

Qualitätsbewertung optischer Systeme

Bestimmung der relativen Bestrahlungsstärke im Bildfeld

DIN
58 188

Quality evaluation of optical systems; determination of relative irradiance in the image plane

Bei jedem Bild, das von einem optischen oder optronischen System entworfen wird, ändert sich die Bestrahlungsstärke unabhängig von den Objektstrukturen von der Mitte zum Bildrand. Im allgemeinen nimmt sie ab; d. h., auch eine Objektfläche mit gleichmäßiger Strahldichte wird mit einer von der Bildmitte zum Rand abnehmenden Bestrahlungsstärke abgebildet. In Sonderfällen kann sie allerdings auch zunehmen.

Die Änderung ist auch bei optischen Systemen, die an sich rotationssymmetrisch angelegt sind, nicht in jedem Fall rotationssymmetrisch, nämlich wenn strahlbegrenzende Öffnungen nicht rotationssymmetrisch sind.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für optische Abbildungssysteme im optischen Spektralbereich nach DIN 5031 Teil 7. Theoretische Betrachtungen und der Vergleich mit der Berechnung gelten nur für optische Systeme. Sie müssen aber nicht rotationssymmetrisch sein, z. B. sind anamorphotische Systeme durchaus eingeschlossen.

Eingeschlossen sind auch teleskopische Systeme.

Der Titel der Norm bezieht sich zwar auf die relative Bestrahlungsstärke im Bildfeld. Außer für die Bestimmung der relativen Bestrahlungsstärke im Bildfeld ist diese Norm auch auf Verfahren für die Bestimmung der relativen Strahlungsleistung anzuwenden.

Bei teleskopischen Systemen ist nur die Angabe der Strahlungsleistung sinnvoll, bei den meisten abbildenden Systemen kann leicht von der Strahlungsleistung auf die Bestrahlungsstärke umgerechnet werden. Für die Messungen kann die Norm auch auf optronische Systeme bezogen werden. Die beiden genannten Verfahren unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich des Einflusses von Streulicht.

2 Größen, Formelzeichen und Einheiten

Tabelle 1. Größen, Formelzeichen und Einheiten

Größe	Formelzeichen	Einheit
Relative Bestrahlungsstärke	$E_{\text{rel}}(w)$	
Faktor für den natürlichen Helligkeitsabfall	$F_{\text{nat}}(w)$	
Faktor für die relative Pupillenfläche	$F_{\text{p}}(w)$	
Faktor für die Vignettierung	$F_{\text{vig}}(w)$	
Faktor für die relative Durchlässigkeit	$F_{\text{T}}(w)$	
Einflußfunktion der Verzeichnung	$F_{\text{ver}}(w)$	
Relative Verzeichnung	V_{r}	%
Bildkoordinaten (zweidimensional)	u' v'	mm mm
Bildhöhe (eindimensional)	u'	mm
Bildwinkel (objektseitig)	w	rad, Grad
Bildwinkel, bildseitig	w'	rad, Grad
Orientierung des Prüflings	φ	rad, Grad

3 Begriffe

3.1 Relative Bestrahlungsstärke

Die Bestrahlung im Bild bei der Abbildung eines Objektflächenelements hängt ab:

- von der Strahlungsleistung, die vom Objektelement herkommend durch das Objektiv (gegebenenfalls auch das optronische Abbildungselement) hindurchtritt
- von der Größe des Bildflächenelementes, auf das die Strahlungsleistung auftrifft

Der Quotient aus Strahlungsleistung und Fläche ist die Bestrahlungsstärke. Beide Größen hängen vom objektseitigen Bildwinkel w bzw. von den Bildkoordinaten u', v' ab.

Die relative Bestrahlungsstärke wird auf das axiale Flächenelement bezogen.

3.2 Objektseitiger Bildwinkel w

Der objektseitige Bildwinkel w ist der Winkel zwischen der optischen Achse und der Verbindungslinie von der Mitte der Eintrittspupille zum Objektpunkt.

3.3 Bildseitiger Bildwinkel w'

Der bildseitige Bildwinkel w' ist der Winkel zwischen der optischen Achse und der Verbindungslinie von der Mitte der Austrittspupille zum Bildpunkt.

