

# LED – leicht erklärt

Know-how zur LED-Technologie in  
Theorie und Praxis



Ihr guter Kontakt





# Inhalt

Kapitel	Seite
1.0	Einführung 3
1.1	Was ist LED? 3
1.2	Warum LED? 3
2.0	LED-Technologie 4
2.1	Die Herstellung 4
2.2	Funktion der LED 5
2.3	LED-Typen 5
2.4	LED-Bautypen 6
2.5	Vorteile der LED-Technologie 8
2.6	Qualitätsmerkmale 8
2.7	Konventionelle Technik oder LED? 13
3.0	LED-Anwendung 14
3.1	Wo macht der Einsatz von LED Sinn? 14
3.2	Berechnung Energiepotential Beleuchtung 15
3.3	LED-Leuchtmittel 16
3.4	LED-Leuchten 16
3.5	Spannungsgesteuerte Leuchten / Leuchtmittel 17
3.6	Stromgesteuerte Leuchten / Leuchtmittel 17
3.7	Hochvolt-Leuchten / -Leuchtmittel 18
3.8	Projektbeispiel einer Umstellung auf Retrofit-LEDs 19
4.0	LED-Planung und Installation 22
4.1	Von konventionell zu LED – Fragen zum Leuchtmittelwechsel 22
4.2	Planung einer LED-Anlage 22
4.3	Dimmen von LED 22
4.4	Einbau und Montage von LED-Leuchten 24
5.0	Ausblick OLED 25
6.0	FAQ's 27
7.0	Lexikon 30

# 1.0 Einführung

**Wir Menschen brauchen Licht zum Leben. Licht ist unser Zeitgeber und steuert unseren Schlaf-Wach-Rhythmus. Neben dem natürlichen Sonnenlicht spielt das Kunstlicht eine wesentliche Rolle, denn wir verbringen einen Grossteil unserer Zeit in Innenräumen. Gerade nachts benötigen wir Licht: Für Sicherheit und Orientierung, Arbeit und Vergnügen. Das Kunstlicht begleitet uns im Innen- und Aussenraum, im Privat- und Geschäftsleben. Licht schafft Stimmungen und beeinflusst unser Wohlbefinden. Tag und Nacht.**

**Diese Broschüre bietet Ihnen umfangreiches Fachwissen rund um Technik, Anwendung und Einsatzmöglichkeiten von LED-Leuchtmitteln und -Leuchten. Damit Sie für die Zukunft gerüstet sind!**

## 1.1 Was ist LED?

LED, die licht-emittierende Diode, bezeichnet ein elektronisches Halbleiter-Bauelement. Fliesst durch die Diode Strom in Durchlassrichtung, so strahlt sie Licht ab. Im Gegensatz zu konventionellen Leuchtmitteln sind LEDs elektronische Bauteile: winzige Elektronik-Chips aus Halbleiterkristallen. LEDs brauchen keine Farbfilter: Ihr Licht wird durch unterschiedliche Halbleitermaterialien direkt in verschiedenen Farben erzeugt. Bereits 1907 wurde das Leuchten anorganischer Stoffe entdeckt, die Geburtsstunde der industriell gefertigten LED war 1962. Seit Mitte der 90-er Jahre gibt es weisse LEDs. In den vergangenen Jahren hat sich der Wirkungsgrad der LED alle zwei Jahre verdoppelt. Heute werden LEDs in vielfältigen Anwendungen eingesetzt. Sie hat sich zu einer wirtschaftlichen Lichtquelle etabliert, die mit vielen Vorteilen punktet. Basis dafür sind gute Qualität, eine korrekte Installation und Inbetriebnahme sowie Ihr Fachwissen, wann und wo LEDs Sinn machen.

## 1.2 Warum LED?

LEDs sind heute wirtschaftliche Lichtquellen für die Akzent- und Allgemeinbeleuchtung. Dort, wo es Sinn macht, können sie konventionelle Leuchtmittel ersetzen, bei höherer Flexibilität und geringerem Stromverbrauch. Energie benötigt Ressourcen. Um Kosten durch steigende Strompreise zu reduzieren und die zur Verfügung stehende Energie sinnvoll einzusetzen, bietet sich in vielen Anwendungen der Einsatz von LED-Leuchtmitteln und -Leuchten an.

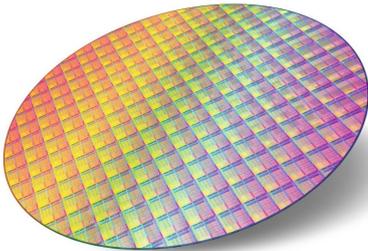
LEDs sind klein, flexibel und dimmbar. Sie sind extrem langlebig und punkten mit hoher Lichtqualität. LEDs können im Innen- und Aussenraum eingesetzt werden. Sie erzeugen weisses und farbiges Licht und schonen sensible Ware. Bei einem konsequenten Einsatz der LED-Technologie und der Nutzung intelligenter Lichtsteuerungen können circa 70 % der Energie für Beleuchtung eingespart werden. Der Durchbruch in der LED-Technik stellt wohl die grösste Umwälzung in der Lichttechnik seit Jahrzehnten dar.



# 2.0 LED-Technologie

## 2.1 Die Herstellung

LEDs bestehen aus Halbleiterkristallen. Während in konventionellen Leuchtmitteln ein Glühdraht oder ein Gas Licht erzeugt, sind LEDs winzige Elektronik-Chips aus speziellen Halbleiterkristallen. Mit der LED-Technologie sind wir im Zeitalter der Optoelektronik angekommen.



### Herstellung

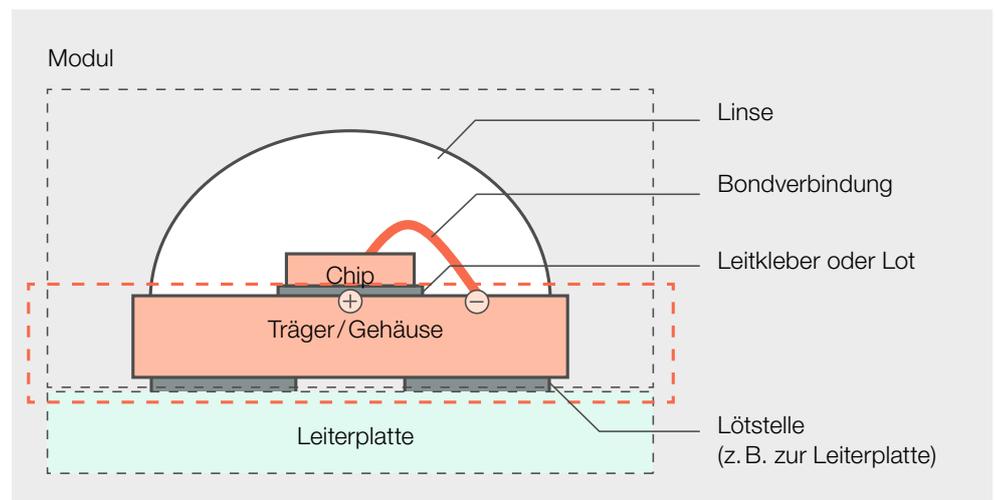
Kurze Durchlaufzeiten und hohe Stückzahlen zeichnen moderne Produktionsanlagen für Verbindungs-Halbleitermaterialien aus. Aus einem Wafer erhält man hunderte LED-Chips.

Das Rohmaterial für LEDs bilden Halbleiterkristalle, die auf einem sogenannten Wafer aufgebaut und dann zu Chips geschnitten werden. 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 «Löcher» nun aufeinander zu und rekombinieren in der sogenannten Sperrschicht. Die freigesetzte Energie wird im Halbleiterkristall in Licht und Wärme umgesetzt.

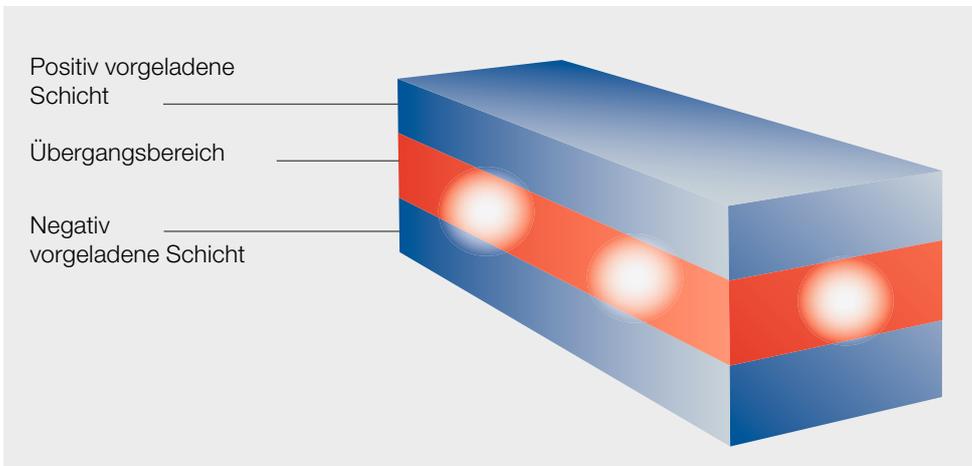
Trotz modernster Anlagen verfügen nicht alle Bereiche des Wafers über die gleichen lichttechnischen Eigenschaften von Lichtstrom und Farbort. Daher fällt der Selektion, dem sogenannten Binning, nach dem Schneiden des Wafers in einzelne LED-Chips eine hohe Bedeutung zu. Damit eine konstante Lichtqualität mit gleichem Helligkeitsniveau und einheitlicher Lichtfarbe gewährleistet ist, müssen die LEDs einer Charge sortiert werden. Sie werden in sogenannte Bins (englisch: Behälter) eingeteilt. Dieser Binning-Prozess ist speziell bei weissen LEDs von grosser Bedeutung. Lesen Sie mehr dazu im Kapitel «Qualitätsmerkmale» auf Seite 8.

Um die elektrische Kontaktierung zu vereinfachen und die LED vor Umwelteinflüssen zu schützen, wird sie in eine Silikonlinse gegossen, die zugleich den Lichtaustritt verbessert.

### Aufbau eines LED-Moduls



Der kleine Licht erzeugende LED-Chip liegt auf einem grossen Wärmeleitelement für gutes thermisches Management auf. Die Linse übernimmt die primäre Lichtlenkung.



## 2.2 Funktion der LED

Fließt Strom durch den Halbleiter, beginnt er zu leuchten. Er «emittiert» Licht. In der Lichttechnik wird dieser Prozess «Elektrolumineszenz» genannt. Schon wenig Energie reicht aus, um das Leuchten anzuregen. Die freigesetzte Energie wird im Halbleiterkristall in Strahlung umgesetzt. Reflektoren und Linsen lenken das Licht.

LEDs werden mit Gleichspannung betrieben. Sie benötigen einen Konverter als Spannungswandler. Im Gegensatz zu Glühlampen, die ein kontinuierliches Spektrum aussenden, emittiert eine LED Licht in einer bestimmten Farbe. Die Farbe des Lichts hängt vom verwendeten Halbleitermaterial ab. Überwiegend werden zwei Materialsysteme (AlInGaP und InGaN) benutzt, um LED mit hoher Helligkeit in allen Farben von Blau bis Rot und mittels Lumineszenzkonversion (siehe Seite 10) auch in Weiss zu erzeugen. Dabei sind unterschiedliche Spannungen erforderlich, um die Diode in Durchlassrichtung zu betreiben.

## 2.3 LED-Typen

**High-Power-LEDs**, auch Hochleistungs-LEDs genannt, geben am meisten Licht ab. Die kleinste High-Power-LED ist kaum grösser als ein Streichholzkopf und erreicht dabei eine Effizienz von 100 Lumen pro Watt (lm/W).

**Low-Power-LEDs**, stammen aus den Anfangstagen der LED-Technologie. Sie sind drei oder fünf Millimeter gross und verfügen über einen Abstrahlwinkel von 15 bis 30 Grad. Mit der be drahteten 5-mm-LED begann der Siegeszug der LED; heute werden Low-Power-LEDs vor allem in der Signalbeleuchtung noch eingesetzt. Betrieben werden sie mit Strömen von 20 bis maximal 100 Milliampere (mA).

