

**Justieranleitung
für
anastigmatische Schiefspiegler**

von Guntram Lampert

Inhalt:

- 1 Vorwort

- 2.1 Grundlegendes zum anastigmatischen Schiefspiegler
- 2.2 Eigenschaften des fertig justierten Schiefspieglers
- 2.3 Hilfsgeräte für die Justierung

- 3 Der Justiervorgang
 - 3.1 Die Vorjustierung
 - 3.2 Die Feinjustierung

- 4 Der Justiervorgang in Kurzform

- 5 Konstruktionsdaten einiger anastigmatischer Schiefspiegler von 80 mm bis 150 mm Öffnung

- 6 Literatur

- 7 Danksagung

Version: 3. Überarbeitung, April 2020

Rechtlicher Hinweis.

Diese Justieranleitung ist für den Gebrauch durch Privatpersonen gedacht. Diese Justieranleitung ist kostenfrei. Sie darf ohne Beschränkung kopiert und weiterverbreitet werden.

Der Verfasser übernimmt keine Haftung für Schäden, die durch die Anwendung dieser Anleitung entstehen mögen.

1. Vorwort

Seit den 1950er Jahren hat die einfachste Form des Schiefspieglers besonders im deutschsprachigen Raum, in Belgien, den Niederlanden und den USA, viele Freunde gefunden. Der anastigmatische Schiefspiegler ist nach wie vor das am weitesten verbreitete und genutzte obstruktionsfreie Spiegelteleskop.

Hunderte dieser Instrumente wurden bereits gebaut. Und immer wieder kommen neue dazu, darunter auch Geräte, die inklusive der Optik, von Amateuren selbst hergestellt wurden.

Ganz gleichgültig, ob man stolzer Besitzer eines neuen Instrumentes ist, oder ein Gerät erworben hat, das schon die Patina vergangener Jahrzehnte trägt: Jeder Schiefspiegler kann nur dann zeigen, was in ihm steckt, wenn er präzise justiert wurde.

Doch genau bei der Justierung tritt immer wieder ein Problem auf: Es gibt keine umfassende Anleitung, die leicht verfügbar ist.

Diese Lücke versucht die vorliegende Anleitung zu schließen.

Während zahllose Anleitungen zum Justieren eines Newton-Teleskops verfasst wurden, und die Justierung der Newton-Teleskope in Astronomie-Foren ein Dauerthema ist, steht so mancher Besitzer eines Schiefspieglers vor der Aufgabe, zunächst eine brauchbare Anleitung aufzutreiben.

Die sehr guten Anleitungen von Anton Kutter in [1] und Michael Brunn in [2] werden vielen Besitzern eines anastigmatischen Schiefspieglers nicht zur Verfügung stehen, weil sie wenig bekannt und nicht leicht verfügbar sind. Die Anleitung von Herrn Allmacher in [3] ist nicht mehr im Buchhandel erhältlich.

Es gibt verschiedene Justieranleitungen, die sehr oberflächlich verfasst, ungenau, oder schlicht und einfach falsch sind.

Es ist ein Ziel dieser Schrift, dem oft gehörten Vorurteil, ein Schiefspiegler sei nur von genialen Optikexperten, und nur mit Hilfe von teurer Ausrüstung zu justieren, entgegenzutreten.

Diese Justieranleitung kommt ohne aufwendige Hilfsmittel wie Laser oder Cheshire - Okular aus, geht aber auf die Verwendung eines Justierlasers, wie ihn viele Sternfreunde mittlerweile besitzen, ein.

Ein korrekt gebauter anastigmatischer Schiefspiegler lässt sich rasch und präzise justieren. Es ist jedoch unumgänglich, sich mit den Eigenheiten dieses Teleskoptyps vertraut zu machen. Schiefspiegler unterscheiden sich eben grundsätzlich von allen anderen Teleskoptypen.

Wer diese Anleitung zum ersten Mal durchliest, mag von den geschilderten Prozeduren und unbekanntem Begriffen abgeschreckt werden. Auch der Umfang der Anleitung mag Besorgnis erregen. Doch sollte man im Auge behalten, dass viele der Einstellungen mit dem Zusammenbau und der erstmaligen Inbetriebnahme eines Schiefspieglers zusammenhängen. Manche Gesichtspunkte wurden wesentlich ausführlicher dargelegt, als unbedingt notwendig. Dies geschah immer mit dem Ziel, ein tieferes Verständnis für die Eigenheiten dieses Teleskoptyps zu vermitteln. Ich bin der Überzeugung, dass es nicht möglich ist, ein astronomisches Instrument, gleich welcher Bauart, wirklich zu beherrschen, wenn dessen grundlegende Arbeitsweise nicht verstanden wird.

Wenn die ersten Einstellungen einmal vorgenommen wurden, sind die späteren kleinen Korrekturen, die in den allermeisten Fällen auf die Betätigung der drei Justierschrauben am Hauptspiegel hinauslaufen, schnell erledigt.

Für alle, die bereits ein wenig Erfahrung im Justieren von anastigmatischen Schiefspiegeln gesammelt haben, und die zugrundeliegenden Konzepte kennen, findet sich im Abschnitt 5 eine knappe Zusammenfassung in Form einer „Schritt für Schritt“-Anleitung.

Ich freue mich über konstruktive Kritik und Anregungen, die zur weiteren Verbesserung dieser Anleitung beitragen.

Guntram Lampert

Juni 2015

guntram.largefile@gmx.at



Der Verfasser vor seinem 110mm Schiefspiegler. Das Gerät verfügt über einen Planspiegel, der das Bild seitlich aus dem Gehäuse lenkt und für eine bequeme Beobachtungsposition sorgt. Die geschlossene Bauweise ermöglicht Sonnenbeobachtung mit einer Filterfolie.

2.1: Grundlegendes zum anastigmatischen Schiefspiegler

Dieser Instrumententyp wurde in seiner heutigen Form vom deutschen Amateurastronomen Ing. Anton Kutter entwickelt. Die am weitesten verbreitete Bauform hat 110mm Öffnung bei einem Öffnungsverhältnis von ca. $f/25$.

Es sind verschiedentlich Instrumente mit abweichenden Öffnungen und Öffnungsverhältnissen entworfen und gebaut worden. Diese Entwürfe unterscheiden sich im Grunde meist nur wenig voneinander. Diese Varianten wurden mit dem Ziel entwickelt, entweder die Bildgüte etwas zu verbessern, oder durch Verwendung gegengleicher Krümmungsradien von Haupt- und Sekundärspiegel einen Entwurf zu schaffen, der ohne die Anfertigung eines eigenen Prüfglases für den Sekundärspiegel auskommt, und dadurch in der Herstellung weniger arbeitsaufwendig ist. Im Abschnitt 6 sind einige empfehlenswerte Entwürfe anastigmatischer Schiefspiegler aufgelistet. Die Justierung verläuft bei allen Entwurfsvarianten grundsätzlich gleich.

Das optische Prinzip des Schiefspieglers besteht darin, dass der Sekundärspiegel aus dem einfallenden Strahlenbündel herausgerückt wird. Dadurch wird einerseits die erwünschte Obstruktionsfreiheit erreicht. Andererseits entstehen durch diese Maßnahme zwei schwer wiegende Abbildungsfehler. Der eine, Astigmatismus, wird für die Bildmitte durch die ins Instrument eingebauten Spiegelneigungen völlig aufgehoben. Der andere Abbildungsfehler, Koma, ist nicht streng korrigiert – das ist beim anastigmatischen Schiefspiegler gar nicht möglich -, sondern nur so weit verkleinert, dass der verbleibende Rest eine zufriedenstellende, aber eben nicht perfekte Bildqualität ermöglicht. Dieser Restfehler bedeutet aber, dass der anastigmatische Schiefspiegler kaum Reserven bezüglich der Bildqualität hat. Schon ein geringer Justierfehler, oder geringfügige Abweichungen der Spiegel von der vorgeschriebenen Kugelform, wirken sich nachteilig auf das Bild aus.

Die Bezeichnung „anastigmatischer Schiefspiegler“ bedeutet, dass der Astigmatismus nur in der Bildmitte komplett korrigiert ist. Im restlichen Bildfeld treten Koma und Astigmatismus gemeinsam in Erscheinung.

Alle Schiefspiegler unterscheiden sich von den gewohnten Bauformen astronomischer Teleskope durch ihre besondere Symmetrie.

Was ist darunter zu verstehen?

Die üblichen Refraktoren, und die Spiegelteleskope nach Newton und Cassegrain, sind rotationssymmetrisch zur optischen Achse. Die Mittelpunkte ihrer optischen Elemente und der Fokussiereinheit sind entlang dieser Achse in einer geraden Linie, der optischen Achse, angeordnet. Alle Linsen und Spiegel sind symmetrisch bezüglich dieser Achse.

Bei den Schiefspiegler wurde, um den Sekundärspiegel aus dem einfallenden Lichtbündel herauszubringen, die Anordnung der optischen Elemente entlang der optischen Achse aufgegeben. Der Hauptspiegel wird geneigt, sodass der Sekundärspiegel nicht mehr im einfallenden Lichtbündel liegt. Der Sekundärspiegel wird zur Korrektur des Astigmatismus ebenfalls geneigt. Die Spiegel, die zwischen ihnen laufenden Lichtstrahlen, und der Brennpunkt, sind durch diese Verkipnungen nun in einer Ebene angeordnet. Deshalb wurde aus der Symmetrie-Achse eine **Symmetrie-Ebene**.

Es ist dies die Ebene, die das ins Instrument einfallende Strahlenbündel, die Scheitel des

Hauptspiegels und des Sekundärspiegels, und den Brennpunkt beinhaltet. In den meisten Entwurfszeichnungen von Schiefspiegler ist diese Ebene die Zeichenebene. Diese Ebene wird *Tangentialebene* (oder gleichbedeutend, besonders in der älteren Literatur, auch *Meridionalebene*) genannt.

