Geometrische Grundlagen für das Parabolisieren von Teleskop-Spiegeln

Autor(en): **Lienhard, J.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **- (1947)**

Heft 17

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-900565

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

ments, insbesondere dann, wenn teils mit Instrument (Fernrohr, Spiegel, Feldstecher), teils mit blossem Auge beobachtet worden ist.

Der Verfasser bittet alle Beobachter, ihm ihre Beobachtungen über den Veränderlichen ζ Aurigae zukommen zu lassen zwecks gemeinsamer Verarbeitung. Er ist auch zu weiterer Auskunft gerne bereit.

Geometrische Grundlagen für das Parabolisieren von Teleskop-Spiegeln

Von J. LIENHARD, Innertkirchen

Die eigentliche Präzisionsarbeit bei der Herstellung eines Teleskopspiegels beginnt erst mit dem Parabolisieren seiner Spiegelfläche. Durch einen sehr genauen Feinschliff erreichen wir bestenfalls eine Kugelfläche, und diese soll nun unter ständiger Kontrolle durch die Foucault-Schattenprobe in ein Paraboloid übergeführt werden. Der Zweck dieser Retouche ist wohl jedem Amateur bekannt: Eine Kugelfläche bringt nur Strahlen in einem Punkt — ihrem Zentrum — zur Vereinigung, die von demselben Punkt, eben ihrem Zentrum ausgehen; für den Zweck eines Teleskopes sollen aber achsenparallel einfallende Strahlen in einem Brennpunkt vereinigt werden. Diese Bedingung kann bei höherem Oeffnungsverhältnis als etwa 1 : 15 und mit genügender Genauigkeit nur durch eine paraboloidische Spiegelfläche erreicht werden. Der Gang der oben erwähnten Foucault'schen Schattenprobe kann hier als bekannt vorausgesetzt werden, da sich in jeder Anleitung für das Spiegelschleifen eine Beschreibung derselben vorfindet. Dort ist zumeist auch der zur richtigen Parabolisierung nötige Wert der Messerverschiebung s mit $D^2/8f$ angegeben, wo D der Spiegeldurchmesser und f seine Brennweite bedeutet. Es ist nun nicht die Art eines ernsthaften Amateurs, sich irgend eine Formel anzueignen, so gewissermassen wie ein fixfertiges Küchenrezept, wo es einfach heisst: „man nimmt . . .!" Ihn interessiert auch das Woher und das Warum einer so wichtigen Vorschrift. Mit den nachfolgenden Betrachtungen soll auf möglichst einfache Weise versucht werden, über die Herkunft der genannten Formel Aufschluss zu geben, und zugleich soll der Amateur im allgemeinen mit dem Wesen des Parabolisierens etwas vertrauter gemacht werden.

Ohne lange Umschweife wollen wir uns gerade mitten in unser Problem hinein vertiefen und uns zwecks besserer Veranschaulichung untenstehender Fig. 1 bedienen. Freunde, die vielleicht am Anblick einer Geometriefigur nicht gerade erbaut sind, werden schon sehen, dass solche Zeichnungen sehr „gesprächig" und unterhaltsam werden können, wenn man sich mit ihnen beschäftigt.

Die in der Figur dargestellte Kurve soll eine vollkommene Parabel sein. Ein parallel zur x-Achse einfallender Strahl St_1 wird im Punkte P_1 gesetzmässig gegen den Brennpunkt F hin reflektiert.

Denken wir uns im Punkte P_1 die Parabel ein ganz kleines Stück weit durch ein Planspiegelchen ersetzt, das die Richtung der dortigen Tangente T_1 besitzt und fällen wir auf dieses Spiegelchen eine Senkrechte oder „Normale". Diese wird in ihrer Verlängerung die Spiegelachse im Punkte B_1 treffen. Würden wir hier in B_1 anlässlich der Foucaultprobe unseren künstlichen Stern aufstellen, würde sich beim Einschieben des Messers an dieser selben Stelle die Verdunkelung der ganzen Spiegelzone von Durchmesser D_1 ergeben.

