

# Bemerkungen zur Herstellung und Justierung von Schmidt-Spiegeln

Autor(en): **Schürer, M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **39 (1981)**

Heft 187

PDF erstellt am: **06.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-899390>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Bemerkungen zur Herstellung und Justierung von Schmidt-Spiegeln

M. SCHÜRER

Die Erfahrungen, die nach der Publikation: Zur Herstellung und Prüfung eines Schmidt-Spiegels (ORION, Juli 1948, p. 453-457) über den Bau und die Justierung der Schmidt-Spiegel gesammelt wurden, lassen es angezeigt erscheinen, erneut darüber zu berichten. Es wurde schon damals die Methode propagiert, zuerst die Korrektionsplatte (im folgenden kurz Platte genannt) nach dem Schmidt'schen Verfahren der Durchbiegung herzustellen, danach die Ablenkung des Lichts längs eines Durchmessers zu messen und schliesslich auf Grund der Resultate dieser Messung den optimalen Krümmungsradius des Spiegels zu bestimmen. Das Schleifen eines Spiegels zu einem vorgegebenen Radius ist bedeutend einfacher als das einer Platte zu einem vorgegebenen Spiegel.

Der Meridianschnitt der Platte muss der Gleichung

$$y_P = \frac{x^2}{4(n-1)R^3} (x^2 - ar^2) \quad (1)$$

genügen, wo  $n$  der Brechungsindex des Glases,  $r$  der Radius der Platte,  $R$  der Krümmungsradius des Spiegels,  $x$  der Abstand von der Mitte der Platte und  $a$  ein noch in engeren Grenzen wählbarer Parameter ist. Mit  $a = 1.5$  erhält man die kleinste chromatische Aberration.

Eine am Rande unterstützte planparallele, kreisförmige und gleichmässig belastete Platte biegt sich so durch, dass der Meridianschnitt im durchgebogenen Zustand ebenfalls einer Gleichung vierten Grades genügt, nämlich

$$y_D = \frac{3}{16} (1-\nu^2) \frac{p}{Ed^3} \left[ (r^4 - x^4) - 2 \frac{3+\nu}{1+\nu} r^2 (r^2 - x^2) \right] \quad (2)$$

Hier kommen die mechanischen Eigenschaften des Glases ins Spiel.

Es ist:

$E$ , der Elastizitätsmodul =  $6 \cdot 10^4 - 8 \cdot 10^4$  N/mm<sup>2</sup>  
 $\nu$ , die Poisson-Konstante (Querdehnungszahl) =  $0.21 - 0.28$   
 $p$ , die Belastung in N/mm<sup>2</sup> und  
 $d$ , die Dicke der Platte in mm.

Von Bedeutung ist zudem noch das Biegemoment

$$m = \frac{pr^2}{16} (3 + \nu)$$

und die maximale Spannung in der Platte

$$\sigma_{\max} = \frac{6m}{d^2} = \frac{3}{8} \frac{pr^2}{d^2} (3 + \nu) \quad (3)$$

Die Biegefestigkeit  $\sigma$  wird in der Literatur zu  $20 - 60$  N/mm<sup>2</sup> angegeben. Alle Materialkonstanten sind naturgemäss abhängig von der Glassorte, dem Spannungszustand und der Oberflächenbeschaffenheit. Im folgenden wird für  $\nu = 0.25$  angenommen. Mit dieser Konstanten erhält man

$$y_D = -0.176 \frac{p}{Ed^3} \left[ x^4 - 5.2r^2x^2 + 4.2r^4 \right]$$

Biegt man eine Platte, die schon die korrekte Schmidt'sche Form aufweist, durch, so besitzt sie im durchgebogenen Zustand den Meridianschnitt

$$y_S = y_P + y_D = \frac{1}{2R^3} (x^4 - 1.5r^2x^2) - 0.176 \frac{p}{Ed^3} (x^4 - 5.2r^2x^2 + 4.2r^4)$$

