

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Band:** 49 (1991)  
**Heft:** 247

**Artikel:** Zentrieren, Justieren, Kollimieren Teil 2  
**Autor:** Ziegler, H.G.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-898962>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 06.10.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Zentrieren, Justieren, Kollimieren Teil 2

H.G. ZIEGLER

Im ersten Teil wurden die Begriffe erklärt und beschrieben, wie sich eine ungenau kollimierte Optik auf die Bildgüte auswirkt. Es gilt nun die praktischen Aspekte zu behandeln und zu zeigen, wie eine Teleskopoptik zentriert, justiert und kollimiert wird. Als Beispiel wird das Newton-System behandelt, da es die gebräuchlichste Spiegeloptik des Amateurs ist und weil der Fangspiegel ein besonderes Kollimationsproblem aufwirft. Bevor die einzelnen Schritte und Techniken behandelt werden, muss noch auf einige allgemeine Gesichtspunkte eingegangen werden.

## Das Bezugssystem

Bei optischen Systemen kann eine charakteristische Wellenfront-Deformation jedem einzelnen Element zugeordnet werden. Bei den Begriffen justieren und kollimieren sind hingegen immer zwei Elemente oder Elementgruppen involviert, wobei die Elemente selbst als fehlerfrei angenommen werden. Wenn die optischen Achsen von zwei Elementen zur Fluchtung gebracht werden sollen, dann muss eine der beiden Achsen zum Bezugssystem gemacht und die andere mit den notwendigen Einstellelementen ausgerüstet sein. Vom optischen Standpunkt aus sind beide Elemente gleichwertig. Es ist belanglos, welches Element als Bezugssystem gewählt wird. Bei Newton-Teleskopen sind in der Regel die Fokussiereinheit oder der Okularauszug fest mit dem Rohr verbunden. An diesen Baugruppen sind in diesem Fall keine Justiereinrichtungen vorhanden, mit denen sie lateral verschoben und gekippt werden können. Damit ist der Okulartubus als Ausgangselement und die Okularachse als Bezugssystem festgelegt. Hier müssen der Fang- und Hauptspiegel mit den notwendigen Justiereinrichtungen versehen sein. Es kann jedoch übergeordnete Gesichtspunkte geben, die das Bezugselement und die Bezugsachse festlegen. Ein solcher übergeordneter Gesichtspunkt ist das Rechtwinkeligkeits-Kriterium, das fordert, dass die optische Achse (im weiteren OA genannt) des Hauptspiegels bezüglich der Rohrachse zentriert ist und diese mit der Deklinationsachse einen rechten Winkel bildet. Würde man von der willkürlich angeordneten Okularachse ausgehen, dann wäre nach der Kollimation des Hauptspiegels dieses Kriterium nicht mehr erfüllt. In den meisten Kollimations-Anweisungen wird diesem Aspekt nicht Rechnung getragen. Da in Zukunft immer mehr Amateurteleskope über Winkelencoder mit Computern zusammenarbeiten werden, wird hier von einem rohrzentrierten Hauptspiegel und einem rechtwinkligen Achssystem ausgegangen. In diesem Fall ist die Reihenfolge der einzelnen Schritte:

- zentrieren des Hauptspiegels in Bezug auf die Rohrachse
- kollimieren des Fangspiegels und der Okularachse in Bezug auf die rohrzentrierte Hauptspiegelachse
- Kontrolle der Rechtwinkeligkeit. Gegebenenfalls sind Nachjustagen am Rohrsattel auszuführen.

## Zentrieren der Hauptspiegelachse bezüglich der Rohrachse

Zum Zentrieren ist der Fangspiegel auszubauen, da die OA nicht abgeschattet sein darf. Ferner benötigt man zwei

Hilfseinrichtungen, die sehr einfach und mit geringem Aufwand hergestellt werden können. Es sind dies:

- ein Zentrierschirm. Er wird auf einem Fotostativ befestigt
- eine Rohrauflage, die ein spielfreies Drehen des Rohres um seine Achse erlaubt.