4 Bezeichnung

Es werden zwei Meßverfahren festgelegt, das erste davon mit zwei Varianten. Sie werden durch Kurzzeichen unterschieden:

Tabelle 2. Kurzzeichen

Kurzzeichen	Meßverfahren
A1	Messung der relativen Bestrahlungsstärke bei endlichem Bildabstand
A2	Messung der relativen Bestrahlungsstärke bei unendlichem Bildabstand
B	Messung der relativen Strahlungsleistung

Bezeichnung einer Messung der relativen Bestrahlungsstärke bei endlichem Bildabstand:

Prüfung DIN 58 188 – A1

Fortsetzung Seite 2 bis 7

Normenausschuß Feinmechanik und Optik (NAFuO) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.

5 Grundlagen der Meßverfahren

Die Abhängigkeit der relativen Bestrahlungsstärke vom Bildwinkel w ist durch mehrere voneinander unabhängige Faktoren bedingt. Sie werden bei verschiedenen Verfahren zur Messung und zur Rechnung in unterschiedlicher Weise berücksichtigt. Es ist deshalb wichtig, die einzelnen Einflußfaktoren zu kennen. Bei den folgenden Definitionen ist vorausgesetzt, daß die Objektfläche ein Lambertstrahler konstanter Strahldichte ist.

- a) Natürlicher Helligkeitsabfall $F_{\text{nat}} = \cos^4 w$ ($\cos^4$ -Gesetz).
Dieses $\cos^4$ -Gesetz gilt, wenn die Empfängerfläche eine achsensenkrechte Ebene ist.
- b) Faktor für die relative Pupillenfläche $F_p(w)$
Die Fläche der Eintrittspupille als Bild der Aperturblende ist infolge von Pupillenaberrationen bildwinkelabhängig, sobald sich abbildende Elemente zwischen Objekt und Aperturblende befinden. Die relative Fläche ist auf die Pupillenfläche für $w = 0$ bezogen.
- c) Faktor für die Vignettierung $F_{\text{vig}}(w)$
Fassungsränder vor und hinter der Aperturblende sowie sonstige Blenden können die Apertur und damit die wirksame Fläche der Eintrittspupille mit zunehmendem Bildwinkel beschneiden (vignettieren).
- d) Einfluß des Faktors für die relative Durchlässigkeit $F_T(w)$
Durch Änderung der Einfallswinkel an den Oberflächen der optischen Bauelemente (Linsen, Prismen) kann sich das Reflexionsvermögen ändern. Die Reintransmission kann sich infolge der Abhängigkeit der Glaswege vom Bildwinkel ändern.
- e) Änderung der Größe des Bildflächenelementes infolge Verzeichnung
Bei Abbildungsmaßstab $\beta' = 0$:

$$F_{\text{ver}}(w) = \frac{1}{1 + \frac{V_r}{100} + \frac{V_r}{100} + \frac{\sin w \cdot \cos w}{100} \cdot \frac{dV_r}{dw}}$$

Bei endlichem Abbildungsmaßstab:

$$F_{\text{ver}}(w) = \frac{1}{1 + \frac{V_r}{100} + \frac{V_r}{100} + \frac{u}{100} \cdot \frac{dV_r}{du}}$$

Für die resultierende relative Bestrahlungsstärke im Bildfeld in Abhängigkeit vom Bildwinkel gilt:

$$F_{\text{rel}}(w) = \cos^4 w \cdot F_p(w) \cdot F_{\text{vig}}(w) \cdot F_T(w) \cdot F_{\text{ver}}(w).$$

Die ersten vier Faktoren stellen die Änderung der Strahlungsleistung dar, der letzte Wert kennzeichnet die Variation der Größe des Bildflächenelementes.

Bei der Messung soll die Lichtrichtung der des üblichen Gebrauchs gleich sein, weil sich bei der Umkehrung die Einflüsse von Verzeichnung und Falschlicht ändern.

6 Beschreibung der Meßverfahren

6.1 Einteilung der Meßverfahren

Es sind zwei verschiedene Meßverfahren gebräuchlich, die auch weiterhin verwendet werden sollen.

Das Verfahren der Bestrahlungsstärkemessung berücksichtigt bei abbildenden Systemen unmittelbar alle fünf Faktoren und soll deshalb bevorzugt werden.

