

Der Photonewton Justage Primer

von Tommy Nawratil

Version 23.3.2021

Newton-Justage ist eigentlich ganz einfach! ;-)

Um die Newton Justage ranken sich viele Mythen, oft heißt es sie sei schwierig. Es gibt viele Anleitungen im Netz, einige leider mangelhaft, andere unnötig genau. Tatsächlich ist es aber sehr einfach und logisch – reine Geometrie, keine höhere Mathematik. Ich vergleiche es gerne mit dem Radfahren: Kann man es nicht, fragt man man sich wie das je möglich ist. Hat man es erlernt, fragt man sich wo überhaupt das Problem war. Wichtig ist zu wissen: Justage kann jeder erlernen, es gibt absolut kein Mysterium dabei.

Alle Anleitungen die ich kenne, befassen sich mit der Justage für **visuelle** Zwecke. Man hofft dann dass es dann für **Fotografie** auch passen muss. Das ist theoretisch zwar richtig, in der Praxis braucht man als Fotograf aber die Genauigkeit nicht nur auf Achse, sondern auch in den Bildecken. Das erfordert öfters zusätzliche Schritte, welche ich entwickelt habe und weiß dass sie unbedingt zielführend sind. Das Vorgehen wird in einfachen Stufen beschrieben, zuerst mit Laser, und dann mit angesetzter Kamera. Diese Systematik führt zielsicher und je nach Übung relativ schnell zu bestmöglichen Sternabbildung auch im Feld.

Man nutze eine angenehme Vollmondnacht um das Verfahren kennenzulernen - wo es sonst nichts zu tun gibt, ohne Hektik und mit Ruhe, systematisches Vorgehen und astronomischer Seelenfriede sind sehr förderlich.

Der Newton hat nur zwei optische Elemente, die bei der Justage aufeinander ausgerichtet werden müssen, einen parabolischen Hauptspiegel (kurz HS), und ein an sich optisch inaktiver Planspiegel, welcher nur das Licht umlenkt (der Fangspiegel, kurz FS).

Prinzip und Ziel der Justage:

Der FS muss die Achse des OAZ genau in das Zentrum des HS umlenken (der hat dazu eine Markierung in der Mitte, welche genau zentriert sein soll), und zugleich selbst zentrisch vor dem OAZ sitzen. Der HS muss so ausgerichtet werden, dass seine optische Achse genau mit der Achse des OAZ zusammenfällt. Nichts weiter, das ist alles.

Bei vielen Anleitungen ist der erste Punkt, den **OAZ auf den Tubus** auszurichten. Das ist aber eine **unnötige** Arbeit. Der OAZ muss **nicht** genau 90° kerzengerade am Tubus sitzen, denn es ist die Aufgabe der Justage, die opt. Achse des Parabolspiegels mit der OAZ Achse deckungsgleich zu machen. Zum Beispiel steht beim Lowrider Dobson der OAZ 45° zum Tubus, aber er ist dadurch keineswegs verkippt. Die Bildebene steht bei der Parabel nämlich immer normal (90°) zur opt. Achse – ist die opt. Achse kongruent mit der Achse des OAZ, so ist die Bildebene auch hier senkrecht zur Achse des OAZ.

Justagehilfsmittel:

Zur Justage benötigt man eine Vorrichtung, mit der eine Linie definiert werden kann. Das **Cheshire Okular** ist ein Guckloch mit Fadenkreuz an anderen Ende, aber ist das Fadenkreuz wirklich genau auf der Achse des Cheshire Tubus? Mit dem **Concenter** kann man gut prüfen, ob der FS zentrisch vor dem FS

sitzt. Aber wie genau lässt sich mit einer 95mm langen Peilhilfe überhaupt justieren, wenn man nachher 200x vergrößern will? Ich empfehle daher den **Justierlaser**, denn man kann ihn selbst justieren, und der Laserstrahl ist ideal weil man die Linie physikalisch sieht. Der Laserstrahl selbst und vor allem die Punkte wo er Fang- und Hauptspiegel trifft können leicht gesehen werden, und das erleichtert die Justage ungemein. Mit anderen Hilfsmitteln wie dem Cheshire oder Concenter muss man zuerst verstehen, welche Elemente der Optik und der Mechanik man da betrachtet - und welche davon für einen bestimmten Justierschritt zu beachten und welche zu ignorieren sind.

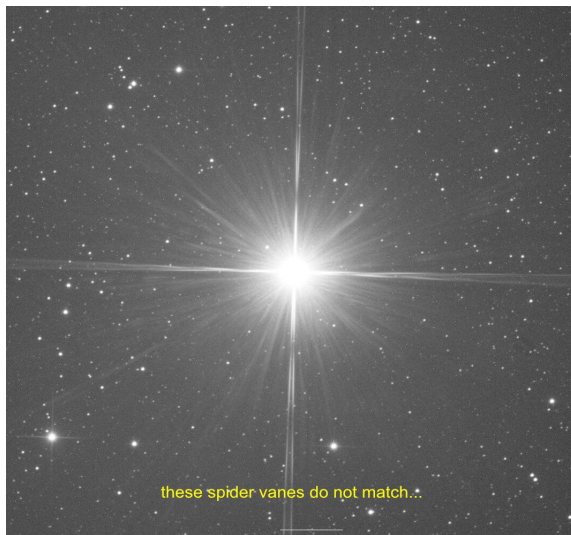
Mit Korrektor justieren! Damit alle verwendeten optischen Elemente auch bei der Justage beinhaltet sind. Der Laser wird am besten mit ihm verschraubt, um eine Verkippung zu vermeiden. Der Korrektor muss jedenfalls selbst in Ordnung sein - um das zu prüfen eignet sich der **Rotationstest**: Den Korrektor in eine geeigneten 2" Hülse (zB in einem Zenitspiegel) anpressen und langsam drehen. Den Laser getrennt montieren und den Strahl beliebig durch den Korrektor senden, so dass der Laserpunkt in einiger Entfernung an der Wand zu sehen ist. Beim Drehen des Korrektors darf der Laserpunkt an der Wand sich dabei nur in sich drehen und keinen kleinen Kreis beschreiben. Das wäre ein Zeichen für eine Rotations Asymmetrie des Korrektors, und ein Grund ihn zu tauschen.



Am OctoPlus OAZ übernimmt erst das Auszugsrohr die Führung, der Korrektor hat Passform und kann nur ums Schlupfmaß verkippfen. Die Klemmung alleine ist für die Ausrichtung zuwenig genau. Erst eine solche Schlupfpassung oder eine Verschraubung ist ausreichend reproduzierbar. Hier im Bild ist der Laser mit dem ersten GPU Prototypen verschraubt und wird in den OAZ eingeschoben.

Position des Fernrohrs bei der Justage: Der Tubus soll nach oben zeigen, genau wie beim Fotografieren oder Beobachten. Am besten in der 45° Neigung - falls der Tubus eine Flexibilität aufweist, hat man damit eine mittlere Stellung. Nie aber mit dem Tubus horizontal in der Waagrechten justieren! Denn der HS wird nicht von seinen Halteklammern fixiert, sondern nur gegen Herausfallen gesichert - und kippt in der Horizontalen gerne etwas nach vorne.

Sinnvoll ist es, bei der Justage den **OAZ so weit ausgefahren** zu haben wie beim Fotografieren, also in der **Fokusposition**. Nur in der Theorie ist die Ausrichtung des OAZ Rohrs über den ganzen Hub exakt dieselbe. Ebenso wird sich bei rotierbaren OAZ die **Achse des Rotators** etwas von der Achse des OAZ Rohres unterscheiden. Also auch die **Drehposition des OAZ** vor der Justage einstellen. Wenn geplant ist, den OAZ öfters zu drehen, nur so weit wie unbedingt nötig von der Justageposition entfernen – also nur +/- 45° rotieren. Damit sind alle Bildorientierungen möglich!



