

Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik

Größen, Formelzeichen und Einheiten der Lichttechnik

DIN
5031
Teil 3

Optical radiation physics and illuminating engineering; quantities, symbols and units of illuminating engineering

Ersatz für
Ausgabe 05.77

Physique de radiation optique et technique d'éclairage; grandeurs, symboles et unités de la technique d'éclairage

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 Allgemeines

1.1 Die photometrische Bewertung

Zu jeder der in DIN 5031 Teil 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 zugrunde gelegt ist, folgendermaßen:

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

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

Hierin 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 Strahlungsäquivalents 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

Die Grenzen des skotopischen und photopischen Bereichs sind mit $L' = 10^{-5} \text{ cd/m}^2$ und $L = 10^2 \text{ cd/m}^2$ festgelegt, für praktische Zwecke können sie mit $L = 10^{-3} \text{ cd/m}^2$ und $L = 10 \text{ cd/m}^2$ angenommen werden.

1.2 Äquivalente Leuchtdichte L_{eq}

Im Adaptationsbereich von 10^{-5} cd/m^2 bis 10^2 cd/m^2 bewertet das menschliche Auge die Strahlung nach dem in DIN 5031 Teil 2 beschriebenen spektralen Hellempfindlichkeitsgrad $V_{eq}(\lambda)$ (Übergangsfunktionen). Die photometrische Strahlungsbewertung in diesem (mesopischen) Bereich erfolgt durch die äquivalente Leuchtdichte L_{eq} : [1] [2].

$$L_{eq} = K_{m,eq} \int L_{e\lambda} \cdot V_{eq}(\lambda) \cdot d\lambda$$

L_{eq} äquivalente Leuchtdichte

$L_{e\lambda}$ spektrale Strahldichte (siehe DIN 5031 Teil 1)

$V_{eq}(\lambda)$ spektraler Hellempfindlichkeitsgrad im mesopischen Bereich (siehe DIN 5031 Teil 2)

$K_{m,eq}$ Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents im mesopischen Bereich (siehe Abschnitt 1.6)

Fortsetzung Seite 2 bis 11

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

$K_{m,eq}$ und $V_{eq}(\lambda)$ sind bei gegebener Vergleichsstrahlung sowie Gesichtsfeldgröße und wirksamer Augenpupillenfläche von L_{eq} abhängig. Bis zur endgültigen internationalen Festlegung eines mesopischen Normalbeobachters wird in dieser Norm die mesopische Strahlungsbewertung auf der Grundlage der in Abschnitt 1.6 und in DIN 5031 Teil 2 enthaltenen Zahlenwerte für $V_{eq}(\lambda)$ und $K_{m,eq}$ empfohlen. Die äquivalente Leuchtdichte ist hinsichtlich numerischer Operationen zwischen verschiedenen L_{eq} -Niveaus eine nichtadditive Größe. Für Kontinuumstrahler wirkt sich eine mesopische Strahlungsbewertung mittels der äquivalenten Leuchtdichte unterhalb etwa 10 cd/m^2 aus [3].

Anmerkung: Die zahlenmäßige Bestimmung der Maximalwerte des photometrischen Strahlungsäquivalents im mesopischen und skotopischen Bereich ($K_{m,eq}$ bzw. K'_m) wurde in DIN 5031 Teil 3, Ausgabe Mai 1977, vorgenommen auf Grund der von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) festgelegten Definition der äquivalenten Leuchtdichte (siehe Internationales Wörterbuch der Lichttechnik; CIE-Publikation Nr 17, 1970). Danach ist die äquivalente Leuchtdichte einer zu bewertenden Strahlung mit der spektralen Strahldichte $L_{e\lambda}$ gleich der (photopischen) Leuchtdichte einer Vergleichsstrahlung mit der Verteilungstemperatur des erstarrenden Platins, wenn beide Strahlungen unter den gegebenen Bedingungen gleich hell erscheinen.

Durch die Neudefinition der Lichtstärkeeinheit (siehe Abschnitt 1.3) und die Festsetzung des photometrischen Strahlungsäquivalents auf 683 lm/W bei der Wellenlänge von 555 nm ergeben sich Abweichungen zu den bisherigen Werten (siehe Abschnitt 1.6). Diese Abweichungen sind jedoch relativ gering. Sie belaufen sich bei K'_m auf $-3,4\%$, bei $K_{m,10}$ auf $+3,8\%$. Etwas größere Abweichungen ergeben sich im mittleren mesopischen Bereich. Bei z.B. $L_{eq} = 0,1 \text{ cd/m}^2$ beträgt die Änderung $-12,6\%$.