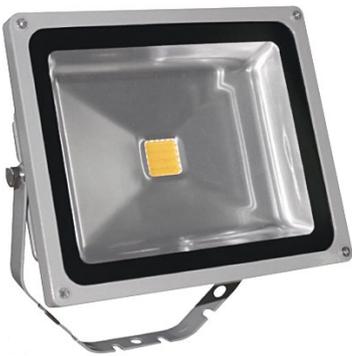
**Superflux-Modelle**, auch Spider oder Piranha genannt, bringen eine stärkere Lichtleistung. Sie werden in der Regel mit 70 mA betrieben und tragen vier Pins. Diese LEDs können auch mehrere Chips im Gehäuse aufnehmen, die unabhängig voneinander gesteuert werden können. Ihr Abstrahlungswinkel reicht von 90 bis 130 Grad. Superflux-LEDs werden häufig im Automobilbau eingesetzt.



Bedrahtete LEDs

## 2.4 LED-Bautypen

**Bedrahtete LEDs** (radiale LEDs) stammen noch aus den ersten Tagen der LED-Technologie. Der innenliegende LED-Chip ist durch eine Kunststoffkappe verkapselt, die vor Schäden schützt. Wegen ihrer meist geringen Lichtleistung werden diese Low-Power-LEDs heute vorwiegend für einfache Signalanzeigen verwendet.



COB-LEDs

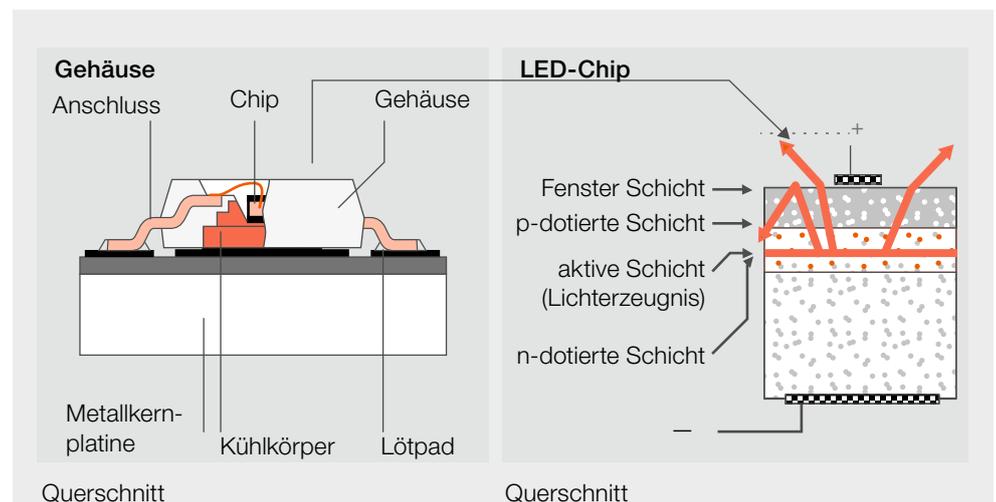
**COB-LEDs** (= Chip on Board) werden für besonders leistungsstarke, eng bepackte LED-Module eingesetzt. Bei dieser Bauform werden «nackte», nicht verkapselte LED-Chips direkt auf eine Leiterplatte verklebt und über sogenannte «Bond-Drähte» kontaktiert. Eine aufgeklebte Epoxylinse, «Bubble» genannt, definiert den Ausstrahlwinkel, der eng- oder breitstrahlend sein kann.

**SMD-LEDs** (= Surface Mounted Devices) sind extrem kleine Standardprodukte für die industrielle Fertigung. Sie werden direkt auf einer Leiterplatte verklebt und im Lötbad kontaktiert. Ebenso wie bedrahtete LEDs sind sie bereits verkapselt. SMD-LEDs sind die Bauform, die am häufigsten in Modulen oder Leuchten eingesetzt werden. SMD-Bauformen werden sowohl mit Low-Power-LEDs bestückt als auch mit High-Power-LEDs. Sie ermöglichen die industrielle Produktion leistungsfähiger, flacher und schmaler Module.



SMD-LEDs

### Hochleistungs-SMD-LED





Lineare LED-Module

Leuchtdioden sind für Beleuchtungsaufgaben erst nutzbar, wenn sie auf Leiterplatten ein Modul bilden. Das Modul kann aus Einzel-LEDs oder mehreren Dioden bestehen. Die Leiterplatte – auch Platine genannt – sorgt für Stromversorgung, Wärmeableitung und die Ansteuerung.

Module werden standardisiert hergestellt oder an jeweilige Kundenbedürfnisse angepasst. Es gibt lineare, flexible und flächige LED-Module.

**Lineare LED-Module** eignen sich besonders für Wandfluter-Effekte und für die Architekturbeleuchtung. Sie geben Fassaden sowie Vouten Kontur und passen in schmalste Auslasskanäle. Mit ihnen lassen sich auch lange Lichtlinien einfach und nahtlos realisieren.

**Flexible LED-Module** überwinden besonders einfach Kurven und Kanten. Sie werden verwendet, wenn gebogene Flächen hinter- oder beleuchtet werden sollen, zum Beispiel Schriftzüge oder Handläufe.



Flexible LED-Module

**Flächige LED-Module** gibt es in der Regel als einsatzfertige LED-Tafeln mit diffusen Glas- oder Kunststoffoberflächen. Sie werden zum Beispiel als Lichtkacheln oder komplette Lichtdecken eingesetzt. Mit der entsprechenden Ansteuerung können grossflächige Leuchten oder Displays realisiert werden.



Flächige LED-Module



## 2.5 Vorteile der LED-Technologie

Ob im Innen- oder Aussenbereich, ob dekorative oder funktionale Beleuchtung: Mit LEDs sind heute Lösungen möglich, die bis vor kurzem noch nicht denkbar waren. Das völlig neue Prinzip der Lichterzeugung führt dazu, dass sich die LED in vielen Punkten von anderen Lichtquellen unterscheidet.

### Die Vorteile im Überblick:

- Extrem lange Lebensdauer und damit quasi Wartungsfreiheit: LEDs in Leuchten und Modulen haben eine Lebensdauer von rund 50'000 Stunden und mehr.
- LEDs emittieren gerichtetes, nahezu punktförmiges Licht. Linsen erlauben als Primäroptik eine fast verlustfreie Lichtlenkung.
- LEDs erzeugen von Natur aus farbiges Licht, das in weisses Licht umgewandelt werden kann. Die Farbwiedergabe liegt bei  $R_a > 80$  bis  $R_a > 90$ .
- LEDs besitzen eine hohe Effizienz: Die Lichtausbeute von LED-Leuchten kann bereits bei über 100 lm/W liegen.
- LEDs sind klein und ermöglichen Leuchten mit kompakter Bauform und geringer Einbautiefe.
- Das Licht der LED ist frei von direkter IR- und UV-Strahlung und schont empfindliche Objekte.
- LEDs sind stoss- und vibrationsfest. Dies ist vor allem in Industrieanwendungen, in der Strassenbeleuchtung und bei mobilen Geräten von Vorteil.
- LEDs geben sofort flackerfreies Licht, sind stufenlos dimmbar und beliebig schaltbar.
- Mit speziellen Steuergeräten kann die Farbtemperatur von LED-Leuchten verändert werden. Dies ermöglicht viel kreativen Gestaltungsspielraum.
- LEDs funktionieren problemlos bei kalten Umgebungstemperaturen.
- LEDs sind quecksilberfrei und sollten als Elektroschrott entsorgt werden.

## 2.6 Qualitätsmerkmale

LED ist nicht gleich LED. Um die Qualität von LED-Leuchten und -Leuchtmitteln zu vergleichen, helfen Angaben zu Thermomanagement, Betriebsbedingungen und Binning.

### Temperatur und Thermomanagement

Die Temperatur beeinflusst die Effizienz von LED-Leuchten und -Leuchtmitteln. Wie jede Lichtquelle erzeugen auch LEDs Wärme. Im Unterschied zu konventionellen Lichtquellen wird diese nach hinten abgegeben. Eine optimale Wärmeabführung, das sogenannte Thermomanagement, bildet die Grundlage für verlässliche Angaben zu Lebensdauer und Lichtausbeute. Dabei wird die Wärme über Platine und Leuchtgehäuse abgeführt (= passive Kühlung). Eine grossflächige, feste Verbindung von Leiterplatte und Gehäuse fördert die Wärmeableitung. Bei manchen Leuchtenmodellen vergrössern Kühlrippen die Oberfläche und senken so die Temperatur, bei anderen Bautypen werden Luft- oder Wasser für eine aktive Kühlung genutzt. Die thermische Verbindung zwischen Platine und Kühlkörper ist entscheidend für ein funktionierendes Thermomanagement. Hieran können Sie Qualitätsleuchten von Billigprodukten unterscheiden. Beachten Sie auch die Herstellerangaben zu den zulässigen Temperaturgrenzwerten für den Betrieb der Konverter, um einen optimalen Betrieb zu gewährleisten.

### Konstantstrom schützt die LED

Wichtig für eine lange Lebensdauer der LED sind optimale Betriebsbedingungen. Dazu gehört eine exakte Konstantstromregelung. Dioden besitzen eine exponentiell ansteigende Strom-Spannungskennlinie. Schon kleine Spannungsänderungen können die LED-Chips zerstören. LEDs sollten deshalb niemals direkt an eine Spannungsquelle angeschlossen werden, sondern über sogenannte Konverter betrieben werden.

### Effizienz

Der Leuchtenlichtstrom bezeichnet das Licht, das tatsächlich aus der Leuchte herauskommt. Die Effizienz wird in Lumen pro Watt (lm/W) angegeben. Sie bezeichnet das Verhältnis von Leuchtenlichtstrom zur zugeführten Leistung.

Wie viel Energie eine Beleuchtungsanlage mit LEDs tatsächlich spart, hängt jedoch nicht nur von der Lichtausbeute der verwendeten Dioden ab. Entscheidend sind vielmehr

- Das Zusammenspiel mit Optiken und Betriebsgeräten
- Die Lichtlenkung in der Leuchte
- Die Umgebungsbedingungen

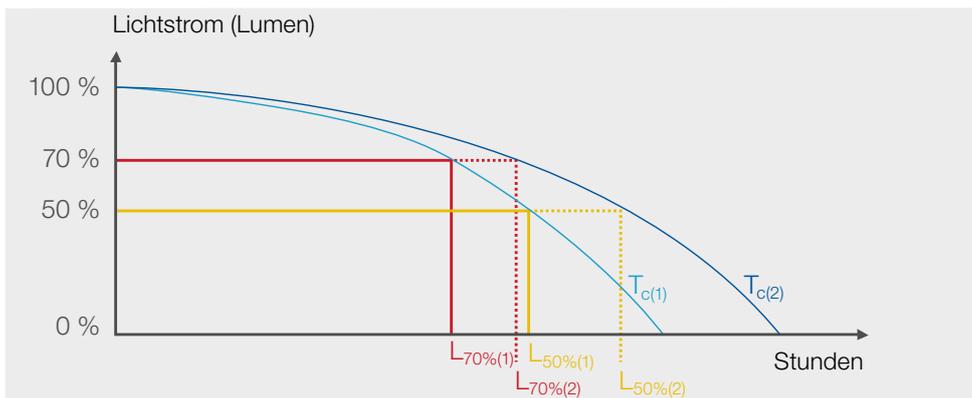
### Lebensdauer

LED-Leuchten und LED-Module haben meist eine Lebensdauer von 50'000 Stunden und mehr. Zum Vergleich: Eine Halogen-Glühlampe arbeitet im Schnitt 2'000 Stunden, eine Leuchtstofflampe am EVG betrieben etwa 20'000 Stunden. In der Praxis bedeutet das: Eine LED-Leuchte, die an 250 Arbeitstagen im Jahr jeweils elf Stunden in Betrieb ist, hält rund 18 Jahre lang. Das spart Kosten für Wartung und Leuchtmittlersatz. LED-Leuchtmittel, sogenannte Retrofits, haben aufgrund ihrer für Dioden eher ungünstigen Bauweise eine geringere Lebensdauer. Trotzdem sind auch sie mit einer durchschnittlichen Lebensdauer von rund 25'000 Stunden eine gute Wahl.