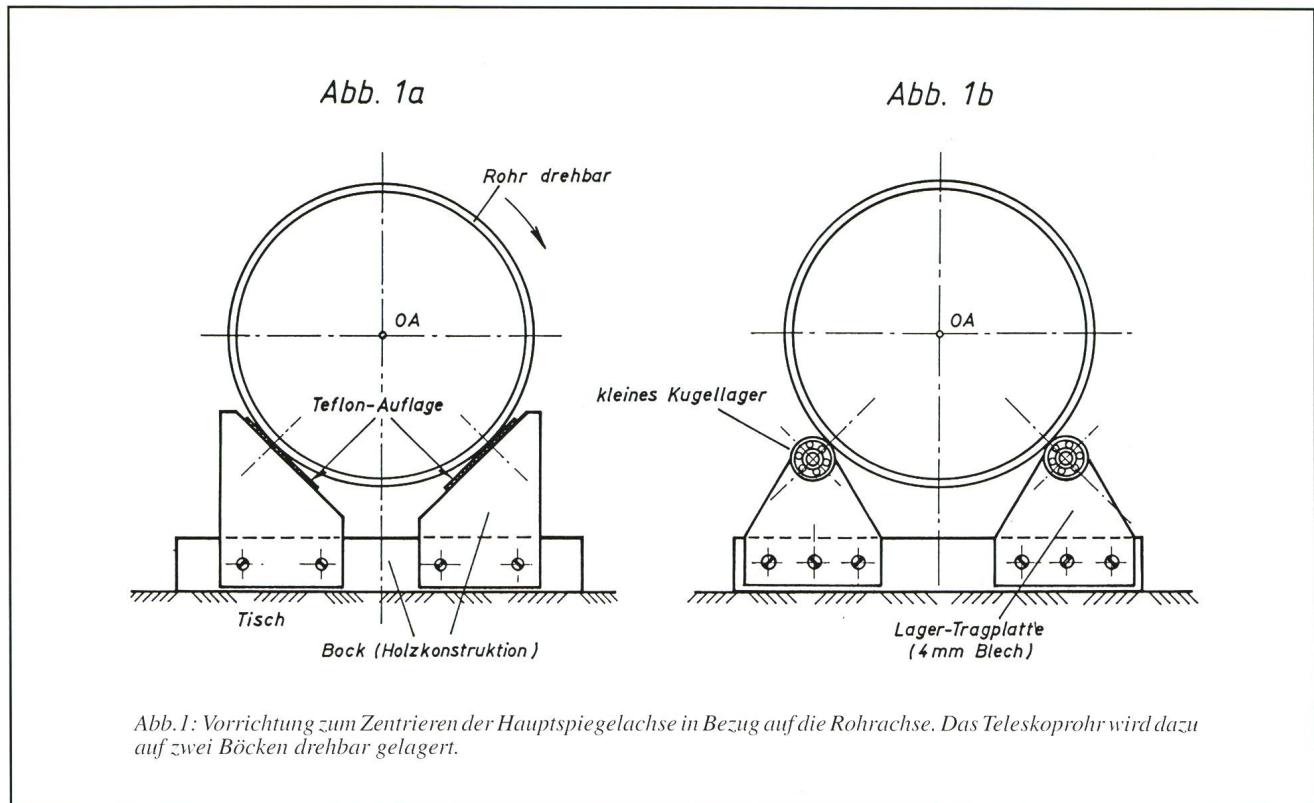
Der Zentrierschirm wird aus weissem Zeichenkarton angefertigt. Nötigenfalls kann er zur Versteifung auf irgendeiner Platte aufgezogen oder mit einem Rahmen versehen werden. Auf dem Schirm werden mit Tusche ein grosses "Fadenkreuz" und einige genau konzentrische Kreise gezeichnet. Es müssen kräftige Striche sein, die auch aus einiger Entfernung noch gut sichtbar sind. Genau in Fadenkreuz- und Kreismitte wird ein Loch von etwa 3 mm gemacht, durch das man durchblickt.

Das Rohr wird auf zwei Böcken mit V-förmigen Auflageflächen gelagert. Um den Reibwert herabzusetzen und das Rohr nicht zu zerkratzen kann an den Auflagestellen Teflonfolie unterlegt werden. Solche "Rohrböcke" lassen sich sehr einfach aus Holz anfertigen (Abb. 1a). Eine professionelle Ausführung ist in der Abb. 1b gezeigt. Hier rollt das Rohr auf den Aussenringen von jeweils zwei kleinen Kugellagern ab. Die Rohrböcke werden auf einem Tisch mit Schraubzwingen festgespannt. Es versteht sich, dass der Tisch stabil sein muss und nicht wackeln darf. Erwähnt sei hier noch, dass es bei allen Zentrier- und Kollimierarbeiten sehr vorteilhaft ist, wenn man zu zweit ist. Einer beobachtet und die zweite Person führt die notwendigen Manipulationen aus und betätigt die Justierschrauben.

