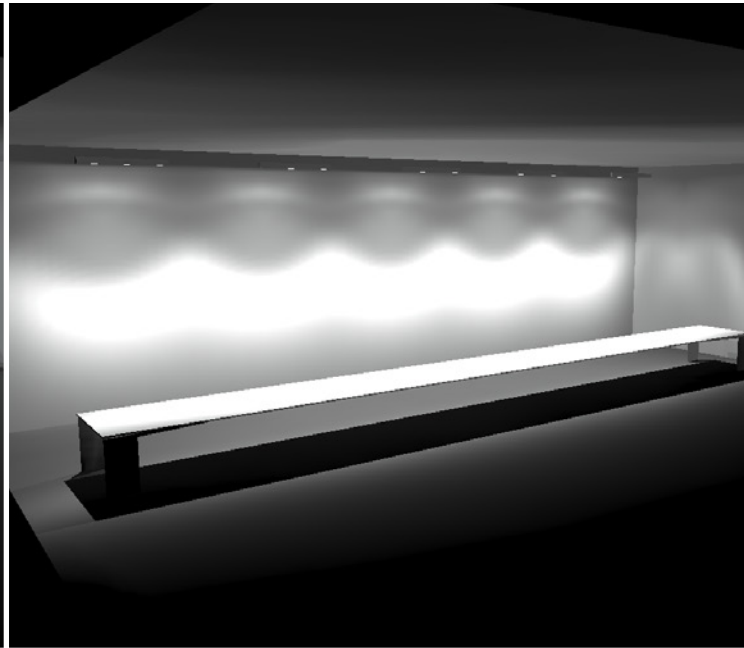
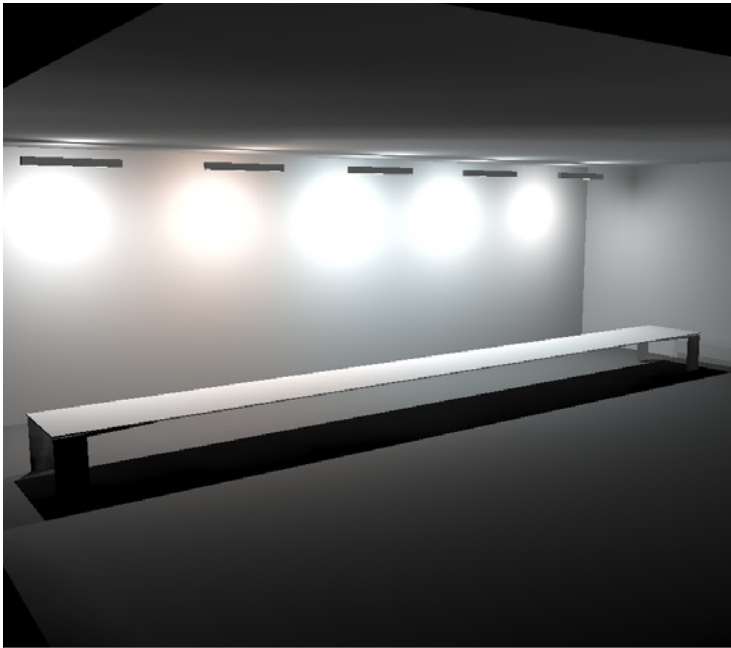


Warum LED nicht gleich LED ist!

Qualitätskriterien von LED Chips
und LED Beleuchtungssystemen



► **Inhaltsverzeichnis**

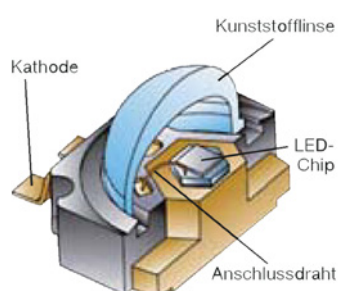
1.	Funktionsweise der LEDs.....	3
1.1	Weißes und farbiges Licht.....	3
1.2	Lebensdauer.....	4
2.	Qualitätskriterien der LED – Chips.....	5
2.1	Binning.....	5-6
3.	Lichtqualität.....	7
3.1	Farbwiedergabe.....	7
3.2	Farbtemperatur.....	7
3.3	Farbort.....	8
3.4	Farbkonsistenz (SDCM)	8
4.	Qualitätskriterien von LED – Leuchten.....	9
4.1	Thermomanagement.....	9
4.2	Bauformen.....	9
4.3	Lichtverteilung.....	10
4.4	Produktionsstufen	10
5.	Dimmmöglichkeiten.....	11
6.	Zusammenfassung.....	12

1. Funktionsweise der LEDs

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.