Nimmt man diese Änderungen in Kauf, so läßt sich die äquivalente Leuchtdichte mit für die Praxis genügend Genauigkeit auch weiterhin als die Leuchtdichte einer gleichhellen Vergleichsstrahlung mit der Verteilungstemperatur des erstarrenden Platins interpretieren. Erscheint z.B. innerhalb eines 10° -Feldes eine mit der Verteilungstemperatur von 6000 K beleuchtete aselective Fläche mit der (photopischen) Leuchtdichte von $0,01 \text{ cd/m}^2$ gleich hell wie die Vergleichsstrahlung mit der (photopischen) Leuchtdichte von $0,0174 \text{ cd/m}^2$, dann ist die äquivalente Leuchtdichte der mit 6000 K beleuchteten Fläche $L_{eq} = 0,0174 \text{ cd/m}^2$.

Die Anwendung der äquivalenten Leuchtdichte ist vor allem dort von Vorteil, wo im Bereich niedriger Leuchtdichten spektral unterschiedliche Strahlungen bezüglich ihrer Helligkeit verglichen werden sollen. Außerdem lassen sich in diesem Adaptationsbereich die Sehleistungen des Auges mit der äquivalenten Leuchtdichte als adequate Reizgröße erfassen.

1.3 Lichtstärkeeinheit

Als Lichtstärkeeinheit gilt die Candela (cd).

Die Candela ist die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hertz aussendet, und deren Strahlstärke in dieser Richtung $1/683$ Watt durch Steradian beträgt [5].

Anmerkung: Für Luft unter Normbedingungen entspricht die Wellenlänge $\lambda = 555 \text{ nm}$ der Frequenz $f = 540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$. Die Lichtstärkeeinheit gilt sowohl für den photopischen als auch für den skotopischen und mesopischen Bereich.

1.4 Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents für Tagessehen K_m

Der Wert für K_m ergibt sich aus der Festlegung der Lichtstärkeeinheit und dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ für Tagessehen für die Wellenlänge 555 nm ($V(\lambda = 555 \text{ nm}) = 1$) zu

$$K_m = 683 \text{ lm/W}$$

1.5 Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents für Nachtsehen K'_m

Der Wert für K'_m ergibt sich aus der Festlegung der Lichtstärkeeinheit und dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad $V'(\lambda)$ für Nachtsehen für die Wellenlänge 555 nm ($V'(\lambda = 555 \text{ nm}) = 0,402$) zu

$$K'_m = 1699 \text{ lm/W}$$

1.6 Maximalwerte des photometrischen Strahlungsäquivalents im mesopischen Bereich $K_{m,eq}$

Die Werte für $K_{m,eq}$ ergeben sich aus der Festlegung der Lichtstärkeeinheit und den spektralen Hellempfindlichkeitsgraden $V_{eq}(\lambda)$ für mesopisches Sehen für die Wellenlänge $\lambda = 555 \text{ nm}$ zu

$$K_{m,eq} = \frac{683 \text{ lm/W}}{V_{eq}(\lambda = 555 \text{ nm})}$$

Nach DIN 5031 Teil 2 gelten die in der folgenden Tabelle 1 angegebenen Werte.

Tabelle 1. Zahlenwerte für $K_{m,eq}$ für das 10° -Gesichtsfeld sowie Relativwerte

Größe	Zahlenwert für äquivalente Leuchtdichten L_{eq} in $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$							
	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2
$K_{m,eq}$ in $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$	1699	1599	1485	1253	773	686	683	684
$K_{m,eq}/K_{m,10}$	2,485	2,34	2,12	1,83	1,12	1,00	1,00	1
$K_{m,eq}/K'_m$	2,488	2,34	2,17	1,83	1,13	1,00	1,00	1,00

$K_{m,10} = 684 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents für Tagessehen für das 10° -Gesichtsfeld

$K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents für Tagessehen für das 2° -Gesichtsfeld

Tabelle 2. Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad für Tagessehen $V(\lambda)$ und Nachtsehen $V'(\lambda)$ [6]

Wellenlänge nm	Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad		Wellenlänge nm	Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad	
	$V(\lambda)$ 2°-Gesichtsfeld	$V'(\lambda)$ 10°-Gesichtsfeld		$V(\lambda)$ 2°-Gesichtsfeld	$V'(\lambda)$ 10°-Gesichtsfeld
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