

Leitfaden

Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung

Begriffe, Definitionen und Messverfahren:
Grundlagen für Vergleichbarkeit

3. Ausgabe





Die Elektroindustrie

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:

Projektteam LED-Leitfaden im Lenkungsteam Technik

3. Ausgabe, März 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig.

Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzung, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Grußwort

In der Allgemeinbeleuchtung hat die LED in den letzten Jahren fast alle bisherigen Lichtquellen abgelöst. Mittlerweile werden in Deutschland im gewerblichen, industriellen und kommunalen Bereich bei mehr als 85 Prozent der Neuanlagen und bei Sanierungen ausschließlich LED-Lösungen eingesetzt. In den kommenden Jahren wird sich auch aufgrund gesetzlicher Vorgaben aus der EU der Wert auf nahezu 100 Prozent erhöhen.

Bedingt durch den nach wie vor rasanten Fortschritt der LED-Technik mit Innovationszyklen im Halbjahresturnus hat sich die Lichtwelt im professionellen Bereich weit von der jahrzehntelang üblichen Standardisierung von elektrischen, lichttechnischen und geometrischen Eigenschaften bei Lichtquellen entfernt. Gewonnen wurden dabei deutlich gestiegene Möglichkeiten zur Verbesserung der Lichttechnik, der Lebensdauer der Lichtquellen und des Designs von Leuchten. Eine Rückkehr zu mehr Standardisierung ist momentan nicht in Sicht, obwohl die EU mit zukünftigen Anforderungen an Austauschbarkeit von Lichtquellen und Nachweis von Performanceangaben einer Standardisierung einen Nährboden bereitet.

So wie sich die Technik weiterentwickelt hat, sind auch Erkenntnisse zur Performance und Applikation von LED-Licht gewachsen. Parallel dazu sind technische Standards zur Bewertung von LED-Lichtquellen weiterentwickelt worden

oder neu entstanden. Dies hat den ZVEI-FV Licht veranlasst, seinen erfolgreichen Leitfaden „Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung“ zu überarbeiten und aktuelle Informationen für Entscheider, Planer und Nutzer von LED-Licht bereitzustellen.

LED-spezifische Begriffe werden zu Lebensdauer, Wartung, Flimmern usw. verständlich aufbereitet und in Anwendungsbeispielen erläutert. Damit soll der Leitfaden Orientierung geben und eine einheitliche Sprachregelung für Lichtenwender und Hersteller schaffen.

In dem Zusammenhang möchte ich auch auf unser Portal www.licht.de verweisen. Dort finden Sie weiterführende praktische Hinweise.

Wir hoffen, dass Ihnen der Leitfaden hilft, vor dem Hintergrund der zunehmenden Komplexität der Technik die eigenen Anforderungen an die Planung von LED-Beleuchtungsanlagen leichter einschätzen und definieren zu können. Eine hohe Qualität muss auch zukünftig bei Beleuchtungslösungen im Vordergrund stehen.

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

Manfred Diez

Vorsitzender des Fachverbands Licht

Inhaltsverzeichnis

Grußwort	3
I Gesetzliche Regelungen in der EU und Normen zur Arbeitsweise von LED-Leuchten	6
II Produktinformationen von LED-Leuchten	8
III Kenngrößen von LED-Leuchten	9
1 Bemessungsleistung P (in Watt)	9
2 Bemessungslichtstrom Φ_v (in lm)	10
3 Lichtausbeute η_v (in lm/W)	10
4 Lichtstärkeverteilung	11
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 (international CRI)	12
5c Die Farbortoleranz, beschrieben durch die Stufen der MacAdam-Ellipsen	13
6 Bemessungsumgebungstemperatur der Leuchten	14
7 Lebensdauerkriterien von LED-Leuchten	15
7a Mittlere Bemessungslebensdauer (L_x)	16
7b Anteil der LED mit erhöhtem Lichtstromrückgang (B_y)	17
7c Beschreibung der Totalausfälle (AFV bzw. C_y) von LED-Leuchten	18
7d Systemzuverlässigkeit	18
7e Lebensdauer – nicht immer eine Frage der meisten Stunden	19
8 Wartungskategorien nach CIE 97	20
9 Melanopischer Umrechnungsfaktor	20
IV Lichttechnische Planungshinweise	21
V Photobiologische Sicherheit von LED-Leuchten	23
VI Dimmen LED-Lichtquellen / LED-Leuchten	24
VII Temporal Light Artefacts – TLA in der LED-Beleuchtung	25
VIII LED-Retrofitlampen in der professionellen Beleuchtung	26
Anhang A: Definitionen der Leistungsanforderung der Qualitätskriterien	28
Anhang B: Checkliste zur Bewertung von LED-Leuchten	31
Quellenverzeichnis	32

I Gesetzliche Regelungen in der EU und Normen zur Arbeitsweise von LED-Leuchten

A CE-Kennzeichnung

Elektrische Betriebsmittel dürfen in der EU nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn die grundlegenden Anforderungen der europäischen Richtlinien (umgesetzt in nationale Gesetze) eingehalten werden. Der Hersteller bzw. derjenige, der das Produkt in Verkehr bringt, muss zum Nachweis der Übereinstimmung eine Konformitätsbewertung vornehmen, die alle für das jeweilige Produkt geltenden gesetzlichen Bestimmungen berücksichtigt.

Lichtquellen (Lampen, Module) und Leuchten für Beleuchtungszwecke unterliegen unter anderem der Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU, der EMV-Richtlinie 2014/30/EU, der ErP-Richtlinie und der Richtlinie über die allgemeine Produktsicherheit.

Die Erfüllung der Anforderungen der Richtlinien wird seitens der Hersteller in einer Konformitätserklärung niedergelegt, die Grundlage der CE-Kennzeichnung ist.

Die CE-Kennzeichnung auf dem Produkt zeigt die Übereinstimmung mit allen gesetzlichen Anforderungen und ermöglicht den freien Warenverkehr in der EU.

B Normen zur Arbeitsweise von LED-Produkten

Die „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ sind im Wesentlichen über einschlägige Normen definiert. Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) hat Normen zur Arbeitsweise von LED-Leuchten und LED-Modulen erarbeitet. Es sind Qualitätskriterien festgelegt und allgemein gültige Messbedingungen vereinbart. Diese sind als Europäische Normen übernommen und im Official Journal der EU gelistet. Damit wird anerkannt, dass diese Normen für die Konformitätserklärung herangezogen werden dürfen.

Grundlage des vorliegenden Leitfadens bilden die nachfolgenden Normen für LED-Module und LED-Leuchten.

Norm zur Arbeitsweise von LED-Modulen:

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

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

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 miteingeschlossen werden. Eine auf festgelegten, einheitlichen Parametern aufbauende Produktinformation ist zwingende Voraussetzung für einen fairen Wettbewerb, der Vertrauen erzeugt und Verlässlichkeit der technischen Angaben sicherstellt.

Neben der CE-Konformitätserklärung, die vom Gesetzgeber vorgeschrieben ist, kann die freiwillige Zertifizierung von Produkten durch Prüfinstitute (wie den VDE, den TÜV usw.) und die Verwendung entsprechender Prüfzeichen eine weitere Hilfe sein, die Qualität von Produkten zu beurteilen.

C Dokumentationspflichten gemäß Ökodesign-Richtlinie

Es soll auch auf die Dokumentationspflicht nach der neuen Verordnung (EU) Nr. 2019/2020 der Kommission vom 1. Oktober 2019 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen

an Lichtquellen und separate Betriebsgeräte und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 244/2009, (EG) Nr. 245/2009 und (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission hingewiesen werden. Die Arbeitsweiseanforderungen aus den Normen IEC 62722-1 und IEC 62722-2-1 bilden dabei oft die Grundlage der Konformitätsbewertung. Die ZVEI-Informationsschrift „Ökodesign, Energieverbrauchskennzeichnung, EPREL-Datenbank“ beschreibt die Details der Verordnung. Sie richtet sich hauptsächlich an die Hersteller der Produkte.

Folgende Anforderungen an die Dokumentation bestehen im Hinblick auf die Austauschbarkeit, die Entnehmbarkeit und die Entsorgung.

C.1 Austauschbarkeit

Hersteller, Importeure oder Bevollmächtigte der Hersteller von Leuchten haben Informationen darüber bereitzustellen, ob Lichtquellen und Betriebsgeräte von Endnutzern oder qualifizierten Personen ohne dauerhafte Beschädigung der Leuchte ausgetauscht werden können oder nicht. Diese Informationen müssen auf einer frei zugänglichen Website zur Verfügung stehen. Für direkt an Endnutzer verkaufte Produkte müssen diese Informationen zumindest in Form eines Piktogramms auf der Verpackung sowie in den Bedienungsanleitungen enthalten sein.

C.2 Entnehmbarkeit

Falls allerdings eine Leuchte zur Überprüfung der Lichtquelle und des separaten Betriebsgeräts durch die Marktaufsicht nicht zerlegt werden kann, ohne dabei die Lichtquelle und/oder das Betriebsgerät zu beschädigen, wird die Leuchte als Lichtquelle betrachtet und muss dann alle Anforderungen an Lichtquellen erfüllen. Hersteller, Importeure oder Bevollmächtigte der Hersteller von Leuchten haben im Internet Ausbauanleitungen für die Marktaufsicht zur Verfügung zu stellen.

C.3 Entsorgung

Hersteller, Importeure oder Bevollmächtigte der Hersteller von Leuchten haben sicherzustellen, dass Lichtquellen und separate Betriebsgeräte am Ende ihrer Lebensdauer aus Leuchten ausgebaut werden können. Die Anleitungen für den Ausbau müssen auf einer frei zugänglichen Website zur Verfügung stehen.

II Produktinformationen von LED-Leuchten

Der Fachverband Licht im ZVEI empfiehlt, die in diesem Leitfaden beschriebenen Parameter entsprechend den dargelegten Ausführungen zu verwenden. Ohne diese Werte ist ein technischer Vergleich von Leuchten nach objektiven Kriterien nicht möglich.

Das Leuchten-Datenblatt sollte die Informationen nach Tabelle 1 enthalten. Die Daten sind bei der/den ausgewiesenen Umgebungstemperatur(en) t_q zu ermitteln. Das bedeutet konsequenterweise für die Einbauelemente (auch Lichtquellen), dass diese für die tatsächlichen höheren Temperaturen in der Leuchte bemessen sein müssen.

Tab. 1: Angaben im Leuchten-Datenblatt

Beschreibung der Lichtquelle	
Leuchten-Bezeichnung:	Typbezeichnung
Modellkennung der Lichtquelle nach EPREL mit Energieklasse ¹ :	Typbezeichnung
Leuchten-Leistung ² :	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) (nicht für Straßenleuchten):	Anzahl MacAdam-Ellipsen
Mittlere Bemessungslebensdauer	L_x : (z.B. L_{80}) [h]
Umgebungstemperatur:	t_q [°C] (wenn kein Wert angegeben ist $t_q = 25$ °C)
Wartungskategorie ³ (CIE 97 für die Innenbeleuchtung):	Buchstabe A–F
Wartungskategorie ³ (CIE 154 für die Außenbeleuchtung):	Angabe der IP-Schutzart
Melanopischer Tageslicht-Effizienzfaktor ^{3,4} (Innenbeleuchtung):	$\gamma_{mel, v, D65}$
Angabe der Lichtstärkeverteilung (Tabelle oder Diagramm)	

Alle aufgeführten Werte sind Bemessungswerte.

