

Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik
Größen, Formelzeichen und Einheiten der Lichttechnik

DIN
5031
Blatt 3

Optical radiation physics and illuminating engineering; quantities, symbols and units of illuminating engineering
Physique de radiation optique et technique d'éclairage; grandeurs, symboles et unités de la technique d'éclairage

1. Allgemeines**1.1. Die photometrische Bewertung**

Zu jeder der in DIN 5031 Blatt 1 aufgeführten strahlungsphysikalischen Größen gibt es entsprechende lichttechnische Größen, und zwar eine für Tagessehen und eine für Nachtsehen. Diese ergeben sich, wenn der spektrale Hellempfindlichkeitsgrad für Tagessehen bzw. der für Nachtsehen zugrundegelegt ist, folgendermaßen:

$$\text{für Tagessehen: } X_v = K_m \cdot \int X_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda$$

$$\text{für Nachtsehen: } X'_v = K'_m \cdot \int X_{e\lambda} V'(\lambda) d\lambda$$

Es bedeuten:

- X_v die lichttechnische Größe für Tagessehen, z. B. die Leuchtdichte L
- X'_v die lichttechnische Größe für Nachtsehen, z. B. die skotopische Leuchtdichte L'
- $X_{e\lambda}$ die der lichttechnischen Größe entsprechende spektrale strahlungsphysikalische Größe, z. B. die spektrale Strahldichte $L_{e\lambda}$
- K_m den Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalentes für Tagessehen
- K'_m den Maximalwert der photometrischen Strahlungsäquivalente für Nachtsehen
- $V(\lambda)$ den spektralen Hellempfindlichkeitsgrad für Tagessehen
- $V'(\lambda)$ den spektralen Hellempfindlichkeitsgrad für Nachtsehen

Diejenigen Größen und Einheiten, für die der spektrale Hellempfindlichkeitsgrad für Nachtsehen $V'(\lambda)$ maßgebend ist, werden durch das Vorwort skotopisch oder durch einen Strich an dem entsprechenden Formelzeichen, z. B. skotopische Leuchtdichte L' in $\frac{\text{cd}'}{\text{m}^2}$ gekennzeichnet.

1.2. Lichteinheit

1.2.1. Als Lichteinheit für das helladaptierte Auge (photopisches Sehen) gilt die candela (cd).

Die Lichtstärke 1 cd hat $\frac{1}{600000} \text{ m}^2$ der Oberfläche eines Schwarzen Strahlers der Temperatur des beim Druck von 101 325 $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ erstarrenden Platins in Richtung der Normalen.

1.2.2. Die auf das dunkeladaptierte Auge (skotopisches Sehen) gegründeten lichttechnischen Größen sind mit denen für photopisches Sehen folgendermaßen verknüpft:

Die skotopischen Größen und die photopischen haben definitionsgemäß gleiche Zahlenwerte, wenn die zu bewertende Strahlung als Verteilungstemperatur den Platin-Erstarrungspunkt hat.

1.3. Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents für Tagessehen K_m

Der Wert für K_m ergibt sich aus der Festlegung der Lichteinheit, dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ für Tagessehen und dem Planckschen Strahlungsgesetz mit einem bestimmten Wertetripel für die Platin-Erstarrungstemperatur und die Konstanten c_1 und c_2 . Für praktische Zwecke ist der Wert

$$K_m = 673 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \text{ genügend genau.}$$

1.4. Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents für Nachtsehen K'_m

Der Wert für K'_m ergibt sich aus der Festlegung der Lichteinheit, dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad $V'(\lambda)$ für Nachtsehen und dem Planckschen Strahlungsgesetz mit einem bestimmten Wertetripel für die Platin-Erstarrungstemperatur und die Konstanten c_1 und c_2 . Für praktische Zwecke ist der Wert

$$K'_m = 1725 \frac{\text{lm}'}{\text{W}} \text{ genügend genau.}$$

Fortsetzung Seite 2 bis 9
Erläuterungen Seite 9

1.5. Äquivalentleuchtdichte

Bei Adaptationsleuchtdichten zwischen $L' = 10^{-3} \text{ cd/m}^2$ und $L = 10 \text{ cd/m}^2$ bewertet das menschliche Auge die Strahlung weder nach $V'(\lambda)$ noch nach $V(\lambda)$, sondern nach Übergangsbewertungsfunktionen. Für dieses Gebiet ist deshalb der Begriff „Äquivalentleuchtdichte“¹⁾ wichtig.

