

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Band: 54 (1996)
Heft: 277

Artikel: Optische Genauigkeitskriterien und Toleranzen
Autor: Ziegler, H.G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-898155>

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: 31.10.2024

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



Optische Genauigkeitskriterien und Toleranzen

H. G. ZIEGLER

Bei der Herstellung optischer Flächen müssen präzise Genauigkeitstoleranzen vorgegeben werden. Sie sind, neben anderen Faktoren, massgebend für die Qualität der fertigen Optik. Für die Formgenauigkeit optischer Flächen haben sich im Laufe der Zeit verschiedene Kriterien etabliert. Eines dieser Toleranz-Kriterien ist das bekannte $\lambda/4$ -Rayleigh-Kriterium. Die Flächengenauigkeit kann jedoch auch mit dem RMS-Maréchal-Kriterium, der Strehlzahl, dem Danjon-Couder-Kriterium oder am umfassendsten mit der MTF (Modulation Transfer Function) spezifiziert werden.

Von Optik- und Teleskopherstellern werden heute vielfach Genauigkeitsangaben anhand eines dieser Kriterien gemacht. Es ist wichtig, dass man auch als Amateur mit diesen Genauigkeitskriterien vertraut ist. Ein Aspekt (der hier jedoch nicht im Detail behandelt wird) ist, wie man als Amateur gegebenenfalls diese Genauigkeitsangaben überprüfen kann.

La fabrication de surfaces optiques exige la définition de tolérances très strictes. Outre d'autres facteurs, ces dernières jouent un rôle déterminant dans la qualité du système optique achevé. Un certain nombre de critères se sont imposés au cours du temps pour définir la précision morphologique de surfaces optiques. Parmi les mieux connus de ces critères de tolérance est celui de Rayleigh à $\lambda/4$. La précision de la surface optique peut toutefois aussi être exprimée à l'aide du critère RMS-Maréchal, du nombre de Strehl, du critère de Danjon et Couder, ou de la manière la plus complète par la MTF (Modulation Transfer Function). Les fabricants d'optique et de télescopes fournissent aujourd'hui de plus en plus souvent des données basées sur ces critères sur leurs produits. Il est donc important que l'amateur puisse aussi être capable d'interpréter les résultats issus de l'application de ces critères. Cet aspect est traité ici (toutefois de manière non exhaustive) pour donner à l'amateur la possibilité d'évaluer les informations fournies par le fabricant.

1. Einleitung

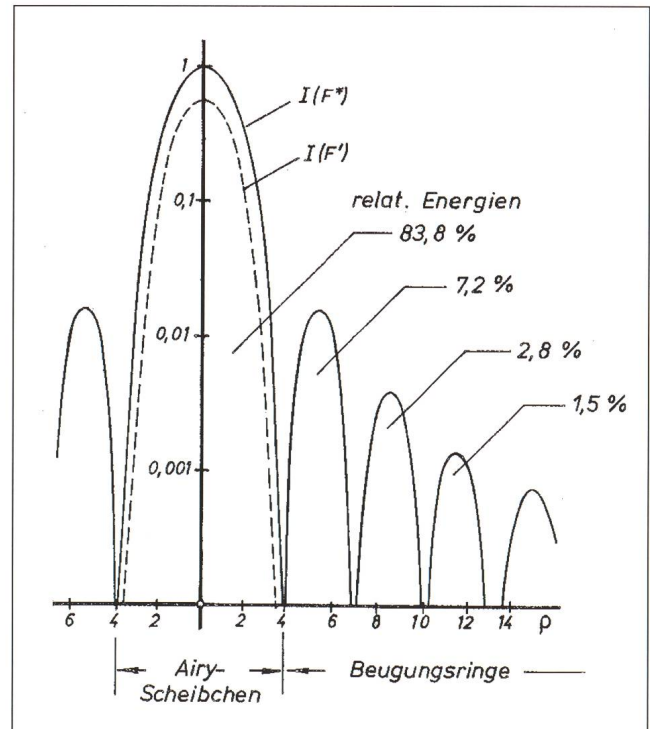
Kein von menschlicher Hand gemachtes Produkt lässt sich mit mathematischer Genauigkeit herstellen. Jedes System, jedes Element eines Systems, ist mit Fehlern behaftet. Im folgenden soll jedoch nicht von Fehlern gesprochen werden. Erstens haben die Worte «Fehler» und «fehlerhaft» im üblichen Sprachgebrauch eine negative Bedeutung und zweitens meinen sie in der Technik etwas anderes. «Fehlerhaft» ist etwas, das die vorgesehenen Funktionen nicht einwandfrei erfüllt. Bei den herstellungsbedingten Abweichungen von exakten Massen wird besser von Toleranzen gesprochen. Toleranzen werden von zahlreichen Faktoren bestimmt. Es ist wichtig, dass man diese Faktoren einigermaßen kennt und auch entsprechend berücksichtigt, um nicht zu Fehlurteilen zu kommen. Es sind dies:

- a. Rahmenbedingungen, die von der Verwendung und dem Einsatz des Objektes bestimmt werden.
- b. Rahmenbedingungen, die durch die Herstellung gegeben sind (Genauigkeit der Maschinen und Einrichtungen, vorhandene Mess- und Kontrollmittel usw.).
- c. Geschicklichkeit und berufliche Qualifikationen der Menschen, die die Objekte herstellen.
- d. Rahmenbedingungen ökonomischer und wirtschaftlicher Art (Preis, Preisakzeptanz, Zeitvorgaben, Marktgegebenheiten, Konkurrenzprodukte usw.).

Dazu zwei Beispiele aus der Optik:

- Eine billige Leselupe wird sicherlich keine so hohe Genauigkeit und engen Flächentoleranzen erfordern wie eine Teleskopoptik für Planetenbeobachtungen (Punkte a. und d.).
- Bei einer käuflich erworbenen Teleskopoptik wird man sich sehr sorgfältig überlegen müssen, welche Genauigkeit man für den gezahlten Preis überhaupt erwarten kann (Punkt d.)? Auch dies muss einmal Kritikern gesagt werden.

Abb. 1: Beugung an einer runden Öffnung (Aperturbeugung). Der Intensitätsverlauf ist im logarithmischen Massstab dargestellt. Die strichlierte Linie zeigt den Intensitätsverlauf bei zusätzlicher Beugung und/oder Wellenfrontdeformationen.





2. Grundlagen

Uns interessieren hier in erster Linie Fernrothroptiken. Wenn auf einem fernen Stern ein Lichtquant emittiert wird, breitet sich seine Energie als *elektromagnetische* Kugelwelle in den Raum aus. Die Wellenfront ist eine Sphäre. Nehmen wir ferner an, dass sie auf dem Weg zum Teleskop in keiner Weise gestört (deformiert) wird, dann erreicht die Teleskopöffnung eine *physikalisch ebene* Wellenfront. Warum eine ebene Wellenfront? Für den Mathematiker ist die Wellenfront immer noch eine Sphäre! Schon bei der nahen Sonne ist jedoch die Sehnenhöhe der Wellenfront subatomar klein und daher im physikalischen Sinn eine ebene Fläche.

Durch die abbildende Optik (Spiegel, Linse) muss diese ebene Wellenfront in eine *sphärisch-konvergente* (zusammenlaufende) Wellenfront umgeformt werden, die in der Bildebene ein punktförmiges Bild liefern sollte. Eine elektromagnetische Welle tut uns diesen Gefallen jedoch nicht. Sie wird schon an der Eintrittspupille gebeugt. An Stelle eines Lichtpunktes ergibt sich ein ausgedehntes Beugungsscheibchen mit Beugungsringen. Die Intensitätsverteilung ist eine *Besselfunktion*. Diese ist in der **Abb. 1** dargestellt. Für die Ordinate wurde ein logarithmischer Massstab gewählt, um die Energieverteilung in den Beugungsringen besser hervorzuheben. Von der durch eine kreisförmigen Öffnung tretenden Energie können maximal 83,8% im zentralen Beugungsscheibchen konzentriert sein. Der Rest verteilt sich, wie angegeben, auf die Beugungsringe.