Vor der Justage ist auch die **FS Spinne** zu prüfen. Bei den meisten Newtons ist sie mit 4 Zugschrauben am Tubus befestigt. Diese Zugschrauben müssen unbedingt gut auf Zug gebracht sein, damit die Spinne stabilisiert wird und nicht beim Schwenken des Newtons sich durch das Gewicht des FS verbiegt. Ich denke dabei gerne an eine Klaviersaite, also wirklich gut spannen! Gegenüberliegende Spinnenbeine müssen dabei genau fluchten, sonst sind die Spikes auf dem Foto nicht scharf sondern laufen auseinander. Ein Lineal anlegen, um das zu prüfen.

Nach diesen Vorbereitungen kann es nun losgehen:

die grundlegende Justage mit einem Justierlaser

Die **Justage eines Newton Teleskopes** gestaltet sich denkbar einfach, wenn man das Prinzip einmal verinnerlicht hat: Justierlaser prüfen, FS justieren, HS justieren.

1. Justierlaser prüfen, ob er selbst justiert ist – d.h. ob der Laserstrahl genau rechtwinkelig zur Auflagefläche des Lasers herauskommt. Entweder in einem 1,25" oder 2" Stutzen oder wenn er mit dem Korrektor verschraubt (besser!) ist den Korrektor bündig andrücken und vorsichtigst rotieren. Prüfen, ob der Laserpunkt am HS dabei ortsfest bleibt und sich nur in sich dreht. Wenn nicht, Laser justieren (siehe weiter unten). Nun sanft klemmen, so dass der Laserpunkt am HS dort bleibt wo er beim Anpressen hinfällt.

das Justieren des Lasers selbst:

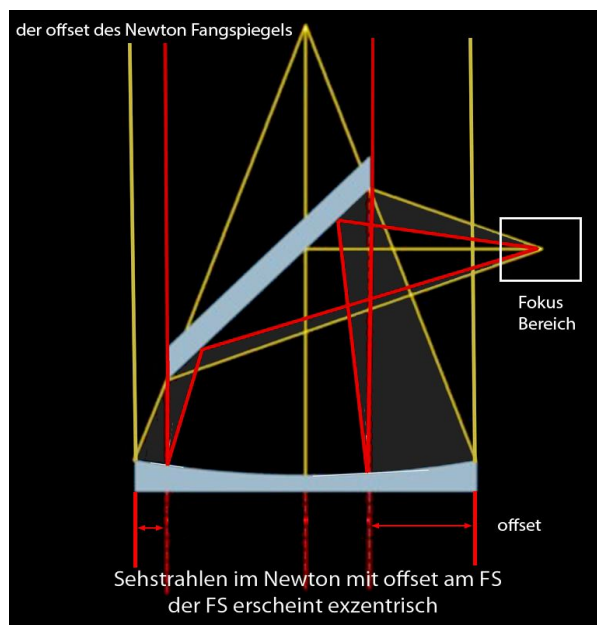
Der Laser kann durch den Transport und Erschütterungen dejustiert werden, das Justieren ist aber einfach:

- in den OAZ einsetzen, plan anpressen und Drehen, Laserpunkt am HS beobachten.
- wenn der Laserpunkt einen Kreis beschreibt, muss nachjustiert werden
- sich merken, wo ungefähr der Mittelpunkt des Kreises ist: Dorthin muss der Laserpunkt gebracht werden
- im Laser befindet sich eine kleine fingerförmige Lasereinheit, welche meist mit drei kleinen Madenschrauben in 120° Abstand rundherum eingestellt werden kann
- mit diesen Schrauben den Laser in den Mittelpunkt des Kreises dirigieren, abermals Drehen und wieder Mittelpunkt bestimmen
- am Ende soll sich der Laserpunkt nur in sich drehen (er ist selten ganz genau kreisrund), und die Madenschrauben sollen die Lasereinheit gut fixieren

2. FS justieren. Zuerst muss der FS eingestellt werden, es müssen dabei 2 Bedingungen erfüllt werden:

- der FS soll zentrisch vor dem OAZ platziert werden
- der FS muss den Laserstrahl genau in die Mitte des HS umlenken

Der Fangspiegel ist ellipsenförmig, er schneidet den vom HS ankommenden Lichtkegel schief ab (Kegelschnitt). Der Laserstrahl müsste den FS also mittig treffen, und somit wäre er automatisch zentrisch zum OAZ Rohr. Aber das ist zu einfach gedacht, die Geometrie schlägt uns hier ein Schnippchen. Wir wollen, dass der vom HS kommende konisch zusammenlaufende Lichtkegel zur Gänze in den OAZ gelenkt wird. Aber der weiter vom OAZ entfernte Teil des FS trifft den Lichtkegel weiter unten, wo er noch größer ist. Also muss der FS dort weiter hingeschoben werden, als weiter oben wo der Lichtkegel kleiner geworden ist. Diese Verschiebung nennt man den Offset. Die folgende Skizze soll es verdeutlichen.

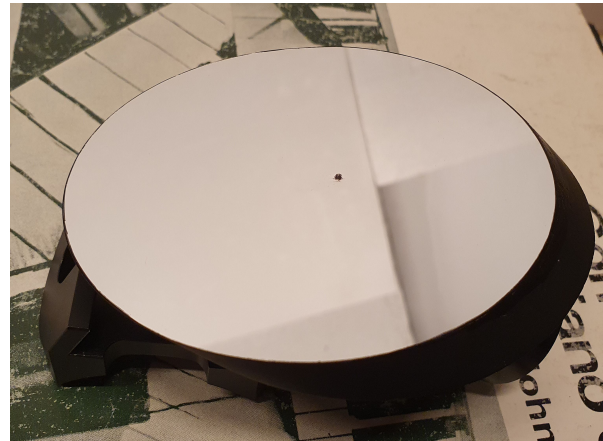
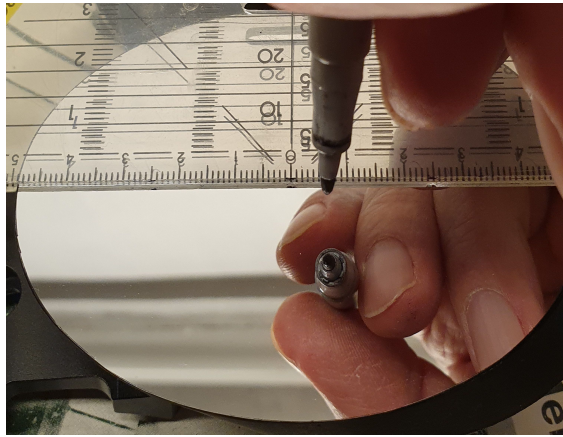


Gelb ist das vom Unendlichen einfallende Licht, welches vom HS gebündelt und vor dem Brennpunkt vom FS umgelenkt wird. Rot dargestellt ist der Schatten welcher der FS aus dem Lichtbündel ausschneidet. Vom Fokus aus sieht man dass der FS tatsächlich den gesamten gelben Lichtkegel korrekt umlenkt. Er selbst aber sitzt nicht zentrisch im Tubus, sondern verschoben auf die vom OAZ entferntere Seite. Und schneidet dem entsprechend einen exzentrischen Kreis aus dem einfallenden Licht aus. Dieser geometrische Sachverhalt muss speziell bei Newtons mit schnellem Öffnungsverhältnis berücksichtigt werden.

Der Laserstrahl ist die gelbe Linie, welche vom Fokus gerade nach links zeigt, und sie trifft den FS nicht in seiner Mitte, sondern im Offset Punkt.

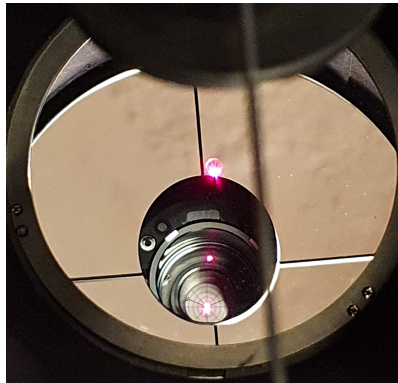
Der Punkt wo der Laser den FS trifft, ist also einige wenige Millimeter in Richtung OAZ versetzt. Viele FS haben dort eine feine Markierung, ansonsten nimmt man bei $f/4$ Newtons ca. 6mm und bei $f/5$ 4mm (gilt für 200 und 250mm HS, größere Newtons brauchen mehr).

