
EINSTIEG ASTROFOTOGRAFIE

Bildaufnahme und Bildbearbeitung mit Siril und Gimp



14. APRIL 2024
WFS-BERLIN
MATTHIAS KIEHL

Inhalt

-	
Einleitung.....	6
Konsumenten-Kameras	7
Astro-Kameras	7
Kenngößen einer Astrokamera	8
Bildrauschen	9
Warum machen wir das Ganze?	10
Verabschiedung von der Tagesfotografie	10
Der Begriff Sampling.....	10
Die richtige Pixelgröße finden	11
Was ist Binning?	12
Anwendungsfälle für Binning	12
Grobfokussierung	12
Bildausschnitt bei schwachen Objekten	13
LRGB-Verfahren	13
Messende Astronomie: Kleinplaneten	13
Wann kann Pixel-Binning nicht genutzt werden?.....	13
Farb-Sensoren.....	13
CMOS-Chips	13
Die Wahl der richtigen Kamera.....	13
Planetenkameras	13
Kamera Werte einstellen	14
Ausleserauschen und Verstärkung	14
Die Wahl der Belichtungszeit für das Einzelbild	15
Zusammenfassung Kamera.....	16
Die Kamera im Einsatz	16
Mit nachgeführter Kamera	16
Fokalfotografie durch das Teleskop	17
Sonnen- und Mondfotografie.....	17
Deepsky Fotografie	17
Arbeitsschritte bis zum ersten Bild	17
Das Programm mit dem man alles Steuern kann	18
Das Einnorden mit Sharpcap Pro.....	18
Objekte finden und verifizieren.....	19
Die Nachführkontrolle	19
Warum Nachführkontrolle?	20

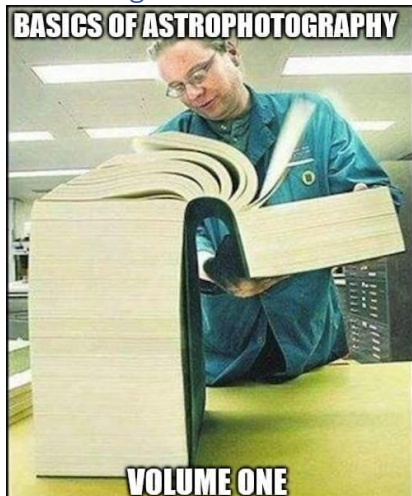
Nachführmethoden	20
Beispiele für Nachführungskontrolle	22
Muss man überhaupt Guiden?	22
Die Guiding-Kamera	22
Das PHD-2 Guiding Programm	23
Die Bildaufnahme	24
Das Bild verbessern	24
Flats und Darks	25
Dithern	25
Die Verwendung von Filtern gegen die Lichtverschmutzung	26
Beispiel Berliner Himmel	26
Berliner Nachthimmel	27
Das Optolong-L und -L-enhanced Filter im Spektrographen	27
Bildformate	28
Die Bildverarbeitung	29
Bildverarbeitung mit dem Programm Siril	30
Warum Siril?	30
Das Histogramm	30
Stretching (Histogramm-Transformation)	31
Dateienablage und Bezeichnung	32
Prüfung der Bilder und Kalibrierungsbilder	33
Preprocessing in Siril mit dem Skript per Knopfdruck	33
Die Bildbearbeitung – Der Standard-Prozess	34
Nachladen von Skripten	35
Kalibrieren, Registrieren und Stacking ohne Skript durchführen	35
Zusammenfassung der Schritte	37
Informationen zum Bild	37
Fortgeschrittene Bildbearbeitung	38
Sterne entfernen	38
Hyperbolische Streckungstransformation	38
Stretching der Sternmaske	39
Kombination der beiden Bilder in Gimp	39
Sterne und Hintergrund parallel bearbeiten	39
Rauschreduktion mit Median-Filter	39
Deconvolution	40
Kometen mit Siril bearbeiten	41
Kometen weiter mit Gimp bearbeiten	42
Bildverarbeitung mit GIMP	43

Einstellungen der Gimp Umgebung.....	43
Gimp Kommandos	43
Gimp Werkzeuge und Anzeige.....	43
Ebenen.....	44
Alphakanal	44
Masken	44
Mit Ebenen arbeiten.....	44
Stretching: Histogramm-Transformation.....	44
Farbanpassung.....	45
Farbsättigung.....	45
Farbtemperatur	45
Sterne verkleinern und die Nebel kommen besser raus	45
Rauschminderung.....	45
Schärfung.....	45
Blaue Halos um Sterne entfernen	45
Sternmaske und Nebel zusammenführen	46
Hintergrund Gradienten entfernen	46
Synthetisches Flat erstellen	46
Skripte in Gimp laden	46
Anhang	46
Aufnahme mit feststehender Kamera auf dem Stativ	46
Die richtige Belichtungszeit	47
Blende und ISO	47
Beispiele	48
Strichspuren korrigieren	48
Debayern	48
CMOS-Bildsensoren	50
Binning Grundlagen	52
1. Was ist das?	52
2. Mono BIN.....	53
3. CMOS BIN VS CCD BIN?	53
Beispiele von CMOS und CCD-Sensoren.....	54
4. Hardware VS Software BIN	55
5. Was ist der Unterschied zwischen BIN mit RAW8 und RAW16?	55
Bin hinzufügen	56
Durchschnitts-BIN.....	56
6. Wann BIN?	57
Binning und Rauschen einmal durchgerechnet.....	57

CMOS vs. CCD	62
CMOS-Kamera Spezifikationen	63
1) Chip-Größe	63
2) Pixelgröße	63
3) QE	63
4) Kühlung	63
5) Full-Well	63
5) ADC	63
6) Ausleserauschen	64
7) Bildrate (frame rate)	64
Der F-Mythos	64
Die Performance von Teleskop und Kamera berechnen	65

Einstieg in die Astrofotografie

Einleitung



Die Himmelsobjekte mit dem eigenen Teleskop zu fotografieren ist der Wunsch vieler Fernrohrbesitzer. Aber vor den Lorbeeren haben die Götter den Schweiß und die Stolperfallen gesetzt. Es gibt leider immer noch kein Rundum-Sorglos-Komplettpaket für die Astrofotografie. Die individuellen Wünsche, Ziele und Bedingungen - und vor allem die Teleskope - sind zu verschieden.

- Der Unterschied zur Tagesfotografie ist, wenn ich einen Baum fotografiere muss ich mir keine Gedanken machen warum der Baum grüne Blätter hat. Foto machen fertig. Bei der Astrofotografie muss ich mir schon Gedanken über die Physik des Objektes machen. In welcher Wellenlänge strahlt mein Objekt? Ist mein Empfänger (die Kamera) überhaupt in diesem Bereich empfindlich. Brauche ich spezielle Filter?
- Das Bildrauschen und das der Kamera spielt plötzlich eine Rolle. Die Belichtungszeit ist nicht mehr einfach messbar. Kalibrierungsbilder zur Bildverbesserung müssen zusätzlich gemacht werden. Sterne zeigen die kleinsten Abbildungsfehler. Auf irgendwelche Optikttests der Tagesfotografie kann man sich nicht verlassen.
- Die Astrofotografie erfordert viel Geduld und Erfahrung im Umgang mit Teleskopen. Es wird empfohlen vorher das Skript „Teleskopführerschein“ durchzuarbeiten, wenn man keine Erfahrung mit Teleskopen hat. Auch in diesem Skript wird auf Astrofotografie eingegangen.
- Die Astrofotografie ist auch sehr computerlastig. Das ist mehr was für technikaffine Menschen, die Spaß haben am Computer zu arbeiten, dazu noch im Dunkeln. Teleskop und Kamera werden vom Windows-PC gesteuert. Programme unter Linux sind eher die Ausnahme. Die nachfolgende Bildbearbeitung ist deutlich aufwendiger als bei der Tagesfotografie.
- Um erfolgreich Aufnahmen zu machen ist es wichtig die Kenngrößen der Kamera zu kennen und zu verstehen.
- Um die Bilder erfolgreich zu bearbeiten ist es wichtig zu Verstehen was man da macht. Was ist eine Histogramm-Transformation, was sind Tonwerte, Sättigung und Gradation usw.
- Es kann viel schief gehen. Murphys Gesetze. Jeder Arbeitsschritt muss getestet werden.
- Erste Resultate sind schnell erzielt, siehe EAA, aber richtig gute Ergebnisse benötigt viel Ausdauer und Zeit.

- Astrofotografie ist ein Handwerk das man Erlernen muss, mit Erfolg und Misserfolg. Da gibt es keine Abkürzung.

Voraussetzungen

- Hardware Notebook 8GB RAM, freie 32GB Festplatte (intern oder extern) und Maus
- Internetzugang
- Software [Siril](#) , [Gimp](#) und [Fitswork](#) sind bereits installiert.
- (Dieses) Skript „Einstieg Astrofotografie“
- Übungsdaten für Bildbearbeitung ca. 2 GB pro Übung -> ca. 8 GB temporär pro Übung
- Optional: DSLR/DSLM mit verschiedenen Objektiven (am besten Festbrennweiten), Fernauslöser und Stativ.

Konsumenten-Kameras

- Die normalen Konsumenten-Kameras DSLR oder DSLM sind nicht für die Astrofotografie gedacht, funktionieren aber trotzdem. Während die meisten Menschen mit dem Smartphone fotografieren, sind die DSLR und DSLMs für schwierige Lichtverhältnisse gedacht und werden auch weiterentwickelt. Davon profitieren auch die Astrofotografen.
- In diesen Kameras ist auch ein Graphicprocessor drin, der das Bild vorverarbeitet. Man kommt nur an die Rohdaten ran, wenn man das RAW-Format wählt.
- Diese Kameras haben in der Regel ein Infrarot-Sperrfilter drin, das die Wasserstofflinie H-alpha nicht durchlässt. Das ist schlecht für Gasnebel, die hier ihr Licht emittieren.
- Der Vorteil dieser Kameras ist, dass man sie ohne Computer oder Strom aus der Steckdose betreiben kann.
- Zur Steuerung der Kamera über PC/Notebook gibt es vom Hersteller ein Steuerungsprogramm, das aber für Astrofotografie nur bedingt geeignet ist. Das Programm APT Astrophotography Tool steuert auch Nikon und Canon Kameras und natürlich auch Astro-Kameras. Mit der Demo-Version kann man schon Aufnahmen machen. Das Programm kostet 18,70 €. Für Konsumenten-Kameras gibt es keine ASCOM-Treiber um sie mit Astroaufnahme-Programmen zu steuern.

Eine Für die Astrofotografie geeignete Konsumenten-Kamera hat folgende Eigenschaften:

- Dauerbelichtung, B-Einstellung über Fernauslöser oder APP oder PC
- Autofokus abschaltbar
- Unendlich ist manuell einstellbar
- Manuelle Blendenvorwahl
- Wechselobjektive
- Anschlussgewinde für das Fotostativ
- Aufnahmen ohne Kompression und Vorverarbeitung im RAW-Format.
- Kein Infrarot-Sperrfilter (für rote Gasnebel)

Astro-Kameras

Kameras für astronomische Zwecke enthalten die gleichen CMOS-Chips, wie die Konsumenten-Kameras. Dadurch sind diese Astro-Kameras deutlich günstiger als die früheren CCD-Kameras, die

heute langsam vom Markt verschwinden. Diese Kameras werden über den PC gesteuert und man kommt an die Rohdaten ran. Zusätzlich haben diese Kameras noch eine Peltier-Kühlung und der Chip kann bis auf 40°C unter der Umgebungstemperatur gekühlt werden. Das mindert das Rauschen des Bildes bei langen Belichtungen. Kühlung ist immer gut, aber nicht zwingend. Es gibt diese Kameras als Farbversion und als Schwarz/Weiß-Variante (monochrom). Wenn man mit der Monochromkamera Farbbilder machen will muss jeder Farbkanal Rot-Grün-Blau durch die drei Filter belichtet werden und dann im Computer zusammengesetzt werden. Das klingt kompliziert. Die Bildverarbeitung von Farbkameras ist nicht einfacher, sondern anders. Außerdem kann man auch Spezialfilter verwenden, z.B. das H-alpha-Filter nur Gasnebel dann allerdings in S/W. Für den Einstieg ist die Farbkamera die bessere Wahl. Wer sein Leben der Astrofotografie widmen will, wird die Monochromkamera mit Farbfiltern nehmen.

Kenngößen einer Astrokamera

Diese Kenngößen findet man bei den Herstellern der Astro-Kameras. Für DSLR/DSLM sind diese Daten in der Regel nicht verfügbar, es sei den man kennt den verwendeten Chip.

Full Well Capacity

Den größten analogen Messwert den ein Pixel erreichen kann. Der Messbecher ist dann voll. Große Pixel (Messbecher) haben auch größere Kapazitäten.

Quantum Efficiency

Die Quantenausbeute QE bedeutet wie viele Photonen vom Sensor registriert werden. Sie ist abhängig von der Wellenlänge, Die meisten CMOS-Chips haben ihr Maximum im grünen Bereich und fallen deutlich ab im Blauen und Roten. Einige monochrome Sensoren haben ihr Maximum im Roten. Topwerte sind 80%, und mittlere bei 60%. Zum Vergleich der chemische Film hat nur 1-2%.

Ausleserauschen

Den kleinsten analogen Messwert die man aus dem Messbecher „ablesen“ kann ist das Ausleserauschen.

Dynamic Range = Full Well Capacity / Ausleserauschen

Bittiefe

Mit der Bittiefe werden die analogen Messwerte digitalisiert. Typische Werte sind 12/14/16 Bit. Hat die Kamera nur 12 Bit wird der Pixelwert vom Aufnahmeprogramm mit 16 multipliziert auf 16 Bit erweitert.

Stacking und Bittiefe

Geringe Bittiefe kann durch Stacking ausgeglichen werden. Der kleine Messbecher muss dann öfter ran.

Gain

Das Gain bei den Astrokameras die Verstärkung und bei den Konsumenten-Kameras der ISO-Wert. Bei niedrigem Gain-Wert hat man mehr Dynamic Range und der Pixel kommt nicht so schnell in die Sättigung. Beim hohen Gain kann man die kleinen Änderungen besser messen. Ein hoher Gain hat ein geringeres Ausleserauschen und Bilder mit kurzen Belichtungszeiten können gut addiert werden.

Bias

Ist ein Dark mit der kürzesten Belichtungszeit. Auch wenn kein Licht auf den Chip fällt haben die Pixel nicht den Wert Null. Diesen Wert kann man einstellen. Er wird auch als Schwarzpunkt oder Offset bezeichnet. Es soll vermieden werden, dass ein negativer Wert entsteht. Er sollte nicht Null sein kann 10-100 sein, aber nicht 5000, dadurch wird auch der Dynamic Range kleiner. Er ist auch in den Darks

drin und bei den Lights minus Dark ist das Bias aus dem Bild raus. Auch beim Flatdark ist das Bias drin und bei der Operation Flat minus Flatdark ist das Bias auch raus.

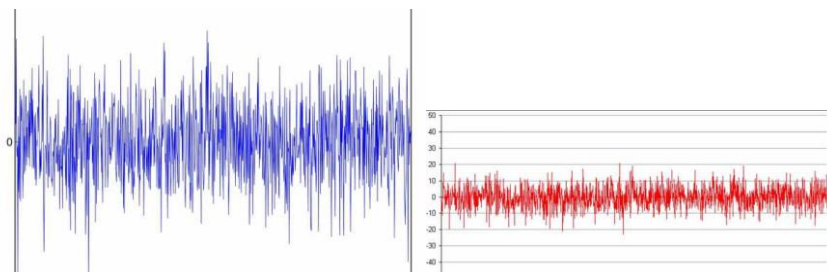
Anmerkung: Bias ist nicht das Ausleserauschen!!

ADU-Wert (Analog - Digital – Unit)

Die Abkürzung ADU steht für Analog-Digital-Unit (Analog-Digital-Einheit) und ist ein dimensionsloser Wert. Im Prinzip steht ein hoher ADU-Wert für große Objekthelligkeit und ein kleiner ADU-Wert für ein sehr lichtschwaches Objekt. In Histogrammen von astronomischen Bildern wird der ADU-Wert auf der waagerechten Achse aufgetragen. Im Prinzip könnte man den ADU-Wert einer CCD/CMOS Aufnahme am besten mit dem Schwärzungswert eines Filmkorns vergleichen. Ein helles Objekt ergibt eine hohe Schwärzung, ein lichtschwaches Objekt ergibt wenig Schwärzung des Filmkorns.

Bildrauschen

- Das Bild besteht aus Rauschen der Photonen auf dem Bild, statistisch gleicht es einer Poisson-Verteilung. Fürs erste sind drei Rauschanteile auszumachen. Diese Rauschanteile addieren sich quadratisch wie beim Pythagoras. Diese Rauschanteile bestimmen die maximale Belichtungszeit für das Einzelbild. Die Frage ist welcher Rauschanteil ist der Dominierende.
- **Hellbild-Rauschen:** Der Himmelshintergrund ist durch Lichtverschmutzung, Dämmerung und Mond aufgehellte. Mond und Dämmerung kann man ausweichen, der Lichtverschmutzung nicht. Der Himmelshintergrund ist der größte Rauschverursacher.
- **Dunkelbild-Rauschen:** Wenn kein Licht auf den Chip fällt kommt das thermische Rauschen der Elektronen im Chip zum Tragen. Dieser Rauschanteil ist temperaturabhängig. Eine Absenkung der Temperatur um 7° halbiert dieses Rauschen. Hat die Kamera keine Kühlung und ist die Nacht warm kann dies zum dominierenden Faktor werden.
- **Ausleserauschen:** Beim Auslesen der Ladungsmenge der Pixel bleibt immer ein kleiner Rest drin, wie beim Messbecher. Dies ist das Ausleserauschen.



Fallbeispiele

1. Berliner Himmel, kalte Nacht, Kamera ohne Kühlung
2. Alpenhimmel, warme Sommernacht, Kamera ohne Kühlung
3. Alpenhimmel, warme Sommernacht, Kamera mit Kühlung

Im ersten Fall ist das Hellbild-Rauschen der dominierende Faktor, die ungekühlte Kamera trägt nur gering bei. Im zweiten Fall ist das Hellbild-Rauschen niedriger als die warme Kamera. Das Dunkelbild-Rauschen dominiert. Im dritten Fall wird die Kühlung der Kamera eingesetzt. Jetzt ist das Ausleserauschen der limitierende Faktor.

Auswirkung auf die Belichtungsreihe

Bei hellen Stadthimmel eher kurz belichten, bei hohem Gain und niedrigen Ausleserauschen und langer Gesamtbelichtungszeit. Länger als beim Alpenhimmel.

Beim Alpenhimmel lange Einzelbelichtung bei niedrigem Gain und höherem Ausleserauschen und größeren Dynamic Range.

Warum machen wir das Ganze?

Antwort: um das Signal zu Rauschverhältnis zu verbessern.

- Wenn Bilder addiert, subtrahiert, dividiert oder multipliziert kommt der Rauschanteil des 2. Bildes hinzu.
- Hellbild minus Dunkelbild, Kommt das Rauschen des Dunkelbildes hinzu.
- Deshalb nimmt man gemittelte Dunkelbilder mit niedrigem Rauschen.
- Die Rauschanteile addieren sich quadratisch, wie beim Pythagoras.
- Das gilt für schöne Bilder.
- Erst recht für Photometrie.
- Erst recht für Spektroskopie.
- Erst recht in der Astrometrie.
- In der Bildbearbeitung lässt sich Rauschen mindern mit diversen Entrauschungs-Werkzeugen, wie Weichzeichner oder Wavelets. Diese Werkzeuge werden nicht in der wissenschaftlichen Anwendung (Photometrie, Astrometrie und Spektroskopie) benutzt.

Verabschiedung von der Tagesfotografie

Tagesfotografie	Astrofotografie
Hellbildrauschen vernachlässigbar	Hellbildrauschen nicht vernachlässigbar
Keine Kalibrierungsbilder	Kalibrierungsbilder zwingend
Belichtungszeit eindeutig	Belichtung nicht einfach bestimmbar
Optikfehler eher unkritisch	Optikfehler sehr kritisch
Kein Fehler im Strahlengang	Fehler im Strahlengang wie Verkippungen und falscher Abstand der optischen Komponenten
Grab and Go	Glaubt bloß nicht, wenn ihr eine Kamera ans Teleskop schraubt das gleich alles funktioniert!!

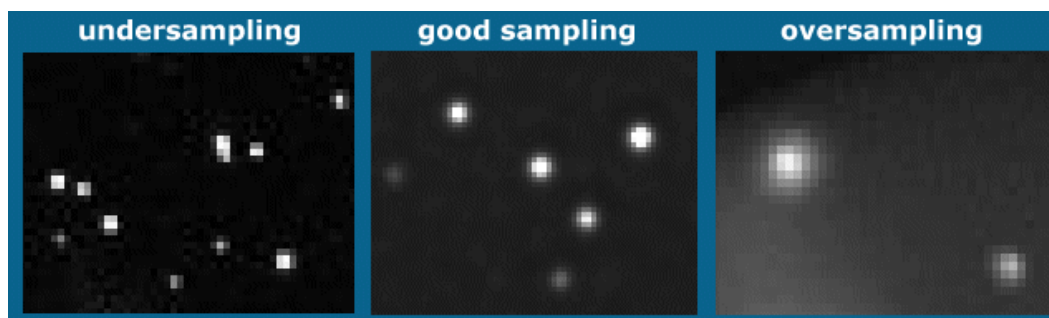
Der Begriff Sampling

Unter dem Begriff good sampling verstehen die englisch-sprachigen Länder den Versuch, eine CCD/CMOS-Kamera, genauer gesagt die Einzelpixel des Chips optimal an ein vorhandenes Teleskop (Abbildungsmaßstab) und an die lokalen Seeingbedingungen des Beobachtungsortes anzupassen. Ein durch seine geometrischen Dimensionen (Länge x Breite in mm) definiertes Einzelpixel kann nicht für alle Teleskopbrennweiten gleich effektiv funktionieren. Dazu zwei extreme Beispiele: im ersten Fall nehmen wir an, dass die Brennweite so an das Pixel angepasst ist, dass das Beugungsbild eines Sternes genau auf die Fläche eines Einzelpixels passt.

In diesem Fall arbeitet die Kamera, was die Empfindlichkeit am optimalsten, da sämtliches Licht in einem Pixel konzentriert ist. Aber die Bilder haben praktisch keine Graustufen mehr. Das nennt man in der CCD-Terminologie undersampling oder undersampled.

Das zweite extreme Beispiel: Sie wählen die Teleskopbrennweite so, dass das Beugungsbild eines Sternes über 25 x 25 Pixel verteilt wird. Jetzt bekommen Sie viele Graustufen, aber die Kamera arbeitet sehr unempfindlich, weil eben das Licht des Sterns auf so viele Einzelpixel "verschmiert" wird. Das nennt man oversampling oder oversampled.

Es gilt eine Zwischenstufe zwischen over- und undersampling zu finden. Nämlich so, dass die Kamera noch möglichst empfindlich arbeitet, die Bilder aber trotzdem fein abgestuft sind. Folgende Abbildung soll diesen Zusammenhang noch einmal graphisch veranschaulichen.



Die richtige Pixelgröße finden

Ein Teleskop fokussiert einen Stern als Rundpunkt des Lichts. Unter der Annahme einer hochwertigen Optik wird der Durchmesser des Lichtpunkts durch die Brennweite des Teleskops bestimmt (längere Brennweiten führen zu größeren Sternendurchmessern) und das Seeing des Himmels (die atmosphärische Dispersion breitet sich den Lichtpunkt aus und macht ihn größer). Kurze Brennweiten Teleskope und ideale Sehbedingungen sorgen für kleinste Sterne, längere Brennweiten und weniger günstige Himmel produzieren größere Sterne. Mit dem [astronomy.tool](https://www.astronomy-tool.com/) kann das mal nachschauen.

Die Herausforderung

Damit ein Stern seine runde Form behält, wenn er auf Ihrem Bildschirm oder Fotografieren angezeigt wird, muss sein Durchmesser eine ausreichende Anzahl von Pixeln abdecken. Zu wenige und das Bild wird "unterbewertet" sein, die Sterne werden blockreich und eckig erscheinen. Für einen glatteren, natürlicheren Look sind mehr Pixel erforderlich, aber nicht zu viele, denn wenn Sie mehr Pixel verwenden, als notwendig sind, um runde Sterne zu erreichen, ist das Bild "überbetastet". Diese Bilder sehen ziemlich schön aus, weil die Sterne mit glatten Kanten rund sind, aber wenn Sie mehr Pixel haben, als notwendig sind, warum Sie nicht einen Reduzierer verwenden, um die effektive Brennweite des Teleskops zu reduzieren, was das Bild heller macht und es Ihnen ermöglicht, mehr Himmel auf Ihren Sensor zu passen. In der Wirkung reduziert er das Sichtfeld.

Die Theorie

In den 1920er Jahren entwickelte Harold Nyquist einen Satz zur digitalen Bemusterung analoger Signale. Nyquists Formel schlägt vor, dass die Abtastrate doppelt so hoch sein sollte wie die Frequenz des analogen Signals. Also, wenn OK-Segen zwischen 2-4 liegt "FWHM, dann sollte die Abtastrate, laut Nyquist, 1-2 sein.

Es gibt einige Diskussionen darüber, dies für moderne CCD-Sensoren zu verwenden, weil sie quadratische Pixel verwenden, und wir wollen runde Sterne abbilden. Mit typischer Sicht bei 4" FWHM würde Nyquists Formel vorschlagen, dass jeder Pixel eine 2-"Auflösung hat, was bedeuten würde, dass ein Stern auf nur ein Pixel fallen könnte, oder es könnte ein 2x2-Array beleuchten, also als Quadrat erfasst werden.

Die Lösung

Es ist besser, wenn man mit einer Auflösung von $\frac{1}{3}$ des analogen Signals zu bilden, wobei dies sicherstellt, dass ein Stern immer auf mehrere Pixel fällt.

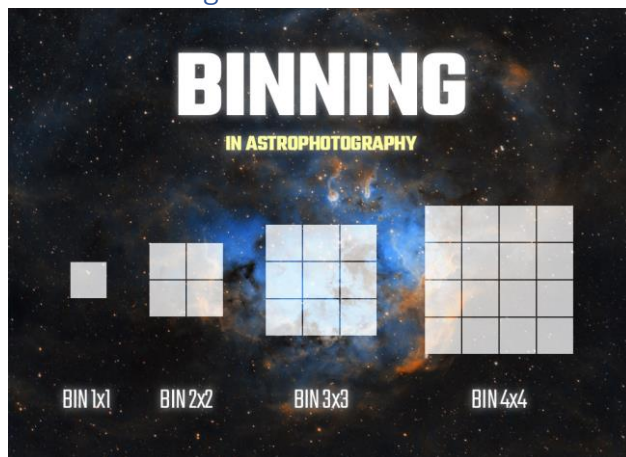
Unser Rechner, bei typisches Seeing von 2-4, verwendet die Nyquist-Formel von $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{3}$, um zu verhindern, dass Sterne quadratisch werden, so dass der optimale Bereich zwischen 0,67" und 2" pro Pixel liegt.

Zusammenfassend verwenden wir Nyquist als Ausgangspunkt mit einer leichten Optimierung, da wir in der Regel sehr kleine, kreisförmige Sterne haben.