Anders als konventionelle Leuchtmittel fallen LEDs eher selten aus. Stattdessen nimmt ihre Helligkeit langsam ab, u. a. weil das Halbleiterkristall immer mehr Störstellen aufweist. Diese Alterung, auch Degradation genannt, wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Betriebstemperatur
- Umgebungstemperatur
- Versorgung mit Konstantstrom
- Art des Halbleiters
- Eintrübung der Optiken

### Definition der Lebensdauer



Die Lebensdauer (L) einer LED muss daher je nach Anwendung so definiert werden, dass die geforderte Helligkeit nicht unterschritten wird. In der Notbeleuchtung ist dieser Wert beispielsweise erreicht, wenn eine LED nur noch 80 % des ursprünglichen Lichtstroms liefert (L80). In anderen Anwendungen sind L70 und L50 gängige Werte.



Quelle: Foto von Tyler Nienhouse

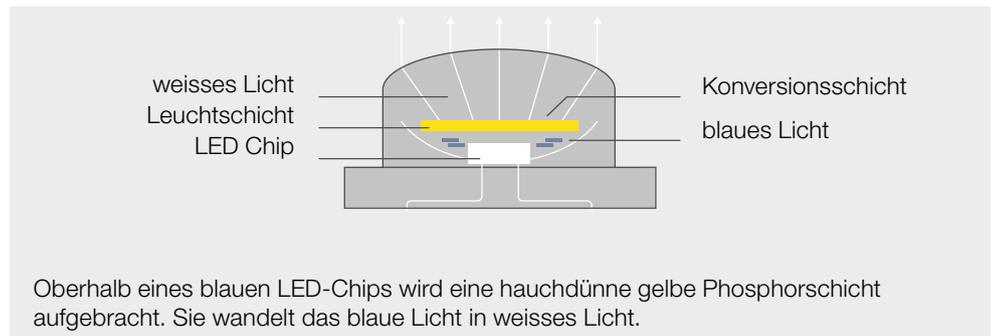
### Farbtemperatur und Farbwiedergabe

Das Licht von LEDs ist von Natur aus farbig. Sie erzeugen eine schmalbandige (monochromatische) Strahlung. Das verwendete Halbleitermaterial bestimmt die Wellenlänge und damit die Lichtfarbe: Rot, Grün, Gelb oder Blau. Um weisses Licht zu erzeugen, wird die monochromatische Strahlung entweder durch einen Leuchtstoff (Phosphorisierung) umgewandelt oder additiv nach dem RGB-Prinzip gemischt.

### Weisses LED-Licht durch Lumineszenzkonversion

Das derzeit beste Verfahren nutzt das Prinzip der Lumineszenzkonversion und wird auch bei Leuchtstofflampen eingesetzt. Bei dieser Methode wird oberhalb eines blauen LED-Chips eine hauchdünne Phosphor-Leuchtschicht aufgedampft. Sie wandelt einen Teil des blauen Lichts durch den gelben Phosphor in weisses Licht.

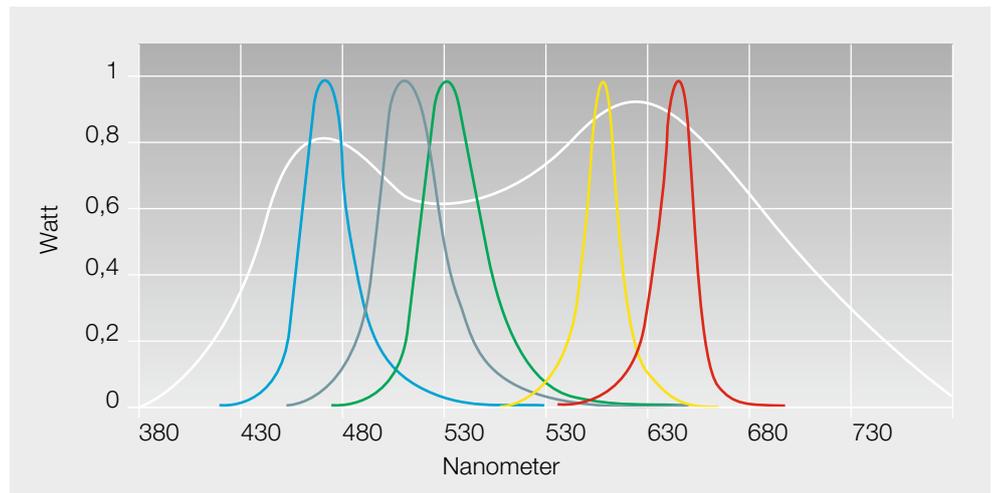
### Weisses LED-Licht wird in der Regel nach dem Prinzip der Lumineszenzkonversion erzeugt:



Oberhalb eines blauen LED-Chips wird eine hauchdünne gelbe Phosphorschicht aufgebracht. Sie wandelt das blaue Licht in weisses Licht.

Konzentration und chemische Zusammensetzung des Leuchtstoffs müssen sehr genau gesteuert werden, um die gewünschte Lichtfarbe zu erreichen. Die Farbtemperatur gibt Auskunft darüber, ob eine LED warmes oder eher kühles Licht abgibt. Generell gilt: Je höher die Farbtemperatur, desto kühler das Licht. Eine Farbtemperatur von 2'700 bis 3'000 Kelvin (K) kennzeichnet warmweisses Licht, über 3'300 K gilt die Lichtfarbe als neutralweiss, ab 5'300 K ist das Licht tageslichtweiss. 2'700 K entspricht dem gewohnten Glühlampenlicht.

### Spektrum der LED



Mit dem Lumineszenzverfahren kann die Lichtfarbe, deren Einheitlichkeit durch Binning sichergestellt wird, genau bestimmt werden. Weitere Vorteile dieser Methode sind relativ hohe Lichtströme und die gute Farbwiedergabe bis zu  $R_a$  90.

Die Farbwiedergabe von warmweissem Licht (2'700 bis 3'300 K) ist oft besser als diejenige neutral- oder tageslichtweisser LEDs. Leider ist aber die Effizienz der warmweissen LED-Chips in der Regel geringer. Umgekehrt gilt: LEDs mit kühleren Lichtfarben sind meist effizienter, verfügen aber auch über eine etwas geringere Farbwiedergabe. Eine gute Lösung bietet die Mischung von weissem LED-Licht unterschiedlicher Lichtfarben. Sie garantiert hervorragende Farbwiedergabe bei hoher Effizienz.

### **Weisses LED-Licht durch RGB-Farbmischung (additive Farbmischung)**

Eine andere Möglichkeit, weisses LED-Licht zu erzeugen, ist die Mischung von farbigem Licht unterschiedlicher Wellenlänge. Diese additive Farbmischung von Rot, Grün und Blau (RGB) kann neben Millionen Mischttönen auch weisses Licht produzieren. RGB-Lösungen eignen sich gut für Anwendungen mit farbdynamischer Beleuchtung, z. B. zur Fassadeninszenierung.

Für weisses Licht mit RGB-Farbmischung müssen die farbigen LEDs exakt angesteuert werden. Dabei ist die Farbwiedergabe des weissen Lichts mit  $R_a$  70 bis 80 weniger gut als beim Lumineszenz-Verfahren.

Dynamische Beleuchtungssysteme, bei denen sich das Licht in Intensität und Farbtemperatur verändert, unterstützen unseren biologischen Rhythmus. Nach dem Vorbild des Tageslichts ermöglichen intelligente Leuchten und Steuerungen Farbwechsel von warmweiss zu kaltweiss. Diese Technologie macht zum Beispiel in der Bürobeleuchtung oder in Schulen Sinn, da sich verändernde Lichtstimmungen positiv auf Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit des Menschen auswirken.

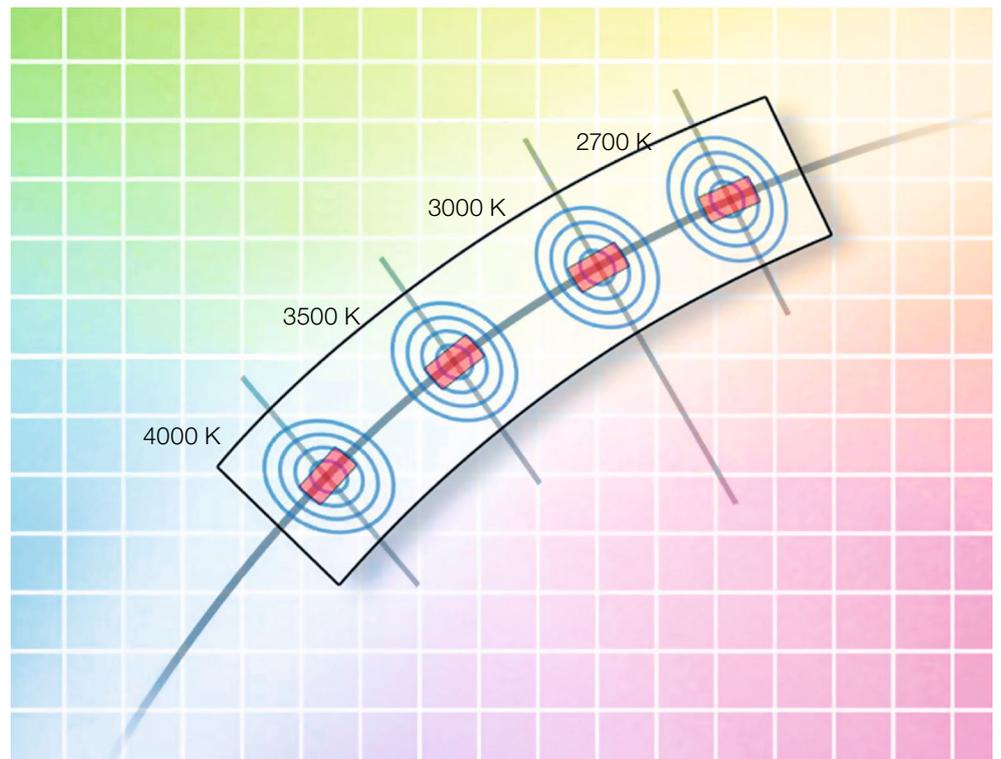
Neue Technologien kombinieren für diese Anwendungen farbige Chips mit weissen LEDs. So wird ein dynamisch veränderliches weisses Licht mit guter Farbwiedergabe erzeugt. Die Steuerung übernimmt ein elektronisches Lichtmanagement.

### **Binning**

Die Qualität von LEDs wird u. a. durch das sogenannte Binning definiert. Bei der industriellen Produktion von LED-Chips kommt es innerhalb unterschiedlicher Fertigungschargen immer zu Abweichungen. Die lichttechnischen Eigenschaften können in Farbe und Leuchtkraft variieren. Damit eine konstante Lichtqualität mit gleichem Helligkeitsniveau und einheitlicher Lichtfarbe gewährleistet ist, müssen die LEDs einer Charge sortiert werden. Sie werden in sogenannte Bins (englisch: «Behälter») eingeteilt. Dieser Binning-Prozess ist speziell bei weissen LEDs von grosser Bedeutung. Wichtige Auswahlkriterien beim Binning sind:

- Lichtstrom (lm)
- Farbtemperatur (Kelvin)
- Farbort
- Vorwärtsspannung (Volt)





McAdam-Ellipses

### Sortierung nach ANSI und McAdams

Heute werden LEDs nach dem ANSI-Standard (ANSI = American National Standards Institute) sortiert. Er definiert Farbwertabweichungen mithilfe der McAdams-Ellipsen. Die Angabe der McAdams Ellipse geben dem Nutzer einen Anhaltspunkt, wie weit die Streuung einzelner LED-Module z. B. hinsichtlich der Farbwahrnehmung auseinander gehen. Dies ist für ein gleichmäßiges Erscheinungsbild von grosser Bedeutung.