Aufbau

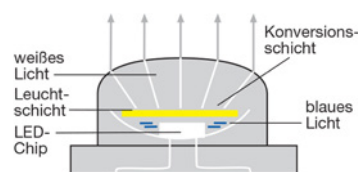


LEDs basieren auf Halbleiterverbindungen. Schon wenig Energie reicht aus, um sie zum leuchten anzuregen. Die Leuchtdioden bestehen aus einem negativ leitenden Grundhalbleiter mit einem Überschuss an Elektronen. Darüber kommt eine sehr dünne, positiv leitende Halbleiterschicht mit einem Mangel an Elektronen, „Löcher“ genannt. Unter Spannung wandern die überzähligen Elektronen und die „Löcher“ aufeinander zu und rekombinieren in der sogenannten Sperrschicht. Die freigesetzte Energie wird im Halbleiterkristall in Strahlung umgesetzt.

1.1 Lichtfarbe

Weißes und farbiges Licht – direkt aus dem Halbleiter

LEDs brauchen keine Farbfilter Ihr Licht wird durch unterschiedliche Halbleitermaterialien direkt in verschiedenen Farben erzeugt. Durch die Mischung der Grundfarben Rot, Blau, Grün sind nahezu alle Farben möglich.



Weißes Licht wird durch eine blaue LED erzeugt auf der eine gelbe Phosphorschicht aufgetragen wird. Somit sind Farbtemperaturen von 2700 bis 6500 Kelvin möglich.

Lichtfarben	Halbleitermaterial
Grün, Blau, (Weiß)	Indium, Gallium, Nitrid
Rot, Amber, Gelb	Aluminium Indium, Gallium, Phosphid
Rot	Aluminium-Galliumarsenid

1.2 Lebensdauer

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)

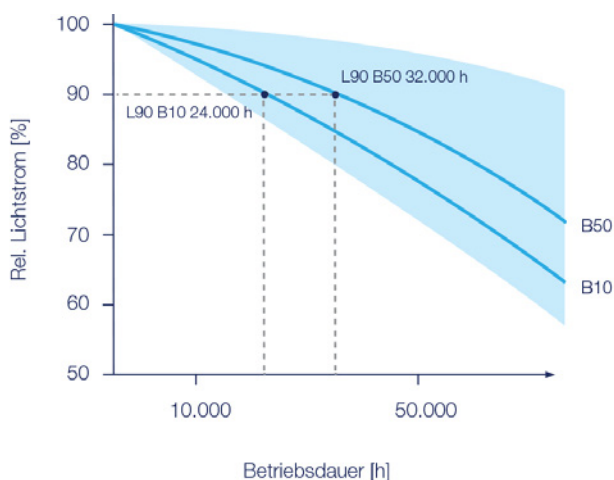
L_p beschreibt den Restlichtstrom als Prozentsatz des Ursprungslichtstroms. Die Angabe erfolgt in Verbindung mit einer bestimmten Betriebsdauer. Z.B. L90 bei 32.000 Std. – d.h. der Lichtstrom beträgt nach 32.000 Stunden noch 90% des Ursprungswertes.

B-Wert (B_p)

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.

Eine praxisorientierte Lebensdauerangabe erfordert somit eine Kombination beider Werte.

Kombination von L-Wert und B-Wert



Bei der Kombination L90 B50 32.000h haben 50 Prozent der LEDs bei 32.000 Betriebsstunden einen Restlichtstrom von weniger als 90 Prozent des ursprünglichen Wertes. Bei der Kombination L90 B10 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.