Merke: "Bei gleichem Abbildungsmaßstab hängt die Lichtstärke des Gesamtsystems (Teleskop plus Kamera) alleine von der Teleskopöffnung ab."

Wenn ich ein Teleskop mit langer Brennweite habe, muss ich die Pixelgröße erhöhen, um den gleichen Abbildungsmaßstab wie mit einem kurzbrennweitigen Teleskop gleicher Öffnung zu erhalten. Die größeren Pixel gleichen dann das langsamere Öffnungsverhältnis aus.

Was ist Binning?



Die Empfindlichkeit eines CMOS-Sensors oder CCD-Sensors hängt neben vielen anderen Faktoren auch von der Größe der Pixel ab. Je größer sie sind, desto mehr Licht können Sie "einfangen". Andere Gründe wiederum sprechen eher für kleine Pixel.

Einige CMOS-Kameras und CCD-Kameras erlauben die Einstellung der Pixelgröße per Software. Diese Methode beruht auf der Zusammenfassung benachbarter Pixel - dem Binning. Die Auflösung des CCD-Sensors oder CMOS-Sensors verkleinert sich entsprechend.

Üblicherweise ist ein Binning von 2x2 bzw. 4x4 Pixel möglich. Theoretisch erreicht man damit also Empfindlichkeitssteigerungen von 4x bzw. 16x und Verringerungen der Auflösung um denselben Faktor. In der Praxis kann man Empfindlichkeitssteigerungen um den Faktor 3 bis 10 erwarten.

Im Fall von Farb-Kameras bringt das Binning nicht immer zufriedenstellende Ergebnisse. Abhängig von Position und Farbe der Objekte kann es im Bild recht grob abgestufte Kanten geben.

Das Binning ist im Zusammenhang mit CCD-Sensoren vergleichsweise aufwändig. CMOS-Sensoren tun sich mit dem Binning wesentlich leichter.

Anwendungsfälle für Binning

Grobokussierung

Dank der kürzeren Auslese- und Downloadzeiten geht die grobe Fokussierung mit 3-fach-Binning sehr schnell.

Bildausschnitt bei schwachen Objekten

Durch das verbesserte SNR werden schwache Objekte schon mit wenigen Sekunden Belichtungszeit sichtbar. Dies erleichtert das Einstellen des Bildausschnitts.

LRGB-Verfahren

Manche Fotografen nutzen das 2-fach-Binning auch für LRGB-Komposite. Der Trick besteht darin, dass mit den Farbaufnahmen das Bild lediglich gefärbt wird und die Details ausschließlich von der Luminanz eingebracht werden. Eine schlechtere Farbauflösung wird vom Betrachter nämlich nicht wahrgenommen. Das Binning in den Farbkanälen reduziert das "Farbrauschen" des Bildes, ohne das Ergebnis erkennbar negativ zu beeinflussen.

Messende Astronomie: Kleinplaneten

Das Pixelbinning kann auch bei der Kleinplanetensuche gewinnbringend sein. Das Besondere ist nämlich die relativ schnelle Bewegung der Kleinplaneten. In der Praxis bewegen sich Kleinplaneten meist schon im Laufe weniger Minuten von einem Pixel zum nächsten. Längere Belichtungszeiten können das SNR dann natürlich nicht mehr verbessern. Bei lichtschwachen Objekten kann das SNR durch Pixelbinning noch etwas verbessert werden. Dies bedeutet gleichzeitig natürlich Abstriche bei der Genauigkeit der Astrometrie aufgrund des größeren Samplings.

Wann kann Pixel-Binning nicht genutzt werden?

Farb-Sensoren

Die Pixel von Farbkameras sind abwechselnd mit Rot-, Grün- und Blaufiltern ausgestattet (Bayer-Matrix). Beim Binning würden also Pixel mit unterschiedlichen Farbinformationen kombiniert werden, was nicht sinnvoll ist. Lediglich das weniger wirkungsvolle, nachträgliche Software-Binning ist möglich.

CMOS-Chips

Aufgrund ihrer grundlegenden technischen Eigenschaften ist bei CMOS-Chips kein echtes Binning möglich. Die Pixel eines CMOS-Chips verfügen nämlich alle über ihren eigenen Signalverstärker und können somit nur einzeln ausgelesen und verstärkt. Das gewünschte Ausleseverfahren und eine damit verbundene Reduktion des Ausleserauschens ist nicht möglich. CCD-Chips sind diesbezüglich also im Vorteil.

Der Reiz des CMOS besteht jedoch in der variablen Verstärkung ("Gain") VOR dem Auslesen, was auch wieder von Vorteil ist. Manche Kamerahersteller zeigen für ihre Modelle Diagramme für die Rausch-Stärke in Abhängigkeit der Verstärkung.

Die Wahl der richtigen Kamera

Ob Farb- oder Monokamera von der Chipgröße mal abgesehen muss die Pixelgröße zur Brennweite passen. Je länger die Brennweite umso größer müssen die Pixel sein. Eine dritte Komponente ist das Seeing. Eine optimale Zusammenstellung wäre ein 250/1000 mm Newton und eine Pixelgröße von 3,5 bis 4,5 μm bei eher mittleren Seeing. Der optimale Abbildungsmaßstab liegt bei 1"/Pixel

Bei der Anschaffung eines Teleskops sollte man mal durchrechnen was letztlich am Sensorende ankommt, die Performance. Also Öffnung, Lichtverluste, Brennweite, Pixelgröße und QE des Sensors und mittleres Seeing. Das ist ein bisschen Rechnen mit Excel.

Die heutigen modernen Kameras haben Pixel $< 3 \mu\text{m}$ und sind daher für kleine Refraktoren $< 500 \text{ mm}$ gedacht.

Planetenkameras

Für die Planetenfotografie braucht man nur kleine Chips, da die Planeten selbst bei 3m Brennweite nur 100-200 Pixel groß sind. Diese Kameras sind so groß wie ein 1 1/4" Okular und sind ungekühlt. Sie gibt sie in Farbe und monochrom und werden oft auch zur automatischen Nachführkontrolle, dem

Autoguiding benutzt. Mit diesen Kameras lassen sich hochauflösenden Mond- und Planetenfotos machen.

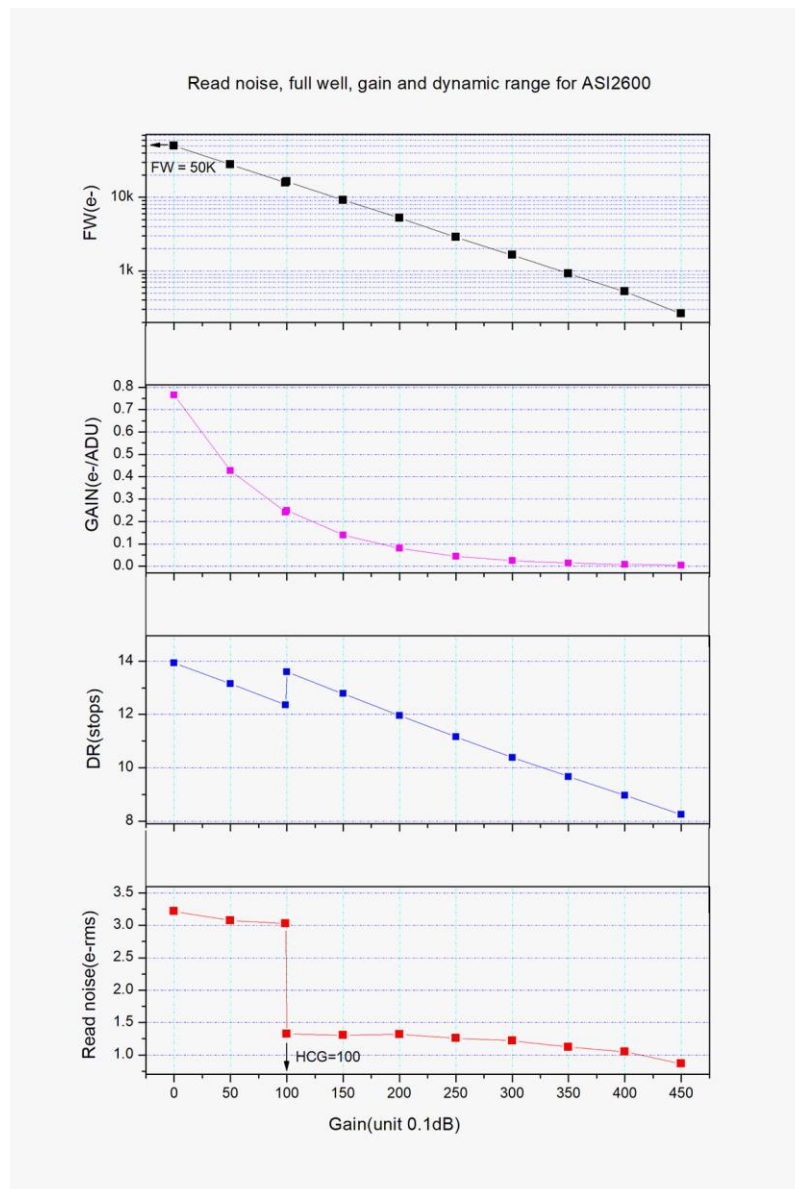
Kamera Werte einstellen

- Bei den Konsumenten kann man nur die ISO-Zahl, entspricht dem Gain, einstellen und das Dateiformat ist RAW.
- Bei den Astrokameras nimmt man das Fitsformat und 16 Bit RAW Format zur Aufnahme und in der Ansicht schon mal debayern eingeschaltet.
- Bei Astrokameras stellt man das Gain ein und den Biaswert=Offset oder Schwarzpunkt oder Helligkeit(Sharpcap) ein.
- Gain niedrig, große Dynamik, erhöhtes Ausleserauschen – Plejadensterne und Nebel gleichzeitig
- Unity Gain – mittlere Dynamik, weniger Ausleserauschen (Standardwert)
- Gain hoch, geringe Dynamik und wenig Ausleserauschen – kurze Belichtungszeit und vieler Bilder stacken.

Ausleserauschen und Verstärkung

- Bei bestimmten Gain >0 nimmt das Ausleserauschen stark ab.
- Die Dynamik nimmt ab.
- Magisch - Beim unity gain $\sim 1e$ Ausleserauschen
- Durch das geringe Ausleserauschen können viele Bilder addiert werden.
- Mit steigenden Gain erhöht sich die Empfindlichkeit – Belichtungszeit kürzer – das Bildrauschen steigt.
- Durch Mittelung wird das Bildrauschen wieder kleiner.
- Das Ausleserauschen kriegt man nicht raus.

Bei Erhöhung des Gains wird das Ausleserauschen kleiner, aber die Dynamik, also große Helligkeitsunterschiede darzustellen nimmt ab. Es gibt einen „magischen Punkt“ wo das Ausleserauschen drastisch abfällt und die Dynamik noch groß ist. Das ist das Unity Gain. Bei Erhöhung des Gain sinkt das Ausleserauschen, aber das Hellbildrauschen steigt. Das kann durch Mittelung, dem Stacken vieler Bilder minimiert werden.



Die Wahl der Belichtungszeit für das Einzelbild

- Gibt es einen Unterschied ob man 3600 x 1 Sekunde belichtet oder 6 x 10 Minuten?
- Bei einer idealen Kamera mit Null Rauschen, im Weltall ohne Hintergrundrauschen und Weltraumtemperatur wären die gestackten Aufnahmen gleich.
- Im zweiten Beispiel nehmen wir eine Kamera mit Ausleserauschen und machen die gleichen 2 Serien.
- Jetzt ist hat gestackte 6x10 Minuten ein besseres Signal zu Rauschverhältnis (SNR) hat als das 3600 x 1 Sekunde.
- Das Signal wird aufaddiert und das Rauschen addiert sich zu unserem Nachteil.
- In der realen Welt ist da noch der Himmelshintergrund + Himmelshintergrund-Rauschen. Jetzt könnte man den Himmelshintergrund einfach abziehen, eine Stelle im Bild suchen wo kein Stern und Nebel sind. Das machen auf viele Programme. Aber das Himmelshintergrund-Rauschen im Bild bleibt bestehen.
- Wenn das Himmelshintergrund-Rauschen > als das Ausleserauschen der Kamera ist, spielt letztere keine Rolle – Wir haben die obige ideale Kamera.

- Ziel ist: Die Einzelbelichtung ist durch den Hintergrund limitiert.
- In der Tagesfotografie hat man den Belichtungsmesser.
- Einzelbelichtungszeit-Lang genug um Rauschen in den Hintergrund zu drängen, aber gleichzeitig kurz genug um nichts ausbrennen zu lassen.
- Eine einfache Formel gibt es nicht.
- Beispiel M31 ist der Kern schon gesättigt nahe 65.000? Das passiert im Stadthimmel sehr schnell.
- In der Astrofotografie kann die Kamera als Messgerät einsetzen.
- Mit [SharpCap](#) und [N.I.N.A.](#) kann man das messen. Vorher wird eine Sensoranalyse gemacht.
- Der limitierende Faktor ist das Hintergrundrauschen und das Ausleserauschen. Das Programm misst die beiden Werte zusammen mit den eingestellten Gain.
- Eingabe Gesamtbelichtungszeit, Einzelbild Intervall von 10 sek bis 2 min
- Ergebnis der Wert für das Einzelbild
- **Tipp:** Ohne Messen-Schaut das Histogramm an: Liegt das Maximum vom linken gelöst Rand 1/3 bis 1/4 nach rechts?
- Es gibt auch Exceltabellen im Internet dafür.
- Fazit: Oft sind Einzelbelichtungen von mehreren Minuten, ohne Filter sogar schädlich.

Zusammenfassung Kamera

- Kamera Chipgröße nicht mehr als APS-C besser nur 4/3" (18x13mm). Große Chips zeigen die Fehler am Rand deutlicher, Verkipfung, Abstand Korrektor, außerdem kann man bei 4/3" auch 1 ¼ Filter verwenden. APS-C Dateigröße 50MB
- Dateiformat Fits
- Brennweite und Chipgröße -> Bildfeld danach Objekte aussuchen.
- Brennweite, Pixelgröße und Seeing müssen passen, d.h. 0,7" bis 2" pro Pixel
- Unity Gain als Standardwert wählen.
- Offset > 0
- Kühlung < 70% Kühlleistung, -10°C sind völlig ausreichend
- Kalibrierungsbilder machen: Darks, Flats und Flatdarks
- Hintergrundlimitiert die Einzelbelichtung, d.h. im Histogramm links abgelöst im ersten Viertel bis Drittel.
- Bei Youtube findet man viele [Beiträge](#) die das Thema vertiefen.

Die Kamera im Einsatz

Mit nachgeführter Kamera

Die Kamera mit Objektiv sitzt Huckepack (engl. piggy back) auf dem Teleskop. Irgendwo am Teleskop ist noch ein Anschluss für Fotogewinde oder im Teleskop-Handel erhältlich. Wer mehrere Objektive besitzt, mit der kleinen Brennweite anfangen. Die Kamera wird parallel zum Teleskop ausgerichtet. Man achte bei Weitwinkel-Objektive ob Teile des Teleskops im Gesichtsfeld zu sehen sind. Die Nachführgenauigkeit ist abhängig von der Brennweite.

- Eine gut eingenordete parallaktische Montierung mit Nachführung in Rektaszension.

- Ein beleuchtetes Fadenkreuzokular zur Kontrolle der Nachführung. Dazu wird das Fadenkreuz in DE und RA ausgerichtet. Erstmal prüfen wie gut die Nachführung läuft. Es ist gut möglich, dass die Montierung 15-60 Sekunden gut läuft und der Leitstern nicht vom Faden läuft. Man kann darauf, vertrauen, aber Kontrolle ist besser.
- Objekte sind Sternbilder und Milchstraßen-Felder oder vielleicht ein heller Komet.

Fokalfotografie durch das Teleskop

Ein Sonderfall ist die afokale Fotografie. Mit dem Smartphone oder Kamera mit Objektiv durch das Okular fotografieren. Smartphone-Adapter gibt es im Handel. Die resultierende Gesamtbrennweite ergibt sich aus dem Produkt von Vergrößerung x Kameraobjektivbrennweite. Das funktioniert gut bei Mond und Planeten.

Bei der Fokalfotografie wird das Teleskop von 500–2000 mm als Teleobjektiv verwendet. Für DSLR und DSLM gibt es T2-Adapter das ist M42x1 (nicht M42*0,75 wie bei den alten Filmkameras Praktika usw.) für die jeweilige Kamera. Von T2 ab gibt es dann je nach Teleskop weitere Adapter, wie z.B. ein T2 auf 2" Steckhülse, die in den Okularauszug gesteckt wird. Die Astro-CMOS-Kameras (nicht die Planetenkameras) haben bereits T2 oder M48 Gewinde. Als angehender Astrofotograf braucht man viele Adapter.

Sonnen- und Mondfotografie

Mit der DSLR/DSLM lässt sich die Sonne (mit Objektiv-Filter) aufnehmen. Bei 1000 mm Brennweite ist der Mond oder die Sonne 9,6mm auf dem Chip groß. Um den Mond formatfüllend auf den APS-C Format aufzunehmen braucht man 1700 mm Brennweite. Zur Aufnahme immer ein Fernauslöser oder per APP die Kamera auslösen. Zur Aufnahme von Planeten braucht man noch mehr Brennweite.

Die Belichtungszeiten müssen manuell ausprobiert werden. Die Belichtungsautomatik ist erstmal ein Richtwert. Das Bild mit dem Histogramm-Monitor der Kamera bewerten.

Deepsky Fotografie

Bei der Deepsky-Fotografie liegen die Belichtungszeiten zwischen ca. 30 Sekunden und 2 Minuten, beim Alpenhimmel auch mal 5 Minuten. Hier ist eine gute Einnordung der Montierung und eine Nachführkontrolle unerlässlich. Je länger die Brennweite ist umso genauer muss die Nachführung sein. Bei Brennweiten um 1000 mm sind die wir an der Grenze des Machbaren für den Einstieg gekommen. Die Größe der Pixel muss auch zur Brennweite passen. Außerdem macht sich das Seeing bereits störend bemerkbar. Die meisten Optiken benötigen noch Bildebenen und/oder Komakorrektoren im Strahlengang. Begnügen wir uns auf ein kleines Feld als dem APS-C Format können wir ggf. darauf verzichten.

Arbeitsschritte bis zum ersten Bild

- Montierung aufstellen
- Stundenachse genau auf den Himmelspol ausrichten
- Steuerung mit dem Notebook verbinden
- Kamera und Autoguider an Notebook anschließen
- Kameras fokussieren
- Objekt einstellen
- Leitstern einstellen
- Automatische Nachführung kalibrieren PHD-2
- Erste Probelichtung, prüfen ob die Nachführung läuft

- Belichtungsreihe starten
- Bemerkung: Diese Arbeitsschritte sollten alle vorher getestet werden

Das Programm mit dem man alles Steuern kann

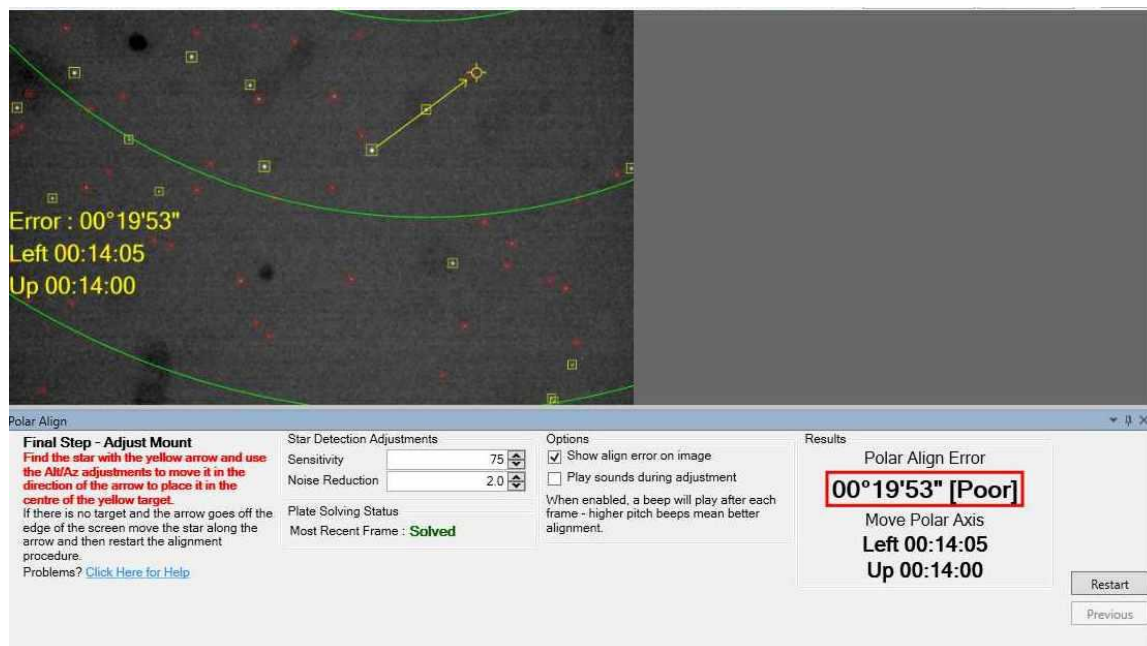
Es gibt eine ganze Reihe von Programmen mit denen man außer der Bildaufnahme noch weitere nützliche Helfer starten kann

- Einnordung mit der Kamera
- In Verbindung mit einem Sternkartenprogramm, Objekte finden und ihre Position prüfen mittels Platesolving (die Koordinaten des Bildes ermitteln)
- Das Guiding steuern
- Bildaufnahme
- Live-Stacking

Eines dieser Programme ist SharpCap Pro. In dem Skript „Anleitung-SharpCap.pdf „ werden die oben aufgeführten Anwendungen beschrieben.

Das Einnorden mit Sharpcap Pro

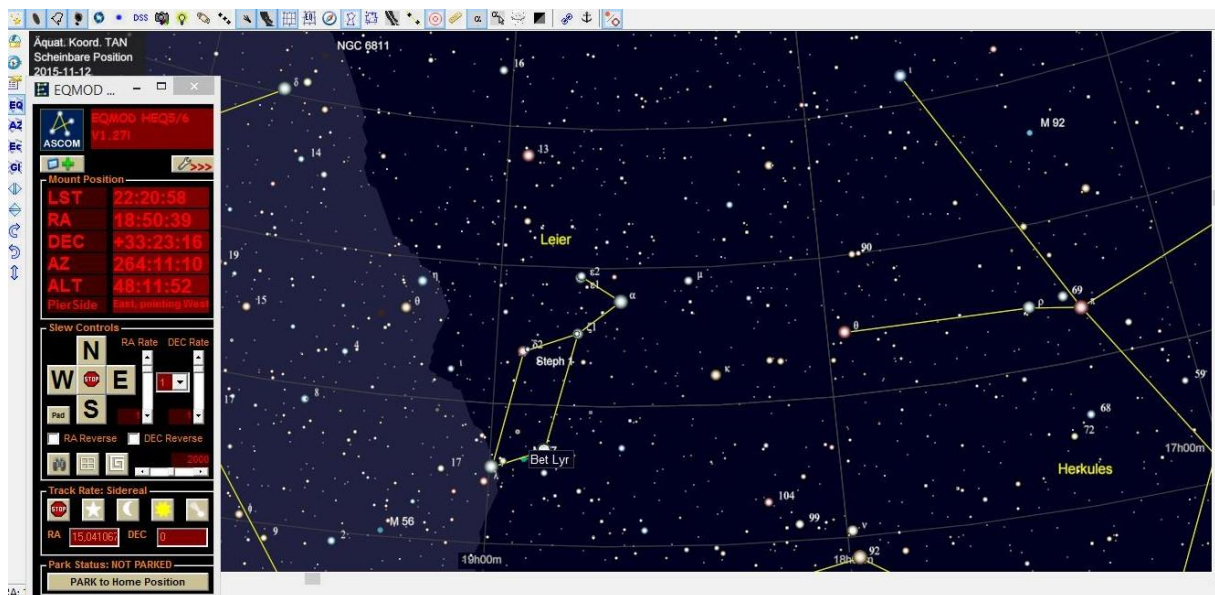
Mit dem kostenpflichtigen Programm SharpCap Pro (15€ pro Jahr), lässt sich die Montierung in wenigen Minuten genau einnorden. Dies kann sowohl mit dem Sucher, dem Leitrohr oder dem Aufnahmeteleskop geschehen. Eine Kamera ist sowieso immer dran. Das Programm sagt mir auch an welche Schraube ich wie drehen muss. Einfacher geht es nicht.





Objekte finden und verifizieren

Nachdem die Montierung exakt eingenordet ist können die Objekte angefahren werden. Das geht über die Handsteuerung, die zuvor nach mittels Stern-Alignment kalibriert mit Sternen, die die Handsteuerung kennt. Dazu muss man dies mit dem Blick durchs Okular prüfen.



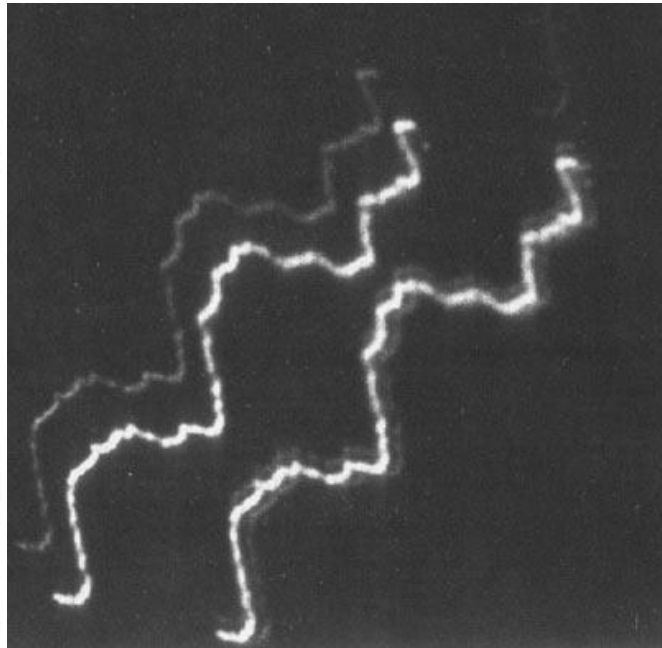
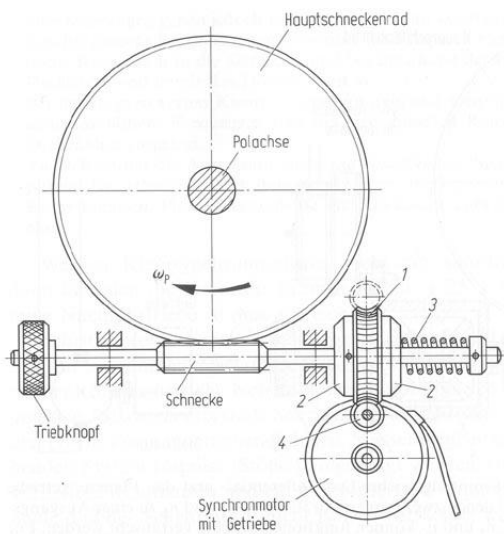
Sind Montierung über das Notebook verbunden und mittels eines Sternkartenprogramms wie z.B. Carte du Ciel kann auf die Handsteuerung verzichtet werden. Zusätzlich ist noch ein Unterprogramm „ASTAP“ installiert, das Platesolving kann. Jetzt kommt die angeschlossene Hauptkamera zum Einsatz. Das Objekt wird über Carte du Ciel angefahren. Vielleicht ist das Objekt schon im Kamerabild drin. Jetzt kommt Platesolving zum Einsatz. In SharpCap Pro im Menüpunkt Tools->“Platesolving und Resynchronisation“ werden die Koordinaten des Bildes durch ASTAP ermittelt. Dann die Position ggf. korrigiert. Das ist eine Riesenerleichterung! Es kommt vor, dass im Bild kein heller Stern zum Fokussieren ist dann stellt man über Carte du Ciel einen hellen Stern zum Fokussieren ein und fährt anschließend wieder zurück zum Objekt.