In der Theorie spricht man von einer McAdams sobald ein visueller Unterschied hinsichtlich des Farbwahrnehmens erkennbar ist. Da diese Laborbedingung in normalen Beleuchtungsanwendungen z. B. durch Reflektionen von farbigen Oberflächen nicht zum Tragen kommen, gelten bereits 3 McAdams Ellipsen als sehr hochwertig.



## 2.7 Konventionelle Technik oder LED?

Um die Effizienz von Leuchtmitteln und Leuchten zu vergleichen, dient die Lichtausbeute in Lumen/Watt als Kennziffer. Hierbei muss zwischen reinen Lampenwerten und den finalen Leuchtenwerten unterschieden werden. Optiken, Filter, Reflektoren etc. haben einen Einfluss auf die Lichtausbeute. Daher ist es wichtig, die richtigen Daten miteinander zu vergleichen.

In der professionellen Beleuchtung werden Leuchtenwirkungsgrade (Systemleistung) verglichen. LED-Leuchten erzielen durch ihre punktförmige Lichtverteilung in der Regel deutlich höhere Wirkungsgrade als konventionelle Leuchten.

### Vergleich der Effizienz von Leuchtmitteln

Niedervolt-Halogenlampe QT 12, 75 W	20 lm/W
Kompakte Leuchtstofflampe TC-D, 18 W, 840	67 lm/W
Kompakte Leuchtstofflampe TC-L, 55 W, 840	87 lm/W
Leuchtstofflampe T16, 35 W, 840 (bei 35 °C)	103 lm/W
Halogenmetaldampflampe HIT, 35 W, 930	104 lm/W
LED-Retrofit, 5 W	ca. 50 lm/W
LED-Modul	ca. 99 lm/W

### Vergleich der Effizienz von Leuchten (EVG-Betrieb)

Downlight mit TC-DEL, 18 W, 840	39 lm/W	Wirkungsgrad	66 %
Deckeneinbauleuchte mit TC-L, 55 W, 840	62 lm/W	Wirkungsgrad	79 %
Deckeneinbauleuchte mit T16, 35 W, 840	67 lm/W	Wirkungsgrad	72 %
Downlight mit LED, 25 W, 940	105 lm/W	Wirkungsgrad	97 %
Deckeneinbauleuchte mit LED, 44 W, 840	85 lm/W	Wirkungsgrad	100 %

Der Vergleich zeigt, dass die Effizienz von LED-Leuchten bedingt durch ihren höheren Wirkungsgrad besser ist, als die konventioneller Leuchten.

LED-Leuchtmittel weisen in der Regel höhere Leuchtdichten auf als Leuchtstofflampen. Bei einem Leuchtmittelaustausch müssen Blendung und Lichtwirkung überprüft werden.



## 3.0 LED-Anwendung

### 3.1 Wo macht der Einsatz von LED Sinn?

Heute macht der Einsatz von LED-Leuchtmitteln und -Leuchten in vielen Anwendungen Sinn. Trotz des häufig vorherrschenden LED-Hype hat die konventionelle Technik oft noch immer ihre Daseinsberechtigung. Mehr als das: In einigen Anwendungen ist der Einsatz von LED unwirtschaftlich, da zu hohe Kosten entstehen.

Leuchtstofflampen und Halogenmetaldampflampen gehören neben der LED zu den effizientesten Leuchtmitteln. Die Leuchtstofflampe ist durch ihre Röhrenform prädestiniert für die diffuse und gleichmässige Allgemeinbeleuchtung. Als Punktlichtquelle ist die Halogenmetaldampflampe immer noch sehr gefragt, da ihr Licht sehr brilliant ist. Allerdings ist sie nicht dimmbar und benötigt einige Zeit, um ihre volle Lichtleistung zu entfalten.

Prüfen Sie die Bedürfnisse Ihrer Kunden genau, um das richtige Lichtsystem für optimale Qualität und Effizienz zu finden.

Der Einsatz von LED ist in den unterschiedlichsten Anwendungen sinnvoll:

- In der **Shopbeleuchtung**: Hier überzeugt die LED durch ihre sehr gute Farbwiedergabe. Materialien werden farbecht wiedergegeben. Da die Wärme bei LED-Leuchten nach hinten abgegeben wird, verringert sich die Temperatur auf der Ware, was einen positiven Einfluss auf die Klimatisierung und das Wohlbefinden der Kunden hat. Das Licht der LED hat keinen UV-Anteil, somit bleicht die Ware nicht aus.
- In der **Museumsbeleuchtung**: Hohe Beleuchtungsstärken schädigen empfindliche Objekte. Durch die geringen Leistungen von LED-Leuchten und den sehr geringen IR-Anteil lassen sich Schäden an Kunstobjekten reduzieren.
- Im **Büro** und in der **Schule**: Die Punktlichtquelle kann durch geeignete Optiken blendfreies, flächiges Licht erzeugen. Die hohe Effizienz, lange Lebensdauer und sehr gute Farbwiedergabe sind auch hier von Vorteil.
- In der **Aussenraumbelichtung** eignen sich LED-Leuchten zur Akzentuierung von Fassaden sowie zur Werbebeleuchtung. An schwer zugänglichen Orten punkten sie mit geringem Wartungsaufwand. Ausserdem haben kühle Temperaturen einen positiven Einfluss auf ihre Lebensdauer.
- Zur **farbigen Akzentuierung**: Überall dort, wo farbiges Licht effizient erzeugt werden soll, ist die LED klar im Vorteil. Denn sie benötigt für die Erzeugung keine Farbfilter, die den Lichtstrom mindern und damit die Effizienz beeinträchtigen.
- Die **Notbeleuchtung** ist ein klassisches Anwendungsgebiet für LED-Leuchten. Durch ihren Sofortstart und ihr flackerfreies Licht mit geringem Energieverbrauch sind sie geradezu prädestiniert für diesen Einsatz. Das Gleiche gilt für den Betrieb am Bewegungsmelder.

Der Einsatz von LED-Leuchten in der Industrie, zur Strassen- und Sportstättenbeleuchtung muss individuell geprüft werden. Bei hohen Lichtpunkthöhen sind Kosten und Effizienz von LED-Lösungen mit konventionellen Techniken zu vergleichen. Für eine kompetente Argumentation empfehlen wir Wirtschaftlichkeitsberechnungen, die von uns und vielen Herstellern und Lichtplanern angeboten werden. Erst nach genauer Überprüfung aller Einflussfaktoren kann eine verlässliche Aussage gemacht werden. Neben den Investitionskosten für eine Beleuchtungsanlage sollten der Energieverbrauch über die Lebensdauer, sowie Wartungs- und Personalkosten beurteilt werden.

### 3.2 Berechnung Energiepotential Beleuchtung

Objekt/Kunde: Elektro-Material AG

Datum: 07.10.2013

Aussteller: M. Muster

Stromkosten kWh	0.15	CHF/kWh
Leuchtdauer pro Tag/in Std.	10	Stunden
Tage pro Woche	5	Tage
Tage pro Monat	22	Tage
Betriebsstunden pro Jahr	2'640	Stunden/Jahr
Wartungskosten/Ersatz	90.—	CHF/Stunden
Wartungszeit/Ersatz	5	Minuten/Stk

	Bestehende Leuchtmittel; Typ: Halogen	Neue Leuchtmittel; Typ: LED
Leistungsaufnahme Leuchtmittel	60 Watt	5.5 Watt
Anzahl der Leuchtmittel	20 Stück	20 Stück
Kosten pro Stück	8.— CHF	39.50 CHF
Wartungsintervall Leuchtmittel (Leuchtmittel Lebensdauer)	3'000 Stunden	50'000 Stunden

Stromkosten pro Jahr (CHF/Jahr)	<b>475.20 CHF</b>	<b>43.56 CHF</b>
---------------------------------	-------------------	------------------

### Return-On-Invest Berechnung

	Bestehende Leuchtmittel; Typ: Halogen		Neue Leuchtmittel; Typ: LED	
		Total		Total
Stromkosten pro Jahr	475.20 CHF	475.20 CHF	43.56 CHF	43.56 CHF
Kosten Lampen		160.— CHF		790.— CHF
Stunden/ Jahr	2'640		2'640	
Kosten pro Stück	8.— CHF		39.50 CHF	
Anzahl	20		20	
neue Armaturen	0		0	
Umbaukosten	0.— CHF		0.— CHF	
Wartung		132.— CHF		7.92 CHF
Ersatzlampen	ca. 18 Stk.	140.80 CHF	ca. 1 Stk.	41.71 CHF
<b>Total</b>		<b>908.— CHF</b>		<b>883.19 CHF</b>

Einsparungen	
Stromkosten	431.64 CHF
Einsparung Wartungskosten	124.08 CHF
<b>Total</b>	<b>555.72 CHF</b>

Investition	
Stromsparlampen	790.— CHF
Umbaukosten	0.— CHF
<b>Total</b>	<b>790.— CHF</b>

**ROI-Monate 17.1**

Beim Einsatz der neuen Leuchtmittel: «LED»



In klassischer «Birnenform» und Schraubsockel E14 oder E27 ersetzen LED-Lampen herkömmliche Glühlampen. Mit unterschiedlichen Stecksockeln sind sie effizienter Ersatz für Glüh- und Halogenleuchtungen.



Wer zum Beispiel eine ineffiziente 60-Watt-Glühlampe, die mittlerweile nicht mehr in den Markt gebracht werden darf, durch eine LED-Lampe 11 oder 12 Watt ersetzt, spart 80 % Energie – und entsprechende Stromkosten.

### 3.3 LED-Leuchtmittel

LED-Retrofit-Leuchtmittel ersetzen konventionelle Leuchtmittel, ohne dass die Leuchte ausgetauscht werden muss. Sie sind mit Schraub- oder Stecksockel versehen. Das Betriebsgerät inklusive Kühlkörper ist im Leuchtmittel integriert. LED-Leuchtmittel sind in vielen Varianten und Lichtfarben verfügbar, zeichnen sich durch hohe Energieeffizienz und eine gute Farbwiedergabe aus. Je nach System können sie auch gedimmt werden.

Der Ersatz von Leuchtstofflampen durch eine LED-Retrofit sollte genau geprüft werden. Aufgrund verändertem Lichtstrom und Abstrahlgeometrie verändern sich Beleuchtungsstärke und Gleichmässigkeit. Ob und inwieweit Vorschaltgeräte ausgetauscht werden müssen, sollte von einer Fachperson geprüft werden.

LED-Leuchtmittel erreichen nicht die Performance kompletter LED-Systeme, da bestehende Leuchten nicht für den LED-Betrieb optimiert sind und das notwendige Thermomanagement bei Retrofits auf kleinstem Raum innerhalb der Lampe gewährleistet sein muss.

Als energiesparende Alternative sind sie trotzdem eine gute Wahl für den Privatbereich oder im Kleinbüro: Denn ein warmweisses LED-Leuchtmittel mit 8 Watt erreicht rund 25'000 Betriebsstunden – das sind bei knapp drei Stunden Betrieb pro Tag immerhin fast 25 Jahre. Damit übertrumpfen LED-Leuchtmittel auch die Energiesparlampe.

LED-Leuchtmittel gibt es in diversen Weisstönen und auch als farbige Variante.

### 3.4 LED-Leuchten

Die LED ist eine effiziente Lichtquelle sowohl für die Akzent- als auch für die Allgemeinbeleuchtung. In der professionellen Beleuchtung werden LEDs mit entsprechenden Optiken für die jeweilige Anwendung versehen. Somit kann das punktförmige Licht blendfrei gestreut werden. Austauschbare Retrofit-LED-Leuchtmittel werden hauptsächlich in der dekorativen Beleuchtung, also im Hausgebrauch, eingesetzt.

