waren; es erwies sich als fast unmöglich, die Sterne scharf zu stellen, die allesamt nur verwaschen mit einem langen Schweif zu sehen waren. Der Besitzer zeigte sich natürlich enttäuscht, doch nach ein paar Justierungen an den Kollimationsschrauben waren die Bilder scharf. Ich selber überprüfe die Kollimation meines Schmidt-Cassegrain-Teleskops vor jedem Gebrauch, vor allem nachdem ich es im Auto transportiert habe.

Ein Maksutov-Cassegrain-Teleskop mit separatem Sekundärspiegel muss genauso kollimiert werden, doch im Gegensatz zum Schmidt-Cassegrain ist die Kollimation dank der Unempfindlichkeit der optischen Berechnung gegenüber Justierungsfehlern meist sehr stabil.

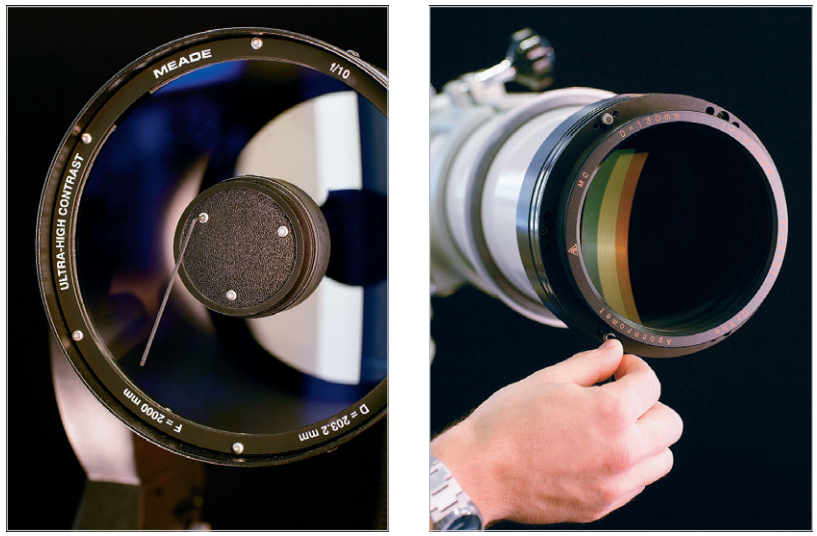
Bei einem Newton-Teleskop entspricht die Justierung des Primärspiegels (oder Hauptspiegels) den oben beschriebenen Schritten. Allerdings muss zuvor der Sekundärspiegel justiert werden, was mithilfe geometrischer Methoden bei Tage geschieht und auf zahlreichen Webseiten und in Büchern beschrieben ist.

Der Objektivtubus der meisten Refraktoren mit einem Durchmesser von über 100 bis 120 mm hat Stellschrauben für die Kollimation. Auch wenn die Kollimation dieses Instrumententyps sehr stabil ist, empfiehlt sich eine regelmäßige Überprüfung: Denn die Zahl dejustierter Refraktoren ist größer, als man denkt. Gelingt es dem Benutzer nicht, ein vernünftiges Beugungsscheibchen zu erzielen, kann der Grund darin liegen, dass sich ein optisches Element gegenüber einem oder mehreren anderen verschoben hat. In solch einem Fall muss das Instrument zum Hersteller eingeschickt werden.

Als Ersatz für einen echten Stern werden häufig verwendet:

- Ein künstlicher Stern in Form einer Metallkugel, die weit entfernt vom Teleskop platziert wird und das Licht einer starken Birne oder einer Taschenlampe reflektiert. Das Problem bei dieser Methode ist, dass die dafür nötige horizontale Ausrichtung des Teleskops nicht der normalen Verwendung entspricht.
- Bei einem Newton-Teleskop kann man einen Kollimationslaser in den Okularhalter einführen, dessen Strahl mehrmals von den beiden Spiegeln reflektiert wird. Bei dieser Methode muss der Okularhalter allerdings perfekt am Tubus ausgerichtet sein.

In allen Fällen lautet mein Rat, die letzte Justierung an einem echten Stern vorzunehmen, da es die verlässlichste, genaueste und zudem preisgünstigste Methode ist.



Die Kollimation eines Schmidt-Cassegrain- oder Maksutov-Cassegrain-Teleskops mit einem separaten Sekundärspiegel wird über eigens dafür geschaffene Stellschrauben vorne am Teleskop durchgeführt (oben). Die Kollimation eines Refraktors nimmt man über die Stellschrauben vorne am Objektivtubus vor (unten).

