

## Vorwort

*Der rasante Aufstieg der LEDs führt im Beleuchtungsmarkt zu nie dagewesenen Veränderungen. Die LED als neue Lichtquelle inspiriert zu neuen Entwicklungen, Anwendungen und Herausforderungen. Darüber hinaus entwickelt sich die LED-Technologie in atemberaubendem Tempo. Deshalb ist es auch nicht ganz so einfach, ständig alle Neuerungen zu kennen und zu verstehen.*

*Bereits seit 2003 bietet ETAP Leuchten mit LED-Technik an, und hat deshalb auf diesem Fachgebiet bereits viel Erfahrung gesammelt. Mit dem vorliegenden Dossier wollen wir Ihnen eine objektive, technisch fundierte Informationsschrift an die Hand geben, die versuchen soll, Ihnen einen komprimierten, gut verständlichen Einblick und Überblick in diese komplexe Technologie zu geben.*

*Durch die rasante Entwicklung der LED-Technologie sind alle diesbezüglichen Informationen sehr schnelllebig und rasch veraltet. Wir werden diese Broschüre daher in regelmäßigen Abständen aktualisieren. Die neuesten Updates werden am Rand markiert. Für den jeweils aktuellsten Informationsstand, verweisen wir auf unsere Website [www.etaplighting.com](http://www.etaplighting.com), auf der Sie immer die neueste Version dieses Dossiers finden.*

Ausgabe 2, Dezember 2011

© 2011, ETAP NV

# BELEUCHTUNG MIT EINER NEUEN LICHTQUELLE

## INHALT

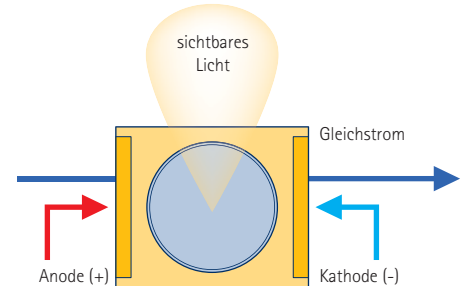
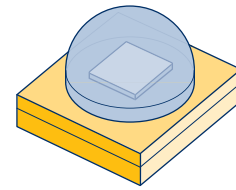
<b>1. Die LED als Lichtquelle</b> .....	4
1. Wie funktionieren LEDs? .....	4
2. LED-Typen.....	5
3. Vorteile der LEDs.....	7
4. LED-Hersteller .....	12
5. Die Zukunft der LEDs.....	13
<b>2. Leuchten mit LEDs konstruieren</b> .....	14
1. Chancen und Herausforderungen.....	14
2. Die richtige Lichtverteilung.....	15
3. Die Leuchtdichten unter Kontrolle.....	17
4. Intelligentes Wärme-Management.....	17
5. Binning für eine konstante Lichtqualität.....	19
6. Elektrische Sicherheit.....	20
7. Veröffentlichung der korrekten Daten.....	21
8. Einhaltung der Sicherheitsstandards .....	22
<b>3. Spannungsversorgungen für LED-Leuchten</b> .....	23
1. Qualitäts-Kriterien für LED Spannungsversorgungen.....	23
2. Strom- und Spannungsversorgung im Vergleich.....	24
<b>4. Beleuchtung mit LEDs – lichttechnische Aspekte</b> .....	26
1. Abnahme des Lichtstroms und Wartungsfaktor .....	26
2. Lichtberechnungen mit LED-Leuchten .....	27
3. Integration energiesparender Systeme .....	27
<b>5. Frage und Antwort</b> .....	28
<b>Terminologie</b> .....	29

# Kapitel 1: Die LED als Lichtquelle

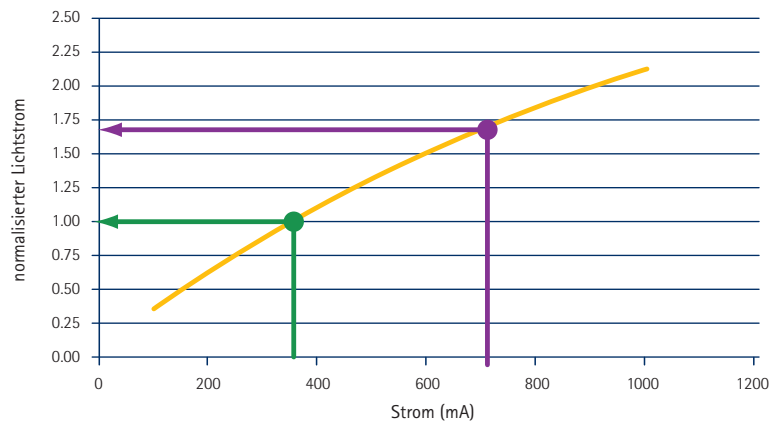
## 1. WIE FUNKTIONIEREN LEDs?

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).

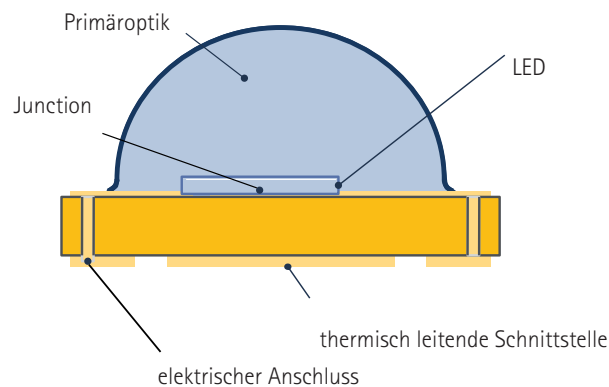


Die Menge erzeugten Lichts verhält sich nahezu proportional zur Menge Strom, der durch die Diode fließt. Für Beleuchtungszwecke werden Strom-geregelte Versorgungen (Konstantstrom) eingesetzt. (siehe Kapitel 3).



*Einfluss des Stromes auf den Lichtstrom*

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 kontrolliert auszustrahlen.



*Aufbau einer LED-Komponente*

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 gesättigte Farben des sichtbaren Spektrums sein, von Violett und Blau über Grün zu Rot. Um mit LEDs weißes Licht zu erzeugen gibt es zwei Möglichkeiten:

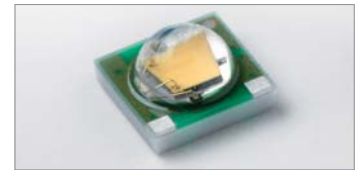
1. Bichromatisch
  - Die am häufigsten vorkommende Methode ist, ähnlich wie bei Leuchtstoff-Lampen, eine blaue LED, mit einem photoluminiszenten (leuchtenden) Material zu kombinieren, und so einen Teil des blauen Lichts (kurzwelliges, höher energetisches) in weißes (oder eher gelbliches) Licht (langwellig, 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).
  - Durch Kombination weißer LEDs mit roten oder bernsteinfarbenen, nach dem gleichen Prinzip. Diese Technik ermöglicht unterschiedliche Farbtemperaturen in einem einzigen Modul.

## 2. LED-TYPEN

Es gibt viele Möglichkeiten, LED-Lichtquellen zu klassifizieren. Bei ETAP unterscheiden wir zwischen:

### TYP 1 – LEDs MIT PRIMÄROPTIK

In diesem Fall kauft der Leuchtenhersteller (ETAP) die LED-Komponenten, stellt maßgeschneiderte PCBs (Printed Circuit Boards – Leiterplatten) her, und kombiniert sie mit einer Sekundäroptik. Das verleiht die größte Flexibilität bei der Leuchten-Entwicklung, da die Form des Lichtmoduls komplett in das Design der Leuchte integriert werden kann.



Aktuell werden nur SMD (surface mounted device) LEDs verwendet, die direkt auf die Oberfläche einer Leiterplatte verlötet werden und so von einer wesentlich besseren Wärmeableitung profitieren. SMD LEDs entsprechen dem aktuellen Stand der Technik und sind speziell optimiert, um mit größeren Lasten und Lichtströmen arbeiten zu können. Ihre Lebensdauer und Effizienz wurde erheblich verbessert. In punkto Leistung steht eine breite Angebots-Palette zur Verfügung, von Low-Power-LEDs (von 70 mW bis 0,5 W), über Power LEDs (von 1 W bis 3 W), bis hin zu LEDs mit extrem hoher Wattleistung (bis zu 90 W). Die Lumen-Pakete der LEDs variieren von 4 lm pro Stück bis zu 6000 lm für Exemplare mit höchster Kapazität.

### TYP 2 – VORBESTÜCKTE PCBs (PRINTED CIRCUIT BOARDS ODER LEITERPLATTEN)

Der Beleuchtungshersteller kauft bei seinem Lieferanten vorbestückte PCBs. Das sind Leiterplatten, auf denen bereits eine oder mehrere LEDs montiert sind. Die erforderliche Steuerelektronik ist ebenfalls auf der Platine angebracht, so dass die Module einfach an eine Stromquelle angeschlossen werden können. Solche vorbestückten PCBs gibt es in verschiedenen Formen (rund, linear oder Streifen, flexible Materialien, usw.) und können sowohl mit geringer Leistung (Low Power), als auch mit Hochleistungs-SMD-LEDs ausgerüstet sein. Beispiele hierfür sind die LED-PCB's von Osram und Philips.



Die vorbestückten Leiterplatten bieten einerseits den Vorteil vorgefertigter Lichtmodule. Andererseits ist die Form der Module festgelegt, was die Gestaltungsfreiheit etwas einschränkt. Auch kann man die Wahl des LED-Typs nicht optimal auf die vorgesehenen Anwendung abstimmen.

### TYP 3 – LED-MODULE (KOMPLETTE "LAMPEN")

LED-Module gehen noch einen Schritt weiter: Die vorbestückte Leiterplatte ist in ein Gehäuse mit den notwendigen elektrischen und thermischen Schnittstellen integriert. Darüber hinaus kann auch eine sekundäre Optik eingebaut werden.



*Philips Fortimo-Modul*

LED-Module sind das Gegenstück zur klassischen "Lampe". Das mechanisch standardisierte Modul wird durch seinen Lichtstrom und die Nennleistung gekennzeichnet, wobei die interne Technik komplett abgeschirmt ist.

Zu den kommerziellen Modulen zählen u. a.:

- die LLM (Linear Light Module) und DLM (Downlight Light Module) Fortimo-Module von Philips (siehe Foto), die weißes Licht auf Basis blauer LEDs, und der so genannte Remote-Phosphor-Technologie generieren
- die Tridonic TALEX LED-Module
- die Osram PrevaLED (herkömmliche weiße LEDs)
- die Spot- und Strahlermodule von Xicato
- LED Tubes (T5 / T8 Design) von Osram und Philips

## DIE BESTE WAHL TREFFEN

Je nach Anwendung wählt ETAP die jeweils optimale Version aus den drei obenbeschriebenen Typen (1, 2 oder 3) aus. So werden in der Notbeleuchtung und für die Flare-Produkte Komponenten des Typ 1 genutzt, weil die Wahlfreiheit bei LEDs und Montageart (typisch für Typ 1 Technologie) optimale Leistung bei minimalistischen Design ermöglichen. In anderen Fällen versuchen wir, das Fachwissen der LED-Hersteller (Co-Design), ihre logistischen Möglichkeiten (die rasante Entwicklung der LEDs bedingt leider auch eine schnelle psychische Alterung der Lagerbestände), oder die Weiterentwicklung ihrer LEDs optimal auszunutzen. In einigen Fällen können sich unsere Leuchten dann automatisch zusammen mit der Entwicklung der LED-Technologie bei unserem Lieferanten verändern. Daher nutzt ETAP auch Typ 2- und Typ 3-LEDs, zum Beispiel bei Duffusorleuchten oder LED-Downlights in herkömmlichen Design und einem Sekundär-Reflektor.