Die Nachführkontrolle

Die Nachführkontrolle (engl. guiding) kann manuell mit dem Fadenkreuzokular oder mit der Guiding-Kamera erfolgen im parallel zur Aufnahmeoptik montierten Leitfernrohr oder Sucher. Man braucht

also ein 2. Fernrohr. Auch mit dem Sucherfernrohr kann man automatisch nachführen lassen. Eine weitere Möglichkeit ist durch das fotografierende Teleskop zu kontrollieren ist das Off-Axis-Guiding. Im Strahlengang zwischen Teleskop und Kamera sitzt ein kleines Prisma, das ein Teil des Lichtes, dass nicht zur Abbildung beiträgt, ausgespiegelt wird und in die Guiding-Kamera gelenkt wird. Diese Methode ist sehr empfindlich und bei langen Brennweiten >1000 mm sinnvoll. Das spart das Leitrohr und setzt aber eine empfindliche Kamera voraus. Es ist manchmal schwierig überhaupt einen hellen Leitstern (1 sek. Belichtung mit der Guiding-Kamera) zu finden.

Warum Nachführkontrolle?



Die Mechanik des Antriebs ist nicht perfekt. Sitzt die Schnecke nicht genau senkrecht auf dem Schneckenrad, kommt zu einer Pendelbewegung des Sterns über die Zeit. Ist die Schnecke nicht genau Mittig zum Antrieb kommt es ebenfalls zur Pendelbewegung. Das liegt alles im Bereich der Fertigungstoleranzen. Solange die Pendelbewegung harmonisch ist, kann man sie wegregeln. Sprunghafte Änderungen sind schlecht regelbar. Daher müssen wir die Nachführung kontrollieren. Früher durch mit dem ständigen Blick durch ein Fadenkreuz-Okular und heute schaut die Guiding (praktisch eine Planetenkamera) und registriert die Abweichungen des ausgewählten Leitsterns.

Nachführmethoden

- Leitrohr Brennweite \leq Brennweite des Teleskops
- + Abweichungen gut feststellbar, immer ein Leitstern
- - Leitrohr kann sich „verbiegen“ trotz Nachführung Eiersterne
- - Zusätzliches Teleskop, mehr Gewicht
- Sucher Brennweite des Sucher $< 1/3 - 1/6$ Brennweite des Teleskops
- + Nachführung Subpixel genau daher kleine Brennweite
- + geringes Gewicht, immer ein Leitstern
- - Sucher kann sich „verbiegen“
- - Auflösung zu schlecht, Brennweite zu gering
- Offaxis-Guider Nachführbrennweite = Aufnahmebrennweite
- + Sehr genau, jede Abweichung sofort erkennbar

- + Spart zusätzliches Teleskop
- - Wenig Leitsterne
- - Sehr empfindlich bei Luftunruhe
- - Platzproblem (Abstand) zwischen Kamera, Korrektur und Teleskop

Beispiele für Nachführungskontrolle



Ein Leitfernrohr 70/400mm parallel auf das Hauptrohr montiert oder Guiding über den 50mm Sucherfernrohr.



Im rechten Beispiel Offaxis-Guiding mit der Brennweite des Teleskops. Das Hilfsprisma spiegelt ein Teil des Lichtes aus, welches nicht zur Abbildung beiträgt. Daher der Name.

Muss man überhaupt Guiden?

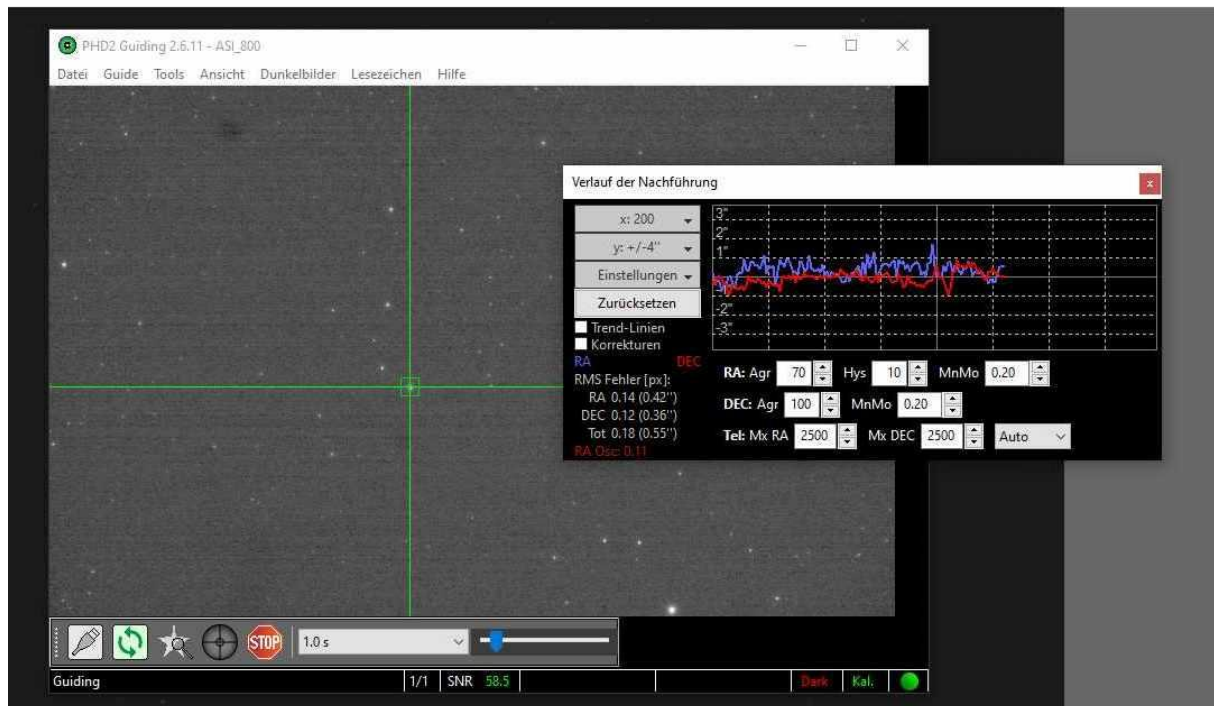
- Nein
- Bei Montierungen die man nicht Guiden kann, weil keine Schnittstelle vorhanden ist.
- Bei Windböen, durchziehende Wolken, sehr schlechtem Seeing der Leitstern immer wieder verloren geht.
- Keine Guidingkamera anschließen kann, kein Notebook, im Feldeinsatz keine externe Stromversorgung
- Guidingkamera defekt
- Voraussetzungen
 - Genaue Polausrichtung
 - Montierung führt ca. 30 sek. genau nach, abhängig von Brennweite und Pixelgröße
 - Es werden viele Bilder summiert zur Gesamtbelichtungszeit
 - Kamera mit niedrigem Ausleseleserauschen, einstellbar
- Es gibt durchaus recht gute Ergebnisse, bei den Puristen unter den Astrofotografen hat sich das noch nicht durchgesetzt.

Die Guiding-Kamera

Die Guiding-Kamera ist eine hochempfindliche ungekühlte Kamera mit kleinem Chip ca. 3x5mm mit Farb- oder S/W Chip. Spätestens hier braucht man zur Steuerung der Montierung mit der Guiding-Kamera ein Guiding-Programm wie PHD-2 und ein Windows-PC/Notebook. Auch die Kamera zur Aufnahme lässt sich über den PC steuern.

Das PHD-2 Guiding Programm

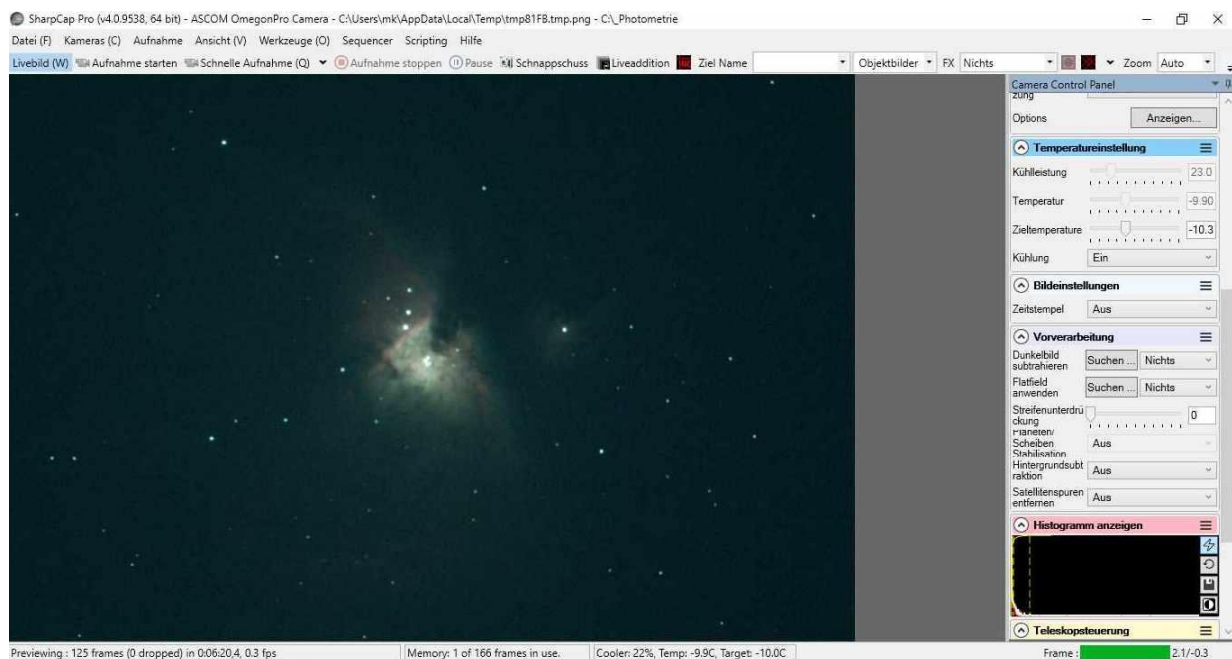
Eines der bekanntesten kostenlosen Programme ist das PHD-2 (Push Here Dummy). Zur Vorbereitung muss die Montierung eingenordet sein. Die ASCOM-Plattform, die ASCOM-Treiber für die Montierung und die Treiber für die Guidingkamera muss installiert sein. Nach dem die Kabel für Montierung und Guidingkamera angeschlossen sind, wird im Menü „Ausrüstung“ der Kamerateyp und der Montierungstyp ausgewählt. Auch die Brennweite des Leitrohrs (bei Offaxis, die des Teleskops) richtig eintragen. Prüfen ob die Pixelgröße richtig ausgelesen wurde. Fokussierung der Guiding, Stern scharfstellen, ca. 1s Belichtungszeit. Dann die Kalibrierung beginnen. Der Stern muss sich etwa 25 Schritte in jede Richtung bewegen. Wenn die Kalibrierung erfolgreich war erscheint ein grünes Kreuz und mittig der Leitstern. Die Korrekturen lassen sich auch graphisch darstellen.



Nachdem die Montierung exakt eingenordet ist und auch die Nachführung kalibriert erfolgt die Bildaufnahme.

Die Bildaufnahme

Die eigentliche Bildaufnahme wird mit dem Programm, das alles steuert ist SharpCap Pro. Alternativ wäre noch [N.I.N.A.](#) zu nennen. Auch vom Kamerahersteller ZWO Optical gibt es eine Steuerungsprogramm namens [ASI-Studio](#).



Das Bild verbessern

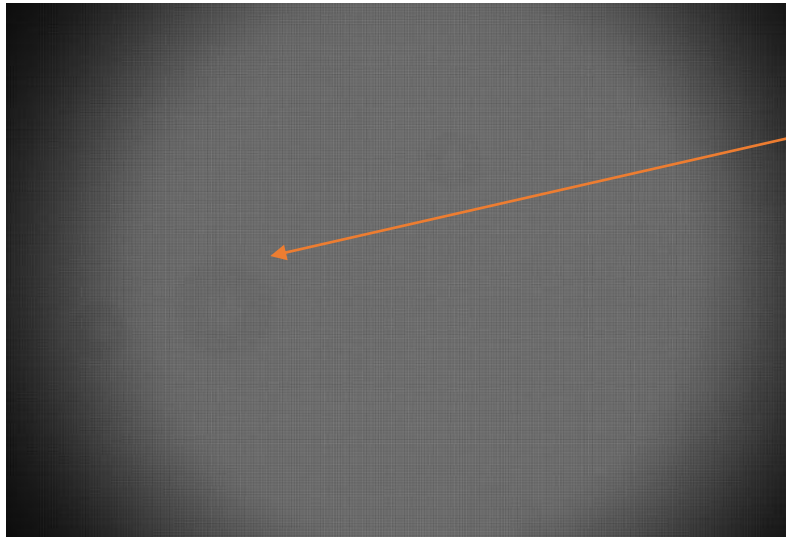
Welche Bilder müssen zusätzlich gemacht werden? Das sind die Kalibrierungsbilder: Darks, Flats und Flatdarks.

- Darks
 - Kein Licht auf dem Chip
 - Gleiche Belichtungszeit und Temperatur wie das Objektbild
 - Korrektur von fehlerhaften Pixeln (Hotpixel und Coldpixel)
 - Verstärkergeräuschen korrigieren
- Flats
 - Belichtung einer gleichmäßig leuchtenden Fläche
 - Korrektur von Vignettierung der Optik, Staub und ungleiche Empfindlichkeit der Pixel
- Flatdarks
 - Dark mit der gleichen Belichtungszeit wie das Flat
- Bias
 - Das Bias heißt auch Vorbelichtung, Offset oder Schwarzpunkt, bei Sharpcap in Deutsch „Helligkeit“
 - ist ein Dark mit der kürzesten Belichtungszeit. Auch wenn kein Licht auf den Chip fällt haben die Pixel nicht den Wert Null. Diesen Wert kann man einstellen. Es soll vermieden werden, dass ein negativer Wert entsteht. Er sollte nicht Null sein kann 10-100 sein, aber nicht 5000, dadurch wird auch der Dynamic Range kleiner. Er ist auch in den Darks drin

und bei den Lights minus Dark ist das Bias aus dem Bild raus. Auch beim Flatdark ist das Bias drin und bei der Operation Flat minus Flatdark ist das Bias auch raus.

- Bei den CMOS-Kameras nimmt man statt dem Bias das Flatdark. Kurze Belichtungszeiten < 1 Sek können Probleme machen, u.a. nicht reproduzierbar sein.
- Im weiteren Sprachgebrauch ist das Bias gleich dem Flatdark.
- Anmerkung: Bias ist nicht das Ausleserauschen!!

Flats und Darks



Das Flat korrigiert die Vignettierung und den unscharfen Staub in Form von „Donuts“



Das Dark korrigiert die Hotpixel und das Verstärkergröhen.

Dithern

Der Zweck des Dithering besteht darin, dass bei der Bildbearbeitung Artefakte wie z.B. Hot Pixel (die nicht durch Dark-Frames herausgerechnet wurden), Walking Pattern Noise und andere Rauscharten besser erkannt und aus dem gestackten Bild herausgerechnet werden können. Dithering ist also eine sehr nützliche Herangehensweise um die Bildqualität zu verbessern.

Beim Dithern wird ein nachfolgendes Bild gegenüber dem vorherigen um wenige Pixel verschoben. Da beim Stacking die Bilder nach den Sternen ausgerichtet werden, werden durch eine solche Verschiebung die oben genannten feststehenden Artefakte erkennbar. Die ausgerichteten Sterne liegen übereinander, aber die fehlerhaften Pixel haben nun einen Versatz und können so von der Bearbeitungssoftware korrigiert werden.

Die Verwendung von Filtern gegen die Lichtverschmutzung

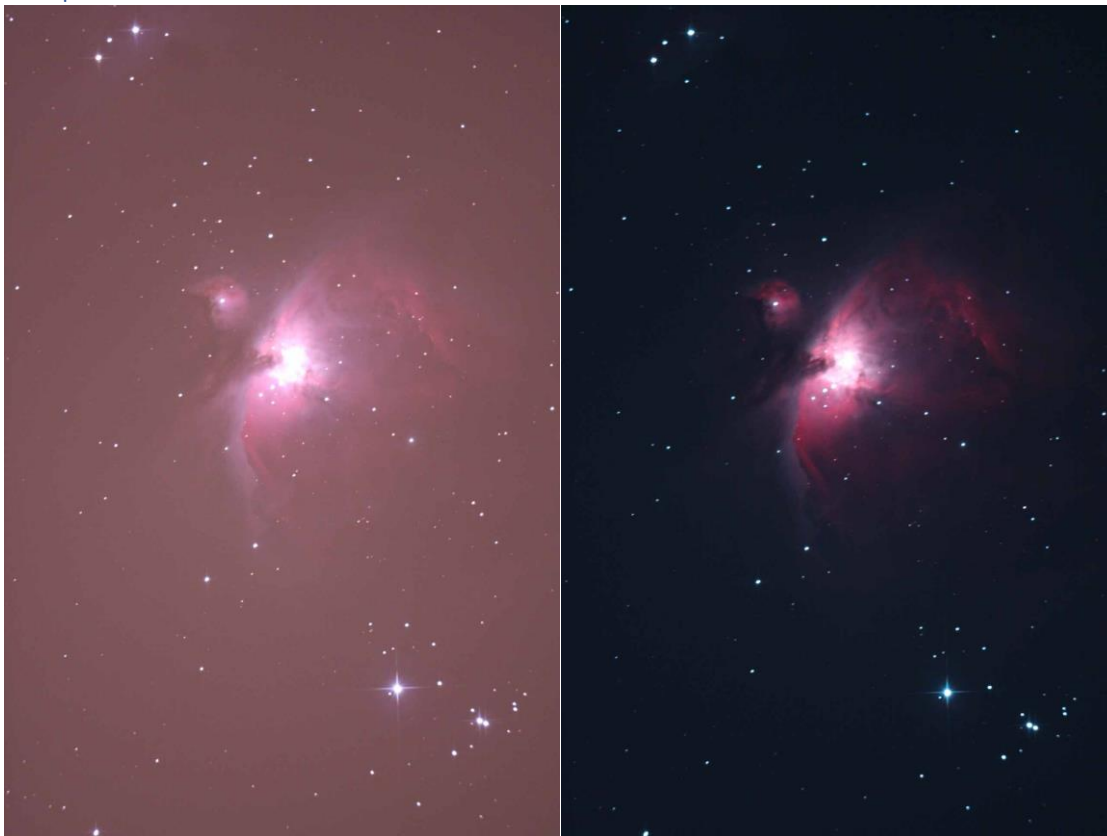
Gleich vorweg: Es gibt kein Filter was aus einem Berliner Stadthimmel einen Alpenhimmel macht.

Die Breitbandfilter, ob man nun IDAS, Optolong bis hin zum Lumicon DeepSky nimmt, nutzen das gleiche Prinzip. Es sollen die Wellenlängen ausgefiltert werden, die für Streulicht typisch sind. Da ein Stern als Kontinuum Strahler aber auf allen Wellenlängen leuchtet, wird er eben auch geschwächt. Außerdem ist das Streulicht eben auch zum Teil von Kontinuum Strahlern (Glühbirne) verursacht, und geht weiter durch.

Die Effizienz des Filters hängt dann eben davon ab, wie auf den genutzten Wellenlängen das Verhältnis zwischen Streulicht und "Nutzlicht" ist. Ein gut H-Alpha empfindlicher CCD/CMOS ist eben deshalb weniger Streulichtempfindlich (im roten), weil er viel des gewünschten H-Alpha-Lichtes in Bildinformation umsetzt. Ein schlecht H-Alpha-empfindlicher Chip nutzt vielleicht noch im Vergleich 15% des H-Alpha-Lichtes, während des im roten verteilte Streulicht dann auf der empfindlichsten Wellenlänge "ungestört" zuschlagen kann und dort das Bild zusaut.

Nehme ich aber einen Linienfilter für H-Alpha hinzu, dann schaffe ich für Streulicht und Nutzlicht "Chancengleichheit" und ich kann alle Objekte (Details) aufnehmen, die sich ausreichend stark vom gleichmäßigen Streulichthintergrund abheben. Weil da Auge eher mit logarithmischer Kurve reagieren, haben es die Objekte aber bei hellerem Hintergrund nicht einfach, die "Wahrnehmungsschwelle" zu überschreiten.

Beispiel Berliner Himmel



Ohne Filter 60 Sekunden und mit Lumicon Deepsky Filter

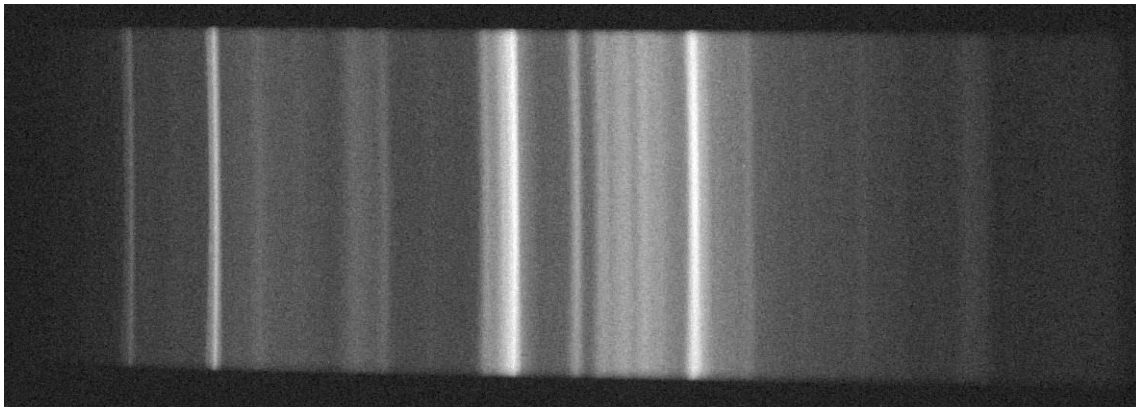
Die Frage ist also: Wie sieht für die genutzten Wellenlängen das Verhältnis aus Nutzlicht und Streulicht aus. Beim Linienfilter wird fast 100% Nutzlicht zusammen mit (aus dem Bauch) 90% Streulichtblockung erzielt. Dadurch der Gewinn. Beim Breitbandfilter wird aber vereinfacht gesagt 50% Durchlass eben erstmal 50% des Nutzlichtes geblockt und vielleicht 70% des Streulichts. Das ist also für Sterne und Galaxien eben nicht sehr effizient, und gerade Galaxien als schwache Objekte leiden dann, weil sie es schwerer haben, die "unterste Wahrnehmungsschwelle" von

CCD/CMOS, Film oder Auge zu überschreiten - also den Schritt von absolut schwarz nach "hier ist etwas nicht ganz so schwarz".

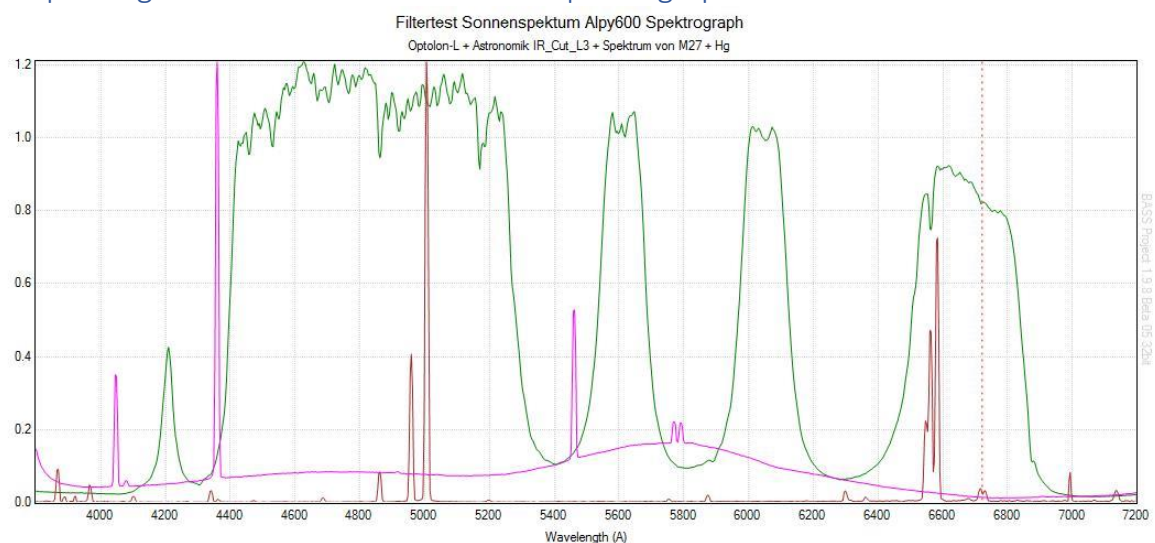
Fazit: Die Wirkung ist bei Gasnebeln mit diskreten Linien, H-alpha, H-beta und OIII am besten. Mit dem Schmalband-Filter nur die z.B. nur die H-alpha Linie durchlassen bringt maximale Wirkung bei Gasnebeln. Bei Sternen bringen sie nichts und bei Galaxien ist die Wirkung von Breitbandfiltern eher kosmetischer Natur.

Berliner Nachthimmel

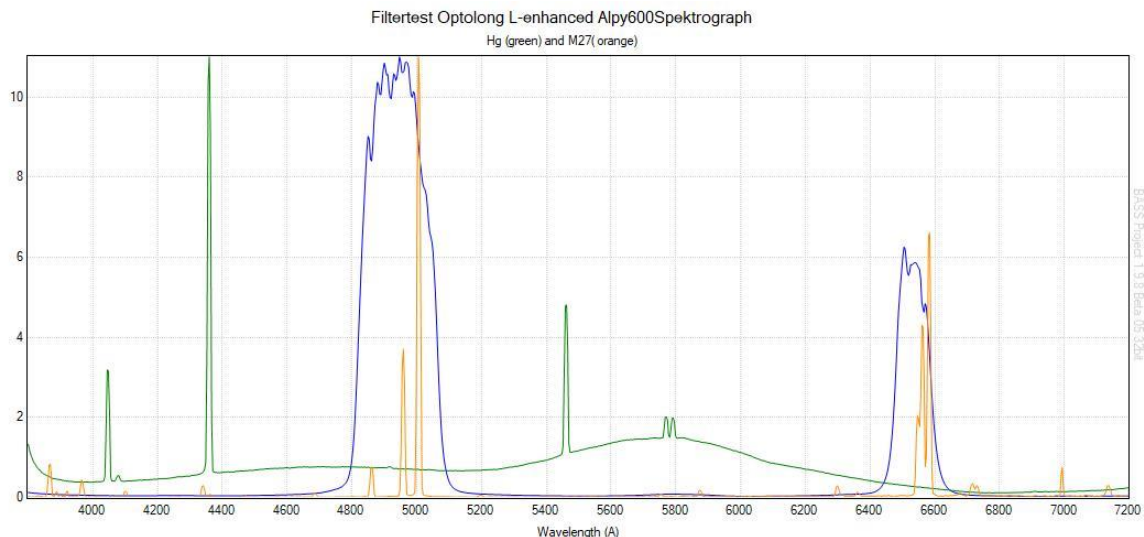
Das Spektrum des Berliner Nachthimmels zeigt vor allem die Linien der Hg-Strassenlampen. Besonders die Linien im Blauen (links) und die Linien im Grünen (Mitte).