$n$  ist zu 1.5 angenommen worden. Wird

$$0.176 \frac{p}{Ed^3} = \frac{1}{2R^3}$$

gesetzt, so enthält  $y_S$  nur noch quadratische Glieder in  $x$ . Diese Form kann mit sehr guter Näherung durch eine Sphäre ersetzt werden. Der benötigte Druck für die Durchbiegung beträgt

$$p = 2.84 E \left( \frac{d}{R} \right)^3 \text{ N/mm}^2 \quad (4)$$

Aus  $y_D$  erhält man die Durchbiegung in der Mitte der Platte ( $x=0$ )

$$y_{D0} = -0.176 \frac{p}{Ed^3} \cdot 4.2r^4 = -2.10 \frac{r^4}{R^3}$$

und die Pfeilhöhe der Parabel wird

$$y_{S0} = y_S(0) - y_S(r) = \frac{r^2}{2R^3} (-4.2r^2 + 0.5r^2) = -1.85 \frac{r^4}{R^3}$$

Aus den Gleichungen (3) und (4) erhält man

$$\sigma_{\max} = 3.46 E \frac{dr^2}{R^3} \text{ oder } d = 0.289 \frac{\sigma_{\max}}{E} \frac{R^3}{r^2}$$

Um diese Formeln etwas zu illustrieren, sollen sie auf die Schmidt-Spiegel der Sternwarte Zimmerwald und die des Herrn Dr. h.c. Schaerer auf der Uecht bei Niedermuhlern angewandt werden. Der erste hat die ungefähren Dimensionen

$r = 200$  mm,  $R = 2000$  mm und der zweite  
 $r = 125$  mm,  $R = 800$  mm.

Damit erhält man für die maximal mögliche Dicke der Platte, wenn die Biegefestigkeit zu  $20$  N/mm<sup>2</sup> und der Elastizitätsmodul zu  $8 \cdot 10^4$  N/mm<sup>2</sup> angenommen wird (womit man auf der sicheren Seite bleibt),  $14.45$  mm, bzw.  $2.37$  mm und mit diesen die Drücke  $0.086$  N/2mm<sup>2</sup> ( $\sim 0.85$  Atm.), bzw.  $0.0059$  N/mm<sup>2</sup> ( $\sim 0.058$  Atm.).

Im ersten Fall muss eine dünnere Platte genommen werden, da der Druck  $p$  nur einen Bruchteil des Atmosphärendruckes betragen sollte. Im zweiten Fall ist die Platte etwas dünn. Da sie durch das Schleifen deformiert wird und die Formeln nur für die planparallele Platte gelten, muss mit Abweichungen gerechnet werden, die umso grösser sind, je dünner die Platte ist. Günstiger werden die Verhältnisse, wenn man beide Seiten der Platte bearbeitet, da in diesem Falle auf jede Seite nur die Hälfte der Durchbiegung entfällt und damit die Platte dicker gewählt werden kann.

Die Platte wird auf eine flache Schale mit kreisförmigem Rand aufgesetzt und durch Absaugen der darunter befindlichen Luft, oder besser des bis zum Rand der Schale gefüllten

Wassers, durchgebogen. Der äussere Luftdruck belastet die Platte gleichmässig, und man biegt sie um den Betrag  $y_D$  durch. In diesem durchgebogenen Zustand wird sie mit einer sphärischen Schleifschale vom Krümmungsradius

$$R_0 = \frac{R^3}{3.7r^2}$$

entsprechend einer Pfeilhöhe von

$$1.85 \frac{r^4}{R^3}$$

geschliffen und poliert.

Nach der Bearbeitung der Platte erfolgt deren Ausmessung, indem man die Ablenkung des Lichts an verschiedenen Stellen eines Durchmessers mit einem Theodoliten bestimmt. Man blendet zu diesem Zweck das Objektiv des Theodoliten auf eine Öffnung von 3 bis 5 mm ab, um eine gut definierte Lage des Strahlenganges zu erhalten. Unmittelbar vor den Theodoliten bringt man die Platte an und beobachtet an 10 bis 20 Stellen des Durchmessers, die so verteilt sind, dass die betreffenden Ringzonen ungefähr gleiche Flächen aufweisen, eine entfernte Marke (bei endlicher Entfernung der Marke muss an die beobachtete Richtung eine leicht zu berechnende Korrektur angebracht werden).