Wenn keine Markierung vorhanden ist, dann kann man den Auftreffpunkt abschätzen – oder mit einem guten Marker selbst eine Markierung am FS anbringen. Der Punkt liegt genau auf der langen Achse der Ellipse und um den Offset von der geometrischen Mitte nach oben hin (zum OAZ) versetzt. Hier sind es 6mm:



Die meisten FS sind vom Teleskop Hersteller bereits mit diesem Offset auf ihrem Montagesockel aufgeklebt worden, sodass man den Sockel einfach an der Spinne befestigt und die Spinnenbeine schön gerade bleiben können. Damit ist die Einstellung der korrekten Position des FS vor dem OAZ nun leicht, der Laser muss lediglich diesen Punkt treffen. Aber er muss in der Folge auch die HS Mitte treffen. Damit gibt es eine einzige Position des FS bei der das auch wirklich eintritt. Diese gilt es zu finden.

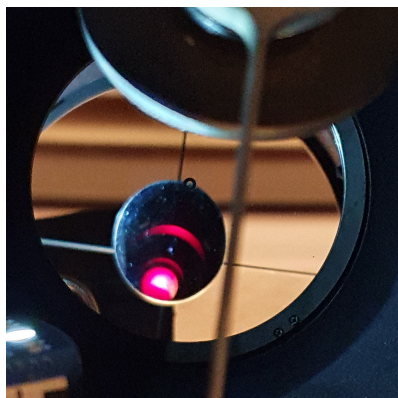
Da man die FS Oberfläche nicht direkt sieht, muss man von oben in den Tubus hineinschauen und auf die Spiegelung des FS im HS achten. Zunächst ist die feine Markierung am FS vielleicht schwierig zu erkennen, und man muss für die passende Beleuchtung sorgen damit sie nicht vom Laserstrahl überstrahlt wird. Aber weiß man erst mal wo sie ist, findet man sie schon.



Blick von oben in den Newton Tubus. Man sieht den HS mit der Mittenmarkierung, wo der Laserstrahl noch nicht ganz zentrisch auftrifft.

Im HS gespiegelt sieht man den FS und den Punkt wo der Laser diesen trifft.

Im FS gespiegelt ist das OAZ Rohr zu sehen, mit der Austrittsöffnung des Lasers selbst und der Scheibe rundherum.



Man sorgt für eine passende Beleuchtung der FS Oberfläche, wobei man wiederum den HS als Reflektor verwenden kann.

Der helle Laserpunkt blendet aber und verdeckt die unscheinbare Markierung am FS. Abhilfe: Mit einem Finger den Laserstrahl direkt nach seiner Austrittsöffnung abdecken. Dann ist die Markierung leicht zu sehen. So kann man den Laserpunkt blinken und die Positionierung der Markierung am FS vornehmen.

Die **Höhe des FS vor dem OAZ** wird mit der **Mittelschraube** des FS Sockels eingestellt, welche in das Gewinde im Sockel des FS eingreift. Meist muss das nicht neu gemacht werden, wenn die Höhe schon korrekt eingestellt wurde – daran wird sich kaum etwas ändern. Die Mittelschraube ist die eigentliche Halteschraube des FS, diesen also nicht zu tief setzen, er könnte sich von der Schraube lösen und auf den HS fallen! Die **3 Konterschrauben** dienen nicht nur zur Fixierung des FS-Sockels, die bestimmen auch seine **Neigung**. Zuerst alle 3 Konterschrauben deutlich anlösen, damit der Sockel frei beweglich wird.



Mit einer Hand den FS Sockel halten und ausrichten, und mit der anderen die Mittelschraube verstellen, bis der Laserstrahl den FS an seiner Markierung trifft.

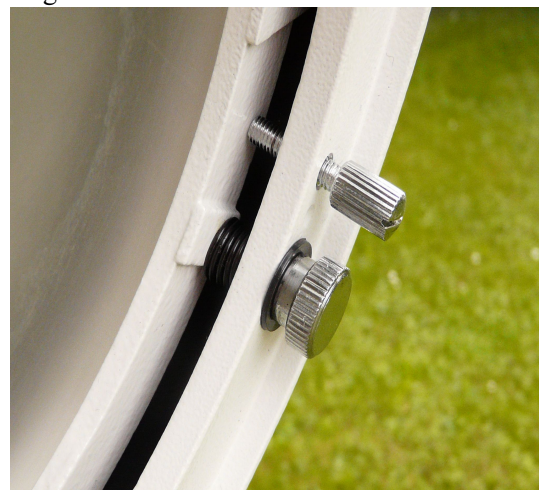
Ist der Laser nahe des Soll-Auftreffpunktes, beginnt man auch darauf zu achten wo er den HS trifft. Der FS hängt jetzt nur an der Mittelschraube und kann sonst frei bewegt werden. Durch **Drehen** des FS um die Längsachse und **seitliches Ausrichten** kann man erreichen, dass der Laser nach dem Sollpunkt auf dem FS auch die Mittenmarkierung des HS zentrisch trifft.

Das ist bereits die ideale Position des FS!

Es gibt nur diese einzige Position des FS, wo Drehung, seitliche Ausrichtung und Höhe so zusammenpassen, dass beide Markierungen vom Laser getroffen werden. Nun nur noch die Konterschrauben so zuschrauben dass genau diese Position beibehalten wird. Erst sanft, und dann nach und nach immer mehr Druck aufbauen, so dass sie abschließend handwarm angezogen sind und sich nichts mehr von selbst verstellen kann. Manche Konterschrauben haben scharfe Spitzen und verursachen Gruben im FS-Sockel, wo sie dann gerne hineinrutschen – diese Spitzen flach zu feilen hilft.

Hinweis: Beim Offset muss man nicht super genau arbeiten. Der FS ist ein Planspiegel und hat keine optische Power – eine kleine Verschiebung der Position des FS vor dem OAZ verändert nur die Ausleuchtung aber nicht die Sternabbildung. Das Zentrum der HS Markierung hingegen muss der Laser möglichst genau treffen, da geht es um die präzise Umlenkung der optischen Achse des Parabolspiegels! Wer es genauer mag, verwendet einen [Offset Rechner](#). Achtung, die dort angegebenen Werte betreffen die laterale Verschiebung des FS, um die Distanz von seiner Mitte an der Oberfläche zu finden, diesen Wert noch mit 1,4 multiplizieren (Wurzel aus 2).

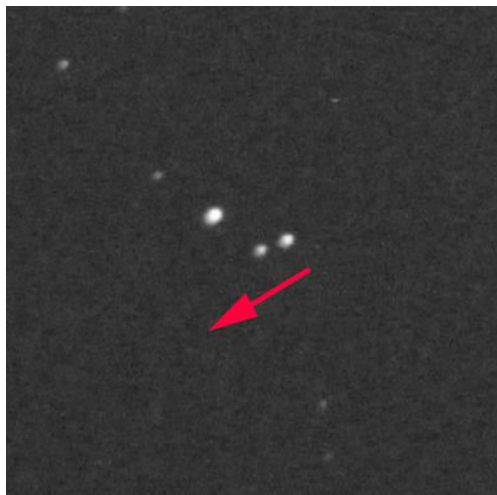
3. HS justieren. Das ist nun recht einfach. Der HS liegt in der Spiegelzelle auf seiner Halterung (entweder ein einfacher Ring oder eine aufwendigere Wippenhalterung). Diese Halterung kann an 3 Punkten mit Zug und Druckschrauben verstellt werden. Es ist ratsam, zu Beginn alle 3 Schraubenpaare festzuschrauben damit man von einem stabilen System ausgeht. Nun immer nur ein Paar aufmachen und verändern, und dabei schauen wie der zurückkehrende Laserpunkt sich bewegt. Nach einem Justagevorgang immer auch die Konterschraube fixieren, und dabei die kleine Bewegung des Laserpunktes welche das verursacht berücksichtigen. So ist schnelles zielgerichtetes Arbeiten möglich.