Das Optolong-L und -L-enhanced Filter im Spektrographen



Die grüne Kurve ist das Sonnenspektrum gefiltert durch das Optolong-L Filter. Die lila Kurve ist das Spektrum einer Hg Strassenlampe. Die Hg-Linien werden nicht durchgelassen. Die braune Kurve ist das Linienspektrum des Planetarischen Nebel M27. Seine Linien liegen im Durchlassbereich des Filters. Das Filter ist besonders effektiv bei Gasnebeln mit diskreten Linien. Eine normale Galaxie hätte etwa Spektrum der Sonne also entsprechend der grünen Linie.



Beim Optolong-L-enhanced Filter gibt es nur 2 Durchlassbereiche, im grünen und im roten Bereich für die Linien des Gasnebels. Der Kontrast ist sehr viel höher als beim Optolong-L Filter. Bei Galaxien bringt das Filter nichts. Dieses Filter wird auch Dualband Filter genannt.

Bildformate

Frage: Was unterscheidet den Hobby-Knipser vom ambitionierten Fotografen?

Antwort: Das Dateiformat.

RAW: Das Rohdatenformat in der Fotografie

Wenn man im RAW-Format fotografiert, erhält die Kamera alle Bildinformationen, die der Bildsensor aufgenommen hat. Die RAW-Datei des Bildes ist sehr groß, weil sie all diese Informationen beinhaltet. Da die Kamera im RAW-Modus keine „Interpretation“ der Bildinformationen vornimmt, sondern einfach alles abspeichert, muss die RAW-Datei immer im Nachhinein digital „entwickelt“ werden. Sie ist also quasi das digitale Negativ eines Bildes.

JPEG: Joint Photographic Experts Group

Fotografiert man im JPEG-Format, legt die Kamera bei der Speicherung bestimmte Parameter des Bildes fest (z. B. den Weißabgleich). Die kann man im Nachhinein nicht mehr verändern. Diese Festlegung sorgt dafür, dass die Datenmenge deutlich geringer ist. Durch die Kompression der Daten entstehen neben dem Verlust von Bildinformationen manchmal sogenannte Kompressionsartefakte, die in der nachträglichen Bearbeitung noch stärker hervortreten. Das JPEG-Format nur verwenden, wenn die Bilder nicht weiterbearbeitet werden sollen.

PNG: Portable Network Graphic

Das bessere JPEG-Format mit besserer Qualität der Bilder. Hat sich aber nicht durchgesetzt.

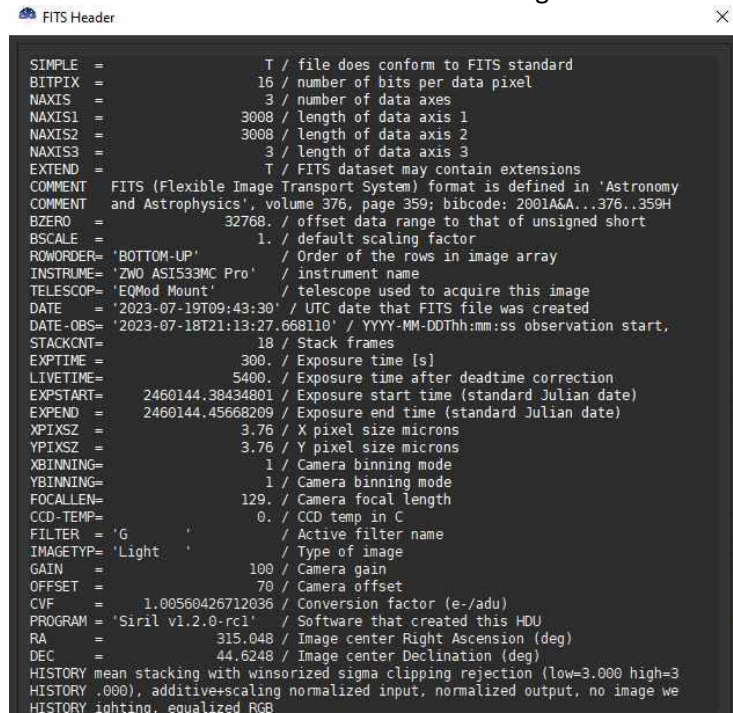
TIFF: Tagged Image File Format

Standard für alle Fotostandard für sämtliche Fotografie-Anwendungen mit der vollen Bildinformation. Auch eine Headerdatei ist vorhanden aber ohne astronomischen Inhalt. Vorschaubilder vorhanden.

FITS: Flexible Image Transport System

Das Aufnahmeprogramm schreibt außer den binären Bilddaten auch noch als Text (ASCII) lesbar, Teleskop, Kameraeinstellungen, Bildgröße, Zeitstempel, Temperatur, Koordinaten des Bildes (Platesolving), Name des Beobachters, Beobachtungsort, verwendete Software usw. Kein

Vorschaubilder. Nur mit astronomischen Programmen zu öffnen, z.B. Fitswork.



```

SIMPLE = T / file does conform to FITS standard
BITPIX = 16 / number of bits per data pixel
NAXIS = 3 / number of data axes
NAXIS1 = 3008 / length of data axis 1
NAXIS2 = 3008 / length of data axis 2
NAXIS3 = 3 / length of data axis 3
EXTEND = T / FITS dataset may contain extensions
COMMENT = FITS (Flexible Image Transport System) format is defined in 'Astronomy
COMMENT = and Astrophysics', volume 376, page 359; bibcode: 2001A&A...376..359H
BZERO = 32768. / offset data range to that of unsigned short
BSCALE = 1. / default scaling factor
ROWORDER= 'BOTTOM-UP' / Order of the rows in image array
INSTRUME= 'ZWO ASI533MC Pro' / instrument name
TELESCOP= 'EQMod Mount' / telescope used to acquire this image
DATE = '2023-07-19T09:43:30' / UTC date that FITS file was created
DATE-OBS= '2023-07-18T21:13:27.668110' / YYYY-MM-DDThh:mm:ss observation start,
STACKCNT= 18 / Stack frames
EXPTIME = 300. / Exposure time [s]
LIVETIME= 5400. / Exposure time after deadtime correction
EXPSTART= 2460144.38434801 / Exposure start time (standard Julian date)
EXPEND = 2460144.45668209 / Exposure end time (standard Julian date)
XPIXSZ = 3.76 / X pixel size microns
YPIXSZ = 3.76 / Y pixel size microns
XBINNING= 1 / Camera binning mode
YBINNING= 1 / Camera binning mode
FOCALLEN= 129. / Camera focal length
CCD-TEMP= 0. / CCD temp in C
FILTER = 'G' / Active filter name
IMAGETYP= 'Light' / Type of image
GAIN = 100 / Camera gain
OFFSET = 70 / Camera offset
CVF = 1.00560426712036 / Conversion factor (e-/adu)
PROGRAM = 'Siril v1.2.0-rc1' / Software that created this HDU
RA = 315.048 / Image center Right Ascension (deg)
DEC = 44.6248 / Image center Declination (deg)
HISTORY mean stacking with winsorized sigma clipping rejection (low=3.000 high=3
HISTORY .000), additive+scaling normalized input, normalized output, no image we
HISTORY iohino, equalized RGB
  
```

Die Bildverarbeitung

Die Bildverarbeitung teilt sich in zwei Teile in die Preprocessing und die Nachbearbeitung.

Was ist Bildbearbeitung?

Anmerkung: Bildbearbeitung kann keine Wunder vollbringen. Die Qualität des Ausgangsmaterial ist entscheidend. Wer bei Mondlicht, Dunst und Lichtverschmutzung Deep Sky Fotos macht nur wenig belichtet, bei ISO 12.000 warmer Sommernacht und dann noch im JPG-Format abspeichert, der muss sich nicht wundern warum das Ergebnis schlecht ist und der hat nichts verstanden.

Was ist nun Bildbearbeitung? Die vorhandenen Informationen, Grauwerte pro Farbkanal anders zu verteilen. Dazu muss die Information auch drin sein durch ausreichende Belichtung.

Es ist ganz wichtig zu verstehen was man da macht. Warum sieht das Bild so aus und was sagen uns die Werkzeuge und Darstellungen des Bildverarbeitungsprogramm ob Siril oder Gimp.

Das Preprocessing

Diese reine Datenreduktion verwendet die Kalibrierungsbilder zur Bildverbesserung. Die Darks werden vom Objektbild subtrahiert ebenso wird vom Flat das Flatdark (hier gleich mit BIAS gesetzt) abgezogen. Das korrigierte Objektbild wird durch das korrigierte Flat dividiert. Auf die kalibrierten Bilder wird die Bayermatrix angewendet (siehe Anhang Debayern), also ein Farbbild generiert. Die gedebayerten kalibrierten Bilder sind sehr grünstichig. Die Bayermatrix hat eine Rot-Grün-Grün-Blau Matrix. Grün ist in der Überzahl. Erst dann folgt die Registrierung. Auf keinen Fall nicht gedebayerte Bilder registrieren und dann debayern. Bei der Registrierung werden die Bilder gegeneinander ausgerichtet (engl. star alignment). Im nächsten Schritt, dem Stacking werden die registrierten Bilder summiert, d.h. Mittelwert oder Median. Das ist dann die reine Datenreduktion. Für wissenschaftliche Anwendungen wie Photometrie und Astrometrie ist hier Schluss.

Die Nachbearbeitung

Ziel der Nachbearbeitung nach dem Preprocessing ist, möglichst viele Details über das Objekt auszuarbeiten. Die Bearbeitung ist nicht nur einfach global über das ganze Bild, sondern teilweise

auch lokal. Damit ändert man die Physik des Objektes. Es gibt einen physikalischen Grund warum das Bild an dieser Stelle diesen Grau- oder Farbwert hat. Die weitere Bearbeitung ist dann „Kunst“. Weitere Nachbearbeitung sind dann Hintergrund-Extraktion, Farbkalibrierung, Histogramm-Transformation (Stretching), Grünstich entfernen, Farbsättigung erhöhen, ggf. Rauschminderung. Dies wird alles mit speziellen Programmen wie Fitswork oder SIRIL durchgeführt. Sie sind kostenlos. Das von vielen Astrofotografen benutzte kostenpflichtige Programm ist PixInsight erfordert eine lange Einarbeitungszeit. Eine Alternative ist Siril.

Bildverarbeitung mit dem Programm Siril

Warum Siril?

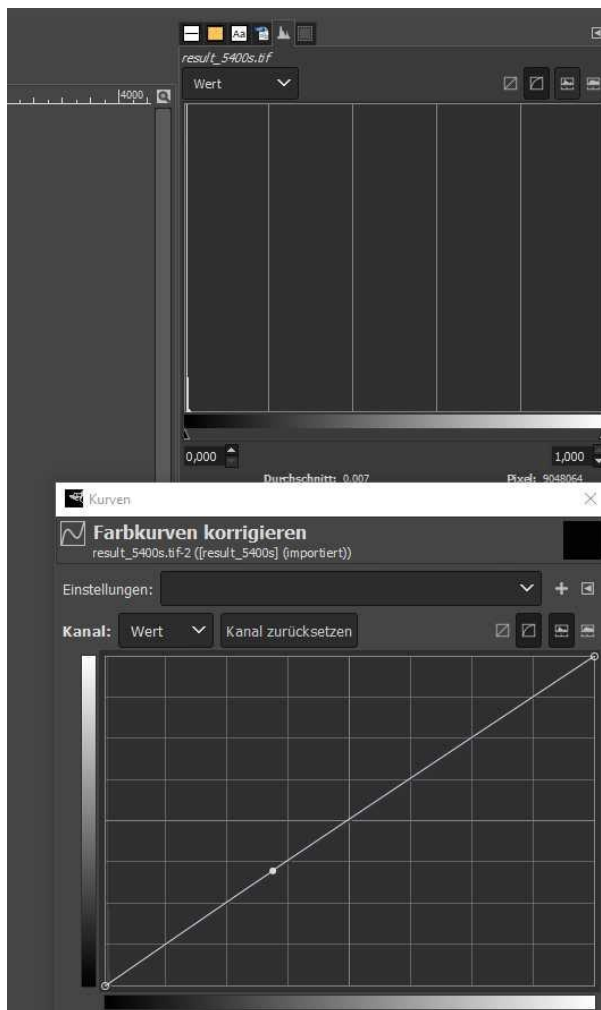
- Kostenlos
- Für alle Plattformen Windows, Linux und Mac
- Anzeigen und Hilfetexte in Deutsch
- Kann photometrische Kalibrierung und Hintergrund-Extraktion
- Überschaubare Anzahl von Anwendungen
- Leicht erlernbar, Skripte zur Bearbeitung
- Schnell

Siril ist ein kostenfreies Programm zur Bildbearbeitung von Astroaufnahmen und den dazugehörigen Kalibrierungsbildern. Es läuft auf den Plattformen Windows, Linux und MacOS. Im weiteren Verlauf betrachten wir nur die Windows-Version. Die Beschriftung des Programms ist in der Sprache der Windowsinstallation, also in unserem Fall deutsch. Aber nicht alle Angaben sind in Deutsch. Es kann [hier](#) heruntergeladen werden. Man kann Bearbeitungsschritte einzeln oder als Skript durchführen. Beim Schritt Photometrische Farb-Kalibrierung ist ein Internet-Zugang nötig. Die Photometrische Farbkalibrierung und die Hintergrund-Extraktion findet man sonst nur in kostenpflichtigen Programmen.

Anmerkung: Bei der Erstellung aller Bilder immer das gleiche Programm verwenden. Fits ist nicht gleich Fits. Summenbilder sogenannte Masterbilder die von anderen Programmen erstellt werden können Probleme machen. Beim Programm SharpCap kann man bei der Aufnahme gleich ein Masterdark und ein Masterflat mit angeben, was man vorher erstellt hat und das Light ist bereits kalibriert.

Das Histogramm

Verteilung der Bildinformation-Häufigkeit wie viele Pixel haben welchen Grauwert. Links ist der Schwarzpunkt und rechts der Gamma-Regler und ganz rechts hier nicht sichtbar der Weißpunkt. Mit einem Histogramm kann man, ohne das Bild zu sehen, beurteilen, wie sich die Tonwerte wie z.B. die Helligkeit auf dem Bild verteilen. Nachträglich lässt sich das Histogramm auch mit einer Grafiksoftware interpretieren und die Helligkeitswerte anpassen. Ist das Bild unterbelichtet ist die Verteilung nach links verschoben. Bei Überbelichtung nach rechts verschoben.



Das Histogramm (hier aus Gimp) eines typischen Astrobildes. Das Bild ist schwarz. Die Bildinformation ist ganz im linken Rand vorhanden. So „sieht“ es die Kamera.

Im Histogramm kann man sich auch die einzelnen Farbkanäle gleichzeitig anzeigen lassen. Hier lassen sich bereits Farbverschiebungen (Farbstiche) erkennen ohne das Bild gesehen zu haben.

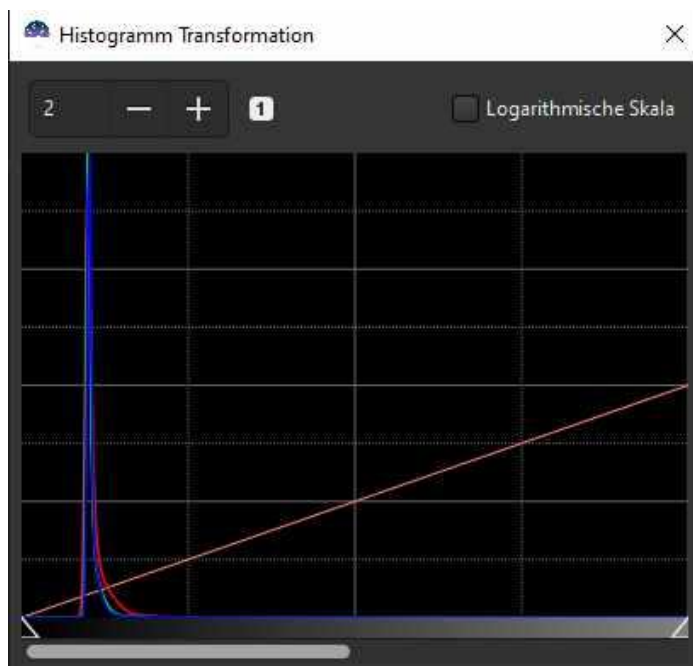
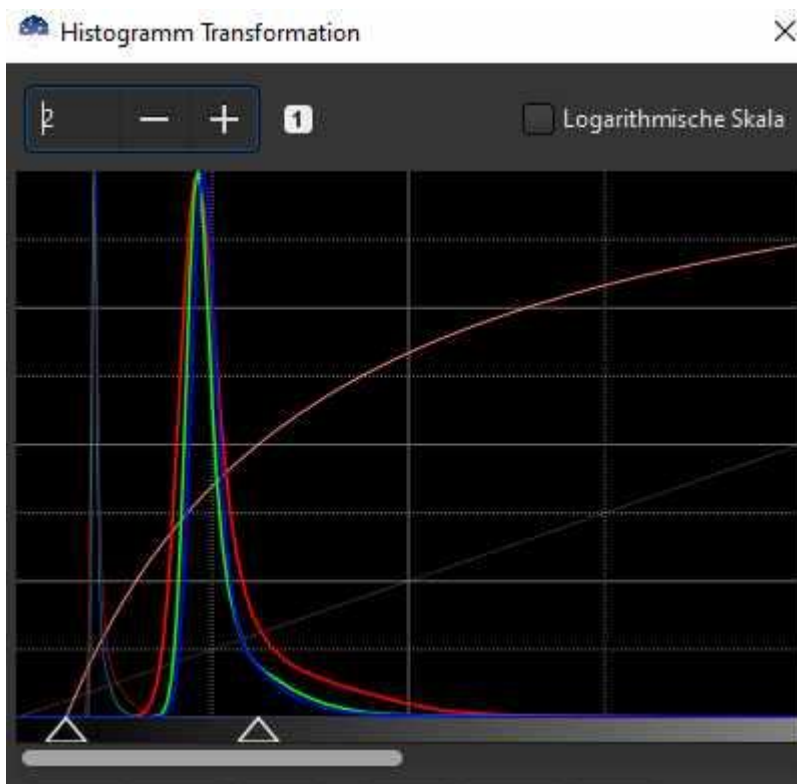
Mit der Histogramm-Transformation müssen wir die Bildinformation mehr in die Mitte bringen. Diesen Vorgang müssen wir mehrfach wiederholen. Die Histogramm-Transformation findet man sowohl in Siril als auch in Gimp.

Stretching (Histogramm-Transformation)

Der wichtigste Schritt in der Bildbearbeitung ist das Stretching. Schaut man sich die Roh-Bilder aus der Kamera, so sind sie meist dunkel und gar nichts zu erkennen. Das sieht die Kamera. Das menschliche Auge und Gehirn ist in der Lage in großen Helligkeitsbereichen, z.B. Sonnenuntergang und Landschaft zu sehen. Das Auge ist ein logarithmischer Empfänger. Es sowohl den Sonnenuntergang als auch die Landschaft sehen. Dies können die Kameras nicht. Ihre „Wahrnehmung“ ist linear. Die normalen Kameras zeigen das Bild in logarithmischer Weise, Input linear und der Output logarithmisch. Das heißt dunkle Bereiche werden stärker differenziert, helle Bereiche weniger stark unterschieden. In der Bildbearbeitung ist das dann die Histogramm Transformation. Die Kalibrierung muss vorher durchgeführt werden, wenn die Bildinformation linear vorliegt.

Schaut man sich das obere Histogramm an, die X-Achse ist der Input und die Y-Achse ist der Output. Die dunklen Bereiche links sind nur gering differenziert. Am Output werden sie aber stark differenziert. Bei helleren Werten weiter rechts ist der Input und der Output Wert gleich.

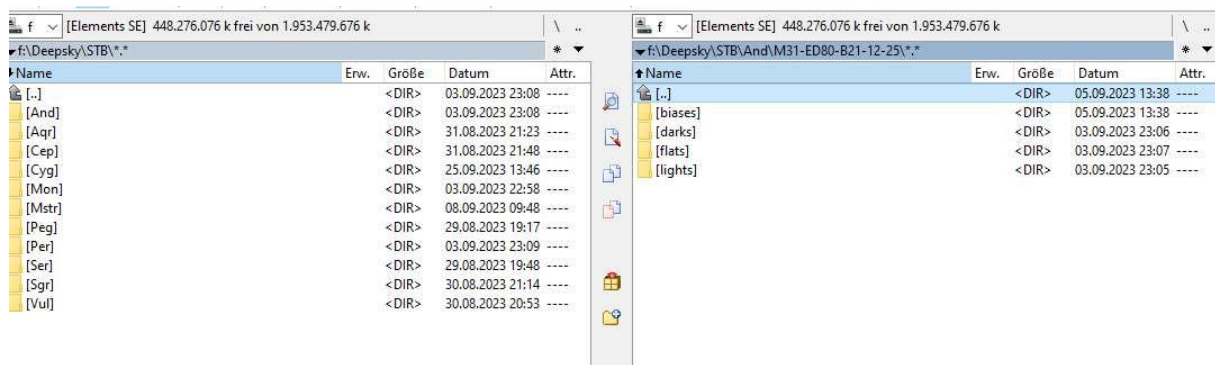
Stretching ist die wohl wichtigste Funktion für Astrobilder. Übertreibt man das Stretching wird das Bild stärker verrauscht und ggf. ruiniert. Untertreibt man das Stretching wird nicht das volle Potential der Aufnahme dargestellt.

Vorher**Nachher****Dateienablage und Bezeichnung**

Man sollte sich früh Gedanken machen, wie man seine Daten ablegt und sie dann auch wieder findet.

Das Wurzelverzeichnis sei „Deepsky“ darunter dann die Sternbilder unter „STB“ dann unter dem Sternbild z.B. And den Ordner anlegen KatalogNr-Teleskop-Ort-Datum.

Beispiel 1: Unter And der Ordner M31-ED60-B21-12-25, den Andromedanebel M31 mit dem 60mm ED-Refraktor in B (Berlin) am 25. Dezember 2021



Beispiel2: Sternbild Cyg (Schwan) NGC6888-RC8-A23-08-16, den Nebel NGC 6888 im Schwan mit 8" RC-Teleskop Ort A (Emberger Alm) am 16. August 2023.

Unter diesem Verzeichnis werden dann die Ordner für flats, darks, lights und biases angelegt. Welche Filter verwendet wurden steht meistens im lights Ordner als txt Datei als CameraSettings.txt. Auch im Fits Header sind Informationen über Kamera und Filter enthalten. Man sollte mal prüfen ob der Fits Header auch richtig befüllt ist.

Prüfung der Bilder und Kalibrierungsbilder

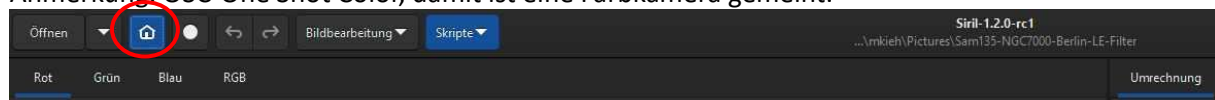
Bevor die Dateien in die Ordner kopiert werden, sollte man mit Fitswork oder einem anderen Fits-Viewer prüfen ob der Inhalt der Dateien wirklich das ist was es sein soll. Die Dateien Darks auch wirklich Darks enthalten und nicht etwa, dass es Biases sind. Das ist ein beliebter Fehler der während der Aufnahme passieren kann. Auch die Lights prüfen, ob die Sterne rund, scharf und ohne Störungen sind und die Rohbilder brauchbar sind. Schlechte Bilder im Voraus aussortieren.

Preprocessing in Siril mit dem Skript per Knopfdruck

Der Ablauf für den Einsteiger mit dem Skript „OSC_Preprocessing“. Setzt voraus, dass die Bilder Biases, Darks, Flats und Lights gemacht worden sind. Dieses Skript ist eine Textdatei, ähnlich wie Skriptdateien von DOS oder Linux und legen die Abarbeitung fest. Sie sind unter:

C:\Programme \Siril\scripts zu finden mit der Endung „.ssf“.

Anmerkung: OSC-One Shot Color, damit ist eine Farbkamera gemeint.



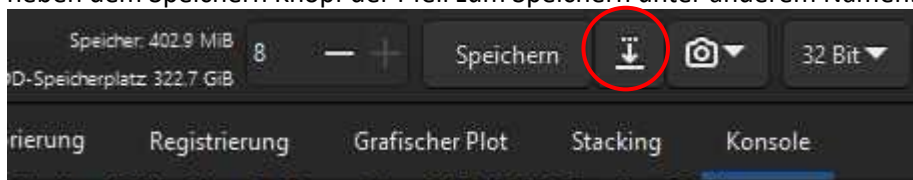
1. Zuerst das Arbeitsverzeichnis festlegen Haussymbol; erstmal wird das Verzeichnis C:\Users\meinName\Pictures angezeigt, wie im obigen Beispiel dargestellt. Man auch jeden Ordner auswählen. Im obigen Beispiel: ...\\Deepsky\STB\And\ M31-ED60-B21-12-25.
2. Unter diesem Arbeitsverzeichnis müssen die Ordner biases, darks, flats und lights angelegt sein.
3. Unter Skripte verwenden wir OSC_Preprocessing. Weitere Skripte können unter dem Hamburger Menü nachgeladen werden, wenn man z.B. keine Darks hat.
4. Starte das Skript und man sieht Siril arbeiten im Konsolefenster rechts.
5. Wenn die Skriptausführung erfolgreich war sehen wir „Befehlsausführung: save_XX:XX:XX: Speichere FITS: Datei ../result_XXXXs.fits, 3 Ebene(n), 3008x3008 Pixel, 16 Bit.
6. Das Ergebnis ist in result_XXXXs.fits XXXX ist die Gesamtbelichtungszeit in Sekunden.
7. Im linken Fenster ist nicht zu sehen. Unter Öffnen die Datei result_XXXXs.fits laden. Das Bild ist sehr dunkel da noch nicht gestretcht wurde. Das Histogramm ist linear. In der untersten Zeile findet man „linear“ voreingestellt. Wir wählen „Histogramm“ aus und es wird angezeigt

was alles im Bild steckt. Geht man auf Auto-Stretch sieht man ein „normales“ Bild. Das ist nur die Darstellung. Hier findet keinerlei Bildbearbeitung statt.

Die Bildbearbeitung – Der Standard-Prozess

Nach dem Preprocessing folgt die Bildbearbeitung des kalibrierten Summenbildes.

