

# Zentrieren, justieren, kollimieren Teil 1

Autor(en): **Ziegler, H.G.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **49 (1991)**

Heft 244

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-898937>

## **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.

# Zentrieren, justieren, kollimieren Teil 1<sup>1</sup>

H.G. ZIEGLER

Diese Verben beschreiben Einstelloperationen an der Teleskopoptik. Von ihrer sorgfältigen Ausführung hängt in hohem Masse die Bildgüte des Instrumentes ab. Dieser Sachverhalt ist in Amateurreisen wenig bekannt oder aber die Auswirkung auf die Bildqualität wird unterschätzt. Ein Grund dafür ist, dass in der deutschsprachigen Amateurliteratur wenig darüber zu finden ist. Es werden weder die optischen Grundlagen behandelt noch wird auf die praktischen Probleme eingegangen. Vollkommen unerwähnt bleiben die dafür nötigen Einstell-Hilfsmittel. Sehr viel ergiebiger ist eine Suche in der englischsprachigen Amateurliteratur. In dieser finden sich vermehrt Beiträge zu diesem Themenkreis. Man stösst hier auf grundlegende Artikel und zahlreiche nützliche Hinweise für die praktische Ausführung der Einstelloperationen. Dabei werden auch die Kollimations-Hilfsmittel beschrieben. Am wichtigsten scheint mir jedoch, dass von den meisten Autoren mit Nachdruck darauf hingewiesen wird, wie wichtig eine einwandfreie *Kollimation* der Optik für die Bildgüte ist.

Ein weiterer Grund für den geringen Bekanntheitsgrad dieser optischen Einstelloperationen ist, dass heute die meisten Amateure ihre Instrumente am Astrogerätemarkt kaufen. Es wird als selbstverständlich angenommen, dass die Kollimation der Optik vom Hersteller mit grösstmöglicher Sorgfalt und ein für allemal ausgeführt wurde. Beides trifft jedoch nur eingeschränkt zu. Besonders komplexe Optiken wie z.B. Schmidt-Cassegrainsysteme erfordern eine sehr genaue Kollimation. Diese Operation ist ein nicht vernachlässigbarer Kostenfaktor, der zu Buche schlägt. Man sollte daher bei in grossen Serien, unter Preisdruck und für den Amateurgebrauch hergestellten Teleskopoptiken die Messlatte nicht zu hoch legen. Auch mit der zeitlichen Unveränderlichkeit der einmal ausgeführten Justierung darf nicht gerechnet werden. Selbst bei professionellen Teleskopen wird die Bildqualität und Kollimation laufend im Auge behalten und kontrolliert. Für Amateurgeräte und besonders für Eigenkonstruktionen wie etwa *Dobson-Teleskope* sollte eine Routinekontrolle der Kollimation zum Standard gehören. Bei solchen Instrumenten sind die Spiegelzellen, die Fassungen der Optik, die Einstellelemente, die Rohre und die Fokussier-einrichtungen bei weitem nicht so steif und formstabil konstruiert und die Mechanik so solid und präzise ausgeführt wie bei jenen der Fachastronomie. Erschütterungen beim Transport, grosse Temperaturschwankungen (Tag-Nacht, Sommer-Winter), Kunststoffelemente (Rohre) die *kriechen*<sup>2</sup>, Holzkonstruktionen, die bei sich ändernder Luftfeuchte schwinden oder quellen und noch weitere Einflussfaktoren mehr können die Kollimation nachhaltig beeinträchtigen. Die Kontrolle der Kollimation und die Beherrschung der im Titel

genannten Tätigkeiten sind daher für jeden Amateur relevant der ein Instrument besitzt und von diesem eine bestmögliche Bildqualität verlangt.