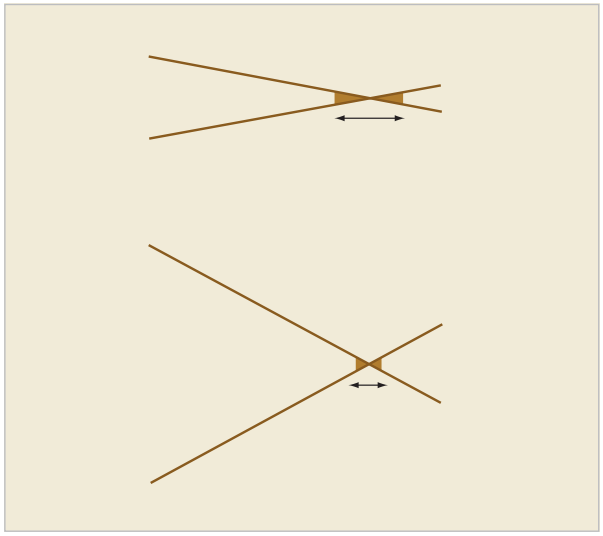
Fokussierung

Das Fokussieren ist die Platzierung des Sensors in der Fokusebene des Teleskops, also dem Ort, an dem alle Strahlen, die ein Stern aussendet, zusammenlaufen. Im Gegensatz zum Auge bei der visuellen Beobachtung kann ein Sensor kleine Fehler bei der Fokussierung nicht ausgleichen und benötigt daher eine exakte Positionierung. Und wie bei der Dejustierung gilt auch hier, dass keine Bildverarbeitung eine schlechte Fokussierung ausgleichen kann. Im Gegensatz zur normalen Fotografie, wo der Autofokus meist sehr gut funktioniert, ist das manuelle Fokussieren in der Astronomie die Regel und stellt für den Anfänger eine der größten Herausforderungen dar, wenn er zunächst lange nach der richtigen Einstellung sucht und sich dann nicht sicher ist, ob er sie wirklich gefunden hat. Doch selbst erfahrene Astrofotografen benutzen Tricks und Hilfsmittel, die ihnen dabei helfen, das schärfstmögliche Bild zu erhalten.

Fokustoleranzen

Glücklicherweise liegt die Fokussierung, die man als ausreichend gut betrachtet, innerhalb eines gewissen Bereichs, dessen Größe von zwei Parametern abhängt: dem Öffnungsverhältnis des Teleskops und dem Ausmaß der tolerierbaren Unschärfe. Die Größe der Fotodioden hat ebenfalls einen Einfluss auf die Fokustoleranz: Sie ist bei größeren Fotodioden etwas größer als bei kleineren.

Es gibt einen Fokussierbereich, innerhalb dessen die Fokussierung als zufriedenstellend angesehen wird. Je geringer das Öffnungsverhältnis (je breiter der Lichtkegel), desto kleiner ist diese Fokustoleranz.



Nehmen wir einmal an, das Teleskop sei perfekt. Auf der Fokusebene treffen sich alle von einem Punkt am Himmel kommenden Strahlen am selben Punkt und haben exakt dieselbe Distanz von der Lichtquelle zurückgelegt. Dies bedeutet, dass ihre optischen Wege identisch sind, sie die Fokusebene also »in Phase« erreichen. Befindet sich die Fokussierung allerdings nicht an der optimalen Position, legen die Strahlen Wege von leicht unterschiedlicher Entfernung zurück (siehe Textbox unten). Das Entscheidende daran ist, dass sich die Größe des Bereichs der Fokustoleranz proportional zum Quadrat des Öffnungsverhältnisses verhält: Bei fokaler Projektion hat ein Teleskop mit einem Öffnungsverhältnis f/5 einen Bereich akzeptierter Schärfe, der viermal geringer ist als bei f/10 und 16-mal geringer als bei einem Teleskop mit f/20. In der Tabelle unten sind die Fokustoleranzen (+/–) für grünes Licht in Abhängigkeit vom Öffnungsverhältnis und die dafür erforderliche Präzision aufgelistet.