¹ Die Lichtquelle und die Energieeffizienzklasse müssen nach der Ökodesign-Verordnung ab dem 1. September 2021 eindeutig identifizierbar sein.

² Bei Konstant-Lichtstrom-Technologie ist der Bemessungswert der Eingangsleistung zu Beginn und am Ende der mittleren Bemessungslebensdauer L_x bzw. der Bemessungslebensdauer L_B anzugeben.

³ Optionale Angabe

⁴ DIN SPEC 5031-100:2020, auf die Lichtart D65 relativierter Umrechnungsfaktor von visuell auf melanopisch bewertete lichttechnische Größen

III Kenngrößen von LED-Leuchten

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 58 W, 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)

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

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

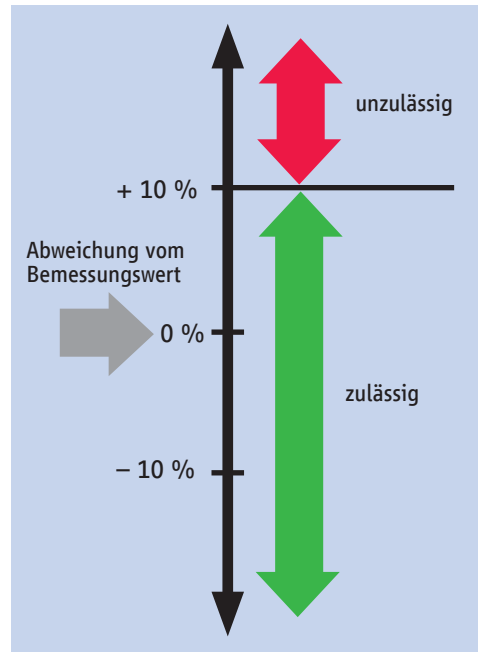
Die Eingangsleistung einer LED-Leuchte (Angabe in Watt [W]) wird bei Betrieb mit Bemessungsspannung, bei Bemessungsumgebungstemperatur t_q und mit 100 Prozent des Lichtstroms nach thermischer Stabilisierung gemessen (nach IEC 62722).

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 Produkts 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 der Bemessungswert der Eingangsleistung zu Beginn und am Ende der Bemessungslebensdauer $L_x B$, bzw. der mittleren Bemessungslebensdauer L_x anzugeben.

Abb. 1: Zulässige Toleranzen der Bemessungseingangsleistung



2 Bemessungslichtstrom ϕ_v (in lm)

Bei LED-Leuchten besteht die Notwendigkeit, den Bemessungslichtstrom der Leuchte in Lumen (lm) in der Produktdokumentation anzugeben. Er bezieht sich immer auf den angegebenen Neuwert des Lichtstroms einer Leuchte unter festgelegten Betriebsbedingungen und gilt als typischer Wert für die gesamte Fertigungsbreite des Produkts.

Der Bemessungslichtstrom der Leuchte kann durch geeignete Berechnungsmethoden ermittelt werden.

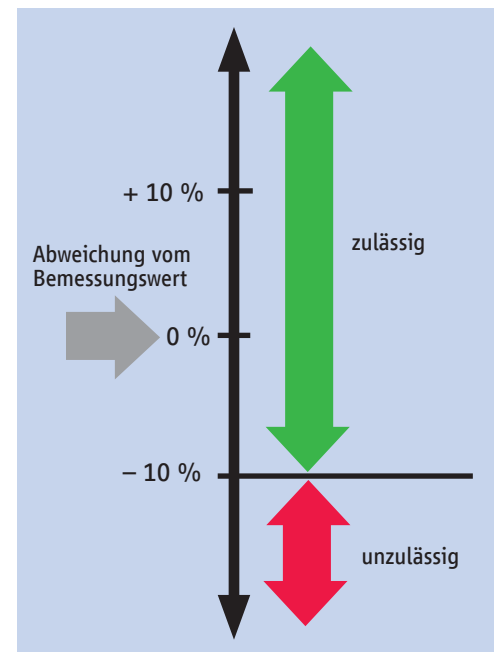
Bei einer Überprüfung dürfen die gemessenen Anfangswerte des Lichtstroms von Leuchten den veröffentlichten Bemessungslichtstrom um nicht mehr als 10 Prozent unterschreiten. Für den angegebenen Lichtstromwert der gesamten LED-Leuchte wird eine Umgebungstemperatur t_q von 25 °C zugrunde gelegt, sofern keine anderen Informationen gegeben werden.

Anmerkung: Für Leuchten mit traditionellen Lichtquellen (Lampen mit Sockel/Fassungssystem) ist es nicht üblich, den Leuchten-

Lichtstrom zu messen und zu veröffentlichen. In der Regel wird 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. Er wird 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: Zulässige Toleranzen des Bemessungslichtstroms



3 Lichtausbeute η_v (in lm/W)

Die Lichtausbeute einer LED-Leuchte ist der Quotient aus dem Lichtstrom und der Eingangsleistung einer Leuchte in Lumen pro Watt (lm/W). Für die Darstellung von Produktdaten für die gesamte Fertigungsbreite ist ein Bemessungswert anzugeben.

Anmerkung: Die Auswahl einer Leuchte für einen Beleuchtungszweck darf nicht allein durch die Lichtausbeute der Leuchte bestimmt werden.

4 Lichtstärkeverteilung

Die räumliche Verteilung der Lichtstärke von Lichtquellen und Leuchten wird durch Lichtstärkeverteilungskurven beschrieben. Lichtstärkeverteilungen werden mit Goniophotometern ermittelt und sind in den Datenblättern dokumentiert.

Abb. 3 zeigt sie am Beispiel einer Innenraumleuchte und Abb. 4 am Beispiel einer Straßenleuchte.

Abb. 3: Beispiel der Lichtstärkeverteilung einer Innenraumleuchte

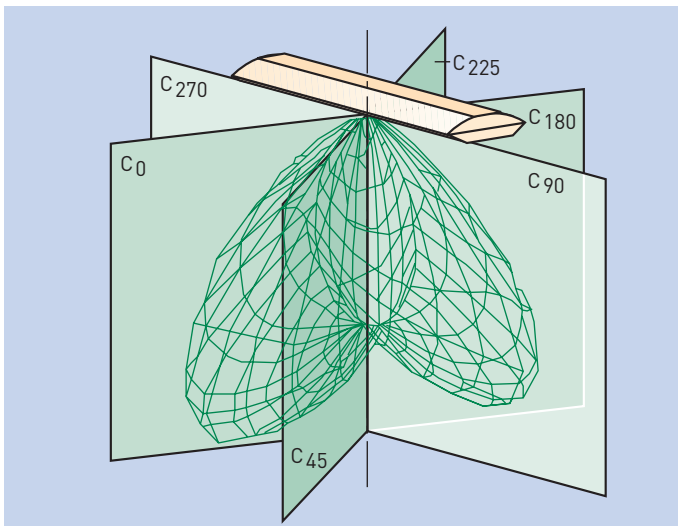
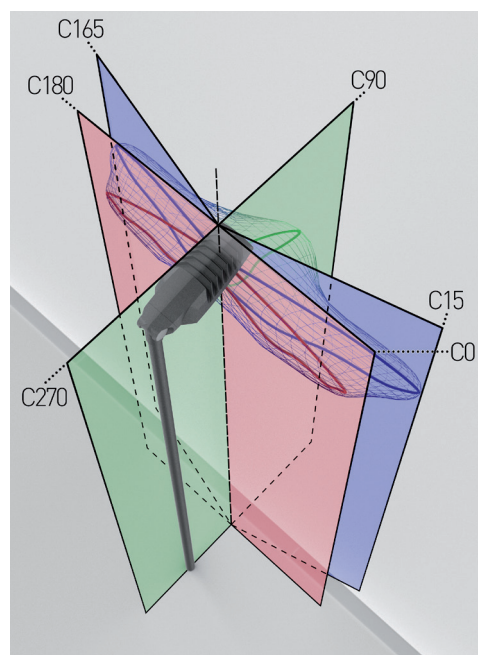


Abb. 4: Beispiel der Lichtstärkeverteilung einer Straßenleuchte



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 (z. B. Gebrauchslage) dargestellt. Sie werden in cd (Candela) angegeben.

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 Farborttoleranz, beschrieben durch die Stufen der 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.

Zur Beschreibung von Lichtfarben benutzt man üblicherweise die „ähnlichste Farbtemperatur T_{cp} “.

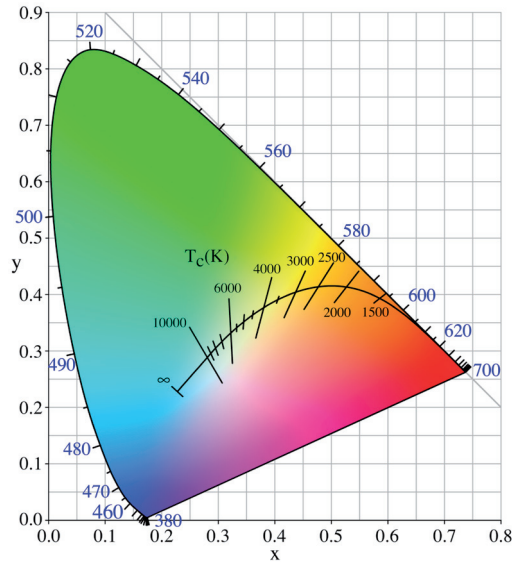
Diese wird in den Datenblättern von Leuchtmitteln bzw. LED-Leuchten in Kelvin (K) angegeben, dabei sollten die Angaben in 100-K-Schritten erfolgen (unverbindliche Empfehlung).

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).

Abb. 5 zeigt das CIE-Farbdiaagramm (CIE-Normvalenzsystem), in dem sich die durch den Menschen wahrnehmbaren Lichtfarben als xy-Koordinaten ablesen lassen. Die im Inneren dieses Dreiecks dargestellte gekrümmte Linie

wird auch als „Weißlinie“ oder „Planck'scher Kurvenzug“ bezeichnet. Die Linien gleicher ähnlichster Farbtemperaturen, die den „Planck'schen Kurvenzug“ schneiden, sind in Abb. 5 dargestellt.

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



Hieraus wird ersichtlich, warum zwei Lichtquellen trotz des gleichen Werts 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.

5b Die Farbwiedergabe, beschrieben durch den Farbwiedergabeindex R_a (international CRI)

Trotz gleicher Lichtfarbe können Leuchtmittel aufgrund unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung ihrer Strahlung unterschiedliche Farbwiedergabe-Eigenschaften haben (siehe Abbildung 6 und 7).

Abb. 6: Beispiel einer guten Farbwiedergabe



Abb. 7: Beispiel einer ungenügenden Farbwiedergabe



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 DIN EN 12464-1 bei Arbeitsplätzen im Innenbereich, in denen sich Menschen für längere 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.

Da in bestimmten Anwendungsfällen das R_a -Verfahren zur Beurteilung der dort notwendigen Farbwiedergabequalität nicht ausreichend sein kann, wird bei CIE an neuen Beurteilungsverfahren gearbeitet.

Für die Lichtfarbe und Farbwiedergabe von Lichtquellen wird herstellerneutral eine Farbbezeichnung verwendet, die aus drei Ziffern besteht (siehe Tabelle 2). Zum Beispiel kennzeichnet die Bezeichnung 840 ein Leuchtmittel mit einem Farbwiedergabeindex von 80 bis 89 und einer Farbtemperatur von 4.000 K, was der Lichtfarbe Neutralweiß entspricht.