Der Zentrierschirm wird in einiger Distanz vor der Rohröffnung aufgestellt. Blickt man durch das Schirmloch, dann sieht man:

- als reale Objekte vorne den Rohrrand und am Ende des Rohres die Spiegelzelle mit dem Hauptspiegel,
- ausserdem im Hauptspiegel das gespiegelte Bild des Zentrierschirms mit Fadenkreuz und Kreisen.

Der Rohrrand, die Spiegelkontur und das Spiegelbild des Schirmes erscheinen dem Auge in verschiedener Entfernung. Das Auge tendiert sich auf das Spiegelbild zu konzentrieren (fokussieren). Es bedarf einiger Übung, um die realen Objekte und das Spiegelbild zugleich zu sehen. Im Ausgangszustand werden Rohrrand, Spiegelkontur und Spiegelbild des Schirmes nicht konzentrisch sein. Bei stark seitlich verschobenem Schirm wird man überhaupt nur einen Teil des Hauptspiegels sehen. In einem ersten Schritt wird der Schirm so ausgerichtet, dass die Spiegelkontur und das Spiegelbild der Schirmkreise konzentrisch erscheinen. Zudem lässt sich durch Verschieben des Schirmes längs der OA die Vergrößerung so variieren, dass sich das Spiegelbild eines Zentrierschirmkreises mit dem Spiegelrand deckt. Die Konzentrität lässt sich so sehr genau einstellen. Wenn nun die Hilfsperson das Rohr um seine Achse dreht, dann wird auch das Spiegelbild eine kreisförmige Tanzbewegung ausführen. Mit den Justierschrauben an der Spiegelzelle wird die Tanzbewegung auf kleinstmöglichen Ausschlag korrigiert. Dies geht recht schnell, wenn man die Justierschrauben numeriert und überlegt vorgeht. Ein Tip dazu: man kann in Fluchtlinie der Justierschrauben am vorderen Rohrende kleine Nummern-



schildchen anbringen, die man durchs Schirmloch sieht. So kann man dem Gehilfen gezielt sagen, an welcher Schraube er korrigieren muss. In der Regel wird sich eine geringe Restbewegung nicht ausjustieren lassen. Dies kann drei Ursachen haben:

1. Das Rohrzentrum und die OA des Spiegels sind erheblich lateral verschoben. In diesem Fall muss die Spiegelzelle im Rohr besser zentriert werden.
2. Das Rohr ist unrund, es weist einen "Rundlaufschlag" auf. Eine Korrektur dieses Fehlers ist kaum möglich. In diesem Fall empfiehlt sich, am Rohr eine Marke oder einen Anschlag anzubringen, so dass es immer in der gleichen Lage am Rohrsattel befestigt wird.
3. Der Spiegel hat in der Spiegelzelle Spiel und bewegt sich beim Drehen. Ein Teleskop mit einer solchen Spiegelzelle wird sich nie einwandfrei justieren und kollimieren lassen. Eine Verbesserung der Spiegelzelle ist notwendig.

Die letzte Operation ist das "Sichern" der Justierschrauben an der Spiegelzelle, denn diese dürfen nicht mehr verstellt werden und sollten sich auch nicht von selbst lösen. Zu einer fachgerechten Konstruktion gehört ganz generell, dass an allen Justierelementen geeignete Schraubensicherungen, wie z.B. Kontermuttern, vorhanden sind.

Wie zentriert man ein quadratisches Rohr oder einen Tubus in Gitterkonstruktion (Serrurier-Anordnung)? Bei einem quadratischem Tubus wird am Tisch mit zwei Schraubzwingen eine Leiste befestigt. Sie dient als Anschlag für das quadratische Rohr. Dieses wird in den vier um 90° gedrehten Lagen an der Holzleiste angeschlagen und durch das Schirmloch die Spiegelkontur und das Spiegelbild des

Schirmes beobachtet. In den vier Rohrlagen wird es seine Lage verändern. Mit den Justierschrauben der Spiegelzelle wird wieder auf kleinste Auslenkung justiert.