## Die Kollimations- Zentrier- und Justierfehler

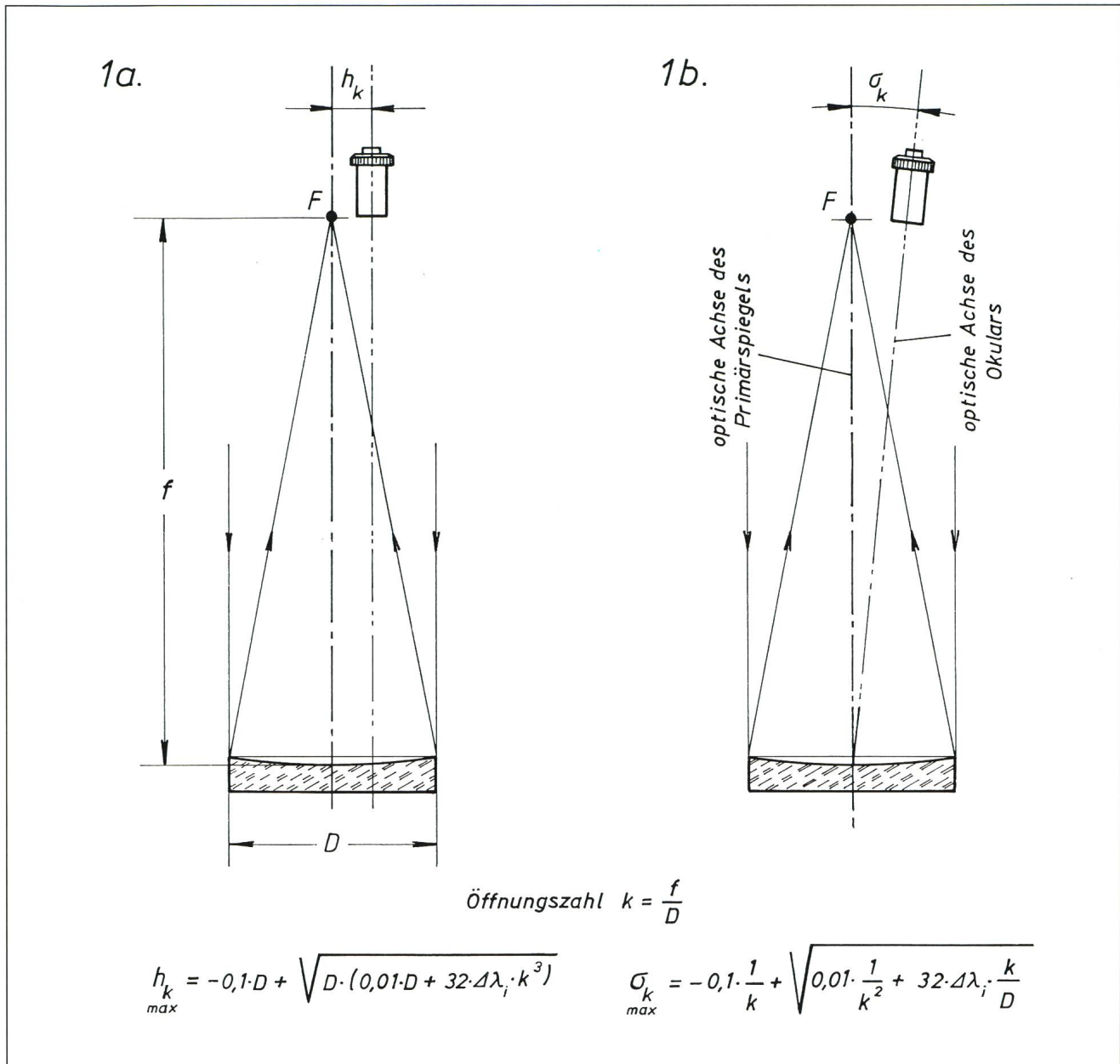
Ein Fernrohr oder ganz allgemein eine Optik besteht aus mehreren Komponenten. Bei einem Newtonsystem sind dies der parabolische Hauptspiegel, der Fangspiegel und das Okular. Bei einem Refraktor sind es 2 bis 3 Objektivlinsen und das Okular und bei einem Schmidt-Cassegrain eine Schmidtplatte, ein Hauptspiegel, ein Sekundärspiegel und ebenfalls ein Okular oder auch die Filmebene einer Kamera. Nicht zu vergessen sind die Blenden im Strahlengang (Aperturblende, Bildfeldblende usw.) und genauegenommen auch das Auge. Jedes dieser Elemente hat eine optische Achse. Unter Kollimation versteht man das genaue Fluchten aller dieser Achsen. Ausserdem müssen die Kreiszentren der Blenden auf dieser Achse liegen und die Filmebene muss mit der Bildebene zusammenfallen. Das Wort *kollimieren* kommt vom lateinischen *collineo* = richten, zielen, das Ziel treffen. Wir verwenden diesen Fachausdruck um von den beiden anderen Verben *zentrieren* und *justieren* zu unterscheiden. Was darunter zu verstehen ist wird gleich gezeigt.

