

Arbeiten mit THELI v3 in der VirtualBox

Version 1.1 - ThomasS, 16.04.2021

Bisher existiert keine offizielle THELI v3-Dokumentation in Textform (jedoch englische Youtube-Tutorials). Daher möchte ich meine inoffizielle deutsche Version zur Verfügung stellen. Die Vorgehensweise in THELI v3 ähnelt derjenigen in der Vorgängerversion. Andere Benutzer sind aufgefordert, diese Anleitung durch entsprechende Kommentare zu ergänzen und weiter zu entwickeln. Ein herzlicher Dank geht an alle, die schon einen Beitrag geliefert und mir neue Erkenntnisse eingebracht haben.

Auch wenn hier das Vorgehen in einer Ubuntu-18.04-LTS-Maschine in einer VirtualBox auf einem Win10-PC beschrieben wird und sich die Arbeitsschritte an der Verwendung einer DSLR an einem kleinen Refraktor orientieren, ist sicher fast alles auf andere Installationen und Setups übertragbar.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Links	3
Nomenklatur	3
Die Startseite	4
Die Menüleisten	4
Hinweise	5
Linke Seite	5
Rechte Seite	6
Voreinstellungen	7
Instrumentendefinition	9
Bereitstellung der Rohdaten	11
Kalibrierung - Calibration tasks	13
Stacking von Bildern - Coaddition tasks	18
Globale Gewichtungsdatei - Global weight maps	18
Individuelle Gewichtungsdatei für jedes Bild - Individual weight maps	20
Gruppierung unterschiedlicher Aufnahmefelder - Separate target groups	21
Absolute Photometrie (unter Verwendung von Standard-Sternen) - Absolute photometry (using standard stars)	21
Sternkataloge anlegen - Create Catalogs	21
Objektkatalog aus eigenen Aufnahmen	22

Astrometrischer Referenzkatalog	24
Astrometrie und relative Photometrie - Astrometry / relative photometry	25
Auswahl geeigneter Parameter	25
Durchführung und Beurteilung der Astrometrie	28
Hilfen zur Beurteilung der Ergebnisplots	29
Was tun bei Misserfolg?	31
Spezialfälle	31
Coaddition von Bildern unterschiedlicher Instrumente	32
Erzeugung von Mosaiken	32
Anmerkungen zu Mosaiken von Mischa Schirmer (in der Vorgängerversion von THELI)	32
Alternative Vorgehensweisen - Unterschiedliche Setups und Mosaik	33
Star flat	34
Sky subtraction - Abzug des Himmelshintergrunds	35
Model the sky - Modellierung des Himmelshintergrunds	35
Polynomialfit with degree x - Polynomfit	35
Subtract a constant sky - Abzug eines konstanten Himmelshintergrunds	35
Parameterwahl	36
Coaddition - Überlagerung der Aufnahmen	37
Eingabeoptionen	37
Start und Auswahl der zu koaddierenden Daten	40
Das Statistikmodul	41
Das Color Picture Modul	42
Preparation - Vorbereitung	43
Photometric color calibration - Photometrische Farbkalibration	44
Sitzung beenden	46
Anhang 1 - Tipps für gute Rohdaten	46
Anhang 2 - Empfehlungen zur Installation in der VirtualBox	47
Anhang 3 - THELI-Namenskonvention	48
Anhang 4 - Aktualisierung von THELI	49
Anhang 5 - Änderungen am FITS header	49

Links

- THELI download und Commits über Github <https://github.com/schirmermischa/THELI>
- Userforum www.theli-forum.info, mit einer Sektion für THELI v3
- Youtube-Channel mit Tutorials von Mischa Schirmer (englisch) <https://www.youtube.com/channel/UCg-9wvqQ5XpT1ph22feth9w>
- Englische Scamp-Anleitung <https://www.astromatic.net/pubsvn/software/scamp/trunk/doc/scamp.pdf>
- Oracle VM VirtualBox <https://www.virtualbox.org/>
- Ubuntu (Ich verwende Ubuntu 18 LTS, es gibt aber auch Installationen unter Ubuntu 20 LTS) <https://ubuntu.com/download/desktop>

Zur alten THELI-Version:

- Englische Original-THELI-v2-Anleitung <https://www.astro.uni-bonn.de/theli/gui/>, insbesondere auch die FAQs in Kapitel 19
- Deutsche THELI-v2-Videos und Virtual-Box-Installation www.lexpics.de/theli-64-bit/
- Deutsche THELI-v2-Anleitung zyrusthc-astro.no-ip.org/pages/tutorials/theli.php

Nomenklatur

Von THELI angebotene **Menüpunkte oder Reiter** werden **fett** gesetzt.

Von THELI verwendete Bezeichnungen für **Eingabefelder** werden **fett kursiv** gesetzt.

THELI-**Meldungen** sind *kursiv* gesetzt, ebenso THELI-**Dateinamen** und **-Pfade**, die beiden letzteren sind ggf. zur Hervorhebung auch **fett** dargestellt

Einzugebender Freitext (teils beispielhaft) wird **grün kursiv fett** dargestellt.

Von mir typischerweise **ausgewählte Optionen** sind **blau kursiv fett** dargestellt.

LEER meint, dass kein Eintrag erfolgt.

Alternative Optionen sind **lila kursiv fett** dargestellt.

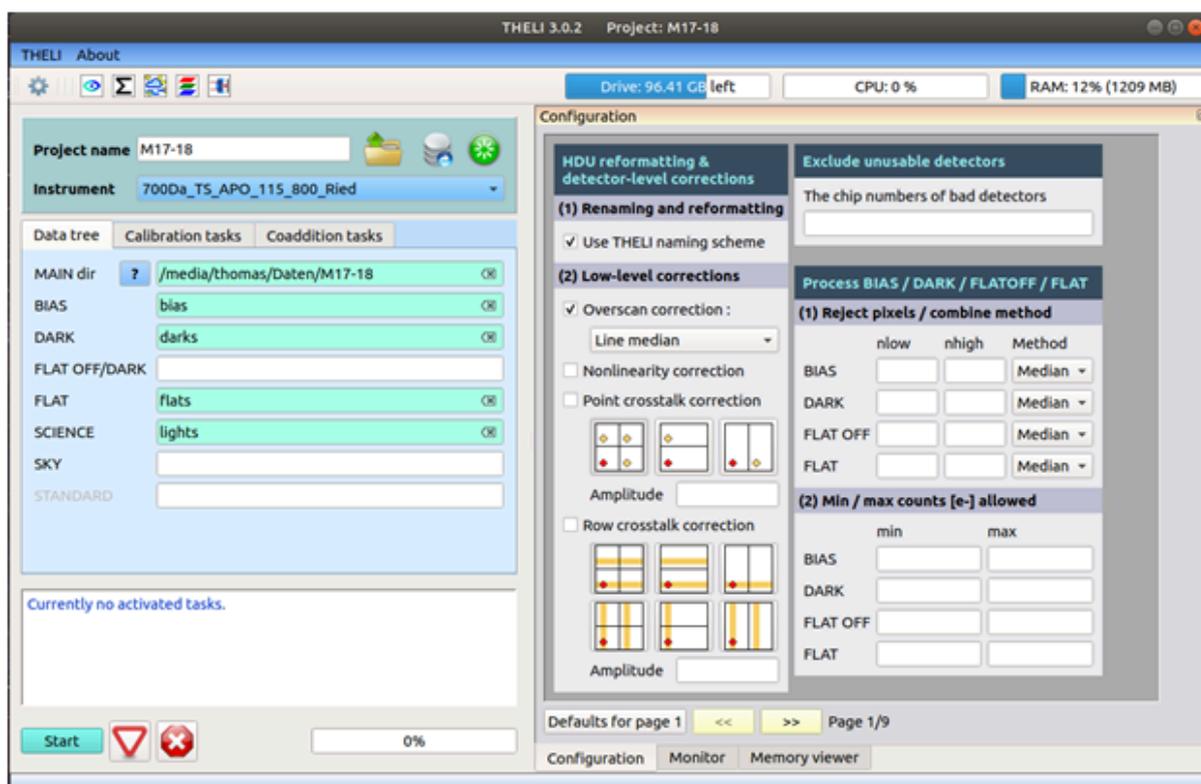
Spezielle Hinweise und (vielleicht nur auf meinen Setup zutreffende) Zahlenbeispiele sind bordeaux formatiert.

Für mich ungeklärte Punkte sind orange oder **orange** formatiert.

Die Startseite

THELI wird im Terminal über *theli* bzw. *theli &* aufgerufen (Letzteres startet die Anwendung im Hintergrund). Dazu muss theli sich im Suchpfad befinden oder der Pfad im bash-File eingetragen sein. Im Userforum ist zudem eine Möglichkeit beschrieben, den Start von Desktop aus einzurichten.

Die Startseite der Benutzeroberfläche sieht so aus:



Sie enthält folgende Elemente:

Die Menüleiste

Die obere Menüleiste enthält zwei Punkte:

- Über **THELI** erreicht man u.a. die Einstellungen und die Instrumentendefinition.
- Unter **About** finden sich die Lizenz- und Nutzungsbedingungen.

In der **Symbolleiste** unmittelbar darunter können verschiedene Module aufgerufen werden:



THELI-Voreinstellungen (edit preferences)



Integrierter Bildbetrachter iView



Statistikmodul



Modul für die Absolute Photometrie



Color Picture Modul zur Erzeugung kalibrierter Farbauszüge, zur Einbeziehung von Schmalbandaufnahmen usw.



Instrumentenmodul zum Anlegen oder Modifizieren von Instrumenten (Instrument = Definierte Teleskop-Kamera-Kombination unter Angabe der Standortkoordinaten)

Rechts daneben findet man Anzeigen zur Ressourcen-Nutzung.

Hinweise

- Gerade am Anfang **besonders hilfreich** sind die in der unteren Leiste dargestellten **kontextbezogenen Hinweise**.
- Weitere Hinweise werden abhängig von der Mausposition als gelb hinterlegte Kästchen eingeblendet.

Linke Seite

Auf der linken Seite sind neben dem Feld für den Projektnamen drei Symbole dargestellt:



Ein **vorhandenes Projekt laden**.



Die **Originaldaten wiederherstellen** und damit alle bisherigen Schritte im gesamten Projekt verwerfen. Dabei bleiben die in **Configuration** (s.u.) eingestellten Parameter erhalten. Diese Schaltfläche wirkt auf alle aktuell im **Data tree** angegebenen Ordner. Falls bereits vorhanden, werden auch die Ordner mit den Gewichtsdateien (GLOBALWEIGHTS und WEIGHTS gelöscht (*Gezielter geht das Rückgängigmachen im weiter unten beschriebenen Reiter **Memory viewer** auf der rechten Seite*).



Reset aller Parameter des Projekts - mit der Möglichkeit, Daten aus dem Speicher auf den Datenträger zu sichern bzw. mit den vorgefundenen Daten weiterzuarbeiten.

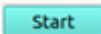
In obiger Abbildung wird **links** der Reiter **Data tree** dargestellt, in dem schon ein Instrument gewählt, der Pfad zu den Rohdaten und die Unterordner mit den Rohdaten eingegeben wurden (siehe dazu das Kapitel **Bereitstellung der Rohdaten**).

Die weiteren Reiter **Calibration tasks** und **Coaddition tasks** werden detailliert in eigenen Kapiteln weiter unten erläutert.

Das Fenster darunter listet die ggf. angewählten Arbeitsschritte und deren Status auf und der Balken rechts (im Bild bei 0%) stellt den **Fortschritt** des gerade laufenden Schritts dar.



Links neben der Fortschrittsanzeige finden sich folgende Bedienelemente:

 **Start** beginnt mit der Ausführung der ausgewählten Arbeitsschritte (s.u.),

 (**soft abort - sauberer Abbruch**) hält nach dem laufenden Arbeitsschritt an,

 (**hard abort - ggf. unsauberer Abbruch**) bricht die Berechnung möglichst unmittelbar ab, so dass die Daten danach möglicherweise manuell in einen korrekten Ausgangszustand gebracht werden müssen.

Rechte Seite

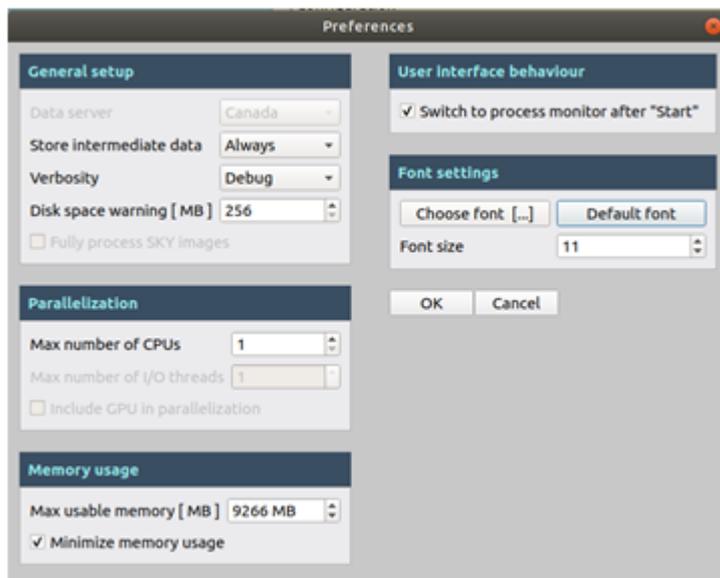
Im dargestellten Beispiel ist rechts der **Configuration**-Reiter aufgerufen, der auf 9 Seiten individuelle Einstellungen zu jedem Bearbeitungsschritt zulässt. Auch wenn in dieser Anleitung meine individuellen Einstellungen beschrieben sind, **kann man häufig mit den Default-Werten arbeiten**. Zum Zurücksetzen auf die Defaultwerte dient jeweils die Schaltfläche  usw.

Weitere Reiter rechts sind

- der **Monitor**, in dem man die gerade ablaufenden Arbeitsschritte mitverfolgen kann und in dem ggf. bestehende Probleme angezeigt werden.
- der **Memory viewer**, in dem z.B. sichtbar ist, welche Bilder im Arbeitsspeicher geladen sind. Durch Klicken auf die Bilder werden diese mittels des integrierten Bildbetrachters iView angezeigt.

Voreinstellungen

Die THELI-Voreinstellungen werden hier der eigenen Arbeitsweise und der Leistungsfähigkeit des verwendeten Rechners angepasst. Konservative Einstellungen (wie vermutlich die von mir hier beschriebenen) verlängern die Rechenzeit, vermeiden aber Abstürze. Es kann hilfreich sein, **für einzelne Arbeitsschritte** (tasks) **Änderungen vorzunehmen** (s.u.), falls das System andernfalls nicht stabil läuft.



General Setup - Generelle Einstellungen

Zumindest bis man mit der Bedienung vertrauter ist, bietet es sich an, die Zwischenspeicherung zu aktivieren: **Store intermediate data Always**.

Ähnliches gilt für die **Verbosity**, also die Detailliertheit der Ausgaben im Monitorfenster: Anfangs habe ich **Debug** gewählt.

Die Einstellung für die Warnung vor zu wenig Festplattenplatz (**Disk space warning [MB]**) habe ich auf **256** MB gesetzt.

Parallelization - Parallelisierung der CPU-Threads

THELI kann alle zur Verfügung stehenden CPUs verwenden, was jedoch zu Speicherknappheit führen kann. Die optimalen Einstellungen hängen vom eigenen Rechner und der Größe des Datensatzes ab. Ich verwende derzeit **2** von 4 CPUs.

Eine Parallelisierung über die GPU (den Grafikprozessor) ist in einer zukünftigen Version vorgesehen, und derzeit noch deaktiviert.

Memory usage - Speichernutzung

Den **maximal von THELI nutzbaren Speicher (Max usable memory [MB])** habe ich auf ca. **8500 MB** von insgesamt 16000 MB eingestellt, um dem Windows-Host-System oder zusätzlich gestarteten Programmen noch Speicher übrig zu lassen, THELI dennoch ein

effizientes Arbeiten zu ermöglichen und das Auslagern von Arbeitsspeicher auf die Festplatte (swapping) zu vermeiden.

Den **Haken** zur Minimierung der Speichernutzung (**Minimize memory usage**) habe ich in den meisten Arbeitsschritten **nicht gesetzt**. Z.B. bei der **Astrometrie** kann das jedoch **sinnvoll** sein.

User interface behavior - Verhalten der Benutzeroberfläche

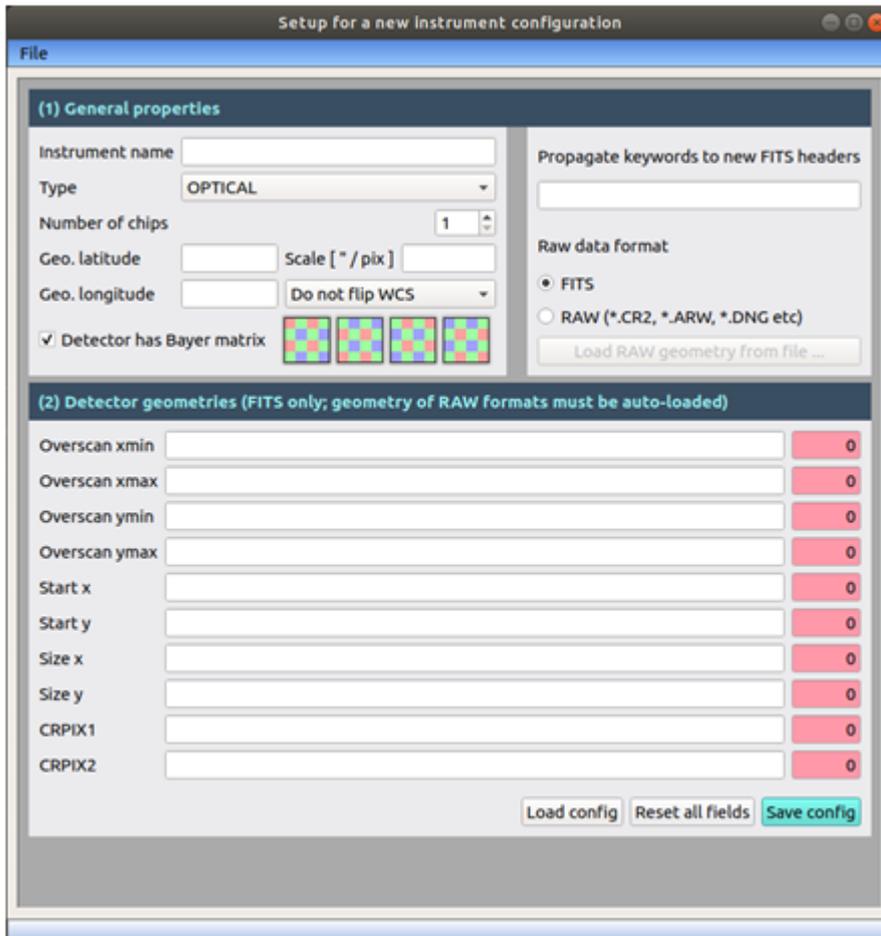
Den **Haken** bei **Switch to process monitor after "Start" setzen**. Dadurch wird während der Durchführung jedes Arbeitsschritts automatisch der **Monitor**-Reiter eingeblendet, auf dem viele hilfreiche Informationen zum Bearbeitungsverlauf dargestellt werden.

