Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft

Band: - (1952)

Heft: 36

Artikel: Über die Genauigkeitsanforderung beim Parabolisieren von Teleskopspiegeln

Autor: Lienhard, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-900539

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.01.2026

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

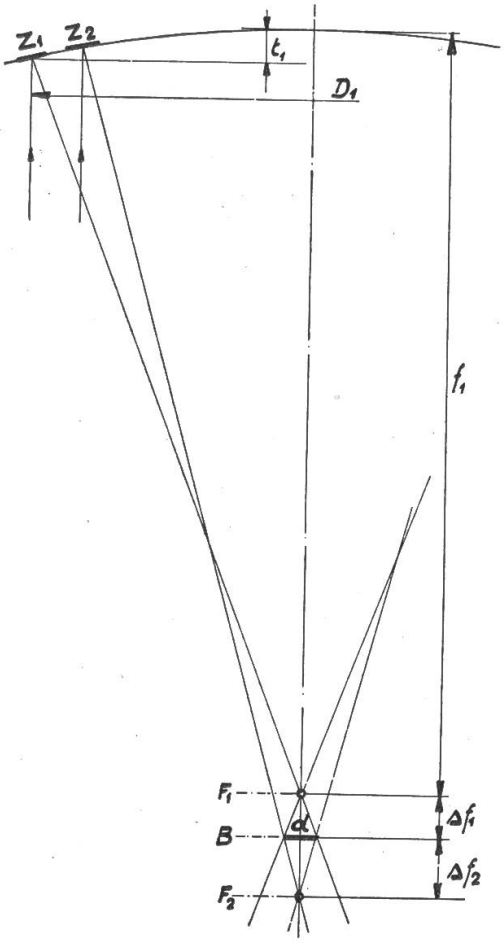
Ueber die Genauigkeitsanforderung beim Parabolisieren von Teleskopspiegeln

Von J. LIENHARD, Innertkirchen

Eigentlich wären hierüber wenig Worte zu verlieren. «Parabolisieren Sie einfach so genau als möglich», wäre die kurze Weisung für diese Endarbeit am selbst gefertigten Spiegel. Aber eben, gesagt ist schneller als getan. Und manchmal scheint es auch vernünftiger zu sein, eine noch bestehende sehr minime Abweichung zu belassen, um nicht durch eine Nacharbeit einen anderen, vielleicht grösseren Fehler hinein zu bringen. Mit den nachfolgenden Ausführungen soll der Amateur auf die Auswirkung dieser Parabolisierungsfehler aufmerksam gemacht werden und an Hand eines Beispiels wollen wir versuchen, aus der Foucault-Probe im voraus auf die maximale Vergrösserung zu schliessen, bei der unser Spiegel noch scharfe Bildern liefern wird. Die Ausführung der Foucault'schen Schattenprobe und das nötige Mass der Messlineal-Verschiebung setzen wir hier als bekannt voraus. Auch betrachten wir ausschliesslich die Güte des *Spiegels*, alle übrigen optischen Teile, zu denen auch die Luft gehört, nehmen wir dazu als ideal an. Ebenso vernachlässigen wir zufolge seiner Kleinheit die Grösse des natürlichen Beugungsscheibchens eines Sternes.

Bevor wir uns an die eigentliche Aufgabe heranmachen, bedürfen wir zuerst einer genaueren Definition für die «Schärfe» eines Bildes. Dazu zeichnen oder besser stechen wir mit einer sehr feinen, schwach eingetauchten Zeichenfeder möglichst feine Pünktlein auf ein glattes, weisses Papier. Immer feinere und immer noch feinere. Diese Pünktlein sind vielleicht rund, vielleicht dreieckig, vielleicht oval, je nach der Form und der Haltung der verwendeten Federspitze. Probieren wir nun, mit einem Auge nur, wie am Fernrohrokular, und auf 25 cm Sehdistanz, bis zu welcher Grösse der Punkte hinunter wir deren Form noch feststellen können. Auf irgend eine Art, vielleicht mit Hilfe eines kleinen Messmikroskopes, ermitteln wir dann die Grösse dieser kleinsten, vorhin in der Form gerade noch erkennbar gewesenen Pünktlein. Wir werden dann finden, dass, wenn wir nicht ausgerechnet besondere Sperberaugen besitzen, bei etwa 0,2 oder 0,25 mm Punktgrösse die Erkennbarkeit der Form aufgehört hat. Unter dieser Grösse kann der Punkt aussehen wir er will, er könnte sich auch aus mehreren kleineren Punkten zusammensetzen, immer wird er sich bei obiger Sehdistanz als einziger scharfer Punkt präsentieren. Mit anderen Worten: die Unschärfe eines Sternchens im Okular gesehen darf also bis auf diesen Betrag von max. 0,25 mm ansteigen, damit wir dasselbe noch als scharf empfinden. Steigt der Durchmesser des Sternscheibchens zufolge Unschärfe über dieses Mass hinaus an, nehmen wir dies wahr und müssten dann, um wieder ein scharfes Bild zu erhalten, ein schwächeres Okular einsetzen.