Die Kippung des HS wird nun so eingestellt, dass der Laserstrahl zum Laser selbst zurückkehrt, und zwar genau in das Loch an dem er ursprünglich austritt. Damit ist sichergestellt, daß der FS zentrisch vor dem OAZ sitzt und korrekt auf den HS ausgerichtet ist, und die optische Achse des HS korrekt in die Achse des OAZ geleitet wird.

Damit ist das Newton System für die meisten Anwendungen genau genug justiert!



Bei **visueller Beobachtung** und hoher Vergrößerung ist es ausreichend, restliche Koma direkt am Stern weg zu justieren. Man justiert dazu nur den HS so, dass sich der Stern bei der Justage in dieselbe Richtung bewegt wie das Koma Schwänzchen (roter Pfeil).

Leicht unscharf stellen hilft, schwach ausgeprägte Koma zu identifizieren. Der defokussierte Stern sollte rundherum gleich hell sein, eine hellere und gegenüber liegende dunklere Stelle ist typisch für Koma. Der Stern muss mit dem HS in Richtung der dunkleren Stelle bewegt werden.

Achtung: Ohne Komakorrektor gilt das nur in der Bildmitte! Das Newton Teleskop weist ohne Korrektor abseits der Achse zunehmende Koma auf.

die Stabilität der Justage

Es ist sinnvoll, vor der Feineinstellung die Stabilität der Justage zu prüfen. Die Justage ist dann instabil, wenn sich *etwas* im System beim Schwenken des Teleskops **zu sehr bewegt**. **Faustregel:** Der Laserpunkt am HS soll sich nicht mehr als 1-1,5mm von der Sollposition wegbewegen. Alle beteiligten Elemente können Schwachstellen sein, ganz systematisch prüfen ob sich etwas biegen oder bewegen lässt.



- FS Streben und FS Sockel gespannt/festgezogen?
- HS ohne seitliches Spiel in der Zelle?
- Tubuswand um den OAZ herum stabil genug?
- OAZ und Auszugsrohr stabil montiert?
- Kameraadaption stabil (Bajonettringe prüfen!)?

Ein guter Test ist, den OAZ + verschraubten Laser mit dem simulierten Gewicht der Kamera im Sollabstand zu belasten und das Teleskop in alle Richtungen zu schwenken, vom Zenit zum Horizont und auf beiden Seiten der Montierung. Dem OAZ als beweglichen Teil muss man ein minimales Spiel erlauben, aber obige Faustregel sollte eingehalten werden. Wird der erlaubte Wert deutlich überschritten, ist Fehlersuche und Beseitigung unabdingbar.

die Feinjustage für Fotografie

Prinzip und Ziel der fotografischen Justage

Während für visuelle Zwecke eine gute Abbildung in der Gesichtsfeldmitte meist ausreichend ist, erfordert die Fotografie auch gute Abbildung übers Feld, **bis in die Ecken** des Sensors. Die hohe Auflösung heutiger Sensoren zeigt Fehler gnadenlos, und je schneller das Öffnungsverhältnis des Teleskopes ist, um so kleiner sind die Toleranzen und um so genauer muss man arbeiten.

Das Newton Teleskop mit seinem Parabolspiegel hat ausgezeichnete Abbildung auf Achse, abseits der Achse kommen aber Koma und auch Astigmatismus zum Vorschein. Der Komakorректор sollte vor allem die sehr asymmetrische offaxis Koma korrigieren, aber er muss auch die Bildfeldkrümmung der Bildschale der Parabel genau ebenen. Diese Korrekturen verlangen einen definierten Arbeitsabstand vom Korrektor zum Sensor, meist 55mm, aber bei kurzen Brennweiten muss der Korrektor für die stärkere Bildfeldkrümmung stärker arbeiten und der Soll Abstand kann dann auch etwas geringer sein.

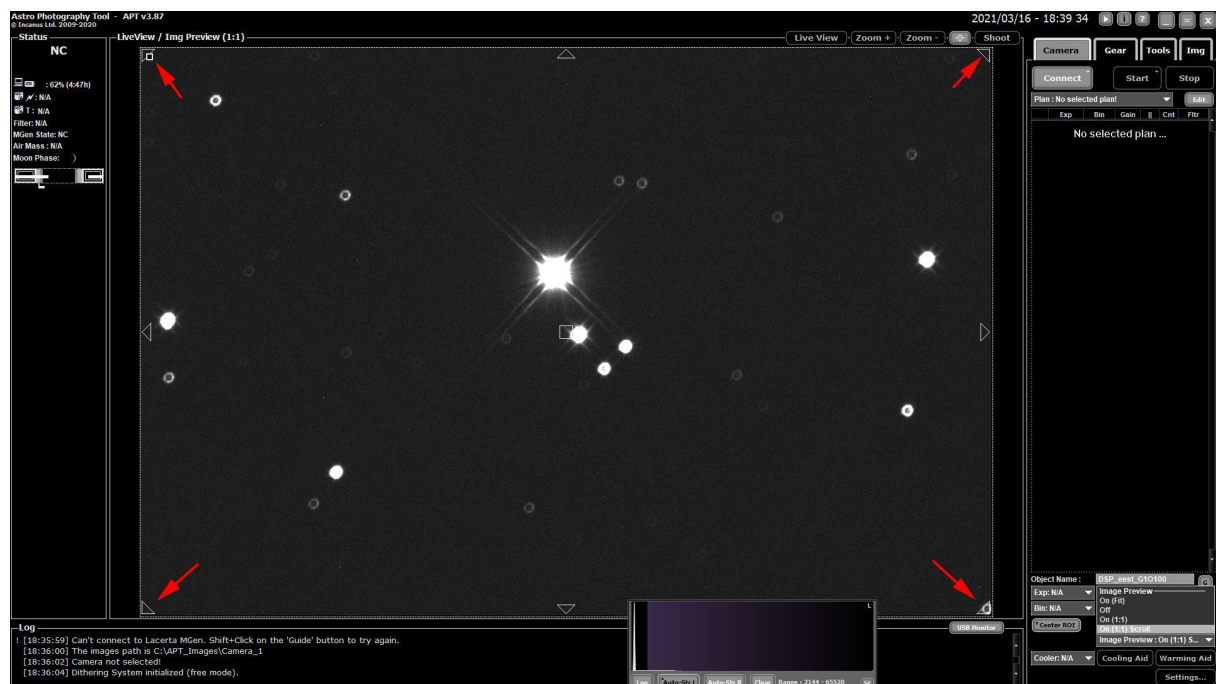
Wenn man diese Eigenschaften richtig ausnützt, ist es möglich **die angeschlossene Kamera als Messinstrument** für die Feinjustage zu verwenden!

Für bestmögliche Abbildung im Feld ist nötig:

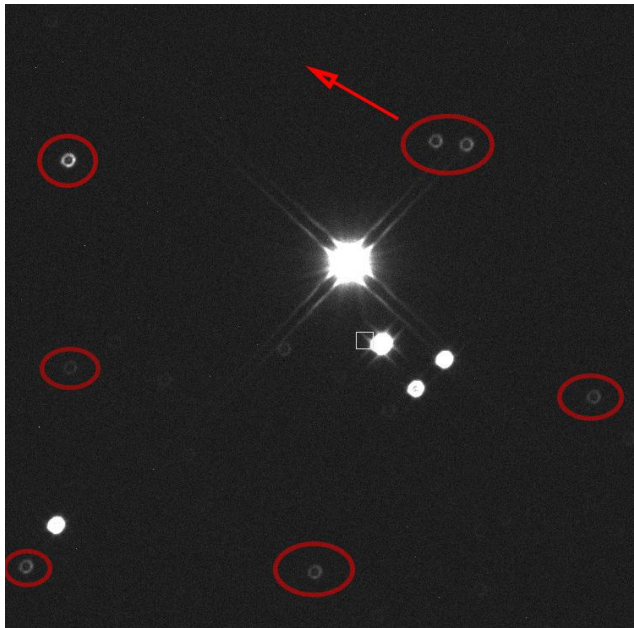
- die optische Achse muss den Sensor in der Bildmitte treffen
- die optische Achse muss rechtwinkelig zum Sensor stehen
- der Arbeitsabstand zum Korrektor muss getroffen werden

Es gibt einen systematischen Weg, dies alles über die Analyse des Bildes aus der Kamera zu erreichen. Dazu verwenden wir den **Sternestest**, eine Methode die hilft die im Zentrum und in den Bildecken auftretenden Fehler qualitativ zu erfassen und zielgerichtet zu minimieren. Der Sternestest erfolgt am **defokussierten** Teleskop, es wird dabei **0,1-0,5mm einwärts** (intrafokal) unscharf gestellt. Je näher man am Fokus ist desto sensitiver ist der Test, wichtig ist aber dass man die Formen und Lichtverteilung in den Scheibchen gut erkennen kann.