1. Der erste Schritt ist das Bild zuschneiden. Die schlechten Ränder entfernen, die durch das Stacking und Dithern entstanden sind. Mit gedrückten linken Maustaste den Ausschnitt wählen. Dann rechte Maustaste „Zuschnitt“ auswählen. Unsaubere Ränder können die nachfolgende „Hintergrund-Extraktion“ sehr stören oder sogar unbrauchbar machen.
2. Der zweite Schritt (optional) ist die Asinh-Transformation damit die Sterne ihre Farbe behalten. Den Streckfaktor-Regler bis auf 20 schieben und den Schwarzpunkt erstmal auf Null lassen und dann Anwenden drücken.
3. Der dritte Schritt ist unter Bildbearbeitung „Hintergrund-Extraktion“, Standardwerte so lassen und „Generiere“ drücken. Es werden die Punkte automatisch gesetzt, die den Hintergrund repräsentieren. Die Punkte sollten nicht da sein wo auch der Nebel ist. Punkte die im Nebel sind lassen sich mit rechter Maustaste-Klick entfernen. Den „Berechne Hintergrund-Gradient“ und schließlich „Anwenden“ drücken.
4. Der vierte Schritt ist die Farbkalibrierung. Wir wählen „photometrische Farb-Kalibrierung“ aus. Hier brauchen wir Internet-Zugang. Hier das Objekt eintragen, z.B. NGC 7000 und suchen drücken. Die Koordinaten werden ermittelt. Der Photometrische Sternkatalog ist NOMAD alternativ auch APASS, wenn es mit NOMAD nicht geht. OK klicken und Konsole ausgaben beobachten. Wenn ohne Fehler auf Schließen drücken. Bei Anzeige-Modus „Auto-Stretch“ sollte ein korrigiertes Farbbild sichtbar sein.
5. Der fünfte Schritt ist unter Bildbearbeitung die Histogramm Transformation (das Stretching). Wir wechseln in den Anzeige-Modus „Linear“. Man sieht das Histogramm rot/grün/blau. Die meiste Bildinformation ist ganz links im dunklen Bereich. Die Transformationskurve ist hellrot und ist noch linear. Der Schieber links ist der Schwarzpunkt. Er sollte nie Null sein aber auch nicht in das Histogramm reinragen sonst verlieren wir Bildinformation. Der Schieber rechts ist das Gamma, der Kontrast. Ganz rechts außen ist noch der Weißpunkt. Den nicht verändern. Wir schieben den Gammaschieber nach links und die Transformationskurve ist nicht mehr linear. Dunkle Werte stärker hervorgehoben und helle Werte rechts gedämpft. Der Nebel wird sichtbar. Noch den Schwarzpunkt nach rechts verschieben und wieder den Gammaschieber nach links bis die Nebel gut sichtbar ist und dann auf Anwenden drücken. Das Bild links sieht dem „Auto-Stretch“ immer ähnlicher. Vorgang wiederholen. Aufpassen das den Clip % Werte immer nahe Null sind sonst gehen Bildinformationen verloren. Der Anzeige-Modus ist immer noch linear. Das Bild wurde jetzt so gestretcht das die Bildinformation voll sichtbar sind. Dann Schließen. Um diesen Arbeitsschritt zu speichern ist neben dem Speichern Knopf der Pfeil zum Speichern unter anderem Namen.



6. Der sechste Schritt Grünrauschen entfernen.
7. Der siebente Schritt die Farbsättigung erhöhen. Stärkeregler nach rechts auf 0,50 und Hintergrundfaktor nach links auf 0,25 und auf Anwenden klicken.

8. Der achte Schritt ist die Rauschminderung. Die Kosmetische Korrektur "Salz und Pfeffer" Als Salz sind die Hotpixel und als Pfeffer die Blackpixel gemeint.
9. Dann das Bild unter Speicher unter

Damit ist das Bild fertig als Standardprozess für den Einsteiger. Die Endbearbeitung dann mit Gimp.

Die Bildbearbeitung als Waschzettel zusammengefasst:

- Zuschneiden (engl. crop)
- Asinh-Transformation
- Hintergrund-Extraktion
- Photometrische Farbkalibrierung
- Histogramm Transformation
- Grünrauschen entfernen
- Farbsättigung erhöhen
- Rauschminderung (Salz und Pfeffer)
- Das Bild drehen oder spiegeln unter dem Menüpunkt „Geometrie“

Nachladen von Skripten

Skripte können über das „Hamburger Menu“ nachgeladen werden. Infos dazu unter:

<https://siril.readthedocs.io/de/stable/Scripts.html#getting-more-scripts>

Sie sind in einem Gitlab-Verzeichnis abgelegt.

https://gitlab.com/free-astro/siril-scripts/-/tree/main/preprocessing?ref_type=heads

Auf das Skript klicken und auf den „Pfeil unten“ Button klicken.

Das Skript unter Programme\Siril\scripts kopieren. Anschließend Siril neu starten oder in der Befehlszeile von Siril „reloadscripts“ eingeben. Die Skripte kann man auch selber bauen.

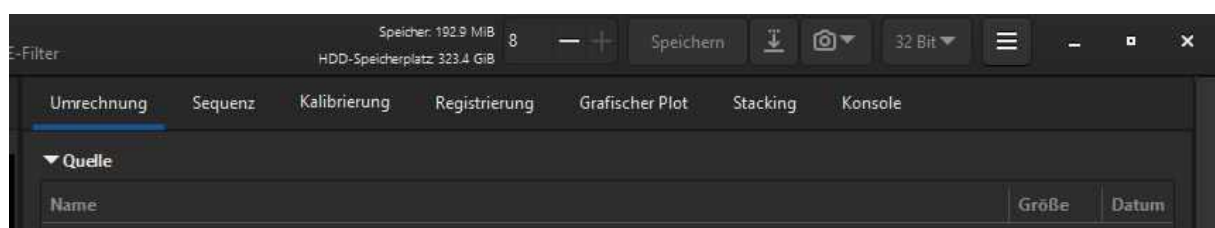
Beispiele:

OSC_Processing_withoutDBF: Ohne Darks, Biases und Flats

OSC_Processing_withoutFlat: Ohne Flats

Kalibrieren, Registrieren und Stacking ohne Skript durchführen

Siril arbeitet mit Sequenzen. Eine Sequenz ist eine Liste von Bildern die abgearbeitet werden. Das was in den Reitern „Umrechnung (=Sequenz anlegen), Kalibrierung, Registrieren und Stacking“ steht, wird von den Skripten automatisch gemacht.



Die Reiter für die das Preprocessing:

Umrechnung/Umwandeln heißt Generierung einer Sequenz, die Siril braucht, auch wenn die Bilder bereits im Fits-Format vorliegen. Liegen die Bilder im RAW-Format vor, werden sie in das Fits-Format umgewandelt.

Sequenz-Die Bilder werden in Sequenzen bearbeitet. Es muss ein Name vergeben werden z.B. darks.seq. Außerdem kann man sehen welche Bildsequenz aktuell bearbeitet wird.

Kalibrierung – Hier werden die Bilder für die Kalibration kombiniert. Die Ausgabe-Sequenz heißt dann pp_ für preprocessed. Nicht vergessen vor dem Speichern die Bilder Debayern Haken setzen. Nur gedebayerte Bilder können registriert werden.

Registrierung-Die kalibrierten und gedebayerten Lights werden ausgerichtet, die Registrierungsmethode ist standardmäßig Allgemeine Stern-Ausrichtung. Der Dateiname bekommt noch „r_“ dazu für Registrierung.

Stacking-Die registrierten Bilder werden gestackt. Stacking-Methode ist standardmäßig das Median-Stacking.

Die Arbeitsschritte:**Masterbias erzeugen**

Auf den Reiter Umrechnen klicken und auf das „+“ Symbol und mit „Str A“ alle Bias Dateien markieren und mit „ add“ laden und dann einen Namen für die Sequenz vergeben „ bias.seq „ Häkchen bei Symbolischer Link gesetzt, und kein Häkchen bei Debayern. Auf Umwandeln drücken. Links im Anzeigefenster ist das erste Bias Datei angezeigt. Rechts im Konsole Fenster nachschauen ob alle Dateien gelesen wurden. Dann wechseln wir zum Stacking Reiter wählen die Stacking Methode „Median-Stacking“ aus. Normalisierung =Keine Normalisierung. Keine Normalisierung bei Bias und Darks.

Masterdark erzeugen

Auf den Reiter Umrechnung gehen. Die Bias Dateien mit dem „<x|“ löschen und die Darks laden und analog zu den Bias bearbeiten und den Namen Masterdark vergeben.

Flats kalibrieren

Wieder auf Umrechnen gehen und die Dark Dateien löschen und die Flats laden und den Namen flats.seq vergeben. Wir wechseln zum Reiter Kalibrierung. Bei Bildkalibrierung setzen wir bei Bias nutzen ein Häkchen und tragen den Namen Masterbias.fit ein. Es soll ja nur das Masterbias vom Masterflat abgezogen werden. Keine Haken bei vor dem Speichern kalibrieren. Der Dateiname bekommt den Prefix „pp_“ für preprocessed. Kein Häkchen bei „Vor dem Speichern die Bilder Debayern“. Bildkalibrierung starten.

Masterflat erzeugen

Auf den Reiter Stacking klicken. Stacking-Methode = Median-Stacking. Normalisierung „Multiplikativ“ und setzen und den Namen Masterflat vergeben.

Lights kalibrieren

Wieder in Umrechnung, die Flat Dateien löschen und die Lights laden und Namen vergeben lights.seq. Von den Lights ziehen wir das Masterdark ab. Da das Bias auch im Masterdark ist, wird es mit abgezogen und muss nicht angekreuzt werden. Das Masterflat ist bereits vom Bias korrigiert. CFA ausgleichen ankreuzen. Jetzt Häkchen bei „Vor dem Speichern die Bilder Debayern“ setzen.

Kalibrierte Lights stacken

Auf den Reiter Stacking gehen. Stacking-Methode = Median-Stacking. Normalisierung „Additiv mit Skalierung“ und den Namen Masterlight vergeben.

Damit ist das manuelle Preprocessing abgeschlossen und es geht dann weiter mit der Bildbearbeitung wie beim Skript.

Zusammenfassung der Schritte

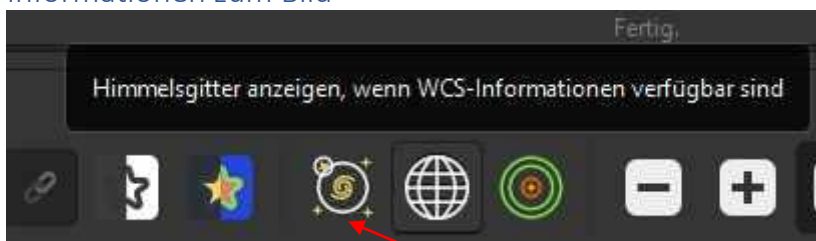
Preprocessing:

- Bias umwandeln und stacken (ohne Normalisierung) -> Masterbias
- Flats umwandeln, mit dem Masterbias kalibrieren und stacken (Normalisierung multiplikativ) -> Masterflat
- Darks umwandeln und stacken wie die Biases -> Masterdark
- Lights umwandeln, Lights kalibrieren mit Masterdark und Masterflat und Debayern Häkchen setzen.
- Lights registrieren (Bilder mit Hilfe der Sterne aufeinander Ausrichten)
- Lights stacken mit additiv mit Skalierung -> Fertiges Masterlight (result_xxxx.fits)

Bildbearbeitung wie beim Skript:

- Zuschneiden (engl. crop)
- Asinh Transformation
- Hintergrund-Extraktion
- Farbkalibrierung
- Histogramm Transformation
- Grünrauschen entfernen
- Farbsättigung erhöhen
- Rauschminderung (Salz und Pfeffer)
- Das Bild drehen oder spiegeln unter dem Menüpunkt „Geometrie“

Informationen zum Bild



Beim Klick auf das Symbol mit der Galaxie im Kreis werden die Katalog-Nummern der Objekte und Namen angezeigt.



Beim Klick auf das Koordinaten-Symbol werden die Koordinaten-Gitter eingeblendet. Wenn man das abspeichern möchte dann auf das Kamera-Symbol oberste Zeile ganz rechts.



Fortgeschrittene Bildbearbeitung

Sterne entfernen

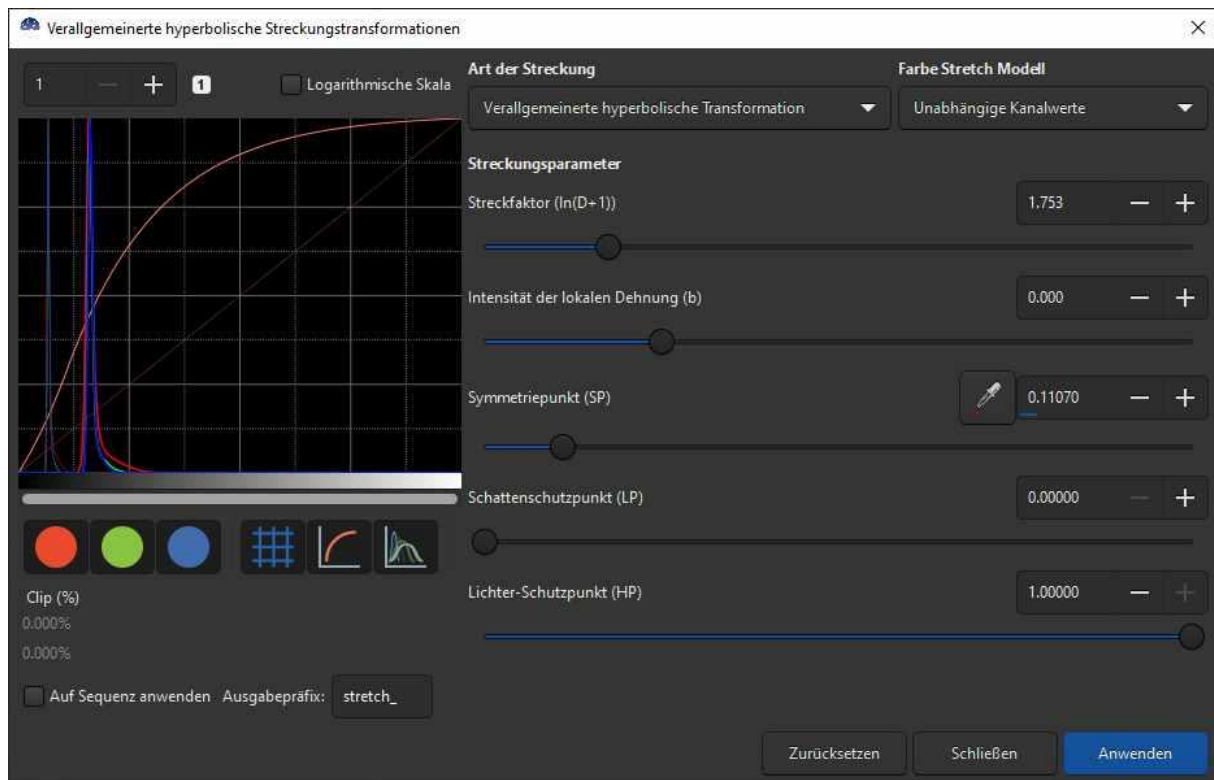
Warum Sterne entfernen? Beim Stretching werden die Sterne vergrößert. Es macht Sinn Sterne und Nebel getrennt zu behandeln. Dazu müssen die Sterne entfernt werden.

Dazu muss das „Unterprogramm“ Starnet (*StarNetv2CLI_Win*) installiert werden. Starnet CLI (Command Line Tool !) runterladen auf <https://www.starnetastro.com/download/>. Entpacken in einen beliebigen Ordner. In Siril unter Hamburger Menü in Einstellungen gehen, dann ganz unten auf "Verschiedenes" und dort unter Software-Speicherort den Ort wo die Exe-Datei von Starnet zu finden ist. Am Bild wurden folgende Schritte bereits durchgeführt, Zuschneiden, Hintergrund-Extraktion und photometrische Kalibrierung. Der Anzeige-Modus ist linear

Unter dem Menüpunkt Sternbearbeitung-> Starnet Sternentfernung auswählen. Lineare Bild vordehnen ankreuzen. Das dauert... Es wird eine Datei mit dem Zusatz starless_... erzeugt.

Hyperbolische Streckungstransformation

Die Verallgemeinerte hyperbolische Streckungstransformation (GHS). Damit lassen sich besonders schwache Nebelbereiche durch Stretching hervorheben. Allerdings steigt dadurch das Rauschen und ist nur bei langer Gesamtbelichtungszeit erfolgreich. Sonst tut es auch die Histogramm-Transformation.



Durch einen Rahmen im Bild und der Pipette bei Symmetriepunkt wird der Bereich ausgewählt, der besonders hervorgehoben werden soll.

Stretching der Sternmaske

Die Sternmaske hat Zusatz „starmask_...“ und wird nun geladen. Auf die Sterne wird nun die Asinh-Transformation angewendet und abgespeichert.

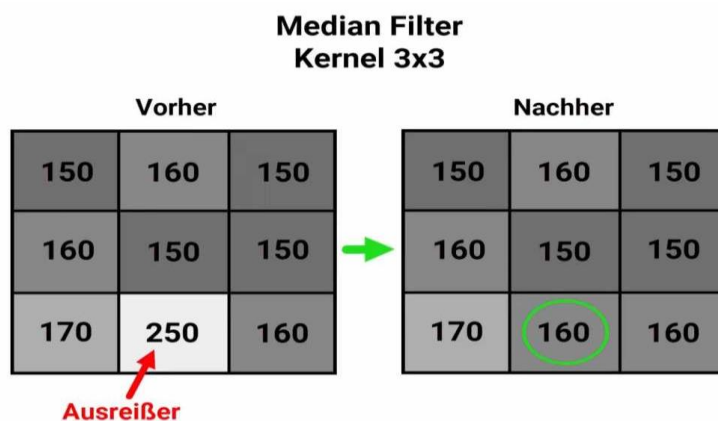
Kombination der beiden Bilder in Gimp

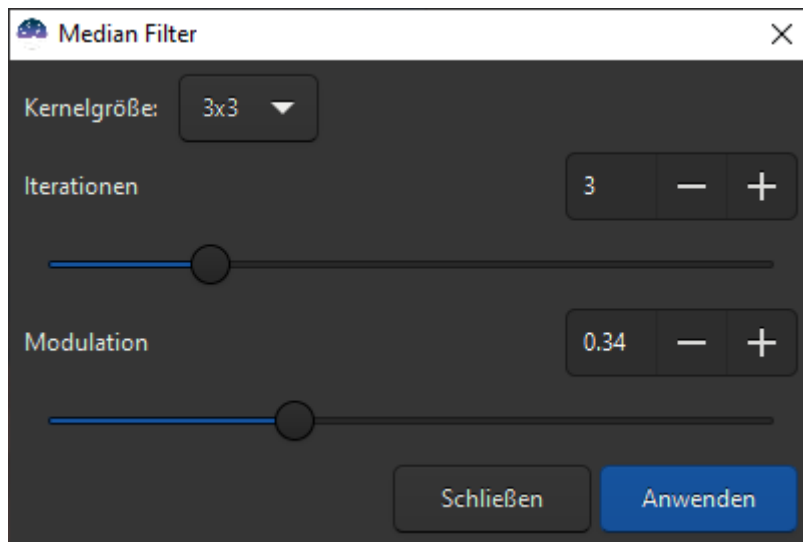
Wir öffnen Gimp und laden die beiden Bilder als Ebenen. Im Abschnitt über Gimp geht es dann weiter.

Sterne und Hintergrund parallel bearbeiten

Im Menüpunkt Sternbearbeitung->Stern-Neuzusammensetzung dann der Hintergrund und die Sterne parallel gestreckt werden. Durch ein Rechteckauswahl im Bild kann ein Symmetriepunkt mit der Pipette gesetzt werden und die GHS-Transformation. Nach dem man Anwenden gedrückt wurde, gibt kein „Zurück mehr“. Die Alternative ist die Kombination der Bilder in Gimp.

Rauschreduktion mit Median-Filter





Iteration=Anzahl der Durchläufe, Modulation=Stärke von 0 -1

Sehr nützlich bei sternlosen Bildern.

Deconvolution

Die Dekonvolution oder Entfaltung ist ein mathematisches Werkzeug, um Unschärfe- oder Verzerrungseffekte in einem Bild zu kompensieren. Die wahre Szene ist nicht das, was auf dem Sensor aufgezeichnet wird – Man nimmt eine Schätzung der wahren Szene auf, die von einer PSF (Point Spread Function) gefaltet wird (mathematisch ausgedrückt, die "unscharfe PSF", die atmosphärischen Verzerrungen, physikalische Eigenschaften des Teleskops, Bewegungsunschärfe usw. repräsentiert und die Aufnahme verschlechtert). Die Entfaltung kann diese Bildverschlechterung bis zu einem gewissen Grad rückgängig machen. Der Zugriff auf die Entfaltung erfolgt über das Menü Bildverarbeitung oder über Siril-Befehle.

Kometen mit Siril bearbeiten

Beim Stacken von Kometenbildern bewegt sich der Komet während der Aufnahmeserie und erscheint verwaschen im Summenbild, während die Sterne punktförmig sind. Die Bilder wurden nach den Sternen registriert. Wird auf den Kometen registriert, sind die Sterne verzogen. Wenn man ein Gesamtbild von punktförmigen Sternen im Hintergrund und einen gestackten Kometen, sind zwei getrennte Registrierungen und Stacking nötig. Wie gehabt liegen die Bilder und die Kalibrierungsbilder in den Ordnern vor. Um den Arbeitsablauf zu testen sollte man mit 20-30 Bildern den Ablauf ausprobieren. Wichtig ist die Zwischenergebnisse nach ihrem Inhalt zu benennen.

1. Zuerst werden die Bilder auf die Sterne ausgerichtet und gestackt. Der Stern-stack. Dazu kann man die Skripte verwenden, die das Median-Stacking verwenden.
2. Dann werden die Bilder auf den Kometen ausgerichtet und gestackt. Dazu nimmt man die `preprocessed lights` vom Stern-stack, die `pp_lights_XXXX` heißen und eine Sequenz erstellt, Name ist `kometen-stack`. Nach der Umrechnung erfolgt die Registrierung. Es wird die Registrier-Methode „Kometen/Asteroiden-Registrierung“ ausgewählt. Die Position des Kometenkopfs muss in zwei Bildern markiert werden. Dazu wechselt man in die Sequenz zu „Bilderliste öffnen, das letzte Bild ausgewählt und den Haken bei „Referenzbild“ setzen. Dann zum ersten Bild scrollen und anklicken. Bilderliste wieder schließen. Linke Maustaste und Strg-Taste gleichzeitig gedrückt halten, kann man sich im Bild bewegen. Mit der Rolltaste und der Strg-Taste gleichzeitig gedrückt halten kann man in das Bild zoomen. Mit der linken Maustaste einen Rahmen um den Kometenkopf ziehen und zentrieren. Dann zu „Registrierung“ wechseln auf „Wähle Objekt in #1“ drücken und die Bildkoordinaten werden angezeigt. Dann wieder Bilderliste öffnen und das letzte Bild der Sequenz auswählen und die Prozedur für Objekt #2 wiederholen. Dann „Führe Registrierung aus“ drücken.
3. Dann wechseln zum „Stacking“ als Stacking-Methode wird „Durchschnittswert-Stacking mit Ausschluss“ gewählt. Beim Pixelausschluss wird „LinearFitClipping“ ausgewählt. Linear niedrig mit 2.000 und Linear hoch mit 6.000 sind Toleranzwerte. Hier nur als Vorschlag muss ggf. angepasst werden. Dann noch einen Namen (`kometen-stack`) vergeben und „Starte Stacking“ drücken.
4. Achtung: Prüfen ob eines der beiden Bilder gespiegelt ist.
5. Das Ergebnis `kometen-stack.fit` und `sterne-stack.fit` kommen in „Umrechnung“ in eine neue Sequenz mit den Namen „sterne+kometen“.
6. Der Zuschnitt: Die „schlechten Ränder entfernen, da sie nicht gut für die Hintergrund-Extraktion sind. Der Zuschnitt-Bereich wird markiert und dann das Häkchen bei „auf Sequenz anwenden“ geklickt. Beide Bilder haben dann den gleichen Zuschnitt. Dem Dateinamen ist „cropped_“.
7. Beide Bilder unter neuem Namen abspeichern. Das fast sternlose Summenbild des Kometen in der Sequenz als `komet-summe.fit` speichern. Das andere Bild als `sterne-summe-komet.fit` abspeichern.
8. Hintergrund-Extraktion und Histogramm-Transformation an Beiden getrennt durchführen.
9. Sterne entfernen: Vom `sterne-summe-komet.fit` werden die „Sterne entfernt“ --> `starless-sterne-stack`. Das brauchen wir später um den verwaschenen Kometen aus dem `sterne-stack` zu entfernen.
10. Wir haben drei Bilder: den Stern-Stack (`sterne-stack`) mit dem verwaschenen Kometen, das Bild mit dem verwaschenen Kometen ohne Sterne (`starless-sterne-stack`) und das Bild mit Kometen (fast) ohne Sternspuren (`kometen-stack`). Diese Bilder werden ins TIF-Format umgewandelt und in Gimp weiterbearbeitet.

11. Eine andere Methode für den Kometen-Stack ist, die pp_lights als Sequenz zu nehmen und dann die Sterne entfernen für die gesamte Sequenz und sie erst danach stacken. Das ist sehr zeitaufwendig, 80 Bilder mit 16MB Pixel ca. 5 Stunden!

Kometen weiter mit Gimp bearbeiten

Der Sternen-Stack wird als Ebene in Gimp geladen und auch der verwaschene Komet ohne Sterne. In der Ebene-Liste steht zuerst der verwaschene Komet ohne Sterne und in der tieferen Ebene der Sternenstack mit verwaschenen Kometen. Dann im Modus bei „normal“ auf den Pfeil drücken und „abziehen“ auswählen. Der Komet ist weg und der Himmelshintergrund ist schwarz. Die Ebenen werden nach unten vereint.

Nun wird der sternlose, aber nicht verwaschene Komet als Ebene geladen. Im Modus entweder „Bildschirm“, ist aber sehr hart, oder „Nur Luma/Leuchtkraft“ aufhellen auswählen. Als Ergebnis einen Sternenhintergrund und einen Summenkometenbild.

Bildverarbeitung mit GIMP

Für die finale Bildbearbeitung nutzen wir Gimp. Es ist kostenlos und für alle drei Betriebssysteme verfügbar. Es wird nur der Teil von Gimp vorgestellt, der zu der finalen Bearbeitung von Astrofotos nötig ist. Es gibt natürlich Überlappungen zwischen Gimp und Siril. Was Gimp nicht kann ist das Preprocessing, die photometrische Farbkalibrierung und die Hintergrund-Extraktion. Alles andere kann auch Gimp. Hier findet man das Online [Gimp-Handbuch](#) in Deutsch.

Die Verarbeitung sieht dann wie folgt aus:

Siril:

Preprocessing, Asinh-Transformation, Hintergrund-Extraktion, Photometrische Farbkalibrierung, Histogramm-Transformation, Grünstich entfernen und Farbsättigung.

Gimp:

Hier gibt es Überlappungen, Histogramm-Transformation, Farbsättigung, Geometrie, Zuschchnitt und das Arbeiten mit Ebenen und Masken wie bei den Kometen. Das Zusammenführen Sternen und Nebeln die getrennt bearbeitet wurden.

Einstellungen der Gimp Umgebung

Docks sind Funktionsbereiche. Ein Dock ist ein Container in dem frei verschiebbaren Fenster angedockt werden, als Dialoge bezeichnet.

