

DOSSIER

LED

AUSGABE 7, MAI 2018

ETAP   
EXCELLENT LIGHTING, SAVING ENERGY

7. Ausgabe, Mai 2018  
© 2018, ETAP NV

# INHALTSANGABE

<b>A. Was ist eine LED?</b> .....	<b>4</b>
1. Wie funktionieren LEDs?.....	4
2. LED-Arten.....	5
3. Integrationsniveaus .....	8
4. OLEDs.....	9
<b>B. Mit LEDs beleuchten .....</b>	<b>10</b>
1. Lebensdauer .....	10
I. Nutzungsdauer .....	10
II. Abnahme des Lichtstroms .....	10
III. Wartungsfaktor.....	11
IV. LLMF .....	13
2. Performanz.....	16
I. Effizienz .....	16
II. Wärmehaushalt.....	18
3. Farbaspekte.....	20
I. Farbwiedergabe .....	20
II. Binning .....	24
III. Strahlung (ir/uv).....	25
4. Lichtbehandlung.....	26
I. Lichtverteilung/Optik-Arten .....	26
II. Leuchtdichte.....	28
5. Elektrische Sicherheit.....	29
6. Fotobiologische Sicherheit.....	30
7. Integrierte Lichtsteuerung .....	32
<b>C. Betriebsgeräte .....</b>	<b>33</b>
1. Flicker.....	33
2. Qualitätskriterien .....	36
3. Ansteuerungsarten.....	38
4. Dimmung.....	39
<b>D. Worauf als Benutzer achten? .....</b>	<b>41</b>
1. Objektive Informationen zur Qualität.....	41
2. Auswahlkriterien (Effizienz, Lichtverteilung, Erleben, Lebensdauer, LLMF, Komfort, Farbe, Umgebung).....	44
3. LED-Röhren .....	48
<b>E. Die Zukunft von LEDs .....</b>	<b>50</b>
<b>F. Internationale Standards .....</b>	<b>52</b>
<b>Terminologie.....</b>	<b>53</b>

# A. Was ist eine LED?

## 1. Wie funktionieren LEDs?

LED steht für Light Emitting Diode. Eine LED ist ein Halbleiter (Diode), der Licht ausstrahlt, wenn Strom durch ihn fließt. Die Halbleiter-Materialien, die in LEDs eingesetzt werden, setzen elektrische Energie in sichtbare elektromagnetische Strahlung, also Licht, um.

Die Anregung des Halbleiters erfolgt dadurch, dass elektrischer Strom durch die Diode (genauer gesagt durch die Junction) fließt. Die Diode, durch die der elektrische Strom fließt, ist – wie alle Dioden – nur in eine Richtung wirkend: Es entsteht nur Licht, wenn der Gleichstrom in die „richtige“ Richtung fließt, nämlich von der Anode (positiver Pol) zur Kathode (negativer Pol).

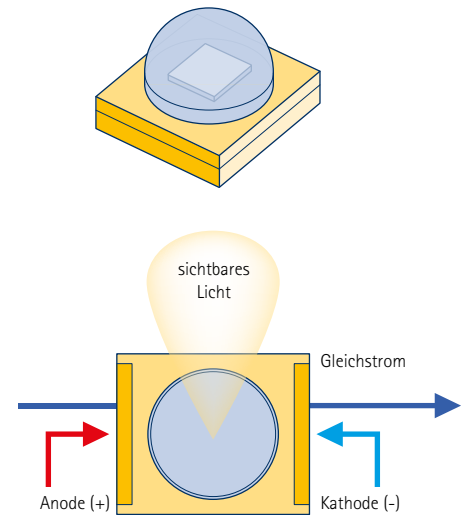


Abb. 1: Funktionsprinzip einer LED

Die Menge erzeugten Lichts verhält sich nahezu proportional zur Menge Strom, der durch die Diode fließt. Für Beleuchtungszwecke werden stromregelte Versorgungen (Konstantstrom) eingesetzt. (siehe Kapitel C.3).

Die Kombination aus LED (Halbleiter), Gehäuse und der Primäroptik (Linse) nennen wir eine LED-Komponente. Sie umfasst und schützt die LED, sorgt dafür, dass die intern erzeugte Wärme verteilt wird und enthält ein primäres optisches System, eine kleine Linse, um das erzeugte Licht der LED zu sammeln und kontrolliert auszustrahlen.

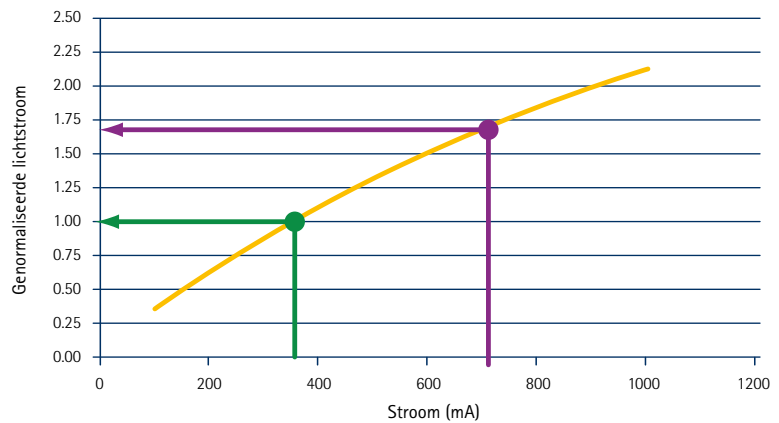


Abb. 2: Einfluss des Stromes auf den Lichtstrom

Die LED strahlt Licht in einem bestimmten Spektralbereich (monochromatisch) aus. Die Farbe des Lichts ist abhängig von dem Halbleiter-Material, das zur Herstellung verwendet wurde. Das können alle gesättigten Farben des sichtbaren Spektrums sein, von Violett und Blau über Grün zu Rot.

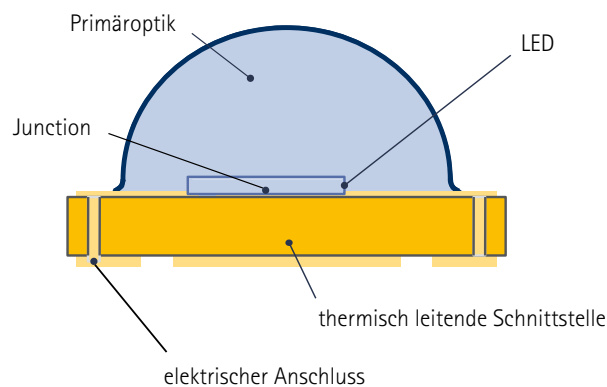


Abb. 3: Aufbau einer LED-Komponente

Um mit LEDs weißes Licht zu erzeugen, gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Bichromatisch:

- Die am häufigsten vorkommende Methode ist, ähnlich wie bei Leuchtstofflampen, eine blaue LED, mit einem photolumineszenten (leuchtenden) Material zu kombinieren, und so einen Teil des blauen Lichts (kurzwelliges, höher energetisches) in weißes (oder eher gelbliches) Licht (langwellig, nieder energetisch) umzuwandeln. Die Zusammensetzung der Leuchtstoffe bestimmt die Farbtemperatur des resultierenden Lichts (mehr über die Farbtemperatur später in diesem Kapitel).

2. Trichromatisch:

- Durch das Mischen verschiedenfarbiger LEDs der Farben Rot, Grün und Blau (RGB). Diese Technologie wird für funktionale Beleuchtung wenig eingesetzt.
- Durch Kombination weißer LEDs mit roten oder bernsteinfarbenen, nach dem gleichen Prinzip. Diese Technik ermöglicht unterschiedliche Farbtemperaturen in einem einzigen Modul.

## 2. LED-Arten

LED-Komponenten<sup>1</sup> können nach verschiedenen Kriterien wie Farbe, Leistung und Konstruktionsform eingeteilt werden. Diese Einteilungen sind nicht standardisiert und können im Hinblick auf technologische Entwicklungen unterschiedlich ausfallen oder abweichen. Außerdem überschneiden sich die Kategorien: So unterscheiden sich Highpower-LEDs (HP) und Lowpower-LEDs (LP) im Hinblick auf Leistung, aber auch im Hinblick auf Bauform.

Farbe:

- Phosphorkonvertierte LEDs produzieren durchgängig blaues Licht, das mittels einer Phosphorschicht in weißes Licht umgewandelt wird.
- Andere, reine LEDs haben keine Phosphorschicht, sondern strahlen reine Farben (z.B. Rot, Grün, Ambra oder Blau) oder IR- oder UV-Wellen aus. Die Farbe hängt von dem verwendeten Material ab.

Leistung:

- Low Power ( $\leq 1W$ )
- High Power (1-10W)

Bauform:

- Leadframe Devices
- LED-Chips auf Trägern
- Chip-Scale Package
- Chip-on-Board

Leadframe-Konstruktionen werden vor allem für Niedrigleistungs-LEDs verwendet. Der LED-Chip wird in einem Leadframe mit Kunststoffgehäuse untergebracht. Bei phosphorkonvertierten LEDs ist die zentrale Kavität mit einer Silikonschicht aufgefüllt, in der sich Phosphor befindet. Sowohl der Leadframe als auch das Gehäuse fungieren bei dieser Konstruktion für einen Teil des ausgestrahlten Lichts als Reflektor. Das ist auch der Grund dafür, warum die optischen Eigenschaften – u.a. Reflexionsleistung und Materialalterung – zu einem langfristigen Lichterhalt beitragen: Je besser das Material seine reflektierenden Eigenschaften behält, desto geringer der Leistungsverlust. Die Wahl des Kunststoffes wird auf der Grundlage der optischen Eigenschaften abgewogen, aber auch auf der Grundlage des Preises und der Verarbeitbarkeit. Die meist verwendeten Materialien für das Gehäuse sind thermoplastische Materialien wie PPA (Polyphthalamide) und PCT (Polycyclohexylendimethylenterephthalat) sowie Duroplaste wie EMC (Epoxy Moulding Compounds) und in einigen Fällen sogar Silikon. Zurzeit haben bestimmte Formen von Niedrigleistungs-LEDs, wie die Multi-Die-LEDs (mit 2 Chips), einen höheren Lichtstrom. Bei blauen oder UV-LEDs tritt durch die höhere Dichte von blauem Licht jedoch auch stärkere Degradation des Materials auf, was sich nachteilig auf Lebensdauer und Farbwiedergabe auswirkt.

---

<sup>1</sup> Bei LED-Komponenten geht es – im Gegensatz zu LED-Chips – nicht nur um das aktive Material, sondern auch um die zusätzliche Ausstattung mit elektronischen Anschlüssen und einer eventuellen Primäroptik und/oder Phosphorschicht.

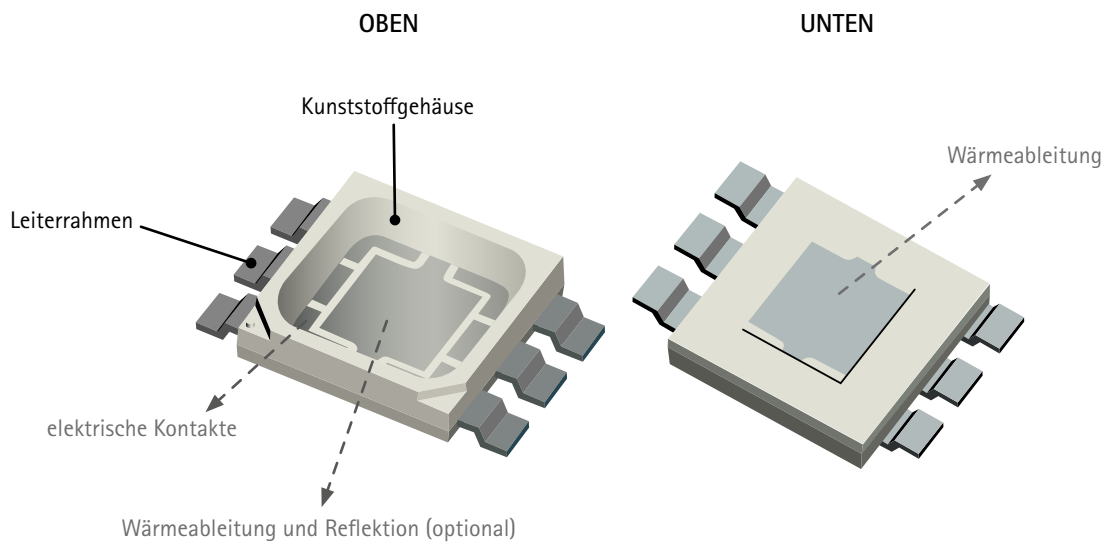


Abb. 4: LED-Leiterrahmen mit Kunststoffgehäuse (bei Niedrigleistungs-LED)

Keramikträger werden in der Regel bei Hochleistungs-LEDs verwendet. Auf dem Träger – mit LED-Chip – werden eine Phosphorschicht und eine Primäroptik angebracht, zumeist aus Silikon. Diese Bauform weist folgende Eigenschaften auf:

- eine gute Wärmeableitung zur PCB (geringerer interner Wärmewiderstand)
- direkt ausgestrahltes Licht und wenig Reflektion
- eine gute Farbstabilität über den gesamten Ausstrahlungswinkel

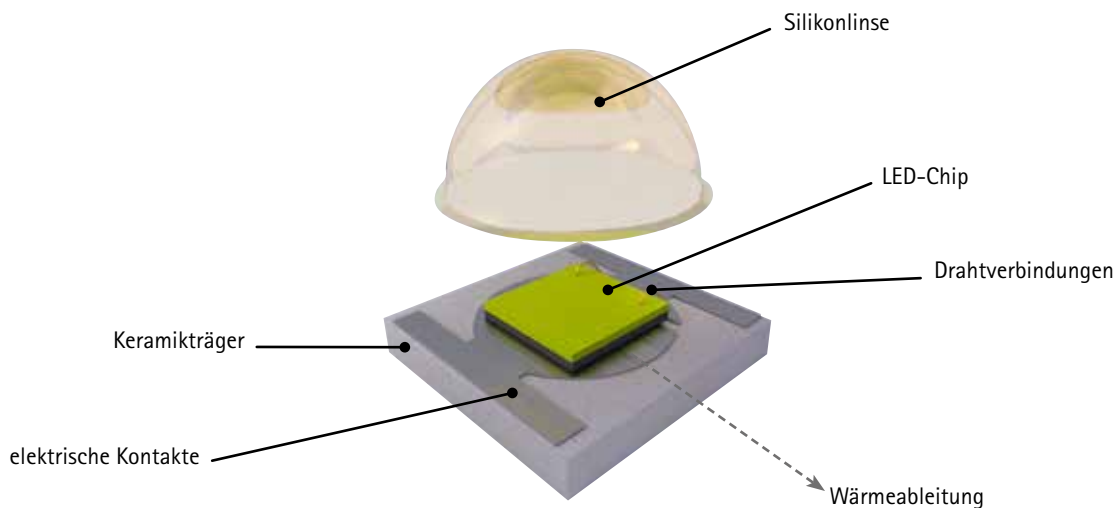


Abb. 5: Aufbau einer Hochleistungs-LED

Das Chip-Scale-Package (CSP) ist eine Miniaturisierung der (Niedrig- oder Hoch-) Leistungs-LED. Dieses LED-Package verfügt über ein minimales Gehäuse und ist besonders kompakt (1 bis 4 mm<sup>2</sup> groß). Inzwischen wurden noch kleinere Formen konzipiert (0,5 mm<sup>2</sup>), für niedrige Leistungen. Die Wärme wird direkt vom Chip über die elektrischen Kontakte zur PCB abgeführt. Da der zurückzulegende Weg so kurz gehalten wird, handelt es sich um eine äußerst effiziente Wärmeableitung.

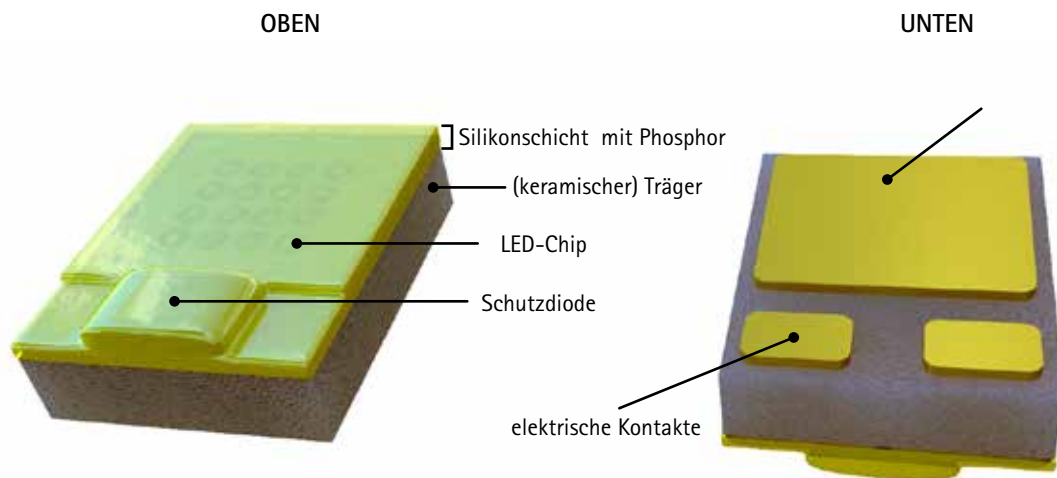


Abb. 6: Aufbau eines Chip-Scale-Package

Bei Chip-on-Board-Technologie (COB) – in der Regel für phosphorkonvertierte LEDs verwendet – werden mehrere Chips zusammen auf einem Träger angebracht und miteinander elektrisch verbunden. Darauf wird eine Silikon-Deckschicht mit Phosphor aufgebracht. Der Träger besteht zumeist aus einem keramischen Material oder aus hochreflektierendem (poliertem) Aluminium.

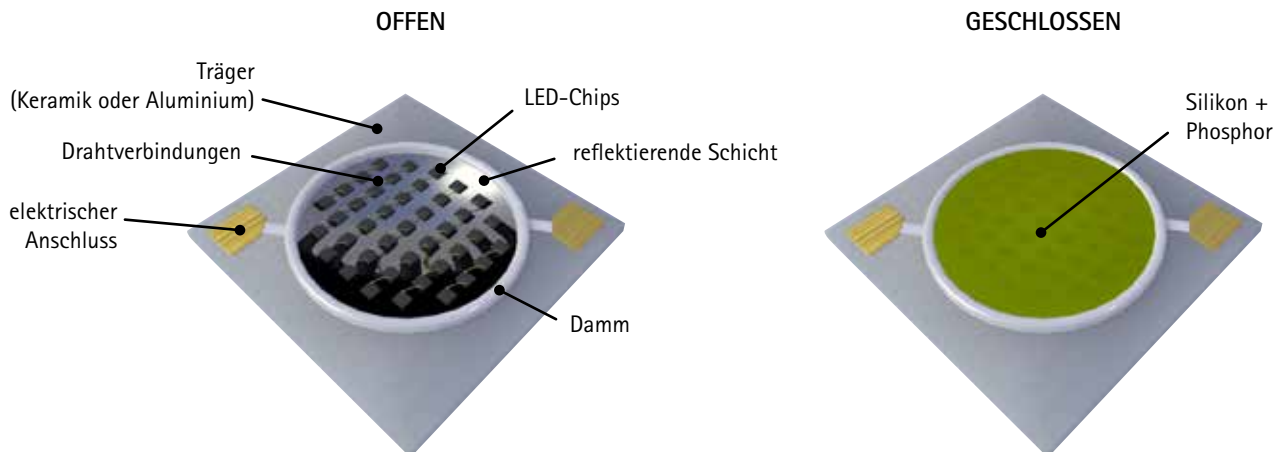


Abb. 7: Aufbau Chip-On-Board-Technologie (COB)

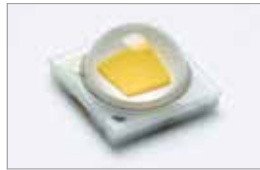
Der Verlauf der optischen Eigenschaften in Bezug auf die Zeit unter Einfluss von Licht und Wärme wirkt sich in hohem Maße auf den Wartungsfaktor von LEDs aus. Die Stabilität ist für die Hochleistungskomponenten (z. B. High Power und COB) optimal und für die Niedrigleistungs-LEDs aus Kunststoff geringer. Aufgrund des intelligenten Designs liefern Niedrigleistungs-LEDs ebenfalls ein gutes Ergebnis.

### 3. INTEGRATIONSNIVEAUS

Es gibt viele Möglichkeiten, LED-Lichtquellen anzuwenden. Nach der internationalen Norm IEC 62504/CIE TC 2-66 („Terminology of LEDs and LED assemblies“) werden die folgenden Integrationsniveaus unterschieden:

1. **LED-Package oder LED-Komponente.** Dies ist eine einfache Komponente, die aus einem oder mehreren LED-Chips besteht, möglicherweise mit Optik und thermischer, mechanischer oder elektrischer Schnittstelle.

z.B.



*Nichia LED-Komponente*



*Citizen LED-Komponente*

2. **LED-Modul.** Eine LED-Lichtquelle, die sich aus mehreren LED-Komponenten zusammensetzt, montiert auf einer PCB (Leiterplatte) oder auch mit integrierter Elektronik.

z.B.



*E4 PCB (ETAP)*

3. **LED-Lampe.** Dies ist hetzelfde als een ledmodule, identisch mit einem LED-Modul, aber mit Lampenfassung

z.B.



*TG-Röhrenlampe*



*TG-Spotlampe*

4. **LED Light Engine.** LED-Modul oder -Lampe mit Betriebsgerät, geeignet für den direkten Anschluss an die Netzspannung.

z.B.



*Osram Prevaled AC*



## 4. OLEDS

OLED steht für Organic Light Emitting Diode. Wie der Name bereits sagt, handelt es sich dabei um eine Variante der traditionellen LED. LEDs basieren auf kristallinem, anorganischem Material (z. B. Galliumnitrid), wohingegen OLEDS organische Makromoleküle auf Basis von Kohlenwasserstoffverbindungen nutzen, um Licht zu erzeugen.



OLEDs in verschiedensten Formen (z.B. Philips Lumiblade)

Der Unterschied zwischen OLED und LED besteht aber nicht nur im Material, sondern auch in der Art der Beleuchtung. Während die LED eine typische Punktlichtquelle ist, werden OLEDs eingesetzt, um Licht über eine vorgegebene Oberfläche zu verteilen. Konkret werden die organischen, lichterzeugenden Teilchen in einer hauchdünnen Schicht auf einer Platte aus Glas oder einem anderen transparenten Material aufgebracht und mit einer Kathode und einer Anode verbunden. Diese Schicht leuchtet auf, wenn an Kathode und Anode Spannung angelegt wird. Durch eine Kombination der entsprechenden Materialien können OLEDs Licht in einer bestimmten Farbe erzeugen.