Font settings - Einstellung der Schriftart und Schriftgröße ist selbsterklärend.

Instrumentendefinition

Nur bei Neuanlage oder Modifikation einer Aufnahmeconfiguration notwendig, also z.B. bei Einsatz einer neuen Kamera, eines neuen Teleskops, eines Reducers oder bei Verwendung eines anderen Dateiformats.

Das Eingabefenster sieht folgendermaßen aus:



Eingegeben werden:

- der **Instrumentenname** (*Instrument name*): Es ist sinnvoll, im Namen Kamera, Teleskop und Beobachtungsort anzugeben, um später sicher die korrekte Instrumentendefinition auszuwählen, z.B. **700Da_TS_APO_115_800_Ried** beim Einsatz einer astromodifizierten CANON EOS 700D an einem 800mm-Apo in Ried.
- **Type**, also der aufgenommene Spektralbereich, bleibt i.d.R. auf optisch (**OPTICAL**) eingestellt.
- Amateurkameras verwenden **1** Kamerasensor (**Number of chips**)
- die geografischen **Koordinaten des Beobachtungsorts** (**Geo. latitude** = Breite, **Geo. longitude** = Länge),

- Der **Abbildungsmaßstab** des Instruments in Bogensekunden pro Pixel (**Scale ["/pix]**) ergibt sich nach der Formel $P = 206 \cdot p / f$ durch Einsetzen der Pixelgröße p in μm und der Brennweite f in mm oder kann über die Seite <https://astronomy.tools/calculators/ccd> bestimmt werden (z.B. **1.109** für CANON EOS 700Da bei 800mm Brennweite)
- Der Einsatz der korrekten **Spiegelungs-Option** bei gespiegelt vorliegenden Rohbildern (zum Prüfen Testbild mit Schriftzug verwenden) ist nicht zwingend, beschleunigt aber die Astrometrie (weil dort dann der Haken bei Match flipped images nicht gesetzt werden muss, siehe dort). Bei mir ist **Flip WCS horizontally** die korrekte Wahl.

Prinzipiell gibt es 4 Auswahlmöglichkeiten: Keine Spiegelung (**Do not flip WCS**), horizontale (**Flip WCS horizontally**), vertikale (**Flip WCS vertically**) Spiegelung, oder beides zusammen (**Rotate WCS by 180 deg**), was einer Drehung um 180 Grad entspricht. Für meine DSLR am Refraktor, die je nach Objekt um 90 Grad gedreht wird, ist **Flip WCS vertically** oder **Flip WCS horizontally** gleichwertig.

Achtung: Zunächst wird nur das Koordinatensystem (N, E) gespiegelt, **nicht jedoch das Bild!** Der **Winkel gegenüber Nord oben** muss ggf. **nach WCS-Spiegelung** anhand des Koordinatensystems ermittelt werden!

- Bei Vorliegen einer **Bayermatrix** (Farbkamera) das **Häkchen** bei **Detector has Bayer matrix** **setzen**.

Eine spezielle Bayermatrix (die Auswahlfelder erscheinen erst, wenn man das Häkchen für die Bayermatrix setzt) musste ich **nicht wählen** (auch nicht bei Verwendung der Spiegelungen). Dies wäre wohl nur notwendig, wenn die Farbkanäle nicht korrekt getrennt werden (siehe untenstehenden Tipp) oder wenn man nicht **Load RAW geometry from file ...** (s.u.) verwendet.

- Mittels **Propagate keywords to new FITS headers - Übernehme Schlüsselwörter in die neuen FITS header** können optional Parameter aus den Aufnahmedaten in die FITS-Dateien übertragen werden. Für die Bearbeitung in THELI spielen diese keine Rolle.
- Als **Dateiformat (Raw data format)** wird bei nicht vorverarbeiteten DSLR-Dateien **RAW** gewählt.

Dann lädt man ein Bild der Kamera (**Load RAW geometry from file ...**), wodurch alle Parameter aus der Datei ausgelesen und im unteren Fensterteil automatisch korrekt eingetragen werden.

Für meine CANON 700Da ergaben sich:

Overscan xmin 1, xmax 72, ymin 1, ymax 52

Start x 73, y 53

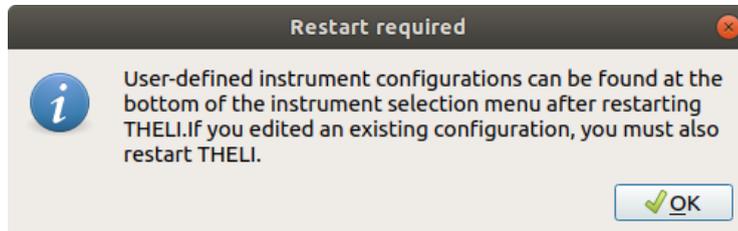
Size x 5208, y 3476 (= Pixelanzahl des Sensors; bei einer Bayermatrix geradzahlig!)

CRPIX1 2604, CRPIX2 1738 (= CenterPixel, Bildmitte)

Save config am Ende nicht vergessen.

Es erscheint ein Fenster mit folgendem Hinweis:

*Das neu gespeicherte oder modifizierte Instrument ist erst **nach einem Neustart von THELI** ganz unten in der Instrumenten-Auswahl zu finden.*



- Die erzeugten User-Instrumente stehen in `$HOME/.theli/instruments_user.` oder `~/.theli/instruments_user` Hier kann man sie auch manuell löschen, was bisher in THELI nicht vorgesehen ist
(Wenn der Dateimanager das versteckte Verzeichnis `.theli` nicht anzeigt, `[strg]+[H]` eingeben).
- **Raw data format** steht beim erneuten Aufruf immer auf **FITS**, auch wenn ursprünglich **RAW** eingegeben wurde.

***Tip:** Zum Testen einer neu angelegten Instrumentenkonfiguration empfiehlt sich eine Testaufnahme von einem bunten Motiv, mit dem die Konversion der Bayermatrix geprüft werden kann. Dieses Bild in **Calibration tasks** (s.u.) mit dem neu erzeugten Instrument prozessieren (**HDU reformatting und process**; evtl. geht das nur mit **[Dummy-] darks und flats**). Die drei erzeugten R-, G-, B-FITS-Dateien im Bildbetrachter iView beurteilen (im korrekten R-Bild wird rot sehr hell wiedergegeben usw.) oder z.B. in Fitswork öffnen und aus den Einzelfarben ein RGB-Bild erzeugen. Es sollte ggf. nach Schwarz- und Weißpunkt-Setzen farbrichtig sein.*

Bereitstellung der Rohdaten

Die Rohdaten (siehe hierzu auch die Tipps im Anhang 1) am besten gleich in systematisch benannten Unterordnern zusammenstellen.

Dazu einen Ordner mit dem Projektnamen anlegen und darunter - im Standardfall - die Ordner **lights** (oder **science**), **darks**, **flats** und **bias** erzeugen und die entsprechenden Daten dort einsortieren.

- In einem Ordner dürfen jeweils nur zusammenpassende Bildtypen liegen, z.B. DSLR-Aufnahmen eines Objekts einer Nacht.
- **lights vor und nach einem Meridianflip** werden **gemeinsam in einem Ordner** prozessiert.
- Man kann ein einmal berechnetes **Masterbias immer wieder einsetzen** und statt der einzelnen bias-Aufnahmen im Ordner **bias** ablegen (solange man das Instrument

nicht ändert!). Gleiches gilt mit Einschränkungen auch für das **Masterdark**, falls die Aufnahmeparameter (Temperatur, ISO, Belichtungszeit...) identisch waren.

Es ist auch möglich, z.B. Daten aus verschiedenen Nächten von demselben Objekt oder auch Daten von mehreren Filtern einer Mono-Kamera in einem Arbeitsschritt zu verarbeiten. Alle Möglichkeiten werden (auf Englisch) dargestellt, wenn man auf die **Fragezeichen**-Schaltfläche vor dem Hauptverzeichnis (**MAIN dir**) klickt.

Je nach Anwendungsfall müssen dazu mehrere Unterordner bei **BIAS**, **DARK**, **FLAT**, **SCIENCE** eingetragen werden, getrennt durch Leerzeichen oder Kommata.

Die gleichzeitige Prozessierung von Bildern **verschiedener Instrumente** ist nicht möglich, da nur ein Instrument angegeben werden kann. Siehe dazu das Kapitel **Spezialfälle**.

Groß-/Kleinschreibung in den Namen beachten, da LINUX-Dateisysteme zwischen Groß- und Kleinbuchstaben unterscheiden! **Leerzeichen** in Datei- und Verzeichnisnamen sind zu vermeiden, da diese als Trennzeichen verwendet werden (am besten durch Unterstrich ersetzen). Die korrekte Darstellung von **Umlauten** ist von den lokalen Einstellungen abhängig. Mit Sonderzeichen in Namen sollte man ebenfalls vorsichtig umgehen (Ein Kommentar berichtet, dass Dateien mit Sonderzeichen im Dateinamen- hier allerdings eckige Klammern - in einem Ordner *unknown format* landen und nicht verarbeitet werden).

Ggf. den **Projektordner** über einen Austauschordner oder per Gasterweiterung und drag & drop **in die Linuxmaschine übertragen**.

Spätestens jetzt **THELI starten** (durch Eingabe von *theli* oder *theli &* im Terminal).

THELI startet mit den **Einstellungen aus dem zuletzt bearbeiteten Projekt**. Auch das Laden eines früheren Projekts ist an dieser Stelle möglich.

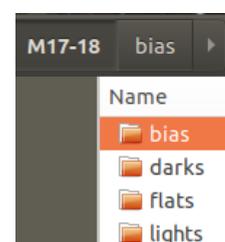
Zum völligen Neustart mit Defaultwerten drückt man die Reset-Schaltfläche  .

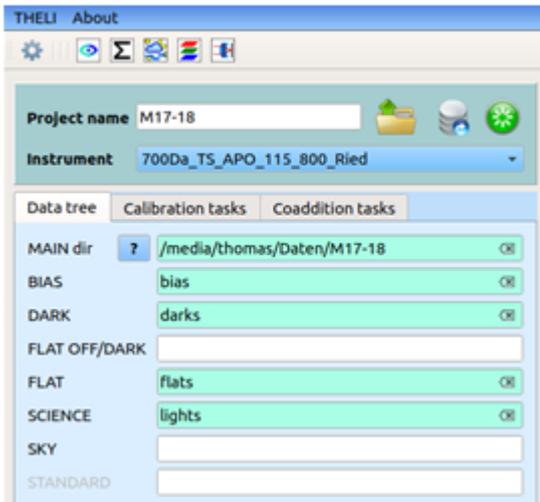
Nach meinem Verständnis reicht es zum **Anlegen eines neuen Projekts** (unter Übernahme der zuletzt verwendeten Parameter) aus,

- den **Projektnamen** zu vergeben,
- das **Instrument** zu **wählen**,
- den **Pfad des Hauptordners (MAIN dir)** und
- die Namen der Unterordner in **BIAS**, **DARK**, usw. im **Data tree** einzugeben.

Wenn Pfad bzw. Name korrekt eingegeben wurden, ändert sich die Farbe des Texthintergrunds von rot auf cyan..

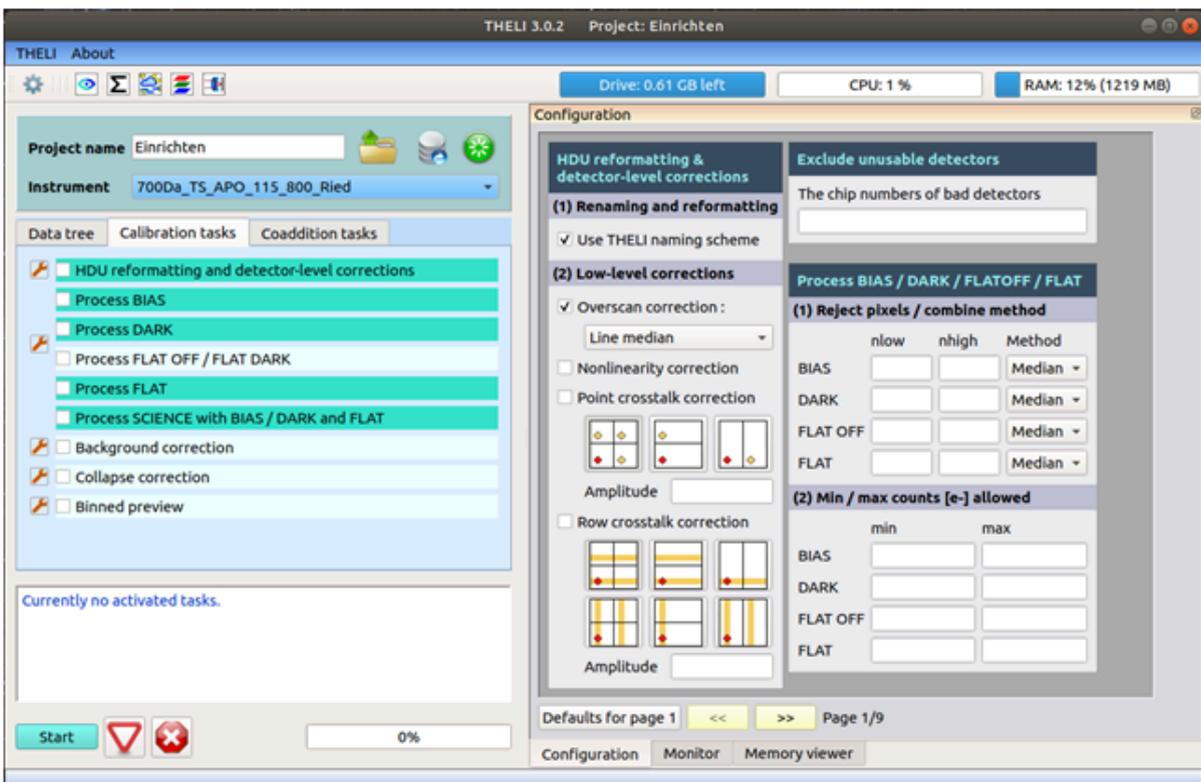
Im dargestellten Beispiel von Messier 17 und 18 liegen die Daten im Pfad */media/thomas/Daten/M17-18*, der die Unterordner *bias*, *darks*, *flats* und *lights* enthält.





Kalibrierung - Calibration tasks

Links in den Reiter **Calibration tasks** wechseln. Hier werden die Rohdaten so weit verarbeitet, dass am Ende kalibrierte Einzelbilder vorliegen, also systematische Effekte, d.h. instrumentenabhängige Einflüsse, möglichst eliminiert sind.



Für typische Bearbeitungen reicht die Durchführung der türkis hinterlegten Arbeitsschritte. Dies kann schrittweise von oben nach unten, aber auch zusammen (alle entsprechenden

Haken setzen) geschehen. Wo ein Mausschlüssel angezeigt wird, sind Einstellungen im rechten Fenster möglich; ein Klick auf den Schlüssel öffnet das entsprechende Fenster.

Für das **HDU reformatting** (also die Umwandlung **der RAW-Dateien in FITS-Format und das Befüllen des FITS headers** mit instrumenten- bzw. aufnahme-spezifischen Parametern) verwende ich die Default-Einstellung, also die THELI-Namenskonvention **Instrument.DatumUhrzeit_SensornummerBearbeitungsstatus (Use THELI naming scheme)**.

Allerdings hat diese Namenskonvention zwei Nachteile: Bei mehr als ca. 20 Aufnahmen sind die Plots (s.u.) nur noch schlecht lesbar. Außerdem ist das Wiederfinden der zu ersetzenden Dateien nach einem Crash einfacher, wenn man die Originalnamen der Dateien weiterverwendet.

Low-level corrections (z.B. Nicht-Linearität etc.) sind bis auf die standardmäßig ausgewählte **Overscan-Korrektur (Line median)** professionellen Anwendungen vorbehalten und für normale Astrofoto-Zwecke nicht nötig. Einzelne Detektoren aus der Bearbeitung auszuschließen (**Exclude unusable detectors**) macht selbstverständlich auch nur Sinn, wenn man über eine größere Detektoranordnung verfügt.

Beim **HDU reformatting** erfolgt laut **Monitor** jeweils die Overscan-Korrektur, eine Begrenzung auf die tatsächlichen Datenpixel (Cropping und Maskierung).

Wenn es beim HDU reformatting zu **THELI-Abstürzen** kommt - Meldung im Terminal "Speicherzugriffsfehler (Speicherabzug geschrieben)" -, gehen teilweise Dateien im gerade bearbeiteten Verzeichnis verloren und müssen von Hand wieder in das Verzeichnis kopiert

werden. **Restore** im **Memory viewer** oder  stellen diese Daten nicht wieder her! **Der Fehler tritt für mich unvorhersehbar und sporadisch auf, auch ohne einen zu hohen Ressourcenverbrauch in der Ressourcenanzeige. Beim nächsten Durchlauf klappt es dann in der Regel.**(commits inkl. 01.07.2020)

Ergebnis des Reformatting-Prozesses sind FITS-Dateien der Form **Instrument.yyyy-mm-ddThh:mm:ss_1P.fits**, in deren Header für die weiteren Schritte notwendige FITS Parameter vorgegeben wurden. Das "1P" steht für den 1. (und einzigen) Sensor und den Bearbeitungsstatus "HDU-reformatting abgeschlossen". Die Originaldaten werden in den Unterordner **RAWDATA** verschoben. Die aktuellen Dateien stehen direkt in den Ordnern **bias, darks, flats, lights** (wenn man die Ordnerbezeichnung wie von mir vorgeschlagen gewählt hat).