Typ 1: K9



Typ 2: UM2 mit LED



Typ 3: D1 mit LED

## NOCH IN DEN KINDERSCHUHEN: OLEDs FÜR BELEUCHTUNG

Die organische Leuchtdiode OLED ist eine zweidimensionale Lichtquelle. Die OLED besteht aus einer äußerst dünnfilmigen synthetischen Schicht aus organischen, halbleitenden Materialien (zwischen 100 und 200 Nanometer), die sich zwischen zwei Elektroden, der Anode und der Kathode, befindet. Die Anode ist immer transparent, die Kathode kann je nach Anwendung transparent oder spiegelnd sein.

Beim Anlegen der Spannung wird in der synthetischen Schicht (wie bei der klassischen LED) Licht erzeugt, das anschließend durch eine der Elektroden nach außen tritt. Ein Vorteil dieser Lichtquelle ist, dass sie ultradünn ist: Aufgebracht auf ein Glassubstrat ist sie nicht einmal 2 mm dick. OLEDs können außerdem auf flexiblen Substraten aufgebracht werden, zum Beispiel um ultradünne, flexible Displays herzustellen.



Philips Lumiblade: OLED-Modul

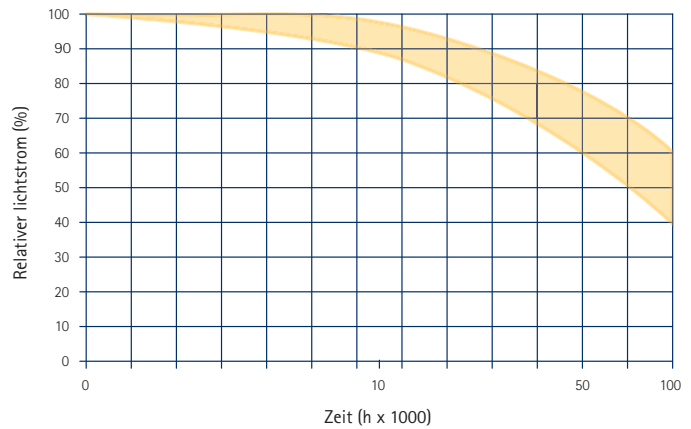
Obwohl die OLEDs bereits kommerziell genutzt werden (vornehmlich in kleinen Displays), steckt diese Technologie für Beleuchtungszwecke noch in den Kinderschuhen. Insbesondere sind die Lichtausbeute, die Lebensdauer, die Farbstabilität und die Gleichmäßigkeit bei größeren Oberflächen (>10 cm<sup>2</sup>) noch zu begrenzt. Ein Beispiel (Stand Mitte 2011): Effizienz vorläufig noch begrenzt, +/- 20 lm/W für weiße und 40 lm/W für grüne OLEDs bei einer Helligkeit von 500 cd/m<sup>2</sup>.

### 3. VORTEILE DER LEDs

#### VORTEIL 1: LANGE NUTZUNGSDAUER

Die Nutzungsdauer der LEDs wird stark durch die spezifischen Einsatzbedingungen beeinflusst, wobei der Strom und die Innentemperatur (und somit auch die Umgebungstemperatur) die wichtigsten Faktoren sind. Heute können wir bei Qualitäts-LEDs von einer Lebensdauer von 50.000 Stunden ausgehen. Darunter verstehen wir die Zeitspanne in der der durchschnittliche Lichtstrom auf 70% seines Ausgangswertes zurück fällt (siehe Box über MTTF). Diese Lebensdauer gilt unter der Bedingung, dass die LED innerhalb der vorgegebenen Temperaturgrenzen (meist 80-85°C) verwendet wird.

Es ist wichtig zu wissen, dass die Nutzungsdauer der LEDs stark von den den Anforderungen abhängt, die an sie gestellt werden. So kann für bestimmte Architektur- oder Wohn-Anwendungen ein Rückgang des Lichtstroms um 30% oder mehr akzeptiert, und so die Lebensdauer von 50.000 Stunden überschritten werden. Für andere Applikationen, wie zum Beispiel in der Arbeitsplatz-Beleuchtung, ist ein Ausfall von 50% mit einem Rückgang des Lichtstroms von 30% nicht akzeptabel, weshalb die tatsächliche Lebensdauer auch niedriger sein kann.



Abnahme des Lichtstroms in Abhängigkeit der Zeit

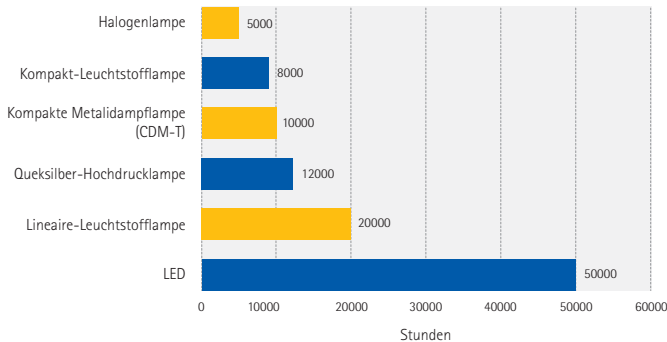
UPDATE

#### LED-Lebensdauer

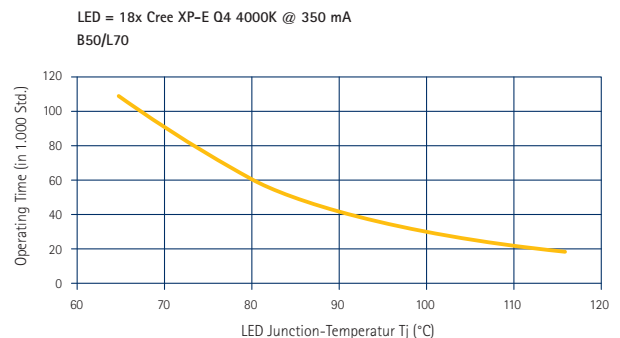
Bei der Bestimmung der LED Lebensdauer muss zwischen parametrischen Fehlern (Leistungsverlust) und totalem Versagen (LED strahlt kein Licht mehr aus) unterschieden werden. Wenn sich Hersteller auf eine Lebensdauer von L70 beziehen, dann ist damit die Zeit gemeint, in der die Leistung eines bestimmten Prozentsatzes der LEDs auf 70% des ursprünglichen Lichtstroms absinkt. Dieser Prozentsatz wird mit B bezeichnet, also zum Beispiel B50 = 50%. Bei dieser Art der Bestimmung der Lebensdauer werden jedoch nicht alle potenziell möglichen LED Ausfälle berücksichtigt; einige andersartige Ausfälle werden deshalb im Testergebnis nicht berücksichtigt. Für den Nutzer ist jedoch jede defekte LED, unabhängig vom Ausfall-Grund, wichtig. Wenn man bei der Bestimmung der Lebensdauer auch die möglicherweise fehlerhaften oder defekten LEDs mit einbezieht, dann spricht man von der „F“-Definition der Lebensdauer, die typischerweise niedriger ist, als die „B“-Definition der Lebensdauer. Zum Beispiel zeigt L70F10 die Zeitspanne, innerhalb derer 10% der LEDs auf weniger als 70% des ursprünglichen Lichtstroms absinken oder aus einem anderen Grund versagen. Internationale Standards und Empfehlungen sind daher bestrebt, die „F“-Definition für die Lebensdauer der LEDs zu verwenden, oder sogar verbindlich vorzuschreiben.

Positiv ist auch, dass die LED-Lichtquelle keine anfälligen oder beweglichen Teile wie zum Beispiel Glas, Glühdraht oder Gas enthält. Qualitativ hochwertige LED-Lösungen sind daher auch sehr robust und unempfindlich gegen Vibrationen und andere mechanische Belastungen.

Obwohl mechanisch robust, reagieren LED-Komponenten (wie alle Elektronikteile) sehr empfindlich auf elektrostatische Einflüsse. Das Berühren von LED-Platinen ohne gute Erdung ist darum unbedingt zu vermeiden. Das Gleiche gilt für das direkte Anschließen von LEDs an eine Stromversorgung, die bereits unter Spannung steht, da die auftretenden Spannungsspitzen die LED völlig zerstören können.



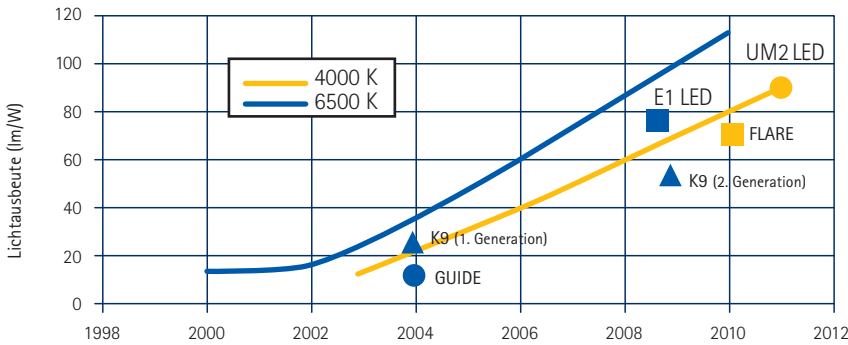
Typische Werte für die nutzbare Lebensdauer (vereinfacht dargestellt)



Einfluss der Junction-Temperatur auf die Lebensdauer

## VORTEIL 2: HOHE ENERGIE-EFFIZIENZ MÖGLICH

Kaltweiße LEDs mit einer Farbtemperatur von 5.000 bis 7.000 K (Kelvin) erreichen heute unter Laborbedingungen schon mehr als 160 lm/W und sollen 2013 kommerziell verfügbar sein. LEDs mit einer niedrigeren Farbtemperatur von 2.700 bis 4.000 K (am häufigsten für Beleuchtung in Europa verwendet) hinken im Bezug auf die Effizienz leicht hinterher. In diesen Farbtemperaturen sind in 2011 bis zu 80 lm/W im Handel erhältlich.

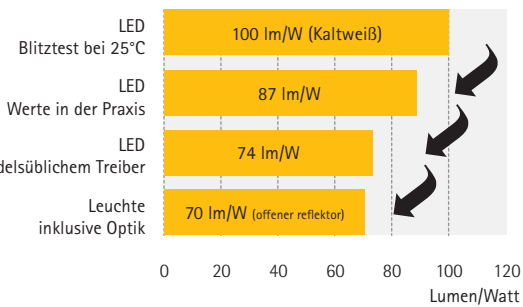


Diese Kurven basieren auf den Maximalwerten der im Handel erhältlichen Typen von High Power LEDs (keine Mittel- oder Laborwerte). Die Werte variieren abhängig von der Junction-Temperatur – siehe Kapitel 2.4.