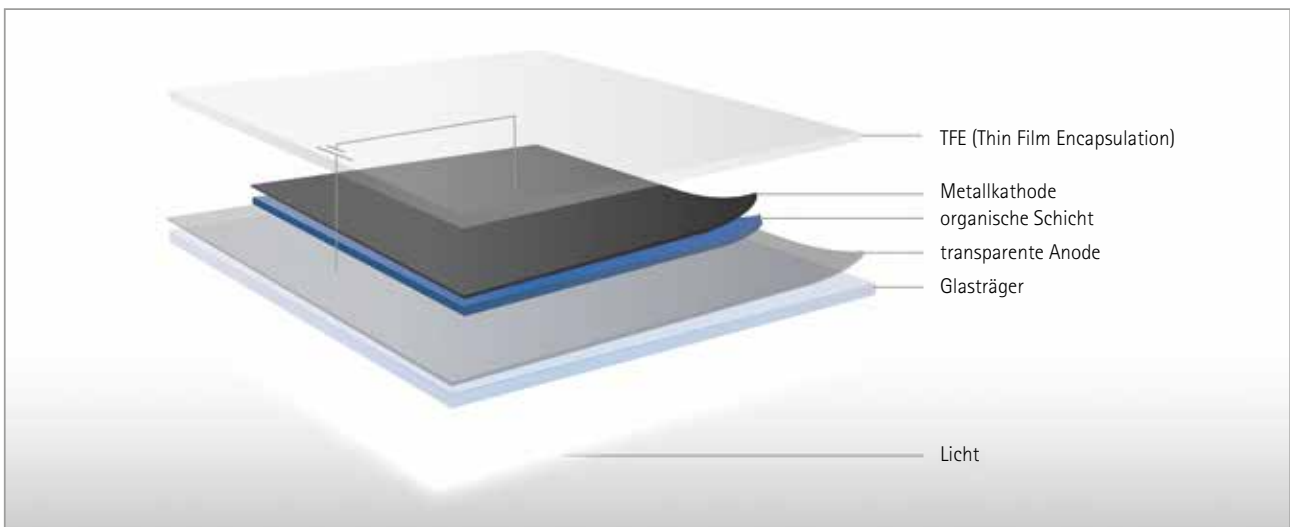


Abb. 8: Aufbau einer OLED

Die OLED-Technologie befindet sich heute noch in der Entwicklung. Hinsichtlich Leistung und Lebensdauer können sie heute sicher noch nicht mit LEDs mithalten. So erzielen OLEDs eine Lichtleistung von 60 lm/W im Vergleich zu 220 lm/W bei LEDs.

Oled Roadmap			
Jahr	2015	2016	2018
Spezifischer Lichtstrom	50 lm/W	60 lm/W	70 lm/W
Lebensdauer (L70 @ 3 000 cd/m <sup>2</sup> )	20 000 u	30 000 u	60 000 u
Helligkeit	3 000 cd/m <sup>2</sup>	2 500 cd/m <sup>2</sup>	5 000 cd/m <sup>2</sup>
Lichtausbeute	9 000 lm/m <sup>2</sup>	8 000 lm/m <sup>2</sup>	15 000 lm/m <sup>2</sup>
Farbwiedergabe (CRI)	> 80	> 87	> 95
Max. Abmessungen	150*150 mm	320*320 mm	400*400 mm

Abb. 9: Aktuelle und erwartete Leistung von OLEDs

(Quelle: LG)

Der Einsatz von organischen Materialien – die relativ schnell altern und sehr empfindlich gegen Luft und Feuchtigkeit sind – hat eine relativ begrenzte Lebensdauer zur Folge. Heute geht man von 20.000 Betriebsstunden aus (bei um 30 % verringerter Lichtleistung und einer kontinuierlichen Ansteuerung von 3 000 cd/m<sup>2</sup>). Diese Ergebnisse wurden jedoch mit nicht standardisierten Mess- und Extrapolationsmethoden errechnet.

## B. Mit LEDs beleuchten

### 1. LEBENSDAUER

#### I. NUTZUNGSDAUER

LEDs haben im Allgemeinen eine lange Nutzungsdauer. Gleichzeitig ist Lebensdauer ein komplexer Aspekt, der stets mit einer konkreten Situation oder Installation und dem damit verbundenen Wartungsfaktor zusammenhängt (siehe unten). Wenn man sich für eine Beleuchtungsanlage mit LED entscheidet, muss man stets die Lebensdauer berücksichtigen, die man selbst vor Augen hat: Möchte man, dass die Installation 10, 15, 20... Jahre hält? Diese Info ist wichtig, um eine korrekte Berechnung zu erstellen (siehe auch D.2. Auswahlkriterien).

#### II. LEISTUNGSVERLUST

Jede Lichtquelle, ob es dabei nun um Leuchtstofflampen oder LEDs handelt, unterliegt einem Leistungsverlust. Das heißt, dass die Lichtleistung der Lichtquelle in Bezug auf den zeitlichen Faktor allmählich abnimmt. Bei klassischen Lichtquellen wird diese Lichtabnahme von allen auf die gleiche Weise berücksichtigt, da standardisierte Lampen mit einem festen Leistungsverlust und einer begrenzten Anzahl an Brennstunden (16.000 h) verwendet werden.

Bei LEDs ist das anders: Es gibt so viele verschiedene LED-Arten, dass der Leistungsverlust sehr unterschiedlich ausfällt. Außerdem wird die Lichtabnahme in hohem Maße von der Qualität der LEDs beeinflusst, aber auch von der internen Temperatur der LEDs. Diese hängt dann wieder von externen Faktoren ab, beispielsweise der Ansteuerung, der Umgebungstemperatur und der Qualität der Wärmeableitung rundum die LEDs. Das Maß, in dem der Lichtstrom der Lichtquelle abnimmt, wird durch den LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor) berücksichtigt. Dieser gibt an, wie viel Licht eine Lichtquelle nach einer bestimmten Anzahl Brennstunden noch spendet.

Die Abbildung unten zeigt die Lichtabnahme einer Leuchte LLMF 97 % nach 50.000 h (grün) gegenüber einer Leuchte mit einem LLMF von 70% nach 50.000 h. Bei Leuchtstofflampen handelt es sich um einen gleichmäßigen Leistungsverlust, wobei die Beleuchtungsstärke bei einem Lampenaustausch immer wieder auf 100% gebracht wird (blaue Kurve). Bei LED-Leuchten fällt die Leistungsverlustkurve sehr unterschiedlich aus.

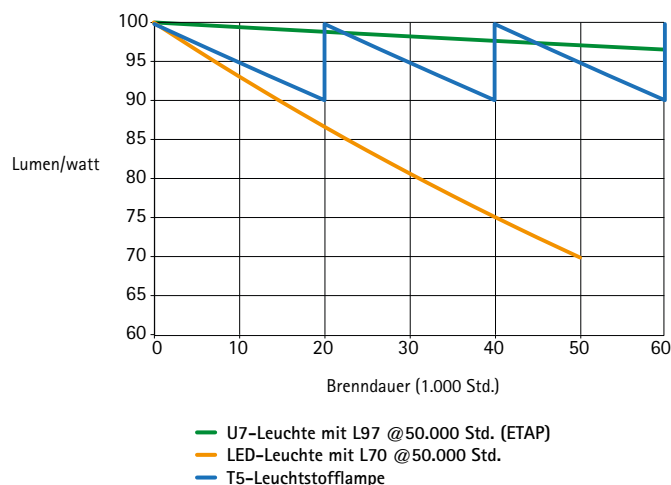


Abb. 10: LLMF für LED Beleuchtung im Vergleich zu Leuchtstofflampen

### III. WARTUNGSFAKTOR

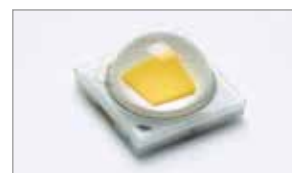
In der Praxis zählt nicht nur die Lichtabnahme der Lichtquelle (LLMF), sondern wir müssen auch die Lichtabnahme einer gesamten Anlage erfassen: Die Lichtleistung der Lampen nimmt ab, Lampen gehen kaputt und die Leuchten werden durch Staub oder sonstigen Schmutz verschmutzt. Auch der Raum selbst wird verschmutzt – beispielsweise reflektiert eine gerade gestrichene Wand das Licht besser als eine verschmutzte Wand. Deshalb wird diese Abnahme bei Beleuchtungsplanungen durch den sogenannten Wartungsfaktor in der Berechnung berücksichtigt (siehe Infokasten). So kann man sicher sein, dass seine Beleuchtungsanlage auch nach 5, 10 oder mehr Jahren noch immer die erforderliche (normgerechte) Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz einhält.

Der Wartungswert (Maintenance Factor - MF) wird mit vier Parametern errechnet :

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

**LLMF: Lampen-Lichtstrom-Wartungsfaktor (Lamp Lumen Maintenance Factor)**

Rückgang des Lampenlichtstroms



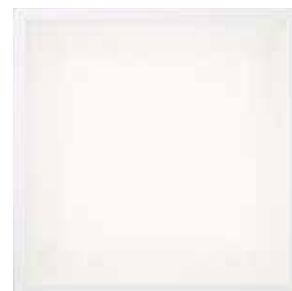
**LSF: Lampen-Lebensdauer-Faktor (Lamp Survival Factor)**

Häufigkeit des Lampenausfalls ohne sofortigen Ersatz



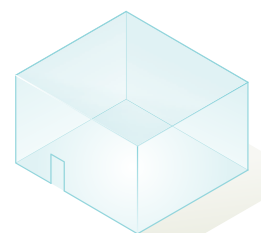
**LMF: Leuchten-Wartungsfaktor (Luminaire Maintenance Factor)**

Lichtstromrückgang durch Verschmutzung der Leuchte



**RMF: Raum-Wartungsfaktor (Room Maintenance Factor)**

Raumverschmutzung



#### Wartungsfaktor bei Leuchtstoffbeleuchtung

Bei herkömmlichen Lichtquellen wie Leuchtstofflampen gibt es klare Regeln und internationale Standards, um den Wartungsfaktor einer Anlage zu ermitteln. Typischerweise werden vier Elemente berücksichtigt: Die Reduzierung des Lampenlichtstroms, die Ausfallrate der Lampen, die Verschmutzung von Lampen und Leuchten und die Verschmutzung des Raumes. Für Leuchtstofflampen besteht allgemeiner Konsens über die Ermittlung der Wartungsfaktoren. Der Rückgang des Lichtstroms und die Lebensdauer der Lampen haben sich bewährt und unterscheiden sich bei den unterschiedlichen Herstellern kaum. Außerdem ist die Reduktion des Lichtstroms der Lampe unabhängig vom Leuchtendesign und beim Lampenwechsel legt man einen regelmäßigen Austausch zugrunde, so dass es in der Regel wenig Diskussionen über Wartungsfaktoren von Leuchtstofflampen gibt.

### Wartungsfaktor bei LED-Beleuchtung

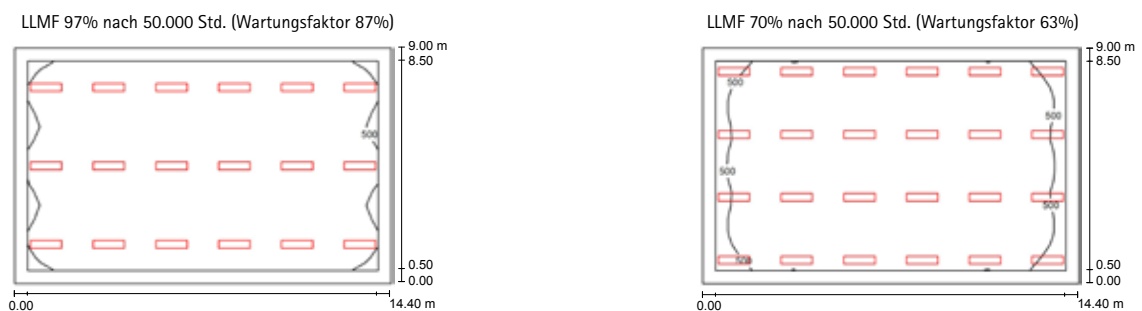
Bei LEDs hängt der Wertungswert von einer Vielzahl von Faktoren ab. Das beginnt schon bei der Wahl der LEDs. Es gibt heute große Qualitätsunterschiede zwischen den unterschiedlichen Herstellern. Und auch die Art der LEDs (Niedrigleistung oder Hochleistung) und Phosphorzusammensetzung (Farbtemperatur und Farbwiedergabe) ist für die Entwicklung des Rest-Lichtstromes und die Lebensdauer entscheidend. Darüber hinaus handelt es sich bei LEDs um eine ganz neue Technologie, die sich rasend schnell weiter entwickelt. In Ermangelung der erforderlichen Kenntnisse und Informationen verwenden heute viele LED- und Leuchtenhersteller der Einfachheit halber immer noch einen allgemeinen LLMF-Wert von 80% nach 50.000 Stunden Brenndauer. Sie gehen also davon aus, dass die LEDs nach 50 000 Stunden, nur 80% ihrer ursprünglichen Lichtleistung erbringen - unabhängig von der Qualität der LEDs.

Im Gegensatz zu Leuchten mit Leuchtstofflampen spielt bei LEDs die Leuchtenkonstruktion eine wesentliche Rolle. Lichtausbeute und Lebensdauer von LED hängen sehr stark von ihrer Betriebstemperatur ab. Je besser sie gekühlt werden, umso geringer die Reduzierung des Lichtstroms und umso höher die Lebensdauer. Die Wärmeableitung ist hier wesentlich. Das Leuchtendesign wird heute jedoch nur selten bei der Ermittlung des Wartungsfaktors von LED-Leuchten berücksichtigt. In der Praxis hat jede LED-Leuchte ihren eigenen, spezifischen Wartungsfaktor. Das macht es unmöglich, einen allgemein gültigen Wert zu definieren.

### Auswirkungen für die Beleuchtungsanlage

Diese verallgemeinernden Berechnungen führen in der Praxis zu schwerwiegenden Konsequenzen. Wird der Wartungsfaktor zu optimistisch eingeschätzt, wird die Anlage nach ein paar Jahren nicht mehr das erforderliche Beleuchtungsniveau erreichen. Umgekehrt kann ein zu pessimistisch bemessener Wartungsfaktor zu einer Überdimensionierung der Beleuchtung führen. Dadurch werden mehr Leuchten und/oder mehr Leistung installiert als erforderlich, was die Kosten für Investition und Energieverbrauch unnötig in die Höhe treibt.

Z.B. Einfluss des Wartungsfaktors auf eine Beleuchtungsplanung mit U7-Leuchten in einem Großraumbüro von 9 x 14,4 m:



Die Beleuchtungsplanung mit dem korrekten Wartungsfaktor erfordert für diesen Raum 18 U7-Leuchten und eine installierte Leistung von  $0,86 \text{ W} / \text{m}^2 / 100 \text{ lx}$  (links). Die Verwendung des allgemeinen Wartungsfaktors (rechts) führt zu einer deutlichen Überdimensionierung der Beleuchtungsanlage: 24 U7-Leuchten mit einer installierten Leistung von  $1,25 \text{ W} / \text{m}^2 / 100 \text{ lx}$ .

### Wartungsfaktor bei ETAP

Die Wartungsfaktoren, die ETAP in Beleuchtungsplanungen anwendet, wurden exakt auf Basis internationaler Richtlinien ermittelt. In der Praxis stellen wir fest, dass unsere Wartungsfaktoren meistens deutlich höher sind, als die allgemein verwendeten Werte. Wir beachten nämlich zwei entscheidende Punkte. Zum einen verwenden wir für unsere Leuchten stets qualitativ hochwertige (zumeist keramische) LEDs von Herstellern, die konkrete und verifizierbare Daten über die Lichtleistung und die Lebensdauer veröffentlichen. In der Praxis basieren diese Daten auf den LM80- und TM21-Standards, die von der Illuminating Engineering Society (IES), einer internationale Autorität auf diesem Gebiet, validiert wurden. Dies liefert uns objektive Kriterien für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der LEDs.

Zum zweiten berücksichtigen wir auch die Kühlung der LEDs in unseren Berechnungen. In unseren Laboren verfügen wir über die erforderliche Infrastruktur, um die Junction Point Temperatur zwischen Leiterplatte und LED exakt zu bestimmen. Dadurch kennen wir die genaue Betriebstemperatur der LEDs und können so den effektiven Lichtstromrückgang und die Lebensdauer der LEDs exakter einschätzen. Diese Informationen verwenden wir dann zur Ermittlung des korrekten Wartungsfaktors für unsere Lichtberechnungen.

ETAP stellt eine Tabelle mit dem jeweils richtigen Wartungsfaktor für alle LED-Leuchten, in Abhängigkeit der Anwendung und der vorgesehenen Lebensdauer der LED-Leuchte, zur Verfügung. Auf dieser Basis können wir eine zuverlässige Beleuchtungsplanung bieten, mit der Gewähr, dass die Beleuchtung auch langfristig die erforderlichen Beleuchtungsniveaus erfüllt.

Ein Beispiel:

In einer Beleuchtungsstudie mit U7 in einer Büroumgebung wird der Wartungsfaktor wie folgt kalkuliert: 99% (LLMF oder Wartungsfaktor Lampe) x 1 (Lampenfehler sind bei LEDs quasi ausgeschlossen und haben daher keinen Einfluss) x 0.94 (Luftverschmutzung im Raum) x 0.95 (Wartungsfaktor einer geschlossenen Leuchte) = 88%. Das bedeutet, dass nach 25.000 Betriebsstunden immer noch 88% des ursprünglichen Lichtstroms verbleiben. Nach 50.000 Betriebsstunden verbleiben noch 87% des Lichtstroms.

LED-Typ	LED-Leuchte	LLMF		MF	
		25 kh	50 kh	25 kh	50 kh
High Power	U7	99%	97%	88%	87%

Abb. 11: Auszug aus Tabelle mit Wartungsfaktoren und LLMF bei einer U7-Leuchte für 25.000 und 50.000 Stunden (Stand Mitte 2015).


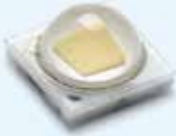





Die gesamte Tabelle mit Wartungsfaktoren finden Sie in Anhang 1.

### IV. LLMF

Der Wert, der die Reduzierung des Lichtstroms der Lichtquelle (LLMF) wiedergibt, berücksichtigt ausfallende LEDs und die zeitlich bedingte Abnahme der Lichtleistung. Wie bestimmen wir diesen LLMF? Wir unterscheiden zwischen der Lebensdauer von LEDs auf Komponentenebene und auf Leuchtenebene.

Auf Komponentenebene berücksichtigen wir die allmähliche Abnahme des Lichtstroms der LEDs (parametrischer Ausfall oder B-Lebensdauer) und den eventuellen Ausfall von LEDs (katastrophaler Ausfall oder C-Lebensdauer).

Auf Leuchtenebene ist der Komplettausfall einer Leuchte nicht relevant (siehe Luminaire Survival Factor). Der LLMF stimmt mit der B-Lebensdauer auf Leuchtenebene überein und berücksichtigt somit den parametrischen und den katastrophalen Ausfall der einzelnen LEDs in den Leuchten.

	NEU	NACH INBETRIEBNAHME	
		Parametrischer Ausfall	Katastrophaler Ausfall
KOMPONENTENEBENE			
LEUCHTENEBENE		 ODER  = LLMF	 = LSF

Um zu einem genauen, zuverlässigen LLMF unserer Leuchten zu gelangen, führen wir eine „Principal Component Analysis“ durch:

- Die parametrische Lebensdauer auf Komponentenebene stellen wir nach den objektiven Normen LM80/TM21 fest.
- Die katastrophale Lebensdauer können wir nicht selbst berechnen, aber wir versuchen vorzugsweise mit Herstellern zusammenzuarbeiten, die genaue Daten zur Verfügung stellen. Wenn keine Messdaten vorhanden sind, greifen wir auf Zuverlässigkeitsmodelle aus der Elektronik (MIL-HBK-217F) zurück.

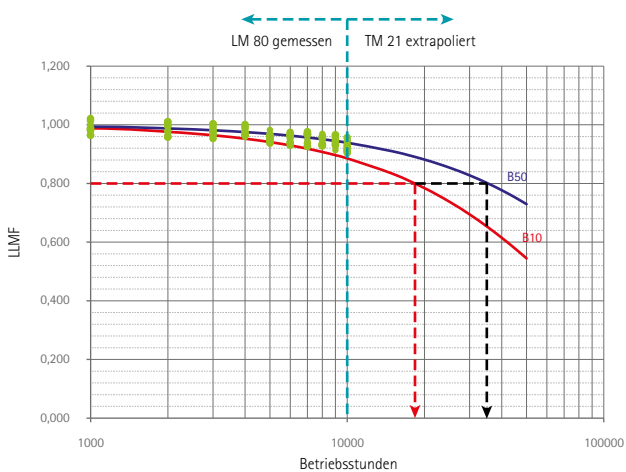


Abb. 12: LLMF wird nach der von IES empfohlenen LM80/TM21-Methode bestimmt.

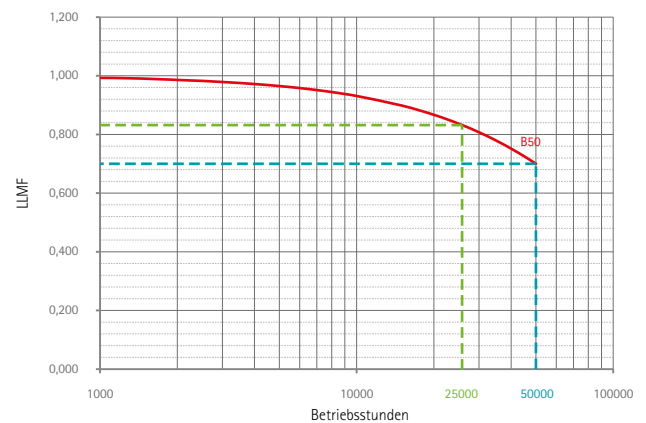


Abb. 13: ETAP gibt für alle LED-Leuchten den LLMF nach 25.000 und nach 50.000 Brennstunden an.

Auf unserer Website finden Sie sowohl den LLMF als auch den Wartungsfaktor unserer LED-Leuchten. Wir haben beide Werte für jeweils zwei Zeiträume veröffentlicht: 25.000 oder 50.000 Brennstunden. Auf diese Weise wissen Sie, wie viel Licht Ihre Leuchten nach einer für Sie relevanten Nutzungsdauer noch spenden werden.

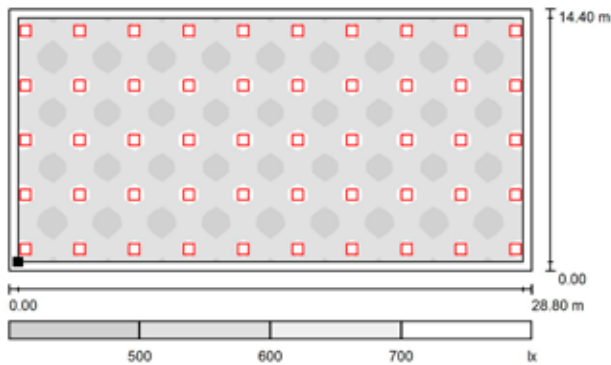


Abb. 14: Um einen Büroraum von 29x14 Metern mit U25-Diffusoren zu beleuchten, sind 50 Leuchten (L98B50) ausreichend. Wenn Sie den Raum mit Leuchten mit L80B50 beleuchten, benötigen Sie mehr als 60 Leuchten.

#### WIE WIRD DIE FORMEL LxBy RICHTIG INTERPRETIERT?

Beispiel: Die Lebensdauer von U25-Leuchten nach 50.000 Brennstunden wird als L98B50 angegeben.

- L gibt an, wie viel Prozent des ursprünglichen Lichtstroms zum angegebenen Zeitpunkt noch erreicht werden (= LLMF). Die in Figur 14 erwähnten U25-Leuchten erzielen nach 50.000 Brennstunden noch 98% ihres ursprünglichen Lichtstroms (L98).
- B bezeichnet die B-Lebensdauer auf Leuchtenebene. Die nachfolgende Zahl gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass der angegebene L-Wert nicht erreicht wird. Für Innenbeleuchtung ist es Konsens, B50 zu verwenden.
- Standardmäßig gibt ETAP den Wert nach 25.000 und nach 50.000 Brennstunden an, zwei Zeiträumen, die für die Lebensdauer Ihrer Anlage repräsentativ sind.