Fokussierungsqualität Öffnungsverhältnis	sehr gut	korrekt	mittelmäßig
2	±0,004 mm	±0,008 mm	±0,018 mm
4	±0,018 mm	±0,04 mm	±0,08 mm
6	±0,04 mm	±0,08 mm	±0,16 mm
8	±0,08 mm	±0,14 mm	±0,3 mm
10	±0,12 mm	±0,2 mm	±0,4 mm
15	±0,2 mm	±0,5 mm	±1 mm
30	±1 mm	±2 mm	±4 mm

BERECHNUNG DES FOKUSTOLERANZ-INTERVALLS

Der Wellenfrontfehler, der durch ungenaue Fokussierung entsteht, kann als maximale Differenz im optischen Weg zwischen zwei Lichtstrahlen, die die Fokusebene erreichen, ausgedrückt und in Bruchteilen einer Wellenlänge (λ) angegeben werden. Die folgende Formel berechnet die akzeptable Fokustoleranz (L, gleiche Einheit wie Δλ) in Abhängigkeit vom Öffnungsverhältnis (F/D) und dem Wellenfrontfehler (Δλ):

$$L = \pm 8 \times \left(\frac{F}{D}\right)^2 \times \Delta\lambda$$

Bei beispielsweise einem Gangunterschied (Phasenverschiebung) von 1/4 λ grünen Lichts (λ = 0,56 µm) beträgt bei einem Öffnungsverhältnis von 10 die Fokustoleranz ±0,1 mm.

Bei der Fotografie von Planeten können wir bei einer Genauigkeit von 1/8 λ von einer sehr guten, bei 1/4 λ von einer korrekten, bei 1/2 λ von einer mittelmäßigen und über 1 λ von einer schlechten Fokussierung sprechen. Bei Deep-Sky-Bildern ist das akzeptable Fokusintervall doppelt so groß wie bei Planeten, da der Abbildungsmaßstab geringer ist und die atmosphärischen Störungen und Nachführfehler weniger ins Gewicht fallen.

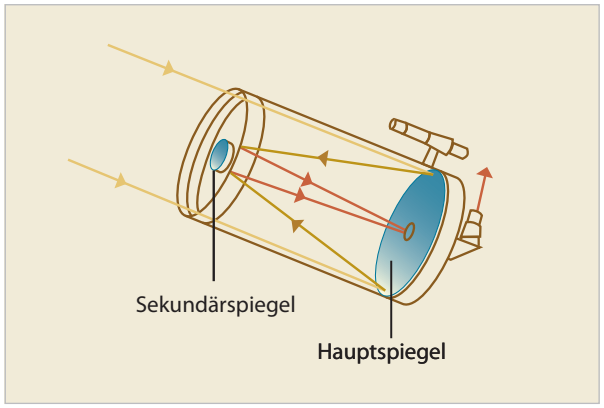
Wenn wir die Lagetoleranz für ein bestimmtes fokussierendes Element berechnen wollen, müssen wir dessen Öffnungsverhältnis berücksichtigen. Bei einem Refraktor oder einem Newton-Teleskop ist es das Öffnungsverhältnis der Linse bzw. des Primärspiegels. Bei einem Schmidt-Cassegrain-Teleskop jedoch ist das Öffnungsverhältnis, das man auf dieser Ebene verwendet, 2, da die Fokussierung über die Bewegung des Primärspiegels erfolgt. Mit diesem Wert ergibt die Gleichung oben eine Fokustoleranz von unter 1/200 mm bei Planetenaufnahmen, was 1/300 einer Umdrehung des Fokussierrades entspricht!

WERDEN ALLE OBJEKTE AM HIMMEL GLEICH FOKUSSIERT?

Wenn man auf einen Hunderte von Lichtjahren entfernten Stern fokussiert, passt diese Einstellung dann auch für den Mond, dessen Umlaufbahn sich »nur« durchschnittlich 384.000 km von der Erde weg befindet? Eine einfache Rechnung zeigt, dass der Unterschied in der Fokusposition zwischen diesen beiden Himmelskörpern auf der Fokusebene eines Teleskops mit 1000 mm Brennweite ein Milliardstel Millimeter ausmacht, der Unterschied also vernachlässigbar und nicht messbar ist. Alle Himmelsobjekte, selbst die künstlichen Satelliten, sind so weit entfernt, dass man sie optisch als unendlich weit entfernt betrachten kann. Dies gilt auch für die Mitte und den Randbereich des Mondes und der Sonne: Die Fokusposition ist die gleiche. Zeigt ein Bild von der Sonne oder dem Mond Randunschärfen und eine scharfe Mitte (oder umgekehrt), liegt das an Abbildungsfehlern des Instruments (siehe Kapitel 7; Gesichtsfeld) und nicht an der Fokussierung.