Und diese Unschärfe, soweit sie, wie angenommen, nur vom Spiegel stammt, woher rührt sie? Doch wohl daher, dass nicht alle Spiegelzonen dieselbe Brennweite besitzen!



In der nebenstehenden Figur möge F_1 den Brennpunkt der Spiegelzone Z_1 und F_2 den Brennpunkt der Zone Z_2 bezeichnen. Die beste Einstellung des Okulars wird dann sicher der Stelle B entsprechen. d stellt dann den Durchmesser des von den Zonenfehlern herstammenden Zerstreuungsscheibchens dar. Bezeichnen wir als Oeffnungsverhältnis einer Spiegelzone das Verhältnis Zonendurchmesser : Brennweite als 1 : x, so ist $d = \triangle f : x$, wobei $\triangle f$ die fehlerhafte Brennweitenabweichung darstellt.

Richten wir nun unsern Spiegel auf einen Stern, so wird von den beiden betrachteten Spiegelzonen an der Stelle B statt eines Punktes ein Scheibchen vom Durchmesser d entworfen. Um der eingangs gestellten Forderung der Schärfe zu entsprechen, darf dieses Fehlerscheibchen durch die Lupenvergrösserung des Okulars nicht auf über 0,25 mm hinaus vergrössert werden. Wollten wir als stärkstes Okular ein solches von 25facher Eigenvergrösserung verwenden, darf d nicht grösser als 0,01 mm sein. Würde diese Fehlerzone ein Oeffnungsverhältnis von 1 : 6 aufweisen, so wäre für diese Bedingung das Maximum der tragbaren fehlerhaften Brennweitendifferenz $\triangle f = 0{,}06$ mm.

Greifen wir nun kurz auf unsere Kenntnisse über das eigentliche Parabolisieren zurück! (Siehe auch «Orion» Nr. 17, S. 365.) Wir wissen, dass die Tiefe t eines Parabolspiegels vom Durchmesser D sein muss: $t = \frac{D^2}{16f}$. Ebenso gilt dies für die einzelnen Spiegelzonen, wobei an Stelle des Aussendurchmessers der Zonendurchmesser tritt. Die Messlineal-Verschiebung zwischen Spiegelzentrum und äusserstem Spiegelrand beträgt, bei stillstehendem künstlichem Stern, $s = 2\,t$. Das gilt auch für die Zwischenzonen mit ihren entsprechenden Durchmessern und Spiegeltiefen. Ferner erinnern wir uns daran, dass ein gemessener Fehler $\triangle s$ der Linealverschiebung sich zu einem Viertel als Brennweitenfehler

bemerkbar macht, also $\triangle f = \frac{1}{4} \triangle s$. Anhand all dieser Zusammenhänge sind wir nun sehr leicht in der Lage, aus den anlässlich der Foucault-Probe festgestellten Fehlern auf die Vergrösserungsfähigkeit des Teleskopes zu schliessen. Oder wir können uns auch im voraus ausrechnen, bis zu welcher Genauigkeit wir, bei gewünschter maximaler Vergrösserung, die Parabolisierung ausführen müssten.

An einem beliebig angenommenen Beispiel wollen wir nun unsere soeben gewonnene Einsicht über die Auswirkung der Spiegelfehler etwas festigen nud zugleich den praktischen Nutzen für deren Anwendung in unserer Werkstatt sehen.