## 2. PERFORMANZ

### I. EFFIZIENZ

Kaltweiße LEDs mit einer Farbtemperatur von 5.000 K (Kelvin) erreichen heute unter Laborbedingungen schon mehr als 240 lm/W. LEDs mit einer geringeren Farbtemperatur von 2.700 bis 4.000 K (die am meisten für Beleuchtungsanwendungen in Europa verwendet werden) und Ra80 oder höher haben durchgängig eine geringere Effizienz. Bei diesen Farbtemperaturen sind heutzutage Wirkungsgrade von 200 lm/W und mehr im Handel erhältlich.

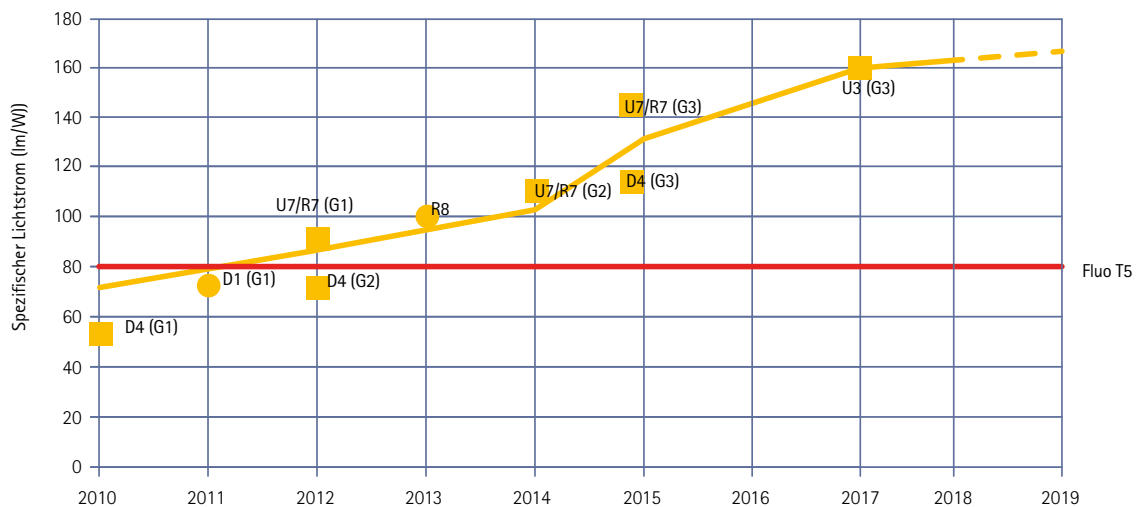


Abb. 15: Entwicklung des spezifischen Lichtstroms der LED-Leuchten bei 3000 K, mit Angabe unterschiedlicher Generationen (G1-2-3) des jeweiligen ETAP-Produktes bei einer Junction-Temperatur im normalen Gebrauch („heiße“ Lumenwerte)

Diese Kurve basiert auf den realen Leistungen der LEDs in konkreten Anwendungen. Diese Unterschiede der Herstellerdaten sind auf die produktionsspezifische elektronische Steuerung und auf das thermische Verhalten zurückzuführen.



## Spezifischer Lichtstrom (lm/W)

Die Lichtausbeute gibt das Verhältnis zwischen Lichtstrom und Leistungsaufnahme an. Ebenso wie bei Leuchtstofflampen muss zwischen der Lichtausbeute der Lichtquelle (LED-Komponente, gemessen bei 25° oder 85°C Junction-Temperatur und mit standardmäßigem Steuerstrom) und der einer Leuchte, einschließlich Betriebsgerät und Optik, unterschieden werden.

Zur Veranschaulichung ein Beispiel von U7 mit LED:

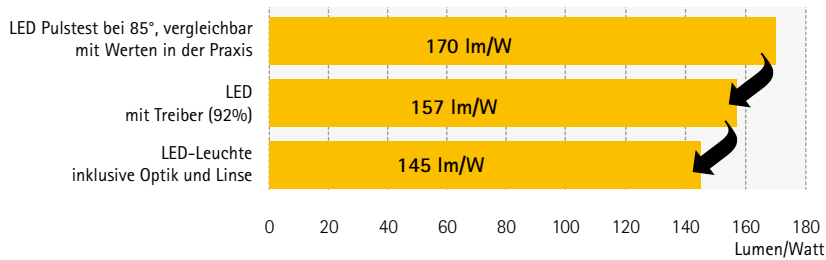


Abb. 16: U7

Zum Vergleich: Die leistungsfähigste Reflektorleuchte U5 mit Leuchtstofflampe 1x 32 Watt

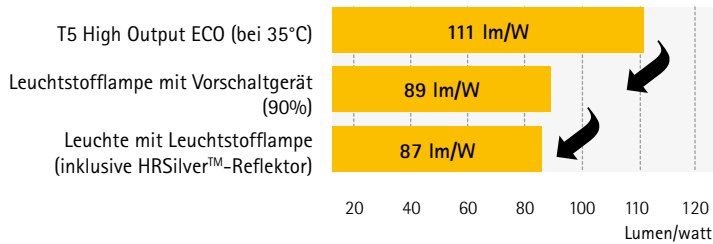


Abb. 17: U5-Reflektorleuchte

Anders als bei Leuchtstofflampen wird der Wirkungsgrad einer LED-leuchte durch die Gesamtheit der Konstruktionsmerkmale bestimmt: Stromdichte, Optik und Wärmehaushalt. Während die Lampen bei Leuchtstofflampen stets für eine Betriebstemperatur von 35° konzipiert sind (Einfluss des Wärmehaushalts = 1) und die Ansteuerung stets nominal ist (34W-Lampen werden mit 34W angesteuert, somit Einfluss der Ansteuerung = 1), wird der Wirkungsgrad bei LED-Beleuchtung sehr stark von der Leuchtenkonstruktion bestimmt.

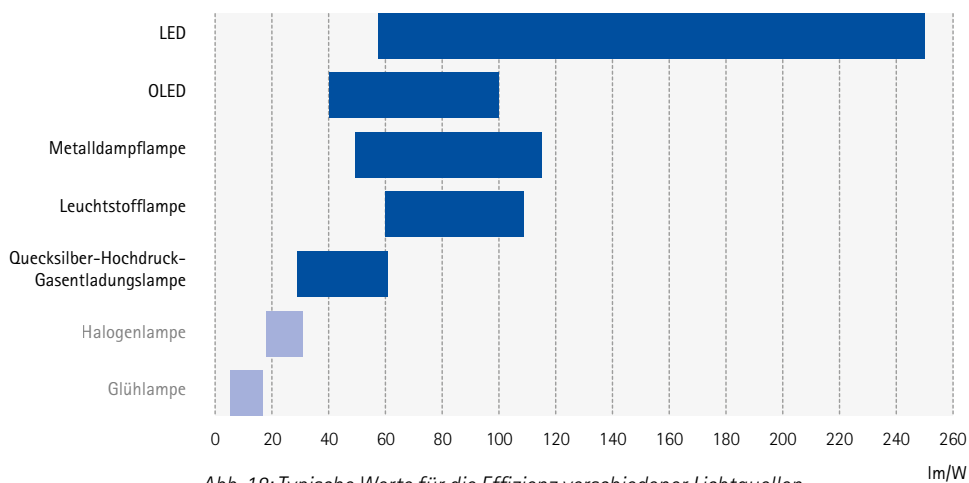


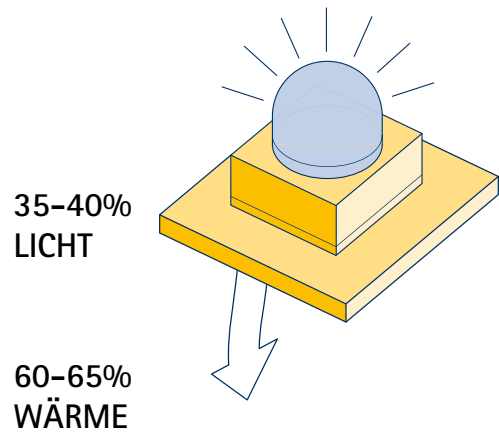
Abb. 18: Typische Werte für die Effizienz verschiedener Lichtquellen

LEDs mit einer hohen Farbtemperatur, also mit kälterem Licht, besitzen einen höheren Wirkungsgrad als die gleichen LEDs mit einer niedrigeren Farbtemperatur. Der Leuchtstoff, der gebraucht wird, um die warmweiße Farbe zu erzeugen, enthält nämlich mehr Rot und die Effizienz dieser roten Komponente ist geringer, als die der gelben. Dadurch nimmt der Gesamtwirkungsgrad der LEDs ab.

## II. WÄRMEHAUSHALT

Allgemein gilt: je besser die Wärmeableitung, desto effizienter die LED (Beleuchtung). Abhängig von der LED-Leistung wird ca. 35-40 % der Energie in sichtbares Licht, und 60-65 % in Wärme innerhalb der Komponente umgesetzt (Verlustfaktor). Zum Vergleich: Leuchtstofflampen strahlen etwa 25 % der umgesetzten Leistung als sichtbares Licht aus. Aber der Unterschied ist, dass bei Leuchtstofflampen auch etwa 40 % der Energie in Form von Infrarot- oder Wärmestrahlung emittiert wird. Die übrigen 35 % werden in interne Wärme und UV umgesetzt.

Die Lichtausbeute von LEDs nimmt mit steigender Junction-Temperatur (das ist die Temperatur im Halbleiter-Material) ab. Bei niedrigeren Temperaturen nimmt der Lichtstrom zu: LEDs funktionieren immer umso besser, je niedriger ihre Betriebstemperatur ist.



led = 18x Cree XP-G2 R2 4000K @ 350 mA

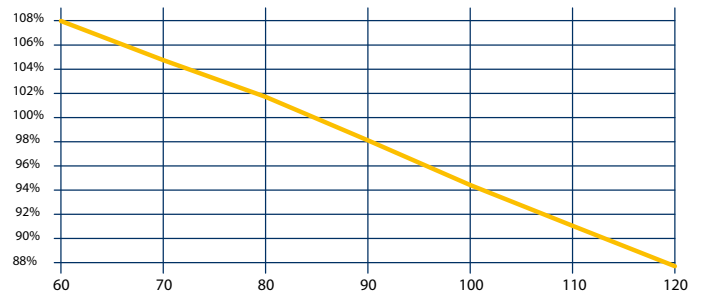


Abb. 19: Einfluss der Junction-Temperatur auf den Lichtstrom

Aber es ist nicht nur der Lichtstrom, der in Abhängigkeit von der Temperatur sinkt. Auch die nutzbare Lebensdauer wird negativ beeinflusst wenn die Temperatur einen kritischen Wert übersteigt. Deshalb ist eine gute Wärmeableitung wichtig.

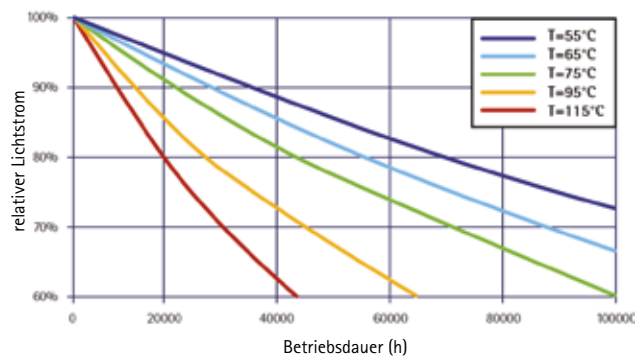


Abb. 20: Abnahme des Lichtstroms im Verhältnis zur Zeit bei verschiedenen Junction-Temperaturen

Ein gutes Temperatur-Management ist daher essentiell. Die Wärmeableitung der LED in die Umgebung erfolgt in aufeinander folgenden Stufen (durch verschiedene thermische Widerstände):

- Die von der LED erzeugte Wärme wird durch das Substrat bis an den Lötspunkt geleitet. (1, in der LED).
- Von da aus wird die Wärme über die LED-Leiterplatte verteilt (2).
- Eine thermische Schnittstelle (3) oder TIM (Thermal Interface Material) sorgt für eine optimale Wärmeübertragung zwischen Leiterplatte und Hitzeableitung (4).
- Durch Konvektion und Strahlung wird die Wärme in die Umgebung abgeleitet.

Freie Luftströmung rund um die Leuchte ist für eine gute Wärmeableitung sehr wichtig. Darum ist das thermische Verhalten einer LED-Leuchte bei einer Anbauleuchte anders als bei einer Einbauleuchte. Bei der Einbauversion muss immer ausreichend freier Raum um die Leuchte zur Verfügung stehen (Achtung: Deshalb keine Isolierung direkt oberhalb der Leuchte!). Auch die Wartung (staubfrei halten) des Kühlkörpers trägt zu einem guten Temperatur-Management bei.

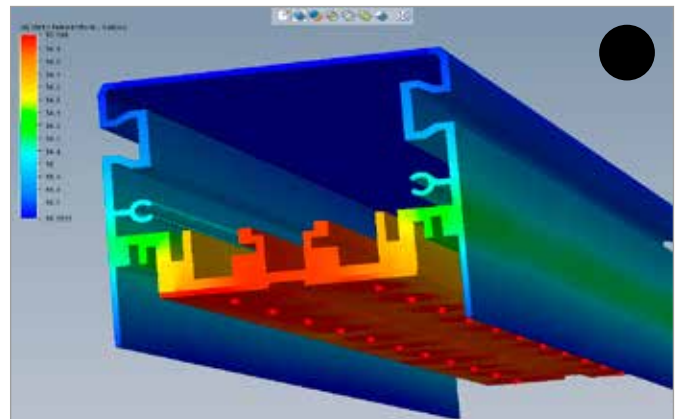
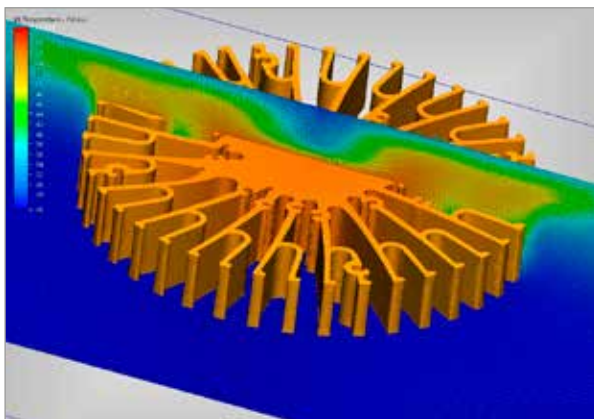
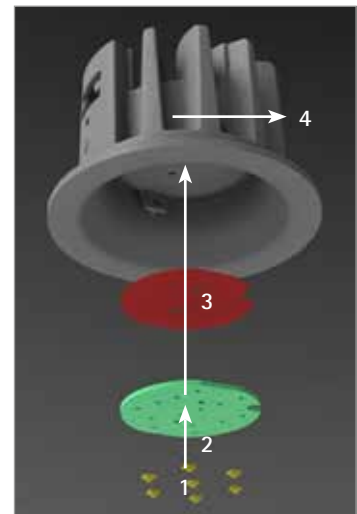


Abb. 21-22: Wärmestudien für D9 (links) und U3 (rechts).

### 3. FARBASPEKTE

#### I. FARBWIEDERGABE – TM-30-15

Farbwiedergabe wird seit Jahr und Tag durch den Color Rendering Index (CRI) dargestellt. Dieser Index wurde im Laufe des vorigen Jahrhunderts entwickelt. Das System hat jedoch einige entscheidende Nachteile, sodass die IES (Illuminating Electrotechnical Society) 2015 einen Bericht veröffentlichte (TM-30-15), in dem ein neues Messverfahren vorgestellt wird. An dieser Stelle nun eine kurze Zusammenfassung.

##### Basisprinzip CRI

Der Farbwiedergabe-Index einer Lichtquelle gibt an, wie treu Farben in Bezug auf eine Referenzlichtquelle wiedergegeben werden, wenn ein Objekt von der betreffenden Lichtquelle beleuchtet wird. Um diesen Index festzustellen, vergleicht man die Reflexion einer Reihe von Farbmustern, wenn diese hintereinander von einer Testlichtquelle und einer Referenzlichtquelle beleuchtet werden. Bei niedrigen Farbtemperaturen ist die Referenzlichtquelle ein schwarzer Strahler, ab 5000 K vergleichen wir mit dem Tageslichtspektrum.



Abb. 23: Lichtquellen mit unterschiedlichem CRI können dasselbe Objekt völlig anders aussehen lassen.

##### Kritik am alten System

- Der alte Index (CRI) basiert auf einem beschränkten und inzwischen überholten Farbspektrum. Der klassische Ra-Wert ist beispielsweise der durchschnittliche CRI einer Reihe von 8 gering gesättigten Pastellfarben:



Es ist möglich, die um weitere gesättigte Farben (z. B. sechs Farben R9-14) zu erweitern, was jedoch noch stets eine beschränkte Farbpalette darstellt.



- Der CRI gibt zu wenig Informationen wieder: Ein hoher CRI gibt an, dass die Farbtreue gut ist, in Bezug auf die Referenz. Bei einem niedrigeren Wert weiß man jedoch nicht, in welche Richtung die Testlichtquelle gegenüber der Referenz (siehe Abb. 24) abweicht und ob das notwendigerweise schlecht ist. Mit anderen Worten: CRI ist kein Maß für subjektive Vorliebe/Akzeptanz.
- Die LED-Technologie bietet im Hinblick auf Farbvariationen viel mehr Möglichkeiten als die klassischen Lichtquellen. Es gibt heutzutage viele LED-Komponenten mit beispielsweise einem besonders großen Farbspektrum, das nicht vom CRI quantifiziert werden kann (da es größer ist als das der Referenzlichtquelle).

- Der abrupte Übergang zwischen den beiden Referenzlichtquellen (niedriger oder höher als 5000 K – siehe oben) ermöglichte die subjektive Dokumentation von Lichtquellen.

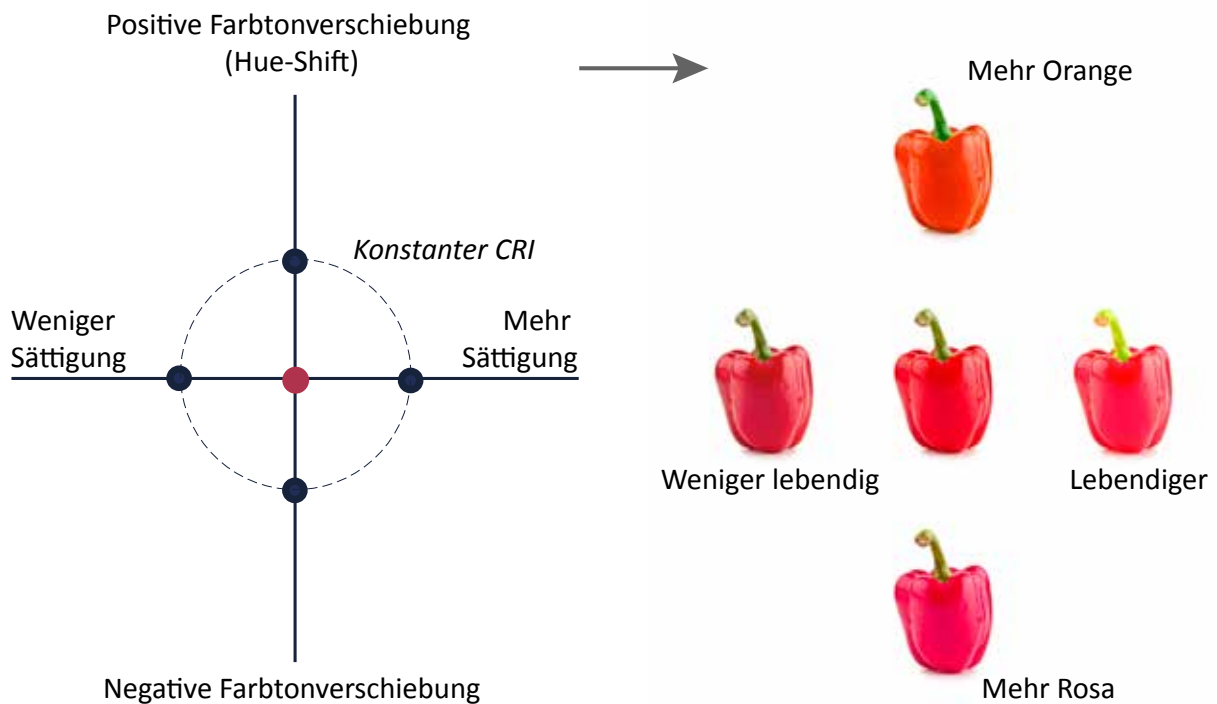


Abb. 24: Der alte CRI gibt nur Informationen über die Größe der Abweichung, nicht über die Verschiebung in Bezug auf Intensität (Saturation) und Farbton (Hue).

#### Verbesserungsvorschlag der IES

Das neue Messsystem, das die IES vorstellt, besteht aus 2 Prinzipien: einer verbesserten Version der CRI-Metrik, nämlich dem Color Fidelity Index (CFI), und einem zusätzlichen Parameter, Color Gamut.

#### Color Fidelity Index (CFI oder Rf):

CFI basiert auf einem viel reicheren Farbsatz als der CRI, nämlich 99 Farben (Color Evaluation Samples of CES). Während man früher die Abweichung zwischen der Testlichtquelle und der Referenzlichtquelle für 15 Farben untersuchte, macht man die heute für 99. Diese 99 Farben bilden eine Synthese einer umfangreichen Datenbank (> 100.000 Objekte) und geben eine einheitlichere Abdeckung des Gamut (ebenfalls gesättigte Farben).

Das Farbmodell, das man für die Berechnung verwendet (CIE-CAM08-UCS), steht außerdem für eine korrektere Interpretation der Farbabstände. Das heißt, dass die verschiedenen Farbtöne im Farbraum eine etwa gleich große Fläche einnehmen. Konkret berechnet man anhand dieses verbesserten Farbmodells die Abweichung gegenüber der Referenzlichtquelle, für 99 Farben. Die durchschnittliche Abweichung für die 99



Farben resultiert in einer Zahl zwischen 0 und 100. Und zwar im Gegensatz zum CRI, der auch ein negativer Wert sein kann.

Ebenso wie beim CRI vergleicht man die Testlichtquelle bis 4500 K mit einem schwarzen Strahler und ab 5500 K mit einer Tageslichtkurve. Wenn die Testlichtquelle eine Farbtemperatur zwischen 4.500 und 5.500 K hat, arbeitet man mit einer Mischung aus beiden, was den abrupten Übergang und somit die Möglichkeit zur Interpretation eliminiert.

CRI vs. CFI für vorhandene Lichtquellen

- Für Lichtquellen mit kontinuierlichem Spektrum (z. B. Glühlampen, Halogen-Metaldampflampen, LED) besteht eine große Korrelation zwischen CFI und CRI.
- Lichtquellen mit Peak-Spektren (z. B. Triband-Phosphor-Leuchtstofflampen) haben durchgängig einen etwas niedrigeren CFI-Wert.

### Color Gamut (Rg):

Wo der CFI etwas über die durchschnittliche Farbverschiebung gegenüber der Referenzlichtquelle aussagt, gibt der Color Gamut zusätzliche Informationen über die Richtung, in der die Verschiebung erfolgt, im Hinblick auf Farbton (Hue) und im Hinblick auf Sättigung (Saturation).

Konkret wird der Farbraum mit 99 Punkten in 16 Zonen (Bins) eingeteilt, worauf die durchschnittliche Abweichung pro Zone grafisch dargestellt wird. Diese Punkte werden miteinander verbunden und bilden die Color Gamut Area. Ist diese Area der Testlichtquelle genauso groß wie die der Referenzlichtquelle, beträgt der Rg 100. Ist die Area größer als die der Referenzlichtquelle, dann ist  $R_g > 100$ , was bedeutet, dass die Testlichtquelle eine reichere Farbpalette wiedergibt als die Referenzlichtquelle. Ist die Fläche kleiner als die der Referenzlichtquelle, dann ist  $R_g < 100$ .

