



TRIDONIC

▼ enlightening your ideas

WhitePaper | TALEX LED

LED-Grundlagen



Grundlagen der LED

Light Emitting Diode

Die LED ist eine Halbleiter basierende Lichtquelle, die sich von konventionellen Lichtquellen deutlich unterscheidet. Zu den wichtigsten Vorteilen zählen lange Lebensdauer, hohe Effizienz, Umweltfreundlichkeit, gute Farbwiedergabe und vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten.

Während in konventionellen Lampen ein Glühdraht oder ein Gas Licht erzeugen, sind LEDs winzige Elektronik-Chips aus speziellen Halbleiterkristallen. Dieses Prinzip der Lichterzeugung bietet viele Vorteile und neue Möglichkeiten für den Einsatz. Um das volle Potential ausschöpfen zu können, müssen Hersteller, Leuchten-designer und Lichtplaner die besonderen Eigenschaften der LED kennen und berücksichtigen. Das vorliegende Dokument erläutert wichtige Begriffe, Techniken und Möglichkeiten.



Parameter zur Bestimmung der Lichtfarbe

Die unterschiedlichen Farbräume von Licht

Das von einem LED-Modul erzeugte Licht lässt sich über die Parameter Farbwiedergabe, Farbtemperatur, Farbort und Farbkonsistenz genau beschreiben. Der folgende Abschnitt erklärt die Zusammenhänge und Unterschiede.

Farbwiedergabe

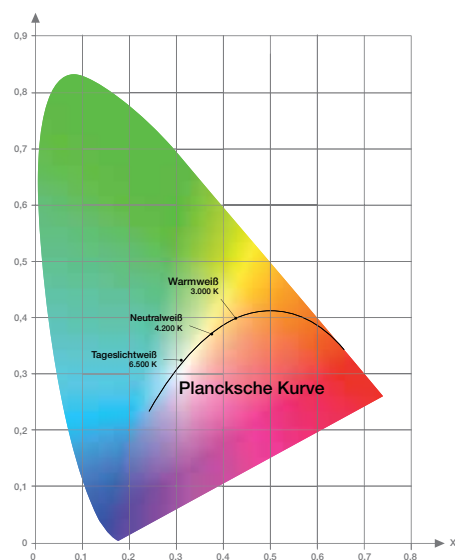
Der Farbwiedergabeindex R_a (englisch: Colour Rendering Index, CRI) ist eine Maßzahl, die beschreibt, wie wirklichkeitsgetreu eine Lichtquelle die unterschiedlichen Farben eines Objekts wiedergibt. Ermittelt wird der R_a mit Hilfe einer Referenz-Farbkarte mit 14 genormten Testfarben. Je nachdem, wie groß die Abweichungen der Sekundärspektren von diesen Testfarben sind, wird die Lichtquelle einem bestimmten R_a zugeordnet. Werden Farben schlecht wiedergegeben, sind die Abweichungen groß und der R_a ist gering. Bei guter Farbwiedergabe zeigen sich geringe Abweichungen und der R_a ist hoch.

Der maximal mögliche Wert des R_a liegt bei 100. Dies entspricht einer Farbwiedergabe ohne jede Verfälschung. Sonnenlicht hat einen R_a von bis zu 100, eine weiße LED liegt zwischen 70 bis 98. Für den praktischen Einsatz bedeutet dies, dass LED-Leuchtmittel mit einem höheren R_a -Wert die angestrahlten Farben natürlicher und für das menschliche Auge angenehmer wiedergeben. In bestimmten Anwendungsfällen (beispielsweise bei der Beleuchtung von Kunstwerken in Museen) ist dieser Punkt von entscheidender Bedeutung.

