

Leitfaden

Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung

Begriffe, Definitionen und Messverfahren:
Grundlagen für Vergleichbarkeit

2. Ausgabe





Die Elektroindustrie

Impressum

Leitfaden

Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung

Begriffe, Definitionen und Messverfahren:

Grundlagen für Vergleichbarkeit

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-

und Elektronikindustrie e.V.

Fachverband Licht

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-293

Fax: +49 69 6302-400

E-Mail: licht@zvei.org

www.zvei.org

Verantwortlich:

Dr. Jürgen Waldorf

Geschäftsführer Fachverband Licht

Redaktion:

Autorenteam der AG SSL Nomenklatur

im Lenkungsausschuss Technik

November 2015

Trotz größtmöglicher Sorgfalt übernimmt der ZVEI keine Haftung für den Inhalt. Alle Rechte, insbesondere die zur Speicherung, Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, sind vorbehalten.

Grußwort

Die Nutzung von LEDs als Lichtquelle schreitet mit großen Schritten voran. In Deutschland werden mittlerweile bei der Beleuchtung im gewerblichen, industriellen und kommunalen Sektor jede zweite Außenleuchte und rund ein Drittel der Leuchten für den Innenbereich mit LED-Modulen verkauft (Stand Q1 2015).

Die Markttransformation hin zu LED-Beleuchtung verlief in den zurückliegenden 3–4 Jahren wesentlich schneller als von Studien vorausgesagt. Die Entwicklung neuer elektrotechnischer und lichttechnischer Standards bzw. Normen kann damit kaum Schritt halten. Entsprechend groß sind nach wie vor bei vielen Entscheidern und Nutzern die Informationsdefizite zu Technik und Performance von LED-Leuchten. Gleichzeitig wachsen die Möglichkeiten, die diese Technik bietet. Aufgrund der zunehmenden Komplexität fällt es schwerer, die eigenen Anforderungen zu definieren und dabei die bisher durch Beachtung einschlägiger Standards gewohnte hohe Qualität auch bei den gewählten neuen Beleuchtungslösungen zu sichern oder sogar zu verbessern.

Der ZVEI hat sich entschlossen, mit Blick auf die sich rasant weiterentwickelnde Technik seinen erfolgreichen Leitfaden zu aktualisieren und zu erweitern, um weiterhin eine einheitliche Sprachregelung für Hersteller und Lichtanwender zu schaffen. In der nun vorliegenden zweiten Ausgabe des Leitfadens wurden die neuesten technischen Normen miteinbezogen.

Bei der Erstellung einer bedarfsgerechten Beleuchtungsplanung ist es sinnvoll, die in diesem Leitfaden beschriebenen Parameter applikationsspezifisch zu betrachten. Hierzu empfiehlt es sich, auch das Informationsangebot der website www.licht.de zu nutzen.

Im Namen des Vorstands des Fachverbandes Licht bitte ich Sie, die Inhalte des Leitfadens bei Ihrer täglichen Arbeit und Kommunikation zu berücksichtigen.

Manfred Diez

Vorsitzender des Fachverbands Licht

Inhaltsverzeichnis

Grußwort des Vorsitzenden des Fachverbands Licht	3
I Beleuchtung mit LED – Eine neue Technologie ist im Markt angekommen	5
II Gesetzliche Regelungen in der EU	6
III Normen zur Arbeitsweise von LED-Leuchten	6
IV Bemessungswerte und deren Verwendung	8
1. Bemessungsleistung P (in Watt) von LED-Leuchten	8
2. Bemessungslichtstrom Φ_v (in lm) von LED-Leuchten	9
3. Lichtausbeute η_v (in lm/W) von LED-Leuchten	10
4. Lichtstärkeverteilung von LED-Leuchten	10
5. Farbqualität	11
5a. Die Lichtfarbe, beschrieben durch die ähnlichste Farbtemperatur T_{cp} (in K)	11
5b. Die Farbwiedergabe, beschrieben durch den Farbwiedergabeindex (R_a)	12
5c. Die Farborttoleranz, beschrieben durch MacAdam-Ellipsen	13
6. Bemessungsumgebungstemperatur der Leuchten	14
7. Lebensdauerkriterien von LED-Leuchten	14
7a. Bemessungslebensdauer ($L_x B_y$), Mittlere Bemessungslebensdauer (L_x) (Berücksichtigung des Lichtstromrückgangs)	16
7b. Anteil der Leuchten am Lichtstromrückgang (B_y)	16
7c. Berücksichtigung von Totalausfällen (AFV bzw. C_y)	17
7d. Systemzuverlässigkeit	17
8. Empfehlung des ZVEI	17
V Lichttechnische Planungshinweise	18
VI Photobiologische Sicherheit von LED-Leuchten	20
VII Weitere Qualitätsmerkmale in der LED-Beleuchtung	20
VIII LED-Retrofit-Lampen in der professionellen Beleuchtung	21
IX Ergänzungen zu Kapitel IV.4	21
X Anhang: Definitionen der Leistungsanforderungen der Qualitätskriterien	22
XI Quellenverzeichnis	26

I Beleuchtung mit LED – Eine neue Technologie ist im Markt angekommen

Die LED-Technologie hat sich in vielen Bereichen etabliert. Jeder zweite ausgegebene Euro für professionelle Beleuchtung in Deutschland wird bereits für die zukunftsweisende LED-Beleuchtung verwendet. Energieeinsparpotenziale von weit über 50 Prozent verbunden mit der langen Lebensdauer von LED-Leuchten realisieren erhebliche Kosteneinsparungen bei Betrieb und Wartung. Die daraus resultierenden kurzen Amortisationszeiten erleichtern den Wechsel zu dieser umweltfreundlichen Beleuchtungstechnologie. LED-Leuchten erweitern die Möglichkeiten um ein Vielfaches, Licht zu gestalten. Die LED-Technologie ermöglicht Millionen von Farben und dynamische Effekte, die herkömmliche Lichtquellen etwa für Design-, Szenen- und Ambiente-Beleuchtung nicht bieten können. Darüber hinaus kann sich der gezielte Einsatz von Farbdynamischer Beleuchtung positiv auf das Wohlbefinden auswirken und sogar die Leistungsfähigkeit steigern. LED-Leuchten sind analog und digital einfach steuerbar, damit programmierbar und eröffnen somit unbegrenzte Möglichkeiten zur kreativen Nutzung.

Gleichwohl gibt es weiterhin eine große Zahl zum Teil neuer und beleuchtungstechnologiefremder Marktteilnehmer, welche Produkte in den Markt geben, die ihren technischen Aussagen nicht entsprechen und deshalb zu einer Verunsicherung der Kunden führen. Zur weiteren Verbreitung und Akzeptanz der LED-Technologie sind daher einheitliche Definitionen und Bewertungsverfahren notwendig, damit Aussagen relativiert und anwendungsorientiert verglichen werden können.

Alle Beteiligten – Hersteller, Beleuchtungsplaner und Designer, Beschaffer und Nutzer – müssen wissen, was mit welchen technischen Daten gemeint ist und was in einer speziellen Anwendung erwartet werden kann.

Der Leitfaden wurde in seiner 2. Ausgabe dem aktuellen Stand der IEC-Normung angepasst und um weitere Qualitätsmerkmale ergänzt. Er hat zum Ziel, durch die Klarstellung notwendiger Begriffe und die Beschreibung der Messverfahren den Marktpartnern eine einheitliche Sprachregelung und Ausrichtung der verwendeten Parameter an die Hand zu geben. Es ist absolut wichtig, einen einheitlichen Satz von standardisierten bzw. genormten und damit vergleichbaren Qualitätskriterien bei der Beurteilung technischer Aussagen zu verwenden.

Der Fachverband Licht hat zur Erreichung und Dokumentation einer einheitlichen Nomenklatur eine Arbeitsgruppe eingerichtet. Ihre Aufgabe war es, die wichtigsten Parameter zur Beschreibung von LED-Leuchten als Teil der LED-Beleuchtung zu identifizieren und zu erklären. Die vorliegende Schrift ist von dieser Arbeitsgruppe erstellt worden. Bei der Verwendung und Angabe der ausgewählten Daten zu LED-Leuchten sollten die Ausführungen dieser Schrift berücksichtigt werden.

[Mehr zum Thema der Beurteilung der Qualität von LED-Beleuchtungsanlagen kann der ZVEI Checkliste „Arbeits- und Entscheidungshilfe zur Auswahl von LED-Leuchten“ entnommen werden, die auf \[www.zvei.org\]\(http://www.zvei.org\) zu finden ist.](#)

II Gesetzliche Regelungen in der EU

In der EU gilt allgemein, dass elektrische Betriebsmittel nur dann in den Verkehr gebracht werden dürfen, wenn die grundlegenden Anforderungen der anzuwendenden europäischen Richtlinien (umgesetzt in nationale Gesetze) eingehalten werden.

Lichtquellen (Lampen, Module) und Leuchten für Beleuchtungszwecke unterliegen somit der Niederspannungsrichtlinie, der EMV-Richtlinie, der ErP-Richtlinie und der Richtlinie über die allgemeine Produktsicherheit. Entsprechend sind von den Produkten die Anforder-

ungen zur Sicherheit, zur EMV, zu den EMF, Ökodesign usw. einzuhalten und zu dokumentieren. Ausführungen zu diesen Richtlinien-Anforderungen wurden in diesen Leitfaden nicht aufgenommen, es wird ausschließlich die verwendete Nomenklatur beschrieben und erklärt.

Die angesprochenen gesetzlichen Regelungen verweisen auf den „Stand der Technik“, der im Wesentlichen über die einschlägigen Normen definiert ist, die auch im Official Journal der EU gelistet werden.

III Normen zur Arbeitsweise von LED-Leuchten

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) hat Normen zur Arbeitsweise von LED-Leuchten und LED-Module erarbeitet. Die Veröffentlichung der IEC-Normen ist mittlerweile erfolgt. In den Normen zur Arbeitsweise von LED-Produkten sind Qualitätskriterien definiert und allgemein gültige Messbedingungen vereinbart.

Auf dieser Basis ist allen mit der Thematik befassten Kreisen eine vergleichende Beurteilung möglich. Grundlage des vorliegenden Leitfadens bilden die nachfolgenden Normen für LED-Leuchten und LED-Module.

