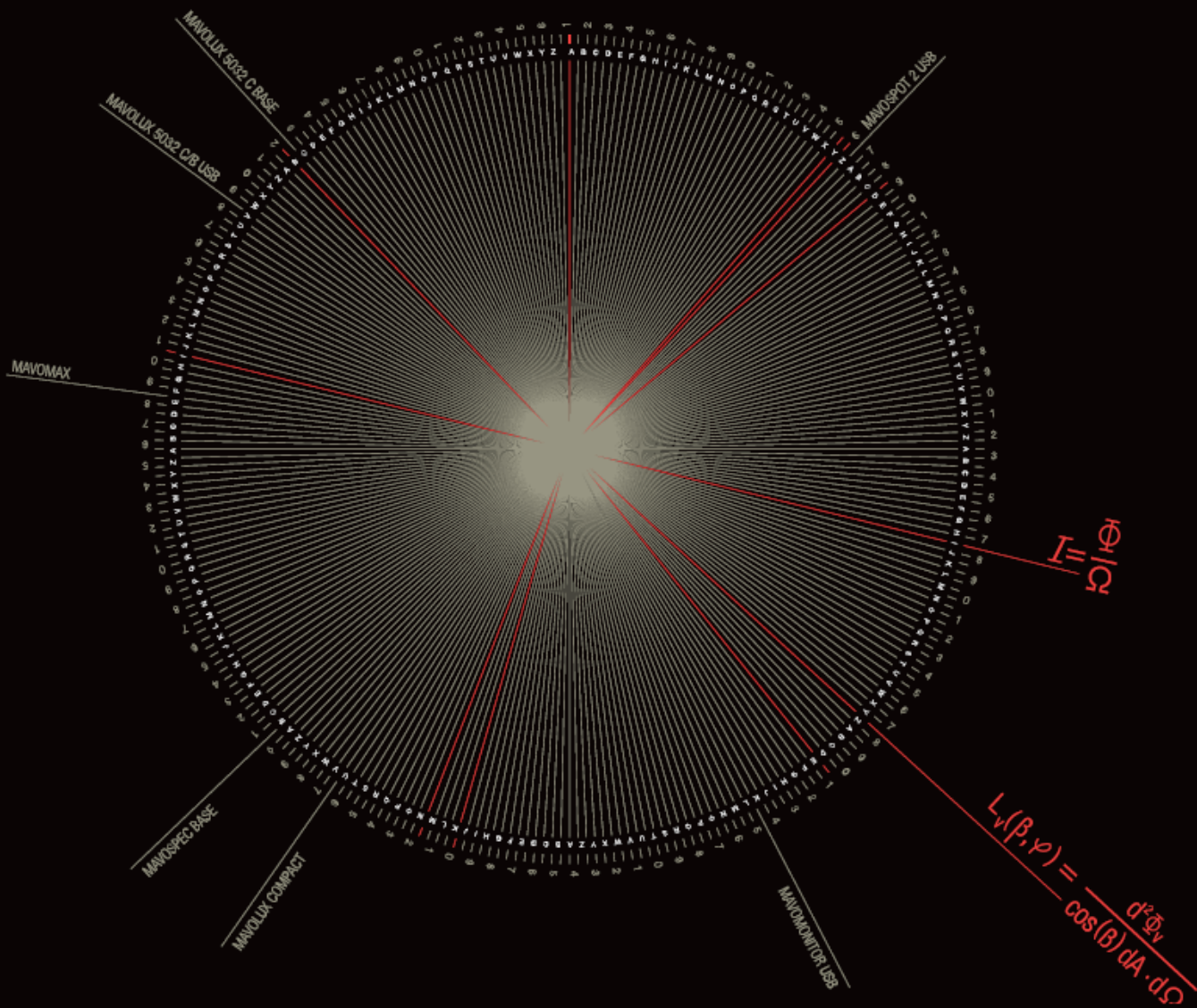


Kompendium der Lichtmesstechnik



Vorwort

Licht ist die Grundlage unseres Lebens, es sorgt dafür dass sich Pflanzen und Lebewesen entwickeln, versorgt uns mit Nährstoffen und steigert unsere Lebensqualität. Über 80 % der Informationen aus unserer Umwelt nehmen wir über das Auge auf. Eine gute Beleuchtung verhilft uns dabei zu hohem Sehkomfort, schützt uns vor Ermüdung und gibt uns Sicherheit und Wohlbefinden. Kreative Lichtplanung setzt interessante Akzente im privaten Umfeld, in der Architektur und im öffentlichen Raum. Neue Erkenntnisse über biologisch wirksame Beleuchtung führen zu weiteren positiven Effekten und können erst durch die neue LED Beleuchtungstechnik kostengünstig umgesetzt werden.



LED das Licht der Zukunft

In den letzten Jahren hat sich ein entscheidender Wandel von der herkömmlichen Glühlampe hin zur modernen LED in der Beleuchtungstechnik vollzogen. Getrieben wurde diese Entwicklung durch das EU-weite Verbot der herkömmlichen Glühlampen mit niedriger Energieeffizienz sowie durch das gesteigerte Energiespar- und Umwelt-Bewusstsein in der Bevölkerung.

Die LED Beleuchtungstechnik hat in den letzten Jahren durch die Entwicklung von LEDs mit hoher Lichtausbeute und damit extremer Energieeffizienz ein rasantes Wachstum erzielt. Zusammen mit der Langlebigkeit, der Stoßfestigkeit, der geringeren Wärmeentwicklung, dem fehlenden Infrarotanteil und der Freiheit von giftigen Stoffen hat diese neue Technologie die Anwender vollständig überzeugt.

Die Langlebigkeit führt dazu, dass erstmals Lampen fest in Leuchten verbaut werden können und sich ganz neue Freiheitsgrade für das Design auftun. Diese neue Leuchtengeneration ist gezielt auf die Abstrahlcharakteristik und das Kühlbedürfnis von LEDs ausgelegt. An die Stelle von Reflektoren zur Lichtlenkung bei den herkömmlichen Rundstrahlern werden heute häufig optische Systeme aus Kunststoff zur effizienten Lichtlenkung vor der LED eingesetzt. Durch die einfache Steuerbarkeit von Helligkeit und Farbe lässt sich das künstliche Licht dem Verlauf des Tageslichts anpassen und steigert

so das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen. Diese biologische Wirkung des Lichts wird gerade erst richtig erfasst.

LEDs haben damit längst den Status der Effektbeleuchtung überschritten und kommen als Displaybeleuchtung, Leuchtanzeigen und Lampen zum Einsatz. Sie sind nicht mehr wegzudenken aus modernen Verkehrsmitteln, Signalanlagen, Straßenlampen, Außen- und Raumbelichtungen.

Neue Herausforderungen an die Messtechnik

Reichte es bei der herkömmlichen Beleuchtungstechnik aus, die Beleuchtungsstärke und die Leuchtdichte zu überprüfen, müssen heute zusätzlich Spektrum, Farbort, Farbtemperatur, Farbwiedergabe Indizes und Flicker betrachtet werden. Bedingt durch die Fertigungsprozesse variieren Helligkeit und Farbe von LEDs, weshalb sie in der Produktion und Endanwendung getestet, klassifiziert und charakterisiert werden müssen.

Tageslicht, Glühlampen, Halogenlampen haben eines gemeinsam und das ist ihre hervorragende Farbwiedergabe mit dem höchsten Farbwiedergabeindex von 100. LED's und Leuchtstoffröhren können da nicht ganz mithalten und das liegt an ihren Spektren. Bei den letztgenannten dominieren einzelne Spektralbereiche oder es fehlen Spektralbereiche was zu Beeinflussung beim Farbsehen führt.

Diesen neuen Herausforderungen hat die Bauteilindustrie aufgegriffen und Spektorsensoren so weit miniaturisiert, dass diese MOEMS (Micro Opto Electro Mechanic Systems) die Entwicklung handlicher und vor allem bezahlbarer Spektralphotometer ermöglicht haben.

Die GOSSEN Foto- und Lichtmesstechnik GmbH bietet ein komplettes Programm an Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräten sowie ein Spektrometer. Als Kalibrierlabor erstellt GOSSEN auch Werkkalibrierscheine für Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte oder auch DAkkS Kalibrierscheine für Beleuchtungsstärke.

Dieses Kompendium der Lichtmesstechnik erläutert lichtmesstechnische Größen, Begriffe und Zusammenhänge mit denen Lichtmesstechniker häufig konfrontiert werden. Es gibt Hinweise für die Auswahl geeigneter Messgeräte und verschafft einen Überblick über die unterschiedlichen Normen und Vorschriften, bei denen lichtmesstechnische Größen zu messen und einzuhalten sind.

Nürnberg, Dezember 2019

Dipl.-Ing. (FH) Klaus-Peter Richter

GOSSEN Foto- und Lichtmesstechnik GmbH

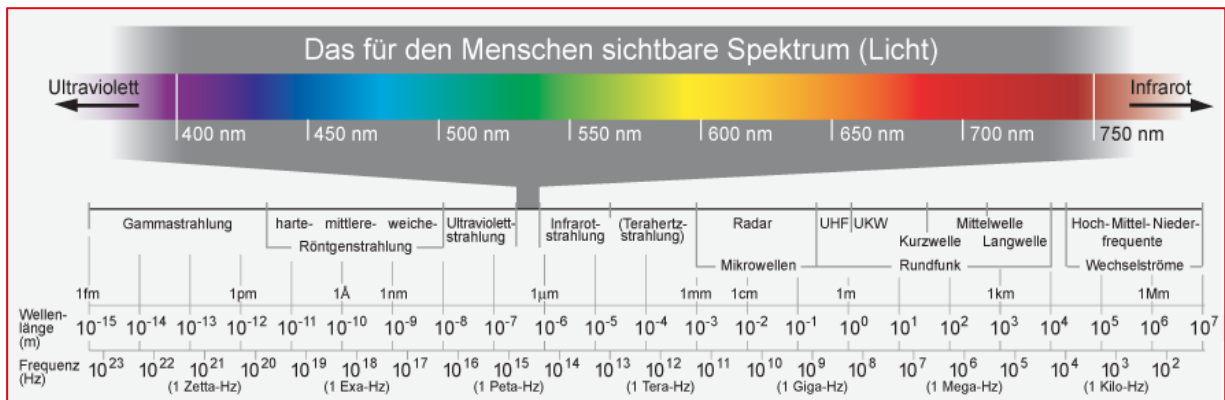
Inhaltsverzeichnis

<i>Was ist Licht?</i>	6
<i>Spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges</i>	8
<i>Grundbegriffe der Lichttechnik</i>	9
Lichtstrom Φ [Lumen, lm]	9
Ulbricht-Kugel	9
Lichtausbeute η [Lumen/Watt]	10
Raumwinkel Ω [Steradian, sr]	10
Lichtstärke I [Candela, cd]	11
Lichtstärkeverteilungskurve	11
Zusammenhang Lichtstärke I - Beleuchtungsstärke E	11
Beleuchtungsstärke E [lx].....	12
Mittlere Beleuchtungsstärke \bar{E}	13
Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke U_o	13
Ungleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke U_d	13
Horizontale Beleuchtungsstärke E_h [lx]	14
Vertikale Beleuchtungsstärke E_v [lx]	14
Zylindrische Beleuchtungsstärke E_z [lx]	15
Halbzylindrische Beleuchtungsstärke E_{hz} [lx]	16
Wartungswert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m [lx]	16
Neuwert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_i [lx]	17
Wartungsfaktor	17
Bestrahlungsstärke E_e [W/m ²]	17
Luminous Efficacy of Radiation LER [lm/W]	17
Photometrisches Entfernungsgesetz.....	18
Licht trifft schräg auf eine Fläche.....	19
Leuchtdichte L [cd/m ²].....	20
Messkreis bei Distanzmessung	20
Flicker	21
<i>Grundbegriffe der Farbmeterik</i>	22
Spektrale Leistungsverteilung SPD [mW/m ² /nm].....	22
Farbkoordinaten x, y [CIE 1931] / u, v [CIE 1960] / u', v' [CIE 1976]	23
Farbwiedergabe	23
Lichtfarbe	24

Farbwiedergabeindex nach CIE 13.3	25
Gamut Area Index.....	27
Farbbezeichnung von Lampen	27
Farbwiedergabe nach IES TM-30-15.....	28
Messung der Pflanzenbeleuchtung	29
Wie nehmen Pflanzen das Licht wahr?	29
Photosynthetisch aktive Strahlung PAR	30
Photosynthetischer Photonenfluss PPF [$\mu\text{mol/s}$]	30
Photoneneffizienz [$\mu\text{mol/J}$].....	30
Photosynthetische Photonenflussdichte PPFD [$\mu\text{mol/m}^2\text{s}$].....	30
Mittlere photosynthetische Photonenflussdichte PPFD_{avg}	31
Ungleichmäßigkeit der photosynthetischen Photonenflussdichte U_{PPFD}	31
Auswahlkriterien für Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräte	32
Klasseneinteilung	32
Vorteilhafte Eigenschaften.....	34
Kalibrierpflicht von Messmitteln	35
Welches Messgerät für welche Messgröße?	36
Welches Messgerät für welche Applikation?	38
Norm der Medizintechnik.....	40
DIN 6868-157 Abnahme- und Konstanzprüfung von Bildwiedergabesystemen.....	40
Normen für die Beleuchtung von Arbeitsstätten	41
DIN EN 12464-1 Arbeitsstätten in Innenräumen.....	41
DIN EN 12464-2 Arbeitsplätze im Freien	42
DIN EN 1838 Notbeleuchtung.....	42
Arbeitsstättenverordnung ArbStättV.....	43
Technische Regeln für Arbeitsstätten - ASR	43
Literaturverzeichnis	45
Normenverzeichnis	46
Notizen.....	50

Was ist Licht?

Wenn wir von Licht sprechen, dann meinen wir den Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm aus dem breiten Spektrum elektromagnetischer Strahlung, der als sichtbare Strahlung (VIS) bezeichnet wird und beim Menschen eine Lichtempfindung hervorruft.



Wellenlängen und Frequenzen der elektromagnetischen Strahlung

(Quelle: Wikimedia Commons - Horst Frank -Electromagnetic spectrum c.svg)

Häufig versteht man darunter auch den Bereich der optischen Strahlung von 100 nm bis 1 mm, der zusätzlich die angrenzenden und nicht sichtbaren Bereiche der Ultraviolettstrahlung und Infrarotstrahlung beinhaltet. Je nach Wellenlänge dringt die Ultraviolettstrahlung in die Haut des Menschen ein, kann uns bräunen (UV-A) aber auch Sonnenbrand und Bindehautentzündung hervorrufen (UV-B, UV-C). Die Umwandlung von Luftsauerstoff in Ozon oder auch die keimtötende Wirkung (UV-C) sind weitere Effekte. Weniger gefährlich für den Menschen ist die Infrarotstrahlung, die wir als Wärme wahrnehmen und auch nutzen.

Benennung der Strahlung	Kurzzeichen	Wellenlänge
Ultraviolettstrahlung	UV	100 nm ... < 380 nm
Vakuum-UV	VUV UV-C	100 nm ... < 200 nm
Fernes UV	FUV UV-C	200 nm ... < 280 nm
Mittleres UV	UV-B	280 nm ... < 315 nm
Nahes UV	UV-A	315 nm ... < 380 nm
Sichtbare Strahlung, Licht	VIS	380 nm ... < 780 nm
	<i>Violett</i>	<i>380 nm ... < 430 nm</i>
	<i>Blau</i>	<i>430 nm ... < 490 nm</i>
	<i>Grün</i>	<i>490 nm ... < 570 nm</i>
	<i>Gelb</i>	<i>570 nm ... < 600 nm</i>
	<i>Orange</i>	<i>600 nm ... < 640 nm</i>
	<i>Rot</i>	<i>640 nm ... < 780 nm</i>
Infrarotstrahlung	IR	780 nm ... < 1000 µm
Nahes Infrarot	NIR IR-A	780 nm ... < 1,4 µm
	NIR IR-B	1,4 µm ... < 3,0 µm
Mittleres Infrarot	MIR IR-C	3,0 µm ... < 50 µm
Fernes Infrarot	FIR IR-C	50 µm ... < 1000 µm

Klassifizierung der optischen Strahlung

Die Wellenlänge λ hängt über die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum $c = 299.792,458 \text{ km/s}$ mit der Frequenz f zusammen.

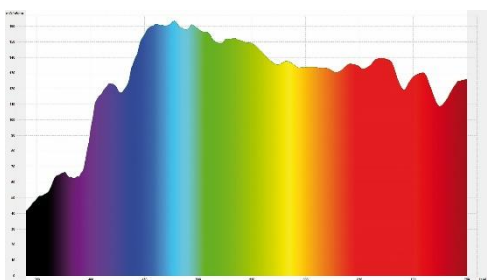
$$\text{Wellenlänge } \lambda = \text{Lichtgeschwindigkeit } c / \text{Frequenz } f$$

Üblicherweise werden für die Bezeichnung der sehr kleinen Wellenlängen und der sehr großen Frequenzen nachfolgende SI Vorsätze für die Maßeinheiten verwendet.

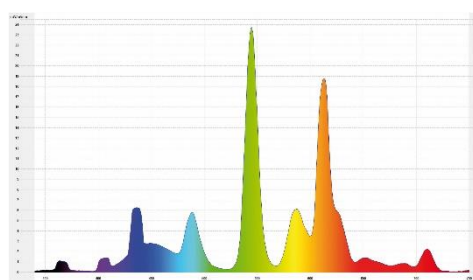
Millimeter	1 mm = 10^{-3} m = 0,001 m	Tausendstel
Mikrometer	1 μm = 10^{-6} m = 0,000.001 m	Millionstel
Nanometer	1 nm = 10^{-9} m = 0,000.000.001 m	Milliardstel
Picometer	1 pm = 10^{-12} m = 0,000.000.000.001 m	Billionstel
Kilohertz	1 kHz = 10^3 Hz = 1.000 Hz	Tausend
Megahertz	1 MHz = 10^6 Hz = 1.000.000 Hz	Million
Gigahertz	1 GHz = 10^9 Hz = 1.000.000.000 Hz	Milliarde
Terahertz	1 THz = 10^{12} Hz = 1.000.000.000.000 Hz	Billion

SI-Vorsätze für Maßeinheiten

Das Spektrum, genauer die spektrale Leistungsverteilung, stellt die Strahlungsleistung für eine Wellenlänge oder ein Wellenlängenband dar. Sie gibt Aufschluss über die Farbcharakteristik des Lichts. Man unterscheidet zwischen kontinuierlichen Spektren, bei denen alle Wellenlängen vorhanden sind, und zwischen Linienspektren, bei denen nur einzelne Wellenlängen vorhanden sind.



