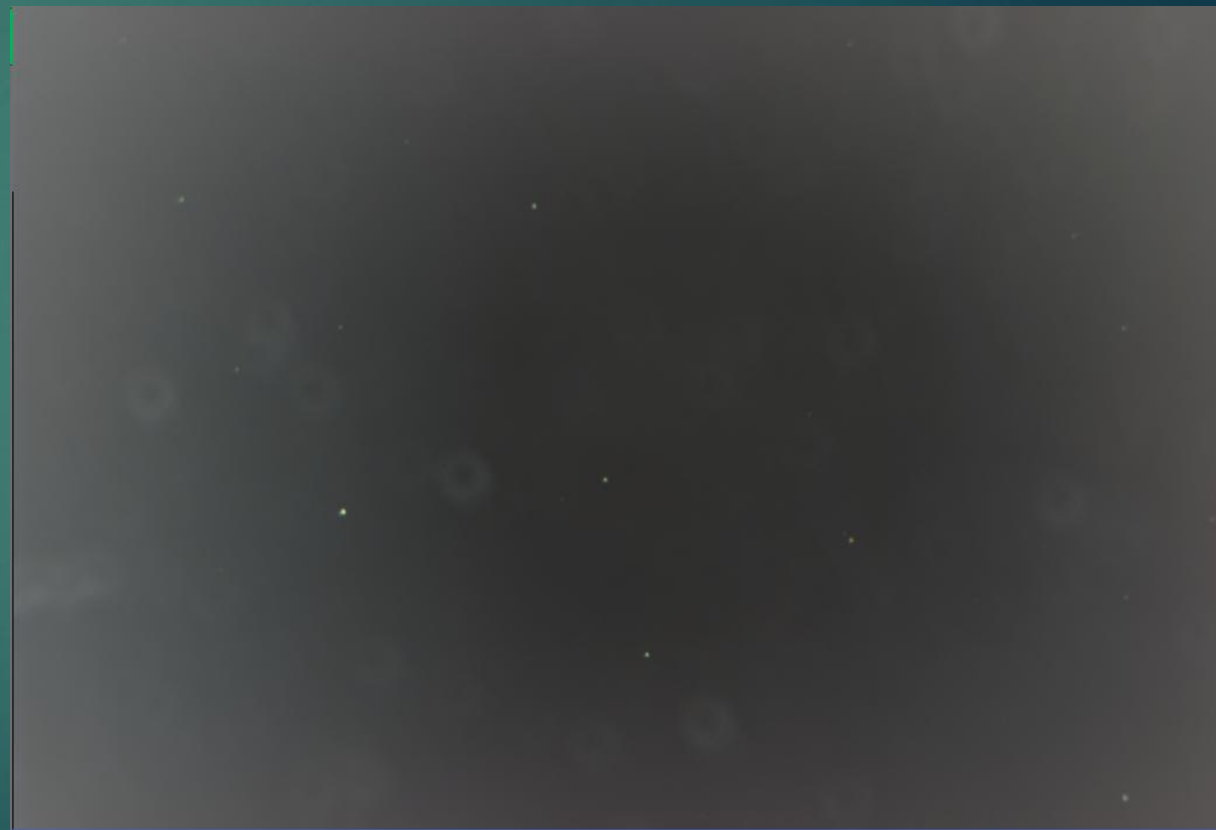
- ▶ Qua berekening komt de kalibratie van een light neer op de volgende berekening (voor elke pixel in de light):

$$\frac{\frac{Light - Dark}{Flat - BiasOrFlat}}{K} \text{ of nog } \frac{Light - Dark}{Flat - BiasOrFlatDark} * K$$

- ▶ Waarbij K het gemiddelde is van de flats en zorgt voor behoud van helderheid in de lights
- ▶ Formule duikt later in deze presentatie nog eens op...

