

Die Justierung des katadioptrischen Schiefspiegler

von Guntram Lampert

Inhalt:

Vorwort

Rechtlicher Hinweise

Allgemeines zum katadioptrischen Schiefspiegler

Konstruktionsdaten für katadioptrische Schiefspiegler

Grundlegendes zur Justierung des katadioptrischen Schiefspiegler

Vorbereitende Arbeiten

Vorjustierung

Feinjustierung

Schlussbemerkung

Quellen

Anhang: Ein einfacher Adapter zum Ausgleich der Feldneigung für die fotografische Anwendung.

Vorwort

Neben sorgfältig und korrekt hergestellten optischen Bauelementen, deren fachgerechter Montage, und thermischem Ausgleich, ist die genaue Justierung wesentlich für einen gut funktionierenden katadioptrischen Schiefspiegler. Wie justiert man so ein Teleskop?

Während es zahlreiche Justieranleitungen für Newton-Reflektoren, Schmidt - Cassegrains und auch den einen oder anderen weniger verbreiteten Fernrohr-Typ gibt, fällt es unter Umständen schwer, an eine Justieranleitung für katadioptrische Schiefspiegler zu kommen.

Manchmal mag es auch vorkommen, dass jemand einen Optiksatz erwirbt, und deswegen auf der Suche nach Konstruktionsdaten ist. Oder, ein älteres Instrument soll anlässlich einer Generalüberholung in allen Parametern überprüft und für weitere Jahrzehnte fit gemacht werden.

Deswegen habe ich nicht nur ausschließlich die Justierung dargestellt, sondern noch einige zusätzliche Informationen beigefügt, die für den Bau oder die Restaurierung nützlich sein könnten, und auf die Eigenheiten dieses Teleskoptyps eingehen.

Diese Anleitung ist daher umfassender, als unbedingt notwendig. Es wäre möglich gewesen, den reinen Justiervorgang in Form einer Schritt- für Schritt- Anleitung auf einigen wenigen Seiten zu beschreiben.

Der Benutzer eines katadioptrischen Schiefspiegler sollte sich daher auf keinen

Fall von dieser über zwanzig Seiten langen Anleitung abschrecken lassen!
So hoffe ich, dass diese Schrift jeden Anwender in die Lage versetzt, einen katadioptrischen Schiefspiegler rasch und vollständig zu justieren.
Ich freue mich über konstruktive Kritik und Verbesserungsvorschläge.

Guntram Lampert

guntram.largefile@gmx.at

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.

Allgemeines zum katadioptrischen Schiefspiegler:

Der populärste Schiefspiegler ist der anastigmatische Schiefspiegler. Er wird auf Grund gewisser Einschränkungen meist bis zu einer Öffnung von etwa 130 mm gebaut.

Anton Kutter hat für größere Instrumente den sogenannten katadioptrischen Schiefspiegler entwickelt. Ihm zu Ehren wird der Schiefspiegler oft auch als Kutter oder Kutter-Teleskop bezeichnet. So wird es auch in dieser Anleitung gehandhabt. Die Bezeichnungen *Schiefspiegler* und *Kutter* sind synonym.

Eine schwache Korrektionslinse, die zwischen dem Sekundärspiegel und dem Brennpunkt angeordnet ist, korrigiert gleichzeitig die Reste von Koma und Astigmatismus, die nach der Passage von Primär- und Sekundärspiegel noch übrig bleiben. Der katadioptrische Kutter ermöglicht daher Öffnungen von 150 mm bis 300 mm mit guter Bildqualität und einem praxistauglichen Öffnungsverhältnis von $f/20$. Die Baulänge eines solchen Teleskopes beträgt etwa 45 % der Brennweite. Es ist ausreichend Schnittweite, neudeutsch „Backfocus“ genannt, für den Anschluss von Zusatzeinrichtungen wie Zenitprisma, Binokularansatz, Kamera, Filterrad oder Dispersionskorrektor vorhanden. Auch Reducer zur Erhöhung der Lichtstärke können eingesetzt werden.

Die Bildqualität des Entwurfes liegt auf der Achse im visuellen Spektralbereich bei für die meistgebauten Öffnungen von 150 und 200 mm bei einem Strehlwert von über 95 %. Geräte mit großen Öffnungen könnten etwas darunter liegen. Die tatsächlich erreichte Bildqualität wird meist nur durch die Qualität der optischen Bauelemente und nicht durch den Entwurf begrenzt.

Die Korrektionslinse ist eine extrem schwache Plankonvexlinse. Sie hat ein

Öffnungsverhältnis von $f/400$! Ihr Farbblänsfehler ist extrem klein, und spielt keine nennenswerte Rolle. Ihr Farbquerfehler wird durch die schwache Keilform ausgeglichen.

Das beugungsbegrenzte Gesichtsfeld übertrifft die $0,25^\circ$, also den scheinbaren Durchmesser des Vollmondes oder der Sonnenscheibe, die für ein astronomisches Teleskop Standard sind.

Das Bildfeld ist praktisch eben, aber zur optischen Achse geneigt. Die Neigung beträgt ca. $7,8^\circ$. Sie ist damit für kleine Sensoren, wie sie in Webcams und Industriekameras verwendet werden, unproblematisch. Für Sensoren ab der APS -C Kategorie, „Vollformat“ (24 x 36 mm) bis zum Mittelformat bei großen Instrumenten, ist die Verwendung eines Adapters anzuraten, der die Feldneigung kompensiert. So ein Adapter kann im Selbstbau hergestellt werden. Näheres dazu im Anhang.

Wie sich die Feldneigung auf die Verwendung von Okularen auswirkt, ist nicht ganz einfach zu beantworten.

Klassische Okulare mit Bildwinkeln bis zu ca. 50° stellen kein Problem dar.

Moderne, extrem gut korrigiert Ultraweitwinkelokulare mit Bildwinkeln von 80 bis 120 Grad können unter Umständen Unschärfe in seitlichen Bereichen des Bildfeldes zeigen. Ob diese Unschärfe wahrgenommen wird, ist von der Akkommodationsfähigkeit des Beobachters abhängig. Falls überhaupt wahrnehmbar, dürfte die Unschärfe erträglich sein und eher ein kosmetisches Problem darstellen.

Die Verwendung von Okularen in einem geneigten Adapter zur Kompensation der Feldneigung wird in der Literatur manchmal angeraten, ist aber nicht empfehlenswert.

Konstruktionsdaten für den katadioptrischen Kutter.

Dieser Abschnitt enthält Daten zur Kontrolle der Abmessungen von bestehenden Teleskopen, um die Einhaltung der optischen Vorschrift überprüfen zu können.

Weiters ist der Neubau von Instrumenten nach bestehenden Optiksätzen, sofern die optischen Elemente rechnungskonform gefertigt wurden, nach diesen Daten möglich. Ambitionierte Amateuroptikerinnen und -optiker finden hier alle notwendigen Angaben für die Herstellung eines katadioptrischen Kutter.

In verschiedenen Veröffentlichungen kann man manchmal leicht unterschiedliche Angaben für die einzelnen optischen Elemente, Winkel, und Abstände, finden. Man darf sich davon nicht irritieren lassen. Es handelt sich manchmal um Abschreibfehler, manchmal um Rundungsfehler. Nach Wissen des Verfassers hat Kutter nur eine einzige Version des katadioptrischen Schiefspieglers veröffentlicht, und alle Hersteller, allen voran Lichtenknecker, haben sich daran gehalten. Die Unterschiede in den dem Verfasser bekannten veröffentlichten Werten sind, sofern es keine groben Fehler sind, jedenfalls so gering, dass sie keine nennenswerte mindernde Auswirkung auf die Bildqualität haben können.

Hier nun der Strahlengang, mit der Bezeichnung der wichtigsten Parameter.