Kontinuierliches Spektrum
Tageslicht Nachmittag



Linienspektrum
Leuchtstoffröhre TL8 840



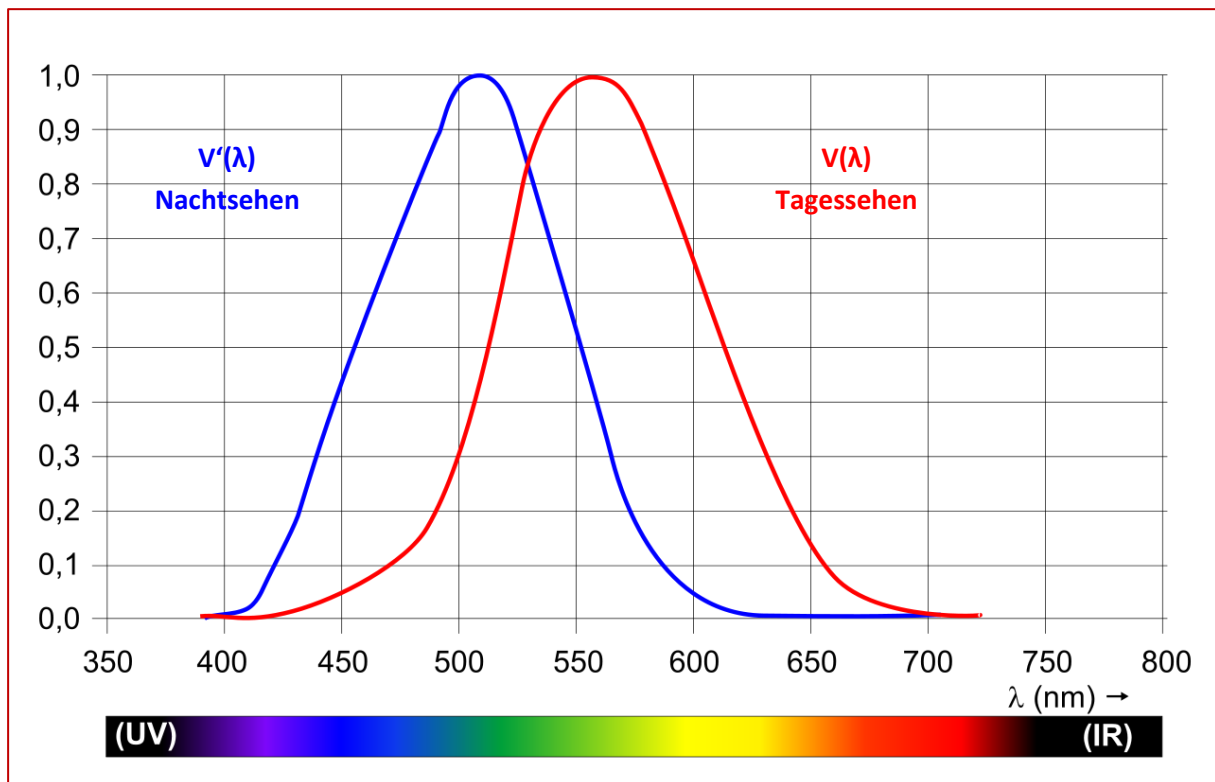
Das Spektrum wird mit einem Spektralphotometer gemessen. Aus der spektralen Leistungsverteilung können weiter farbmétrische Messgrößen berechnet werden.

Spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges

Das menschliche Auge ist für die sichtbare Strahlung je nach Wellenlänge unterschiedlich empfindlich. Die spektralen Hellempfindlichkeitskurven wurden von der internationalen Beleuchtungskommission CIE für das Auge des Normalbeobachters ermittelt und sind auf den Maximalwert von 1 normiert. Die nicht normierten Kurven werden auch als photometrisches Strahlungsäquivalent bezeichnet. Ihre Maximalwerte liegen bei 683 lm/W für Tagsehen und bei 1699 lm/W für Nachtsehen.

Beim Tagesehen oder photopischen Sehen ist das Auge helladaptiert (Leuchtdichte $> 30 \text{ cd/m}^2$) und es gilt die Hellempfindlichkeitskurve $V(\lambda)$ die ihr Maximum im Bereich von 555 nm (Gelb-Grün) hat. Im Auge sorgen die farbempfindlichen Zäpfchen dafür, dass wir Farben eindeutig erkennen.

Beim Nachtsehen oder skotopischen Sehen ist das Auge dunkeladaptiert (Leuchtdichte $< 10^{-3} \text{ cd/m}^2$) und es gilt die Hellempfindlichkeitskurve $V'(\lambda)$ die ihr Maximum im Bereich von 507 nm (Blau-Grün) hat. Im Auge sorgen die lichtempfindlichen Stäbchen dafür, dass wir bei diesen geringen Helligkeiten noch etwas sehen, jedoch keine Farben erkennen können.



Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges
(Quelle: Wikimedia Commons - H. Hahn - V-lambda-phot-scot.svg)

Die spektrale Hellempfindlichkeit des Auges wird bei der photometrischen Bewertung des Lichtes berücksichtigt und geht in die Größen Lichtstrom Φ [Lumen] und Lichtstärke I [Candela] ein.

Grundbegriffe der Lichttechnik

Lichtstrom Φ [Lumen, lm]

Der Lichtstrom Φ ist das Maß für die Lichtleistung einer Lampe und gibt die gesamte von einer Lichtquelle nach allen Seiten abgegebene Strahlungsleistung, bewertet mit der spektralen Augenempfindlichkeit, wieder.



Der Lichtstrom wird mittels Ulbricht Kugel integriert und die Beleuchtungsstärke an der Kugelinnenoberfläche mit einem Beleuchtungsstärkemessgerät oder Spektralphotometer gemessen. Durch Kalibrierung mit einer Normlichtquelle wird die Kugelkonstante bestimmt mit der das Messgerät die Beleuchtungsstärke in Lichtstrom umrechnet.

Der Lichtstrom stellt eine Grundlage für die Berechnung weiterer Parameter dar und kann für den Vergleich verschiedener Lichtquellen verwendet werden.

- Bestimmung der Lichtausbeute unterschiedlicher Leuchtmittel
- Bestimmung bzw. Überprüfung der Energieeffizienz einzelner Leuchtmittel
- Bestimmung der Energieeffizienzklasse von Lampen und Leuchten

Ulbricht-Kugel

Der Ingenieur Richard Ulbricht entwickelte eines der wichtigsten Verfahren der Lichtmesstechnik zur Messung des Lichtstromes [lm] und der Strahlungsleistung [mW] einer Lichtquelle. Das dafür erforderliche optische Bauelement wurde nach ihm benannt.

Die reflektierende Beschichtung auf der Innenseite der Hohlkugel verteilt das einfallende Licht durch diffuse Reflexion gleichmäßig über die innere Kugeloberfläche und wirkt so als Integrator. An einem Detektorport wird das Messgerät angeschlossen, das in der Regel die Beleuchtungsstärke misst und über die Kugelkonstante auf den Lichtstrom oder Strahlungsleistung umrechnet.



Lichtquellen die nur in den vorderen Halbraum (180°) abstrahlen werden in **2π -Konfiguration** gemessen, d.h. sie leuchtet durch eine Öffnung ins Innere der Kugel. Die Messöffnung befindet sich normalerweise im 90° Winkel zur Eintrittsöffnung und wird durch eine Blende vor direkter Lichteinstrahlung geschützt. Lichtquellen die in alle Richtungen (360°) abstrahlen werden in **4π -Konfiguration** gemessen, d.h. die Montage erfolgt im Zentrum der Kugel und benötigt somit größere Kugeldurchmesser.

Für die Beschichtung wird Bariumsulfat (BaSO_4) bei großen Kugeln für den UV/VIS-Bereich, PTFE (Teflon) bei kleineren und mittleren Kugeln für den UV/VIS-Bereich sowie Gold für den NIR/IR-Bereich verwendet.

Die Kompensation der Selbstabsorption von in der Kugel angebrachten größeren und dunkleren Prüflingen kann mit einer im Kugellinneren angebrachten Hilfslichtquelle erfolgen.

Lichtausbeute η [Lumen/Watt]

Der Quotient aus **Lichtstrom Φ** und der zu seiner Erzeugung zugeführten **elektrischen Leistung P** wird als **Lichtausbeute η** [lm/W] bezeichnet. Sie ist das Maß für die Wirtschaftlichkeit des Leuchtmittels.

$$\eta = \Phi / P$$

Bei Leuchtmitteln die mit Vorschaltgeräten betrieben werden, wie z.B. Entladungslampen oder LEDs, wird häufig die Leistungsaufnahme des gesamten Systems berücksichtigt. Man spricht dann von der Systemlichtausbeute. Häufig wird auch der Lichtstrom der Leuchte angegeben, man spricht dann von der Leuchtenlichtausbeute. Die theoretische Obergrenze der Lichtausbeute liegt bei 683 lm/W für monochromatisches Licht.

Beispiel: Eine LED Lampe mit 12 W Leistungsaufnahme sendet einen Lichtstrom von 850 lm aus. Die Lichtausbeute beträgt somit $850 \text{ lm} / 12 \text{ W} = 70,8 \text{ lm/W}$.

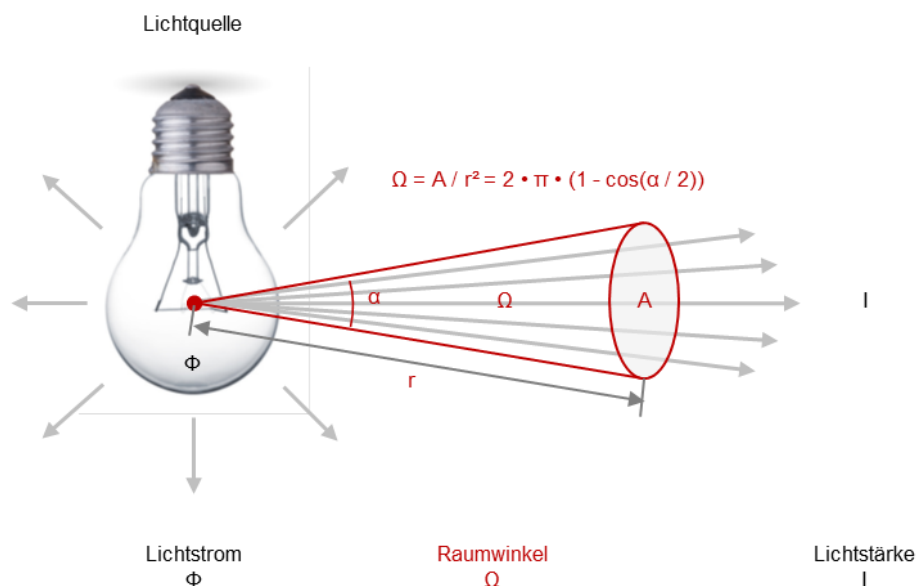
i Handelsübliche LED Lampen für den täglichen Gebrauch haben aktuell eine Lichtausbeute von 80 bis 90 lm/W. Unter Laborbedingungen wurden schon Werte von 200 lm/W und mehr erzielt. Im Vergleich dazu kommen sehr gute Halogenlampen auf etwa 20 lm/W und effiziente Leuchtstofflampen auf 80 bis 100 lm/W.

Raumwinkel Ω [Steradian, sr]

Der Raumwinkel Ω spielt bei der räumlichen Betrachtung und Definition lichttechnischer Größen eine wichtige Rolle. Er ist definiert als ein Teil der Kugeloberfläche A , begrenzt durch einen Konus mit Öffnungswinkel α , dividiert durch das Quadrat des Kugelradius r .

$$\Omega = A / r^2 = 2 \cdot \pi \cdot (1 - \cos(\alpha / 2))$$

Betrachtet man eine Einheitskugel mit $r = 1 \text{ m}$, dann ist die Kugeloberfläche $4 \cdot \pi \cdot r^2$ also $4 \cdot \pi \text{ m}^2$ und der volle Raumwinkel $4 \cdot \pi \text{ sr}$. Ein Raumwinkel von $\Omega = 1 \text{ sr}$ schneidet auf einer Kugel mit 1 m Radius also ein Oberflächenstück von 1 m^2 aus.



Lichtstärke I [Candela, cd]

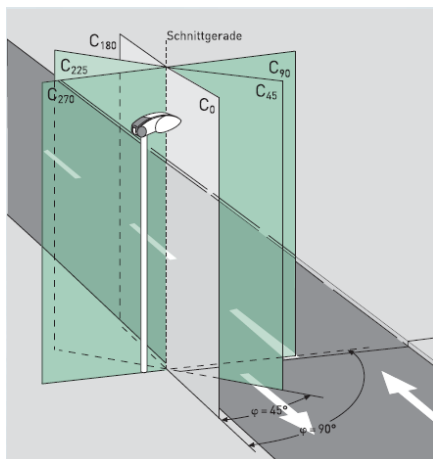
Die Lichtstärke I ist der Lichtstrom Φ pro Raumwinkel Ω und gibt die Intensität des Lichtstromes wieder der in eine bestimmte Richtung abgestrahlt wird. In der Regel strahlen Lichtquellen ihren Lichtstrom in verschiedene Richtungen unterschiedlich stark aus.

$$I = \Phi / \Omega$$

Lichtstärkeverteilungskurve

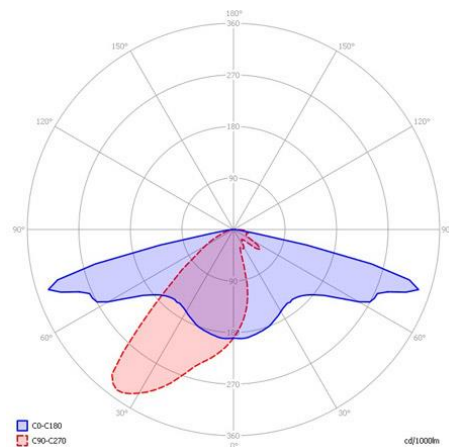
Die Lichtstärkeverteilungskurve beschreibt die lichttechnische Eigenschaft einer Lichtquelle. Sie wird häufig im C-Ebenen System dargestellt, wobei 0° senkrecht unter der Lichtquelle ist. Die Ebene C0-C180 ist quer und die Ebene C90-C270 ist entlang zur Leuchte ausgerichtet.

In der Lichtstärkeverteilungskurve erkennt man sehr schnell, ob die Lichtquelle einen breiten oder schmalen Lichtkegel hat, ob Asymmetrien vorliegen oder ob das Licht nach unten und oben abgegeben wird.



C-Ebenen System

(Quelle: TRILUX Beleuchtungspraxis
Außenbeleuchtung wiki.watt24.com)



**LED-Straßenleuchte
ufm-6469 asymmetrisch Typ 01**
(Quelle: silencilights)



Die Lichtstärkeverteilungskurve wird in der Regel mit Goniophotometern bestimmt die aus einem mechanischen Aufbau mit horizontaler und vertikaler Achse zur Drehung des Prüflings und einem Photometer zur Messung der Lichtstärke bestehen.

Zusammenhang Lichtstärke I - Beleuchtungsstärke E

Durch Umformung des photometrischen Entfernungsgesetzes ergibt sich der nachfolgende Zusammenhang zwischen Lichtstärke I und Beleuchtungsstärke E.

$$I = E * r^2$$

Darin lässt sich sehr einfach erkennen, dass im Abstand r von 1 m der Wert der Lichtstärke I in cd gleich dem Wert der Beleuchtungsstärke E in lx ist.

Beispiele: Eine Lampe strahlt gleichmäßig mit einem Lichtstrom Φ von 1000 lm. Die mittlere Lichtstärke I dieser Lampe ist dann $1000 / 4\pi = 79,6$ cd. In 1 m Entfernung von der Lampe können dann mit einem $V(\lambda)$ -korrigierten Luxmeter im Mittel 79,6 lx gemessen werden.

Eine Lampe strahlt gleichmäßig über den vollen Raumwinkel 4π , d.h. in den Kugelraum. Wenn die gleichmäßige Lichtstärke $I = 1$ cd beträgt, dann ist der gesamte Lichtstrom der Lampe $\Phi = 4\pi \text{ lm} = 12,57$ lm.

Beleuchtungsstärke E [lx]

Die **Beleuchtungsstärke E** ist der **Lichtstrom Φ** bezogen auf die beleuchtete **Fläche A** und gibt an mit welcher Intensität die Fläche beleuchtet wird.

$$\text{Beleuchtungsstärke } E = \text{Lichtstrom } \Phi / \text{beleuchtete Fläche } A$$

Beispiel: Sendet eine Lichtquelle einen Lichtstrom von einem Lumen aus und beleuchtet dieser gleichmäßig die Fläche eines Quadratmeters, dann beträgt die Beleuchtungsstärke 1 lx. Dies entspricht etwa einer normalen Kerzenflamme im Abstand von einem Meter.

Die Beleuchtungsstärke wird bei der **Innenraumbeleuchtung als Planungsgröße** verwendet. Sie gibt jedoch nicht den Helligkeitseindruck eines Raumes wieder, da dieser wesentlich von den Reflexionseigenschaften der Raumflächen abhängt. Ein weißer Raum erscheint wesentlich heller als ein dunkler Raum.



Die Beleuchtungsstärke wird mit Beleuchtungsstärkemessgeräten, die auch als Luxmeter bezeichnet werden, gemessen.