Fokussysteme

Bei Teleskopen gibt es zwei Fokussysteme: den Zahnstangenantrieb, der bei Newton-Teleskopen und Refraktoren gebräuchlich ist (wie auf den Bildern auf Seite 153 zu sehen), und das System, bei dem der Hauptspiegel bewegt wird, wie es bei Schmidt-Cassegrain- und anderen Teleskopen der Cassegrain-Familie üblich ist. Beim Letzteren geschieht dies durch einen Drehknopf, der am hinteren Teil des Teleskops liegt und die Drehung auf den Hauptspiegel überträgt. Bei diesem System bewegt sich nicht die Kamera in die Fokusebene, sondern umgekehrt. Der Vorteil daran ist der sehr lange Fokusbereich hinter dem Teleskop, der ein großes Spektrum an Zubehör (Brennweitenreduzierer, Binokularansätze, Zenitspiegel usw.) ermöglicht. Bei diesen Teleskopen wird die Bewegung des Hauptspiegels durch den konvexen Sekundärspiegel um einen Faktor von meistens 5 verstärkt, wodurch sich die Fokusebene 25-mal (5 zum Quadrat) mehr verschieben lässt, als der Hauptspiegel bewegt werden kann. Eine Bewegung des Hauptspiegels von 1 mm führt daher beispielsweise zur Verschiebung der Fokusebene um 25 mm. Allerdings hat dieses System auch seine Nachteile, vor allem in Form von seitlichen Verkippungen. Mechanisches Spiel im Fokussystem kann zu einer seitlichen Verkippung des Bildes in der Fokusebene führen, wenn die Drehrichtung des Fokusrades umgekehrt wird. Diese Verkippung kann von einem Teleskop zum anderen ziemlich abweichen und mehrere Bogenminuten betragen, sodass es schwierig wird, damit einen Planeten auf dem kleinen Sensor einer Videokamera zu zentrieren. In solchen Situationen bieten sich zwei Lösungen an: Entweder verwendet man einen zusätzlichen Fokussierer, wie man ihn bei Refraktoren und Newton-Teleskopen hat, oder man beendet den Fokussiervorgang immer unter Beibehaltung der Drehrichtung des Fokusrades (im oder gegen den Uhrzeigersinn). Der Mechanismus zur Positionierung des Hauptspiegels kann mitunter sehr empfindlich reagieren (siehe Textbox »Berechnung des Fokustoleranz-Intervals« auf der Seite 80), sodass ein zusätzlicher Fokussierer (Crayford-Fokussierer, manuell oder motorgesteuert) die Fokussierung einfacher und zuverlässiger machen kann.



Schematische Darstellung eines Schmidt-Cassegrain-Teleskops. Zum Fokussieren wird der Hauptspiegel bewegt. Das Öffnungsverhältnis dieses Spiegels beträgt 2 und der konvex geformte Sekundärspiegel verstärkt ihn um den Faktor 5 (wie es auch eine Fünffach-Barlowlinse täte), sodass daraus schließlich ein Öffnungsverhältnis von insgesamt 10 resultiert.

Tipps und Tricks für gutes Fokussieren

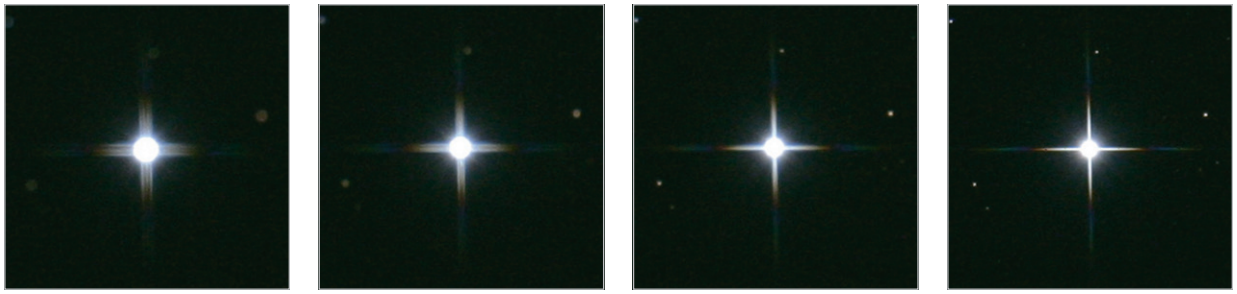
Die Fokussiermethoden unterscheiden sich je nach Kameratyp. Bei einer Videokamera sieht man auf dem Computermonitor ein fortlaufendes Bild, sodass es am besten ist, die Schärfe anhand dieses Bildes zu beurteilen, so wie man es bei der visuellen Beobachtung auch täte. Bei einer DSLR ist die Verwendung des Suchers zum Fokussieren zwar naheliegend, doch zeigt die Erfahrung, dass die Genauigkeit dabei sogar bei hellen Objekten wie dem Mond



Ein zusätzliches Fokussystem mit Zahnstangenantrieb für ein Schmidt-Cassegrain- oder Maksutov-Cassegrain-Teleskop kein den eingebauten Fokus ergänzen und ist einfach zu justieren.