Nach dem Zusammenbau einer Optik werden mit grosser Wahrscheinlichkeit die optischen Achsen der einzelnen Elemente nicht fluchten. Die dabei auftretenden Fluchtungsfehler sind am Beispiel eines Newton-Spiegels mit Okular in der Abb. 1a und 1b dargestellt. Um den Sachverhalt deutlich zu machen wurden die Fehler stark übertrieben gezeichnet. Ausserdem wurde vorerst der den Strahlengang umlenkende Fangspiegel weggelassen. Beim *Lateralfehler* 1a sind die beiden optischen Achsen parallel um einen Betrag  $h_k$  versetzt. Von einem Kippfehler oder Neigungsfehler spricht man, wenn die Achsen unter einem Winkel  $O_k$  geneigt sind (Abb. 1b).

Optische Achsen sind keine materiellen und somit sichtbaren Dinge. Beim Kollimieren muss man daher auf sichtbare Grössen abstellen, die mit den optischen Achsen korreliert sind. Nun hat in der Regel jeder Spiegel, jede Linse und jede Blende eine kreisförmige Begrenzung, den Spiegel-, Linsen- und Blendenrand. Diese begrenzen auch die optischen Strahlenbündel. Dadurch werden sie als Kreise sichtbar. Beim Kollimieren sind die Elemente so zu verschieben und zu kippen, dass alle Kreisbilder genau konzentrisch sind. Das Problem dabei ist, dass diese sichtbaren geometrischen Begrenzungen nicht automatisch einen Bezug zu den optischen Achsen haben müssen. In der Abb. 2 ist gezeigt, dass die geometrische Achse  $O_g-O_g$  einer Linse oder eines Parabolspiegels nicht mit der optischen Achse  $O_0-O_0$  dieser Elemente zusammenfallen muss. Dieser Fehler wird *Zentrierfehler* genannt. Bei einem nicht zentrierten optischen Element kann sowohl eine laterale Verschiebung  $h_k$  als auch ein Kippfehler  $O_k$  vorliegen. Beide Fehler werden formal wie in der Abb. 1a und 1b angegeben behandelt. Bei der Herstellung von Linsen tritt immer ein mehr oder weniger grosser Zentrierfehler auf. Sie werden daher mit einem erheblich grösseren Durchmesser  $D_{roh}$  geschliffen und in einem weiteren Arbeitsgang zentriert. Dabei wird auf Zentriermaschinen der Linsen-Rohrdurchmesser so auf das vorgegebene Nennmass

<sup>1</sup>Vor drei Jahren fand in Carona ein Kolloquium unter Prof. Schürer statt. In diesem wurde auch dieses Thema behandelt. Es war für den Autor ein Anstoss sich mit dieser Materie eingehender zu befassen.