GOSSEN Beleuchtungsstärkemessgerät - MAVOLUX 5032 B USB

Mittlere Beleuchtungsstärke \bar{E}

Bei normaler Beleuchtung wird in der Regel keine gleichmäßige Lichtverteilung erreicht, deshalb beziehen sich **Angaben in Normen** meist auf eine **mittlere Beleuchtungsstärke \bar{E}** . Sie wird als **gewichtetes arithmetisches Mittel** aller gemessenen Beleuchtungsstärken im Raum berechnet.

$$\bar{E} = (E_1 * A_1 + E_2 * A_2 + \dots + E_{n-1} * A_{n-1} + E_n * A_n) / (A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1} + A_n)$$

Falls ein **gleichmäßiges Bewertungsraster** angewendet wird, dann müssen die einzelnen Rasterpunkte nicht mit den Teilflächen gewichtet werden und die mittlere Beleuchtungsstärke wird als **arithmetisches Mittel** aller gemessenen Beleuchtungsstärken im Raum berechnet.

$$\bar{E} = (E_1 + E_2 + \dots + E_{n-1} + E_n) / n$$

Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke U_o

Die **Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke U_o** ist das Verhältnis der **kleinsten Beleuchtungsstärke E_{min}** zur **mittleren Beleuchtungsstärke \bar{E}** auf der bewerteten Fläche.

$$U_o = E_{min} / \bar{E}$$

Arbeitsbereiche müssen so gleichmäßig wie möglich beleuchtet sein. Grenzwerte hierfür sind in den einschlägigen Normen und Vorschriften zu finden.

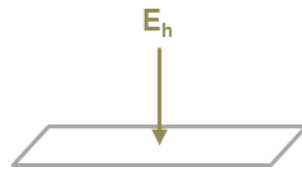
Ungleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke U_d

Die **Ungleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke U_d** ist das Verhältnis der **kleinsten Beleuchtungsstärke E_{min}** zur **maximalen Beleuchtungsstärke E_{max}** auf der bewerteten Fläche.

$$U_d = E_{min} / E_{max}$$

Horizontale Beleuchtungsstärke E_h [lx]

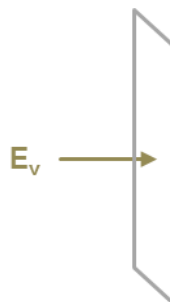
Die **horizontale Beleuchtungsstärke** E_h wird auf horizontalen oder annähernd horizontalen Ebenen gemessen und dient als Bewertungsgröße für das Beleuchtungsniveau in vielen Vorschriften und Normen.



i Im Allgemeinen wird die horizontale Beleuchtungsstärke auf einer Höhe von 0,85 m, bei Büroarbeitsplätzen (Schreibtischen) auf einer Höhe von 0,75 m und bei Verkehrswegen, Treppen, Fahrwegen auf einer Höhe von 0,2 m gemessen.

Vertikale Beleuchtungsstärke E_v [lx]

Die **vertikale Beleuchtungsstärke** E_v wird auf senkrechten, vertikalen Ebenen gemessen und dient als Bewertungsgröße für das Beleuchtungsniveau von Raumbegrenzungs-, Schrank- und Regalflächen. Sie stellt sicher, dass im Bürobereich, in Lagern sowie in Bibliotheken und Archiven die Beschriftungen von Ordnern, Buchrücken und Lagerkästen lesbar sind.



i Für den Arbeitsbereich „Lesetätigkeit an Schrank- und Regalflächen“ wird die vertikale Beleuchtungsstärke auf einer Höhe von 0,5 m bis 2,00 m gemessen. Die mittlere vertikale Beleuchtungsstärke E_v sollte dabei mindestens 175 Lux betragen. Werden solche Tätigkeiten häufig und längere Zeit durchgeführt, wie z.B. in Bibliotheken oder Archiven, sollte die mittlere vertikale Beleuchtungsstärke E_v mindestens 300 Lux betragen.

Zylindrische Beleuchtungsstärke E_z [lx]

Die **zylindrische Beleuchtungsstärke** E_z wird als Bewertungsgröße für das Beleuchtungsniveau vertikaler Flächen von räumlichen Gegenständen verwendet und ist auch ein Maß für den Helligkeitseindruck im Raum. Sie ist der Mittelwert der vertikalen Beleuchtungsstärken aus allen Raumrichtungen.

Voraussetzung für eine gute visuelle Kommunikation sind helle Gesichter die durch eine ausreichende vertikale Beleuchtungsstärke erzielt werden. Da sich die Ausrichtung der Gesichter verändert und bei Bürobeleuchtungen üblicherweise die vertikale Beleuchtungsstärke in den Raumrichtungen nahezu konstant bleibt, ist die zylindrische Beleuchtungsstärke eine geeignete Bewertungsgröße für diesen Zweck.

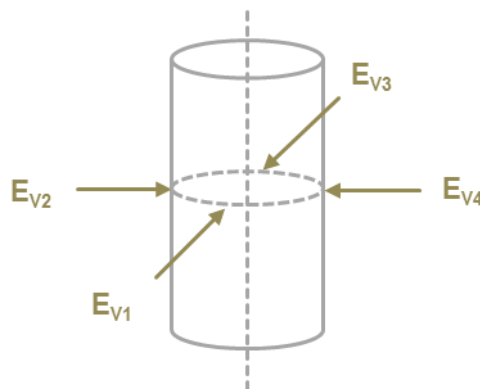


Die zylindrische Beleuchtungsstärke kann mit einem speziellen Beleuchtungsstärkemessgeräten mit integrierendem Photometerkopf direkt gemessen werden. Da diese Messgeräte häufig nicht vorhanden sind kann man sich näherungsweise auch mit vertikal messenden Beleuchtungsstärkemessgeräten behelfen.

Die **zylindrische Beleuchtungsstärke** E_z kann **näherungsweise als arithmetisches Mittel** der in den vier Raumrichtungen gemessenen **vertikalen Beleuchtungsstärken** E_{vi} bestimmt werden.

$$E_z = (E_{v1} + E_{v2} + E_{v3} + E_{v4}) / 4$$

Bei Beleuchtung mit Punktlichtquellen kann diese Methode gegenüber integrierenden Photometern zu großen Abweichungen führen.



i Die mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke E_z wird in einer Höhe von 1,20 m gemessen. Für die Arbeitsbereiche „Bildschirm- und Büroarbeit“ sowie „Besprechung“ mit einer mittleren horizontalen Beleuchtungsstärke E_h bis 500 lx sollte E_z mindestens 175 Lux betragen. Darüber hinaus wird eine mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke E_z von mindestens $0,33 \times E_h$ gefordert. Für den Umgebungsbereich mit einer mittleren horizontalen Beleuchtungsstärke bis 300 lx sollte E_z mindestens 100 Lux betragen. Darüber hinaus wird eine mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke E_z von mindestens $0,33 \times E_h$ gefordert. Sofern die mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke in einer Höhe von 1,20 m eingehalten wird, kann man davon ausgehen, dass sie auch für stehende Mitarbeiter in einer Höhe von 1,65 m ausreicht.

Halbzylindrische Beleuchtungsstärke E_{hz} [lx]

Die **halbzylindrische Beleuchtungsstärke** E_{hz} wird als Bewertungsgröße für ein gutes räumliches Sehvermögen im Außenbereich, insbesondere für die Erkennbarkeit von Gesichtern verwendet. Sie ist der Mittelwert aller vertikalen Beleuchtungsstärken E_v in einem Winkelbereich von -90 Grad bis +90 Grad um eine vertikale Achse. Die halbzylindrische Beleuchtungsstärke wird in einer Höhe von 1,5 m und für alle Blickrichtungen gemessen. In der Regel sind bei Wegen zwei und bei Plätzen vier Hauptrichtungen für die Bewertung ausreichend. Die halbzylindrische Messfläche spiegelt die menschliche Gesichtsform wieder. Eine entsprechend hohe halbzylindrische Beleuchtungsstärke soll dem subjektiven Gefühl der Unsicherheit und dem Kriminalitätsrisiko entgegenwirken.

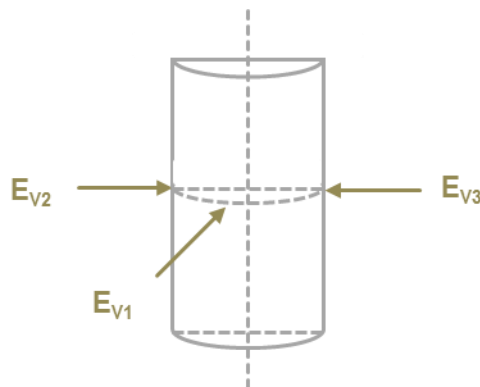


Die halbzylindrische Beleuchtungsstärke kann mit einem speziellen Beleuchtungsstärkemessgeräten mit integrierendem Photometerkopf direkt gemessen werden. Da diese Messgeräte häufig nicht vorhanden sind kann man sich näherungsweise auch mit vertikal messenden Beleuchtungsstärkemessgeräten behelfen.

Die **halbzylindrische Beleuchtungsstärke** E_{hz} kann **näherungsweise** aus der in den drei Raumrichtungen gemessenen **vertikalen Beleuchtungsstärken** E_{vi} bestimmt werden.

$$E_{hz} \sim 0,5 * E_{v1} + 0,25 * (E_{v2} + E_{v3})$$

Bei Beleuchtung mit Punktlichtquellen kann diese Methode gegenüber integrierenden Photometern zu großen Abweichungen führen.



Wartungswert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m [lx]

Der **Wartungswert der Beleuchtungsstärke** \bar{E}_m ist der Wert, unter den die mittlere Beleuchtungsstärke \bar{E} auf einer Fläche nicht sinken darf. Wird der Wert unterschritten, dann ist eine Wartung durchzuführen.



Für Arbeitsstätten in Innenräumen enthält die DIN EN 12462-1 Angaben zu den erforderlichen Wartungswerten der Beleuchtungsstärke für verschiedene Räume, Aufgaben oder Tätigkeiten. Die DIN EN 12464-2 enthält diese Werte für Arbeitsplätze im Freien.

Neuwert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_i [lx]

Der **Neuwert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_i** ist die mittlere Beleuchtungsstärke \bar{E} einer neuen Anlage. Mit zunehmendem Alter einer Anlage nimmt die Beleuchtungsstärke durch Alterung und Verschmutzung von Lampen, Leuchten und Räumen ab. Um diese Abnahme der Beleuchtungsstärke über den Wartungszeitraum zu kompensieren wird bei Neuanlagen ein höherer Wert für die Beleuchtungsstärke, der **Neuwert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_i** , festgelegt. Der Lichtplaner erfasst den Zusammenhang mit dem **Wartungswert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m** über den **Wartungsfaktor**.

$$\text{Neuwert } \bar{E}_i = \text{Wartungswert } \bar{E}_m / \text{Wartungsfaktor}$$

Wartungsfaktor

Nach DIN EN 12464-1 und DIN 12464-2 muss der Planer unter Berücksichtigung der Beleuchtungseinrichtung, der Umgebung und des festgelegten Wartungsplans den Wartungsfaktor individuell bestimmen. Der Wartungsfaktor hängt vom Alterungsverhalten der Lampen und der Vorschaltgeräte, den Leuchten, der Staub- und Schmutzbelastung der Umgebung und dem Wartungsplan ab. Der Wartungsplan beinhaltet sowohl die Intervalle für den Lampenwechsel, die Reinigung der Leuchten und des Raumes als auch die Reinigungsmethode.


Bei der Planung der Beleuchtungsanlage sind betriebsbedingte Einflüsse häufig nicht bekannt. Der Planer greift dann häufig auf Referenz-Wartungsfaktoren zurück:

- 0,8 für sehr saubere Räume, Anlagen mit geringer Nutzungsdauer
- 0,67 für saubere Räume, 3-jähriger Wartungszyklus (normales Büro)
- 0,57 für Innen- und Außenbeleuchtung, normale Verschmutzung, 3-jähriger Wartungszyklus
- 0,50 für Innen- und Außenbeleuchtung, starke Verschmutzung

Entgegen der individuellen Bestimmung des Wartungsfaktors birgt dieses Verfahren das Risiko, dass Beleuchtungsanlagen überdimensioniert werden.

Beispiel: Für einen Büroarbeitsplatz mit 500 lx Beleuchtungsstärke in einem Raum wäre bei 3-jährigem Wartungszyklus ein Neuwert von:

$$500 \text{ lx} / 0,67 = 746,27 \text{ lx zu installieren.}$$

 Detaillierte Informationen zur Bestimmung des Wartungsfaktors sind im kostenlosen **Leitfaden zur DIN EN 12464-1** - Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen, auf der Website von Licht.de zu finden.

Bestrahlungsstärke E_e [W/m²]

Die **Bestrahlungsstärke E_e** ist die gesamte Leistung der elektromagnetischen Energie die auf eine Oberfläche trifft, bezogen auf die Größe der Fläche.

Luminous Efficacy of Radiation LER [lm/W]

Die **Luminous Efficacy of Radiation LER** ist der Quotient aus der Beleuchtungsstärke E_v und Bestrahlungsstärke E_e . Er ist ein Indikator dafür wie viel der erzeugten Strahlung einer Lichtquelle vom Menschen als Licht wahrgenommen wird.

Photometrisches Entfernungsgesetz

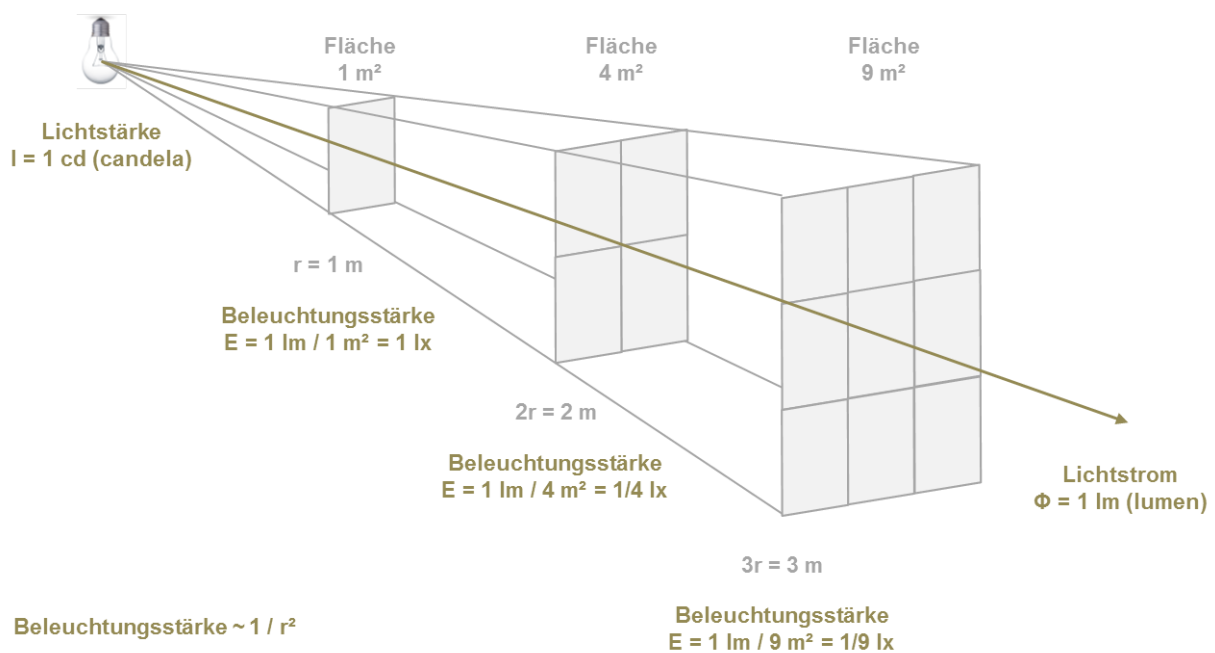
Wenn eine Lampe aus dem Mittelpunkt einer Kugel mit dem Lichtstrom Φ in den Raumwinkel Ω strahlt und der **Radius der Kugel** r ist, kann die **Beleuchtungsstärke** E der **Fläche** A gefunden werden, wenn der auffallende **Lichtstrom** Φ durch die **bestrahlte Oberfläche** A geteilt wird.

$$E = \Phi / A = (\Omega \cdot I) / (\Omega \cdot r^2) = I / r^2$$

mit $\Phi = \Omega \cdot I$ und $A = \Omega \cdot r^2$

Setzt man in die Gleichung die Definition für den Lichtstrom $\Phi = \text{Raumwinkel } \Omega \cdot \text{Lichtstärke } I$ und die Fläche $A = \text{Raumwinkel } \Omega \cdot \text{Quadrat des Kugelradius } r^2$ ein, dann ergibt sich daraus die Gleichung für das photometrische Entfernungsgesetz auch als quadratisches Abstandsgesetz bekannt.

Das photometrische Entfernungsgesetz sagt aus, dass die Beleuchtungsstärke mit dem Quadrat der Entfernung zwischen Lichtquelle und beleuchteter Fläche abnimmt.



i In der Praxis hat das photometrische Entfernungsgesetz zur Folge, dass bei Verdoppelung des Beleuchtungsabstands die Anzahl der benötigten Leuchten quadratisch ansteigt, um die gleiche Beleuchtungsstärke zu erhalten.

Beispiel: Eine Lampe wurde von der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) kalibriert und brennt mit dem auf dem Prüfschein angegebenen Sollstrom für die gewünschte Farbtemperatur von 2856 K. Die Lichtstärke I der Lampe bei Sollstrom beträgt 140 cd.

Welche Beleuchtungsstärke E ergibt sich in 2,5 m Entfernung senkrecht auf die Fläche in der festgelegten Ausstrahlungsrichtung?

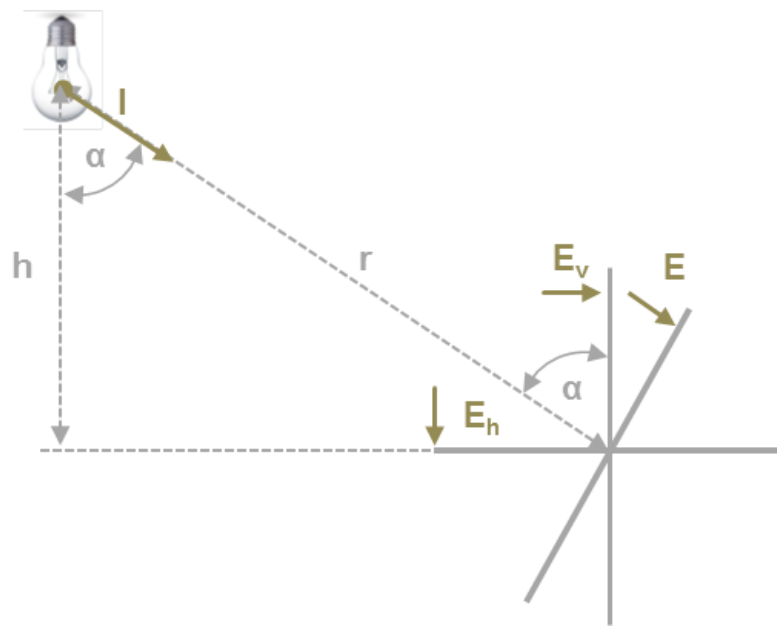
$$E = 140 \text{ cd} / (2,5\text{m})^2 = 140 \text{ cd} / 6,25 \text{ m}^2 = \mathbf{22,4 \text{ lx}}$$

Welche Beleuchtungsstärke E ergibt sich in 1,25 m Entfernung?

$$E = 140 \text{ cd} / (1,25\text{m})^2 = 140 \text{ cd} / 1,5625 \text{ m}^2 = \mathbf{89,6 \text{ lx}}$$

Daraus ist klar ersichtlich, dass bei Verdopplung des Abstandes nur noch $1/4$ der Beleuchtungsstärke vorhanden ist.