Die Entfernungsskala an einem Objektiv ist meist nicht präzise genug für gute Fokussierung.



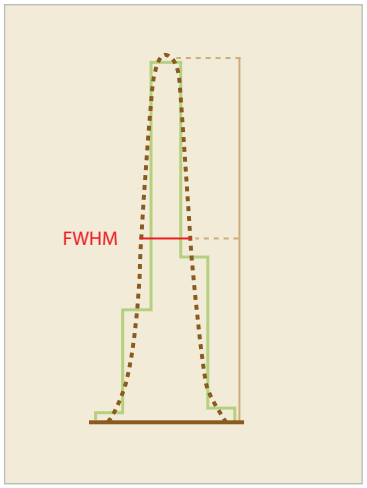
Zwei rechtwinklig angeordnete dünne Fäden (Fadenkreuz) produzieren um einen hellen Stern ein Beugungskreuz; die Strahlen des Beugungskreuzes werden durch die zunehmend bessere Fokussierung dünner (von links nach rechts). Eine Variante dieser Methode ist die Bathinov-Maske, bei der die Beugung durch ein Streifenmuster erzeugt wird.

oder der Sonne oft zu wünschen übrig lässt, solange man keinen Winkelsucher mit 2- oder 2,5-facher Vergrößerung verwendet. Mit dieser Methode bei Deep-Sky-Zielen zu arbeiten, ist natürlich unmöglich, da sie durch den Sucher einer DSLR nicht einmal zu sehen sind, weil er viel dunkler ist als ein Okular. Dabei muss man auch noch berücksichtigen, dass das Blicken durch den Sucher einer DSLR, die an einem Refraktor oder einem Schmidt-Cassegrain-Teleskop angebracht ist, zu ziemlichen Verrenkungen und ungemütlichen Positionen führen kann.

Fokussieren in der Live-View-Ansicht

Glücklicherweise haben alle aktuellen DSLR-Modelle einen Live-View-Modus, der das vom Sensor erfasste Bild ständig auf dem Display oder einem Computer angezeigt, der über die Aufnahmesoftware des Herstellers mit der Kamera verbunden ist. Die interessanteste Eigenschaft dieses Modus ist die Möglichkeit, auf einen Bildbereich mit einer 5- oder 10-fachen Vergrößerung zu schauen, sodass man zum Beispiel auf einen Mondkrater oder einen Stern sehr exakt fokussieren kann.

Verwendet man eine DSLR mit einem Autofokusobjektiv, ist das Live-View-System viel zuverlässiger als der Autofokus. Selbst wenn der Autofokus durch ein Piepen das Fokussieren auf einen Mond oder hellen Stern bestätigt, heißt das noch nicht, dass das Bild scharf wird, da diese Systeme nicht für solch kleine Ziele geschaffen sind.



Das Bild eines Sterns erstreckt sich normalerweise über mehrere Fotodioden (durchgezogene grüne Linie). Die Helligkeitsverteilung lässt sich als Glockenkurve unterschiedlicher Breite darstellen (gepunktete Linie), dessen Breite bei halbmaximaler Höhe (FWHM) von der Aufnahmesoftware errechnet wird.

Fokussierung auf einen Stern

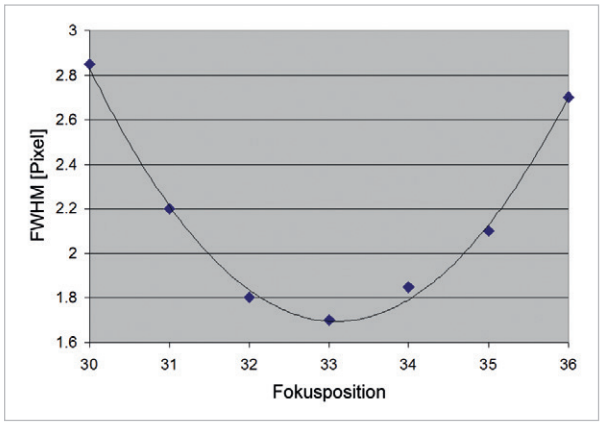
Die Sterne sind so weit entfernt, dass deren scheinbare Größen bestenfalls im Bereich von Tausendsteln einer Bogensekunde liegen. Deshalb kann man sie als Punktquellen unendlich kleiner Größe betrachten, sodass sie ein praktisches Ziel zum Fokussieren darstellen. Die beste Fokussierung ist gefunden, wenn ihre Größe in der Fokusebene am geringsten ist.