Leuchtenhersteller unterscheiden Produkte für die Akzentbeleuchtung, wie Strahler, Einbaudownlights und modulare Lichtsysteme, z. B. für die Regalbeleuchtung. Leuchten für die Allgemeinbeleuchtung umfassen Downlights, Einbauleuchten, Anbau- und Pendelleuchten, Steh- und Wandleuchten, Lichtbandsysteme und Aussenleuchten.

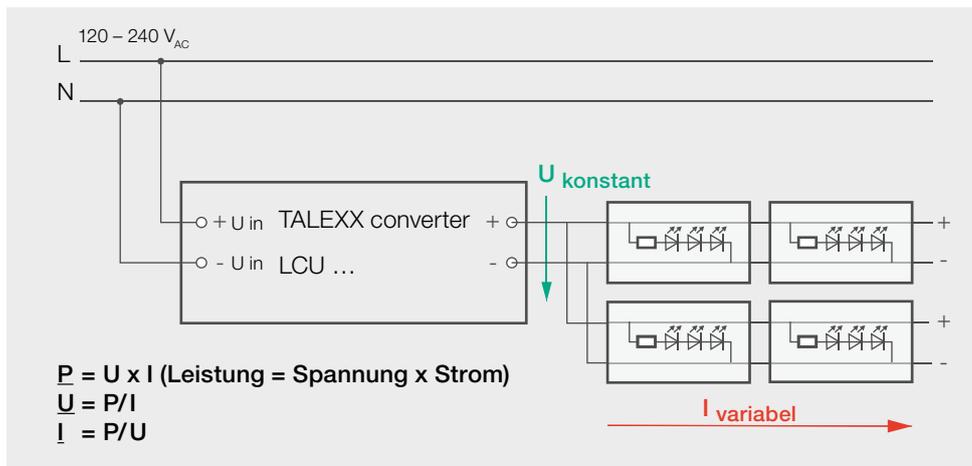
Ein wichtiges Anwendungsgebiet für LED-Leuchten ist die Sicherheitsbeleuchtung.

LED-Leuchten werden nach ihrer Ansteuerung unterschieden. Folgende Systeme stehen zur Auswahl:

- Spannungsgesteuerte Leuchten / Leuchtmittel
- Stromgesteuerte Leuchten / Leuchtmittel
- Hochvolt-Leuchten / Leuchtmittel

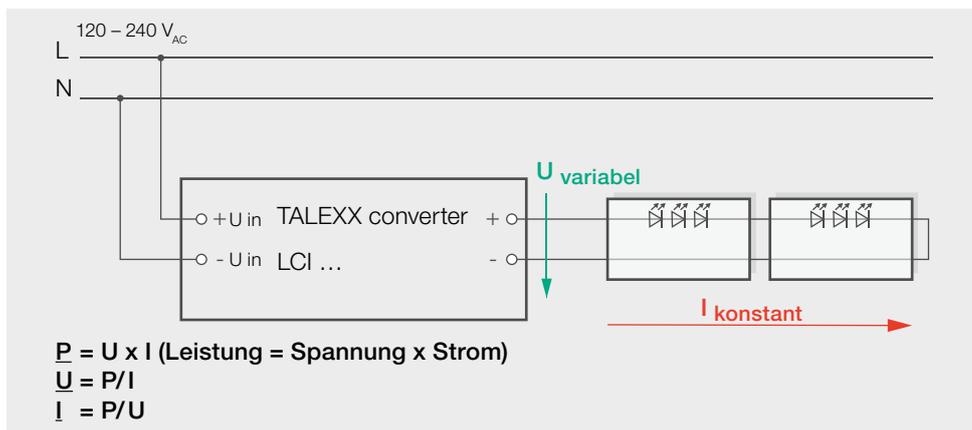
### 3.5 Spannungsgesteuerte Leuchten / Leuchtmittel

Die Anzahl der Leuchten pro Betriebsgerät ist abhängig von deren Gesamtleistung. Sie werden in der Regel mit 10, 12 oder 24 V angesteuert. Spannungsgesteuerte Leuchten werden in Parallelschaltung miteinander verbunden. Diese Leuchten werden hauptsächlich im dekorativen Bereich eingesetzt. Bitte beachten Sie die Angaben zu maximalen Leitungslängen der jeweiligen Hersteller im Verhältnis zum Leitungsquerschnitt.



### 3.6 Stromgesteuerte Leuchten / Leuchtmittel

Die Anzahl der stromgesteuerten LEDs pro Betriebsgerät ist abhängig von der jeweiligen Wattage und Spannung, welche das Betriebsgerät zur Verfügung stellt. Die Effizienz ist höher als bei spannungsgesteuerten LEDs. Sie werden in der Regel mit einem Konstantstrom-Netzgerät 350 mA, 500 mA oder 700 mA etc. betrieben. Diese Leuchten werden in Serienschaltung miteinander verbunden. Bitte beachten Sie die Angaben der Hersteller bezüglich Ausgangsspannung zur Sicherstellung des Personenschutzes. Je nach Konverter können Spannungen über die SELV-Spannungsgrenze von 60 V hinausgehen.



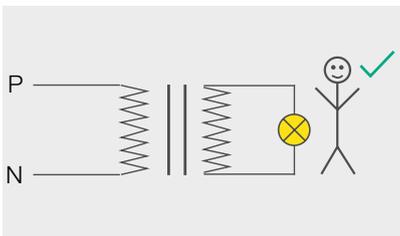
### 3.7 Hochvolt-Leuchten / -Leuchtmittel

Diese Leuchten sind einfach zu installieren. Sie sind in der Regel dimmbar.

#### SELV

Die Bezeichnung SELV steht für Safety Extra Low Voltage. LED-Leuchten, die mit Konstantspannung betrieben werden, sind üblicherweise im SELV-Bereich.

Grundvoraussetzung für SELV ist neben der Einhaltung der gesetzlichen Spannungs-Obergrenzen ein Konverter mit einer galvanischen Trennung auf der Eingangsseite. Die Lastseite muss vom Netz durch doppelte oder verstärkte Isolierung geschützt werden.



#### Für SELV gilt:

Bis 50 V AC RMS und **120 V DC (unberührbar)**

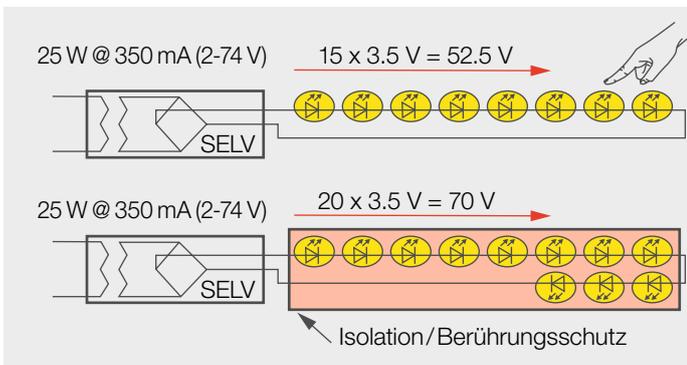
> oberste Grenze von SELV

Bis 25 V AC RMS und **60 V DC (berührbar)**

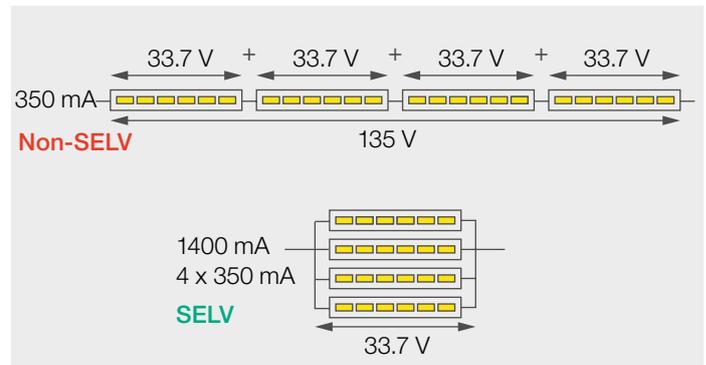
> trockene Umgebung – ohne Isolation oder Berührungsschutz

Bis 12 V AC RMS und **30 V DC (berührbar)**

> feuchte Umgebung – unterhalb diesen Werten ist kein Schutz notwendig



Wird der SELV-Bereich verlassen bzw. bei > 60 V DC SELV, muss die LED vor jeglicher Berührung geschützt werden.



Betrieb mehrerer Module an einem Betriebsgerät (SELV)



### 3.8 Projektbeispiel einer Umstellung auf Retrofit-LEDs

## «Projekt: Renaissance Zürich Tower Hotel»

(Auszug aus einer Diplomarbeit)

*Um zu zeigen was für einen Einfluss Leuchtdioden (LEDs) auf den Energiehaushalt eines Hotels haben, werden wir in diesem Beispiel ein Hotel analysieren und evaluieren, wo eine Umstellung der Beleuchtung auf LED sinnvoll wäre. Das Hotel, welches sich freundlicherweise für das Projekt bereit erklärt hat, ist das Renaissance Zurich Tower Hotel. Durch dessen Eigenschaften bezüglich Grösse, Alter des Gebäudes und Kategorie stellt es ein repräsentatives Objekt für dieses Projekt dar. Das Hotel steht unter der Verwaltung der SV Group.*

*Ein repräsentativer Vorher-Nachher-Vergleich erfordert eine ausführliche Analyse der Ausgangslage. Um dies zu gewährleisten, haben wir, in Zusammenarbeit mit dem technischen Leiter des Hotels, die Beleuchtung des Hotels und dessen Kriterienkatalog analysiert um später evaluieren zu können, für welche Bereiche auch eine effizientere LED-Beleuchtung geeignet wäre.*

#### **Hotel-Details**

Eröffnung: 30.08.2011

Etagen: 14

Zimmer: 252

Suiten: 48

Meeting-Räume: 10

Gesamtfläche: 1'000 m<sup>2</sup>



### **Aufnahme der Ist-Situation**

#### 1. Erstellen des Kriterienkataloges

a. In diesem Falle liegt ein ausführlicher Kriterienkatalog von der SV Group vor. Priorität haben das Vermitteln von Geborgenheit und das Gefühl «Zuhause zu sein». Ebenso soll der Kunde überall auf der Welt den gleichen Komfort antreffen (Marriott-Hotels).

b. Welche technischen Kriterien sind zu beachten oder zu befolgen:

Gästezimmer: max. 300 Lux; je Lichtpunkt max. 22 W (Halogen), teilweise dimmbar

Gänge: Durchbrechen der Monotonität mit max. 108 Lux, Tag-Nacht-Steuerung

Empfang/Lobby: «Willkommen heissen», max. 161 Lux; je Lichtpunkt min. 43 W (Halogen), teilweise dimmbar

Restaurant: Möglichst farbechte Beleuchtung, das Essen steht im Focus, min. 215 Lux; je Lichtpunkt max. 65 W (Halogen), alle Leuchtmittel müssen dimmbar sein

#### 2. Welche Potentiale können berechnet werden:

Gästezimmer, Empfang/

Lobby und Restaurant: Einsparungen beim Strom ca. 72 %

Gänge: Einsparungen bei den Stromkosten ca. CHF 484.70 pro Stockwerk

#### 3. Erstellen einer detaillierten Wirtschaftlichkeitsrechnung analog Beispiel auf Seite 15.

### **Bemusterungen**

Der Vergleich der verschiedenen Leuchtmittel hat gezeigt, dass sich mit LEDs in den meisten Bereichen die gleiche Lichtatmosphäre schaffen lässt, wie mit den aktuell eingesetzten Leuchtmitteln. Um sicher zu gehen, dass dies auch im Renaissance Zurich Tower Hotel der Fall ist, wurde in Auftrag gegeben, die Beleuchtung eines Standardgästezimmers und des Flurs auf LED-Leuchtmittel umzustellen.

Durch das Musterzimmer war es möglich, eine Wirtschaftlichkeitsrechnung zu erstellen und einen optischen Vergleich der Lichtwirkung vor und nach der Umstellung durchzuführen.