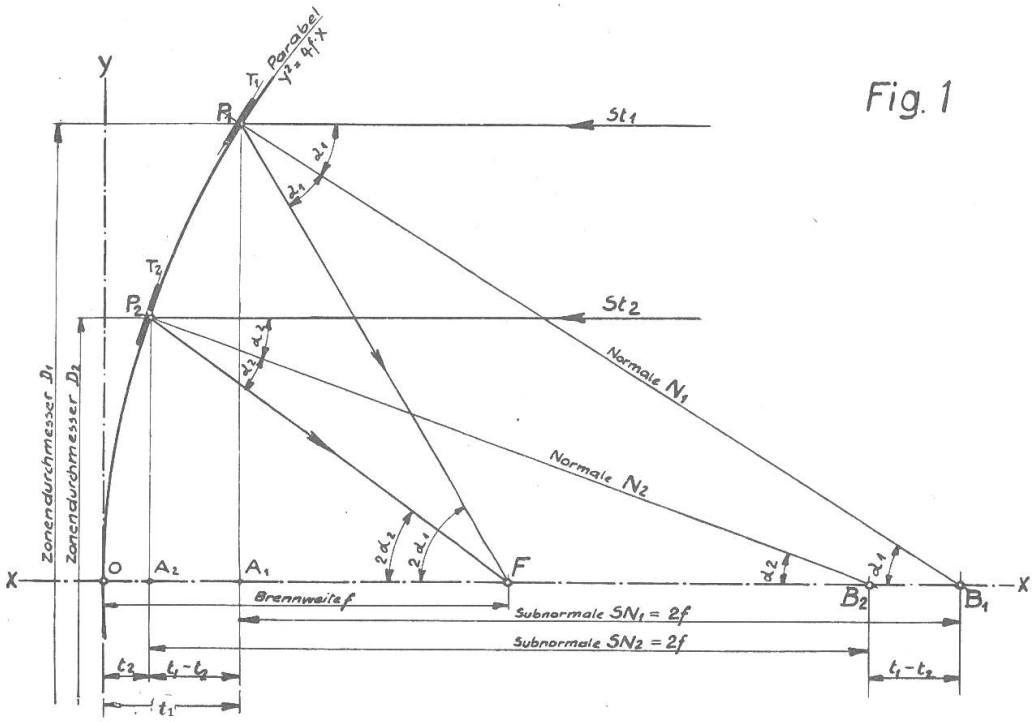


Fig. 1

Prinzipiell dieselben Verhältnisse bestehen für den Strahl St_2. Auch er wird nach Reflexion an der Spiegelfläche im Brennpunkt F eintreffen. Auch hier im Punkte P_2 wollen wir uns die Parabel ein ganz kleines Stück weit durch ein Planspiegelchen der Lage T_2 ersetzt denken. Die Normale N_2 auf dieses Spiegelchen schneidet die Spiegelachse nun im Punkte B_2. Diesmal müssen wir also zur Verdunkelung der Zone mit dem Durchmesser D_2 den künstlichen Stern und die Messerschneide bei B_2 hinhalten.

Wir haben vorhin als Strecken $\overline{P_1B_1}$ und $\overline{P_2B_2}$ die Parabel-Normalen N_1 und N_2 kennen gelernt. Senkrecht unter N_1 und N_2, als Projektionen auf die x-Achse, gewissermassen als Schatten unter diesen Normalen, liegen die Strecken SN_1 bezw. SN_2. Diese Abschnitte werden in der Geometrie als „Subnormalen" bezeichnet. Es gibt nun ein wichtiges Parabelgesetz, das sagt, dass die Längen dieser Subnormalen konstant und immer gleich zwei Brennweiten sind (bei ein und derselben Parabel).

Wenn wir mit t_1 und t_2 die Spiegeltiefen der Zone vom Durchmesser D_1 bezw. D_2 bezeichnen, begreifen wir nun anhand unserer Geometrie-Figur sofort, dass die Distanz von B_1 nach B_2 gleich der

Differenz der Spiegeltiefen der entsprechenden Zonen sein muss. Liegt P_2 im Zentrum des Spiegels und P_1 auf seinem Rand, so wird der Abstand $\overline{B_1B_2}$ gleich der totalen Spiegeltiefe, da in diesem Falle $t_2 = 0$ ist. Nun haben wir aus unserer Figur schon sehr viel gewonnen und wollen nun noch versuchen, das absolute Mass der Spiegeltiefe zu berechnen.

Aus dem Umgang mit Fig. 1 ist uns geläufig geworden, dass die Werte für die Spiegeltiefe t in Richtung der x-Achse abgetragen werden. Die Werte für den Spiegelradius werden von der x-Achse aus nach oben in Richtung der y-Achse abgetragen. Es ist in der Geometrie so Brauch, zur genauen und eindeutigen Bestimmung eines Kurvenpunktes seinen Abstand von der horizontalen Achse aus — also nach oben — mit y und den horizontalen Abstand von der senkrechten Achse aus mit x zu bezeichnen. Für die vorliegenden Verhältnisse bedeutet also irgend eine Angabe von x eine bestimmte Anzahl Millimeter Spiegeltiefe, während eine Angabe von y einer bestimmten Anzahl Millimeter Spiegelradius entspricht. Die Parabelgleichung, welche die gesetzmässige Lage aller Parabelpunkte angibt, lautet $y^2 = 4 \cdot f \cdot x$, wo f die Brennweite bedeutet. Da wir ja nun gerne t, also x bestimmen möchten, drehen wir die Gleichung um, sodass sie heisst: $t = y^2/4 \cdot f$. Für y^2 schreiben wir noch $D^2/4$, setzen dies in unsere Gleichung ein und erhalten somit für die Spiegeltiefe $t = D^2/16\,f$. Das ist eine sehr bequeme Formel, mit der wir einerseits die totale Spiegeltiefe und durch Einsetzen verschiedener Zonendurchmesser für D die entsprechenden Tiefen für diese Zonen berechnen können.