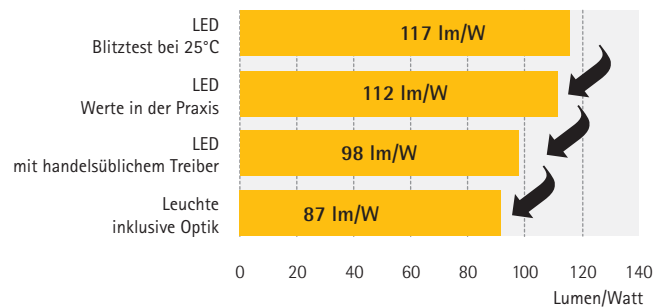
*Entwicklung der Lichtausbeute von LEDs für 2 Farbtemperaturen, mit Angabe des jeweiligen ETAP-Produktes bei einer Junction-Temperatur im normalen Gebrauch („heisse“ Lumenwerte)*

### Leuchtstärke von Lampen: lm/W

Wir beziehen uns hier immer noch auf lm/W der „Lampe“ (wie bei der Leuchtstofflampe) unter Referenz-(Labor-) Bedingungen (25°C Junction-Temperatur  $T_j$  für LEDs). Unter realen Bedingungen ist der Wirkungsgrad niedriger. Die durch die Leuchte realisierte Effizienz ist noch geringer. Zur Veranschaulichung ein Beispiel der Leuchten „E1 mit LED“ und „UM2 mit LED“:

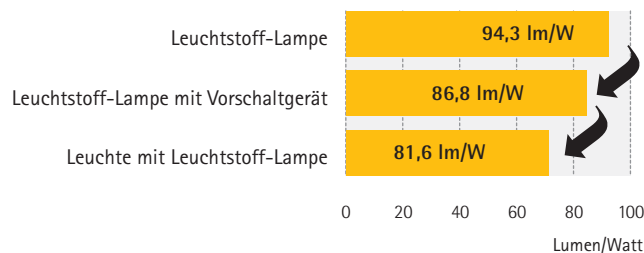


**E1 mit LED**



**UM2 LED**

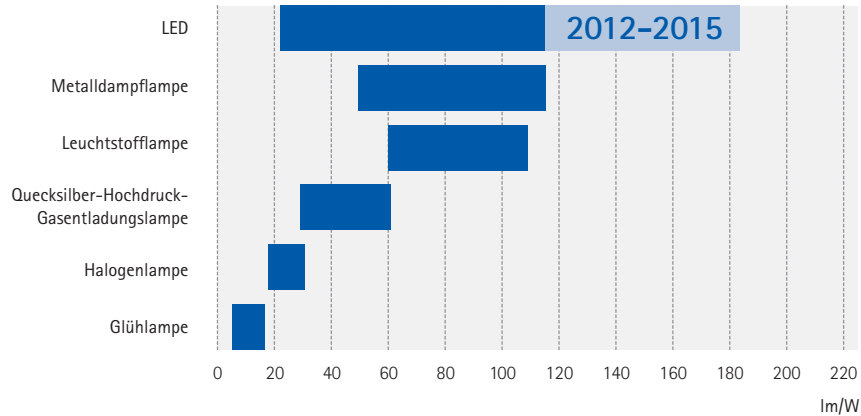
Zum Vergleich: U5 Reflektor Leuchte mit Leuchtstoff-Lampe



**U5 Reflektor Leuchte**

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 Gesamt-Wirkungsgrad der LEDs ab.

Zum Vergleich:



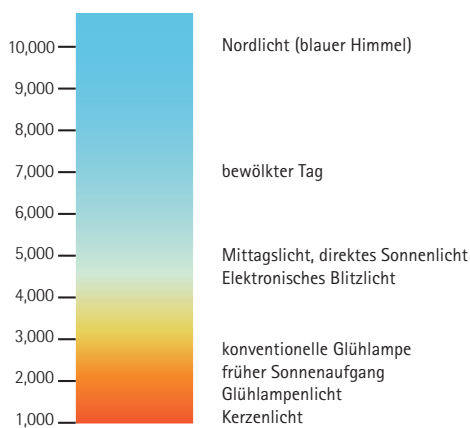
Typische Werte für die Effizienz verschiedener Lichtquellen

### Vorteil 3: Gute Farbwiedergabe, Auswahl der Farbtemperatur

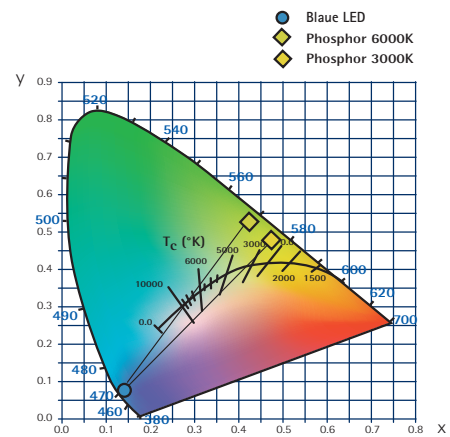
#### Farbtemperatur

Die Farbtemperatur einer Lichtquelle ist definiert als „die Temperatur eines definierten schwarzen Körpers, von dem das ausgestrahlte Licht den selben Farbeindruck wiedergibt, wie die Farbe der betreffenden Lichtquelle“. Die Farbtemperatur wird in Grad Kelvin (°K) ausgedrückt. Blaues Licht hat eine höhere Farbtemperatur und wird daher als „kälter“ empfunden, als Licht mit einer geringeren Farbtemperatur.

Es gibt verschiedene Unterteilungen und Benennungen, jede mit Verweis zu den erkennbaren Farbtemperaturen:



Benennung von Farbtemperaturen



Erzeugung von weißem Licht durch Leuchtstoff

Bei weißem Licht von RGB-LEDs (in denen die Farben Rot, Grün und Blau gemischt werden) sind alle Farbtemperaturen möglich, jedoch ist die Steuerung und Kontrolle im Laufe der Zeit komplex, da alle drei Farben auf unterschiedliche Weise altern. Daher werden diese seltener für Beleuchtungszwecke eingesetzt.

Bei LEDs mit einer Farb-Umwandlung durch einen Leuchtstoff wird die Farbtemperatur einerseits durch die Wahl des Blautons der LED, und andererseits durch den Leuchtstoff bestimmt.



**Wie verhält sich das bei der Sicherheitsbeleuchtung?**

Bei der Sicherheitsbeleuchtung setzt ETAP ausschließlich LEDs mit hohen Farbtemperaturen ein. Sie sind effizienter und benötigen aus diesem Grund weniger Akku-Kapazität. Darüber hinaus reagiert das menschliche Auge bei schlechten Lichtverhältnissen sensibler auf blaues Licht.

**Farbwiedergabe**

Der Farbwiedergabe-Index (CRI - Color Rendering Index) einer Lichtquelle gibt die Qualität der Farbwiedergabe der durch die Lichtquelle beleuchteten Objekte wieder. Um diesem Index zu ermitteln, vergleichen wir die Farbwiedergabe von Objekten, die durch die Lichtquelle angestrahlt werden, mit der Farbwiedergabe der selben Objekte, wenn sie durch einen Schwarzlichtstrahler (mit der selben Farbtemperatur) angeleuchtet werden.

Die Farbwiedergabe von LEDs ist mit der von Leuchtstofflampen vergleichbar und variiert – abhängig von der Farbtemperatur – zwischen 60 und 98.

- Für normale Beleuchtungsanwendungen in Warmweiß oder Neutralweiß entscheidet sich ETAP für LEDs mit einer Farbwiedergabe von 80.
- Für batteriebetriebene Notbeleuchtungssysteme ist die Effizienz wichtiger als die Farbwiedergabe (die Norm fordert hier eine Farbwiedergabe 40). Daher setzen wir in der Notbeleuchtung hocheffiziente, kaltweisse LEDs mit einer Farbwiedergabe von ca. 60 ein.

Bei weißen LEDs mit Umwandlung durch einen Leuchtstoff wird die Farbwiedergabe auch durch die Wahl des Leuchtstoffes (zum Beispiel Phosphor) beeinflusst. Bei der RGB-Farbmischung werden die drei gesättigten Primärfarben gemischt und ermöglichen so eine hervorragende Farbwiedergabe. Allerdings sind in diesem Fall die Steuerung und Kontrolle komplizierter.

Zum Vergleich:

Leuchtstoff-Lampen:	Ra von	60	bis	98
LEDs :	Ra von	60	bis	98
Glühlampen:	Ra von	100		
CDM:	Ra von	80	bis	95
Natriumdampfampe:	Ra von	0		

**Gut zu wissen...**

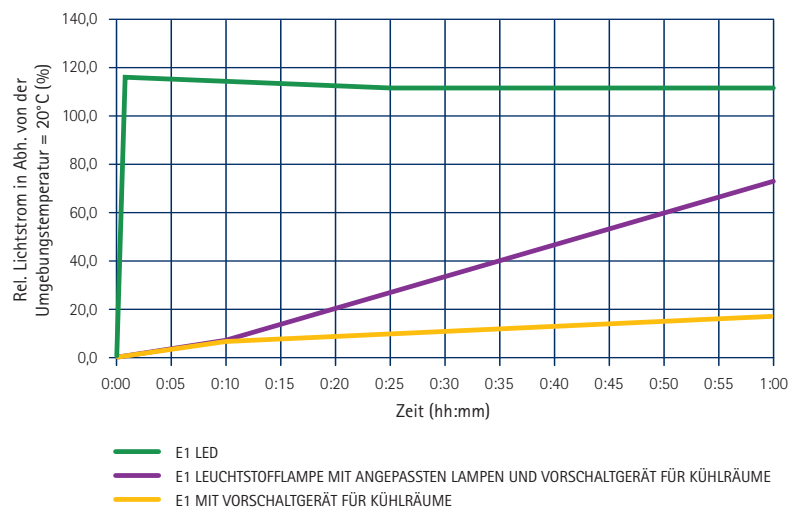
Eine LED mit einer niedrigeren Farbtemperatur (also Warmweiß) hat in der Regel eine höhere (bessere) Farbwiedergabe, als eine LED mit höherer Farbtemperatur (Kaltweiß).

#### Vorteil 4: Unmittelbare Lichtleistung beim Einschalten

Leuchtstofflampen geben unmittelbar nach dem Starten noch nicht den vollen Lichtstrom ab. LEDs dagegen reagieren sofort auf Veränderungen in der Stromzufuhr. Unmittelbar nach dem Einschalten erreichen sie den maximalen Lichtstrom. Sie sind daher auch sehr gut geeignet für Bereiche, in denen oft geschaltet wird und das Licht oft nur kurze Zeit leuchtet.

Das gilt auch bei niedrigen Umgebungstemperaturen, in denen LEDs sogar noch besser funktionieren. Von diesem Vorteil macht zum Beispiel die E1 mit LED für Tiefkühlanwendungen Gebrauch.

Darüber hinaus können LEDs – im Gegenteil beispielsweise zu CDM-Lampen – auch ohne Probleme wieder eingeschaltet werden, obwohl sie noch warm. Auch häufiges Schalten hat keinen negativen Einfluss auf die Lebensdauer.

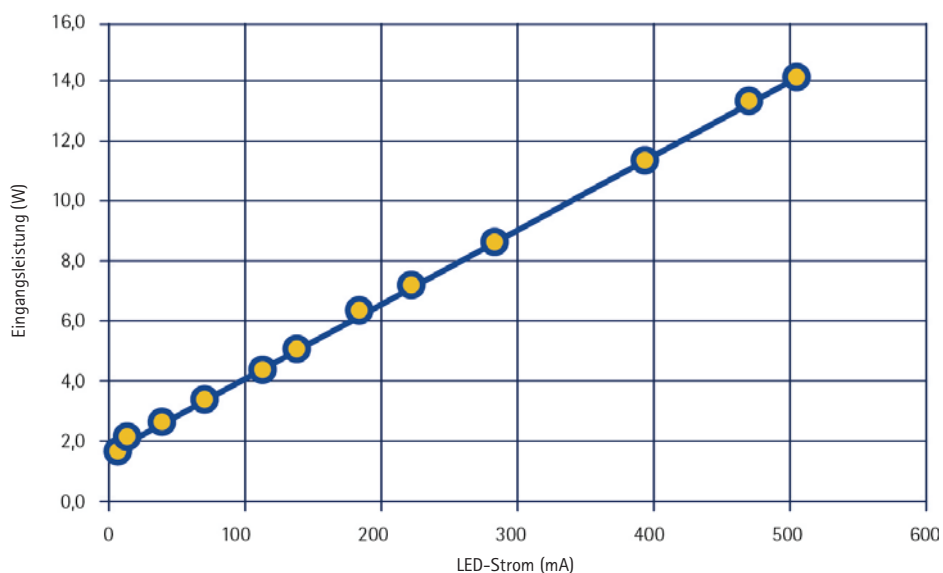


Vergleich des Startverhaltens von LEDs und Leuchtstofflampen bei -30°C

#### Vorteil 5: Gut dimmbar über eine große Bandbreite

LEDs können sehr effizient und über große Bandbreite hinweg gedimmt (nahezu von 0% bis 100%), oder dynamisch angesteuert werden. Dies kann auf Basis standardisierter Dimm-Methoden wie DALI, DMX oder 1-10 V erfolgen.