Tab. 2: Kennzeichnung von LED-Leuchten bezüglich der R_a -Bereiche und der Lichtfarben

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

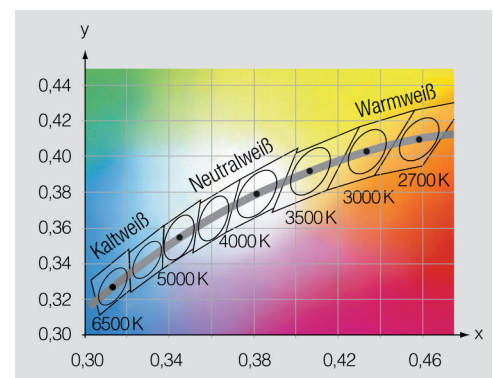
5c Die Farborttoleranz, beschrieben durch die Stufen der MacAdam-Ellipsen

Die Farbwertanteile einer bestimmten Farbe können durch x- und y-Koordinaten im CIE-

Farbdiagramm (CIE 1931; DIN 5033) exakt beschrieben werden. Der Unbuntpunkt (die Farbe Weiß) hat zum Beispiel die Koordinaten $x = 0,3333$ und $y = 0,3333$.

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-Farbdiagramm. Seit 2008 existiert eine Standard-Binningstruktur des ANSI (American National Standards Institute).

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



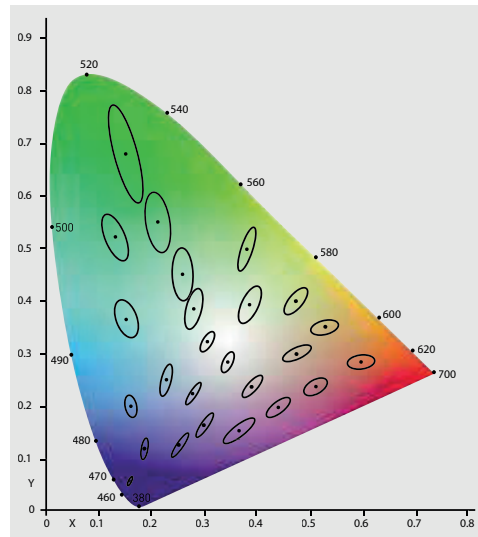
In vielen Fällen wird die ANSI-Klassifizierung als zu grob empfunden. Deshalb wurde, basierend auf den Untersuchungen von David MacAdam, ein System von Ellipsen entwickelt, um Farbabweichungen genauer beschreiben zu können.

Eine MacAdam-Ellipse beschreibt einen Bereich von Koordinaten im CIE-Farbdiagramm, innerhalb dessen das menschliche Auge keine Farbunterschiede zum Zentrum der Ellipse erkennt. Die äußere Begrenzung der Ellipse kennzeichnet die Koordinaten der gerade noch unterscheidbaren Farben.

MacAdam-Ellipsen werden gegenüber der Original-Ellipse auf zum Beispiel drei-, fünf- oder siebenfachen Durchmesser (siehe Abb. 10) 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- Ellipse entspricht. Insbesondere in Beleuch- tungsanwendungen, 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)



Somit wird die Farborttoleranz von Licht- quellen anhand dieser Stufen von MacAdam- Ellipsen bewertet (auch SDCM – Standard Deviation of Colour Matching genannt). Ab

einem Wert von > 3 SDCM gelten Farbort- unterschiede zwischen dem Rand der Ellipse und deren Zentrum als grundsätzlich für alle Men- schen wahrnehmbar.

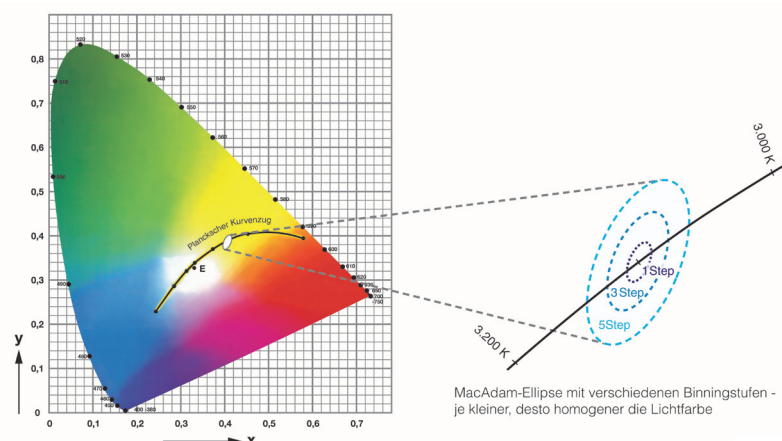
Durch Alterung der Chips und der verwen- deten Leuchtstoffe ändern sich bei LED die Farborte im Laufe der Lebensdauer. Deshalb erfolgt die Angabe der Farborttoleranzen häufig mit einem Anfangswert zum Zeit- punkt der Inbetriebnahme und einem weiteren Wert nach Ablauf einer bestimmten Betriebs- dauer (z. B. < 3 SDCM initial und < 5 SDCM nach 50.000 h).

6 Bemessungsumgebungs- temperatur der Leuchten

Das Betriebsverhalten einer Leuchte wird durch die Umgebungstemperatur beeinflusst. Mit dem Wert t_a wird die Bemessungsum- gebungstemperatur (im Betrieb darf der Wert kurzzeitig um 10 K überschritten werden) festgelegt, bei der die Leuchte unter Ein- haltung aller sicherheitsrelevanten Parameter betrieben werden sollte. Bei einem Wert von $t_a = 25\text{ °C}$ 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 Eigen- schaften) zulässig ist. Es ist möglich, verschie- dene t_q -Werte mit dazugehörigen Arbeits- weiseeigenschaften anzugeben.

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



MacAdam-Ellipse mit verschiedenen Binningstufen - je kleiner, desto homogener die Lichtfarbe

Der Lichtstrom einer LED ist aufgrund ihrer Halbleitereigenschaft temperaturabhängig. Diese Eigenschaft wirkt sich auch auf den Lichtstrom der Leuchte aus. Werden LED-Leuchten bei einer höheren als der Bemessungsumgebungstemperatur $t_q = 25\text{ °C}$ (der Wert, bei dem u. a. der Bemessungslichtstrom ermittelt wurde) betrieben, verringert sich der abgegebene Lichtstrom. Die Abnahme liegt in der Regel unter 5 Prozent und muss bei der Lichtplanung nicht gesondert berücksichtigt werden.

Entsprechend weisen LED-Leuchten, die unterhalb der Bemessungsumgebungstemperatur t_q betrieben werden (z. B. in einem Kühlhaus), eine geringfügige Zunahme des Lichtstroms auf. Für die Planung ist der Bemessungslichtstrom anzusetzen, damit für alle Betriebszustände (z. B. Wartungsarbeiten: Kühlung außer Betrieb) ausreichende Beleuchtungsstärken erfüllt werden.

7 Lebensdauerkriterien von LED-Leuchten

Die Lebensdauer-Eigenschaften von LED-Leuchten werden durch drei Parameter beschrieben:

- a Durch die Definition einer Bemessungslebensdauer (L_x) (siehe 7a)
- b Durch den Anteil der LED mit erhöhtem Lichtstromrückgang (B_y) (siehe 7b)
- c Durch die Totalausfälle (C_y) (siehe 7c)

Der Lichtstrom von LED-Leuchten nimmt im Laufe der Zeit ab (Degradation) und demzufolge wird eine Bemessungslebensdauer (L_x) definiert, die durch das Unterschreiten eines zuvor festgelegten Mindestlichtstroms „x [%]“ beschrieben wird.

Die Angabe der Bemessungslebensdauer einer Leuchte ist verbunden mit dem ermittelten Anteil der LED in Leuchten mit erhöhtem Lichtstromrückgang (B_y).

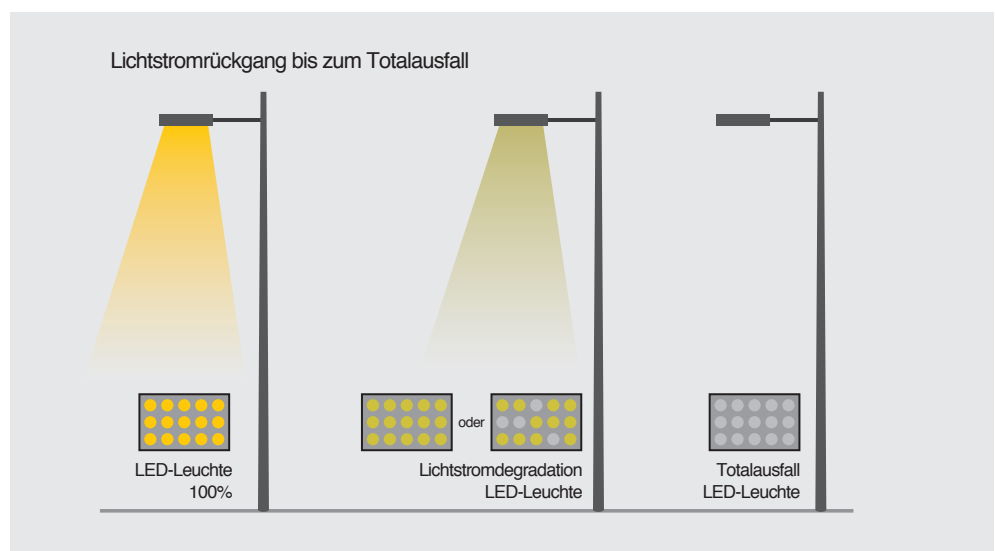
Neben dieser Bemessungslebensdauer, verbunden mit der Angabe des erhöhten Lichtstromrückgangs, werden die Totalausfälle angegeben.

Der Totalausfall von LED-Leuchten findet in der Regel entkoppelt von dieser Degradation statt.

Alle Angaben gelten im Rahmen der zulässigen Toleranzen jeweils für den gesamten Produktionsumfang eines entsprechenden LED-Leuchtentyps.

Grund für den Lichtstromrückgang (Lichtstrom-Degradation) kann neben der Degradation der LED auch der Ausfall von einzelnen LED oder einzelnen LED-Modulen sein, die je nach Konstruktion der Leuchte in einer Vielzahl in ihr verbaut sein können. Erst wenn die Leuchte kein Licht mehr abgibt, tritt der Totalausfall ein. Neuzustand, Degradation und Totalausfall

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



einer Leuchte sind in Abb. 11 dargestellt (Terminologie gemäß IEC 62717:2014+AMD1:2015+AMD2:2019).

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 Abb. 12a und 12b näher dargestellt.