Das Verfahren der Strahlungsleistungsmessung vernachlässigt die Wirkung der Verzeichnung auf die Größe des Bildflächenelementes. Falls bekannt, kann der Wert rechnerisch berücksichtigt werden. In vielen Fällen ist der Faktor aber zu vernachlässigen, weil die Verzeichnung klein ist ($< 0,2\%$). Er kann aber schon bei mittleren Verzeichnungen

deutliche Werte annehmen (z. B. bei $w = 25^\circ$, $V_r = 1\%$, quadratischer Verlauf: $F_{\text{ver}} = 0,961$). Das Meßergebnis muß mit dem Faktor $\cos^3 w$ multipliziert werden, um aus der relativen Strahlungsleistung die relative Bestrahlungsstärke zu erhalten.

Dieses Verfahren besitzt gegenüber dem Verfahren der Bestrahlungsstärkemessung jedoch den Vorteil, daß das Meßergebnis im allgemeinen weniger durch Falschlicht beeinflusst wird.

Teleskopische Systeme werden entsprechend dieser Norm nur nach dem Strahlungsleistungsverfahren gemessen.

6.2 Kurzbeschreibung der Bestrahlungsstärkemessung

Die relative Bestrahlungsstärke ist in Abhängigkeit von der Bildhöhe zu bestimmen. Diese Messung setzt im Objektraum eine gleichmäßig strahlende Fläche mit Lambertscher Strahlungscharakteristik und gleichmäßiger Strahldichte voraus. Sie braucht sich aber nicht in der Objektfläche, sondern kann sich z. B. auch unmittelbar vor der Eintrittspupille befinden. Eine kleine Meßfläche mit photoelektrischem Empfänger wird in der Bildebene meßbar verschoben, in Abhängigkeit von der Bildhöhe u' die Bestrahlungsstärke in willkürlichen Einheiten gemessen und der Meßwert auf den axialen Wert bezogen (siehe Bild 1).

Bei Systemen mit unendlich großem Bildabstand (z. B. Projektionsobjektive) wird die Meßblende im Brennpunkt einer Hilfsoptik (Fernrohr) angeordnet, die meßbar um die Austrittspupille des Prüflings geschwenkt wird (siehe Bild 2). Es ist darauf zu achten, daß die vom Strahlungsempfänger bewertete Bestrahlungsstärke cosinus-getreu bestimmt wird.

6.3 Kurzbeschreibung der Strahlungsleistungsmessung

Bei der Messung der relativen Strahlungsleistung wird ein kollimiertes Strahlenbündel in den Prüfling eingestrahlt. Die Achsen von Kollimator und Prüfling können gegeneinander verschwenkt werden. Auf der Bildseite wird die durchtretende Strahlungsleistung relativ zum axialen Wert mit Hilfe einer Photometerkugel und eines photoelektrischen Empfängers in Abhängigkeit vom objektseitigen Bildwinkel w gemessen (siehe Bild 3).

7 Messung der relativen Bestrahlungsstärke

7.1 Beschreibung des Meßaufbaus

7.1.1 Strahlungsquelle

Zur Darstellung einer Lambertschen Strahlungscharakteristik ist es günstig, eine Streuscheibe in die Meßöffnung einer Photometerkugel nach Bild 1 zu setzen. Die Innenfläche der Photometerkugel muß im Spektralbereich der Anwendung des Prüflings unselektiv sein, und die Streuscheibe muß über ihre genutzte Fläche eine konstante Strahldichte liefern.

Die Strahlungsquelle soll mindestens aus dem nutzbaren Bildwinkelbereich in den Prüfling einstrahlen. Innerhalb dieses Bereiches muß die Konstanz der Strahldichte besser als 2% sein.

7.1.2 Prüflingshalterung

Der Prüfling muß so gehalten werden, daß die vordere Kante seiner Fassung fast unmittelbar an der Streuscheibe anliegt bzw. so weit an die Öffnung der Photometerkugel heranragt, daß die Einstrahlung aus dem gesamten nutzbaren Winkelbereich sichergestellt ist. Die Prüflingshalterung darf starr sein. Bei mechanisch nicht rotationssymmetrischen Prüflingen müssen zur Messung in verschiedenen Orientierungen Prüfling und Empfänger relativ zueinander um die Prüflingsachse gedreht werden können.