Die Dimmverluste von LEDs im unteren Dimmbereich sind vergleichbar mit den Verlusten bei Leuchtstofflampen mit modernsten dimmbaren Vorschaltgeräten. Bei voller Dimmung beträgt der verbleibende Stromverbrauch noch ca. 10% der Nennleistung.



Effekt der Dimmung auf die Leistung

LEDs eignen sich hervorragend, zur Integration in programmierte, dynamische Regelsysteme.

Es bleibt aber ein Unterschied im Grad der Dimmbarkeit. LEDs können sehr tief herunter gedimmt werden, zum Beispiel bis 0,1%\*. Bei Leuchtstofflampen ist das nicht möglich, dort beträgt die Dimmbarkeitsgrenze in der Praxis 3% (unter dieser Grenze treten bei Leuchtstofflampen oft Start- oder Stabilitätsprobleme auf).

\* Dieser Prozentsatz hängt vom verwendeten Betriebsgerät ab.

#### Vorteil 6: Umweltfreundlichkeit

LCA-Studien (Life Cycle Analysis Studien – sie betrachten die ökologischen Auswirkungen eines Produktes von der Herstellung bis zum Recycling und zur Wiederverwertung) zeigen, dass LEDs im Vergleich zu anderen Lichtquellen das Potential haben, in der Zukunft den kleinsten ökologischen Fingerabdruck zu hinterlassen. Obendrein enthalten sie kein Quecksilber, wie es z. B. bei Leuchtstoff-Lampen der Fall ist.

\* Assessment of Ultra-Efficient Lamps; Navigant Consulting Europe; 5. Mai 2009.

#### Vorteil 7: Keine IR- oder UV-Strahlung

LED entwickeln keine ultraviolette (UV-) oder infrarote (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 (hierauf kommen wir noch zurück – siehe Kapitel 2).

## 4. LED-HERSTELLER

Derzeit ist eine kleine Anzahl "dominierender Anbieter" mit eigener Halbleiter-Produktion (für weiße LED) auf dem Markt: zum Beispiel Cree (US), Philips Lumileds (US), Osram (DE), Nichia (JP) und Toyoda Gosei (JP).

Zusätzlich gibt es eine große Anzahl Hersteller, die Halbleiter-Materialien und Leuchtstoffe ankaufen und selbst zu Typ 1- oder Typ 2-LED-Komponenten zusammen bauen. Beispiele hierfür sind Citizen, Bridgelux, Luminus, GE, Edison, Seoul Semiconductor, Samsung, Panasonic, Toshiba und LG.


Bei ETAP nutzen wir eine Reihe von Kriterien, um die Hersteller auszuwählen, mit denen wir zusammen arbeiten können. Die wichtigsten Kriterien sind: Leistungsfähigkeit, Preis, Dokumentation (nachweisbare Daten mit Bezug auf die aktuellen Normen) und langfristige Verfügbarkeit (wichtig für die Kontinuität in unserer Leuchten-Produktion).

ETAP arbeitet, abhängig von der Anwendung, mit mehreren der oben genannten Lieferanten zusammen.

## 5. DIE ZUKUNFT DER LEDs

Die LED-Technologie entwickelt sich schnell.

UPDATE

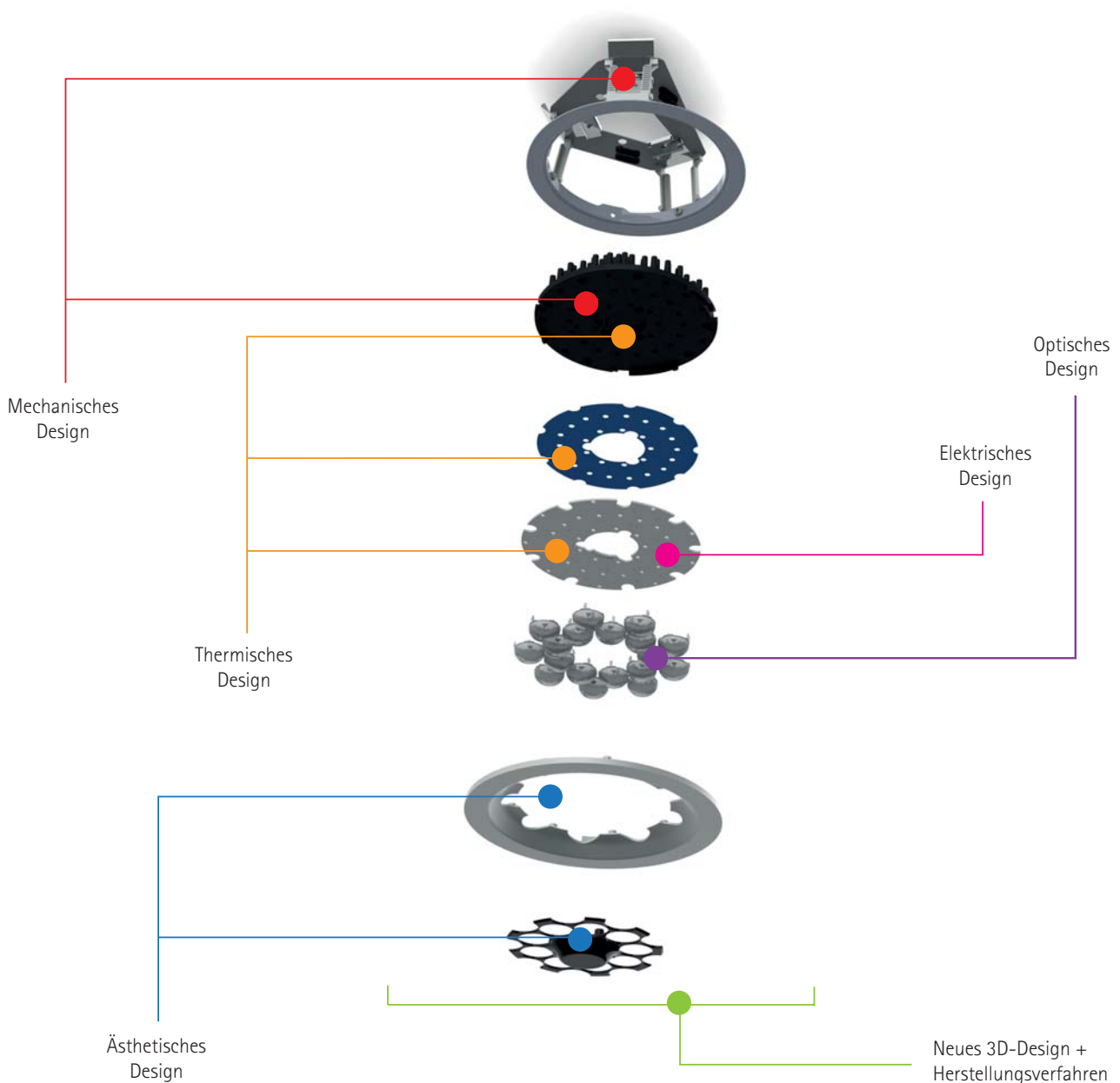
- Der spezifische Lichtstrom von LEDs erhöht sich rasant. Heute liegen sie in Bezug auf die Lichtleistung weit vor Halogen- und Glühlampen. Auch im Vergleich zu Kompakt-Leuchtstofflampen sind sie mittlerweile absolut konkurrenzfähig. Es wird erwartet, dass sie bald auch in der Lage sein werden, mit den effizientesten Leuchtstofflampen-Lösungen zu konkurrieren. Man kann in etwa sagen, dass der Preis für das gleiche Lumen-Paket jedes Jahr um 10% sinkt, oder man für den gleichen Preis 10% mehr spezifischen Lichtstrom erhalten wird. Im Allgemeinen ist jedoch ein Limit von 180 bis 200 lm / W für warme Farben zu erwarten.
- Es werden ständig neue Technologien entwickelt, um Effizienz und Wirtschaftlichkeit auf lange Sicht zu verbessern.
- Es laufen Initiativen zur Standardisierung im Bereich der LED-Module, mit etablierten Lumenpaketen und gut definierten mechanischen Schnittstellen (z.B. Zhaga, ein Konsortium für die Standardisierung des "Äußeren" von LED-Modulen, z. B. der Schnittstellen). ETAP ist ein Mitglied der  Zhaga
- Die Farbkontrolle wird immer besser, was in einem immer engeren Farb-Binning resultiert (weitere Informationen zum Binning in Kapitel 2).

# Kapitel 2: Leuchten mit LEDs konstruieren

## 1. CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

LEDs sind im Vergleich zu herkömmlichen Lichtquellen, wie Leuchtstofflampen, sehr klein. Mit anderen Worten, die LED-Lichtquelle einer Leuchte kann, anders als z. B. bei Leuchtstoff-Lampen, freier angeordnet werden. Das ermöglicht ein schlankeres Leuchten-Design und einen viel kreativeren Umgang mit Formen.

Aber beim Entwerfen von LED-Leuchten stehen wir vor mehr als nur einer Herausforderung. Wir müssen zuerst die richtigen LEDs für den jeweiligen Anwendungszweck auswählen. Leistung, Lichtausbeute, Temperaturverhalten, Lebensdauer, Farbtemperatur und Preis sind dabei wichtige Parameter. Das Design und die Integration von Optiken (Linsen, Diffusoren, Reflektoren) sorgen für die gewünschte Lichtverteilung. Der Wärmehaushalt von LED-Leuchten ist ausschlaggebend für ihre Leistungsfähigkeit. Und das alles möchten wir auch noch in einem ansprechenden Design verpacken.



## 2. DIE RICHTIGE LICHTVERTEILUNG

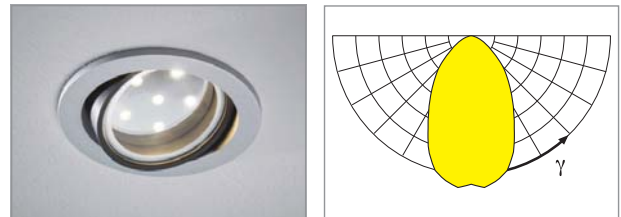
Die meisten LEDs haben eine breite Lichtverteilung und strahlen das Licht in einem Winkel von 80 bis 140° aus (voller Winkel). Mit der Hilfe von sekundären und tertiären Optiken (Linsen, Diffusoren, Reflektoren oder Kombinationen dieser drei) lassen sich spezifische Lichtverteilungen erreichen. Die richtige Lichtverteilung ist wichtig, um in jeder Anwendung die Anzahl LEDs und damit auch den Energieverbrauch so gering wie möglich zu halten.