Normen zur Arbeitsweise von LED-Leuchten:

- IEC 62722-1:2014-09; Arbeitsweise von Leuchten – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- IEC 62722-2-1:2014-11; Arbeitsweise von Leuchten – Teil 2-1: Besondere Anforderungen an LED-Leuchten

Norm zur Arbeitsweise von LED-Modulen:

- IEC 62717:2014-12+AMD:2015; LED-Module für Allgemeinbeleuchtung – Anforderungen an die Arbeitsweise

Die Anforderungen an die Arbeitsweise von LED-Leuchten sind direkt verknüpft mit den Festlegungen in der Norm für LED-Module; deshalb muss die Betrachtung dieser Norm bei der Beurteilung von LED-Beleuchtungseinrichtungen mit eingeschlossen werden.

Gerade im schnell wachsenden LED-Marktsegment ist eine auf festgelegten, einheitlichen Parametern aufbauende Datenbasis zwingende Voraussetzung für die Industrie, um in einem fairen Wettbewerb Vertrauen zu erzeugen und Verlässlichkeit gemachter technischer Angaben gewährleisten zu können. Allen Marktpartnern soll so Sicherheit bei der Umsetzung von LED-Beleuchtungseinrichtungen gegeben werden.

Folgende Kennwerte wurden als wichtige Kenngrößen identifiziert:

1. Bemessungsleistung
(rated input power)
2. Bemessungslichtstrom
(rated luminous flux)
3. Leuchten-Lichtausbeute
(luminaire efficacy)
4. Lichtstärkeverteilung
(luminous intensity distribution)
5. Farbqualität
 - a. ähnlichste Farbtemperatur
(correlated colour temperature)
 - b. Farbwiedergabe-Index
(colour rendering index)
 - c. Farborttoleranz (colour tolerance)
6. Bemessungsumgebungstemperatur
(rated ambient temperature)
7. Lebensdauerkriterien (rated life in h of the LED luminaire and the associated rated lumen maintenance)

Ohne Angabe dieser Werte (ermittelt nach den IEC-Normen zur Arbeitsweise) ist ein technischer Vergleich von Leuchten nach objektiven Kriterien nicht möglich.

Es soll auch auf die Dokumentationspflicht (nach der VERORDNUNG (EU) Nr. 1194/2012 DER KOMMISSION vom 12. Dezember 2012 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lampen mit gebündeltem Licht, LED-Lampen und dazugehörigen Geräten) zur CE-Kennzeichnung von Produkten hingewiesen werden. Die Arbeitsweiseanforderungen aus den Normen IEC 62722-1 und IEC 62722-2-1 bilden dabei oft die Grundlage der Bewertung.

Im Folgenden werden die einzelnen Kennwerte (technischen Parameter) näher beschrieben.

IV Bemessungswerte und deren Verwendung

Bestimmte thermische, elektrische und photometrische Daten von Lichtquellen und Leuchten werden als Bemessungswert publiziert: Das ist ein quantitativer Wert für eine bestimmte Eigenschaft unter spezifizierten Betriebsbedingungen. Werte und Bedingungen für die Angabe der Bemessungswerte sind in den entsprechenden Normen festgelegt. Nur dann, wenn die Bemessungswerte unter Einhaltung der entsprechenden Regeln ermittelt werden, ist ein sinnvoller Vergleich der Produktangaben unterschiedlicher Hersteller möglich.

Zur Berücksichtigung möglicher unterschiedlicher Produktdesigns von Herstellern oder Abweichungen in Komponenten und Toleranzen in Produktionsprozessen sollte der Bemessungswert mit einem Grenzwert publiziert werden. So werden im Allgemeinen sichere Betriebsbedingungen erreicht und optimale Daten über die jeweiligen Eigenschaften der Lichtquellen und Leuchten zur Verfügung gestellt. Typische Beispiele sind die Werte für Bemessungseingangsleistung und Bemessungslichtstrom von LED-Leuchten, deren Angabe durch die Normen IEC 62722-1 und IEC 62722-2-1 gefordert wird.

Unterschiedliche Leistungskenngrößen sind nicht neu. Das Beispiel einer zweiseitig gesockelten stabförmigen Leuchtstofflampe 58W, betrieben am EVG, erläutert den Zusammenhang der unterschiedlichen Werte:

- **Die Nennleistung der Lampe ist 58 Watt** – praktisch der Name der Lampe (nominal value = Nennwert).
- **Die Bemessungsleistung der Lampe am EVG ist aber nur 50 Watt** – die Leistung, für die die Lampe bei Betrieb am EVG ausgelegt wurde (rated value = Bemessungswert).
- **Die gemessene Leistung der Lampe kann 49 Watt sein** – die Toleranzen der tatsächlichen Leistung sind in den Datenblättern der Lampen wiedergegeben.

1. Bemessungsleistung P (in Watt) von LED-Leuchten

Bei Leuchten mit auswechselbaren LED-Lampen werden die Nennleistung(en) und die Anzahl der Lampen angegeben.

Für Leuchten mit LED-Modulen besteht dagegen die Notwendigkeit, die Bemessungseingangsleistung der Leuchten in den technischen Daten der Leuchten anzugeben.

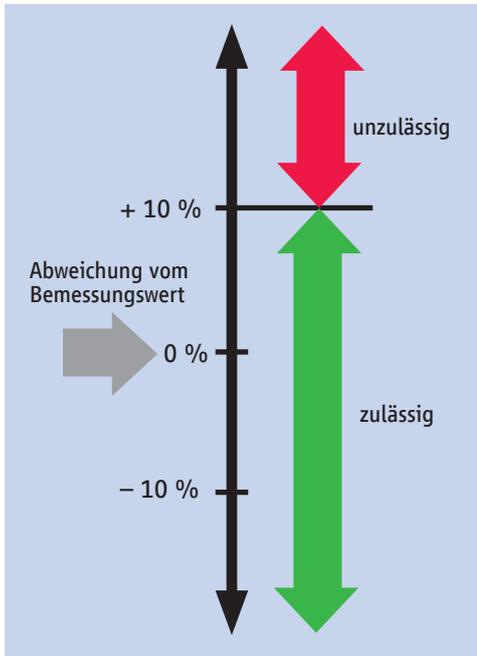
Die gemessene Eingangsleistung einer LED-Leuchte darf bei Betrieb mit Bemessungsspannung, bei Bemessungsumgebungstemperatur t_a und mit 100 Prozent Lichtleistung nach thermischer Stabilisierung den angegebenen Wert der Bemessungseingangsleistung um nicht mehr als 10 Prozent überschreiten.

Bedingt durch Bauelemente-Toleranzen können Schwankungen der Leistungswerte in den LED-Modulen und den EVG auftreten, die sich auf den Wert der Eingangsleistung der Leuchte auswirken. Um die + 10 Prozent Toleranzgrenze einzuhalten, ist es daher notwendig, die Bauelemente-Toleranzen bei der Ermittlung der Bemessungseingangsleistung zu berücksichtigen. Die Bemessungseingangsleistung definiert einen Wert, der sich als typischer Wert für die gesamte Fertigungsbreite des Produktes ergibt.

Bemessungsleistungen < 10 W müssen mit einer Nachkommastelle angegeben werden (eine Beachtung der zulässigen Toleranzen vorausgesetzt, werden von vielen Herstellern Rundungen auf $x,0$ - oder $x,5$ - Werte praktiziert), Bemessungsleistungen ≥ 10 W sind als ganzzahlige Werte anzugeben.

Für Leuchten mit Konstantlichtstrom-Technologie ist zusätzlich der Bemessungswert der Eingangsleistung am Ende der Bemessungslebensdauer $L_x B_y$ (siehe Kap. 7a) anzugeben.

Abb. 1: Darstellung der Toleranzfelder der Bemessungseingangsleistung



2. Bemessungslichtstrom Φ_v (in lm) von LED-Leuchten

Bei LED-Leuchten ist der Bemessungslichtstrom der Leuchte in Lumen (lm) in der Produktdokumentation anzugeben. Der Bemessungslichtstrom definiert einen Wert, der sich als typischer Wert für die gesamte Fertigungsbreite des Produktes ergibt. Er bezieht sich immer auf den Neuwert des Lichtstroms einer Leuchte, der unter festgelegten Betriebsbedingungen ermittelt und angegeben wird.

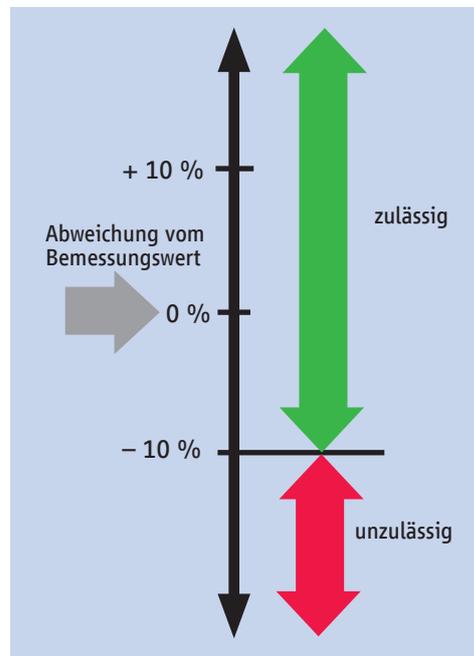
Der Bemessungslichtstrom der Leuchte kann durch geeignete Berechnungsmethoden ermittelt werden.

Die gemessenen Anfangswerte des Lichtstroms von Leuchten dürfen den veröffentlichten Bemessungslichtstrom um nicht mehr als zehn Prozent unterschreiten. Für den angegebenen Lichtstromwert der gesamten LED-Leuchte wird eine Umgebungstemperatur t_a von 25 °C zugrunde gelegt, sofern keine anderen Informationen gegeben werden.

Anmerkung: Für Leuchten mit traditionellen Lichtquellen (Lampen mit Sockel/Fassungssystem) ist es nicht üblich, den Leuchtenlichtstrom zu messen und zu veröffentlichen. Hier wird normalerweise der Lampen-Lichtstrom (der verwendeten Lampen) mit dem Leuchten-Betriebswirkungsgrad (LOR oder η_{LB}) multipliziert. Die separate Angabe des Leuchten-Betriebswirkungsgrads verliert für Leuchten mit LED-Modulen an Bedeutung. Aufgrund des hohen technischen Aufwands, der zu seiner Ermittlung nötig wäre, wird er von vielen Leuchtenherstellern auf den rein theoretischen Wert von 100 Prozent festgelegt.

Nähere Einzelheiten zur Ermittlung der Lichtstromwerte (sogenannte Absolut-Photometrie) sind der Norm DIN EN 13032-4 zu entnehmen.