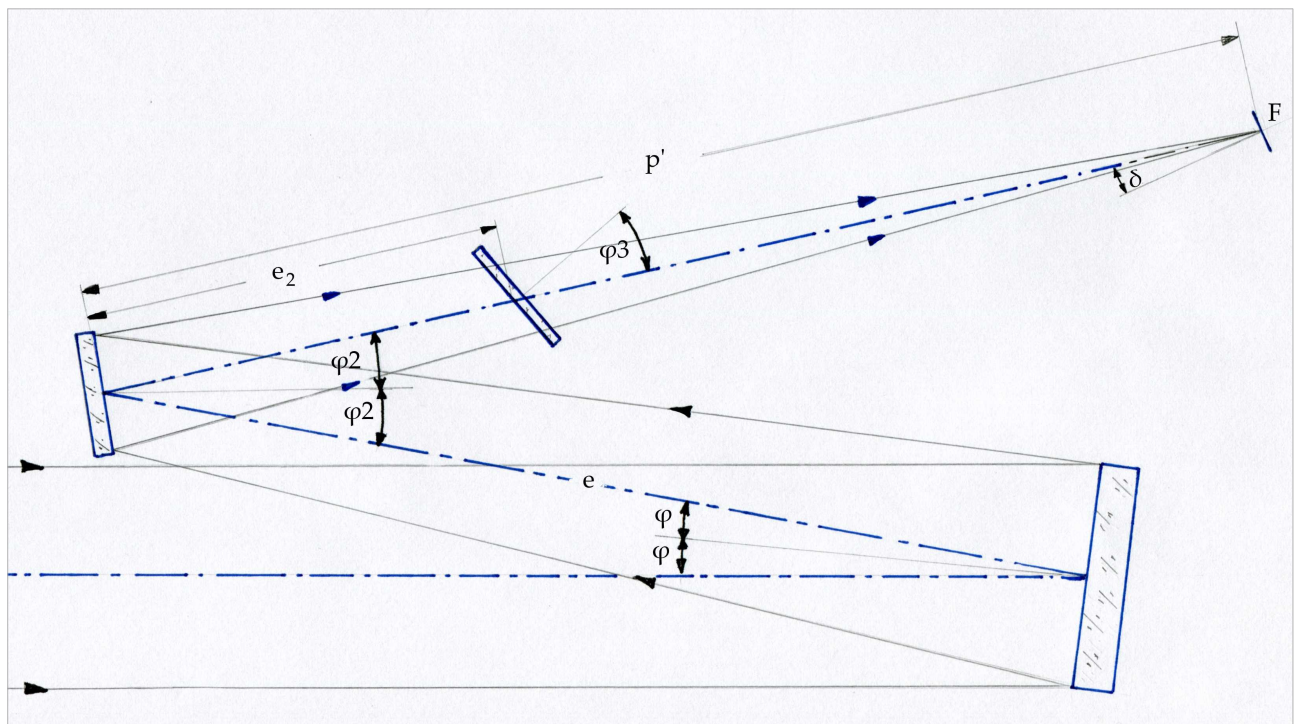


Abb. 1: Strahlengang im katadioptrischen Schiefspiegler nach Kutter. Die Zeichenebene ist die Tangentialebene. Nicht maßstäblich.

Auf der nächsten Seite finden sich tabellarisch nach Öffnung geordnet die mechanischen und optischen Konstruktionsdaten der kommerziell von Lichtenknecker Optics angebotenen Spiegelsätze.

Alle Maße in Millimeter bzw. in Grad. Gerundet.

Parameter	Öffnung des Instrumentes / Brennweite				
	150 / 3000	180 / 3600	200 / 4000	250 / 5000	300 / 6000
D	150	180	200	250	300
R	3600	4320	4800	6000	7200
k	0	- 0,55			
ϕ	3,367 °	3,154 °			
e	1024	1230	1365	1706	2048
D ₂	70	85	95	115	140
R ₂	- 3795	- 4560	- 5060	- 6325	- 7560
ϕ_2	9,717 °	9,072 °			
e ₂	550	672	745	932	1118
D ₃	67	80	90	110	135
R ₃	plan				
i	5	6	7	8	10
v	0,04 – 0,045	0,045 – 0,05	0,05 – 0,06	0,06 – 0,08	0,075 – 0,09
R ₄	11250	22500	15000	18750	22500
ϕ_3	28° ± 8 °				
p'	1294	1545	1725	2156	2588
e ₃	730	875	973	1216	1460
δ	ca. 8°	7,8 °			

Legende:

Parameter: In dieser Spalte sind die für die Konstruktion wichtigen Größen tabellarisch erfasst.

Die weiteren Spalten beziehen sich auf die gebräuchlichsten Öffnungen (**Größe des Instrumentes**), in denen der katadioptrische Schiefspiegler gebaut wird oder wurde. 150 / 3000 bedeutet also: 150mm Öffnung, 3000mm Brennweite.

D Durchmesser des Hauptspiegels.

R Krümmungsradius des Hauptspiegels.

k Konische Konstante, auch Deformationskonstante genannt, des Hauptspiegels. Für den „kleinen“ katadioptrischen Schiefspiegler von 150mm Öffnung ist die asphärische Deformation nicht unbedingt notwendig. Die größeren Versionen

müssen leicht elliptisch deformiert werden, um die sphärische Aberration vollständig zu korrigieren und einen scharfen Brennpunkt zu erhalten. Die Deformationskonstante k ist eine dimensionslose Zahl.

ϕ Kippwinkel des Hauptspiegels. Der Kippwinkel ist beim kleinen 150 mm Schiefspiegler wegen konstruktiver Besonderheiten etwas größer als bei den anderen Versionen.

e Abstand des Hauptspiegels zum Sekundärspiegel.

D_2 Durchmesser des Sekundärspiegels.

R_2 Krümmungsradius des Sekundärspiegels. Der Wert ist negativ, weil der Sekundärspiegel ein Konvexspiegel ist. Der Sekundärspiegel ist beim katadioptrischen Schiefspiegler immer sphärisch.

ϕ_2 Kippwinkel des Sekundärspiegels. Auch dieser Wert weicht für den 150 mm Schiefspiegler von den größeren Versionen ab.

e_2 Abstand des Sekundärspiegels zur Korrektionslinse.

D_3 Durchmesser der Korrektionslinse. In der Amateurszene wurde bemängelt, dass die Korrektionslinsen der Firma Lichtenknecker im Durchmesser zu knapp bemessen sind, und Vignettierung und störende Reflexionen am Linsenrand bewirken. Kutter gab in seiner Originalvorschrift der Korrektionslinse des 200 mm Systems einen Durchmesser von 90 mm. Lichtenknecker stattete seine Spiegelsätze mit Korrektionslinsen aus, deren Durchmesser typischerweise 5 mm kleiner sind als Kutter in seiner Originalvorschrift empfiehlt.

R_3 Krümmungsradius der ersten Fläche der Korrektionslinse, die vom Licht getroffen wird. Diese Seite ist plan.

i Dicke der Korrektionslinse.

R_4 Krümmungsradius der zweiten Fläche der Korrektionslinse. Sie ist sehr schwach konvex gekrümmt. Diese Krümmung ist ohne Hilfsmittel nicht zu erkennen.

v Keil der Korrektionslinse, angegeben in Millimeter. In Grad ausgedrückt: Der Keilwinkel beträgt ca. $0,04^\circ$.

ϕ_3 Kippwinkel der Korrektionslinse. Laut optischer Rechnung 28 Grad. Der Kippwinkel soll, zum Ausjustieren von Abweichungen der optischen und

mechanischen Bauteile vom Sollmaß, um etwa ± 8 Grad variiert werden können.

- p' Abstand vom Sekundärspiegelscheitel bis zum Brennpunkt.
- e_3 Abstand von der Korrektionslinse bis zum Brennpunkt. Näherungsweise.
- δ Neigungswinkel des Bildfeldes gegen die optische Achse. Das Bildfeld ist in die gleiche Richtung geneigt wie die Korrektionslinse. In der Darstellung in Abb. 1 also gegen den Uhrzeigersinn.

Grundlegendes zur Justierung des katadioptrischen Schiefspieglers:

Manchen Sternfreunden, die sich für einen katadioptrischen Kutter interessieren, jagt der Gedanke, nicht nur zwei Spiegel, sondern auch noch eine schiefe Korrektionslinse justieren zu müssen, Angst ein. Es ist jedoch so, dass nach der erstmaligen Justierung eines Schiefspieglers am Sekundärspiegel im Routinebetrieb nicht mehr justiert werden muss. Die kleinen Korrekturen, die wegen minimaler Lageänderungen der Spiegel, oder Formänderung des Tubus durch Temperaturschwankungen oder des „Arbeitens“ von Holz als Tubusmaterial vorgenommen werden müssen, werden am Hauptspiegel erledigt. Hin und wieder ist auch an der Korrektionslinse eine kleine Korrektur notwendig. Die Justierung eines Kutters ist keineswegs ein Hexenwerk.

Im Gegenteil: Durch die große Anzahl an Freiheitsgraden, die für die Justierung zur Verfügung stehen, lassen sich auch Fehler, wie sie durch nicht ganz genau eingehaltene Krümmungsradien der Spiegel, und unvermeidliche kleine Abweichungen in der Ausführung des Tubus, oder der Position der Korrektionslinse, ausgleichen und die im Entwurf gegebene Bildqualität auch tatsächlich erreichen.

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 punktsymmetrisch 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, und der Brennpunkt, sind durch diese Verkippungen nun in einer Ebene angeordnet. Die Punktsymmetrie ist verloren gegangen. 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 Schiefspiegeln ist diese Ebene die Zeichenebene. Diese Ebene wird *Tangentialebene* (oder gleichbedeutend, besonders in der älteren Literatur, auch *Meridionalebene*) genannt.