Hier sollen einige Bemerkungen über die Messgenauigkeiten eingeflochten werden. Der Durchmesser eines Sternscheibchens auf der Aufnahme hängt von vielerlei Faktoren ab. Er sollte möglichst klein gehalten werden, um das Licht schwacher Sterne auf eine kleinstmögliche Fläche zu konzentrieren. Drei nicht beeinflussbare Faktoren sind: die Beugung, die Luftunruhe und die Diffusion des Lichts in der Emulsion. Die beiden ersten sind für die oben erwähnten optischen Beispiele nicht von Bedeutung, beträgt doch der Durchmesser des Beugungsscheibchens  $3\mu$ , bzw.  $2\mu$  und das Zerstreungsscheibchen bei einer Luftunruhe von  $1''$ :  $5\mu$ , bzw.  $2\mu$ . Den grössten Einfluss hat für unsere Fälle die Diffusion in der Emulsion. Die kleinsten Diffusionsscheibchen dürften nicht kleiner als  $10-20\mu$  sein. Nimmt man die untere Grenze von  $10\mu$  als Richtwert, so sollten alle übrigen Faktoren, die die Sternscheibchen vergrössern könnten, wie Ungenauigkeiten in der Optik, in der Fokussierung, in der Zentrierung und in der Nachführung für sich allein genommen kein grösseres Zerstreungsscheibchen als etwa  $5\mu$  bewirken, entsprechend  $1''$ , bzw.  $2.5''$  im Durchmesser oder  $0.5''$ , bzw.  $1.25''$  im Radius.

Die tatsächlichen Ablenkungen durch die Platte dürfen von den theoretischen nicht mehr als diese Beträge abweichen, wenn man die obigen Toleranzen einhalten will. Diese sind aber sehr eng, und es dürfte auch kaum möglich sein, die Ablenkungen genauer als etwa auf  $1''$  zu messen. Man lasse sich aber nicht entmutigen. Eine Platte mit dem doppelten oben angegebenen Fehler ist immer noch sehr gut. Die Meßstelle im Durchmesser muss wegen der Variabilität der Ablenkung des Lichts durch die Platte auf  $0.2$ , bzw.  $0.1$  mm genau eingehalten werden. Weiter ist zu beachten, dass die Ablenkung des photographisch aktiven Lichtes etwa um den Faktor  $1.013$  grösser ist, als die im visuellen Gebiet, so dass die gemessenen Werte noch um diesen Faktor vergrössert werden müssen.

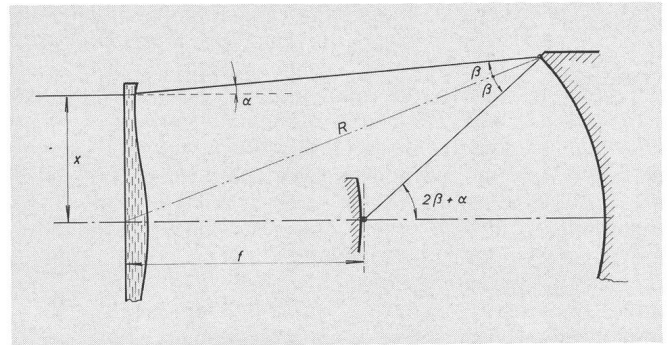
Die so ermittelte Ablenkung  $\alpha'$  durch die Platte vergleicht man nun mit den theoretischen Werten einer Platte für einen Schmidt-Spiegel vom angenommenen Krümmungsradius  $R$  und einer angenommenen Brennweite  $f$ . Aus der Figur lassen

sich leicht die Beziehungen zwischen den Ablenkungen  $\alpha'$  an der Stelle  $x$  und  $R$  und  $f$  ableiten.

$$\sin \beta = \frac{x \cos \alpha}{R}, \quad \sin (2\beta + \alpha) = \frac{R \sin \beta}{f} = \frac{x \cos \alpha}{f}$$

$$\operatorname{tga} = \frac{\frac{x}{f} - \sin 2\beta}{\cos 2\beta}$$

$\beta$  wird aus  $\sin \beta = \frac{x}{R}$  ( $\cos \alpha \approx 1$ ) genügend genau hergeleitet.