Abb. 2: Darstellung der Toleranzfelder des Bemessungslichtstroms

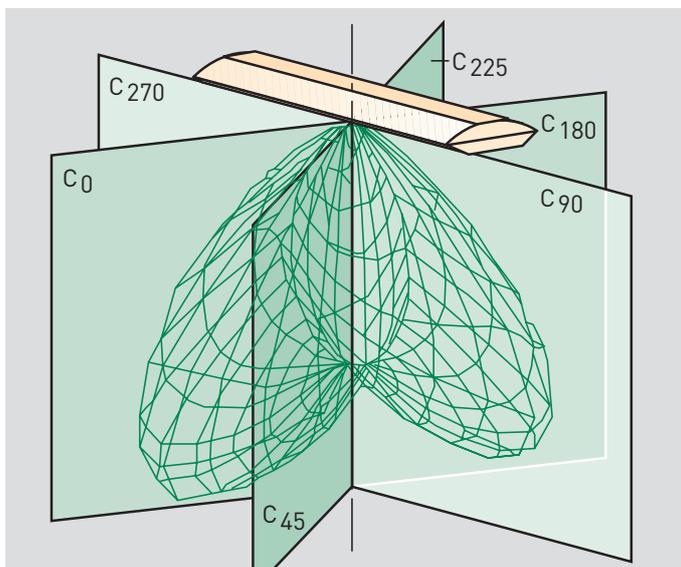


3. Lichtausbeute η_v (in lm/W) von LED-Leuchten

Die Lichtausbeute einer LED-Leuchte ist der Quotient aus dem gemessenen Lichtstrom und der Eingangsleistung einer Leuchte. Für die Darstellung von Produktdaten einer ganzen LED-Leuchtencharge sollten im Leuchtendatenblatt zur Ermittlung der Lichtausbeute der Bemessungslichtstrom und die Bemessungsleistung als Quotienten verwendet werden. Die Einheit ist Lumen pro Watt (lm/W).

Anmerkung: Gelegentlich wird die Leuchten-Lichtausbeute zur Bewertung der Energieeffizienz herangezogen. Zur Beurteilung der Energieeffizienz reicht in der Regel eine alleinige Betrachtung dieses Wertes nicht aus, da in diesem auch Streulichtanteile mit einbezogen sind, die nicht zur Beleuchtung der Zielfläche beitragen. Dies gilt in besonderem Maße zum Beispiel für eng strahlende Leuchten oder für Straßenleuchten.

Abb. 3: Beispiel der Lichtstärkeverteilung einer Innenraumleuchte



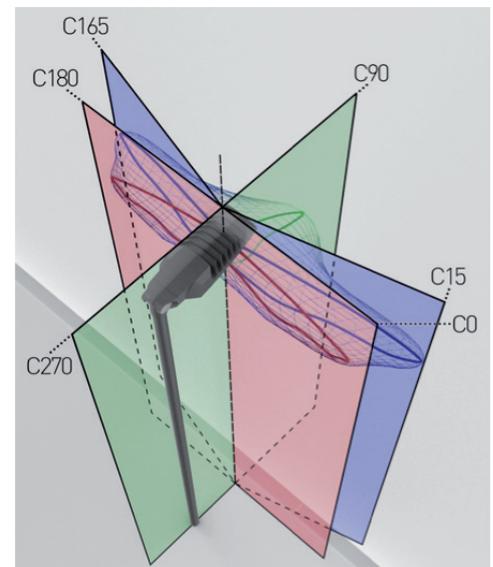
4. Lichtstärkeverteilung von LED-Leuchten

Lichtstärkeverteilungen werden mit einem Goniophotometer ermittelt und sind in den lichttechnischen Planungsunterlagen dokumentiert.

Die räumliche Verteilung der Lichtstärke von Lichtquelle und Leuchten wird durch Lichtstärkeverteilungskurven beschrieben. Abbildung 3 zeigt sie am Beispiel einer Innenraumleuchte und Abbildung 4 am Beispiel einer Straßenleuchte.

Schnitte durch die senkrechte Achse stellen Lichtstärkeverteilungskurven (LVK) in C-Ebenen mit den jeweils in den Ebenen auftretenden Ausstrahlungswinkel γ dar, die in Polarkoordinaten gemäß der Norm DIN EN 13032-2 zu dokumentieren sind. Darin sind die Werte der Lichtstärke bei genormten Betriebsbedingungen der Leuchte (zum Beispiel Gebrauchslage) dargestellt. Sie werden in cd (Candela) oder in cd/klm (Candela pro Kilolumen) angegeben. Weitere Details zur Auslegung der Lichtstärkeverteilungskurven finden Sie in Kapitel IX.

Abb. 4: Beispiel der Lichtstärkeverteilung einer Straßenleuchte



5. Farbqualität

Die Farbqualität von weißem Licht wird durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet:

- a Die Lichtfarbe, beschrieben durch die ähnlichste Farbtemperatur
- b Die Farbwiedergabe, beschrieben durch den Farbwiedergabeindex
- c Die Farbortoleranz, beschrieben durch MacAdam-Ellipsen

5a. Die Lichtfarbe, beschrieben durch die ähnlichste Farbtemperatur T_{cp} (in K)

Weißes Licht tritt sowohl in der Natur als auch bei der Erzeugung durch künstliche Lichtquellen in verschiedenen Farbtönen auf. So ist z. B. Tageslicht um die Mittagszeit bei bedecktem Himmel eher bläulich und in den Morgen- und Abendstunden eher etwas rötlich getönt.

Zur exakten Definition von Lichtfarben benutzt man die so genannte „ähnlichste Farbtemperatur T_{cp} “.

Diese wird in den Datenblättern von Leuchtmitteln bzw. LED-Leuchten in Kelvin (K) angegeben, dabei sollten die Angaben in 100 K-Schritten erfolgen (unverbindliche Empfehlung).

Es ist zu beachten, dass unterschiedliche Lichtquellen trotz des gleichen Werts für die ähnlichste Farbtemperatur noch verschiedene Tönungen des Lichts aufweisen können (unter anderem ist das der Grund für die Bezeichnung „ähnlichste“ Farbtemperatur).

Abbildung 5 zeigt das CIE Normvalenzsystem (oft auch CIE-Farbdreieck genannt), ein Koordinatensystem mit dem sich alle für den Menschen wahrnehmbaren Farben als xy-Koordinaten ablesen lassen. Die gekrümmte Linie wird auch als „Planckscher Kurvenzug“ bezeichnet. Die Geraden, die diese Linie schneiden, beinhalten alle Koordinaten der jeweils angegebenen ähnlichsten Farbtemperatur.

Hieraus wird ersichtlich, warum zwei Lichtquellen trotz des gleichen Wertes für die ähnlichste Farbtemperatur unterschiedliche Farbtönungen aufweisen können. Häufig werden Lichtfarben mit den Begriffen „Warmweiß“ (ww), „Neutralweiß“ (nw) und „Tageslichtweiß“ (tw) angegeben. Als „Warmweiß“ werden dabei alle Lichtquellen mit einer Farbtemperatur bis 3.300 K bezeichnet, als „Neutralweiß“ alle Farbtemperaturen von 3.300 K bis 5.300 K und als „Tageslichtweiß“ alle Farbtemperaturen über 5.300 K.

Abb. 5: CIE Normvalenzsystem-Koordinatensystem zur Definition aller durch den Menschen wahrnehmbaren Farben

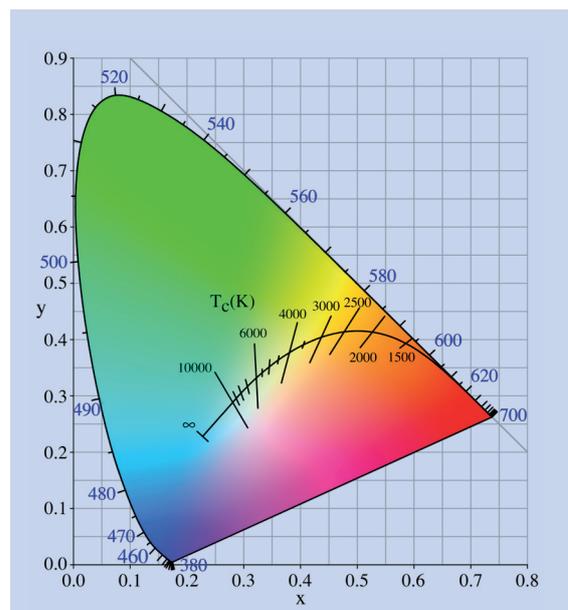


Abb. 6: Beispiel einer guten Farbwiedergabe



Abb. 7: Beispiel einer ungenügenden Farbwiedergabe



5b. Die Farbwiedergabe, beschrieben durch den Farbwiedergabeindex R_a

Trotz gleicher Lichtfarbe können Leuchtmittel aufgrund unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung ihrer Strahlung unterschiedliche Farbwiedergabe-Eigenschaften haben. Zur objektiven Kennzeichnung der Farbwiedergabe-Eigenschaften einer Lichtquelle wurde der allgemeine Farbwiedergabeindex R_a eingeführt. Er bezeichnet das Maß der Übereinstimmung der gesehenen Körperfarbe mit ihrem Aussehen unter einer bestimmten Bezugslichtquelle. Leuchtmittel mit einem Farbwiedergabeindex kleiner als 80 sollten nach EN 12464-1 bei Arbeitsplätzen im Innenbereich, in denen sich Menschen für län-

gere Zeit aufhalten, nicht verwendet werden. Bei R_a -Werten über 90 spricht man von einer sehr guten, bei Werten zwischen 80 und 90 von einer guten Farbwiedergabe.

Um die Lichtfarbe und Farbwiedergabe von Lichtquellen zusätzlich zu den herstellertypischen Bezeichnungen allgemeinverständlich zu kennzeichnen, ist international eine herstellernerneutrale Farbbezeichnung eingeführt worden, die aus drei Ziffern besteht (siehe Tabelle 1). Zum Beispiel entspricht die Bezeichnung 840 für ein Leuchtmittel einem Farbwiedergabeindex von 80 bis 89 und einer Farbtemperatur von 4.000 K, was der Lichtfarbe Neutralweiß entspricht.