Licht trifft schräg auf eine Fläche



Ist die beleuchtete Fläche seitlich versetzt zur Lichtquelle, d.h. trifft der Strahl nicht senkrecht auf die Fläche auf, dann verringert sich die Beleuchtungsstärke. Wenn sich die Lichtquelle in der Höhe h über der horizontalen Ebene befindet und der Ausstrahlungswinkel α bezogen auf die Senkrechte ist, dann errechnet sich die horizontale Beleuchtungsstärke E_h und die vertikale Beleuchtungsstärke E_v zu

$$E_h = E \cdot \cos \alpha$$

$$E_v = E \cdot \sin \alpha = E_h \cdot \sin \alpha / \cos \alpha = E_h \cdot \tan \alpha$$

i In der täglichen Praxis sind für Lichtquellen meist die Aufhängöhe h über der horizontalen Ebene, der Lichtstrom I und der Ausstrahlungswinkel α bekannt.

Die Berechnung der horizontalen Beleuchtungsstärke E_h aus diesen Angaben erfordert eine Umformung der oberen Gleichung.

$$\text{mit } E = I / r^2 \text{ und } r = h / \cos \alpha \text{ ergibt sich } E = I / (h / \cos \alpha)^2 = I \cdot \cos^2 \alpha / h^2$$

$$E_h = E \cdot \cos \alpha = I \cdot \cos^3 \alpha / h^2$$

Beispiel: Eine Lichtquelle strahlt mit einem Lichtstrom I von 200 cd und einem Ausstrahlungswinkel α von 10° zum Lot auf eine Fläche. Die Höhe h der Lichtquelle über der Fläche ist 2 m. Die horizontale Beleuchtungsstärke E_h auf der Fläche ist:

$$E_h = I \cdot \cos^3 \alpha / h^2 = 200 \text{ cd} \cdot (\cos 10^\circ)^3 / 2^2 \text{ m}^2 = 200 \text{ cd} \cdot 0,9551 / 4 \text{ m}^2 = 47,76 \text{ lx.}$$

Leuchtdichte L [cd/m²]

Die **Leuchtdichte L** gibt an welchen Helligkeitseindruck, das Auge von einer **selbstleuchtenden oder beleuchteten Fläche A** hat.

$$\text{Leuchtdichte } L = \text{Lichtstärke } I / \text{Fläche } A$$

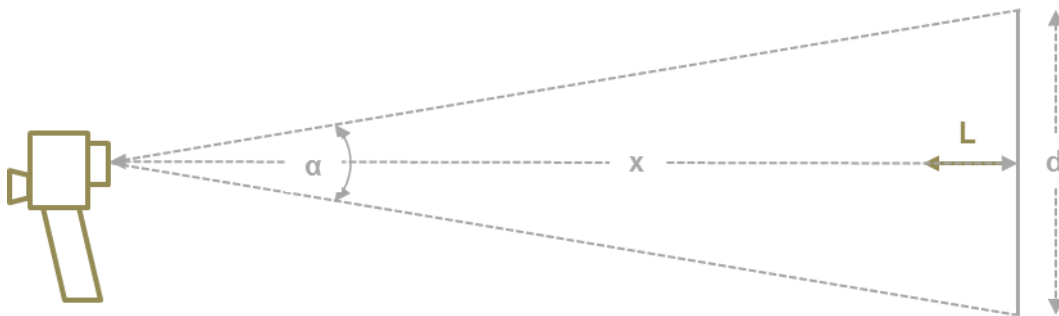
Die Leuchtdichte wird in der **Außenbeleuchtung als Planungsgröße** verwendet. Sie beschreibt die physiologische Wirkung des Lichts auf das Auge und ist die einzige sichtbare Lichtgröße.



Die Messung der Leuchtdichte kann entweder als Aufsatzmessung bei selbstleuchtenden Flächen oder auch als Distanzmessung bei selbstleuchtenden und beleuchteten Flächen durchgeführt werden. Zum Einsatz kommen dabei spezielle Leuchtdichtemessgeräte oder für reine Orientierungsmessungen auch Beleuchtungsstärkemessgeräte mit Leuchtdichtevorsatz

Messkreis bei Distanzmessung

Bei der Distanzmessung werden in der Regel Leuchtdichtemessgeräte mit einem engen Messwinkel eingesetzt. Sie haben meist einen optischen Sucher, damit die zu messende Fläche anvisiert werden kann.



Der Durchmesser d des Messkreises kann aus dem Messwinkel α und dem Abstand x über die nachfolgende trigonometrische Funktion berechnet werden:

$$d = 2 * \tan(\alpha / 2) * x$$

Beispiel: Ein Leuchtdichtemessgerät hat einen Messwinkel von 1° und kann von 1 m bis ∞ m messen. Geringerer Messabstände werden im Bereich von 51 cm bis 100 cm mit Nahlinse 1 und im Bereich von 34 cm bis 50 cm mit Nahlinse 2 realisiert. Welche Messkreisbereiche ergeben sich für die beiden Nahlinsen?

$$d = 2 * \tan(\alpha / 2) * x = 2 * \tan(1^\circ / 2) * x = 2 * 0,00873 * x = 0,01746 * x$$

	Messabstand	Messkreis Φ
Nahlinse 1	51 cm ... 100 cm	8,9 mm ... 17,46 mm
Nahlinse 2	34 cm ... 50 cm	5,94 mm ... 8,73 mm

Flicker

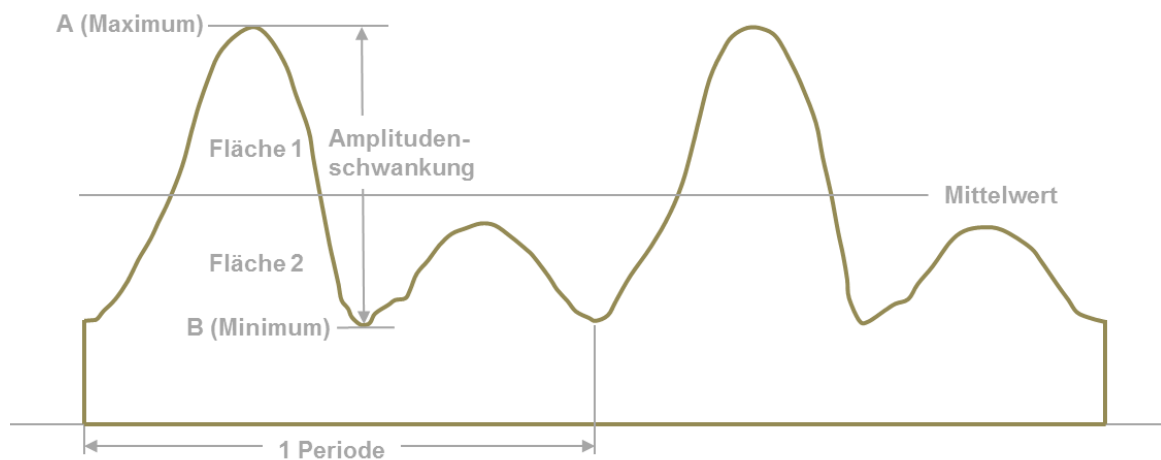
Flicker entsteht durch Spannungsschwankungen die zu Helligkeitsschwankungen des Lichts führen. Diese Schwankungen haben Einfluss auf die Gesundheit und die Stimmung sowie das Wohlbefinden des Menschen. Sie können Auslöser für epileptische Anfälle, Migräne, Müdigkeit, eingeschränkte Sehleistung, Ablenkung und Sehbehinderung sein. Bei sich drehenden Teilen kann der Stroboskop-effekt zur Fehleinschätzung und zu Unfällen führen. In der Fernsehtechnik führen flimmernde Beleuchtungen bei hochauflösenden Zeitlupenaufnahmen zu Helligkeitsschwankungen.

Die folgenden Messgrößen haben sich bereits jetzt für die Flickermessung etabliert.

$$\text{Prozentualer Flicker} = 100\% \times (A-B) / (A+B)$$

$$\text{Flicker Index} = \text{Fläche 1} / (\text{Fläche 1} + \text{Fläche 2})$$

$$\text{Flicker Frequenz} = 1 / t$$



Die Schwierigkeit liegt noch in der Bewertung dieser Größen, da es keine allgemeingültigen Normen und Standards dafür gibt. Es existieren von verschiedenen Organisationen mehrere Ansätze, wie z.B. IEEE 1789 um eine Aussage zu treffen ab wann ein Flickerwert kritisch wird, verbindliche Vorgaben fehlen jedoch.

Ein guter LED Treiber regelt Spannungsschwankungen aus und vermeidet Flicker. Der **Flickerwert** ist ein **Maß für die Güte der Lampe oder Leuchte** und sollte möglichst gering sein.



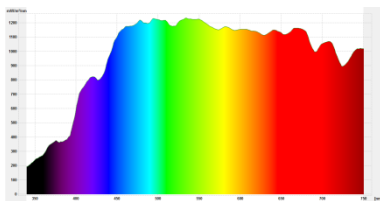
Die Messung des Flickers kann mit speziellen Flickermessgeräten oder mit Spektralphotometern die über diese Messfunktion verfügen, gemessen werden.

Grundbegriffe der Farbmeterik

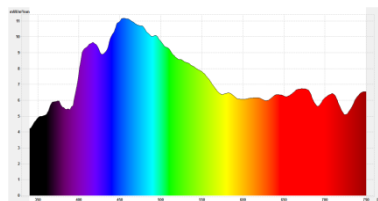
Spektrale Leistungsverteilung SPD [mW/m²/nm]

Die spektrale Leistungsverteilung SPD stellt die Strahlungsleistung einer Lichtquelle für eine Wellenlänge oder ein Wellenlängenband im sichtbaren Bereich dar. Sie gibt Aufschluss über die Farbcharakteristik einer Lichtquelle und kann für den Vergleich der Farbzusammensetzung unterschiedlicher Lichtquellen verwendet werden.

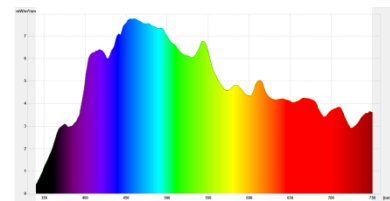
Nachfolgend sind Beispiele für spektrale Leistungsverteilung verschiedenen Lichtquellen dargestellt.



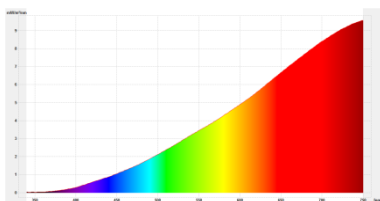
Tageslicht Nachmittag, CCT = 5319 K, Ra = 99,2



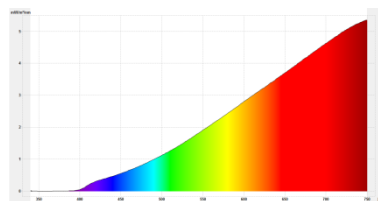
Tageslicht Abend, CCT = 8819 K, Ra = 95,3



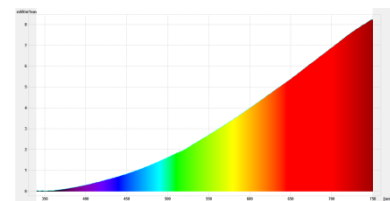
Tageslicht Abend Fenster, CCT = 8319 K, Ra = 98,3



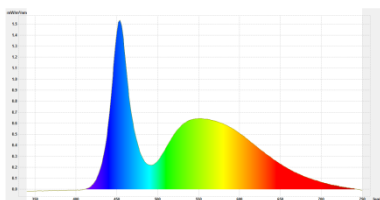
Halogen, CCT = 2714 K, Ra = 99,0



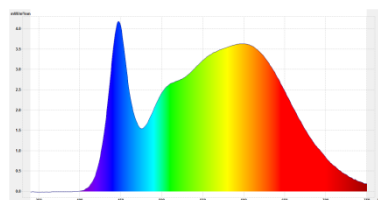
Halogen + UV Stop, CCT = 2646 K, Ra = 99,0



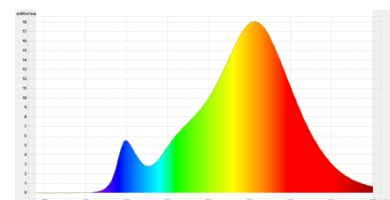
Glühbirne, CCT = 2634 K, Ra = 99,8



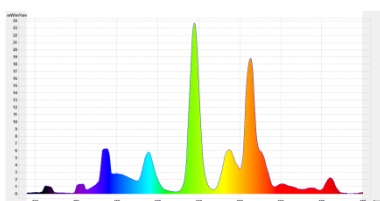
LED kaltweiß, CCT = 7439 K, Ra = 80,0



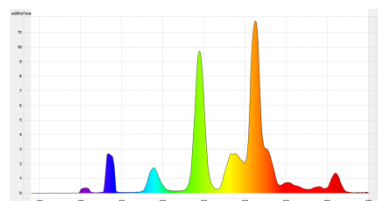
LED neutralweiß, CCT = 4362 K, Ra = 89,9



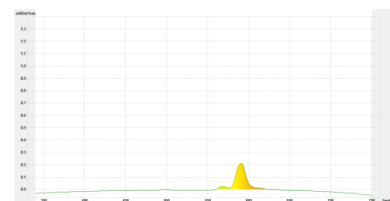
LED warmweiß, CCT = 2707 K, Ra = 81,2



TL8 840, CCT = 3781 K, Ra = 82,9



Energiesparlampe, CCT = 2702 K, Ra = 82,2



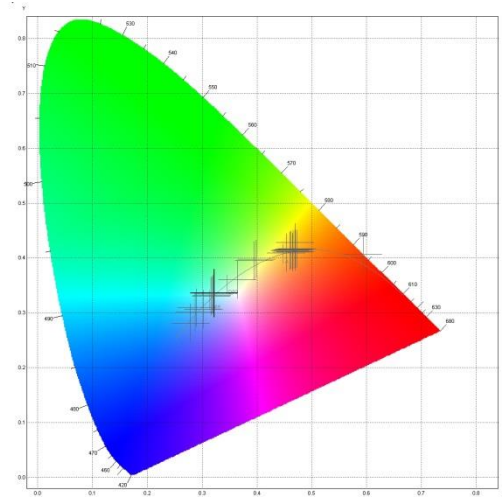
Strassenleuchte, CCT = 1523 K, Ra = 2,2



Die spektrale Leistungsverteilung wird mit einem Spektralphotometer gemessen.

Farbkoordinaten x, y [CIE 1931] / u, v [CIE 1960] / u', v' [CIE 1976]

Farbkoordinaten sind ein Maß um eine Farbe bzw. den zur Farbe gehörigen Farbort im CIE Normfarbsystem präzise zu definieren. Das menschliche Auge hat Sinneszellen für die Wahrnehmung der drei Primärfarben Rot, Grün und Blau. Die spektralen Augenempfindlichkeitskurven wurden 1931 von der CIE für den Normalbeobachter ermittelt und zeigen die Empfindlichkeit für die einzelnen Wellenlängenbereiche. Basierend auf dieser Spektralwertfunktion definierte das CIE das Normfarbwertsystem XYZ in dem jede Farbe durch die Normfarbwertanteile x, y, z beschrieben wird. Die Darstellung erfolgt in einem zweidimensionalen Diagramm über die Koordinaten x, y . Die dritte Komponente z kann über den Zusammenhang $z = 1 - x - y$ errechnet werden. Verschiedene CIE Farbsysteme sind CIE 1931 (x, y), CIE 1960 (u, v), CIE 1976 (u', v').



Die Farbkoordinaten einzelner Lichtquellen werden für die verschiedenen Farbsysteme mit einem Spektralphotometer gemessen.

Farbwiedergabe

Die Farbe eines Körpers entsteht durch Teilreflexion des Spektrums der beleuchtenden Lichtquelle. Fehlen Bereiche im Spektrum, dann können diese Farbanteile auch nicht reflektiert bzw. gesehen werden. Ist die Intensität über den Spektralbereich nicht gleich groß, dann werden Farbanteile mit höherer Intensität verstärkt bzw. mit niedrigerer Intensität abgeschwächt. Ändert man das Spektrum des einfallenden Lichts, z.B. durch Verwendung anderer Lampentechnologien, dann ändert sich auch das farbliche Erscheinungsbild des betrachteten Gegenstands.

Die Farbwiedergabeeigenschaft einer Lichtquelle kann nicht über die Farbtemperatur oder die Farbkoordinaten beschrieben werden, da zwei verschiedenen Lichtquellen für beide Größen identische Werte haben können, sich aber dennoch die Farberscheinung der beleuchteten Gegenstände unterscheidet. Die Farbwiedergabeeigenschaft einer Lichtquelle kann nur über den Farbwiedergabeindex R_a definiert werden.

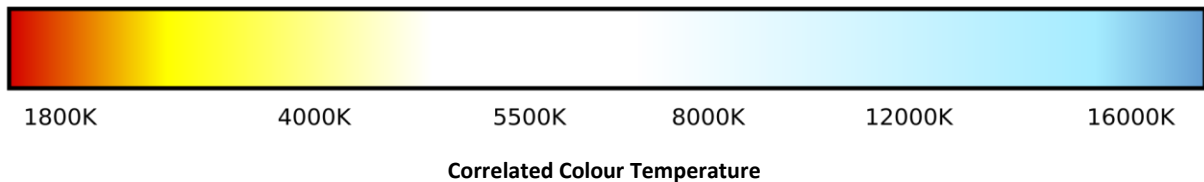
Je nach Sehaufgabe schreiben die lichttechnischen Normen dieses Güte Merkmal der Beleuchtung vor. Für hochwertige Sehaufgaben, bei denen es auf die Farbwiedergabe ankommt, wie z.B. Druck- und Grafikgewerbe, Museen und Galerien, Mode- und Textilwirtschaft, Friseur- und Kosmetiksalons, zahn- und hautärztliche Behandlungsplätze, Lebensmitteltheken (Fleisch, Obst, Gemüse), muss auf das Lichtspektrum der Lichtquelle besonders geachtet werden



Die Güte der Farbwiedergabe, d.h. der Farbwiedergabeindex sowie Farbort und Farbtemperatur werden mit einem Spektralphotometer gemessen.