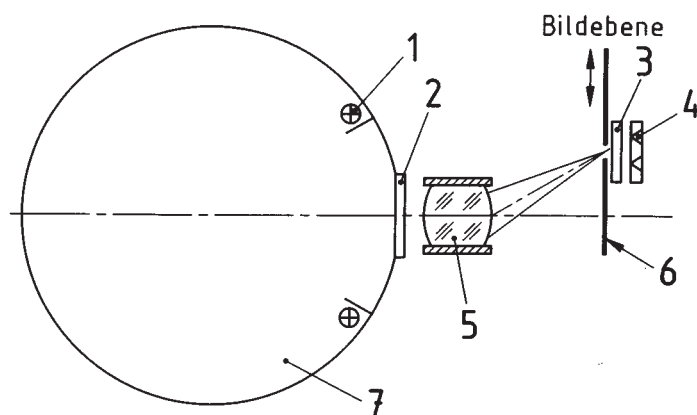


Bild 1. Anordnung A1 für die Messung der relativen Bestrahlungsstärke bei endlichem Bildabstand

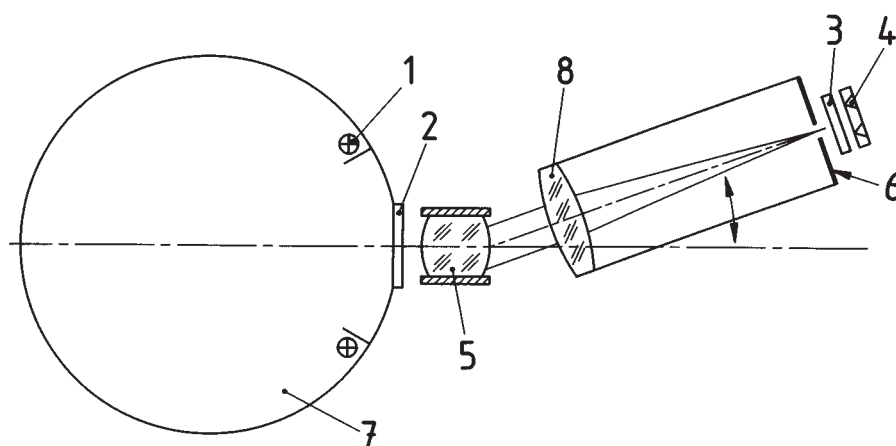


Bild 2. Anordnung A2 für die Messung der relativen Bestrahlungsstärke bei unendlich großem Bildabstand

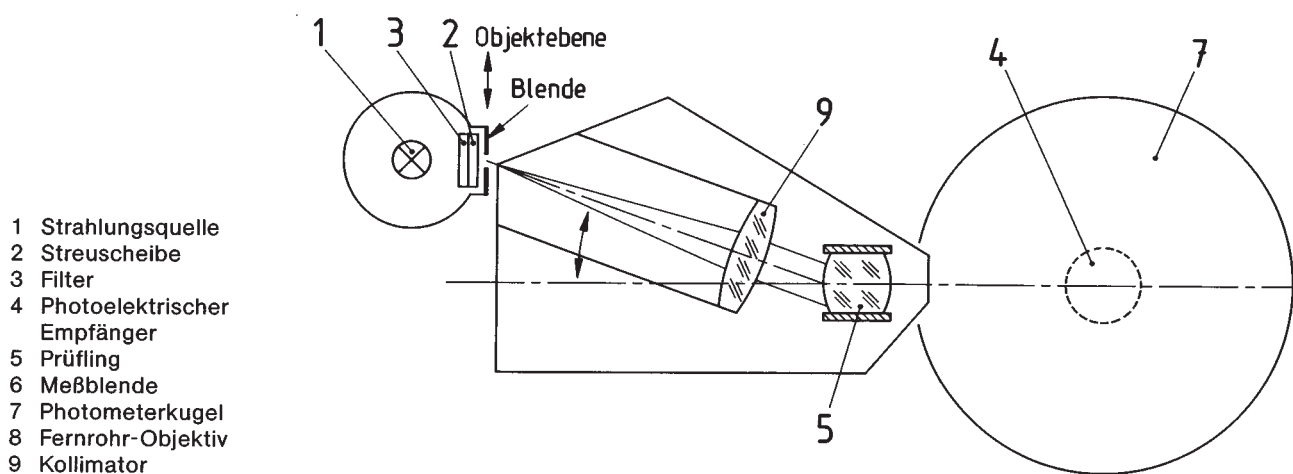


Bild 3. Anordnung B für die Messung der relativen Strahlungsleistung am Beispiel eines Teleskops. Der photoelektrische Empfänger ist senkrecht über der Schwenkebene angeordnet.