

Optik für Astro-Amateure

Autor(en): **Wiedemann, E.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **13 (1968)**

Heft 106

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-899971>

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.

nachgeführten Aufnahmen, könnte auch versucht werden, das Instrument der mutmasslichen, aus der Aufzeichnung der Bahn in einem Sternatlas abzuleitenden Bewegung des Planetoiden nachzuführen, wobei sich die Lichteindrücke von Icarus auf Film oder Platte verstärken würden. *Wichtig sind genaue Aufzeichnungen über Expositionszeiten.* – Unmittelbar nach der ersten Meldung von Beobachtungen von Icarus wird anfangs Juni eine neue, nötigenfalls korrigierte Ephemeride bekanntgegeben. Der Verfasser wird mögli-

cherweise in der Lage sein, auf telephonische Anfrage hin an Interessenten Auskunft zu geben. Er bittet auch um Mitteilungen über Beobachtungen und um Zustellung von Aufnahmen, die an die Auswertestelle weitergeleitet werden.

Literatur:

- persönliche Mitteilungen an den Verfasser
- IAU Circular No. 2065

Adresse des Autors: ROBERT A. NAEF, «Orion», Platte, 8706 Meilen (ZH), Telephon (051) 73 07 88.

Optik für Astro-Amateure

VON E. WIEDEMANN, Riehen

Vorbemerkung

In einer zwanglosen Folge von Mitteilungen unter diesem Titel möchte der Verfasser versuchen, die für den Astro-Amateur interessanten optischen Systeme vom Standpunkt der geometrischen Optik aus (unter gelegentlichem Einbezug der Wellenoptik) zu erläutern; hieraus ergeben sich die wesentlichen Eigenschaften dieser Systeme und damit die Richtlinien für deren bestmöglichen Gebrauch. Für den fortgeschrittenen Amateur, der tiefer in die Materie eindringen möchte, sollen später Anleitungen zu Berechnungen und Prüfungen gegeben werden, wie sie in der praktischen Optik üblich sind. Darüber gibt es zwar eine reichhaltige Fachliteratur, doch ist diese dem Amateur nicht so leicht zugänglich. Es kommt dazu, dass diese Literatur, von seltenen Ausnahmen abgesehen, in der dem Nichtfachmann nur schwer verständlichen Sprache des Mathematikers gehalten ist. Diese Umstände mögen den Versuch begründen, das Thema so einfach wie möglich, jedoch wissenschaftlich korrekt zu behandeln.

Einleitung

Die Wirkung aller optischen Systeme beruht, wenn wir zunächst von den Beugungserscheinungen absehen wollen, auf den Grundgesetzen der *Brechung* und *Reflexion*, die einzeln oder kombiniert angewendet werden. Sie lassen sich beide auf das von P. FERMAT gefundene Prinzip des kürzesten möglichen Lichtweges zurückführen. Bei der *Brechung* tritt ein Lichtstrahl von einem Medium (z. B. Luft) in ein anderes Medium (z. B. Glas) über, wobei die Brechung eine Folge der in diesen Medien verschiedenen Lichtgeschwindigkeiten ist. Die Lichtgeschwindigkeit ist am grössten im absoluten Vacuum (Weltraum), wo sie 299 792,5 km/s beträgt; in Luft ist sie nur unwesentlich kleiner, in isotropen, durchsichtigen Medien (Flusspat, Quarz, Glas, Saphir) nimmt sie weiter ab. Ein senkrecht auf eine Fläche aus solchem Material auftreffender Lichtstrahl wird also in seiner Geschwindigkeit verlangsamt, behält aber seine Richtung bei. Fällt er aber schräg auf, bildet also seine Einfallrichtung einen Winkel mit der Flächennormale (dem Lot am Einfallsort), so wird er *gebrochen*. Die Richtungsbestimmung des gebrochenen Strahls für beliebige Einfallswinkel ergibt sich nach dem von W. SNELL entdeckten Brechungsgesetz:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1},$$