Rechts alle andockbaren Dialoge, Werkzeug Einstellungen links, Ebenen rechts

Das Histogramm permanent anzeigen: Fenster->andockbare Dialoge Histogramm auswählen.

Die Ebenen permanent anzeigen: Fenster->andockbare Dialoge Ebenen auswählen.

Zurücksetzen auf Standardeinstellungen Einstellungen->Fensterverwaltung auf Standardwerte setzen

Speichern der Einstellungen.

Gimp Kommandos

- Schritt rückgängig machen mit Strg Z
- Schritt wiederholen mit Strg Y
- Speichern des Bildes im eigenen Gimp-Format unter Speichern
- Speichern in einem anderen Format wie z.B. Tiff mit „Exportieren nach..“ auswählen
- Pipette zur Helligkeitsmessung Strg-Taste und linke Maustaste

Gimp Werkzeuge und Anzeige

- Farben-> Werte: Farbwerte anpassen
- Farben->Kurven: Farbkurven (+ Farbwerte anpassen) = Histogramm-Transformation
- Farbsättigung unter Farben-> Farbton-Buntheit
- Filter -> Verbessern -> Rauschreduktion
- Filter- > Weichzeichner
- Bild drehen/spiegeln mit Transformation
- Bildgröße zu ändern mit Skalieren

Ebenen

Ebenen sind ein wichtiges Werkzeug zum Erstellen komplexer Grafiken mit Gimp und können wie einzelne übereinander liegende Bilder verstanden werden. Zum Beispiel in einer Ebene ist das Bild und in der anderen Ebenen eine Beschriftung des Bildes. Die Ebenen permanent anzeigen: Fenster->andockbare Dialoge Ebenen auswählen. Bei „Datei öffnen“ kann man gleich „als Ebene öffnen“ anwählen. Wenn die Arbeiten mit Ebenen abgeschlossen sind, müssen die Ebenen „nach unten“ vereinigt werden bevor das Ergebnis gespeichert wird.

Alphakanal

Der Alphakanal in Gimp kann als eigene Ebene verstanden werden, die in der Lage ist, statt der eigentlichen Bildpixel, Werte für die Durchsichtigkeit der darüberliegenden Bildpixel zu "speichern". Bilder und Fotos können dadurch transparent gestaltet und bearbeitet werden

Masken

Masken sind ein leistungsfähiges Werkzeug, wenn man aufwändige und hochwertige Bildbearbeitungen erstellen möchten. Masken können auswählen oder schützen, wie z.B. eine Sternmaske.

Mit Ebenen arbeiten

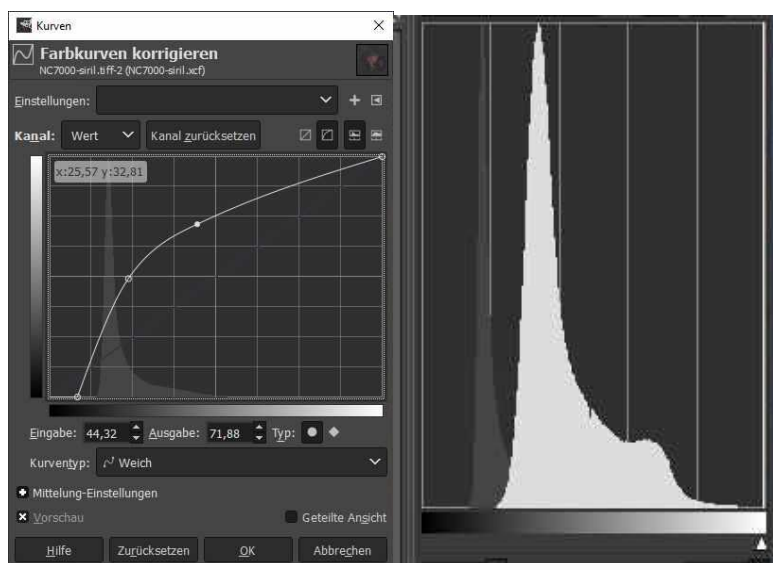
- Sterne und Nebel trennen, den Nebel bearbeiten ohne Sterne und hinterher die Sterne wieder hinzufügen.
- Kometen bearbeiten wie weiter oben beschrieben.

Stretching: Histogramm-Transformation

Stretching ist die wohl wichtigste Funktion für Astrobilder. Übertreibt man das Stretching wird das Bild stärker verrauscht und ggf. ruiniert. Untertreibt man das Stretching wird nicht das volle Potential der Aufnahme dargestellt.

Die Histogramm Anzeige rechts oben im Bild mit Fenster->Andockbare Dialog->Histogramm. Das ist nur die Anzeige, ändern kann man da nichts.

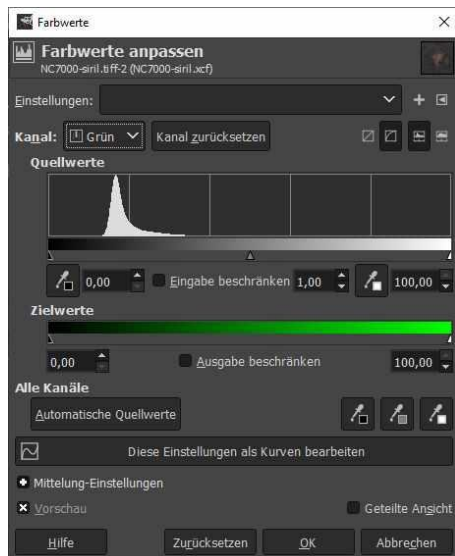
Farben->Kurven: Farbkurven Histogramm



Hilfreich ist die geteilte Ansicht das Häkchen setzen.

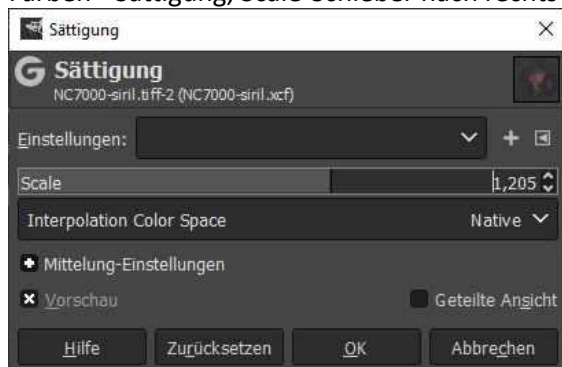
Farbanpassung

Farben-> Werte (Farbanpassung). Z.B. Entfernung des Grüntichs. Alle drei Farbkanäle liegen übereinander. Mit dem linken Schieber bei Farbkurven korrigieren kann man den Kontrast wieder erhöhen.



Farbsättigung

Farben->Sättigung, Scale-Schieber nach rechts schieben.



Farbtemperatur

Farben->Farbtemperatur zur Einstellung verschiedener Anzeigen, „kälter“ oder „wärmer“ für Monitore, Beamer etc.

Sterne verkleinern und die Nebel kommen besser raus

Werkzeuge->Auswahlwerkzeuge->Nach Farbe auswählen. Linke Spalte Schwellwert < 50, Zoom in mit Strg-Taste gedrückt halten und Mausrad drehen, Stern selektieren

<https://www.youtube.com/watch?v=-krNOMY-L3Q>

Rauschminderung

Ein kostenloses Programm zur Rauchminderung nicht nur für Astrofotografie gibt es für alle Plattformen [RawTherapee](https://rawtherapee.com/). Es ist ein eigenständiges Programm und nicht Teil von Gimp. Muss zusätzlich installiert werden.

Schärfung

Blaue Halos um Sterne entfernen

Ältere Objektive aus der analogen Welt oder nur achromatische Objektive zeigen blaue Höfe um die Sterne. Mit einem Plug-In für Gimp kann man das korrigieren. Plug-In für Gimp installieren

<https://gmic.eu/download.html>

Im Menü Filter->G'MIC-Qt.. auswählen. Ein neues Fenster öffnet sich. Das Fenster auf Vollbild erweitern. Im Suchfeld „unpu“ eintragen dann Repair-Unpurple auswählen. In der Mitte sind noch Einstellungen möglich. In der unteren Fenstermitte ist noch ein Schieberegler um die Einstellungen besser zusehen. Auf „Anwenden“ klicken und mit „Ok“ beenden.

<https://www.youtube.com/watch?v=uh05MKo9J2s>

Sternmaske und Nebel zusammenführen

Hintergrund Gradienten entfernen

<https://www.astro-fotos.com/anleitungen/bildbearbeitung.html>

Synthetisches Flat erstellen

Wurden die Flats vergessen oder sie passen einfach nicht, lässt sich mit einem künstlichen Flat das Bild verbessern. Es wird die Vignettierung, die Donuts und Gradienten im Bild minimiert. Das Bild liegt im TIFF-Format vor und wird in Gimp geladen. Die vorgestellte Methode funktioniert auch mit anderen Programmen mit den gleichen Werkzeugen wie bei Gimp. Die Idee ist hierbei ein unscharfes Bild vom Original als Ebene zu erzeugen, es ggf. manuell nachbearbeiten und dann vom Original abziehen. Die „Deckkraft“ nicht auf 100% sonst wird der Hintergrund schwarz.

<https://www.youtube.com/watch?v=a1QUk-t8IW4>

<https://www.astro-fotos.com/anleitungen/bildbearbeitung.html>

Skripte in Gimp laden

Astro-Tools laden

Das Skript Astro-Tools_de.scn herunterladen und dabei darauf achten, dass die Dateierweiterung .scn erhalten bleibt. Firefox macht das richtig, aber andere Browser ändern die Endung gerne auf .txt. Im Zweifelsfall einfach die Datei umbenennen.

Dann muss das heruntergeladene Skript in den GIMP-Ordner für Plugin-Skripte gelegt werden. Es gibt einen solchen Ordner pro Benutzer, sowie einen systemweiten Ordner, wenn die Astro-Tools für alle Benutzer installiert werden sollen. Wo genau GIMP die Plugin-Skripte erwartet, findet man in Gimp unter Bearbeiten -> Einstellungen -> Ordner -> Skripte heraus.

Unter Windows ist das normalerweise

C:\Users\<Name>\AppData\Roaming\GIMP\2.10\scripts

Unter Linux

/home/<Name>/.config/GIMP/2.10/scripts

Nachdem das Skript heruntergeladen und in dem passenden Ordner abgelegt wurde, muss GIMP gestartet werden, oder die Konfiguration mit Filter -> Skript-Fu -> Skripte Auffrischen neu geladen werden. Dann sollten die Astro-Tools Aktionen im Menü unter Filter -> Astro auftauchen.

Anhang

Im Anhang sind zusätzliche Informationen zur Vertiefung zu verschiedenen Themen.

Aufnahme mit feststehender Kamera auf dem Stativ

Die Kamera kommt auf ein stabiles Stativ. In der Stadt dürfte die maximale Belichtungszeit in einer mondlosen Nacht bei ISO 200 30 Sekunden betragen. Dann sind die Sterne schon zu Strichen verzogen. Die maximale Belichtungszeit ohne Nachführung hängt von der Pixelgröße, der Brennweite und der Deklination ab.

Die Deep-Sky-Fotografie mit langen Brennweiten lässt sich ohne Nachführung natürlich nicht realisieren. Dafür aber beispielsweise Aufnahmen der Milchstraße, die mit unzähligen Nebeln,

Dunkelwolken und Sternhaufen geschmückt sind. Für ein ästhetisches Bild sollten die Sternstrichspuren dabei nicht zu lang werden. Die Länge der Sternspuren auf einem Bild hängt von mehreren Faktoren ab. Sie lässt sich mit der folgenden Abschätzungsformel leicht in Pixeln ausrechnen:

$$\text{Spurlänge in Pixeln} = 0,0727 * f * t * \cos(\delta) p$$

Dabei sind f die Brennweite in mm, t die Belichtungszeit in Sekunden, δ die Deklination des Objekts in Grad und p die Größe der Pixel in μm . Strichspuren sind nah am Himmelsäquator am längsten, hier ist die Deklination 0° und der Kosinus ergibt 1.

Die richtige Belichtungszeit

Möchte man beispielsweise das Sternbild Schütze mit einem 35mm Objektiv und $5\mu\text{m}$ großen Pixeln fotografieren, hat man nach vier Sekunden Belichtungszeit eine Spurlänge von zwei Pixeln. Die maximal akzeptable Spurlänge richtet sich auch danach, ob die Aufnahme im Nachhinein sowieso in ihrer Auflösung reduziert werden soll. Dann dürfen die Sternspuren durchaus einige Pixel lang werden, bzw. man kann mit entsprechend größeren Pixeln rechnen.

Die Fotografie mit Teleobjektiven im 200mm Bereich stellt die Grenze des Machbaren dar. Hier ist die Spurlänge bei Belichtungszeiten im Bereich von einer Sekunde gerade noch akzeptabel. Von den hellsten Deep-Sky-Objekten, wie zum Beispiel M 31 und M 42, lassen sich ohne Nachführung Bilder erstellen, die einiges an Details zeigen. Für ein gutes Signal-zu-Rausch-Verhältnis sind dazu allerdings mehrere hundert Aufnahmen nötig, die bei der Bearbeitung gemittelt werden.

Maximale Belichtungszeit in Sekunden bei feststehender Kamera $T_{\text{MAX}} = T(0^\circ \text{ DE}) / \cos(\text{DE})$ als Richtwert.

Brennweite in mm	Deklination 0°	Deklination 45°	Deklination 60°
14	14	20	28
20	10	14	20
24	8	11	22
50	4	8	16
80	2,5	3,5	5
100	2	2,8	4
200	1	1,4	2

Blende und ISO

Neben der richtigen Belichtungszeit stellt sich auch die Frage nach den optimalen Kameraeinstellungen und der Objektivblende. Normalerweise werden selbst teure Fotoobjektive in der Astrofotografie teilweise bis $f/5,6$ abgeblendet, denn nichts lässt Aberrationen so deutlich hervortreten wie helle Punkte mit dunklem Hintergrund. Um möglichst viel Signal in kurzer Zeit auf dem Chip zu erzeugen, ist jedoch eine weit geöffnete Blende erforderlich. Ohne Nachführung müssen also unter Umständen Abstriche bei der Qualität der Sternabbildung in Kauf genommen werden, wobei der beste Kompromiss für jedes Objektiv individuell durch eine kleine Testbildreihe gefunden werden muss.

Die ISO-Einstellung ist der zweite wichtige Parameter, sie sollte ungewöhnlich hoch auf mindestens 1600 gesetzt werden, je nach Rauschverhalten der Kamera auch deutlich höher. Die maximal sinnvolle Einstellung ist auch von der Temperatur abhängig, in kalten Nächten können höhere Werte verwendet werden.

Weiterhin sollte die Kamera im RAW-Modus und ohne jegliche interne Bildverarbeitung betrieben werden.

Beispiele

Für Aufnahmen mit feststehender Kamera auf dem Fotostativ und kurzer Belichtungszeit besser einen dunklen Standort suchen. Für einen ersten Test geht auch der Stadthimmel.

Canon DSLR und 4/200mm Teleobjektiv ISO 1600 Belichtungszeit 1sek, 500 Aufnahmen, dann noch 50 Darks, 30 Flats mit dem Tablet als Lichtquelle oder T-Shirt-Flats und 30 Biases. Datei-Format ist RAW.

- M31 Andromeda-Galaxie
- M27 - Hantelnebel

Strichspuren korrigieren

Nicht zuletzt hilft auch die Software: Das kostenfrei erhältliche [Fitswork](#) ermöglicht zum Beispiel das Zurückrechnen von Strichspuren. Dafür muss das Bild über den Menüpunkt "Bearbeiten – Bildgeometrie – Bild rotieren" so gedreht werden, dass die Strichspuren horizontal verlaufen. Unter "Bearbeiten – Spezielle Filter" geht es schließlich zur gewünschten Funktion. Über den Regler "Horizontale Breite" wird der Filter auf die Spurlänge angepasst und "Schwelle" begrenzt die Helligkeit der Bildteile, die korrigiert werden. So können Artefakte im Hintergrund verringert, bei stärkerer Korrektur aber nicht ganz vermieden werden. Leicht verzogene Sterne kann man auch mit dem Programm Gimp korrigieren. Dazu später noch was.

Fitswork bietet noch eine weitere Möglichkeit, verzogene Sterne zu korrigieren. Dazu kann die Funktion "Bearbeiten – Schärfen – Sternradius verkleinern" genutzt werden. Auch in diesem Fall müssen die Strichspuren horizontal orientiert sein. Wichtig ist dann in den Filtereinstellungen einen Haken bei "Nur horizontal" zu setzen. Der Regler "Sterne ausblenden" ermöglicht zudem eine weichere Sterndarstellung, sodass diese nicht wie ausgestanzt wirken. Die Ergebnisse sind hier meist weniger mit Artefakten behaftet.

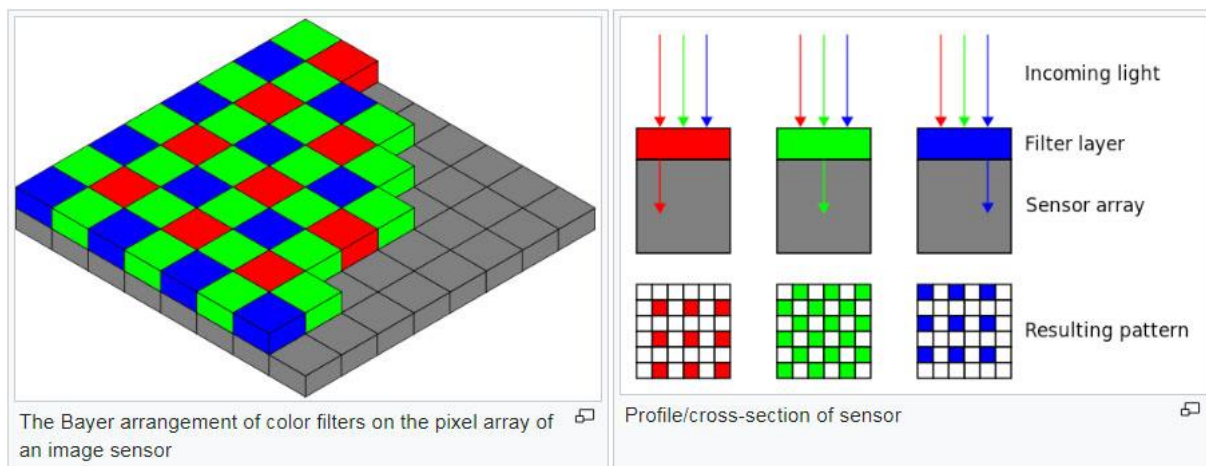
Debayern

Quelle: Altair/help/instruction

Farb-CMOS-Kamerasensoren haben in der Regel vier Farbkanäle (zwei Grüne, ein roter und ein blauer). Der Sensor hat eine empfindliche Pixelschicht, die die „Intensität“ des Lichts nur misst und in Zahlen umwandelt. Diese empfindliche Oberfläche kann nur als „monochrom“ oder schwarz-weiß angesehen werden. Es zeichnet keine Farbinformationen auf. Kurz darüber liegt jedoch knapp über dieser empfindlichen Pixelschicht ein Raster aus winzigen Filtern, eines für jedes Pixel. Diese Filter erlauben selektiv rotes, grünes oder blaues Licht. Ein „grünes“ Pixel ist also das gleiche wie ein „rot“ Pixel – aber der Filter darüber ist rot oder grün. Das wird als [Bayer-Matrix oder Bayer-Filter](#) (Link zu Wikipedia) bezeichnet.

Die Reihenfolge oder Reihenfolge, in der diese winzigen Filter erscheinen, ist in der Regel für jeden Sensor unterschiedlich, z.B. RGGB, GRBG, GBRG, BGGR...

Aus Wikipedia:



Wenn das Bild vom Sensor in den Computer kommt, besteht es aus einem großen monochromen Bild (es hat weiß, schwarz und alle Ebenen von Grau dazwischen). Der Computer, der das Bild (und die Bildverarbeitungssoftware) anzeigt, weiß nicht, welche Pixel beispielsweise einen roten Filter darüber haben oder welche einen blauen oder grünen Filter darüber haben. Es ist nur ein großes Monochromes Bild.

Wenn wir also ein RGB-Bild aus einer FITS-Bilddatei oder SER Video-Datei im RAW-Modus erstellen, müssen wir dem Computer mitteilen, welche dieser schwarzen, grauen und weißen Pixel rote, grüne und blaue Filter haben, die mit ihnen verbunden sind. Nur dann können sie ein aussagevolles Farbbild „RGB“ mit den üblichen RGB-Farbkanälen (Red Green Blue) bilden.

Zum Glück für uns wird diese Information als „Bayer Matrix“ für den jeweiligen Sensor beschrieben, der nur eine Formel, die die Pixelfiltersequenz beschreibt, z.B. RGGB oder GBRG, GBBR.

Wenn wir eine spezielle Astrokamera verwenden, erfassen wir immer Bilder oder Videos im RAW-Modus (für die beste Signal), und wir stapeln viele Frames (Einzelbilder) um mehr Details im Bild zu erhalten, um das Rauschen zu reduzieren und den Dynamikumfang zu verbessern, so dass wir alle Arten von schönen Verarbeitungstechniken verwenden können, um erstaunliche Details zu zeigen. Je mehr Frames man stapelt, desto besser.

Es wird verschiedene Stacking-Software verwendet, wie Autostakkert oder Registax zum Stacken von Videos, und für Deepsky verwenden wir Software wie Pixinsight, Deepsky Stacker, Astro Art und so bald. **Allerdings können wir RAW-Dateien nicht von einer Farbkamera stapeln!**

Wir müssen zuerst eine „Debayer Matrix“ auf die Bilder anwenden. Nur dann können wir es mit anderen Bildern stapeln und es schließlich bearbeiten, um die Details herauszubringen.

Wozu? Ein Stern oder kleine Details zum Beispiel wird nie jedes Mal auf dem gleichen Pixel landen. Die Pixel sind zu klein. Wind oder ein Wackeln in der Atmosphäre, Vibrationen aus dem Tracking-Laufwerk oder winzige Abweichungen in der Nachführung (Periodischer Fehler) führen dazu, dass sich der Stern ein paar Pixel auf die eine Seite und ein paar zur anderen bewegt (manchmal viel!). Stacking-Software kompensiert diese Änderungen und versucht, einen Stern im Bild Nr. 1 auf den gleichen Stern im Bild Nr. 2 zu werfen, aber es gibt immer unvermeidliche Variation zwischen Bildern, geben.

Wenn wir also die Bilder nicht vor dem Stapeln von Debayern würden, würde der Stern oder das Feature auf mehreren benachbarten Pixeln landen, und wenn es gestapelt würde, würde es aus vielen verschiedenen (und falschen) Farben bestehen. Sie würden einen seltsamen Regenbogeneffekt zeigen.

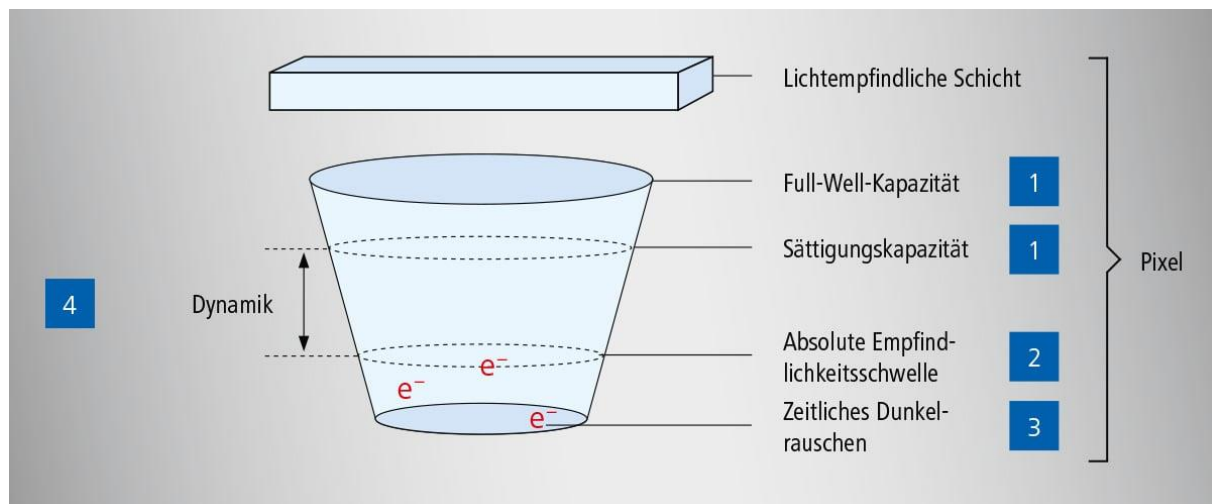
CMOS-Bildsensoren

Quelle: <https://www.baumer.com/de/de/service-support/funktionsweise/funktionsweise-und-eigenschaften-von-cmos-sensoren/a/EMVA1288>

Bildsensoren wandeln durch den photoelektrischen Effekt Photonen in elektrische Ladung. Bei CMOS-Sensoren (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) werden die Ladungen, im Unterschied zu CCD-Sensoren (Charge-Coupled Device), bereits im Pixel in eine Spannung umgewandelt. Diese wird verstärkt, quantisiert und als digitaler Wert ausgegeben.

Heutige CMOS-Sensoren überzeugen mit hohen Bildraten und herausragender Bildqualität. Sie ermöglichen leistungsstarken Industriekameras eine präzise Bildauswertung. Aufgrund des technologischen Fortschritts haben sie CCD-Sensoren aus den meisten Applikationen verdrängt.

Die folgende Darstellung gibt einen Überblick zur prinzipiellen Funktionsweise und den wichtigsten Eigenschaften von CMOS-Sensoren.



1) Full-Well-Kapazität [e^-] und Sättigungskapazität [e^-]

Stellen Sie sich ein Pixel als einen „Eimer“ vor und die Full-well-Kapazität als die maximale Anzahl von Elektronen, die in diesem „Eimer“ gespeichert werden können. Die tatsächlich für die Charakterisierung verwendete Sättigungskapazität einer Kamera wird direkt im Kamerabild gemessen. Der Wert ist typischerweise kleiner als die Full-Well-Kapazität, um Nichtlinearitäten zu vermeiden. Eine hohe Sättigungskapazität ermöglicht längere Belichtungszeiten. Wenn ein Pixel überbelichtet wird, wird es auf die maximale Wert DN (Digital Number) gesetzt und enthält somit keine nützliche Information.

2) Absolute Empfindlichkeitsschwelle [e^-]

Die absolute Empfindlichkeitsschwelle (AST, Absolute Sensitivity Threshold) beschreibt die kleinste Anzahl Photonen (minimale nachweisbare Strahlung), bei denen die Kamera Nutzinformationen im Bild von Rauschen unterscheiden kann. Das bedeutet, je niedriger der Schwellwert, desto empfindlicher ist eine Kamera. Die absolute Empfindlichkeitsschwelle beinhaltet die Quanteneffizienz, das Dunkelrauschen sowie das Photonenrauschen und sollte bei Anwendungen mit wenig Licht beachtet werden statt nur die Quanteneffizienz zu betrachten.

Die absolute Empfindlichkeitsschwelle wird aus dem Wert bestimmt, wo das SNR gleich 1 ist (Signal ist so groß wie das Rauschen).