Het probleem:

Eerdere bewerking vs nieuwe bewerking



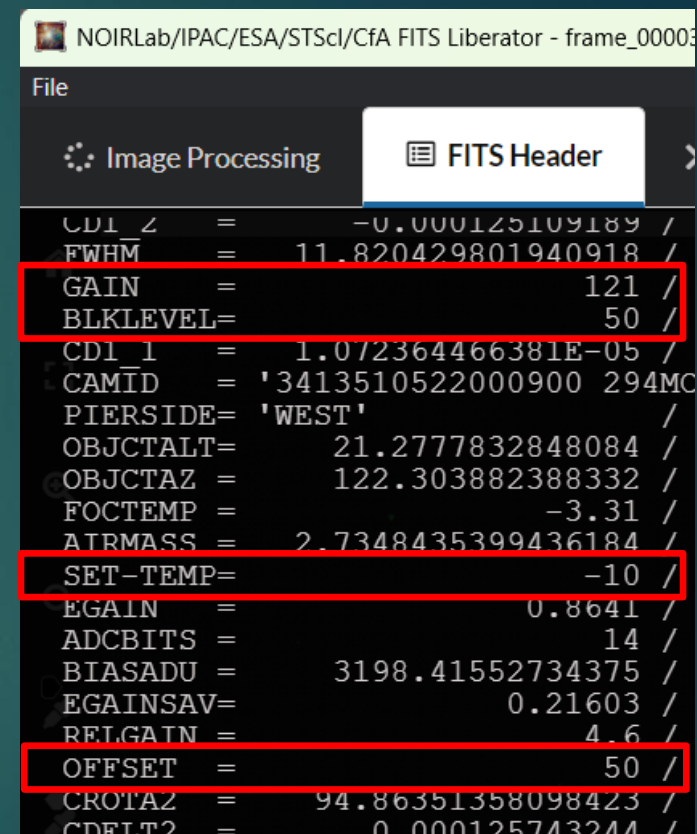
Eerste vlugge analyse

- ▶ De omgekeerde vignettering wijst op een over-correctie.
- ▶ Een stack zonder flats toont wel een beter resultaat (lijkt op de eerdere bewerking).
- ▶ Duidelijk probleem met flats.



Een eerste diepere analyse

- ▶ Inspecteren van de FITS headers van de verschillende bestanden:
 - ▶ OFFSET (BLKLEVEL) staat op 8 in de darks.
 - ▶ OFFSET staat op 50 bij de andere frames (ligts, flats en dark-flats).
 - ▶ Verder blijkt ook dat de koeling van de camera nog actief was tijdens de opname van de lights.
 - ▶ Dit is echter niet de echte oorzaak van het probleem maar dragen toch niet bij aan een goede kalibratie, daarvoor dient:
 - ▶ Temperatuur van de sub-frames dezelfde zijn.
 - ▶ Camera-offset en gain dezelfde zijn.
 - ▶ Belichtingstijd van dark en light dezelfde zijn.
 - ▶ De piek van de flats best voorbij 1/3 van het histogram liggen (niet te donker zijn).
 - ▶ In het geval van dark-flats, de exposure tijd dezelfde te zijn als die van de flats.



NOIRLab/IPAC/ESA/STScI/CfA FITS Liberator - frame_00003

File	
Image Processing	
FITS Header	
CD1_2	= -0.000125109189 /
FWHM	= 11.820429801940918 /
GAIN	= 121 /
BLKLEVEL	= 50 /
CD1_1	= 1.072364466381E-05 /
CAMID	= '3413510522000900 294MC
PIERSIDE	= 'WEST' /
OBJCTALT	= 21.2777832848084 /
OBJCTAZ	= 122.303882388332 /
FOCTEMP	= -3.31 /
ATRMAS	= 2.7348435399436184 /
SET-TEMP	= -10 /
EGAIN	= 0.8641 /
ADCBITS	= 14 /
BIASADU	= 3198.41552734375 /
EGAINSAV	= 0.21603 /
REFGAIN	= 4.6 /
OFFSET	= 50 /
CROTA2	= 94.86351358098423 /
CDELT2	= 0.000125743244 /