Lichtfarbe

Die Farbtemperatur ist ein Maß, um einen jeweiligen Farbeindruck einer Lichtquelle quantitativ zu bestimmen. Die Farbtemperatur ist definiert als die Temperatur eines Schwarzen Körpers, des sogenannten Planckschen Strahlers, die zu einer bestimmten Farbe des Lichts, das von dieser Strahlungsquelle ausgeht, gehört. Konkret ist es die Temperatur, deren Lichtwirkung bei gleicher Helligkeit und unter festgelegten Beobachtungsbedingungen der zu beschreibenden Farbe am ähnlichsten ist (Englisch: correlated colour temperature = ähnlichste Farbtemperatur).



(Quelle: Wikimedia Commons - Holec -Color temperature.svg)

Die Lichtfarbe einer Lampe ergibt sich aus der spektralen Zusammensetzung und wird vereinfacht durch die Farbtemperatur TCP des ausgesandten Lichtes charakterisiert. TCP wird in Kelvin (K) angegeben. Die Lichtfarbe des Tageslichtes wird als weiß bezeichnet und enthält alle Wellenlängen im sichtbaren Bereich.

In der nachfolgenden Tabelle sind beispielhaft Farbtemperaturbereiche für verschiedene Lichtquellen angegeben.

Lichtquelle	Farbtemperatur [K]
Kerzen	1900 ... 2500
Lampen mit Wolfram Glühfaden	2700 ... 3200
TL-Leuchtstofflampen	2700 ... 6500
Natriumdampf-Hochdrucklampen (SON)	2000 ... 2500
Halogen-Metall dampflampen	3000 ... 5600
Quecksilberdampf-Hochdrucklampen	3400 ... 4000
Mondlicht	4100
Sonnenlicht	5000 ... 5800
Tageslicht (Sonne + klarer Himmel)	5800 ... 6500
Bewölker Himmel	6000 ... 6900

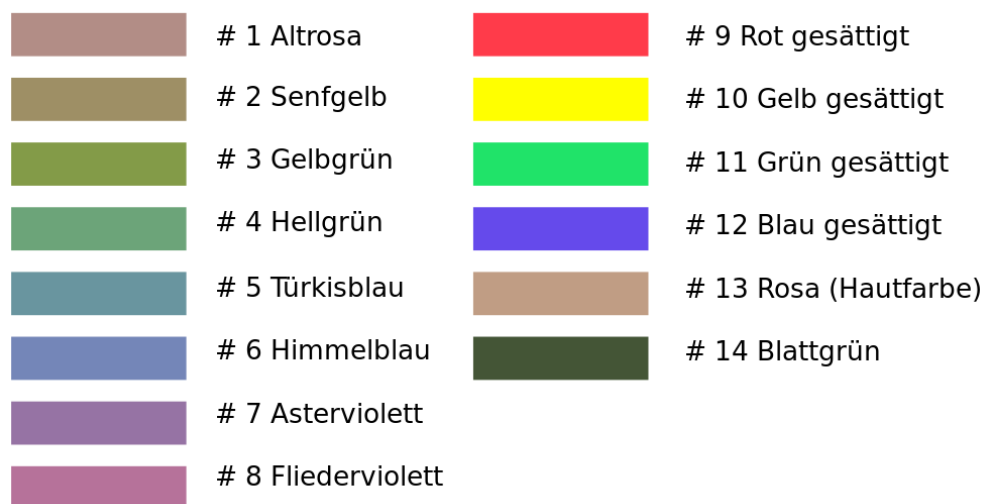


Die Lichtfarbe künstlicher Lichtquellen ist nach DIN EN 12464, Teil 1 und Teil 2 in drei Gruppen eingeteilt. Je nach überwiegenden spektralen Farbanteilen wird unterschieden in:

Lichtfarbe	Ähnlichste Farbtemperatur TCP [K]	Farbanteil	Lampenbeispiele
warmweiß (ww)	< 3300	überwiegend rot	Glühlampen, Natrium-Dampflampen, Leuchtstofflampen
neutralweiß (nw)	3300 ... 5300	ausgewogen rot, blau, grün	Halogen-Metaldampflampen, Leuchtstofflampen
tageslichtweiß (tw)	> 5300	überwiegend blau	Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, Leuchtstofflampen

Farbwiedergabeindex nach CIE 13.3

Der allgemeine Farbwiedergabeindex R_a ist ein Maß für die Farbwiedergabeeigenschaft von Lampen, dessen theoretischer Maximalwert 100 beträgt. Er wird bei allen Normen in denen es um die Farbwiedergabe geht als Referenz verwendet. Je höher der Farbwiedergabeindex, desto besser ist die Farbwiedergabeeigenschaft der Lampe. Möglichst naturgetreue Farbwiedergabe wird durch den Einsatz von Lampen mit $R_a > 90$ erzielt. R_a ist der arithmetische Mittelwert der Farbabweichung der Testfarben 1...8 (DIN 6169).

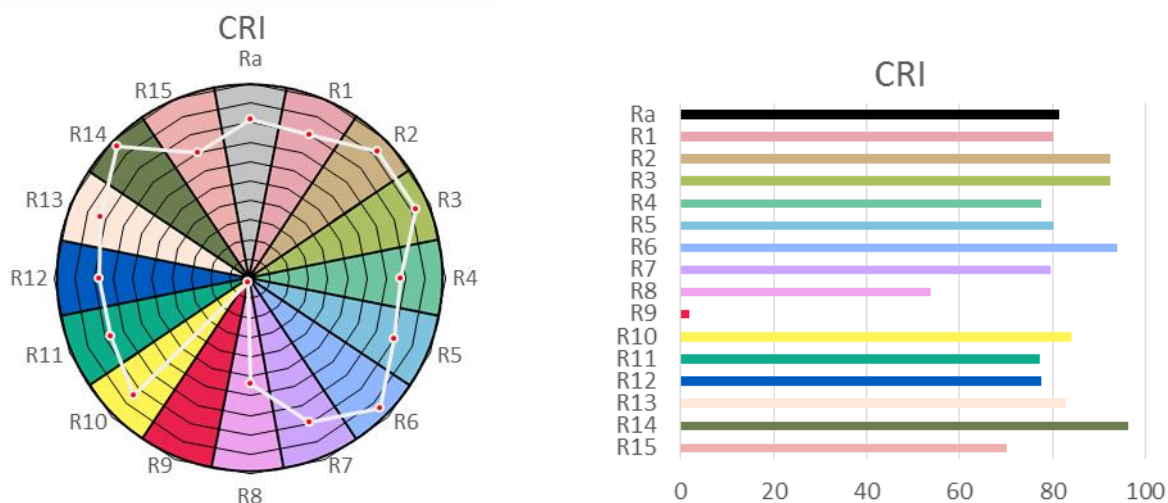


14 Testfarben nach DIN 6169

(Quelle: Wikimedia Commons – chris828 - DIN Test 6169.svg)

In Verbindung mit LED Lampen wird häufig auch noch der Farbwiedergabeindex R_9 für gesättigtes Rot betrachtet, da weiße LEDs technologiebedingt Schwächen im Spektrum haben. Bei billigen LED's können sogar negative Werte für den R_9 auftreten.

Betrachtet man den allgemeinen Farbwiedergabeindex R_a , dann lässt sich erkennen, dass die zur Berechnung herangezogenen Farben nicht gesättigt sind. Eine Erweiterung dazu ist der über alle 14 Testfarben und die zusätzliche Testfarbe 15 (Asia Skin Color) berechnete Farbwiedergabeindex R_e , der auch gesättigte Farben, Blattgrün und Hauttöne berücksichtigt.



Grafische Darstellung der einzelnen Farbwiedergabeindizes

i In DIN EN 12464 ist die Farbwiedergabeeigenschaft von Lampen zur Beleuchtung für verschiedene Raumarten und Tätigkeiten definiert.

R_a	Farbwiedergabe	Lampenbeispiele	Anwendung
≥ 90	ausgezeichnet	Halogen-Metaldampflampen De-Luxe-Leuchtstofflampen Halogenglühlampen, hochwertige LED	Grafisches Gewerbe, Museen, Textil- und Lederwarenverkaufsräume, Friseur- / Kosmetiksalons, zahnärztlicher Behandlungsplatz
80 ... 89	gut	Halogen-Metaldampflampen Leuchtstofflampen LED	Verwaltungsgebäude, Schulen, Industrie- und Sporthallen
70 ... 79	mittel	LED	
60 ... 69	mittel	Halogen-Metaldampflampen für Straßenbeleuchtung	Straßenbeleuchtung
40 ... 59	mangelhaft	Quecksilberdampf-Hochdrucklampen	Größere Industriearbeiten
20 ... 39	mangelhaft	Natriumdampf-Hochdrucklampen	Innenbereich nur in Ausnahmen

Gamut Area Index

Der Gamut Area Index ist ein Maß für die Lebhaftigkeit der Farbdarstellung und wird vorwiegend bei der Beurteilung von Ausstellungs- und Museumsbeleuchtungen eingesetzt. Er ist ein Indikator dafür wie gut die durch die acht Testfarben der R_a definierte Oktaeder-Fläche im Farbraum von der Lichtquelle abgedeckt wird.

GAI / R_a	niedriger R_a	hoher R_a
niedriger GAI	falsche und blasse Farben	richtige aber blasse Farben
hoher GAI	falsche und intensive Farben	naturgetreue Farbdarstellung

Farbbezeichnung von Lampen

Die Farbwiedergabeeigenschaft von Lampen wird herstellerunabhängig gemeinsam mit der Farbtemperatur in einem dreistelligen Code definiert.

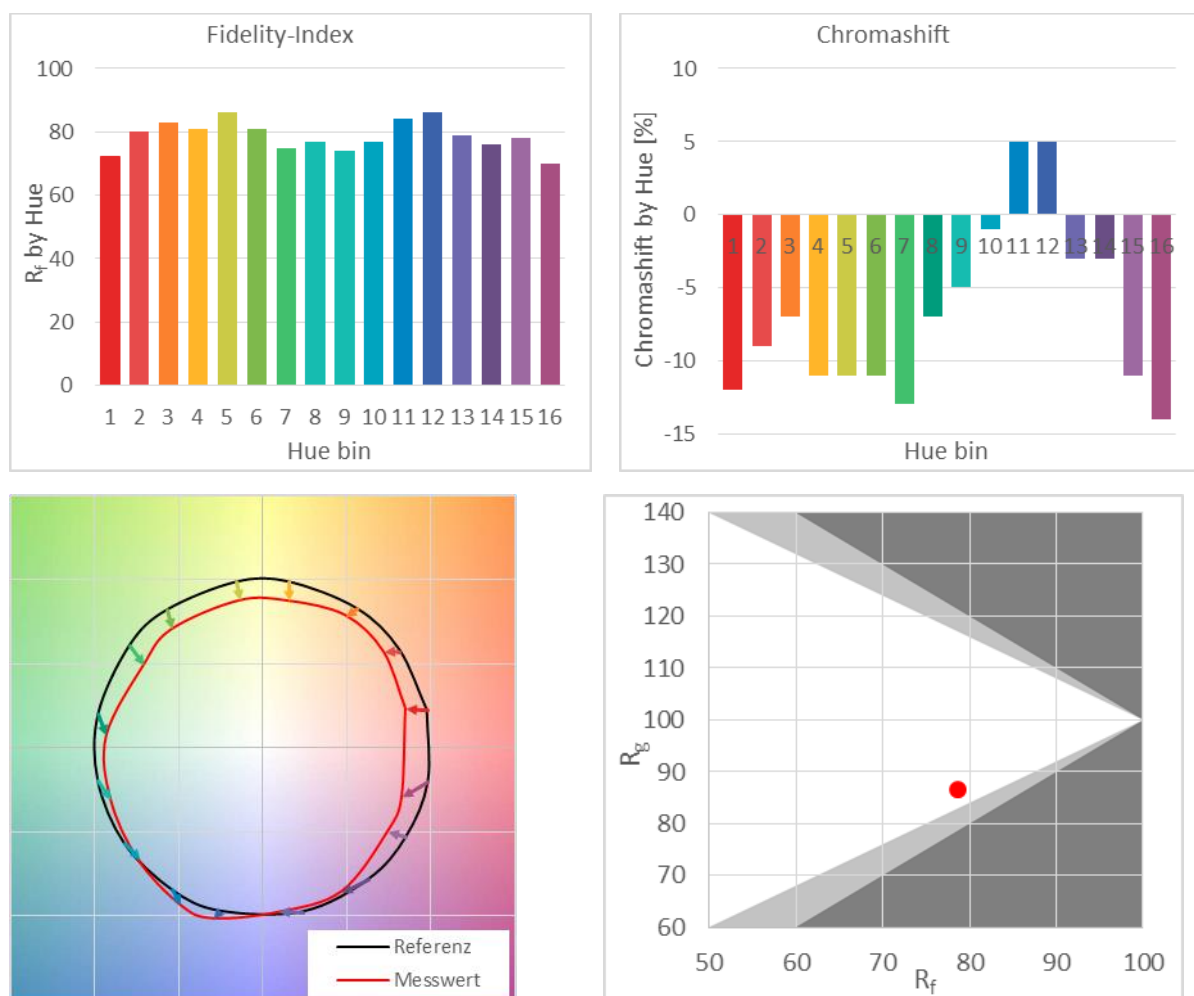
Farbwiedergabe		Farbtemperatur	
1. Ziffer	R_a -Bereich	2. und 3. Ziffer	T_n
9	90 - 100	27	2700 K
8	80 - 89	30	3000 K
7	70 - 79	40	4000 K
6	60 - 69	50	5000 K
5	50 - 59	60	6000 K
4	40 - 49	65	6500 K

Beispiel: Eine Leuchtstoffröhre von Osram hat die Bezeichnung T8 L 18W/965 LUMILUX DE LUXE Daylight G13. Die Angabe 965 beschreibt die Farbwiedergabeeigenschaft R_a von 90 bis 100 und die Farbtemperatur von 6500 K.

Farbwiedergabe nach IES TM-30-15

Die nordamerikanische Illuminating Engineering Society hat im Jahre 2015 eine neue Methode zur Bewertung der Farbwiedergabe von Lichtquellen unter der Bezeichnung TM-30-15 veröffentlicht. Diese Methode soll die Einschränkungen der bisherigen CIE 13.3 aufheben und zu realistischeren Beurteilungen, vor allem bei LED Lichtquellen, führen. Die internationale Beleuchtungskommission hat einstimmig beschlossen, dass diese neue Methode ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke angewandt werden soll und nicht geeignet ist, den allgemeinen Farbwiedergabeindex R_a zu ersetzen.

Der TM-30-15 arbeitet mit 99 Referenzfarben die über den gesamten Farbraum verteilt sind. Er bezieht somit wesentlich mehr Farben und Farbtöne in die Berechnung der Farbtreue R_f (Fidelity-Index) ein, der denselben Zusammenhang wie der Farbwiedergabeindex R_a beschreibt. Der Farbumfang R_g (Gamut-Index) liefert Informationen hinsichtlich der Farbsättigung und Farbverschiebung ähnlich dem Gamut-Area-Index GAI der bisherigen Betrachtung der Farbwiedergabe.



Detaillierte grafische Darstellungen des TM-30-15

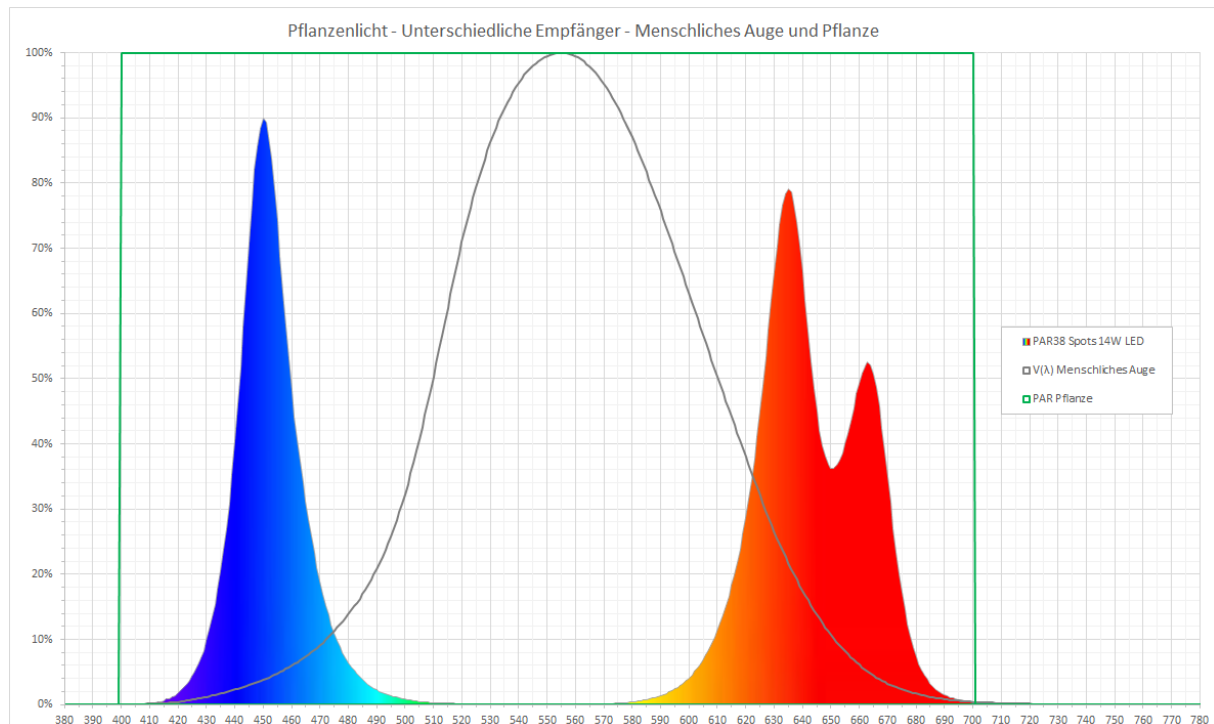
Messung der Pflanzenbeleuchtung

Wenn Sie sich mit Beleuchtungssystemen für Gewächshäuser oder Pflanzenwachstum beschäftigen, dann finden Sie bei den Herstellern vielfältige Angaben zu den angebotenen Produkten. Dazu gehören Watt, Lumen, Lux, cd/m^2 , PAR, PPF, PPFD und Photoneffizienz. Wir möchten Ihnen einen kurzen Überblick geben, welche dieser Werte wirklich relevant für die Beurteilung der Pflanzenbeleuchtung sind und womit sie gemessen werden können.