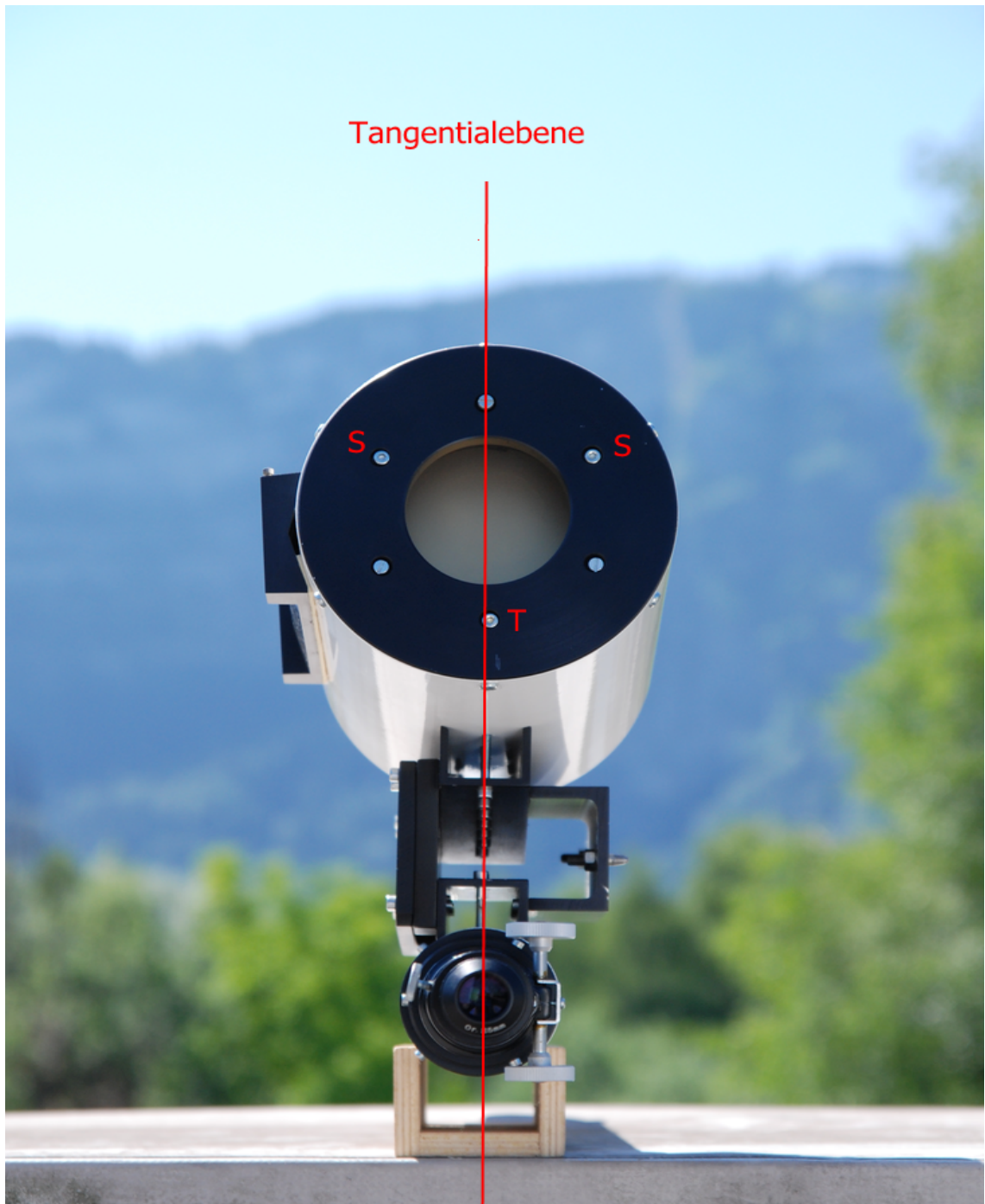


Abb. 2: Ein zu Demonstrationszwecken vertikal aufgestellter 110mm Schiefspiegler der Firma AOK. Die rote Linie bezeichnet die Tangentialebene, die die Symmetrie-Ebene der Schiefspiegler darstellt. Die Justierung wird wesentlich vereinfacht, wenn eine Justierschraube des Hauptspiegels in der Tangentialebene 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 zuerst diese Symmetrie am realen Instrument herstellen. Erst in der Endphase des Justierens erfolgt die Einstellung der korrekten Neigungswinkel.

Nach den Erfahrungen des Verfassers liegt die Ursache vieler Schwierigkeiten, mit denen die Benutzer von Schiefspiegeln beim Justieren kämpfen, in der Unkenntnis, beziehungsweise der Nichtbeachtung, ihrer Symmetrie-Eigenschaft. 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 eine Justierschraube jeder Spiegelfassung in der Tangentialebene.

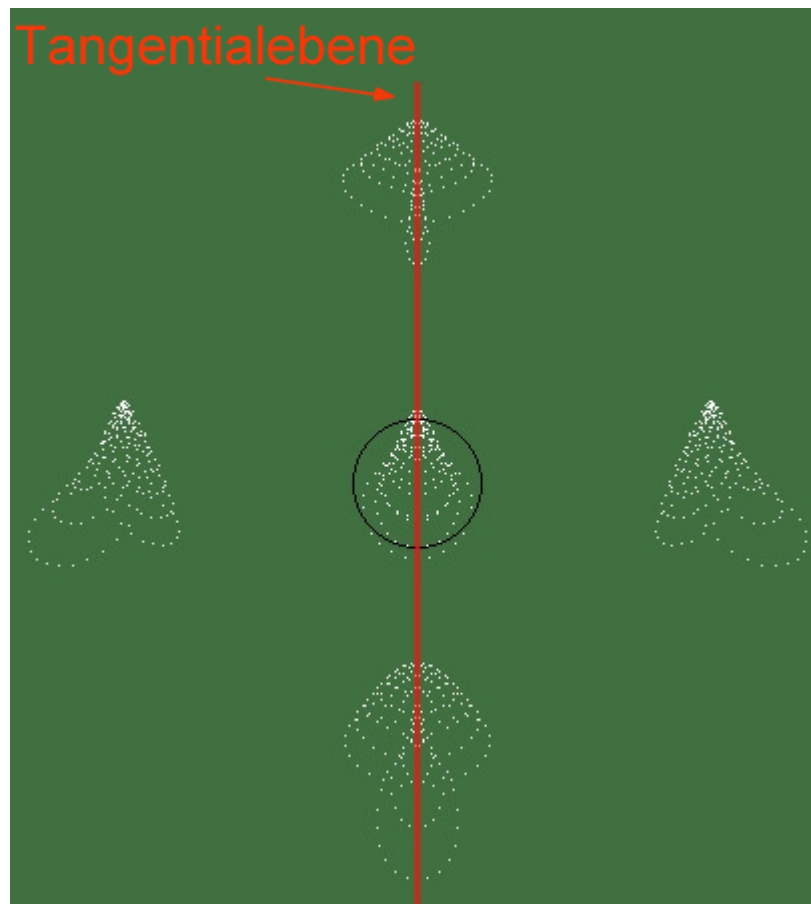


Abb. 3. Die zweiseitige Symmetrie des Schiefspieglers zeigt sich auch im Bildfeld. Die Spotdiagramme liegen spiegelbildlich zur Tangentialebene.



Abb. 4. 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, noch mit Astigmatismus behafteten Sterns in den Okularauszug einkopiert. Die justierende Person 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.

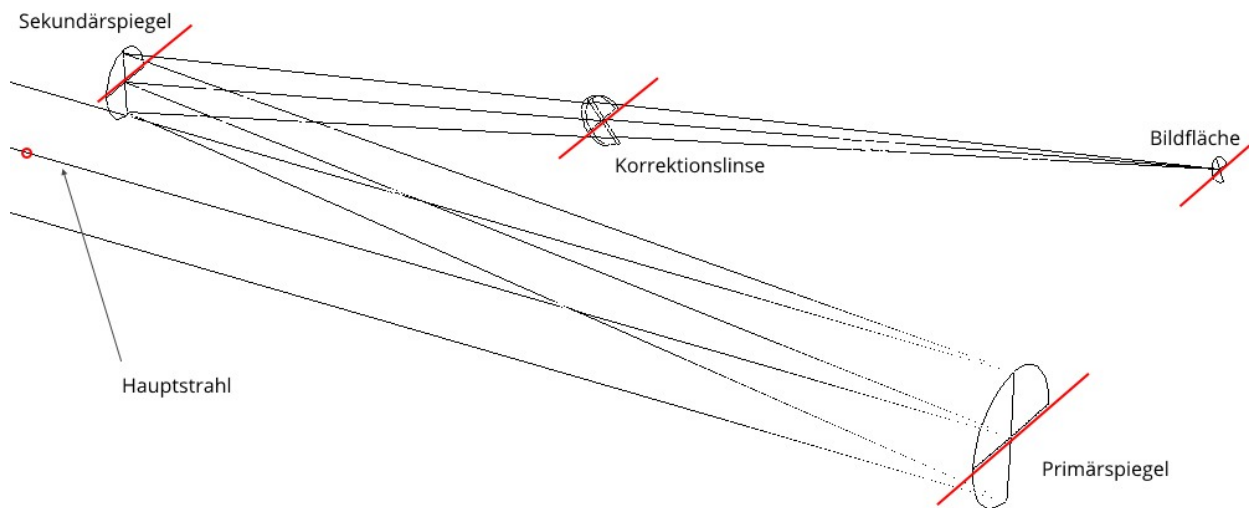


Abb. 5: Perspektivische Darstellung des Strahlenganges im katadioptrischen Kutter. Die Tangentialebene ist durch rote Linien angedeutet. Der Hauptstrahl wird durch einen kleinen roten Kreis gekennzeichnet. Alle Spiegel, die Korrekptionslinse, und sogar die Bildebene sind auf die Tangentialebene ausgerichtet. Auch der Hauptstrahl liegt im korrekt justierten Instrument in der Tangentialebene.