Die Äquivalentleuchtdichte eines Gesichtsfeldes mit spektral beliebig zusammengesetzter Strahlung ist gegeben durch die Leuchtdichte eines (anderen) Gesichtsfeldes, das mit dem ersten im photometrischen Abgleich ist und dessen Strahlung die Verteilungstemperatur des erstarrten Platins hat.

2. Zahlenwerte für den spektralen Hellempfindlichkeitsgrad

Die in Tabelle 1 (Seite 3 bis 6) angegebenen Werte sind die des CIE-Wörterbuches. In der Praxis genügt es im allgemeinen, die Werte von 5 nm zu 5 nm oder von 10 nm zu 10 nm zu verwenden.

3. Lichttechnische Größen

3.1. Zusammenstellung

Tabelle 2. Lichttechnische Größen

Lfd. Nr	Größe	Formelzeichen	Beziehung	Vereinfachte	
				Beziehung	Erklärung
1	Lichtmenge	Q	$Q = K_m \int Q_e \lambda V(\lambda) d\lambda$	—	Die Lichtmenge ist die $V(\lambda)$ -getreu bewertete Strahlungsmenge.
2	Lichtstrom	Φ	$\Phi = \frac{dQ}{dt}$	$\Phi = \frac{Q}{t}$	Der Lichtstrom ist der Quotient aus Lichtmenge und Zeit.
3	Spezifische Lichtausstrahlung	M	$M = \frac{d\Phi}{dA_1}$	$M = \frac{\Phi}{A_1}$	Die spezifische Lichtausstrahlung ist der Quotient aus dem von einer Fläche abgegebenen Lichtstrom und der leuchtenden Fläche.
4	Lichtstärke	I	$I = \frac{d\Phi}{d\Omega_1}$	$I = \frac{\Phi}{\Omega_1}$	Die Lichtstärke ist der Quotient aus dem von einer Lichtquelle in einer bestimmten Richtung ausgesandten Lichtstrom und dem durchstrahlten Raumwinkel.
5	Leuchtdichte	L	$L = \frac{d^2\Phi}{dA_1 \cdot \cos \varepsilon_1 \cdot d\Omega_1}$ $L = \frac{d^2\Phi}{dA_2 \cdot \cos \varepsilon_2 \cdot d\Omega_2}$	$L = \frac{\Phi}{A_1 \cdot \cos \varepsilon_1 \cdot \Omega_1}$ $L = \frac{\Phi}{A_2 \cdot \cos \varepsilon_2 \cdot \Omega_2}$	Die Leuchtdichte ist der Quotient aus dem durch eine Fläche in einer bestimmten Richtung durchtretenden (auf-treffenden) Lichtstrom und dem Produkt aus dem durchstrahlten Raumwinkel und der Projektion der Fläche auf eine Ebene senkrecht zur betrachteten Richtung.
6	Beleuchtungsstärke	E	$E = \frac{d\Phi}{dA_2}$	$E = \frac{\Phi}{A_2}$	Die Beleuchtungsstärke ist der Quotient aus dem auf eine Fläche auftreffenden Lichtstrom und der beleuchteten Fläche.
7	Raumbelichtungsstärke	$E_0^*)$	$E_0 = \int L \cdot d\Omega_2$	—	—
8	Belichtung	H	$H = \int E \cdot dt$	$H = E \cdot t$	Die Belichtung ist das Produkt aus der Beleuchtungsstärke und der Dauer des Beleuchtungsvorganges.
9	Beleuchtungsvektor	\vec{E}	$\vec{E} = \int L \cdot \vec{d}\Omega_2$	—	—

*) Die mittlere räumliche Beleuchtungsstärke $E_{4\pi}$ (scalar illumination) ist $1/4 E_0$.

¹⁾ Die Bedingungen für die Messung der Äquivalentleuchtdichte sind im COMPTE RENDU CIE Wien, 1963, Band B, Seite 212—213, angegeben.