Zur Beurteilung der Form der Sternscheibchen macht man eine wenige Sekunden belichtete Aufnahme bei hoher Iso Zahl, und kontrolliert mit **DSLR** am liveview die Korrekturbewegung mit der Bildschirmleupe. Mit **CMOS/CCD** Kameras geht man ähnlich vor. Es ist gut ein Programm zu benutzen das eine schnelle Anzeige der Bilder erlaubt, und gleichzeitig ein schnelles Ansteuern der 4 Bildecken. Man kann bei der Qualität der Bilder sparen, und den USB traffic erhöhen, und/oder für das Zentrum das ROI feature verwenden. APT hat zB einen 1:1 scroll modus, wo die Bildecken sofort durch Doppelklick auf die kleinen Dreiecke in den Ecken des angezeigten Bildes dargestellt werden.



a) Feinjustage des Hauptspiegels



Man betrachtet die Sternscheibchen im **Bildzentrum**, und beurteilt ob die Helligkeit am Rand der Scheibchen überall gleich groß ist, oder ob es eine Stelle gibt wo es etwas dunkler ist. Die weniger hellen Scheibchen zeigen es deutlicher. Die Donuts im Beispielbild sind links oben am dunkelsten.

Am HS wird nun so justiert, dass die Scheibchen sich am Bild ca. 20-40 Pixel in genau diese Richtung bewegen (roter Pfeil). Die Helligkeitsverteilung muss dadurch ausgeglichener werden. Man finde den Punkt, wo sie rundherum gut ausgeglichen ist.

Eine genauere Methode um **Koma** zu erkennen bedient sich der **Position des FS Schattens** in den intra und extrafokalen Sternscheibchen. Wenn man von intrafokal auf die andere Seite des Fokus wechselt, so wechselt auch der FS Schatten die Seite. Die Sternscheibchen sollten wie gespiegelt aussehen. Ist das nicht der Fall, so bestimmt man die Stellen wo die Lichtringe am dicksten sind (rote Pfeile) und mittelt die beiden Richtungen (grüne Pfeile). Die Korrektur am HS soll die Sterne in die gemittelte Richtung bewegen:

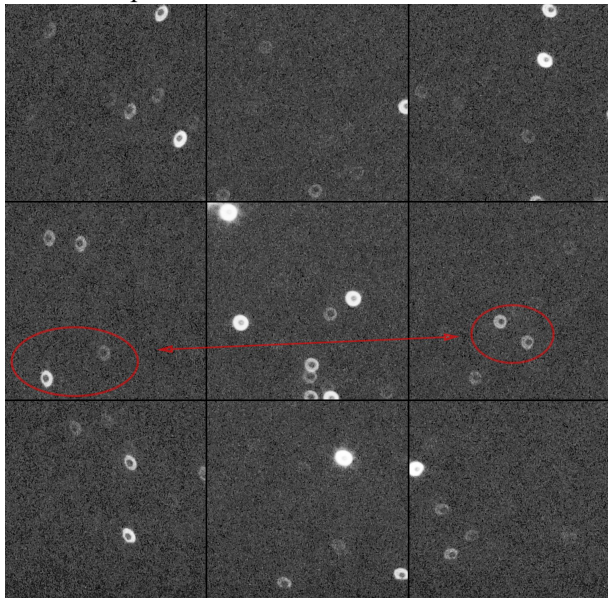


Näheres dazu bei den Hinweisen weiter unten! Diese genauere Methode muss nicht eingesetzt werden, wenn die Koma an der ungleichen Helligkeitsverteilung der Sternscheibchen ersichtlich ist. Es genügt meistens, sie am Ende der Justage einzusetzen.

Beim Festdrehen der Konterschrauben darauf achten, dass die Sterne am liveview sich dadurch nicht verschieben. Mit den Stellschrauben gegenregeln. Damit bleibt die gefundene Position des HS erhalten.

b) Feinjustage des Fangspiegels

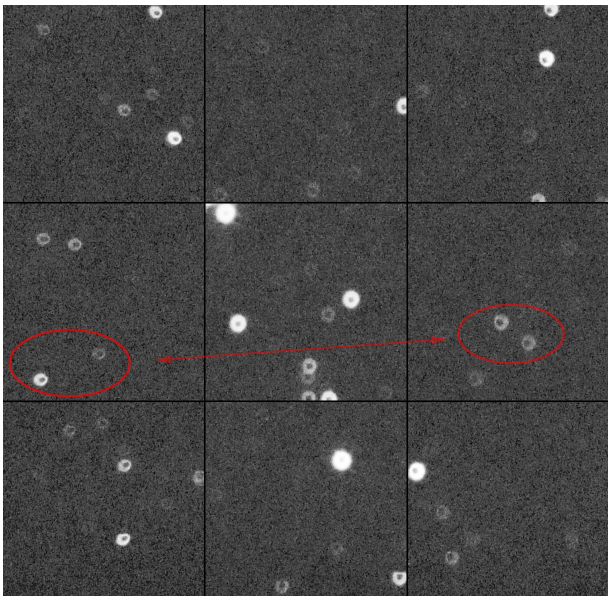
In den Beispielbildern sind Ausschnitte der Bildecken und Mitte in voller Größe zusammengefasst.



Man betrachtet nun **den Feldrand mit den 4 Bildecken**, und vergleicht hier die Formen der Sternscheibchen. In den Bildecken ist ein gewisser Rest an Astigmatismus normal, und zwar sind **intrafokal** die Sternscheibchen zum Bildzentrum hin abgeplattet.

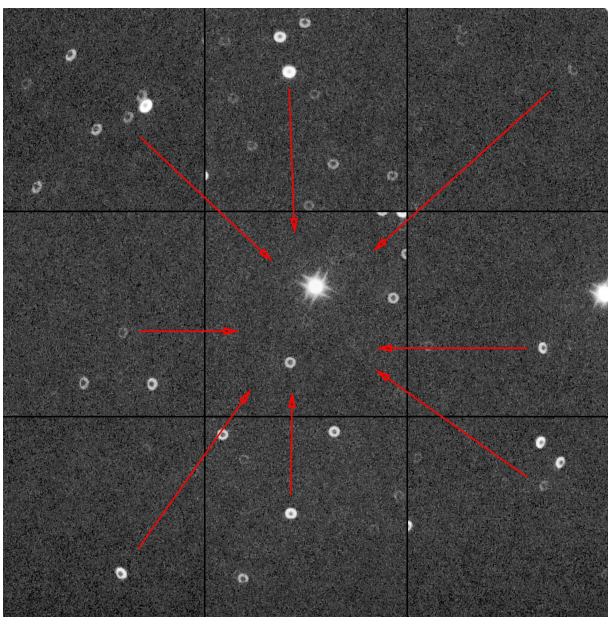
Die Formen dieser Abplattung am Feldrand sollen idealerweise symmetrisch zum Bildzentrum sein.