Bei einem Gittertubus oder einer Rohrkonstruktion, die sich nicht um die Achse drehen lässt, muss anders vorgegangen werden. Über die Tubusöffnung wird möglichst genau zentriert ein Fadenkreuz gespannt. Man geht dabei wie folgt vor: Zuerst wird ein langer Papierstreifen straff um den Umfang herumgelegt. In einem zweiten Schritt wird am Streifen die Umfangslänge in 4 genau gleichlange Abschnitte unterteilt und das Papierband neuerlich um den Tubus gelegt. Vom Papier wird die Teilung auf den Tubus übertragen. Man macht feine Risse, die immer wieder verfügbar sind. Über diese Rissmarken werden die Fäden gespannt. Wenn man genau und sorgfältig gearbeitet hat, dann werden auch die Fäden recht genau unter 90° über das Rohrzentrum laufen. Eine Kontrolle mit einem Maßstab ist jedoch angebracht. Die Fäden dürfen nicht zu dünn sein, damit sie aus der Entfernung des Guckloches noch gut sichtbar sind. Nach dem Ausrichten des Schirmes wird man neben seinem Spiegelbild noch zwei weitere Dinge sehen: das Rohrfadenkreuz und im Spiegel sein Spiegelbild. Die Zentrierprozedur läuft darauf hinaus, das Fadenkreuz und sein Spiegelbild zur Deckung zu bringen.

Es soll hier noch eine modifizierte Zentrieranordnung angegeben werden. Sie ist von Vorteil, wenn man das Zentrierprozedere allein ausführen muss. Gearbeitet wird in einem verdunkelten Raum. Der Schirm weist nur noch ein kleines Loch auf, einen künstlichen Stern wie bei der Foucault-Messung. Dieses wird von hinten beleuchtet. Aufgestellt wird der Schirm in 2-f Entfernung. Der Schirm

wird so ausgerichtet, dass das divergierende Strahlenbündel vom Spiegel in sich selbst reflektiert wird. Der künstliche Stern liegt dann genau auf der OA des Spiegels. Beobachtet wird vom hinteren Ende des Rohres mit Blick auf den Schirm. Von hier kann man bequem das Rohr selber drehen und die Justieroperationen ausführen. Bei justiertem Schirm sieht man nur einen kleinen Lichtpunkt, den künstlichen Stern. Wenn man nun das Rohr dreht, dann wird sofort ein zweiter Lichtpunkt erscheinen, sein Spiegelbild. Dieses wird um den ersten eine Kreisbahn beschreiben. Was noch zu tun bleibt ist, den zweiten Lichtpunkt mit den Justierschrauben wieder ins Loch zurückzuholen.