Der Winkeldurchmesser ρ des zentralen Beugungsscheibchens, das auch *Airy-Scheibchen* genannt wird, ist nur von der Teleskopöffnung D und der Wellenlänge λ abhängig und errechnet sich nach der Besselfunktion [1] oder der bekannten Näherungsformel:

$$[\text{rad}] \rho = 2,44 \lambda / D \quad \text{Gl. 1}$$

D ist in mm einzusetzen und für λ z.B. die Wellenlänge des grünen Lichtes = 555 nm.

Die dargestellte Intensitätsverteilung gilt nur für ein ideales System, in dem keine Wellenfront-Deformationen auftreten. In einer realen Optik wird jedoch die sphärische Wellenfront immer mehr oder weniger deformiert sein. Schon Spiegel und Linsen mit mathematisch genauen Flächen transformieren eine ebene Wellenfront nicht in eine exakt *sphärisch konvergente*. Ein exakter Kugelspiegel liefert eine Wellenfront, die *sphärische Aberration* aufweist, ein exakter Parabolspiegel weist *Koma* und *Astigmatismus* auf usw. Zu diesen bekannten Abbildungsfehlern kommen noch herstellungsbedingte Ungenauigkeiten der Flächen und zahlreiche weitere *Systemfehler* hinzu. Generell kann gesagt werden:

Jede Wellenfrontdeformation, gleichgültig welche Ursache sie hat, transferiert Energie vom zentralen Beugungsscheibchen in das Beugungsringsystem.

Wellenfrontdeformationen sind in der Regel sehr kleine Größen. Sie werden daher in der Optik in Lichtwelleneinheiten, z.B. $\lambda/4$ angeben. Im weiteren soll nicht von den geometrischen Flächenfehlern gesprochen werden, sondern nur von den Deformationen Φ der Wellenfront, die von diesen Fehlern verursacht werden. Dazu ist anzumerken, dass einem Flächenfehler von $\lambda/4$ auf einer Spiegelfläche ein Wellenfrontfehler von $\lambda/2$ entspricht. Bei einer Linse aus

Kronglas darf der Flächenfehler für eine $\lambda/4$ Wellenfrontdeformation etwa um den Faktor 4 grösser sein. Spiegelflächen müssen daher viel genauer geschliffen werden als Linsenflächen. Ausserdem muss bei ihnen auch die Poliergüte erheblich besser sein. Bei Spiegelflächen wirkt sich die Oberflächen-Mikrorauigkeit viel gravierender auf das Streulicht und das Kontrastverhalten aus als bei einer oberflächenvergüteten Linse.

3. Das Rayleigh-Kriterium

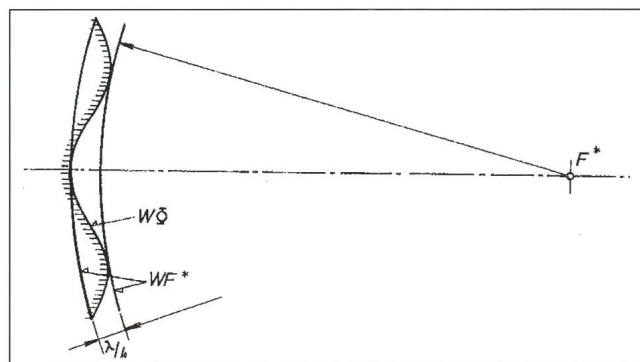
Der englische Physiker LORD RAYLEIGH (1842 - 1919) hat sich eingehend mit der Wellennatur des Lichtes beschäftigt. Auf ihn gehen zahlreiche, wegweisende Arbeiten zurück. Für die tolerierbare Wellenfrontdeformation abbildender, optischer Systeme hat er das *$\lambda/4$ -Kriterium* postuliert. RAYLEIGH hat in einem ersten, theoretischen Schritt untersucht, wie stark das Intensitätsmaximum $I(F^*)_{max}$ im Airy-Scheibchen bei sphärischer Aberration absinkt. Sphärische Aberration (kurz mit «*SpAb*» bezeichnet) ist in der Regel der Abbildungsfehler, der die Bildgüte am stärksten beeinträchtigt. Er fand, dass bei einer durch *SpAb* verursachten Wellenfrontdeformation von $\lambda/4$ das Intensitätsmaximum um 20% kleiner wird.