De boosdoener: verschil tussen lights en flats

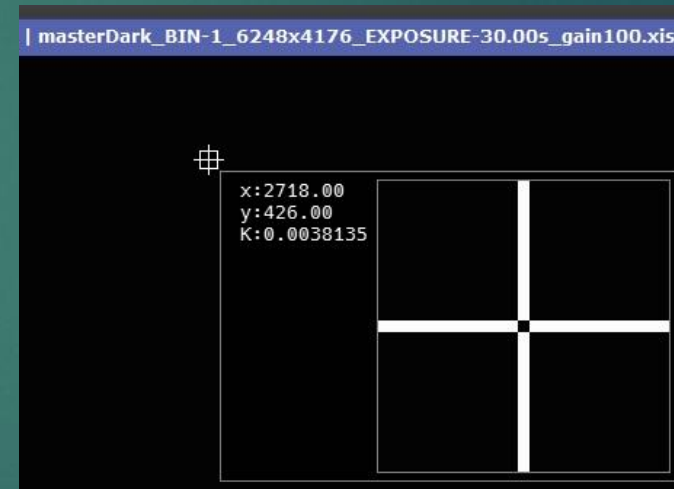
- ▶ Uiteindelijk bleek bij de kalibratie hyperstar- en niet-hyperstar-data te zijn gebruikt voor enerzijds lights en anderzijds flats (zorgt o.a. voor een verschil in vignettering drop-off tussen flat en light).
- ▶ In de FITS header stond wel bij alle subframe-types dezelfde focale lengte vermeld, dus op het eerste zicht leek alles in orde...

Iets over sensor response

- ▶ Voor sensoren met een lineaire response wordt min of meer dezelfde uitlees-waarden verwacht bij een bias, flat-dark of dark.
- ▶ Response voor flat-darks en darks zal iets hoger liggen dan de bias frames omwille van de langere belichtingstijd (dark current).



Bias	
Normalized Real [0,1]	
	☐ K
count (%)	100.000000
count (px)	26091648
mean	0.0038082
median	0.0038070
avgDev	0.0000182
MAD	0.0000168
minimum	0.0023416
maximum	0.0055756

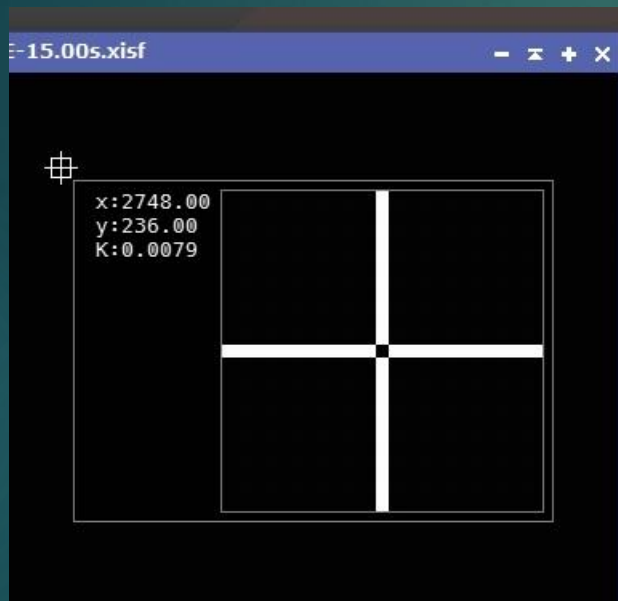


Dark	
Normalized Real [0,1]	
	☐ K
count (%)	99.99999
count (px)	26091646
mean	0.0038107
median	0.0038092
avgDev	0.0000182
MAD	0.0000162
minimum	0.0024755
maximum	0.9483452

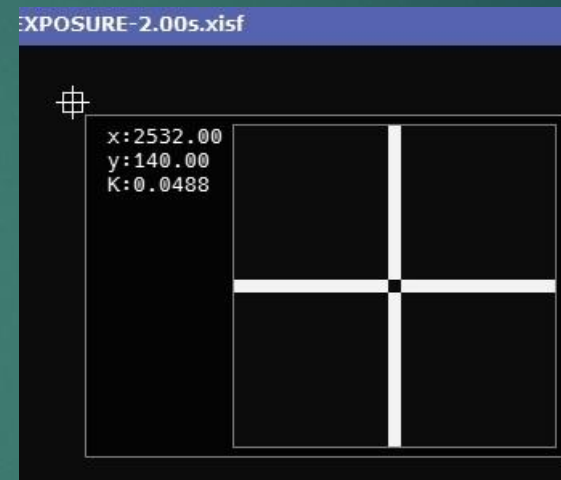
- ▶ Maar wat laat een 294MC-Pro zien?