Beispiel eines Standardgästekimmers: Abbildung links: Grundbeleuchtung der Zimmer vorher. Abbildung rechts: Grundbeleuchtung der Zimmer nachher.

*Die Beleuchtung der Hotelzimmer konnte fast komplett mit LED Leuchtmittel ausgestattet werden. Mit Ausnahme der Steh- und Arbeitsleuchte für die noch keine passende LED Lampe besteht.*

### **Projektkontrolle**

*Ein weiterer wichtiger Punkt der meist unterschätzt wird, ist die Kontrolle nach Beendigung der Umstellung. Das zu Anfang aufgestellte Budget wird mit den getätigten Ausgaben verglichen sowie eine erneute Wirtschaftlichkeitsrechnung erstellt. Die daraus folgenden Resultate geben Aufschluss über die Wiedergewinnungszeit und zeigen eventuelle Fehler bei der Kalkulation des Budgets auf. Zusätzlich können, die während der Umstellung gesammelten Erfahrungen, in künftige Projekte miteinfließen.*

### **Fazit**

*Die Recherchen haben gezeigt, dass LEDs im Vergleich zu herkömmlichen Leuchtmitteln im Bereich der Langlebigkeit und Effizienz neue Massstäbe setzen. Dabei gibt es keine Einbussen bei der Qualität des ausgestrahlten Lichtes. In einem Hotel kann in vielen Räumlichkeiten durch eine professionell geplante Umstellung auf hochwertige LED-Produkte, die Ökobilanz verbessert und eine bedeutende Einsparung bei den Strom- und Wartungskosten erreicht werden. Durch die Langlebigkeit und Effizienz der LED-Leuchtmittel, lässt sich das investierte Kapital in wenigen Jahren amortisieren.*

*Die Möglichkeit durch Verwendung von LED-Leuchtmitteln mit geringem Einsatz an Energie, eine hohe Leuchtkraft zu erzeugen, ist eine faszinierende neue Technologie, die noch viel Potenzial birgt. In Kombination mit neuen Lichtmanagementsystemen, lässt sich ergänzend zur Grundbeleuchtung, mit farbigen LEDs, durch programmierte Farbläufe und punktuell gerichteten Akzentleuchten für jeden Raum eine stilvolle individuelle Lichtlösung finden. Das steigende Umweltbewusstsein der Bevölkerung macht auch in der Hotellerie den Einsatz eines effizienten und langlebigen Leuchtmittels unerlässlich.*

Das Projekt führte zu einer Umsetzung.

Quelle der Studie: Diplomarbeit 2013, Yuval Riegler, Daniela Haltiner / Ort: Renaissance Zürich Tower Hotel

Weitere Details zu einer allgemeinen LED-Beleuchtungsplanung finden Sie auf den nachfolgenden Seiten.



## 4.0 LED-Planung und Installation

### 4.1 Von konventionell zu LED – Fragen zum Leuchtmittelwechsel

Möchte Ihr Kunde auf LED-Leuchtmittel umsteigen? Dann helfen Ihnen die folgenden Fragen, das richtige Leuchtmittel zu finden.

- Welche Fassungen/Sockel sind vorhanden?
- Welche Lichtfarbe wünscht Ihr Kunde? (Kelvin)
- Wie soll die Lichtverteilung aussehen? (Bauform des Leuchtmittels und Optik, bzw. Reflektortechnologie)
- Wie gut sollen Farben wiedergegeben werden? ( $R_a$ -Index)
- Ist die bestehende Anlage dimmbar?
- Wenn ja, mit welcher Leistung kann der Dimmer betrieben werden? (Minimal- und Maximalleistung)
- Wenn nein, soll mit Dimmern nachgerüstet werden?
- Wird ein Dimmer gewünscht oder reicht die Double-Click-Funktion (2 Helligkeitsstufen mit herkömmlichem Lichtschalter)?

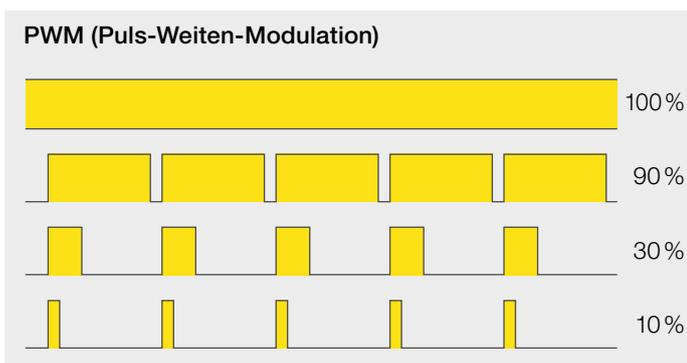
### 4.2 Planung einer LED-Anlage

Folgende Kriterien sollten Sie bei der Planung einer LED-Anlage berücksichtigen:

- Definieren Sie die Lichtfarbe: Ist eine einfarbige oder eine farbveränderliche RGB-Anwendung gewünscht?
- Definieren Sie die Schaltungsart: Wie soll das Licht geschaltet werden: Ein/Aus, Potentiometer, SwitchDim, DALI?
- Definieren Sie Leuchten und Ihre Leistungen: Welche Leuchten werden eingesetzt? Spannungsgesteuerte oder stromgesteuerte?
- Definieren Sie die Art der Ansteuerung: spannungs- oder stromgesteuert?
- Legen Sie Leitungslängen und -Querschnitte fest: Leitungslängen zwischen Netzgerät und Leuchte, Platzierung der Betriebsgeräte
- Achten Sie auf die benötigte Beleuchtungsstärke (Lux).
- Klären Sie, welche Stimmung erzeugt werden soll.

### 4.3 Dimmen von LED

Gedimmt werden LED-Leuchten über getrennte Steuereingänge (z. B. DALI) oder durch die Methode der Pulsweiten-Modulation.



#### Pulsweiten-Modulation

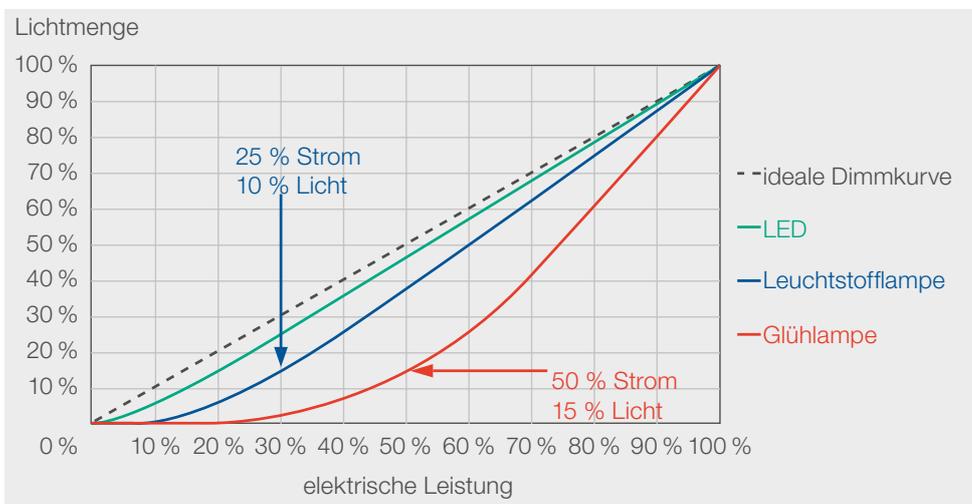
Dioden können stufenlos bis auf 0 % ihrer Lichtleistung gedimmt werden. Ihre Qualität – Lichtfarbe, Farbwiedergabe, Lebensdauer – wird dadurch nicht beeinträchtigt.

Bei der Pulsweiten-Modulation (PWM) wird die Helligkeit durch hohe Frequenz digital ein- und ausgeschaltet. Das menschliche Auge kann den Wechsel nicht wahrnehmen. Durch kürzere «Aus-Phasen» wird das Licht heller, längere «Aus-Phasen» reduzieren die Lichtintensität.

### Dimmkennlinie der LED

Das Verhältnis von elektrischer Leistung zur Lichtmenge ist bei keinem Leuchtmittel exakt proportional. Die Dimmkennlinie der LED kommt der idealen Kurve jedoch sehr nahe.

Lichtsteuerungen ermöglichen die Lichtregulierung in Abhängigkeit von Präsenz oder Tageslicht. Bei der tageslichtabhängigen Regelung wird das einfallende Licht so weit wie möglich genutzt und der Kunstlichtanteil entsprechend minimiert. Das spart Energie und Kosten. Auch dynamische Lichtlösungen, die sich über den Tagesverlauf verändern sind mit Lichtsteuerungen individuell programmierbar.



### Betriebsgeräte und Dimmer

Alle Komponenten des LED-Systems müssen perfekt aufeinander abgestimmt sein. Nur dann kann das hohe Potenzial der LED auch genutzt werden.

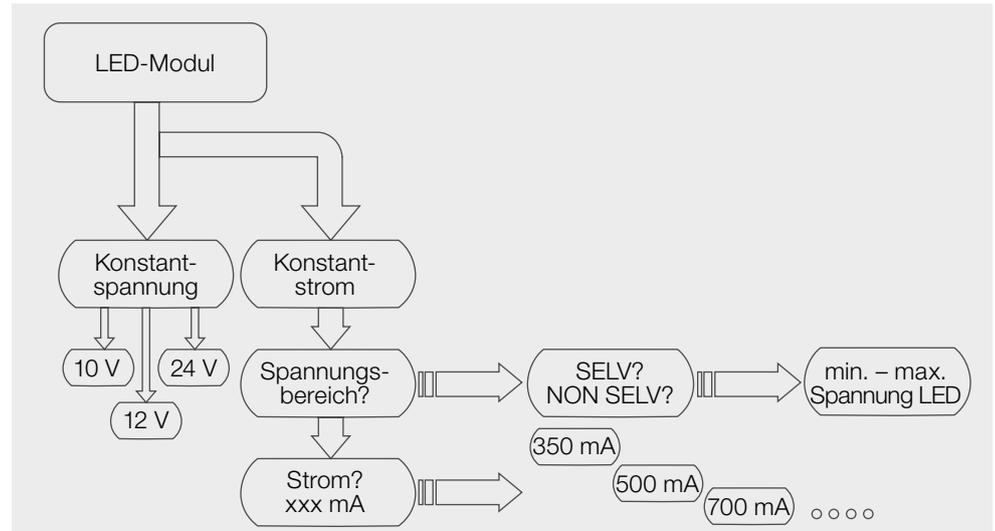
Die Arbeitsweise von LED-Modulen wird durch die Strom- und Spannungsversorgung entscheidend beeinflusst. Elektronische Betriebsgeräte und Konverter sorgen durch exakte Definition der elektrischen Parameter für optimale Lichtausbeute, lange Lebensdauer und bieten Schnittstellen für die elektronische Steuerung.

Typ und Anwendung der LED-Leuchte bestimmen die Wahl der Betriebsgeräte. Leuchten können direkt mit Netzspannung versorgt werden oder arbeiten über externe Betriebsgeräte, zum Beispiel mit Schutzkleinspannung. Gedimmt werden LED-Module über getrennte Steuereingänge (wie etwa DALI) oder durch die Pulsweiten-Modulation.

LEDs sind auf eine gleichmäßige Stromversorgung angewiesen. Denn schon kleine Spannungsänderungen können einen starken Anstieg der Stromstärke bewirken und die LED schädigen. Betriebsgeräte wandeln die Netzspannung und sorgen als Konverter für eine typgerechte Energieversorgung; in der Regel mit Schutzkleinspannung. Betriebsgeräte bieten Schnittstellen für die elektronische Steuerung mit Lichtmanagement-Systemen. Es gibt Leuchten mit integriertem Betriebsgerät oder Leuchten mit separaten Komponenten.