Die Prozessierung (Kalibrierung) der Rohdaten (**Process BIAS, DARK FLAT, SCIENCE with BIAS / DARK and FLAT**) wird man typischerweise gemeinsam durchführen. Dazu die entsprechenden Haken **setzen** und **Start** drücken.

Im rechten Fenster muss man nicht zwingend Eingaben machen, dann arbeitet man mit den Voreinstellungen.

Optional kann man unter **(1) Reject pixels / combine method** heiße und kalte Pixel vom

Stacking der Korrekturaufnahmen ausschließen.
Als Kombinationsmethode habe ich **Median** belassen.

(2) Min / max counts [e-] allowed. Hier können falsch belichtete Korrekturaufnahmen detektiert und aussortiert werden, z.B. kann man einen oberen Helligkeitswert (in e-) für die Flats angeben, um gesättigte Flats auszusortieren (falls dies nicht im Vorhinein bereits manuell geschehen ist).

An einem Beispiel konnte ich folgende Werte für e- aus dem THELI-Monitor ablesen:

bias	einzelne -0.5 bis +0.2 e-, Statistik (mean) Masterbias -0.351 e-
darks	einzelne -1.0 bis +0.1 e-, Statistik (mean) Masterdark 0.339 e-
flats	einzelne 673 bis 678 e-, Statistik (mode) Masterflat 999.361 e-

Die Standardeinstellungen für die angezeigte Konfigurationsseite x werden wieder hergestellt, in dem man die Schaltfläche **Defaults for page x** betätigt.

Ergebnisse der Prozessierung sind ein Masterbias **bias_1.fits**, Masterflat **flats_1.fits**, Masterdark **darks_1.fits** und - für DSLRs - in die einzelnen Farben zerlegte, **korrigierte lights** der Form **Instrument.yyyy-mm-ddThh:mm:ss_X_1PA.fits**, wobei das "X" für den entsprechenden Filter R/G/B steht. Die lights aus dem vorhergehenden Arbeitsschritt werden dabei schrittweise in den Ordner **P_IMAGES** verschoben.

Es wird auch ein versteckter Ordner .origheader_backup erzeugt und befüllt, anhand dessen THELI bei Bedarf die ursprünglichen FITS header wiederherstellen kann.

Anm. zur **Einbeziehung von Schmalbandaufnahmen**: In THELI existiert meines Wissens keine Möglichkeit, einen **Schmalbandfilter nachträglich** als **FILTER** in den FITS header eines DSLR-Farbauszugs einzutragen (Das müsste man manuell, z.B. mittels des Freeware-Programms F4W2HDU FITS header editor, machen, was ich nur zusammen mit der alten THELI-Version getestet habe).

Um zu verhindern, dass THELI bei DSLR-Schmalbandaufnahmen auch die **nicht brauchbaren Farbauszüge weiter bearbeitet**, deaktiviere ich z.B. bei Halpa-Aufnahmen die prozessierten blauen (B) und grünen (G) Farbauszüge der lights im **Memory Viewer** (**Haken** in Spalte **Active entfernen**), wodurch diese in der weiteren Berechnung nicht mehr berücksichtigt und in einen Ordner **inactive** verschoben werden (Das Löschen der B- und G-Auszüge ist keine gute Alternative, denn das Anklicken gelöschter Bilder im nicht aktualisierten **Memory Viewer** führt zu einem THELI-Absturz).

Wechselt man rechts zum Reiter **Memory viewer**, so werden dort Infos zu den Bildern dargestellt. Ein Doppelklick auf einen Dateinamen öffnet das Bild in iView. Dort kann man sich z.B. auch einen Film aller Bilder ansehen (etwa zur Kontrolle auf Satellitenspuren etc.). Es ist immer sinnvoll, wenigstens 1 light und vielleicht das Masterflat zu kontrollieren, um Fehler bei der Bearbeitung vor den rechenaufwändigen Schritten zu erkennen.

Weiterhin bietet der Memory viewer die Möglichkeit, einzelne Arbeitsschritte rückgängig zu machen, etwa die lights in **P_IMAGES** zu löschen. Dazu dient die Schaltfläche **Restore**. Sie wirkt auf die angezeigten Bilder.

Ein Klick auf das **Statistikmodul** zeigt z.B. für den Ordner lights den Verlauf des Untergrunds der Bildserie. Je weiter die Bearbeitung fortgeschritten ist, desto mehr Infos werden hier angezeigt.

Beispielhafte Untersuchung an Omega Cen-Aufnahmen ergaben folgende exemplarische Werte, ausgelesen mit dem Fits-Betrachter SAO Image DS9:

Das **Masterbias** hat Werte von z.B. -90 bis 2096, wobei fast alle Werte zwischen -15 und +20 liegen. Bei der Erzeugung erfolgt eine Medianbildung nach Ausschluss der angegebenen Anzahl von Fehlpixeln.

Das **Masterdark** hat Werte von z.B. -177 bis 13259, wobei fast alle Werte zwischen -20 und 20 liegen. Bei der Erzeugung erfolgt eine Medianbildung nach Ausschluss der angegebenen Anzahl von Fehlpixeln.

Das **Masterflat** hat Werte von z.B. -1,74 bis 9,48 (nur ganz wenige Pixel liegen jedoch - **außer beim Einsatz eines Schmalbandfilters** - außerhalb des Bereichs von 0,9 bis 1,1; eine versuchsweise Erhöhung der Werte in Reject pixels auf BIAS 5/5, DARK 3/3 und FLAT 5/5 hat allerdings keine Änderung bewirkt), einzelne unnormierte flats hatten Werte von +379 bis 13261. Beim Processing erfolgt ein **Biasabzug**, sodann eine Medianbildung unter Ausschluss der angegebenen Anzahl von Fehlpixeln, und eine **Normalisierung**.

Die **lights** werden dark-korrigiert, flat-kalibriert und in die Farben aufgespalten (debayering). Die Anwendung des Masterbias geschieht dabei implizit beim flatfielding. Folgende Werte wurden ermittelt: B -2200 bis 15038, G -2190 bis 15160, R -2150 bis 15563

Anm.: Der von mir verwendete KameraSensor liefert bei ISO 800 maximal 15351 ADU. Dieser Wert enthält einen Offset von 2048, um negative Werte zu vermeiden. THELI subtrahiert beim HDU reformatting bereits den Offset (falls als Overscan vorhanden), so dass Werte von -2047 bis 13303 auftreten können. Masterbias und Masterdark sollten den Maximalwert nicht erreichen, bei den lights sind durch die angewandten Korrekturen jedoch höhere und tiefere Werte denkbar.

Bei DSLR Kameras ist der gain im allgemeinen nicht im RAW header eingetragen, und wird von THELI auf 1.0 gesetzt. Das heisst, 1 ADU = 1e- .

Himmelshintergrund-Korrektur (**Background correction**) und die Entfernung linearer Gradienten (**Collaps correction**) müssen für einfache Bearbeitungen nicht angewandt werden. Dieser Bearbeitungsschritt bietet prinzipiell die Möglichkeit, z.B. durch Aufnahme von Skyflats, den Himmelshintergrund durch Modellierung flacher zu bekommen als mittels Dome flat oder FlatFieldFolien-Flat. Bei unsachgemäßer Anwendung können sich diese Korrekturen negativ auswirken.

Entsprechend sind auf den Seiten 2/9 und 3/9 rechts (**Defaults for page 2 bzw. 3**) keine individuellen Einstellungen vorzunehmen. Die Standardeinstellungen für die angezeigte

Konfigurationsseite x werden wieder hergestellt, in dem man die Schaltfläche **Defaults for page x** betätigt.

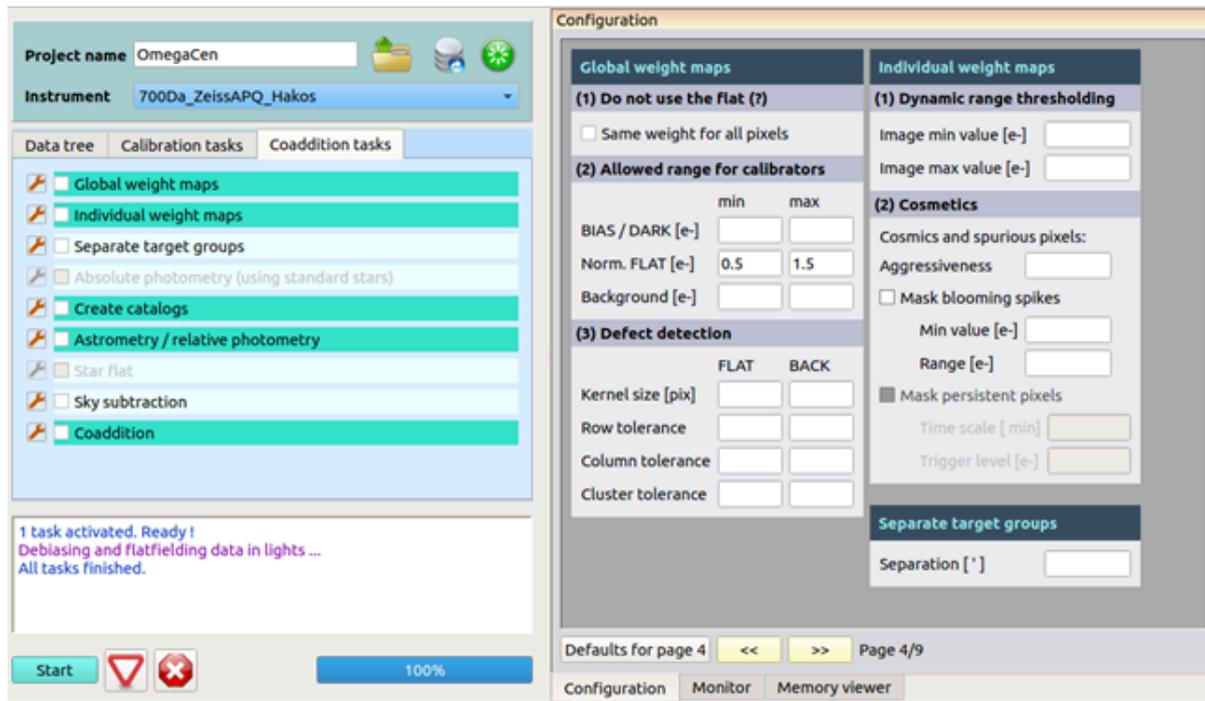
Process BIAS / DARK / FLATOFF / FLAT			
(1) Reject pixels / combine method			
	nlow	nhigh	Method
BIAS	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>	Median ▾
DARK	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="2"/>	Median ▾
FLAT OFF	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Median ▾
FLAT	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="2"/>	Median ▾
(2) Min / max counts [e-] allowed			
	min	max	
BIAS	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
DARK	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
FLAT OFF	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
FLAT	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

Eine komprimierte Bildvorschau (**Binned preview**) ist besonders für Kameras mit mehreren Sensoren hilfreich. Die Vorschaubilder können aber z.B. auch zur Kontrolle auf Satellitenspuren oder zur Ermittlung des Bildmittelpunkts bzw. der Ausrichtung über <http://nova.astrometry.net/upload> benutzt werden (siehe **Anhang - Tipps für gute Rohdaten**)

Somit ist der Reiter Calibration tasks an dieser Stelle fertig abgearbeitet.

Stacking von Bildern - Coaddition tasks

Hier werden die Bilder statistisch ausgewertet, astrometriert, ggf. photometriert, ein Hintergrundabzug vorgenommen und schließlich die Bilder addiert. Die Schritte im Reiter **Coaddition tasks** werden hierzu von oben nach unten abgearbeitet. Die Einstellmöglichkeiten finden sich links unter **Configuration** auf den Seiten 4-9.



Globale Gewichtsdatei - Global weight maps

Dieser Schritt ist verpflichtend und erzeugt für jeden Filter ein globales Gewichtsbild unter Zuhilfenahme des Masterdark und des Masterflat. **Wegen unten dargestellter Probleme ggf. ab hier Filter für Filter bzw. Serie für Serie vorgehen!**

Anm.: Mir fällt auf, dass die GLOBALWEIGHTS bei kommasetrennten Serien im **Data tree** für jede Serie neu erzeugt werden, diejenigen aus der vorhergehenden Serie (mit anderem Masterdark) aber überschrieben werden. Demnach sind die GLOBALWEIGHTS nur für die letzte Serie korrekt. Erzeugt man GLOBALWEIGHTS und WEIGHTS unmittelbar hintereinander für jede Serie einzeln, sollte alles stimmen, da dann nach den GLOBALWEIGHTS der ersten Serie erst die WEIGHTS dieser Serie berechnet werden, dann die GLOBALWEIGHTS der zweiten Serie und die WEIGHTS der 2. Serie usw..

Ein weiterer User kommentiert: Bei monochromen Kameras müssen die Schritte ab hier einzeln für die verschiedenen Filter ausgeführt werden. Packt man alles auf einmal in den Arbeitsordner, so wird nur ein Global Weight erzeugt, und der

nachfolgende Schritt für die Individual Weights erzeugt Fehlermeldungen, weil das passende Global Weight für die anderen Filter nicht gefunden wird.

Dabei können stark vignettierte Bereiche oder **Defektpixel maskiert** werden. Die Maskierung defekter Pixel ist insbesondere dann anwendbar, wenn zwischen einzelnen Aufnahmen ein leichter Versub vorgenommen wurde (dithering). Das **Ergebnis der Maskierung sollte vor dem nächsten Arbeitsschritt überprüft** werden, indem man einzelne Dateien in GLOBALWEIGHTS bzw. WEIGHTs beurteilt.

In **Configuration**, Seite 4 habe ich zur Berechnung folgende Einstellungen vorgenommen:

(1) Do not use the flat (?): Das Häkchen bei **Same weight for all pixels** (Gleiches Gewicht für alle Pixel) wird **nicht gesetzt**, außer wenn keine Flats vorhanden sind.

(2) Allowed range for calibrators: Hier lässt sich festlegen, außerhalb welcher Grenzen (des BIAS/DARKS und des normalisierten FLATs - die Erzeugung des Backgroundfiles wurde ja in meinem Bearbeitungsvorschlag übersprungen) das Global weight auf den Pixelwert 0 gesetzt wird.

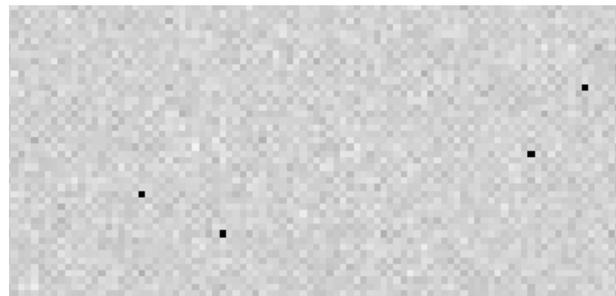
- Bei **BIAS/DARK [e-]** kann man ggf. Pixel maskieren, die nach Anwendung des BIAS / DARK immer noch im korrigierten Bild als Ausreißer zu sehen sind.
- Bei **Norm. FLAT [e-]** habe ich gute Erfahrungen mit den Default-Werten gemacht. Bei andernfalls unvollständigem Entfernen von Staubartefakten kann der maximale Wert auch auf z.B. **1.8** angehoben werden, ebenso bei Schmalbandaufnahmen, wo bei mir in den Ecken bis zu **6.0** (zumindest **3.0**) notwendig wird!

(3) Defect detection: Bei mir führen die beim Überstreichen mit dem Mauszeiger vorgeschlagenen Werte für das FLAT (BACK entfällt, da kein Background erzeugt wurde) zu sehr vielen maskierten Pixeln. Row und column tolerance machen wohl nur für CCDs Sinn, nicht aber für CMOS-Detektoren, wie sie in DSLRs verwendet werden. **Insbesondere bei Schmalbandaufnahmen führt dies zu fehlerhaften weights!** Allenfalls für Kernel size [pix] und Cluster tolerance gebe ich Werte ein, wie man sie beispielhaft aus der Abbildung entnehmen kann.

Global weight maps		
(1) Do not use the flat (?)		
<input type="checkbox"/> Same weight for all pixels		
(2) Allowed range for calibrators		
	min	max
BIAS / DARK [e-]	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Norm. FLAT [e-]	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="1.5"/>
Background [e-]	<input type="text"/>	<input type="text"/>
(3) Defect detection		
	FLAT	BACK
Kernel size [pix]	<input type="text" value="100"/>	<input type="text"/>
Row tolerance	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Column tolerance	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Cluster tolerance	<input type="text" value="0.18"/>	<input type="text"/>

Die Ergebnisdateien (für jeden Filter) stehen im Ordner *GLOBALWEIGHTS*.

Wie der abgebildete Ausschnitt einer Globalen Gewichtungsdatei zeigt, haben diese bei mir eine nicht zu hohe Anzahl von Nullwerten. Es tauchen keine Werte kleiner 0 mehr auf und Pixel mit Extremwerten sind herausgerechnet (typische Werte 0 bis 1.25). Ansonsten bestehen Ähnlichkeiten zum Masterflat.



Anm.: Auch, wenn man bei Schmalbandaufnahmen - wie oben beschrieben - nur einen Filter der Bayermatrix in den lights aktiviert hat, wird das GLOBALWEIGHT für jeden Filter berechnet. Das stört aber nicht weiter.

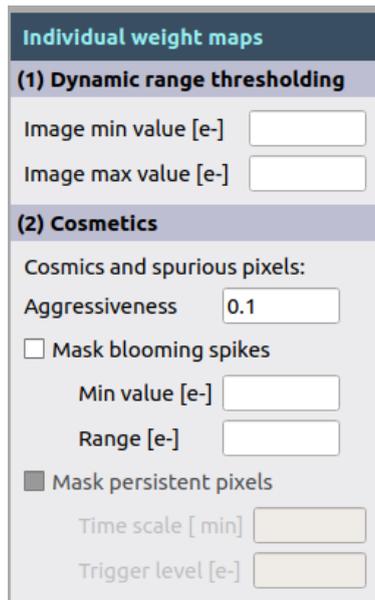
Individuelle Gewichtungsdatei für jedes Bild - Individual weight maps

Dieser Schritt ist verpflichtend. Die individuellen Gewichtungsdateien basieren auf der Globalen Gewichtungsdatei, berücksichtigen darüber hinaus jedoch, falls entsprechende Vorgaben gemacht werden, hot Pixel oder Satelliten (können manuell in DS9 maskiert werden, wie in der alten Version von THELI). Die Gewichtsbilder werden bei der Koaddition nochmals modifiziert, um zum Beispiel variable Transparenz korrekt zu berücksichtigen.