in welchem der Einfallswinkel mit α , der Austrittswinkel mit β und die Brechungsindizes mit n_1 und n_2 bezeichnet werden. Hierbei wird der Brechungsindex der Luft = 1 angenommen. Tritt ein Lichtstrahl von einem dichteren Medium (z. B. Glas) in ein dünneres (z. B. Luft) über, so kann der Austrittswinkel einen Wert von über 90° erreichen. Von einem bestimmten Einfallswinkel an, nämlich dem, der dem Austrittswinkel von 90° entspricht, findet dann anstelle einer Brechung eine *totale Reflexion* statt, gleich wie bei spiegelnden Flächen, wovon bei Umkehr- und Umlenkprismen Gebrauch gemacht wird. Dann gilt allgemein das Reflexionsgesetz:

$$\alpha = -\beta,$$

in welchem, auf die Flächennormale bezogen, der Einfallswinkel α dem Reflexionswinkel β gleich ist, und womit der Lichtweg von einem Punkt zu einem anderen im gleichen Medium der kürzeste wird.

Für die konstruktive Anwendung dieser Grundgesetze, also für ihren Gebrauch in der praktischen Optik, hat man Festsetzungen getroffen, die diese Anwendung insbesondere bei komplizierteren optischen Systemen erleichtern. So nimmt man die Lichtrichtung stets von links nach rechts an (\rightarrow) und bezeichnet gegen das Licht zu erhabene Flächen ($\rightarrow()$) als positiv, dagegen hohle Flächen ($\rightarrow()$) als negativ. Analoges gilt für die Abstände von den Flächenscheiteln, die in der Lichtrichtung als positiv, in der Gegenrichtung als negativ gezählt werden. Von diesen Festsetzungen werden wir in späteren Figuren und Rechnungen stets Gebrauch machen.

Zu diesen Definitionen treten dann noch vereinfachende Annahmen und Beschränkungen; diese sind fürs erste notwendig, um an Hand einer idealisierten Abbildung den erforderlichen Überblick über optische Systeme zu gewinnen. So beschränkt man sich bei den ersten Betrachtungen auf enge Strahlenbündel um die Systemachse, in dem sogenannten GAUSS'schen fadenförmigen Raum um diese, innerhalb des-