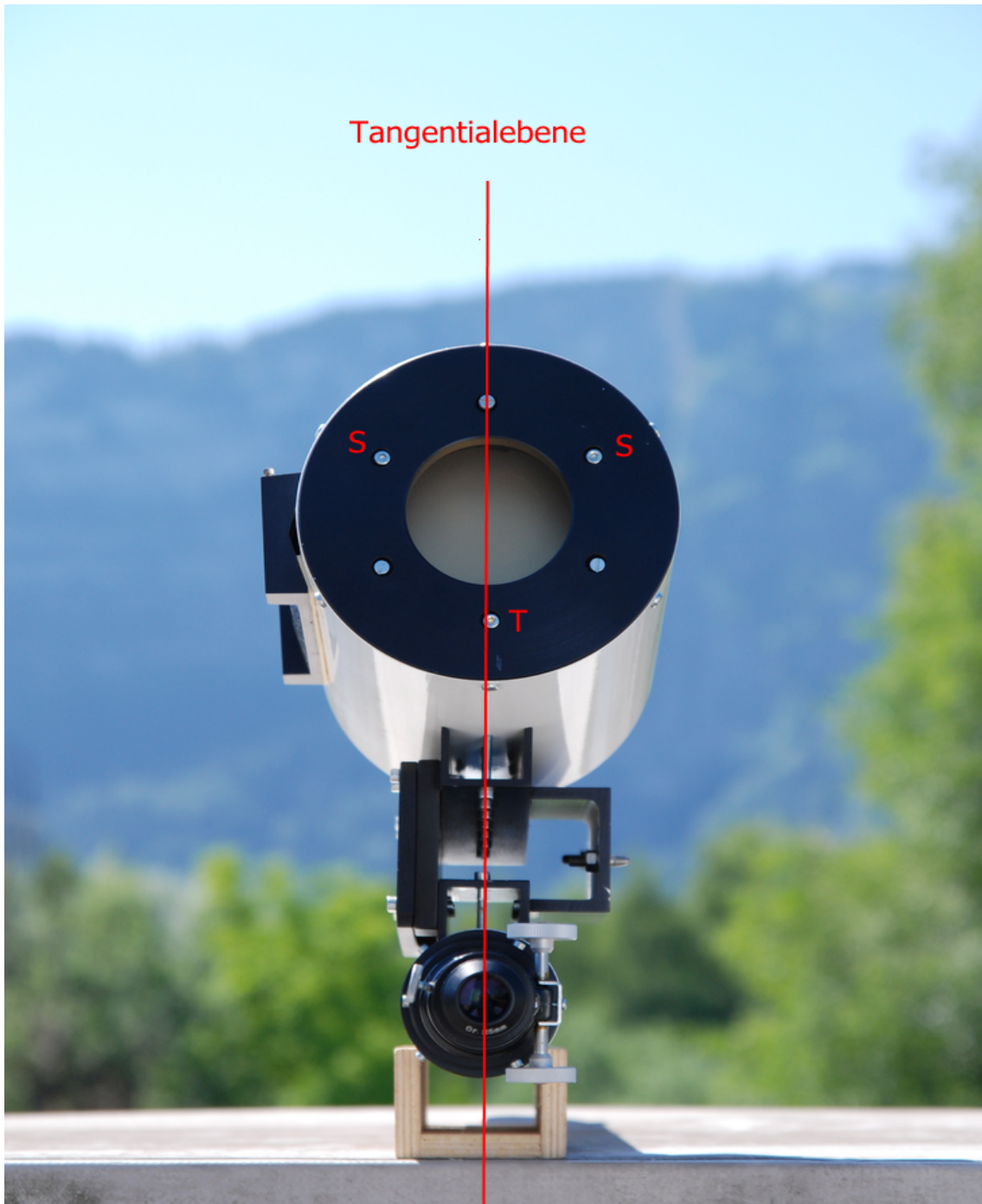


Abb. 1. Ein zu Demonstrationszwecken vertikal aufgestellter 110 mm Schiefspiegler der Firma AOKswiss. Die rote Linie bezeichnet die Tangentialebene, die die Symmetrie-Ebene der Schiefspiegler darstellt. Die Justierung wird wesentlich vereinfacht, wenn eine Justierschraube des Hauptspiegels in der Tangentialebene liegt. Dies ist in diesem Bild die mit T bezeichnete Inbusschraube. Es ist die am meisten verwendete Justierschraube.

Diese zweiseitige (bilaterale) Symmetrie teilt das Instrument, und damit auch das Bildfeld, in zwei spiegelbildliche Hälften. Diese Symmetrie setzt sich bis in das Bildfeld und die Verteilung und Form der Bildfehler fort.

Beim Justieren müssen wir neben den korrekten Neigungswinkeln diese Symmetrie am realen Instrument herstellen.

Nach den Erfahrungen des Verfassers sind viele der Schwierigkeiten, mit denen die Benutzer von Schiefspiegeln beim Justieren kämpfen, auf die Nichtbeachtung ihrer Symmetrie-Eigenschaften zurückzuführen. Häufig sind die Justierschrauben aufs Geratewohl angeordnet, sodass keine Justierschraube exakt in der Tangentialebene liegt. Das macht die Justierung zwar nicht unmöglich, erschwert sie aber sehr. Bei einem korrekt gebauten Schiefspiegler liegt bei jeder Spielgelfassung eine Justierschraube in der Tangentialebene.



Abb. 2. Die zweiseitige Symmetrie des Schiefspieglers zeigt sich auch im Bildfeld. Die Spotdiagramme liegen spiegelbildlich zur Tangentialebene.



Abb. 3. Diese Abbildung ist eine Fotomontage. Sie zeigt den Okularauszug eines 130mm Schiefspieglers. Wir blicken direkt entlang der optischen Achse in das Instrument. Die Tangentialebene ist rot eingezeichnet.

Die Tangentialebene durchschneidet auch das Bild, das das Okular liefert. Deshalb wurde das Bild eines leicht unscharf eingestellten, mit Astigmatismus behafteten Sterns in den Okularauszug einkopiert. Der Justierer muss sich immer über die Lage der Tangentialebene in Bezug auf das Bild im Okular im klaren sein. Nur dann ist eine sichere und schnelle Justierung möglich.

Der Vollständigkeit halber sei noch auf zwei weitere Eigenarten des Schiefspieglers eingegangen. Es sind dies die Bildfeldneigung, und die anamorphe Verzeichnung.

Die Bildfeldneigung ist eine durch den schiefen Strahlengang bedingte Schrägstellung des Bildfeldes in Bezug auf die optische Achse. Diese Neigung beträgt beim anastigmatischen Schiefspiegler je nach Entwurf zwischen $2,4^\circ$ und $4,3^\circ$. Infolge der großen Schärfentiefe und der im Vergleich zu anderen Formen des Schiefspieglers recht kleinen Betrages der Neigung ist die Bildfeldneigung in der Praxis vernachlässigbar und eher von theoretischem Interesse.

Die anamorphe Verzeichnung bewirkt einen unterschiedlichen Abbildungsmaßstab in Breite und Höhe. Der Effekt ist klein (je nach Entwurf 0,3% bis 0,8%) und ohne praktische Folgen. Die Bildschärfe wird davon nicht beeinflusst. Viele Okulare verzeichnen zehn Mal stärker.

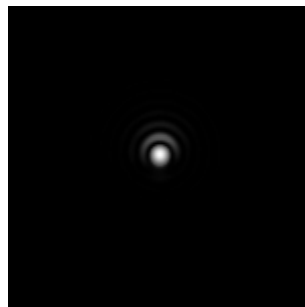
2.2 Eigenschaften des fertig justierten Schiefspieglers

Wie sieht ein Stern in einem korrekt justierten Schiefspiegler aus?

Bei ruhiger Luft ist das Airy-Scheibchen zu sehen. Je geringer die Restkoma ausfällt, und je genauer das Instrument justiert ist, desto eher wird der erste Beugungsring geschlossen und von mehr oder weniger gleichförmiger Helligkeit erscheinen. Meist wird der erste Beugungsring als bogenförmiges Fragment erscheinen. Die verschiedenen Entwürfe des anastigmatischen Schiefspieglers unterscheiden sich in ihrer Restkoma. Es sei hier auf den Abschnitt 6 verwiesen, in dem die Restkoma einiger anastigmatischer Schiefspiegler als Strehlwert angegeben ist.

Je mehr Restkoma vorhanden ist, umso mehr Licht wird aus dem zentralen Beugungsscheibchen in den ersten Beugungsring wandern. In der Umgebung des hellsten Bereiches des ersten Beugungsringes wird eventuell auch der zweite Beugungsring so hell, dass er als kurzes Ringfragment sichtbar wird.

Der dritte Beugungsring ist, falls er überhaupt sichtbar ist, extrem schwach.

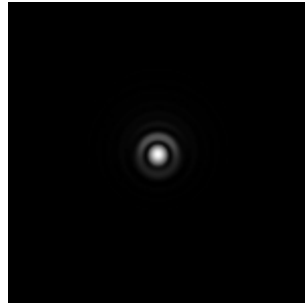


Scharf eingestellter Stern in einem korrekt justierten anastigmatischen Schiefspiegler. Die restliche Koma ist als bogenförmiges Ringfragment oberhalb des Beugungsscheibchens zu sehen. Darüber das sehr schwache Fragment des zweiten Beugungsringes.

Bei stärkerer Luftturbulenz, wenn die Beugungsringe nicht mehr klar erkennbar sind, macht sich die Restkoma als einseitige Aufhellung im Seeingscheibchen bemerkbar. Zwar erfolgen die Lichtausbrüche durch das Seeing in alle Richtungen, doch ist die Richtung der Restkoma bevorzugt: Das Seeingscheibchen ist dort im zeitlichen Mittel heller.

Wenn sphärische Aberration vorliegt, was bei nicht genau kugelförmig ausgeführten Spiegeln vorkommt, so ist beim scharf eingestellten Stern ebenfalls der erste Beugungsring heller als normal.

Dies kann die Restkoma überdecken und dadurch schwerer erkennbar machen. Der Sternetest deckt durch den Vergleich der innerfokalen mit der ausserfokalen Beugungsfigur jedoch unweigerlich auf, ob nennenswerte sphärische Aberration vorliegt. Sphärische Aberration kann nicht ausjustiert werden. Sie kann nur durch sachgerechte Neupolitur der fehlerhaften Oberfläche korrigiert werden.

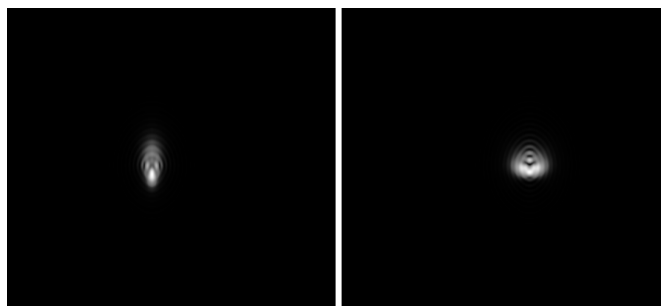


Ein scharf eingestellter Stern in einem anastigmatischen Schiefspiegler mit sphärischer Aberration im Ausmaß von $\frac{1}{4}$ Wellenlänge. Der erste Beugungsring erscheint weniger asymmetrisch.