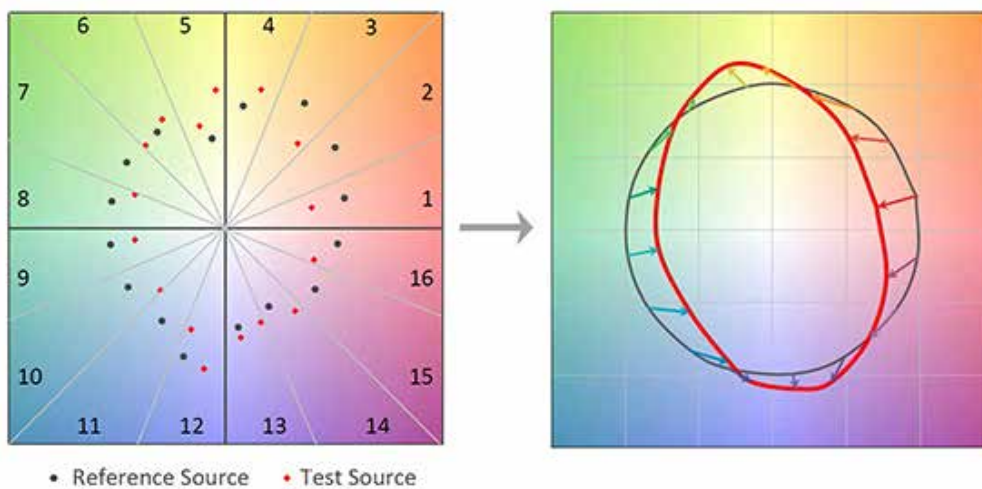


Abb. 25: Die durchschnittlichen Farbwerte pro Bin werden sowohl für die Testlichtquelle (rot) als auch für die Referenzlichtquelle (schwarz) dargestellt. Die verbundenen Punkte bilden die Gamut-Area (rechts). Diese zeigt an, in welchem Maß die Lichtquelle von der Referenzlichtquelle abweicht.

Um die Qualität einer Lichtquelle wiederzugeben, muss man beide Faktoren berücksichtigen:  $R_f$  und  $R_g$ . Eine Lichtquelle mit hohem  $R_f$  hat nicht notwendigerweise einen hohen  $R_g$ . Und eine Lichtquelle mit einem niedrigen  $R_f$  kann bei bestimmten Anwendungen, dank eines hohen  $R_g$ , eine geeignetere Farbwiedergabe haben. Möchte man einen  $R_g$  höher als 100 erhalten, muss  $R_f$  notwendigerweise kleiner als  $R_f$  100 sein.

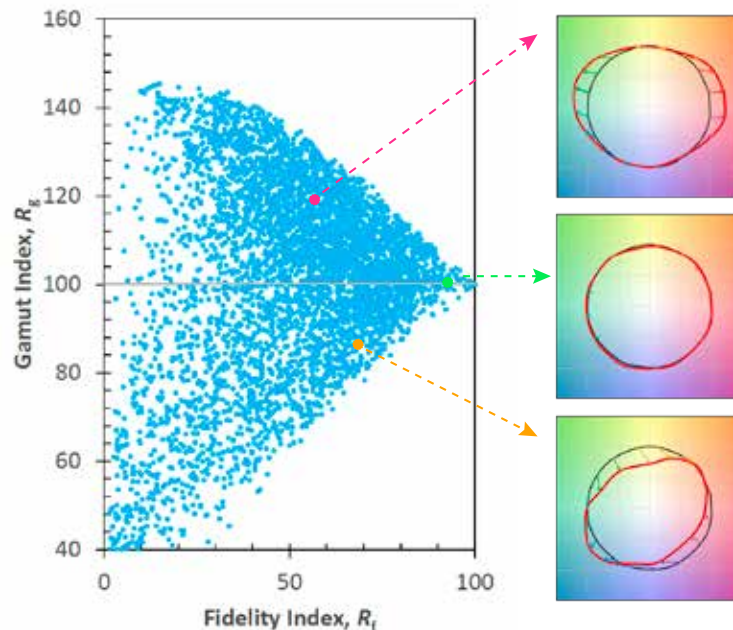


Abb. 26: Die Grafik oben gibt den Bereich von realen Lichtquellen (blau) wieder. Die erste Lichtquelle (rosa) hat einen relativ niedrigen  $R_f$ -Wert, jedoch einen hohen  $R_g$ -Wert (also mehr gesättigte Farben als die Referenzlichtquelle). Die zweite (grün) befindet sich ungefähr auf der Achse von 100  $R_g$  und liegt deshalb besonders nah bei der Referenzlichtquelle. Die dritte (orange) hat zwar einen hohen  $R_f$ -Wert, aber einen niedrigeren Gamut als die Referenzlichtquelle.

### Wie werden wir zukünftig verfahren?

Der von der IES präsentierte Vorschlag wird vom IEC diskutiert. Der aktuelle Bericht enthält nur einen Vorschlag für die Messung und Quantifizierung der Farbwiedergabe. In einem späteren Stadium müssen auch Anwendungsnormen folgen. Durch das neue System kann man nämlich auch auf bestimmte Töne (Hues) fokussieren. Eine gute Farbwiedergabe von Rottönen ist beispielsweise für die Beleuchtung von Fleisch (roten) Früchten oder Hauttönen wichtig, während in einem Fischgeschäft die Blautöne entscheidend sind.

#### Kurze Zusammenfassung

- Ein hoher CRI ist keine Garantie für die beste Farbanpassung oder -akzeptanz.
- Der alte Index ( $R_a$  oder CRI) basiert nicht nur auf einer überholten Farbpalette, sondern gibt auch zu wenig Informationen über die Intensität eines Farbtons. Vor allem bei der LED-Technologie - die mehr Farbvariationen bietet als klassische Lichtquellen - gibt der CRI unzureichende Informationen wieder.
- Das neue Verfahren, das die IES vorschlägt (Color Fidelity Index of CFI), basiert nicht nur auf einer reicheren und aktualisierten Farbpalette, sondern wird außerdem um einen zusätzlichen Parameter (Color Gamut,  $R_g$ ) erweitert. Die grafische Darstellung von  $R_g$  ermöglicht es, zu visualisieren, bei welchen Farben die Testlichtquelle besser abschneidet als die Referenzlichtquelle.
- Dank des neuen Messverfahren TM-30-15 kann man - je nach Anwendung - die geeignetste Lichtquelle wählen.

#### Quellen:

Houser, K. (2016). LumeNet Workshop for PhD Students.

Royer M., David A. & Whitehead L. (2015). A Technical Discussion of IES TM-30-15.



## II. BINNING

Bei der Herstellung zeigen LEDs aus der gleichen Charge oder Serie verschiedene Eigenschaften, zum Beispiel bezüglich Intensität und Farbe. Der Einsatz eines Mix verschiedener LEDs in einer Leuchte würde daher zwangsläufig zu verschiedenen Lichtstärkeniveaus und verschiedenen Lichtfarben führen. Deshalb müssen wir ein „Binning“ durchführen, also die LEDs nach Klassen einteilen oder gruppieren.

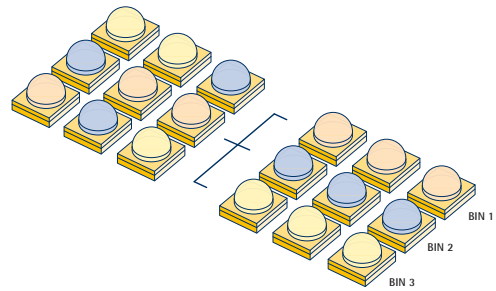


Abb. 27: Prinzip des Binnings

„Binning“ ist das Sortieren der LEDs nach bestimmten Kriterien, wie

- Colour Binning: Das Sortieren nach Farbkoordinaten (x; y), rund um eine individuelle Farbtemperatur;
- Flux Binning: Das Sortieren nach Lichtstrom, gemessen in Lumen (lm);
- Voltage Binning: Das Sortieren nach der Durchlassspannung, gemessen in Volt.

Durch die Auswahl eines bestimmten „Farb-Bins“ wird eine gleichbleibende Farbqualität des Lichts garantiert. LEDs aus dem selben „Bin“ haben also das gleiche Erscheinungsbild. Unterschiede in den „Farbbins“ fallen beispielsweise bei der gleichmäßigen Beleuchtung einer Wand stark auf. Bei der Betrachtung der Farbwahrnehmung wird die sogenannte „Mac Adam-Ellipse“ verwendet (siehe Abb. 28). Diese Ellipse ist ein Bereich im CIE-Diagramm, der alle Farben umfasst, die das menschliche Auge nicht von der Farbe im Zentrum dieser Ellipse unterscheiden kann. LED-Hersteller verwenden SDCM (Standardabweichung Colour Matching), wobei 1 SDCM gleich 1 MacAdam ist.

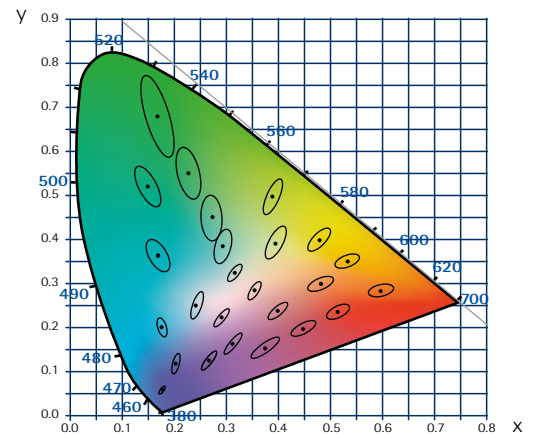


Abb. 28: Darstellung der MacAdam-Ellipsen (Quelle: Wikipedia)

### Wie passt ETAP das Binning bei seinen Leuchten an?

ETAP folgt der Binning-Politik der LED-Hersteller, die wir unter hohen Qualitätsaspekten ausgewählt haben. Die Hersteller entwickeln ihre Politik in Bezug auf technischen Fortschritt, neue Prozesssteuerung, logistische Aspekte, usw. kontinuierlich weiter. Für den Endanwender haben diese Änderungen keine Folgen: Auch die geänderten Verfahren sorgen für eine einheitliche Farbtemperatur. Die Leuchten von ETAP (sowohl mit Niederleistungs-LEDs und Hochleistungs-LEDs als auch mit Chip-on-Board-LEDs) entsprechen 3 SDCM.

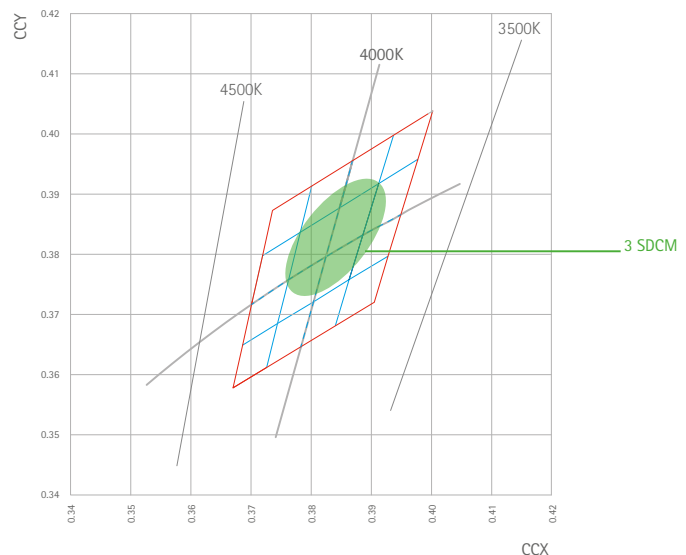


Abb. 29: Veranschaulichung des Binningprinzips



### III. STRAHLUNG (IR/UV)

LED entwickeln keine ultravioletten (UV-) oder infraroten (IR-) Strahlen.\* Das macht sie sehr geeignet für Anwendungen, in denen solche Strahlungen vermieden werden sollten, wie zum Beispiel Museen, Lebensmittel- oder Bekleidungsgeschäfte.

Die LED selbst erzeugt zwar Wärme, aber die wird nach hinten, von dem zu beleuchtenden Objekt weg, geleitet. Auch das ausgestrahlte Lichtbündel stellt Energie dar, die bei Absorption in Wärme umgesetzt wird.

\* Das Gehäuse selbst generiert IR-Strahlung (durch die Wärme).

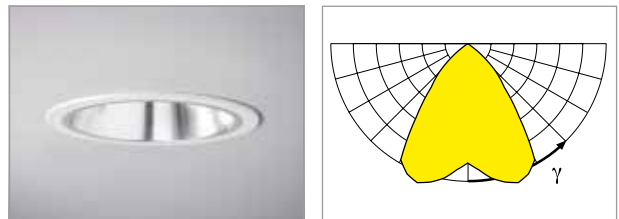
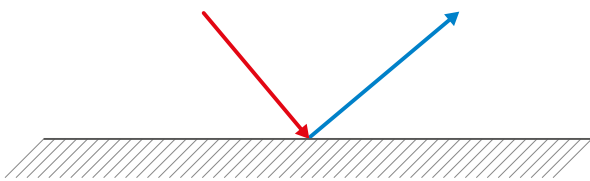
## 4. LICHTBEHANDLUNG

### I. LICHTVERTEILUNG/OPTIK-ARTEN

Die meisten LEDs haben eine breite Lichtverteilung und strahlen Licht in einem Winkel von 80 bis 140° (vollständiger Winkel) aus. Mithilfe von Sekundär- und Tertiäroptiken (Reflektoren, Refraktoren und Diffusoren) können wir spezielle Lichtverteilungen erreichen. Eine passende Lichtverteilung ist wichtig, um in jeder Anwendung die spezifische Leistung und damit auch den Energieverbrauch so gering wie möglich zu halten.

#### a. Reflexion

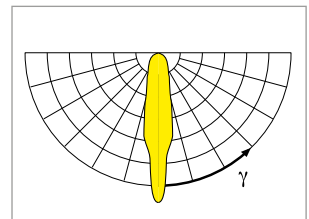
Man erreicht die gewünschte Lichtverteilung, indem man das Licht an einer Oberfläche reflektieren lässt.



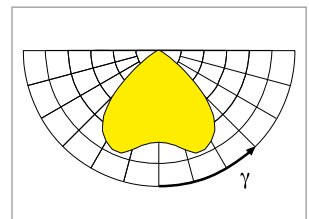
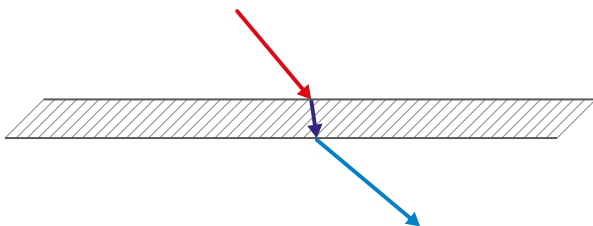
Beispiel: D1 LED

#### b. Brechung

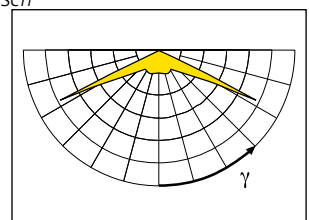
Das Licht wird durch ein transparentes Material (z. B. Linse) gelenkt und durch die optische Dichte (Brechungsindex) und die Form der Materialoberfläche gebrochen und anschließend in die richtige Richtung gelenkt.



Beispiel: E4 mit DUAL•LENS-Technologie mit tiefstrahlender Linse



Beispiel: R7 mit LED+LENS™-Technologie mit breitstrahlenden Linsen

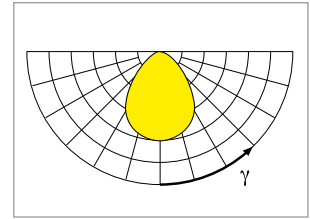
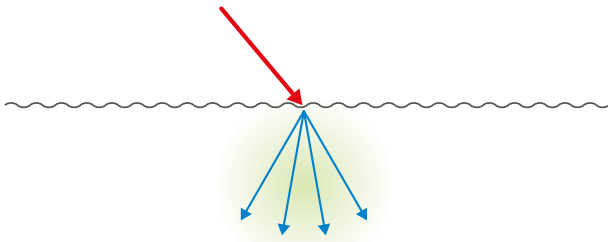


Beispiel: K9-Antipanikbeleuchtung mit extrem breitstrahlender Linse

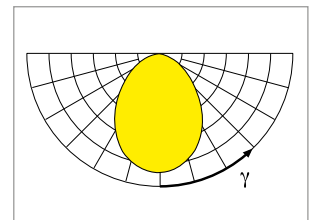
**c. Streuung oder mehrfache Ablenkung**

Das Licht wird gestreut

A. an einer Materialoberfläche mittels einer Oberflächenstruktur.

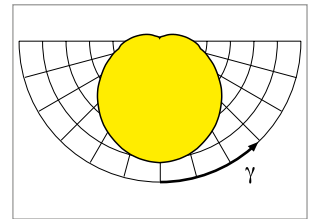
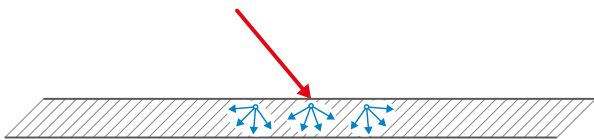


*Beispiel: U25 mit MesoOptics™-Folie*



*Beispiel: US mit Micro-Prismenstruktur*

B. in einem Materialvolumen mittels Einschlüssen.



*Beispiel: R8 mit HaloOptics®-Diffusor*

## II. LEUCHTDICHTE

Mit der stetigen Zunahme der LED-Leistung und Wattage steigt auch die Leuchtdichte der Lichtquellen rasch an. Diese Leuchtdichten können schnell 10 bis 100 Millionen  $\text{cd}/\text{m}^2$  betragen, denn je kleiner die Licht emittierende Oberfläche ist, desto größer kann die Leuchtdichte der Lichtquelle werden.

Einige Beispiele von Leuchtdichten:

- Lineare Leuchtstofflampe - T8:  $14.000 \text{ cd}/\text{m}^2$
- Lineare Leuchtstofflampe - T5:  $15.000 - 20.000 \text{ cd}/\text{m}^2$   $17.000 \text{ cd}/\text{m}^2$  (HE) und  $20.000 - 33.000 \text{ cd}/\text{m}^2$  (HO)
- Kompaktleuchtstofflampe 26 W:  $50.000 \text{ cd}/\text{m}^2$
- „Nackte“ LED 3 W (100 lm):  $100.000.000 \text{ cd}/\text{m}^2$
- Sonne:  $1.000.000.000 \text{ cd}/\text{m}^2$  (=10 x LED!)

Ein durchdachtes optisches Design ist deshalb absolute Notwendigkeit, um das Licht dieser hellen Punktquellen zu streuen, direkten Einblick zu vermeiden und Blendung zu verringern. Hierfür können wir sowohl Linsen, als auch Reflektoren und Diffusoren einsetzen. Einige Beispiele:

- D4 Downlights (UGR<19, Leuchtdichte <1000 $\text{cd}/\text{m}^2$  bei 65°):
  - Verteilung des Lichts über eine größere Fläche, um Leuchtdichten zu begrenzen.
  - Einsatz von Linsen mit texturierter Oberfläche zur Streuung des Lichts und Vermeidung von Spitzenleuchtdichten der einzelnen Lichtquellen.
- U2 mit LED: Die Lichtquellen sind über die gesamte Leuchte verteilt. Der MesoOptics™ Diffusor reguliert die Leuchtdichten und sorgt für eine kontrollierte Lichtverteilung.

Da die klassische UGR-Berechnungsmethode die Leuchtdichte-Unterschiede bei ein und derselben Leuchte oder Optik nicht berücksichtigt, laufen momentan Untersuchungen, um das aktuelle UGR-Modell zu verbessern. Dabei werden sogenannte Leuchtdichte-Bilder verwendet, welche die Leuchtdichte-Variationen innerhalb der lichtemittierenden Fläche einer Leuchte detailliert wiedergeben.

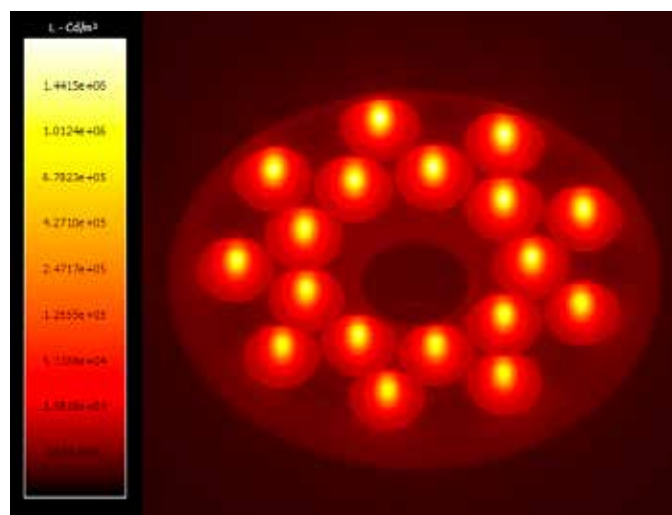


Abb. 30: Typische Leuchtdichte-Karte für ein D4-Downlight, bei einem Sichtwinkel von 40°

## 5. ELEKTRISCHE SICHERHEIT

LEDs arbeiten mit Niederspannung (typischerweise etwa 3V): Daher wird oft angenommen, dass man sich um die elektrische Sicherheit keine besonderen Gedanken machen muss. In heutigen LED-Leuchten kann Spannung bis zu 100V und mehr gemessen werden. Dementsprechend müssen zusätzliche Maßnahmen zur Betriebssicherheit ergriffen werden.

### Schaltet man LEDs in Reihe, erhöht sich die Spannung

LEDs in Leuchten für die Allgemein-Beleuchtung werden, soweit möglich, in Reihe geschaltet. Die logische Konsequenz daraus ist ein Anstieg der Spannung. Einer der Vorzüge von LEDs ist die niedrige Spannung von durchschnittlich 3V mit der jede einzelne LED arbeitet. Schaltet man aber innerhalb einer Leuchte 30 LEDs in Reihe, dann liegt die Spannung schon bei 90V. Es gibt sogar Betriebsgeräte für LEDs, die eine Spannung von mehr als 200V bereitstellen. Diese Betriebsgeräte müssen zusätzlich elektrisch abgesichert werden.

### Ab 24V ist eine zusätzliche Isolierung notwendig

AC	DC
$V < 25 V_{RMS} (I_{RMS} < 0,7 \text{ mA})$	$< 60 V_{DC} (I_{DC} < 2 \text{ mA})$
$25 V_{RMS} < V < 60 V_{RMS}$	$< 60 V_{DC} < V < 120 V_{DC}$
$60 V_{RMS} < V < 120 V_{RMS}$	

Abb. 31: Entsprechend dem internationalen Standard IEC 61347 besteht bis zu 24V (AC) oder 60V (DC) kein Berührungsrisiko (grün). Bei LED Leuchten mit höherer Ausgangsspannung (rot) sind zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen zu treffen.

Internationale Normen (IEC 61347) verlangen, dass bei Spannungen über 24V<sup>2</sup> zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind, um die Leuchte berührungssicher zu machen. In erster Linie muss sichergestellt werden, dass die LED und alle stromführenden Teile von außen nicht zugänglich sind. Die Lösung muss so aussehen, dass die LED erst nach dem Öffnen der Leuchte mit einem speziellen Werkzeug zugänglich ist. Darüber hinaus muss eine gute Basisisolierung zwischen allen berührbaren, leitfähigen Teilen der Leuchte und allen spannungsführenden Teilen bestehen. Wir stellen in jedem Fall genug Luft und Raum für Wartung sicher und nutzen elektrisch isolierendes Material, ohne das der Wärmehaushalt darunter leidet.