Abb. 12a: Allgemeine Lebensdauerkriterien von LED-Leuchten

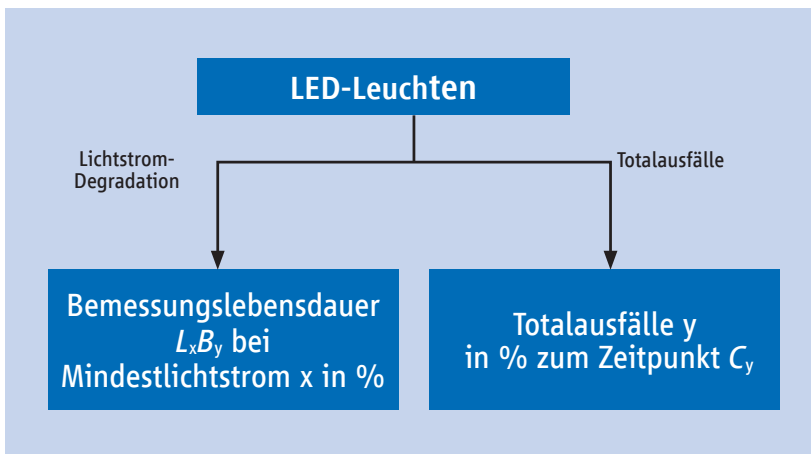
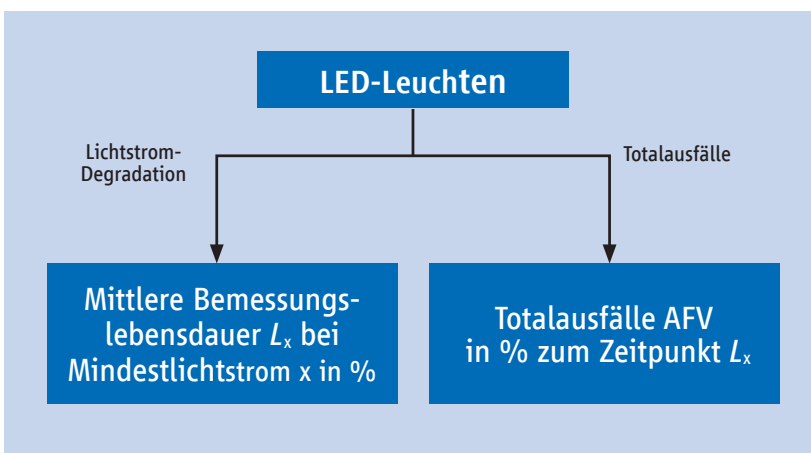


Abb. 12b: Lebensdauerkriterien von LED-Leuchten für die mittlere Bemessungslebensdauer



Angaben zu Bemessungslebensdauern und Totalausfällen sind Prognosen und von Leuchtenherstellern mit großer Sorgfalt zu erstellen.

Da die Bemessungslebensdauern und die Zeitspannen bis zum Ausfall von LED-Leuchten sehr lang sind, können LED-Leuchten vor ihrer Markteinführung zur Überprüfung der Prog-

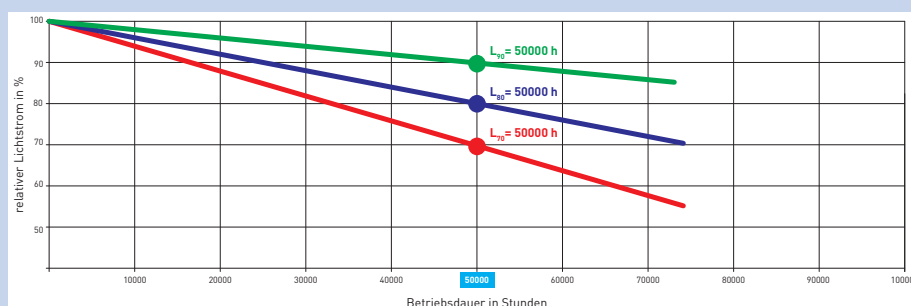
nosen nicht über ihre gesamte Lebensdauer gemessen werden. Stattdessen werden kürzere Messzeiträume genutzt und die Ergebnisse nach definierten Verfahren extrapoliert.

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, LED-Modulen bzw. Betriebsgeräten 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 und Betriebsgeräte eingehalten werden. Ist dies nicht sichergestellt, hängen Lichtstrom-Degradation und Totalausfall der LED-Leuchten von den elektrischen und thermischen Betriebsdaten der eingebauten LED-Module und Betriebsgeräte sowie der Umgebungstemperatur der Leuchten in der Applikation und weiteren Umgebungsparametern der Leuchten ab. Leuchtenhersteller müssen dem Anwender bzw. Planer einer Beleuchtungsanlage entsprechende Angaben zur Verfügung stellen, damit dieser in der Lichtplanung einen entsprechenden Wartungsplan erstellen kann (siehe Kapitel IV). Die Lebensdauerdaten werden normalerweise zusammen mit einer bestimmten Umgebungstemperatur (t_q) angegeben. Ist kein Wert einer Umgebungstemperatur angegeben, gelten die Lebensdauerangaben für die Umgebungstemperatur von $t_q = 25\text{ °C}$.

7a Mittlere Bemessungslebensdauer (L_x)

Die wesentliche Kenngröße L_x in den Bemessungslebensdauerangaben von LED-Leuchten beschreibt die Lebensdauer in Bezug auf den Lichtstromerhalt der in einer Leuchte betriebenen LED-Lichtquellen. Dabei wird der Lichtstrom zum Zeitpunkt der angegebenen Bemessungslebensdauer auf den im Index aufgeführten Anteil von x (in %) des Bemessungslichtstroms im Neuzustand bezogen. So beschreiben zum Beispiel $L_{80} = 50.000\text{ h}$ oder $L_{70} = 50.000\text{ h}$, dass eine Bewertung auf 80 Prozent bzw. 70 Prozent des Bemessungslichtstroms zum Zeitpunkt der 50.000 Stunden zugrunde gelegt wird.

Abb. 13: Schematische Darstellung des Lichtstromverlaufs über die Betriebszeit



Die Einteilung der Wertebereiche erfolgt durch die Zuordnung zu den sogenannten Lichtstrom-Wartungsfaktorgruppen gemäß Tabelle 3.

Tab. 3: Bereiche der Angabe des Werts x für den Lichtstromerhalt von LED-Leuchten als Index der Lebensdauerangabe (L_x)

	Lichtstromerhalt von LED-Leuchten wird in folgenden Stufen eingeteilt					
Lichtstrom-Wartungsfaktor-Gruppe x	70	75	80	85	90	95
Wertebereich der Wartungsfaktor-Gruppe x	70–74	75–79	80–84	85–89	90–94	95–100

Als typische Angabe zur Lebensdauer hat die IEC die mittlere Bemessungslebensdauer L_x (Median Useful Life) eingeführt, um eine Vergleichbarkeit der Lebensdauerangaben von Herstellern zu ermöglichen. In Ausnahmefällen, zum Beispiel bei der Produktion von einzelnen Leuchten mit einer sehr geringen Anzahl von LED, kann die Bemessungslebensdauer L_x unter zusätzlicher Angabe eines B_y -Werts $L_x B_y$ (B_y : siehe 7b) von Interesse sein.

Für die Angabe der mittleren Bemessungslebensdauer L_x werden typischerweise die Größen 35.000 h, 50.000 h, 75.000 h oder 100.000 h verwendet.

7b Anteil der LED mit erhöhtem Lichtstromrückgang (B_y)

Die Angabe der Bemessungslebensdauer einer Leuchte ist verbunden mit dem ermittelten Anteil der LED in Leuchten mit erhöhtem Lichtstromrückgang B_y .

Für die mittlere Bemessungslebensdauer L_x (ohne Zusatz) gilt $B_y = B_{50}$. Es wird empfohlen, die mittlere Bemessungslebensdauer, wie in Abb. 12b dargestellt, anzugeben. Der Wert B_{50} bedeutet bei einer Normalverteilung der LED-Lichtquellen, dass 50 Prozent einer Menge gleichartiger LED-Lichtquellen den deklarierten Lichtstromanteil „x“ am Ende der mittleren Bemessungslebensdauer „ L_x “ unterschreiten und 50 Prozent ihn überschreiten.

Das B_{50} -Kriterium wird herangezogen, um den mittleren Lichtstrom funktionierender LED am definierten Ende der mittleren Bemessungslebensdauer L_x anzugeben (engl.: rated median useful life). Bei flächigen Beleuchtungslösungen mit mehreren Leuchten und/oder Leuchten mit jeweils einer größeren Menge LED pro Leuchte ist die Berücksichtigung der Bemessungslebensdauer B_{50} heranzuziehen.

In bestimmten Fällen können andere Angaben für B_y von Interesse sein, zum Beispiel wenn einzelne Objekte oder Flächen mit jeweils nur einer Leuchte beleuchtet werden und/oder Leuchten mit einer geringen Anzahl von LED zum Einsatz kommen. Mit der Angabe B_{10} wird in diesen Fällen ausgedrückt, dass nur 10 Prozent dieser LED in Leuchten den deklarierten Lichtstromanteil „x“ unterschreiten.

LightingEurope hat in einem „Guidance paper / Evaluating performance of LED based luminaires (January 2018)“ aufgezeigt, dass für die Darstellung der Lebensdauer die Angabe von B_y -Werten in der Praxis eine untergeordnete Rolle spielt.

7c Beschreibung der Totalausfälle (AFV bzw. C_y) von LED-Leuchten

Der Begriff AFV („Abrupt Failure Value“) 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 LED oder auch LED-Leuchten, bei denen nur einzelne LED-Module von mehreren ausgefallen sind, gelten nicht als Totalausfall. AFV ist also die Totalausfallrate zum Zeitpunkt der mittleren Lebensdauer L_x (bei B_{50}).

Bei anderen B_y -Werten als B_{50} wird üblicherweise die Angabe C_y in Stunden mit y als Prozentangabe für den Totalausfall verwendet. Beispiel: $C_4 = 19.000$ h bedeutet, dass nach einer Zeit von 19.000 Stunden statistisch der Totalausfall von 4 Prozent der betrachteten LED-Leuchten zu erwarten ist.

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.

Abb. 14: Einflussfaktoren der Systemzuverlässigkeit



Die dargestellten unterschiedlichen Einflussfaktoren haben nach heutigen Erkenntnissen sehr unterschiedliche Bedeutung in Bezug auf den Totalausfall. Im Wesentlichen liegen Erkenntnisse für Betriebsgeräte und LED-Module/Lichtquellen vor. Die anderen Systemkomponenten stellen in der Praxis keine relevanten Faktoren dar. Somit stellt die Betrachtung der Ausfallraten von Betriebsgeräten und LED-Modulen eine hinreichende Bewertung der Totalausfallrate dar. Das in Betriebsgeräten oder LED-Modulen verwendete Bauteil mit der höchsten Fehlerwahrscheinlichkeit wird dabei zugrunde gelegt.

Die Angaben zu den Ausfallraten von Betriebsgeräten sind bei den jeweiligen Herstellern zu erfragen und sollten im Sinne einer Vergleichbarkeit entsprechend in den Angaben von AFV bzw. C_y berücksichtigt werden.

Als Beispiel könnte dabei für LED-Leuchten eine Ausfallrate von 0,2 Prozent pro 1.000 Betriebsstunden bis zum Erreichen der mittleren Bemessungslebensdauer L_x angegeben werden. Dies entspricht in etwa den Angaben zur Ausfallrate von Betriebsgeräten, die typischerweise für die Ausfälle von LED-Leuchten vor Erreichen der mittleren Bemessungslebensdauer verantwortlich sind, wenn ein Betriebsgerät pro Leuchte verwendet wird.

7e Lebensdauer – nicht immer eine Frage der meisten Stunden

Betrachtet man die aktuellen Entwicklungen im Markt, so scheint ein Wettlauf um immer höhere Stundenzahlen für die Angabe der mittleren Bemessungslebensdauer stattzufinden. Diese hängen in erster Linie von den geplanten Nutzungsdauern (in Jahren) und jährlichen Betriebszeiten der Beleuchtungsanlagen ab. Entsprechend können die verwendeten Steuerungstechnologien einen wesentlichen Einfluss besitzen. Nachfolgend sind einige Anwendungsbeispiele für die Innenraumbeleuchtung aufgeführt, die die Auswirkungen verdeutlichen sollen.