In einem zweiten, empirischen Schritt war eine Toleranz im Sinne des eingangs erwähnten *Punktes a.* zu definieren. Anhand von Untersuchungen stellte er fest, dass ein Absinken des Intensitätsmaximums ab etwa 20% visuell bemerkbar wird und die Bildgüte zu beeinträchtigen beginnt. Es sei hier ausdrücklich vermerkt, dass das *$\lambda/4$ -Kriterium* kein streng physikalischer Grenzwert, sondern eine *empirisch subjektive* Grösse ist. Versierte Beobachter behaupten, schon $\lambda/10$ feststellen zu können, andere erst $\lambda/3$. Immerhin haben neuere Untersuchungen gezeigt [2], dass bei Newton-Systemen mit *primärer SpAb* die $\lambda/4$ -Toleranz ein durchaus sinnvoller Wert für Amateurinstrumente ist, der eine exzellente Bildgüte ergibt.

Das *Rayleigh-Kriterium* kann jedoch nicht als ein generell auf alle Flächenfehler anwendbares Kriterium angesehen werden, da ihm spezifisch die *primäre SpAb* zu Grunde liegt.

Der Dänische Optiker F. ZERNIKE hat den Verlauf der Wellenfrontdeformation bei verschiedenen Abbildungsfehlern durch *Kreispolynome* dargestellt [1],[3]. Dadurch vereinfacht sich die mathematische Behandlung der Intensitätsverteilung im Beugungsbild. In der **Abb. 2** ist der Verlauf der Wellenfront bei *primärer SpAb* gezeigt. Es ist ersichtlich, dass es sich dabei

Abb. 2: Wellenfrontverlauf bei «primärer Sphärischer Aberration». WF^* ist die Referenzwellenfront mit ihrem Zentrum im Gauss'schen Fokus F^* .





um einen stetigen Kurvenverlauf ohne steile Flanken und abrupte Übergänge handelt. Ein solcher Kurvenverlauf ist bei realen optischen Flächen keineswegs immer gegeben. Lokale Irregularitäten und Zonen, *Orangenhaut*-Textur, Makrorauhigkeit usw. treten bei nicht sehr sorgfältiger Herstellung und besonders bei forciertem Polieren auf. In der **Abb. 3** ist ein solcher Verlauf dargestellt. Auch wenn die Amplituden unter $\lambda/4$ liegen, kann ihr Einfluss auf die Abbildungsgüte gravierend sein. Sie können besonders bei Planetenbeobachtungen die Kontrastleistung des Teleskops beeinträchtigen. Für die Abbildungsgüte und Kontrastleistung ist demnach nicht nur die maximale Amplitude der Wellenfrontdeformation, sondern auch die Steilheit der Flanken massgebend. Zudem ist es auch nicht belanglos, ob die gesamte Wellenfront nur an einer Stelle einen Fehler aufweist, oder ob sehr viele lokale Deformationen vorhanden sind.

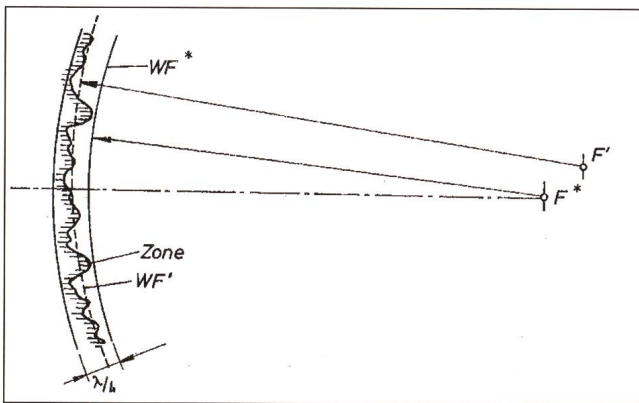


Abb. 3: Wellenfront einer Fläche mit ausgeprägter Zone und Makrorauhigkeit. F' ist der Beugungsfokus, der nicht mehr mit dem Gauss'schen Fokus F^* zusammenfällt. Die Referenzwellenfront WF' hat hier ihr Zentrum im Beugungsfokus F' .