Wie nehmen Pflanzen das Licht wahr?

Menschen und viele andere Lebewesen nehmen Licht anders wahr als Pflanzen. Das Auge ist für sichtbare Strahlung je nach Wellenlänge unterschiedlich empfindlich. Beim Tagessehen oder photopischen Sehen gilt die Hellempfindlichkeitskurve $V(\lambda)$ die ihr Maximum bei 555 nm (Gelb-Grün) hat. Im Auge sorgen die farbempfindlichen Zäpfchen dafür, dass wir Farben eindeutig erkennen. Beim Nachtsehen oder skotopischen Sehen gilt die Hellempfindlichkeitskurve $V'(\lambda)$ die ihr Maximum bei 507 nm (Blau-Grün) hat. Im Auge sorgen die lichtempfindlichen Stäbchen dafür, dass wir bei diesen geringen Helligkeiten noch etwas sehen, jedoch keine Farben erkennen können.

Alle photometrischen Messgrößen, zu denen Lumen, Lux und cd/m^2 zählen, geben den Helligkeitseindruck des Menschen bei Tagessehen wieder, d.h. das Spektrum des Lichtes wird mit der Hellempfindlichkeitskurve $V(\lambda)$ bewertet. Das grundlegende Problem bei der Verwendung von normalen Beleuchtungsstärke- oder Leuchtdichtemessgeräten zur Messung von Pflanzenbeleuchtung ist deshalb die Unterbewertung von blauem (400 - 500 nm) und rotem (600 - 700 nm) Licht im sichtbaren Spektrum. Menschen nehmen in diesen Bereichen das Licht nur noch mit reduzierter Hellempfindlichkeit wahr, aber gerade bei Pflanzen werden blaues und rotes Licht intensiv für die Photosynthese genutzt. Die oben genannten photometrischen Messgrößen sind deshalb nicht für die Beurteilung von Pflanzenbeleuchtungen geeignet.



Photosynthetisch aktive Strahlung PAR

Die photosynthetisch aktive Strahlung **PAR (Photosynthetically Active Radiation)** ist der Anteil der elektromagnetischen Strahlung im Bereich von 400 nm bis 700 nm des sichtbaren Lichtspektrums, welchen phototrophe Organismen für die Photosynthese benötigen. Die Menge und die spektrale Zusammensetzung des PAR Lichts sind wesentliche Messgrößen für die Beurteilung der Pflanzenbeleuchtung.

Bei der Auswahl von Beleuchtungssystemen für den Gartenbau gibt es die folgenden 3 Aspekte:

- Wie viel PAR, gemessen als **PPF (Photosynthetic Photon Flux)** erzeugt das System?
- Wie viel PAR, gemessen als **PPFD (Photosynthetically Active Photon Flux Density)** kommt momentan an den Pflanzen an?
- Wie viel Energie benötigt das System zur Erzeugung der PAR für die Pflanzen? Ein sinnvolles Maß dafür ist **PPE (Photosynthetic Photon Efficacy)**.

Die spektral abhängige Wirkung der PAR auf die Pflanzen macht eine integrale Angabe von PAR über den gesamten Bereich nur begrenzt sinnvoll.

Photosynthetischer Photonenfluss PPF [$\mu\text{mol/s}$]

Der photosynthetische Photonenfluss PPF (Photosynthetic Photon Flux) mit der Einheit $\mu\text{mol/s}$ (Mikromol pro Sekunde) ist die gesamte PAR die von einem Beleuchtungssystem pro Sekunde erzeugt wird. Dieser Wert wird normalerweise im Lichtlabor mit einer Ulbricht Kugel und einem speziellen Messgerät gemessen. Er sagt nicht aus, wie viel des gemessenen Lichts tatsächlich auf der Pflanze landet, ist aber eine wichtige Kennzahl für die Berechnung der Effizienz eines Beleuchtungssystems zur Erzeugung von PAR.

Photoneneffizienz [$\mu\text{mol/J}$]

Die Effizienz eines Beleuchtungssystems für Pflanzen wird häufig angegeben als Verhältnis des erzeugten photosynthetischen Photonenflusses PPF in $\mu\text{mol/s}$ zur eingesetzten elektrischen Leistung in Watt (gleich Joule/s). Als Einheit für die Effizienz ergibt sich $\mu\text{mol/J}$ (Mikromol pro Joule). Je höher diese Zahl ist, umso mehr elektrische Energie wird in photosynthetisch aktive Strahlung PAR umgewandelt und umso effizienter ist das Beleuchtungssystem.

Eine häufige Angabe der elektrischen Leistung in Watt, bezogen auf die beleuchtete Fläche in m^2 ist nicht aussagefähig, da dabei die erzeugte photosynthetisch aktive Strahlung PAR nicht berücksichtigt wird.

Photosynthetische Photonenflussdichte PPFD [$\mu\text{mol/m}^2\text{s}$]

Die photosynthetische Photonenflussdichte **PPFD (Photosynthetically Active Photon Flux Density)** mit der Einheit $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$ (Mikromol pro Quadratmeter pro Sekunde) ist ein Maß für die Menge an PAR, die tatsächlich den Pflanzen zur Verfügung steht. Sie gibt die Anzahl der photosynthetisch aktiven Photonen wieder, die jede Sekunde auf eine bestimmte Oberfläche fallen.

Für den Anwender ist nicht nur die **photosynthetische Photonenflussdichte PPFD** über den gesamten Spektralbereich, sondern auch die PPFD für die Teilbereiche Blau, Grün, Rot und die im Anschluss an

den PAR Bereich befindlichen UV und FR (Far Red) Bereiche von Interesse. Damit kann die spezifische Wirkung der Pflanzenbeleuchtung auf Wachstum, Blüte und Geschmack der jeweiligen Pflanze weitreichend beurteilt und angepasst werden. Folgende Bereiche werden unterschieden:

- **PPFD** 400 - 700 nm
- **PPFD_UV** 380 - 400 nm
- **PPFD_Blau** 400 - 500 nm
- **PPFD_Grün** 500 - 600 nm
- **PPFD_Rot** 600 - 700 nm
- **PPFD_FR** 700 - 780 nm



Mit dem MAVOSPEC BASE kann das **Spektrum des Pflanzenbeleuchtung** gemessen und angezeigt werden. Es liefert eine erste Aussage ob die für das Pflanzenwachstum erforderlichen **Wellenlängenbereiche** vorhanden und mit welcher **Intensität** diese vorhanden sind. Zusätzlich werden **alle oben genannten PPFD Werte** berechnet und angezeigt. In Verbindung mit einem Notebook und dem **EXCEL Template zum Datalogging** kann auch eine Aufzeichnung aller Messwerte über den Tagesverlauf erfolgen.

Mittlere photosynthetische Photonenflussdichte $PPFD_{avg}$

Bei einer beleuchteten Pflanzfläche reicht es nicht aus nur an einem Punkt zu messen, da meistens keine gleichmäßige Ausleuchtung vorhanden ist. Häufig ist die Lichtintensität in der Mitte des Beleuchtungssystems am stärksten und nimmt zum Rand der Anbaufläche hin ab. Es ist deshalb empfehlenswert ein Messraster über die Anbaufläche festzulegen, mehrere Messungen durchzuführen und die horizontalen sowie vertikalen Koordinaten zusammen mit dem Messergebnis zu dokumentieren. Aus den ermittelten Werten lässt sich dann der **arithmetische Mittelwert $PPFD_{avg}$** .

$$PPFD_{avg} = (PPFD_1 + PPFD_2 + \dots + PPFD_{n-1} + PPFD_n) / n$$

und die **Ungleichmäßigkeit $PPFD_{min} / PPFD_{max}$** berechnen

Ungleichmäßigkeit der photosynthetischen Photonenflussdichte U_{PPFD}

Die **Ungleichmäßigkeit der photosynthetischen Photonenflussdichte** ist das Verhältnis der **kleinsten photosynthetischen Photonenflussdichte $PPFD_{min}$** zur **maximalen photosynthetischen Photonenflussdichte $PPFD_{max}$** auf der bewerteten Fläche.

$$U_{PPFD} = PPFD_{min} / PPFD_{max}$$


Auswahlkriterien für Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräte

Klasseneinteilung

Die DIN 5032 Teil 7 definiert für Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräte je 4 Klassen mit je 16 Merkmalen und den zugehörigen Fehlergrenzen. Die Klasseneinteilung ist wie folgt:

- Klasse L : Geräte mit höchster Genauigkeit (Labormessung)
- Klasse A : Geräte mit hoher Genauigkeit
- Klasse B : Geräte mit mittlerer Genauigkeit
- Klasse C : Geräte mit geringerer Genauigkeit (Orientierungsmessung)

Sinn und Zweck dieser Normierung ist die Beschreibung der erreichbaren Messgenauigkeit über einen Wert und somit eine einfache Vergleichsmöglichkeit der Güte dieser Geräte. Ein klassifiziertes Gerät muss alle Merkmale berücksichtigen und darf mit allen seinen Einzelfehlern und dem Gesamtfehler die in der Klasse genannten Fehlergrenzen nicht überschreiten. Die Summe aller zugelassenen Einzelfehler ist größer als der zugelassenen Gesamtfehler, der jedoch nicht überschritten werden darf und die Messunsicherheit des zum Kalibrieren verwendeten Normals beinhaltet.

 Es empfiehlt sich vor der Anschaffung eines Messgeräts zu überprüfen ob die Klassenangabe für alle 16 Merkmale gemacht ist oder nur für einzelne Merkmale gilt.

In der nachfolgenden Tabelle sind einige Merkmale und die zugehörigen Fehlergrenzen für die einzelnen Klassen aufgeführt.


Merkmal	Bezeichnung	Fehlergrenzen für Messgeräte der Klasse			
		L	A	B	C
V(λ)-Anpassung	f_1	1,5 %	3 %	6 %	9 %
Cos-getreue Bewertung	f_2		1,5 %	3 %	6 %
Linearitätsfehler	f_3	0,2 %	1 %	2 %	5 %
Abgleichfehler	f_{11}	0,1 %	0,5 %	1 %	2 %
Gesamtfehler	f_{ges}	3 %	5 %	10 %	20 %

Die einzelnen Begriffe, Eigenschaften und deren Kennzeichnung sind für Photometer in der DIN 5032 Teil 6 definiert.

V(λ)-Anpassung f_1

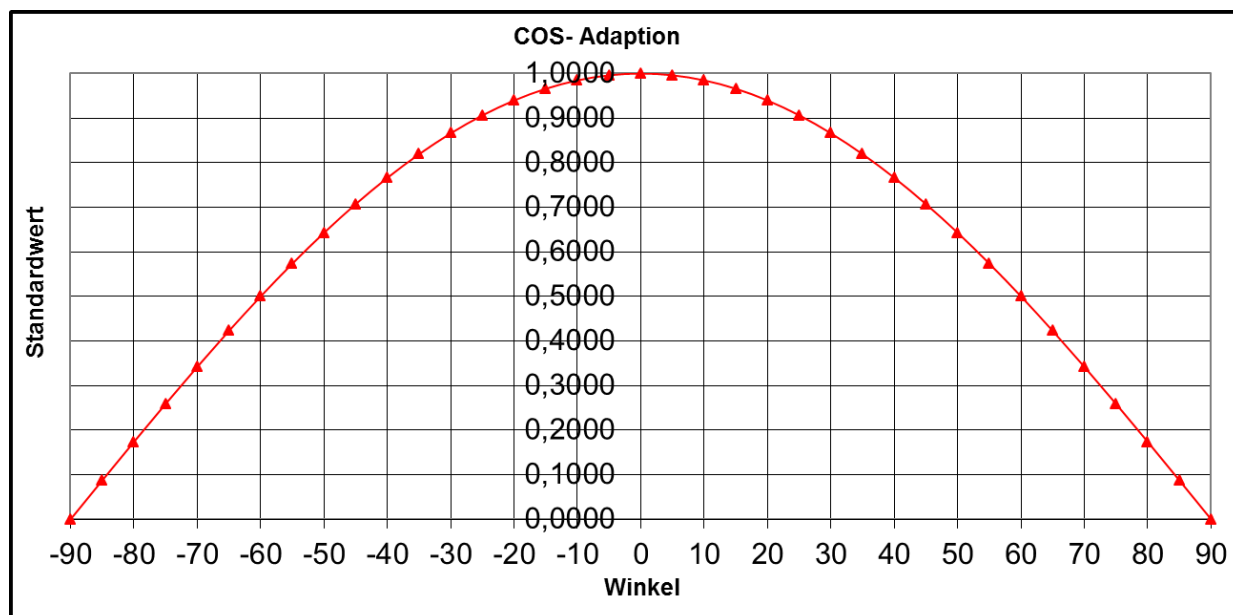
Die spektrale Empfindlichkeit des Empfängers muss der genormten spektralen Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges V(λ) entsprechen. Damit wird sichergestellt, dass das Messgerät die Helligkeit so bewertet, wie sie das menschliche Auge empfindet. In der Praxis wird diese Anpassung bei präzisen Geräten durch Vollfilterung oder Partialfilterung erzielt.

Einfachere Messgeräte arbeiten mit Korrekturfaktoren für verschiedene Lichtarten. Diese Methode funktioniert lediglich mit hinreichender Genauigkeit, wenn das Spektrum der Lichtart bekannt und konstant ist.

 Eine sehr gute V(λ)-Anpassung mit Filtern sorgt dafür, dass das Messgerät für die Messung aller verschiedenen Lampenarten, auch Leuchtstofflampen und LED geeignet ist.

Cos-getreue Bewertung f_2

Der Empfänger eines Beleuchtungsstärkemessgeräts berücksichtigt, dass die Helligkeit einer planen Messfläche proportional dem Kosinus des Lichteinfallswinkels ist. Bei senkrechtem Lichteinfall ist die Helligkeit am größten, bei einem seitlichen Lichteinfall von 90° ist die Helligkeit gleich null.



Linearitätsfehler f_3

Die Linearität eines Beleuchtungsstärke- oder Leuchtdichtemessgeräts ist die Eigenschaft, dass der Anzeigewert sich proportional zu der zu messenden photometrischen Größe verhält. Den Zusammenhang zwischen den beiden Größen nennt man auch Kennlinie des Photometers. Die Linearität hängt im Wesentlichen von den eingesetzten Sensoren ab, die sich nicht immer linear über den gesamten Messbereich verhalten. Eine Kompensation des Fehlers erfolgt bei heutigen Geräten meist über die Gerätefirmware.

Abgleichfehler f_{11}

Der Abgleichfehler ist ein systematischer Fehler der entsteht, wenn von einem Messbereich A in den nächsthöheren Messbereich B umgeschaltet wird und sich der Anzeigewert verändert. Die Fehlerursache ist meist mangelnde Sorgfalt beim Abgleich der einzelnen Messbereiche.

Gesamtfehler f_{ges}

Der Gesamtfehler ist kleiner als die Summe aller zugelassenen Einzelfehler und beinhaltet die Messunsicherheit des zum Kalibrieren verwendeten Normalis.

Messbereich und Anzeigauflösung

Der Messbereich wird über Anfangs- und Endwert, d.h. über seine Grenzen, definiert. Die Differenz zwischen beiden Werten wird auch Messspanne genannt. Für den Messbereich wird in der Regel eine garantierte Fehlergrenze angegeben. Bei Messgeräten mit mehreren Messbereichen sind auch unterschiedliche Fehlergrenzen pro Messbereich zulässig.



Die Anzeigauflösung im Messbereich sollte mindestens um den Faktor 100 größer sein als der zu messende Wert, da damit die auflösungsbedingte Messunsicherheit auf 1 % begrenzt wird.

Vorteilhafte Eigenschaften

Durch Auswahl eines klassifizierten Beleuchtungsstärke- oder Leuchtdichtemessgeräts wird zunächst die Qualität der Messung sichergestellt. Anwendungsbedingt sind jedoch häufig noch weitere Eigenschaften von Vorteil und sollten beim Kauf berücksichtigt werden.

Eine **Displaybeleuchtung** erleichtert die Ablesbarkeit in dunkler Umgebung und sollte während der Messung abgeschaltet sein um Störeinflüsse zu vermeiden. Besonders hilfreich ist diese Eigenschaft sowohl bei der Messung von Sicherheits-, Antipanik- und Ersatzbeleuchtungen als auch beim Einsatz in Lichtlabors.

Eine **Stativbuchse am Messkopf oder Messgerät** ermöglicht sowohl eine exakte Einstellung von definierten Abständen und Höhen als auch den Einsatz in festen Aufbauten.

Ein **Leuchtdichtevorsatz** für Beleuchtungsstärkemessgeräte oder auch ein **Messkopf zur Aufsatzmessung** sowie ein **Reflexionsstandard zur Beleuchtungsstärkemessung** für ein Leuchtdichtemessgerät zur Distanzmessung erweitern den Funktionsumfang eines Messgeräts auf einfache Weise.

Eine **USB Schnittstelle** ermöglicht den rechnergestützten Einsatz und die Versorgung des Messgeräts im Dauerbetrieb. Sowohl die Messgerätesteuerung als auch die Erfassung, Darstellung und Speicherung der Messwerte ist mit einer **geeigneten Software** möglich, die sich sinnvollerweise **im Lieferumfang** befinden sollte. Für die Einbindung des Messgeräts in eigene Anwendungen ist ein **offenes, dokumentiertes Schnittstellenprotokoll** mit Applikationsbeispiel von Vorteil.