Eine Methode des Fokussierens besteht aus zwei Drähten oder Schnüren, die rechtwinklig zueinander vorne am Teleskop angebracht werden wie eine Fangspiegelspinne. Wird das Teleskop nun auf einen hellen Stern gerichtet, produzieren diese Schnüre bei mehreren Sekunden Belichtungszeit Beugungskreuze über Sternen in deren Mitte. Je besser die Fokussierung, desto länger, heller und dünner sind diese Beugungskreuze. Angelschnüre funktionieren dafür ganz gut, jedoch muss deren Dicke sorgsam gewählt werden.

Eine weitere Methode besteht darin, eine Maske zu verwenden, in die diametral gegenüberliegend zwei Löcher gebohrt sind und die vor dem Teleskop angebracht wird. Ist die Fokussierung noch nicht gut, produzieren diese beiden Löcher von ein und demselben Stern zwei unterschiedliche Bilder. Mit zunehmend besserer Fokussierung nähern sich die beiden Bilder an und verschmelzen schließlich. Man nennt diese Vorrichtung manchmal auch *Hartmann-Maske,* was technisch nicht ganz korrekt ist, weil eine echte Hartmann-Maske aus sehr vielen Löchern besteht und für optische Qualitätsmessungen konstruiert wurde. Der Erfahrung nach ist diese Methode von ihrer Genauigkeit her fragwürdig und auf jeden Fall schlechter als die mit den Schnüren.

Paradoxerweise ist die CCD-Kamera die vermutlich am einfachsten auf einen Stern zu fokussierende Kamera, da sie eine Fähigkeit besitzt, die die DSLR nicht hat: die Fenster-Funktion (Windowing). Die Aufnahmesoftware der CCD-Kamera kann fortlaufend den Bildinhalt eines kleinen Fensters herunterladen, das auf einen Stern zentriert ist. Dieses Bild kann aufgrund seiner kleinen Größe immer wieder schnell aktualisiert und in Echtzeit von der Software ausgewertet werden. Die einfachste Form der Analyse besteht aus der Messung der Intensität des hellsten Pixels, wobei das Ziel darin besteht, durch die beste Fokussierung den höchsten Wert zu erreichen. Allerdings ist diese Technik gegenüber atmosphärischen Turbulenzen zu anfällig. Deshalb verwendet man die zuverlässigere und robustere Methode, bei der man den Helligkeitspeak eines Sterns auswertet und dessen Breite

bei halbmaximaler Höhe bestimmt (full width at half maximum, FWHM). Dabei wird der minimale Wert angestrebt. Die Bestimmung des FWHM ist die vermutlich präziseste Fokusmethode und unabhängig von der Helligkeit des Sterns, vorausgesetzt, dass der Helligkeitspeak nicht gesättigt ist.



Typischer Verlauf des FWHM beim Durchschreiten der optimalen Fokusposition in Form einer Parabel, deren tiefster Punkt vom Fokustoleranz-Intervall abhängt (in diesem Beispiel zwischen den Positionen 32 und 34).

Messung der Fokusposition

Egal welche Kamera und Fokusmethode man verwendet (Beugungskreuze, FWHM, Live-View), ist es hilfreich, ein System zu haben, das die Position desjenigen mechanischen Elements misst, das bei der Fokussierung unterschiedliche Positionen einnimmt. Dadurch kann man testen, ohne befürchten zu müssen, dass man die beste Position wieder verliert. Darüber hinaus kann man die Fokussierung während der Nacht noch nachregulieren, um thermisch bedingte Verschiebungen des Teleskops zu kompensieren und sich sicher zu sein, falls nötig, zur Ausgangsposition zurückkehren zu können. Dafür verwende ich seit vielen Jahren ein kleines, preisgünstiges Hilfsmittel, ohne das ich nicht mehr arbeiten könnte: eine Mikrometerschraube. Sie besteht aus einem runden Ziffernblatt mit einem kleinen Zeiger, der über einen Zahnstangenantrieb von einem Messtaster bewegt wird. Man bringt sie auf einem unbeweglichen Teil des Instruments an, sodass der Messtaster gegen ein Teil drückt, dass beim Fokussieren bewegt wird (umgekehrt würde es im Prinzip auch funktionieren). Dazu braucht man eventuell noch einen selbst gebauten Halter aus Metall oder Holz bzw. einen Gelenkarm, um die Mikrometerschraube zu befestigen. Sie kann auf 0,01 mm oder sogar 1 µm genau anzeigen, was für die meisten Teleskope ausreicht.