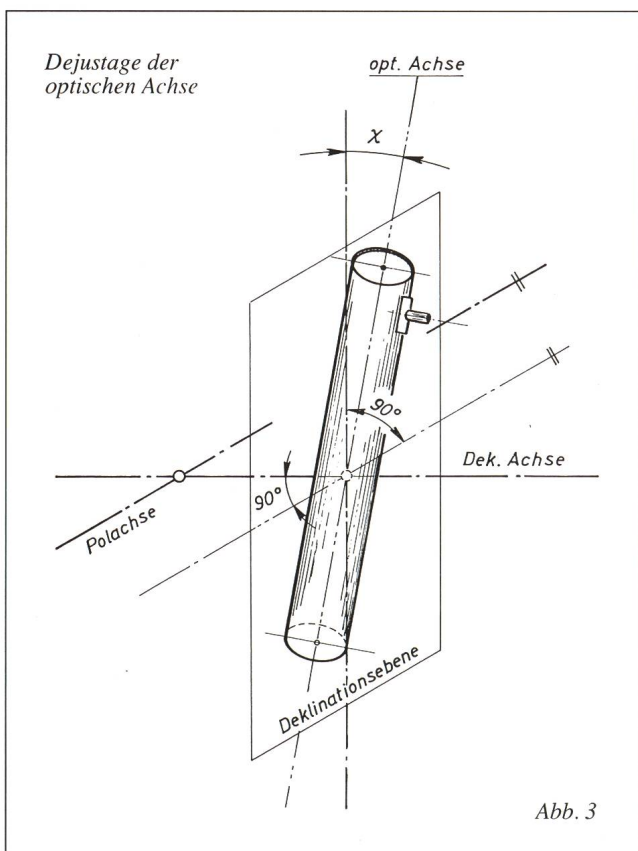
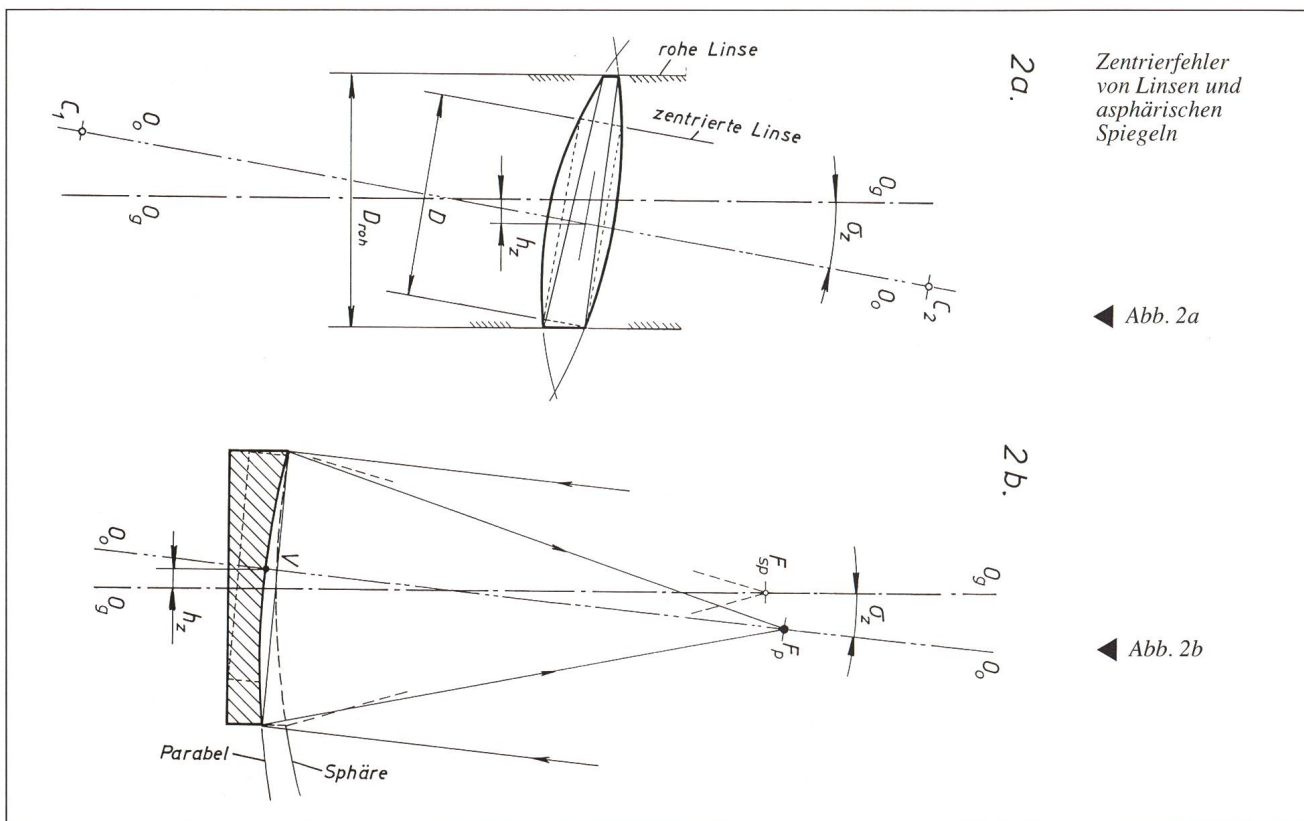
<sup>2</sup>Unter *kriechen* versteht man eine bei Belastung ganz langsam fortschreitende und nicht reversible Formänderung. Es ist eine charakteristische Werkstoffeigenschaft, die bei vielen Kunststoffen recht ausgeprägt ist.



D zylindrisch geschliffen, dass die Mantelfläche genau zentrisch zur optischen Achse ist. Wenn so zentrierte Linsen in genau gedrehten und rundlaufenden Fassungen eingebaut sind, dann ist das gesamte Bauelement in sich zentriert und es müssen nur die Kollimationsfehler in Bezug auf die anderen Elemente berücksichtigt werden. Teleskopspiegel werden hingegen nicht zentriert. Der sphärische Spiegel ist dabei ein Sonderfall. Eine Kugel hat wohl ein Zentrum  $C_{sp}$ , aber keine ausgezeichnete Achse. Eine jede beliebige Linie, die durch das Kugelzentrum geht, kann eine optische Achse sein. Anders liegt der Fall bei parabolischen, hyperbolischen und elliptischen Spiegeln. Diese haben ausgezeichnete optische Achsen. Sie gehen durch den oder die Brennpunkte und/oder die Scheitelpunkte der Kurven und sind Symmetrieachsen. Bei der Herstellung solcher asphärischer Spiegel wird in der