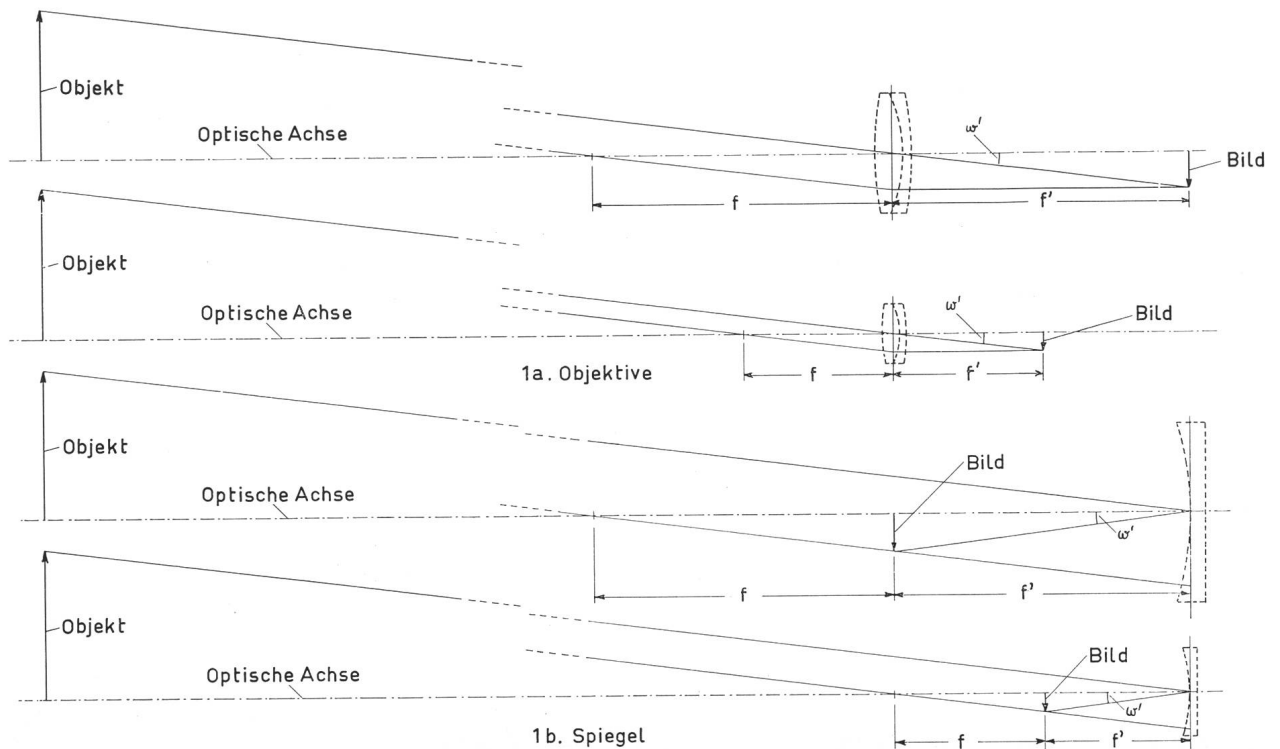


Fig.1

sen bei der Brechung der Sinus eines Winkels seinem Bogenwert gleichgesetzt werden darf. Dann treten Vereinfachungen ein, die es ermöglichen, sehr rasch und doch mit aller Genauigkeit gewisse fundamentale Daten optischer Systeme, wie: Brennweite, Schnittweite, Objekt- und Bilddistanz zu bestimmen, was wir noch oft nutzbringend anwenden werden.

Eine weitere Vereinfachung ist in diesem Zusammenhang die Vernachlässigung der Dicke der optisch wirksamen Bauelemente, also der Ersatz dicker Linsen durch unendlich dünne Linsen und der Ersatz gewölbter Spiegelflächen durch plane mit denselben Eigenschaften. Damit werden nach NEWTON alle Abbildungsvorgänge elementar darstellbar. Auch davon werden wir sogleich Gebrauch machen.

Bei der Optik für den Astro-Amateur handelt es sich sozusagen stets um optische Systeme, die sehr weit – praktisch unendlich weit – entfernte Objekte vergrößert zeigen oder abbilden sollen. Diese Systeme sollen lichtstark sein und innerhalb eines mehr oder weniger grossen Feldes eine scharfe Wiedergabe der Objekte verbürgen. Wir werden sehen, dass diese Forderungen nicht ohne weiteres gleichzeitig erfüllbar sind. Sie führen uns aber zunächst zu den Begriffen der *Vergrößerung*, der *Lichtstärke* und des *Gesichtsfeldes*, die an Hand der Fig. 1 wie folgt erläutert seien:

Ein von einem sehr weit entfernten Objekt einfallendes Strahlenbündel wird von einem Fernrohr-

jektiv oder einem Hohlspiegel an einem Ort zusammengeführt, den man den *Brennpunkt* des Systems nennt. Den Abstand des Brennpunktes vom System bezeichnet man als dessen *Schnittweite*, die unter den oben getroffenen Vereinfachungen gleich der *Brennweite* wird. Ist das Objekt flächenhaft, so erhält man auch in der Abbildung eine Fläche, wie dies in Fig. 1 durch deren Schnitt (\uparrow) angedeutet ist. Dann lässt sich das Bild nach NEWTON konstruieren: Strahlen, die im Scheitel des Systems dessen Achse kreuzen, ändern ihre Richtung nicht; achsenparallel einfallende Strahlen vereinigen sich im Brennpunkt; dort, wo Strahlen beider Arten zusammenreffen, sind Bildpunkte. Dies gilt für Linsen; bei Spiegeln tritt anstelle des Scheitels des Systems deren Krümmungsmittelpunkt. Betrachten wir diese Verhältnisse an Hand der Fig. 1, so ergibt sich das Folgende:

1. Bei weit entfernten Objekten erhalten wir stets ein *verkleinertes* Bild. Gegenüber dem unbewaffneten Auge ergibt sich jedoch eine *Vergrößerung*, die dem Verhältnis der Brennweiten proportional ist. So gibt ein System von 800 mm Brennweite ein $40 \times$ grösseres Bild als das Auge, wenn dessen Brennweite zu 20 mm angenommen wird:

$$800:20 = 40:1.$$
2. Das Bild erweist sich als kopfstehend und seitenverkehrt.
3. Die Grösse des Bildes ist der Brennweite proportional:

$$2:1$$
 in den Figuren 1a und 1b.
4. Ist der Durchmesser der Systeme, wie in Fig. 1a und 1b gezeichnet, derselbe, so fällt beim System mit der kürzeren Brennweite f' am Bildort *dieselbe Lichtmenge* auf eine Fläche des *halben Durchmessers*. Somit ist die Lichtstärke dieses Systems $4 \times$ grösser (Quadratgesetz). Man schreibt die Licht-

stärke gewöhnlich als Bruch mit dem Zähler Eins, um sie unabhängig von der Brennweite ausdrücken zu können. Sie stellt das Verhältnis von Öffnung zu Brennweite dar und beträgt im Fall der Fig. 1a $20:80 = 1:4$ und im Fall der Fig. 2a $20:40 = 1:2$.

5. Das Bildfeld wird im Winkelmass (2ω) ausgedrückt und beträgt in allen Beispielen der Fig. 1: $2\omega = \text{rund } 14^\circ$.

Das entstehende Bild ist in allen Fällen «reell» und kann im «Primärfokus» photographiert werden, wenn man hier eine lichtempfindliche Schicht anbringt. Es kann aber auch auf bekannte Weise unter Zwischenschaltung einer planen reflektierenden Fläche vor dem Brennpunkt (gleichschenkelig-rechtwinkeliges Prisma oder elliptisch begrenzter Oberflächen Spiegel) in eine zweckmässigere Lage gebracht werden. Dies ist beim Fernrohrobjektiv meistens erwünscht, beim einfachen Spiegel fast immer unerlässlich.

Für eine Beobachtung des Bildes, und auch bei der Photographie von Objekten kleinen angularen Ausmasses, zum Beispiel von Planeten, macht man mit Vorteil von einer Nachvergrößerung des Bildes mittels kurzbrennweitiger Linsensysteme, von Okularen, Gebrauch. Die damit gegebenen Verhältnisse seien an Hand der Fig. 2 erläutert.

a) *Der visuelle Gebrauch eines Okulars:* Beim visuellen Gebrauch wird das Okular so gestellt, dass das vom Objektiv oder Spiegel erzeugte reelle Bild zwischen dem vorderen Brennpunkt des Okulars und diesem liegt. Es entsteht dann ein vergrössertes virtuelles Bild (höhen- und seitengleich mit dem reellen Primärbild). Die Stellung des Okulars ist richtig, wenn die Strahlen aus ihm parallel austreten. Dann liegt das scheinbare (virtuelle) Bild für den Beobachter im Unendlichen, und es wird mittels des Auges in Ruhestellung

scharf auf die Netzhaut abgebildet. Des weiteren sind aus der Fig. 2a die folgenden Schlüsse möglich:

1. Das Bild erscheint in seiner Lage unverändert, aber vergrössert. Dies gilt für sammelnde (positive) Okulare, wie sie fast ausschliesslich in der Astronomie gebraucht werden. Negative Okulare werden später behandelt werden.
2. Die Okularvergrößerung kann als der Okularbrennweite umgekehrt proportional betrachtet werden. Im Beispiel der Fig. 2a oben wird mit einer Okularbrennweite von 25 mm eine 4fache Vergrößerung erhalten. Darunter, in Fig. 2a unten, ist gezeigt, dass ein Okular von 12,5 mm Brennweite dasselbe Primärbild rund 8fach vergrössert.
3. Die Bildhelligkeit nimmt umgekehrt mit dem Quadrat der Vergrößerung ab (Quadratgesetz). Man kann dies anhand der beiden Figuren 2a einsehen, wenn man die Schnitte der Bildflächen (\downarrow) vergleicht. Eine Verdoppelung der Vergrößerung setzt die Bildhelligkeit auf $\frac{1}{4}$ herab.
4. Der in Anspruch genommene Bildwinkel $2\omega_1$ nimmt bei doppelter Okularvergrößerung auf etwa das Doppelte zu (von rund 30° in Fig. 2a oben auf rund 60° in Fig. 2a unten). An kurzbrennweitige Okulare werden deshalb meistens hohe Ansprüche bezüglich des Bildwinkels gestellt, womit sich bei guten Ausführungen deren komplizierter Aufbau erklärt.
5. Bringt man bei sammelnden Okularen am Ort des reellen Bildes eine Blende (wie in Fig. 2a angedeutet), oder ein Fadenkreuz an, so kann man damit das Bildfeld scharf begrenzen bzw. das Fadenkreuz (das im Dunkeln beleuchtet werden muss) zusammen mit dem Objekt scharf sehen. Von dieser Möglichkeit wird in astronomischen Instrumenten vielfach Gebrauch gemacht (Pointierungs- und Messokulare).

b) *Der photographische Gebrauch eines Okulars:* Hierzu wird das Okular so gestellt, dass das vom Objektiv oder Spiegel erzeugte Bild vor dem vorderen Brennpunkt des Okulars, aber hinter dem doppelten Brennpunkt des Okulars liegt (wenn das vom Objektiv oder Spiegel erzeugte Bild vergrössert werden