Bei mir ist ein Fehler aufgetreten, wenn der GLOBALWEIGHTS-Ordner bereits global weights einer anderen Kamera enthält (sinngemäß: "Größen von lights und global weights passen nicht zueinander"). In diesem Fall hilft es, die global weights der

anderen Kamera in einem anderen Ordner zu parken.
Erfahrungsgemäß ist dieser Schritt absturzgefährdet. Ggf. Preferences anpassen.

Bei mir tritt außerdem ein Fehler bei Schmalbandaufnahmen auf (die Individuellen weights haben viele schwarze Spalten/Zeilen!). Wenn man z.B. für Ha die G- und B-Aufnahmen im Memory viewer inaktiviert, stören offensichtlich die Globalweights von G und B, die man nicht inaktivieren kann. Abhilfe: Theli schließen und die nicht benötigten Globalweights löschen oder verschieben. Dann THELI neu starten. Dann nimmt THELI das korrekte GLOBALWEIGHT.



(1) Dynamic range thresholding: Ich lasse die Felder *LEER*. Insbesondere ein Maximalwert (**Image max value [e-]**) würde ausgebrannte Sterne maskieren, so dass am Ende ein "Loch" im fertigen Bild entsteht, wenn alle Aufnahmen mit gleicher Belichtungszeit erfolgt sind. Eine Minimalwerteingabe (**Image min value [e-]**) könnte ggf. tote bzw. kalte Pixel eliminieren.

(2) Cosmetics: Die Cosmetics-Korrektur (also Bildfehler durch Einwirkung hochenergetischer Strahlung auf den Sensor; **Cosmics and spurious pixels**) würde ich bei Bedarf entsprechend des Hilfetextes einsetzen, also die Aggressivität (**Aggressiveness**) kleiner 1 einstellen für geringfügige Korrekturen, größer 1 für die umfassendere Entfernung von Cosmics, 0 oder *LEER*, um keine Korrekturen vorzunehmen. Von 0 verschiedene Eingaben verlangsamen die Bearbeitung.

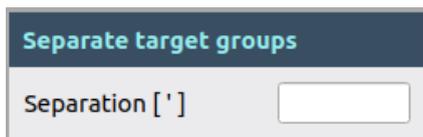
Bei mir erzeugt eine **Aggressiveness** von 0.5 bereits ungewünschte Artefakte, nämlich eine Vielzahl zusammenhängender maskierter Pixelgruppen (siehe dazu auch einen Hinweis in der alten Version, der dazu geraten hat, bei DSLR-Aufnahmen das Feld *LEER* zu lassen). Eine Aggressivität von 0.1 war dagegen unschädlich, aber vielleicht nur fraglich wirksam.

Blooming (also ein Signalüberlaufen von einem Pixel in eine Zeile oder Spalte) kommt bei DSLR-Aufnahmen nicht vor, eine Maskierung (**Mask blooming spikes**) ist somit **nicht**

nötig. Entsprechend wird der **Haken nicht gesetzt** und keine Werte bei Min value [e-] und Range [e-] eingetragen

Der Vorgang ist speicherintensiv und dauert bei mir inkl. Comics-Detektion ca. 15 s je Bild. Die Ergebnisse findet man im Ordner *WEIGHTS*. Wie immer ist es sinnvoll, vor dem nächsten Schritt wenigstens eines der Bilder zu prüfen.

Gruppierung unterschiedlicher Aufnahmefelder - Separate target groups



Hier besteht die Möglichkeit, Bilder verschiedener Objekte, die bisher gemeinsam verarbeitet wurden, durch Angabe eines Versatzes in Bogenminuten (***Separation [']***) einzelnen Gruppen zuzuweisen. Dies kann allerdings nur funktionieren, wenn bereits vernünftige Werte für RA und DEC im Header stehen, was bei DSLR-Aufnahmen nicht der Fall ist.

Absolute Photometrie (unter Verwendung von Standard-Sternen) - Absolute photometry (using standard stars)

Ist gegenwärtig deaktiviert. Eine absolute Photometrie kann separat im Anschluss an die Koaddition durchgeführt werden.

Sternkataloge anlegen - Create Catalogs

Dieser Schritt ist verpflichtend.

Spätestens vor diesem Schritt sollte man die Koordinaten der Bildmitte ermittelt haben (In späteren Schritten ist es außerdem hilfreich, den Ditherabstand (also die möglichen Abweichungen der individuellen Bildmitten) und den Winkel gegenüber Nord oben zu kennen und zu berücksichtigen).

Für die Astrometrie, also die korrekte Ausrichtung (Nordung) und Entzerrung der Aufnahmen (entscheidend für die Addition der Aufnahmen, insbesondere aus verschiedenen Aufnahmeserien, auch von verschiedenen Nächten oder von verschiedenen Instrumenten) müssen zunächst die Sterne detektiert und ein Sternkatalog des entsprechenden Aufnahmefelds heruntergeladen werden. Anschließend werden die detektierten Sterne mit Sternen aus dem Sternkatalog identifiziert (plate solving) und die notwendigen Korrekturparameter und statistische Parameter ausgegeben, mit denen man das Ergebnis

kontrollieren kann, sowie die korrekten Positionsparameter in den FITS header eingetragen. Dies erfolgt in mehreren Einzelschritten:

The screenshot shows a 'Configuration' window with two main panels: 'Source catalogs' and 'Astrometric reference catalog'.

Source catalogs (left panel):

- (1) Detection:**
 - Detection with: **THELI** (dropdown)
 - DT: **5** (input)
 - DMIN: **5** (input)
 - DEBLEND: **0.0005** (input)
 - Min FWHM [pix]: **1.5** (input)
 - Convolution
- (2) Filtering:**
 - Max FLAG: **7** (input)
 - Saturation value [e-]: **15300** (input)
 - Background level: (empty input)
 - Many hot pixels
- (3) Exposure rejection:**
 - Min # of sources in any detector for good exposure: (empty input)

Astrometric reference catalog (right panel):

- (1) Source:**
 - Catalog from WEB
 - Catalog from IMAGE
- (2) Settings:**
 - Catalog: **GAIA-DR2** (dropdown)
 - GAIA proper motions [mas/yr]
 - Max allowed pm: (empty input)
 - Bulk pm in RA: **-4.801 +/- 0.506** (input)
 - Bulk pm in DEC: **-4.947 +/- 0.278** (input)
 - R.A.: **13:26:47** (input)
 - DEC: **-47:28:42** (input)
 - Target: (empty input with magnifying glass icon)
 - Mag limit: **12** (input)
 - Radius [']: **75** (input)

At the bottom of the right panel is a 'Get catalog' button. At the bottom of the window are navigation buttons: 'Defaults for page 6', '<<', '>>', and 'Page 6/9'.

Objektkatalog aus eigenen Aufnahmen

Die Einstellungen für die Sterndetektion und Katalogerstellung aus den eigenen Aufnahmen nimmt man auf der Konfigurationsseite 6 in der linken Spalte **Source catalogs** (Objektkatalog) vor.

Die **Standardeinstellungen passen** in der Regel recht gut, also

in (1) Detection - Detektion

- **THELI** zur Detektion verwenden,
- die Detektionsschwelle **DT** bei **5** (reduzieren nur bei zu wenig detektierten Sternen) und
- die minimale Anzahl zusammenhängender Pixel über der Schwelle **DMIN** bei **5** belassen,
- ebenso **DEBLEND**, einen Wert zum Trennen benachbarter Objekte, bei **0.0005** (je kleiner, desto mehr Objekte werden z.B. in einer Galaxie detektiert) und
- die minimale Halbwertsbreite **FWHM [pix]** bei **1.5** (um nicht fälschlich Hotpixel zu detektieren).

- Der **Haken bei Convolution** sollte **entfernt** werden bei sehr vielen Objekten im Bild (formatfüllender Kugelsternhaufen, Milchstraße), bei Aufnahmen, in denen jeder Stern nur ein oder ganz wenige Pixel belichtet (zu große Pixel, Unterabtastung, undersampled), oder bei Aufnahmen mit vielen heißen Pixeln.

in (2) Filtering - Filterung

- **Max FLAG 0** bis **8** (erhöhen, wenn zu wenig Sterne detektiert werden, oder **=8**, falls ausgebrannte Sterne berücksichtigt werden sollen)
- Der Sättigungswert des Sensors **Saturation value [e-]**: LEER oder nahe der höchsten Kamera-ADU (falls gesättigte Sterne nicht ausgewertet werden sollen; bei mir um die 15000) bzw., wenn bekannt und gewünscht, an der Obergrenze des linearen Bereichs des Sensors
- **Background level: LEER**
- **Many hot pixels** (viele heiße Pixel) nur bei Bedarf **anhaken**

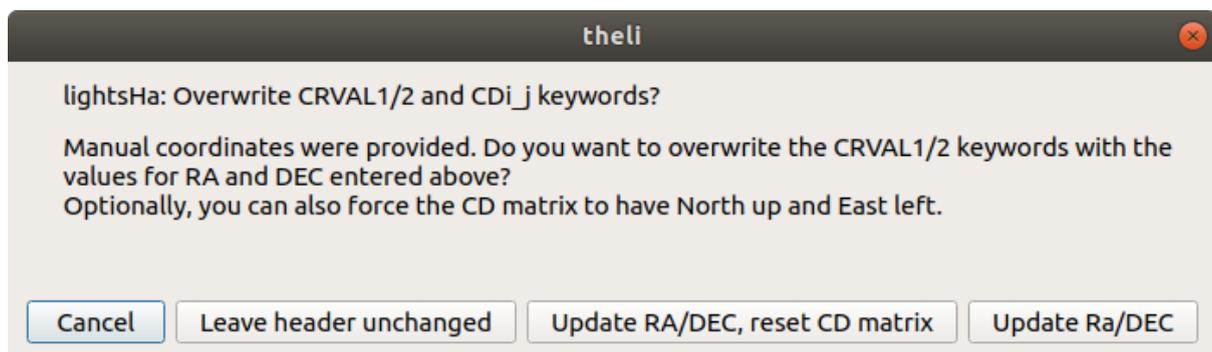
in (3) Exposure rejection - Aussortieren einzelner Aufnahmen

Bei **Min # of sources in any detector for good exposure** (Minimale Anzahl von Objekten, die in einer guten Aufnahme [auf einem Detektor] enthalten sein müssen) nur dann eine Zahl eingeben, wenn automatisch schlechte Aufnahmen, etwa bei Bewölkung, aussortiert werden sollen.

Jetzt kann mit **Start** die Aufgabe **Create catalogs** gestartet werden.

Jetzt wird abgefragt, ob man RA und DEC aus den Eingaben vom Referenzkatalog als Näherung der echten Mitte der Aufnahmen eintragen möchte, und ob man optional die CD-Matrix überschreiben möchte. Letzteres ist nur in Spezialfällen sinnvoll. **Ersteres auswählen**, also **Update Ra/DEC!**

(Es gibt hier auch Schaltflächen zum Abbrechen - **Cancel** - und um keine Änderungen am FITS header vorzunehmen - **Leave header unchanged**)



Das Programm trägt u.a. das modifizierte Julianische Datum **MJD-OBS** in den FITS header ein, ermittelt statistische Werte (mean und Standardabweichung), detektiert die Objekte und zeigt im **Monitor** an, wie viele es je Aufnahme gefunden hat. Anschließend werden die Kataloge einzeln abgelegt..

Die Daten werden in *lights/cat* abgelegt. Im **Monitor** sieht man, wieviele Objekte je Aufnahme detektiert werden. Der Erfolg kann auch sehr schön im **Memory viewer** überprüft werden, in dem man ein Bild durch Doppelklick in iView öffnet und dann **SourceCat** wählt, sodass die detektierten Quellen dem Bild in grün überlagert werden. Der RefCat passt in dieser Phase noch nicht zum Bild!

Astrometrischer Referenzkatalog

Das Laden des Astrometrischen Referenzkatalogs (**Astrometric reference catalog**) kann man manuell über die Schaltfläche Get catalog auslösen (Das hat meiner Ansicht nach den Vorteil, dass man den Schritt wiederholen kann, wenn man mit der Zahl der heruntergeladenen Referenzquellen nicht zufrieden ist, s.u.). Tut man das nicht, erfolgt der Schritt automatisch vor der Astrometrie. Folgende Voreinstellungen sollten auf der Konfigurationsseite 6 rechts vorgenommen werden:

in **(1) Source** (Quelle des Referenzkatalogs): Für Amateuraufnahmen im sichtbaren Spektralbereich kann eigentlich immer **Catalog from WEB** gewählt werden, so dass ein Katalog aus dem Internet abgerufen wird. Andernfalls (**Catalog from IMAGE**) könnte ein astrometrisch kalibriertes Bild verwendet werden.

in **(2) Settings** wähle ich typischerweise

- den Katalog **GAIA-DR2**, weil es der neueste und exakteste visuelle Katalog ist.

Hinweis: Welcher Referenzkatalog passend ist, kann z.B. in Aladin durch Überlagerung der Kataloge mit den Objektbildern geprüft werden. Unter den angebotenen Katalogen sind auch IR-Kataloge, die sich im visuellen Bereich nicht eignen.

- Im darunterliegenden dunkelgrauen Kasten fülle ich nichts aus (Die unteren beiden Zeilen im grauen Kasten füllen sich im weiteren Verlauf automatisch).
- **R.A.** und **DEC** sollten den Koordinaten der Bildmitte entsprechen, die man entweder vorab selbst ermittelt und manuell eingibt oder bei zentriertem Target auch automatisch ermitteln kann, indem man rechts von der Lupe das Target eingibt, z.B. ein Messier- oder NGC-Objekt wie NGC 5139, und dann auf die Lupe geht
- **Mag limit**, also die Grenzgröße der Objekte, die der Katalog enthalten soll, sollte man nicht zu groß wählen, damit der Katalog nicht zu umfänglich wird und Sterne enthält, die auf den eigenen Aufnahmen gar nicht sichtbar sind. Typischerweise reicht z.B. **12** bis **14** in sternreichen Regionen, um einen Katalog mit zumindest einigen hundert bzw. wenigen tausend Sternen zu erhalten, was völlig ausreicht. In sternarmen Regionen einen etwas höheren Wert wählen.
- Der **Radius [']** wird automatisch anhand der Pixelskala und den RA/DEC Werten in den headern bestimmt, einschliesslich einer Toleranz von zusätzlichen 10%. Falls der automatische Wert nicht ausreichend sein sollte, muss der radius manuell eingegeben werden. Der heruntergeladene Katalog sollte das komplette Gesichtsfeld

der Aufnahmen abdecken (was man erst in den später erzeugten Plots sieht, wenn die Aufnahmen ganz im Kreis roter Referenzsterne liegen).

Für den manuellen Download jetzt die Schaltfläche **Get Catalog** wählen und warten, bis der Referenzkatalog vorbereitet ist (Lädt man den Katalog nicht manuell, wird er später beim Start der Astrometrie automatisch geladen).

Im **Monitor** kann man ablesen, wie viele Sterne geladen wurden, dort heißt es beispielsweise "*xxx GAIA-DR2 reference sources retrieved at this location*" (xxx Gaia-Referenzobjekte an dieser Himmelsregion geladen). 200 - 400 Sterne pro Grad Gesichtsfeld sind ein guter Wert.

In den Folgezeilen wird die Position in RA und DEC angegeben, wobei die RA-Angabe umzurechnen ist über $h/24 \cdot 360$ (so steht sie auch im FITS header, z.B. ergibt sich bei RA 13h 26min = 13.33h also RA 201.5). Außerdem werden im dunkelgrauen Kästchen hierbei automatisch Bulk pm-Werte eingetragen.

Astrometrie und relative Photometrie - Astrometry / relative photometry

Dieser Schritt ist verpflichtend.

Meiner Erfahrung nach ist dies der fehleranfälligste und oft langwierigste Bearbeitungsschritt.

Auswahl geeigneter Parameter

Auch hier gilt wieder, dass die **Defaultwerte oft brauchbare Ergebnisse erzielen**. So beschreiben andere Nutzer, dass Sie in der Regel nur minimale Eintragungen vornehmen (Koordinaten, Mag.-Limit und Radius des Katalogs, Haken bei "Match flipped images" in der Astrometrie und in der Coaddition die Objektbezeichnung).

Wer individueller vorgehen möchte, findet hier Details zur Konfigurationsseite 7 (siehe folgende Abbildung):

Astrometry / relative photometry	
(1) Method	
Scamp	Restore header
(2) Matching	
Method	Scamp
POSANGLE_MAXERR	180
POSITION_MAXERR [']	8
PIXSCALE_MAXERR	1.03
CROSSID_RADIUS ["]	9
<input checked="" type="checkbox"/> Match flipped images	
(3) Solution context	
ASTREF_WEIGHT	1.0
SN_THRESHOLDS	5,20
ASTR_INSTRUKEY	FILTER
PHOT_INSTRUKEY	FILTER
(4) Distortion	
DISTORT_DEGREES	3
DISTORT_GROUPS	
DISTORT_KEYS	
(5) Focal plane array handling	
STABILITY_TYPE	EXPOSURE
MOSAIC_TYPE	UNCHANGED
FPA mode	IGNORE_PRIOR
?	
(6) Check plots	
Resolution	View
Star flat	
CATALOG	2MASS
FILTER	J
Error [mag]	0.05

In (2) Matching - Optionen für die Überlagerung der eigenen Aufnahmen mit dem Referenzkatalog

- Verwendetes Programm für das Matchen der Aufnahmen mit dem Referenzkatalog, **Method**: Ich wähle bisher typischerweise **Scamp**. Andere Nutzer berichten, dass **Astrometry.net** einen deutlichen Geschwindigkeitsvorteil bringt (Minuten statt Stunden).
- Maximale Winkelabweichung der Aufnahmen gegenüber "Nord oben" in Grad, **POSANGLE-MAXERR (deg)**: **180** bei nicht richtig orientiertem, ggf. gespiegeltem Bild (Wenn wegen einer Spiegelung im Bild unten **Match flipped images** gewählt wird, hier wohl immer **180** nötig; bei einer seitenrichtigen Aufnahme kann auch z.B. 2 Grad mehr als der vorab ermittelte Drehwinkel eingegeben werden).
- Maximale Unsicherheit der im Katalog angegebenen Mittenposition, **POSITION_MAXERR (arcmin)**: realistischen Wert eingeben, abhängig vom Gesichtsfeld.
- Maximale Unsicherheit des in der Instrumentenkonfiguration eingegebenen Pixelmaßstabs (zumindest bei der alten THELI-Version als Faktor einzugeben), **PIXSCALE_MAXERR**: z.B. **1.03**
- Radius, innerhalb dessen die Objekte am Ende mit dem Referenzkatalog gematcht werden, **CROSSID-RADIUS (arcsec)** z.B. **10** (Sollwert: das 5-10fache der PixScale aus der Instrumentenkonfiguration, also für die CANON700Da bei 800mm Brennweite 5,6-11,1)

- Überlagere gespiegelte Bilder (**Match flipped images**) muss z.B. für die 700Da an einem Refraktor **angewählt** werden, wenn keine Spiegelung in der Instrumentenkonfiguration vorgenommen wird (was ich aber mache).