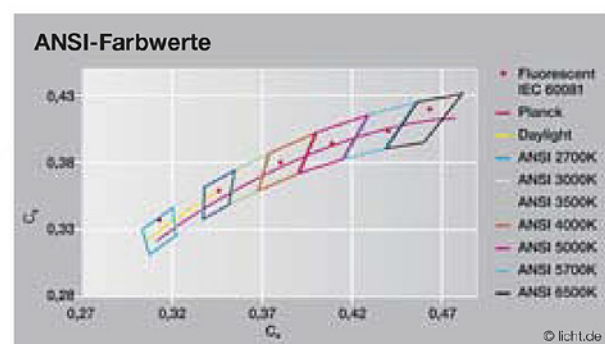
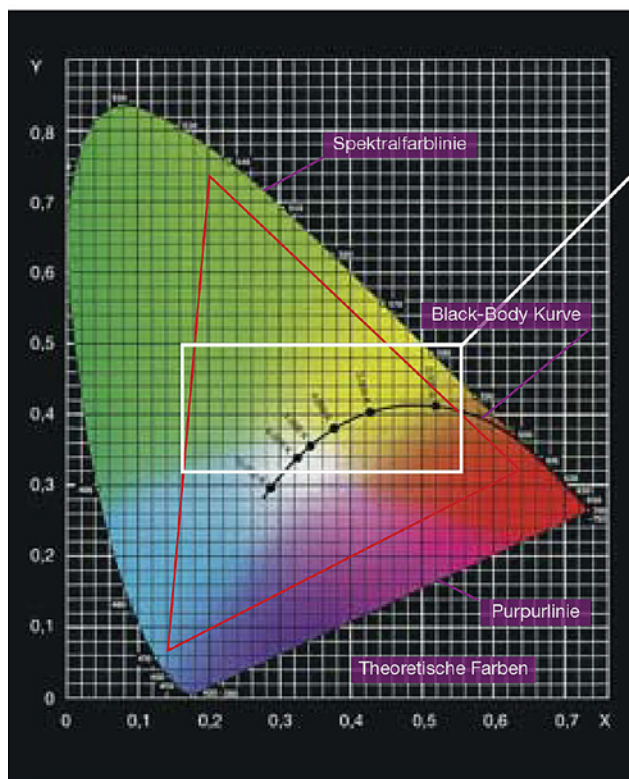
F-Wert - (F_p) F_p beschreibt die kombinierte Ausfallrate. Dies ist eine Kombination aus allmählichem Versagen (B_p) und Komplett-Ausfällen (C_p).

2. Qualitätskriterien der LED Chips

2.1 Binning

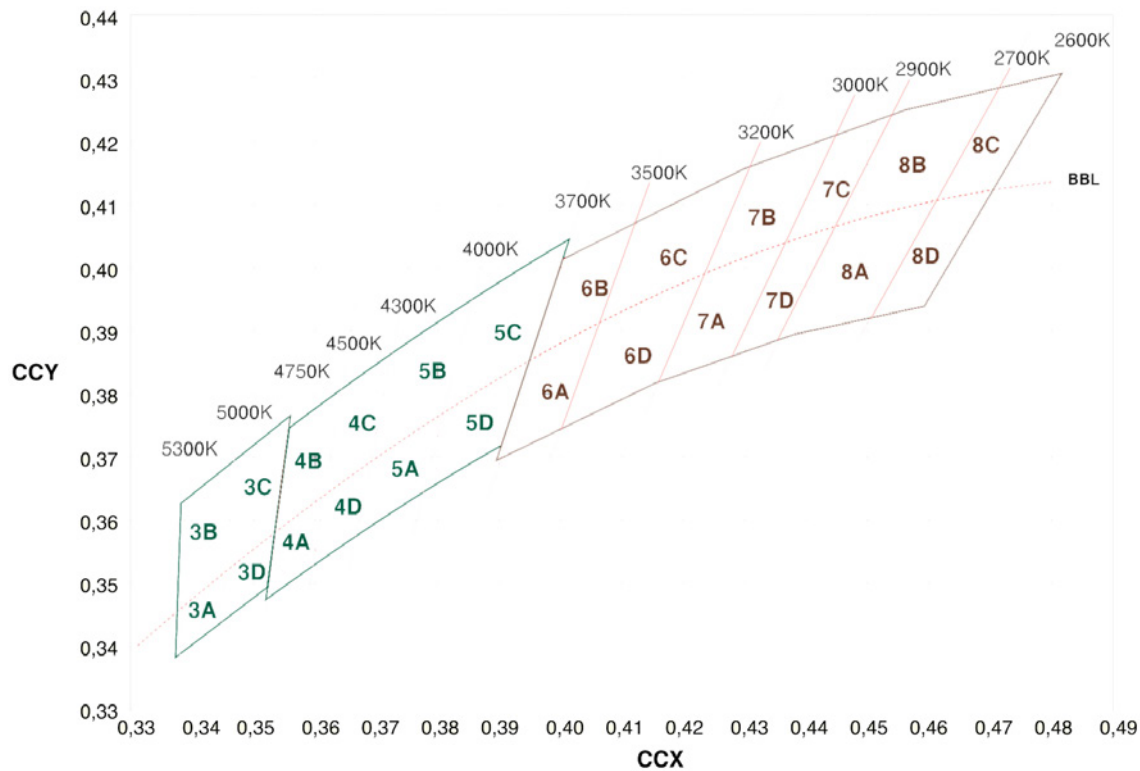
Bei der industriellen Produktion von LEDs kommt es innerhalb einer Charge immer zu Abweichungen. Die Dioden variieren zum Beispiel in ihrer Farbe und Leuchtkraft. Damit eine konstante Lichtqualität mit gleichem Helligkeitsniveau und einheitlicher Lichtfarbe gewährleistet ist, müssen die LEDs einer Charge sortiert werden („Binning“ genannt). Wichtige Auswahlkriterien sind hier: > Lichtstrom, gemessen in Lumen (lm) > Farbtemperatur, gemessen in Kelvin (K) > Vorwärtsspannung, gemessen in Volt (V).