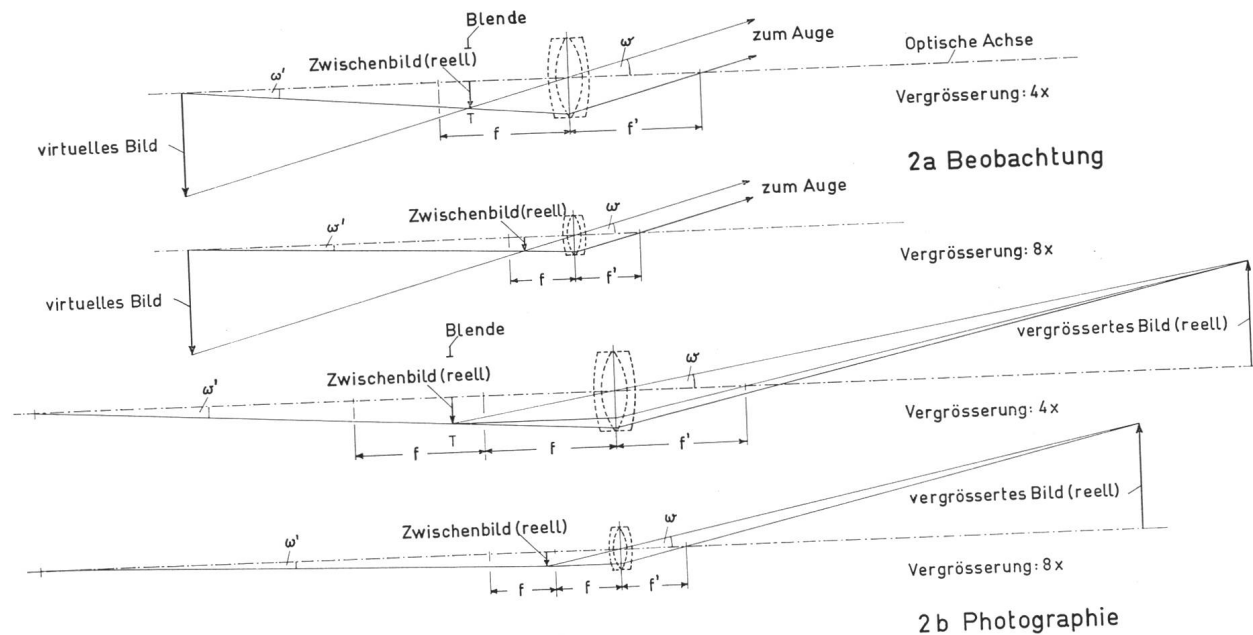


Fig. 2

soll). Dabei hat man bezüglich der Nachvergrößerung, also der Grösse des Sekundärbildes, weitgehend freie Hand, denn die Nachvergrößerung kann gemäss der Gleichung:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f},$$

worin a den Objektabstand, b den Bildabstand und f die Brennweite des Okulars bedeuten, innerhalb eines ziemlich grossen Bereichs beliebig gewählt werden. Allerdings ändern sich dabei die Abstände ziemlich stark, so dass es sich empfiehlt, für verschiedene Nachvergrößerungen verschiedene Okulare zu verwenden; dann lassen sich nämlich annähernd gleiche Abstände einhalten. Dies zeigt die *Fig. 2b* am Beispiel zweier Okulare von 25 mm und 12,5 mm Brennweite, die in der gezeichneten Anordnung für eine 4fache und eine 8fache Nachvergrößerung gebraucht werden und dabei annähernd gleiche Tubuslängen erfordern. Diese betragen, vom Zwischenbild zum Bild gemessen, 154 bzw. 130 mm, entsprechend der obigen Gleichung. Der *Fig. 2b* ist weiter das Folgende zu entnehmen:

1. Das vergrösserte Sekundärbild ist aufrecht und seitenrichtig, entspricht also in dieser Hinsicht dem Objekt. Es ist reell, kann also direkt photographiert und abermals mit einer Lupe betrachtet werden.
2. Die Bildhelligkeit nimmt mit der Nachvergrößerung im Quadrat ab, fällt also bei 4facher Nachvergrößerung auf $\frac{1}{16}$ und bei 8facher Nachvergrößerung auf $\frac{1}{64}$ des ursprünglichen Wertes.
3. Um mit einer angemessenen Tubuslänge auszukommen, sind für starke Nachvergrößerungen (Planetenaufnahmen!) kurzbrennweitige Okulare zu benützen. (Auf die Verwendung anderer, unter Umständen geeigneterer Optik für Nachvergrößerungen soll an späterer Stelle eingegangen werden.)
4. Der in Anspruch genommene Bildwinkel ist der Zwischenbildgrösse proportional und wächst mit abnehmender Okularbrennweite an. Somit sind kurzbrennweitige Okulare auch bei photographischem Gebrauch bezüglich des Bildwinkels stärker beansprucht.
5. Auch beim photographischen Gebrauch eines Okulars kann durch eine in der Zwischenbildebene angeordnete Blende das Gesichtsfeld scharf begrenzt oder ein in dieser Ebene angeordnetes Fadenkreuz mit abgebildet werden.

Allgemeine Bemerkungen

a) *Die Fernrohrvergrößerung:* Man definiert die Fernrohrvergrößerung, da sie in guter Näherung der Objektiv- bzw. Spiegelbrennweite direkt, und der Okularbrennweite als umgekehrt proportional angenommen werden darf, durch deren Quotienten:

$$\frac{\text{Objektiv- bzw. Spiegelbrennweite}}{\text{Okularbrennweite}} = \text{Fernrohrvergrößerung.}$$