### Austauschbare Lichtquelle oder nicht?

Der Norm EN 60598: 2014 (ed. 8) bestimmt, ob die Lichtquelle von LED-Leuchten

- A. nicht austauschbar ist (Leuchte muss zerstört werden, um Zugang zur Lichtquelle zu erhalten).
- B. durch den Benutzer austauschbar ist (Lichtquelle bequem und sicher austauschbar).
- C. durch den Hersteller austauschbar ist (Lichtquelle muss durch eine Abschirmung geschützt sein, die über mindestens zwei unabhängige Befestigungen verfügt und nicht ohne Werkzeug demontiert werden kann).



Für Leuchten der letzten Kategorie C. muss ab 2017 eine Warnung an den Leuchten angebracht sein, dass sich hinter der Abschirmung eine gefährliche Spannung befindet.

2 Auch die Schutzklasse des Treibers kann evtl. zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich machen.

## 6. FOTOBIOLOGISCHE SICHERHEIT

Der Europäische Standard für fotobiologische Sicherheit EN 62471 beschreibt eine Klassifizierung, die angibt, ob eine Lampe oder Leuchte ein Risiko für Augen- oder Hautschäden darstellt. Auf Grund der hohen Leuchtdichten, die High Power LEDs erzeugen, besteht ein potentielles Risiko für Augenverletzungen. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die fotobiologische Sicherheit korrekt gemessen und klar publiziert wird.

Das Licht aus der LED enthält nahezu keine Anteile aus dem ultravioletten oder infraroten Spektrum und ist daher für die Haut absolut unbedenklich. Allerdings enthält es eine starke Spitze im blauen Spektrum, die beim direkten Blick in eine helle Lichtquelle (über einen längeren Zeitraum) zu irreversiblen Schäden an der Netzhaut, der so genannten Photoretinitis (Blaulichtgefährdung) führen kann (Blue Light Hazard - BLH).

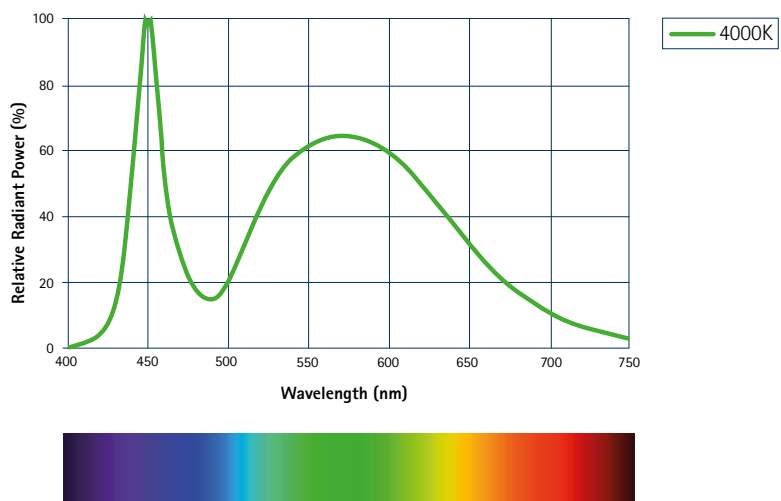


Abb. 32: Da Licht aus LEDs eine starke Spitze im blauen Spektrum beinhaltet, müssen ausreichende Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

### Vier Risikogruppen

Ob tatsächlich ein Risiko besteht, hängt von vielen Faktoren ab: Leistung der LED, Farbtemperatur, aber auch die Lichtverteilung und die Entfernung zur Leuchte spielen eine entscheidende Rolle.

Um es dem Nutzer zu ermöglichen sein Risiko einschätzen zu können, legt die Norm EN 62471 vier verschiedene Risikogruppen fest. Für die Blaulichtgefährdung werden diese Gruppen folgendermaßen definiert:

- Risikogruppe 0 („Ausnahme“-Gruppe): Auch bei einem unbegrenzt langen Blick in die Lichtquelle besteht keine Gefahr.
- Risikogruppe 1: Das Risiko ist begrenzt, mehr als 10.000 Sekunden Blickkontakt sind nicht zulässig (knapp unter 3 Stunden).
- Risikogruppe 2: Bis zu 100 Sekunden Blickkontakt sind erlaubt.
- Risikogruppe 3: Bis zu 0,25 Sekunden Blickkontakt sind erlaubt. Zum Vergleich: Das ist weniger Zeit, als der unwillkürliche Abwehrreflex (Lidschlussreflex) des menschlichen Auges braucht, um das Auge zu schließen und zu schützen.

Da es bei der Norm EN 62471 um eine theoretische Einteilung geht, definiert für einen festen Sichtabstand, wurde daneben auch eine Praxisrichtlinie entwickelt (IEC/TR 62778), die ab 2017 die heutige Norm EN62471 ersetzt. Die Gefahr von BLH hängt nämlich auch von dem Sichtabstand ab (Abstand zwischen Augen und LED). Normalerweise schaut man nicht aus kurzer Distanz in eine Leuchte, aber kürzere Sichtabstände können zum Beispiel auftreten, wenn ein Techniker eine Wartung durchführt. Die IEC/TR 62778 beschreibt, innerhalb welcher Abstände eine Leuchte zu einer bestimmten BLH-Risikogruppe (RG) gehört (sogenannte Grenzabstände).

Einige Beispiele:

- Diffusoren gehören zu RG 0, ganz gleich, von welchem Abstand aus man diese ansieht, z. B. Kardó, R8, U2.
- Downlights und LED+LENS™ Leuchten gehören zu RG 1, egal bei welchem Sichtabstand.
- Für die Lichtquelle in Abbildung 36 gilt RG 1/RG 2 mit einem Grenzabstand von x cm. Dies bedeutet, dass die Lichtquelle bei Sichtabständen kleiner als x cm zu RG 2 gehört.

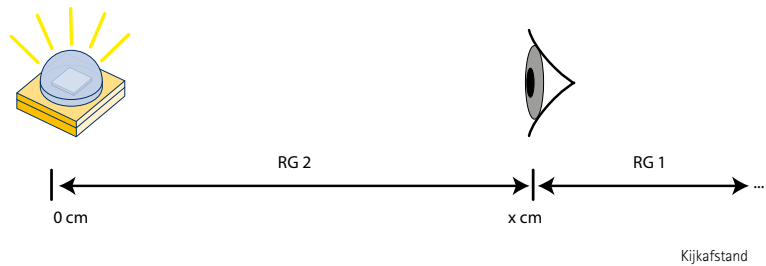


Abb. 33: Darstellung der Grenzabstände

In welchem Maße Schutzmaßnahmen notwendig sind, hängt von der Anwendung ab. Haben Lichtquellen einen Grenzabstand RG 1/RG 2, muss dieser angegeben werden, zusammen mit der Warnung, nicht direkt in die Lichtquelle zu schauen. Nackte weiße LEDs (die in der allgemeinen Beleuchtung verwendet werden) gehören im schlechtesten Fall zu Gruppe 2, niemals Gruppe 3.

Bei den meisten Leuchten befinden sich die LEDs hinter einer Linse oder einem Diffusor, die/der das Bild der Quelle optisch vergrößern und so Spitzenleuchtdichten abflachen. Hierdurch nimmt die Risikoklasse in den meisten Fällen weiter ab.



#### Korrekt messen, klar publizieren

Zu welcher Gruppe eine Leuchte gehört, wird durch ein definiertes Messverfahren mit speziellen Instrumenten (Spektrometer) bestimmt. ETAP hat die geeigneten Voraussetzungen und Instrumente, um Messungen im eigenen Haus durchführen zu können. Das bedeutet, dass ETAP alle Leuchten gewissenhaft auf ihre fotobiologische Sicherheit hin überprüft. Die Risikogruppe, in die die jeweilige Leuchte gehört, wird sowohl auf der Website als auch in der Produktdokumentation veröffentlicht.

*ETAP hat die geeigneten Instrumente, um Messungen im eigenen Haus durchführen zu können.*

## 7. INTEGRIERTE LICHTREGELUNG

LEDs sind nicht nur eine energieeffiziente Lichtquelle, sie arbeiten auch perfekt mit Lichtregelsystemen zusammen. Diese Kombination verspricht nicht nur ein hohes Einsparpotenzial, sie sorgt auch noch für einige andere Vorteile: LEDs können viel effizienter gedimmt werden als Leuchtstofflampen und ihre Lebensdauer leidet nicht unter häufigem Schalten. Mit einer tageslichtabhängigen Lichtregelung können Sie schließlich auch den Leistungsverlust Ihrer LED-Installation kompensieren.

Die bekanntesten Lichtregelsysteme sind Bewegungsmelder, die die Beleuchtung dimmen oder schalten, wenn Nutzer einen Bereich betreten oder verlassen sowie die tageslichtabhängige Regelung, die die Beleuchtung in Abhängigkeit zum einfallenden Tageslicht dimmt. Die Kombination beider Systeme kann in bestimmten Anwendungen bis zu 55% und mehr Energie einsparen. Derzeit ist jede sechste von ETAP vertriebene Leuchte mit einer leuchtenspezifischen tageslichtabhängigen Regelung ausgestattet.



U7 mit tageslichtabhängiger Regelung (ELS)

### LEDs sind schaltfest

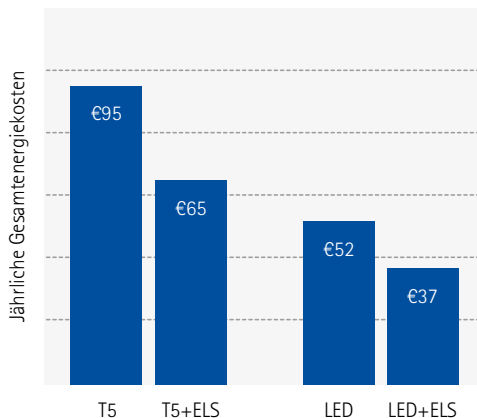
LEDs haben eine ganze Reihe von Eigenschaften, mit denen sie sich besonders für den Einsatz mit Lichtregelsystemen eignen. Mehrfaches Schalten und/oder Dimmen hat in den meisten Anwendungen keinen Einfluss auf die Lebensdauer von LEDs.\* Ganz im Gegensatz zu Leuchtstofflampen, die bei jedem Schaltvorgang einen kleinen Teil ihres Emittiermaterials in der Lampe verlieren. Dieser Effekt zeigt sich dann zum Beispiel an schwarzen Lampenenden. In Bereichen mit kurzen Anwesenheitsintervallen, wie zu Beispiel sanitäre Bereiche oder Flure, lässt sich eine erhöhte Ausfallrate von Leuchtstofflampen beobachten.

LEDs kennen solche Probleme nicht, da sie als elektronische Bauteile unempfindlich gegenüber häufigem Schalten sind. Zusätzlich geben LEDs sofort nach dem Einschalten ihren vollen Lichtstrom ab, was beim Betreten eines dunklen Raumes wesentlich angenehmer ist.

\* Mit Ausnahme von Anwendungen, bei denen LEDs extremen Temperaturschwankungen unterliegen.

Anmerkung:

Das absolute Einsparungspotential hat sich mit heutigen LEDs spürbar verringert (vor allem bei Tageslichtregelung)  
Beispiel: ein kleines Büro, 500 Lux, 6 Leuchten, 12h/Tag





# C. Betriebsgeräte

## 1. FLICKER

Variationen der Lichtleistung werden allgemein durch den Begriff Temporal Light Artifacts (TLA) angedeutet, der von Netzspannungseinbrüchen bis zu regelmäßigem Lichtflackern reicht. Variationen langfristiger Art verursachen sichtbares Lichtflackern („Flicker“) oder stroboskopische Effekte. Der Unterschied zwischen diesen beiden Kategorien wird vornehmlich von der Frequenz bestimmt: Während sichtbarer Flicker durch langsame Schwankungen (bis +/- 100 Hz) verursacht wird, sorgen hohe Schwankungen (> 200 Hz) vor allem für stroboskopische Effekte. Flicker sorgt nicht für visuelle Beeinträchtigungen, sondern kann auch die Ursache von Kopfschmerzen, neurologischen Problemen (Epilepsie) oder nachlassender Konzentration sein. Stroboskopische Effekte sorgen dann wiederum für visuell fehlerhafte Bilder (dabei ließe sich z. B. an scheinbar verzögerte Bewegungen von laufenden Maschinen denken), was zu gefährlichen Situationen führen kann.

Nicht jeder ist für Lichtvariationen anfällig. Untersuchungen<sup>3</sup> haben gezeigt, dass z. B. 30% aller Menschen stroboskopische Effekte wahrnehmen, bei einer Frequenz von 300 Hz. 5% empfinden das als äußerst unangenehm.

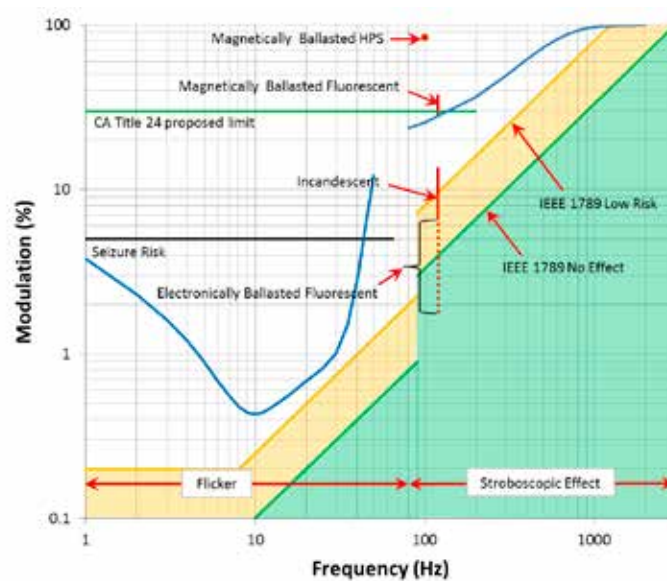


Abb. 34: Die Studie von Wilkins gibt u.a. an, dass die Beeinträchtigung von Person zu Person unterschiedlich ist. Abhängig von der Frequenz und der Modulationstiefe sind Beleuchtungslösungen absolut sicher (grün) oder unsicher (weiß). Das gelbe Band gibt die Übergangszone wieder. Diese Anzeige gilt bei einem Signal, das aus nur einer Frequenz besteht.

Flicker und stroboskopische Effekte stellen für sich genommen kein neues Phänomen dar: Auch bei klassischen Lichtquellen (z. B. Glüh- oder Leuchtstofflampen) sind TLA ein bekanntes Phänomen. Bei Leuchtstofflampen konnte dieses Problem auf strukturelle Weise durch elektronische Vorschaltgeräte behoben werden. Warum ist das bei LED-Beleuchtung erneut ein großes Problem? LEDs sind für sich genommen eine besonders stabile Lichtquelle, sie reagieren jedoch viel schneller. Dort, wo klassische Lampen langsamer reagieren (Glühlampen durch Aufheizen und Abkühlen des Glühdrahts, Leuchtstofflampen durch die Nachglühzeit des Phosphor), reagieren LEDs sofort bei jeder Ansteuerung und somit auch bei jeder Unregelmäßigkeit dieser Ansteuerung. Das Problem liegt somit nicht bei der Lichtquelle selbst, sondern beim Betriebsgerät.

Hochwertige LED-Lösungen sind so konzipiert, dass sie Flicker vorbeugen, u. a. durch ein qualitativ hochwertiges Betriebsgerät, das die Variationen des Stroms ausfiltert. Es sind jedoch zahlreiche Lösungen auf dem Markt, die dem keine oder nur unzureichend Aufmerksamkeit schenken und wodurch Menschen – bewusst oder nicht – bei der Arbeit starke Beeinträchtigungen empfinden. Deshalb bedürfte es einer neuen Norm, um Flicker bei LED-Beleuchtung zu messen und eindeutige Akzeptanzgrenzen zu ziehen.

3 Untersuchung des Lighting Research Center in Detroit, Quelle: „Last van led?“, Allight, 9. Jahrgang, Nr. 6, Juni 2016.

Die alte Norm (IEC TR 61547-1), die für klassische Lichtquellen wie Leuchtstoff- und Glühlampen galt, war nicht länger brauchbar, da LEDs komplexere Signale, zusammengesetzt aus mehreren Frequenzen, und einen höheren Frequenzbereich haben. Außerdem muss bei LED-Beleuchtung sowohl die Ansteuerung als auch die Lichtquelle berücksichtigt werden, während die Lampe früher bei der Messung eigentlich außer Betracht gelassen wurde.

Früher gab es 2 Qualifizierungsmethoden/-metriken

- **Flickerprozentatz:** Basiert auf der Differenz zwischen der minimalen und maximalen Lampenleistung, ausgedrückt in %. Für magnetische Vorschaltgeräte liegt dieser Prozentsatz normalerweise bei 15 bis 30%. Die Variation minderwertiger LED-Lösungen befindet sich übrigens in derselben Größenordnung.

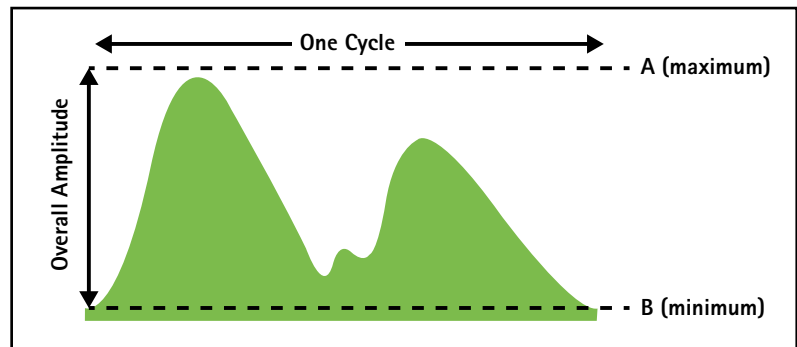


Abb. 35: Berechnung des Flicker-Prozentsatzes =  $100\% \times [(A-B)/(A+B)]$

- Ein anderes Verfahren, um Flicker zu quantifizieren, ist der **Flickerindex**, wobei man die Oberfläche über dem Durchschnitt mit der Gesamtoberfläche vergleicht.

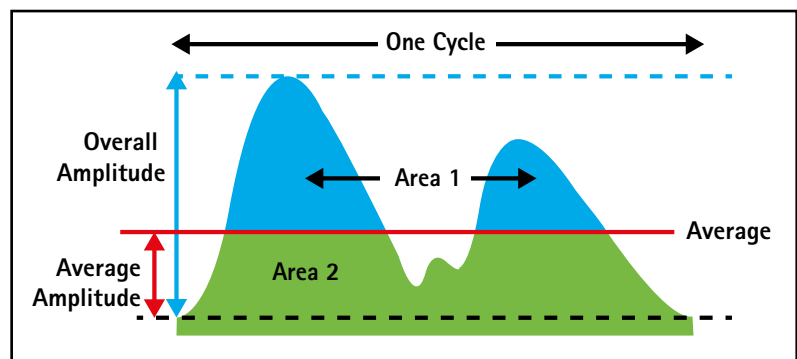


Abb. 36: Berechnung des Flickerindex =  $\text{Oberfläche 1} / (\text{Oberfläche 1} + \text{Oberfläche 2})$

Diese alten Messverfahren berücksichtigen jedoch nicht die Frequenz. Das war auch nicht nötig, da die klassischen Lichtquellen hauptsächlich dieselbe Frequenz aufweisen (z. B. 100 Hz bei Leuchtstoffbeleuchtung). Solange die Spitzen der Messkurven identisch sind, erhält man dann für 2 verschiedene Frequenzen denselben Flickerprozentatz und -index. Da die Ansteuerung der LEDs aus verschiedenen Signalen mit einer breiten spektralen Verteilung (Frequenzbereich) und Modulationstiefe aufgebaut ist, sind oben genannte Methoden nicht länger ausreichend.

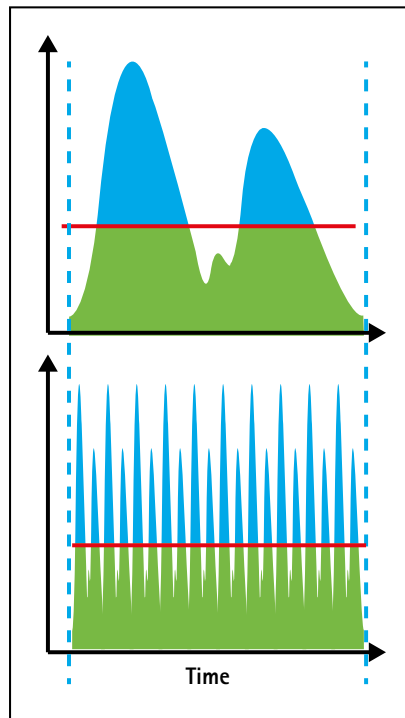


Abb. 37: Oben genannte Signale (10 und 100 Hz) haben denselben Flickerprozentsatz oder -index, während sie tatsächlich eine andere Frequenz und ein anderes visuelles Ergebnis aufweisen.

Auch eine viel verwendete Dimmtechnik bei Betriebsgeräten, PWM (Pulse Width Modulation), kann deshalb nicht auf diese Weise gemessen werden. Auch hier hängt es von der Frequenz ab, ob Benutzer dies als Beeinträchtigung empfinden oder nicht. Nur bei hoher Frequenz und/oder geringer Modulationstiefe ist PWM akzeptabel.

#### In welche Richtung wurde die Norm revidiert?

Bei der neuen Metrik misst man die Variationen der Leistung der Lichtquelle mit einem Sensor. Dabei wird die Ausfilterung durch das menschliche Auge simuliert. Man überprüft, wie die Lichtleistung im Laufe der Zeit variiert. Das Ergebnis ist eine Kurve, die den Lichtstrom in der Zeit wiedergibt. Anschließend führt man eine Signalanalyse für dieses Messsignal durch, für zwei Frequenzbereiche (< 100 Hz, > 100 Hz). Das Ergebnis sind zwei Grenzwerte, für Flicker (Pst of short-term flicker metric) und für stroboskopische Effekte (SVM of Stroboscopic Visibility measure). Beide Grenzen werden für ein reines Signal (eine Frequenz) zur Illustration in der Grafik von Wilkins (blau) wiedergegeben, können jedoch auch für ein komplexes (LED-) Signal verallgemeinert werden (Siehe Seite 33, Abb. 34: Studie von Wilkins). Die Akzeptanzgrenzen, die auf der Grundlage dieser Berechnungen festgesetzt werden, entsprechen einem Risiko von 50%, d. h. es besteht eine Wahrscheinlichkeit von 50%, dass Menschen darunter leiden.

#### Was müssen Sie beachten?

Eine stabile Lichtleistung ist – neben UGR/Blendung und Farbwiedergabe – ein wichtiger Qualitätsaspekt der LED-Beleuchtung. Deshalb achtet ETAP von Anfang an besonders auf die Verwendung qualitativ hochwertiger Betriebsgeräte, um Flicker und stroboskopische Effekte auszuschließen. Auch die IEC (International Electrotechnical Commission) hat inzwischen eine Revision der Norm IEC/TR 61547-1 (Voltage fluctuation immunity test) vorgestellt, die es ermöglicht, Betriebsgeräte nach objektiven Beurteilungskriterien zu qualifizieren.