Tab. 1: Kennzeichnung von LED-Leuchten bezüglich der R_a -Bereiche und der Lichtfarbe

Die 1. Ziffer kennzeichnet die Farbwiedergabe		Die 2. und 3. Ziffer kennzeichnen die Lichtfarbe	
1. Ziffer	R_a -Bereich	2. und 3. Ziffer	Farbtemperatur
9	90 – 100	27	2.700 K
8	80 – 89	30	3.000 K
7	70 – 79	40	4.000 K
6	60 – 69	50	5.000 K
5	50 – 59	60	6.000 K
4	40 – 49	65	6.500 K

5c. Die Farborttoleranz, beschrieben durch MacAdam-Ellipsen

Die Farbwertanteile einer bestimmten Farbe können durch x- und y-Koordinaten im CIE-Farbdiaagramm (nach Farbtabelle CIE 1931; DIN 5033) exakt beschrieben werden. Der Unbuntpunkt (die Farbe Weiß) hat zum Beispiel die Koordinaten $x = 0,333$ und $y = 0,333$.

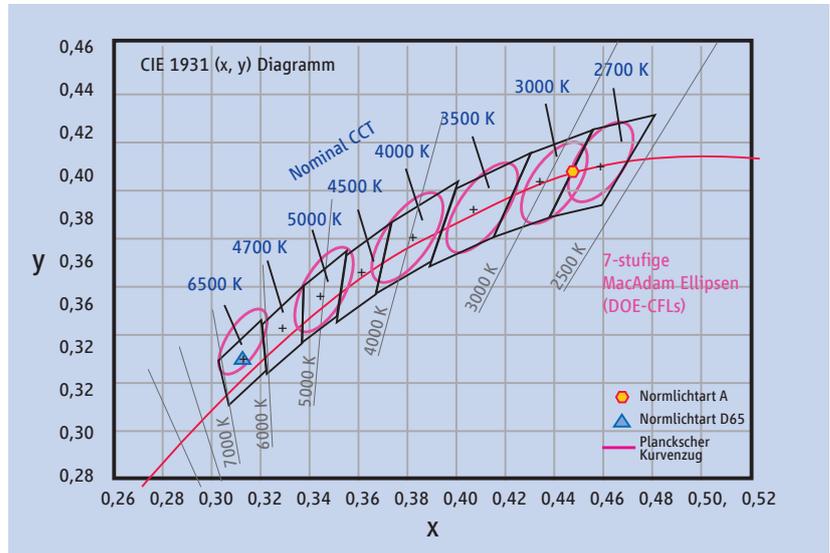
Bei der Fertigung von LED-Chips treten Toleranzen auf, die unter anderem zu Unterschieden in der Lichtfarbe führen können. Deshalb werden LED nach der Produktion gemessen und in Toleranzklassen aufgeteilt. Dieser Prozess wird „Farb-Binning“ genannt. Ein Farb-Bin entspricht einer bestimmten (viereckigen) Fläche im CIE-Farbdreieck. Seit 2008 existiert eine Standard-Binningstruktur des ANSI (American National Standards Institute).

In vielen Fällen wird die ANSI-Klassifizierung als zu grob empfunden. Deshalb wurde basierend auf den Untersuchungen von David MacAdam ein System von Ellipsen entwickelt, um Farbabweichungen genauer beschreiben zu können.

MacAdam-Ellipsen beschreiben Bereiche im CIE-Farbdiaagramm, bei denen das menschliche Auge keine Farbunterschiede zum Zentrum der Ellipse erkennt. Die äußere Begrenzung der Ellipse kennzeichnet die gerade noch unterscheidbaren Farben.

MacAdam-Ellipsen werden oft auf einen gegenüber dem Original zum Beispiel drei-, fünf- oder siebenfachen Durchmesser vergrößert. Diese 3-, 5- oder 7-Stufen-MacAdam-Ellipsen werden zur Unterscheidung zweier Lichtquellen herangezogen; die Stufen repräsentieren dabei das Maß für den Farb- abstand. Lichtquellen mit einem Farb- abstand einer 3-Stufen- MacAdam-Ellipse unterscheiden sich weniger stark als zwei Lichtquellen, deren Farb- abstand einer 5-Stufen-MacAdam-

Abb. 8: Standard-Binningstruktur gemäß ANSI C78.377A als Ausschnitt aus dem CIE-Farbdreieck



Ellipse entspricht. Insbesondere in Beleuchtungsanwendungen, in denen sich einzelne Lichtquellen in räumlicher Nähe befinden und gleichzeitig gesehen werden können, sollte auf geringe Farb- abstände geachtet werden.

Abb. 9: CIE-Normvalenzsystem mit eingezeichneten MacAdam-Ellipsen (zur besseren Erkennbarkeit 10-fach vergrößert dargestellt)

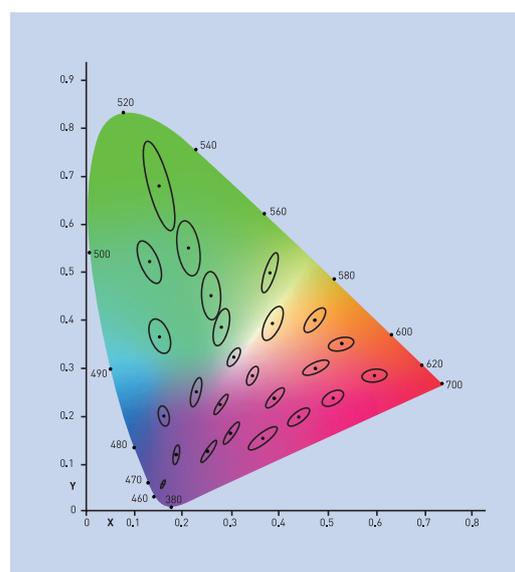
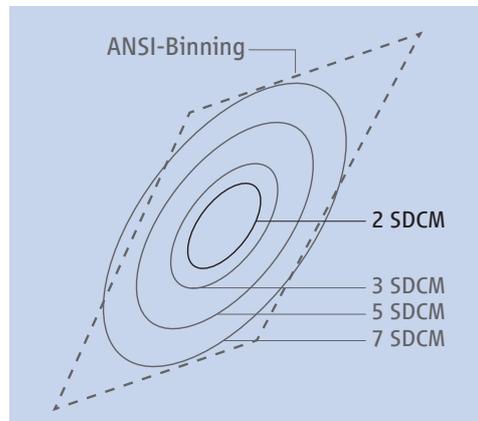


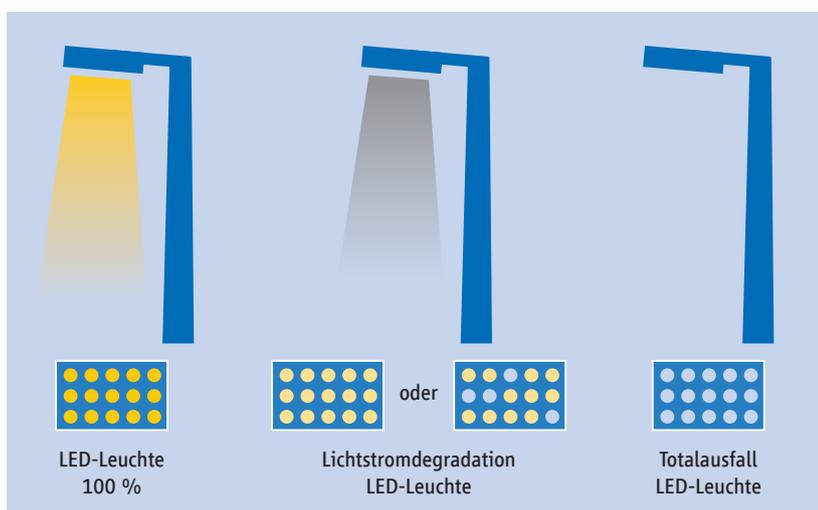
Abb. 10: MacAdam-Ellipsen innerhalb eines ANSI-Binnings



Somit wird die Farborttoleranz von Lichtquellen anhand dieser Stufen von MacAdam-Ellipsen bewertet (auch SDCM – Standard Deviation of Colour Matching genannt). Für kompakte Leuchtstofflampen wird zum Beispiel laut internationaler Standardisierung eine Toleranz von maximal einer MacAdam-Ellipse der Stufe 7 (gleichbedeutend mit 7 SDCM) empfohlen. Ab einem Wert von > 3 SDCM sind Unterschiede zwischen Farben am Rand der Ellipse und deren Zentrum wahrnehmbar.

Durch Alterung der Chips und der verwendeten Leuchtstoffe ändern sich bei LED die Farborte im Laufe der Lebensdauer. Deshalb erfolgt die Angabe der Farborttoleranzen häufig mit einem Anfangswert zum Zeitpunkt

Abb. 11: Darstellung der Fehlersituation einer Leuchte (Neuzustand, Degradation und Totalausfall)



der Inbetriebnahme und einem weiteren Wert nach Ablauf einer bestimmten Betriebsdauer (z.B. < 3 SDCM initial und < 5 SDCM nach 50.000 h).

6. Bemessungsumgebungstemperatur der Leuchten

Das Betriebsverhalten einer Leuchte wird durch die Umgebungstemperatur beeinflusst. Mit dem Wert t_a wird die höchste Bemessungsumgebungstemperatur (im Betrieb darf der Wert kurzzeitig um 10 K überschritten werden) festgelegt, bei der die Leuchte unter Einhaltung aller sicherheitsrelevanten Parameter betrieben werden darf. Bei einem Wert von $t_a = 25$ °C ist keine Angabe auf der Leuchte erforderlich, davon abweichende Werte sind zu kennzeichnen (Gleiches gilt für t_q).

Neu hinzu kommt die Temperaturangabe t_q (Quality), mit der die höchste Bemessungsumgebungstemperatur gekennzeichnet wird, die für eine bestimmte Arbeitsweise (unter anderem Lebensdauer, lichttechnische Eigenschaften) zulässig ist. Es ist möglich, verschiedene t_q -Werte mit dazugehörigen Arbeitsweiseeigenschaften anzugeben.

7. Lebensdauerkriterien von LED-Leuchten

Die Lebensdauer von LED-Leuchten wird nicht ausschließlich durch den Zeitpunkt des Totalausfalls beschrieben. Der Großteil der Leuchten fällt bis zu einem gewissen Zeitpunkt tatsächlich nicht aus, sondern der Lichtstrom nimmt im Laufe der Zeit ab (Degradation). Die Lebensdauer von LED-Leuchten wird demzufolge im Wesentlichen durch das Unterschreiten eines zuvor festgelegten Mindestlichtstroms „x [%]“ und durch die Totalausfälle beschrieben. Ausfälle von Vorschaltgeräten werden bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

Grund für den Lichtstromrückgang, die Lichtstrom-Degradation, kann neben der Degradation der LED auch der Ausfall von einzelnen LED oder LED-Modulen sein, die je nach Konstruktion der Leuchte in einer Vielzahl verbaut sein können.