Ein Fernrohr mit einem Spiegel von 1200 mm Brennweite ergibt somit in Verbindung mit einem Okular von 6 mm Brennweite eine

$$\frac{1200}{6} = 200\text{fache Fernrohrvergrößerung.}$$

b) *Die Lichtstärke:* Die Lichtstärke ist durch das Verhältnis von Öffnung zu Brennweite definiert:

$$\frac{\text{Öffnungsdurchmesser}}{\text{Brennweite}} = \text{Lichtstärke.}$$

Ein Fernrohrsystem habe 250 mm Öffnungsdurchmesser und 1000 mm Brennweite. Dann beträgt seine relative Öffnung oder Lichtstärke

$$\frac{250}{1000} = \frac{1}{4} \text{ (übliche Schreibweise: 1:4).}$$

Wird es zusammen mit einem Okular benützt, welches das Bild 10mal vergrössert, so kommt dies einer 10fachen Verlängerung der Brennweite gleich. Die Lichtstärke der Kombination beträgt dann:

$$\frac{250}{10 \cdot 1000} = 1:40.$$

Damit steigt die Belichtungszeit auf das 10×10 fache, also auf das 100fache an. Wird die Nachvergrößerung auf das 25fache gesteigert, was sich ohne weiteres machen lässt, so sinkt das Öffnungsverhältnis oder die Lichtstärke auf

$$\frac{250}{25 \cdot 1000} = 1:100,$$

und die Belichtungszeit beträgt nun das 25×25 fache, also das 625fache.

Dieses Beispiel wurde gewählt, um die optisch mögliche Nachvergrößerungsgrenze aufzuzeigen. Es lässt sich nämlich ableiten, dass bei relativen Öffnungen von etwa 1:100 an der Einfluss von Beugungserscheinungen, wie sie von Fassungsrandern oder anderen als Blenden wirksamen Begrenzungen herühren, so gross wird, dass die Bildschärfe wieder abnimmt. Wenn also feinste Details noch wiedergegeben werden sollen, darf die relative Öffnung des Gesamtsystems 1:100 keinesfalls unterschreiten. Dies führt bei einer Fernrohr-Apertur von 250 mm zu einer längstmöglichen Gesamtbrennweite von 25 Metern. Erfahrungsgemäss wird von Amateuren oft gegen diese Regel zum Schaden des Bildes verstossen.

c) *Das Gesichtsfeld:* Auf die Grösse des nutzbaren Gesichtsfeldes kann erst bei der Besprechung der optischen Konstruktionen näher eingegangen werden, da diese das nutzbare Gesichtsfeld weitgehend bestimmen. An dieser Stelle kann nur angemerkt werden, dass bei okularen Nachvergrößerungen das anguläre Mass von $2 \omega' = 25^\circ$ nicht überschritten werden sollte. Grössere Bildwinkel erfordern eine anastigmatische Ebnung des Bildfeldes.

Schlussbemerkung

Im Anschluss an diese Einleitung wird in den folgenden Mitteilungen auf die Verwirklichung der optischen Abbildung einzugehen sein. Bei dieser Abbildung spielen nach wie vor Kugelflächen eine entscheidende Rolle. Diese sind jedoch, von ganz wenigen Ausnahmen abgesehen, leider nicht aberrationsfrei, führen also Abbildungsfehler ein. Wir werden uns deshalb zuerst mit diesen Abbildungsfehlern, also den Abweichungen von der idealen geometrischen Abbildung, zu befassen haben. Dabei gehen wir in der nächsten Mitteilung auf die Abbildungsfehler auf und in der Nähe der optischen Achse, also die Fehler innerhalb des GAUSS'schen fadenförmigen Raumes, und dann auf die Fehler innerhalb grösserer Bildfelder ein. Dabei werden wir die Massnahmen kennen lernen, die zu treffen sind, um auch mit weit geöffneten Bündeln eine der punktförmigen nahekommende Abbildung auf der Achse und auch innerhalb grösserer Felder zu erzielen.

Adresse des Autors: Dr.-Ing. ERWIN J. TH. WIEDEMANN, Gartenstrasse 5, 4125 Riehen.