Tabelle 1. Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad für Tagessehen $V(\lambda)$ und Nachtsehen $V'(\lambda)$ ²⁾

Wellenlänge in nm	Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad		Wellenlänge in nm	Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad	
	$V(\lambda)$	$V'(\lambda)$		$V(\lambda)$	$V'(\lambda)$
380	$3,900\ 000 \cdot 10^{-5}$	$5,89 \cdot 10^{-4}$	430	$1,160\ 000 \cdot 10^{-2}$	0,1998
381	$4,282\ 640 \cdot 10^{-5}$	$6,65 \cdot 10^{-4}$	431	$1,257\ 317 \cdot 10^{-2}$	0,2119
382	$4,691\ 460 \cdot 10^{-5}$	$7,52 \cdot 10^{-4}$	432	$1,358\ 272 \cdot 10^{-2}$	0,2243
383	$5,158\ 960 \cdot 10^{-5}$	$8,54 \cdot 10^{-4}$	433	$1,462\ 968 \cdot 10^{-2}$	0,2369
384	$5,717\ 640 \cdot 10^{-5}$	$9,72 \cdot 10^{-4}$	434	$1,571\ 509 \cdot 10^{-2}$	0,2496
385	$6,400\ 000 \cdot 10^{-5}$	$1,108 \cdot 10^{-3}$	435	$1,684\ 000 \cdot 10^{-2}$	0,2625
386	$7,234\ 421 \cdot 10^{-5}$	$1,263 \cdot 10^{-3}$	436	$1,800\ 736 \cdot 10^{-2}$	0,2755
387	$8,221\ 224 \cdot 10^{-5}$	$1,453 \cdot 10^{-3}$	437	$1,921\ 448 \cdot 10^{-2}$	0,2886
388	$9,350\ 816 \cdot 10^{-5}$	$1,668 \cdot 10^{-3}$	438	$2,045\ 392 \cdot 10^{-2}$	0,3017
389	$1,061\ 361 \cdot 10^{-4}$	$1,918 \cdot 10^{-3}$	439	$2,171\ 824 \cdot 10^{-2}$	0,3149
390	$1,200\ 000 \cdot 10^{-4}$	$2,209 \cdot 10^{-3}$	440	$2,300\ 000 \cdot 10^{-2}$	0,3281
391	$1,349\ 840 \cdot 10^{-4}$	$2,547 \cdot 10^{-3}$	441	$2,429\ 461 \cdot 10^{-2}$	0,3412
392	$1,514\ 920 \cdot 10^{-4}$	$2,939 \cdot 10^{-3}$	442	$2,561\ 024 \cdot 10^{-2}$	0,3543
393	$1,702\ 080 \cdot 10^{-4}$	$3,394 \cdot 10^{-3}$	443	$2,695\ 857 \cdot 10^{-2}$	0,3673
394	$1,918\ 160 \cdot 10^{-4}$	$3,921 \cdot 10^{-3}$	444	$2,835\ 125 \cdot 10^{-2}$	0,3803
395	$2,170\ 000 \cdot 10^{-4}$	$4,53 \cdot 10^{-3}$	445	$2,980\ 000 \cdot 10^{-2}$	0,3931
396	$2,469\ 067 \cdot 10^{-4}$	$5,24 \cdot 10^{-3}$	446	$3,131\ 083 \cdot 10^{-2}$	0,406
397	$2,812\ 400 \cdot 10^{-4}$	$6,05 \cdot 10^{-3}$	447	$3,288\ 368 \cdot 10^{-2}$	0,418
398	$3,185\ 200 \cdot 10^{-4}$	$6,98 \cdot 10^{-3}$	448	$3,452\ 112 \cdot 10^{-2}$	0,431
399	$3,572\ 667 \cdot 10^{-4}$	$8,06 \cdot 10^{-3}$	449	$3,622\ 571 \cdot 10^{-2}$	0,443
400	$3,960\ 000 \cdot 10^{-4}$	$9,29 \cdot 10^{-3}$	450	$3,800\ 000 \cdot 10^{-2}$	0,455
401	$4,337\ 147 \cdot 10^{-4}$	$1,070 \cdot 10^{-2}$	451	$3,984\ 667 \cdot 10^{-2}$	0,467
402	$4,730\ 240 \cdot 10^{-4}$	$1,231 \cdot 10^{-2}$	452	$4,176\ 800 \cdot 10^{-2}$	0,479