In (3) Solution context - Optionen für die astrometrische Lösung

- Relatives Gewicht von Referenz-Aufnahme-Paarungen gegenüber Aufnahme-Aufnahme-Paarungen in der Astrometrischen Lösung, **ASTREF_WEIGHT 1.0**. Kann für praktisch alle Amateuraufnahmen so bleiben.
- Grenzen für das Signal-zu-Rausch-Verhältnis in der Statistik (zwei Zahlen, getrennt durch ein Komma), **SN_THRESHOLDS: 5,20** belassen
- Erzeugung einer eigenen astrometrischen bzw. photometrischen Lösung für das hier eingegebene Schlüsselwort aus dem FITS header, typischerweise **LEER = NONE** oder **FILTER**,
ASTRINSTRU_KEY und **PHOTINSTRU_KEY**: Ich wähle im allgemeinen **FILTER**, um beispielsweise die chromatische Aberration bzw. atmosphärische Dispersion zu korrigieren (Die Distortionplots der einzelnen Farben unterscheiden sich tatsächlich nicht unerheblich!). Andere Nutzer nehmen bei DSLR-Bildern immer **NONE**, um nicht für jeden Filter (RGB) einzeln zu photometrieren.

In (4) Distortion - Verzerrung

- Ordnung des Polynomfits für die Verzerrung (es dürfen mehrere, kommasetrennte Ordnungen eingegeben werden, für Amateurzwecke aber irrelevant), **DISTORT_DEGREES 3** (oder größer, da sich der Pixelmaßstab nichtlinear in x/y-Richtung ändert; in der aktuellen Version wird nur ein Distortion Plot erzeugt)
- Gruppen, die je nach Verzerrung gebildet werden, **DISTORT_GROUPS: LEER** lassen
- Schlüsselwörter aus SEXTRACTOR oder dem FITS header, die in die Verzerrungsberechnung eingehen (FITS header-Schlüsselwörtern muss ein Doppelpunkt vorausgestellt werden, z.B. **:AIRMASS**), **DISTORT_KEYS: LEER** lassen

In (5) Focal Plane Array Handling - Behandlung der Fokusebene des Detektorarrays

- Angabe, ob die Verzerrung einmal für das Instrument oder für jede einzelne Aufnahme berechnet werden soll, **STABILITY-TYPE; INSTRUMENT** oder **EXPOSURE**. Oft reicht hier auch **INSTRUMENT**.
- Parameter nur für Kameras mit mehreren Sensoren: **MOSAIC-TYPE: UNCHANGED** (einzig sinnvolle Wahl für single chip-Kameras) und
- **FPA mode: IGNORE_PRIOR**
- Über die **Fragezeichen**-Schaltfläche erhält man Hinweise für die diversen Mosaik-Berechnungs-Möglichkeiten in SCAMP bei einem Detektorarray.

In (6) Check plots

- Bei **Resolution** kann man die grafische Auflösung der Daten in den Ergebnisfenstern einstellen, damit man alle Achsenbeschriftungen lesen kann. Für eine grobe Beurteilung kann man das Feld *LEER* lassen.
- Die Schaltfläche **View** zeigt die Ergebnisfenster (Checkplots) an. Das passiert aber auch automatisch nach Abschluss der Astrometrie.

Durchführung und Beurteilung der Astrometrie

Ganz wichtig: Vor dem Start alle Parameter prüfen, da der Prozess nicht vernünftig angehalten werden kann und jeder Fehlversuch viel Zeit kostet.

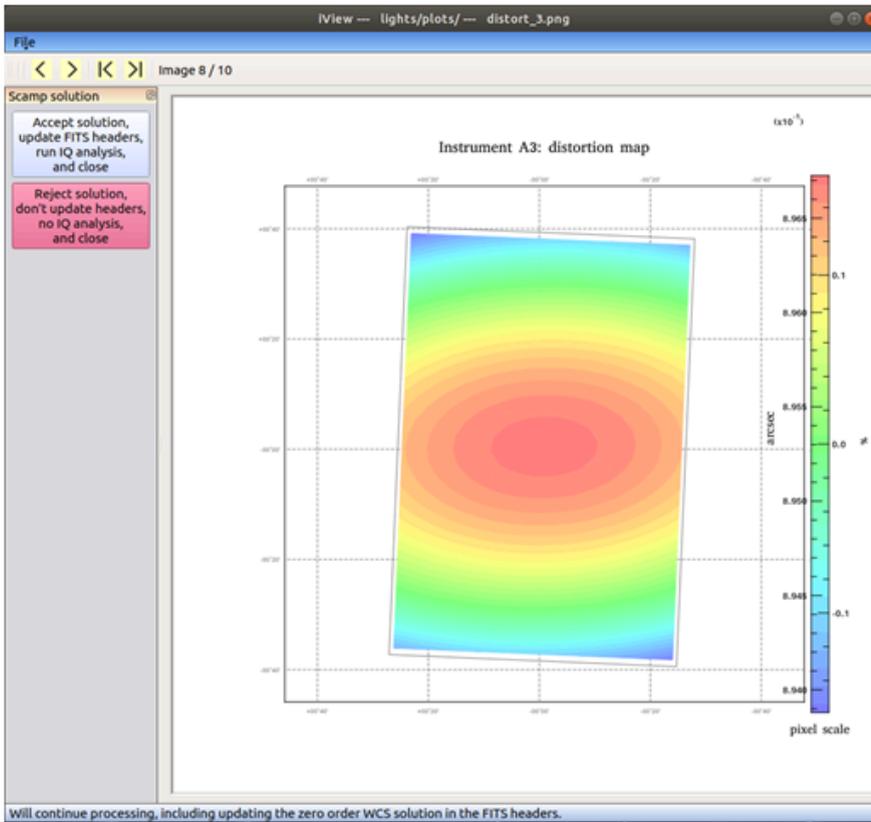
Astrometry / relative photometry, **start** .

Dieser Arbeitsschritt kann (bei Wahl von **Scamp**) pro Bild je nach Einstellungen und Sterndichte zwischen wenigen Sekunden bis über 1 Minute dauern und kann nach dem Start nicht abgebrochen werden.

U.U. wird (von Scamp) im Monitor gemeldet, dass beim Kompilieren kein multithreading-fähiger ATLAS verwendet wurde (*WARNING: This executable has been compiled using a version of the ATLAS library without support for multithreading. Performance will be degraded*). Nach Beiträgen mehrerer Nutzer im Theli-Forum ist das Erzeugen eines solchen ATLAS aufwändig und bringt keinen großen Geschwindigkeitsgewinn.

Am Ende des Prozesses werden verschiedene Ergebnisgrafiken (Check plots) erzeugt, im Ordner **plots** unter **lights** abgelegt und in einem eigenen Fenster zur Begutachtung geöffnet. Zur Interpretation sind die vielen Beispiele in der alten englischen THELI-GUI-Dokumentation, Punkt 12.5.1 (siehe Links) weiterhin hilfreich.

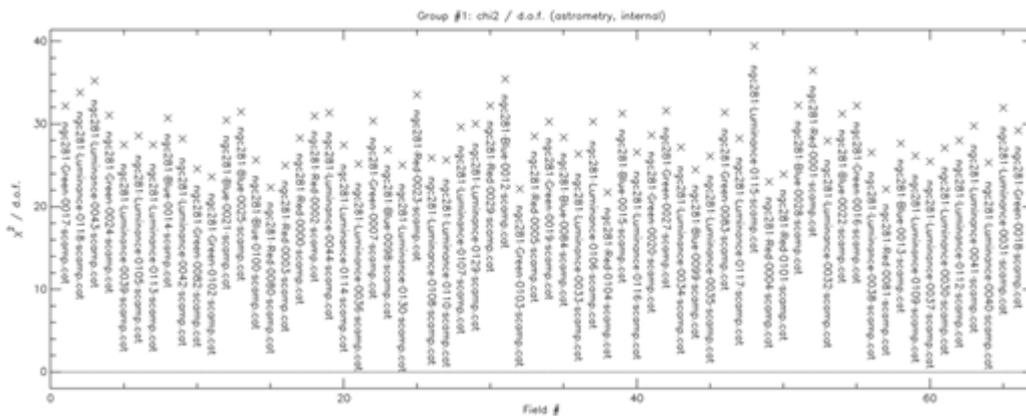
Anhand der Ergebnisse entscheidet man, ob man die Astrometrische Lösung akzeptiert (**Accept solution, update FITS headers, run IQ analysis and close**) oder nicht (**Reject solution...**). Im ersteren Fall wird die Position im FITS header aktualisiert und eine Bildqualitäts-Analyse durchgeführt (z.B. die Halbwertsbreiten bestimmt). Der Prozess läuft im Hintergrund und dauert einige Zeit, man muss hier warten. Andernfalls wird nur das Fenster geschlossen und man muss die Astrometrie erneut mit veränderten Parametern durchführen.



Hilfen zur Beurteilung der Ergebnisplots

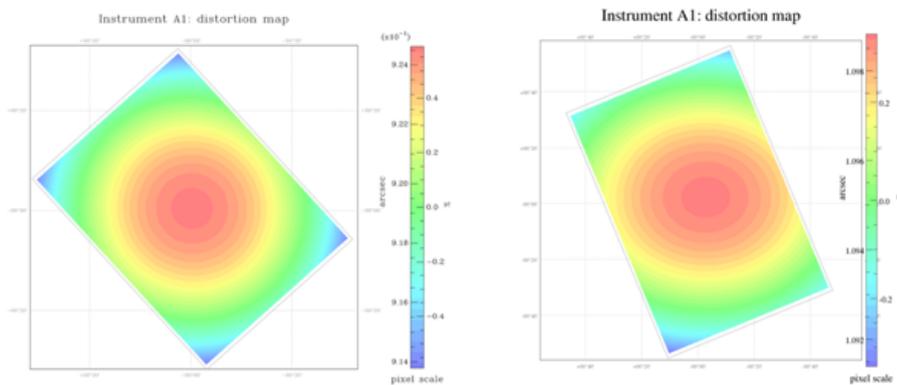
Die wichtigsten Plots sind diese drei:

(1) $\chi^2/\text{d.o.f.}$ (Intern und Referenz)



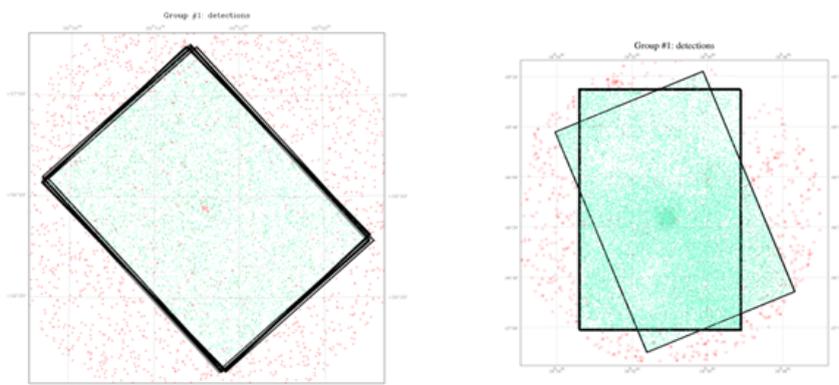
Hier sieht man wie gut die Astrometrie funktioniert hat. Ggf. kann man sich die Bilder, die aus der Reihe tanzen, nochmal anschauen, auffällig schlechtere Aufnahmen inaktivieren und die Astrometrie erneut durchlaufen lassen. In jedem Fall sollte man deutlichen Ausreißern auf den Grund gehen und andere Einstellungen probieren, wenn das Rohmaterial gut ist.

(2) distortion maps - Verzerrungsplots



Die distortion-map (bzw. 3 bei Aufteilung in die Filter R, G, B) stellt farblich den Pixelmaßstab als Funktion der Position auf dem Detektor dar und zeigt die Lage der Optischen Achse auf dem Detektor. Er sollte radialsymmetrisch aussehen. Ist er **deutlich verzogen** ("moderat elliptisch" (z.B. der erste Plot ganz oben, oder weniger ausgeprägt der rechte Plot im letzten Bild) ist noch o.k.), wird in der alten Anleitung empfohlen, andere Einstellungen bei den Sternkatalogen zu versuchen, etwa ein anderes mag limit oder einen anderen Referenzkatalog zu wählen oder z.B. die Detektionsschwelle DT zu verringern...

(3) Group detections bzw. fgroups



Der fgroups-Plot zeigt zum einen in rot die Referenzsterne innerhalb des bei den Sternkatalogen angegebenen Radius sowie in grün die Referenzsterne, die in den eigenen Bildern detektiert wurden. Auch die Lage der einzelnen Bilder ist ersichtlich. Links liegen alle (bis auf das Dithering) übereinander. Bei den rechten Bildern handelt es sich um unterschiedlich rotierte Aufnahmen aus zwei Nächten. Auch bei einem Mosaik wären mehrere Gruppen von Bildern zu erkennen. Wenn ein Bild aus unerklärlichen Gründen aus der Reihe tanzt, ist in der Astrometrie etwas schiefgegangen. Auch hier wieder andere Einstellungen probieren.

Weitere Grafiken

delta AXIS reference astrometric error zeigt die Streuung der Referenzobjekte an, also die absolute astrometrische Genauigkeit.

delta AXIS internal astrometric error stellt die interne, relative Genauigkeit dar. Weitere Grafiken schlüsseln die Residuen weiter nach den x- und y-Achsen auf.

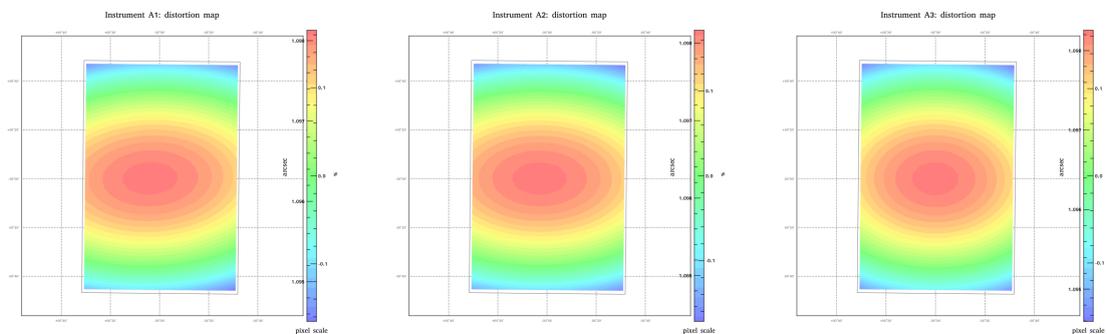
delta mag internal photometric error: Diese Grafik zeigt die relativen photometrischen Abweichungen zwischen den Aufnahmen als Funktion der x- und y-Achsen.

Bevor falsche Schlüsse gezogen werden, sollte man sich erst den Achsenmaßstab ansehen, da es sein kann, dass sich vermeintlich schlimme Abweichungen weit innerhalb eines Pixels abspielen.

Folgende Abweichungen sind bei mir typisch:

chi ² /d.o.f. internal	0 bis 8 (auch 25-500, seeing und justage-abhängig)
chi ² /d.o.f. reference	0 bis 5 (auch weniger, etwa 1.1 bis 2, auch 100?)
delta AXIS internal astrometric error	+1" (auch 0.4 bis 0.5" oder 3")
delta AXIS reference astrometric error	+1" (auch 0.2 ", auch 3?)
distortion map	+0.15% (auch 0,3%) bzw. 1.102 bis 1.109 arcsec, rund bzw. elliptisch!
Group detections	innerhalb der Bilder überwiegend grün, komplett im roten Kreis
delta mag internal photometric error	+0.4 bis 0,75 (je nach Transparenz)

Beispiele für Unterschiede in den Verzerrungsplots (distortion maps) der Filter R, G und B:



Was tun bei Misserfolg?

- Evtl. großzügigere Parameter 180/5/1.05/17/ Match flipped images /1.0/5,20/ NONE / NONE / 3 / / / EXPOSURE
- Astronomy.net statt Scamp versuchen

Spezialfälle

Die Anleitungen dieses Unterkapitels wurden für die bisherige THELI-Version erstellt, dürften aber in der neuen ähnlich funktionieren (allerdings kann man jetzt alternativ durch

kommagetrennte Eingabe auf der ersten Seite gleichzeitig mehrere Serien verarbeiten, was das Vorgehen wohl in den meisten Fällen vereinfacht)

Coaddition von Bildern unterschiedlicher Instrumente

(in Bearbeitung - enthält Fehler)

Die soeben beschriebene Methode, mehrere Serien im **Data tree** kommagetrennt einzutragen und gleichzeitig zu bearbeiten, ist auf Bilder unterschiedlicher Instrumente nicht anwendbar. Für diesen Fall habe ich folgendes Vorgehen getestet (vielleicht gibt es einfachere Vorgehensweisen!):

- (1) Man legt ein Projektordner an, der die verschiedenen Serien enthält. Die Rohdaten der einzelnen Serien liegen in getrennten Unterordnern, die man entsprechend der Serien *lights_a*, *lights_b*, ..., *darks_a*, *darks_b*, ... usw. benennt.
- (2) Zunächst trägt man die Unterordner der ersten Serie in den **Data tree** ein.
- (3) Man arbeitet die Serie (oder zusammengehörige Serien eines Setups) inklusive der Coaddition ab.
- (4) Man wiederholt die Schritte (2) und (3) für alle Serien.
- (5) Beim Start von Color THELI werden dann alle coadds aus den *lights_a*, *lights_b*, ... angeboten **aber bei mir leider nicht als Summe übernommen**. Solange die Filtereinträge im Header stimmen (also z.B. Halpha auch wirklich Ha heißt und nicht R), wird jetzt automatisch ein cropped image je Filter als Addition dieses Filters aus allen Serien erzeugt, also z.B. alle Rotauszüge usw. zusammenaddiert.
- (6) Das Dazumischen etwaiger Schmalbandaufnahmen und die Farbkalibration erfolgt dann mit diesen addierten Bildern.