Die Differenzen zwischen den beobachteten  $\alpha'$  und den errechneten  $\alpha$  benutzt man zur Verbesserung der angenommenen Werte  $R$  und  $f$  oder besser  $R$  und

$$\frac{f}{R} = F,$$

der Bestimmung eines eventuellen Fehlers im angenommenen Nullpunkt der  $x$ -Kooordinate (Mittelpunkt der Platte) und eines möglichen Keilfehlers  $i$  der Platte in Richtung des ausgemessenen Durchmessers. Die Fehlergleichungen lauten:

$$\frac{\Delta \alpha}{\Delta R} dR + \frac{\Delta \alpha}{\Delta F} dF + \frac{\Delta \alpha}{\Delta x} dx + \frac{\Delta \alpha}{\Delta i} i = \alpha' - \alpha$$

Die Differenzquotienten

$$\frac{\Delta \alpha}{\Delta R}, \frac{\Delta \alpha}{\Delta F}, \frac{\Delta \alpha}{\Delta x}, \frac{\Delta \alpha}{\Delta i}$$

bestimmt man, indem mit leicht veränderten Werten von  $R$  ( $R + \Delta R$ ),  $F$  ( $F + \Delta F$ ),  $x$  ( $x + \Delta x$ ) und  $i$  die obigen Formeln erneut durchrechnet und den Einfluss der Variation auf  $\alpha$  eruiert. Die Fehlergleichungen müssen nach der Methode der kleinsten Quadrate aufgelöst werden und ergeben vor allem die Verbesserung  $dR$  des angenommenen Krümmungsradius für den Spiegel. Der zu der Platte passende Krümmungsradius ist dann  $R + dR$ .

Wie genau muss nun der so erhaltene Krümmungsradius eingehalten werden, damit man die Toleranzen für die Bildgrössen von  $5\mu$  nicht überschreitet? Eine graphische Darstellung des Strahlenganges zeigt, dass dies der Fall ist, wenn beim grossen Spiegel der Radius innerhalb von 5 mm und beim kleinen Spiegel innerhalb von 2 mm dem theoretischen Wert entspricht. Das lässt sich ziemlich leicht bewerkstelligen. Allerdings benötigt man dazu, wie schon bei der Herstellung der Platte, ein gutes Sphärometer.

Es müssen jetzt noch die Anforderungen, die an die Zentrierung und Fokussierung gestellt werden, erfüllt sein. Theo-

retisch wird verlangt, dass die Krümmungsmittelpunkte des Spiegels und der Emulsion, die zu einer Sphäre mit dem Krümmungsradius gleich der Brennweite  $f$  verbogen sein muss, mit dem optischen Mittelpunkt der Platte zusammenfallen. Die Toleranzen für diese Bedingungen sind in der Fokussierung  $12\mu$ , bzw.  $8\mu$  und in der Kippung der Emulsion für beide Systeme  $40''$ , in der lateralen Zentrierung der Platte  $0.3$  mm, bzw.  $0.2$  mm und im Abstand der Platte vom Spiegel  $5$  mm, bzw.  $2$  mm. Eine leichte Kippung der Platte ist ohne Einfluss auf die Abbildung.

Die Zentrierung des Instruments kann nach einer Idee von Dr. h.c.W. Schaerer bewerkstelligt werden. Die Kassettenhalterung muss zu diesem Zweck zentral durchbohrt sein, mit einer Öffnung von ungefähr  $10$  mm. Man bringt nun eine Blende mit einem Loch von  $2-3$  mm am Ende der Taukappe vor das Instrument, so dass man durch das Loch sein Spiegelbild sowohl in einem Planspiegel, den man an die Kassettenansatzfläche presst, wie auch im Hauptspiegel zentrisch durch die Zentraldurchbohrung sieht. Der Spiegel und/oder die Kassettenhalterung müssen so verstellt werden, dass diese Bedingung erfüllt ist. Es heisst dies bei einer Toleranz von  $40''$  für die Kippung, dass die Spiegelbilder in der Durchbohrung der Kassettenhalterung nicht mehr als  $0.3$ , bzw.  $0.15$  mm exzentrisch gesehen werden dürfen. Der Spiegel und die durchgebogene Emulsion sind dann konzentrisch, wie es sein muss.