Während es bei einem Newton-Teleskop ganz einfach ist, eine Mikrometerschraube anzubringen, da dessen

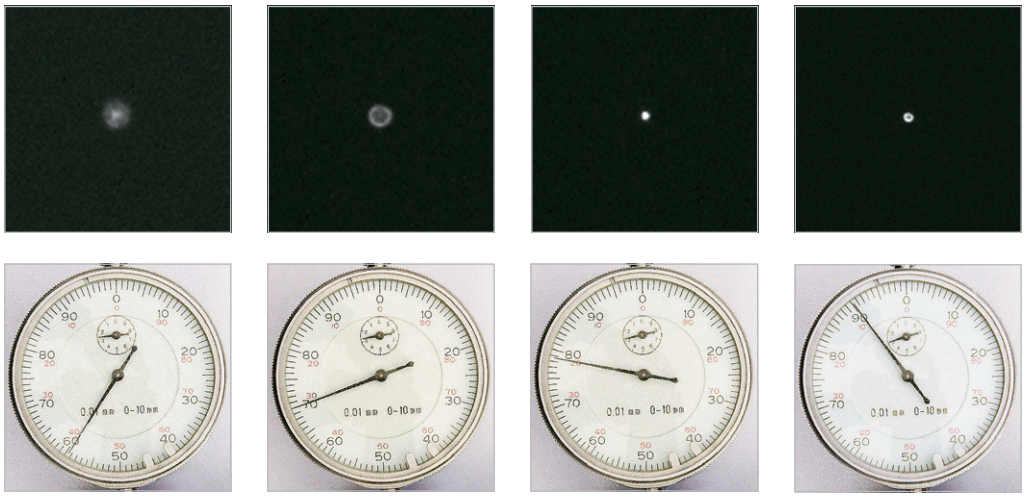


Eine Mikrometerschraube ist günstig (20 bis 100 €) und eine unverzichtbare Hilfe beim Fokussieren.





Links eine auf einem Refraktor installierte Mikrometerschraube. Ein kleines Stück Aluminium unter dem Sucherfernrohr stützt eine Achse ab, die die Mikrometerschraube über ein kleines Kugelgelenk hält. Der Messtaster drückt auf das bewegliche Teil des Okularhalters. Rechts ist die Mikrometerschraube auf einem Newton-Teleskop mit einem kleinen Gelenkarm befestigt, wobei der Messtaster gegen die Kamera drückt.



Mehrere Bilder desselben Sterns, die bei unterschiedlichen Positionen des Fokussierers aufgenommen wurden. Die Anzeigen der Mikrometerschraube ermöglichen es, die beste Position sofort wiederzufinden – in diesem Fall war es die dritte Position der Serie.



Ein Klemmring auf der Steckhülse eines Okulars

Fokussystem leicht zugängliche bewegliche Teile besitzt, ist das an einem Schmidt-Cassegrain- oder Maksutov-Cassegrain-Teleskop nicht direkt möglich. Es ist allerdings Zubehör erhältlich, das die Möglichkeit zur Messung und analogen oder digitalen Anzeige bei diesen Typen bietet und dieselbe Funktion wie eine Mikrometerschraube erfüllt.

Das parfokale Okular

Ein weiteres nützliches Hilfsmittel, das häufig bei Videokameras benutzt wird, ist ein Okular, das in eine parfokale Position gebracht wird. Sobald der Fokus durch das Okular nach Sicht gut ist, stimmt sie auch durch die Kamera. Dabei wird ein Parfokalring am Okular angebracht und so auf dem Fokussierer positioniert, dass dessen Fokusebene der des Teleskops entspricht. Der Astrofotograf muss diesen Ring dabei wie folgt einstellen:

- zunächst die Kamera präzise fokussieren;
- das Okular aufsetzen und durch Hin- und Herschieben im Fokussierer die beste Fokusposition finden;
- den Klemmring auf die Steckhülse des Okulars gegen den Fokussierer einstellen;
- die Einstellung überprüfen, indem man visuell durch das Okular fokussiert und sich vergewissert, dass das Bild in der Kamera gut ist.