Regel zuerst eine Sphäre geschliffen. Diese wird dann in bekannter Weise zu den entsprechenden Kegelschnittkurven retuschiert (z.B. parabolisiert). Bei solchen Spiegeln ist mit einem umso grösseren Zentrierfehler zu rechnen, je kurz-brennweitiger sie sind und umso grösser (tiefer) der erforderliche Glasabtrag von der Ausgangssphäre ist. Wollte man einen asphärischen Spiegel in analoger Weise wie eine zentrierte Linse fassen, dann müsste er, wie in der Abb. 2b mit dünn punktierten Linien angedeutet, zugeschliffen werden. Dies wäre wenig sinnvoll und recht aufwendig. Man muss daher andere Zentrierhilfen einsetzen, da sein Rand für die Kollimation nicht repräsentativ ist.

Ein Fehler anderer Art ist in der Abb. 3 dargestellt. Das rechtwinkelige Himmels-Koordinatensystem wird instrumentell durch ein ebenfalls rechtwinkeliges Achssystem



realisiert. Bei einem in sich mechanisch einwandfrei justierten Achsensystem muss die Deklinationsachse mit der Polachse einen rechten Winkel einschliessen. Ausserdem muss die optische Achse genau in der Deklinationssebene liegen. Wenn sie gegenüber dieser Ebene geneigt ist, dann "schielt" das Teleskop. Dieser *Rechtwinkeligkeits-Fehler*  $\chi$  hat keinen Einfluss auf die optische Kollimation. Er muss jedoch sehr wohl beim Kollimier-Procedere berücksichtigt werden. Zum Rechtwinkeligkeits-Fehler noch folgende Hinweise: Bei rein visuell eingesetzten Instrumenten für die Mond und Planetenbeobachtung, für Kometensuche und Beobachtung veränderlicher Sterne und bei Dobson-Teleskopen ist er belanglos. Man braucht ihm keine grosse Aufmerksamkeit zu schenken. Er ist jedoch von Bedeutung bei der Langzeitfotographie, bei Instrumenten mit Teilkreisen (die auch wirklich benützt werden!) und vor allem bei Teleskopen mit Winkelenkodern, die mit einem Computer zusammenarbeiten. Je nach den Genauigkeitsansprüchen ist eine entsprechende Justage dieser beiden Winkel erforderlich.

**Allgemeine Fehlerbetrachtungen zur Kollimation**

Die Abbildungsgüte einer Optik wird durch die Deformation der Wellenfront in der Bildebene bestimmt. Es ist üblich diese in Bruchteilen der Wellenlänge  $\lambda$  anzugeben. Für das dunkeladaptierte Auge ist  $\lambda = 500 \text{ nm}$  oder  $0,5 \mu\text{m}$ . Als Minimalforderung wird für eine gute Fernrohroptik eine maximale Wellenfrontaberration von  $\lambda/4$  angesehen. Für anspruchsvolle Planetenbeobachtungen werden sogar nur Abweichungen von  $\lambda/20$  gefordert. Es gibt kein absolut fehlerfreies optisches Element. Beim Durchlaufen der Wellenfront durch ein System wird diese in jedem Element mehr oder weniger stark gestört. Diese Einzelstörungen  $\Delta\lambda_i$ , summieren