Es ist wohl auch möglich, die einzelnen Serien nur bis inklusive der Wichtung und Katalogerzeugung getrennt zu bearbeiten und dann alle SCIENCE in einen Ordner *lights_all* zu packen und gemeinsam zu astrometrieren, analog wie unten für die Mosaiken beschrieben. Diese in der alten Version benutzte Vorgehensweise habe ich mit der aktuellen Version noch nicht ausreichend erprobt.

Erzeugung von Mosaiken

(in Bearbeitung)

Anmerkungen zu Mosaiken von Mischa Schirmer (in der Vorgängerversion von THELI)

Man muss nur dann für jedes Pointing (Bilderserie) den kompletten Durchlauf einzeln machen, wenn es sich um ein allsky-Mosaik mit Superweitwinkel handelt, da bei extrem kurzen Brennweiten Projektionseffekte mit ins Spiel kommen, jedoch nicht bei normalen Brennweiten.

(Im Grunde würde es reichen, alle Bilder ins gleiche Verzeichnis zu werfen, den Referenzkatalog mit entsprechend großem Radius herunterzuladen, und den POSITION_MAXERR entsprechend groß zu setzen. Man behandelt das Mosaik also als einen ganz normalen Bildersatz, nur mit sehr großem Dither-Pattern. Kann gut sein, dass das klappt. Leider findet scamp die Lösung nur noch selten, wenn ein Pointing weit außerhalb der angegebenen Referenzkoordinaten liegt.)

Es reicht, wenn man für jedes Pointing die Koordinaten bestimmt und in den header eintragen lässt. Hierzu arbeitet man nach der Erzeugung der Globalen und individuellen Gewichtungdateien und der Objektkataloge nicht in den einzelnen lights-Unterordnern weiter, sondern erzeugt zwei neue Ordner, z.B. *lights_all* und *park*. Dann verschiebt man die lights und den Inhalt des Unterordners *cat* eines Pointings in *lights_all* (den man dann natürlich im **Data tree** statt *lights* eintragen muss!). Anschließend verschiebt man die lights dieses Pointings (ohne die Objektkataloge!) in den Ordner *park* und geht mit dem nächsten Pointing genauso vor. Sind alle Pointings bearbeitet, wirft man alle Bilder in allen Filtern zusammen in *all*, und erzeugt einen [zusätzlichen] Parkordner *park*. Dann behält man nur die lights eines Pointings im Ordner *all* (alle anderen in den Parkordner verschieben), gibt die entsprechenden Zentrumskoordinaten ein, **startet THELI neu, prüft den Status** (s.u.) und erstellt anschließend die Objektkataloge über **Create Sourcecat**. Hierbei werden die RA/DEC Koordinaten in den header übertragen (wenn man eine der Optionen wählt). Das gleiche dann für die anderen pointings durchführen. [Wenn man so vorgeht, stehen die Katalogdateien und header bereits im richtigen Ordner. Führt man diesen Schritt noch in den getrennten lights-Ordnern durch, muss man die Katalogordner und Header mit in *all* kopieren]

Man muss **THELI nach jedem manuellen Verschieben von Dateien neu starten** (es reicht alternativ wohl auch, den Ordner *all* im **Data tree** zu löschen und neu einzutragen) und den **Status der Dateien prüfen**. Theli verlässt sich andernfalls auf seine mitgeführte Dateiliste und hält auch einiges im Speicher vor, was zu unerwünschtem Verhalten führen kann.

Für die Astrometrie sammelt man dann alle Bilder wieder. Bevor du sie laufen lässt, gibst du die ungefähren Zentrumskoordinaten des Mosaiks ein und lädst den Referenzkatalog mit entsprechend großem Radius runter. Astrometrie dann wie gehabt mit den üblichen Einstellungen.

Diese Vorgehensweise funktioniert recht gut, z.B.: auch bei Aufnahmen desselben Objekts aus unterschiedlichen Nächten, mit unterschiedlicher Kameradrehung und Verschiebungen!!!

Hat man für jede Aufnahmeserie eine eigenen Ordner angelegt (z.B. *M27_160914* und *M27_300918*) und einen weiteren für die kompletten Serien (z.B. *M27_all*), dann reicht es nicht, alle lights vor create sourcecat in einen Ordner *xxx_all* zu verschieben, sondern man muss auch die weights in diesen Hauptordner verschieben!

(Wenn das Aufnahmesystem bereits Koordinaten in den header der Rohdaten schreibt, muss man sich um gar nichts kümmern, und kann ein Mosaik wie ein ganz normales Pointing behandeln.)

Ein zweifacher Durchlauf der Astrometrie ist nur für ein all-sky Mosaik nötig, welche das astrometrische Matching ziemlich hässlich machen können. Nur da ist ein "update header" für jedes einzelne Pointing nötig.

Alternative Vorgehensweisen - Unterschiedliche Setups und Mosaike

- Gemeinsames Projekt mit allen Aufnahmen anlegen (nicht zwei Projekte parallel, s.o.)
- flats/darks/lights für die Serien (Pointings) unterschiedlich benennen
- Dann Dateipfade für erste Serie vorgeben und bis inklusive weighting bearbeiten
- Bilder jetzt in Ordner "all" kopieren und diesen im Pfad eintragen

- Ungefähres Zentrum der Serie (bei ähnlichem Zentrum aller Serien gemittelte Koordinaten) eintragen, Katalog (bei ähnlichem Zentrum mit einem für alle Pointings ausreichend großen Radius) herunterladen und create source cat durchführen.
Anm.: Es hat bei mir auch schon funktioniert, das create source cat für alle Serien gleichzeitig durchzuführen (M11, einzelne Serien verdreht aber mit etwa gleichem Zentrum)
- Parkordner "park" anlegen und die Bilder der ersten Serie darin parken
- Dann Dateipfade ändern und für jede weitere Serie obige Schritte bis inklusive create source cat durchführen (werden dabei die global weights überschrieben? Wohl egal), letzteres wieder im Ordner "all"
- Jetzt alle Files aus Parkordner wieder in "all" zurückbewegen
- Falls nicht vorab geschehen, ausreichend großen Katalog herunterladen und alle Aufnahmen gemeinsam astrometrieren mit Type Exposure (funktioniert und ist meiner Meinung nach sinnvoll, zumindest, solange die Verzerrungen unterschiedlich sein können, z.B. wegen anderem Kameraabstand- Abstandsringen, anderer Höhe am Himmel? Ein anderes Instrument und damit ja auch eine andere Kamera steht dagegen ja eigentlich im Header!)

Eigene Versuche mit M31 (Mosaik, unterschiedliche Drehung, verschiedene Kameras) haben (nach meiner Erinnerung) folgendermaßen funktioniert:

- Reduktion einzelner Aufnahmeserien einer Kamera (100D) nacheinander bis inklusive Weigthing und Create SourceCat *in einem gemeinsamen Projekt* durchführen, dann Serien einer Kamera zusammen astrometrieren, Update Header [möglicherweise ist das Astrometrieren gar nicht notwendig, zeigt aber schon mal, ob der erste Teil sich astrometrieren lässt; Plots!]
- Hat die zweite Kamera die gleiche Sensor- und Pixelgröße, kann sie mit der ersten Kamera im gleichen Projekt behandelt werden, z.B. 100D und 700Da
- Andernfalls in einem weiteren Projekt die Serien einer zweiten Kamera (350D) genau so behandeln.
- Dann in einem der Projekte einen **Ordner "all" einführen und darin alle lights und im Unterordner cat alle catfiles zusammenführen, ebenso die headers und headers_scamp** (dabei sind offensichtlich nur die einzelnen images wichtig, nicht gemeinsame Files wie die source-Kataloge...[ob auch die Unterordner in cat und die headers wichtig sind, weiß ich nicht). **Zusätzliche alle einzelnen weights in den Ordner WEIGHTS zusammenkopieren.**
- Den Sourcekatalog für einen größeren Radius herunterladen, wenn die Zentren nicht übereinstimmen.
- **Kein Create SourceCat** durchführen
- **Astrometrieren** mit ausreichend großzügigen Parametern, Plots kontrollieren: Sollte nicht länger als 20min dauern, bei sehr vielen Bildern mehr.

Star flat

Generell deaktiviert.

Sky subtraction - Abzug des Himmelshintergrunds

Hier wird der Himmelshintergrund modelliert und von den Bildern abgezogen. Es gibt drei verschiedene Möglichkeiten:

Model the sky - Modellierung des Himmelshintergrunds

Bei dieser Option wird in einem relativ aufwändigen Verfahren ein Himmelsmodell aus den Bildern erzeugt, nachdem die detektierten Objekte automatisch maskiert wurden.

Bisher galt die Empfehlung, die Methode nur zu verwenden, solange kein formatfüllendes Objekt ohne dunklen Himmel aufgenommen wurde und extrem feine Strukturen unwichtig sind, da nur Strukturen maskiert wurden, die auf den einzelnen Bildern erkennbar waren. Andere Nutzer beschreiben jedoch, dass die **Methode stark verbessert** wurde und **Model the sky** bei Gradienten immer eine Option ist. Sicherheitshalber die **Wirkung auf schwache Nebelgebiete... überprüfen!**

Polynomialfit with degree x - Polynomfit

Hier wird ein Polynom (mit angebbarem Polynomgrad/degree) an die vorzugebenden dunklen Himmelsregionen gefittet. Man muss hierzu die Himmelsregionen wie bei der nächsten Methode unter (3) markieren. Wichtig ist, dass mehrere ausreichend **über die Bildfläche verteilte Stellen** markiert werden, um den Fit zu ermöglichen. Mindestens $2 * \text{degree} + 1$, also bei einem Polynom 2. Grades 5. Andernfalls erfolgt eine Fehlermeldung oder eine ungenaue Korrektur. Diese Methode kann nur leichte und langsame Gradienten beseitigen.

Substract a constant sky - Abzug eines konstanten Himmelshintergrunds

Diese Methode ist **meine favorisierte Vorgehensweise** und insbesondere zu empfehlen, wenn das Objekt oder die Nebelbereiche nahezu formatfüllend sind, bzw. wenn es auf feine Strukturen ankommt, die auf den Einzelaufnahmen praktisch nicht erkennbar sind, z.B. schwache Wasserstoffwolken in großen Bildteilen. Allerdings entfernt diese Methode keine Gradienten! Es macht Sinn, vorab zu klären, wo wirklich dunkle Bildbereiche sind, um diese dann unter (3) zu markieren.

Parameterwahl

Sky subtraction

(1) Method

Model the sky

Polynomial fit with degree

Subtract a constant sky

Save sky model in SKY_IMAGES/

(2) Object masking

DT DMIN

Kernel width [pixel]

Mask expansion factor

(3) Empty sky area(s)

Choose

Je nach Methode ist Abschnitt (2) oder (3) ausgegraut. Nur die nicht ausgegrauten Abschnitte müssen ausgefüllt werden.

(1) Method - Methode

Hier wählt man eine der drei eben beschriebenen Methoden für das Himmelsmodell aus.

Das/die Himmelsmodell(e) können in einem Unterverzeichnis *SKY_IMAGES* gespeichert werden, dazu den **Haken** bei **Save sky model in SKY_IMAGES/ setzen**

(2) Object masking - Objektmaskierung

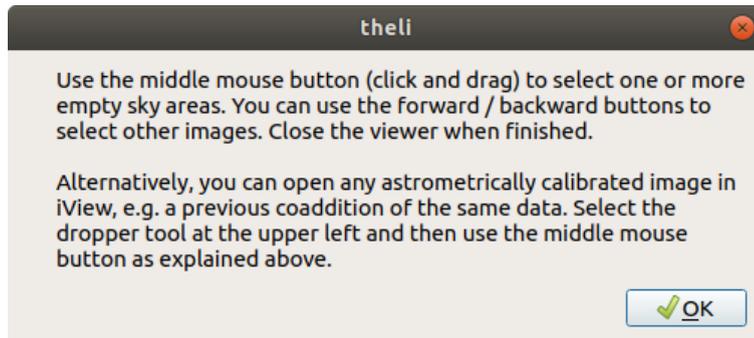
Zumindest wichtig für die Option **Model the sky**

- **DT**: Detektionsschwelle für ein helles Pixel
- **DMIN**: Minimale zusammenhängende Pixelanzahl über der Schwelle,
- **Kernel width [pixel]**: Breite des Gaußschen Weichzeichners, angegeben in Pixeln, für das Erzeugen des Himmelsmodells,
- **Mask expansion factor**: Faktor, um den die Masken der detektierten Objekte vergrößert werden, bevor das Himmelsmodell berechnet wird. **10** ist ein guter Startwert. Vermutlich wichtig bei schwachen Strukturen.

(3) Empty sky area(s) - Leere Himmelsregionen

Hier besteht die Wahl, ob man ganze Sensoren als leere Himmelsregionen kennzeichnet (was bei Ein-Sensor-Kameras keinen Sinn macht) oder dunkle Himmelsbereiche aussucht.

Durch Klick auf **Select sky area(s) - Wähle Himmelsregion(en)** wird eine Anleitung eingeblendet, die sinngemäß unten wiedergegeben wird:



Nach ok werden einzelne astrometrierte Bilddaten in iView geöffnet (Mit den Pfeiltasten kann man spezielle Bilder aussuchen). Mit der mittleren Maustaste kann man durch Klicken auf die Mitte einer dunklen Region und anschließendes Ziehen bei gedrückter Maustaste in verschiedenen astrometrierten Bildern dunkle Kreisregionen kennzeichnen, die dann vom Programm ausgewertet werden. Auch Bilder aus einer eventuellen vorhergehenden Coaddition lassen sich hierzu laut Hilfstext nutzen. Zwischen den Bildern wechselt man über die Pfeiltasten in der oberen iView-Leiste. Ich habe für Methode (2) in 4 Bildern jeweils 5 Regionen gekennzeichnet. In Methode (3) sind nicht so viele nötig.

Anm.: Ich habe noch nicht getestet, ob das bei Mosaiken auch funktioniert, wenn die gekennzeichneten Himmelsregionen nur in einem Teil der Bilder enthalten sind.

Start (Der Vorgang ist speicherintensiv, aber viel schneller als in der bisherigen THELI-Version.

Anm.: Ich musste für diesen Schritt die Rechnerauslastung in Einstellungen auf **1** CPU reduzieren und den Haken bei **minimize memory usage setzen**, damit es nicht zu Abstürzen kam. Vielleicht lieber nicht allzu viele Regionen wählen, z.B. nur 3. Allerdings ist THELI tolerant und kann nach Abstürzen die Daten wieder herstellen.

Coaddition - Überlagerung der Aufnahmen

Die Koaddition ist der eigentliche Zweck der Prozessierung. Die astrometrierten Rohbilder werden hierbei entzerrt, genordet, in die gewählte Projektion abgebildet, und entsprechend der Transparenz/Bildqualität der jeweiligen Einzelaufnahme gewichtet addiert. Man hat dabei die Wahl, einzelne Filter, alle Filter einzeln oder alle Filter gemeinsam zu addieren.

Eingabeoptionen

In der folgenden Abbildung sind typische Eingaben für die Koaddition dargestellt:

Coaddition	
(1) Reference coordinates	
R.A.	<input type="text" value="13:26:47"/>
DEC	<input type="text" value="-47:28:42"/>
(2) Resampling, stacking, zeropoint	
Plate scale [" / pixel]	<input type="text"/>
PA [deg]	From image <input type="text"/>
Combine method	WEIGHTED
Resampling kernel	LANCZOS3
Sky projection	TAN
Celestial type	EQUATORIAL
<input type="checkbox"/> Rescale WEIGHTS	
(3) Outlier rejection	
Threshold per pixel [sigma]	<input type="text" value="4"/>
# of connected bad pixels	<input type="text" value="3"/>
Additional border [pixel]	<input type="text"/>
(4) Setup	
Unique identifier	<input type="text" value="OmegaCen"/>
Coadd chips	<input type="text"/>
Edge smoothing	<input type="text"/>
NAXIS1	<input type="text"/>
NAXIS2	<input type="text"/>
(5) Non-sidereal targets	
PM units	[" / sec]
PM in R.A.	<input type="text"/>
PM in DEC	<input type="text"/>
(6) Absolute photometry	
<input type="checkbox"/> Perform flux calibration	

Defaults for page 9 << >> Page 9/9

(1) Reference coordinates - Referenzkoordinaten

R.A. und **DEC** geben die Mittenkoordinaten der koaddierten Bilder vor. Typischerweise entsprechen sie der Mitte der Aufnahmen bzw. den Koordinaten des aufgenommenen Objekts (Zur Erzeugung eines Farbkomposits ist ein identischer Wert für alle Farben erforderlich, ansonsten können diese Felder leer bleiben).

(2) Resampling, stacking, zeropoint - Pixelwertberechnung, Überlagerung, Schwarzpunkt

- **Plate scale ["/pixel]** - **Abbildungsmaßstab in "/Pixel**. Wenn man keine Angabe macht, wird der Maßstab aus der Instrumentendefinition zugrunde gelegt. Eine Vergrößerung (also ein moderat kleinerer Wert als im Instrument eingegeben) macht allenfalls bei vielen geditherten Aufnahmen (Aufnahmen mit einem absichtlichen geringfügigen Vershub) oder schlecht abgetasteten Rohdaten (undersampled; Sensor mit zu großen Pixeln) Sinn, erhöht aber auch das Rauschen.
- **PA [deg]** - **Positionswinkel**, also die Drehung des Ergebnisbildes gegenüber Nord oben / Ost links. Wenn man das Feld **LEER** lässt, wird das Bild genordet. **From Image** bewirkt, dass die Drehung aus den Rohdaten beibehalten wird. Ein positiver Wert bewirkt eine Drehung im Uhrzeigersinn.