Definition der Farbwerte weißer LEDs



Die Farbwerte von LEDs unterliegen natürlichen Schwankungen. Sie müssen kategorisiert werden, damit eine einheitliche Lichtfarbe gewährleistet ist. Die Sortierung der LEDs nach ihrem Farbwert heißt „Binning“. Das rote Dreieck im Farbdreieck (links) der internationalen Beleuchtungskommission CIE zeigt den Raum auf, in dem theoretisch ein Farbort durch Farbmischung von drei LEDs eingestellt werden kann. Befindet sich die Binninggruppe auf der schwarz eingezeichneten Plank'schen Kurve, spricht man von einem „reinen Weiß“. Liegt das Bin oberhalb der Kurve, wirkt die LED grünlich. Heute werden LEDs nach der ANSI-Norm (ANSI = American National Standards Institute) sortiert. Sie definiert Farbwertabweichungen im xy-Raum mithilfe der MacAdam-Ellipse und empfiehlt, dass der Farbwert innerhalb einer Ellipse mit vier Schwellwerteinheiten liegen sollte. LEDs dieser eng gefassten Bins garantieren einheitliche Lichtfarben, zum Beispiel 2.700 Kelvin für Warmweiß.

Beispiel: Binninggruppen LED - Chips



Der Leuchtenhersteller hat die Wahl, aus welchem Binning er die LEDs für seine Leuchten bezieht. Ein sehr feines Binning führt dazu, dass man keine relevanten Unterschiede beim Farbeindruck, Helligkeit und Farbveränderungen der Leuchten wahrnimmt. Allerdings ist dies wiederum sehr teuer, da nur eine geringe Stückzahl der LEDs Produktionscharge in Frage kommt. Der Vollständigkeit halber sei hier erwähnt, dass das Binning nicht nur in Bezug auf den Farbort, sondern auch in Bezug auf den Lichtstrom, die Farbwiedergabequalität oder weitere Parameter vorgenommen werden kann.

3. Lichtqualität

Die Qualität des Lichtes ist entscheidend für die zu erfüllende Sehaufgabe und die gewünschte Lichtatmosphäre. Das von einem LED-Modul erzeugte Licht lässt sich über die Parameter Farbwiedergabe, Farbtemperatur, Farbtort und Farbkonsistenz genau beschreiben

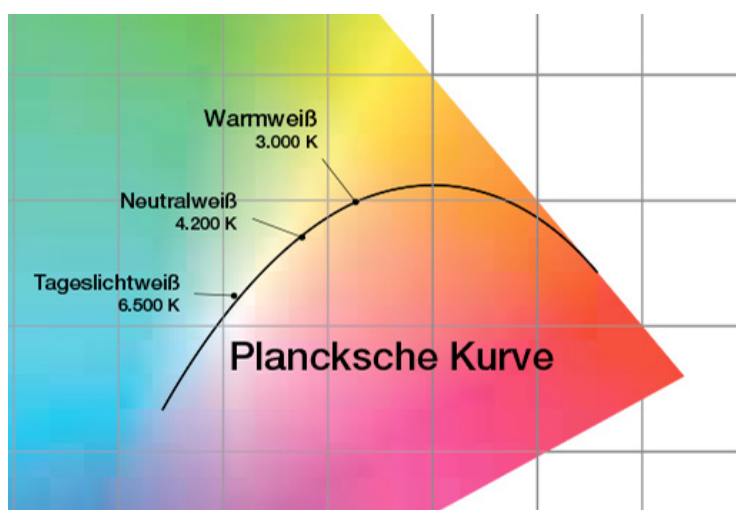
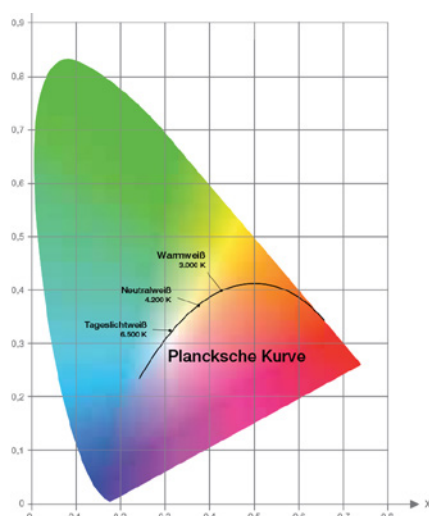
3.1 Farbwiedergabe