403	$5,178\ 760 \cdot 10^{-4}$	$1,413 \cdot 10^{-2}$	453	$4,376\ 600 \cdot 10^{-2}$	0,490
404	$5,722\ 187 \cdot 10^{-4}$	$1,619 \cdot 10^{-2}$	454	$4,584\ 267 \cdot 10^{-2}$	0,502
405	$6,400\ 000 \cdot 10^{-4}$	$1,852 \cdot 10^{-2}$	455	$4,800\ 000 \cdot 10^{-2}$	0,513
406	$7,245\ 600 \cdot 10^{-4}$	$2,113 \cdot 10^{-2}$	456	$5,024\ 368 \cdot 10^{-2}$	0,524
407	$8,255\ 000 \cdot 10^{-4}$	$2,405 \cdot 10^{-2}$	457	$5,257\ 304 \cdot 10^{-2}$	0,535
408	$9,411\ 600 \cdot 10^{-4}$	$2,730 \cdot 10^{-2}$	458	$5,498\ 056 \cdot 10^{-2}$	0,546
409	$1,069\ 880 \cdot 10^{-3}$	$3,089 \cdot 10^{-2}$	459	$5,745\ 872 \cdot 10^{-2}$	0,557
410	$1,210\ 000 \cdot 10^{-3}$	$3,484 \cdot 10^{-2}$	460	$6,000\ 000 \cdot 10^{-2}$	0,567
411	$1,362\ 091 \cdot 10^{-3}$	$3,916 \cdot 10^{-2}$	461	$6,260\ 197 \cdot 10^{-2}$	0,578
412	$1,530\ 752 \cdot 10^{-3}$	$4,39 \cdot 10^{-2}$	462	$6,527\ 752 \cdot 10^{-2}$	0,588
413	$1,720\ 368 \cdot 10^{-3}$	$4,90 \cdot 10^{-2}$	463	$6,804\ 208 \cdot 10^{-2}$	0,599
414	$1,935\ 323 \cdot 10^{-3}$	$5,45 \cdot 10^{-2}$	464	$7,091\ 109 \cdot 10^{-2}$	0,610
415	$2,180\ 000 \cdot 10^{-3}$	$6,04 \cdot 10^{-2}$	465	$7,390\ 000 \cdot 10^{-2}$	0,620
416	$2,454\ 800 \cdot 10^{-3}$	$6,68 \cdot 10^{-2}$	466	$7,701\ 600 \cdot 10^{-2}$	0,631
417	$2,764\ 000 \cdot 10^{-3}$	$7,36 \cdot 10^{-2}$	467	$8,026\ 640 \cdot 10^{-2}$	0,642
418	$3,117\ 800 \cdot 10^{-3}$	$8,08 \cdot 10^{-2}$	468	$8,366\ 680 \cdot 10^{-2}$	0,653
419	$3,526\ 400 \cdot 10^{-3}$	$8,85 \cdot 10^{-2}$	469	$8,723\ 280 \cdot 10^{-2}$	0,664
420	$4,000\ 000 \cdot 10^{-3}$	$9,66 \cdot 10^{-2}$	470	$9,098\ 000 \cdot 10^{-2}$	0,676
421	$4,546\ 240 \cdot 10^{-3}$	$1,052 \cdot 10^{-1}$	471	$9,491\ 755 \cdot 10^{-2}$	0,687
422	$5,159\ 320 \cdot 10^{-3}$	$1,141 \cdot 10^{-1}$	472	$9,904\ 584 \cdot 10^{-2}$	0,699
423	$5,829\ 280 \cdot 10^{-3}$	$1,235 \cdot 10^{-1}$	473	0,103 367 4	0,710
424	$6,546\ 160 \cdot 10^{-3}$	$1,334 \cdot 10^{-1}$	474	0,107 884 6	0,722
425	$7,300\ 000 \cdot 10^{-3}$	$1,436 \cdot 10^{-1}$	475	0,112 600 0	0,734
426	$8,086\ 507 \cdot 10^{-3}$	$1,541 \cdot 10^{-1}$	476	0,117 532 0	0,745
427	$8,908\ 720 \cdot 10^{-3}$	$1,651 \cdot 10^{-1}$	477	0,122 674 4	0,757
428	$9,767\ 680 \cdot 10^{-3}$	$1,764 \cdot 10^{-1}$	478	0,127 992 8	0,769
429	$1,066\ 443 \cdot 10^{-2}$	$1,879 \cdot 10^{-1}$	479	0,133 452 8	0,781

²⁾ für junge Augen