

# Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik

## Strahlungsbewertung durch Empfänger

**DIN**  
**5031**  
Teil 2

Optical radiation physics and illuminating engineering; evaluation of radiation by different detectors

Ersatz für  
Ausgabe 05.77

Physique de radiation optique et technique d'éclairage; l'évaluation de la radiation par des récepteurs différents

DIN 5031 umfaßt die folgenden einzelnen Teile:

- Teil 1 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Größen, Formelzeichen und Einheiten der Strahlungsphysik
- Teil 2 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Strahlungsbewertung durch Empfänger
- Teil 3 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Größen, Formelzeichen und Einheiten der Lichttechnik
- Teil 4 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Wirkungsgrade
- Teil 5 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Temperaturbegriffe
- Teil 6 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Pupillen-Lichtstärke als Maß für die Netzhautbeleuchtung
- Teil 7 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Benennung der Wellenlängenbereiche
- Teil 8 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Strahlungsphysikalische Begriffe und Konstanten
- Teil 9 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Lumineszenz-Begriffe
- Teil 10 (Vornorm) Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Größen, Formel- und Kurzzeichen für photobiologisch wirksame Strahlung
- Beiblatt 1 zu DIN 5031 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Inhaltsverzeichnis über Größen, Formelzeichen und Einheiten sowie Stichwortverzeichnis zu DIN 5031 Teil 1 bis Teil 10

## 1 Strahlungsbewertung durch einen beliebigen Empfänger

### 1.1 Empfindlichkeit<sup>1)</sup>

Ruft eine spektral beliebig zusammengesetzte Strahlung als Eingangsgröße (Ursache)  $X$  in einem Empfänger die Ausgangsgröße (Wirkung)  $Y$  hervor, so wird der Quotient aus Ausgangsgröße  $Y$  und der strahlungsphysikalisch, lichttechnisch oder nach einer anderen Wirkungsfunktion bewerteten Eingangsgröße  $X$  als (Gesamt-)Empfindlichkeit  $s$  des Empfängers bezeichnet.

$$s = \frac{Y}{X} \quad (1)$$

Die Empfindlichkeit hängt im allgemeinen von der spektralen Verteilung der Strahlung ab.

Ist  $Y$  nicht proportional  $X$ , so hängt die Empfindlichkeit  $s$  außerdem von dem Wert von  $X$  ab.

Anmerkung: Die Ausdrücke Eingangsgröße und Ausgangsgröße bzw. Ursache und Wirkung enthalten nicht die Vorstellung eines Wandlers, der  $X$  direkt in  $Y$  umwandeln kann.

### 1.2 Differentielle Empfindlichkeit

Die (absolute) differentielle Empfindlichkeit  $s_d$  ist der Differentialquotient der Funktion  $Y = Y(X)$ , die in der graphischen Darstellung auch als Kennlinie bezeichnet wird, an der Stelle  $X, Y$ .

$$s_d = \frac{dY}{dX} \quad (2)$$

Ist die Empfindlichkeit  $s$  unabhängig von dem Wert der Eingangsgröße  $X$ , so gilt:

$$s_d = s$$

### 1.3 Logarithmisch-differentielle Empfindlichkeit

Die logarithmisch-differentielle Empfindlichkeit  $s_{dl}$  ist der Differentialquotient der Funktion, die beim Übergang zu den Logarithmen der Zahlenwerte von  $X$  und  $Y$  für eine Kennlinie erhalten wird. Da allgemein  $d(\ln u) = du/u$ , ergibt sich:

$$s_{dl} = \frac{dY/Y}{dX/X} = \frac{dY}{dX} \cdot \frac{X}{Y} = \frac{s_d}{s} \quad (3)$$

Die Verhältnisgröße  $s_{dl}$  hängt weder von den für  $X$  und  $Y$  verwendeten Einheiten noch von der für die Logarithmen gewählten Basis ab.

### 1.4 Spektrale Empfindlichkeit

Umfaßt die einwirkende Strahlung nur den infinitesimalen Wellenlängenbereich  $d\lambda$  um die Wellenlänge  $\lambda$ , so ist die (absolute) spektrale Empfindlichkeit  $s(\lambda)$  bei dieser Wellenlänge der Quotient aus der Ausgangsgröße  $dY(\lambda) = Y_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda$  und der strahlungsphysikalischen Eingangsgröße  $dX_e(\lambda) = X_{e\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$

$$s(\lambda) = \frac{dY(\lambda)}{dX_e(\lambda)} \quad (4)$$

<sup>1)</sup> Die hier angegebene Definition ist eine andere als die in DIN 1319 Teil 2, Ausgabe Januar 1980, Grundbegriffe der Meßtechnik; Begriffe für die Anwendung von Meßgeräten.