Vorbereitende Arbeiten:

Bestimmte Arbeiten sollten vor der eigentlichen Justierung durchgeführt werden, um einen reibungslosen Ablauf der Justierung zu gewährleisten. Selbstbauer können diese Schritte beim erstmaligen Zusammenbau des Instrumentes erledigen.

Anwender, die ein fertiges Instrument erworben haben, sollten es überprüfen. Erfahrungsgemäß kommt es vor, dass auch kommerzielle Kutter nicht korrekt gebaut sind.

Viele Menschen haben Astigmatismus in ihren Augen, manche sogar in erheblichem Ausmaß. Sie sollten das Justieren, insbesondere das Feinjustieren, immer mit Brille durchführen, sonst justieren sie ihren Astigmatismus dem Instrument auf.

Das mag sich unter Umständen verlockend anhören - dann ist man ja die Brille los und hat ein scharfes Bild! - übersieht aber, dass der Astigmatismus nur für eine bestimmte Instrumentenlage ausjustiert ist. Angenommen, der Kutter ist parallaktisch montiert und wurde in Südrichtung von jemand mit astigmatischem Auge justiert. Wenn dieser Beobachter das Teleskop in Richtung Osten oder Westen ausrichtet, liegt es anders orientiert zum Beobachter, der nach wie vor hinter dem Instrument steht. Und daher taucht wieder Astigmatismus auf.

Daher die Bitte, bei erheblichem Astigmatismus der eigenen Augen stets die Brille zu verwenden, und auch sicherzustellen, dass die verwendeten Okulare frei von Astigmatismus und Farbfehlern sind.

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.



Abb. 6: Diese alte Filmdose dient mir seit vielen Jahren als wichtigstes Hilfsmittel zur Justierung meiner Schiefspiegler.

In die Filmdose, die sehr genau in die Steckhülse für 31,7 mm (1¼ Zoll) Okulare passt, werden zentrisch 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.



Abb. 7: 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 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.



Abb. 8: 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.

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.
- der Abstand von Sekundärspiegel und Korrektionslinse gemäß den Konstruktionsdaten eingestellt.
- die zentrische Positionierung der Korrektionslinse sichergestellt.

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

Abstände einstellen:

Der Abstand der beiden Spiegel sollte auf etwa ± 2 mm genau eingestellt werden. Dieser Abstand ist nicht besonders kritisch. Er sollte nur gewährleisten, dass die Bildebene ungefähr dort zu liegen kommt, wo sie vom Entwurf her vorgesehen ist, vorausgesetzt, dass die Spiegel recht genau die vorgeschriebenen Krümmungsradien aufweisen.

Manchmal muss die Lage der Bildebene in Bezug auf die Fokussiereinheit verändert werden, weil zu viel oder zu wenig Schnittweite („Backfokus“) vorhanden ist. Die Veränderung der Schnittweite ist in gewissen Grenzen möglich, ohne den Korrekturzustand des Teleskopes nennenswert zu verschlechtern. Es gilt für alle Öffnungen folgende Regel:

Eine *Verkürzung* des Spiegelabstandes um 10 mm führt zu einer *Verlängerung* der Schnittweite um etwa 27 mm.

Eine *Verlängerung* des Spiegelabstandes um 10 mm führt zu einer *Verkürzung* der Schnittweite um etwa 26 mm.

Wenn das Sekundärspiegelrohr gegenüber dem Hauptspiegel verschoben wird, muss unbedingt darauf geachtet werden, dass das Rohr nach dem Verschieben wieder in der Tangentialebene orientiert ist. Am besten wird die Tangentialebene am Mantel des Sekundärspiegelrohres und der ihn haltenden Struktur markiert, sodass die korrekte Ausrichtung des Sekundärspiegelrohres nach dem Verschieben überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden kann.

Am einfachsten lässt sich der Spiegelabstand mit einem Stab aus Holz oder Metall

einstellen.

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.



Abb. 9: Ein auf den Abstand der beiden Spiegel zugeschnittener Aluminiumstab wird an den Enden mit einem Mikrofasertuch umwickelt, um beim Einrichten des 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.

Die selbe Vorgangsweise wird bei der Installation der Korrektionslinse angewendet.

Die Korrektionslinse wird bei der Vorjustierung eingesetzt, um die korrekte Lage des Bildfeldes in Bezug auf die Fokussiereinheit zu prüfen.

Es muss sichergestellt sein, dass die Korrektionslinse mittig in ihrer Fassung eingebaut ist. Aufgrund der etwas exotischen Fassung kann dies nicht als gegeben angesehen werden.

Ich habe schon recht abenteuerlich konstruierte Linsenfassungen gesehen, die offensichtlich nicht die richtige Position der Korrektionslinse sichergestellt haben.

Der zentrische Sitz der Korrektionslinse muss deshalb vor der Justierung geprüft und gegebenenfalls korrigiert werden. Es geht dabei nicht um eine extrem genaue Zentrierung im Bereich von Bruchteilen eines Millimeters. Die Korrektionslinse ist optisch sehr schwach und hat daher komfortable Toleranzen. Dennoch sollte die Position auf etwa zwei Millimeter genau stimmen. Man ist dann auf der sicheren Seite. Zentrierung der Korrektionslinse im Fangspiegeltubus:

1 Markieren des Mittelpunktes:

Auf der gekrümmten Seite der Korrektionslinse den Mittelpunkt der Linse mit einem schwarzen Markierungsstift punktförmig markieren. Dazu legt man die Linse auf ein Blatt Papier, auf das mit einem Zirkel oder mit einem Grafikprogramm zwei konzentrische Kreise gezeichnet sind: Ein Kreis, der 3 mm kleiner als der Linsendurchmesser ist, und einer, der 3 mm größer als der Linsendurchmesser ist. Der Mittelpunkt der Kreise ist durch einen schwarzen Punkt gekennzeichnet. Die Linse wird auf ein weiches Tuch gelegt, und die Papierschablone auf die gekrümmte Seite der Linse. Die Schablone wird vorsichtig auf der Linse zentriert: Der Linsenrand soll überall gleich weit von den konzentrischen Kreisen entfernt sein. Genau im Mittelpunkt dieser Kreise auf der Schablone befindet sich ein kleines Loch. In diesem Loch wird mit einem Markierungsstift eine kleine Markierung auf die Linse aufgebracht.