Damit haben wir nun unser eingangs gestelltes Problem fast fertig behandelt. Wir hatten aber bis anhin immer angenommen, dass wir sowohl in B_1 als auch in B_2 künstlichen Stern und Messer nebeneinander haben. In Wirklichkeit lassen wir aber bei der Foucault-Probe den künstlichen Stern stehen und schieben nur das Messer. Solange Stern und Messer sehr nahe beieinander liegen, wie es ja praktisch immer der Fall ist, wird dadurch die sehr hohe Messgenauigkeit der Methode in keiner Weise geschmälert. Aber wir müssen nun, da der Stern still steht, mit dem Messer die doppelt so grosse Verschiebung machen, wie wenn wir, wie ursprünglich in der Geometrie-Figur angenommen, beide miteinander verschieben.

Als Anhang, und weil wir nun schon am Theoretisieren sind, wollen wir gleich noch untersuchen, in welcher Weise sich ein durch Foucault-Probe festgestellter Zonenfehler des untersuchten Spiegels auswirkt.

Würde die Meridiankurve des zu untersuchenden Spiegels stimmen, so müsste in Fig. 2 der achsenparallele Strahl St nach Reflexion in P im Brennpunkt F eintreffen. Künstlicher Stern und Messer im Sollpunkt B hingehalten, würden eine Verdunkelung der in Frage stehenden Zone zeigen. Ein Zonenfehler unseres Spiegels besteht nun darin, dass die reflektierende Fläche eine um einen sehr kleinen Betrag falsche Neigung aufweist. Nehmen wir