#### Die Kollimationsmarken am Haupt- und Fangspiegel

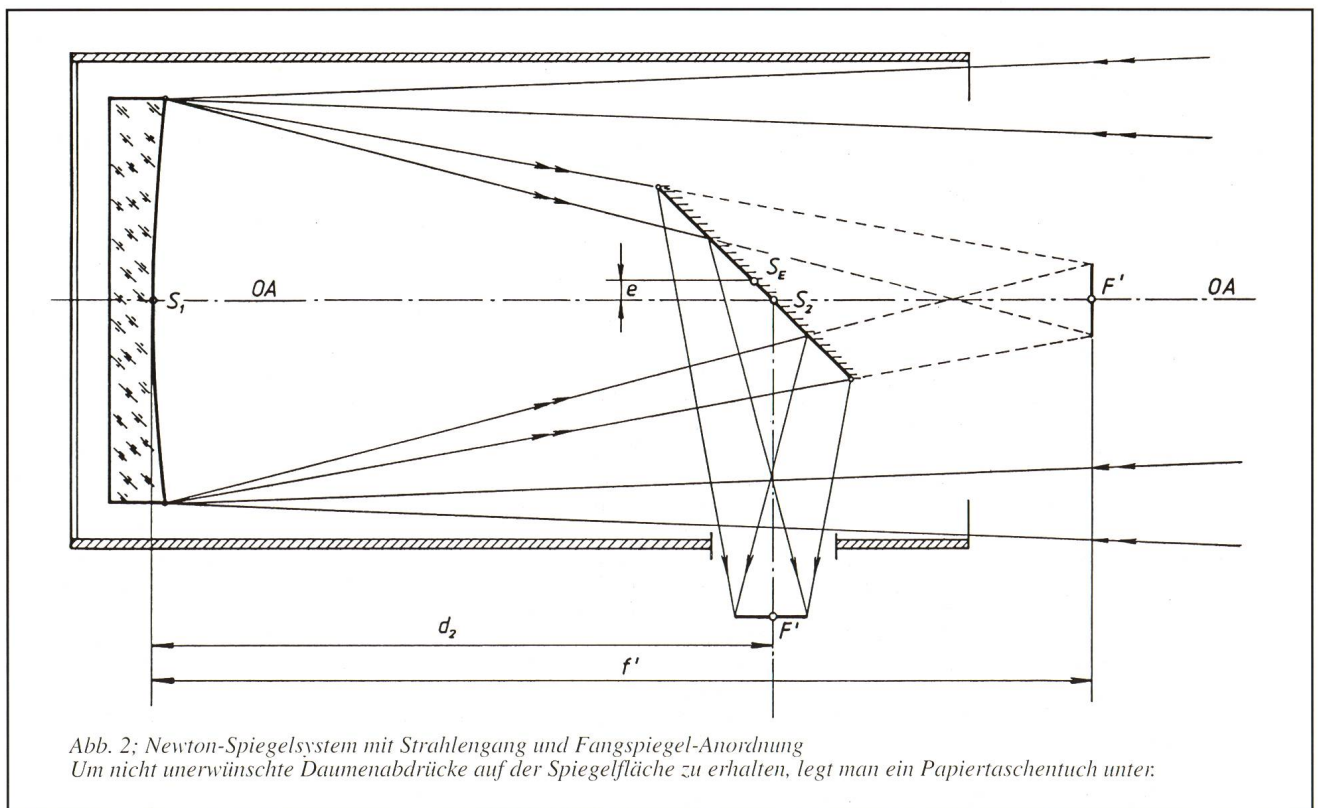
Das Kollimieren kann leicht zur frustrierenden Prüblerei werden, wenn man nicht sehr systematisch vorgeht. Dazu gehören:

- Dass man die lateralen Fehler von den Kippfehlern streng unterscheidet.
- Dass man genau weiss, wie sich diese beiden Fehlerarten manifestieren und auch weiss, wo und wie man dem Fehler gemäss justieren muss.
- Dass man die für jede Fehlerart spezifischen Hilfsmittel zur Hand hat und einsetzt.

Im Teil I wurde darauf hingewiesen, dass optische Achsen keine sichtbaren Linien sind, nach denen sich die Komponenten ausrichten lassen, und dass bei lichtstarken Parabolspiegeln das optische Zentrum (Parabelscheitel) nicht unbedingt mit dem geometrischen Spiegelzentrum zusammenfallen muss.

Zur lateralen Ausrichtung:

Beim Newton-System geht die OA durch den Parabelscheitel  $S_1$ , trifft den Fangspiegel im Durchstosspunkt  $S_2$ , wird um  $90^\circ$  umgelenkt und durchläuft die OA des Okulars (Abb. 2). Wenn Haupt- und Fangspiegel in den Punkten  $S_1$  und  $S_2$  Kollimiermarken besitzen, dann lassen sich diese über eine Visiereinrichtung im Okulartubus anpeilen und ausrichten. Eine solche Visiereinrichtung, im englischen Sprachraum "sight tube" genannt, lässt sich mit relativ einfachen Mitteln herstellen. Wie bringt man jedoch die Kollimiermarken an den Spiegeln an? Betrachten wir zuerst den Hauptspiegel: Sein optisches Zentrum wird vom Fangspiegel abgeschattet. Eine im Zentrum angebrachte Marke hat keinen nachteiligen Einfluss auf die Abbildung. In der Literatur wird folgendes Verfahren für das Aufbringen dieser Marke angegeben: Aus Karton wird eine Scheibe von der Grösse des Spiegels angefertigt. In der Mitte hat sie ein Loch von 4-8 mm Durchmesser. Die Kartonscheibe wird als Schablone auf den Spiegel gelegt und durch das Loch die Marke auf den Spiegel gezeichnet. Dieses Verfahren ist kritisch zu bewerten. Generell lässt sich sagen, dass für Spiegel mit einem Öffnungsverhältnis 8 und grösser, eine hinreichend genaue Kollimation auch ohne solche Marken durchführbar ist. Man kollimiert auf Konzentrizität der Spiegelkontur. Auf der anderen Seite sind nach diesem Verfahren aufgebraute Kollimiermarken für lichtstarke Parabolspiegel zu ungenau. Aus der Tabelle für die lateralen Toleranzen ist ersichtlich, dass etwa für die heute populären Dobson-Spiegel, mit einem Öffnungsverhältnis zwischen 3 und 5, eine Genauigkeit von wenigen  $1/10$  mm erforderlich ist. Man überlege