Farbtemperatur

Die Farbtemperatur ist eine Maßeinheit, die die Farbe einer Lichtquelle beschreibt. Sie wird in Kelvin (K) gemessen. Gängige Leuchten haben Farbtemperaturen unter 3.300 Kelvin (Warmweiß), zwischen 3.300 und 5.000 Kelvin (Neutralweiß) oder über 5.000 Kelvin (Tageslichtweiß). Die Farbtemperatur wird bestimmt durch den Vergleich der Lichtquelle mit der Farbe eines sogenannten „Schwarzen Körpers“ (auch: Schwarzer Strahler, planckscher Strahler). Dies ist ein idealisierter Körper, der Licht komplett absorbiert und keine Strahlung reflektiert. Wenn ein „Schwarzer Strahler“ langsam erhitzt wird, durchläuft er unterschiedliche Farben, von Dunkelrot, Rot, Orange über Gelb, Weiß bis zu Hellblau.

Die Farbtemperatur der Lichtquelle ist definiert als diejenige Temperatur in Kelvin, bei der der „Schwarze Strahler“ die exakt gleiche Farbe zeigt. Wenn man die unterschiedlichen Farben des „Schwarzen Strahlers“ in die Normfarbtafel überträgt und sie miteinander verbindet, erhält man eine Kurve, die man als „Plancksche Kurve“ bezeichnet.



Plancksche Kurve mit den gängigsten Farbtemperaturen in der CIE-Normfarbtafel

Farbort

Durch den Farbort wird eine Farbe anhand ihrer Koordinaten innerhalb der Normfarbtafel genau festgelegt. Insgesamt gibt es drei Koordinaten (x , y , z). Die Summe aller Koordinaten ergibt stets die Zahl 1, so dass zur vollständigen Bestimmung bereits zwei Koordinaten genügen. Durch Angabe des Farborts lassen sich Farbtöne genauer definieren als durch Angabe der Farbtemperatur. Dadurch ist es möglich, genaue Vorgaben über die gewünschte Lichtfarbe zu treffen oder unerwünschte Abweichungen zwischen Farben zu benennen. Besonders wichtig ist dies, wenn die Beleuchtung einen einheitlichen, genau vorgegebenen Farbton erzeugen muss und Abweichungen das visuelle Erscheinungsbild erheblich stören.

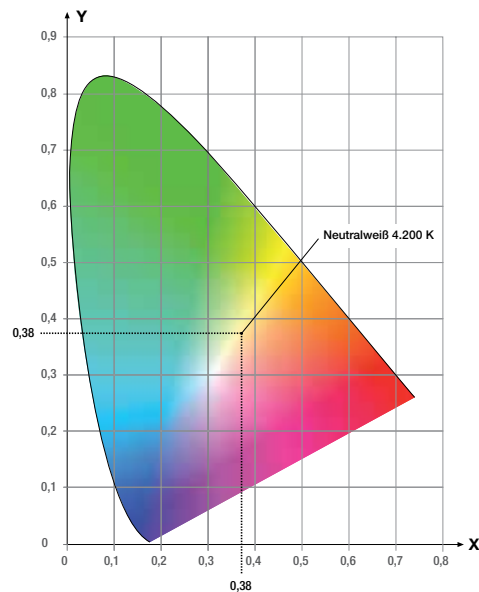
Farbkonsistenz

Die Farbkonsistenz beschreibt die maximale Abweichung vom Ziel-Farbort. Maßeinheit der Farbkonsistenz ist SDCM (Abkürzung für „Standard Deviation of Colour Matching“). Der SDCM-Wert nimmt Bezug zur Normfarbtafel und den sogenannten „MacAdam-Ellipsen“. Die MacAdam-Ellipsen sind nach ihrem Entdecker benannt und markieren Bereiche innerhalb der Normfarbtafel, in denen der Mensch keine Farbunterschiede mehr wahrnehmen kann. Zur Klassifizierung von Farbabweichungen werden unterschiedliche Stufen von MacAdam-Ellipsen definiert. MacAdam1 wäre eine sehr kleine Ellipse mit einem entsprechend eng begrenzten Bereich unterschiedlicher Farben. Mit steigender Zahl (MacAdam1, MacAdam2 usw.) werden die Ellipsen und die Unterschiede der Farben darin größer.