Neuzustand, Degradation und Totalausfall einer Leuchte sind in Abbildung 11 dargestellt (Terminologie gemäß IEC 62717:2014-12+AMD:2015).

Die beiden Lebensdauerkriterien Lichtstrom-Degradation und Totalausfall sind Bestandteil der Definitionen der aktuellen IEC-Norm 62722-2-1:2014-11. Auf dieser Basis werden die Lebensdauerkriterien in Abbildung 12a und 12b näher dargestellt. Dabei wird derzeit zwischen der Bemessungslebensdauer L_{xB_y} und der mittleren Bemessungslebensdauer L_x unterschieden.

Angaben zu Bemessungslebensdauern und Ausfällen sind Prognosen. Da die Bemessungslebensdauern und die Zeitspannen bis zum Ausfall von LED-Leuchten sehr lang sind, können LED-Leuchten vor ihrer Markteinführung nicht über ihre gesamte Lebensdauer gemessen werden. Stattdessen werden kürzere Messzeiträume genutzt und die Ergebnisse dann nach definierten Verfahren extrapoliert, um daraus entsprechende Prognosen abzuleiten.

Der konstruktive Aufbau von LED-Leuchten hat einen signifikanten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und die Angaben zu den Bemessungslebensdauern der Leuchten. Daher können die Daten von LED bzw. von LED-Modulen nicht „eins-zu-eins“ als Daten für Lebensdauerangaben der LED-Leuchten übernommen werden, es sei denn, dass die technischen Betriebsparameter der eingesetzten LED bzw. LED-Module eingehalten werden.

Bei **LED-Leuchten** hängen Lichtstrom-Degradation und Totalausfall von den elektrischen und thermischen Betriebsdaten der eingebauten LED-Module, der Umgebungstemperatur der Leuchten in der Applikation und weiteren Umgebungsparametern der Leuchten ab. Der Leuchtenhersteller muss dem Anwender bzw. Planer einer Beleuchtungsanlage entsprechende Angaben zur Verfügung stellen, damit dieser in der Lichtplanung einen Wartungsplan erstellen kann (siehe Kapitel V).

Abb. 12a: Allgemeine Lebensdauerkriterien von LED-Leuchten

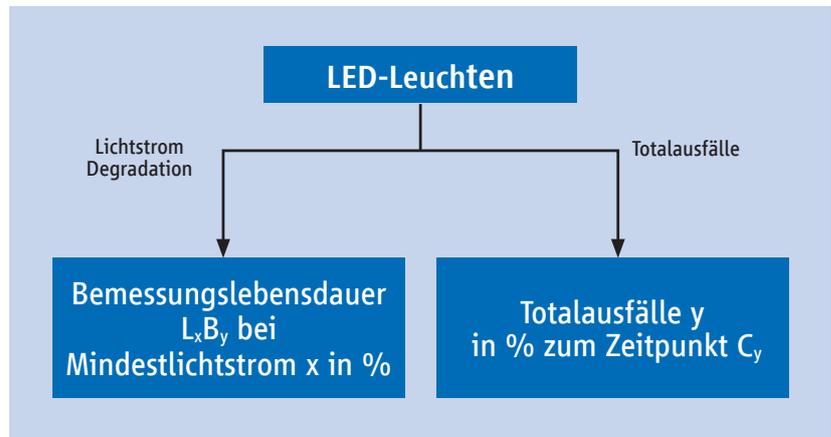
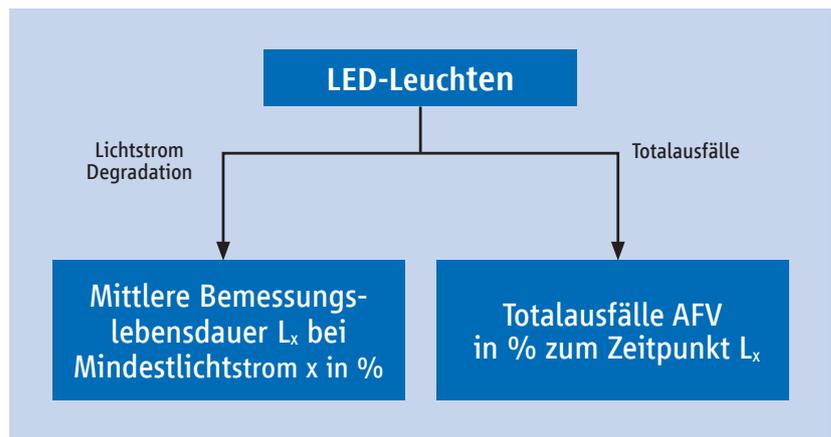


Abb. 12b: Lebensdauerkriterien von LED-Leuchten für die mittlere Bemessungslebensdauer



7a. Bemessungslebensdauer ($L_x B_y$),

Mittlere Bemessungslebensdauer (L_x)

Die Angabe der Bemessungslebensdauer ist verbunden mit dem ermittelten Anteil der Leuchten mit erhöhtem Lichtstromrückgang B_y und wird als $L_x B_y$ dargestellt.

Die Bezugsgröße der Lichtstromdegradation in der Lebensdauer von LED-Leuchten wird mit x (in Prozent) angegeben und bezieht sich auf den Bemessungslichtstrom.

Typische Werte von „ x “ sind zum Beispiel 70 oder 80 Prozent bei einer bestimmten Bemessungslebensdauer (L_{70} oder L_{80}) von beispielsweise 50.000 Stunden und einer Umgebungstemperatur von 25 °C der Leuchte.

Für die mittlere Bemessungslebensdauer L_x (ohne Zusatz) gilt $B_y = B_{50}$. Wie in Abbildung 12b dargestellt wird empfohlen, die mittlere Bemessungslebensdauer anzugeben.

7b. Anteil der Leuchten am Lichtstromrückgang (B_y)

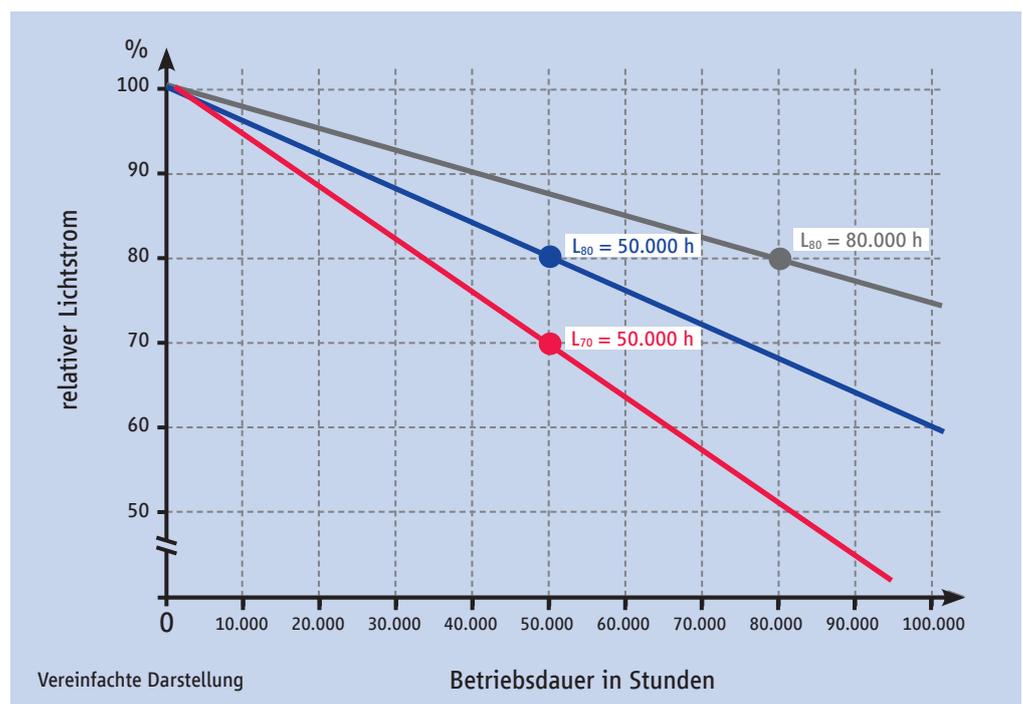
Der Anteil y (in Prozent) der LED-Leuchten, die am definierten Lebensdauerende den angestrebten Lichtstrom von x Prozent (siehe x von L_x) unterschreiten aber noch funktionsfähig sind, wird mit dem englischen Begriff „gradual failure fraction“ beschrieben.

Der Wert B_{50} bedeutet somit, dass 50 Prozent einer Menge gleichartiger LED-Leuchten den deklarierten Lichtstromanteil „ x “ am Ende der mittleren Bemessungslebensdauer „ L_x “ unterschreiten und 50 Prozent ihn überschreiten.

Das B_{50} -Kriterium (Medianwert) wird herangezogen, um den mittleren Lichtstrom funktionierender LED-Leuchten am definierten Ende der mittleren Bemessungslebensdauer L_x anzugeben (engl.: rated median useful life).

In bestimmten Anwendungen kann zum Beispiel auch B_{10} von Interesse sein, also der Zeitpunkt, bei dem nur 10 Prozent der LED-Leuchten den deklarierten Lichtstromanteil „ x “ unterschreiten.

Abb. 13: Schematische Darstellung des Lichtstromverlaufs über der Betriebszeit



Über die Lichtströme der einzelnen LED-Leuchten oder deren genaue Verteilung sagt das B_y -Kriterium dagegen nichts aus.

7c. Berücksichtigung von Totalausfällen (AFV bzw. C_y)

Der Begriff AFV („Abrupt Failure Value“ in Prozent) beschreibt den prozentualen Anteil der LED-Leuchten, die bis zum Erreichen der mittleren Bemessungslebensdauer L_x total ausgefallen sind.

LED-Leuchten mit nur einzelnen ausgefallenen LEDs oder auch LED-Leuchten, bei denen nur einzelne LED-Module von mehreren ausgefallen sind, gelten nicht als Totalausfall.

AFV ist also die Ausfallrate zum Zeitpunkt der mittleren Lebensdauer L_x (bei B_{50}). Bei anderen B_y -Werten als B_{50} wird C_y verwendet. C_y ist die Zeit, nach der y -Prozent der LED-Leuchten total ausgefallen sind.