3) Zeitliches Dunkelrauschen [e^-]

Auch wenn der Sensor nicht beleuchtet ist, erzeugt jeder Pixel ein (Dunkel-)Signal. Mit zunehmender Einwirkzeit und Temperatur werden auch ohne Licht Elektronen in jedem Pixel generiert. Das Variieren des Dunkelsignal wird als Dunkelrauschen bezeichnet (gemessen in Elektronen). Ein niedrigeres Dunkelrauschen ist für die meisten Anwendungen vorteilhaft. Das Dunkelrauschen zusammen mit dem Photonenrauschen und dem Quantisierungsrauschen beschreiben das Rauschen einer Kamera.

4) Dynamik [dB]

Die Dynamik ist das Verhältnis zwischen der maximalen und der minimal messbaren Anzahl Elektronen der Sättigungskapazität. Kameras mit hoher Dynamik sind in der Lage gleichzeitig detailliertere Bildinformationen für dunkle und helle Bereiche in einem einzigen Bild zu liefern. Eine hohe Dynamik ist deshalb vor allem bei Anwendungen mit dunklen und hellen Bereichen in einem Bild oder bei schnell wechselnden Lichtverhältnissen wichtig.

5) Quanteneffizienz [%]

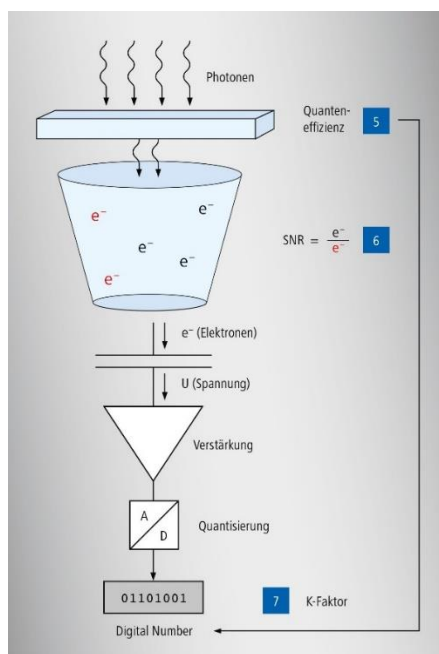
Ein Bildsensor wandelt Photonen in Elektronen um. Das Konvertierungsverhältnis, die Quanteneffizienz (QE), ist von der Wellenlänge abhängig. Je mehr Photonen in Elektronen umgewandelt werden, desto lichtempfindlicher ist ein Sensor und desto mehr Informationen können aus dem Bild gewonnen werden. Die gemessenen Werte einer Kamera können z.B. durch die Verwendung eines Deckglases oder Filters von den Angaben des Sensorlieferanten abweichen.

6) Maximaler Signal-Rausch-Abstand (SNR_{max}) [dB]

Das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) ist das Verhältnis zwischen dem Grauwert (korrigiert um das Dunkelrauschen) und dem Signalrauschen. Es wird oft in dB angegeben. Das SNR hängt hauptsächlich vom K-Faktor und dem Dunkelrauschen ab und steigt mit der Anzahl der Photonen. Das maximale SNR (SNR_{max}) ist erreicht, wenn das Pixel die maximale Anzahl Elektronen der möglichen Sättigungskapazität gespeichert hat.

7) K-Faktor (Digital Number DN/ e^-)

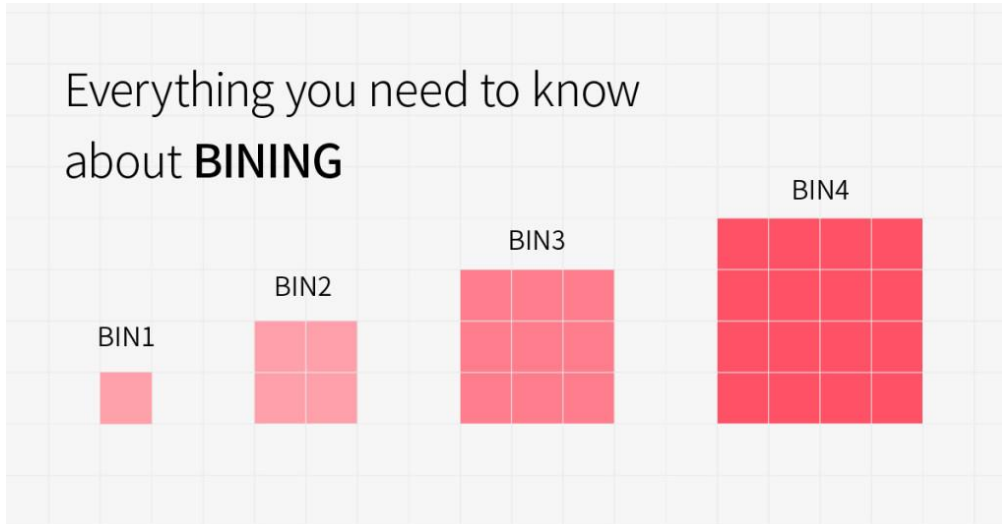
Eine Kamera wandelt die Elektronen (e^-) vom Bildsensor in einen digitalen Wert (DN). Diese Konvertierung wird durch die allgemeine Systemverstärkung K angegeben, gemessen in Digital Number (DN) pro Elektron (e^-): K Elektronen sind erforderlich, um den Grauwert um 1 DN zu erhöhen. Der K-Faktor ist abhängig vom thermischen Kameradesign und der Kameraelektronik. Ein besserer K-Faktor kann die Linearität auf Kosten der Sättigungskapazität verbessern.



Binning Grundlagen

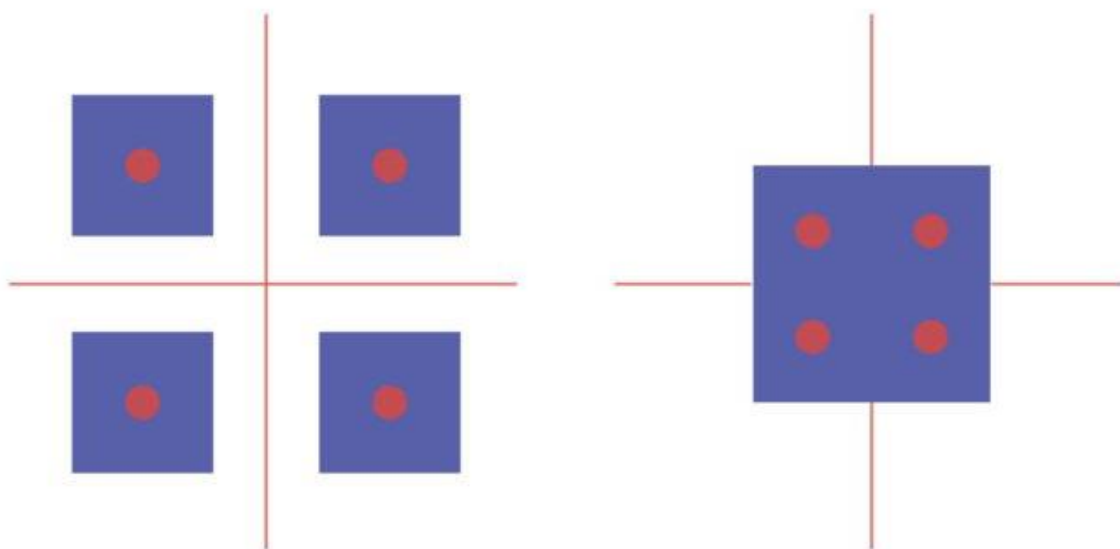
Quelle: ZWO-Optical Tutorial mit Google übersetzt.

Was ist Pixel-Binning? Was können Sie tun? Wie geht es dir das? Wir sehen, wie Astrofotografen aus aller Welt diese Fragen stellen. In diesem Artikel werden wir erklären, wie Sie Ihre Astro-Fotos binnern können.



1. Was ist das?

Binning ist, wenn Sie benachbarte Pixel zu einem größeren Pixel zusammenführen. Am häufigsten in einer 2 x2-Formation, bei der 4 Pixel durch Software kombiniert werden, um ein großes Pixel zu erstellen, wie in der Abbildung unten gezeigt.

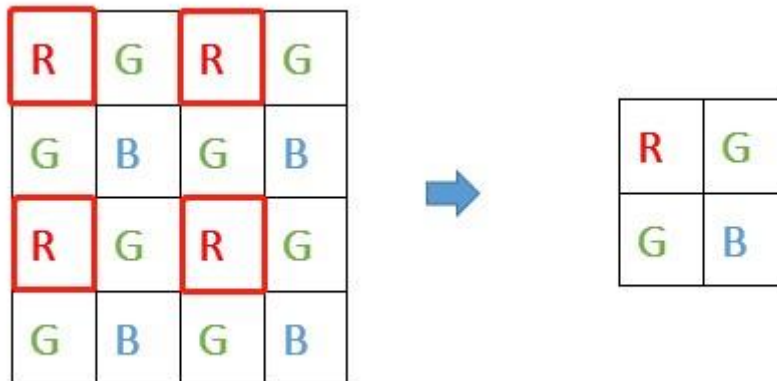


Bin1 VS Bin2

Die Kameraauflösung ist 4mal kleiner, da weniger Pixel. Das Signal-Rausch-Verhältnis wird verdoppelt.

Das Binning 2 x 2 oder sogar bis zu 4 x 4 kann eine sehr effektive Möglichkeit sein, um das Objekt grob zu fokussieren oder zu erkennen. Dies liegt daran, dass die größeren Pixel viel schneller Licht sammeln und schwache Nebel und Galaxien in kürzeren Expositionen aufdecken.

2. Mono BIN



Mono-Binning ist eine Option für Farbkameras, wenn sie ausgewählt wird, ignoriert die Farbkamera die Informationen der Bayer-Matrix und wählt den nächsten Pixelwert zum Zusammenführen und erhalten ein Graustufenbild. Dies wird in der Nähe des Bildes eines monochromen Sensors resultieren, aber es ist wichtig, sich daran zu erinnern, dass Sie nur ein Viertel der Auflösung erhalten.



3. CMOS BIN VS CCD BIN?

CCD und CMOS haben unterschiedliche Auslesungsmethoden, und die Bereiche, in denen Pixel-Binning auftritt, sind ebenfalls unterschiedlich. Die Pixelkombination CCD findet in der analogen Domäne statt und analoge Signale können kombiniert werden.

Angenommen, wir haben 4 Pixel hier, das Ausleserauschen eines einzelnen Pixels ist 1x, es braucht 4 Auslesungen vor BIN2, das heißt, das gesamte Ausleserauschen ist 4x.

Laut der Pixel-verschmelzenden Regel von CCD müssen nach BIN2 4 Pixel nur einmal ausgelesen werden. Daher ist das Gesamt-Pixel-Ausleserauschen nach BIN 1x. Auf diese Weise gesehen, bedeutet es, dass das Gesamtausleserauschen 1/4 des Originals wird. Ohne andere Rauschanteile zu berücksichtigen, wird das Signal-Rausch-Verhältnis zum 4-fachen des Originals.

Beim CMOS das erfolgt Binning im digitalen Bereich, das analoge Signal wurde in ein digitales Signal umgewandelt. Derzeit kann das Binning nur per Software durchgeführt werden.

Wie oben gibt es 4 Pixel, das Ausleserauschen eines einzelnen Pixels ist 1x, es benötigt 4 Auslesungen vor BIN2, das heißt, das ganze Ausleserauschen ist 4x.

Bei CMOS wird nach BIN2 das gesamte Ausleserauschen zur Quadratwurzel des ursprünglichen Ausleserauschen, d. h. $\times 2x$. Mit anderen Worten, das Gesamtausleserauschen wird 1/2. Ohne andere Rauschanteile zu berücksichtigen, ist das Signal-Rausch-Verhältnis 2x des Originals.

Beispiele von CMOS und CCD-Sensoren

Auf den ersten Blick scheint es, dass der Effekt nach CCD BIN besser ist als der nach CMOS BIN, aber hier kombinieren wir die tatsächlichen Daten und vergleichen einfach das Ausleserauschen von ASI6200 (CMOS-Kamera) und KAI11002 (CCD-Kamera):

ASI6200 VS KAI11002

Sensor	ASI6200	ASI6200 BIN2	KAI-11002
Sensor Size	Full Frame 36mm X 24mm		
Resolution	9576×6388	4788X3194	4032*2688
Pixel Size	3.76um	7.52um	9um
Download Time	0.5s	0.5s	10s
Full Well	51ke	200ke	60ke
Read Noise	1.2e-3.5e	2.4e-7e	10e
ADC Bits	16Bit ADC		
Dynamic Range	80db 14571:1	86db 28571:1	75db 6000:1
DR Stops (Effective number of Bits)	14 bits	14.8 bits	12.5 bits
Dark Current(0C degree)	0.003e/p/s	0.012 e/p/s	0.5e/p/s

Da die ursprüngliche Pixelgröße von ASI6200 3,76um beträgt, ist die Pixelgröße nach BIN2 7,52um. Die beliebte Größe KAI11002 Pixel ist 9um. Die beiden Pixel sind relativ nah an Größe, so dass es fair ist, die beiden Kameras zu vergleichen.

Es ist zu sehen, dass selbst nach BIN2 das Rauschanteile eines einzelnen Pixels von ASI6200 doppelt so groß ist (bitte beachten Sie, dass 1 Pixel nach diesem BIN2 dem ursprünglichen 4 entspricht, die maximalen 7 Elektronen auch niedriger als 10 Elektronen von KAI11002.

ASI1600 VS KAF8300

Sensor	ASI1600	ASI1600 software BIN2	KAF8300
Size	4/3"	4/3"	4/3"
Resolution	4656 x 3520	2328 x 1760	3326 x 2504
Pixels Size	3.8um	7.6um	5.4um
FPS	23FPS	23FPS	0.5FPS
Full Well	20ke	80ke	25ke
Read Noise	1.2e - 3.6e	2.4e - 7.2e	8e
Dynamic Range	75db	81db	70db
DR stops in bit	12.5bit	13.4bit	11.6bit
Dark Current(-10C)	0.01 e/s	0.02 e/s	0.01 e/s

In ähnlicher Weise betrachtet man den Vergleich zwischen ASI1600 und KAF8300, obwohl die Pixel von ASI1600 bei BIN2 bei KAF8300 größer sind als BIN1, ist das Ausleserauschen immer noch niedriger.

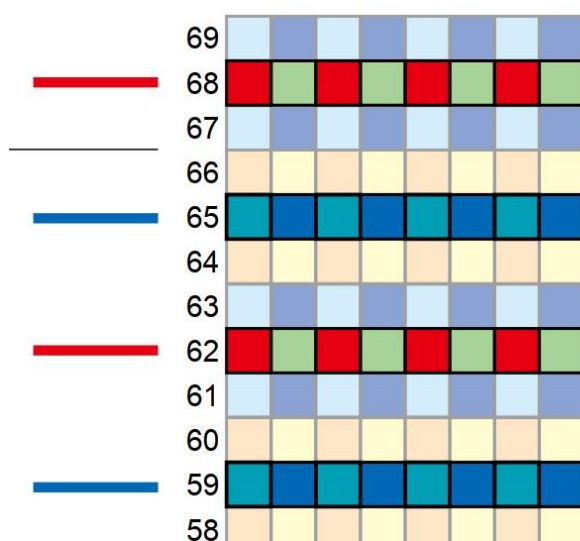
Da das Ausleserauschen des vorhandenen CMOS viel niedriger ist als das Ausleserauschen des CCD, auch nach BIN2, ist das Ausleserauschen eines einzelnen Pixels immer noch sehr klein. Und wir ignorieren tatsächlich die Tatsache, dass das effektive Signal selbst laut ist, wir nennen es Schussgeräusche, und das Schussgeräusch wird nach BIN2 auf die Hälfte reduziert, so dass die Tatsache, dass BIN das Signal-Rausch-Verhältnis erhöht, ob es CMOS oder CCD ist, sehr offensichtlich sein wird.

4. Hardware VS Software BIN

Nach dem Vergleich von CMOS BIN und CCD BIN schauen wir uns ein anderes Konzept von BIN-Hardware BIN und Software BIN an.

Hardware BIN, wie der Name schon sagt, ist es, das Pixel mit Hardware zu verschmelzen, bezieht sich normalerweise auf die Fertigstellung von Pixel-Blinken auf dem Chip, aufgrund der verschiedenen Chipstruktur kann CCD dies tun, aber CMOS kann es nicht. CMOS Hardware BIN ist eher wie Pixel-Skip. Die Bildrate wird durch Pixelextraktion schneller, aber das Signal-Rausch-Verhältnis ist begrenzt. Im Allgemeinen verwenden wir es auf Szenen, die hohe Bildraten erfordern, wie z. B. das Schießen von Objekten des Sonnensystems. Für Deep Space Shooting empfehlen wir Binning mit Software auf CMOS-Kameras.

Hier definieren wir auch Hardware BIN als Pixel-Binning auf CMOS-Sensor und Software BIN als Pixel-Bin-In-Software. Bitte beachten Sie, dass es nicht dasselbe BIN wie CCD auf Chip BIN ist.



5. Was ist der Unterschied zwischen BIN mit RAW8 und RAW16?

Die Berechnungsmethode der Software BIN ist anders, Sie können den Durchschnitt benachbarter Pixel nehmen oder die Pixelwerte addieren. Im RAW8-Format verwenden wir die Akkumulationsmethode, das Bild wird heller; RAW16 unter der durchschnittlichen Methode wird das Bild nicht heller, aber das Bildsignal-Rauschverhältnis wird verbessert.

Bin hinzufügen

no binning
=> 640x480 pixels



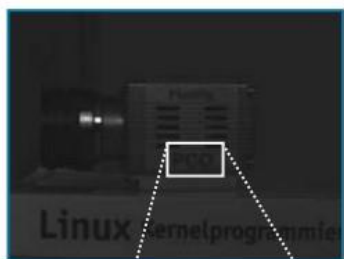
2x2 binning
=> 320x240 pixels



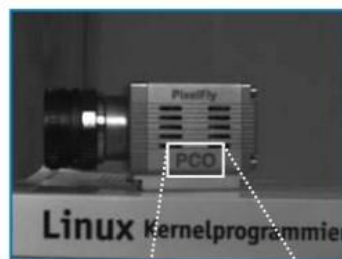
4x4 binning
=> 160x120 pixels



Mit der Zunahme von BIN steigt auch die Helligkeit des Bildes.



no
binning



2x2
binning



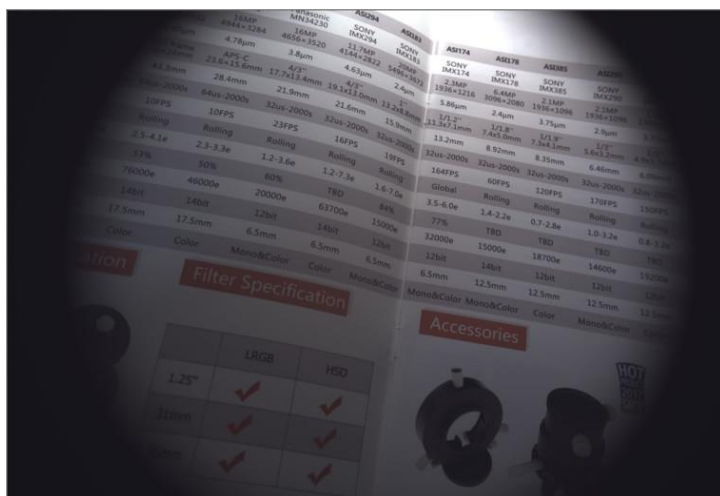
4x4
binning



Aber gleichzeitig geht auch die Auflösung zurück, und die Details des Buchstabens „PCO“ im Bild verlieren.

Durchschnitts-BIN

Mit ASI294MC als Beispiel wählen Sie RAW16 in ASICAP, das Bild wird in 16 Bit gespeichert, und der Durchschnitt des ursprünglichen Pixelwerts wird nach BIN aufgenommen.

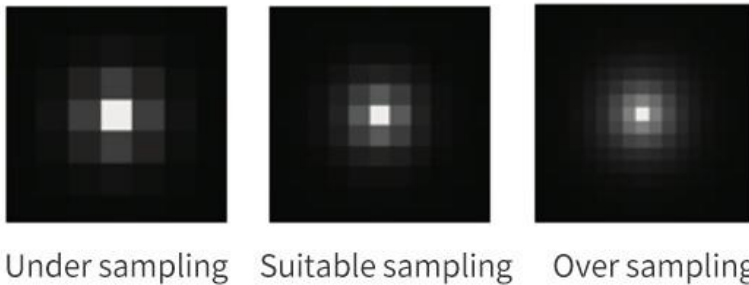


BIN1(4144*2822) VS BIN2(2072*1410)

In diesem Fall wird auch die Anzahl der Pixel in BIN2 auf 1/4 reduziert, und auch die Auflösung und Details werden reduziert. Der einzige Unterschied zu RAW8 ist, dass die Helligkeit nicht erhöht wird, aber wenn Sie genau hinschauen, werden Sie feststellen, dass das Rauschen reduziert wird.

6. Wann BIN?

Generell werden wir BIN verwenden, um die Effizienz beim Fokussieren und Rahmen zu verbessern. Wenn das System beim Schießen zu mehr Proben erfolgt, kann BIN das Problem auch lösen.



Sollten wir also BIN beim Schießen von Deep Space mit CMOS-Kamera verwenden?

Da CMOS-Kameras alle Software BIN während der Deep-Space-Aufnahme verwenden, kann die Bild-Post-Bearbeitung diesen Prozess auch abschließen.

Wenn Sie bestätigen, dass das Bild überbeschoss ist, können Sie BIN verwenden, um die geeignete Probenahme zu erhalten, sonst empfehlen wir immer noch, das Originalbild während des Aufnahmevorgangs zu behalten, und Sie können BIN verwenden oder nicht in der Nachbearbeitung.

Binning und Rauschen einmal durchgerechnet

Quelle: Robin Glover, SharpCap-Forum

Es gibt viele Missverständnisse darüber, wie Binning Bilder verbessert und ob Software-Binning (wie von CMOS-Kameras verwendet) es wert ist, verwendet zu werden oder nicht. Leider wird die Situation nicht wirklich von einigen Leuten unterstützt, die die Situation nicht wirklich verstehen und behaupten, dass sie es tun...

Also, lassen Sie uns über Binning und darüber sprechen, wie es funktioniert. Aber zuerst müssen wir über das Rauschen sprechen.

Das Rauschen, sind zufällige Variationen des Pixelhelligkeitswerts von Frame zu Frame und Pixel zu Pixel.

Das wirklich wichtige Maß dafür, wie verrauscht ein Bild ist, ist nicht nur die Größe des Rauschens, es ist die Größe des Rausches **im Verhältnis zur** Helligkeit des Bildes selbst. Das nennen wir das "Signal-zu-Rausch-Verhältnis" oder kurz SNR. Um ein Beispiel zu nennen: Wenn ein Bild meist eine Helligkeit von 200 (von 255) hatte und das Rauschen bedeutet, dass die Werte zwischen 195 und 205 (+/- 5) verteilt waren, könnten wir sagen, dass wir einen SNR von 40 ($40 = 200 / 5$) haben.

Also, woher kommt das Rauschen in einem Bild - es gibt drei Hauptquellen, die wir berücksichtigen müssen:

1) Shot Noise - diese Art von Rauschen wird durch die Anzahl der Photonen verursacht, die jedes Pixel zufällig von Frame zu Frame und von Pixel zu Pixel erkennt. Stellen Sie sich vor, Sie hätten eine Möglichkeit, Regentropfen zu zählen, da sie in einen Eimer fielen, während es regnete. Wenn Sie die Anzahl der Regentropfen, die jede Sekunde in den Eimer gehen, zählen würden, wäre die Zahl, die Sie erhalten, für alle Sekunden, die Sie gemessen haben, nicht gleich, selbst wenn der Regen stabil war - in einigen Sekunden könnten Sie 20 bekommen, in anderen 21, 22, 19, 18, 23, 23, usw. Diese

natürliche Variante ist Shot Noise. Interessanterweise ist Beitrag zum Rauschen gleich der Quadratwurzel der Anzahl der entdeckten Photonen.

2) Read Noise - diese Art von Rauschen wird durch den Prozess der Umwandlung der Ladung verursacht, die auf dem Pixel während der Exposition (Anzahl der Elektronen) angesammelt wurde, in einen digitalen Wert, der nicht genau ist. Ausleserauschen ist eine Eigenschaft des Bildsensors selbst, so dass einige Sensoren höhere Werte haben als andere. Insbesondere moderne CMOS-Sensoren haben tendenziell viel weniger Ausleserauschen als CCD-Sensoren.

3) Thermal Noise wird durch die Wärme im Sensor verursacht, die manchmal Elektronen auf die gleiche Weise freisetzen kann, wie es ein eingehendes Photon kann. Der Sensor erkennt diese Elektronen als Licht und fügt dem Bild als Rauschen hinzu. Ausleserauschen neigt dazu, sich während längerer Belichtung aufzubauen, da mehr Zeit für die Freisetzung der thermischen Elektronen ist und für kurze Expositionen ignoriert werden kann. Die Kühlung hilft, das thermische Rauschen drastisch zu reduzieren.

Lassen Sie uns eine konkrete Zahl hinter diese als Beispiel... Nehmen Sie einen Sensor wie den IMX178 und setzen Sie ihn auf eine ziemlich niedrige (aber nicht niedrigste) Gain. Bei dieser Einstellung könnten wir folgende Werte haben:

Gain (e/ADU) : 0,25

Read Noise (e-RMS) : 1.7

Belichtungszeit : 0,1s

Wenn wir einen Pixelwert (ADU) von 200 haben, bedeutet das, dass wir 50 Elektronen (mehrfach die ADU durch das Gain) erhalten haben.

Das Erkennen von 50 Elektronen gibt uns einen Shot Noise Wert von $\sqrt{50}$ oder etwa 7 Elektronen.

Die Exposition ist kurz, so dass das Thermal Noise effektiv Null sein wird.

Read Noise ist 1,7 Elektronen

Also, Gesamtrauschen = $7e$ (Shot Noise) + $0e$ (Thermal Noise) + $1.7e$ (Read Noise)

Interessanterweise summiert sich das Gesamtrauschen bis zu $8.7e$! Wenn Sie die Rauschwerte zusammen hinzufügen, addieren Sie nicht nur die Werte, Sie nehmen jeden Wert, Quadrieren Sie, fügen die Quadrate hinzu und nehmen dann die Quadratwurzel des Ergebnisses [es sei denn, die Rauschquellen werden miteinander korreliert, was sie in diesem Fall nicht sind].

Also...

$\sqrt{7 * 7 + 1,7 * 1,7} = \sqrt{49 + 3} = \sqrt{52} = \sim 7.2e$

Jetzt müssen wir nur noch mit unserem Gewinnwert auf ADU zurückschrauben, und wir finden ein Rauschen von etwa 29ADU.

Lassen Sie uns ein paar interessante Dinge über diese Rauschzahl beachten, bevor Sie eine Pause machen...

1) Der Rauschen wird vom Shot Noise dominiert - das Read Noise hat fast keine Wirkung, da es zu Beginn kleiner ist und das Hinzufügen in Quadratur dafür sorgt, dass die größte individuelle Rauschquelle dominiert und kleinere relativ weniger Wirkung haben.

2) Wenn wir ein größeres Ausleserauschen (10e zum Beispiel) hätten, dann würde das den Gesamtrauschen dominieren - unsere Summe würde uns einen Gesamtrauschen von etwa 12,2e geben. CCD-Kameras mit Read Noise von 10e sind anscheinend nicht ungewöhnlich...

