

WhitePaper 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, Leuchtdesigner 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, Farbtort und Farbkonsistenz genau beschreiben. Der folgende Abschnitt erklärt die Zusammenhänge und Unterschiede.

Farbwiedergabe

Die Farbwiedergabe beschreibt, wie wirklichkeitsgetreu eine Lichtquelle die unterschiedlichen Farben eines Objekts wiedergibt. Zur Bewertung der Farbwiedergabe gibt es unterschiedliche Verfahren und daraus resultierende Maßzahlen.

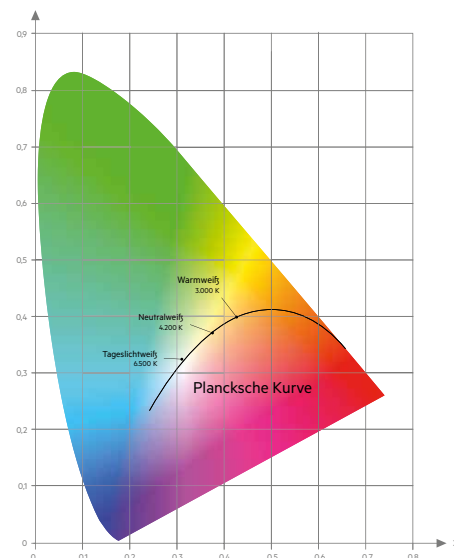
Farbwiedergabeindex

Der Farbwiedergabeindex R_a (englisch: Colour Rendering Index, CRI) wird ermittelt mit Hilfe einer Referenz-Farbkarte mit 8 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. TM-30 ist ein neueres Verfahren, welches detaillierter ist und mehr Informationen enthält. Zur Bestimmung der Farbtreue werden 99 Farbmuster ("color evaluation samples", CES) herangezogen. Der resultierende Fidelity-Index R_f kann zwischen 0 und 100 liegen. Ein Wert von 100 steht für eine genaue Übereinstimmung mit der Referenz. Ein zweiter Parameter, der Gamut-Index R_g liefert zusätzlich Informationen über die durchschnittliche relative Sättigung. Diverse Grafiken helfen, die Ergebnisse zu interpretieren.

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 Normfarbtabelle überträgt und sie miteinander verbindet, erhält man eine Kurve, die man als „Plancksche Kurve“ bezeichnet.



Plancksche Kurve mit den gängigsten Farbtemperaturen in der CIE-Normfarbtabelle

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.

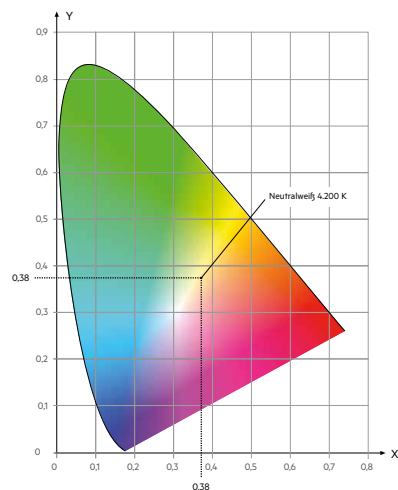
Farbkonsistenz

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.

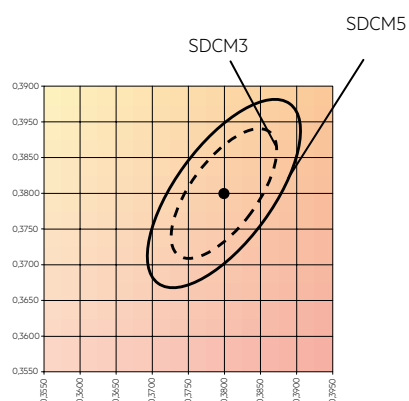
Die Angabe SDCM1 bzw. MacAdam1 bedeutet also, dass die Farbabweichung eines LED-Moduls innerhalb einer MacAdam1-Ellipse um den vorgegebenen Farbort liegen muss. Eine größere Abweichung, mit einem Farbort außerhalb der MacAdam1-Ellipse (aber innerhalb der nächstgrößeren MacAdam2-Ellipse) würde zu einer 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

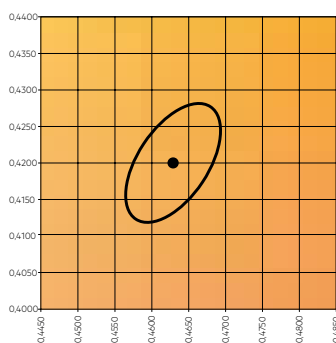
Farbangaben aus dem Datenblatt eines LED-Moduls von Tridonic: Farbtemperatur (2.700 K), Farbort ($x=0,463$; $y=0,420$), Farbkonsistenz (SDCM3), sowie graphische Darstellung von Farbort und MacAdam-Ellipse.