Fortsetzung Seite 2 bis 6

Normenausschuß Lichttechnik (FNL) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.  
Normenausschuß Einheiten und Formelgrößen (AEF) im DIN

## 1.5 Relative spektrale Empfindlichkeit

Die relative spektrale Empfindlichkeit  $s(\lambda)_{\text{rel}}$  ist das Verhältnis der (absoluten) spektralen Empfindlichkeit  $s(\lambda)$  bei der Wellenlänge  $\lambda$  zu der (absoluten) spektralen Empfindlichkeit  $s(\lambda_0)$  bei einer Bezugswellenlänge  $\lambda_0$ .

$$s(\lambda)_{\text{rel}} = \frac{s(\lambda)}{s(\lambda_0)} \quad (5)$$

Besteht keine Proportionalität zwischen  $X_e$  und  $Y$ , so läßt sich eine spektrale Empfindlichkeit  $s(\lambda)$  nur mit einem endlichen Wellenlängenintervall  $\Delta\lambda$  und den ebenfalls endlichen Größen  $\Delta X_e = X_{e\lambda} \cdot \Delta\lambda$ ,  $\Delta Y(\lambda) = Y_\lambda \cdot \Delta\lambda$  definieren, da der Wert von  $s(\lambda)$  außer von der Wellenlänge auch noch von dem Arbeitspunkt auf der  $Y/X$ -Kennlinie abhängt. Eine relative spektrale Empfindlichkeit unabhängig von dem jeweiligen Wert der Ausgangsgröße kann jedoch in vielen Fällen angegeben werden, wenn man sich auf den gleichen Wert der Ausgangsgröße  $\Delta Y$  bezieht. Die Gleichung (5) gilt dann in der Form:

$$s(\lambda)_{\text{rel}} = \frac{s(\lambda)}{s(\lambda_0)} = \frac{\Delta X_e(\lambda_0)}{\Delta X_e(\lambda)}; \text{ für } \Delta Y(\lambda_0) = \Delta Y(\lambda) \quad (6)$$

Beschränkt man sich auf einen bestimmten Wert der Ausgangsgröße, so kann stets eine relative spektrale Empfindlichkeit nach Gleichung (6) angegeben werden.

Berechnet man  $Y$  ausgehend von Gleichung (5), so erhält man:

$$Y = s(\lambda_0) \int_0^\infty X_{e\lambda} \cdot s(\lambda)_{\text{rel}} \cdot d\lambda \quad (7)$$

Sind  $X_e$  und  $Y$  nicht proportional, so hängt  $s(\lambda_0)$  von dem Wert des Integrals in Gleichung (7) ab.

## 1.6 Aktinität

Die Aktinität  $\alpha(Z)$  einer Strahlung  $Z$  für einen Empfänger ist das Verhältnis der Empfindlichkeit  $s(Z)$  bei Einwirkung dieser Strahlung zu der Empfindlichkeit  $s(N)$  bei Einwirkung einer Bezugsstrahlung  $N$ .

$$\alpha(Z) = \frac{s(Z)}{s(N)} \quad (8)$$

Dies gilt für beliebige Ausgangsgrößen bei proportional (linear) arbeitenden Empfängern; bei nicht linearer Kennlinie muß die Empfindlichkeit bei gleichem, gegebenenfalls vereinbartem Wert der Ausgangsgröße ermittelt werden.

Man erhält dann gemäß Gleichung (1):

$$\alpha(Z) = \frac{s(Z)}{s(N)} = \frac{X(N)}{X(Z)} \text{ für } Y(Z) = Y(N) \quad (9)$$

Der Wert  $\alpha(Z)$  hängt davon ab, nach welchen Wirkungsfunktionen die Eingangsgrößen  $X(N)$  und  $X(Z)$  bewertet werden (siehe DIN 67 519).

## 2 Strahlungsbewertung durch das menschliche Auge

### 2.1 Licht

Strahlung, die beim Menschen unmittelbar eine Gesichtsempfindung hervorzurufen vermag, wird als Licht (sichtbare Strahlung) bezeichnet. Als sichtbares Spektralgebiet kann in der Praxis der Wellenlängenbereich 380 nm bis 780 nm angenommen werden. Bei der Bewertung der Strahlung durch das menschliche Auge ist in Gleichung (7) gemäß Gleichung (5) für die relative spektrale Empfindlichkeit  $s(\lambda)_{\text{rel}}$  des Strahlungsempfängers diejenige des menschlichen Auges, d. h. der spektrale Hellempfindlichkeitsgrad und für den Faktor  $s(\lambda_0)$  der Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents zu setzen.