Einige Beispiele:

### LEDs ohne optisches System

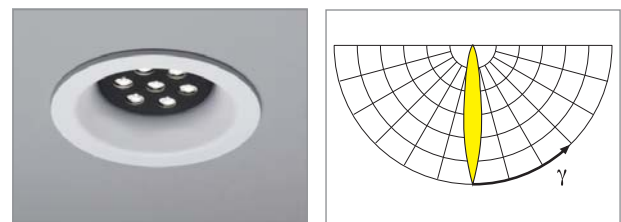
Beispiel: Pluto

LEDs ohne optisches System verteilen ihr Licht gleichmäßig in alle Richtungen (die so genannte Lambertsche Lichtverteilung). Sie werden, auch wegen ihrer sehr hohen Leuchtdichten, eher selten genutzt.



### Handelsübliche Linsen-Optiken

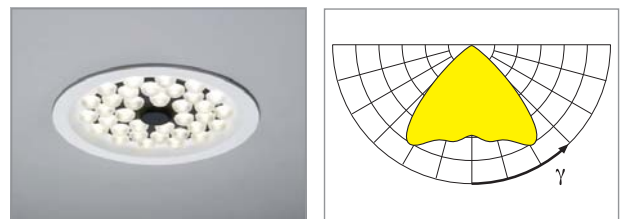
Beispiel: Flare Spots mit einer sehr fokussierten Lichtverteilung.



### ETAP-spezifische Linsen

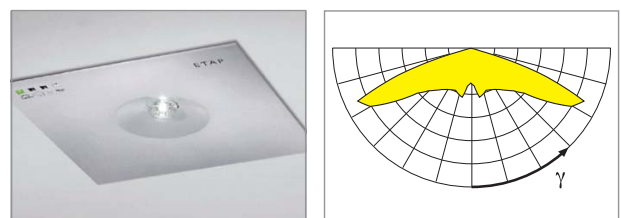
Beispiel aus der Beleuchtung:

D4 Downlights mit patentierten Linsen für eine breit strahlende Lichtverteilung.



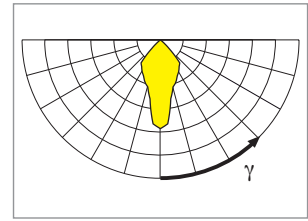
Beispiel aus der Sicherheitsbeleuchtung:

K9 Antipank, extrem breitstrahlend

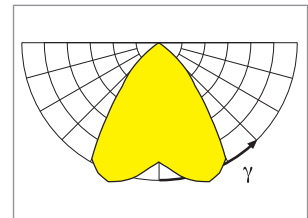


### Reflektoren

Beispiel: E1 mit LED

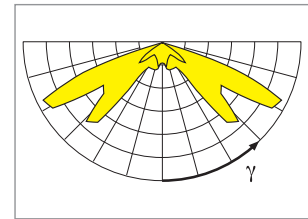


Beispiel: D1 mit LED



### Kombination von Linse und Reflektor

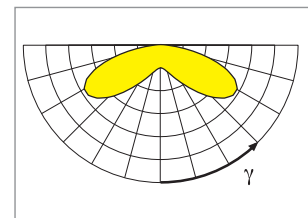
Beispiel: K9 Fluchtweg



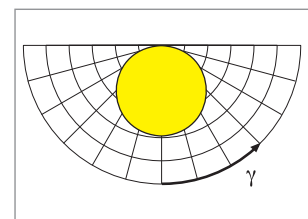
UPDATE

### Lichtleiter

Beispiel: UW

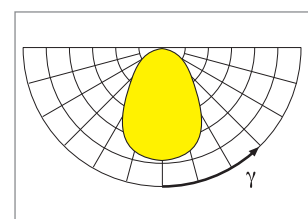


Beispiel: K7



### Diffusoren oder Folien, so wie MesoOptics®

Beispiel: UM2 LED



### 3. DIE LEUCHTDICHTEN UNTER KONTROLLE

Mit der stetigen Zunahme der LED-Leistung und Wattage steigt auch die Leuchtdichte der Lichtquellen rasant an. Diese Leuchtdichten können schnell auf 10 bis 100 Millionen  $\text{cd}/\text{m}^2$  steigen, 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)
- Kompakt-Leuchtstofflampe 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:

- Flare 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 mattierter Oberfläche zur Streuung des Lichts jeder einzelnen Lichtquelle und Vermeidung von Blendung bei direktem Einblick.
- UM2 mit LED: Die Lichtquelle ist über die gesamte Leuchte verteilt. Der MesoOptics™ Diffusor begrenzt die Leuchtdichte und sorgt für eine kontrollierte Lichtverteilung.

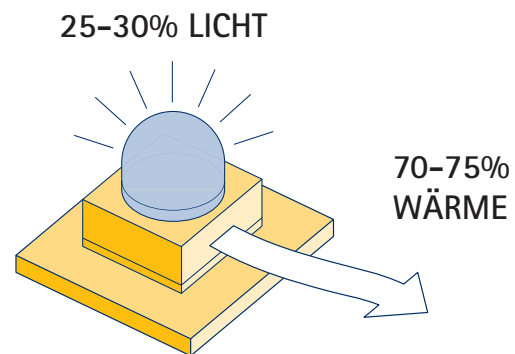
### 4. INTELLIGENTES WÄRME-MANAGEMENT

Dem Temperatur-Management (Kühlung) gilt zweifellos die größte Aufmerksamkeit bei der Entwicklung qualitativ hochwertiger LED-Beleuchtung. Abhängig von der LED-Leistung wird 25-30 % der Energie in sichtbares Licht, und 70-75 % in Wärme innerhalb der Komponente umgesetzt (Verlustfaktor).

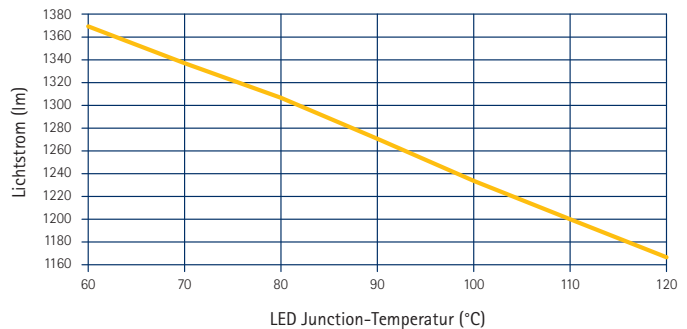
Zum Vergleich: Leuchtstofflampen strahlen auch etwa 25% der umgesetzten Leistung als sichtbares Licht aus. Aber der Unterschied ist, dass bei Leuchtstoff-Lampen auch etwa 40% der Energie in Form von Infrarot- oder Wärmestrahlung emittiert wird.

Die Lichtausbeute von LEDs nimmt mit steigenden Junction-Temperatur (das ist die Temperatur im Halbleiter-Material) ab. Veröffentlichte LED-Lichtströme und -Ausbeuten gelten bei einer Temperatur von 25°C. In der Praxis liegen die wirklichen Werte jedoch darunter. Gelegentlich werden auch sogenannte „heiße“ Lumenwerte veröffentlicht, diese entsprechen dem Lichtstrom bei einer Junction Temperatur von 85° C.

Bei niedrigeren Temperaturen nimmt der Lichtstrom zu: LEDs funktionieren immer umso besser, je niedriger ihre Betriebstemperatur ist.



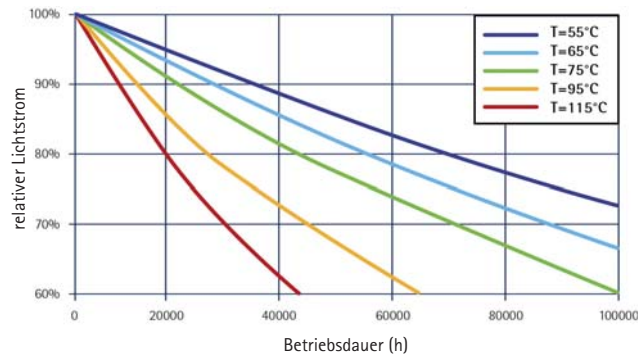
LED = 18x Cree XP-E Q4 4000K @ 350 mA



Einfluss der Junction-Temperatur auf den Lichtstrom



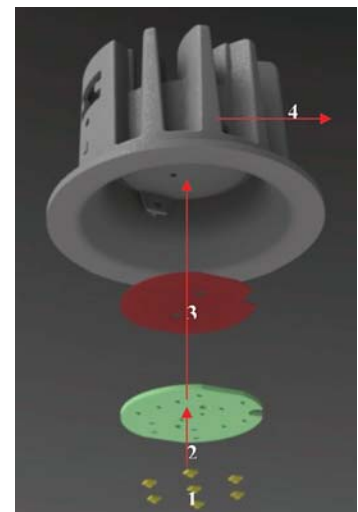
Aber es ist nicht nur der Lichtstrom der in Abhängigkeit von der Temperatur sinkt. Auch die nutzbare Lebensdauer wird negativ beeinflusst, wenn die Temperatur einen kritischen Wert übersteigt. Deshalb ist eine gute Wärmeableitung wichtig.



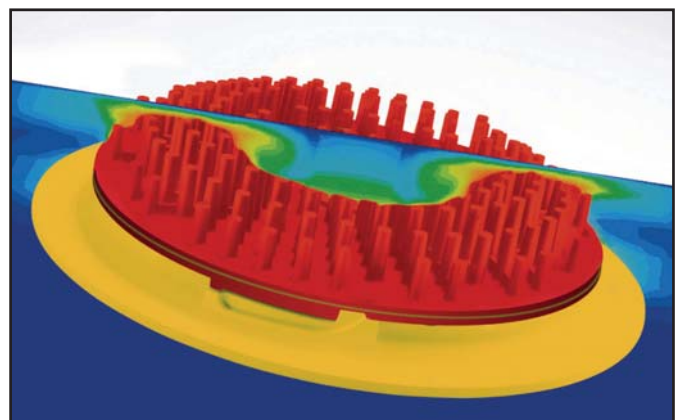
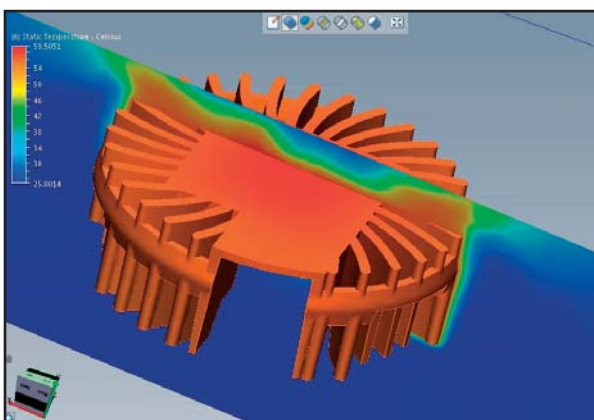
Abnahme des Lichtstroms im Verhältnis zur Zeit bei verschiedenen Junction-Temperaturen

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 den Chip bis an den Lötunkt geleitet. (1, in der LED).
- Von da aus wird die Wärme über die LED-Leiterplatte verteilt (2).
- Durch die thermisch leitende Schnittstelle für die Wärmeübertragung, zwischen Leiterplatte und Kühlkörper wird die Wärme über den Kühlkörper verteilt (3).
- Durch Konvektion und Strahlung wird die Wärme in die Umgebung abgeleitet (4).



Freie Luftströmung rund um die Leuchte ist für eine gute Wärmeableitung sehr wichtig. Darum ist das thermische Verhalten einer LED-Leuchte bei einer Anbau-Leuchte anders als bei einer Einbau-Leuchte. Bei der Einbau-Version muss immer ausreichend freier Raum um die Leuchte zur Verfügung stehen (Achtung: deshalb keine Isolierung direkt oberhalb der Leuchte!).