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

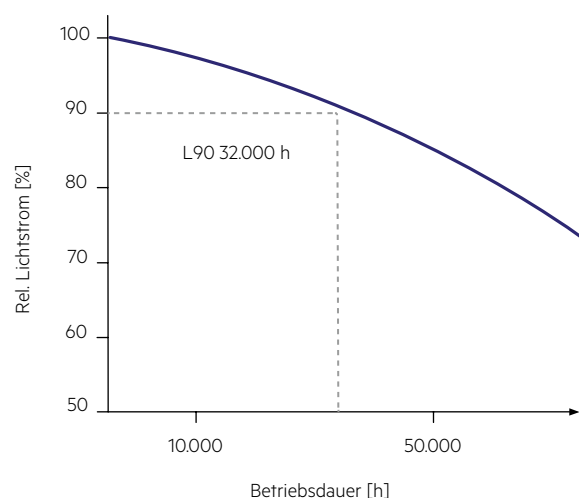
Hohe Energieeffizienz bei langer Lebensdauer



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 kontinuierlich zurückgeht. Dementsprechend beinhalten die Lebensdauer-Definitionen von LEDs unterschiedliche Parameter zur Beschreibung des Verhaltens der LEDs.

L-Wert (L_p)

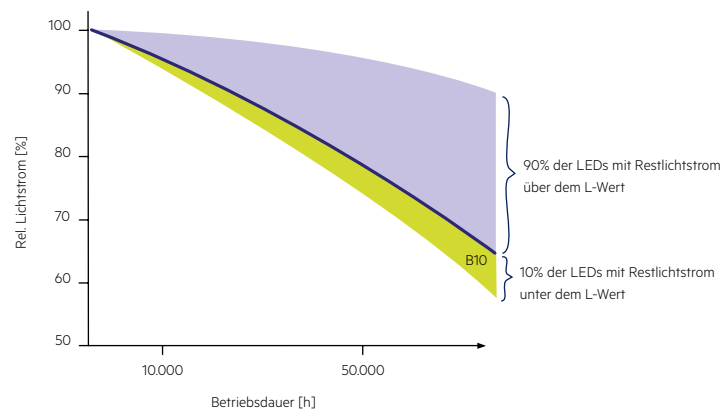
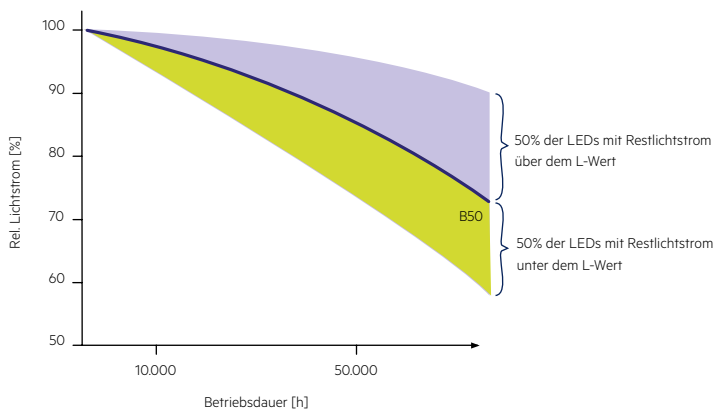
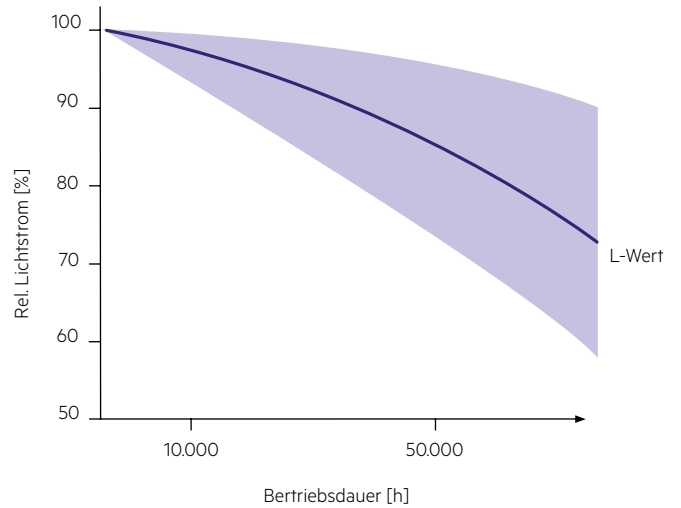
L_p beschreibt den Restlichtstrom als Prozentsatz des Ursprungslichtstroms. Die Angabe erfolgt in Verbindung mit einer bestimmten Betriebsdauer. Das folgende Schaubild illustriert den Zusammenhang: Die cyan-farbige Linie zeigt die Lichtleistung. Im Zeitverlauf geht diese schrittweise zurück. Nach 32.000 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)