sich zur Wellenfrontdeformation in der Bildebene auf. Gibt man die maximale Abweichung  $\Delta\lambda_{\max} = \lambda/4$  vor, dann müssen die Einzelfehler  $\Delta\lambda_i$  wesentlich kleiner sein. Bei einer vorausplanenden Fehlerabschätzung werden die Einzelfehler in der Fehlerkette gleich gross angenommen. Es wäre ja wenig sinnvoll, um ein Beispiel zu nennen, wenn man in einem Cassegrain-System einen hochgenau geschliffenen Hauptspiegel mit einem stark fehlerbehafteten Sekundärspiegel kombinieren würde. Mit dieser Annahme ergibt sich, dass bei einem Newtonsystem die Einzelfehler  $\Delta\lambda_i$  und somit auch die Kollimationsfehler um mindestens einen Faktor 3 kleiner sein müssen als die Wellenfrontaberration in der Bildebene. Rechnet man mit  $\lambda/16$ , dann sind dies  $3,125 \cdot 10^{-5}$  mm. Welcher Art sind diese Fehler? Es ist bekannt, dass ein Parabolspiegel nur auf der optischen Achse eine scharfe Abbildung ergibt. Im ausseraxialen Bereich zeigt er Koma und bei schräg einfallenden Strahlenbündeln zudem Astigmatismus. Aus den Abb. 1a und 1b ist ersichtlich, dass eine nicht einwandfrei kollimierte Fernrohoptik in der Bildebene diese Fehler aufweist. Wie gross dürfen bei der angegebenen Wellenfrontaberration die laterale Verschiebung  $h_{k \max}$  und der Kippwinkel  $\sigma_{k \max}$  sein? A.S. Leonard (3) hat für den Parabolspiegel und das Newton-System diese Fehler berechnet. Die Formeln sind in der Abb. 1 angegeben. Mit diesen wurden die Werte für verschiedene Spiegel-Durchmesser und Öffnungszahlen  $k$  berechnet (Tabelle 1). Für  $\sigma_k$  sind die Winkel im Bogenmass (rad) angegeben wobei  $1 \text{ rad} = 57,296^\circ$  sind. Was ist aus diesen Zahlenwerten herauslesbar?

1. Die maximal zulässigen Lateral- und Kippfehler sind sehr stark von der Öffnungszahl  $k$  abhängig. Lichtstarke Spiegel, d.h. solche mit kleiner Öffnungszahl, tolerieren nur sehr kleine Querverschiebungen und Kippwinkel.

2. Der Spiegeldurchmesser hat keinen nennenswerten Einfluss auf  $h_{k \max}$ . Er wirkt sich jedoch stark auf die  $\sigma_k$ -Grenzwerte aus.

Vor 25 Jahren wurden von den Amateuren vorwiegend Spiegel mit 150 mm Ø und Öffnungszahlen 8 bis 10 geschliffen. Heute sind solche Spiegel kaum noch gefragt. Selbst der unbetuchte Amateur wird wenigstens einen 30 cm Dobson anstreben und wer etwas auf sich hält, der schafft sich einen 300 mm Schmidt-Cassegrain an. Beide Optiken haben Hauptspiegel mit Öffnungszahlen zwischen 3 und 4. Das Gesamtöffnungsverhältnis bei Schmidt-Cassegrain-Systemen liegt hingegen bei 10. Sie sind daher gut mit den alten Newtonspiegeln vergleichbar. Der Standard-Newton von ehemals (150/10) verträgt eine laterale Verschiebung von 4,4 mm und einen Kippfehler von 10 Winkelminuten. Er wird auch bei einer nicht sehr genau ausgerichteten Optik eine einwandfreie Abbildung ergeben. Ausserdem ist ein solches Newton-System einfach und ohne Hilfsmittel zu kollimieren. Das unbewaffnete Auge und ein wenig Augenmass reichen dafür vollkommen aus<sup>3</sup>. Für einen Ø 300/3,5-Spiegel findet man hingegen Werte von etwa 1/10 mm und  $2 \cdot 10^{-4} \text{ rad} = 40$  Bogensekunden! Das sind recht kleine Werte für die Mechanik und Fertigungstoleranzen der Spiegelzellen, Justierelemente und Komponenten, die die optischen Achsen festlegen. Solche Systeme sind nur dann einwandfrei kollimierbar, wenn eine Reihe von Rahmenbedingungen erfüllt sind:

1. Die Tragstruktur und die Fassungen der optischen Elemente müssen *stif* und *formstabil* konstruiert sein. Es dürfen weder mechanische noch thermische Geometrieänderungen auftreten. Dies schliesst neben dem gut durchdachten Konzept die richtige Werkstoffwahl, respektive die Berücksichtigung der charakteristischen Werkstoffeigenschaften ein.

2. Die Fassungen der optischen Elemente (Hauptspiegel, Sekundärspiegel, Fokussiereinheit usw.) müssen mit geeigneten Justiereinrichtungen versehen sein. Dabei ist zu überlegen, in welchen Richtungen die Elemente verstellt werden müssen. Man nennt dies die *Justierfreiheitsgrade*.

3. Die Fassungen und Justiereinrichtungen müssen spielfrei sein. Sie dürfen jedoch nicht die optischen Elemente *verspannen*. Deformationsbedingte Bildfehler wären die Folge<sup>4</sup>.