Tab. 4a: Beispiele für die durchschnittliche Lebensdauer einer Installation bei verschiedenen Innenanwendungen

Nutzung	Steuerung/Regelung	Jährliche Nutzungszeit Beleuchtung in Stunden	Angenommene theoretische Betriebszeit in Jahren	Abgeleitete Lebensdauer von Produkten
Büro	ohne	2.500	20	50.000
	Tageslicht und Präsenz ¹	900–1.250	20	18.000–25.000
Schule (Vollzeit)	ohne	1.400	25	35.000
	Tageslicht und Präsenz	800	25	20.000
Industrie (2-Schicht)	ohne	4.000	25	100.000
	Tageslicht und Präsenz	2.400	25	60.000
Logistik (3-Schicht)	ohne	6.000	15	90.000
	Präsenz	3.000	15	45.000

¹ Durch einen Präsenzsensoren wird die Betriebszeit verringert und durch eine Tageslichtregelung wird das Lichtniveau angepasst. Beide Maßnahmen führen zu einer Reduzierung der Leuchten-Belastung und der Betriebszeit.

Tab. 4b: Beispiele für die durchschnittliche Lebensdauer einer Installation bei verschiedenen Außenanwendungen

Nutzung	Steuerung/Regelung	Jährliche Nutzungszeit Beleuchtung in Stunden	Angenommene theoretische Betriebszeit in Jahren	Abgeleitete Lebensdauer von Produkten
Straße	ohne	4000	25	100.000
	Nachtabenkung ¹	2.000: 100 % ² 2.000: 50 %	29	100.000
	adaptiv – 3-stufig ¹	1.320: 100 % ² 1.000: 70 % 1.680: 40 %	34	100.000
Sportanlagen	ohne	1250	28	35.000
Tunnel-Einfahrt	ohne	4.000	25	100.000
	Leuchtdichte (Tageslicht)	2.000: 100 % ² 1.000: 70 % 1.000: 50 %	28	100.000
Tunnel-Durchfahrt	ohne	8.760	12	100.000
Logistik (3-Schicht)	ohne	6.000	15	90.000
	Präsenz	3.000	30	90.000

¹ Annahme: Alle LED in den Leuchten werden gleichartig gesteuert (Lichtstrom abgesenkt).

² Die Prozentzahl gibt die Lichtstromabgabe der Leuchten an, z. B. „2.000: 100 %“ = kennzeichnet eine Betriebszeit von 2.000 Std. ohne Lichtstromabsenkung (100%-Betrieb) und „2.000: 50 %“ = kennzeichnet eine Betriebszeit von 2.000 Std. bei einem Lichtstrom von 50 %.

Tabelle 5 – Zuordnung der Bauformen von Leuchten zu empfohlenen Reinigungsintervallen (x)

Reinigungsintervalle	3 Jahre			2 Jahre			1 Jahr		
	VC; C	N	D	VC, C	N	D	VC, C	N	D
Umgebung									
Leuchtenausführung									
A – offene Leuchte	X				X				X
B – offene Leuchte mit durchlüftetem Reflektor („selbstreinigend“)	X				X				X
C – oben geschlossene Leuchte mit unten offenem Reflektor (unbelüftet)	X			X				X	
D – geschlossene Leuchte IP2X	X			X				X	
E – staubgeschützte Leuchte IP5X	X	X				X			
F – indirekt strahlende geschlossene Leuchte (uplighter)							X	X	

Dabei gilt: VC = sehr saubere Umgebungsbedingungen, C = saubere Umgebungsbedingungen, N = normale Umgebungsbedingungen, D = verschmutzte Atmosphäre in der Umgebung.

8 Wartungskategorien nach CIE 97

Leuchten verschmutzen unterschiedlich. Je nach Bauart kann potenzieller Schmutz die Lichtstromabgabe in unterschiedlichem Maß beeinflussen. Auf Leuchten, die Licht indirekt „nach oben“ abstrahlen, kann Schmutz zum Beispiel leichter liegenbleiben. In der CIE 97 sind unterschiedliche Bauformen von Leuchten in die Kategorien A–F aufgeteilt (siehe Tab. 5).

Bei der Angabe des LMF (Luminaire Maintenance Factor) wird die Verschmutzungsart bei der Angabe des Wartungsfaktors berücksichtigt.

Bei Leuchten mit integrierten LED-Modulen kommen nur die Kategorien C–F zur Anwendung.

9 Melanopischer Umrechnungsfaktor

Jede Lichtquelle strahlt ein bestimmtes Lichtspektrum aus. Üblicherweise wird das Lichtspektrum auf die Wirksamkeit für die relative spektrale Hellempfindung des menschlichen Auges beim Tagessehen $V(\lambda)$ bezogen. Für die Bewertung des Spektrums bezüglich der melanopischen Wirkung, d. h. der Wirksamkeit zur Unterdrückung und Ausschüttung von Melatonin, der Aktivierung mit Licht und weiteren (Auslöse-)Faktoren beschreibt die DIN SPEC 5031-100:2020 die melanopische tageslichtäquivalente Wirkungsfunktion.

Zur Umrechnung der wirksamen visuellen lichttechnischen Größen auf die melanopischen Lichtwirkungen kann im Datenblatt optional der Melanopische Tageslicht-Effizienzfaktor $\gamma_{\text{mel}, v, D65}$ angegeben werden. In der englischen Literatur wird der Begriff MDER (Melanopic Daylight Efficiency Ratio) verwendet.

Bemerkung: DIN SPEC 5031-100:2015 verwendet den Begriff melanopischer Umrechnungsfaktor $m_{v, \text{mel}, D65}$.

IV 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.

Bei einer Innenraum-Beleuchtungsanlage sieht die Formel zur Berechnung des Wartungsfaktors MF wie folgt aus:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RMF \text{ (Formel 1)}$$

Beispiele für Innenraumbeluchtungsanlagen sind:

A Industriehalle, zum Beispiel Produktionshalle im Zwei-Schicht-Betrieb:

- LLMF: $0,8 / L_{90} = 100.000$ h, mittlere Bemessungslebensdauer (das ergibt bei 5.000 h Betrieb pro Jahr eine Betriebszeit von 20 Jahren)
- LSF: 0,9 (kein Austausch bis zum Ende der Betriebszeit unter Annahme einer Ausfallrate von 0,1 % / 1.000 h, dabei ist die Ausfallrate des Betriebsgeräts eingeschlossen)
- RMF: 0,93 (Verschmutzung der Oberflächen über einen Zeitraum von 6 Jahren)
- LMF: Bei Leuchtenreinigung in den angegebenen Jahren ergeben sich die folgenden LMF (geschlossene Leuchte, D, sauberer Raum nach CIE 97) und damit die Gesamtwartungsfaktoren MF

Reinigung nach:	LMF	MF (Berechnet nach der Formel 1)
1 Jahr	0,88	0,59
4 Jahre	0,75	0,50
Keine Reinigung	0,65	0,44

(Werte geschätzt)

B Büro, tageslicht- und präsenzabhängige Steuerung (da Auswirkungen auf die Betriebszeit der Beleuchtungsanlage):

- LLMF: $0,95 / L_{90} = 50.000$ h, mittlere Bemessungslebensdauer (nach 20 Jahren sind 25.000 h Betriebsstunden bei 1.250 h Betrieb pro Jahr erreicht, der Lichtstrom also um 5 % abgesunken)
- LSF: 1 (Einzelaustausch bei Leuchtausfall)
- RMF: 0,95 (betrachtete Verschmutzung der Oberflächen für einen Zeitraum von 6 Jahren) betrachtet
- LMF: Bei einer Leuchtenreinigung in den angegebenen Jahren ergeben sich die folgenden LMF (geschlossene Leuchte, D, sehr sauberer Raum nach CIE 97) und damit der Gesamtwartungsfaktoren MF

Reinigung nach:	LMF	MF (Berechnet nach der Formel 1)
1 Jahr	0,94	0,85
4 Jahre	0,87	0,79
Keine Reinigung (Werte geschätzt)	0,75	0,68

Für Außen-Beleuchtungsanlagen wird die folgende Formel angewendet:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times SMF^* \text{ (Formel 2)}$$

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

C Beispiel einer Außenbeleuchtungsanlage für vorstädtische Industrie und Wohnbezirke

LLMF: 0,80 / $L_{80} = 100.000$ h, mittlere Bemessungslebensdauer (das ergibt bei 4.000 h Betrieb pro Jahr eine Betriebszeit von 25 Jahren)

LSF: 1 (Einzelaustausch bei Leuchtenausfall)

SMF: kommt nicht zur Anwendung, da keine Anstrahlung, oder keine Fußgängerunterführung

LMF: nach CIE 154, Leuchte \geq IP65, mittlerer Verschmutzungsgrad der Umgebung

Reinigung nach:	LMF	MF (Berechnet nach der Formel 2)
1 Jahr	0,92	0,74
4 Jahre	0,87	0,70
Keine Reinigung (Werte geschätzt)	0,83	0,66

LLMF ergibt sich zum jeweiligen Betrachtungszeitpunkt aus den Lichtstromrückgangskurven der Hersteller. Für die Ermittlung des Wartungsfaktors ist die mittlere Bemessungslebensdauer zu verwenden.

Bei Leuchten mit CLO-Technik (Constant Light Output) für Innen- oder Außenbeleuchtung ist der LLMF = 1 zu setzen.

In der Vergangenheit ist man davon ausgegangen, dass nach Ablauf eines oder mehrerer Wartungszyklen ein vollständiger Ersatz der eingesetzten Leuchtmittel (z. B. Leuchtstofflampen) vorgenommen werden musste. Als LLMF wurde bei der Planung der Wert gewählt, der zum Zeitpunkt des beabsichtigten Leuchtmittelaustauschs zu erwarten war.

Bei LED-Leuchten ist ein solcher Austausch aber in der Regel nicht vorgesehen, da die Bemessungslebensdauer der LED den vorgesehenen Nutzungszeitraum der Beleuchtungsanlage häufig übersteigt (siehe Tabelle 4a und 4b). Darüber hinaus ist in vielen Leuchten ein Ersatz des LED-Moduls aufgrund des damit verbundenen Aufwands eher unwirtschaftlich.

Es empfiehlt sich deshalb, als LLMF den Wert der eingeplanten Leuchten zu nutzen, der zum Ablauf des vorgesehenen Nutzungszeitraums der Beleuchtungsanlage zu erwarten ist.

LSF ergibt sich zum jeweiligen Betrachtungszeitpunkt aus den bis zu diesem Zeitpunkt total ausgefallenen LED-Leuchten und der gewählten Art des Austauschs: Gruppentausch zum Ende der Betriebszeit oder Einzelaustausch bei Ausfall einzelnen Leuchten.

Bei der Lichtplanung mit LED-Leuchten können der LLMF und der LSF als Bewertungsgrundlage von LED-Leuchten für diverse Lichtstrom-Wartungsfaktor-Gruppen (siehe Tabelle 3) über die Betriebsdauer (in Stunden) festgelegt werden. Dieses Verfahren orientiert sich an der Angabe von LLMF und LSF bei konventionellen Lampen.

Die Wartungsfaktoren LLMF und die Überlebensfaktoren LSF von LED-Leuchten können in Tabellen angegeben werden, dabei sollten in der ersten Spalte der Tabellen die mittleren Bemessungslebensdauern angegeben werden. Der Hersteller benennt diese im Datenblatt der Produkte mit dem Bewertungskennwert (zum Beispiel $L_{80} = 50.000$ h). In den Zeilen können dann der Lichtstromrückgang LLMF bzw. der Überlebensfaktor LSF zu einem

beliebigen Zeitpunkt, den der Planer wählt, abgelesen werden. Die Lichtstromabnahmen sind linear angenommen.