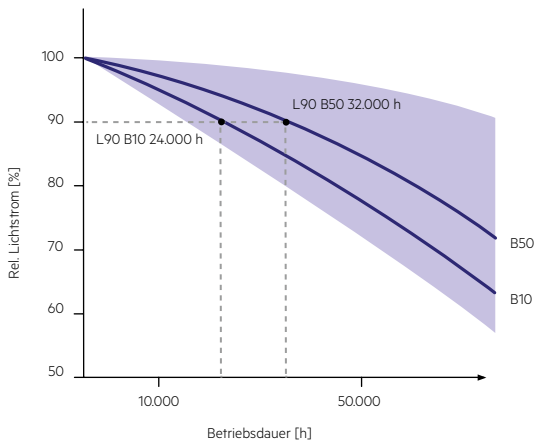
Die Darstellung des Lichtstroms als einzelne einheitliche Linie ist nicht realitätsnah. In der Praxis zeigen sich Abweichungen mit einer gewissen Bandbreite unterschiedlicher Werte: Einzelne LED-Module haben einen höheren Verlust, andere einen geringeren. Das folgende Schaubild illustriert den Zusammenhang: Die cyan-farbige 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).

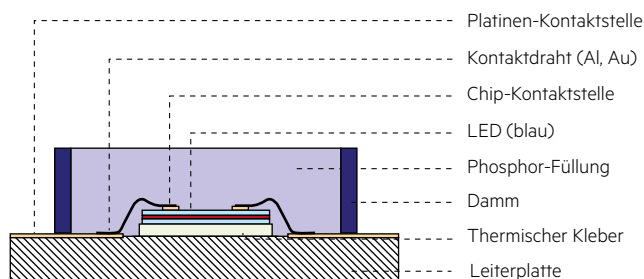
Energieeffizienz von LEDs

LEDs sind sehr energieeffizient. 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.

Bauarten von LEDs

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

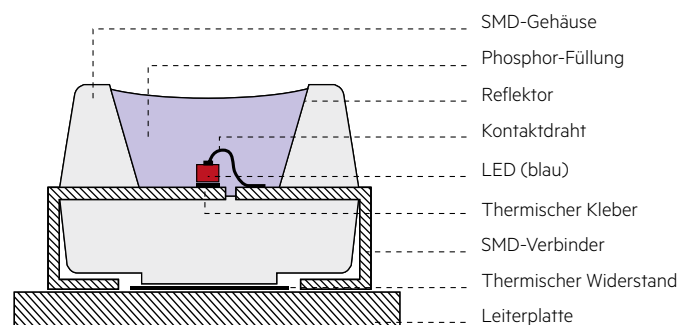
Das Anbringen von LEDs auf der Leiterplatte geschieht entweder mittels SMD-Technologie oder mittels Chip-on-Board-Technologie. Bei der Chip-on-Board-Technologie werden die Einzelkomponenten der LED (Chip, Konversionsmaterial, elektrische Verbindungen) auf der Leiterplatte zusammengesetzt. Bei der SMD-Technologie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



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 Kontaktdraht 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.

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.