4. Die Justierelemente müssen mit adäquater *Feinfühligkeit* einstellbar sein. Wenn z.B. bei einem System die Kippfehler nicht grösser als 40" sein dürfen, dann müssen die Justierschrauben eine Mindest-Einstellgenauigkeit von  $\pm 20''$  ermöglichen. Man beachte, dass die Motorik der menschlichen Hand etwa einen kleinsten Verdrehwinkel von  $\pm 1^\circ$  ermöglicht<sup>5</sup>.

5. Das unbewaffnete menschliche Auge reicht für die Kollimation nicht mehr aus. Es sind dafür Kollimationshilfsmittel und Kollimationsokulare erforderlich.

6. Das Kollimations-Procedere erfordert ein gezieltes Vorgehen, etliche Geduld und einige Übung.

Auf die technischen und konstruktiven Details dieser Rahmenbedingungen kann hier nicht eingegangen werden.

Wenn man die Grenzwerte für Spiegel mit kleiner Öffnungszahl betrachtet, dann wird auch die Aussage über die zeitliche Konstanz der Kollimation verständlich. Ein lichtstarker *Dobson* in einem zusammengezimmerten Holzkasten wird seine Kollimation kaum lange beibehalten! Bei einem solchen Instrument müsste eigentlich vor jeder Beobachtung die Kollimation mit einem *Cheshire-Okular*<sup>6</sup> kontrolliert werden. Auch bei käuflichen Schmidt-Cassegrain Systemen, die bereits eine Atlantiküberquerung und etliche Autotransporte hinter sich haben, sind bald einmal 1/10 mm und 40 Winkelsekunden quer- und schiefgerüttelt.

Tabelle 1

k	Laterale Verschiebung $h_{k \max}$				Kippwinkel $\sigma_{k \max}$			
	Spiegeldurchmesser D							
	150	250	300	400	150	250	300	400
3	0,134	0,135	0,135	0,135	2,987	1,795	1,497	1,123
3,5	0,213	0,213	0,214	0,214	4,055	2,440	2,034	1,527
4	0,317	0,317	0,318	0,319	5,278	3,180	2,653	1,992
6	1,044	1,058	1,061	1,066	11,60	7,051	5,896	4,441
8	2,372	2,441	2,459	2,483	19,77	12,20	10,25	7,759
10	4,365	4,580	4,640	4,721	29,10	18,32	15,47	11,80
	Werte in mm				Werte in rad • 10 <sup>-4</sup>			

<sup>3</sup>Diese sehr einfache Kollimations-Procedur ist z.B. in *H. Rohr, das Fernrohr für jedermann*, S. 224 oder in *Amateur Telescope Making, Book 1*, p. 43 sowie *Book 2*, p.272 beschrieben.

<sup>4</sup>In Dobson Teleskopen und Schmidt-Cassegrain Systemen werden heute verhältnismässig dünne Spiegel verwendet. Diese sind sehr verspannungsempfindlich.

<sup>5</sup>Siehe dazu der Autor in *Handbuch für Sternfreunde*, 4. Auflage, Kapitel 3 S. 132.

<sup>6</sup>Was das für ein Okular ist und wie man sich ein solches Okular mit einfachen Mitteln selbst herstellt, wird in einem folgenden Beitrag gezeigt.

Die Formeln und Tabellenwerte wurden für die Kombination Parabolspiegel-Fangspiegel abgeleitet. A.S. Leonard weist jedoch darauf hin, dass die Kollimationsfehler auch bei anderen asphärischen Spiegeln und Element-Kombinationen von derselben Grössenordnung sind. Bei der Kombination mehrerer Kollimationsgruppen können sich allenfalls gewisse Fehler teilweise aufheben, wenn sie verschiedene Vorzeichen haben. Die Bildfehler-Theorie zeigt jedoch, dass dann in der Regel die Summen der anderen Fehlerterme grösser werden. Dies ist besonders bei der Cassegrain-Anordnung der Fall. Bei dieser kommt noch die Zentrierproblematik von zwei Spiegeln hinzu. Man hat weder am Haupt- noch am Sekundärspiegel genaue Zentriermarken um sie auszurichten. Zentrierfehler und eine schlechte Kollimation werden erst durch eine unbefriedigende Bildgüte manifest. Hier stellt sich die Frage, wie äussern sich solche Fehler konkret in der Abbildung und wie kann ein Teleskop einfach auf Kollimierfehler geprüft werden? Dazu wird ein hellerer Stern, möglichst aus der Zenitgegend, in die Bildfeldmitte gerückt. Zu bedenken ist dabei, dass für solche Prüfungen gute Sichtverhältnisse mit geringer Luftunruhe erforderlich sind. Man beginnt mit etwa 100 bis 150 facher Vergrösserung. Der Fokustrieb wird dann langsam inner- und ausserfokal verstellt. Das punktförmige Sternbild muss dabei in beiden Richtungen zu einem genau kreisförmigen Scheibchen expandieren. Bei einer guten Optik müssen zudem die Kreisflächen gleichmässig hell ausgeleuchtet sein. Sie dürfen weder eine helle Randzone mit dunkler Zentralpartie noch das Gegenteil davon aufweisen. Erhöht man die Vergrösserung, dann sollten bei gutem *seeing* die bekannten Beugungsringe sichtbar sein. Auch diese müssen intra- und extrafokal zu regelmässigen Kreisen expandieren. Sind die Sternscheib-