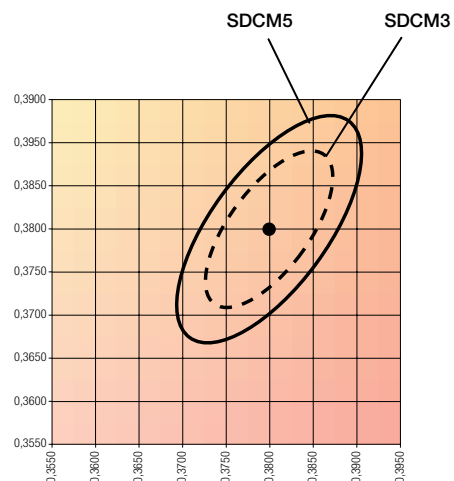
Die Angabe SDCM1 bzw. MacAdam1 bedeutet also, dass die Farbabweichung eines LED-Moduls innerhalb einer MacAdam1-Ellipse um den vorgegebenen Farbort liegen muss. Eine größere Abweichung, mit einem Farbort außerhalb der MacAdam1-Ellipse (aber innerhalb der nächstgrößeren MacAdam2-Ellipse) würde zu einer Klassifizierung als SDCM2 bzw. MacAdam2 führen. Farbabweichungen im Bereich SDCM1 sind für den Menschen praktisch nicht wahrnehmbar. Ein Wert von SDCM3 stellt einen guten Kompromiss dar und hat sich als eine Art Standard etabliert.

Praxisbeispiel

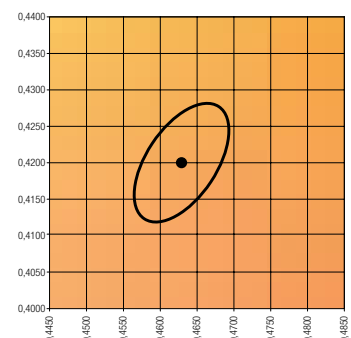
Farbangaben aus dem Datenblatt eines LED-Moduls von Tridonic: Farbtemperatur (2.700 K), Farbort ($x=0,463$; $y=0,420$), Farbkonsistenz (SDCM3), sowie graphische Darstellung von Farbort und MacAdam-Ellipse.



Farbortbestimmung der Farbtemperatur Neutralweiß über die x - und y -Koordinaten ($x=0,38$; $y=0,38$)



Farbort der Farbtemperatur Neutralweiß ($x=0,38$; $y=0,38$) mit den MacAdam-Ellipsen SDCM3 und SDCM5





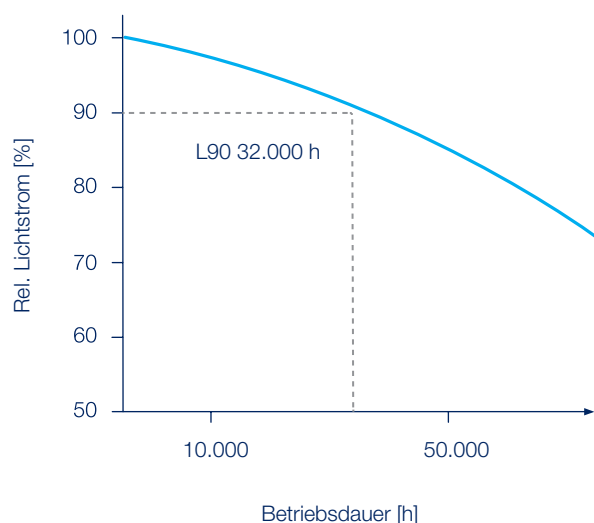
LED-Lebensdauer

Hohe Energieeffizienz bei langer Lebensdauer

Die Lebensdauer eines Geräts wird typischerweise definiert als der Punkt, an dem ein gewisser Prozentsatz an Geräten ausfällt. Für LEDs ist diese Definition aber nicht wirklich geeignet. Ein gut konzipiertes LED-Paket fällt in der Regel nicht vollständig aus. LEDs können sehr lange betrieben werden, der Alterungsprozess zeigt sich daran, dass der Lichtstrom mit der Zeit schrittweise zurückgeht. Dementsprechend beinhalten die Lebensdauer-Definitionen von LEDs unterschiedliche Parameter zur Beschreibung des Verhaltens der LEDs.