Die relevanten Standards in dieser Hinsicht sind:

- IEC 61000-3-3: Voltage fluctuations limits.
- IEC 61000-4-15 (ed. 2): Flicker meter (PST)
- IEEE 1789-2015: Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs (SVM)

## 2. QUALITÄTSMERKMALE FÜR LED-BETRIEBSGERÄTE

Das Betriebsgerät, der sogenannte „Driver“, ist eine der wichtigsten Komponenten jeder LED-Lösung. Die Qualität einer LED-Leuchte hängt nicht alleine von der LED-Lichtquelle und der Konstruktion der Optik ab, sondern maßgeblich auch von der Effizienz und Zuverlässigkeit des Betriebsgerätes. Alle hochwertigen Betriebsgeräte für LEDs müssen sieben Qualitätsmerkmale aufweisen:

**Lebensdauer.** Das Betriebsgerät muss mindestens dieselbe erwartete Lebensdauer wie die LED haben.

**Effizienz.** Einer der Erfolgsfaktoren von LEDs ist ihre Energieeffizienz. Aus diesem Grund muss die Umwandlung von Netzspannung in Strom so effizient wie möglich erfolgen. Ein hochwertiges Betriebsgerät hat mindestens eine Effizienz von 85%.



**Leistungsfaktor.** Der Leistungsfaktor ist ein technischer Indikator der anzeigt, wie dicht die Wellenform des Stroms an der Referenz-Sinuskurve der anliegenden Spannung liegt. Der Leistungsfaktor ( $\lambda$ ) besteht aus zwei Teilen: Dem Wechsel zwischen Spannung und Strom ( $\cos \phi$ ) und den Oberwellen der harmonischen Gesamtverzerrung des Stroms. Je geringer der Schaltweg und die Verschiebung von der Referenz-Sinuskurve, desto geringer sind die Verluste und Rückwirkungen (Verschmutzungen) ins Netzwerk des Energieversorgers. Bei ETAP-LED-Betriebsgeräten arbeiten wir ausschließlich mit einem Arbeitsfaktor von mehr als 0,9.

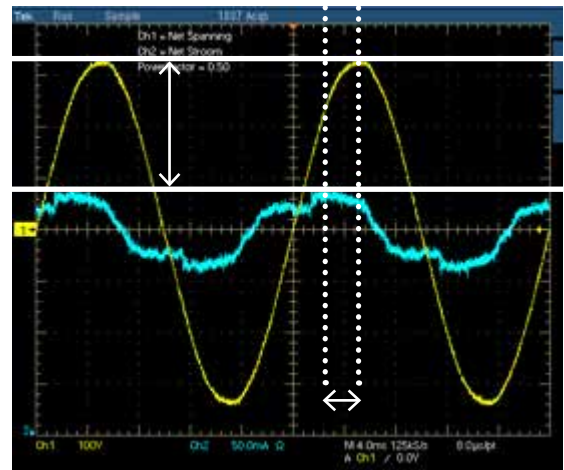
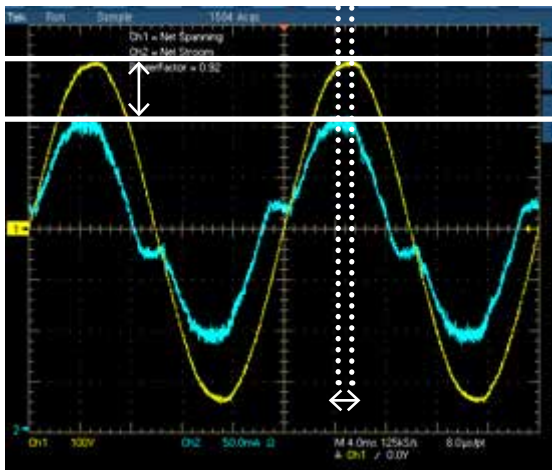


Abb. 38: Bei Betriebsgeräten mit einem hohem Leistungsfaktor (links) zeigt die Kurve des Stroms (blau) wenig Abweichung zur Kurve für die Spannung (gelb). Die Kurven von Betriebsgeräten mit niedrigem Leistungsfaktor (rechts) zeigen größere Abweichungen.

**Elektromagnetische Kompatibilität (EMC).** Das Betriebsgerät sollte selbst so wenig elektromagnetische Interferenzen in seine Umgebung abgeben wie möglich, gleichzeitig aber auch so immun wie möglich gegen Einflüsse aus der Umgebung sein. Eine gute elektromagnetische Verträglichkeit in beide Richtungen ist äußerst wichtig.

**Einschaltstrom.** Wird ein LED-Betriebsgerät unter Spannung gesetzt, entsteht für den Bruchteil einer Millisekunde eine Spannungsspitze im Netz. Das kommt daher, dass am Anfang Kondensatoren aufgeladen werden. Durch ein kontrolliertes Aufladen werden diese Spannungsspitzen abgefangen. Das Betriebsgerät muss so eingestellt sein, dass die Leitungsschutzschalter des Raumes oder Gebäudes nicht ausgelöst werden.

**Stromfrequenz.** Eine gute Qualität des Ausgangsstroms sorgt dafür, dass es keine Fluktuationen in der Intensität gibt, so dass kein Flackern oder stroboskopische Effekte auftreten.

**Filterung der Netzspannung.** Probleme im Elektrizitätsnetz können u. a. niedrigfrequentes Lichtflackern (3 ... 50 Hz) verursachen. Durch die schnelle Schaltleistung von LEDs sind diese gut sichtbar, was als sehr störend empfunden wird. Ein gutes LED-Betriebsgerät sorgt dafür, dass diese Probleme im Elektrizitätsnetz nicht in den Ausgangsstrom durchgelassen werden, so dass der Lichtstrom stabil bleibt. Der Norm IEC/TR61 547-1 (An objective voltage fluctuation immunity test method) beschreibt das Messverfahren, um Lichtschwankungen zu quantifizieren.

Das Betriebsgerät ist eine entscheidende Komponente bei jeder LED-Beleuchtungslösung. Qualitativ hochwertige Betriebsgeräte erkennt man durch einen Blick in die Produktdatenblätter des Herstellers. So kann man prüfen, ob die oben genannten Qualitätsmerkmale erfüllt sind. ETAP benutzt nur hochwertige Betriebsgeräte, die perfekt an die Beleuchtungslösung angepasst sind und sorgfältig in unseren Laboren getestet wurden.

### 3. ANSTEUERUNGSARTEN

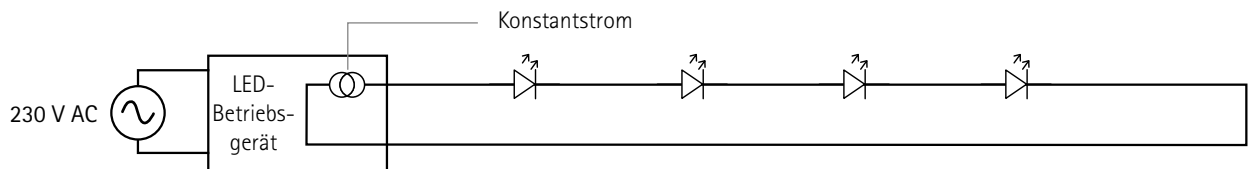
LEDs sind stromgesteuerte Komponenten. Der Strom ist direkt ausschlaggebend für die Lichtleistung und muss daher vorsichtig gesteuert werden. Es gibt zwei Möglichkeiten der Ansteuerung:

- **Konstante Stromquellen**

Diese wandeln die Netzspannung sofort in konstanten Strom um. Die Methode bringt die höchste Effizienz und ist die kosteneffektivste Anwendung. Nachteilig ist, dass die Module mit einer konstanten Stromquelle nur in Reihe geschaltet werden können, was bei der Installation schwieriger ist. Zudem addiert sich bei höheren Leistungen die erforderliche Spannung schnell auf (>100 V).

Beispiele:

- Büroleuchten: U3, U7,...
- Industrieleuchten: E5, E7,...

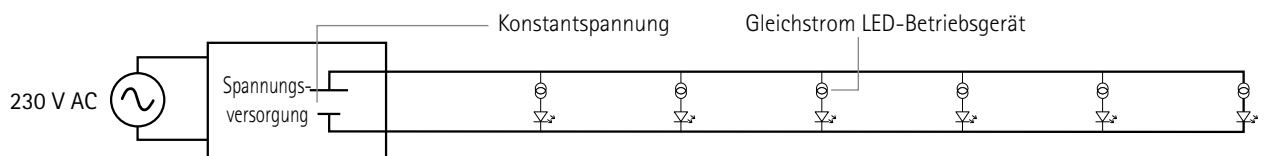


- **Konstante Spannungsquellen**

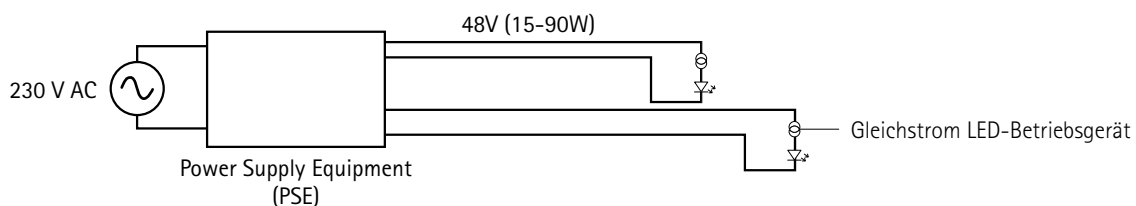
Das sind Versorgungen, die die Netzspannung in genau geregelte Spannung umwandeln. Wenn sie für LEDs oder LED-Module eingesetzt werden, müssen diese Versorgungen immer mit einem Strombegrenzer (z. B. Widerstand), oder einem DC-LED-Treiber (Gleichstrombetriebsgerät für LED), der Gleichspannung in konstanten Strom umwandelt, ausgestattet sein. Spannungsquellen haben den großen Vorteil, dass man verschiedene Module sehr einfach parallel anschließen kann.

Beispiel:

- DC-Bus-System: DC LED-Betriebsgerät ins Kabel integriert



- PoE (Power over Ethernet)



## 4. DIMMUNG

LEDs können sehr effizient und über eine große Bandbreite hinweg gedimmt (nahezu von 0% bis 100%), oder dynamisch angesteuert werden. Dies kann auf Basis standardisierter Dimm-Methoden wie DALI, 1-10V und TouchDim oder auch direkt mit bluetooth erfolgen. Die Dimmverluste von LEDs im unteren Dimmbereich sind vergleichbar mit den Verlusten bei Leuchtstofflampen mit modernsten dimmbaren Vorschaltgeräten. Bei vollständigem Dimmen ist die restliche Leistungsaufnahme praktisch vernachlässigbar. Daher eignen LEDs sich hervorragend zur Integration in programmierte, dynamische Regelsysteme.

In der Praxis gibt es drei Möglichkeiten zu dimmen: Entweder reduziert man die Stromstärke (AM oder Amplitude Modulation), oder man setzt den Strom in Impulse von immer kürzerer Dauer um (PWM oder Pulsdauermodulation) oder Hybrid. Jede dieser drei Anwendungen hat Vor- und Nachteile. Hier helfen unsere Experten bei der Entscheidung.

Alle bekannten Systeme für die Dimmung sind im Prinzip auch bei LED-Beleuchtung einsetzbar:



- DALI
- 1-10V (eher selten)
- TouchDim
- DMX (weniger für Beleuchtung verwendet, hauptsächlich in der Theaterwelt eingesetzt)
- Phasenanschnitt/-abschnitt (vor allem Wohnungsmarkt)
- Bluetooth (Casambi, BLE, ...)

Wirkungsgrad und Lichtausbeute sinken in der Regel bei niedrigeren Leistungen. So sind Downlights mit einer Leistungsaufnahme von weniger als 20 W im Allgemeinen weniger effizient als Leuchten von 40 W oder höher.

Es ist wichtig, dass die Effizienz und der Leistungsfaktor immer gleich bleiben, wenn ein Dimmer benutzt wird.

Der maximal mögliche Wirkungsgrad eines Betriebsgeräts bestimmt sich über die Nennleistung für die es entwickelt wurde (siehe Abb. 40). Bei Betriebsgeräten mit einer Nennleistung von <25W wird der maximale Wirkungsgrad nie höher als bei 80-85% liegen. Bei Betriebsgeräten mit einer Nennleistung von >35W kann ein Wirkungsgrad von 90% und mehr erreicht werden.

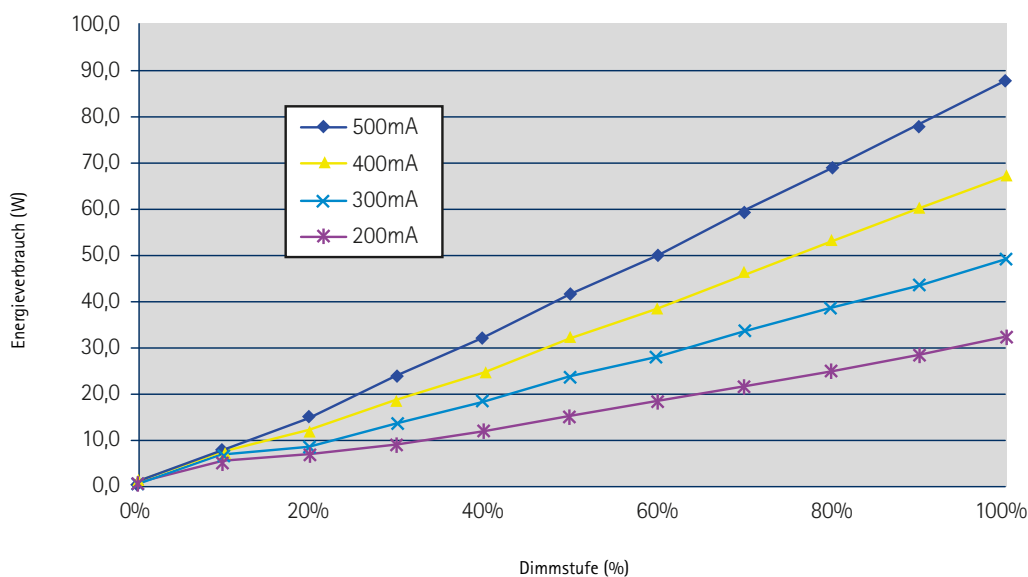


Abb. 39: Effekt der Dimmung auf die Leistung

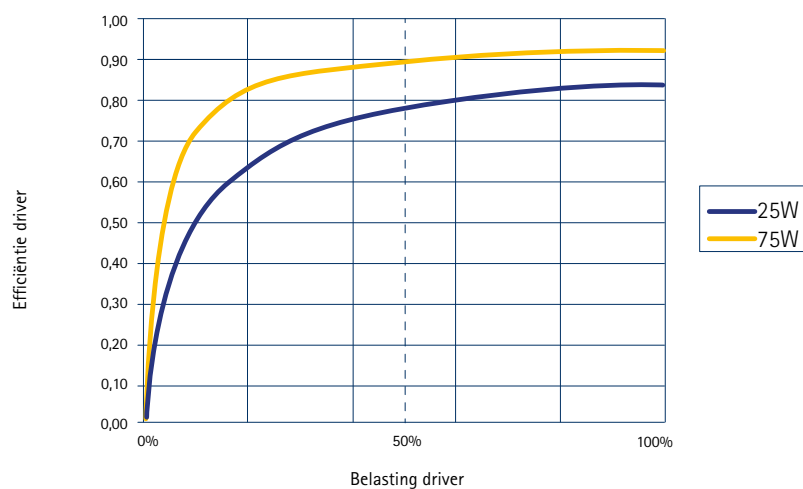


Abb. 40: Bei Betriebsgeräten mit einem hohem Leistungsfaktor (links) zeigt die Kurve des Stroms (blau) wenig Abweichung zur Kurve für die Spannung (gelb). Die Kurven von Betriebsgeräten mit niedrigem Leistungsfaktor (rechts) zeigen größere Abweichungen.

Die obige Grafik zeigt, dass der tatsächliche Wirkungsgrad eines Betriebsgeräts auch von der Last abhängt. Bei einem qualitativ hochwertigen Betriebsgerät bleibt der Wirkungsgrad bis zu einer minimalen Last von 50-60% konstant. Bei einer geringeren Last sinkt der Wirkungsgrad rapide ab. Daher ist es so wichtig, das Betriebsgerät und die LED gut auf einander abzustimmen, damit das Betriebsgerät immer im optimalen Bereich arbeiten kann.

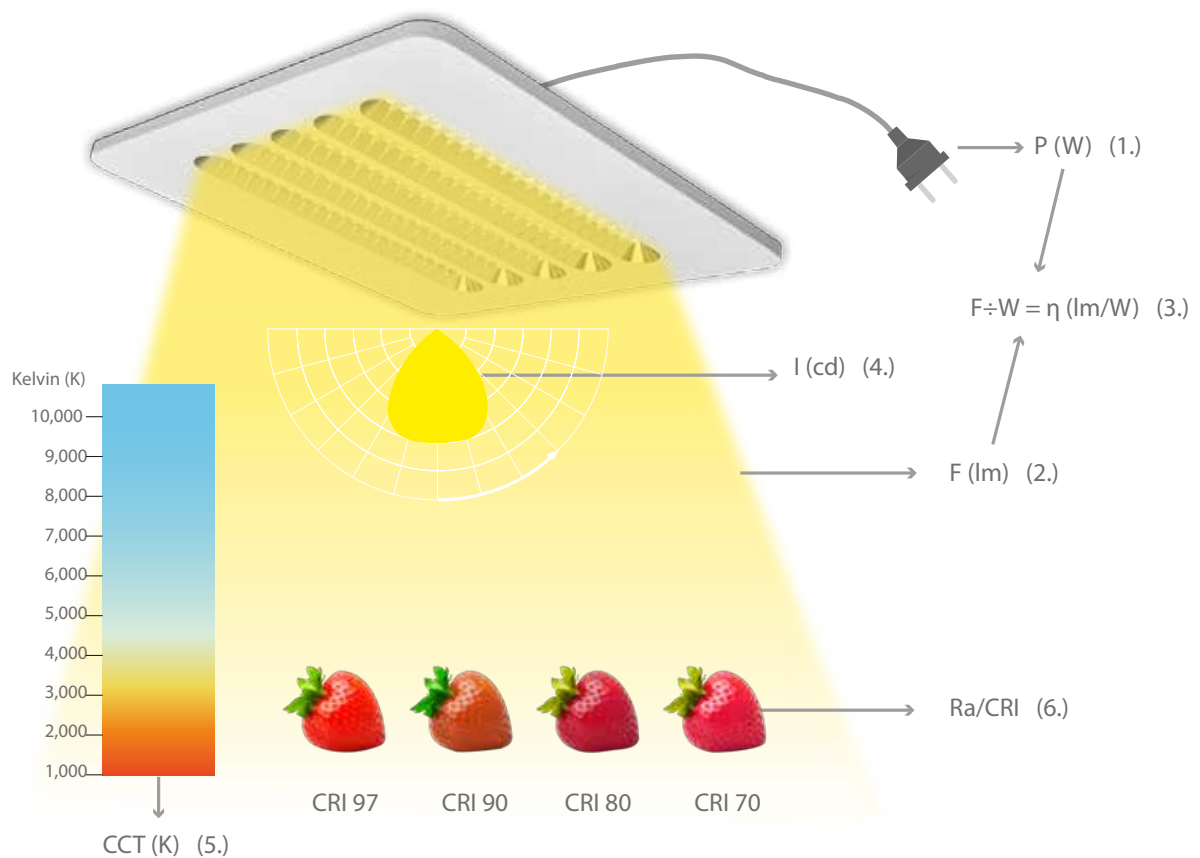


## D. Worauf als Benutzer achten?

### 1. OBJEKTIVE INFORMATIONEN ZUR QUALITÄT

Früher gab es in Europa keine Richtlinie oder Norm hinsichtlich der Publikation von Qualitätsdaten von LED-Leuchten. Die Hersteller veröffentlichten zwar Informationen, die der Verbraucher jedoch nicht ohne weiteres vergleichen konnte. Beispiel: Man konnte zwar Zahlen zur Lebensdauer publizieren, jedoch nicht angeben, wie man an diese Zahlen gelangt war. Oder man publizierte nur Daten zu Lichtleistung und Lebensdauer der LED-Lichtquelle, wohingegen diese jedoch auch von der Optik und der Leuchtenkonstruktion stark beeinflusst werden. Die fehlende Einheitlichkeit war für den Verbraucher ärgerlich, da dieser oft Äpfel mit Birnen vergleichen musste.

Lighting Europe hat Anfang 2018 dazu einen Leitfaden herausgebracht: „Evaluating performance of LED based luminaires“. Dieses Dokument fasst den Konsens der Beleuchtungsindustrie zu den Parametern zusammen, die Sie auf einem Datenblatt eines qualitativ hochwertigen Beleuchtungsherstellers antreffen sollten.



#### Die sechs wichtigsten Leistungsparameter

Lighting Europe empfiehlt folgende Parameter zu vergleichen.

1. Wattzahl des Gesamtsystems ( $P$  in Watt)
2. Netto-Lichtstrom der Leuchte (Flux  $\Phi$  in Lumen)
3. Effizienz ( $\eta$  in Lumen pro Watt)
4. Verteilung der Lichtstärke (in Candela oder Candela pro Kilolumen)
5. Korrelierte Farbtemperatur (CCT in Kelvin)
6. Farbwiedergabe-Index Ra (Colour Rendering Index)

### Besondere Aspekte

Achtung: Die publizierte Leistung bezieht sich auf die von der Leuchte aufgenommene Gesamtleistung, einschließlich Betriebsgerät oder eventuelle Steuerungseinrichtungen. All zu oft wird nur die Leistung des LED-Moduls angegeben und werden Betriebsgerätverluste nicht einbezogen. Der Lichtstrom und die Effizienz beziehen sich auf die gesamte Leuchte und dürfen nicht mit dem Lichtstrom und der Effizienz der LED-Module verwechselt werden. Auch hier werden in der Praxis die optischen Verluste der Sekundäroptik nicht einbezogen. Außerdem ist es wichtig, dass der Lichtstrom bei der tatsächlichen Betriebstemperatur der LEDs und nicht bei standardmäßigen 25°C angegeben wird!

Der Lichtstrom und die Effizienz beziehen sich auf die gesamte Leuchte und dürfen nicht mit dem Lichtstrom und der Effizienz der LED-Module verwechselt werden. Auch hier werden in der Praxis die optischen Verluste der Sekundäroptik nicht einbezogen. Außerdem ist es wichtig, dass der Lichtstrom bei der tatsächlichen Betriebstemperatur der LEDs und nicht bei standardmäßigen 25°C angegeben wird!

Sowohl bei der Leistungsaufnahme und der Effizienz als auch beim Lichtstrom empfiehlt es sich, auch die zugehörige Leistungstemperatur ( $T_q$ ) explizit anzugeben, selbst wenn diese 25°C beträgt (Standard). Die angegebenen Größen hängen schließlich von der spezifischen Umgebungstemperatur ab. Bei abweichenden Temperaturen können die Werte der angegebenen Publikation abweichen (dabei ließe sich beispielsweise an einen Einbau in eine Decke mit bis auf 35°C ansteigenden Temperaturen denken).

### **Zwei Parameter in Bezug auf die Lebensdauer**

Qualitativ hochwertige LED-Leuchten haben potentiell eine sehr lange Lebensdauer. Während dieses Zeitraums wird der Lichtstrom jedoch in gewissem Umfang abnehmen. Um Beleuchtungslösungen objektiv vergleichen zu können, empfiehlt es sich, den verbleibenden Lichtstrom bei derselben Anzahl Brennstunden anstatt der Zeitdauer eines erwarteten Lichtrückfalls zu vergleichen.