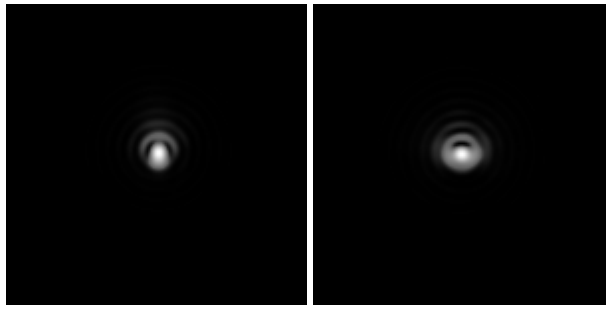
Ein Fehler darf jedoch im fertig justierten Schiefspiegler in der Bildmitte nicht auftreten: Der Astigmatismus. Astigmatismus zeigt sich als elliptische Beugungsfigur, die sich beim Durchfahren des Fokus im Okular um 90° dreht. Schon ein recht kleiner, unbedeutend scheinender Betrag an Astigmatismus schädigt das Bild deutlich. Astigmatismus ist nicht tolerierbar, und **muss** ausjustiert werden. Zum Glück ist der Sternetest sehr empfindlich für den Astigmatismus. So können auch kleinste Reste an Astigmatismus erkannt und ausjustiert werden.

Astigmatismus kann auch hervorgerufen werden, wenn die Spiegel durch unsachgemäße Montage in ihren Spiegelzellen verspannt werden. Falls sich Astigmatismus in einem Schiefspiegler partout nicht ausjustieren lassen will, sind die Spiegel auf ordnungsgemäße, spannungsfreie Montage zu prüfen.

Eine weitere Ursache für Astigmatismus ist das Auge des Beobachters. Manche Menschen haben starken Astigmatismus wegen Hornhautverkrümmungen. Sie sollten beim Beobachten, besonders aber beim Justieren, eine den Astigmatismus ihrer Augen korrigierende Brille tragen.



Deutlicher Astigmatismus, wie er sich im Schiefspiegler innerhalb oder außerhalb des Brennpunktes zeigt.



Kleiner Rest an Astigmatismus, ganz knapp innerhalb und außerhalb des Brennpunktes.

Mit fortschreitender Übung im Justieren fällt das Erkennen von kleinen Beträgen an Astigmatismus trotz der Luftunruhe immer leichter.

Die Bildfeldneigung ist normalerweise visuell nicht sichtbar, könnte jedoch bei den extremsten Weitwinkel - Okularen mit Bildwinkeln von 100° und mehr sichtbar werden, wenn das Auge des (älteren) Beobachters die Neigung des Bildfeldes nicht mehr durch Akkomodation ausgleichen kann. Die Bildfeldneigung dürfte aber nur merklich werden, wenn Entwürfe mit großer Bildfeldneigung (maximal etwa $4,3^\circ$) und Ultraweitwinkel - Okulare mit maximalem Feldblendendurchmesser (ca. 46mm) kombiniert werden. Es wären dann der obere und untere Bereich des äußersten tangentialen Bildfeldes ganz leicht unscharf. Diese Unschärfe wäre jedoch viel geringer, als zum Beispiel bei den jetzt so beliebten kleinen kurzbrennweitigen Apochromaten ohne Feldebnung.

Bei korrekter Auslegung des Durchmessers des Sekundärspiegels wird üblicherweise ein Bildfeld von etwa 25mm Durchmesser vollständig ausgeleuchtet. Der Helligkeitsabfall gegen den Bildfeldrand eines 2" Okulares ist ganz gering und erfolgt allmählich. Er ist visuell nicht wahrnehmbar, und fotografisch ohne jeden Belang.

Das Bildfeld ist im anastigmatischen Schiefspiegler so gleichmäßig korrigiert, dass sich die Bildqualität im Bereich von etwa zehn bis fünfzehn Millimeter Abstand von der Bildfeldmitte nur sehr wenig ändert. Die Fehler außerhalb dieses Bereiches sind mehr von theoretischem Interesse. Bei Beobachtungen mit einem 21 mm Ethos- Okular (Feldblendendurchmesser 36 mm, Vergrößerung 138x) konnte ich keine Verschlechterung der Abbildungseigenschaften zum Bildfeldrand hin feststellen.

Wenn das Bild zum Rand hin gleichmäßig unscharf wird, oder Farbfehler jeglicher Art sichtbar werden, ist dies ausschließlich auf Bildfehler der verwendeten Okulare zurückzuführen.

Insgesamt ergibt sich der Eindruck eines ebenen Bildfeldes, das bis an den Rand klar und hart abgebildete Sternscheibchen ohne Farbfehler zeigt. Vergleichsbeobachtungen mit exzellenten apochromatischen Refraktoren zeigen eine sehr ähnliche Bildwiedergabe. Man hat den Eindruck, mit einem Refraktor zu arbeiten.

2.3 Visierhilfen zur Vorjustierung:

Der Zweck der nachstehend beschriebenen Visierhilfen besteht darin, das Auge auf der optischen Achse zu halten, die durch die Mitte der Fokussiereinheit geht.

Im Folgenden ist der Bau von zwei Varianten dieser Visierhilfen beschrieben.

Visierhilfe aus einer Kleinbild- Filmdose:

Dieses einfache Hilfsmittel ermöglicht eine zügige Vorjustierung. Durch die zwei hintereinander liegenden, konzentrischen Löcher blickt das Auge genau entlang der Achse der Fokussiereinheit.



Diese alte Filmdose dient mir seit vielen Jahren als wichtigstes Hilfsmittel zur Justierung meiner Schiefspiegler.

In die Filmdose, die sehr genau in den Stutzen für 31,7 mm (1¼ Zoll) Okulare passt, werden zwei Löcher gebohrt:

Augenseitig ein Loch von vier Millimeter Durchmesser, fernrohrseitig eines von neun Millimeter Durchmesser. Die Grübchen an Deckel und Dose, die bei der Herstellung der Filmdosen entstehen, definieren sehr genau die Mitte der Teile. Sie sollten als Markierung zum Setzen der Bohrungen verwendet werden.

Visierhilfe aus einer Abflussrohr-Verlängerung:

Etwas genauer als mit der Filmdose lässt sich mit einem Zentriertubus arbeiten. Das Prinzip ist dasselbe wie bei der Filmdose.

Man besorgt sich in der Installationsabteilung eines Baumarktes um einige Euro eine Abflussverlängerung von 31,7 mm Durchmesser und etwa 20 cm Länge. Falls das Rohr im Okularauszug wackelt, werden einige Umdrehungen breites Klebeband um das Rohr gewickelt, bis ein satter Sitz erreicht ist. Dieses Rohr wird vorne und hinten mit Kappen aus festem Karton oder dünnem Sperrholz verschlossen, in die, genau zentrisch, augenseitig eine Bohrung von vier und fernrohrseitig ein Loch von zwölf Millimeter Öffnung gebohrt wurde.



Visierhilfe, aus einem Abflussrohr gebastelt. Das linke Bild zeigt das augenseitige Ende, das rechte Bild das fernrohrseitige Ende mit der größeren Bohrung. Der Pfeil markiert die Einstecktiefe in den Okularauszug.

Ein typischer Justierlaser:



Justierlaser. Am fernrohrseitigen Ende wurde ein Blech mit einer 1mm Bohrung angebracht, um nur den zentralen, genau mittig austretenden Teil des bei diesem Modell zu breiten Laserstrahles zu nutzen.

Ein Justierlaser ist angenehm, wenn die Ausrichtung der Fokussiereinheit auf den Sekundärspiegel geprüft werden soll. Er ist jedoch keineswegs unbedingt erforderlich, und meiner Erfahrung nach für die Justierung eines anastigmatischen Schiefspieglers nicht annähernd so nützlich, wie zum Beispiel für die Justierung eines Newton-Teleskops nach der Barlowed-Laser-Methode.

Ich kann die Anschaffung eines Justierlasers eigens für die Justierung eines anastigmatischen Schiefspieglers nicht empfehlen. Er lohnt sich einfach nicht.

Weiters ist zu bedenken, dass viele Justierlaser nicht präzise gefertigt sind. Der Laserstrahl tritt dann nicht konzentrisch und parallel zum Okularanschluss aus. Jeder Fehler, der dem Justierlaser selbst anhaftet, wird jedoch dem Teleskop aufjustiert!

Deshalb sollte nur ein Justierlaser verwendet werden, dessen Qualität zweifelsfrei sichergestellt ist. Das geringste Spiel, das der Laser im Okularauszug hat, führt dazu, dass der Laserpunkt am jeweiligen Ziel hin und her wandert. Man muss sich dieser schwer abzustellenden Fehlerquelle bewusst sein. Im Allgemeinen kann man trotz dieses Wackelns zufriedenstellend justieren. Durch Aufkleben von Tesafilm an drei um 120° versetzten Stellen am okularseitigen Ende des Lasers lässt sich das Wackeln oft auf ein akzeptables Maß reduzieren.

3. Der Justiervorgang:

Der Justiervorgang wird zweckmäßig in zwei Schritte aufgeteilt.

Im ersten Schritt, der Vorjustierung, werden die Bauelemente zueinander ausgerichtet und die wichtigsten Einstellungen vorgenommen. Bei der Vorjustierung geht es noch nicht um das Erreichen der maximalen Abbildungsqualität.

Die meisten Arbeiten, die bei der Vorjustierung auszuführen sind, müssen sehr selten, oft nur ein einziges Mal beim Zusammenbau des Gerätes oder im Zug einer Generalüberholung durchgeführt werden. Es ist generell empfehlenswert, die Vorjustierung im hellen Tageslicht durchzuführen.

Im zweiten Schritt, der Feinjustierung, erfolgt die genaue Einstellung der Neigung des Hauptspiegels, um die volle Leistungsfähigkeit des Instrumentes zu erhalten.

3.1 Die Vorjustierung

Bei der Vorjustierung wird

- Der Abstand von Hauptspiegel und Sekundärspiegel gemäß den Konstruktionsdaten eingestellt.
- Die Fokussiereinheit auf den Sekundärspiegel ausgerichtet.
- Der Sekundärspiegel auf den Hauptspiegel ausgerichtet.
- Der Hauptspiegel grob ausgerichtet.
- Die Lage des Brennpunktes eingestellt.