7d. Systemzuverlässigkeit

Die Lebensdauererwartung einer LED-Leuchte wird durch die Zuverlässigkeit aller im System verwendeten Komponenten und durch die Umgebungsbedingungen der Leuchte am

Anwendungsort beeinflusst. Ein Ausfall einer Leuchtenkomponente kann den Totalausfall der gesamten Leuchte bewirken. Beispielhafte Einflussfaktoren auf die Systemzuverlässigkeit von LED-Leuchten durch die verwendeten Komponenten sind in Abbildung 14 dargestellt.

Derzeit wird über den Modus zur Berechnung der Totalausfälle unter Berücksichtigung aller Systemkomponenten beraten. Eine Einbeziehung der Ergebnisse ist in den künftigen Normungsvorhaben vorgesehen.

In der Praxis kann heute der Ausfall verwendeter Elektronik (z. B. der Ausfall von Vorschaltgeräten) nur separat betrachtet und von den Herstellern angegeben werden.

8. Empfehlung des ZVEI

Der Fachverband Licht im ZVEI empfiehlt, die in diesem Leitfaden beschriebenen Parameter entsprechend den dargelegten Ausführungen zu verwenden.

Abb. 14: Einflussfaktoren der Systemzuverlässigkeit



Das Leuchtendatenblatt soll folgende Angaben enthalten:

Leuchtenbezeichnung:	Typbezeichnung
Leuchtenleistung:	P [W]
Leuchten-Lichtstrom:	Φ_v [lm]
Leuchten-Lichtausbeute:	η_v [lm/W]
Farbwiedergabe:	CRI oder R_a (mind. oder \geq)
Ähnlichste Farbtemperatur:	T_{cp} oder CCT [K]
Farbortoleranz (Anfangswert):	(Anzahl MacAdam-Ellipsen)
Mittlere Bemessungslebensdauer L_x :	L_{80} [h]
Umgebungstemperatur:	t_q [°C] (wenn kein Wert angegeben ist $t_q = 25^\circ\text{C}$)

Lichtstärkeverteilung

Alle aufgeführten Werte sind Bemessungswerte

Aussagen zur Lebensdauer der LED-Leuchte müssen immer zusammen mit der spezifischen Umgebungstemperatur und der Anzahl der Brennstunden spezifiziert werden.

Der Hersteller kann, wenn die Daten in der empfohlenen Form angegeben werden und nach den Vorgaben in diesem Leitfaden ermittelt wurden, auf freiwilliger Basis und auf eigene Verantwortung bestätigen:

„Alle verwendeten Begriffe und zugrunde gelegten technischen Berechnungsmethoden entsprechen der Empfehlung des Leitfadens „Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung“ des ZVEI (2. Ausgabe; Stand: November 2015).“

V Lichttechnische Planungshinweise

Für die Planung einer Beleuchtungsanlage sind unter anderem die Wartungsfaktoren maßgeblich. Der Planer muss zum Beispiel nach der Normenreihe DIN EN 12464 ermitteln und dokumentieren, wie der Lichtstrom einer Beleuchtungsanlage zu einem gewählten Zeitpunkt abgenommen hat und geeignete Wartungsmaßnahmen empfehlen.

In den Publikationen CIE 97 (Innenbeleuchtung) und CIE 154 (Außenbeleuchtung) sind folgende Wartungsfaktoren definiert:

- **MF:** Maintenance Factor (Wartungsfaktor)
- **LLMF:** Lamp Lumen Maintenance Factor (Lampenlichtstromwartungsfaktor)
- **LSF:** Lamp Survival Factor (Lampenüberlebensfaktor)
- **LMF:** Luminaire Maintenance Factor (Leuchtenwartungsfaktor)
- **RMF:** Room Maintenance Factor (Raumwartungsfaktor)
- **SMF:** Surface Maintenance Factor (Oberflächenwartungsfaktor)

Das Produkt der einzelnen Wartungsfaktoren ergibt den Wartungsfaktor MF (Maintenance Factor) der Beleuchtungsanlage.

Innenbeleuchtung:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RMF$$

Außenbeleuchtung:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF (\times SMF)^*$$

***Anmerkung:** SMF wird dort verwendet, wo sachgemäß sinnvoll, zum Beispiel als Oberflächenwartungsfaktor einer angestrahlten Fläche oder bei Fußgängerunterführungen.

LLMF ergibt sich zum jeweiligen Betrachtungszeitpunkt aus den Lichtstromrückgangskurven der Hersteller.

LSF ergibt sich zum jeweiligen Betrachtungszeitpunkt aus den bis zu diesem Zeitpunkt total ausgefallenen LED-Leuchten.

Bei der Lichtplanung mit LED-Leuchten können der LLMF und der LSF als Bewertungsgrundlage von LED-Leuchten für diverse Lichtstromklassen über die Betriebsdauer (in Stunden) festgelegt werden. Dieses Verfahren orientiert sich an der Angabe von LLMF und LSF bei konventionellen Lampen.

Die jeweiligen Bewertungskennwerte einer LED-Leuchte werden durch die Bemessungslebensdauer angegeben. Die Angaben für „L_xB_y“ bzw. „L_x“ erfolgen in folgender Form: L_xB_y = ii.iii Stunden (alternativ h) bzw. L_x = ii.iii Stunden (alternativ h).

Beispiel: L₈₀ = 50.000 h

Tabelle 2 zeigt ein Beispiel der möglichen Darstellung der Wartungsfaktoren LLMF und LSF von LED-Leuchten. In der ersten Spalte sind die Bemessungswerte zu finden. Der Hersteller benennt diese im Datenblatt seines Produkts (zum Beispiel $L_{80} = 50.000$ h). In den Zeilen können der Lichtstromrückgang LLMF bzw. der Lampenüberlebensfaktor LSF zu einem beliebigen Zeitpunkt, den der Planer festlegt, abgelesen werden. Die Lichtstromabnahmen sind linear angenommen.

Auch für LED-Leuchten muss der Planer den Lichtstromrückgang durch die Verschmutzung der Leuchte mittels des Leuchtenwartungsfaktors LMF berücksichtigen.

Der Totalausfall einer LED-Leuchte (ohne Berücksichtigung des Betriebsgerätes) lässt sich mit Hilfe des LSF darstellen. Unterhalb der spezifizierten Bemessungslebensdauer gilt zum größten Teil, dass $LSF = 1$ ist, was einem $AFV = 0$ bzw. $y = 0$ (von C_y) entspricht. In solchen Fällen ist dieser Faktor für die Planung vernachlässigbar. Bei Betrachtung einer größeren Anzahl (> 100) von Leuchten fallen einzelne Ausfälle statistisch nicht ins Gewicht, sodass auch bei

$LSF = 1$ einzelne LED-Leuchten ausgefallen sein könnten.

Eine solche Tabelle kann für weitere Bemessungswerte erstellt werden.

Dieses Tabellenverfahren kann nicht zu Aussagen über die Garantieleistungen bezüglich LED-Leuchten herangezogen werden.

Die Deutsche Lichttechnische Gesellschaft plant 2015 eine eigene Publikation zu „LED-Wartungsfaktoren“ zu veröffentlichen.

Tab. 2: Darstellungsmöglichkeit der Wartungsfaktoren LLMF und LSF von LED-Leuchten

Bemessungslebensdauer		Betriebsdauer in 1.000 h																						
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	...	
L_{90}	ii.iii h	LLMF																						
		LSF																						
L_{80}	ii.iii h	LLMF																						
		LSF																						
L_{70}	ii.iii h	LLMF																						
		LSF																						
L_{60}	ii.iii h	LLMF																						
		LSF																						
L_{50}	ii.iii h	LLMF																						
		LSF																						

VI Photobiologische Sicherheit von LED-Leuchten

Bei der Beurteilung der photobiologischen Gefährdung durch optische Strahlung unterscheidet man verschiedene Wellenlängenbereiche (UV-, sichtbare und IR-Strahlung). Das Hauptaugenmerk ist hierbei auf die Eindringtiefe in das menschliche Gewebe gerichtet. Es sind nur Haut und Auge betroffen, da optische Strahlung nicht tief ins Gewebe eindringt.

UV- und IR-Strahlung werden bereits in den äußeren Gewebeschichten absorbiert. Die Gefährdung und die angegebenen Grenzwerte sind abhängig von der erzeugten Beleuchtungsstärke einer Lichtquelle bzw. der Leuchte und nicht von deren Abmessungen. Das bedeutet, dass sich in erster Näherung das Risiko in Abhängigkeit der Lichtstärkeverteilung und des Quadrats des Abstands verändert (d. h. halber Abstand zur Quelle bedeutet vierfaches Risiko).

Anders verhält es sich bei der Blaulichtgefährdung. Da diese Strahlung die Hornhaut des Auges durchdringt und durch die Augenlinse auf der Netzhaut abgebildet wird, ist die Gefährdung von der Größe der Quelle abhängig.

In der DIN EN 62471 „Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen“ wird zwischen zwei Arten von Messungen unterschieden. Die Risikoklassifizierung soll für Lampen der Allgemeinbeleuchtung in einem Abstand erfolgen, bei dem eine Beleuchtungsstärke von 500 lx erreicht wird (minimal 200 mm).

Für alle anderen Anwendungen von Lampen wird ein Abstand von 200 mm empfohlen.

Weitere Informationen zur Blaulichtgefährdung enthalten die Publikation des ZVEI „Photobiologische Sicherheit der Beleuchtung“ (www.zvei.de) und die LiTG Schrift „Beurteilung der photobiologischen Sicherheit von Lampen und Leuchten“ (www.litg.de).

Mehr zum Thema biologische Wirksamkeit von Licht finden Sie auf www.licht.de.

VII Weitere Qualitätsmerkmale in der LED-Beleuchtung

Flicker/Flimmern

Dauerhaftes Flickern bzw. Flimmern von Leuchten kann Störungen verursachen, z. B. physiologische Effekte wie Kopfschmerzen. Darüber hinaus könnten auftretende Stroboskopeffekte zu Gefährdungen führen. Sie können die Wahrnehmung von Bewegungen rotierender oder sich hin- und her bewegender

der Maschinenteile verändern, so dass diese eventuell nicht mehr sichtbar sind. Um diese Effekte zu verhindern, sollten abgestimmte technische Maßnahmen berücksichtigt werden. Dies kann die Aufteilung der Leuchten auf verschiedene Stromphasen oder die Auswahl von LED-Leuchten mit ausreichend hohen Betriebsfrequenzen der LED sein.