Der Farbwiedergabeindex Ra (englisch: Colour Rendering Index, CRI) ist eine Maßzahl, die beschreibt, wie wirklichkeitstreu eine Lichtquelle die unterschiedlichen Farben eines Objektes wiedergibt.

Der maximal mögliche Wert des Ra liegt bei 100. Dies entspricht einer Farbwiedergabe ohne jede Verfälschung. Sonnenlicht hat einen Ra von bis zu 100, eine weiße LED liegt zwischen 70 bis 98. Für den praktischen Einsatz bedeutet dies, dass LED-Leuchtmittel mit einem höheren Ra-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.

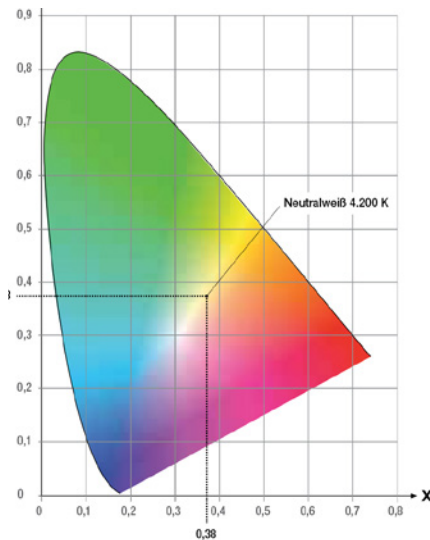
3.2 Farbtemperatur

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

3.3 Farbort

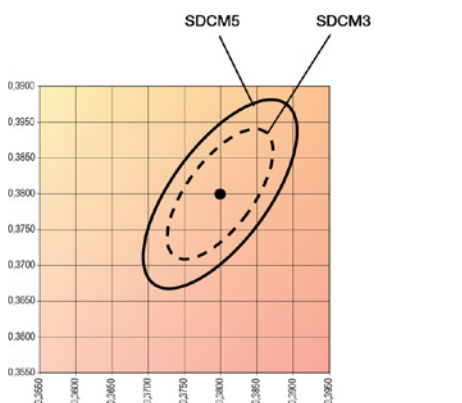


Farbortbestimmung der Farbtemperatur Neutralweiß
über die x- und y-Koordinaten ($x=0,38$; $y=0,38$)

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.

3.4 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.



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

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.

4. Qualitätsmerkmale von LED – Leuchten

Ein System ist immer nur so gut wie die einzelnen Komponenten!

Die richtige Auswahl der LED Chips, der Leiterplatten, der optischen Systeme und der Betriebsgeräte entscheiden über die Qualität der LED-Leuchte. Besondere Bedeutung für die Effizienz und Lebensdauer einer LED Leuchte, hat das Thermomanagement, die dauerhafte Wärmeabführung vom LED Chip.

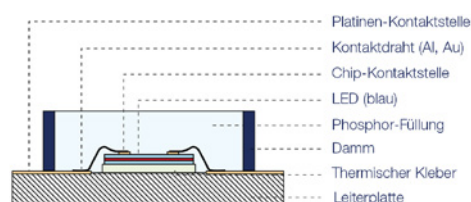
4.1 Thermomanagement

Auch wenn das abgestrahlte Licht einer LED nicht heiß ist, ist es doch eine falsche Annahme, dass LEDs keine Wärme abgeben. Denn ebenso wie bei anderen Lampen, wird auch in LEDs nur ein Teil der Energie in Licht umgesetzt – innerhalb des Halbleiters entsteht Wärme. Diese Leitungswärme muss unbedingt abgeführt werden, damit eine lange Lebensdauer und hohe Effizienz gewährleistet sind. Dies gilt insbesondere für LEDs mit hohem Lichtstrom. Seriöse Hersteller geben für ihre LEDs deshalb stets eine Umgebungstemperatur an, bei der die Lichtströme und Lebensdauer ihrer Leuchten und Module erreicht werden.