Das Okular sollte eine ausreichende Vergrößerung liefern, damit die Fokussierung gut beurteilt werden kann. Dazu empfiehlt sich ein Okular mit einem Fadenkreuz, da das Auge dadurch gezwungen wird, auf eine feste Position (das Fadenkreuz) zu fokussieren. Die Toleranz dieser Einstellung hängt vom Öffnungsverhältnis des Okulars ab; sie beträgt bei einem Öffnungsverhältnis von 30 einen ganzen Millimeter und geht bei 5 auf ein paar Hundertstel Millimeter herunter. Natürlich hängt die Einstellung des Parfokalrings von dem jeweiligen mechanischen Aufbau der Kamera ab, wobei man noch die mögliche Anwesenheit eines Filters berücksichtigen muss (siehe Textbox auf Seite 85).

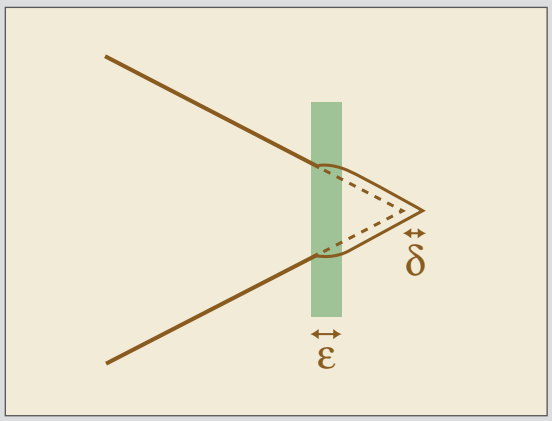
Warum ist es notwendig, die Fokussierung während der Nacht zu überprüfen? Dies liegt darin begründet, dass die Temperatur im Verlauf der Nachtstunden häufig abnimmt. Da der Tubus eines Teleskops meistens aus Aluminium gefertigt ist, zieht er sich zusammen, wodurch sich die Fokussierung ändert (Kohlefasern ziehen sich nicht so stark zusammen, brauchen aber dafür länger, um sich an die Temperatur anzupassen). Effekte durch wärmebedingte Ausdehnung sind vor allem bei bestimmten Instrumenten wie etwa den Cassegrain-Teleskopen zu beobachten, bei denen eine kleine Lageverschiebung des Sekundärspiegels zu einer starken Änderung in der Position der Fokusebene führt, wie wir schon erfahren haben. Wenn man zu Beginn der Beobachtungsnacht fokussiert, wird meist die Qualität mehrere Stunden später deutlich schlechter werden. Bei manchen Teleskopen können die temperaturbedingten Änderungen schon nach weniger als einer halben Stunde zu Unschärfen führen. Das motorgesteuerte Fokussystem RoboFocus besitzt einen Temperaturfühler, der, nachdem er das Temperaturverhalten des Teleskops erfasst hat, automatisch bei Temperaturänderungen die Fokusposition anpasst.

VERÄNDERT EIN FILTER DIE FOKUSPOSITION?

Ein Filter, der vor einem Teleskop oder einem Objektiv verwendet wird (beispielsweise ein Sonnenfilter), hat keinen Einfluss auf die Fokussierung, da die von einem Punkt am Himmel kommenden Lichtstrahlen parallel verlaufen, während sie durch den Filter gehen. Wenn der Filter dagegen zwischen Teleskop und Kamera platziert wird, also in die zusammenlaufenden Lichtstrahlen, verlagert er die Fokusebene nach hinten und dadurch auch die Fokussierung. Ist Epsilon die Dicke des Filters und n der Brechungsindex des verwendeten Glases, sieht die Verschiebung folgendermaßen aus:

$$\delta = \varepsilon \frac{n-1}{n}$$

Da die meisten Filter mit einem Brechungsindex von etwa 1,5 hergestellt werden, zeigt die Formel, dass ein Filter zwischen Teleskop und Kamera die Fokusebene um ein Drittel seiner Dicke nach hinten verlagert; bei einem Filter von 3 mm Dicke beispielsweise verlagert sich die Fokusebene also etwa 1 mm nach hinten.



Ein Filter zwischen Teleskop und Kamera verschiebt die Fokusebene nach hinten.