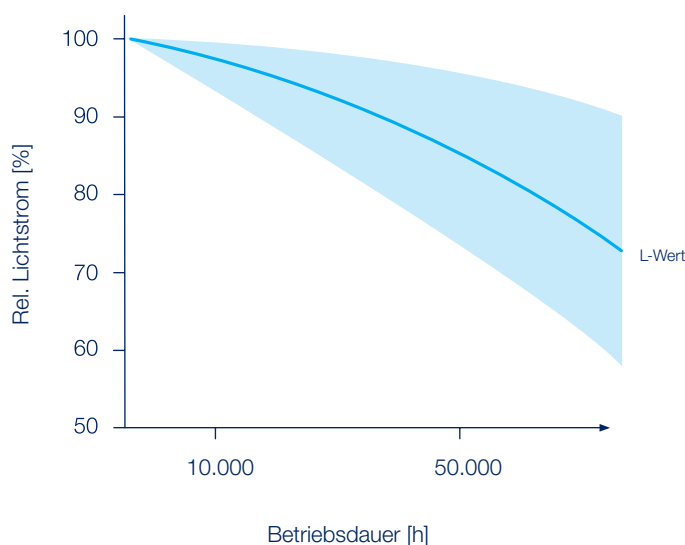
L-Wert (L_p)

L_p beschreibt den Restlichtstrom als Prozentsatz des Ursprungslichtstroms. Die Angabe erfolgt in Verbindung mit einer bestimmten Betriebsdauer. Das folgende Schaubild illustriert den Zusammenhang: Die cyan-farbige Linie zeigt die Lichtleistung. Im Zeitverlauf geht diese schrittweise zurück. Nach 32.000 Stunden ist die Lichtleistung auf 90 Prozent des ursprünglichen Werts gefallen. Dies wird bezeichnet als L_{90} bei 32.000 Stunden.

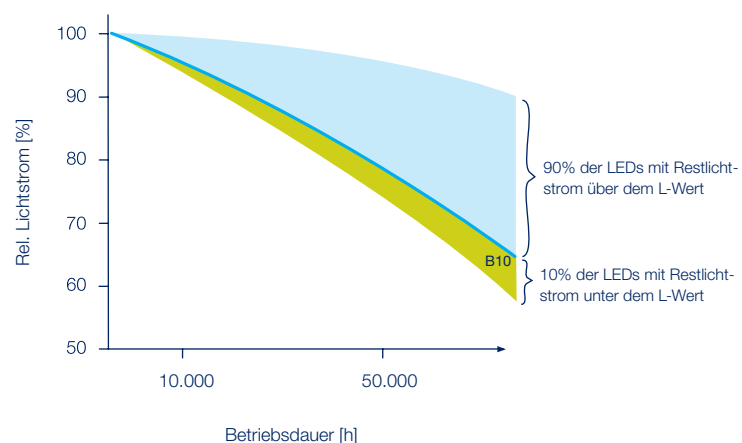
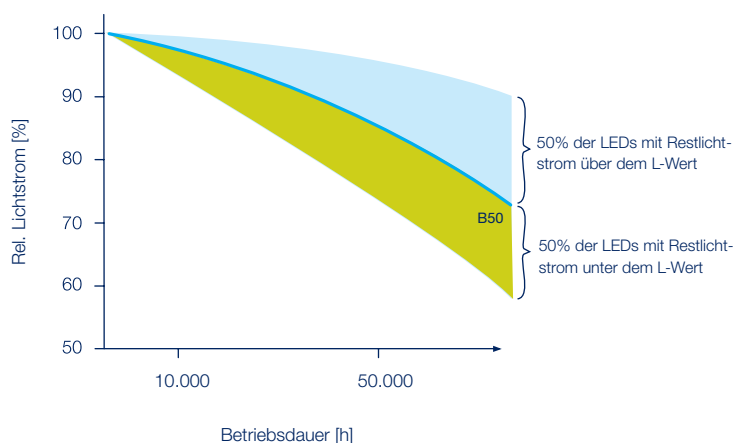