4.2 LED – Bauformen

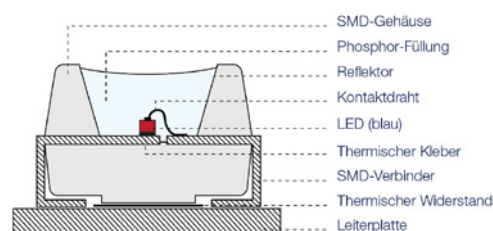
Chip-on-Board (**COB**) und Surface-Mounted-Device (**SMD**)

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 ungehäuste Halbleiterchips – englisch „die“ bezeichnet – durch einen Kleber mit hoher thermischer Leitfähigkeit direkt auf die Platine aufgebracht und über den Kontaktendraht mit den Anschlussflächen der Leiterplatte verbunden. Zur Kontaktierung werden Gold-Drähte mit Querschnitten im Mikrometerbereich

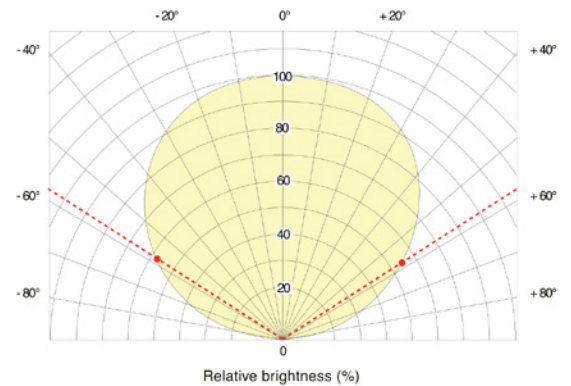
verwendet. Die offenliegenden Komponenten werden mit einer Vergussmasse überzogen, um sie vor mechanischen Einflüssen und Verschmutzung zu schützen. Dabei wird die sogenannte „Dam and Fill“-Technik eingesetzt. Zuerst wird mit einer zähen Flüssigkeit ein Damm um die Komponenten gezogen. Anschließend wird 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.

4.3 LED Lichtverteilung

Die LED strahlt omnidirektional (Lambertsche Funktion) das Licht ab, mit einem durchschnittlichen Abstrahlwinkel von 90 bis 120° Grad. Die präzise, zielgerichtete Verteilung des Lichtes hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Effizienz der LED Leuchte. Hierfür werden Optiken, Reflektoren oder Diffusoren (je nach Lichtanwendung) verwendet. Optiken und Reflektoren erreichen Abstrahlwinkel von 6° bis 50°. Diffusoren mit microprismatischen Eigenschaften erzielen ein blendfreies homogenes Lichtbild.



4.4 Produktionsstufen einer LED Leuchte

0. Die Qualität einer LED Leuchte beginnt bei der Auswahl des LED Chips. Das Farb-, Helligkeits- und Farbkonsistenzbinning ist hier für die Lichtqualität entscheidend.
1. Die Bauform des Chips und die Weiterverarbeitung auf hochwertige (Keramik) Trägermaterialien (Package) entscheiden maßgeblich über den Wärmewiderstand und somit über die Effizienz des gesamten Thermomanagements und die Lebensdauer des Chips
2. Der Kupferanteil in der Leiterplatte erhöht deutlich die Wärmeleitfähigkeit, eine reflektionsoptimierte Oberflächenbeschichtung steigert den Wirkungsgrad.
3. Präzision, Klarheit und Wirkungsgrad der Optik und Reflektoren werden nur bei optimaler Positionierung des LED Chips zum Licht-Einspeisepunkt erzielt.
4. Das Gehäuse ist maßgeblicher Bestandteil des Thermomanagements, schützt die LEDs vor mechanischen und witterungsbedingten Einflüssen.