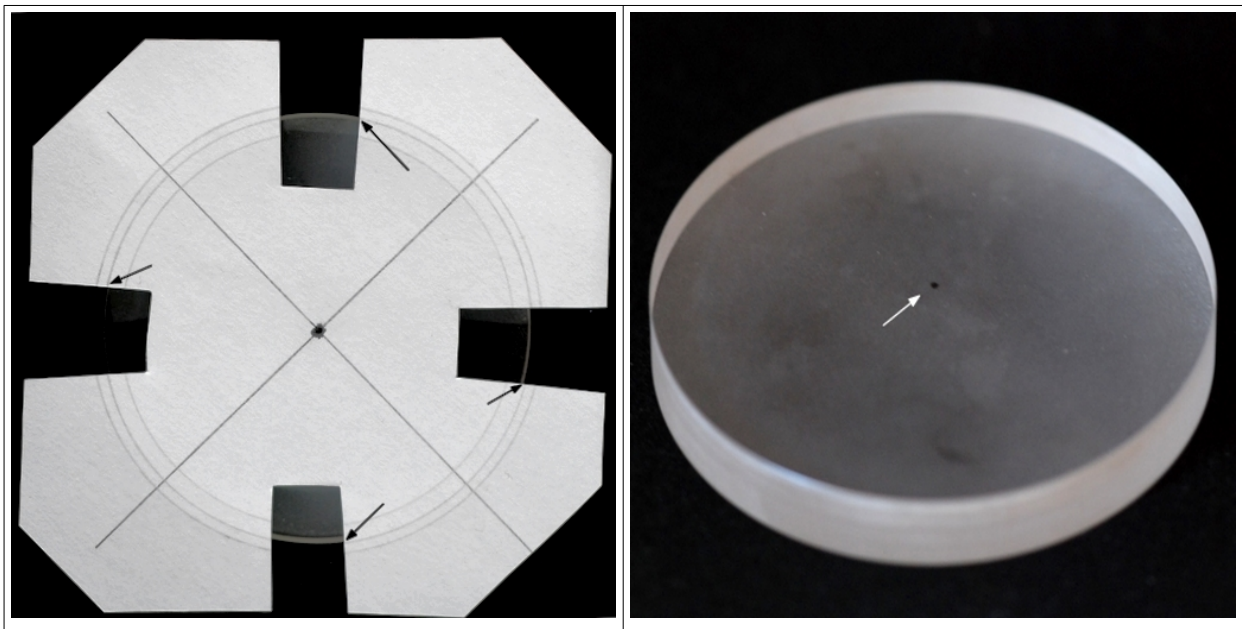


Abb. 10: Auf der Korrektionslinse liegt die aus Papier ausgeschnittene Schablone auf. Vier Einschnitte legen die Ränder der Linse frei. Die Schablone wird exakt auf den Kreis, der dem Durchmesser der Linse entspricht, zentriert. Danach wird mittels Markierstift eine Markierung durch das Loch im Zentrum angebracht. Die markierte Linsenmitte sieht dann aus wie auf dem rechten Bild.

Bei korrekter Durchführung fällt diese Markierung etwa auf einen halben Millimeter genau mit dem Mittelpunkt der Linse zusammen.

Prüfung des zentrischen Einbaues:

Die korrekte Ausrichtung der Fokussiereinheit auf den Sekundärspiegel muss vor der Prüfung der richtigen Position der Korrektionslinse sichergestellt sein.

Die markierte Linse wird nun gemäß dem Entwurf in den Tubus eingesetzt. Beim Blick durch die Visierhilfe muss die Markierung zentrisch liegen.

Bei Anwendung eines Justierlasers muss die Markierung vom Laserstrahl getroffen werden. Das ist nicht ganz leicht zu erkennen. Man kann sich behelfen, indem man mittels einen kleinen Spiegels in das Sekundärspiegelrohr hinunter blickt.

Falls die Markierung nicht zentrisch liegt bzw. nicht vom Laser getroffen wird, ist die Korrekionslinse in der Fassung so zu verschieben, dass diese Bedingung erfüllt wird.

Wie das im Detail erfolgt, ist abhängig von der mechanischen Ausführung des jeweiligen Instrumentes. Diese Anleitung kann dazu keine genauen Hinweise geben. Weiters sollte kontrolliert werden, ob die Kippachse für die Verstellung der Linsenneigung genau senkrecht auf die Tangentialebene steht. Nach erfolgter Vorarbeit wird die Markierung der Linsenmitte mit Alkohol entfernt.

Montage der Korrekionslinse:

Der richtige Einbau der schwach keilförmigen Korrekionslinse in den Strahlengang ist für die optimale Funktion des Teleskopes wichtig. Sie muss so eingebaut werden, dass die Planfläche zum Sekundärspiegel zeigt. Die dickste Stelle der Linse muss zum Hauptspiegel zeigen. Der Drehpunkt der Linse ist in den Scheitel der konvexen Fläche zu legen. Diese letzte Forderung ist aber nicht wirklich wichtig.

Im Idealfall ist die Fassung der Korrekionslinse so ausgeführt, dass die Linse in der Tangentialebene ein paar Millimeter verschoben werden kann. So können kleinste Reste an Farbquerfehler ausjustiert werden. Diese Möglichkeit dürfte aber nur für Instrumente mit großer Öffnung, also etwa ab 250mm, von Interesse sein. Oder, wenn die Korrekionslinse keine Keilform hat. Näheres dazu im Abschnitt über die Feinjustierung.

Falls die Korrekionslinse von der Firma Lichtenknecker hergestellt wurde, ist die untenstehende Passage aus einer Firmenschrift zu beachten:

Ein **T** am Linsenrand markiert die dickste Stelle der Linse. Der Querbalken des **T** weist auf die Planfläche der Linse hin.

Linsen von Selbstbauern haben eventuell andere, oder gar keine Markierung für die richtige Orientierung. Es empfiehlt sich, falls keine Markierung vorhanden ist, eine solche anzubringen. Dazu muss die Planfläche zweifelsfrei identifiziert werden.

Das kann geschehen, indem man unter ganz kleinem Winkel, also ganz flach, mit der Linse nahe am Auge, gegen eine weit entfernte, fein strukturierte, kontrastreiche Fläche blickt. Die Planfläche der Linse zeigt immer ein unverzerrtes Bild des anvisierten Objektes. Die konvexe Fläche zeigt ein verzerrtes Bild des Objektes. Falls ein Planglas zur Verfügung steht, kann man die Linse auflegen und bequem bestimmen, welche Seite die Planfläche ist.

Auch ist die dickste Stelle mittels eines guten Messschiebers oder eines Mikrometers zu bestimmen. Dann kann die Markierung am einfachsten mit einem mittelharten Bleistift angebracht werden. Wenn die Möglichkeit dazu besteht, kann die Markierung auch dauerhaft in den Linsenrand graviert werden. Dabei ist die Gefahr der Beschädigung

der Linse zu bedenken.

Wenn möglich, sollte der Rand der Linse mit schwarzem Lack bemalt werden, um Streulicht vom Linsenrand so gering wie möglich zu halten.

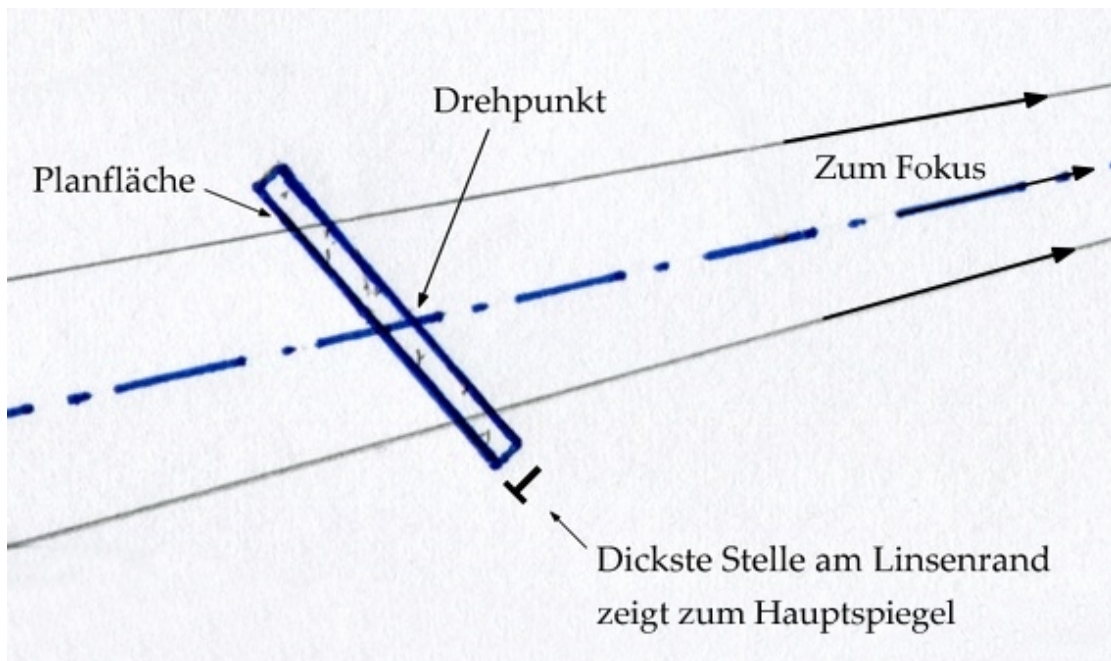


Abb. 11: Details zur Montage der Korrektionslinse.

Abschließend muss leider gesagt werden, dass dem Verfasser Instrumente bekannt sind, bei denen die Korrektionslinse fest eingebaut ist, und ihr Neigungswinkel deshalb nicht verstellt werden kann. Dies stellt einen schweren Mangel dar, denn damit ist ein extrem wichtiger Freiheitsgrad nicht verfügbar. Zwar mag es sein, dass, wenn der Zufall mithilft, ein so gebautes Instrument ordentliche Bilder zeigt. Der Normalfall ist das aber nicht. Deshalb ist jedem Sternfreund, der den Kauf eines katadioptrischen Kutter ins Auge fasst, geraten, zu kontrollieren, ob die Korrektionslinse in ihrer Neigung verstellbar ist.

Weiters scheint bei manchen Sternfreunden die Vorstellung zu herrschen, dass die Korrektionslinse, gerade weil sie so schwach ist, unwichtig sei und weggelassen werden könne.