B-Wert (B_p)

Die Darstellung des Lichtstroms als einzelne einheitliche Linie ist nicht realitätsnah. In der Praxis zeigen sich Abweichungen mit einer gewissen Bandbreite unterschiedlicher Werte: Einzelne LED-Module haben einen höheren Verlust, andere einen geringeren. Das folgende Schaubild illustriert den Zusammenhang: Die cyanfarbige Linie zeigt die Lichtleistung (den L-Wert) bestimmter LEDs. Der hellblaue Bereich zeigt die Bandbreite aller LEDs mit Werten sowohl darüber als auch darunter.

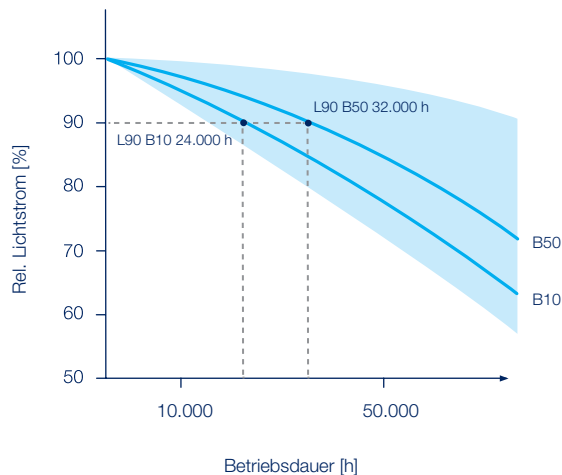


Um die Bandbreite der Werte bzw. die Abweichungen vom L-Wert zu beschreiben, wurde der B-Wert eingeführt: Der B-Wert beschreibt den Prozentsatz an LEDs, die den angegebenen L-Wert nicht erreichen. Durch Festlegung eines geringen B_p werden höhere Anforderungen an die Lebensdauer gestellt. Bei der Gesamtbeurteilung der Lebensdauer eines LED-Moduls müssen deswegen L_p und B_p gleichermaßen betrachtet werden. Die folgenden Schaubilder zeigen den Zusammenhang für zwei typische Werte: B_{50} und B_{10} .



Kombination von L-Wert und B-Wert

Das folgende Schaubild illustriert die Kombination von L_p und B_p . Die Lebensdauer der LED-Module lässt sich dabei auf unterschiedliche Art beschreiben, je nachdem, welcher Wert als Ausgangsgröße verwendet wird.



Bei der Kombination $L_{90} B_{50}$ 32.000h haben 50 Prozent der LEDs bei 32.000 Betriebsstunden einen Restlichtstrom von weniger als 90 Prozent des ursprünglichen Wertes. Bei der Kombination $L_{90} B_{10}$ 24.000h sind es 10 Prozent der LEDs die bei 24.000 Betriebsstunden einen Restlichtstrom von weniger als 90 Prozent des ursprünglichen Wertes haben.

Es gibt zwei weitere Werte, den C-Wert und den F-Wert.

C-Wert (C_p)

C_p beschreibt den Prozentsatz an Komplett-Ausfällen.

F-Wert (F_p)

F_p beschreibt die kombinierte Ausfallrate. Dies ist eine Kombination aus allmählichem Versagen (B_p) und Komplett-Ausfällen (C_p).