Veröffentlichungen von Beispieltabellen werden in Kürze von der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft erwartet.

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

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

Der Totalausfall einer LED-Leuchte (ohne Berücksichtigung des Betriebsgeräts) lässt sich mithilfe des LSF darstellen. 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. Ansonsten gilt, wenn bis zur Lebensdauer keine ausgefallenen Leuchten ersetzt werden, dass $LSF = 1 - AFV$.

Alternativ kann der Ausfall des Betriebsgeräts im LSF mitberücksichtigt werden wie in Beispiel A. Beim Vergleich von Wartungsfaktorberechnungen muss dies einheitlich geschehen.

V 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

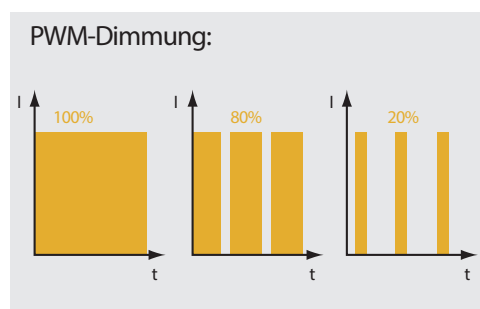
VI Dimmen LED-Lichtquellen / LED-Leuchten

Zur Steuerung von LED stehen zwei Verfahren zur Verfügung, die Pulsweiten-Modulation (PWM = Pulse Width Modulation) und die Konstantstrom-Reduzierung (CCR = Constant Current Reduction).

A Pulsweitenmodulation

Bei der Pulsweitenmodulation werden die LED in sehr kurzen Intervallen (100- bis über 1.000-mal pro Sekunde) an- und wieder abgeschaltet. Zum Dimmen verkürzt man die Phasen, in denen sie eingeschaltet bleiben und verlängert die Pausen dazwischen. Die Schaltfrequenz bleibt dabei unverändert. Durch die Trägheit des menschlichen Auges entsteht der Eindruck, als würden die LED dunkler.

Abb. 15: PWM-Dimmen von LED



Die LED erfährt bei dieser Methode also nur zwei Betriebszustände, nämlich 0 Prozent (Aus) und 100 Prozent (An). Dadurch bleibt die abgegebene Lichtfarbe über den gesamten Dimmbereich nahezu konstant. Zudem sind sehr niedrige Dimmlevel bis ca. 1 Prozent ohne allzu großen konstruktiven Aufwand des Betriebsgeräts möglich.

Das durch PWM erzeugte Pulsieren der LED kann allerdings unerwünschte Nebeneffekte erzeugen. Diese sind einerseits physiologischer Natur, wie zum Beispiel Minderung der Konzentration oder Kopfschmerzen. Deshalb gilt eine Frequenz von ca. 100 Hertz als absoluter Mindestwert. Weiterhin kann es zu Stroboskopeffekten bei schnellen Bewegungen kommen (z. B. durch rotierende Maschinen).

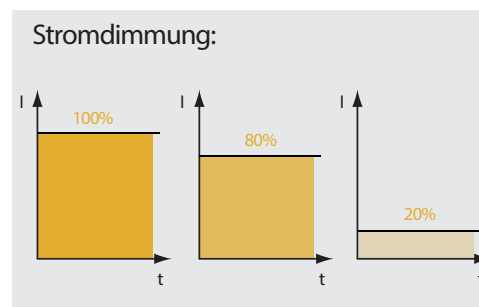
Durch die Überlagerung mit der Aufnahme Frequenz von Kameras können bei Videoaufnahmen sogenannte Artefakte auftreten (übers Bild laufende Streifen) [siehe hierzu auch Abschnitt VII – TLA in der Beleuchtung].

Grundsätzlich gilt: je höher die Frequenz, desto unwahrscheinlicher unerwünschte Begleiterscheinungen. Dem sind allerdings technische Grenzen gesetzt, da eine höhere Frequenz zu Problemen hinsichtlich der Einhaltung der EMV-Richtlinie (Elektromagnetische Verträglichkeit) führen kann.

B Konstantstrom-Reduzierung

Beim Dimmen mittels Konstantstrom-Reduzierung wird der Betriebsstrom der LED gesenkt. Dadurch bleibt auch im Dimmzustand ein gleichmäßiges Licht ohne Flimmern erhalten. Physiologische Auswirkungen sowie Stroboskopeffekte und Artefakte werden hierdurch vermieden.

Abb. 16: Analoges Dimmen von LED durch Strom-Reduzierung



Die Lichtausbeute der LED wird bei niedrigerem Betriebsstrom höher, das heißt die Energieeffizienz der Leuchte steigt beim Dimmen sogar an.

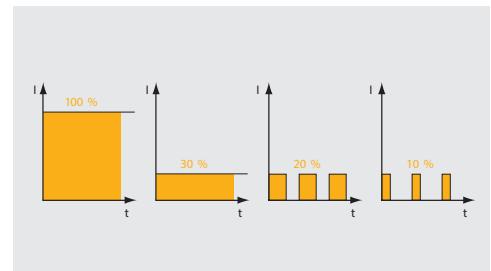
Da sich aber der Betriebsstrom der LED über den Dimmbereich ändert, können Farbortverschiebungen des erzeugten Lichts auftreten. Bei vielen LED liegt diese Abweichung allerdings in einem Farbtemperaturbereich unter 100 K und ist damit für die meisten Menschen nicht wahrnehmbar.

Sehr niedrige Dimmlevels (d. h. unter 10 %) sind bei reiner Konstantstrom-Reduzierung nur mit einem erhöhten Aufwand in der Betriebsgeräteelektronik zu realisieren.

C Kombination aus Pulsweitenmodulation und Konstantstromreduzierung

Eine Möglichkeit, die Vorteile beider Dimmverfahren gleichermaßen zu nutzen, ist die Mischung beider Methoden (Mixed Dimming). Beim Dimmen von Leuchten, die nach diesem Prinzip arbeiten, reduziert das Betriebsgerät zunächst ausschließlich den Betriebsstrom der LED. Erst unterhalb eines gewissen Dimmwerts (z. B. 25 %) erfolgt ein nahtloser Übergang zur Pulsweitenmodulation.

Abb. 17: Kombination von analogem und PWM-Dimmen



Generell sollten bei der Planung einer Beleuchtungsanlage die LED-Leuchten so ausgewählt werden, dass das minimal mögliche Dimmlevel allen Erwartungen bzw. Ansprüchen gerecht wird.

VII Temporal Light Artefacts – TLA in der LED-Beleuchtung

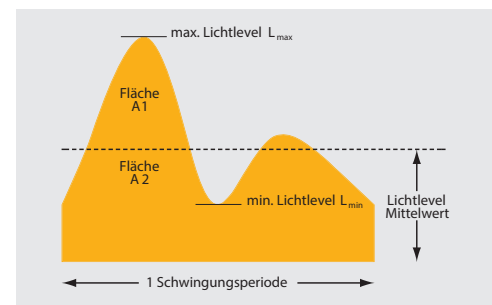
Flimmern und Stroboskopeffekte

Dauerhaftes Flimmern von Leuchten kann Störungen verursachen, zum Beispiel physiologische Effekte wie Kopfschmerzen. Darüber hinaus könnten auftretende Stroboskopeffekte zu Gefährdungen führen. Sie können die Wahrnehmung von Bewegungen rotierender oder sich hin und her bewegnender Maschinenteile verändern. Um diese Effekte zu verhindern, sollten abgestimmte technische Maßnahmen berücksichtigt werden.

Messverfahren zur Bewertung von TLA

Neben der Flimmerfrequenz ist es zusätzlich möglich, den Flicker-Index und die Modulationstiefe einer Lichtquelle zu bestimmen. Aus diesen drei Werten kann eine erste Beurteilung des TLA vollzogen werden. Abbildung 18 zeigt beispielhaft die modulierte Lichtstromabgabe einer Lichtquelle und die verwendeten Größen zur Berechnung der genannten Werte.

Abb. 18: Anwendungsbeispiel für die Bewertungsverfahren Flimmerfrequenz, Modulationstiefe und Flicker-Index



Die Flimmerfrequenz ergibt sich aus der Wiederholungsfrequenz der Schwingungsperioden.

Die Modulationstiefe (MD) ist wie folgt definiert:

$$MD = \frac{(L_{\max} - L_{\min})}{(L_{\max} + L_{\min})} \cdot 100 \%$$

Die Formel zur Berechnung des Flicker-Index (FI) lautet:

$$FI = \frac{A1}{A1 + A2}$$

Die Messungen sind für die Beurteilung von sichtbaren und stroboskopischen Lichtflimmern nur bedingt aussagekräftig. Neue, verbesserte Messverfahren werden in der Broschüre des ZVEI „Temporal Light Artefacts – TLA“ beschrieben.

Bewertung der Messwerte

Da es noch keine definierten Bewertungskriterien im Bereich TLA gibt, sollten bei den Beleuchtungsaufgaben zwei unterschiedliche Frequenzbereiche betrachtet werden.

Visuell wahrnehmbares Flimmern (0,3–70 Hz)
Dieses Flimmern liegt bei einer Flimmerfrequenz von 0,3–70 Hz und kann je nach Proband und Frequenz direkt Auswirkungen auf den menschlichen Körper haben. Hier sollte das P_{st}^{LM} -Messverfahren angewandt werden.

Indirekt und unbewusst wahrgenommenes Flimmern (80–2.500 Hz)

Flimmern in diesem Frequenzbereich wird vom menschlichen Körper nicht direkt wahrgenommen, kann aber das Kopfschmerzrisiko erhöhen und zu einer Beeinträchtigung der Lesefähigkeit führen. Außerdem kann es bei diesen Frequenzen zu Stroboskopeffekten kommen, die einen falschen Eindruck bei sich drehenden oder sich hin und her bewegenden Teilen erwecken. Zusätzlich kann es bei Kameraanwendungen durch Schwebung mit der Bildfrequenz zu ungenügenden Ergebnissen des Filmmaterials kommen. Bei diesen Anwendungen sollte das SVM-Messverfahren und/oder das Bewertungskriterium nach IEEE 1789 angewandt werden.

Genauere Informationen zu den P_{st}^{LM} - und SVM-Messverfahren finden sich in der genannten Broschüre des ZVEI.

VIII LED-Retrofit-Lampen in der professionellen Beleuchtung

Zweiseitig gesockelte LED-Lampen werden als Ersatz für zweiseitig gesockelte Leuchtstofflampen in bestehenden Fassungssystemen als Retrofit- und als Konversions-Lampen angeboten.

Bei der Retrofitvariante wird eine Leuchtstofflampe durch eine LED-Lampe ersetzt. An elektromagnetischen Betriebsgeräten muss der vorhandene Starter durch eine geometrisch identische Starterbrücke ersetzt werden, so wie vom Hersteller der LED-Lampe angegeben. Hierdurch werden an der Leuchte keine baulichen Änderungen durchgeführt. Retrofit-Lampen sind auch für den Einsatz an elektronischem Betriebsgerät als HF-Version verfügbar. Diese HF-Lampen können in Kombination mit vom Hersteller freigegebenen EVGs betrieben werden. Die entsprechenden Informationen der Lampenhersteller im Internet sind zu beachten.