Es hat sich bewährt, die Vorjustierung in der oben angegebenen Reihenfolge durchzuführen.

Abstand von Haupt- und Sekundärspiegel einstellen:

Für die Lage des Brennpunktes ist der Abstand der beiden Spiegel von großer Bedeutung. Er sollte wenn möglich auf etwa zwei Millimeter genau eingehalten werden.

Am gefahrlosesten lässt sich dieser Abstand mit einem Stab aus Holz oder Metall überprüfen. Der Stab wird auf die Länge des Spiegelabstandes, den man der Literatur beziehungsweise den

Angaben des Herstellers entnimmt, zugeschnitten. Um ein Zerkratzen der empfindlichen Spiegeloberflächen zu vermeiden, werden die Enden des Stabes sorgfältig mit weichem, widerstandsfähigem Stoff umhüllt. Als Stoff eignet sich ein Stück eines neuen, ungebrauchten Mikrofasertuches.



Ein auf den Abstand der beiden Spiegel zugeschnittener Aluminiumstab wird an den Enden mit einem Mikrofasertuch umwickelt, um beim Einrichten des entwurfsgemäßen Abstandes der beiden Spiegel deren Beschichtung nicht zu beschädigen.

Wenn der Stab, auf die ungefähre Mitte des Hauptspiegels gelegt, gerade eben den Sekundärspiegel in dessen Mitte sachte berührt, ist der Abstand der beiden Spiegel, wie er sich aus der optischen Rechnung ergibt, korrekt. Abweichungen von etwa \pm zwei Millimeter spielen für den Korrekturzustand des anastigmatischen Schiefspieglers keine Rolle. Sie sind ohne nennenswerte Auswirkung auf die Bildqualität und können vernachlässigt werden.

Ausrichten der Fokussiereinheit:

Als erstes wird die Lage der Fokussiereinheit in Bezug auf den Sekundärspiegel überprüft und gegebenenfalls eingestellt.

Dazu benötigen wir eine Visierhilfe, die das Auge auf der optischen Achse ausgerichtet hält. Dies kann eine der im Abschnitt über die Hilfsmittel zur Justierung vorgestellten Justierhilfen oder ein Justierlaser sein.

Wir setzen die Visierhilfe anstelle eines Okulares in den Okularauszug und blicken in den Tubus. Der Raum um den Sekundärspiegel sollte mit einer Lampe oder mit hellem Tageslicht beleuchtet sein.

Wenn der Okularauszug korrekt angebaut ist, sehen wir den Sekundärspiegel zentrisch in der

Visierhilfe. Dann ist alles in Ordnung.

Wenn der Sekundärspiegel jedoch nicht zu sehen ist, bedeutet das, dass der Okularauszug merklich schief zur Linie Fokussiereinheit - Sekundärspiegel steht. Dies kann zur Bildverschlechterung führen, wenn zum Beispiel mit einer Barlowlinse, oder einem Binokularansatz gearbeitet wird.

Das Ausrichten des Okularauszuges erfolgt im einfachsten Fall durch Unterlegen von Metallplättchen verschiedener Dicke unter die Basis der Fokussiereinheit.

Weil die Fokussiereinheit auf viele verschiedene Arten am Fernrohr angebracht werden kann, ist es hier nicht möglich, eine allgemein gültige Anleitung für diesen Schritt zu geben. Es liegt am Benutzer des Instrumentes, einen Weg zu finden, die Fokussiereinheit auf den Sekundärspiegel auszurichten und diesen Zustand dauerhaft zu fixieren.

Wenn ein Justierlaser zur Verfügung steht, braucht man die Visierhilfe nicht. Dann steckt man einfach den Laser in den Okularauszug, klemmt ihn fest und schaltet ihn ein. Anschließend wird kontrolliert, ob der Laserstrahl den Sekundärspiegel genau in der Mitte trifft. Wer es ganz genau machen will, montiert eine Schablone mit markiertem Zentrum auf den Sekundärspiegel. Der Laserstrahl muss dieses Zentrum treffen. Falls nicht, ist die Fokussiereinheit wie oben beschrieben auszurichten, bis der Laserstrahl die Mitte des Sekundärspiegels trifft.

Ausrichten des Sekundärspiegels auf den Hauptspiegel:

Wir blicken in den mit einer Visierhilfe versehenen Okularauszug.

Mit den Justierschrauben an der Fassung des Sekundärspiegels wird nun die Neigung des Sekundärspiegels verstellt, bis der Hauptspiegel im Sekundärspiegel zentrisch erscheint. Das geht am leichtesten mit einem Helfer, der die Justierschrauben dreht, während wir die Auswirkung dieser Maßnahmen im mit einer Visierhilfe versehenen Okularauszug beobachten. Wir kümmern uns dabei nur um den Umriss des Hauptspiegels, und schenken irgendwelchen Reflexionen im Hauptspiegel keine Beachtung. Unser Ziel ist es, die Umrisslinie des Hauptspiegels genau konzentrisch zur Umrisslinie des Sekundärspiegels auszurichten.

Wer einen Justierlaser verwendet, kann ihn auch zum Ausrichten des Sekundärspiegels auf den Hauptspiegel verwenden.

Dazu wird eine kreisrunde Maske aus Karton vorbereitet, die genau zentrisch über dem Hauptspiegel platziert wird. Die genaue Mitte dieser Maske ist markiert, zum Beispiel durch einen weißen Punkt. Die Ausrichtung des Sekundärspiegels geschieht, in dem der Laserstrahl durch Drehen an den Justierschrauben des Sekundärspiegels genau auf die Mittenmarkierung gelenkt wird. Es ist jedoch nach Meinung des Verfassers nicht vorteilhaft, für diesen Arbeitsschritt eine Maske herzustellen und den Laser zu bemühen. Das Auge ist in der Lage, sehr genau zu beurteilen, wenn die konzentrische Lage des Hauptspiegels im Sekundärspiegel erreicht ist.

Wenn die genaue Ausrichtung des Sekundärspiegels erfolgt ist, wird die Lage des Sekundärspiegels fixiert, denn er muss im weiteren Justierverlauf nicht mehr bewegt werden. Es sei denn, wir müssen die Lage des Brennpunktes verändern.

Wir kontrollieren jetzt noch, ob der gesamte Hauptspiegel im Sekundärspiegel zu sehen ist. Es sollten einige Millimeter „Luft“ um den Reflex des Hauptspiegels im Sekundärspiegel vorhanden sein, bevor Teile des Tubus die Bilder der Spiegel beschneiden.

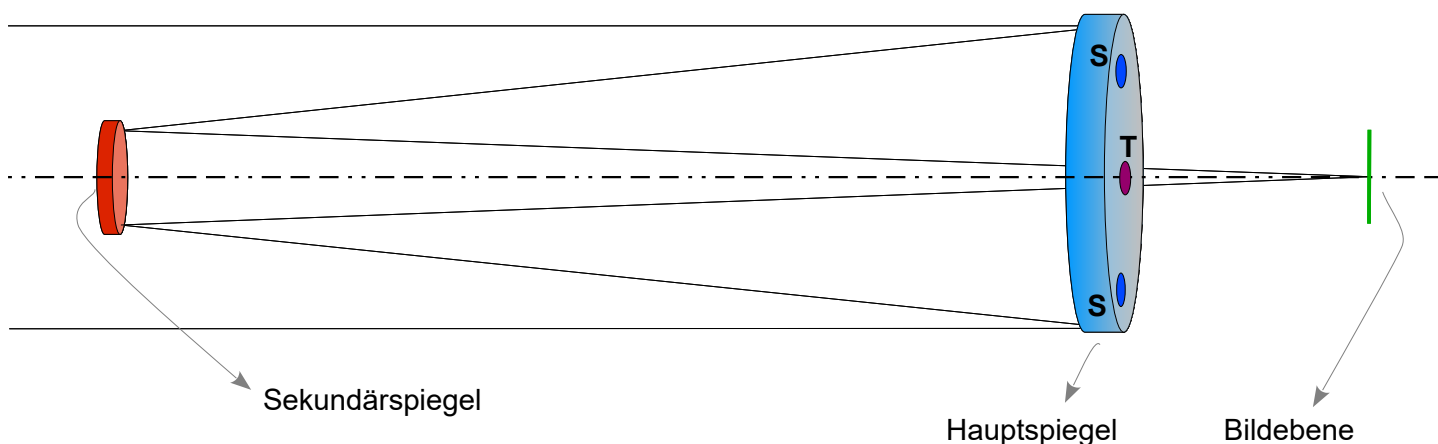
Falls dies nicht der Fall ist, ist die Streulichtblende im Fangspiegelrohr oder die elliptische Öffnung

im Fangspiegelrohr zu eng und beschneidet den Strahlengang, was natürlich völlig unerwünscht ist. Es muss dann dafür gesorgt werden, dass die Hindernisse durch Abfeilen oder Aussägen beseitigt werden. Diese Arbeiten müssen in kleinen Schritten ausgeführt werden, damit nicht zu viel Material entfernt wird und deswegen unerwünschtes Streulicht in das Instrument eindringen kann.