Energieeffizienz von LEDs

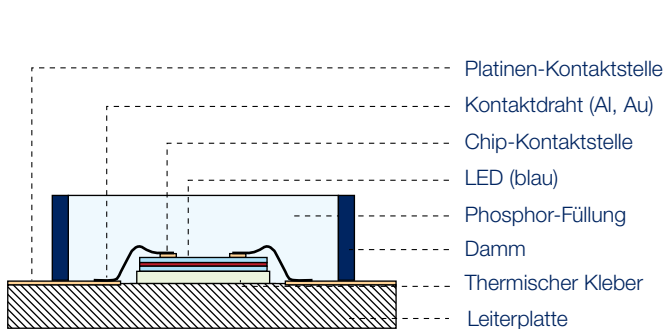
LEDs sind sehr energieeffizient. Im Vergleich zu T5- oder T8-Leuchtstofflampen benötigen sie 40 bis 60 Prozent weniger Energie. Die Energieeffizienz bzw. Lichtausbeute wird beschrieben als Quotient aus dem abgegebenen Lichtstrom und der aufgenommenen elektrischen Leistung. Der gemessene anfängliche Lichtstrom wird durch die gemessene anfängliche Eingangsleistung derselben LED-Leuchte geteilt. Die Leuchten-Lichtausbeute wird in Lumen pro Watt (lm/W) angegeben. Die Energieeffizienz sollte immer für das System als Ganzes angegeben werden und klar darstellen, auf welche Temperaturwerte sich die angegebenen Effizienzwerte beziehen. Die Temperatur hat großen Einfluss auf die Effizienz. Um realistische Ergebnisse zu erhalten, sollte eine Referenztemperatur von circa 65°C gewählt werden, da dies der typischen Betriebstemperatur entspricht.

Bauarten von LEDs

Chip-on-Board (COB) und Surface-Mounted-Device (SMD)

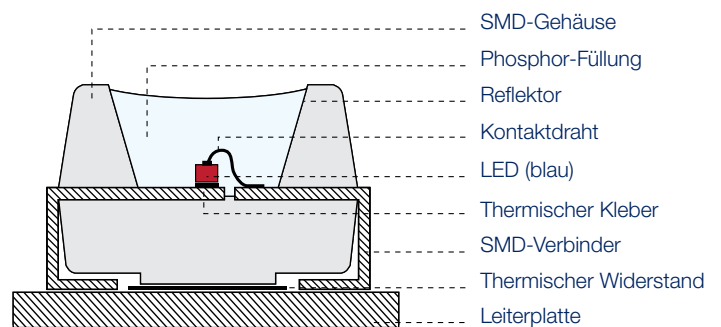
Das Anbringen von LEDs auf der Leiterplatte geschieht entweder mittels SMD-Technologie oder mittels Chip-on-Board-Technologie. Bei der Chip-on-Board-Technologie werden die Einzelkomponenten der LED (Chip, Konversionsmaterial, elektrische Verbindungen) auf der Leiterplatte zusammengesetzt. Bei der SMD-Technologie werden vorgefertigte Bauelemente als Ganzes aufgelötet.

Die Entscheidung, welche Technologie genutzt wird, hängt vom Anwendungsfall ab. Typischerweise wird SMD häufiger für Flächenmodule, COB häufiger für Spotmodule verwendet. Ein anderer Aspekt sind die Produktionskosten. COB sind im Regelfall aufwendiger in der Produktion und dadurch teurer. Ausgeglichen wird dieser Nachteil durch besseres Thermomanagement der Module und eine höhere Leuchtdichte.



Chip-on-Board-Technologie (COB)

Bei der Chip-on-Board-Technologie werden ungehäusete Halbleiterchips – englisch „die“ bezeichnet – durch einen Kleber mit hoher thermischer Leitfähigkeit direkt auf die Platine aufgebracht und über den Kontakt draht mit den Anschlussflächen der Leiterplatte verbunden. Zur Kontaktierung werden Gold-Drähte mit Querschnitten im Mikrometerbereich verwendet. Die offen liegenden Komponenten werden mit einer Vergussmasse überzogen, um sie vor mechanischen Einflüssen und Verschmutzung zu schützen. Dabei wird die sogenannte „Dam and Fill“-Technik eingesetzt. Zuerst wird mit einer zähen Flüssigkeit ein Damm um die Komponenten gezogen. Anschließend wird der Zwischenraum mit einer Flüssigkeit ausgefüllt, die danach aushärtet.