Niet-lineaire sensor response

- ▶ Inspectie van een dark en een flat-dark bracht iets vreemd aan het licht:



Dark	
Normalized Real [0,1]	
	☐ K
count (%)	100.00000
count (px)	11694368
mean	0.00897
median	0.00793
avgDev	0.00150
MAD	0.00027
minimum	0.00476
maximum	0.61703



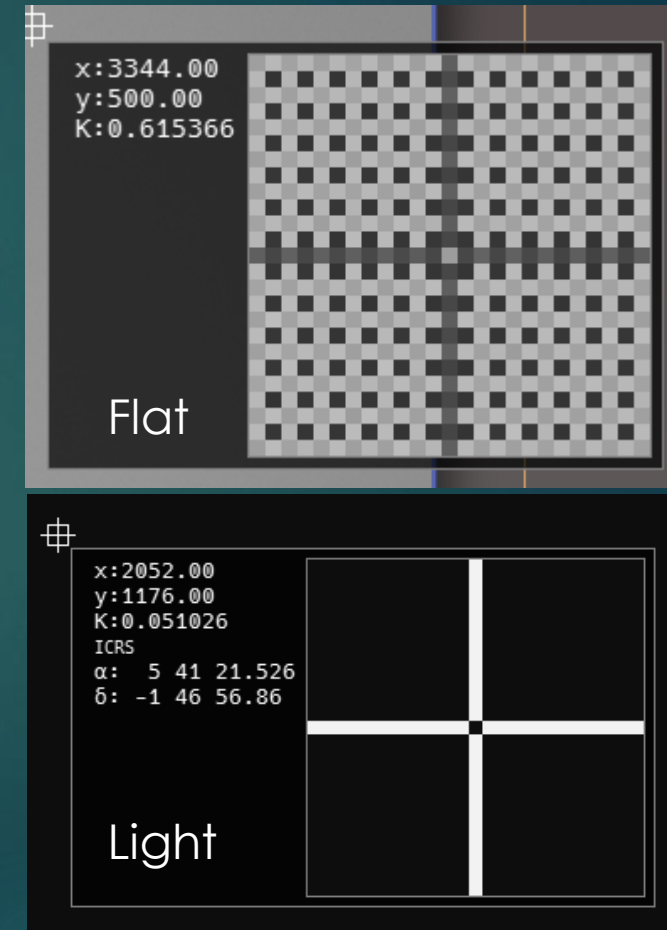
FlatDark	
Normalized Real [0,1]	
	☐ K
count (%)	100.00000
count (px)	11694368
mean	0.04882
median	0.04883
avgDev	0.00011
MAD	0.00009
minimum	0.04547
maximum	0.09509

- ▶ Amp-glow en/of niet-lineaire sensor-response van sommige camera's vertonen of versterken soms patronen bij korte belichtingstijden die niet te zien zijn bij langere belichtingstijden

De formule indachtig...

$$\frac{(Light - Dark)}{Flat - BiasOrFlatDark} * K$$

- ▶ Er wordt van de light (in de teller) een kleinere waarde afgetrokken (master-dark) dan van de flat (master-flat-dark) in de noemer. Bij incorrecte waarden kan dit tot over- of ondercorrectie aanleiding geven.
- ▶ Je zou dat kunnen proberen te corrigeren door via PixelMath bij elke pixel een getal op te tellen (zie ook de video's van Adam Block over een soortgelijk probleem vermeld op de laatste dia)
- ▶ De enig correcte oplossing echter is een flat die langer belicht is waardoor de sensor voor de flat-dark in het lineaire response gebied gaat functioneren.
- ▶ Tijdens deze zoektocht heb ik geprobeerd om de verschillende aspecten te automatiseren (nog steeds in 'evolutie').