Diese Ansicht ist grundfalsch, und beruht auf völliger Unkenntnis der Funktionsweise dieses Instrumentes.

Vorjustierung bei Tageslicht:

Schritt 1: Zunächst wird der Abstand der Spiegel so genau wie möglich gemäß der Konstruktionsdaten eingestellt. Weiters wird der Abstand der Korrektionslinse vom Sekundärspiegel, und, ungefähr, auch ihre Neigung eingestellt.

Schritt 2: Wir stecken die Visierhilfe in den Okularauszug und justieren die

Fokussiereinheit so, dass der Sekundärspiegel zentrisch in der Visierhilfe zu sehen ist. Falls statt der Visierhilfe ein Laser verwendet wird, muss der Laserstrahl das Zentrum des Sekundärspiegels treffen.

Schritt 3: 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.

Schritt 4: Mit den sagittalen Justierschrauben des Hauptspiegels wird er so eingestellt, dass die Längsachse des Fangspiegelrohres in die Tangentialebene zu liegen kommt. Das Fangspiegelrohr teilt den Hauptspiegel dann genau in der Mitte. Schwer zu beschreiben, ist aber ganz einfach.

Wenn diese Teilung erreicht ist, wird die tangentialen Justierschraube des Hauptspiegels so lange gedreht, bis das Fangspiegelrohr gerade aus dem Hauptspiegel heraus gewandert ist.

Schritt 5: Jetzt wird ein langbrennweitiges Okular eingesetzt und ein mindestens zwei Kilometer entferntes Objekt (Kirchturmspitze, Hochspannungsmast, Mond) anvisiert.

Auch mit dem jetzt noch erheblich dejustierten Kutter sollte ein leidlich scharfe Bild zu sehen sein, das die Feststellung der Bildebene ermöglicht.

Sind bei Anwendung eines Binokularansatzes noch Objekte im Unendlichen scharf einstellbar? Bei Anwendung einer DSLR Kamera, eines Korrektors für die atmosphärische Refraktion?

Wenn Nein: Abstand zwischen Primärspiegel und Sekundärspiegel um 5 mm verkleinern und wieder probieren. So lange wiederholen, bis der Fokus an der gewünschten Stelle liegt. Hauptspiegelrohr und Sekundärspiegelrohr dürfen bei den Abstandsänderungen nicht gegeneinander verdreht werden!

Weiter bei Schritt 2.

Schritt 6: Endkontrolle. Wir richten das Instrument gegen den hellen Taghimmel, und blicken durch die leere Okularsteckhülse. Wir kontrollieren, ob der Hauptspiegel in seiner ganzen Fläche sichtbar ist, oder wird er irgendwo beschnitten, etwa durch das Sekundärspiegelrohr, oder durch falsch dimensionierte oder positionierte Streulichtblenden? Gelangt von irgendwo her noch Streulicht in die Bildebene? Wenn ja, muss dieses Licht ausgeblendet werden. Im Idealfall ist von der gesamten Bildebene, also egal, ob man von der Mitte oder vom Randbereich des Okularstutzens aus blickt, der gesamte Hauptspiegel sichtbar, umgeben von völliger Schwärze.

Die Vorjustierung ist damit beendet.

Die Feinjustierung:

Ziel der Feinjustierung ist, die maximal mögliche Bildqualität des Instrumentes zu erreichen.

Die Feinjustierung wird an einem natürlichen oder künstlichen Stern bei hoher Vergrößerung durchgeführt. Voraussetzung ist, dass das Instrument mit einem Sucher ausgerüstet ist, denn beim Feinjustieren wandert der Stern immer wieder aus dem Sichtfeld und muss wieder zurückgeholt werden. Ohne Sucher wird das zur Qual.

Gut geeignet sind Sterne der zweiten oder dritten Größenklasse, denn sie sind weder zu hell, was zu Überstrahlungen führt und das Erkennen feiner Details im Beugungsbild erschwert, noch zu schwach.

Für die ersten Versuche, und besonders für Ungeübte, sind künstliche Sterne noch besser geeignet. Die Reflexion der Sonne an den Isolatoren von Hochspannungsleitungen ergibt oft erstaunlich ruhige künstliche Sterne, besonders an windstillen späten Nachmittagen. Der Isolator sollte mindestens einen Kilometer vom Teleskop entfernt sein.

Um den bestmöglichen Kontrast für die Betrachtung der Beugungsbilder zu erreichen, ist die Verwendung von Farbfiltern angeraten. Gelb- oder Grünfilter sind sehr gut geeignet. Bei sehr dunstiger Luft, oder schlechterem Seeing, kann auch ein Rotfilter verwendet werden.

Die Feinheiten des Beugungsscheibchens werden im monochromatischen Licht besser sichtbar.

Grundsätzlich ist es notwendig, dass das Teleskop für die Feinjustierung thermisch ausgeglichen ist. Es muss mindestens eine Stunde vor Beginn der Arbeiten aufgestellt werden. Schutzdeckel für die Spiegel sind abzunehmen. Sofern eine Abdeckung der Öffnung am Sekundärspiegelrohr vorhanden ist, muss sie geöffnet oder abgenommen werden. Allenfalls vorhandene Ventilatoren sind einzuschalten. Das Okular bitte aus der Fokussiereinheit entfernen, damit sich ein Luftzug im Tubus einstellen kann.

Es können sich sonst thermisch bedingte Bildstörungen ergeben, die schwer zu erkennen sind und den Justierer an seinen Fähigkeiten zweifeln lassen!

Für die Feinjustierung übergebe ich das Wort an Anton Kutter. Er beschreibt diesen Vorgang wohl am besten.

Noch eine Anmerkung: Kutter verwendet das Wort "exfokal" für jede Einstellung des Okulars abweichend von der exakten Scharfstellung. "Exfokal" bezieht sich also sowohl auf intra- wie auch auf extrafokal.

Im Falle des katadioptrischen Schiefspieglers, welcher bekanntlich im Spiegelsystem

Astigmatismus- und Komareste erzeugt, müssen beide Fehlerreste in mehreren Feinjustier-Schritten aufgehoben werden.

Die Feinjustierung der beginnt mit der Eliminierung des Astigmatismus. Zunächst stellen wir die Neigung der Korrektionslinse auf den Wert, der aus der Berechnung hervorgegangen ist, ein und bedienen uns zu diesem Zweck einer Schablone.

Es bedeutet keinen Beinbruch, wenn dieser Winkel nicht genau mit dem theoretischen Wert übereinstimmt, denn wir werden ihn, so oder so, doch den effektiven optischen und mechanischen Maßen des ausgeführten Instrumentes anpassen.

Wir erkennen dies daran, dass die exfokalen Beugungsbilder eines eingestellten Sternes zunächst weder die exakte Kreisform, noch Ellipsen zeigen, deren Achsen parallel zu den Kardinalenen unseres Instrumentes liegen.

Die Justierung beginnen wir daher mit der Korrektur der Achsenlagen indem wir an einer der sagittalen Hauptspiegel-Justierschrauben drehen bis eine der Ellipsenachsen mit der Tangentialebene zusammenfällt. Durch Betätigen der tangentialen Justierschraube am Hauptspiegels wird schließlich die Lichtellipse zur Kreisform gerundet.

Nun mustern wir sehr kritisch die Lichtverteilung im Randbereich des möglichst fokushen Scheibchens. Wahrscheinlich wird die eine, symmetrisch zur Sagittalebene liegende Hälfte des Lichtringchens heller sein als die gegenüber liegende Hälfte. Ist das Instrument exakt gebaut, dann liegt die hellere Hälfte des Ringchens symmetrisch zur Tangentialebene. Sind die Sichtbedingungen so gut, dass wir bei starker Vergrößerung (ungefähr das 1,5 fache des Hauptspiegeldurchmessers in Millimetern) so nahe am Fokus beobachten können, dass die ehemalige Scheibe zu einem einzigen, diffusen Lichtring zusammengeschrumpft ist, dann erkennen wir auch den schwachen Lichtpunkt im Ring und können feststellen, dass er nicht genau im Zentrum des Lichtringes liegt, sondern in meridionaler Richtung exzentrisch zu der hellsten Stelle des Ringes hin versetzt ist.

Beides, ungleich verteilte Helligkeit im Lichtring, wie auch die exzentrische Stellung des Lichtpunktes, sind die Anzeichen noch vorhandener Koma-Reste.

Um die Koma-Reste justieren zu können, müssen wir wissen, ob sie noch unterkorrigiert oder aber bereits überkorrigiert sind. Man könnte dies experimentell feststellen, aber dies kostet unnötigerweise Zeit. Und Zeit ist bei den besten Sichtbedingungen ein kostbarer Faktor. Ein Denk-Experiment [...] sagt uns schneller, ob unter- oder überkorrigiert.