Surface-Mounted-Device-Technologie (SMD)

Die SMD-LED erlauben eine automatische Bestückung von Platinen beziehungsweise extrem flacher und schmaler Module. Die gekapselten SMD-LED werden direkt auf einer Leiterplatte verklebt und im Lötbad kontaktiert. Der Aufbau dieser Bauelemente erfüllt dadurch die Anforderungen in der Allgemeinbeleuchtung wie Lichtqualität und Thermomanagement. Als Nachteil dieser Technologie erhöht sich der thermische Widerstand durch Packaging und Lötstelle. Zudem ist die Packungsdichte auf dem LED-Chip verglichen mit der COB-Technologie geringer.

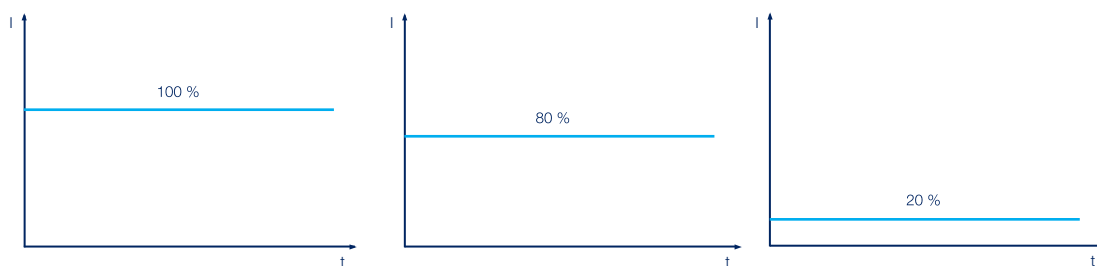


Dimmen von LEDs

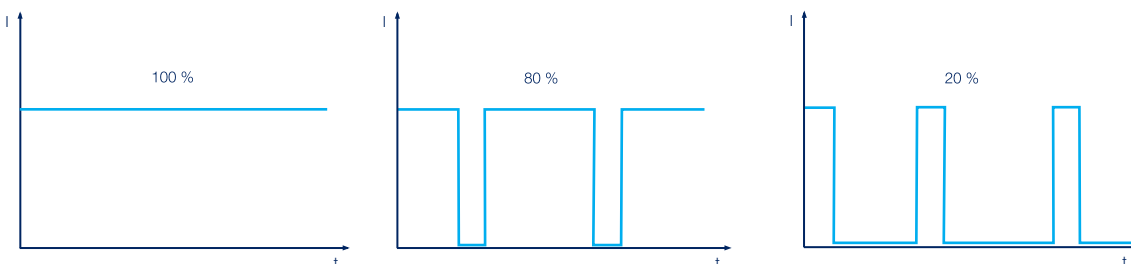
Analoges Dimmen und Pulsweiten-Modulation

Technologisch gesehen, lassen sich LEDs prinzipiell sehr gut dimmen. Die Absenkung des Lichtstroms geschieht dabei durch Reduzierung des Vorwärtsstroms, der die LED durchfließt. Dazu stehen zwei unterschiedliche Techniken zur Verfügung: Analoges Dimmen und Pulsweiten-Modulation (PWM).

Beim Analogen Dimmen wird die Amplitude des Vorwärtsstroms abgesenkt. Bei der Pulsweiten-Modulation bleibt die Amplitude konstant. Es wird aber der Stromfluss im Rhythmus einer bestimmten PWM-Frequenz zyklisch unterbrochen. Je länger die Stromlücken sind, desto niedriger wird der effektive bzw. der mittlere Strom durch die LEDs und damit deren wahrgenommene Helligkeit.