nun, wie genau sich mit der Schere eine Kartonscheibe ausschneiden, wie genau sich eine solche konturdeckend auf einem Spiegel mit Randfase auflegen und wie genau sich durch ein irgendwie "gelochtes" Loch eine Kreismarke auf den Spiegel übertragen lässt? Ganz abgesehen davon, dass damit bestenfalls das geometrische Zentrum und nicht das optische markiert wurde. Kollimiermarken sind nur dann sinnvoll, wenn ihre Genauigkeit problemadäquat ist! Die Genauigkeitsanforderung führt zwangsweise auf das bereits beim Zentrieren der Spiegel/Rohrachse angewendete Verfahren. Hier arbeitet man jedoch zweckmässiger mit horizontal gelagertem Spiegel in Bodennähe und beobachtet ein an die Decke projiziertes Spiegelbild. Man benötigt daher eine Drehvorrichtung mit vertikaler Spindel und einem genügend grossen Auflageteller für den Spiegel. Amerikanische Amateure haben dafür Plattenspieler eingesetzt. Je nach Ausführung wird man auf solchen nicht zu schwere Spiegel bis etwa 250 mm auflegen und zentrieren können. Für grössere Spiegel benötigt man eine robustere Drehvorrichtung. Der Besitzer einer Spiegelschleifmaschine kann sehr gut auf dieser seine Spiegel zentrieren. Mit ein wenig Phantasie lassen sich immer geeignete Vorrichtungen ausdenken und zusammenbasteln. Ich denke da etwa an die Vorderachse eines Autos mit Radnabe vom Autofriedhof und an ähnliches mehr. Am besten wäre natürlich, wenn schon die Hersteller solcher lichtstarker Newton-Spiegel die Kollimiermarke anbringen würden.

Der Spiegel wird auf einigen münzgrossen, flachgedrückten Punkten aus Plastilin auf dem Drehteller gelagert. Auf diesen Auflagepunkten kann er durch seitlichen Druck mit dem Daumen lateral justiert und durch frontalen Druck auf die Spiegelfläche gekippt werden. Man zentriert auf diese Weise bis das Spiegelbild nicht mehr tanzt. Die Zentrummarke soll etwa 4-6 mm gross sein. Sie wird auf dem sich drehenden Spiegel durch Anhalten des Markierstiftes aufgetragen. Gut geeignet sind dafür wasserfeste Filzstifte. Man kann auch mit einer Glasgraviernadel einen feinen Kreisriss machen. Schon ein feiner Riss im Spiegelbelag ist gut sichtbar, wenn er von hinten durch den Spiegel beleuchtet wird. Noch ein Hinweis zum Aufbringen der Marke: Eine präzise rundlaufende und saubere Marke lässt sich nicht aus freier Hand auf den Spiegel übertragen und schon gar nicht eingravieren. Man braucht dafür eine Auflage und Führung für den Stift. Dazu wird wenige "mm" über dem Spiegel ein Auflegebalken angeordnet. Er muss steif und nicht zu leicht sein und auf seinen Abstützpunkten rechts und links vom Drehtisch so fixiert werden, dass er sich nicht verschiebt. Auf dieser Brücke wird das Markierinstrument abgestützt. Gravierstichel müssen immer leicht "schleppend" zur Fläche angestellt werden. Etwa so wie man einen Bleistift beim Schreiben hält. Wenn man ihn senkrecht oder gar in Schubrichtung anstellt, wird er leicht vom drehenden Spiegel abgefangen und mitgerissen. Die Folgen wären höchst unerwünscht.