VIII LED-Retrofit-Lampen in der professionellen Beleuchtung

Zweiseitig gesockelte LED-Lampen werden für bestehende Fassungs-systeme als Retrofit- und als Konversions-Lampen angeboten.

Bei der Retrofit-Variante wird eine Leuchtstofflampe durch eine LED-Lampe ersetzt. Der vorhandene Starter muss gegen einen LED-Starter ausgetauscht oder entfernt werden, wenn der Hersteller dies angibt. Dabei wird die Leuchte nicht umgebaut und deshalb ist eine Elektrofachkraft nicht nötig.

Bei der Konversions-Variante werden nicht nur die Leuchtstofflampe und der Starter ausgetauscht, es sind darüber hinaus technische Eingriffe in der Leuchte nötig, beispielsweise werden Betriebsgeräte und/oder Innenverdrahtung ersetzt oder verändert. Diese Umrüstung der Leuchte und Sicherstellung der Einhaltung der elektrotechnischen und sicherheitsrelevanten Normen muss durch eine Elektrofachkraft erfolgen. Durch den Umbau der Leuchte geht die technische, insbesondere die sicherheitstechnische Verantwortung für die Folgen des Umbaus in die Hände des Umbauenden über.

Ein Sonderfall der Konversionslampe sind G13- oder G5-gesockelte LED-Lampen zum Betrieb direkt an der Netzspannung. Für diese Lampen werden neu entwickelte Leuchten-Systeme auf den Markt gebracht.

Zur sicherheitstechnischen Betrachtung umgebauter aber auch neuer Leuchten zum Betrieb von G13- und G5-gesockelten LED-Lampen an Netzspannung gehört auch, dass der Einsatz ursprünglich vorgesehener Leuchtstofflampen (G13- und G5-gesockelt) nicht zu einer Gefährdung führt.

Da sich durch die LED-Lampen die gewohnten lichttechnischen Eigenschaften einer Beleuchtungsanlage ändern können, wird eine entsprechende lichttechnische Überprüfung empfohlen.

Neben den sicherheits- und lichttechnischen Aspekten sind auch die Anforderungen der europäischen Richtlinien zu beachten, die zum Beispiel keine zu großen Abweichungen der Gleichmäßigkeit des abgestrahlten Lichts einer LED-Lampe im Vergleich zur ersetzten Leuchtstofflampe erlaubt. Die zum Einsatz kommenden LED-Retrofit-Lampen müssen das CE-Zeichen tragen, somit bleibt die Konformitätserklärung des Herstellers zur Leuchte unberührt.

Nähere Einzelheiten können den Informationsschriften auf der ZVEI Webseite www.zvei.org entnommen werden.

IX Ergänzungen zu Kapitel IV.4

Messung und Darstellung von Lichtstärkeverteilungskurven von engstrahlenden LED-Leuchten

Je nach Form und Symmetrieeigenschaften der Lichtstärkeverteilung einer Leuchte unterscheidet man tief strahlende, breit strahlende, symmetrische und asymmetrische Lichtstärkeverteilungen. Für LED-Leuchten mit sehr tief bzw. engstrahlenden Lichtstärkeverteilungskurven sollten C-Ebenen in Schritten von

5° und γ -Winkel in 2,5°-Schritten angegeben werden. Sind die Lichtstärkeverteilungskurven extrem engstrahlend, kann eine noch größere Anzahl von Winkeln benötigt werden, z. B. in Schritten von jeweils 1° für den Bereich, in den 90 Prozent des Lichtstroms abgestrahlt wird. Derartige Fälle sind bei der Beleuchtungsplanung durch die Erhöhung der Anzahl der Berechnungspunkte zu berücksichtigen. Weitere Details sind in der Normenreihe EN 13032 beschrieben.

X Anhang: Definitionen der Leistungsanforderung der Qualitätskriterien

Term	Definition	Standard	Remarks
Rated input power (in W)	<p>input power P</p> <p>electrical power from the mains supply consumed by the luminaire including the operation of all electrical components necessary for its intended functioning</p> <p>Unit: W</p> <p>rated value quantitative value for a characteristic of a product for specific operating conditions specified in this standard, or in applicable standards, or assigned by the manufacturer or responsible vendor</p> <p>Source: IEC 62722-1:2014</p>	<p>IEC 62722-1:2014-09; IEC 62722-2-1:2014-11: The provisions of Clause 7 of IEC 62717 apply to the LED luminaire.</p> <p>IEC 62717:2014-12+AMD:2015 – Performance standard for LED modules: The initial power consumed by each individual LED module in the measured sample shall not exceed the rated power by more than 10 %.</p>	Emergency lighting charging power should be deleted – Ad-hoc remarks (see also item 3, LED luminaire efficacy (lm/W)).
Rated luminous flux (in lm)	<p>luminous flux Φ_v, ϕ</p> <p>quantity derived from radiant flux, Φ_e, by evaluating the radiation according to its action upon the CIE standard photometric observer</p> <p>Unit: lm Note 1: For photopic vision</p> $\Phi_v = K_m \int_0^{\infty} \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} V(\lambda) d\lambda$ <p>where</p> $\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ <p>is the spectral distribution of the radiant flux and $V(\lambda)$ is the spectral luminous efficiency.</p> <p>Note 2: For the values of K_m (photopic vision) and K'_m (scotopic vision), see IEC 60050-845, 845-01-56.</p> <p>Note 3: The luminous flux of LED dies is usually expressed in groups into which they are sorted.</p> <p>Source: IEC 62504</p>	<p>IEC 62722-1:2014-09; IEC 62722-2-1:2014-11: The provisions of 8.1 of IEC 62717 apply to the LED luminaire. In addition the provisions in Clause A.1, paragraph 2 of IEC 62722-2-1 apply where a rated ambient temperature related to performance other than 25 °C is advised by the manufacturer.</p> <p>IEC 62717:2014-12+AMD:2015 – Performance standard for LED modules The initial luminous flux of each individual LED module in the measured sample shall not be less than the rated luminous flux by more than 10 %.</p>	
LED luminaire efficacy (in lm/W)	<p>Luminaire efficacy η_v, η</p> <p>ratio of the luminaires total luminous flux versus its rated input power at rated supply voltages, excluding any emergency lighting charging power</p> <p>Note: Luminaire efficacy is expressed in lumen per watt.</p> <p>Unit: $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$</p> <p>Source: IEC 62722-1:2014</p>	<p>IEC 62722-1:2014-09; IEC 62722-2-1:2014-11: The provisions of Clause 8.1 of IEC 62717 apply to the LED luminaire.</p> <p>IEC 62717:2014-12+AMD:2015 – Performance standard for LED modules: LED module (luminaire) efficacy shall be calculated from the measured initial luminous flux of the individual LED module (luminaire) divided by the measured initial input power of the same individual LED module (luminaire). For measurement of luminous flux see Annex A.3.2.</p>	
Luminous intensity distribution	<p>luminous intensity (of a source, in a given direction) $I_v; I$</p> <p>quotient of the luminous flux $d\Phi_v$ leaving the source and propagated in the element of solid angle $d\Omega$ containing the given direction, by the element of solid angle $I_v = d\Phi_v/d\Omega$</p> <p>Unit: $\text{cd} = \text{lm} \cdot \text{sr}^{-1}$</p> <p>Note 1: The definition holds strictly only a point of source.</p> <p>Note 2: The luminous intensity of LED is expressed according to CIE 127:2007 measurement procedure. [IEC 60050-845:1987, 845-01-31] and [CIE S 017/E:2011 ILV, 17-739 modified]</p> <p>Source: IEC 62504:2014</p>	<p>IEC 62722-1:2014-09; IEC 62722-2-1:2014-11: The provisions of Clause 8.2.3 of IEC 62717 apply to the LED luminaire.</p> <p>IEC 62717:2014-12+AMD:2015 – Performance standard for LED modules: The distribution of luminous intensity shall be in accordance with that declared by the manufacturer. The measurement is conducted according to A.3.3.</p>	

Term	Definition	Standard	Remarks
<p>Correlated Colour Temperature (CCT in K)</p>	<p>Correlated colour temperature T_{cp} temperature of the Planckian radiator having the chromaticity nearest the chromaticity associated with the given spectral distribution on a diagram where the (CIE 1931 standard observer based)</p> $u', \frac{2}{3}v'$ <p>coordinates of the Planckian locus and the test stimulus are depicted</p> <p>Unit: K</p> <p>Note 1: The concept of correlated colour temperature should not be used if the chromaticity of the test source differs more than</p> <p>from the Planckian radiator</p> $\Delta C = \left[(u'_t - u'_p)^2 + \frac{4}{9} (v'_t - v'_p)^2 \right]^{1/2} = 5 \cdot 10^{-2}$ <p>where (u'_t, v'_t) refer to the test source, (u'_p, v'_p) to the Planckian radiator.</p> <p>Note 2: Correlated colour temperature can be calculated by a simple minimum search computer program that searches for that Planckian temperature that provides the smallest chromaticity difference between the test chromaticity and the Planckian locus, or e.g. by a method recommended by Robertson, A. R. "Computation of correlated colour temperature and distribution temperature", J. Opt. Soc. Am. 58, 1528-1535, 1968.</p> <p>(Note that the values in some of the tables in this reference are not up-to-date).</p> <p>Abbreviation: "CCT"</p> <p>Source: ISO 11664</p>	<p>IEC 62722-1:2014-09; IEC 62722-2-1:2014-11: The provisions of Clause 9.2. of IEC 62717 apply to the LED luminaire.</p> <p>IEC 62717:2014-12+AMD:2015 – Performance standard for LED modules: Preferred values to ensure interchangeability are under consideration. The four-digit CCT value is divided by 100 and the resulting figure is rounded off to the next integer number, when using the photometric code in Annex D.</p>	
<p>Rated Colour Rendering Index (CRI)</p>	<p>colour rendering index R measure of the degree to which the psychophysical colour of an object illuminated by the test illuminant conforms to that of the same object illuminated by the reference illuminant, suitable allowance having been made for the state of chromatic adaptation</p> <p>See also CIE 13 Method of Measuring and Specifying Colour Rendering of Light Sources</p> <p>Abbreviation: "CRI"</p> <p>Source: CIE 13</p>	<p>IEC 62722-1:2014-09; IEC 62722-2-1:2014-11: The provisions of Clause 9.3. of IEC 62717 apply to the LED luminaire. Where suitable component reliability data is available the test duration may be reduced from 6 000 h to 2 000 h.</p> <p>IEC 62717:2014-12+AMD:2015 – Performance standard for LED modules: The initial Colour Rendering Index (CRI) of a LED module is measured. A second measurement is made at an operational time as stated in 6.1. (= 6000 h / 25 % rated life)</p> <p>Compliance: For all tested items in a sample the measured CRI values shall not have decreased by more than</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3 points from the rated CRI value (see Table 1) for initial CRI values and • 5 points from the rated CRI value (see Table 1) for maintained CRI values. 	
<p>Rated chromaticity coordinate values (initial and maintained)</p>	<p>chromaticity coordinates ratio of each of a set of 3 tristimulus values to their sum</p> <p>Unit: 1</p> <p>Note 1: As the sum of the 3 chromaticity coordinates is equal to 1, 2 of them are sufficient to define a chromaticity.</p> <p>Note 1: In the CIE standard colorimetric systems, the chromaticity coordinates are represented by the symbols x, y, z and $x10, y10, z10$.</p> <p>Source: IEC 60050 (=CIE 845)</p>	<p>IEC 62722-1:2014-09; IEC 62722-2-1:2014-11: The provisions of Clause 9.1 of IEC 62717 apply to the LED luminaire.</p> <p>Where suitable component reliability data is available the test duration may be reduced from 6.000 h to 2.000 h and the measured chromaticity value coordinate value for initial and 2.000 h shall not exceed the rated colour variation category for initial and 6.000 h respectively.</p> <p>IEC 62717:2014-12+AMD:2015 – Performance standard for LED modules: The initial chromaticity coordinates are measured. A second measurement of maintained chromaticity coordinates is made at an operational time as stated in 6.1 (= 6.000 h / 25 % rated life). The measured actual chromaticity coordinate values (both initial and maintained) shall fit within one of 4 categories (see Table 5), which correspond to a particular MacAdams ellipse around the rated chromaticity coordinate value, whereby the size of the ellipse (expressed in n-steps) is a measure for the tolerance or deviation of an individual LED module.</p>	