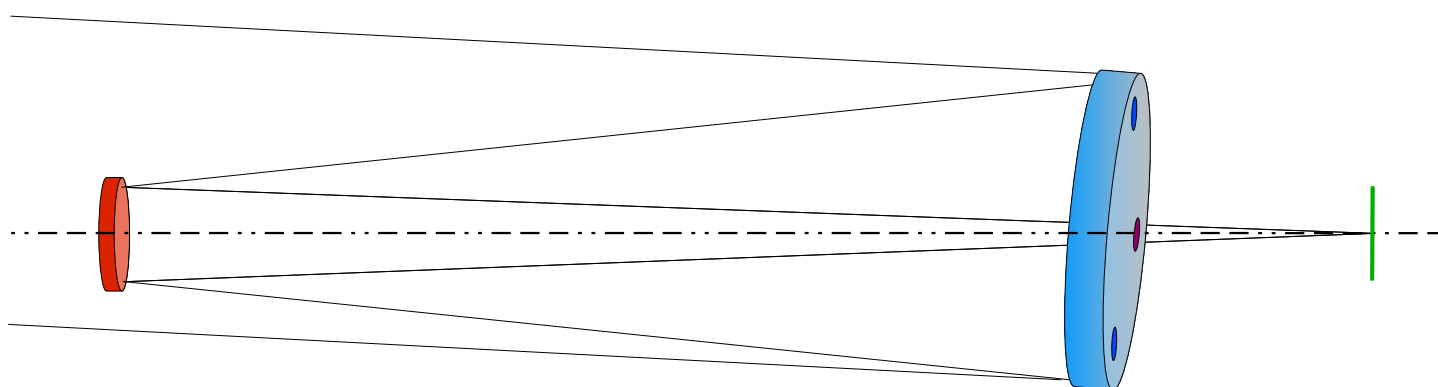
Vorläufiges Ausrichten des Hauptspiegels:

Als nächstes muss der Hauptspiegel ausgerichtet werden. Wir müssen zwei Bedingungen erfüllen: Erstens müssen wir den Hauptspiegel so einstellen, dass er, bildlich gesprochen, in die Symmetrieebene des Instrumentes blickt. Nicht darunter oder darüber. **Die Einstellung des Hauptspiegels in die Tangentialebene erfolgt mit den Justierschrauben S, die in der Sagittalebene liegen.**

Dies verdeutlicht die untenstehende Abbildung. Sie zeigt den Strahlengang eines Schiefspieglers von der Seite. Die Tangentialebene erscheint daher als Linie.



Ein Schiefspiegler von der Seite gesehen. Die strich - punktierte Linie ist die Tangentialebene. Die kleinen Ellipsen hinter dem Hauptspiegel symbolisieren die Justierschrauben für den Hauptspiegel. Die tangentielle Justierschraube ist in rot gehalten, die sagittalen Justierschrauben in blau. In diesem Beispiel ist der Hauptspiegel perfekt ausgerichtet.



Derselbe Schiefspiegler. Der Hauptspiegel „blickt“ noch aus der Tangentialebene heraus. Durch Drehen der sagittalen Justierschrauben am Hauptspiegel, hier in blau gehalten, wird die korrekte Ausrichtung des Hauptspiegels erreicht. Dieser Schritt ist von enormer Wichtigkeit für die schnelle und richtige Justierung.

Zweitens muss der vom Entwurf vorgeschriebene Neigungswinkel eingestellt werden. Dies muss zunächst nur grob geschehen, denn die wirklich präzise Einstellung wird erst bei der Feinjustierung durchgeführt. **Der Neigungswinkel wird mit der Justierschraube T, die in der Tangentialebene liegt, eingestellt.**

Es sollen hier zwei Möglichkeiten, die Justierung des Hauptspiegels in die Tangentialebene durchzuführen, vorgestellt werden.

1) Die einfache, visuelle Methode:

Nachdem der Sekundärspiegel so ausgerichtet wurde, dass der Hauptspiegel zentrisch in ihm liegt, sehen wir uns die Fassung des Sekundärspiegels, so wie sie im Hauptspiegel reflektiert wird, durch die Visierhilfe an. Wir können nur einen kleinen Teil der Sekundärspiegelfassung, nämlich den Teil in unmittelbarer Nähe des Sekundärspiegels, sehen. Sie wird wahrscheinlich exzentrisch zur Tangentialebene liegen.

Nun drehen wir an den sagittalen Justierschrauben S des Hauptspiegels, bis die Fassung genau mittig in der Tangentialebene liegt. Damit ist die sagittale Ausrichtung des Hauptspiegels erledigt. Die exakte Ausrichtung erfolgt dann bei der Feinjustierung am Stern.

2) Die Methode mit dem Laserstrahl:

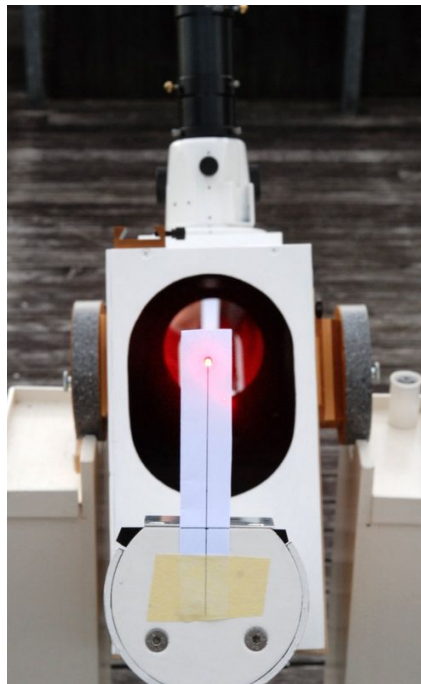
Dazu muss zuerst die Tangentialebene markiert werden. Das kann durch einen Papierstreifen geschehen, der mit einer schwarzen Linie versehen ist. Der Streifen wird möglichst genau in der Tangentialebene des Instrumentes befestigt. Anschließend wird der Laser in den Okularauszug gesteckt und eingeschaltet. Der Laserstrahl wird den Papierstreifen (hoffentlich) irgendwo treffen.

Mit den sagittalen Justierschrauben S wird der Laserstrahl auf die Linie ausgerichtet.

Damit ist die sagittale Ausrichtung des Hauptspiegels erledigt. Die exakte Ausrichtung erfolgt dann bei der Feinjustierung am Stern.



Vom Okularauszug rechts läuft der Laserstrahl durch das Teleskop. Im Hintergrund ist der Hauptspiegel zu sehen, von dem aus der Laserstrahl die markierte Tangentialebene trifft.



Alternativ am 130mm Schiefspiegler. Die beiden Justierschrauben an der Fassung des Sekundärspiegels, unten im Bild, sind die sagittalen Justierschrauben.

Wo soll nun der Brennpunkt zu liegen kommen?

Ideal scheint ein Abstand von einem Zentimeter vor dem äußersten Ende des ausgefahrenen Auszuges zu sein. So bleibt noch ein Sicherheitsabstand, um Okulare mit exotischer Lage der Feldblende, oder starke Fehlsichtigkeit zu berücksichtigen. Weiters kann bei dieser Lage der Brennpunkts auf nicht allzu nahe terrestrische Objekte fokussiert werden. Dies ist für die Justierung am künstlichen Stern wünschenswert.

Diese Lage des Brennpunktes bietet reichlich Fokussierweg nach innen, um Zubehör wie Kameras, Zenitspiegel oder Binokularansätze, die viel optischen Weg benötigen, aufzunehmen.

Wie wird die Lage des Brennpunktes überprüft?

Wir drehen den Okularauszug bis zum Anschlag aus dem Instrument heraus, und dann wieder einen Zentimeter hinein. Diese Position wird fixiert.

Zur Kontrolle, ob die Idealposition genau getroffen wurde, wird eine Mattscheibe auf das Endstück des Okularauszuges gelegt und versucht, den Mond oder ein kontrastreiches, mehr als einen Kilometer entferntes Objekt auf der Mattscheibe scharfzustellen.

Als behelfsmäßige Mattscheibe kann ein Stück halbtransparentes Papier ('Pauspapier', Backpapier) dienen, das möglichst eben auf das Ende des Okularauszuges gespannt wird. Falls die Methode mit einer Mattscheibe nicht zum Erfolg führt, kann auch ein gewöhnliches langbrennweitiges Okular (Brennweite mindestens 25mm), Plössl - Okulare eignen sich gut, verwendet werden.

Wenn der Brennpunkt zu weit Richtung Sekundärspiegel, also zu weit innen liegt, muss der Abstand zwischen Hauptspiegel und Sekundärspiegel verkleinert werden. Dadurch wandert der Brennpunkt nach außen.

Wenn der Brennpunkt zu weit 'außen', also zu weit vom Sekundärspiegel entfernt liegt, sodass mit den meisten Okularen nicht auf die Himmelskörper scharfgestellt werden kann, muss der Abstand zwischen Hauptspiegel und Sekundärspiegel vergrößert werden. Dadurch wandert der Brennpunkt weiter nach innen, in Richtung des Sekundärspiegels.

Eine Veränderung des Abstandes der beiden Spiegel um einen Zentimeter bewirkt eine Verschiebung des Brennpunktes um etwa drei Zentimeter.

Nach einer Veränderung des Spiegelabstandes ist die Vorjustierung zu überprüfen und gegebenenfalls etwas zu korrigieren.

Ist die richtige Position des Brennpunktes gefunden, sollte die Verbindung zwischen dem Fangspiegelrohr und dem übrigen Fernrohr gut gegen unbeabsichtigtes Verschieben durch verkleben oder verschrauben gesichert werden. Es ist empfehlenswert, die optimale Position des Fangspiegelrohres zum übrigen Teil des Instrumentes dauerhaft zu markieren.

Wenn die Vorjustierung abgeschlossen ist, können wir mit einem langbrennweitigen, niedrig vergrößernden Okular ein weit entferntes irdisches Objekt, oder den Mond, einstellen, und den Sucher darauf einjustieren. Ein Sucher ist wichtig, weil bei der Feinjustierung am Stern der Stern leicht aus dem Gesichtsfeld verschwinden kann. Ohne Sucher kann das Feinjustieren am Stern zur

Qual werden.

3.2. Die Feinjustierung.

Die Feinjustierung beschränkt sich auf die Betätigung der Justierschrauben an der Hauptspiegelfassung. Selbst wenn die Vorjustierung perfekt gelungen wäre, würden wir nicht um die Feinjustierung herumkommen. Denn kleine Abweichungen der Brennweiten von ihrem Sollwert, und auch geringfügige, unvermeidliche Winkel- und Abstandsfehler bedingen eine nicht optimale Bildqualität, die in der Feinjustierung ohne Schwierigkeiten beseitigt werden können. Es lohnt sich, bei der Vorjustierung sorgfältig zu arbeiten. Pedanterie ist dabei jedoch fehl am Platz. Auch wenn das Instrument mechanisch solide ausgeführt ist, wird das Instrument im täglichen Gebrauch hin und wieder fein justiert werden müssen. Denn Temperaturschwankungen bewirken Form- und Längenänderungen des Tubus und dadurch minimale Veränderungen der Position der Spiegel zueinander. Darüber hinaus bleiben die Justierschrauben nicht in der Position, in die sie einmal gedreht wurden: Denn die meist unter dem Druck einer Feder oder einer Druckschraube stehenden Justierschrauben geben diesem Druck nach, und lösen sich ein wenig. Deswegen ist gelegentliches Nachjustieren unumgänglich. Diese kleinen Korrekturen sind jedoch binnen weniger Minuten durchgeführt und beschränken sich meist auf die Betätigung einer oder zweier Justierschrauben am Hauptspiegel. Ganz ähnlich dem Stimmen eines Musikinstrumentes.