3. Das Danjon-Couder-Kriterium

Die Franzosen A. DANJON und A. COUDER haben sich in den 30er Jahren eingehend mit Optiken für die Planetenbeobachtung befasst. Dafür waren Instrumente mit exzellenten Kontrasteigenschaften gefragt, für die das *Rayleigh-Kriterium*, aus den gerade angeführten Gründen, nicht genügte. Als verschärfte Qualitätskriterien für solche Instrumente postulierten sie:

- Das $\lambda/4$ -Rayleigh-Kriterium ist ungenügend. Die Deformation der Wellenfront muss erheblich kleiner sein. Eine Kontrasteinbusse tritt bereits ab $\lambda/4$ auf.
- Eine isolierte Betrachtung der Wellenfrontdeformation, verursacht durch Flächenfehler, genügt nicht. Für die Bildgüte sind eine ganze Reihe von «Fehlerterme» massgebend, die nicht beliebig klein gemacht werden können. Dazu gehören unter anderen Kollimationsfehler, thermische Effekte im Tubus, Luftunruhe usw. Ist der flächenbedingte Wellenfrontfehler bereits $\lambda/4$, dann ist die Fehlersumme des gesamten Systems sehr viel grösser.
- Für die Abbildungsgüte ist nicht nur die absolute Amplitude der Wellenfrontdeformation(en), sondern auch die Anzahl aller lokalen Deformationen und die Neigung ihrer Flanken massgebend. Der Lichtanteil, der ausserhalb des zentralen Beugungsscheibchen anfällt, muss möglichst klein sein.

4. Der Gauss'sche Fokus und der Beugungsfokus

Der Fokus eines idealisierten, fehlerfreien Systems wird *Gauss'scher Fokus* F^* genannt. Ein im Unendlichen liegendes Objekt wird von diesem System in der *Gauss'schen Bildebene* abgebildet. *Gauss'scher Fokus* und *Gauss'sche Bildebene* haben jedoch nur eine geringe praktische Bedeutung, da jedes reale System mit mehr oder weniger grossen Wellenfrontdeformationen behaftet ist. Ein Fernrohr wird man aber immer so fokussieren, dass die Sternbilder möglichst scharf, respektive die Beugungsscheibchen am kleinsten sind. Dies ist für unendlich ferne Objekte im *Beugungsfokus* F' und der *Beugungsbildebene* der Fall. *Gauss'scher Fokus* und *Beugungsfokus* fallen bei einer mit Fehlern behafteten Optik nicht zusammen. Dies ist in der **Abb. 3**, etwas übertrieben dargestellt, gezeigt. Der Beugungsfokus ist von der Art der Wellenfrontdeformation (*Zernike-Kreispolynome*) abhängig. Wie bereits gesagt, ist auch die Energie- oder Intensitätsverteilung $I(F')$ im Beugungsfokus eine andere als im Gauss'schen Fokus $I(F^*)$. Siehe dazu in **Abb. 1** die volle und die strichlierte Kurve des Airy-Scheibchens. Der strichlierte Intensitätsverlauf wurde in den Beugungsringen nicht weitergeführt, da er für jede Wellenfrontdeformation ein spezifisch anderer ist.

5. Die Strehl-Zahl

Wir haben gesehen, dass schon durch die Beugung an der Eintrittspupille nicht mehr als 83,8% der Energie im *Airy-Scheibchen* anfallen. Zu dieser Aperturbiegung kommen noch Beugung am Sekundärspiegel (Fangspiegel beim Newton-System) und deren Tragstrukturen (Fangspiegelhalterung) hinzu. Ein weiterer Faktor sind die *Transmissionsverluste* im System. Der Reflexionskoeffizient eines üblichen Alu-Spiegelbelages liegt etwa bei 0,9 und auch in Linsen treten Transmissionsverluste auf. Diese Faktoren führen dazu, dass die Intensität im Airy-Scheibchen weiter absinkt.

Man kann das Intensitätsmaximum $I(F^*)_{max}$ im Beugungsscheibchen eines fehlerfrei gedachten Systems als Bezugsgrösse nehmen. Bei einem System mit zusätzlicher Beugung, Wellenfrontdeformationen und Transmissionsverlusten wird dann das Maximum $I(F')_{max}$ entsprechend kleiner sein. Das Verhältnis dieser beiden Werte wird *normierte Intensität* $i(F')$ oder *Strehlzahl* genannt.

$$i(F') = \frac{I(F')_{max}}{I(F^*)_{max}} \quad \text{Gl.2}$$

Im Idealfall ist $i(F') = 1$ oder 100%. Berechnet man $i(F')$ für ein System, das nur *Sphärische Aberration erster Ordnung* von $\lambda/4$ aufweist, erhält man wieder 0,8 oder 80%, gemäss dem *Rayleigh-Kriterium*.