Help

Sluiten

AstroFrame Kwaliteitscontrole Dashboard

Data Selectie

Light: [MAP] E:/Siril-home/Robin/SUBS/rawframes

Dark: [MAP] E:/Siril-home/Robin/SUBS/Dark 15s 121G darks/23_21_43

Flat: [MAP] E:/Siril-home/Robin/SUBS/23_57_26 Flats

Flat-dark: [MAP] E:/Siril-home/Robin/SUBS/00_03_49 Darkflats

Bias: Geen map of bestand geselecteerd...

Map...

Bestand...

Reset

Map...

Bestand...

Reset

Map...

Bestand...

Reset

Map...

Bestand...

Reset

Map...

Bestand...

Reset

Pixel-gebaseerde Analyse

☒ Black-Clipping 0.5% ☒ Hot Pixels 90%

Optische Beeld Analyse

☒ Vignettering vergelijking☒ Focus schatting☐ Beeld verschuiving (experimenteel)

Opening (mm):

203

START ANALYSE

REF: Res:4144x2822px | G:121 | O:50 | E:15.0s | T:-10°C | FL:2103.7mm | Rot:94.9°

>> Light (40 frames)

[!] Temp spreiding: 7°C

>> Dark (21 frames)

[!] Offset mismatch: 8

Hot pixels analyse (threshold: 90%): 1 pixel(s)

Hot pixel coördinaten (x,y) [max 20 getoond]:
(841,1183)

>> Flat (51 frames)

[OK]

>> Flat-dark (50 frames)

[OK]

[!] Dark en Bias/Flat-Dark sensor-response mismatch: 0.0364 vs 52.378

Optische vignettering-analyse:

[!] WAARSCHUWING: Groot optisch drop-off verschil van 12.66% gevonden (lights: 0.38%, flats: 13.04%).

De vignettering in de flats komt niet overeen met de lights.

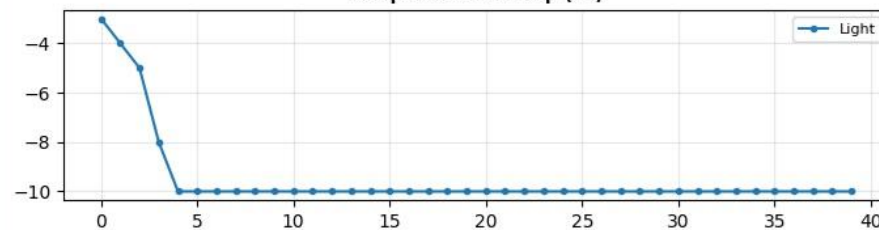
Check op wijzigingen in filters, reducers, focale lengte of rotatie van de camera.

Focus schatting analyse:

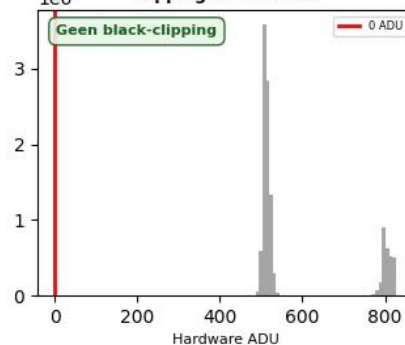
- Schatting focale lengte voor flats op basis van vignettering: 357.0mm

- Referentie focale lengte (lights): 2103.7mm

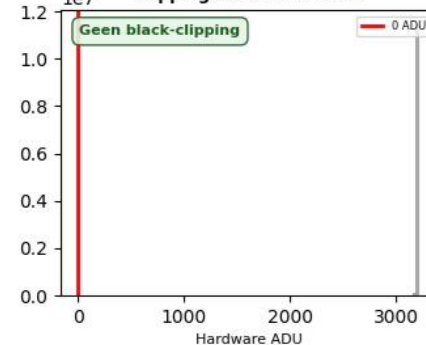
Temperatuurverloop (°C)