Für diese LED-Lampen kann die Sicherheitsnorm IEC 62776 (oder DIN EN 62776) „Zweiseitig gesockelte LED-Lampen für Allgemeinbeleuchtung – Sicherheitsanforderungen“ angewandt werden. Es sollten nur Lampen, die diese Sicherheitsnorm erfüllen, verwendet werden.

Durch den Tausch Leuchtstofflampe gegen Retrofit-LED-Lampe wird die Leuchte nicht verändert. Der Lampentausch inklusive Tausch des Starters gilt hierbei als Wartung.

Bei der Konversionsvariante werden nicht nur die Leuchtstofflampe ausgetauscht und der Starter gegebenenfalls ersetzt oder ausgetauscht, es sind darüber hinaus technische Änderungen in der Leuchte nötig, beispielsweise werden Betriebsgeräte und Innenverdrahtung ersetzt, entfernt oder verändert.

Es werden Lampen angeboten, die sowohl als Retrofit- als auch als Konversions-Lampen verwendet werden können.

Diese Umrüstung der Leuchte – und die damit verbundene Einhaltung der Normen zur Sicherheit und Arbeitsweise sowie zur Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) – muss durch eine Elektrofachkraft erfolgen.

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

Zur sicherheitstechnischen Betrachtung – umgebauter, aber auch neuer Leuchten zum Betrieb von G13- und G5-gesockelten LED-Lampen direkt an der Netzspannung – gehört auch, dass der irrtümliche Einsatz von Leuchtstofflampen (G13- und G5-gesockelt) nicht zu einer Gefährdung führt. Es ist gängige Praxis, dass für die Absicherung dieses Falles Überstrom-Sicherungen zum Einsatz kommen.

Da durch den Einsatz von LED-Lampen die lichttechnischen Eigenschaften einer Beleuchtungsanlage verändert werden können, wird eine entsprechende lichttechnische Überprüfung empfohlen.

Wird eine bestehende Anlage auf LED-Technik umgerüstet, stellen sich Fragen nach der Verantwortlichkeit für die Konformität der umgerüsteten Leuchten.

Die Konformitätsbewertung einschließlich der CE-Kennzeichnung und eventueller Prüfzeichen der ursprünglichen Leuchten gelten für den Zustand und Zeitpunkt des Inverkehrbringens und damit im Rahmen der vom Leuchtenhersteller vorgesehenen Verwendung einschließlich der von ihm für die Leuchte vorgesehenen Lampenarten. Beides ist in der Regel in Datenblättern oder Betriebsanleitungen der Leuchte beschrieben.

Hersteller von Retrofit- oder Konversionslösungen stellen im Rahmen ihrer Konformitätsbewertung die Eignung ihrer Produkte für den vorgesehenen und angegebenen Zweck sicher und tragen die Verantwortung dafür. Mit der CE-Kennzeichnung auf Retrofitlampen oder Konversionskomponenten wird dies für die einschlägigen EU-Richtlinien nach außen dokumentiert. Das schließt Anforderungen an die Sicherheit ebenso ein wie die elektromagnetische Verträglichkeit.

Bei der Umrüstung mit Konversionslösungen findet eine wesentliche Veränderung an den Leuchten statt, die diese zu einem „neuen Produkt“ werden lassen.

Bei der Konversion bleibt die Verpflichtung zu einer fachgerechten Ausführung unter Einhaltung des Stands der Technik beim Betreiber und dem Umbaubeauftragten, der Nachweis durch eine entsprechende Dokumentation muss erbracht werden.

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

Siehe hier:

https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2016/Dezember/Einsatz_von_LED-Lampen_als_Alternative_zu_zweiseitig_gesockelten_Leuchtstofflampen_in_Leuchten/Einsatz-von-LED-Lampen-in-Leuchtstofflampen-2016-12-12.pdf

Anhang A: Definitionen der Leistungsanforderung der Qualitätskriterien

Bezeichnung	Standard
Bemessungsleistung (in W)	<p>DIN EN 62722-1:2016-01; DIN EN 62722-2-1:2016-04:</p> <p>Für LED-Leuchten gelten die Bestimmungen von Abschnitt 7 der DIN EN 62717.</p> <p>DIN EN 62717:2018-04:</p> <p>Die anfängliche Leistungsaufnahme der einzelnen LED-Module in der gemessenen Probe darf die Nennleistung nicht um mehr als 10 % überschreiten.</p>
Bemessungswert des Lichtstroms (in lm)	<p>DIN EN 62722-1:2016-01; DIN EN 62722-2-1:2016-04:</p> <p>Für LED-Leuchten gelten die Bestimmungen von Abschnitt 8.1 der DIN EN 62717. Zusätzlich gelten die Anforderungen von Abschnitt A.1, Absatz 2 der DIN EN 62722-2-1, wenn eine andere Nennumgebungstemperatur als 25 °C vom Hersteller angegeben wird.</p>
Lichtausbeute einer LED-Leuchte (in lm/W)	<p>DIN EN 62722-1:2016-01; DIN EN 62722-2-1:2016-04:</p> <p>Für LED-Leuchten gelten die Bestimmungen von Abschnitt 8.3 der DIN EN 62717.</p> <p>DIN EN 62717:2018-04:</p> <p>Die Lichtausbeute eines LED-Moduls (der Leuchte) wird aus dem gemessenen Anfangslichtstrom des einzelnen LED-Moduls (der Leuchte), dividiert durch die gemessene Anfangsleistung des gleichen einzelnen LED-Moduls (der Leuchte), berechnet. Für die Messung des Lichtstroms siehe Anhang A.3.2.</p>
Lichtstärkeverteilung und Lichtstärke	<p>DIN EN 62722-1:2016-01; DIN EN 62722-2-1:2016-04:</p> <p>Für LED-Leuchten gelten die Bestimmungen von Abschnitt 8.2.3 der DIN EN 62717.</p> <p>DIN EN 62717:2018-04:</p> <p>Die Verteilung der Lichtintensität muss mit den Angaben des Herstellers übereinstimmen. Die Messung erfolgt nach A.3.3.3.</p>
Ähnlichste Farbtemperatur (T_{cp} in K)	<p>DIN EN 62722-1:2016-01; DIN EN 62722-2-1:2016-04:</p> <p>Für LED-Leuchten gelten die Anforderungen von Abschnitt 9.2 der DIN EN 62717.</p> <p>DIN EN 62717:2018-04:</p> <p>Bevorzugte Werte zur Sicherstellung der Austauschbarkeit sind in Beratung.</p> <p>Der vierstellige CCT-Wert wird durch 100 dividiert und die resultierende Zahl wird bei Verwendung des photometrischen Codes in Anhang D auf die nächste ganze Zahl gerundet.</p>
Farbwiedergabe-Index (R_a)	<p>DIN EN 62722-1:2016-01; DIN EN 62722-2-1:2016-04:</p> <p>Für LED-Leuchten gelten die Anforderungen von Abschnitt 9.3. der DIN EN 62717. Liegen geeignete Daten zur Zuverlässigkeit der Komponenten vor, kann die Prüfdauer von 6.000 h auf 2.000 h reduziert werden.</p> <p>DIN EN 62717:2018-04:</p> <p>Der anfängliche Farbwiedergabe-Index (R_a) eines LED-Moduls wird gemessen. Eine zweite Messung wird zu einem Betriebszeitpunkt gemäß 6.1 durchgeführt (= 6.000 h /25 % Nennlebensdauer).</p> <p>Übereinstimmung:</p> <p>Für alle geprüften Muster in einer Stichprobe dürfen die gemessenen R_a-Werte nicht mehr als</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3 Punkte unter dem R_a-Nennwert (siehe Tabelle 1) für die anfänglichen R_a-Werte und • nicht mehr als 5 Punkte vom R_a-Nennwert (siehe Tabelle 1) für beibehaltenen Werte liegen.

<p>Farbwertanteile (Anfangs- und beibehaltene Werte)</p>	<p>DIN EN 62722-1:2016-01; DIN EN 62722-2-1:2016-04: Für LED-Leuchten gelten die Anforderungen von Abschnitt 9.1. der DIN EN 62717. Liegen geeignete Daten zur Zuverlässigkeit der Komponenten vor, so kann die Prüfdauer von 6.000 h auf 2.000 h verkürzt werden, und der Koordinatenwert des gemessenen Farbwerts für den Anfang und 2.000 h darf die Kategorie der Nennfarbvariationen für den Anfang bzw. 6.000 h nicht überschreiten. DIN EN 62717:2018-04: Die anfänglichen Farbkoordinaten werden gemessen. Eine zweite Messung der beibehaltenen Farbortkoordinaten erfolgt zu einer Betriebszeit gemäß 6.1 (= 6.000 h/25 % Nennlebensdauer). Die gemessenen tatsächlichen Farbkoordinatenwerte (sowohl der Neuwerte als auch der Gebrauchswerte) müssen in eine von vier Kategorien (siehe Tabelle 5) passen, die einer bestimmten MacAdams-Ellipse um den Nennfarbkoordinatenwert herum entsprechen, wobei die Größe der Ellipse (ausgedrückt in n-Schritten) ein Maß für die Toleranz oder Abweichung eines einzelnen LED-Moduls ist.</p>
<p>Lichtstrom-Wartung</p>	<p>DIN EN 62722-1:2016-01; DIN EN 62722-2-1:2016-04: Für LED-Leuchten gelten die Anforderungen nach Abschnitt A.1 der DIN EN 62717. Wird vom Hersteller eine andere Nennumgebungstemperatur t_q als 25 °C angegeben, muss ein Korrekturfaktor festgelegt werden, um den gemessenen Lichtstromwert bei 25 °C auf den Lichtstromwert bei der angegebenen Umgebung zu korrigieren. Dies geschieht mittels relativer Photometrie in einem temperierten Raum/Schrank.</p>
<p>Bemessungs- umgebungstemperatur zur Arbeitsweise von Leuchten</p>	<p>DIN EN 62722-1:2016-01; DIN EN 62722-2-1:2016-04: Für LED-Leuchten gelten die Bestimmungen von Abschnitt A.1 der DIN EN 62717. Wird vom Hersteller eine andere Nennumgebungstemperatur t_q als 25 °C empfohlen, muss ein Korrekturfaktor festgelegt werden, um den gemessenen Lichtstromwert bei 25 °C auf den Lichtstromwert bei der angegebenen Umgebung zu korrigieren. Dies geschieht mittels relativer Photometrie in einem temperierten Raum/Schrank.</p>
<p>Nutzlebensdauer von LED-Modulen und Leuchten</p>	<p>DIN EN 62722-1:2016-01; DIN EN 62722-2-1:2016-04: Für LED-Leuchten gelten die Bestimmungen von Abschnitt 10.1 der DIN EN 62717. Die Zeitspanne, bis zu der ein Prozentsatz y einer Population von betriebsbereiten LED-Modulen eine allmähliche Verschlechterung der Lichtleistung mit Prozentsatz x erreicht hat, wird als Nutzungslebensdauer bezeichnet (oder „B_y life“) und im Allgemeinen als $L_x B_y$ ausgedrückt. Die Lichtleistung, die niedriger als der Lumen-Wartungsfaktor x ist, wird parametrischer Fehler genannt, weil das Produkt weiter Licht produziert. „B_{10}“ ist die Zeit, in der 10 % der Produkte parametrisch ausgefallen sind. Die Lebensdauer, innerhalb derer 50 % der LED-Module parametrisch ausfallen, wird als „B_{50}“ mit der mittleren Nutzungsdauer bezeichnet. Die Population umfasst nur betriebsbereite LED-Module; nicht funktionierende Module sind ausgeschlossen.</p>