Wärmestudien für D1 und D4

## 5. BINNING FÜR EINE KONSTANTE LICHTQUALITÄT

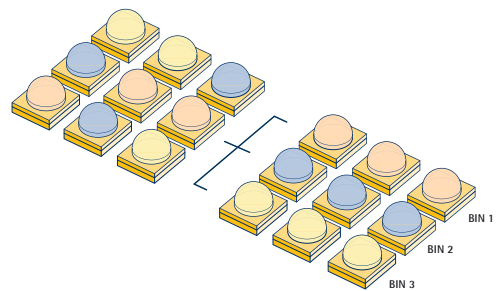
Bei der Herstellung zeigen LEDs aus der gleichen Charge oder Reihe verschiedene Eigenschaften, zum Beispiel bezüglich Intensität und Farbe. Der Einsatz eines Mix verschiedener LEDs in einer Leuchte würde daher zwangsläufig zu verschiedenen Lichtstärke-Niveaus und verschiedenen Lichtfarben führen. Deshalb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

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

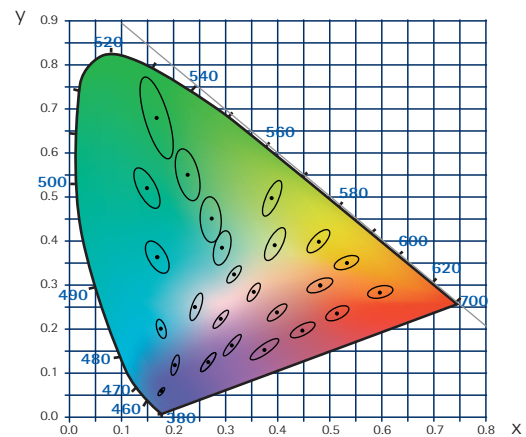
- Colour Binning: Das Sortieren nach Farb Koordinaten (x; y), rund um eine individuelle Farbtemperatur;
- Flux Binning: Das Sortieren nach Lichtstrom, gemessen in Lumen (lm);
- Voltage Binning: Das Sortieren nach der Durchlass-Spannung, gemessen in Volt.

Durch die Auswahl einen bestimmten „Farb-Bins“ wird eine gleichbleibende Farb-Qualität des Lichts garantiert. LEDs aus dem selben „Bin“ haben also das gleiche Erscheinungsbild. Unterschiede in den „Farbins“ fallen beispielsweise bei der gleichmäßigen Beleuchtung einer Wand stark auf.

Bei der Betrachtung der Farbwahrnehmung wird die sogenannte „Mc Adam-Ellipse“ verwendet (siehe Abbildung\*) 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 McAdam ist.



Prinzip des Binnings

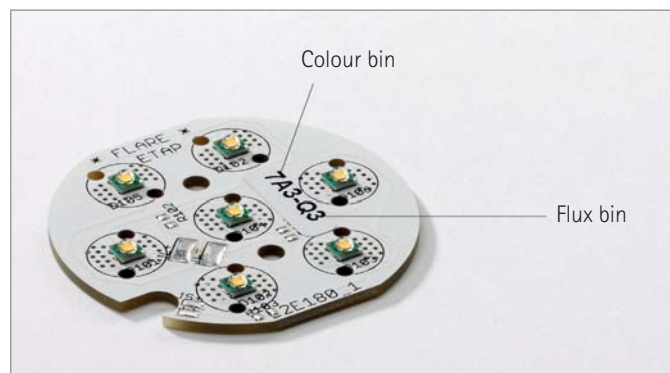


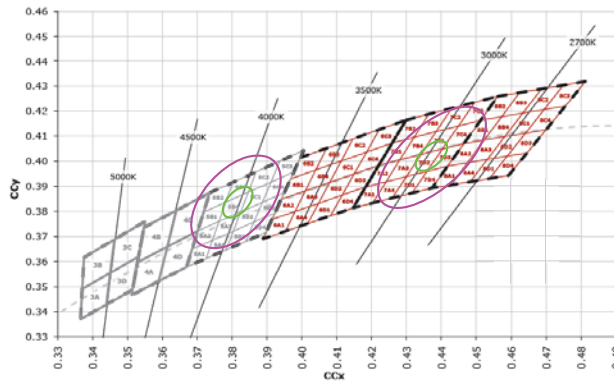
Darstellung der McAdam-Ellipsen  
(Quelle: Wikipedia)

### Wie führt ETAP Binning durch?

ETAP verwendet einen systematischen Ansatz, um die Einheitlichkeit auf allen Ebenen zu gewährleisten:

- Für jede Leuchte verwenden wir ausschließlich LEDs mit einer Abweichung von weniger als 2 SDCM.
- Wir kennzeichnen die verschiedenen, bestückten Leiterplatten gemäß ihrer Farb Bin und notieren diese, so dass wir immer wissen, aus welcher Farb Bin die jeweilige LEDs stammt.
- Innerhalb einer Teillieferung von LED-Leuchten liefern wir immer Leuchten mit dem gleichen Farbcode.
- Bei Teillieferungen die über einen längeren Zeitraum hinweg erfolgen, können diese nicht garantiert werden. In diesem Fall sind Farbabweichungen von bis zu 7 SDCM möglich.





Darstellung von Bins bei verschiedenen Farbtemperaturen  
(grün  $\approx$  2 SDCM; rot  $\approx$  7 SDCM)

## 6. ELEKTRISCHE SICHERHEIT

LEDs arbeiten bei niedriger Spannung (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

Internationale Normen (IEC 61347) verlangen, dass bei Spannungen über 24V\* zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind, um die Leuchte betriebssicher 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 Basis-Isolierung 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.

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

Entsprechend des internationalen Standards IEC 61347 besteht kein Risiko (grün) bis 24 V (Wechselspannung) oder 60 V (Gleichspannung). LED Leuchten mit einer höheren Spannung (rot) bedürfen zusätzlicher Sicherheitsvorkehrungen.

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

## 7. VERÖFFENTLICHUNG DER KORREKTEN DATEN

Über viele Jahre wurde die Effizienz von Fluo-Leuchten in Prozentwerten ausgedrückt; ein Hinweis darauf, wie gut eine Leuchte das von der Lampe erzeugte Licht nutzt. Mit dem Beginn des LED Zeitalters spricht man von Lumen pro Watt, also Lichtstrom der Leuchte im Verhältnis zur eingesetzten Leistung. Es ist wichtig, dass die Effizienz der gesamten Leuchte in Betracht gezogen wird: sowohl die Effizienz der Lichtquelle, als auch die der Leuchte.

Die Effizienz einer Leuchte mit Leuchtstoff-Lampe wurde durch den Vergleich des Lichtstroms der Leuchte zu dem der "nackten" Lampe ermittelt. Eine Angabe der Effizienz in Prozent ist sehr anschaulich, sie verdeutlicht, wie effizient eine Leuchte mit einer bestimmten Menge an Licht umgeht. Das ist auch der Grund, warum diese Angabe zum Standard für Beleuchtungslösungen mit Leuchten mit Leuchtstoff-Lampen geworden ist. Dieser Prozentwert ist sehr leicht zu ermitteln: Man misst den Lichtstrom der Leuchte mit Lampe und vergleicht ihn mit dem der „nackten“ Lampe.

### Eine „nackte“ LED ist keine brauchbare Referenz

Bei Beleuchtungslösungen mit LED ist die Vorgehensweise wie bei Leuchtstoff-Lösungen nicht möglich, da die „nackte“ LED keine absolute Referenz darstellt. Zum einen gibt es unterschiedliche Typen von LEDs. Das Produkt ist nicht standardisiert. Des Weiteren gibt es (ab Werk) Unterschiede im Lichtstrom und der Farbtemperatur. Momentan existiert keine einheitliche Standard-Messmethode für den Lichtstrom einer „nackten“ LED. Am wichtigsten ist jedoch die Tatsache, dass der Lichtstrom extrem temperaturabhängig ist. Eine LED emittiert bei 25°C sehr viel mehr Licht, als innerhalb einer Leuchte bei wesentlich höheren Temperaturen. Das ist der Grund, warum eine Angabe der Effizienz in Prozent in den meisten Fällen zu falschen Angaben führen würde.

### Lichtausbeute von Lampe und Leuchte

Deshalb setzt sich im Beleuchtungsmarkt ein anderes Effizienz-Konzept durch. Wir schauen heute nicht mehr nur auf die Leuchte alleine, sondern auf die Kombination von Lampe und Leuchte. Es wird zunehmend mit lm/W gearbeitet, basierend auf der Menge an Energie die nötig ist, um einen bestimmten Lichtstrom zu erzeugen. Das ist vielleicht nicht so anschaulich wie die Angabe in Prozent, dafür aber genauer. Man darf auch nicht vergessen, dass die Leistung einer LED-Lösung von einer Vielzahl von Faktoren wie der Kühlung, dem Betriebsgerät, der Energiedichte und dem warm/kalt Faktor (der Abfall des Lichtstroms wenn die Temperatur steigt) abhängt. Eine gute Kühlung ist wesentlich und die lm/W Angabe berücksichtigt das: je besser die Kühlung, desto höher der Lichtstrom bei gleicher Leistung. Bei ETAP versuchen wir mit unseren LED-Leuchten stets optimale Werte zu erzielen. Derzeit können 80 lm/W für eine Leuchte als sehr energie-effizient angesehen werden. Aber da sich LEDs fortlaufend weiterentwickeln, werden sich auch die Standards ändern.

**Lighting**

**D11/LEDN20SX1**

Luxial® - recessed luminaire - downlight - circular - white wafer trim  
Aluminium housing with trim in lacquered sheet steel  
luminous flux luminaire: 1799 lm

**Mechanical characteristics**  
dimensions: (Øxh) 220 mm x 120 mm  
minimum cutout: (Ø) 205 mm  
weight: 2.1 kg

**Installation**  
mounting bracket 1 - 35 mm

**Optic**  
downlight - satin-anodised aluminium - wide-angle

**Lamp**  
lamp type: LED 22W  
colour temperature: 4000K / neutral white

**Electrical equipment**  
S: driver fixed output  
voltage: 230-240V  
frequency: 50Hz  
power consumption: 26 W  
power factor >= 0.9  
photobiological safety: EN 62471: exempt group

**More information**  
[Electrical options and accessories \(general\)](#)  
[Overview options](#)  
[Options D1 LED](#)  
[Concepts](#)  
[Brochure Luxial \(PDF\)](#)  
[Assembly instructions - D1E1900](#)

LED CE  
65° 1000 UGR ≤ 19

Screenshot der ETAP-Webpage mit detaillierten Produktinformationen.

Neben dem spezifischen Lichtstrom, können weitere Informationen über LEDs auf der ETAP-Website abgerufen werden:

- Typ des Betriebsgeräts: dimmbar oder nicht dimmbar
- Leistungsfaktor
- Photobiologische Schutzklasse
- Farbtemperatur
- Lampenleistung
- Stromverbrauch

## 8. STANDARDS

LED-Leuchten müssen in Bezug auf ihre möglichen schädlichen Effekte auf Haut und Augen nach der Norm EN-IEC 62471 (mit Bezug auf die fotobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen) eingestuft werden. Für weiße und blaue LEDs ist praktisch ausschließlich der schädliche Effekt der blauen Komponente auf die Augen wichtig.

Basierend auf der maximalen Belichtungszeit ohne schädliche Auswirkungen werden Leuchten in vier Risikoklassen eingeteilt, von unbegrenzter Belichtungszeit bis zur fast unmittelbaren Schädigung bei direkter Belichtung und / oder Blick in die Lampe.