Ein **Kalibrierprotokoll** bescheinigt zum Beispiel, dass das Messgerät unter Beachtung eines Qualitätssicherungssystems nach DIN EN ISO 9001 abgeglichen wurde, die dafür eingesetzten Messeinrichtungen der Prüfmittelüberwachung unterliegen und bei Auslieferung die zugesicherten Spezifikationen und Toleranzen eingehalten wurden. Vorteilhaft ist es auch, wenn ein Sollwert angelegt und der zugehörige Istwert protokolliert wurde.

Kalibrierpflicht von Messmitteln

Sobald Messgerät zur Qualitätssicherung, Abnahmeprüfung und Begutachtung eingesetzt werden besteht in der Regel eine Pflicht zur Kalibrierung. Genau Anforderungen sind in den jeweiligen Fachnormen enthalten.

Die Norm für Qualitätsmanagementsysteme DIN EN ISO 9001:2015 legt in Abschnitt 7.1.5 Ressourcen zur Überwachung und Messung fest, soweit diese zur Sicherstellung gültiger Ergebnisse und damit einer gleichbleibenden Produktqualität eingesetzt werden.

In festgelegten Zeitabständen sind Messmittel durch Kalibrierung auf die nationalen Normale zurückzuführen, bei Bedarf zu justieren und so zu kennzeichnen, dass der Kalibrierstatus erkennbar ist. Wird bei der Kalibrierung festgestellt, dass das Messmittel die Anforderungen nicht erfüllte, muss das Unternehmen die Gültigkeit früherer Messergebnisse bewerten und geeignete Maßnahmen bezüglich des Messmittels und aller betroffenen Produkte ergreifen.

Regelmäßige Kalibrierung sichert somit die Produkt- oder Dienstleistungsqualität auf Basis von international vergleichbaren Messergebnissen. Dies schafft Rechtssicherheit hinsichtlich der Produkthaftung sowie für Abnahmeprüfungen und Begutachtungen. Zur Rekalibrierung von Messmitteln, die wiederum als Normale zur Überwachung weiterer Mess- und Prüfmittel dienen, ist wegen der sichergestellten Rückführung auf nationale Normale eine DAkkS Kalibrierung zu empfehlen.

Ausführliche Informationen sind auf www.gossen-photo.de unter Lichtlabor zusammengefasst. Dort sind auch Informationen über Musterkalibrierscheine, Kalibrierbereiche, DAkkS Akkreditierung, DAkkS Kalibriergrößen und Messdienstleistungen des GOSSEN Lichtlabors enthalten.



GOSSEN Lichtlabor

Welches Messgerät für welche Messgröße?

GOSEN Lichtmessgeräte können vielfältige Messgrößen erfassen. In der nachfolgenden Tabelle sind die einzelnen Messgrößen dem jeweiligen Messgerät zugeordnet. Sofern man optionales Zubehör zum Grundgerät benötigt, dann ist dies ebenfalls aufgeführt.

Messgeräte für Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte

Messgröße / Messgerät	Beleuchtungsstärke [lx]	Leuchtdichte [cd/m^2] - Aufsatzmessung	Leuchtdichte [cd/m^2] - Distanzmessung
MAVOLUX COMPACT	■ Klasse C		
MAVOLUX 5032 C BASE	■ Klasse C		
MAVOLUX 5032 C USB	■ Klasse C	+ Leuchtdichtevorsatz nicht empfohlen!	+ Leuchtdichtevorsatz Messwinkel ca. 15°
MAVOLUX 5032 B USB	■ Klasse B	+ Leuchtdichtevorsatz nicht empfohlen!	+ Leuchtdichtevorsatz Messwinkel ca. 15°
MAVO-MONITOR USB		■ Klasse B	
MAVO-SPOT 2 USB	+ Reflexionsstandard	+ Messkopf für Aufsatzmessung	■ Klasse B

GOSEN Leuchtdichtemessgeräte



MAVO-SPOT 2 USB



MAVO-MONITOR USB

Spektralphotometer

Messgerät / Messgröße	MAVOSPEC BASE
Beleuchtungsstärke [lx, fc]	E
Bestrahlungsstärke [W/m ²]	Ee
Luminous Efficacy Ratio [lm/W]	LER
Spektrale Leistungsverteilung [mW/m ² /nm]	■
Farbort, Farbkoordinaten x,y [CIE 1931]	x,y
Farbort, Farbkoordinaten u,v [CIE 1960]	u,v
Farbort, Farbkoordinaten u',v' [CIE 1976]	u',v'
Farbtemperatur [K] - CCT	CCT
Farbtemperaturdifferenz zum Planckschen Kurvenzug	Duv
Farbwiedergabeindex CIE 13.3 - CRI	Ra, Re, R1...R15
Gamut Area Index	GAI
Farbwiedergabe IES TM-30-15	Rf, Rg
Flicker	Index, Prozent, Frequenz
Peakwellenlänge	λ peak
Dominante Wellenlänge CIE 15	λ dominant
Farbreinheit CIE 15	Purity
Photosynthetische Photonendichte	PPFD, PPFD_UV, PPFD_Blau, PPFD_Grün, PPFD_Rot, PPFD_FR
Referenzmodus	Ist - Referenz
Datenlogger	Excel Template
Auswertungen	Excel Template



MAVOSPEC BASE

Welches Messgerät für welche Applikation?

GOSSEN Lichtmessgeräte haben vielfältige Einsatzgebiete. In der nachfolgenden Tabelle sind einige davon, in Verbindung mit den jeweiligen Normen und den darin enthaltenen Anforderungen an die Messgeräte aufgeführt.

Medizintechnik – DIN 6868 – 157	
Abnahme- und Konstanzprüfung nach RÖV an Bildwiedergabesystemen in ihrer Umgebung	
Abnahmeprüfung von Bildwiedergabesystemen	
Leuchtdichte Klasse B, DIN 5032-7, Werkskalibrierung	MAVO-SPOT 2 USB + Werkskalibrierschein
Konstanzprüfung von Bildwiedergabesystemen	
Messverfahren A - Leuchtdichte Klasse B, DIN 5032-7, Werkskalibrierung	MAVO-SPOT 2 USB + Werkskalibrierschein
Messverfahren B – Beleuchtungsstärke 1 lx ... 1000 lx Messunsicherheit ≤ 10 % , Wiederholpräzision ≤ 5 %	MAVOLUX 5032 B USB / C USB / C BASE
Messverfahren B - Leuchtdichte Klasse B, DIN 5032-7, Werkskalibrierung	MAVO-MONITOR USB + Werkskalibrierschein
Bestandsschutz für DIN V 6868 – 57 Verlängerung Prüfintervall für Schleierleuchtdichte und Maximalkontrast von 3 auf 6 Monate -	MAVO-MAX
Prüfung der Raumbeleuchtung (Raumklassen)	
Beleuchtungsstärke 1 lx ... 1000 lx Messunsicherheit ≤ 10 % , Wiederholpräzision ≤ 5 %	MAVOLUX 5032 B USB / C USB / C BASE
Beleuchtungsstärke über Leuchtdichte Klasse B, DIN 5032-7, Reflexionsstandard	MAVO-SPOT 2 USB + Reflexionsstandard
Kontinuierliche Raumlichtüberwachung RK1, RK2, RK5	MAVO-MAX RK1 / RK2 / RK5
Anforderungen aus der DIN EN 12464-1 Lichtfarbe (CCT), Farbwiedergabe (Ra)	MAVOSPEC BASE
Beleuchtung von Arbeitsstätten – Arbeitsstätten in Innenräumen DIN EN 12464-1 Beleuchtung von Arbeitsstätten – Arbeitsplätze im Freien DIN EN 12464-2 Technische Regeln für Arbeitsstätten – Beleuchtung – ASR A3.4 – Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitsleitsysteme – ASR3.4/3	
Beleuchtungsstärke	MAVOLUX 5032 B USB / C USB / C BASE
Leuchtdichte, Blendung, Kontrast	MAVO-SPOT 2 USB
Lichtfarbe (CCT), Farbwiedergabe (Ra)	MAVOSPEC BASE
Notbeleuchtung – DIN EN 1838	
Sicherheits-, Antipanik- und Ersatzbeleuchtung mindestens 0,5 ... 1 lx, Messunsicherheit ≤ 10 %	MAVOLUX 5032 B USB
Sicherheitszeichen - Leuchtdichte + Kontrast Fehlertoleranz ≤ 10 %	MAVO-SPOT 2 USB
Farbwiedergabe (Ra)	MAVOSPEC BASE

Sportstättenbeleuchtung – DIN EN 12193	
Beleuchtungsstärke - Homogene Ausleuchtung	MAVOLUX 5032 B USB / C USB / C BASE
Leuchtdichte - Blendung, Lichtimmission	MAVO-SPOT 2 USB
Lichtfarbe (CCT), Farbwiedergabe (Ra)	MAVOSPEC BASE
Straßenbeleuchtung – DIN EN 13201	
Beleuchtungsstärke horizontal, vertikal, halbsphärisch, halbzyklindrisch, kalibriertes Messgerät	-
Leuchtdichte - 2' vertikaler Messwinkel, 20' horizontaler Messwinkel, kalibriertes Messgerät	-
Lichtfarbe (CCT), Farbwiedergabe (Ra)	MAVOSPEC BASE
Beleuchtung von Fußgängerüberwegen mit Zusatzbeleuchtung – DIN 67523 Anlagen zur Verkehrssteuerung – Warn- und Sicherheitsleuchten - DIN EN 12352	
Beleuchtungsstärke kalibriertes Messgerät	MAVOLUX 5032 B USB / C USB / C BASE + Werkzertifikat
Leuchtdichte kalibriertes Messgerät	MAVO-SPOT 2 USB + Werkzertifikat
Lichtfarbe (CCT), Farbwiedergabe (Ra)	MAVOSPEC BASE
Beleuchtung von Straßentunneln und Unterführungen – DIN 67524 Evakuierungsbeleuchtung in Straßentunneln – DIN EN 16276	
Beleuchtungsstärke	MAVOLUX 5032 B USB / C USB / C BASE
Leuchtdichte	-
Beleuchtung von Schleusenanlagen – DIN 67500	
Beleuchtungsstärke	MAVOLUX 5032 B USB / C USB / C BASE
Energieverbrauchskennzeichnung von elektrischen Lampen und Leuchten - EU Verordnung Nr. 874/2012 - Energielabeling Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht - EU Verordnung Nr. 244/2009 - Ökodesign Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lampen mit gebündeltem Licht, LED- Lampen und dazugehörigen Geräten - EU Verordnung Nr. 1194/2012 - Ökodesign	
Lichtfarbe (CCT), Farbwiedergabe (Ra)	MAVOSPEC BASE
Lichtstrom	-
Lichtimmission - Messung und Beurteilung - Bundes-Immissionschutz-Gesetz BimSchG	
Raumaufhellung – Auflösung 0,01 lx Messunsicherheit $\leq 10\%$	MAVOLUX 5032 B USB
Blendung - 0,01 cd/m ² bis 106 cd/m ² Klasse B, DIN 5032-7, Gesamtfehler $\leq 15\%$	[MAVO-SPOT 2 USB]

Norm der Medizintechnik

DIN 6868-157 Abnahme- und Konstanzprüfung von Bildwiedergabesystemen

DIN 6868-157: Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben - Teil 157: Abnahme- und Konstanzprüfung nach RÖV an Bildwiedergabesystemen in ihrer Umgebung

Die Bildqualität von Bildwiedergabesystemen ist entscheidend für die anschließende Befundung. Bildwiedergabesysteme sind deshalb bei der Installation einer Abnahmeprüfung und halbjährlich einer messtechnischen Konstanzprüfung zu unterziehen. Zusätzlich ist das Raumumgebungslicht zu messen und zu überprüfen ob die Anforderungen an die Raumklassen eingehalten werden. Bei dimmbarer Beleuchtung ist eine Anzeige, dass sich das Raumumgebungslicht innerhalb der zulässigen Grenzen für die Befundung befindet, von Vorteil.



Für die Abnahme- und Konstanzprüfung werden ein Leuchtdichtemessgerät und ein Beleuchtungsstärkemessgerät benötigt. In beiden Messverfahren muss das jeweilige Leuchtdichtemessgerät mit einem Werkskalibrierzertifikat ausgestattet sein, für das Beleuchtungsstärkemessgerät ist die vorgegebene Spezifikation einzuhalten. Ein Raumlichtsensor für die jeweilige Raumklasse wird zur kontinuierlichen Überwachung der Einhaltung des Bereichs eingesetzt. Er signalisiert die Einhaltung des Bereichs über eine grüne LED.

Detaillierte Anforderungen hinsichtlich der einzusetzenden Messgeräte und der Messverfahren sind in der DIN 6868-157 enthalten. Eine Zusammenfassung der erforderlichen Messgerätespezifikationen ist im vorhergehenden Kapitel dieses Kompendiums zu finden.

GOSSEN bietet einen speziellen **DIN 6868-157 Messkoffer** an, der das MAVO-SPOT 2 USB und das MAVOLUX 5032C BASE sowie die zugehörigen Werkzertifikate enthält. Für die kontinuierliche Überwachung des Raumumgebungslichts auf Einhaltung der Raumklassen kann der MAVO-MAX RK1 oder RK2 (RK5) eingesetzt werden.



DIN 6868-157 Koffer



MAVO-SPOT 2 USB



MAVOLUX 5032C BASE



MAVO-MAX RK1

Normen für die Beleuchtung von Arbeitsstätten

Grundlage für die Auslegung der Beleuchtung von Arbeitsstätten sind die **DIN Normen**, die eine nationale Version der europäischen DIN EN Normen sind. Sie legen quantitative und qualitative Anforderungen an die Güte der Beleuchtungsanlage fest. Normen geben in der Regel den Stand der Technik wieder, haben empfehlenden Charakter und werden als Grundlage für Verträge und Rechtsstreite herangezogen. Normen sind nicht frei zugänglich und können beim Beuth Verlag www.beuth.de bezogen werden.

DIN EN 12464-1 Arbeitsstätten in Innenräumen

Diese Norm behandelt die Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen in Bezug auf Sehleistung und Sehkomfort für alle üblichen Sehaufgaben, einschließlich der Sehaufgaben am Bildschirm.

Sie legt für die meisten Arbeitsplätze und deren zugehörigen Flächen die Anforderungen an die Beleuchtung hinsichtlich Quantität und Qualität fest. Um den Planern möglichst viele Freiheitsgrade für innovative Beleuchtungssysteme zu lassen, werden keine spezifischen Lösungen vorgeschrieben. Die Beleuchtung kann mit Tageslicht, künstlichem Licht oder einer Kombination aus beidem erfolgen. Zusätzlich zur Beleuchtungsstärke beschreibt die Norm weitere quantitative und qualitative Güte Merkmale für die Umsetzung eines guten Lichtklimas. Dazu zählen Leuchtdichteverteilung, Beleuchtungsstärke, Blendung, Lichtrichtung, Lichtfarbe und Farbwiedergabe, Flimmern und Tageslicht.



Der Abschnitt 5 der Norm legt in seinen Tabellen detailliert die Beleuchtungsanforderungen für Räume (Bereiche), Aufgaben und Tätigkeiten fest. Darin enthalten sind Wert der Beleuchtungsstärke, UGR-Grenzwert für die Blendung, Farbwiedergabe-Index und weitere Anmerkungen für Ausnahmen und Besonderheiten.

Für Büroarbeitsplätze gelten beispielsweise folgende Vorgaben:

Raum, Aufgabe, Tätigkeit	\bar{E}_m	UGR _L	R _a	Bemerkungen
Ablegen, Kopieren, Verkehrszonen	300	19	80	
Schreiben, Lesen, Datenverarbeitung	500	19	80	Bildschirmarbeit spezielle Regeln
CAD-Arbeitsplätze	500	19	80	Bildschirmarbeit spezielle Regeln
Konferenz- und Besprechungsräume	500	19	80	Beleuchtung sollte regelbar sein
Empfangstheke	300	22	80	
Archive	200	25	80	

Es gibt Bereiche mit speziellen Anforderungen an die Farbwiedergabe $R_a \geq 90$, die beim Einsatz von LED Beleuchtung zu beachten sind.

DIN EN 12464-2 Arbeitsplätze im Freien

Diese Norm behandelt die Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten und Arbeitsplätzen im Freien in Bezug auf Sehleistung und Sehkomfort für alle üblichen Sehaufgaben.

Sie ist wie die DIN EN 12464-1 aufgebaut und macht vergleichbare Anforderungen an die Beleuchtung, die sich jedoch insbesondere auf die Sehaufgabe bei Nacht konzentrieren.

Der Abschnitt 5 der Norm legt in seinen Tabellen detailliert die Beleuchtungsanforderungen für Bereiche, Aufgaben und Tätigkeiten fest. Darin enthalten sind Wert der Beleuchtungsstärke, Mindestwert der Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke U_0 , Grenzwert der Blendungsbewertung GR_L , Farbwiedergabe-Index und weitere Anmerkungen für Ausnahmen und Besonderheiten.

DIN EN 1838 Notbeleuchtung

Die Notbeleuchtung wird aktiv, wenn die allgemeine künstliche Beleuchtung ausfällt und muss deshalb mit einer unabhängigen Stromquelle gespeist werden. Sie ist ein Oberbegriff für Ersatzbeleuchtung und Sicherheitsbeleuchtung die sich in Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege, Antipanikbeleuchtung und Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung aufteilt.



Das Ziel der Sicherheitsbeleuchtung ist es, bei allgemeinem Stromausfall potentiell gefährliche Arbeitsabläufe oder Situationen sicher zu beenden, eine Stelle zu erreichen, von der ein Rettungsweg eindeutig als solcher erkannt werden kann und diesen zu benutzen um das Gebäude oder den Bereich sicher zu verlassen. Im Gegensatz dazu steht die Ersatzbeleuchtung, die es ermöglicht notwendige Tätigkeiten unverändert fortzusetzen.

Die DIN EN 1838 legt die Mindestwerte für die Planung und Installation der Notbeleuchtung und über die gesamte Betriebsdauer fest.

Beispielhaft sind in der nachfolgenden Tabelle die Anforderungen der Sicherheitsbeleuchtung an die Beleuchtungsstärke zusammengestellt. Weitere Angaben hinsichtlich der Breite oder Gleichmäßigkeit der Beleuchtung sind der Norm zu entnehmen.