Es gilt nun noch den optischen Mittelpunkt der Platte in den gemeinsamen Krümmungsmittelpunkt zu bringen. Der Abstand der Platte vom Spiegel ist mit den obigen Toleranzen problemlos zu verwirklichen. Eine seitliche Abweichung der Platte erkennt man an der Exzentrizität des Schattens der Kassette im Zentrum der Aufnahme bei extrafokalen Bildern. Wenn man sich die Aufnahme in der ursprünglichen Lage in der Kamera vorstellt, so ist die Platte in der gleichen Richtung verschoben, wie der exzentrische Schatten der Kassette.

Sind die Fokussierungs- und Zentrierungsbedingungen erfüllt, muss mechanisch dafür gesorgt werden, dass sie auch zeitlich unverändert bleiben. Nehmen wir für den grossen Spiegel eine Eisenkonstruktion an, so bewirkt eine Temperaturänderung von  $10^\circ$  schon eine Fokusänderung von  $0.1$  mm. Eine Temperaturkompensation ist also unbedingt notwendig. Die Durchbiegungen des Rohres müssen ebenfalls in engen Grenzen gehalten werden. Die Lösung dieser Probleme ist eine Aufgabe des Konstrukteurs und soll hier nicht behandelt werden.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. M. Schürer, Thunstrasse 42, 3005 Bern

Schweizerische Astronomische Gesellschaft

## ORION-Sondernummer 1980

Im Dezember 1980 erschien die ORION-Sondernummer 1980 mit den gesammelten Vorträgen der Burgdorfer Astro-Tagung 1979. Auf 40 Seiten sind interessante Beiträge über die Beobachtung veränderlicher Sterne, Sternbedeckungen, Beobachtungen des Sonnenlaufes sowie über die Ort- und Zeitbestimmung und die Koordinatensysteme der Astronomie zu finden. Auch der Instrumentenbauer wird Artikel finden wie: Das «Gucksonn», Instrumentenkoffer und Holz als Werkstoff für astronomische Geräte.

Die Sondernummer ist erhältlich  
beim Astro-Bilderdienst:

**Verlag und Buchhandlung  
Michael Kühnle, Surseestrasse 18,  
Postfach, CH-6206 Neuenkirch/LU**

Preis: SFr. 8. – plus Porto und Verpackung.

## ORION auf Mikrofichen

Auch die früheren ORION-Hefte enthalten viele interessante und auch heute noch aktuelle Artikel; leider sind sie aber vergriffen.

Es ist heute nun möglich, sich diese Hefte in mikroverfilmter Form auf Mikrofichen (Postkartengrösse) zu besorgen. Der Aufbau ist wie folgt:

Band 1 Nr. 1–12 (1943–1946) = 3 Mikrofichen  
Band 2 Nr. 13–24 (1946–1949) = 5 Mikrofichen  
Band 3 Nr. 25–36 (1949–1952) = 6 Mikrofichen  
Band 4 Nr. 37–50 (1952–1955) = 6 Mikrofichen  
Band 5 Nr. 51–70 (1956–1960) = 12 Mikrofichen  
Anschliessend pro Jahrgang 2 bis 4 Mikrofichen (meistens 3).  
Gesamter ORION bis Ende 1980 auf 87 Mikrofichen.  
Lieferung ab Lager. Preis pro Mikrofiche Fr. 6.50.

**Bestellungen bitte an den Zentralsekretär  
Andreas Tarnutzer, Hirtenhofstrasse 9. CH-6005 Luzern.**

## SAG-Lesemappe

Die Lesemappe umfasst 12 astronomische Zeitschriften aus dem In- und Ausland in französischer, englischer und deutscher Sprache. Der Abonnent zahlt im Jahr Fr. 22.– und erhält dafür im Jahr 6 x die Lesemappe zugestellt. Die Lesemappe kann nur in der Schweiz abonniert werden.

Interessenten melden sich bitte bei  
**Schweizerische Astronomische Gesellschaft,  
Lesemappe, Roland A. Holzgang,  
Längenrüpp 74, 3322 Urtenen**