Wir stellen uns vor, dass der Hauptspiegel unseres Instrumentes so groß sei, dass er unser Okularbildfeld einbeschließt, d.h. dass das Okularbildfeld ein exzentrischer Teil des Hauptspiegels sei, dessen Meridian daher auch der Meridian unseres Bildfeldes ist.

Liegt nun die hellste Stelle des diffusen Lichtringes auf jener Seite, welche dem Zentrum des vergrößert gedachten und damit dem wahren Zentrum unseres Hauptspiegels näher liegt als der schwächer leuchtende Ringteil, dann ist der

Komarest noch unterkorrigiert. Beim Fokussieren einer solchen Sternfigur schrumpfen dann hellste Stelle des Ringes und Lichtpunkt zu einem hellen Kern zusammen, von dem ein gefächerter Lichtschweif ausgeht: die gefürchtete Koma.

Liegt die hellste Stelle des exfokalen Lichtringes aber auf der entgegengesetzten Stelle, sodass beim Fokussieren des Bildes der exzentrische Lichtausbruch gegen das Zentrum des Hauptspiegels zeigt, dann ist die Koma bereits überkorrigiert.

Ist noch unterkorrigierte Koma vorhanden, dann muss der Neigungswinkel ϕ_3 der Korrektionslinse vergrößert werden.

Ist der Komarest bereits überkorrigiert, muss ϕ_3 verkleinert werden.

Da dieses Verfahren [...] in doppeltem Sinn wirkt, sollte die Veränderung in verhältnismäßig kleinen Schritten vorgenommen werden.

Diese Neigungsänderung wirkt sich aber bekanntlich nicht nur allein auf die Koma aus, sondern noch weit kräftiger auf den bereits korrigierten Astigmatismus des Systems. Zunächst werden wir also wieder eine exfokale Lichtscheibe von elliptischer Form vorfinden, die wir mit Hilfe der tangentialen Hauptspiegeljustierschraube zur kreisrunden Scheibe zurückführen müssen um entscheiden zu können, wie weit sich die Koma, d.h. die ungleiche Lichtverteilung im fokusnahen Scheibchen und die exzentrische Lage des Lichtpunktes, gebessert hat. Zu ihrer restlosen Eliminierung werden mindestens drei, wenn nicht vier Neigungsänderungen der Korrektionslinse und ebenso viele Nachjustierungen des Astigmatismus notwendig sein, denn den richtigen Wert für ϕ_3 wird man erst dann einstellen können, wenn man einmal über das Ziel hinausgeschossen und in jenem Korrekturzustand gelandet ist, der entgegengesetzt dem ursprünglichen ist.

Für diese Komakorrektur möchte der Verfasser einen dringenden Rat geben: Man verlasse sich dabei niemals auf sein Gedächtnis, sondern mache Notizen über die jeweiligen Manipulationen und deren Ergebnisse. Es ist eine Erfahrungstatsache, dass beim Justieren auch das beste Gedächtnis so sehr mit Informationen überfüttert wird, dass es schließlich doch irgendwann versagt, und man statt vorwärts rückwärts operiert.

Auch bei der katadioptrischen Anlage bereitet nicht die Technik des Justierens Schwierigkeiten, sondern einzig und allein das Seeing. Wenn der Verfasser das Kapitel Justieren so ausführlich, vielleicht sogar weitschweifig angelegt hat, dann nicht weil er es als neuralgischen Punkt des Schiefspieglers betrachtet, sondern weil es nun einmal das A und O für jedes Teleskop ist und er den Fehler mancher Bücher und Bauanleitungen für Astro-Teleskope, die wohl sehr instruktiv über den Schliff und die Figurierung eines Spiegels berichten, aber die Justierung meist nur stiefmütterlich behandeln, vermeiden wollte.

Soweit Anton Kutter, der Erfinder des katadioptrischen Schiefspieglers.

Im letzten Schritt geht es um die Beseitigung des Farbquerfehlers. Falls ein Farbfilter eingesetzt wurde, wird er nun entfernt, und ein hoch stehender, möglichst heller weißer Stern eingestellt. Der Stern sollte maximal zwanzig Grad vom Zenit entfernt stehen, um Verfälschungen durch die atmosphärische Refraktion, die auch einen Farbquerfehler erzeugt, auszuschließen. Wir verwenden ein gut korrigiertes Okular mit geringem Farbquerfehler, zum Beispiel ein Plössl- Okular, und stellen den Stern möglichst genau in das Zentrum des Gesichtsfeldes ein.

Sind in tangentialer Richtung farbige Ränder am Stern zu sehen, oder ist er zu einem kurzen Spektrum auseinander gezogen?

Wenn nein: Es ist alles gut. Der Farbquerfehler ist so klein, dass er nicht relevant ist.

Wenn ja: Um sicher zu gehen, dass die Farben nicht durch das Okular hervorgerufen wird, wird der Stern einmal links und einmal rechts von der Bildmitte in tangentialer Richtung eingestellt. Wenn sich die Farben dabei umkehren, liegt der Fehler am Okular, und es muss gegen ein besser korrigiertes ausgetauscht werden.

Die Linse muss nun in der Tangentialebene seitlich verschoben werden. In welche Richtung? Wir versetzen sie um einige Millimeter in die Richtung, in der wir den rötlichen Teil des Spektrums gesehen haben.

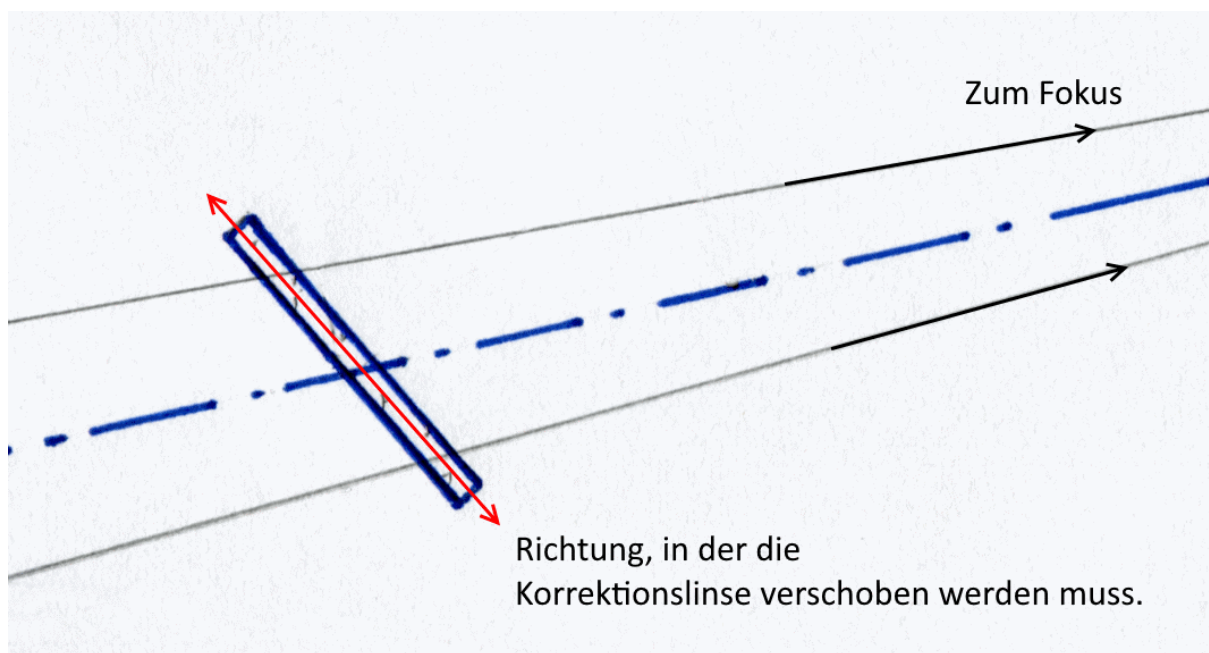


Abb. 12: Die Korrekturlinse ist in der Tangentialebene des Instrumentes zu verschieben. Eventuell muss dazu die Linsenfassung modifiziert werden. Denn die wenigsten Linsenfassungen dürften für für diese Maßnahme ausgelegt sein. Dieser Justierschritt sollte aber nur in wenigen Fällen überhaupt notwendig sein!

Schlussbemerkung.

Nun sind Sie, liebe Leserin, lieber Leser, am Ende dieser langen Anleitung angekommen. Höchstwahrscheinlich schwirrt Ihnen der Kopf von den unbekanntem Begriffen, und der gewöhnungsbedürftigen Geometrie dieses Teleskoptyps. Manches wird beim ersten Justierversuch nicht optimal gelingen.

Doch haben sie jetzt die Möglichkeit, alle Bildfehler, der durch kleinere Abweichungen bei den Spiegelbrennweiten, und der mechanischen Konstruktion des Tubus aufgetreten sein mögen, komplett zu eliminieren. Jetzt kann das Instrument seine volle Leistung am Himmel entfalten.