Surface-Mounted-Device-Technologie (SMD)

Die SMD-LED erlauben eine automatische Bestückung von Platinen beziehungsweise extrem flacher und schmalen 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.

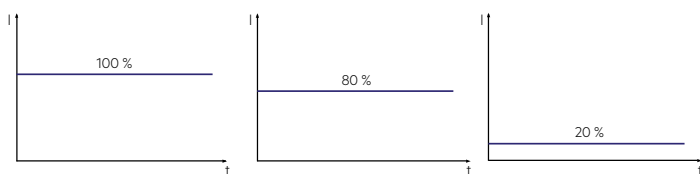
Dimmen von LEDs

Analogen Dimmen und Pulsweiten-Modulation

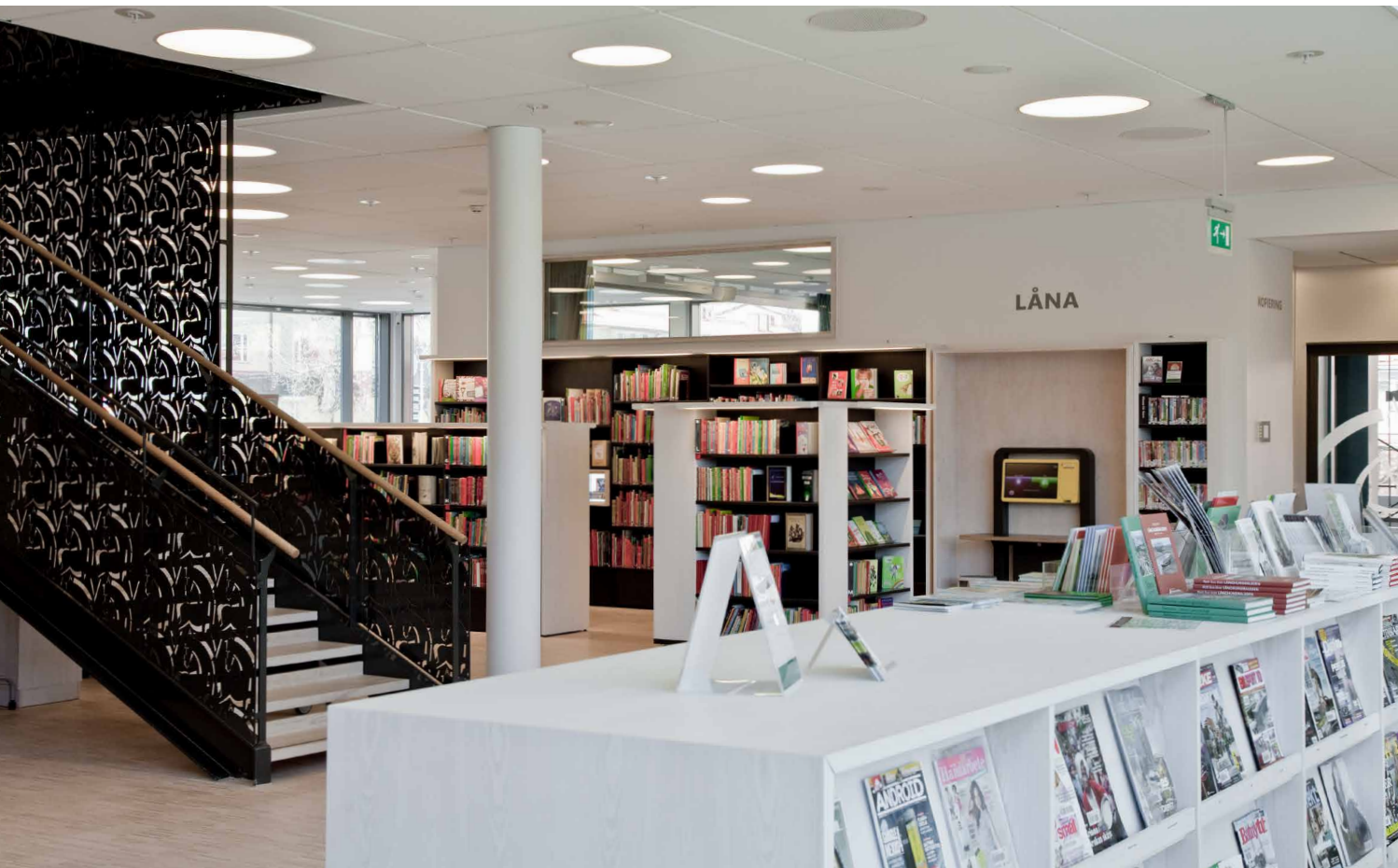


Technologisch gesehen, lassen sich LEDs prinzipiell sehr gut dimmen. Die Absenkung des Lichtstroms geschieht durch Reduzierung des Vorwärtsstroms, der die LED durchfließt.