Dazu kommt eine Vignette welche den äußeren Teil des Scheibchens abschneidet, manchmal bis zum FS Schatten. Die Abplattung ist bei idealer Justage in allen 4 Ecken gleich. Sieht man in einer Ecke stärker abgeplattete Scheibchen, so sind sie in der gegenüberliegenden Ecke dafür weniger abgeplattet oder sogar zum Zentrum hin langgezogen.



In manchen Fällen empfiehlt es sich, die Formen der Sternscheibchen auch **extrafokal** anzusehen.

Extrafokal sind die Sternscheibchen durch den Astigmatismus am Feldrand radial vom Bildzentrum weg elongiert – genau umgekehrt wie intrafokal. Die Symmetrie zum Zentrum hin ist so manchmal einfacher zu beurteilen.



Man sucht jene Richtung, in der die Abweichungen am größten sind, und justiert den FS an den 3 **Konterschrauben** so, dass sich die Sterne am Bild ca. 10-20 Pixel in Richtung der **stärker** abgeplatteten Ecke bewegen (roter Pfeil). Sehr empfindlich! Jede Bewegung des FS verändert die Stellung der optischen Achse doppelt so stark wie eine Bewegung des HS.

Das Ergebnis wird sein, dass die Abplattung ausgeglichener und die Sternscheibchen am Feldrand zum Zentrum hin symmetrischer sein werden.

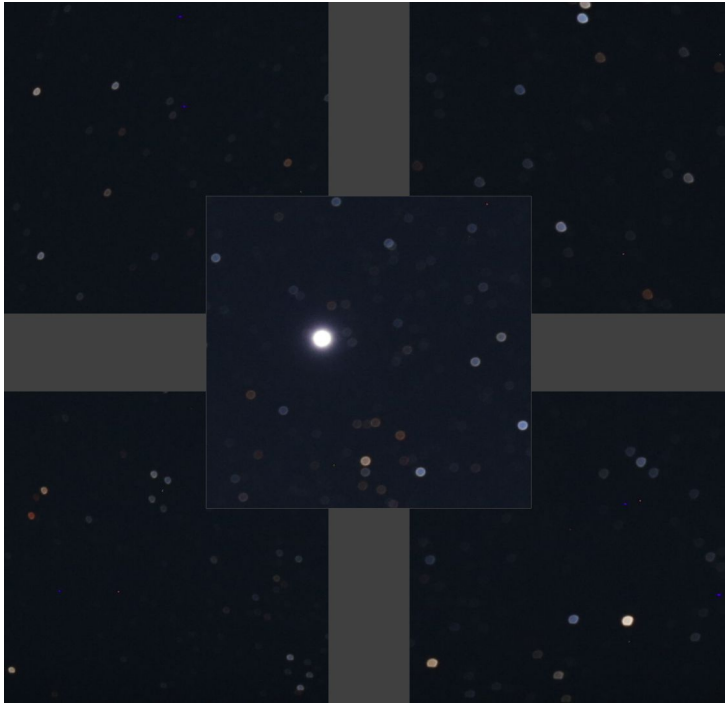
Durch die FS Bewegung stimmt aber die Ausrichtung des HS nicht mehr ganz, und man erhält wieder Koma im Bildzentrum.

c) Schritt um Schritt verfeinern

Nun wieder im Zentrum prüfen, und entstandene Koma gegebenenfalls wie in a) beschrieben wegjustieren. Dann wieder Schritt b) durchführen, usw. Auf diese Weise kann man recht schnell erreichen, dass die Verzerrungen in den Ecken gut symmetrisch sind und das Zentrum komafrei ist.

Eine gewisse Toleranz darf man walten lassen, eine 100,0% Justage ist sehr schwierig zu erreichen und auch gar nicht nötig. Der Sternetest nahe des Fokus ist sehr empfindlich. Damit sind HS und FS aufeinander abgestimmt, und die optische Achse trifft die Bildmitte. Die Bildebene ist rechtwinkelig zur optischen Achse, aber ist es auch der Sensor?

d) Verkippung des Sensors



Nun prüft man, ob die Sternscheibchen überall im Bild gleich groß sind. Dazu am besten recht nahe zum Fokus gehen, da sind die Unterschiede am besten sichtbar. Sind sie unterschiedlich groß, so ist eine Verkippung vorhanden und man benötigt einen Tiltadapter. Die kleineren Sternscheibchen sind intrafokal näher am Fokus, und der Tiltadapter muss auf der gegenüberliegenden Seite etwas aufgespreizt werden. Das Bild der Kamera wird nämlich intern sowohl vertikal als auch horizontal gespiegelt. So kann man erreichen, dass die Sternscheibchen annähernd gleich groß sind.

Dieses Beispiel stammt von einem Takahashi FSQ130 und Eos6d, sehr schön sieht man dass die Sternscheibchen auf der rechten Seite deutlich größer sind. Die offaxis Aberrationen sind aber symmetrisch.

e) Arbeitsabstand zum Korrektor



Jetzt in der Bildmitte fokussieren. Sind die Sterne in den Ecken gut rund, hat man den Arbeitsabstand gut getroffen. Sind sie zum Zentrum hin abgeplattet wie in diesem Beispiel, so wirkt der Korrektor zu stark und man muss den Abstand verringern. Wenn sie zum Zentrum hin länglich sind, dann wirkt der Korrektor zu wenig und der Abstand muss vergrößert werden.

Sind sie nur in einer Ecke oder auf einer Seite verzerrt, so kann der Abstand noch nicht gut getroffen sein und eine kleine verbliebene Verkippung die Sterne dort aus dem Toleranzbereich hinausbefördern.

Bei schnellem Öffnungsverhältnis wie $f/4$ ist der Sensorabstand recht genau einzuhalten. Einmal kam die Anfrage, ob der Korrektorabstand vielleicht von der Temperatur abhängig ist. In der Nacht war es um mehr als 10 Grad kühler geworden, und die Korrektur hatte von zuviel auf etwas zuwenig gewechselt. Nach einiger Recherche wurde klar, dass die aus Kunststoff gefertigte DSLR sich durch die Abkühlung um wenige Zehntel Millimeter zusammengezogen hatte!

Refokussieren: Die abgeplatteten Sterne am Bildrand sind eine Folge des übrigbleibenden Astigmatismus - welchen der Korrektor nicht korrigieren kann – und eines nicht ganz ebenen Bildfeldes. Beim Fokussiergang ändert er seine Richtung um 90° . Durch Fokussieren nicht in der Bildmitte sondern halb gegen den Rand zu kann man den Fehler abmildern, wenn nur eine minimale Unschärfe in der Bildmitte die Folge ist.

Verkippung mit dem HS kompensieren: Da die Bildebene senkrecht auf die optische Achse steht, verursacht eine Verkippung der Achse auch eine Verkippung der Bildebene. Minimal astigmatisch verzogene Sterne in den Bildecken können daher über eine absichtliche Verkippung des HS günstig beeinflusst werden. *Wenn man etwas aufrichtige Weise falsch macht, dann wird das Falsche richtig wirken.* Manche Okularauszüge haben an der Basis Schrauben, um die Kippung des ganzen OAZ einzustellen. Auch das kann man im Notfall verwenden, im Bewusstsein dass die Justage dadurch grundlegend verändert wird. Dies sollte nur eine temporäre Notmaßnahme sein, eine saubere Entkippung des Sensors ist natürlich der bessere Weg, auch hinsichtlich Rotation der Kamera.

Software Werkzeuge: Es gibt Bildanalyse Tools wie CCD Inspector oder das FWHM Eccentricity Script in PixInsight. Sie sind sehr nützlich zur Kontrolle, aber sagen nicht an welcher Schraube man als nächstes drehen soll. In Kombination mit dieser Anleitung können sie aber zur Verfeinerung dienen.

Hintergrundinfo zu dieser Methode:

Obwohl bei der Justage HS und FS eingestellt werden müssen, muss man sich im Klaren sein dass allein **der HS das optisch aktive Element** ist welches die einfallenden Lichtstrahlen bündelt und das Bild erzeugt. Der **FS ist ein Planspiegel** der nur das Licht umlenkt aber keine anderen optischen Kräfte hat. Die Parabel der HS hat eine optische Achse, und die Bildfehler sind symmetrisch um diese Achse.