- **Combine method - Stackingmethode.** **WEIGHTED** ergibt das beste Signal-zu-Rausch-Verhältnis
- **Resampling kernel:** Berechnungsmethode der Pixel des Ergebnisbildes aus den Pixeln der Ausgangsaufnahmen.
 - **LANZOS3** ist nach meiner Erfahrung optimal bei ausreichender Abtastung (gutes Verhältnis der Pixelgröße zur Teleskopauflösung),
 - **BILINEAR** oder **LANZOS2** verwenden, falls die Sterne andernfalls zu eckig wirken.
 - **LANZOS4** bei Oversampling (zu kleinen Pixeln im Verhältnis zur Auflösung des Teleskops)

Anm: Bilder gelten als ausreichend abgetastet (gesampelt), wenn die Halbwertsbreite (FWHM) nicht gesättigter, punktförmiger Objekte 3 bis 3.3 Px beträgt, darunter undersampled, darüber oversampled. Neben Instrumentenparametern beeinflussen auch das Seeing, die Fokussierung und die Güte der Nachführung die Halbwertsbreite und damit das Sampling.

- **Sky projection - Himmelsprojektionstyp:** Nur relevant, falls das Gesichtsfeld mehrere Grad beträgt. Ich verwende unverändert **TAN**
- **Celestial type:** bestimmt das Koordinatensystem. **EQUATORIAL** ergibt das übliche Koordinatensystem aus R.A. und DEC, auch **galaktische**, **supergalaktische** und **ekliptische** Koordinaten wären möglich.
- **Rescale Weights:** Sollte nur angehakt werden, wenn das Bild große leere Himmelsareale enthält. Große Objekte verfälschen die interne Statistik.

(3) Outlier rejection - Maskierung von Störstellen

- **Threshold per pixel [sigma]:** Schwelle [sigma], ab der ein Pixel als Störpixel angenommen wird. **4** ist ein guter Startwert.
- **# of connected bad pixels:** minimale Anzahl zusammenhängender Störpixel, ab der diese als Störsignal gewertet werden. Je höher die Zahl, desto eher werden kleine Störstellen nicht maskiert. **3** ist ein guter Startwert.
- **Additional border [pixel]:** Zusätzlicher Saum um eine Störstelle, der maskiert werden soll. Kann i.d.R. **LEER** gelassen werden, ein Wert ungleich 0 ist eventuell jedoch zur Satellitenentfernung hilfreich.

(4) Setup

- **Unique identifier:** Gemeinsamer Namenbestandteil der koaddierten Bilder
- **Coadd chips:** Nur relevant für bei mehreren Detektoren, andernfalls **LEER**.
- **Edge smoothing:** Breite des Übergangs am Bildrand (**relevant bei Mosaiken falls der Himmelshintergrund nicht korrekt abgezogen werden konnte**; ein Wert von z.B. **200** ist sinnvoll), andernfalls **LEER** lassen.
- **NAXIS1/2:** Angabemöglichkeit für Breite/Höhe des koaddierten Bildes in Pixeln, um das Bild zu beschneiden. Typischerweise **LEER**.

(5) Non-sidereal targets - Objekte, die sich gegenüber dem Sternenhintergrund bewegen

Hier müssen nur Angaben gemacht werden, wenn man auf Kometen, Kleinkörper und andere Objekte, die sich gegenüber dem Sternenhintergrund bewegen, stacken möchte.

- **PM units:** Größeneinheit der Angaben zur Eigenbewegung wählen
- **PM in R.A./DEC:** Eigenbewegung in R.A./DEC eingeben

Diese Angaben erhält man z.B. aus Cartes du Ciel (Daten aus MinorPlanetCenter), andernfalls z.B. von CalSky.

Wichtig: PM in R.A. kann nicht direkt als Wert mit der Einheit s übernommen werden.

Auf den offensichtlich richtigen Wert für die Eigenbewegung in R.A. kommt man, wenn man die Gesamtverschiebung und die Eigenbewegung in DEC verwendet und den Satz von Pythagoras mit der Gesamtbewegung als Hypotenuse anwendet, also z.B. bei folgenden Angaben in Cartes du Ciel

Stündliche Bewegung: 01'31.3" PA:231° dRA:-10.42s dDec:-57.7"

Mit Gesamtbewegung 91.3"/h, dDec 57.7"/h, ergibt sich:

$$dRA = \text{Wurzel} [(91.3"/h)^2 - (57.7"/h)^2] = 70.8"/h$$

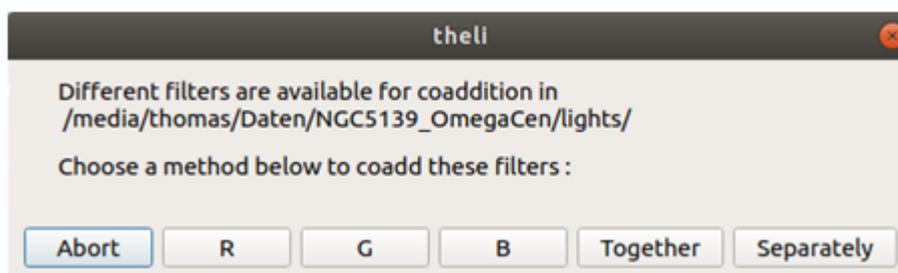
(6) Perform flux calibration - Absolute Photometrie bzw. Flusskalibrierung durchführen

Der Haken ist deaktiviert. Falls man die absolute Kalibrierung nachträglich durchführen

möchte, klickt man oben links das  Symbol an.

Start und Auswahl der zu koaddierenden Daten

Beim Starten der Koaddition erscheint bei DSLR-Daten ein Abfragefenster, in dem man entscheiden kann, was koaddiert werden soll:



auf Deutsch:

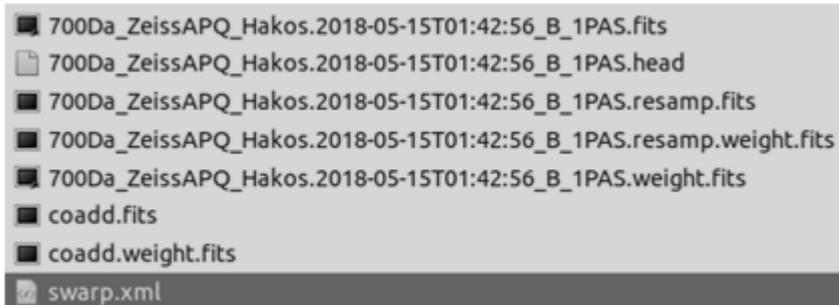
Es sind verschiedene Filter für die Koaddition in /Pfad/ verfügbar.

Wählen Sie die eine der unterhalb angegebenen Methoden zur Koaddition der Filter:

Abbruch - R - G - B - Zusammen - Getrennt

In der Regel wird man zunächst jeden Filter getrennt koaddieren, also **Separately** wählen. Im Anschluss daran kann man in einem zweiten Durchlauf eine **künstliche Luminanz** erzeugen, indem man z.B. alle Filter gemeinsam mit **Together** koaddiert.

Entsprechend der Wahl entstehen im Ordner **lights** Unterordner wie z.B. **coadd_R_Namensbestandteil** oder **coadd_all_Namensbestandteil** und darin für jedes Bild 5 Dateien sowie als Ergebnis der Koaddition die hier gezeigten coadd und swarp-Dateien:



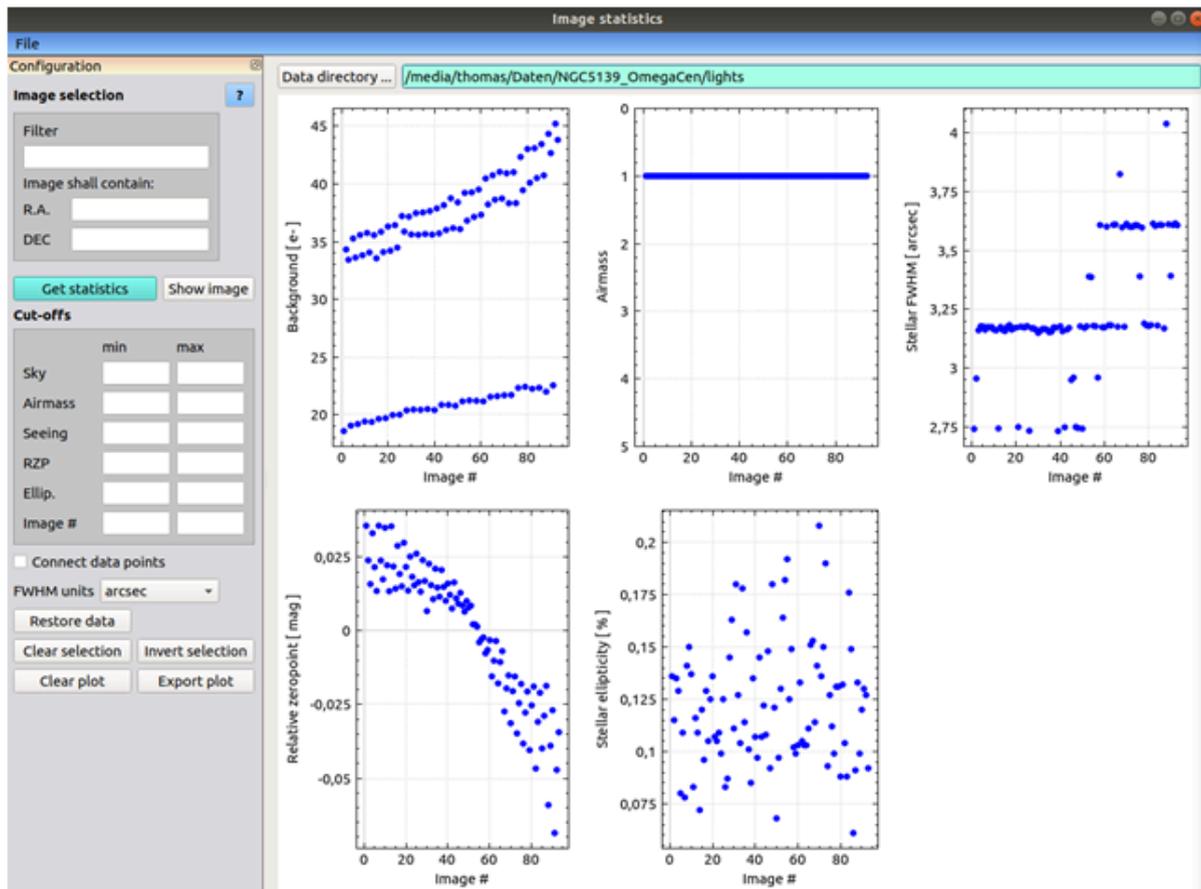
Die coaddierten Aufnahmen werden automatisch in iView geöffnet, so dass sich das Ergebnis beurteilen lässt.

Das Statistikmodul Σ

Ruft man z.B. jetzt **oder vielleicht besser vor der Koaddition** das **Statistikmodul** durch

Anklicken von Σ auf, erhält man die unten abgebildete Übersicht - hier dargestellt für ein Beispiel mit DSLR-Aufnahmen -, aus der sich

- die Intensität des Himmelshintergrunds **Background** in e- (Grafik 1),
- die Halbwertsbreite der Sterne **Stellar FWHM** in Bogensekunden (Grafik 3) und
- deren Elliptizität **Stellar ellipticity** in Prozent (Grafik 5) ablesen lässt.
- Der relative photometrische Nullpunkt **relativ zeropoint** jeder Aufnahme in Magnituden wird in Grafik 4 dargestellt.
- Die Grafik 2 zur **Airmass** (Weg des Lichts durch die Atmosphäre) ist mangels Angaben im FITS header überall 1.



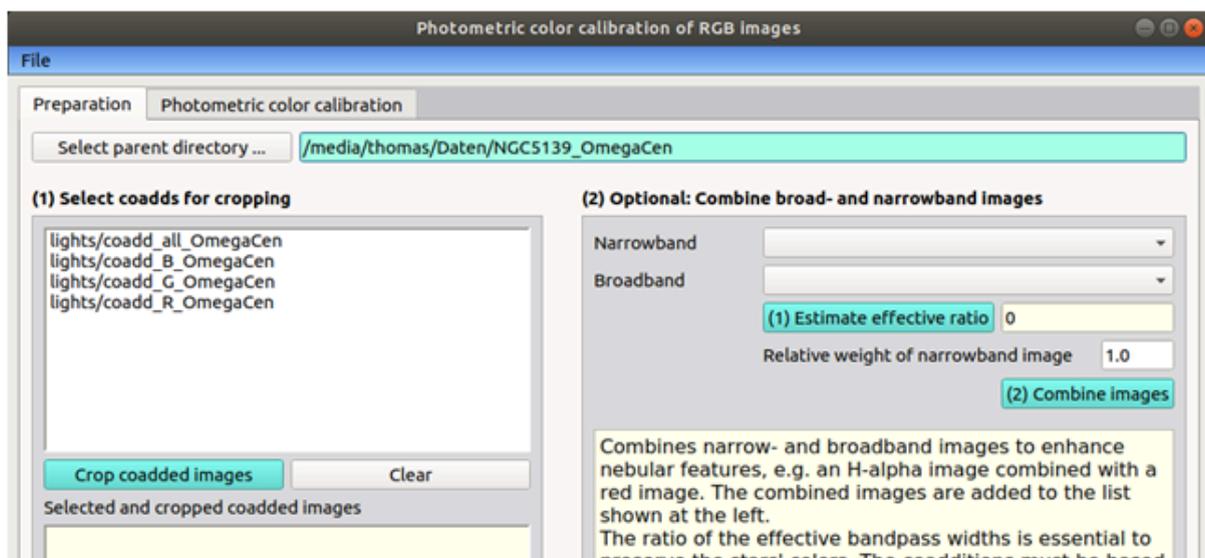
Die einzelnen Filtern R, G und B zeigen dabei teils getrennte Verläufe.

Prinzipiell könnte man diese Angabe verwenden, um einzelne Aufnahmen zu verwerfen und nicht in die Coaddition einzubeziehen.

Das Modul bietet auch die Möglichkeit, Filter einzugeben, also bestimmte Aufnahmen für die Darstellung zu selektieren oder Überschreitungen statistischer Parameter durch Eingabe von min/max-Werten anzuzeigen. Hier habe ich noch keine Erfahrung

Das Color Picture Modul

Ein Klick auf  öffnet das nachfolgend abgebildete Fenster:



Preparation - Vorbereitung

Wenn das **Color Picture Module** aufgerufen wird, erscheint es im Reiter **Preparation - Vorbereitung**, in dem die türkis hinterlegten Schritte entsprechend ihrer Nummerierung abgearbeitet werden.

In der ersten Zeile besteht die Möglichkeit, ein Projekt-Verzeichnis mit **Select parent directory ...** anzuwählen. Standardmäßig wird hier das gerade bearbeitete Projekt angezeigt.

Unter **(1) Select coadds for cropping** stehen die vorhandenen koaddierten Aufnahmen. Man wählt alle oder zumindest eine Auswahl davon an und drückt auf **Crop coadded images** (Die Schaltfläche wechselt dabei die Beschriftung auf **Get selected coadded images**). Dadurch werden die koaddierten Bilder auf die maximale einheitliche Größe beschnitten und (inklusive der zugehörigen Gewichtungdateien) in **lights** im Unterverzeichnis *color_theli* abgelegt. Entsprechend erscheinen diese Bilder im unteren linken Fenster **Selected and cropped coadded images**.

Clear löscht die beschnittenen (cropped) Aufnahmen und ermöglicht eine Neuerstellung.

(2) Optional: Combine broad- and narrowband images - Optional: Kombiniere Breit- und Schmalband -Aufnahmen bietet die Möglichkeit, Schmalbandaufnahmen (**Narrowband**) mit Breitbandaufnahmen (**Broadband**) farbrichtig, d.h. unter Erhalt der Sternfarben zu mischen.

(1) Estimate effective ratio bietet hierbei die (sehr praktische) Möglichkeit, das Verhältnis r der Signalstärken (Flux) Schmalband/Breitband automatisch aus den Aufnahmen zu ermitteln. Alternativ kann man selbst einen Wert angeben. Um die besonders im Schmalband sichtbaren Bildanteile zu betonen (z.B. H-alpha-Gebiete), kann das relative Gewicht w der Schmalbandaufnahme (**Relative weight of narrowband image**) erhöht werden, z.B. auf **1.5** oder **2**.

(2) Combine images - Kombiniere Aufnahmen erzeugt dann den gemischten Farbkanal.

Übersetzung des im rechten unteren Fenster dargestellten Hilfetexts:

Kombiniert Schmal- und Breitbandaufnahmen, um Nebelstrukturen hervorzuheben, z.B. ein H-alpha Bild kombiniert mit einem Bild des roten Farbbereichs. Die kombinierten Bilder werden der Liste links hinzugefügt.

Das Verhältnis der effektiven Bandbreiten ist entscheidend für den Erhalt der Sternfarben. Die Koadditionen setzen die Prozessierung mit PHOTOINSTRU_KEY = FILTER in Scamp voraus, andernfalls bleiben die relativen Signalstärken (flux levels) nicht erhalten.