Die Feinjustierung wird mit Hilfe des sogenannten Sterntests anhand eines natürlichen oder künstlichen Sternes überprüft.

Anhand der Form und der Lichtverteilung innerhalb des Bildes dieses Sternes kann der Justierzustand des Fernrohres erkannt und gegebenenfalls verbessert werden.

Dieser Test wird von Beobachtern seit Jahrhunderten angewendet. Ich kann nur empfehlen, diesen Test und seine Durchführung zu erlernen. Eine hervorragende Einführung in dieses Thema ist das Buch *Star Testing Astronomical Telescopes* von Harold R. Suiter [5]. Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Gesichtspunkte des Sterntests kurz zusammengefasst.

Ein künstlicher Stern eignet sich bestens zum Justieren.

Weil er an der täglichen Himmelsdrehung nicht teilnimmt, bleibt er ortsfest im Okular, und lässt sich meist leichter wiederfinden als ein echter Stern.

Das gleißend helle Spiegelbild der Sonne an einem Isolator einer Hochspannungsleitung eignet sich hervorragend als künstlicher Stern. Diese Isolatoren sind hoch über dem Erdboden installiert, und damit aus dem Einfluss des bodennahen Seeings entzogen. Man kann damit am Tag justieren. Der Schiefspiegler ist so zu positionieren, dass das Instrument möglichst zwischen Sonne und Isolator steht. Besonders gegen Abend, kurz vor Sonnenuntergang, wird das Seeing manchmal sehr gut.

Einige Händler bieten mittlerweile künstliche Sterne zu Testzwecken an. Ich habe damit noch keine Erfahrungen gemacht.

Falls die lokalen Gegebenheiten günstig sind, kann man mittels einer kleinen Halogenlampe, wie sie in Taschenlampen verwendet wird, einen künstlichen Stern improvisieren. Alternativ kann mit einer intensiv hellen LED gearbeitet werden, sofern ihr eine Blende von etwa 0,5 mm bis maximal 1 mm Durchmesser vorgeschaltet ist.

Die Entfernung zur Lichtquelle sollte mindestens hundert Brennweiten, also 300m oder mehr,

betragen. So lässt sich an einem windstillen, bedeckten Tag oder in der Nacht bequem justieren.

Der Polarstern eignet sich gut für den Sterntest: Seine Helligkeit ist für die üblichen Öffnungen anastigmatischer Schiefspiegler gerade richtig, und er ist leicht im Gesichtsfeld zu halten, falls ohne Nachführung beobachtet werden muss.

Der Einsatz eines grünen oder gelben Farbfilters ist ratsam, sofern die Helligkeit des künstlichen oder natürlichen Sterns dies zulässt. Dadurch lassen sich die Strukturen im Beugungsbild klarer erkennen. Man kann ein O III Filter, ein gewöhnliches Grünfilter, oder ein Grün-Filter aus einem RGB Filtersatz sehr gut für diesen Zweck einsetzen.

Auch ein Schiefspiegler benötigt einige Zeit, um sich gut an die Temperatur der umgebenden Luft anzupassen. Für einen guten Temperatúrausgleich ist eine volle Stunde anzusetzen. Das Teleskop sollte dafür senkrecht gestellt werden. Wenn der Temperatúrausgleich unvollständig ist, wird die Justierung durch Bildstörungen, die von Turbulenz innerhalb des Instrumentes stammt, unnötig erschwert. Dies gilt besonders für Instrumente, deren Hauptspiegel in einem Gehäuse montiert ist, das keine Öffnungen zur natürlichen Ventilation aufweist. Um einen solchen abgeschirmten Hauptspiegel können sich die seltsamsten Bildstörungen entwickeln, die den Justierer an seinen Fähigkeiten zweifeln lassen.

Wie sieht nun ein Stern in einem noch nicht feinjustierten anastigmatischen Schiefspiegler aus?

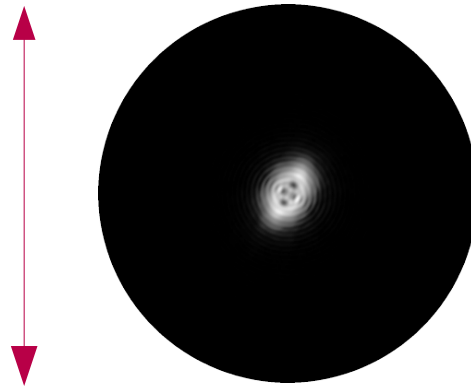
Wir setzen ein Okular ein, das eine Vergrößerung ergibt, die etwa dem Hauptspiegeldurchmesser in Millimeter entspricht. Also etwa 110x für den Standard-Schiefspiegler mit 110mm Hauptspiegeldurchmesser. Dann stellen wir, so gut wie möglich, scharf.

Höchstwahrscheinlich wird in der Mitte des Bildfeldes ein elliptischer Lichtfleck zu sehen sein. Es kann auch sein, dass der Lichtfleck als kurzer Strich erscheint, und keinerlei Ähnlichkeit mit einem Stern hat.

Dieser Anblick kann einen Schrecken auslösen, zeigt er doch eine Optik, die weit von ihrer theoretischen Leistung entfernt ist.

Doch in Wirklichkeit liegt die meiste Arbeit schon hinter uns.

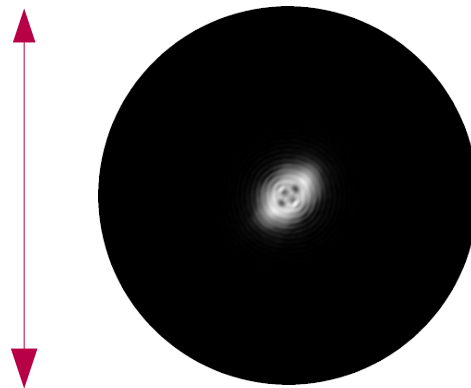
Wäre das Instrument völlig korrekt zusammengebaut und vorjustiert, so wäre das elliptische Sternscheibchen exakt auf die Instrumentenebene ausgerichtet. Das wäre aber ein seltener Zufall. Höchstwahrscheinlich ist das Sternbildchen in irgendeinem Winkel zur Tangentialebene angeordnet. Etwa so:



Auch in dieser, und den folgenden Abbildungen, läuft die Tangentialebene, symbolisiert durch den roten Pfeil, senkrecht durch das Bild.

Wir drehen nun an einer der sagittalen Justierschrauben S des Hauptspiegels. Meist sind diese Schrauben leicht zugänglich, sodass wir während der Arbeit ins Okular blicken können und die Auswirkung der Justiermaßnahme sofort erkennbar ist.

Hat sich die Ellipse in die Tangentialebene gedreht? Nein? Legt sich die Ellipse noch mehr Richtung 45° Position, so wie unten dargestellt?

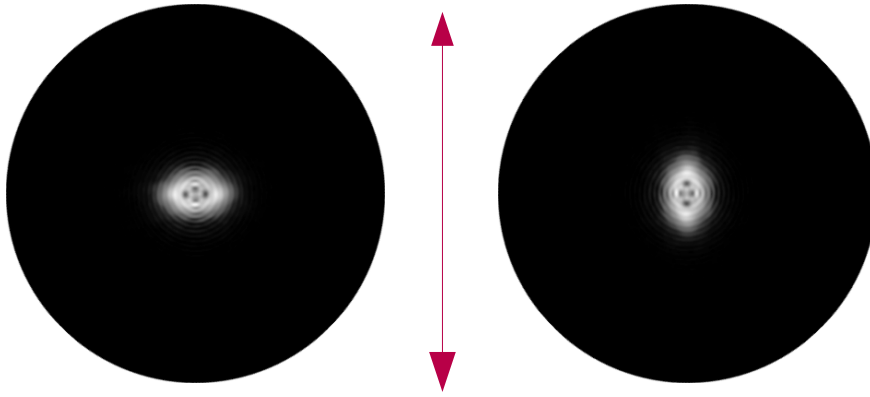


Dann drehen wir die Justierschraube einfach in die Gegenrichtung. Falls sich die Justierschraube nach einigen Drehungen nur noch sehr schwer bewegen lässt, oder schon recht locker geworden ist, kommt zum Ausgleich die andere sagittale Schraube zum Einsatz. Wichtig ist, dass am Ende der Justiermaßnahmen beide sagittale Schrauben etwa gleich stark angezogen sind und so die Justierung gut halten. Bei all diesen Justiermaßnahmen bewegt sich unser künstlicher oder natürlicher Stern aus dem Gesichtsfeld des Okulars. Wir müssen ihn deshalb immer wieder durch Nachführen des Fernrohres vorsichtig ins Gesichtsfeld zurückholen.

Wir drehen weiter an den sagittalen Justierschrauben, bis wir die Ausrichtung der Ellipse wie untenstehend links oder rechts abgebildet erreicht haben.

Jetzt ist die Ausrichtung in die Tangentialebene erfolgt!

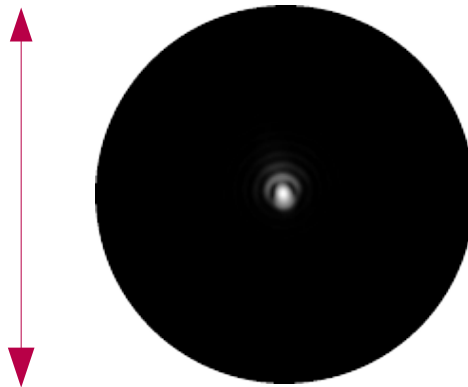
Es ist dringend angeraten, mit der Justierung erst dann weiterzumachen, wenn das Sternbildchen vollständig in die Tangentialebene ausgerichtet ist. Sonst kämpfen wir sozusagen an zwei Fronten.



Nun bleibt nur noch die Einstellung des Neigungswinkels des Hauptspiegels, was wir durch Drehen an der Tangentialschraube **T** erreichen.

Wird die Ellipse schlanker, und verändert sie sich geradezu zu einem Strich? Dann ist die Drehrichtung falsch. In die Gegenrichtung drehen.

Unser Ziel ist es, die Ellipse in einen Kreis zu verwandeln. Wenn die Drehrichtung stimmt, bemerken wir bald, wie sich die Ellipse immer mehr rundet.



In diesem Stadium des Justierens ist die Erfahrung und das scharfe Auge des Beobachters gefragt.