Der **Korrektor** ist insofern beteiligt, als er die offaxis Koma und die Bildfeldkrümmung korrigiert, aber er kann den Astigmatismus den die Parabel abseits der Achse aufweist nicht auch ganz wegkorrigieren. Die Symmetrie dieses Astigmatismus benutzen wir hier, um die optische Achse zu finden und in die Bildmitte zu bringen.

Der Korrektor kann nur dann richtig funktionieren, wenn die optische Achse ihn **zentral** durchläuft. Trifft die optische Achse nicht die Bildmitte, so entsteht trotz Korrektor Koma. Man könnte diese Koma auch nur am HS wegjustieren, das mag für visuelle Beobachtung durchaus ausreichen. Dann kann jedoch immer noch die optische Achse schief ankommen, und die Bildebene ist gegen den Sensor verkippelt und der Astigmatismus im Feld unsymmetrisch.

Am **Bildrand** sind nur genau fokussierte Sterne rund, im Gegensatz zur Bildmitte wo Sterne zwar unscharf sein können aber rund bleiben. Der **kritische Fokusbereich** beträgt bei $f/4$ und 3.7μ Pixeln nur ca. $40\mu\text{m}$! Der Astigmatismus, zusammen mit einer Verkippung und/oder Bildfeldkrümmung bestimmt die Sternformen am Bildrand. Beim Fokussiergang wechseln die astigmatisch verformten Sterne die Richtung um 90° . Probieren Sie minimalst intra und extrafokale Aufnahmen zu machen, um ein Gefühl dafür zu bekommen wie schon 0,1mm Defokus die Sterne am Bildrand zu kleinen Strichen machen. Hier die rechte untere Ecke bei einem $f/4$ Newton mit GPU Komakorrektor:



intrafokal

fokal

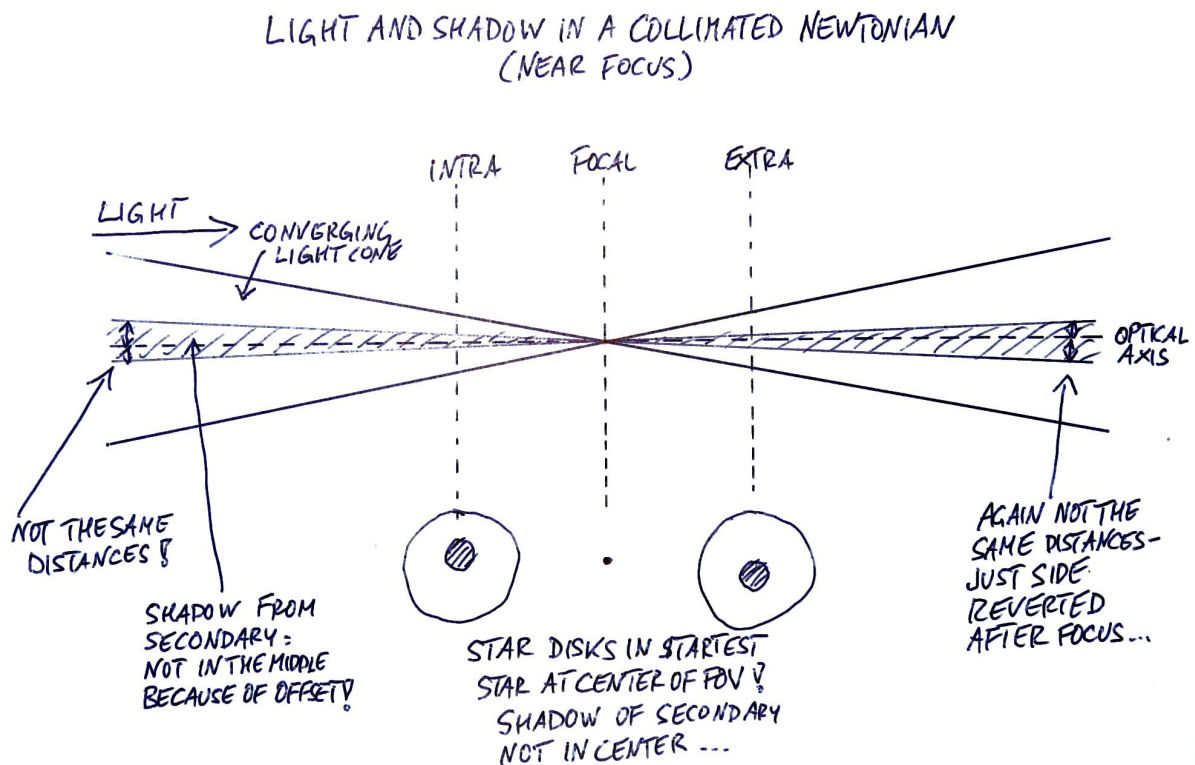
extrafokal

Deshalb ist auch der richtige Korrektorabstand so wichtig. Andererseits kann eine leichte Verkippung des Sensors auch durch eine entsprechende Gegen-Kippung des HS gemildert werden. Das kann ebenfalls mit dieser Methode erreicht werden - weil es die verwendete Kamera selbst ist, welche als Messinstrument eingesetzt wird.

Hinweise, Fehleranalyse, FAQ

Muss der Schatten des FS beim Sterntest nicht in der Mitte des Sternscheibchens liegen?

Nein! Da der FS wegen dem offset exzentrisch im Strahlengang sitzt, muss er auch in den Sternscheibchen exzentrisch zu sehen sein. Beim Durchgang durch den Fokus wechselt er die Seite. Folgende Skizze veranschaulicht den Strahlengang in der Umgebung des Fokus.



Von links kommt der Strahlkegel, und darin sitzt exzentrisch der Schattenkegel den der FS wirft. Im Fokus laufen die Kegel zusammen, und der Schatten verschwindet im Beugungsscheibchen. Hinter dem Fokus tauchen die beiden verschachtelten Kegel aber wieder auf, nun ist der Schattenkegel auf die andere Seite hin exzentrisch – einfach weil das Licht gerade weiterläuft. Nun suchen wir uns zwei Punkte intra und extrafokal, welche gleich weit vom Fokus entfernt sind. Weit genug, damit der Schatten ganz deutlich wird, und nicht von Beugungserscheinungen nahe des Fokus überlagert wird. Unten sehen wir die Querschnitte durch den Lichtkegel mit dem Schatten darin, wie das defokussierte Sternscheibchen am Bild erscheint. Der exzentrische Schatten wechselt die Seite.

Dies ist eine empfindliche Methode, auf verbliebene Koma im Bildzentrum zu testen!

Nach erfolgreicher Justage sollte der Sterntest idealerweise so aussehen (10" f/4 Lacerta Photonewton, Eos600d). Die dicksten Stellen der Donuts sind gleich dick und liegen sich 180° gegenüber:



intrafokal

fokal

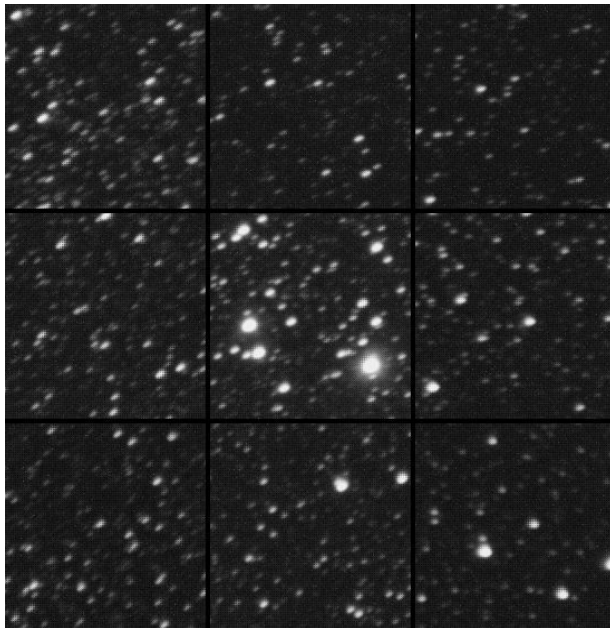
extrafokal

Wie lassen sich Fehler der Justage von Nachführfehlern trennen?