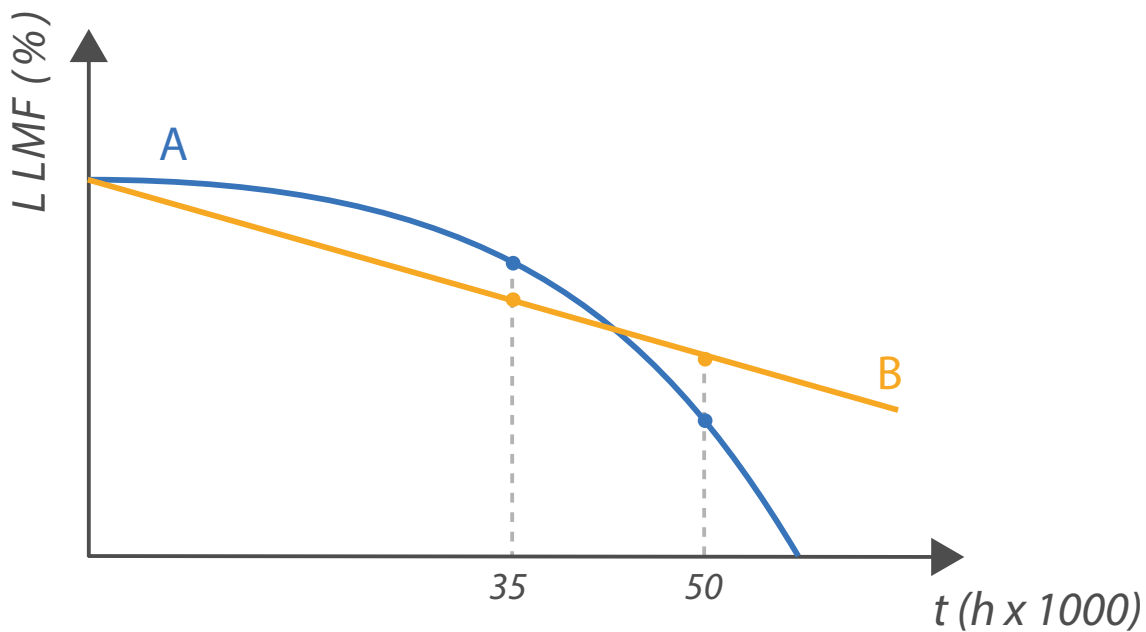
Die beiden folgenden Faktoren sind äußerst wichtig, um die Nutzungsdauer zu spezifizieren:

1. GradueLLer Rückfall des Lichtstroms. Die Nutzungsdauer wird vom  $L_x B_y$ -Wert einer Leuchte beschrieben. Lighting Europe schlägt vor, nur „B50“-Werte zu handhaben – dabei handelt es sich um die Durchschnittswerte. Diese werden für praktische Berechnungen als genau genug erachtet und es sind außerdem die einzigen Werte, die durch normierte Messungen gestützt werden können. Man muss dabei B50 nicht explizit angeben und nur den  $L_x$ -Wert einer angenommenen Anzahl Betriebsstunden publizieren. Dabei handelt es sich um den ursprünglichen Lichtstrom, den eine Leuchte nach der angegebenen Anzahl Brennstunden noch durchschnittlich liefert. ETAP gibt diese Zahl bei einer angegebenen Leistungstemperatur als LLMF-Wert (Lamp Lumen Maintenance Factor) an.
2. Abrupter Ausfall der Leuchte. Der abrupte Ausfall einer LED-Leuchte kann verschiedenen Ursachen haben: Ausfall des Betriebsgeräts, Ausfall des LED-Moduls, schlechte Verbindungen, Korrosion usw. Diesbezüglich sind momentan jedoch wenig zuverlässige Daten vorhanden und es mangelt auch an anwendbaren Normen. Da sich in der Praxis oft gezeigt hat, dass bei Indoor-Anwendungen das Betriebsgerät die weitaus kritischste Komponente ist, schlägt Lighting Europe vor, momentan den erwarteten Ausfallprozentsatz des Betriebsgeräts, ausgedrückt in  $C_x$ , zu handhaben, wobei  $x$  den erwarteten Ausfall (in %) bei der Nutzungsdauer  $L_x$  darstellt.

### Wie viele Brennstunden benötigen Sie tatsächlich?

Lighting Europe empfiehlt, die geschätzte Lebensdauer auf maximal 100.000 Brennstunden zu beschränken, es sei denn, dass dies bei sehr speziellen Projekten erforderlich ist und anhand von umfangreichen Tests gestützt werden kann. Die Zuverlässigkeit der Anforderungen an die Lebensdauer wird über 36.000 oder 50.000 sowieso schnell ungenau, abhängig von der Anzahl der Teststunden, über die die Hersteller verfügen. Die Praxis hat außerdem gezeigt, dass für die meisten Indoor-Anwendungen selten eine Lebensdauer von mehr als 50.000 Brennstunden erforderlich ist.

Da die benötigte Projektlebensdauer und die zugehörige Anzahl Brennstunden je nach Anwendung sehr unterschiedlich ausfallen kann, schlägt Lighting Europe ferner vor, die oben genannte Lebensdauerfaktoren ( $L_x - C_x$ ) für verschiedene Brennstunden zu spezifizieren, z.B. 35.000, 50.000, 75.000 und/oder 100.000 Stunden.



*Leuchten A und B haben einen unterschiedlichen Degradationsverlauf. Wenn Sie eine Lebensdauer von 35.000 Brennstunden angenommen haben, ist Leuchte A die interessanteste. Bei einer Lebensdauer von 50.000 Brennstunden scheint Leuchte B besser geeignet zu sein..*

## 2. AUSWAHLKRITERIEN

Worauf müssen Sie konkret achten, wenn Sie LED-Beleuchtung installieren lassen möchten? Eine gute LED-Beleuchtung muss effizient sein, wobei jedoch auch Aspekte wie Farbwiedergabe und Komfort immer wichtiger werden. Einige Fragen, die helfen können, die richtige LED-Beleuchtung zu wählen:

### A. Wie sieht die Effizienz der LED-Leuchten aus?

Im Allgemeinen gilt: Je höher der spezifische Lichtstrom (lm/W), desto besser die Effizienz. Achten Sie jedoch beispielsweise auch auf die Lichtverteilung, die sich in hohem Maße auf die Leistungsaufnahme ( $W/m^2/100\text{ Lux}$ ) auswirken kann.

### B. Wie sieht die Lichtverteilung aus?

Eine passende Lichtverteilung ist wichtig, um in jeder Anwendung die Leistungsaufnahme und damit den Energieverbrauch so gering wie möglich zu halten. Die Abmessungen der Räume, die gewünschte Beleuchtungsstärke (horizontal und vertikal) bestimmen die Entscheidung für eine sichere spezifische Lichtverteilung.

In kleineren Büros richten Sie das Licht mit der leicht breitstrahlenden Linse dorthin, wo Sie es haben möchten. Auf diese Weise können Sie die Leistungsaufnahme erheblich beschränken.

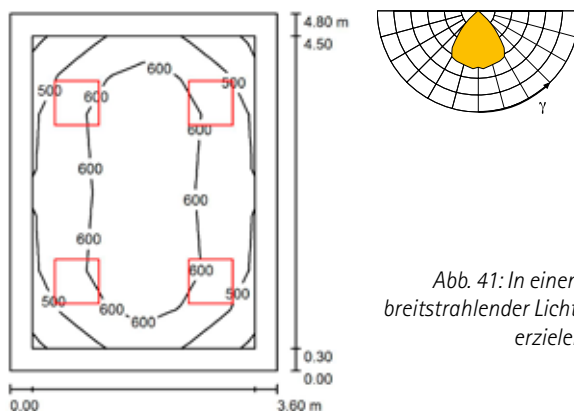


Abb. 41: In einem Büroraum von 3,6 x 4,8 Metern sind 4 U7-Leuchten mit leicht breitstrahlender Lichtverteilung ausreichend, um eine Beleuchtungsstärke von 585 Lux zu erzielen. Die Leistungsaufnahme beträgt  $0,95\text{ W/m}^2/100\text{ Lux}$ .

In großen Büroräumen können Sie mit der extrem breitstrahlenden Linse die Zwischenabstände maximieren und die Leuchtenanzahl reduzieren:

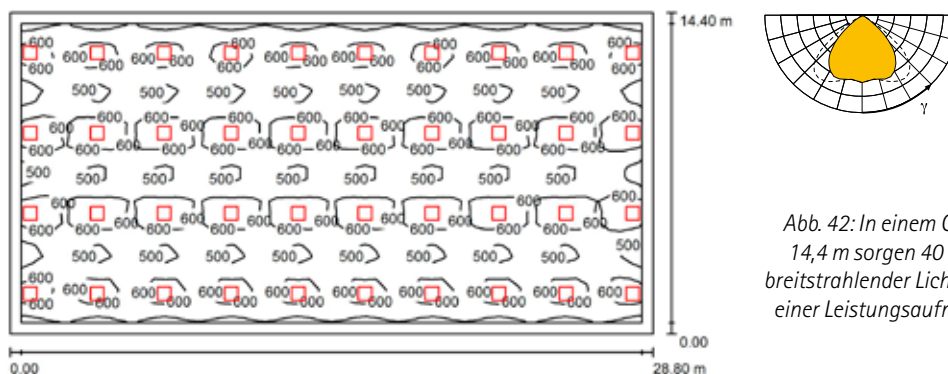


Abb. 42: In einem Großraumbüro von 28,8 x 14,4 m sorgen 40 U7-Leuchten mit extrem breitstrahlender Lichtverteilung für 574 Lux, bei einer Leistungsaufnahme von  $0,78\text{ W/m}^2/100\text{ Lux}$ .

### C. Wie möchte man den Raum erleben?

Neben dem Energieverbrauch stellt auch das Erleben des Raums einen wichtigen Faktor dar. Jede Optik beleuchtet einen Raum auf andere Weise.

Um eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux zu erhalten, sind 4 Leuchten mit Linsenoptik (U3) ausreichend. Wenn Sie den Raum mit Diffusorleuchten (U23) beleuchten, benötigen Sie 6 Leuchten. Neben einer höheren vertikalen Beleuchtungsstärke und Gleichmäßigkeit ist die subjektive Raumwahrnehmung bei Diffusorleuchten anders als bei Reflektor- oder Linsen-Leuchten. Da die Lichtquelle sichtbar und die Optik heller ausgeleuchtet ist, scheinen auch die Räume heller zu sein.

#### U3 (LENS)

Raum 4,8 x 4,8 m

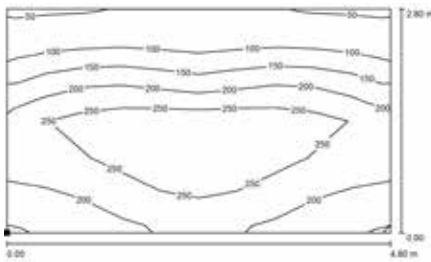


Leuchtentyp: 4 x U3

Lichtintensität: 529 lx

Leistungsaufnahme: 0,89 W/m<sup>2</sup>/100 lx

#### Seitenansicht



Vertikale Beleuchtungsstärke: 195 lx

Gleichmäßigkeit: 0,326

#### U23 (DIFFUSOR)

Raum 4,8 x 4,8 m

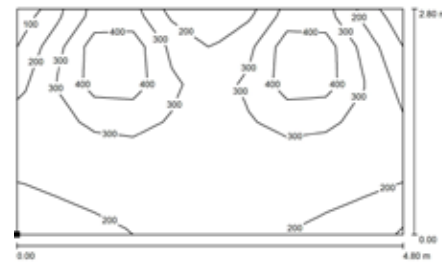


Leuchtentyp: 6 x U23

Lichtintensität: 579 lx

Leistungsaufnahme: 1,53 W/m<sup>2</sup>/100 lx

#### Seitenansicht



Vertikale Beleuchtungsstärke: 275 lx

Gleichmäßigkeit: 0,506

### D. Wie sieht die Lebensdauer aus?

Um eine korrekte Lichtberechnung erstellen zu lassen, ist es wichtig zu wissen, wie lange die Anlage halten soll. Je genauer die Einschätzung, desto weniger muss die Anlage überdimensioniert werden (und desto geringer die Kosten). Vielleicht benötigen Sie gar keine 50.000 Brennstunden, sondern 25.000 Brennstunden reichen aus? Um in Bezug auf die Anzahl Brennstunden zu einer richtigen Einschätzung zu kommen, publiziert die Norm EN15193 eine Angabe der jährlichen Brennstunden für Innenanwendungen.

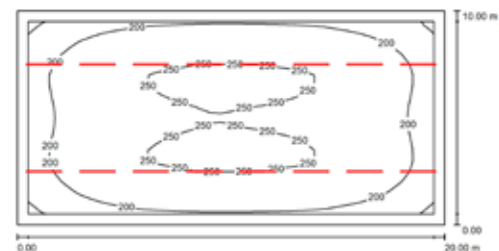
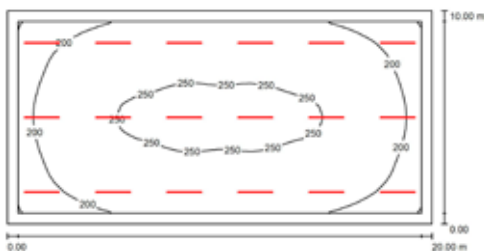


Abb. 43: Wenn Sie einen industriell genutzten Raum von 10 x 20 Metern mit E6-Beleuchtung beleuchten, benötigen Sie 18 Leuchten, um nach 50.000 Stunden noch eine Beleuchtungsstärke von 200 Lux zu erzielen. Wenn Sie mit einer Lebensdauer von 25.000 Brennstunden rechnen, benötigen Sie lediglich 16 Leuchten. Dadurch begrenzen Sie nicht nur die (Installations-) Kosten, sondern auch den Energieverbrauch.

### E. Haben die Leuchten einen hohen LLMF?

Je höher der LLMF, desto geringer die Lichtabnahme. Schauen Sie sich den LLMF im Hinblick auf die erwartete Lebensdauer an.

### F. Wie sieht der visuelle Komfort aus?

Lichtkomfort trägt in hohem Maße zu guten Arbeitsbedingungen bei und hat einen großen Einfluss auf das Wohlbefinden und die Produktivität der Mitarbeiter und Anwender. Deshalb sollten Sie auch die Lichtintensitäten, die Blendung, die Stabilität der Lichtleistung und die Farbeigenschaften überprüfen.



*Während in einer Einrichtung des Gesundheitswesens (links) eine angenehme, nicht blendende Beleuchtung besonders wichtig für das Wohlbefinden von Patienten und Personal ist, gehen in einem Parkhaus (rechts) Effizienz und Verbrauch vor.*

### G. Ist eine spezielle Farbwiedergabe oder Lichtfarbe erforderlich?

Insbesondere in einer kommerziellen Umgebung können eine gute Farbwiedergabe und eine richtig gewählte Lichtfarbe Vorrang vor bloßer Effizienz erhalten. Auch speziellen Aufgaben wie Qualitätsprüfungen, Feinmechanik (z.B. Elektronik) oder im medizinischen Sektor können gute Farbeigenschaften wichtig sein.



*In einem Restaurant (links) ist eine warme Lichtfarbe für eine atmosphärische Beleuchtung wichtig. In einer Druckerei (rechts) ist eine gute Farbwiedergabe und -erkennung von entscheidender Bedeutung.*

## H. In welcher Umgebung sollen meine Leuchten installiert werden?

Eine industriell genutzte Umgebung hat einen anderen Verschmutzungsfaktor als eine Büroumgebung. Auch dabei handelt es sich um wichtige Informationen, um eine korrekte Lichtberechnung erstellen zu können. Außerdem kann die Umgebung auch zusätzliche Anforderungen in Bezug auf elektrische Robustheit, chemische Beständigkeit und Feuchtigkeitsschutz stellen, die die Leuchten erfüllen müssen. Wird die Verschmutzung eines Raums nicht richtig eingeschätzt (RMF oder Room Maintenance Factor), hat dies einen falschen Wartungsfaktor und somit eine falsche Lichtberechnung zur Folge:

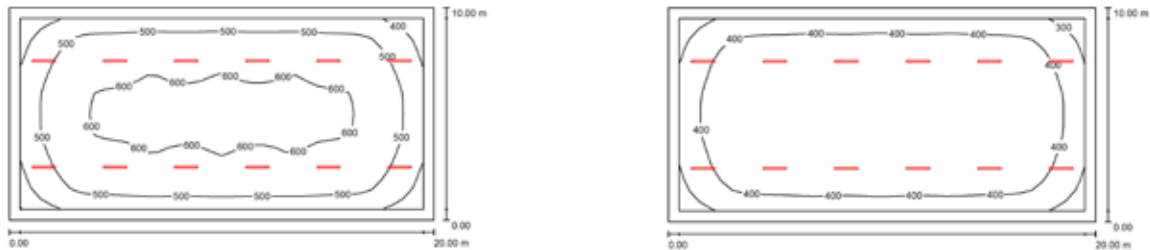


Abb. 44: Lichtberechnung mit zu optimistischem Wartungsfaktor (links) vs. Berechnung mit realistischem Wartungsfaktor (rechts).

Die linke Studie geht von einer sauberen Büroumgebung (Reflexionsfaktoren 70/50/20 für Decke/Wände/Boden) aus, obwohl es sich um einen industriell genutzten Raum handelt. Dadurch wird mit einem zu optimistischen Wartungsfaktor (0,90) gerechnet: In einem Raum von 10 x 20 Metern würde man mit 12 E7-Leuchten nach 50.000 h immer noch 539 Lux erzielen. Berücksichtigt man den korrekten RMF (Reflexionsfaktoren 50/30/10), wird die Berechnung auf der Grundlage von Wartungsfaktor 0,79 erstellt. Daraus geht hervor, dass man nach 50.000 Brennstunden nur noch 432 Lux anstelle der gewünschten 500 Lux erzielt.

## GEMEINSAM DIE BESTEN LÖSUNGEN AUSARBEITEN

Unsere Berater sind ausgebildete Beleuchtungsspezialisten, die gemeinsam mit Ihnen nach der richtigen Beleuchtungslösung suchen, zugeschnitten auf Ihr Projekt. Auf der Grundlage Ihrer Wünsche und Anforderungen arbeitet unser Studiendienst einen Beleuchtungsplan aus, der Ihren Erwartungen entspricht.

### 3. LED-RÖHREN

LED-Röhren sind fertige LED-Lampen, die in die Fassungen von auf Leuchtstofflampen ausgelegten Leuchten passen. Wenn die Leuchten speziell hierfür entwickelt werden, können LED-Leuchten eine Reihe von Vorteilen aufweisen. Wenn man jedoch in bestehenden Leuchten die Leuchtstofflampen ohne Weiteres durch LED-Röhren ersetzt, geht dies zu Lasten der Qualität, des Komforts und manchmal der Sicherheit.

#### EU achtet auf sichere LED-Leuchtröhren

Über ihr Schnellwarnsystem hat die Europäische Union den Verkauf von verschiedenen LED-Tubes (siehe Website der Europäischen Kommission <http://ec.europa.eu>) gestoppt, weil sie nicht der Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG und der Norm EN 60598 für Leuchten entsprechen. Bei diesen Produkten besteht unter anderem das Risiko eines elektrischen Schlags während der Installation, da einige externe Komponenten elektrisch geladen sein können.



#### Vorteile von LED-Leuchtröhren

LED-Leuchtröhren haben zahlreiche praktische Vorteile: Sie haben nicht nur einen niedrigen Energieverbrauch und eine lange Lebensdauer, sondern sie zeichnen sich auch durch eine einfache Wartung aus. Bei einem Defekt kann der Benutzer diese selbst austauschen (siehe 6. Elektrische Sicherheit), ohne Spannungsgefahr. Es gibt auch LED-Leuchtröhren in einem komplett abgeschlossenen Gehäuse, geeignet für chemische Umgebungen. Bei Reflektorleuchten erlauben es LED-Leuchtröhren, eine Luftabsaugung über dem Reflektor anzubringen, was einen selbstreinigenden Effekt hat.

#### Interne oder externe Betriebsgeräte?

LED-Leuchtröhren können über ein internes oder ein externes Betriebsgerät verfügen. Ein externes Betriebsgerät ermöglicht es, die Lampen zu dimmen und, falls erforderlich, bequem zu ersetzen.

#### Verantwortliche Nutzung von LED-Leuchtröhren

Es ist wichtig zu wissen, dass man Leuchtstofflampen nicht ohne weiteres durch LED-Leuchtröhren ersetzen kann. Oft muss die Verdrahtung angepasst werden, oder es müssen Leuchtenkomponenten ausgetauscht oder überbrückt werden. Damit erlischt die Verantwortlichkeit des ursprünglichen Leuchtenherstellers, aber auch die Lichtqualität kann dadurch abnehmen: Jede Leuchte ist für eine bestimmte Lichtleistung und eine bestimmte Lichtverteilung konzipiert. Indem man einfach auf LED-Leuchtröhren umstellt, erhält man möglicherweise geringere Lichtintensitäten, schlechtere Gleichmäßigkeit, Blendung, kurzum Komfortverlust.

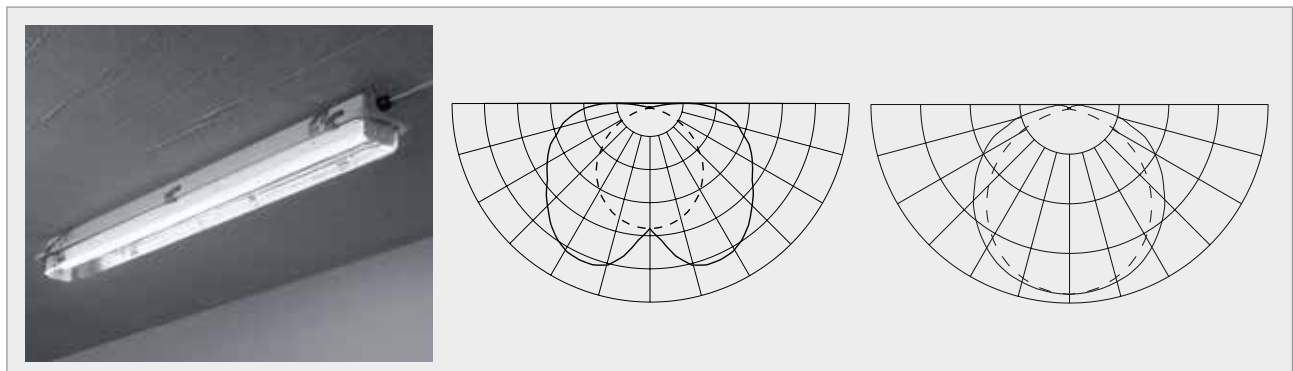


Abb. 45: Während eine E12/136HFW (mit einer 1x 36W Leuchtstofflampe) einen Lichtstrom von 3350 lm, und einen Wirkungsgrad von 72 lm/W erreicht, bleibt beim Einsatz einer LED-Tube nur noch ein Lichtstrom von 1340 lm und 61 lm/W übrig. Auch ist die Ausstrahlungscharakteristik mit einer LED-Tube (rechts) eine völlig andere, als die mit einer Leuchtstofflampe (Mitte).



Aber es geht auch anders: Wenn man das komplette Innenleben (Lampe + Reflektor) durch eine angepasste Optik ersetzt, kann man mit vorhandenen Leuchtstofflampen relativ einfach auf LED umstellen. So kann man beispielsweise in den E1-Leuchten für hohen Schutzgrad Lampe und Reflektor leicht durch ein Retrofitmodul mit LED-Leuchtröhre austauschen und die alten Leuchten weiterverwenden. Das Ergebnis: Höhere Effizienz, deutlich weniger (oder kein) Lampenaustausch und unverändert hoher Komfort.