Um sich ein Bild von der Grösse der Strehlzahl zu machen, seien folgende Werte angeführt: Von Zeiss wurde für das APQ-Objektiv, das heute leider nicht mehr hergestellt wird, eine Strehlzahl von 97% angegeben. Schon wegen der Beugung am Sekundärspiegel, einer Transmission von bestenfalls 80% und weiteren Effekten, wäre eine so phantastisch hohe Strehlzahl bei Spiegelsystemen kaum erreichbar. Bei einem Newton-System mit erstklassiger Optik und einem klein gewählten Fangspiegel wird die Strehlzahl etwa bei 78% liegen. Refraktoren besitzen eben nur - *Aperturbiegung*

- und bei MC-Schichten (*Multivergütungsschichten*) auf den Linsenflächen sehr kleine Transmissions- und Streuverluste (Streulichtblenden!)
- und bei guter Korrektur ist auch der Einfluss der Wellenfrontdeformation vergleichsweise gering.



6. Das Maréchal-Kriterium

An Hand der *Kirchhoffschen* Beugungstheorie und den *Zernike-Kreispolynomen* lässt sich zeigen, dass die normierte Intensität $i(F')$ von der Art der Wellenfrontdeformation unabhängig wird, wenn man das Bezugssystem und die Fehlerbewertung geeignet wählt und zudem voraussetzt, dass die Wellenfrontdeformationen klein sind. Der letzte Punkt sollte bei einer einigermaßen guten Optik immer gegeben sein. Wählt man als Referenzwellenfront WF' mit dem Zentrum im *Beugungsfokus* F' und führt eine *RMS-Bewertung* der Wellenfrontfehler $(\Delta\Phi)^2$ ein, dann erhält man:

$$i(F') \approx 1 - \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 (\Delta\Phi)^2 \quad \text{Gl.3}$$

Mit *RMS-Wert* bezeichnet man heute in der Physik und Technik den quadratischen Mittelwert einer *Grösse*, *Verteilung* oder *Funktion* (**Root Mean Square**).

Um von der Art der Wellenfrontdeformation unabhängig zu werden und auch Fehler zu erfassen, die vom *Rayleigh-Kriterium* nicht erfasst werden, hat er französische Optiker A. MARÉCHAL vorgeschlagen, ein Kriterium anhand dieser Beziehung einzuführen. Setzt man wieder für $i(F') = 0,8$, dann erhält man für $(\Delta\Phi) = \lambda/14$. Ein Spiegel, der dem *Maréchal-Kriterium* genügt, darf demnach keine grösseren *RMS-Flächenfehler* als $\lambda/28$ haben. Aus dem mag man folgern, dass das *Maréchal-Kriterium* viel genauer als das *Rayleigh-Kriterium* sei. Das ist jedoch nicht der Fall. Der Unterschied zwischen $\lambda/4$ und $\lambda/14$ ergibt sich nur aus der *RMS-Bewertung* der Fehler und ihrem Bezug auf den *Beugungsfokus*.

7. Konventionen

Uns interessieren hier nicht Toleranzkriterien für technische und wissenschaftliche Optiken, sondern für den Amateurbereich. Einheitliche und von allen Herstellern von Amateuroptiken akzeptierte Toleranzangaben gibt es nicht. Immerhin hat sich das *Maréchal-Kriterium* stillschweigend bei einigen Herstellern eingebürgert. Es wird allerdings selten mit *RMS- $\lambda/14$* spezifiziert und beim Namen genannt. Meistens heisst es dann *«beugungslimitierte Optik»*. Daraus darf jedoch noch kein Schluss auf die Abbildungsqualität eines Instrumentes gezogen werden. Da wäre einmal zu hinterfragen, ob diese Angabe für die Flächengenauigkeit der einzelnen Komponenten