Dann ergibt sich für das Tagessehen (photopisches Sehen, Zapfensehen, helladaptiertes Auge):

$$Y = K_m \int_0^\infty X_{e\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (10)$$

Das Produkt aus dem Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents  $K_m$  und dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad  $V(\lambda)$ , nämlich das spektrale photometrische Strahlungsäquivalent  $K(\lambda)$ , entspricht der (absoluten) spektralen Empfindlichkeit  $s(\lambda)$  gemäß Gleichung (4):

$$s(\lambda) \cong K(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda)$$

Beim Nachtsehen (skotopisches Sehen, Stäbchensehen, dunkeladaptiertes Auge) gelten entsprechende Beziehungen mit den Größen  $K'(\lambda)$ ,  $K'_m$  und  $V'(\lambda)$ . Dabei ist  $K'(\lambda)$  das spektrale photometrische Strahlungsäquivalent,  $V'(\lambda)$  der spektrale Hellempfindlichkeitsgrad für Nachtsehen.

Im Helligkeitsbereich zwischen dem Tagessehen und dem Nachtsehen, dem mesopischen Bereich, sind sowohl die Stäbchen- als auch die Zapfenempfänger mit ihren spektral verschiedenen Wirkungsfunktionen tätig. Dieser auch als Purkinje-Effekt bekannte Sachverhalt hat zur Folge, daß für Adaptationsniveaus zwischen  $10^{-5}$  bis  $10^2$  cd/m<sup>2</sup> (entsprechend etwa  $10^{-4}$  bis  $10^3$  Trol; siehe hierzu auch DIN 5031 Teil 6) das menschliche Auge die Strahlung weder nach dem Hellempfindlichkeitsgrad für das dunkeladaptierte Auge noch nach dem für das helladaptierte Auge bewertet. Sind Gesichtsfeldgröße (Meßfeld plus Vergleichsfeld), spektrale Zusammensetzung des Vergleichsfeldes sowie die wirksame Augenpupillenfläche des Beobachters gegeben, so ist der spektrale Hellempfindlichkeitsgrad und somit auch der Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents von der Leuchtdichte des Vergleichsfeldes (äquivalente Leuchtdichte) abhängig. Dies wird durch die Schreibweise  $V_{\text{eq}}(\lambda)$  für den spektralen Hellempfindlichkeitsgrad und  $K_{m, \text{eq}}$  für den Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents zum Ausdruck gebracht.

### 2.2 Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad für Tagessehen $V(\lambda)$

Der spektrale Hellempfindlichkeitsgrad für Tagessehen  $V(\lambda)$  ist die von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) festgelegte relative spektrale Empfindlichkeit des helladaptierten Auges des Normalbeobachters. Dabei ist auf das Maximum der spektralen Empfindlichkeit bezogen (Tabelle für  $V(\lambda)$  siehe DIN 5031 Teil 3). Für praktische Zwecke kann Helladaption für Leuchtdichten größer als 10 cd/m<sup>2</sup> angenommen werden.

Anmerkung 1: Die  $V(\lambda)$ -Werte sind identisch mit den Normspektralwerten  $\bar{y}(\lambda)$  des farbmeßtechnischen Kleinfeld-Normalbeobachters, die für Gesichtsfelder kleiner oder gleich 4° benutzt werden sollen (siehe DIN 5033 Teil 2).

Anmerkung 2: Die Internationale Beleuchtungskommission (CIE) hat angeregt, die Normspektralwerte  $\bar{y}_{10}(\lambda)$  des farbmeßtechnischen Großfeld-Normalbeobachters, die für Gesichtsfelder größer als 4° benutzt werden sollen, versuchsweise auch für photometrische Zwecke als  $V_{10}(\lambda)$ -Werte zu verwenden. Zahlenwerte für  $V_{10}(\lambda)$  siehe Tabelle 1.

### 2.3 Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad für Nachtsehen $V'(\lambda)$

Der spektrale Hellempfindlichkeitsgrad für Nachtsehen  $V'(\lambda)$  ist die von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) festgelegte relative spektrale Empfindlichkeit