<p>Medianwert der nutzbaren Lebensdauer (von LED-Modulen) Lebensdauer (von LED-Modulen) Mittlere Bemessungslebensdauer</p>	<p>DIN EN 62722-1:2016-01; DIN EN 62722-2-1:2016-04: Allgemeines</p> <p>Für LED-Leuchten gelten die Anforderungen nach 10.1 der DIN EN 62717.</p> <p>Die Zeitspanne, bis ein Prozentsatz y einer Population von betriebsbereiten LED-Modulen eine allmähliche Abnahme der Lichtleistung um einen Prozentsatz x erreicht, wird als Nutzungsdauer (oder „B_y life“) bezeichnet und im Allgemeinen als $L_{x,y}$ ausgedrückt.</p> <p>Die Lichtleistung, die niedriger als der Lumen-Wartungsfaktor x ist, wird parametrischer Fehler genannt, weil das Produkt weiter Licht produziert. „B_{10}“ ist die Zeit, in der 10 % der Produkte parametrisch ausgefallen sind. Die Lebensdauer, innerhalb derer 50 % der LED-Module parametrisch ausfallen, wird als „B_{50}“ mit der mittleren Nutzungsdauer bezeichnet. Die Population umfasst nur betriebene LED-Module; nicht funktionierende Module sind ausgeschlossen.</p>
<p>Plötzlicher Ausfall (engl: abrupt failure)</p>	<p>DIN EN 62717:2018-04:</p> <p>Lebensdauerangabe für abrupte Verschlechterung der Lichtleistung:</p> <p>Die abrupte Verschlechterung der Lichtleistung einer Population von LED-Leuchten zu einem bestimmten Zeitpunkt wird als Zeit bis zum abrupten Ausfall bezeichnet und als C_y ausgedrückt.</p> <p>Die empfohlenen Lebensdauer kennzahlen für die Angabe der Lebensdauer von LED-Modulen sind in Anhang C der DIN EN 62717 erläutert und gelten für die LED-Leuchte. Für die Konformitätskriterien siehe 10.2 der Norm.</p>
<p>Zeit bis zum plötzlichen Ausfall</p>	<p>DIN EN 62717:2018-04:</p> <p>Lebensdauerangabe für abrupte Verschlechterung der Lichtleistung:</p> <p>Die abrupte Verschlechterung der Lichtleistung einer Population von LED-Leuchten zu einem bestimmten Zeitpunkt wird als Zeit bis zum abrupten Ausfall bezeichnet und als C_y ausgedrückt.</p> <p>Die empfohlenen Lebensdauer kennzahlen für die Angabe der Lebensdauer von LED-Modulen sind in Anhang C der DIN EN 62717 erläutert und gelten für die LED-Leuchte. Für die Konformitätskriterien siehe 10.2 der Norm.</p>
<p>Wert des plötzlichen Ausfalls</p>	<p>DIN EN 62717:2018-04:</p> <p>Lebensdauerangabe für abrupte Verschlechterung der Lichtleistung:</p> <p>Die abrupte Verschlechterung der Lichtleistung einer Population von LED-Leuchten zu einem bestimmten Zeitpunkt wird als Zeit bis zum abrupten Ausfall bezeichnet und als C_y ausgedrückt.</p> <p>Die empfohlenen Lebensdauer kennzahlen für die Angabe der Lebensdauer von LED-Modulen sind in Anhang C der DIN EN 62717 erläutert und gelten für die LED-Leuchte. Für die Konformitätskriterien siehe 10.2 der Norm.</p>

Anhang B: Checkliste zur Bewertung der LED-Beleuchtung

In diesem Leitfaden werden die Kennwerte für LED-Leuchten genannt, die auf einem Datenblatt von den Herstellern dokumentiert werden sollen. Diese Kennwerte sollen für die Auswahl der Produkte verwendet und verglichen werden. Allerdings ist nicht in jedem Fall der höchste Wert der beste. Es kommt auf die Anwendung an.

Licht.de hat für Planer und Entscheider eine Checkliste erstellt, die eine Gewichtung der Kennwerte für einzelne Anwendungen aufführt (<https://www.licht.de/de/grundlagen/beleuchtungstechnik/led/led-licht-qualitaetsmerkmale/>).

licht.de

Qualität in der LED-Beleuchtung

- Ein Hotel wird anders beleuchtet als eine Industriehalle. Welche Anforderungen sind in der jeweiligen Anwendung besonders wichtig?
- Hilfestellung geben die Checklisten* von licht.de für Entscheider und Planer: Sie bieten die Möglichkeit, die jeweiligen Anforderungen an eine Beleuchtungsanlage einfacher zu bewerten.
- Die nachfolgende erste Tabelle nennt Qualitätskriterien für Entscheider, die zweite Tabelle Produkt- und Systemkriterien für die Qualitätsbewertung.

Für Entscheider: Qualitätskriterien für Lichanlagen

Für ihr Projekt benötigen Entscheider Orientierung, welche Qualitätskriterien welche Relevanz haben.

	Büro	Industrie	Shop	Öffentliche Beleuchtung	Wohnen / Hotel	Museum
Lebenszykluskosten	Sehr wichtig	Sehr wichtig	Etwas wichtig	Äußerst wichtig	Relativ wichtig	Etwas wichtig
Lichtdesign	Sehr wichtig	Etwas wichtig	Äußerst wichtig	Relativ wichtig	Sehr wichtig	Äußerst wichtig
Produkt / System	Relativ wichtig	Äußerst wichtig	Sehr wichtig	Sehr wichtig	Relativ wichtig	Relativ wichtig
Ästhetik	Sehr wichtig	Etwas wichtig	Sehr wichtig	Sehr wichtig Etwas wichtig	Sehr wichtig	Sehr wichtig

Anbieterkriterien sollten bei der Vergabe ebenso berücksichtigt werden.

Für Planer: Produkt- und Systemkriterien für die Qualitätsbewertung

Die Checkliste für Planer setzt lichttechnisches Fachwissen voraus. Sie gewichtet anwendungsabhängig relevante Einzelmerkmale aus dem ZVEI-Leitfaden „Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung“. Mit ihrer Hilfe können Fragen von Entscheidern zur Produktqualität beantwortet und Kosten kalkuliert werden.

Datenblattangaben	Büro	Industrie	Shop	Öffentl. Beleuchtung	Wohnen & Hotel	Museum
Leuchtenleistung: W	Relativ wichtig	Äußerst wichtig	Sehr wichtig	Relativ wichtig	Etwas wichtig	Relativ wichtig
Leuchten-Lichtstrom: lm	Relativ wichtig	Sehr wichtig	Relativ wichtig	Relativ wichtig	Gar nicht wichtig	Etwas wichtig
Leuchten-Lichtausbeute: lm/W	Sehr wichtig	Äußerst wichtig	Etwas wichtig	Äußerst wichtig	Etwas wichtig	Etwas wichtig
Farbwiedergabeindex: CRI oder R _a	Sehr wichtig	Relativ wichtig	Sehr wichtig	Etwas wichtig	Sehr wichtig	Äußerst wichtig
Ähnlichste Farbtemperatur / CCT oder TCP: K	Sehr wichtig	Relativ wichtig	Äußerst wichtig	Etwas wichtig	Äußerst wichtig	Äußerst wichtig
Farbortoleranz (initial MacAdam): [Anzahl]	Sehr wichtig	Etwas wichtig	Sehr wichtig	Etwas wichtig	Sehr wichtig	Äußerst wichtig
Mittlere Bemessungslebensdauer: L _x	Sehr wichtig	Äußerst wichtig	Relativ wichtig	Äußerst wichtig	Etwas wichtig	Relativ wichtig
Farbortstabilität über die Lebensdauer (sofern verfügbar)	Relativ wichtig	Relativ wichtig	Relativ wichtig	Etwas wichtig	Etwas wichtig	Sehr wichtig

Weitere Infos zu einzelnen Anwendungsbereichen in Industrie, öffentlicher Beleuchtung und Shops gibt's im Internet bei [licht.de](https://www.licht.de) (Checklisten).

*Die Qualitätsmerkmale wurden mithilfe von Likert-Skalen gegliedert.

Quellenverzeichnis

Abb. 1:	Zulässige Toleranzen der Bemessungseingangsleistung	Trilux GmbH & Co. KG
Abb. 2:	Zulässige Toleranzen des Bemessungslichtstroms	Trilux GmbH & Co. KG
Abb. 3:	Beispiel der Lichtstärkeverteilung einer Innenraumleuchte	Trilux GmbH & Co. KG
Abb. 4:	Beispiel der Lichtstärkeverteilung einer Straßenleuchte	Trilux GmbH & Co. KG
Abb. 5:	CIE-Farbdiagramm zur Definition aller durch den Menschen wahrnehmbaren Farben	PAR, Public Domain, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=107655
Abb. 6:	Beispiel einer guten Farbwiedergabe	licht.de
Abb. 7:	Beispiel einer ungenügenden Farbwiedergabe	licht.de
Abb. 8:	Standard-Binningstruktur gemäß ANSI C78.377A als Ausschnitt aus dem CIE-Farbdiagramm	licht.de
Abb. 9:	CIE-Normvalenzsystem mit eingezeichneten MacAdam-Ellipsen (zur besseren Erkennbarkeit 10-fach vergrößert dargestellt)	Trilux GmbH & Co. KG
Abb. 10:	MacAdam-Ellipsen innerhalb eines ANSI-Binnings	licht.de
Abb. 11:	Darstellung der Fehlersituation einer Leuchte (Neuzustand, Degradation, Totalausfall)	licht.de
Abb. 12a:	Allgemeine Lebensdauerkriterien von LED-Leuchten	ZVEI
Abb. 12b:	Lebensdauerkriterien von LED-Leuchten für die mittlere Bemessungslebensdauer	ZVEI
Abb. 13:	Schematische Darstellung des Lichtstromverlaufs über die Betriebszeit	Trilux GmbH & Co. KG
Abb. 14:	Einflussfaktoren der Systemzuverlässigkeit	ZVEI
Abb. 15:	PWM-Dimmen von LED	licht.de
Abb. 16:	Analoges Dimmen von LED durch Strom-Reduzierung	licht.de
Abb. 17:	Kombination von analogem und PWM-Dimmen	licht.de
Abb. 18:	Anwendungsbeispiel für die Bewertungsverfahren Flimmerfrequenz, Modulationstiefe und Flicker-Index	licht.de
	Checkliste zur Bewertung von LED-Leuchten	licht.de
Tabelle 1:	Angaben im Leuchten-Datenblatt	ZVEI
Tabelle 2:	Kennzeichnung von LED-Leuchten bezüglich der R_a -Bereiche und der Lichtfarben	ZVEI
Tabelle 3:	Bereiche der Angabe des Werts x für den Lichtstromerhalt von LED-Leuchten als Index der Lebensdauerangabe (L_x)	ZVEI
Tabelle 4a:	Beispiele für die durchschnittliche Lebensdauer einer Installation bei verschiedenen Innenanwendungen	ZVEI
Tabelle 4b:	Beispiele für die durchschnittliche Lebensdauer einer Installation bei verschiedenen Außenanwendungen	ZVEI
Tabelle 5:	Zuordnung der Bauformen von Leuchten zu empfohlenen Reinigungsintervallen (x)	ZVEI

Notizen

Notizen



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