oder für das gesamte, zusammengebaute System gilt? Man kann nicht oft genug darauf hinweisen, dass in einem System und unter realen Einsatzbedingungen sehr viel mehr Fehlerterme wirksam sind als die Summe der Flächenfehler der einzelnen Komponenten. Man darf auch nicht vergessen, dass die Prüfung bei den Herstellern, sei es jene der Komponenten oder auch des zusammengebauten System, unter *«sterilen»* Laborbedingungen erfolgt. Wer sich einen $\lambda/4$ -Parabolspiegel mit Garantie erwirbt, muss mit grösster Wahrscheinlichkeit damit rechnen, dass sein mit vollem Stolz zusammengebautes *Dobson* schliesslich eine Genauigkeit von bestenfalls $\lambda/2$ aufweist. Das ist unter dem Strich gesehen eine mehr schlechte als rechte Teleskopoptik. Es braucht exzellente Physik- und Ingenieurkenntnisse, um sich mit einem solchen Spiegel auch ein entsprechend gutes Teleskop zusammenzubauen! Dies gilt natürlich auch für den kommerziellen Amateurinstrumentenmarkt. Hier stösst man immer wieder auf Produkte, die wohl eine sehr gute Optik haben mögen, bei denen jedoch andere physikalische Rahmenbedingungen arg vernachlässigt wurden.

Ein weiterer Punkt für den Amateur, insbesondere den Anfänger, ist die Kontrolle der Toleranzkriterien. Der Amerikaner D. SUITER hat ein Buch [3] über den *«Star Test»* geschrieben. Es ist ein sehr scharfer Test, dem auch kleinste Fehler nicht verborgen bleiben. Er benötigt zudem keine optischen Hilfsmittel. Das wäre ja sehr schön; nur muss man das in Englisch geschriebene Buch, das recht anspruchsvoll ist, sehr sorgfältig durcharbeiten. Mit einem schnellen Blick ist es nicht getan. Ausserdem benötigt auch dieser Test ein gehöriges Mass an Erfahrung, bis man die Feinheiten im Beugungsbild sieht und zu interpretieren weiss. Last but not least muss man dazu sehr gute Sichtverhältnisse am Himmel haben, die uns Petrus leider nur selten beschert.

Literaturangaben

- [1] M. BORN, E. WOLF, *«Principles of Optics»* (Pergamon Press, 6. Edition)
- [2] Sky & Telescope, March, (1992) P. 253, P. CHERAVOLO et al, *«Optical Quality in Telescopes»*
- [3] H. R. SUITER, *«Star Testing Astronomical Telescopes»* (Willmann-Bell, Inc.)

H. G. ZIEGLER,
Ringstrasse 1a, CH-5415 Nussbaumen

Jahresdiagramm 1997 für Sonne, Mond und Planeten

Das Jahresdiagramm, das die Auf- und Untergänge, die Kulminationszeiten von Sonne, Mond und Planeten in einem Zweifarbendruck während des gesamten Jahres in übersichtlicher Form zeigt, ist für 1997 ab Ende November wieder erhältlich. Das Diagramm ist plano oder auf A4 gefalzt für zwei geographische Breiten erhältlich:

Schweiz: 47° Nord – Deutschland: 50° Nord
Dazu wird eine ausführliche Beschreibung mitgeliefert.
Der Preis beträgt Fr. 13.– / DM 15.– plus Porto und Versand.

Für Ihre Bestellung danke ich Ihnen bestens!

HANS BODMER,
Schlottenbüelstrasse 9b, CH-8625 Gossau/ZH
Telephonische Bestellungen: 01/936 18 30 (abends)

Diagramme annuel 1997, Soleil, Lune et planètes

Le diagramme annuel qui indique les lever, coucher et temps de culmination du Soleil, de la Lune et des planètes, en impression deux couleurs, pendant toute l'année 1997 sous forme de tableau synoptique est à nouveau en vente dès fin novembre. Le diagramme est plié à plat, en A4 et disponible pour deux latitudes géographiques:

Suisse: 47° nord – Allemagne: 50° nord
Il est livré avec une description détaillée.
Prix: Fr. 13.– / DM 15.– plus port et emballage.

Je vous remercie d'avance de votre commande!

HANS BODMER,
Schlottenbüelstrasse 9b, CH-8625 Gossau/ZH
Commandes téléphoniques: 01/936 18 30 (soir)