Clipping Zoom: Dark



Clipping Zoom: Flat-dark



Kalibratie - belangrijk

Frame type	Temp	Gain/Offset	Tijd	Optische trein *	Doel
Light	Gekozen	Gekozen	Gekozen	Focuspunt	Eigenlijke opname
Bias	= light	= light	0 (zo kort mogelijk)	Onbelangrijk	Correctie uitleesruis (sensor 'vingerafdruk')
Dark	= light	= light	= light	Onbelangrijk	Correctie thermische ruis light
Flat	= light	= light	Histogram 30-50%	= light	Correctie stof/vignettering
Flat-dark **	= light	= light	= flat	Onbelangrijk	Correctie thermische ruis flat

- ▶ * Optische trein omvat: focuspositie, rotatie van de camera, en aanwezigheid van filters
- ▶ ** In geval van niet-lineair gedrag van de camera bij korte belichtingstijden

Kalibratiebibliotheek

- ▶ Dark:
 - ▶ Perfect mogelijk met inachtnaam van de aandactspunten uit vorige tabel.
 - ▶ Nieuwe set na verloop van tijd (1 a 2 jaar)
- ▶ Bias: idem
- ▶ Flats:
 - ▶ Beperkter: enkel indien de optische trein niet verandert (gebruik van filter, rotator, andere focale lengte)
- ▶ Flat-darks:
 - ▶ Beperkter: afhankelijk van de flats

Optische trein?

- ▶ Samenstelling van telescoop, filter, camera, rotatie (en eigenlijk ook de helling van de telescoop – NINA richt de telescoop wel naar het zenith bij gebruik van de Flatwizard. Kan invloed hebben op tilt).
- ▶ Een verandering in een van die elementen zorgt voor impact op de flats.
- ▶ Reiniging van de sensor is eveneens een wijziging die ervoor kan zorgen dat je nieuwe flats dient te nemen.
- ▶ Afnemen en terug bevestigen van de camera is technisch gesproken ook een wijziging: rotatie is niet noodzakelijk 100% identiek aan die van voor de verwijdering.

Andere aandachtspunten

- ▶ Het kiezen van een offset is belangrijk om ervoor te zorgen dat er geen pixels met waarde 0 in het FITS bestand worden weggeschreven.
- ▶ Vermijd lichtlekken bij het nemen van flats
 - ▶ Neem ze bij voorkeur als het donker is.
 - ▶ Dek eventueel de achterkant van de reflector af als die open is.
- ▶ Correctorplaat reinigen kan een aanleiding zijn om nieuwe flats te nemen.
- ▶ Correctorplaat herbevestigen: best flats controleren.
- ▶ Aanpassing van Newton na collimatie: best flats controleren.

Andere aandachtspunten

- ▶ Mechanische doorbuiging: zware camera-apparatuur die een beetje "doorhangt" wanneer de telescoop naar het zenit wijst versus de horizon, kan de vignettering subtiel veranderen.
- ▶ Als het dauwlint te strak zit of de tube vervormt door hitte, kan dit de collimatie heel licht beïnvloeden.

Interessante bronnen:

- ▶ Adam Block: [The Definitive Guide to WBPP in PixInsight - YouTube](#)
- ▶ Uitleg over 'fine-tunen' van flats bij over-correctie door Adam Block (dateert uit 2021):
 - ▶ Deel 1: [Do Your CMOS Images Look like THIS?? \(Part 1\)](#)
 - ▶ Deel 2: [Do Your CMOS Images Look like THIS?? \(Part 2\)](#)
 - ▶ Deel 3: [Do Your CMOS Images Look like THIS?? \(Part 3\)](#)
- ▶ "The Astrophotography Manual" door Chris Woodhouse, p.179 e.v.
- ▶ "[The Handbook of Astronomical Image Processing](#)" door Richard Berry en James Burnell, hoofdstuk 6, heel stuk ouder en nog moeilijk te vinde (pre-CMOS) maar theorie toch relevant (maar diepgaand).