Der Fangspiegel ist ein Planspiegel, der kein eigenes optisches Zentrum besitzt. Als optisches Zentrum im Systemverband kann der Durchstosspunkt  $S_2$  der OA angesehen werden. Wie die Abb. 2 zeigt, liegt dieser Punkt nicht im Zentrum  $S_E$  der Fangspiegel-Ellipse. Die Ellipse ist um den Betrag  $e$  gegen die OA verschoben. Wenn man den Fangspiegel achssymmetrisch anordnet, dann wird auf der einen Seite der Ellipsen-Hauptachse eine sichelförmige Fläche aus dem Strahlenkegel optisch nicht erfasst. Ihr Lichtanteil wird dem Okular nicht zugeleitet. Auf der

anderen Seite, der dem Okular zugekehrten, wird nocheinmal ein gleichgrosser Flächenteil aus dem Hauptstrahlenbündel durch den Fangspiegel abgeschattet. Er geht ebenfalls verloren. Bei Systemen mit grossem Öffnungsverhältnis ist die Verschiebung  $e$  klein. Damit werden auch die Vignettierung und die Abschattung vernachlässigbar klein. Man kann daher den Fangspiegel achszentrisch anordnen, wie dies wohl von den meisten Amateuren gehandhabt wird. Bei lichtstarken Newton-Spiegeln mit kleinem Öffnungsverhältnis wird jedoch  $e$  gross. Eine achszentrische Anordnung des Fangspiegels wäre bei solchen Systemen nicht mehr sinnvoll. Die Verschiebung ist neben dem Öffnungsverhältnis noch von weiteren optischen und geometrischen Grössen abhängig. Auf die Berechnung kann hier nicht eingegangen werden. Hingegen ist ein für die Kollimation wichtiger Sachverhalt und Unterschied der beiden Fangspiegelanordnungen zu erwähnen.

- Optisch korrekte Anordnung mit exzentrischer Fangspiegel-Anordnung:

Wenn man in Richtung Rohröffnung blickt, dann sieht man die Fangspiegelkontur als Kreis, der bezüglich der OA und dem Hauptspiegel um den Betrag  $e$  verschoben ist. Blickt man hingegen vom Okulartubus in Richtung Fangspiegel, dann erscheint seine Kreiskontur genau zentrisch zur Okularachse.

- Achszentrische Anordnung des Fangspiegels:

Blickt man in Richtung Rohröffnung, dann sieht man die Fangspiegel- und Hauptspiegelkontur als konzentrische Kreise. Vom Okular aus wird nun aber die Fangspiegelkontur exzentrisch gesehen.

Wir haben es hier immer mit einer Brechung der Spiegelsymmetrie zu tun, die zu beachten ist.

Wenn wir uns auf die Kollimation lichtstarker Newton-Systeme konzentrieren, dann muss die exzentrische Fangspiegellage berücksichtigt werden. Man benötigt demnach für die laterale Ausrichtung im Punkt  $S_2$  eine Kollimiermarke. Beim Fangspiegel wäre es jedoch nicht sinnvoll eine solche Marke permanent anzubringen. Seine Fläche wird vom Strahlenkegel ausgeleuchtet. Die Marke wäre eine weitere Quelle für Beugungerscheinungen und Streulicht. Man verwendet besser Fäden, die nach beendeter Kollimation entfernt werden. Ein Faden wird entlang der grossen Ellipsenachse gespannt und einer senkrecht dazu durch den Punkt  $S_2$ . Es empfiehlt sich, dafür nicht zu dünne, weisse Fäden zu verwenden, die gut sichtbar sind und sich vom schwarzen Visierfadencross abheben. Fixiert werden sie mit Klebband am Fangspiegelrand oder am Fangspiegelträger. Für die Orientierung der Fäden hat sich folgendes Verfahren bewährt: Auf weissem Zeichenkarton wird möglichst genau die Fangspiegel-Ellipse mit ihren Achsen und der  $S_2$ -Linie konstruiert. Der Fangspiegel wird vorsichtig (Kratzer!) mit der Spiegelfläche nach unten auf die Zeichnung gelegt. Mit feinen Tuschlinien werden dann am Fangspiegelrand die Ellipsenhauptachse und die  $S_2$ -Achse markiert. Über diese Randmarken werden die Fäden gespannt.

Mit dem Anbringen der Kollimiermarken und der Zentrierung des Hauptspiegels im Rohr sind die Vorbereitungsarbeiten am Teleskop abgeschlossen. Im Teil 3, dem letzten Beitrag dieser Reihe, werde ich einiges zu den Justierfreiheitsgraden sagen, werde die Visiereinrichtung und das Autokollimations-Okular vorstellen und das eigentliche Kollimierprocedere behandeln.

H.G. ZIEGLER