Analoges Dimmen mit unterschiedlichem Dimmlevel



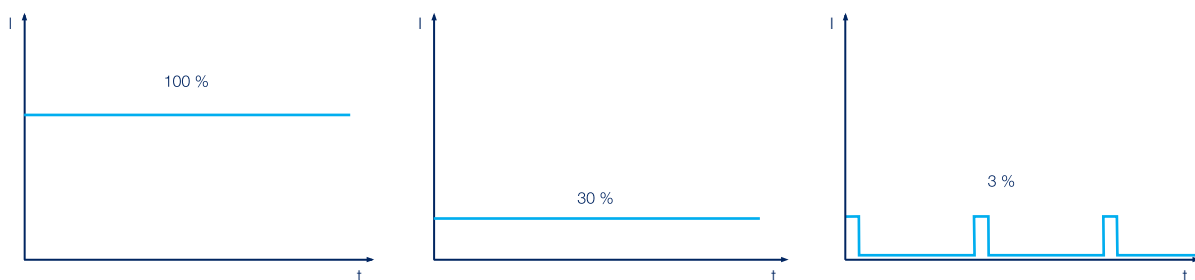
Dimmen mit Pulsweiten-Modulation

Die beiden Methoden, Analoges Dimmen und Pulsweiten-Modulation, weisen spezifische Vor- und Nachteile auf.

Beim analogen Dimmen können sich Unterschiede in der Lichtausbeute verschiedener LEDs oder Verschiebungen im Farbbort zeigen. Diese Einschränkungen treten allerdings nur bei tiefen Helligkeitswerten auf, sind für alle Lichtpunkte gleich und für das menschliche Auge praktisch nicht wahrnehmbar.

Die Pulsweiten-Modulation ist insgesamt weniger effizient als Analoges Dimmen, wobei diese Effizienzprobleme vor allem bei hohen Helligkeitswerten zum Tragen kommen. Damit das Ein- und Ausschalten des Stromflusses nicht als Flimmern wahrgenommen wird, muss außerdem darauf geachtet werden, dass die PWM-Frequenz hoch genug ist. In der Regel sind 200 Hz oder mehr ein akzeptabler Wert.

Beide Methoden können auch miteinander kombiniert werden, etwa in der Form, dass sie für unterschiedliche Helligkeitsbereiche eingesetzt werden.



Kombination von analogem Dimmen und Dimmen mit Pulsweiten-Modulation



ZHAGA

Kompatibilität von LED-Lichtquellen

Zhaga ist ein 2010 initiiertes Konsortium, das sich um die Belange der LED-Beleuchtung und deren Vereinheitlichung kümmert. Es ist weltweit aktiv und hat über 194 Mitgliedsfirmen (Stand: 2015).

Ziel des Zhaga-Konsortiums ist es, die Austauschbarkeit und Kompatibilität von LED-Lampen unter den vielen Herstellern zu gewährleisten. Zu diesem Zweck definiert Zhaga die Schnittstellen für die verschiedenen Beleuchtungskörper und -fassungen. Dazu gehören die physikalischen Abmessungen der Lampensockel, ebenso wie das photometrische, elektrische und thermische Verhalten der Leuchtdioden und LED-Leuchten. Durch die Vereinheitlichung werden die angebotenen Produkte vergleichbar, was sowohl der herstellenden Industrie als auch den Konsumenten zu Gute kommt.



Zhaga

Making LED light sources interchangeable.

Support und Beratung aus erster Hand

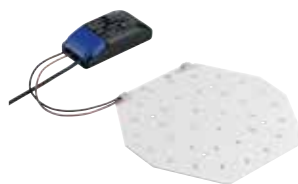
Gerne stehen wir Ihnen zur Seite bei der Realisierung von wirtschaftlich und funktional überlegenen Lichtlösungen, ganz nach dem Motto: Wir stecken unsere ganze Energie in Ihr Licht.



TALEXengine DLE



TALEXengine DLE Integrated



TALEXengine CLE



TALEXengine CLE Integrated



TALEXengine SLE



TALEXengine FLE



TALEXengine LLE



TALEXengine QLE

Als internationales Unternehmen ist Tridonic weltweit mit 30 eigenen Niederlassungen und Partnern in 73 Ländern vertreten.



Hauptsitz

Tridonic GmbH & Co KG
Färbergasse 15 | 6851 Dornbirn, Austria
T +43 5572 395-0 | F +43 5572 20176
www.tridonic.com | sales@tridonic.com

Light you want to follow.