Sicherheitsbeleuchtung	Beleuchtungsstärke	Farbwiedergabeindex
Erste Hilfe Stellen	$E \geq 5 \text{ lx}^*$	$R_a > 40^{**}$
Brandbekämpfungs- oder Meldeeinrichtungen	$E \geq 5 \text{ lx}^*$	$R_a > 40^{**}$
Rettungsweg	$E \geq 1 \text{ lx}^*$	$R_a > 40^{**}$
Antipanikbeleuchtung	$E \geq 0,5 \text{ lx}^*$	$R_a > 40^{**}$
Arbeitsplatz mit besonderer Gefährdung	$E \geq 15 \text{ lx}$ und $E \geq 10\%$ des Wertes der für die Aufgabe benötigten Beleuchtungsstärke	$R_a > 40^{**}$

* Die Messung erfolgt am Boden bis zu einer maximalen Höhe von 20 mm.

** Um Sicherheitsfarben eindeutig zu erkennen.

Für die Vor-Ort-Messung der Beleuchtungsstärke sind kosinus- und $V(\lambda)$ -korrigierte Messgeräte mit einer Fehlertoleranz $\leq 10\%$ vorgeschrieben. Aufgrund der geringen Beleuchtungsstärken ist eine Auflösung des Messgeräts mit mindestens 2 Nachkommastellen empfehlenswert.

Arbeitsstättenverordnung ArbStättV

Die Arbeitsstättenverordnung legt fest, was der Arbeitgeber beim Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten in Bezug auf die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Beschäftigten zu beachten hat. Sie kann kostenfrei von der Webseite des Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz www.gesetze-im-internet.de heruntergeladen werden.

Die Verordnung folgt der Regelungssystematik der europäischen Arbeitsstättenrichtlinie, durch die Schutzziele und allgemein gehaltene Anforderungen, aber keine detaillierten Vorgaben festgesetzt werden. Damit erhält der Betrieb einen Spielraum für individuelle Arbeitsschutzmaßnahmen.

Im Anhang „Anforderung an Arbeitsstätten“ sind in Bezug auf die Arbeitsplatzbeleuchtung folgende Anforderungen zu finden:

3.4 Beleuchtung und Sichtverbindung

(1) Die Arbeitsstätten müssen möglichst ausreichend Tageslicht erhalten und mit Einrichtungen für eine der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten angemessenen künstlichen Beleuchtung ausgestattet sein.

(2) Die Beleuchtungsanlagen sind so auszuwählen und anzuordnen, dass sich dadurch keine Unfall- oder Gesundheitsgefahren ergeben können.

(3) Arbeitsstätten, in denen die Beschäftigten bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung Unfallgefahren ausgesetzt sind, müssen eine ausreichende Sicherheitsbeleuchtung haben.

Wer vorsätzlich oder fahrlässig gegen die in §9 der Verordnung aufgeführten Punkte verstößt begeht eine Ordnungswidrigkeit, wer dadurch vorsätzlich das Leben oder die Gesundheit von Beschäftigten gefährdet macht sich gar strafbar.

Technische Regeln für Arbeitsstätten - ASR

Um Unternehmen und vollziehenden Behörden die Anwendung der Arbeitsstättenverordnung in der Praxis zu erleichtern, werden vom "Ausschuss für Arbeitsstätten" erläuternde "Arbeitsstättenregeln" (ASR) erarbeitet und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales bekanntgegeben. Hält der Arbeitgeber diese Technischen Regeln ein, dann kann er davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnung erfüllt sind. In Bezug auf die Beleuchtung von Arbeitsstätten sind die beiden nachfolgenden ASRs relevant. Sie können kostenfrei von der Webseite der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin www.baua.de heruntergeladen werden.

ASR A3.4 Beleuchtung

Die ASR A3.4 detailliert die Anforderungen aus Kapitel 3.4 des Anhangs der Arbeitsstättenverordnung und beruht auf der Berufsgenossenschaftlichen Regel der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung BGR 131-2, Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 2: Leitfaden zur Planung und zum Betrieb der Beleuchtung. Die ASR A3.4 weicht in Einzelfällen von der DIN EN 12464 ab, die Planungsgrundlagen für die Beleuchtungsanlagen festlegt, jedoch nicht die Anforderungen an Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten berücksichtigt.

In der Richtlinie sind für die Beleuchtung mit Tageslicht, künstliche Beleuchtung in Gebäuden und im Freien Anforderungen an Beleuchtungsstärken, Begrenzung von Blendung, Farbwiedergabe, Flimmern oder Pulsation und Schatten festgelegt. Weitere Hinweise für den Betrieb und die Instandhaltung der Beleuchtungsanlage sowie für die orientierende Messung mit klassifizierten Beleuchtungsstärkemessgeräten mindestens der Klasse C sind ebenfalls enthalten.

Im Anhang 1 der ASR A3.4 sind für die verschiedenen Arbeitsräume, Arbeitsplätze und Tätigkeiten die Mindestwerte der Beleuchtungsstärke und des Farbwiedergabe Index R_a definiert. Adäquate Werte für Arbeitsbereiche, Arbeitsplätze und Tätigkeiten im Freien sind im Anhang 2 zu finden.

ASR A3.4/3 Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitsleitsysteme

Die ASR A3.4/3 detailliert die Anforderungen an das Einrichten und Betreiben der Sicherheitsbeleuchtung und von optischen Sicherheitsleitsystemen aus der Arbeitsstättenverordnung. Neben den allgemeinen Angaben sind auch konkrete Werte für die Beleuchtungsstärke, die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung sowie deren Verfügbarkeitsdauer und der Farbwiedergabe enthalten. Weitere Hinweise für den Betrieb, die Instandhaltung und die Prüfung der Anlage sind ebenfalls darin zu finden.

Literaturverzeichnis

Bücher

Beleuchtungstechnik Grundlagen

Baer, Barfuß, Seifert, huss Verlag 2015, ISBN 978-3-341-01634-3

Beleuchtungstechnik für Praktiker: Grundlagen, Lampen, Leuchten, Planung, Messung

Hans Rudolf Ris, VDE Verlag 2015, ISBN 978-3-8007-3617-1

Beleuchtungstechnik für den Elektrofachmann Lampen, Leuchten und ihre Anwendung

Zieseniß – Lindemuth - Schmits, Hüthig & Pflaum Verlag 2009, ISBN 978-3-8101-0273-7

Kostenfreie Druckschriften

Zumtobel - Lichthandbuch

www.zumtobel.com/PDB/teaser/DE/Lichthandbuch.pdf

licht.wissen: Die Schriftenreihe von licht.de

<https://www.licht.de/de/service/publikationen-und-downloads/heftreihe-lichtwissen>

licht.de-Schriften: Schnell informiert über Trendthemen

<https://www.licht.de/de/service/publikationen-und-downloads/sonstige-lichtde-schriften>

Vortragsfolien von licht.de

<https://www.licht.de/de/service/publikationen-und-downloads/vortragsfolien>

ZVEI-Schriften: Informationen aus der Praxis

<https://www.licht.de/de/service/publikationen-und-downloads/zvei-schriften>

LightingEurope: Infos für den europäischen Licht-Markt

<https://www.licht.de/de/service/publikationen-und-downloads/lightingeurope-schriften>

Normenverzeichnis

Definitionen und Messtechnik

DIN EN 12665	2018-08	Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung
IEC 60050-845	1987	International Electrotechnical Vocabulary. Lighting
DIN 5032-7	2017-02	Lichtmessung - Teil 7; Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräten
DIN 5032-8	2017-02	Lichtmessung - Teil 8: Datenblatt für Beleuchtungsstärkemessgeräte
DIN 5032-9	2015-01	Lichtmessung - Teil 9: Messung der lichttechnischen Größen von inkohärent strahlenden Halbleiterlichtquellen
DIN 5032-10	2019-09	Norm-Entwurf: Lichtmessung - Teil 10: Leuchtdichtemesskamera, Begriffe, Eigenschaften und deren Kennzeichnung
DIN 5032-11	2019-09	Norm-Entwurf: Lichtmessung - Teil 11: Nahfeldgoniophotometer, Begriffe, Eigenschaften und deren Kennzeichnung
CIE ISO 19476 / CIE S 023/E	2014-06	Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters
DIN EN ISO 11664-1	2011-07	Farbmetrik - Teil 1: CIE farbmetrische Normalbeobachter
DIN EN ISO 11664-1	2019-04	Norm-Entwurf: Farbmetrik - Teil 1: CIE farbmetrische Normalbeobachter
DIN EN ISO 11664-2	2011-07	Farbmetrik - Teil 2: CIE Normlichtarten
DIN EN ISO 11664-3	2013-08	Farbmetrik - Teil 3: CIE Farbwerte
DIN EN ISO 11664-3	2019-04	Norm-Entwurf: Farbmetrik - Teil 3: CIE Farbwerte
DIN EN ISO 11664-4	2012-06	Farbmetrik - Teil 4: CIE 1976 L*a*b* Farbenraum
DIN EN ISO 11664-4	2019-04	Norm-Entwurf: Farbmetrik - Teil 4: CIE 1976 L*a*b* Farbenraum
DIN EN ISO 11664-5	2017-01	Farbmetrik - Teil 5: CIE 1976 L*u*v* Farbenraum und gleichabständige u', v'-Farbtafel
DIN EN ISO 11664-6	2016-12	Farbmetrik - Teil 6: CIEDE2000 Formel für den Farbabstand
CIE 015	2018	Farbmessung
DIN 5033-1	2017-10	Farbmessung – Teil 1: Grundbegriffe der Farbmetrik
DIN 5033-7	2014-10	Farbmessung - Teil 7: Messbedingungen für Körperfarben
DIN 5033-8	1982-04	Farbmessung; Messbedingungen für Lichtquellen
DIN 5033-9	2018-04	Farbmessung – Teil 9: Weißstandard zur Kalibrierung in Farbmessung und Photometrie (Teil Farbmessung, teilweise ersetzt durch ISO 11664)
CIE 13.3	1995	Verfahren zur Messung und Kennzeichnung der Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen
DIN 6169-1	1976-01	Farbwiedergabe – Teil 1: Allgemeine Begriffe
DIN 6169-2	1976-02	Farbwiedergabe – Teil 2: Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik

Flicker

IEEE 1789	2015	IEEE Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers
CIE TN 006	2016	Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems - Definitions an Measurement Models

Langnachleuchtende Pigmente und Produkte

DIN 67510-1	2009-11	Langnachleuchtende Pigmente und Produkte – Teil 1: Messung und Kennzeichnung beim Hersteller
DIN 67510-1	2019-01	Norm-Entwurf: Langnachleuchtende Pigmente und Produkte – Teil 1: Messung und Kennzeichnung beim Hersteller
DIN 67510-2	2002-10	Langnachleuchtende Pigmente und Produkte – Teil 2: Messung von langnachleuchtenden Produkten am Ort der Anwendung
DIN 67510-3	2011-04	Langnachleuchtende Pigmente und Produkte — Teil 3: Bodennahes langnachleuchtendes Sicherheitsleitsystem"

Tageslicht in Innenräumen

DIN 5034-1	2011-07	Tageslicht in Innenräumen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen
DIN 5034-1	2019-12	Norm-Entwurf: Tageslicht in Innenräumen - Teil 1: Begriffe und Mindestanforderungen
DIN 5034-2	1985-02	Tageslicht in Innenräumen – Teil 2: Grundlagen
DIN 5034-2	2019-12	Norm-Entwurf: Tageslicht in Innenräumen – Teil 2: Grundlagen
DIN 5034-3	2007-02	Tageslicht in Innenräumen - Teil 3: Berechnung
DIN 5034-3	2019-12	Norm-Entwurf: Tageslicht in Innenräumen - Teil 3: Berechnung
DIN 5034-5	2010-11	Tageslicht in Innenräumen - Teil 5: Messung
DIN 5034-5	2019-12	Norm-Entwurf: Tageslicht in Innenräumen - Teil 5: Messung
DIN 5034-6	2007-02	Tageslicht in Innenräumen - Teil 6: Vereinfachte Bestimmung zweckmäßiger Abmessungen von Oberlichtöffnungen in Dachflächen
DIN 5034-6	2019-12	Norm-Entwurf: Tageslicht in Innenräumen - Teil 6: Vereinfachte Bestimmung Zweckmäßiger Abmessungen von Oberlichtöffnungen in Dachflächen
VDI Richtlinie 6011		Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung
	2016-07	Blatt 1 – Grundlagen und allgemeine Anforderungen
	2018-07	Blatt 2 – Planungshinweise

Beleuchtung von Arbeitsstätten

ISO 8995-1, CIE S 008	2002-05	Lighting of work places -- Part 1: Indoor
ISO 8995-3, CIE S 016	2018-03	Lighting of work places -- Part 3: Lighting requirements for safety and security of outdoor work places
DIN EN 12464-1	2011-08	Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen
DIN EN 12464-1	2019-06	Norm-Entwurf: Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen
DIN EN 12464-2	2014-05	Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien
Ergänzung zur DIN EN 12464-1:		
DIN 5035-3	2006-07	Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 3: Beleuchtung im Gesundheitswesen
DIN 5035-6	2006-11	Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 6: Messung und Bewertung
DIN 5035-7	2004-08	Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen
DIN 5035-8	2007-07	Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 8: Arbeitsplatzleuchten - Anforderungen, Empfehlung und Prüfung
DIN EN ISO 9241-6	2001-03	Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 6: Leitsätze für die Arbeitsumgebung

ArbStättV	2010-07	Arbeitsstättenverordnung
ASR A3.4	2011-04	Technische Regeln für Arbeitsstätten – Beleuchtung (ersetzt 7/3 + 41/3)
ASR A3.4/7	2017-07	Technische Regeln für Arbeitsstätten - Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitsleitsysteme (ersetzt 7/4)
DGUV Information		
215-442	2008-10	Beleuchtung im Büro
DGUV Information		
215-210	2016-09	Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten

Notbeleuchtung

DIN EN 1838	2019-11	Angewandte Lichttechnik - Notbeleuchtung
CIE S 020 / ISO 30061	2007-11	Emergency Lighting
DIN EN 13032-3	2007-12	Licht und Beleuchtung - Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten - Teil 3: Darstellung von Daten für die Notbeleuchtung von Arbeitsstätten

Sportstättenbeleuchtung

DIN EN 12193	2019-07	Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung (ehem. DIN 67526-1)
DIN 67526-3	2018-03	Sportstättenbeleuchtung - Teil 3: Beleuchtung mit Tageslicht
DIN 18032-1	2014-11	Sporthallen – Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung Teil 1: Grundsätze für die Planung

Straßenbeleuchtung

DIN EN 13201-1	2020-01	Norm-Entwurf: Straßenbeleuchtung – Teil 1: Auswahl der Beleuchtungsklassen
DIN EN 13201-2	2016-06	Straßenbeleuchtung - Teil 2: Gütemerkmale
DIN EN 13201-3	2016-06	Straßenbeleuchtung - Teil 3: Berechnung der Gütemerkmale
DIN EN 13201-4	2016-06	Straßenbeleuchtung - Teil 4: Methoden zur Messung der Gütemerkmale von Straßenbeleuchtungsanlagen
DIN EN 13201-5	2016-06	Straßenbeleuchtung – Teil 5: Energieeffizienzindikatoren
DIN 67523-1	2010-06	Beleuchtung von Fußgängerüberwegen mit Zusatzbeleuchtung Teil 1: Allgemeine Gütemerkmale und Richtwerte
DIN 67523-2	2010-06	Beleuchtung von Fußgängerüberwegen mit Zusatzbeleuchtung Teil 2: Berechnung und Messung
DIN EN IEC 60598-2-3	2011-12	Leuchten - Teil 2-3: Besondere Anforderungen - Leuchten für Straßen- und Wegebeleuchtung

Anlagen zur Verkehrssteuerung

DIN EN 12352	2006-07	Anlagen zur Verkehrssteuerung - Warn- und Sicherheitsleuchten
DIN EN 12352	2015-02	Norm-Entwurf: Anlagen zur Verkehrssteuerung – Warn- und Sicherheitsleuchten
ISO 16508	1999-12	Road traffic lights - Photometric properties of 200 mm roundel signals

Beleuchtung in Schienenfahrzeugen

DIN EN 13272-1	2019-12	Bahnanwendungen - Elektrische Beleuchtung in Schienenfahrzeugen des öffentlichen Verkehrs - Teil 1: Vollbahnen
DIN EN 13272-2	2019-12	Bahnanwendungen - Elektrische Beleuchtung in Schienenfahrzeugen des öffentlichen Verkehrs - Teil 2: Städtische Schienenbahnen

Beleuchtung von Straßentunnel

DIN 67524-1	2019-01	Beleuchtung von Straßentunneln und Unterführungen – Teil 1: Allgemeine Güteermkmale und Richtwerte
DIN 67524-2	2011-06	Beleuchtung von Straßentunneln und Unterführungen – Teil 2: Berechnung und Messung
DIN EN 16276	2013-04	Evakuierungsbeleuchtung in Straßentunneln

Beleuchtung von Schleusenanlagen

DIN 67500	1987-12	Beleuchtung von Schleusenanlagen; Anforderungen, Berechnung und Messung
------------------	---------	---

Beleuchtung von Parkhäusern und Parkplätzen

DIN 67528	2018-04	Beleuchtung von öffentlichen Parkbauten und öffentlichen Parkplätzen
------------------	---------	--

Medizintechnik

DIN 6856-1	2007-10	Radiologische Betrachtungsgeräte und -bedingungen - Teil 1: Anforderungen und qualitätssichernde Maßnahmen in der medizinischen Diagnostik (Film!)
DIN 6868-157	2014-11	Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben – Teil 157: Abnahme- und Konstanzprüfung nach RöV an Bildwiedergabesystemen in ihrer Umgebung (Ersatz für DIN V 6868-57)
DIN EN 61223-2-5	2004-09	Bewertung und routinemäßige Prüfung in Abteilungen für medizinische Bildgebung - Teil 2-5: Konstanzprüfungen; Bildwiedergabegeräte (Monitore)
RöV	2011-10	Röntgenverordnung - Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung (§16) und Behandlung (§17) von Menschen

Pflanzenbeleuchtung

ANSI/CAN/UL 8800	2019-08	Standard for Horticultural Lighting Equipment And Systems
-------------------------	---------	---

Notizen



GOSSEN Foto- und Lichtmesstechnik GmbH | Lina-Ammon-Str. 22 | 90471 Nürnberg | Germany
Tel: + 49 (0) 911 800 621 - 0 | Fax: +49 (0) 911 800 621 - 29

www.gossen-photo.de