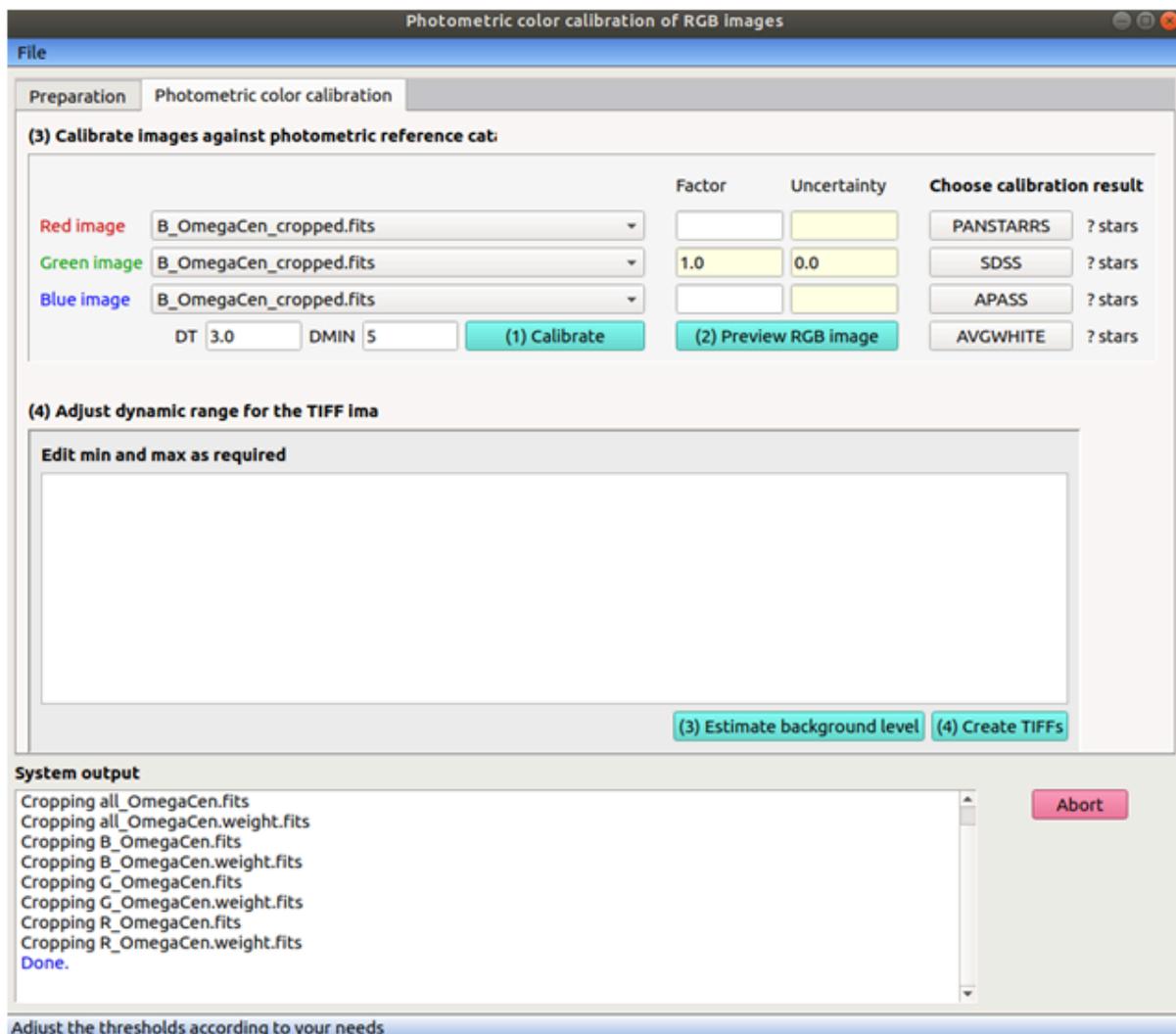
Die Berechnung erfolgt folgendermaßen (w = Gewicht, r = Verhältnis)

*Kombinierte Aufnahme = $(1 - w*r) * \text{Breitbandaufnahme} + w * \text{Schmalbandaufnahme}$*

Im unteren Fenster **System output** sieht man den Fortschritt der Berechnungen. **Abort** bietet die Möglichkeit, die Ausführung einer Aufgabe zum nächstmöglichen unkritischen Zeitpunkt anzuhalten.

Photometric color calibration - Photometrische Farbkalibration

Nach Erzeugung der beschnittenen Aufnahmen und ggf. der Einbindung der Schmalbandaufnahmen wechselt man in den Reiter **Photometric color calibration - Photometrische Farbkalibration**, der wie folgt aufgebaut ist und in dem die türkis hinterlegten Schritte entsprechend ihrer Nummerierung abgearbeitet werden:



(3) Calibrate images against photometric reference catalog - Kalibriere Aufnahmen gegen einen photometrischen Referenzkatalog

Hier legt man fest, welches Bild welchem Farbkanal zugeordnet wird. Hat man Breit- und Schmalbandaufnahmen kombiniert, wählt man die entsprechende Kombination (statt R zum Beispiel R-Halpha). Ansonsten das koaddierte R-Bild bei **Red image**, **G** bei **Green**, **B** bei

Blue image eintragen (im Gegensatz zu obiger Abbildung, in der noch überall das B-Bild gewählt ist!).

Die Detektionsschwelle **DT** und die minimale Pixelanzahl einer Detektion **DMIN** kann man in der Regel zunächst auf den Standardwerten stehen lassen. Werden zu wenige der im Feld befindlichen Kalibriersterne gefunden (das erkennt man am Ende der Farbkalibration im System Output!), kann man die Werte erniedrigen und die Kalibration erneut starten.

Anschließend drückt man **(1) Calibrate**. Die Aufnahmen werden dadurch mit den rechts angezeigten Referenzkatalogen **PANSTARRS**, **SDSS** und **APASS** abgeglichen. Zusätzlich wird ein mittlerer Weißwert (**AVGWHITE**) aus allen detektierten Sternen ermittelt.

Nach dem Abgleich (hinter jedem Katalog steht jetzt die Zahl der zum Abgleich verwendbaren Sterne; einige Kataloge wie SDSS decken nicht den gesamten Himmel ab) erscheinen bei Anwahl eines der Kataloge die Farbkorrekturfaktoren in der Spalte **Factor** (Der Faktor bei Grün bleibt immer 1.0) und die für diesen Katalog zutreffenden Unsicherheiten in der Spalte **Uncertainty**.

Man entscheidet sich in der Regel für einen Katalog mit geringer Unsicherheit bzw. vielen nutzbaren Sternen, kann aber auch **AVGWHITE** einsetzen oder die Faktoren manuell anpassen.

Zur Beurteilung erzeugt **(2) Preview RGB image** eine farbkalibrierte Vorschau unter Verwendung der gerade dargestellten Faktoren.

Die am Ende in der Spalte **Factor** stehenden Faktoren werden im Folgenden auf die Aufnahmen angewandt.

Anm.: Bei auf Kleinkörper/Kometen gestackten Aufnahmen kann die Farbkalibration mangels Sterndetektion nicht funktionieren. Hier verwendet man die Farbkalibration aus der auf Sterne gestackten Kleinkörperaufnahme.

(4) Adjust dynamic range für the TIFF image

Betätigt man die Schaltfläche **(3) Estimate Background level - Schätze den Hintergrund ab**, erscheint die Meldung, dass man die dunkelste Stelle im angezeigten Bild anklicken soll, um den Minimalwert (Schwarzwert) **min (black point)** für die TIFFs zu bestimmen. Diese Meldung zuerst mit **ok** bestätigen. iView öffnet ein Bild, hier die dunkelste Stelle suchen und anklicken (es wird über 9x9 Pixel gemittelt).

Nun erscheint im Fenster **Edit min and max as required - Ändere min und max nach Bedarf** ein Vorschlag für den Bildumfang, der in TIFF übertragen werden soll. Wichtig ist, dass man die **min-** und **max-**Werte für alle Bilder identisch wählt. Die statistischen "Mittel"werte **median** und Standardabweichungen **rms** werden dagegen unterschiedlich sein.

*Der Minimalwert min sollte durch das Anklicken der dunkelsten Stelle passen. Der Maximalwert (Weißwert) **max (white point)** muss in der Regel entsprechend des*

gewünschten Kontrastumfangs modifiziert werden und ist bei mir oft deutlich höher als die Schätzung durch THELI: Hierzu im iView-Bild die R-G-B-Werte der hellsten Stellen auswerten, die im Endbild noch ungesättigt dargestellt werden sollen, also z.B. das Zentrum eines (nicht ausgebrannten) hellen Sterns. Diesen Maximalwert für alle Bilder identisch eintragen. Von einem anderen Nutzer wird als typischer max-Wert **125** angegeben.

Die hier ermittelten und eingetragenen Werte haben nur auf die erzeugten *.tiff-Dateien Einfluss, nicht auf die *2tiff.fits.

Durch anschließendes Betätigen der Schaltfläche **(4) Create TIFFs** werden die farbkalibrierten TIFFs mit obigen Parametern auf 16 bit (0-65535) reduziert (Hellere Werte als Max sind ausgebrannt, niedrigere als Min sind schwarz) und sind im *color_THELI*-Ordner zu finden. Auch farbkalibrierte FITS (*_2tiff.fits) werden dort abgelegt. Mit beiden kann man wahlweise in anderen Programmen wie Fitswork oder Photoshop weiterarbeiten.

Anm. zur Weiterverarbeitung der *2tiff.fits in Fitswork: Da der Wertebereich der FITS-Dateien aus THELI recht klein ist, funktioniert z.B. der Rauschfilter nicht korrekt. Daher vor Weiterverarbeitung alle Bilder z.B. mit Faktor 10.000 multiplizieren, dann geht es!

Sitzung beenden

Beim Schließen der Linuxoberfläche in der VirtualBox gibt es die Option, den **aktuellen Zustand zu speichern**. Dann kann man beim nächsten Mal ganz bequem da weiter machen, wo man aufgehört hat. Alle Fenster bleiben offen und in dem Zustand, der beim Schließen bestand.

THELI speichert aber auch beim Schließen den aktuellen Stand der Bearbeitung.

Anhang 1 - Tipps für gute Rohdaten

- nicht nur für THELI -

- Bei DSLR-Bildern generell die **RAW-Daten** verwenden, nicht z.B. jpegs (die man am besten gar nicht erst erzeugen lässt)
- Die **Kamerazeit der DSLR auf UT** einstellen (wichtig z.B. bei Kometen), da die Aufnahmezeit ausgelesen und als UT in den FITS header eingetragen wird. Analoges gilt für die PC-Zeit bei Verwendung einer Astrokamera.
- **Lights** (auch **Science**), also die eigentlichen Astroaufnahmen, auf das Vorhandensein von **Satelliten- oder Flugzeugspuren**, evtl. auch Spikes kontrollieren, damit sie später ggf. maskiert werden können.
 - Hilfreich ist die Kenntnis der **Himmelskoordinaten der Bildmitte und des Winkels der Astrobilder gegenüber Nord oben**, weil dadurch der Parameterraum für den Match eingeschränkt und dadurch der Match

beschleunigt werden kann: Wenn das Zielobjekt nicht exakt zentriert und die Kamera nicht exakt genordet war, kann man eins der gebintten preview-Bilder auf <http://nova.astrometry.net/upload> hochladen. Man erhält nach einigen Minuten auf der results page die Mittelpunktskoordinaten, den Winkel gegenüber Nord oben und jede Menge weitere Information zurück.

- Generell sollten ausreichend viele **Darks**, **Flats** und **Bias** vorhanden sein. **Je besser die Statistik der Korrekturbilder, desto besser das Endergebnis.** Die besten Korrekturbilder sind die, die unter möglichst identischen Bedingungen und zeitnah zu den zu korrigierenden Bildern aufgenommen wurden. Ob der erhöhte Aufwand gerechtfertigt ist, entscheidet der Benutzer anhand seines individuellen Setups und seiner Ansprüche.
- **Darks** müssen **bei gleicher Temperatur und mit gleicher Belichtungszeit wie die lights** erzeugt werden. Gegenüber der Umgebungstemperatur ist die Sensortemperatur, die in den EXIF-Daten von DSLR-raws gespeichert wird und z.B. per IrfanView ausgelesen werden kann, das deutlich bessere Kriterium. Es bietet sich das Anlegen einer (Sensor-)temperatursortierten dark-Bibliothek an, so dass Darks aus früheren Serien wiederverwendet werden können (solange nicht allzu viele neue Pixelfehler auf dem Sensor hinzukommen), was die Zahl der darks erhöht und damit das statistische Rauschen minimiert.
- **Flats** müssen **für jede Aufnahmesituation neu** erzeugt werden, insbesondere bei gleicher Fokussierung und Kameradrehung wie die lights
- **Bias:** Zu empfehlen sind 10 oder mehr Dunkelaufnahmen mit kürzest möglicher Belichtungszeit, also z.B. 1/4000s, bei **derselben ISO-Einstellung** wie die **lights**. Bei so kurzen Belichtungszeiten spielt die Temperatur bzw. das thermische Rauschen eine untergeordnete Rolle. In der Literatur findet man dennoch den Hinweis, dass die Biasaufnahmen bei möglichst tief gekühltem Sensor erstellt werden sollen.
Flatoffs (darks mit der gleichen Belichtungszeit wie Flats) sind bei optischen Kameras unnötig, solange die Flats mit kurzen Belichtungszeiten (Flatfield-Folie...) erstellt werden - bei Skyflats aber u.U. sinnvoll.

Anhang 2 - Empfehlungen zur Installation in der VirtualBox

- **Die neuesten Versionen von VirtualBox inkl. Extension pack** (bei mir derzeit 6.1.8) und ggf. der **Gasterweiterung** (derzeit 6.1.0) verwenden (Ich habe dennoch Probleme mit drag & drop zwischen Gast und Host. Ältere Versionen haben Schwierigkeiten mit der Fenstergröße bzw. Auflösung!)
- **Die Festplattenpartition(en) nicht zu klein anlegen, ggf. die Option "dynamisch" wählen.** Betriebssystem und Programme belegen ca. 10 GB, bereits kleinere Projekte wachsen bei optionaler Speicherung aller Zwischendaten schnell auf 100 GB Volumen.

Sollte jemand die **Systemfestplatte im Nachhinein vergrößern** müssen, dies **zunächst in der VirtualBox** tun. Dort wird die neue Größe danach schon angezeigt. In Ubuntu muss die Erweiterung aber noch manuell durchgeführt werden. Dazu die VM starten und in Linux die Anwendung **Laufwerke** (über das **Neun-Punkte-Symbol** links unten) suchen und aufrufen. Dort wird die Systemfestplatte als oberste angezeigt inklusive des bisher nicht nutzbaren neuen Bereichs in weiß. Durch Anklicken des **Zahnradsymbols** unter dem bereits belegten Bereich erscheint ein Menü, in dem es den Punkt **Größe ändern...** gibt. Hier kann man den erweiterten Platz zuweisen. Erst dann kann Ubuntu diesen Platz nutzen und anzeigen.

- Ggf. bietet es sich an, wie aus der Vorgängerversion gewohnt, zusätzlich den **SAOImage DS9-Viewer** zu installieren, der mehr Möglichkeiten bietet als der automatisch mit THELI installierte Bildbetrachter iView, u.a. das Auslesen des FITS headers oder das Ermitteln der Bildmitte (und zumindest für die alte Version relevant: das Erstellen der Masken für Satellitenspuren).

Anhang 3 - THELI-Namenskonvention

(Abschnitt in Arbeit)

THELI benennt die lights und Korrekturbilder nach folgendem Schema, sofern man die THELI-Namenskonvention verwendet. Andernfalls wird der ursprüngliche Dateiname verwendet:

instrument.yyyy-mm-ddThh:mm:ss_xY.fits

alternativ:

dateiname_xY.fits

Die Master-Korrekturbilder werden nach folgendem Schema benannt:

ordnername_x.fits (also z.B. *bias_1.fits*, wenn der Ordnername ***bias*** lautet)

- *instrument*: Name des verwendeten Instruments
- *yyyy-mm-ddThh:mm:ss*: Datum und Uhrzeit der Aufnahme
(Anm.: Windows kann mit diesem Format wegen der Doppelpunkte nicht umgehen)
- x: Nummer des Chips, bei Amateurkameras "1"
- Y: 1-4stelliger Buchstabencode, der den Bearbeitungszustand der Aufnahme angibt (Auch im processing status und im **Memory viewer** verwendet)
 - P: Zustand nach HDU-Reformatierung inkl. Vorbereitung des FITS-Headers
 - PA: Zustand der lights nach Prozessierung mit Korrekturbildern
 - PAS: Zustand der lights nach Abzug des Himmelshintergrunds (Sky Substraction)
 - B: Nach Hintergrundabzug

- C: Collaps

Anhang 4 - Aktualisierung von THELI

Es existiert eine sehr praktische Methode, um THELI immer auf dem neuesten Stand zu halten, d.h. in einer Version mit den neuesten Commits zu arbeiten (und Mischa ist sehr fleissig im Erstellen von Commits!). Voraussetzung ist nur eine Installation von git im THELI-Stammverzeichnis. Bei mir trägt das Stammverzeichnis den Namen **THELI**. Den entsprechenden Link kann man sich im THELI-github kopieren.

- `git clone https://github.com/schirmermischa/THELI.git`

Bei der Installation entsteht im Stammverzeichnis ein versteckter Ordner **.git**. Einmal installiert, erfolgt die Aktualisierung nach folgendem Schema:

In das Verzeichnis **THELI** wechseln

- Terminal mit rechter Maustaste öffnen
- **git pull** ruft die neuesten Commits ab
- **(git show** zeigt die Commits)

Ins **THELI/src**-Verzeichnis wechseln

- **qmake THELI.pro**
- **make -j 4**
(bei 4 verfügbaren CPU-Kernen; wird die Zahl weggelassen, werden alle Kerne benutzt. Stürzt das **make -j** ab, sollte - nach einem **make clean** - **make** statt **make -j** versucht werden oder es könnten über z.B. **make -j 2** weniger Kerne angegeben werden)
- **sudo make install** (optional)
- **make clean** (optional)

Anhang 5 - Änderungen am FITS header

Bei mir ist es gelegentlich nötig, Änderungen am FITS header vorzunehmen. Ein Beispiel ist die Änderung des Eintrags FILTER von "R" auf "Ha" bei Halpa-Schmalbandaufnahmen mit der DSLR. Dazu exportiere ich die Dateien des Filter R nach dem Prozessieren in Windows (G und B inaktiviere ich in diesem Fall; falls die THELI-Namenskonvention benutzt wurde, müssen die Dateinamen vorab Windows-gerecht ohne ':' umbenannt werden) und verwende das Programm **F4W2HDU FITS header editor** zur Richtigstellung des Filterparameters. Nach der Änderung importiere ich sie zurück in das ursprüngliche Verzeichnis im **Data tree** von THELI. Optional ändere ich auch noch das R im Namen nach Ha (ebenso in den WEIGHTS, falls diese schon erzeugt wurden). Abschließend THELI neu starten, um die internen Dateilisten zu aktualisieren.

Vorgehen in F4W2HDU FITS header editor::

- Dateien laden, FILTER anklicken, 'R' doppelklicken, gegen 'Ha' ersetzen, **return**, replace.
- Auf Seite **Update Plan** wechseln
- Die Aufgabe Replace Filter 'Ha' und alle zu ändernden Files auswählen
- Auf Seite **Process Files** wechseln, START