Vor dem Parabolisieren eines Spiegels, bei dem wir auch die Zwischenzonen messen wollen — und von etwa 20 cm Spiegeldurchmesser an muss man dies unbedingt tun —, fertigen wir uns eine Tabelle mit den Sollwerten für die Linealverschiebung an. Später tragen wir in diese Tabelle auch die effektiv gemessenen Linealverschiebungen ein und errechnen als Differenz für die einzelnen Zonen die Fehler bezüglich Messlineal-Verschiebung und bezüglich Brennweite. (Als effektiv gemessene Linealverschiebung kommt der Mittelwert von einigen Messungen derselben Spiegelzone in Betracht.) Ebenso schreiben wir in unsere Tabelle noch die relativen Oeffnungsverhältnisse der einzelnen Zonen und sofort auch die Durchmesser d der Fehlerscheibchen eines Sternes ein. Unsere Tabelle für einen Spiegel von 25 cm Durchmesser und 1,5 m Brennweite sieht dann folgendermassen aus:

Masse in mm	Zonendurchmesser bis 100	150	200	240	Rand 250 ∅
Parabeltiefe $t = D^2/16\,f$	0,42	0,94	1,67	2,40	2,60
Soll-Linealverschiebung s	0 [1])	1,04 [2])	2,50 [2])	3,96 [2])	
effektiv gemessene Lineal-Verschiebung [3])	0 = Basis	0,80	2,20	4,20	
Schiebfehler $\triangle s$		0,24	0,30	0,24	
Brennweitenfehler $\triangle f = \frac{1}{4} \triangle s$		0,06	0,075	0,06	
Zonen-Öffnungsverhältnis	1 : 15	1 : 10	1 : 7,5	1 : 6,3	1 : 6
∅ des Fehlerscheibchens d		0,006	0,01	0,01	

[1]) Die Zone bis 100 ∅ braucht zufolge ihres kleinen Oeffnungsverhältnisses nicht parabolisiert zu sein (sphärisch = Basis für unsere Messung).

[2]) Linealverschiebung gegenüber Zentralzone (1,04 = 1,88—0,84).

[3]) Mittelwert, als Beispiel angenommen.

Für unser angenommenes Beispiel sind also die gefundenen grössten Durchmesser der Fehlerscheibchen ca. 0,01 mm gross. Um bei maximaler Vergrösserung keine Unschärfe zu erhalten, dürfen wir höchstens ein Okular mit 25facher Eigenvergrösserung verwenden. Wir kommen also, da der Spiegel, wie angenommen, 1,5 m Brennweite besitzt, auf eine scharfe oberste Vergrösserung von 150.

Da der Spiegel zufolge seines grossen Durchmessers, wie wir wissen, theoretisch eine wesentlich höhere Vergrösserung zulassen würde, könnten wir nun in unserem Beispiel versuchen, seine Genauigkeit zu verbessern. Etwas wäre vielleicht noch herauszuholen. Da wir als Amateure aber nicht über erstklassige Mess-Einrichtungen verfügen, d. h. wir haben keine genaue optische Bank mit Mikrometerbewegung und Nonius oder Messtrommel am Linealschlitten und auch keinen sehr feinen künstlichen Stern, wird es uns bei Spiegeln mit einem Oeffnungsverhältnis von etwa 1 : 5 bis 1 : 6 kaum möglich sein, eine grössere Genauigkeit als etwa ± 0,2 mm Linealverschiebung entsprechend zu erzielen *). Zu dem im Beispiel angenommenen Spiegel ist einerseits zu sagen, dass er sich zufolge seiner relativ kurzen Brennweite auch gar nicht speziell für höchste Vergrösserungen eignet und andererseits, dass er aber bei einer noch sehr leichten Unschärfe, vielleicht bis auf eine etwa 200fache oberste Vergrösserung hinauf, ausgezeichnete Dienste leisten würde.

Sehen wir uns noch kurz die Verhältnisse für einen relativ langbrennweitigen Spiegel an, z. B. mit 200 mm Aussendurchmesser und 2,5 m Brennweite. Bei diesem kleinen Oeffnungsverhältnis werden die Schattenkontraste bei der Foucault-Probe schwächer ausfallen. Demzufolge müssen wir zufrieden sein, wenn wir mit Messung und Bearbeitung auf eine Genauigkeit, etwa ± 0,3 bis 0,4 mm Messlinealverschiebung entsprechend, kommen. Nehmen wir an, wir hätten für eine Randzone F : 12 eine grösste Abweichung von 0,32 mm Messerverschiebung gegenüber dem Sollwert der Parabolisierung festgestellt! Dem entspricht ein Brennweitenfehler von 0,08 mm und für unser Oeffnungsverhältnis 1 : 12 ein Fehlerscheibchen von ca. 0,007 mm ∅. Damit noch keine Unschärfe ersichtlich wird, dürften wir ein ca. 35faches Okular verwenden, d. h. wir kommen also diesmal auf eine fehlerfreie oberste Vergrösserung von ca. 350fach hinauf!