chen in den defokussierten Bereichen elliptisch oder länglich deformiert, dann liegt Astigmatismus vor. Ein weiteres Kennzeichen für diesen Fehler ist, dass sich beim Übergang von der intrafokalen Lage zur extrafokalen die Orientierung der Achse dieser Ellipsen um  $90^\circ$  dreht. Koma ist an ihrer charakteristischen kometenförmigen Bilddeformation zu erkennen. Bei solchen Prüfungen muss auch das Auge des Beobachters kontrolliert werden. Wenn man den Kopf dreht, darf sich die Deformation des Sternscheibchens nicht mitdrehen. Die beschriebenen Fehlersymptome sind jedoch nicht ausschliesslich für eine mangelhafte Kollimation charakteristisch. Sie können auch durch verspannte oder schlecht gelagerte Spiegel verursacht werden. Die Spiegelzellen, das Spiegel-Auflagesystem und die Fangspiegel-Halterung sind für eine einwandfreie Abbildung genau so wichtig wie die korrekte Kollimation. Auch Geometriefehler der optischen Flächen, die schon beim Polierprozess generiert wurden, können zu obigen Erscheinungen führen. Erst wenn eine Nachkollimation erfolglos bleibt, muss auf diese Fehlerursachen getippt werden.

(1) H. Rohr: Das Fernrohr für jedermann. 7. Aufl. 1983 Zürich: Orell Füssli

(2) Ingalls A.G.: Amateur Telescope Making, Book I und Book II. Scientific American, Inc.

(3) Mackintosh A.: Advanced Telescope Making Techniques. 1986 Willmann-Bell, Inc. Collimation Tolerances for Reflecting Telescopes, by A.S. Leonard.

(4) Rutten H., Venrooij M.: Telescope Optics, Evaluation and Design. 1989 Willmann-Bell, Inc.

H. G. ZIEGLER  
Ringstrasse 1a, 5415 Nussbaumen

## Bildfeldkorrektoren 2. Teil

GERHARDT KLAUS

Im ORION 240 Seite 169 haben wir im Beispiel (b) gesehen, wie mit einem 2-linsigen, brechkraftlosen Korrektorsystem das fotografisch ausnutzbare Bildfeld eines Parabolspiegels auf einen Durchmesser von rund  $2^\circ$  gebracht werden kann, dass dabei aber leider die Verbesserung der Randschärfe auf Kosten der Mittelschärfe geht. Je grösser die relative Öffnung ist, umso schlimmer wird dieser Effekt. Dies lässt vermuten, dass es sich hier um neu eingeführte sphärische Aberration handelt, die gemäss Beispiel (c) mittels einer dritten Linse wieder aufgehoben werden kann. Da liegt natürlich die Frage nahe, ob nicht eventuell das gleiche Resultat durch eine leichte Verformung der Hauptspiegelfigur erreicht werden könnte. Die Durchrechnung mit verschiedenen Werten der Exzentrizität  $E$  hat nun ergeben, dass dies tatsächlich durch schwaches Hyperbolisieren möglich ist. Am Beispiel eines 250/1000 mm Spiegels zeigt sich, dass die Mittelschärfe unter den Wert des praktischen Auflösungsvermögens gebracht werden kann, so dass diese Kombination auch visuell voll einsatzfähig wird, verbunden mit dem Vorteil einer nochmals besseren Randschärfe im Bildfeld bis zu  $2^\circ$  Durchmesser.

### Anmerkung für Spiegelschleifer:

Die Verschiebung der Messerklinge in der Foucault-Probe ist proportional zu  $E^2$ . Eine Hyperbolisierung für  $E = 1.095$  heisst also: Die Abstände der Schneidestellungen bei der

(Fortsetzung auf Seite 115)