Liegt das Beugungsbild immer noch möglichst genau in der Tangentialebene? Ändern sich die Achsen des Beugungsbildes noch beim Durchfahren des Fokus?

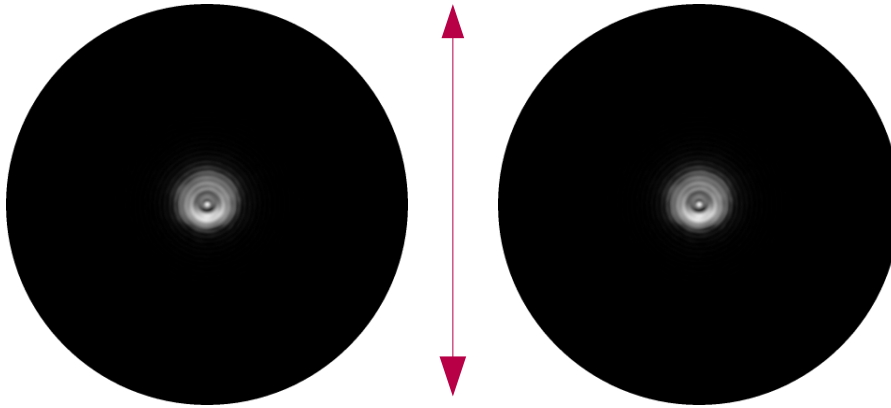
So lange noch die Orientierung des Beugungsbildes beim Durchfahren des Fokus umschlägt, ist noch Astigmatismus vorhanden, und die Feinjustierung noch nicht beendet.

In der obigen Abbildung ist das Beugungsbild noch ein wenig nach links verkippt, und auch noch ein kleiner Rest an Astigmatismus vorhanden.

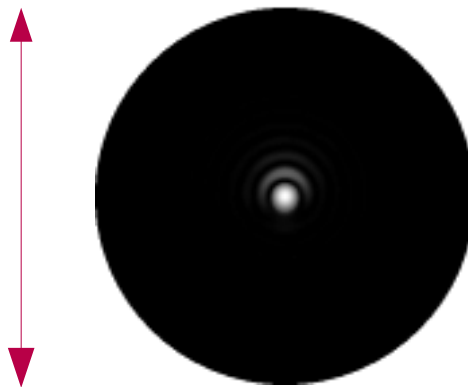
Falls die Justierschraube **T** nicht genau in der Tangentialebene des Instrumentes liegt, kann es sein, dass die astigmatischen Beugungsfiguren bei größeren Justierbewegungen wieder etwas Schlagseite bekommen und aus der Tangentialebene herauskippen. Dann muss mit den **S** Justierschrauben die Ausrichtung in die Tangentialebene wieder hergestellt werden. Meist sind dies nur kleine, aber dennoch wichtige Korrekturen.

Die letzten Feinheiten der Justierung, die fast immer auf geringe Drehungen an der Justierschraube **T**

hinauslaufen, sollten bei möglichst ruhiger Luft, und an einem echten, hochstehenden Stern vorgenommen werden. Bei diesen letzten Einstellungen sollte das Okular nur ein bis zwei Millimeter vor oder hinter dem Brennpunkt eingestellt werden, um die hohe Empfindlichkeit des Sterntests voll zu nutzen. Die Vergrößerung kann durchaus gesteigert werden, um die Feinjustierung nahe am Brennpunkt zu erleichtern. Je nach den äußeren Bedingungen sind Vergrößerungen von 180x bis 250x möglich.

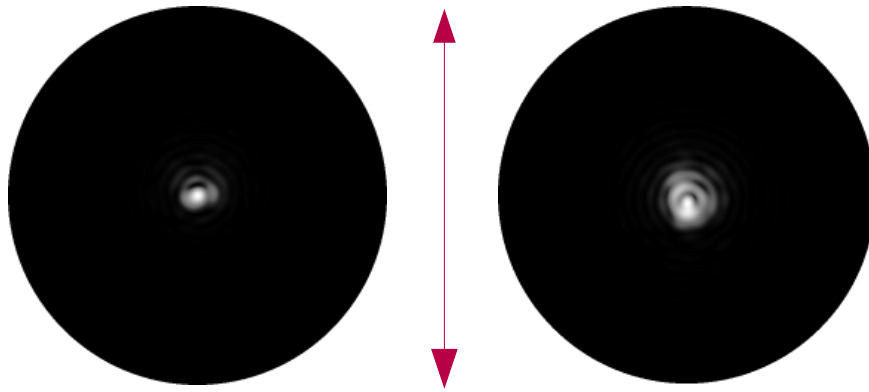


So sieht ein stark vergrößertes Bild eines Sternes im Zentrum eines korrekt justierten, noch nicht vollständig scharf gestellten, anastigmatischen Schiefspieglers bei ruhiger Luft aus. Die leicht defokussierten Bilder des Sterns MÜSSEN kreisrund sein, sonst ist nach wie vor Astigmatismus vorhanden!!



So sieht ein stark vergrößertes Bild eines Sternes im Zentrum eines korrekt justierten, präzise scharfgestellten anastigmatischen Schiefspieglers bei ruhiger Luft aus.

Zum Abschluss dieses Kapitels noch ein Beispiel, wie schwierig die Beurteilung des Beugungsbildes bei stärkerer Turbulenz wird: Ein perfekt justierter Schiefspiegler bei einer Turbulenz von 0,15 Wellenlängen RMS, links intrafokal, rechts extrafokal.



Endkontrolle:

Der Schiefspiegler wird gegen den hellen Taghimmel oder eine sehr hell beleuchtete Innenwand gerichtet. Das Okular wird entfernt, und, mit dem Auge in der Brennebene, prüfend in das Instrument geblickt. Licht, das an den Spiegeln vorbei in die Brennebene gelangt, muss ausgeblendet sein. Bauteile, die in den Strahlengang ragen und den Lichtweg beschneiden, müssen entfernt bzw. nachgearbeitet werden, um alles vom Objektiv erfasste Licht zur Bildebene gelangen zu lassen. Falls irgendwelche Bauteile hell aufleuchten, weil sie von Streulicht getroffen werden, müssen sie mit mattem Lack, oder besser noch mit schwarzer Velours-Folie beschichtet werden. Wer die Velours-Folie aus welchen Gründen auch immer, nicht verwenden will, kann Streulichtblenden aus schwarz gestrichenem, dünnem Sperrholz verwenden. Alle diese Maßnahmen zielen auf möglichst wenig Streulicht und dadurch möglichst hohen Bildkontrast ab.

Von der Brennebene aus gesehen darf in einem korrekt ausgelegten und gebauten Schiefspiegler in einem Bildfeld von 10 mm Durchmesser nichts anderes als der Sekundärspiegel, mit der Reflexion des Hauptspiegels darin, zu sehen sein, umgeben von völliger Schwärze.

Allenfalls darf in einem kleinen, extrem seitlich liegenden Teil des Bildfeldes ein bogenförmiges Stückchen Himmel sichtbar sein. Es ist dies Licht, das direkt am Sekundärspiegel und der Systemblende vorbei die Bildebene erreicht. Dies kann der Fall sein, wenn der Neigungswinkel des Hauptspiegels, und der Durchmesser des Sekundärspiegels kleinst möglich gewählt wurden, um die Koma minimal zu halten. Dieses Falschlicht führt zu einer leichten Aufhellung am äußeren Bereich des Gesichtsfeldes, und ist der Preis für auf kleinstmögliche Restkoma hin optimierte Entwürfe. Allenfalls darf noch ein *schmaler* Rand von der Fassung des Sekundärspiegels am Rand des voll ausgeleuchteten Bildfeldes sichtbar werden.

4. Justieranleitung in Kurzform.

Diesen Abschnitt bei Bedarf separat ausdrucken und zum Justieren an das Instrument mitnehmen. Er dient als kurz gefasste Checkliste zur Justierung eines Schiefspieglers, der schon zusammengebaut worden ist und gründlich justiert werden soll. Es wird davon ausgegangen, dass die Abstände der Spiegel bereits korrekt eingestellt sind.

- 1) Die Fokussiereinheit mittels Visierhilfe oder Laser auf die Mitte des Sekundärspiegels ausrichten, und diese Ausrichtung fixieren.

- 2) Mit den Justierschrauben der Sekundärspiegelfassung den Sekundärspiegel so ausrichten, dass der Hauptspiegel, vom Okularauszug gesehen, genau konzentrisch in der Mitte des Sekundärspiegels liegt. Visierhilfe verwenden. Falls ein Justierlaser verwendet wird: Den Sekundärspiegel so einstellen, dass die Mitte des Hauptspiegels (Maske) getroffen wird. Wenn die konzentrische Lage erreicht ist, ist die Justierung des Sekundärspiegels erledigt. Dafür sorgen, dass die Lage des Sekundärspiegels möglichst gut fixiert bleibt. Zum Beispiel durch Kontern der Schrauben der Justierschrauben des Sekundärspiegels.

- 3) Mit der tangentialen Justierschraube an der Hauptspiegelfassung den Hauptspiegel so neigen, dass der Sekundärspiegel gerade seitlich neben dem Hauptspiegel verschwindet.

- 4) Kontrollieren, ob die Brennebene richtig liegt: Kann mit allen Okularen ein Objekt im Unendlichen scharf eingestellt werden? Gegebenenfalls den Spiegelabstand verändern und bei 2) weitermachen.

- 5) Den leicht unscharf eingestellten Stern durch Drehen an den sagittalen Justierschrauben **S** so ausrichten, dass eine der Achsen des astigmatischen Sternbildchens in die Tangentialebene zu liegen kommt. Ob es die kurze oder die lange Achse des Sternbildchens ist, ist gleichwertig.

- 6) Den leicht unscharf eingestellten, astigmatischen Stern durch Drehen der tangentialen Justierschraube **T** zur EXAKTEN Kreisform bringen. **Instrument justiert!**

- 7) Kontrolle am Taghimmel: Okular entfernen. Mit dem Auge in der Brennebene kontrollieren, ob der Haupt- und Sekundärspiegel vollständig sichtbar sind. Falls nicht: Hindernisse, die das Strahlenbündel beschneiden, (ovale Öffnung im Fangspiegelrohr, Systemblende, Streulichtblenden, ...) identifizieren und eliminieren.
 Wenn Falschlicht zutrifft:
 Durchmesser der Systemblende verkleinern, passende Streulichtblenden um den Sekundärspiegel anbringen, Größe und Form des Fangspiegelrohr-Ausschnittes korrigieren. Reflexe an den Wänden des Fangspiegeltubus oder im Okularauszug durch ringförmige Blenden oder Auskleiden mit Velours-Folie beseitigen.