## Kompatibilitätsprüfung LED-Betriebsgerät



### Zwei Arten von Betriebsgeräten transformieren die Netzspannung LED-gerecht:

Betriebsgeräte mit **konstanter Ausgangsspannung** drosseln die Netzspannung von 230 V AC auf eine stabilisierte Kleinspannung von zum Beispiel 10, 12 oder 24 V. Sie müssen spannungsgesteuert werden und erlauben nur eine einfache Regelung der Lichtintensität durch «Pulsen» der Spannung, heisst: ein- oder ausschalten. Bei dieser Betriebsart ist zudem eine zusätzliche Strombegrenzung auf den LED-Modulen notwendig, da die Vorwärtsspannung einzelner LEDs stark streut. Ist die Strombegrenzung falsch ausgelegt, können Dioden und Betriebsgeräte zerstört werden. Wichtig ist deshalb, nur speziell auf die LED zugelassene Betriebsgeräte zu verwenden. In der Regel werden LED-Leuchten, die mit weniger als 0,5 Watt arbeiten, spannungsgesteuert betrieben.

Betriebsgeräte mit **konstantem Ausgangsstrom** erzeugen aus der Netzspannung einen stabilisierten Ausgangsstrom von zum Beispiel 350 Milliampere (mA), 700 oder 1'050 mA. Mit dieser Variante können LED-Module ohne zusätzliche Bauteile zur Strombegrenzung betrieben und in Reihe geschaltet werden, was die Leistungsbilanz (Lumen pro Watt) verbessert. Die Dioden können dank stabilem Betriebsstrom nicht überlastet werden; schwankende Vorwärtsspannungen spielen hier keine Rolle. Diese Art der Ansteuerung eignet sich besonders für leistungsstarke Hochstromdioden.

## 4.4 Einbau und Montage von LED-Leuchten

Für Einbauleuchten ist die Temperatur im Einbauraum – also oberhalb der Leuchte – entscheidend. Beim Einbau von LED-Leuchten in Decken und Wände muss für eine ausreichende Luftzirkulation gesorgt werden. Wie auch bei konventionellen Leuchten dürfen Leuchte und Vorschaltgerät nicht mit Dämmmaterialien abgedeckt werden. Das Vorschaltgerät muss seitlich im vorgegebenen Abstand gemäss Montageanleitung platziert werden.

Die Lebensdauer von LED-Dioden und LED-Konvertern hängt entscheidend von der Wärmeentwicklung der Umgebung ab. Die vom Hersteller angegebenen Abstände zwischen Leuchte, Betriebsgerät und festen Bauteilen (Decken, Trägersysteme) müssen eingehalten werden.

Vor jeglichen Arbeiten an der LED-Leuchte ist diese spannungsfrei zu schalten. Achten Sie immer darauf, die Netz-Stromzufuhr der LED-Netzteile/Konverter (primärseitig) vor dem Ein- und Ausstecken der LEDs (sekundärseitig) zu unterbrechen, da sonst der Einschaltstrom der LED-Netzteile die sekundärseitig angeschlossenen LED-Leuchten zerstören.

LED-Leuchten dürfen nur mit den jeweils symbolisiert angegebenen Konvertern oder LED-Netzteilen betrieben werden. Falsch gewählte LED-Netzteile/Konverter können zur Zerstörung der LED-Einheit führen. Beachten Sie immer die Montageanleitung des Herstellers. Der Hersteller übernimmt keinerlei Haftung für unsachgemässe Behandlung.

# 5.0 Ausblick OLED

Licht = Leuchtmittel und Leuchte? Diese Formel hat bereits durch die LED-Technologie an Aktualität verloren und wird in Zukunft nur noch bedingt richtig sein. OLEDs, organische Leuchtdioden, bieten völlig neue Einsatzmöglichkeiten in Textilien, Möbeln und Architektur.

Die OLED ist die erste wirklich flächige Lichtquelle. Anders als die punktförmig strahlenden, anorganischen LEDs nutzen sie organische Halbleiter zur Lichterzeugung.

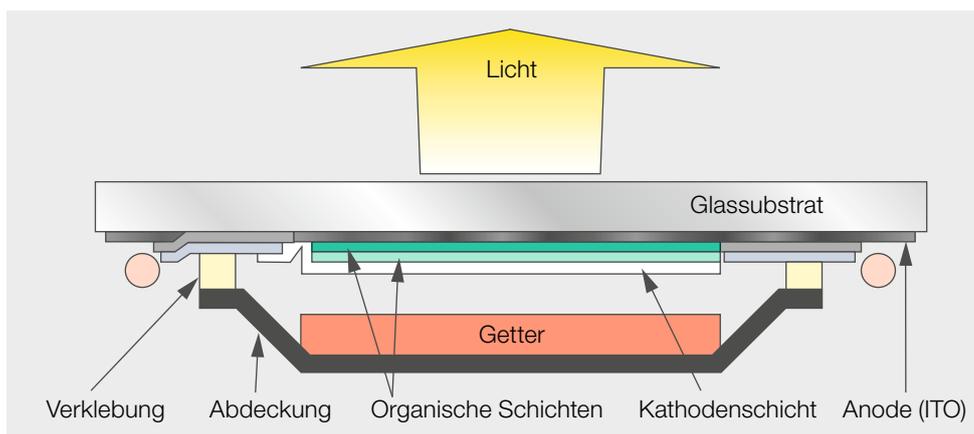
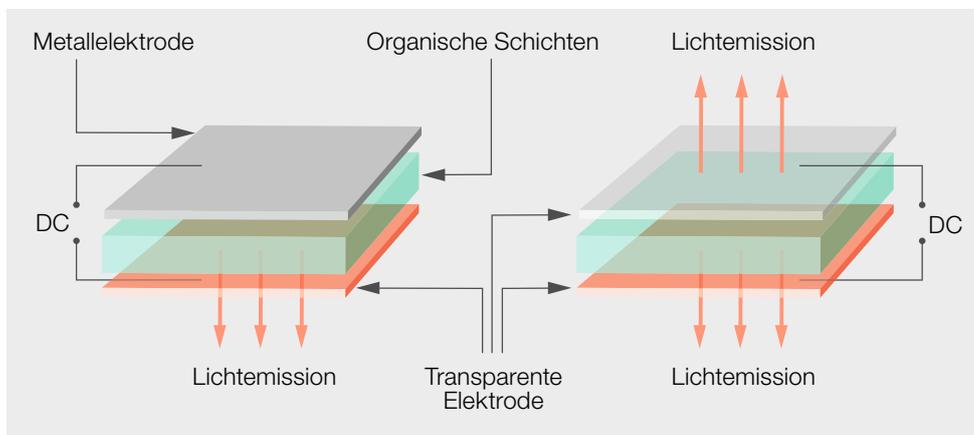
Im Gegensatz zu konventionellen Leuchtmitteln, bei denen Strom durch einen Draht oder ein Gas geleitet wird, fließt der Strom bei OLEDs durch ultrafeine organische Schichten – hundert Mal dünner als ein Haar. Sie werden aus kleinen Molekülen (smOLED) gefertigt, zunehmend auch aus langkettigen Polymeren (pOLEDs).

Der Aufbau von OLEDs erinnert an ein Sandwich (siehe Grafiken). Die organischen Schichten sind immer eingebettet zwischen zwei grossflächigen Elektroden, einer negativ geladenen Aluminiumschicht (= Kathode) und einer positiv geladenen Indiumzinnoxid-Schicht (= Anode). Als Trägermaterial dient meist Glas. Ebenso wie bei LEDs bestimmt die Molekülstruktur der verwendeten Halbleiter die Farbe des Lichts.

OLEDs reagieren sehr empfindlich auf Sauerstoff und Feuchtigkeit. Sie werden deshalb verkapselt. Ein sogenannter «Getter» in Form eines Kissens auf der Rückseite des Bauteils nimmt Feuchtigkeit auf, bevor sie die besonders «rostanfällige» Kathode erreichen kann.



## Schematische Darstellung des Aufbaus einer OLED





### Vorteile von OLEDs

Für die Beleuchtung können OLEDs künftig viele Vorteile bieten, denn

- OLEDs sind extrem dünn.
- sie geben gleichmässiges, weitgehend blendfreies Licht mit hoher Farbwiedergabe.
- sie bringen sofort volle Leistung, lassen sich stufenlos über den Betriebsstrom dimmen und sind extrem flexibel in der Farbsteuerung.
- Wie ein Baustoff lassen sie sich in andere Materialien einfügen. Tagsüber sind sie transparent oder diffus und leuchten abends taghell.
- sie können nahe an empfindliche Materialien gebracht werden und ohne Verbrennungsgefahr berührt werden.
- OLEDs sind umweltfreundlich, da sie weder Quecksilber noch andere Giftstoffe enthalten.

Die Produktion leistungsfähiger OLEDs erfordert viel Know-how. Vor allem die Lebensdauer (derzeit rund 10'000 Stunden) und der Schutz der hauchdünnen Folien vor Sauerstoff und Wasser sind grosse Herausforderungen. Geeignete Kunststoffmaterialien müssen die organischen Schichten über eine lange Lebensdauer hinweg ausreichend schützen.

Die Entwicklung von geeigneten transparenten Kunststoffen macht den Weg frei für flexible OLED-Panels – grosse, gleichmässig leuchtende Flächen, deren Helligkeit und Farbe nach Wunsch angepasst und auf fast jede Oberfläche appliziert werden kann.

Die organischen Dioden sind bereits in Mobiltelefonen zu finden. Seit Anfang 2009 sind OLED-Bildschirme im Handel. Experten schätzen, dass die OLEDs in den nächsten Jahren auch verstärkt für grossflächige Lichtlösungen eingesetzt werden, zum Beispiel in der Shop- oder Museumsbeleuchtung, in Vitrinen für kostbare Ausstellungsstücke. Zurzeit sind sie vor allem in Designerleuchten zu sehen.

### Fazit

LEDs bieten Ihnen vielfältige Möglichkeiten für individuelle Lichtlösungen. Neben der Wirtschaftlichkeit von Beleuchtungsanlagen spielt die Lichtqualität, also der Komfort für den Nutzer, eine immer wichtigere Rolle.

Um Lichtlösungen entwickeln zu können, die langfristig rentabel sind, ist es unerlässlich die Bedürfnisse Ihrer Kunden genau zu analysieren. Auch oder gerade mit der LED-Technologie ist es entscheidend zu wissen, warum, wann, wo und für wen Kunstlicht benötigt wird.

Intelligente Lichtsteuerungen ermöglichen eine optimale Nutzung des Tageslichts für eine hohe Lichtqualität und zur Energieeinsparung. Das künstliche Licht lässt sich automatisiert nach Bedarf dazu steuern. Sie als Elektroinstallateur sehen sich vermehrt mit neuen Technologien konfrontiert. Mit der Elektro-Material AG als Partner sind Sie immer aktuell informiert und bestens unterstützt.

Diese Broschüre hilft Ihnen bei der Beratung Ihrer Kunden und gibt Ihnen praktische Tipps zu Energieeffizienz, Lichtqualität und dem täglichen Umgang mit der LED-Technologie.

# 6.0 FAQ's



## 1. Wie gehe ich beim Glühlampenersatz vor?

- Gibt es ein LED-Retrofit zu den vorhandenen Sockeln / Fassungen?
- Klären Sie, ob die Beleuchtungsanlage dimmbar oder nicht dimmbar ist.
- Sollte Dimmbarkeit gewünscht sein, so prüfen Sie welcher Dimmer mit welchem Leuchtmittel funktioniert. Hinweise hierzu finden Sie bei den jeweiligen Herstellern.

## 2. Wie gehe ich beim NV-Halogenglühlampenersatz vor?

- Gibt es ein LED-Retrofit zu den vorhandenen Sockeln / Fassungen?
- Prüfen Sie ob die Anlage schaltbar oder dimmbar ist.
- Klären Sie wie viele Leuchten mit einem Dimmer betrieben werden können.
- Der Transformator der NV-Anlage muss mit den Betriebsbedingungen des Retrofit-Leuchtmittels übereinstimmen, ggf. müssen Betriebsgeräte ausgetauscht werden.

## 3. Weshalb sollte man LEDs in der Allgemeinbeleuchtung verwenden? Energiesparlampen sind doch auch eine Alternative zur Glühlampe.