Die meisten ETAP-Leuchten stellen bei begrenzter zeitlicher Exposition und normalem Sehabstand (= 500 lux) kein Risiko dar. Mögliche Risiken sind Lichtquellen mit sehr hoher Intensität und Spitzenleuchtdichten (z.B. das Fortimo-Modul) und vor allem rein blaue LEDs (zum Beispiel das Fortimo-Modul nach dem Öffnen und Entfernen der Äußeren-Phospor-Abdeckung. Hier darf man niemals direkt in die LED schauen!).

Beispiele

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| • D4 Flare:           | Gruppe "Freigegeben" (unbegrenzte Exposition)        |
| • K9 AP:              | RG-1 (geringes Risiko – begrenzte Exposition <3,0 h) |
| • D9 Fortimo 2000 lm: | Gruppe „Freigegeben“ (unbegrenzte Exposition)        |

Leuchten der Allgemeinbeleuchtung sollten nach den aktuellen Regeln der Technik der Gruppe „Freigegeben“ oder RG-1 angehören.

# Kapitel 3: Spannungsversorgungen für LED-Leuchten

## 1. QUALITÄTSKRITERIEN FÜR NETZTEILE

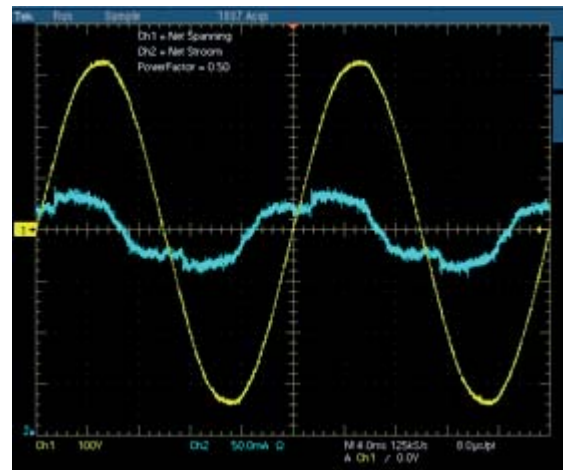
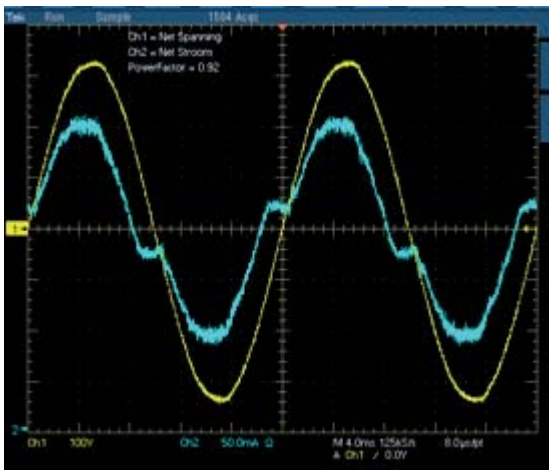
Wie mittlerweile allgemein bekannt, ist das Netzteil eine der wichtigsten Komponenten jeder LED Lösung. Die Qualität einer LED-Leuchte hängt nicht alleine von der LED-Lichtquelle und der Konstruktion der Optik ab, sondern maßgeblich auch von der Effizienz und Zuverlässigkeit des Netzteils.

Alle hochwertigen Netzteile für LEDs müssen sechs Qualitätsmerkmale aufweisen:

**Lebensdauer.** Das Netzteil muss mindestens für die gleiche Lebensdauer ausgelegt sein wie die LEDs selbst; also normaler Weise rund 50,000 Stunden (bei 70% des möglichen Lichtstroms).

**Effizienz.** Einer der Erfolgsfaktoren von LEDs ist ihre Energie-Effizienz. Aus diesem Grund muss die Umwandlung von Netzspannung in Strom so effizient wie möglich erfolgen. Ein hochwertiges Netzteil hat mindestens eine Effizienz von 90%.

**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 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. ETAP LED-Netzteile müssen einen Leistungsfaktor von mehr als 0.9 haben.



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

**Elektromagnetische Verträglichkeit (EMC).** Das Netzteil 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-Netzteil 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 Netzteil muss so eingestellt sein, dass die Leitungsschutzschalter des Raumes oder Gebäudes nicht ausgelöst werden.

**Elektrische Sicherheit.** Die Ausgangsspannung des Netzteils sollte möglichst niedrig gehalten werden. Spannungen über 120 V machen besondere Schutzmaßnahmen nötig, wenn das LED-Modul in eine Leuchte integriert wird. In einem solchen Fall ist der Leuchten-Hersteller verpflichtet, die notwendigen Sicherheits-Maßnahmen zu treffen.



### Technische Datenblätter

Das Netzteil ist eine entscheidende Komponente bei jeder LED Beleuchtungslösung. Qualitativ hochwertige Netzteile erkennt man durch einen Blick in die Produkt-Datenblätter des Herstellers. So kann man prüfen, ob die oben genannten Qualitätsmerkmale erfüllt sind.

## 2. STROM- UND SPANNUNGSVERSORGUNG IM VERGLEICH

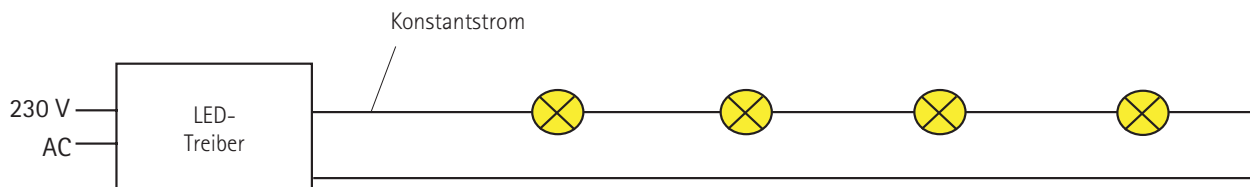
LEDs sind stromgesteuerte Komponenten. Der Strom ist direkt ausschlaggebend für die Lichtleistung und muss daher vorsichtig gesteuert werden. Es gibt zwei Möglichkeiten der Ansteuerung:

- **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:

- Flare Spot 500mA, DIPP4,...
- Flare D4 Downlight

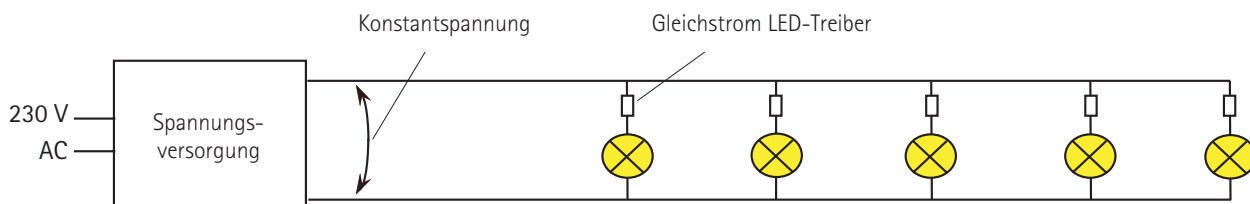


- **Konstante Spannungsquellen**

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 einer elektrischen Schaltung, die Gleichspannung in konstanten Strom umwandelt, ausgestattet sein. Spannungsquellen haben den großen Vorteil, dass man verschiedene Module sehr einfach parallel anschliessen kann.

Beispiele:

- LED-Strip mit 24V-Versorgung (Begrenzung durch Vorwiderstand)
- Flare Spot 24V (Spannungs-Strom-Wandler ins Kabel integriert)

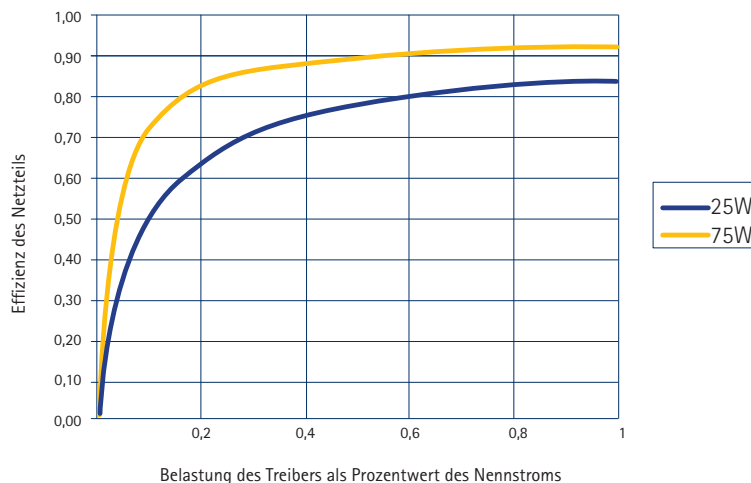


Die Artikel-Nummern der Leuchten für konstante Stromquellen enden bei ETAP auf "C" (von "Current"), die Leuchten-Kodierungen für konstante Spannungsquellen enden auf "V" (von "Voltage").

### Auch für dimmbare Leuchten

Das Netzteil sollte nicht nur zuverlässig und effizient sein, es muss auch flexibel genug sein, um in jeder modernen Beleuchtungslösung zu funktionieren. In vielen Fällen muss die Lichtstärke regelbar sein, beispielsweise über eine Tageslicht-abhängige Regelung wie ELS oder einen externen Dimmer. Wichtig dabei ist, dass die Effizienz und der Leistungsfaktor immer gleich bleiben, wenn ein Dimmer benutzt wird.

Beispiel: Die Effizienz des 75W Netzteils (gelb) ist bis zu einer Belastung von 50% stabil. Bei geringerer Spannung fällt die Effizienz schnell ab. Bei einer Belastung von 10% (7,5W) liegt der Stromverbrauch bei 10,5W (70% Effizienz)



*Einfluss der Belastung des Treibers auf die Effizienz für einen Low Power Driver (blau) und einen High Power Driver (gelb)*

In der Praxis gibt es zwei Möglichkeiten zu dimmen: Entweder reduziert man die Stromstärke, oder man setzt den Strom in Impulse von immer kürzerer Dauer um (PWM oder Pulsdauermodulation). Welche Technik sich am besten eignet, hängt von der jeweiligen Anwendung ab. Hier helfen unsere Experten bei dieser 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)



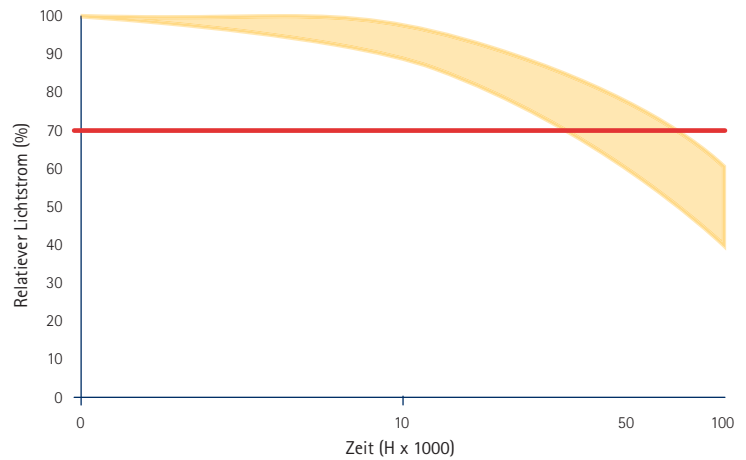


# Kapitel 4: Beleuchtung mit LEDs – Lichttechnische Aspekte

## 1. ALTERUNG UND WARTUNGSFAKTOR

Im Laufe der Zeit verringert sich der Lichtstrom einer Lampe. Dies nennen wir Degradation (Alterung). Um diesen Verlust berücksichtigen zu können, wird in Lichtberechnungen ein Wartungsfaktor (eine Zahl zwischen 0 und 1) eingesetzt. Dieser Wartungsfaktor berücksichtigt Alterung und Verschmutzung, etc. und soll verhindern, dass die Beleuchtungsstärke im Laufe der Jahre unter das geforderte Niveau fällt.