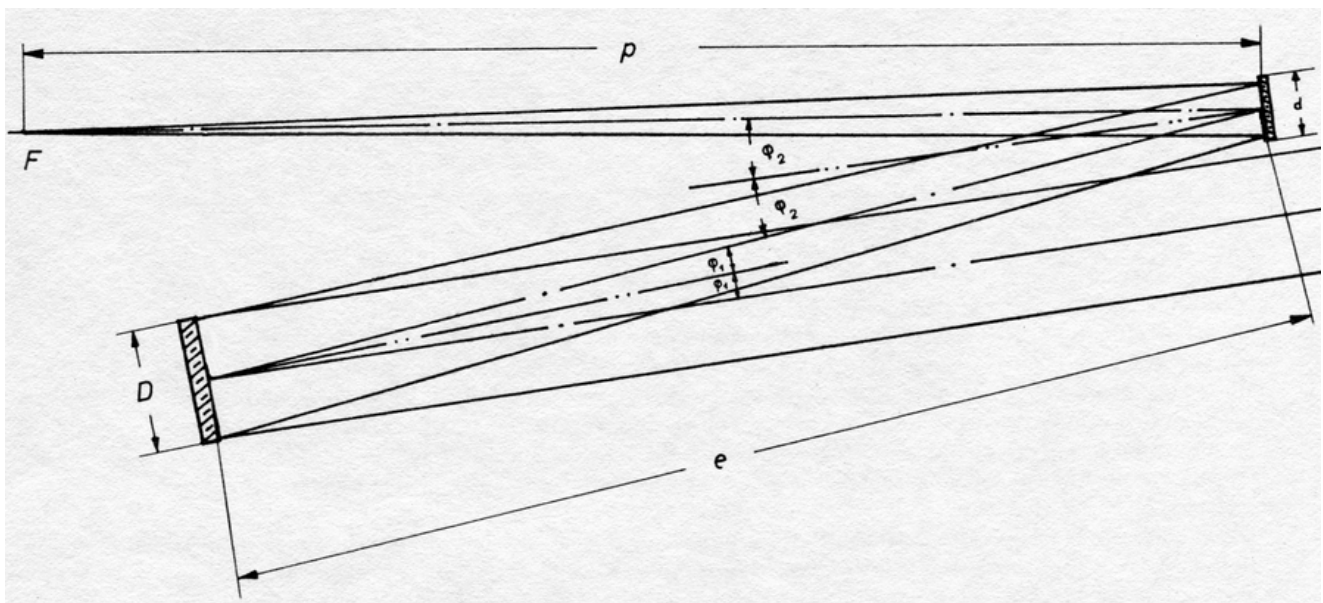
- 8) Endkontrolle: Die Justierung ist abgeschlossen, wenn nahe der Bildmitte ausschließlich der Hauptspiegel, umgeben von Schwärze, zu sehen ist. Die Brennebene liegt so, dass mit allen Okularen und Zusatzgeräten (wie z.B. Binokularansatz, Zenitspiegel, Kamera etc.) scharfgestellt werden kann. Ein leicht defokussierter, heller Stern, zeigt auf beiden Seiten des Fokus kreisrunde Beugungsringe, die je nach Entwurf höchstens leichte Anzeichen von Koma, aber keinen Astigmatismus zeigen dürfen.
 Wer interessiert und entsprechend ausgestattet ist, kann mit einer Videokamera intra- und extrafokale Aufnahmen eines Sterns aufnehmen, daraus hochwertige Summenbilder herstellen. Am Monitor lassen sich dann auch kleinste Fehlerreste erfassen.

5. Konstruktionsdaten einiger anastigmatischer Schiefspiegler

Es erschien zweckmäßig, die gebräuchlichsten Entwürfe anastigmatischer Schiefspiegler tabellarisch zusammenzustellen, um Konstruktionsdaten für bestehende Instrumente bereitzustellen. Denn oft scheidet die Reaktivierung eines bestehenden Instrumentes daran, dass keine Konstruktionsdaten zu finden sind. Unter Umständen kann allein aus der Brennweite und dem Durchmesser des Hauptspiegels bereits auf den vorliegenden Typ geschlossen werden. Falls kein Sphärometer zur Messung des Krümmungsradius des Sekundärspiegels zur Verfügung steht, können die Daten durch einen probeweisen Zusammenbau ermittelt werden.

Amateure mit Interesse am Selbstbau können aufgrund der Daten dieser Tabelle ein Instrument herstellen. Sie enthält alle notwendigen Angaben.

Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Alle Angaben ohne Gewähr.



Skizze des anastigmatischen Schiefspieglers mit Benennung aller maßgeblichen Konstruktionsgrößen. Verändert aus [1]. Die Zeichenebene ist die Tangentialebene.

Entwurf	D	R ₁	φ ₁	e	d	R ₂	φ ₂	p	δ	F	Strehl
Kutter 80 f/20,4	80	1920	3,4°	548	40	2000	8,09°	700	5,1°	1635	86 %
Delmarva 110 Equi f/26,5	110	3500	2,447°	1050	54	3500	6,11°	1167	3,9°	2910	92 %
Kutter 110 f/24,5	110	3240	2,783°	919	56	3500	6,71°	1169	4,1°	2700	89 %
Kutter 110 Equi f/24,7	110	3240	2,675°	965	53	3240	6,64°	1100	4,3°	2720	88 %
Brunn 110 f/23,8	110	3750	2,562°	1050	58	5820	7,24°	1150	2,8°	2615	92 %
Lampert 130 f/25,1	130	4740	2,450°	1270	72	8000	6,85°	1517	2,4°	3265	93 %
Kutter 150 f/28,0	150	5100	2,270°	1481	76	5440	5,59°	1761	3,4°	4200	91 %

Legende:

Entwurf: Die Bezeichnung richtet sich nach dem Namen des Designers oder der Publikation, in der die Daten veröffentlicht wurden. Die Zahl hinter dem Namen gibt die Öffnung in Millimeter an. Die in manchen Entwurfsnamen zu findende Bezeichnung „Equi“ verweist auf Entwürfe, in denen die beiden Spiegel zur einfacheren Herstellung die gleiche Krümmung aufweisen.

Delmarva: Entwurf von David Groski. Veröffentlicht im Internet. Benannt nach einer amateurastronomischen Vereinigung.

Kutter 80, Kutter 110 und Kutter 150: Veröffentlicht in [5]

Kutter Equiradius: Veröffentlicht in [1]. Besonderheit ist, wie auch beim Delmarva Schiefspiegler, die Verwendung von gleichen Krümmungsradien für Hauptspiegel und Sekundärspiegel.

Brunn: Entwurf von Michael Brunn. Veröffentlicht in [6].

Lampert 130: Entwurf von Guntram Lampert, aufbauend auf Arbeiten von Brunn.

D : Durchmesser des Hauptspiegels in Millimeter.

R_1 : Krümmungsradius des konkaven Hauptspiegels in Millimeter.

ϕ_1 : Kippwinkel des Hauptspiegels in Dezimalgrad.

e : Abstand des Sekundärspiegels zum Hauptspiegel in Millimeter. Auch Spiegelintervall genannt.

d : Durchmesser des Sekundärspiegels in Millimeter. Berechnet für ein voll ausgeleuchtetes Feld von 0,5 Grad Durchmesser.

R_2 : Krümmungsradius des konvexen Sekundärspiegels in Millimeter.

ϕ_2 : Kippwinkel des Sekundärspiegels in Dezimalgrad

p : Abstand vom Sekundärspiegel zum Brennpunkt in Millimeter. Gerundet. Synonym auch *Schnittweite*, oder *Backfocus* genannt. Im Bulletin A [3] von Kutter als *Cutting length* bezeichnet.

δ : Mittlere Neigung des Bildfeldes gegen den Hauptstrahl in Dezimalgrad. In der Systemskizze nicht eingezeichnet.

F : Effektive Brennweite des Gesamtsystems in Millimeter. Gerundet.

Strehl: Strehlverhältnis in Prozent für die Bildmitte bei bestmöglicher Fokussierung. Berechnet für die Wellenlänge 546nm mit dem Programm **PointSpread**. Diese Maßzahl ist eine Möglichkeit zur Bewertung der Bildqualität der Entwürfe. Eine ausführliche Erklärung dieses Kriteriums würde den Rahmen dieser Anleitung sprengen; ich verweise auf die Fachliteratur. Generell kann gesagt werden, dass, falls ein Instrument neu gebaut werden soll, wenn möglich, die Entwürfe mit den höheren Strehlverhältnissen den anderen Entwürfen vorzuziehen sind.

6. Literatur:

- [1] Kutter, Anton: *Bauanleitung für den Kosmos-Schiefspiegler*. Stuttgart, 1964
- [2] Brunn, Michael: *Justieranleitung für Schiefspiegler*. Selbstverlag, Höxter, 1993
- [3] Allmacher, E.: Der Schiefspiegler: Justieranleitung und Bauhinweise. In: Wolfgang Paech: *Tips und Tricks für Sternfreunde*. 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, 2000
- [4] Suiter, Harold R.: *Star Testing Astronomical Telescopes*. 2nd Edition. Verlag Willmann-Bell, Richmond, Virginia, 2008
- [5] Kutter, Anton: *Mein Weg zum Schiefspiegler*. Publikation der SAG, 1962
- [6] Brunn, Michael: *Die Schiefspiegler*. Selbstverlag, Höxter, 1993

7. Danksagung:

Ich danke Herrn Thomas Schnur, der mir seinen Justierlaser ausgeliehen hat, und Herrn Manfred Böhler, der mir seinen Schiefspiegler für einige Fotos zur Verfügung stellte.

Die Spotdiagramme wurden mit Hilfe des Programms *Winspot* von David Stevick, USA, die Beugungsbilder mit dem Programm *Aberrator* von Cor Berrevoets, Niederlande, erstellt. Die Berechnung der Strehlverhältnisse für die verschiedenen Entwürfe des Schiefspieglers in der Tabelle erfolgte mit dem Programm *PointSpread* von Hans-Jürgen Busack, Deutschland.

Ich danke den genannten Programmautoren dafür, dass sie uns Astroamateuren ihre hilfreichen Programme unentgeltlich zur Verfügung stellen.