Wir wollen uns hier jeder Diskussion über das vorteilhafteste Oeffnungsverhältnis von selbst zu schleifenden Spiegeln enthalten und wollten ausschliesslich die Auswirkung der Spiegelfehler quantitativ untersuchen. Vergessen wir nicht, dass wohl die Fehlerquellen eines Teleskopes mit denjenigen des Spiegels noch lange nicht erschöpft sind. Aber wir müssen doch gestehen, dass der Löwenanteil der Ungenauigkeiten in der Regel von unserem selbstgeschliffenen Spiegel stammt. Unsere Foucault-Messungen sind, zufolge unserer unvollkommenen Einrichtungen, auch wenn wir Mittelwerte mehrerer Notierungen verwenden, doch immer etwas ungenau. Als wichtiger Faktor spielt auch unser nicht ganz unvoreingenommenes Verhalten bei der Messung mit. Wissen wir doch sehr genau, was wir herausmessen müssen oder wollen — und da

*) Mit der in «Orion» Nr. 17, S. 369 (1947) angegebenen Messvorrichtung (Verwendung einer Schiebelehre) lassen sich die Messungen bequemer, objektiver und genauer ausführen.

geht es doch, damit der Spiegel genauer ist, so sehr leicht, das Lineal ein bisschen mehr so oder so zu schieben, oder den Schatten ein bisschen mehr so oder so zu beurteilen... Aber halt, lieber Freund, eben gerade das wollte ich noch sagen: Genau wollen wir messen, ehrlich und so genau als wir nur können, dann ist auch mit unserer oft behelfsmässigen Einrichtung schon sehr viel zu erreichen. Und wenn dem Spiegel zum Schluss noch ein kleiner Fehler anhaftet, den wir nicht mehr beseitigen können, soll das ruhig in unserem Messprotokoll, das wir sorgsam zur Seite legen, enthalten sein. Die Freude an einem später einmal noch besser gelungenen Spiegel wird dafür um so grösser sein!

Notice complémentaire sur la Famille Herschel

(Voir «ORION», Nos. 23 à 25)

En suite à l'histoire de la Famille Herschel, publiée ici même il y a deux ans, nous sommes autorisés à donner la traduction d'extraits d'une longue lettre privée de Mademoiselle E. D. Herschel, dont le texte, si vivant et imagé, est un heureux complément à notre étude. Il s'adresse d'ailleurs aussi aux Membres de la S.A.S. qui ne peuvent que remercier sincèrement Mademoiselle Herschel de ses sentiments bienveillants envers notre Société.

(Réd.)

«Cher Monsieur Du Martheray,

... Je viens précisément de lire et de re-relire votre lettre si intéressante, n'étant pas une très bonne écolière en français, et je vous remercie de m'avoir écrit de façon si complète, ainsi que de l'envoi de votre très intéressante revue «Orion». Je dois partager ces deux envois avec la plus jeune génération, mais j'ai le chagrin de vous informer que mon frère bien aimé, John, (Le *Rev. Sir John Herschel*, Bt.) est mort il y a un an, le 15 juin 1950. Son unique frère, Arthur, est décédé il y a déjà bien des années (1917) ne laissant pas de fils mais seulement deux filles, Eliane et Caroline. Mon frère n'avait pas d'enfants, mais une épouse dévouée qui lui survit: Lady Herschel. Eliane, l'aînée de mes nièces, a épousé Christophe Shorland et a un fils, John Shorland, et deux filles, tandis que que sa sœur cadette n'est toujours pas mariée. Ainsi elle et moi sommes les seuls Herschel de nom actuellement survivants. Aussi je crains fort que le nom s'éteigne bientôt, mais les exploits et les découvertes de nos célèbres ancêtres resteront à la postérité. Toutes les plus importantes reliques et les écrits de William et de John sont égrenés à Observatory House.