Bei korrekter Verwendung funktionieren LEDs – elektrisch gesehen – sehr lange. Allerdings wird der Lichtstrom der LED während dieser langen Lebensdauer abnehmen (Alterung). Sowohl der Temperatur-Haushalt als auch die elektrische Ansteuerung haben einen großen Einfluss auf diese Abnahme. Die Verminderung des Lichtstroms kommt vor allem durch die Verfärbung der Chip-Beschichtung und der Abnahme der Effizienz der Leuchtschicht.



Abnahme des Lichtstroms im Laufe der Zeit

### Alterung bei Leuchtstofflampen

Bei Lichtberechnung mit Leuchten mit Leuchtstoff-Lampen verwenden wir heute häufig einen Gesamt-Wartungswert (Verminderung des Lichtstroms) von 15%, davon +/- 10% aufgrund der Alterung der Lampen. Eine Abnahme von 15% entspricht einem Wartungsfaktor von 0,85.

Wartungsfaktor	Verschmutzungsgrad			
	minimal	niedrig	mittelmäßig	hoch
Offene Leuchten für direkte Beleuchtung (T5 - Ø16 mm of T8 - Ø26 mm: Ra > 85)				
Gruppenersatz	0,85	0,80	0,75	0,70
Defekte Lampe ersetzen + Gruppenersatz	0,90	0,85	0,80	0,70
Korrekturfaktor für Leuchten mit Abdeckplatte für direkte Beleuchtung Leuchten mit lackierter Reflektor	Wartungsfaktor x 0,95			
	Wartungsfaktor x 0,90			

Einige typische Wartungsfaktoren für Leuchtstoff-Lampen

### Alterung bei LED-Leuchten

Die Lebensdauer, die heute für LEDs angegeben wird, bezieht sich auf eine durchschnittliche Abnahme des Lichtstroms von 30%. Das hat Auswirkungen auf unseren Umgang mit den Wartungsfaktoren für LEDs in Beleuchtungsstudien.

Normalerweise orientiert sich ETAP immer dem Marktstandard; das Problem ist aber, dass es momentan noch keinen Marktstandard für LEDs gibt. Daher verwenden wir jetzt Wartungsfaktoren, die einer Lebensdauer von +/- 25.000 Stunden (+/- 10 Jahre bei normalem Einsatz im Einschicht-Betrieb) entsprechen. Der Grund dafür ist, dass in vielen Anwendungen 50.000 Betriebsstunden oft nicht erreicht werden. Zusätzlich haben wir eine Übersichtstabelle, um mit angepassten Lebensdauern arbeiten zu können (siehe Punkt 2, „Lichtberechnungen“).

## 2. LICHTBERECHNUNGEN MIT LED-LEUCHTEN

Das Anfertigen von Beleuchtungsstudien mit LED-Leuchten gleicht denen mit andern Leuchten. Der größte Unterschied ist der Umgang mit dem Wartungsfaktor. Die Standard-Methode ist hier schon zur Sprache gekommen: wir arbeiten mit einer Lebensdauer von 25.000 Stunden und berechnen dann, welcher Wartungsfaktor dieser Lebensdauer entspricht. Für abweichende Lebensdauern verwenden wir eine Tabelle, die den Zusammenhang zwischen Produkttyp, Typ der Spannungsversorgung und Wartungsfaktor wiedergibt. Diese Tabelle wird regelmäßig von unserer Produktgruppe Beleuchtung auf dem neuesten Stand gehalten. Ein Beispiel für die Flare ist unten dargestellt.

	25,000 h							
	350mA				500mA			
	F (lm)	P (W)	lm/W	d (%)	F (lm)	P (W)	lm/W	d (%)
D42/LEDN20S	1290	22,4	58	89				
D42/LEDW20S	1120	22,4	50	89				
D42/LEDN39S	2490	43,4	57	88				
D42/LEDW39S	2150	43,4	50	87				
FLARE-1x/LEDN10C (x=0/1/2)					629	12,6	50	78
FLARE-1x/LEDN6C (x=0/1/2)					376	7,2	52	89
FLARE-1x/LEDN5C (x=0/1/2)					287	5,5	52	91
FLARE-1x/LEDW10C (x=0/1/2)					547	12,2	45	78
FLARE-1x/LEDW6C (x=0/1/2)					327	7,2	45	89
FLARE-1x/LEDW5C (x=0/1/2)					250	5,5	45	91

*Auszug von Tabelle Lichtstrom und Degradationsfaktoren bei Flare (Status 2011), inklusive 5% Verschmutzung  
(F = Lichtstrom; P = Leistung; lm/W = Lichtausbeute; d = Wartungsfaktor)*

## 3. INTEGRATION ENERGIESPARENDER SYSTEME

### Dimmen und Schalten

Wie bereits erwähnt, eignen sich LEDs zum Schalten und Dimmen sehr gut und funktionieren mit den bekannten Systemen, wie 1-10 Volt, DALI,...

### Integrierte Lichtregelsysteme

LED-Leuchten sind prinzipiell mit integrierten Lichtregelsystemen wie ELS, MDS und EMD kombinierbar. Diese Systeme sind (momentan) sehr empfindlich für Temperatur (ELS) und / oder Infrarotstrahlung (MDS und EMD). Die Integration von Lichtregelsystemen erfordert daher ein integriertes Produktdesign, das das thermische Management innerhalb der Leuchte und die Eigenschaften der Sensoren berücksichtigt, wobei eine thermische Trennung zwischen dem Sensor und der wärmeerzeugenden Lichtquelle notwendig ist. Daher fällt die Integration von Lichtregel-Systemen in die Leuchten in einigen Fällen unter die Regeln für „Sonderleuchten“, während andere Lösungen im Standard erhältlich sind (z.B. D4 + ELS). Die Kombination von LED-Leuchten mit Sensoren, die separat in die Decke montiert werden, ist problemlos möglich.



### Raum- oder Gebäude-Managementsysteme (wie ELM)

Da LED-Leuchten oft in verschiedenen Ausführungen (wie DALI, 1-10 V, ...) lieferbar sind, ist es in der Regel kein Problem, sie mit modernen lokalen Raum- oder Gebäudemanagement-Systemen zu kombinieren.

## Kapitel 5: Frage und Antwort

### **Frage: Sind die von LED-Herstellern veröffentlichten Informationen auch in ETAP-Publikationen verwendbar?**

Antwort: Nein, weil viele verschiedene Faktoren eine Rolle bei der effektiven Leistung einer LED-Leuchte spielen. Hierzu gehören sowohl LED-abhängige Eigenschaften, wie das Verhalten bei höheren Temperaturen, als auch spezifische Leuchten-Eigenschaften, wie Ansteuerung und Kühlmöglichkeiten. So kann eine LED von Hersteller A mit einer veröffentlichten sehr hohen Leistung in der Praxis weniger Lichtausbeute haben, als eine LED mit etwas geringerer Effizienz von Hersteller B. Dies kann unter anderem an einem höheren internen thermischen Widerstand und geringerer Stabilität bei hoher Temperatur liegen.

### **Frage: Sind lineare LED-Lampen eine gute Alternative zum Ersatz der herkömmlichen Leuchtstofflampen?**

Antwort: Auf lange Sicht hat diese Lösung wahrscheinlich großes Potential. Aber auf kurze Sicht gibt es einige Punkte, die berücksichtigt werden müssen: auf dem Gebiet elektrischer Sicherheit muss man damit rechnen, dass die Haftung des Herstellers entfällt, wenn man lineare LED-Lampen einsetzt und die Konstruktion demzufolge ändert. Es besteht auch eine gewisse Gefahr beim Lampenwechsel. Auf dem Gebiet lichttechnischer Eigenschaften, sind die maximale Leistung und damit auch der Lampen-Lichtstrom meistens niedriger als bei der ursprünglichen Lampe. Oft ändert sich auch die Lichtverteilung der Leuchte, da die meisten LED-Lampen nur Licht nach unten ausstrahlen.

### **Frage: Ist das Licht aus LEDs besser, als das aus Leuchtstoff-Lampen?**

Antwort: Nein, sie sind beide identisch. Doch bei sehr niedrigen Beleuchtungsstärken (z. B. bei Sicherheitsbeleuchtung oder Outdoor-Anwendungen), reagiert das menschliche Auge empfindlicher auf grüne / blaue Farbtöne, auch mesopische Vision genannt. Unter diesen Umständen ist es daher günstiger, Lichtquellen zu verwenden, die mehr Licht aus dem grün / blauen Spektrum abgeben, wie beispielsweise Cyan-farbige LEDs oder weiße LEDs mit hohem Blauanteil (kalt weiß, 6500K).

# Terminologie

## **Binning**

Das Sortieren / Klassifizieren von (in diesem Fall) LEDs in Gruppen mit gleichartigen Charakteristiken, z.B. auf dem Gebiet der Farbtemperatur.

## **Diode**

Halbleiter, der elektrischen Strom in eine Richtung sehr gut leitet, aber in die andere Richtung praktisch nicht.

## **Junction**

Aktiver Bereich im Halbleiter, in dem das Licht erzeugt wird.

## **Junction-Temperatur**

Dies ist die interne Temperatur im Halbleiter-Material (am PN-Übergang, siehe unten).

## **„Heiße“ Lumenwerte**

Lichtstrom gemessen bei einer typischen Anwendungstemperatur (in der Regel gemessen bei etwa 85°C Junction Temperatur)

## **„Kalte“ Lumenwerte**

Lichtstrom gemessen bei 25°C Junction Temperatur

## **LED**

Abkürzung von Light Emitting Diode.

## **LED-Komponente**

Die Kombination von LED, Gehäuse und Primäroptik.

## **LED-Modul**

Das LED-Äquivalent zu einer traditionellen Lampe, aber in LED-Ausführung. Laut ETAP's Terminologie entspricht dies Typ 3 (siehe Kapitel 1)

## **Lumineszenz**

Prozess, bei dem ein Lichtteilchen (Photon) generiert wird, wenn ein Atom von einem höheren zu einem niedrigeren Energiezustand wechselt.

## **Nutzungsdauer**

Wirtschaftliche Lebensdauer, die für die spezifische Anwendung relevant ist. Sie ist niedriger als die durchschnittliche Lebensdauer.

## **PCB**

Printed Circuit Board: Leiterplatte

## **Remote-Phosphor-Technologie**

Technologie, bei der der Phosphor benötigt wird um weißes Licht zu erzeugen, nicht direkt auf die blaue LED, sondern in oder auf einem (Glas oder Kunststoff) Träger in einiger Entfernung von der LED aufgebracht wird. Im Ergebnis arbeitet der Phosphor bei einer niedrigeren Temperatur, was in einigen Fällen zu mehr Effizienz führen kann.



# Notizen

A series of horizontal dotted lines for taking notes.

ETAP Beleuchtung, NL der ETAP NV ■ Maybachstraße 31 ■ 51381 Leverkusen  
Tel. +49 (0)2171/7075-5 ■ Fax +49 (0)2171/7075-75 ■ e-mail: info.de@etaplighting.com

Großherzogtum Luxemburg: 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)