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



Analogen Dimmen mit unterschiedlichem Dimmle



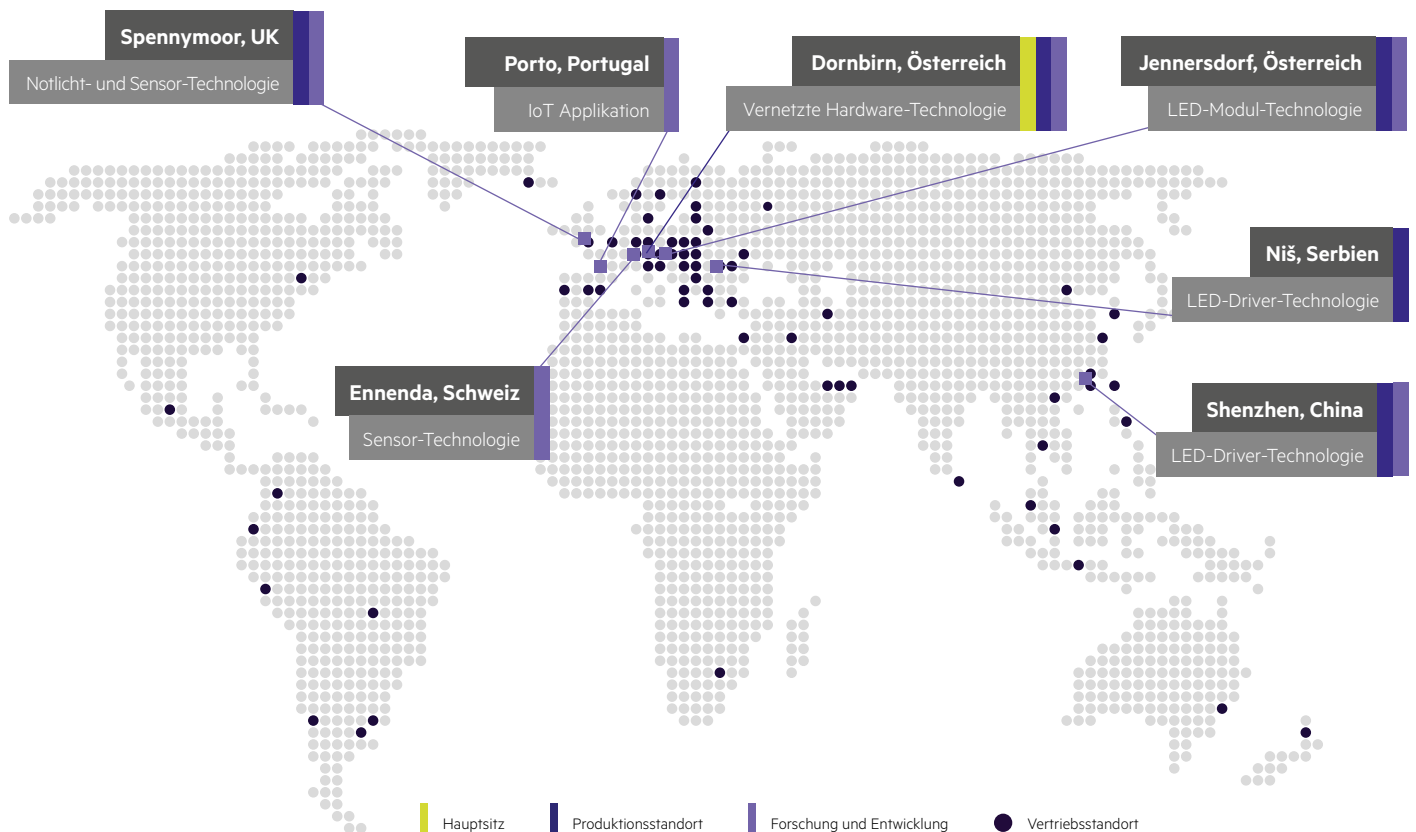
Zhaga ist ein 2010 initiiertes Konsortium, das sich um die Belange der LED-Beleuchtung und deren Vereinheitlichung kümmert. Es ist weltweit aktiv und hat über 190 Mitgliedsfirmen.