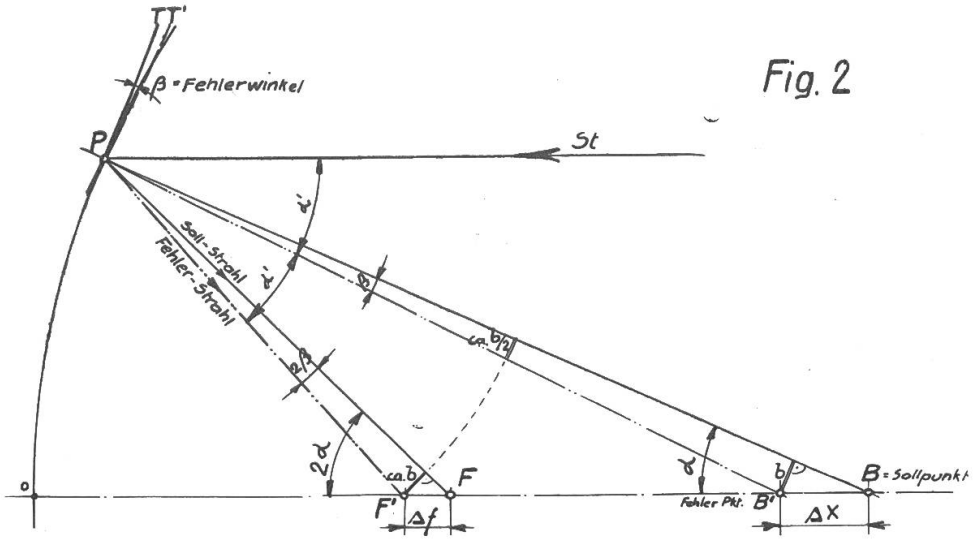


Fig. 2

an, die Tangente oder das kleine Ersatzspiegelchen, von dem wir früher sprachen, hätte statt der richtigen Richtung T die falsche Richtung T', der Fehlerwinkel sei also β. Wir haben dies dadurch festgestellt, dass wir die Zonenverdunkelung statt in B in B' konstatiert haben (Stern und Messer vorläufig wieder miteinander verschoben). Um die Sache nicht zu komplizieren, treffen wir folgende Vereinfachung: die Strecke $\overline{PB}$ bezeichnen wir wieder als N und setzen nun näherungsweise die Strecke $\overline{PF}$ = ca. N/2, da in Wirklichkeit das Dreieck PFB sehr flach und praktisch gleichschenklig ist. Betrachten wir nun die Bogen b bei B' und F', so ergibt sich aus der Figur, dass sie angenähert gleich gross sein müssen. Beide Bogenstücklein b dürfen wir uns zufolge ihrer Kleinheit als gerade vorstellen, und wir erhalten damit sowohl über $\overline{BB'}$ als auch über $\overline{FF'}$ ein kleines rechtwinkliges Dreieck. Im ersten Dreieck wird das Seitenverhältnis b : $\triangle$x mit $\sin\alpha$ bezeichnet, im zweiten Dreieck ist b : $\triangle$f gleich $\sin 2\alpha$. Für ganz kleine Winkel — und mit solchen haben wir es ja hier zu tun — ist $\sin 2\alpha$ ungefähr doppelt so gross wie $\sin\alpha$. Wenn aber die Seiten b in beiden Dreiecken ungefähr gleich gross sind, muss dafür $\triangle$x doppelt so gross sein wie $\triangle$f. Wenn wir uns noch daran erinnern, dass wir bei stillstehendem künstlichem Stern mit dem Messer eine doppelt so grosse Bewegung machen müssen, als wenn sich Stern und Messer miteinander bewegen würden, können wir jetzt sagen: Jede gegenüber einer berechneten Soll-Verschiebung s des Messers festgestellte Fehler-Verschiebung $\triangle$s wirkt sich zu einem Viertel dieses Betrages als Brennweitenfehler dieser Zone aus. Mit Hilfe dieser Feststellung sind wir nun in der Lage, die Genauigkeit der Strahlenvereinigung aller Spiegelzonen quantitativ zu beurteilen.

Abschliessend stellen wir uns die durch diese Betrachtungen gewonnenen Formeln zusammen:

Spiegeltiefe: $t = \frac{D^2}{16\,f}$ (Für Zonentiefen ist anstelle des ganzen Spiegeldurchmessers der Zonendurchmesser zu setzen.)

Sollverschiebung des Messers mit feststehendem künstlichem Stern:

1. Zwischen Spiegelzentrum und Rand $s = 2 \cdot t = \frac{D^2}{8f}$
2. Zwischen den einzelnen Zonen $s = 2 \cdot$ Differenz der Zonentiefen.

Brennweitenfehler der einzelnen Spiegelzonen:

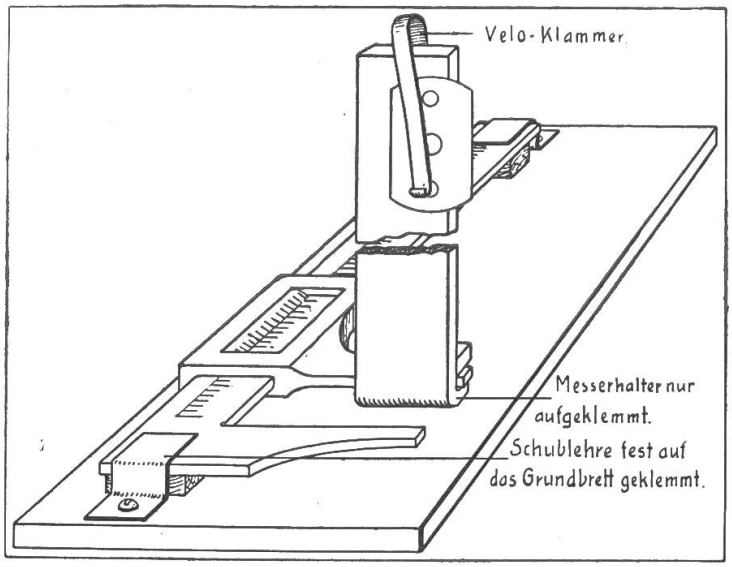
$\triangle f = \triangle s/4$

$= \frac{1}{4}$ der festgestellten Fehlerverschiebung.

(Immer bei feststehendem künstlichem Stern gerechnet.)

Hilfsmittel für die Zonenmessung bei Teleskop-Spiegeln

Im Anschluss an die Ausführungen von J. Lienhard über die geometrischen Grundlagen des Parabolisierens von Spiegeln sei noch ein kleines Hilfsmittel mitgeteilt, das die Bestimmung der Abstände der Krümmungsmittelpunkte der verschiedenen Zonen erleichtert. Die im erwähnten Artikel mit s bezeichneten Differenzen der Krümmungsradien sind gewöhnlich von der Grössenordnung einiger Millimeter und sollten auf ca. $^1/_{10}$ mm gemessen werden können. Die in untenstehender Figur skizzierte Anordnung (nach einer Idee



von Alfred Margraf, eines Mitwirkenden an den Schleifkursen in Schaffhausen) unter Verwendung einer Schiebelehre hat in unseren Schleifkursen sehr gute Dienste geleistet. Die mit diesem Instrument erreichte Messgenauigkeit genügt für die Ansprüche des Amateurs.

H. R., Schaffhausen.