Ok, was wir bisher erreicht haben, ist, dass jeder Pixel eine bestimmte Menge an Rauschen hat und es aus einer Mischung von 3 Quellen stammt. Gehen wir zurück zu unserem Beispiel mit unserem Pixelwert von 200, wo wir ein Rauschen von 29ADU berechnet haben. Wenn wir auf unser Konzept des Signal-Rausch-Verhältnisses zurückgehen, erhalten wir in diesem Fall einen SNR von etwa 6,9. Denken Sie daran, dass SNR von 6,9 Dollar - mal sehen, was damit passiert, wenn wir anfangen zu binning...

Stellen Sie sich vor, dass wir jetzt 2x2 Binning anwenden, also nehmen wir 4 Pixel in einer kleinen Box, von denen jeder einen ADU-Wert von etwa 200 und ein Rausch von 29 hat und wir ihre Werte zusammenfügen, um ein einzelner Pixel zu machen.

Binning Wert = $200+200+200+200 = 800$

Aber was ist mit dem Rauschen dieses mit dem markierten Pixelwert? Nun, denken Sie daran, dass wir Rauschen hinzufügen und sich daran erinnern, dass wir Rauschen "quadratisch" hinzufügen müssen, wenn die verschiedenen Rauschquellen nicht korreliert sind - was bedeutet, den Rauschen zu verkleinern, die Quadrate hinzuzufügen, dann die Quadratwurzel zu nehmen, also:

Binning Noise = $\text{SQRT}(29*29 + 29*29 + 29*29 + 29*29 + 29*29) = \text{SQRT}(4*841) = 58$

Jetzt bemerken wir etwas wirklich Interessantes - der Pixelwert ist um einen Wert von 4 gestiegen, aber der Rauschen ist nur um den Faktor 2 gestiegen. Lassen Sie uns unseren SNR für das binned Pixel berechnen

$\text{SNR} = \text{Binning Wert} / \text{Rauschen} = 800 / 58 \sim 13,8$

Das Binning hat unseren SNR von $\sim 6,9$ auf $\sim 13,8$ verdoppelt. Das sind etwa 90% des Geheimnisses des Binnings - es erhöht den SNR, weil die Pixelwerte normalerweise hinzugefügt werden, aber das Rauschen wird über den Quadrat-, zusätzlichen und quadratischen Wurzelansatz hinzugefügt.

Bevor wir weitergehen, versuchen wir zu verstehen, wie das ohne die Mathematik funktioniert... Wenn wir die Pixelwerte für jedes der vier abgefertigten Pixel hinzufügen, fügen wir am Ende die wahren Werte für jedes Pixel (die 200 in unserem Beispiel) und das Rauschen hinzu. Jetzt ist manchmal das Rauschen auf allen vier Pixeln in die gleiche Richtung (d.h. alle 4 werden heller als der Durchschnitt sein), aber das geschieht nur gelegentlich - viel häufiger werden einige der Pixel heller als der Durchschnitt und einige werden dunkler und wenn Sie sie addieren, wird der Rauschen zumindest teilweise aufgehoben. Das ist es, was die Verbesserung der SNR beim Binning verursacht.

Jetzt habe ich gesagt, dass diese Rauschminderung 90% des Geheimnisses des Binnings war. Die anderen 10% gelten nur für CCD-Kameras. CCD-Kameras können die Ladewerte für binned Pixel addieren, bevor sie die Ladung lesen und in einen ADU-Wert (digitalen) Wert verwandeln. Dies hilft, weil Sie nur eine Menge Ausleserauschen erhalten, wenn Sie dies tun, anstatt einen separaten Ausleserauscheintrag von jedem der in den Mülleimern Pixeln. Das klingt nach einer guten Sache, aber denken Sie an unser Beispiel für einen CMOS-Sensor zurück, bei dem das Ausleserauschen von $1,7e$ nur das Gesamtrauschen von $7e$ auf $7,2$ erhöht hat - mit anderen Worten für den CMOS-Sensor ist das Ausleserauschen so niedrig, dass es oft wenig Wirkung hat. Natürlich ist das für CCD-Sensoren mit ihrem höheren Ausleserauschen viel wichtiger.

Nur für die Vollständigkeit, im nächsten Beitrag werde ich ein CCD-Beispiel durcharbeiten, um den Anstieg der SNR zu zeigen. Also, lassen Sie uns ein CCD-Kamerabeispiel mit einem Ausleserauschen von $10e$, aber ansonsten unverändert durcharbeiten.

Ohne Binning ist unser Gesamttrauschen $\text{SQRT}(7*7+10*10) = \text{SQRT}(150) = 12,2e$ oder ~ 49 ADU, was einem SNR von etwa 4 gibt.

Wenn wir 2x2 ausführen, um die CCD-Wege der Ladung hinzuzufügen, dann lesen wir heraus, dass unser 2x2 binned Pixel jetzt 200e hat, so dass das Shot Noise $\text{SQRT}(200)$ oder etwa 14.1e ist. Wenn wir dies in quadrieren mit unserem 10e-Lese-Rauschen kombinieren, erhalten wir einen Gesamttrauschen von 17,3e, was uns einen SNR von etwa 11,5 (ca. $200/17.3$) im Papierkorb gibt. Also, in diesem Beispiel gibt uns CCD-Stil Binning eine noch größere Verbesserung in SNR von fast einem Faktor 3, aber schauen Sie sich die SNR-Zahlen noch einmal an...

CMOS Kein Binning: 6,9

CMOS 2x2 Binning: 13,8

CCD Kein Binning: 4

CCD 2x2 Binning: 11,5

Das CCD zeigt eine größere Verbesserung mit Binning, aber das liegt vor allem daran, dass es aufgrund des höheren Ausleserauschen so weit hinterherging. Mit dem Binning, dass Ausleserauschen weniger problematisch werden, aber selbst bei 2x2-Binning verursacht es immer noch einen niedrigeren SNR als der CMOS-Sensor mit geringerem Ausleserauschen.

Ok, nur zum Spaß, lasst uns die Zahlen für 3x3 Binning ausprobieren, um zu sehen, wie sie für beide Fälle funktionieren.

CMOS ist einfach - der SNR für 3x3 wird nur 3x der SNR für keine Binning oder 20,7 sein.

Für CCD müssen wir 9 Pixel von je 50 Elektronen hinzufügen, um 450 Elektronen zu erhalten, dann die Quadratwurzel davon nehmen, um ein Schussgeräusch von 21,2 Elektronen zu erhalten, dann fügen Sie das in Quadratur mit dem Ausleserauschen von 10e hinzu, um ein Gesamttrauschen von 23,5 Elektronen (ohne ein Signal von 450) zu erhalten, was einem SNR von 19.1 gibt. Wieder näher, aber der CCD ist immer noch im Rückstand aufgrund des höheren Ausleserauschens.

Es ist erwähnenswert, dass ich für diese Berechnungen davon ausgegangen bin, dass die einzigen Unterschiede zwischen CCD und CMOS das Ausleserauschen sind und ob sie Charge Level Binning machen können oder nicht. Das ist nicht wirklich wahr, aber es ist eine schöne einfache Annahme, dass wir einige Berechnungen anfertigen können. Im wirklichen Leben gibt es andere Unterschiede zwischen Sensoren wie verschiedenen Quanteneffizienzen (QE, der Bruchteil der eingehenden Photonen, die erkannt werden) und verschiedenen Gewinnen, die diese Art von Berechnung komplexer machen.

Binning: Hinzufügen oder durchschnittlich

Im zweiten Beitrag, in dem wir unsere erste Binning-Berechnung gemacht haben, haben wir die vier Pixelwerte hinzugefügt, um einen neuen Wert von 800 zu erhalten. Dies ist eine ziemlich häufige Binning-Technik und es hat die wünschenswerte Eigenschaft, das Bild sofort viermal heller zu machen, um schwache Details zu zeigen. Eines der Probleme mit dieser Technik ist jedoch, wenn unser maximaler Pixelwert immer noch 255 (8 Bit-Bildgebung) ist. Wir erhalten keinen Wert von 800, wir erhalten einen Wert von 255, in der Tat erhalten wir einen Wert von 255 für alle Bereiche, in denen die ursprünglichen ungesetzten Pixelwerte 64 oder mehr waren...

Andere Kameras führen ihre Software durch *mitteln* die Werte der vier Pixel statt, anstatt sie hinzuzufügen. Mal sehen, wie sich dies auf SNR...

Wir werden unsere Mittel in zwei Stufen durchführen, die Werte zuerst hinzufügen, dann teilen wir uns durch die Anzahl der Artikel, die wir zusammen hinzugefügt haben.

Der zusätzliche Schritt geht genauso voran, wie wir es bereits berechnet haben

Sum = $200 + 200+200+200 = 800$

Rauschen auf Sum $> \text{SQRT}(29 * 29 * 29 + 29 * 29 + 29 * 29 + 29 * 29) = \text{SQRT}(4 * 841) = 58$

Jetzt müssen wir durch 4 teilen...

Mittelwert $= 800/4 = 200$

Rauschen im Mittel $= 58/4 = 14.5$

Ich werde nur den Rauschen rechtfertigen, der durch vier geteilt wird - wenn der Rauschen auf der Gesamtsumme 58 beträgt, dann wäre der typische Bereich für die Gesamtanzahl einschließlich Rauschen 742 bis 858. Wenn wir diese um vier teilen, sehen wir, dass der typische Bereich des Durchschnitts einschließlich Rauschen 185,5 bis 214,5 betragen würde – d.h. das Rauschen muss definitiv durch vier geteilt werden, wenn wir den Wert um vier teilen.

SNR für durchschnittlich $= 13,8$

Wir sehen also, dass es egal ist, ob wir beim Binning oder durchschnittlichen Addieren hinzufügen - in beiden Fällen ist die Verbesserung der Bildqualität in Bezug auf SNR genau die gleiche. Natürlich bedeutet die Verwendung von Durchschnittsaltern, dass das Bild nicht sofort heller wird, wie es bei der Verwendung von Hinzufügen funktioniert, aber das Bildrauschen sinkt um den Faktor zwei, anstatt den gleichen SNR-Gewinn beizubehalten.

Die durchschnittliche Binning hat nicht das gleiche Problem mit dem Ausschneiden des maximalen Pixelwerts (255), der das Additiv-Binning plagt, und wenn Sie ein helleres Bild wünschen, haben Sie immer die Möglichkeit, den Gewinn aufzudrehen! (Die Änderung des Gewinns, ohne andere Parameter wie Exposition zu ändern, wirkt sich nicht wesentlich auf den SNR aus - zumindest betrifft er ihn nur durch eine Änderung des Ausleserauschens mit der Änderung des Gewinnwerts und nur dann, wenn das Ausleserauschen deutlich mehr als das Shot Noise ist).

Also, zusammenfassend haben wir gesehen, dass

- 1) Binning erhöht das Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SNR) eines Bildes
- 2) CMOS-artiges Software-Binning erhöht die SNR im Verhältnis zum N (von NxN Binning), so 2x2 verdoppelt den SNR, 3x3 verdreifacht es usw.
- 3) CCD-Hardware-Binning gibt eine noch größere Verbesserung, aber nur, weil das unbinned Fall einen so niedrigen SNR aufgrund des hohen Ausleserauschens hat.
- 4) Addieren und Mitteln per Software Binning geben beide die gleiche SNR-Verbesserung.

Als letzten Hinweis, wenn Sie die Berechnungen durcharbeiten möchten, würden Sie feststellen, dass, wenn Sie einen Low-Read-Rauschsensor (sagen Sie 1.7e) hätten, der Hardware-Binning wie ein CCD machen könnte, der SNR-Gewinn für Hardware-Binning nur geringfügig besser wäre als für Software-Binning. Das liegt daran, dass, wenn das Geräusch mit niedrigem Ausleserauschen durch das höher Shot Noise überschwemmt wird, dann ist es egal, ob Sie 4 viel Ausleserauschen oder nur 1 haben!

CMOS vs. CCD

Die aktuellen CMOS Astro-Kameras haben die CCD-Kameras nach und nach vom Markt verdrängt. In der professionellen Astronomie werden sie weiter verwendet allerdings mit erweitertem Bereich im UV und Infrarot, QE 95%, Kühlung -100°C und der Preis ist fünfstellig.

CMOS/Vorteile

Hohe QE, geringes Ausleserauschen, schnelles Auslesen des Bildes Dank USB3. Neue Anwendungen durch kurze Belichtungszeiten und Stacking wie Deepsky ohne Nachführung oder EAA.

Hintergrundlimitiertes Belichten durch Stacking vieler kurzbelichteter Einzelbilder. Zusätzliche Einstellmöglichkeiten wie Gain und Offset. Große Modellauswahl und niedriger Preis durch Verwendung von Chips, die auch in den Konsumenten- und Überwachungskameras Verwendung finden.

CMOS/Nachteile

Viele CMOS-Kameras haben nur 12 oder 14 Bit Wandler damit sind 4096 oder 16384 Graustufen darstellbar. Die Pixel sind recht klein im Vergleich zu CCD und für Brennweiten über 1,5m nicht geeignet. Verstärkergeräusche bei älteren Modellen kommt noch hinzu. Die Kalibrierungsbilder sind nicht gleich. Bei manchen CMOS-Kameras sind Strukturen in den Bias Bildern zu sehen. Dazu kommen Banding und „Walking Noise“. Das kann man für „Pretty Pictures“ mit Bildbearbeitung korrigieren. Wer Messungen wie Photometrie oder Spektroskopie machen will, wird eher zu einer CCD-Kamera greifen.

CCD/Vorteile

16 Bit Wandler. Große Pixel sind gut für lange Brennweiten von RCs und SCTs. Was nützt ein großes Teleskop, wenn die Pixel zu klein sind und man dadurch schlechte Effizienz erhält, siehe Kamera-Teleskop-Effizienz.xlsx. Noch größere Chips als bei den CMOS-Kameras. Saubere Rohbilder, glatter Hintergrund und skalierbare Darks. Das heißt ein 2 Minuten Dark auf 3 Minuten skalieren um es mit ein 3 Minuten Light zu kalibrieren. Sehr gute Linearität. Starke Kühlung. Wer messen will wird eher zu CCD greifen. Vereinfachtes Arbeiten da man kein Gain oder Offset einstellen muss wie bei CMOS. Im Gebrauchtmrkt finden sich derzeit viele Angebote teilweise nur 25% vom Neupreis. CCDs sind langlebiger und robuster.

CCD/Nachteile

Lange Downloadzeit von 10-15 Sekunden, geringere QE von ca. 60%. Die größeren Pixel machen das wieder besser. Kamera mit mechanischen „Shutter“ können nicht kürzer als 0,2 sek. belichten. Die älteren Kameras zeigen oft Spaltenfehler, die man mit Darks korrigieren kann. Höheres Ausleserauschen als bei CMOS. In der Regel schwere Kamera. Hoher Preis bei Neuanschaffung.

Resümee

Wer „Pretty Pictures“ machen will ist mit einer aktuellen CMOS-Kamera bestens bedient. Wer Messungen machen will oder das vor hat kann ruhig zu einer „betagten“ CCD-Kamera greifen.

Will man Bilder des gleichen Objekts mit den beiden Kamertypen vergleichen sollte man nur kalibrierte Bilder ohne irgendwelche Bildbearbeitung vergleichen.

Zitat Terrorernie: Schlechte Fotos werden durch CMOS nicht besser, und gute Fotos durch CCDs nicht schlechter. Min. 70% eines Astrofotos macht eh zum Schluss nur die EBV aus (25% Teleskop, Technik u Kamera), der Rest ist Glück, Mond, Glühwein und die blöden Lampen in Nachbars Garten.

CMOS-Kamera Spezifikationen

Bei Auswahl einer Kamera sollte man sich mal die wichtigen Kenngrößen der Kamera betrachten. In der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit:

1) Chip-Größe

Die Chip-Größe mit der Brennweite des Teleskops legt die Größe des Bildfeldes fest. Es kommt drauf an was man fotografieren will. Es gibt viele Apps und Sternkartenprogramme wo man sich das Anzeigen lassen kann. Bedenke die meisten Objekte sind eher klein. Wer Galaxien aufnehmen will braucht kein Vollformat (24x36) oder APS-C (17x25). Da tut es auch Forth-thirds (13x18) wenn man nicht M31 aufnehmen will. Große Chips bedeutet eine sehr genaue Justage der Optik, besserer oder anderer Korrektor und mögliche Verkipfung. Vignettierung durch zu kleine Filter, zu kleine Fangspiegel oder Okularauszug. Größere Filter und Filterräder zusätzliches Gewicht hohe Belastung für den Okularauszug. Außerdem werden die Dateien sehr groß, bei APS-C schon mal 50MB, bei 100 Bildern pro Nacht kommt einiges zusammen.

2) Pixelgröße

Die Pixelgröße muss zur Brennweite und unserem Seeing passen. Stichwort Abbildungsmaßstab ca. 1"/Pixel. Zu große Pixel und kleine Brennweiten (135 Tele) sind ebenso ungünstig als zu lange Brennweite (1,5m) und kleine Pixel. Ein Ausweg stellt das Binning dar nutzen. Egal ob man es während der Aufnahme oder hinterher in der Bildbearbeitung macht. Oder einen Brennweitenreduzierer nutzen. Mit dem [Rechner](#) kann man das mal durchprobieren. Der Abbildungsmaßstab ist die entscheidende Größe für die Performance von Kamera und Teleskop.

3) QE

Die Quanten-Efficiency QE in % gibt an wie viele Photonen registriert werden. Bei Angabe der relativen QE wird nur angezeigt bei welcher Wellenlänge, welche QE-Wert. Das Maximum liegt meist im „Grünen“. Wenn man Kameras bzw. Chips mit einander vergleichen braucht man die absolute QE. Sollte die QE zu klein sein, können größere Pixel dann wieder die Performance verbessern.

4) Kühlung

Die Kühlung bei CMOS-Kameras ist nicht zwingend, siehe DSLR/DSLM aber von Vorteil. Bei laufendem Betrieb steigt die Temperatur des Chips. Im Aufnahmeprogramm wird dies angezeigt. Bei geregelter Kühlung werden die Bilder bei einer definierten Temperatur gemacht. Die Kalibrierungsbilder bei der gleichen Temperatur können später gemacht oder sogar von früher stammen. Das Dunkelbildrauschen, also wenn kein Licht auf Chip fällt, ist von der Temperatur abhängig. Eine Abnahme um 7° halbiert das Rauschen. Es ist also ein vermeidbarer Rauschanteil.

5) Full-Well

Die Full-Well-Capacity gibt an welche Ladungsmenge der Pixel aufnehmen kann, wie beim Messbecher. Der kleinste Wert auf dem Messbecher den man abgelesen kann ist das Ausleserauschen. Beide Werte zusammen Full-Well-Capacity / Ausleserauschen ist die Dynamik. Ein großer Dynamikumfang macht es möglich das helle Sterne nicht ausbrennen. Eine niedrige Kapazität kann man durch Kurzbelichtung und Stacking ausgleichen. Auch die Abhängigkeit zum Analog zu Digital Wandler (ADC) ist wichtig.

5) ADC

Der Analog zu Digital Wandler (ADC) wird in Bits angegeben und liegt zwischen 12 und 16 Bit. Bei 12 Bit sind $2 \text{ hoch } 12 = 4096$ Helligkeitswerte darstellbar, bei 14 Bit sind es 16384 und bei 16 Bit sind es 65536 Helligkeitswerte. Hat die Kamera eine Full-Well von 50.000 aber nur 14 Bit können Helligkeitswerte über 16384 nicht mehr unterschieden werden. Hier hilft dann nur kürzer belichten und Stacken. Hätte die Kamera 16 Bit aber eine Full-Well von 15.000 würde nur das Rauschen digitalisiert werden.

6) Ausleserauschen

Das Ausleserauschen aktueller CMOS-Kameras ist heute sehr gering im Vergleich zum Rauschen des Himmelshintergrundes. Es ist sogar einstellbar. Es ist erst dann der limitierende Faktor, wenn der Himmel sehr dunkel ist, wie in der Wüste Namibia oder wenn man sehr schmalbandige Filter Ha oder OIII benutzt und der Himmelshintergrund im wahrsten Sinne des Wortes in den Hintergrund tritt. Die Summe der Rauschanteile des Bildes sind:

$$\text{Wurzel}(\text{Himmelshintergrund}^2 + \text{Dunkelbildrauschen}^2 + \text{Ausleserauschen}^2)$$

Das Ausleserauschen kann man nicht abziehen. Entscheidend ist welcher Rauschanteil der dominierende ist.

7) Bildrate (frame rate)

Spielt bei Deepsky keine Rolle. Diese Rate ist bei Planetenaufnahmen wichtig.

Der F-Mythos

Dieser Mythos stammt noch aus Filmzeiten wo man photographische Emulsionen verwendet hat. Diese hatte die unangenehme Eigenschaft, je länger man belichtet >1s. umso unempfindlicher wurde die Photoschicht, der Schwarzschildeffekt. Daher war man bestrebt eher kurz zu belichten. Grundlage des Mythos ist, dass die Öffnung variiert bei konstanter Brennweite. Ein 2.8/135 Tele ist dann lichtstärker als ein 4.0/135 Tele.

Der Mythos

Eine 10-Minuten-Exposition mit einem 10" f/10 Teleskop ist gleich zu einer 5-minütigen Belichtung mit einem 10" f/7 Teleskop.

Das ist falsch.

Das stimmt wieder, wenn die Brennweite der beiden Teleskope gleich ist, das f/7 Teleskop eine größere Öffnung hat.

Immer wieder liest man in Internetforen und auf Onlineshop-Seiten von lichtstarken und schnellen Optiken. Da heißt es dann das dein f/2,8 „schneller“ ist, als mein f/10-System. Das stimmt einfach nicht immer. Bei der Deepsky-Bildgebung kann das f/2,8-Verhältnis ein viel größeres Sichtfeld bedeuten bei gleicher Öffnung. Es ermöglicht, die Schönheit des gesamten Feldes zu sehen. Hier glänzen „schnelle“ Systeme. Wähle ein schnelles System für diese Fähigkeit und nicht für seine Geschwindigkeit. Wenn jedoch die „Geschwindigkeit“ der Abbildung gewünscht ist, ist die Öffnung weitaus wichtiger. Dies ist der Grund für immer größere Profi-Teleskope mit 30 Metern und mehr am Horizont. Sie leisten in der begrenzten verfügbaren Zeit mehr als kleine Teleskope, unabhängig von ihrem f-Verhältnis, das oft je nach Tätigkeit schwankt.

Beispiel:

Ein schnelles Teleskop 250mm Öffnung f/2.8 Luminanz 150 Minuten und RGB 45 Minuten. Das zweite Teleskop mit 350mm Öffnung und f/10 würde $(10/2,8)^2 = 12,8x$ mehr Belichtung benötigen obwohl mit den 350mm Teleskop doppelt so viele Photonen pro Quadratsekunde gesammelt $\sim (350/250)^2$. Es wurde mit dem 2. Teleskop nur 80 Minuten Luminanz und 20 Minuten RGB belichtet. Auf beiden Bildern ist gleich viel drauf. Der Photonenstrom muss jetzt noch in die Pixel gepackt werden. Dazu muss der Abbildungsmaßstab bei beiden Systemen gleich sein, um beide Systeme zu vergleichen, wie im nächsten Abschnitt beschrieben.

Der Grund einen Brennweitenreduzierer (focal reducer) zuzunehmen ist nicht das Teleskop lichtstärker zu machen, sondern den Abbildungsmaßstab im Bereich 0,67"/Pixel und 2"/Pixel zu bekommen.

Die Performance von Teleskop und Kamera berechnen

Wie wir bereits gesehen haben ist die Beziehung von Seeing, Brennweite und Pixelgröße durch das Abtast-Theorem bestimmt. Der Abbildungsmaßstab bei eher durchschnittlichen Seeing zwischen 0,67"/Pixel und 2"/Pixel.

Sind die Pixel zu groß (Undersampling) verschwindet das Beugungsscheibchen des Sterns in dem Pixel. Hier ist die Brennweite zu klein. Die Auflösung des Bildes wird durch die Pixelgröße bestimmt und nicht durch die Optik. Es fehlt auch die feine Abstufung der Grau/Farbwerte. Beim reinzoomen wird dies sichtbar. Nehmen wir ein Bild mit 2"/Pixel also noch an der Grenze und dividieren wir das Bild in Länge und Breite um 3. Jetzt haben wir 6"/Pixel Abbildungsmaßstab. Jetzt vergrößern wir das Bild um den Faktor 3 (dreifach-zoom) und sehen wie die Auflösung abnimmt. So kann man sich veranschaulichen wie eine Kamera und Objektiv bei Undersampling wirken.

Sind die Pixel zu klein (Oversampling) wird das Beugungsbild auf eine größere Pixelfläche verteilt und man verliert Licht. Optimal ist es, wenn die Nullte Ordnung, also der hellste Teil der Beugungsfigur auf 2x2 Pixel Platz hat. Verwendet man eine Kamera mit kleinen Pixeln an einem langbrennweitigen Teleskop, können die Verluste dramatisch sein.

Hat das Teleskop die Öffnung D und die Abschattung AB dann beträgt die effektive Öffnung D_{eff} die Differenz der Flächen und daraus die Wurzel. Ein Teleskop mit 750mm Öffnung (unser größtes Teleskop) und 50% Abschattung hat den eine effektive Öffnung von 650 mm. Bei einer Brennweite von 5600 mm und einer Pixelgröße von 3,75µm (ASI2600) ergibt dies ein Abbildungsmaßstab von 0,14"/Pixel. Das liegt weit außerhalb des gewünschten Wertebereichs. Selbst mit 4x4 Binning sind das immer noch bei 0,56. Die Effizienz, also das was hinten rauskommt ist dann:

Der effektive Durchmesser² * Abbildungsmaßstab² * (Quanten-Effizienz der Kamera)

Nimmt man als 2. Beispiel ein 300 mm RC mit 50% Abschattung und 2400mm Brennweite und der gleichen Kamera ein Abbildungsmaßstab von 0,32"/Pixel immer noch außerhalb des optimalen Bereichs und eine Effizienz bei 1x1 Binning von 5529. Das heißt die Kamera mit 1x1 Binning am 750mm Teleskop bringt etwa genau so viel wie ein 300 mm RC mit 1x1 Binning der gleichen Kamera. Eine gute Effizienz wäre ein 250 mm Newton mit einer Brennweite von 1000 mm und einem Abbildungsmaßstab von 0,77"/Pixel. Ebenso ein 125mm Refraktor mit 1000 mm Brennweite. Sind die Abbildungsmaßstäbe gleich und die Kameras gleich, ist nur noch die Öffnung entscheidend für die Effizienz. Leider sind die Pixel der heutigen Kameras recht klein und dann bleibt einem nur noch die Brennweite zu reduzieren oder auch „alte“ CCD-Kameras zu verwenden.

Seine zukünftige Kombi Teleskop und Kamera sollten man unbedingt vorher durchrechnen um nicht eine böse Überraschung zu erleben.

Für den 750mm Spiegelteleskop der Sternwarte und verschiedenen Kameras habe ich in der Exceltabelle Effizienz-Teleskop-Kamera.xlsx zusammengestellt. Die Tabelle kann ohne Probleme an andere Teleskope und Kameras angepasst werden.