Kurz belichten! Bei sehr kurzen Aufnahmen wirken sich Fehler der Nachführung nicht aus. Das Teleskop auf Polaris richten ist auch hilfreich. Bei einer lang belichteten Aufnahme sind Nachführfehler daran zu erkennen, dass die Sterne **über das ganze Bildfeld gleich verzerrt** sind, während Justagefehler nicht bei allen Sternen gleich aussehen. **Faustregel:** Wenn irgendwo im Bild runde Sterne zu finden sind, dann ist die Nachführung ok. Nachführfehler elongieren die Sterne überall im Bild gleich (Ausnahme: Bildfeldrotation), und die Fehler addieren sich zu den möglicherweise auch vorhandenen Justagefehlern - sie subtrahieren sich niemals. Um Nachführfehler zu verringern, kürzer belichten – das trennt sie von Justagefehlern.

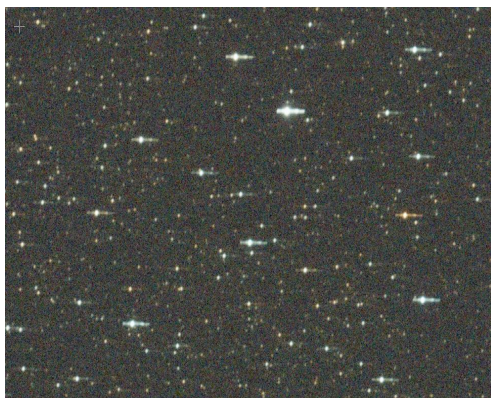
Du hast Bildfeldrotation erwähnt – was ist das?



Wenn die Montierung nicht gut eingenordet ist, dann driften die Sterne langsam durchs Bild. Meist verwendet man aber einen Autoguiden, und der verhindert dann die Drift und hält einen Stern in Position. Dadurch dass die Stundenachse nicht den Pol trifft, ergibt sich aber trotzdem eine kleinere Differenzdrift – und zwar um den Leitstern herum. Ist der Leitstern in der Mitte des Bildfeldes, bleibt diese Bildfeldrotation unauffällig. Wenn der Leitstern aber deutlich abseits des Zentrums ist, werden die Strichspuren auf der abgewandten Seite immer länger. Die Elongation der Sterne ist nicht übers ganze Bild gleich, sondern auf den Leitstern zentriert.

In diesem Beispiel ist der Leitstern rechts unten. Der Effekt trat erst nach zwei Stunden problemloser Belichtung auf. Ein Montierungsbein dürfte in den Boden eingesackt sein.

Hilfe, aus meinen Sternen kommen Striche!



Montierungen werden meist von einer Schnecke und einem Schneckenrad angetrieben. Zwischen den beiden Komponenten kann es einen gewissen **Totgang** geben, und die Montierung kann darin ins Schwimmen geraten. Das betrifft beide Achsen, und oft die DEC Achse denn in RA schiebt die Schnecke durch die laufende Nachführung immer an. Man kann den Totgang **kompensieren**, indem man für ein leichtes Ungleichgewicht sorgt – ein kleines Gewicht, das in DEC auf eine Seite zieht. In RA kann man das Gegengewicht entsprechend positionieren. Man soll den Totgang an der Montierung möglichst minimieren, aber zu enger Kontakt führt dazu dass die Nachführung hakt was nicht kompensiert werden kann.

Heizungen regulieren!

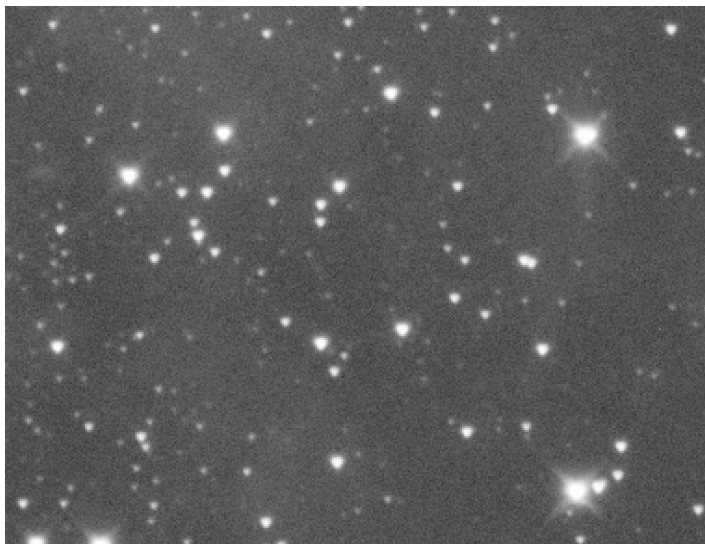


Um Taubeschlag zu verhindern, ist es praktisch eine Heizung am FS anzubringen. Wenn die aber zu stark heizt, steigt die warme Luft in den Strahlengang auf und verursacht Lichtausbrüche an helleren Sternen im gesamten Bild. Schwenkt man den Tubus, so kann sich die Richtung ändern denn die warme Luft steigt immer nach oben. Es ist also wichtig, nur so viel zu heizen wie nötig.

Optikprobleme



abfallende Kante: Manche Spiegel weisen nach dem Schleifprozess eine kleine Zone am Rand auf, die zu flach geschliffen ist. Oft ist es nur ein halber Millimeter. Das Licht wird weit aus dem Beugungsscheibchen heraus befördert und flutet das umgebende Bildfeld. Die Halteklammern decken das in ihrem Bereich ab und es bilden sich dunkle Aussparungen. Eine Maskierung mit schwarzem Stift oder eine Blende beseitigt den Effekt, ohne viel Öffnung zu kosten.



verspannte Optik: Sind die Halteklammern des HS zu fest angezogen, so verformt sich der Spiegel. Sie dürfen den HS gar nicht berühren, ihn nur gegen Herausfallen sichern. Eine verformte Optik produziert verformte Sterne im ganzen Bild.

Dieses Beispiel hier aber zeigt, wie trügerisch eine schnelle Beurteilung sein kann. Es sieht ähnlich aus wie bei einer verspannten Optik, das Teleskop war jedoch lediglich dejustiert und hatte starke Koma. Der **Sternetest** zeigt den Unterschied sofort: Bei Verspannung sind die Scheibchen dreieckig, aber rundherum gleich hell.

Reflexe

einige Beispiele aus dem unbeliebten Reich der Reflexe...



Am Fernrohr angebrachte Adapter sind meist rund. Wenn sie innen nicht gut mattiert geschwärzt sind, können helle Sterne ausserhalb und innerhalb des Bildfeldes diese bogenförmigen Reflexe verursachen.

Eine weitere Möglichkeit zu solchen Bögen zu kommen besteht bei Ritchey-Chretien Teleskopen: Das Blendrohr ist dann falsch dimensioniert und Sternenlicht kann knapp am FS vorbei direkt auf den Sensor fallen.



Geriffelte, aber trotzdem glänzende Adapter Innenseiten können auch wie ein Gitterspektrograph wirken.

Man findet die glänzenden Stellen am besten, wenn man das Teleskop auf eine helle Fläche richtet und von hinten durch die Adapter in den OAZ hineinguckt. Alles was hell aufleuchtet, sollte schwarz mattiert werden – Velourfolie oder mattschwarzen Lack zu applizieren ist empfohlen.



Es können aber auch gerade Flächen beteiligt sein. Hier links der Reflex von einer nicht mattierten FS Strebe.

Die **Spikes** von 52 Cygni sind hier sehr lang. Wem das nicht gefällt, der kann die FS Spinne mit Velour bekleben, die Beugungserscheinungen werden dadurch effektiv verstreut und die Spikes sind weniger lang und auffällig.

Literatur: Startesting Astronomical Telescopes, H.R.Suiter, Willmann-Bell

Tommy Nawratil - <https://teleskop-austria.at/>