Produktion einer LED-Leuchte

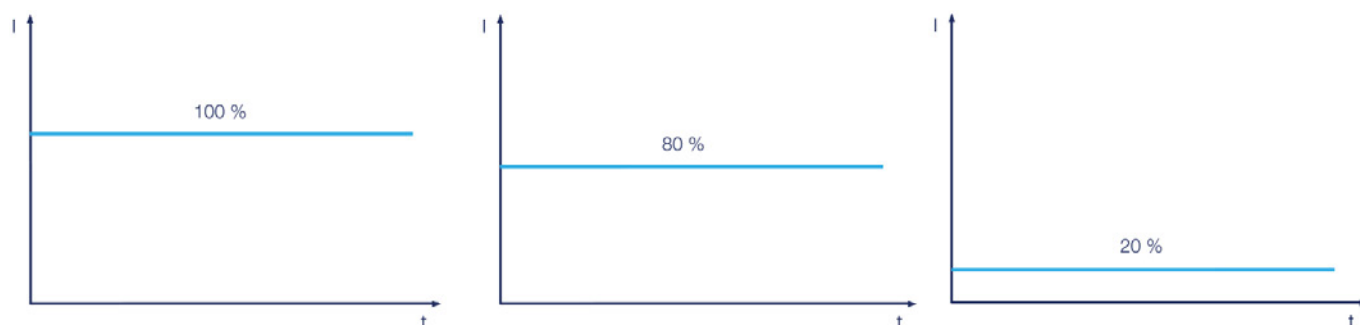
				
Stufe 0 LED-Chip	Stufe 1 LED (Diode)	Stufe 2 LEDs auf Leiterplatte	Stufe 3 Ausstattung mit Optik und Treibern	Stufe 4 Komplette Leuchte

5. LEDs – Dimmmöglichkeiten

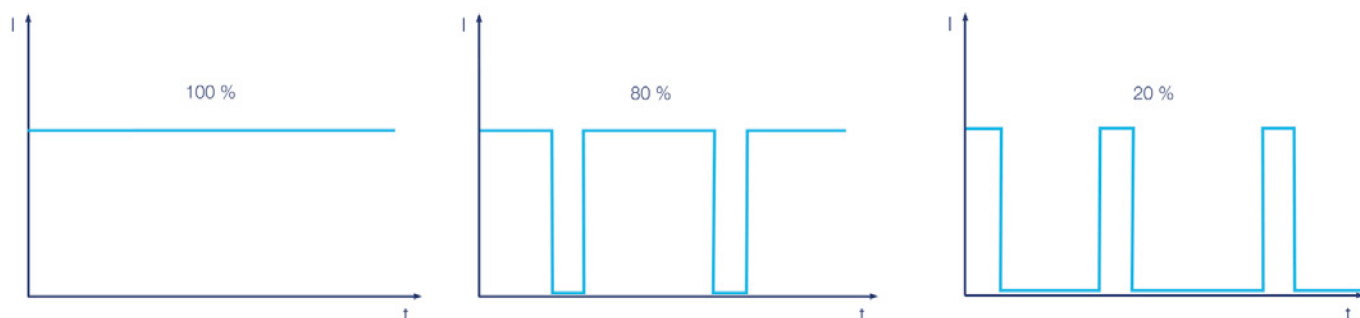
Analoges Dimmen und Pulsweiten-Modulation

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

6. Warum sollten Sie sich für LEaD Light – LED Leuchten entscheiden

Lichtqualität und Energieeffizienz:

- ▶ hohe Farbkonsistenz und Farbwiedergabe
- ▶ sehr geringer Abfall der Lichtleistung während der gesamten Lebensdauer des Produkts.
- ▶ Exzellente Systemeffizienz (bis zu 130lm /W).

Funktionelles Design:

- ▶ hochwertige Leuchtengehäuse
- ▶ Modularer Aufbau – Wechsel einzelner LED Module möglich
- ▶ optimale Wärmeableitung

Performance:

- ▶ konstanter Lichtstrom
- ▶ präzise Lichtverteilung

Systemgarantie:

- ▶ System (LED – Modul + Treiber + Gehäuse)
- ▶ Hohe Zuverlässigkeit und konstante Leistung.
- ▶ lange Lebensdauer (L90 B10 – 50.000Std.)