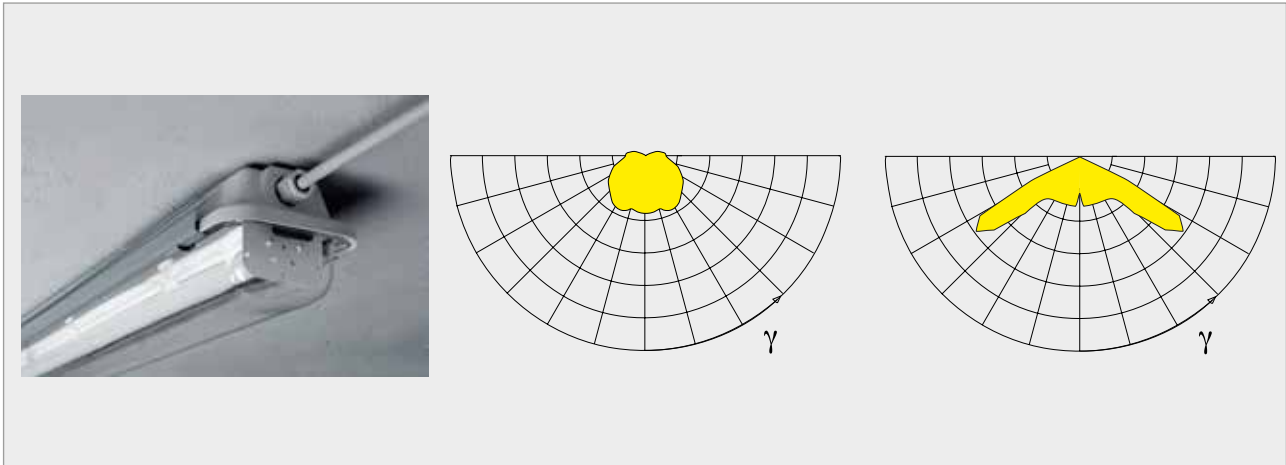


Abb. 46: Wenn man das Beleuchtungsmodul (Lampen und Reflektor) einer breitstrahlenden E1 mit 2 x 58W-Lampen durch ein LED-Modul mit angepasstem Reflektor und LED-Leuchtröhren ersetzt, erzielt man nahezu den gleichen Leuchtenlichtstrom (6740 statt 6700 lm), während die Effizienz von 90 lm/W auf 120 lm/W steigt. Auch die Lichtverteilung der LED-Ausführung (rechts) ist ausgeprägter als bei der Leuchtstoffversion

## E. LEDS – was bringt die Zukunft?

### Eine neue Dimension in punkto Beleuchtung

LEDs haben sich in den vergangenen Jahren ihren Platz auf dem Beleuchtungsmarkt erobert und sind auf dem besten Weg, die klassischen Lichtquellen wie Leuchtstoff und Halogen gänzlich zu ersetzen. Aber in der Zwischenzeit steht die technische Entwicklung nicht still. Wo sich Konstrukteure bislang vor allem auf die Verbesserung des Wirkungsgrads und der Lebensdauer konzentrierten, entdecken diese allmählich die zahlreichen neuen Möglichkeiten, die LEDs bieten.

### Mehr als nur ein Ersatz für Leuchtstoff

Dass LEDs definitiv den Platz der klassischen Lichtquellen wie Leuchtstoff oder Halogen einnehmen, ist aufgrund ihrer Effizienz und längeren Lebensdauer nicht mehr als logisch. In den letzten Jahren wurde außerdem an den anfänglichen Nachteilen der LED-Beleuchtung gearbeitet. Eine neue Generation stabilerer Betriebsgeräte beseitigte das Problem des Flicker-Effekts und besser angepasste Optiken vermeiden Blendung durch grelles Licht. Auch die Farbqualität hat sich enorm verbessert, da LEDs durchgängig ein besser verteiltes Breitbandspektrum haben als das Schmalbandspektrum der Leuchtstoffbeleuchtung. Zurzeit sind LEDs mit einer Farbwiedergabe von  $R_a > 90$  bis  $R_a 100$  erhältlich. Dank dieser besseren Farbwiedergabe kann bei geringeren Beleuchtungsstärken der gleiche visuelle Komfort realisiert werden.

### Mit Licht und Farbe spielen

Heute entdecken die Konstrukteure jedoch, dass LEDs viel mehr sein können als nur eine effizientere Variante der traditionellen Lichtquellen. Als elektronische Lichtquelle bieten LEDs schließlich unendlich viel mehr Möglichkeiten, um Beleuchtung auf spezielle Anwendungen besser abzustimmen. Konstrukteure spielen beispielsweise mit Farbeigenschaften, um Beleuchtung zu entwickeln, die Textilien oder Nahrung besser zur Geltung kommen lässt. Dank eines reich gefüllten Spektrums reichen LEDs immer näher an den Effekt echten Sonnenlichts heran, was dem Pflanzenwachstum im Gartenbau zu Gute kommt. Für die Nachtbeleuchtung z.B. in Krankenhäusern und bei Außenanwendungen sind rötliche Töne (ohne Blau) vorteilhaft, da diese für den Biorhythmus von Mensch und Tier günstiger sind.



*Indem man mit dem reichen Farbspektrum spielt kann man z.B. Textilienfarben besser zur Geltung kommen lassen (links) oder Tageslicht imitieren (rechts).*

### Für jede Gegebenheit

Viele Menschen empfanden LED-Beleuchtung anfangs noch als ‚hart‘ oder ‚kühl‘. Aber dank der neuen Entwicklungen werden LEDs auch immer besser für Gegebenheiten geeignet, die ein atmosphärisches und gemütliches Licht erfordern. Für Gastronomie- und Wohnungsanwendungen wurde beispielsweise der Dim-to-Warm-Effekt entwickelt. Beim Dimmen wird dabei nicht nur die Stärke des Lichts reduziert, sondern auch die Farbtemperatur. Dadurch tendiert die Lichtfarbe mehr nach Orangerot, wie es beim Dimmen von Glüh- und Halogenlampen früher ebenfalls der Fall war.



*Der Dim-to-Warm-Effekt sorgt für eine warme, atmosphärische LED-Beleuchtung.*

### Personalisiertes Licht

Indem man mit Farbe und Stärke spielt, kann man das Licht auf jede Situation und Umgebung abstimmen oder sich sogar an die Tageszeit anpassen lassen. Belebendes und reiches Licht morgens, atmosphärisches und beruhigendes abends. Auch der Weg zu einem gänzlich personalisiertem Licht steht offen. Denn nicht jeder erlebt Licht auf die gleiche Weise. Alter und Geschlecht spielen eine Rolle, ebenso die Lichtempfindlichkeit. Autohersteller experimentieren in Produktionsumgebungen bereits mit Beleuchtung, die an die Vorlieben der aktuell vor Ort arbeitenden Mitarbeiter angepasst wird.

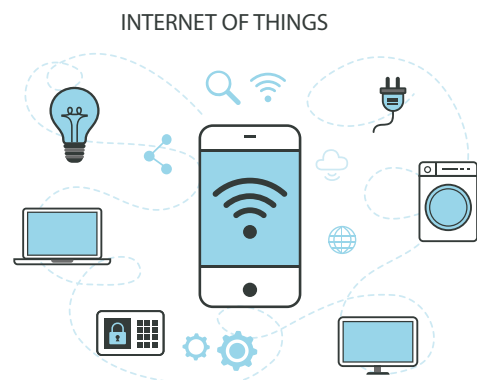


*Im Automobilssektor wird mit personalisiertem Licht experimentiert, zugeschnitten auf den Mitarbeiter*

### Beleuchtung wird kompakt und intelligent

In der Zwischenzeit steht die LED-Technologie selbst ebenfalls nicht still. Beispielsweise ermöglichen es LEDs auf Basis von Laserlicht bereits, kohärente Lichtbündel zu realisieren, die über große Entfernungen reichen, was eine interessante Anwendung für die Scheinwerfer von Autos darstellt. Wir nehmen auch einen Trend in Richtung Miniaturisierung wahr, wobei winzige LEDs sehr dicht nebeneinander positioniert werden, die jeweils mit eigener Optik separat gesteuert werden können. Nanotube-LEDs sind schließlich LEDs in Form von Röhren, die sowohl Licht spenden als auch erkennen können.

Schließlich wird auch mit dem Hinzufügen zusätzlicher Funktionen durch Systemintegration auf Chip-Ebene experimentiert. Betriebsgeräte, Sensoren oder Stromregelung werden mit in die LED-Lichtquelle integriert, wodurch Leuchten kompakter werden können. Diese Entwicklung öffnet zugleich auch den Weg zu Smart-Lighting- oder Internet-of-Things-Anwendungen, wobei die Beleuchtungspunkte – die in nahezu jedem Raum vorhanden sind – mit anderen Anwendungen kommunizieren.



*Die Integration von zusätzlichen Funktionen auf Chip-Ebene eröffnet den Weg zu Smart-Lighting und Internet-of-Things (Illustration: freepik.com).*

Die neuen Möglichkeiten, die LEDs bieten, gehen viel weiter als nur eine Effizienzerhöhung. Sie verleihen Beleuchtung eine neue Dimension, die den Markt in den nächsten Jahren völlig verändern wird. Dadurch wird es für Beleuchtungshersteller auch immer wichtiger, Kunden gut zuzuhören und ihnen zu helfen, innerhalb des umfangreichen Angebots die richtige Wahl zu treffen, und eine auf ihre Anforderungen zugeschnittene Lösung zusammenzustellen.

## F. Internationale Standards

Antwort: Auf [www.lightingeurope.org](http://www.lightingeurope.org) finden Sie die neuesten Richtlinien zu LED-Standards im Bereich „LightingEurope Guide for the application of the Commission Regulation (EU) No. 1194/2012 setting ecodesign requirements for directional lamps, light emitting diode lamps and related equipment“.

In Übereinstimmung mit den Richtlinien der Lighting Industry Liaison Group sind dies die internationalen Standards in Bezug auf LED-Beleuchtung:

Produkttyp	Sicherheitsanforderungen	Leistungsanforderungen
Elektronisches Steuersystem für LED-Module	IEC 61347-2-13 IEC 61347-1	IEC 62717
LED-Lampen mit integriertem Vorschaltgerät für allgemeine Beleuchtung mit einer Spannung > 50 V	IEC 62560	IEC 62612
LED-Leuchtröhren (mit doppelter Lampenfassung)	IEC 62776-1	IEC 62612
LED-Module für die Allgemeinbeleuchtung	IEC 62031	IEC/PAS 62717
LED-Leuchten	IEC 60598	80 IEC/PAS 62722-2-1 Ed. 1 Part 2-1
Fotobiologische Sicherheit von Lampen und Lichtquellen	(IEC 62471) IEC/TR 62778:2012	
LEDs und LED-Module	IEC 62504 Begriffe und Definitionen für LEDs und LED-Module in der Allgemeinbeleuchtung	
CIE Technischer Fachausschuss	TC2-46 CIE/ISO Standards für LED-Intensitätsmessungen	
	TC2-50 Messung der optischen Eigenschaften von LED Clustern und Arrays	
	TC2-58 Messung der Strahlung und Leuchtdichte von LEDs	
	TC2-63 Optische Messung von High-Power LEDs	
	TC2-64 Schnellprüfverfahren für LEDs	
Flicker	IEC 61000-4-15	
	IEC 61000-3-3	
Color Rendition	CIE Pub. 13.3 / IES TM-30-15	

# Terminologie

<b>Binning:</b>	Das Sortieren / Klassifizieren von (in diesem Fall) LEDs in Gruppen mit gleichartigen Charakteristiken, z.B. auf dem Gebiet der Farbtemperatur.
<b>BLH (Blue Light Hazard):</b>	Gefahr einer irreversiblen Beschädigung der Netzhaut durch Überexposition bei sichtbarem (vornehmlich blauem) Licht.
<b>Bxx Lebensdauer:</b>	Lebensdauer, bei der ein bestimmter Prozentsatz ‚xx‘ einer Gruppe von Komponenten hinter einem erwarteten Performanzkriterium zurückbleibt.
<b>Chromatizität:</b>	Farbkoordinaten
<b>CIE:</b>	Commission Internationale de l'éclairage / Internationale Kommission für Beleuchtung
<b>COB (Chip-on-Board):</b>	Bauform mit mehreren elektrisch miteinander verbundenen LED-Chips auf nur einem Träger, abgedeckt mit einer Silikon-Phosphorschicht.
<b>CRI (Color Rendering Index):</b>	Farbwiedergabe einer Lichtquelle in Bezug auf eine standardmäßige Referenzquelle (altes System).
<b>CSP (Chip-Scale-Package):</b>	Besonders kompakte Ausführung der (Niedrig- oder Hoch-) Leistungs-LED, bei der das traditionelle Gehäuse nicht mehr erforderlich ist.
<b>Diode:</b>	Halbleiter, der elektrischen Strom in eine Richtung sehr gut leitet, aber in die andere Richtung praktisch nicht.
<b>Gamma (<math>\gamma</math>) oder Abschirmwinkel:</b>	Winkel in Bezug zur Vertikalen wie in einem Polardiagramm
<b>„Heiße“ Lumenwerte:</b>	Lichtstrom gemessen bei einer typischen Anwendungstemperatur (in der Regel gemessen bei etwa 85°C Junction Temperatur).
<b>IEC:</b>	International Electrotechnical Commission
<b>IES:</b>	Illuminating Engineering Society: International anerkannte Autorität im Bereich Beleuchtung.
<b>Junction:</b>	Aktiver Bereich im Halbleiter, in dem das Licht erzeugt wird.
<b>Junction-Temperatur:</b>	Dies ist die interne Temperatur im Halbleiter-Material (am PN-Übergang, siehe unten).
<b>„Kalte“ Lumenwerte:</b>	Lichtstrom gemessen bei 25°C Junction Temperatur
<b>Leadframe:</b>	Basiselement einer Niedrigleistungs-LED, Metallrahmen, der für externe elektrische Verbindungen, Wärmeverteilung und Lichtreflektion sorgt.
<b>LED:</b>	Abkürzung von Light Emitting Diode.
<b>LED-Chip:</b>	Licht erzeugende Halbleiterkomponente
<b>LED-Komponente:</b>	Die Kombination von LED, Gehäuse und Primäroptik.
<b>LED-Modul:</b>	Das LED-Äquivalent zu einer traditionellen Lampe, aber in LED-Ausführung. Laut ETAP's Terminologie entspricht dies Typ 3 (siehe Kapitel 1)
<b>LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor):</b>	Berücksichtigt den Lichtrückfall einer Lichtquelle.

<b>LMF (Lamp Maintenance Factor):</b>	Berücksichtigt den Lichtrückfall einer Leuchte infolge von Leuchtenverschmutzung.
<b>LM-80:</b>	Von der IES genehmigte amerikanische Methode, um den Lichtstromerhalt von LED-Komponenten zu messen („Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources“).
<b>LM-84:</b>	Von der IES genehmigte amerikanische Methode, um den Lumenerhalt von LED-Leuchten zu messen („Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of LED Lamps, Light Engines, and Luminaires“).
<b>LSF (Lamp Survival Factor):</b>	Berücksichtigt die Lichteinbuße infolge von defekten Lampen, wobei diese nicht sofort ausgetauscht werden.
<b>Lumineszenz:</b>	Prozess, bei dem ein Lichtteilchen (Photon) generiert wird, wenn ein Atom von einem höheren zu einem niedrigeren Energiezustand wechselt.
<b>MF (Maintenance Factor):</b>	siehe Wartungsfaktor
<b>Nutzungsdauer:</b>	Wirtschaftliche Lebensdauer, die für die spezifische Anwendung relevant ist. Sie ist niedriger als die durchschnittliche Lebensdauer.
<b>OLED:</b>	Organic Light Emitting Diode
<b>PCB:</b>	Printed Circuit Board: Leiterplatte
<b>Ra oder CRI:</b>	Gibt die Farbwiedergabe einer Lichtquelle in Bezug auf eine standardmäßige Referenzquelle wieder.
<b>Remote-Phosphor-Technologie:</b>	Technologie, bei der der Phosphor, der benötigt wird um weißes Licht zu erzeugen, nicht direkt auf die blaue LED, sondern in oder auf einem (Glas oder Kunststoff) Träger in einigem Abstand zur LED aufgebracht wird. Dadurch funktioniert der Phosphor bei einer niedrigeren Temperatur und es kann in bestimmten Fällen ein Effizienzgewinn und eine Lebensdauerverbesserung realisiert werden.
<b>Rf oder CFI:</b>	Verbesserte Version der CRI-Metrik
<b>Rg oder Color Gamut:</b>	Gibt - neben CFI - zusätzliche Informationen zu Farbspektrum und Sättigung.
<b>RMF (Room Maintenance Factor):</b>	Berücksichtigt bei einer Lichtberechnung die Verschmutzung eines Raums.
<b>SDCM (Standard Deviation Colour Matching):</b>	Das Maß für wahrnehmbare Abweichungen der Lichtfarbe.
<b>Stromleistungsdichte:</b>	Das Verhältnis zwischen dem Strom, der durch eine Komponente fließt, und dessen Querschnitt.
<b>Substrat:</b>	Trägermaterial auf dem die LED samt dem inneren Reflektor befestigt ist.
<b>TLA:</b>	„Temporal Light Artifacts“, oder Vorübergehende Schwankungen im Lumen-Output.
<b>TM-21:</b>	Von der IES empfohlene Methode, um die nutzbare Lebensdauer von LED-Komponenten zu berechnen („Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources“), und zwar auf der Grundlage von LM80-Messdaten.

<b>TM-28:</b>	Von der IES empfohlene Methode, um die nutzbare Lebensdauer von LED-Leuchten zu berechnen („Projecting Long-Term Luminous Flux Maintenance of LED Lamps and Luminaires“), und zwar auf der Grundlage von LM-84-Messdaten.
<b>TM-30:</b>	Von IES vorgeschlagene verbesserte Methode, um die Farbwiedergabe von Lichtquellen zu messen.
<b>UGR:</b>	Unified Glare Rating – Ein auf Schätzung beruhendes Model des Blendungsrisikos. Die Standard-Werte reichen von UGR 16 (geringes Blendungsrisiko) bis UGR 28.
<b>Unterhemisphärisches Licht:</b>	Der Anteil des totalen Lichtstroms, der bei einer horizontal aufgehängenen Lichtquelle nach unten geleitet wird.
<b>Wartungsfaktor:</b>	Faktor, der eine Verschmutzung, Alterung und Lichtstromabnahme von Lichtquellen bei Beleuchtungsberechnungen berücksichtigt.
<b>Wire bonding:</b>	Verbindung - zumeist aus Gold - zwischen Halbleitern oder zwischen Halbleiter und Leadframe oder externen elektrischen Kontakten.

## Anhang 1: Wartungsfaktoren von LED-Produkten

### Typische Werte für Anwendungsbezogene Wartungsfaktoren

LEUCHTENTYP	ANWENDUNG	AUSFÜHRUNG	25.000 Std.	50.000 Std.
D1 / D2 / D3	BÜRO	-	88%	85%
D42	BÜRO	-	88%	88%
D9	BÜRO	-	87%	86%
E1	INDUSTRIE	-	83%	81%
E1 Renovierung	INDUSTRIE	-		68%
E2	INDUSTRIE	-	83%	81%
E4	INDUSTRIE	E4.0./	84%	83%
		E4.1./	83%	80%
E5M	INDUSTRIE	-	78%	69%
E6	INDUSTRIE	-	78%	72%
E7	INDUSTRIE	E7.1./ (1 REIHE LEDS)	83%	81%
		E7.2./ (2 REIHEN LEDS)	82%	79%
E8	INDUSTRIE	-	81%	78%
FLARE	BÜRO	-	87%	85%
R2	BÜRO	-	88%	88%
R7	BÜRO	ohne uplight	88%	88%
		mit uplight	88%	86%
		mini	87%	84%
R8	BÜRO	-	85%	82%
U2	BÜRO	U23.		80%
		U25.	88%	88%
U3	BÜRO	-	88%	88%
U7	BÜRO	Standardmaß	88%	87%
		mini	87%	84%
US	BÜRO	US./LED.25 - /LED.30 (quadratisch)	87%	84%
		US./LED.35 - /LED.40 (quadratisch)	84%	79%
		US21.0/LED.25 (langgestreckt)	88%	88%
		US21.0/LED.40 (langgestreckt)	87%	85%
V2M11	BÜRO	-	88%	88%
V2M17	BÜRO	-	86%	84%
V2M1F / J	BÜRO	-	88%	85%
W1	BÜRO	-		71%



- Alle Leistungsdaten bezogen auf eine Umgebungstemperatur von 25°C.
- Anwendungsbezogener Leistungsfaktor (siehe oben): Ändert sich in Abhängigkeit zum Verschmutzungsgrad und zur Reinigungshäufigkeit.
- $MF = LLMF * LSF * LMF * RMF$   
 (CIE97: Veröffentlichung für die Innenbeleuchtung)  
 LLMF: Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor (Lamp Lumen Maintenance Factor)  
 LSF: Faktor für Lampenlebensdauer (Lamp Survival Factor)  
 LMF: Leuchten-Wartungsfaktor (Luminaire Maintenance Factor)  
 RMF: Raum-Wartungsfaktor (Room Maintenance Factor)
- Die oben genannte Berechnung des Wartungsfaktors basiert auf folgenden Daten:  
 LSF = 1 ("spot replacement": bei totalem LED-Ausfall, werden Betriebsgerät oder Leuchte ersetzt).  
 LMF = 0,95 für saubere Büroumgebungen; 0,89 für normale industrielle Umgebungen.  
 RMF = 0,94 für saubere Büroumgebungen (Reflexionsfaktor 70/50/20) oder 0,95 für normale Industrieumgebungen (Reflexionsfaktor 50/30/20), vorausgesetzte dreijährliche Reinigung. Gemäss CIE 97 2005.
- LLMF auf Basis LM80(1)/TM21(2)

LLMF (%)			
LEUCHTENTYP	AUSFÜHRUNG	25.000 Std.	50.000 Std.
D1 / D2 / D3	-	98%	96%
D42	-	99%	98%
D9	-	98%	96%
E1	-	98%	96%
E1 Renovierung	-		80%
E2	-	98%	96%
E4	E4.0./	99%	98%
	E4.1./	98%	95%
E5M	-	91%	82%
E6	-	92%	85%
E7	E7.1./ (1 reihe leds)	98%	96%
	E7.2./ (2 reihen leds)	97%	94%
E8	-	96%	92%
FLARE	-	97%	95%
R2	-	99%	98%
	zonder uplight	99%	98%
R7	met uplight	98%	96%
	mini	97%	94%
R8	-	96%	92%
U2	U23.		90%
	U25.	99%	98%
U3	-	99%	98%
U7	standardmaß	99%	97%
	mini	97%	94%
	US./LED.25 - /LED.30 (quadratisch)	97%	94%
US	US./LED.35 - /LED.40 (quadratisch)	94%	89%
	US21.0/LED.25 (langgestreckt)	99%	98%
	US21.0/LED.40 (langgestreckt)	97%	95%
V2M11	-	99%	99%
V2M17	-	96%	94%
V2M1F / J	-	98%	95%
W1	-		80%

(1) IES LM-80-08: zertifiziertes Testverfahren zur Bestimmung der Lumen Wartungsfaktoren von LED Lichtquellen.  
 (2) IES TM-21-11: Verfahren zu langfristigen Hochrechnung von Lumen Wartungsfaktoren von LED Lichtquellen.



# Notizen

A series of horizontal dotted lines for taking notes.

ETAP Beleuchtung, NL der ETAP NV ■ Schlebuscher Straße 77 ■ 51381 Leverkusen ■ Deutschland  
Tel. +49 (0)2171/7075-5 ■ Fax +49 (0)2171/7075-75 ■ e-mail: info.de@etaplighting.com

ETAP NV ■ Antwerpsesteenweg 130 ■ 2390 Malle ■ Belgien  
Tel. +32 (0)3 310 02 11 ■ Fax +32 (0)3 311 61 42 ■ e-mail: info.be@etaplighting.com

[www.etaplighting.com](http://www.etaplighting.com)