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.

Bereit für die Zukunft

Unsere Aktivitäten und Standorte



1.778

Rund 1.700 Mitarbeiter kümmern sich überall auf der Welt darum, Ihnen mit ihrem Know-how und ihrer Kreativität zum perfekten Licht zu verhelfen.

6

Sechs Forschungs- und Entwicklungszentren gibt es in denen neue LED und vernetzte Beleuchtungstechnologien entwickelt werden.

3

Auf drei Sachen dürfen Sie sich bei Tridonic verlassen: auf höchste Produktqualität, jahrzehntelange Expertise sowie unsere engagierte und flexible Unterstützung.

1

In unserem einzigartigen Software-Kompetenzzentrum in Porto, Portugal, entwickeln Experten der Informationstechnologie neue Lösungen für intelligente Gebäude und intelligente Städte. Sie arbeiten an einer großen Auswahl verschiedener Produkte, von intelligenten Lichtmanagement- und Steuerungssystemen bis zu hochmodernen IoT-Lösungen und den entsprechenden digitalen Dienstleistungen.

21

Wir sind in 21 eigenen Niederlassungen in fünf Kontinenten für Sie da.

2.600

So viele Patente und Erfindungen dokumentieren die außerordentliche Innovationskraft von Tridonic.

Details

Weiterführende Informationen, Datenblätter, Produktkataloge und Bestelldaten finden Sie auf www.tridonic.com

Das nahe Licht

Eine starke internationale Präsenz ist uns wichtig –
nur so sind wir nah genug bei unseren Kunden

AUSTRALIEN

Tridonic Australia Pty Ltd
2/7 Millner Ave
Horsley Park NSW 2175
Australia
T +61 2 9832 6600
F +61 2 9832 6688
www.tridonic.com.au
infoau@tridonic.com

CHINA

Tridonic (Shanghai) Co., Ltd.
(Headquarters)
Room 602, Building B
Zhongshan International Plaza
No. 789 Tianshan Road
Shanghai, 200335, China
T +86 21 52400 599
F +86 21 52400 230
www.tridonic.com
china@tridonic.com

Tridonic (Shanghai) Co., Ltd.
Beijing Branch
Room 1207, No. 3, Yard 1
Tian Xin Street,
Fang Shan District
Beijing, 102446, China
T +86 10 6522 6163
F +86 10 6522 7003
www.tridonic.com
china@tridonic.com

Tridonic (Shanghai) Co., Ltd.
Guangzhou Branch
Room 505, R & F Profit Plaza
76 Huangpu Xi Road, Tianhe
District
Guangzhou, 510623, China
T +86 20 3839 2483
F +86 20 3839 2482
www.tridonic.com
china@tridonic.com

DEUTSCHLAND

Tridonic Deutschland GmbH
Edisonallee 1
89231 Neu-Ulm
Germany
T +49 731 176629-0
F +49 731 176629-15
www.tridonic.de
vertrieb.deutschland@tridonic.com

FRANKREICH

Tridonic France SARL
8 Rue de Bruxelles
ZI Krafft
67150 Erstein, France
T +33 3 88 59 62 70
F +33 3 88 59 62 75
www.tridonic.fr
info.france@tridonic.com

GROSSBRITANNIEN

Tridonic UK Limited
Unit 7 Lindenwood
Chineham Business Park
Crockford Lane, Chineham
RG 24 8LB Basingstoke
Hampshire
United Kingdom
T +44 1256 374300
F +44 1256 374200
www.tridonic.com
enquiries.uk@tridonic.com

INDIEN

Atco Controls (India) Private
Limited
38B, Nariman Bhavan, Nariman
Point
400021 Mumbai
Indien
T +91 22 22 02 55 28
sales@atcocontrols.com