Farbkonsistenz:

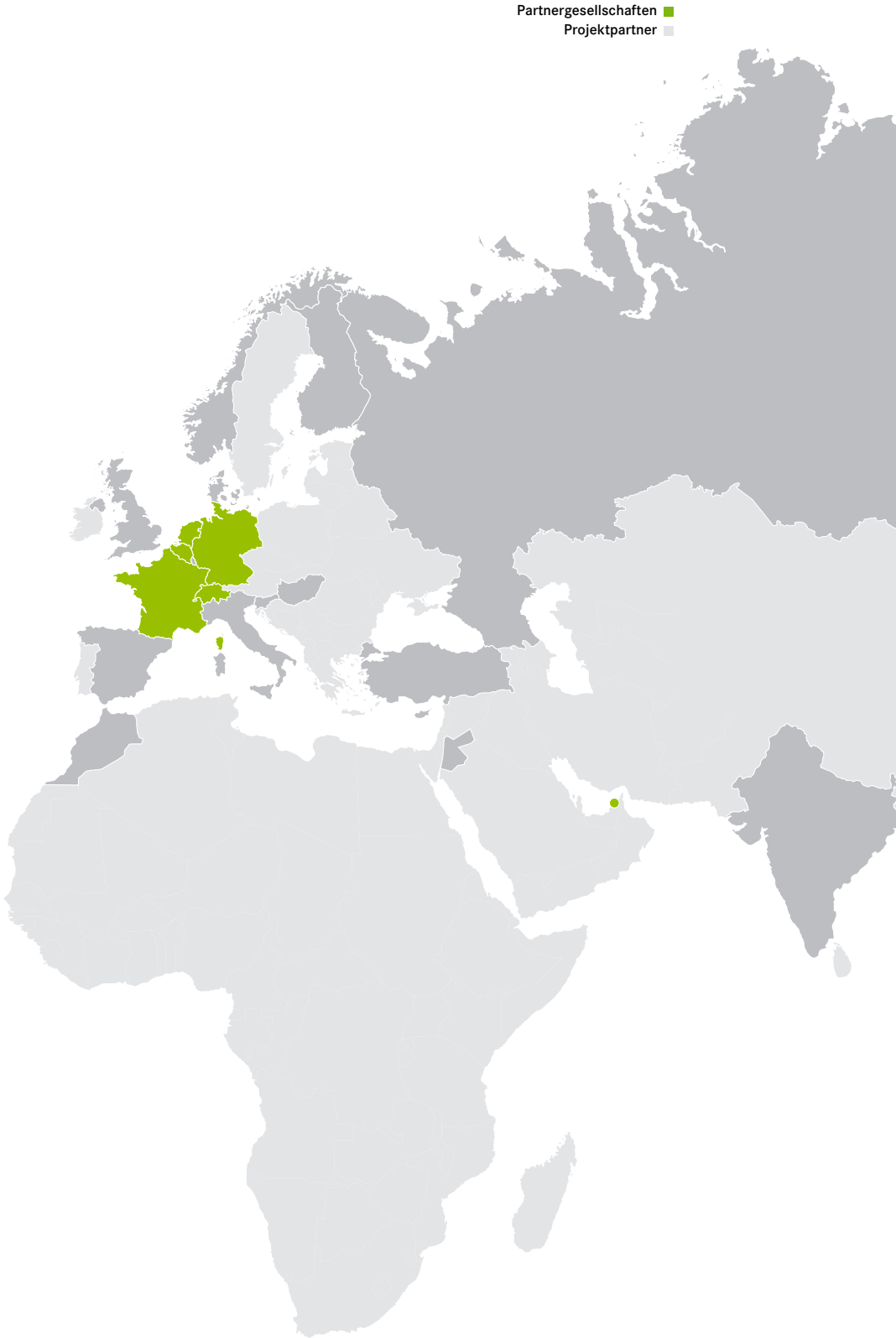
Die Farbgenauigkeit pro Leuchte und System ist innerhalb von 3 SDCM.
Somit werden keine Farb- und Helligkeitsunterschiede sichtbar.

Abstimmung mit Ihren Sachversicherer:

Jede LED Leuchte muss hohen Qualitäts- und Sicherheitsansprüchen entsprechen. Konformitätserklärungen, Prüfzeichen, Zulassungen und Approbationen sind hier zwingend erforderlich. Dies ist insbesondere bei der Abstimmung mit den Sachversicherern wichtig (siehe Merkblatt – VDS – Publikation zur Schadenverhütung).
Gerne beraten wir Sie individuell für Ihr Projekt.

Quellenangaben:

TRIDONIC	Whitepaper LED Grundlagen
DIAL	Fachartikel „Farbortverschiebung bei LEDs“
FGL	Lichtwissen LED



LEaD LIGHT
Experts in LED

LEaD LIGHT GmbH

Hoogeweg 132
47623 Kevelaer

Tel.: +49 2832/975208-0
Fax: +49 2832/975208-88

Web: www.LEaD-LIGHT.de
Mail: info@LEaD-LIGHT.de