Quellen:

- [1] Brunn, Michael: *Justieranleitung für Schiefspiegler*. Selbstverlag, Höxter, 1993
- [2] Kutter, Anton: *The Schiefspiegler (Oblique Telescope)*, Sky & Telescope Bulletin A, Sky Publishing Corporation, Harvard Observatory, Cambridge, Massachusetts, 1958. Enthält Theorie und Anweisungen zur Justierung seiner verschiedenen Entwürfe.
- [3] Oberndorfer, Hans: *Fernrohr-Selbstbau*, Kapitel *Der Bau eines 150 mm Schiefspieglers mit Korrektionslinse*. Verlag Sterne und Weltraum, 5. Auflage 1985, S. 47ff., und die Planskizzen im Anhang.
- [4] Allmacher, E.: *Der Schiefspiegler: Justieranleitung und Bauhinweise*. In: Paech, Wolfgang und Baader, Thomas: *Tipps und Tricks für Sternfreunde*. 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, 2000, S. 78 ff
- [5] Kutter, Anton: *Theorie und Praxis des Schiefspieglers*. Unveröffentlichtes Manuskript, 1969

Anhang : Adapter zum Ausgleich der Feldneigung für größere Sensoren.

Dieser Adapter gleicht die Schräglage des Bildfeldes aus, und ist ratsam, wenn Sensoren größerer Bilddiagonale verwendet werden. Unter "größer" ist alles von etwa APS-C aufwärts gemeint. Der Adapter kann auch für kleinere Sensoren eingesetzt werden, wird dann aber wenig Wirkung zeigen.

Er sollte möglichst nahe am Brennpunkt eingesetzt werden, also nicht vor weiteren Zusatzeinrichtungen wie Filterschublade oder Dispersionskorrektor. Je näher der Knick im Strahlengang am Sensor liegt, desto geringer ist die Verschiebung des Bildes gegenüber der Beobachtung ohne Feldneigungskorrektor.

Der Verfasser hat für einen anastigmatischen Kutter einen Korrektor aus einer

preiswerten T2 - Verlängerungshülse gebaut. Es war ein Versuch mit minimalem finanziellem und zeitlichem Aufwand.

An Werkzeug war nur ein Geodreieck, eine Handsäge und etwas Schleifpapier notwendig. Dazu noch 2-Komponenten Epoxidkleber.

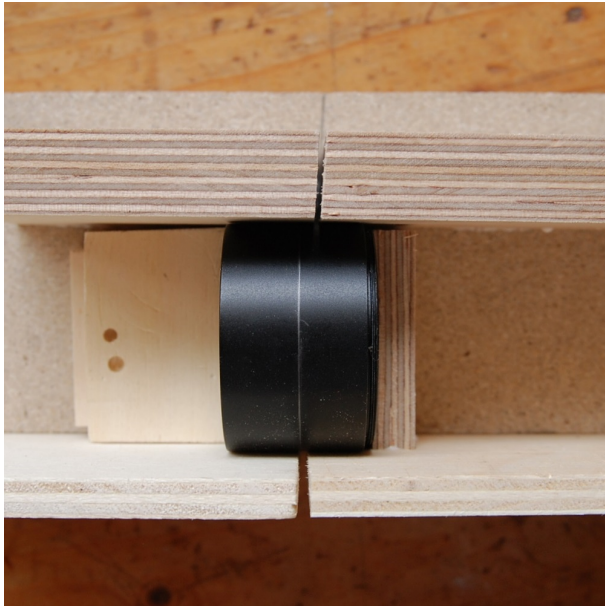
Aus Holzresten wurde eine Lehre gebaut, deren zwei Spalte 90° plus den halben Feldneigungswinkel vorgeben. Die Hülsenteile wurden dann auf einer planen Fläche mit Schmirgelpapier Körnung 120 eben geschliffen, und unmittelbar darauf mit 2K Kleber verklebt. Die Teile wurden so orientiert, dass sich die beiden halben Neigungswinkel zum vollen Neigungswinkel addierten.

Die Verbindung hält seit fünf Jahren. Falls gewünscht, kann die Verbindung durch Verschrauben mit drei um 120° versetzten, dünnen Blechstreifen gesichert werden.

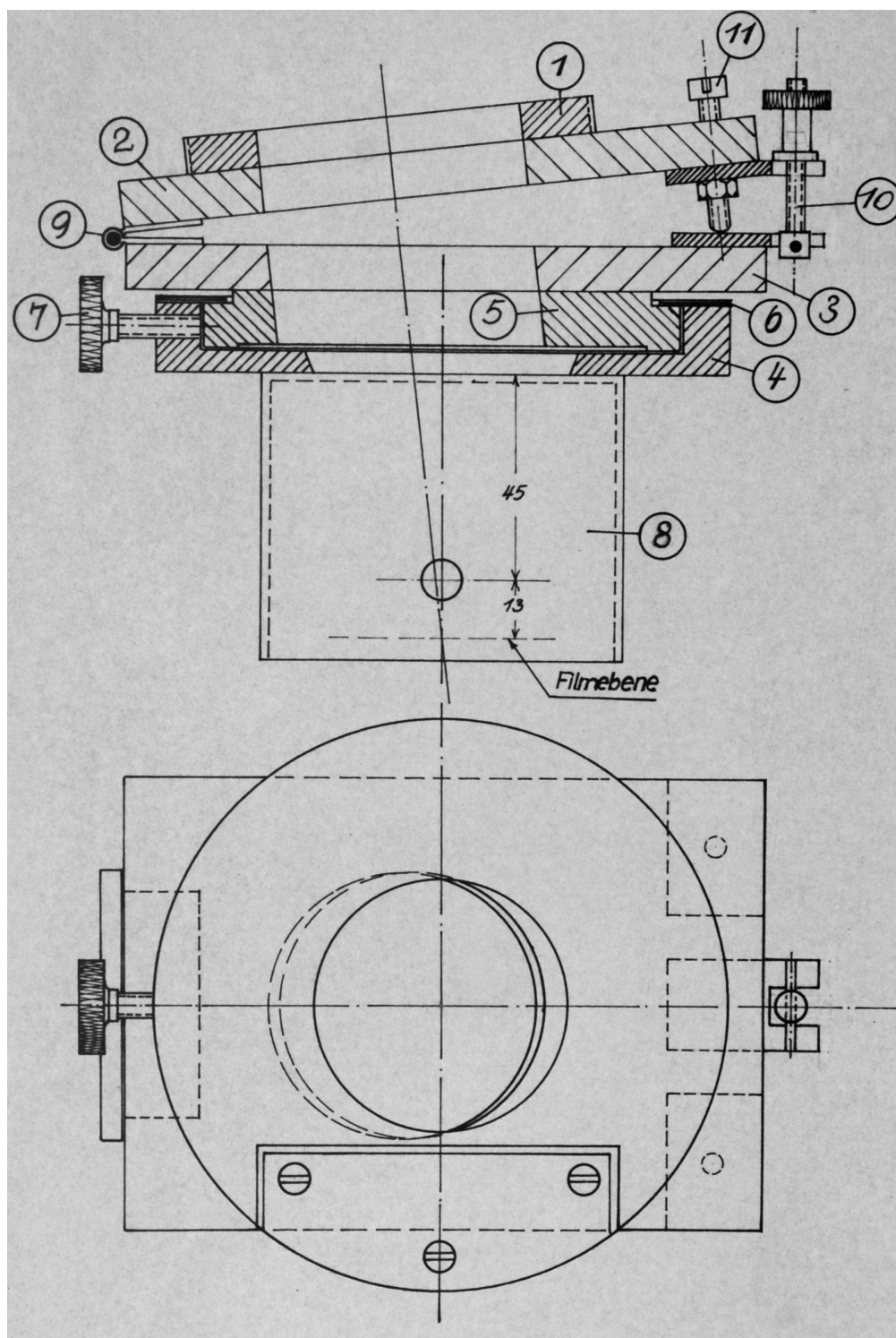
Wenn der Neigungskorrektor am Teleskop angesetzt wird, ist er so zu orientieren, dass

- die maximale Neigung mit der Tangentialebene zusammenfällt, und
- die richtige Orientierung des Anschlusses erreicht wird: Der Anschluss muss so orientiert werden, dass der Kippwinkel des Korrektors sich zum Hauptspiegel hin öffnet.

Auf der folgenden Seite ist die Entstehung dieses einfachen Adapters in einigen Fotos dokumentiert.



Es sind natürlich auch aufwendigere Konstruktionen möglich, bei denen sowohl der Versatz des Bildfeldes ausgeglichen, und die Neigung stufenlos verstellt werden kann, um ein perfektes Ergebnis zu erzielen. Ein Bauplan von Anton Kutter für einen solchen Adapter ist beigegeben. Die Zeichnung sagt dem versierten Bastler alles.



Dornbirn, im Sommer 2021