ITALIEN

Tridonic Italia srl
Viale della Navigazione
Interna, 115
35027 Noventa Padovana
Italy
T +39 049 89 45 127
F +39 049 87 04 715
www.tridonic.it
vendite.italia@tridonic.com

KOREA

Tridonic Korea LLC
Lee Seok-Jun
#808 HanHwa BizMetro II
551-24 Yangcheon-ro
Gangseo-gu Seoul
Republic of Korea (South)
T +82 (2) 2013 8051
T +82 10 2230 2221
www.tridonic.kr
seokjun.lee@tridonic.com

MALAYSIA

Tridonic S. E. A. Pte Ltd
10 Tannery Lane
#03-01
347773 Singapore
Malaysia
T +65 62 928 148
F +65 62 933 700
www.tridonic.com
asean@tridonic.com

Tridonic Malaysia Sdn Bhd
V03-10-01 Designer Office,
Lingkaran SV,
Sunway Velocity, Cheras
55100 Kuala Lumpur
Malaysia
T +60 3 2733 6484
T +60 3 2733 6485
www.tridonic.com
asean@tridonic.com

MITTLERER OSTEN

Tridonic Middle East (FZE)
P. O. Box 17972
Jebel Ali Free Zone
Dubai, United Arab Emirates
T +971 4 8833 664
F +971 4 8833 665
www.tridonic.com
sales.middleeast@tridonic.com

NEUSEELAND

Tridonic New Zealand
PO Box 71134, Rosebank
New Zealand
27 Jomac Place, Avondale
Auckland
T +64 9820 1119
www.tridonic.com
sales@tridonic.co.nz

ÖSTERREICH

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

Tridonic GmbH & Co KG
Vertrieb Österreich
Archenweg 58
6022 Innsbruck, Austria
T +43 512 3321 554
F +43 512 3321 995554
www.tridonic.com
vertrieb.austria@tridonic.com

POLEN

Tridonic Rep. Office Poland
Poland
T +48 67 222 60 07
www.tridonic.com
marek.michalski@tridonic.com

PORTUGAL

Tridonic Iberia, S.L.
Portugal Office
Alameda da Empresa, 64 – Candal
Park – Fração AL-13
4400-133 Vila Nova de Gaia
Portugal
T +351 938 448 467
www.tridonic.com
paulo.moreira@tridonic.com

SCHWEIZ

Tridonic Schweiz AG
Obere Allmeind 2
8755 Ennenda
Switzerland
T +41 55 645 4747
F +41 55 645 4700
www.tridonic.ch
vertrieb.schweiz@tridonic.com

SINGAPUR

Tridonic South East Asia Pte Ltd
No. 10 Tannery Lane #03-01
347773 Singapore
Singapore
T +65 6292 8148
F +65 6293 3700
www.tridonic.com
asean@tridonic.com

SPANIEN

Tridonic Iberia, S.L.
OFICINA CENTRAL – MADRID
Calle Carpinteros nº 8, 2a
28670 Villaviciosa de Odón
(Madrid)
Spain
T +34 916 162 095
F +34 916 165 695
www.tridonic.es
ventas@tridonic.com

Tridonic Iberia, S.L.
Delegación – Barcelona
Calle Pau Vila nº 13-15, 3ª
08173 Sant Cugat del Valles
(Barcelona)
Spain
T +34 935 878 628
F +34 935 903 297
www.tridonic.es
ventas@tridonic.com

SÜDAFRIKA

Tridonic SA (Pty) Ltd
Unit 7, Ground Floor
Old Trafford Office Park
C/O Trichardt and Leiths Road
Bartlett, Boksburg 1459
South Africa
T +27 11 894 3525
F +27 86 459 6035
www.tridonic.co.za
info@tridonic.co.za

TÜRKIE

Tridonic Aydınlatma Tic.LTD. ŞTİ.
Kemankeş Mah., Necatibey cad.
Akçe Sok., Akçe Han 10
34420 Karaköy / Beyoğlu
İstanbul, Turkey
T +90 212 244 78 05
F +90 212 244 78 06
www.tridonic.com
satis@tridonic.com

USA

Tridonic Inc. USA
3300 Route 9W
Highland, NY 12528
United States
www.tridonic.us
sales.us@tridonic.com



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.