Term	Definition	Standard	Remarks
<p>Maintained luminous flux</p>	<p>luminous flux maintenance factor lumen maintenance factor ratio, expressed as a percentage x, of the luminous flux emitted by the light source at a given time in its life to its initial luminous flux emitted</p> <p>Unit: %</p> <p>Note: The lumen maintenance factor of LED light source includes optical parts degradation, the effect of decrease of the luminous flux output of the led package and failure(s) of individual LED packages if the LED light source contains more than one LED package.</p> <p>Abbreviation: "LLMF"</p> <p>Source: IEC 61717</p>	<p>IEC 62722-1:2014-09; IEC 62722-2-1:2014-11: General The provisions of Clause 10.2 of IEC 62717 apply to the LED luminaire except that the maintenance test shall be conducted at the ambient temperature in the temperature interval (rated t_a, rated $t_q - 2$).</p> <p>The provisions of 10.2 of IEC 62717 apply to the LED luminaire, except that the maximum rated temperature t_p of the LED module is not exceeded in the luminaire during testing as long as the interval (rated $t_p - 5$, rated t_p) is maintained.</p> <p>Compliance criteria The measured luminous flux value shall not be less than the luminous flux value given by the rated lumen maintenance factor related to rated median useful life.</p>	<p>FLLM is not used in IEC standards (at least LED module) as the shape of the lumen depreciation curve as function of time between LED modules varies among manufacturers and is depending on the specific LED technology used. Specified in IEC 62504 is 'life', as time period at a specified performance temperature at which x % of the measured initial luminous flux value is reached.</p>
<p>Ambient temperature (t_q) for a luminaire</p>	<p>temperature, rated ambient performance (rated ambient performance temperature) t_q highest ambient temperature around the luminaire related to a rated performance of the luminaire under normal operating conditions, both as declared by the manufacturer or responsible vendor</p> <p>Unit: °C</p> <p>Note 1: Rated ambient performance temperature is expressed in °C.</p> <p>Note 2: For a given life time, the t_q temperature is a fixed value, not a variable.</p> <p>Note 3: There can be more than one t_q temperature, depending on the life time claim, .3.4.</p> <p>Source: IEC 62722-2-1:2014</p>	<p>IEC 62722-1:2014-09; IEC 62722-2-1:2014-11: General The provisions of Subclause A.1 of IEC 62717 apply to the LED luminaire.</p> <p>Where a rated ambient performance temperature t_q other than 25 °C is advised by the manufacturer a correction factor will need to be established to correct the measured luminous flux value at 25 °C to the luminous flux value at the declared ambient. This shall be done using relative photometry in a temperature controlled cabinet.</p>	
<p>Useful life (of LED modules and luminaires) – Bemessungs-lebensdauer</p>	<p>useful life (of LED modules) L_x, B_y length of time until a percentage y of a population of operating LED modules of the same type have parametrically failed to provide at least percentage x of the initial luminous flux</p> <p>Note: The useful life includes operating LED modules only.</p> <p>Source: 34A/1864/DC – proposal for amendment to IEC 62717</p>	<p>IEC 62722-1:2014-09; IEC 62722-2-1:2014-11: General The provisions of 10.1 of IEC 62717 apply to the LED luminaire.</p> <p>The length of time until a percentage y of a population of operating LED modules reaches gradual light output degradation of a percentage x is called the useful life (or "By life") and expressed in general as $L_x B_y$.</p> <p>Light output lower than the lumen maintenance factor x is called a parametric failure because the product produces less light but still operates. "B_{10}" life is the age at which 10 % of products have failed parametrically. The age at which 50 % of the LED modules parametric fail, the "B_{50} life", is called median useful life. The population includes operating LED modules only; non-operative modules are excluded.</p>	
<p>Median useful life (of LED modules and luminaires) – Mittlere Bemessungs-lebensdauer</p>	<p>median useful life (of LED modules) L_x length of time during which 50 % (B_{50}) of a population of operating LED modules of the same type have parametrically failed to provide at least percentage x of the initial luminous flux</p> <p>Note 1: The median useful life includes operating LED modules only.</p> <p>Note 2: In common language the expression "life of LED modules" without any modifiers is understood to mean the median useful life. [SOURCE: IEC 60050-845:1987, 845-07-61, modified – new definition]</p> <p>Source: 34A/1864/DC – proposal for amendment to IEC 62717</p>	<p>IEC 62722-1:2014-09; IEC 62722-2-1:2014-11: General The provisions of 10.1 of IEC 62717 apply to the LED luminaire.</p> <p>The length of time until a percentage y of a population of operating LED modules reaches gradual light output degradation of a percentage x is called the useful life (or "By life") and expressed in general as $L_x B_y$.</p> <p>Light output lower than the lumen maintenance factor x is called a parametric failure because the product produces less light but still operates. "B_{10}" life is the age at which 10 % of products have failed parametrically. The age at which 50 % of the LED modules parametric fail, the "B_{50} life", is called median useful life. The population includes operating LED modules only; non-operative modules are excluded.</p>	

Term	Definition	Standard	Remarks
<p>Abrupt failure fraction of LED-module and LED-Luminaire</p>	<p>abrupt failure failure of a LED product to operate or to produce luminous flux</p> <p>Note 1: For the purpose of this standards , the LED product is a LED module</p> <p>Note 2: The term “complete Failure” is commonly used for the same purpose.</p> <p>Note 3: For illustration of abrupt failure mode see Figure C1 (hier Bild 11).</p> <p>Source: IEC 62717:2014</p>	<p>IEC 62717:2014+AMD:2015 Life time specification for abrupt light output degradation: The abrupt light output degradation of a population of LED Luminaires at a certain point in time is called time to abrupt failure and expressed as C_y.</p> <p>The recommended life time metrics for specifying LED module life is explained in Annex C of IEC 62717 and apply to the LED luminaire. For compliance criteria see 10.2 of the standard.</p>	
<p>Time to abrupt failure of LED-module and LED-Luminaire</p>	<p>time to abrupt failure C_y length of time during which y % of a population of initially operating LED modules of the same type fail to produce any luminous flux</p> <p>Unit: h</p> <p>Note 1: The time to abrupt failure includes inoperative LED modules only.</p> <p>Note 2: $C_{AFV} = L_x$.</p> <p>Source: IEC 62717:2014+AMD:2015</p>	<p>IEC 62717:2014+AMD:2015 Life time specification for abrupt light output degradation: The abrupt light output degradation of a population of LED Luminaires at a certain point in time is called time to abrupt failure and expressed as C_y.</p> <p>The recommended life time metrics for specifying LED module life is explained in Annex C of IEC 62717 and apply to the LED luminaire. For compliance criteria see 10.2 of the standard.</p>	
<p>Abrupt failure value, corresponding to the median useful file of LED modules and luminaires</p>	<p>abrupt failure value AFV percentile of LED modules failing to operate at median useful life, L_x</p> <p>Note 1: $AFV = F(L_x) \times 100 \%$; $LSF(L_x) = 1 - F(L_x)$</p> <p>Note 2: Example: Given $L_x=20\ 000\ h$ and $AFV = F(20\ 000\ h) \times 100 \% = 7 \%$ results in $LSF(20\ 000\ h) = 1 - 0,07 = 0,93$.</p> <p>Source: IEC 62717:2014+AMD:2015</p>	<p>IEC 62717:2014+AMD:2015 Life time specification for abrupt light output degradation: The abrupt light output degradation of a population of LED Luminaires at a certain point in time is called time to abrupt failure and expressed as C_y.</p> <p>The recommended life time metrics for specifying LED module life is explained in Annex C of IEC 62717 and apply to the LED luminaire. For compliance criteria see 10.2 of the standard.</p>	

XI Quellenverzeichnis

Normen zur Arbeitsweise von LED-Leuchten:

- IEC 62722-1:2014-09;
Arbeitsweise von Leuchten – Teil 1:
Allgemeine Anforderungen
- IEC 62722-2-1:2014-11;
Arbeitsweise von Leuchten – Teil 2-1:
Besondere Anforderungen an LED-Leuchten

Normen zur Arbeitsweise von LED-Modulen:

- IEC 62717:2014-12+AMD:2015;
LED-Module für Allgemeinbeleuchtung –
Anforderungen an die Arbeitsweise



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e.V.
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 6302-0
Fax: +49 69 6302-317
E-Mail: zvei@zvei.org
www.zvei.org