Energiesparlampen sind momentan auch noch eine gute Alternative. LEDs werden sich jedoch in Zukunft immer mehr durchsetzen, da sie bereits heute viele Vorteile bieten:

- LEDs sind sparsam und werden immer effizienter.
- Kein Lichtstromrückgang in kalten Umgebungstemperaturen.
- Ihre Lebensdauer ist um ein Vielfaches höher als die von Energiesparlampen.
- Sie können mit unterschiedlichen Lichtfarben und farbigem Licht trumpfen. Dazu können LEDs sehr leicht gedimmt und auch dynamisch angesteuert werden.
- LEDs emittieren gerichtetes Licht, d. h. das Licht kommt dort an, wo es gebraucht wird.
- LEDs geben sofort 100 % Licht und sind schaltunempfindlich.

Allerdings spielen LEDs ihre Vorteile nur dann aus, wenn es sich um Qualitätsprodukte handelt. Sie zeichnen sich durch ein effektives Thermomanagement aus, das die Leitungswärme abführt, durch einheitliche Lichtfarben und gleichmässige Helligkeit aus sowie durch minimale Frühausfälle. «Billigware» bietet oft nicht die gewünschte Qualität. Elektro-Material AG unterstützt Sie gerne bei der Produktauswahl.

## 4. Stimmt es, dass LEDs keine gute Farbwiedergabe haben und sich deshalb nur begrenzt für die Allgemeinbeleuchtung eignen?

Nein, das ist ein Vorurteil aus den ersten Tagen der LEDs. LEDs erreichen heute einen guten Farbwiedergabeindex ( $R_a$  / CRI) von 80 – 90. Inzwischen werden auch Werte bis zu  $R_a = 98$  erreicht. Das Sonnenlicht bietet im Vergleich dazu einen Maximalwert von 100.

## 5. Ist weisses LED-Licht nicht kalt und ungemütlich?

Nein, auch das ist ein Vorurteil aus den Anfangstagen der LED-Technologie. Ganz im Gegenteil: Heute gibt es LEDs in allen Farbtemperaturen von  $\geq 2'700$  K (= warmweiss) bis  $6'500$  K (= kaltweiss) im Handel zu kaufen.



## 6. Wie hoch ist die Lebensdauer von LEDs?

LEDs haben eine lange Lebensdauer, die bis zu 50'000 Stunden und mehr betragen kann. Allerdings altern auch sie: Dabei reduziert sich die Lichtleistung langsam, ohne dass sich der subjektiv empfundene Helligkeitseindruck merklich verändert. Nach Ablauf der angegebenen Lebensdauer leuchten LEDs aber noch immer mit etwa 70 bzw. 50 % Leistung. Ihre Ausfallrate ist also bedeutend geringer als zum Beispiel bei Energiesparlampen.

## 7. Brauchen LEDs eine Kühlung?

Ja, denn LEDs produzieren ausser Licht auch Wärme. Ohne Kühlung würde die Lebensdauer einer LED nur wenige 100 Stunden betragen. In der Regel wird die Wärme über Platine und Leuchtgehäuse abgeleitet. Neuere Geräte arbeiten teilweise mit Luft- oder Wasserkühlung.

## 8. Wie zahlt sich der etwas höhere Kaufpreis von LED-Leuchtmitteln und -Leuchten aus?

- Durch die lange Lebensdauer reduzieren sich die Kosten für Leuchtmittelwechsel und Wartung erheblich.
- LED-Leuchtmittel und -Leuchten haben einen deutlich geringeren Energieverbrauch im Vergleich zu konventionellen Lösungen. Die Kostenersparnis wird bei einer Wirtschaftlichkeitsberechnung über den Lebenszyklus eines Projektes deutlich.
- LED-Lichtlösungen schonen empfindliche Exponate und tragen zum Erhalt von Kulturgütern und hochwertiger Ware bei.

## 9. Können LEDs auch komplett ausfallen?

Ein Totalausfall ist äusserst selten und liegt statistisch bei zwei LEDs pro einer Million verbauter LEDs. Basis für die optimale Funktion Ihrer LED-Beleuchtung ist die fachmännische Installation gemäss Herstellerangaben. Bei unsachgemässer Inbetriebnahme oder zu hohen Umgebungstemperaturen können Ausfälle auftreten. Achten Sie daher unbedingt auf die Montagehinweise des Herstellers.

## 10. Was passiert, wenn eine LED defekt ist? Muss die Leuchte ersetzt werden?

Dies ist abhängig von der Art der Leuchte. Je mehr LEDs für eine Leuchte verwendet werden, desto weniger fällt ein einzelner Ausfall auf. Bei grösseren Ausfällen sollte ein Austausch der gesamten Leuchte geprüft werden. Klären Sie die Garantieleistungen mit dem Hersteller. Wenn ein LED-Leuchtmittel oder ein LED-Modul ausgetauscht werden, sollten Lichtfarbe und Helligkeit den übrigen LEDs im System weitgehend entsprechen.

## 11. Gelten die Angaben zum Lichtstrom in den Datenblättern der LED-Hersteller auch für Leuchten und LED-Leuchtmittel?

Nein, zwischen den Angaben zum Lichtstrom in den Datenblättern und dem tatsächlich nutzbaren Lichtstrom einer einsatzbereiten LED-Leuchte oder eines LED-Leuchtmittels muss klar unterschieden werden. Seriöse Anbieter weisen darauf hin. Hintergrund ist, dass sich die Lichtstromangaben auf den Datenblättern auf Werte beziehen, die bei einer Temperatur

von 25 °C direkt im LED-Chip erreicht werden. Die LED ist also quasi im «Rohzustand»; sie ist noch nicht auf einer Platine bestückt und nicht in Leuchte oder Leuchtmittel eingebaut. Bei der Messung werden LEDs zudem bei wesentlich geringeren Strömen als den üblichen 350 oder 700 Milliampere betrieben – und zwar nur für eine sehr kurze Dauer. Diese Angaben werden anschliessend hochgerechnet, wodurch sich Werte bis zu 200 Lumen pro Watt ergeben. Zugleich sind je nach LED-Typ und Lichtfarbe Betriebstemperaturen von über 80 °C zulässig, um die angegebene Lebensdauer zu erreichen. Durch ein effizientes Thermomanagement werden diese Grenzen eingehalten.



## 12. Was bedeutet die Kennung 350 mA / 700 mA?

Bei der Kennung 350 mA / 700 mA handelt es sich um stromgesteuerte LEDs, die spezielle Konstantstrom-Netzgeräte benötigen. Dies bedeutet, dass sie nicht an einen 24-Volt-Trafo oder direkt an 230-Volt-Netzspannung angeschlossen werden dürfen.

## 13. Müssen LED-Leuchten im Sinne der Laserverordnung gekennzeichnet werden?

Ja, der Gesetzgeber fordert eine deutliche Kennzeichnung, sofern LED-Leuchten unter die Laserverordnung fallen. Die Kennzeichnung ist in den technischen Unterlagen zu finden. An entsprechenden Leuchten befindet sich ein Aufkleber.

## 14. Welche Dimmsysteme gibt es?

Es gibt analoge und digitale Dimmsysteme. Analoge Dimmsysteme werden über ein 1–10 V Steuersignal oder über Phasen-/abschnittregulierung gesteuert. Digitale Dimmsysteme werden über DALI (= digital adressable lighting interface) angesteuert.

## 15. Kritische Fragen an den Phasenschnittregler

- Phasen- oder abschnitt?
- Wurde der richtige Regler ausgewählt?
- Erkennt ein Universaldimmer die richtige Last?
- Ist die Mindestlast des Reglers erreicht?
- Wird die empfohlene max. Auslastung des Reglers von 20 % nicht überschritten?
- Wie sieht der Sinus des Triac-Reglers wirklich aus?
- Dimmt der Regler in allen Bereichen sauber?
- Ist kein störendes Flackern wahrzunehmen?
- Passen alle Bauteile im System zusammen?

## 16. Was ist der Unterschied zwischen Mindestlebensdauer, mittlerer Lebensdauer und Nutzlebensdauer?

Die Mindestlebensdauer kennzeichnet die Lebensdauer, die ein Leuchtmittel unter genormten Bedingungen erreicht. Die mittlere Lebensdauer gibt den Mittelwert der Lebensdauer von Leuchtmitteln an, die unter normgerechten Bedingungen betrieben werden. Sie besagt, dass nach Ablauf der angegebenen Frist 50 % der eingesetzten Leuchtmittel ausgefallen sein können. Die sogenannte Nutzlebensdauer ist dann erreicht, wenn der Lichtstrom den angegebenen Grenzwert unterschreitet.

## 17. Was ist beim Umrüsten von T8-Leuchtmitteln auf LED-Retrofit zu beachten?

Die Lichtverteilung einer diffusen Leuchtstofflampe ist nicht vergleichbar mit der einer LED-Retrofit-Röhre mit punktförmigen LEDs. Bei einem Leuchtmittelaustausch verändern sich die lichttechnischen Eigenschaften der Beleuchtungsanlage und diese muss neu überprüft werden. Prüfen Sie mit welchem Vorschaltgerät die Leuchte betrieben wird (KVG / VVG oder EVG) und ob bauliche Veränderungen für den Betrieb des LED-Retrofit-Leuchtmittels notwendig sind. Werden Veränderungen an der Leuchte vorgenommen erlischt die Herstellergarantie, und die Leuchte muss entsprechend gekennzeichnet werden.

## 7.0 Lexikon

AllnGaP	Aluminium-Indium-Gallium-Phosphor, ist ein dotiertes Halbleitermaterial, das seit Anfang der 90er Jahre in Leuchtdioden (LED) eingesetzt wird.
Binning	Auswahlprozess für LEDs nach Lichtfarbe und Helligkeit
DALI	Digital Adressable Lighting Interface, einzeln adressierbare Leuchten. DALI ist ein standardisiertes Protokoll für digitale Kommunikation von lichttechnischen Komponenten.
Halbleiter	Festkörper, die abhängig von ihrem Zustand elektrische Leiter oder Nichtleiter sind.
InGaN	Indium-Gallium-Nitrid ist eine der bevorzugten Chip-Technologien für Leuchtdioden (LED). Mit InGaN können LEDs produziert werden, die Licht mit Wellenlängen von ultraviolett bis grün emittieren. Die unterschiedlichen Wellenlängen werden durch Änderung der Anteile an Indium und Gallium erzielt.
LED	Licht-emittierende Diode
Licht	Elektromagnetische Strahlung, 370–780 nm (Nanometer $10^{-9}$ )
OLED	Organische LED
Optoelektronik	Optoelektronik ist die Kombination von Optik und Halbleiterelektronik.
PWM	Puls-Weiten-Modulation (zum Dimmen von LED)
Wafer	Scheiben aus Halbleiter-Rohlingen
Zhaga	Internationales Konsortium der Beleuchtungsindustrie mit dem Ziel, Standards rund um LED-Beleuchtung zu definieren

# Unser Service für Sie

Die Elektro-Material AG vertreibt nur Qualitätsprodukte. Wir beraten Sie gerne! Sie erhalten bei uns erstklassige Produkt- und Service-lösungen aus einer Hand.

Für weitere Informationen steht Ihnen Ihre EM-Niederlassung gerne zur Verfügung.



## Basel

Margarethenstrasse 47  
Postfach  
4002 Basel

Tel. 061 286 13 13  
Fax 061 281 49 29  
em-ba@elektro-material.ch



## Bern

Riedbachstrasse 165  
3027 Bern

Tel. 031 985 85 85  
Fax 031 985 83 83  
em-be@elektro-material.ch



## Genève

Rue Eugène-Marziano 14  
case postale 1527  
1211 Genève 26

Tél. 022 309 13 13  
Fax 022 309 13 33  
em-ge@electro-materiel.ch



## Heiden

Thaler Strasse 1  
9410 Heiden

Tel. 071 898 01 01  
Fax 071 898 01 02  
em-he@elektro-material.ch



## Lausanne

Avenue de Longemalle 13  
1020 Renens-Lausanne

Tél. 021 637 11 00  
Fax 021 637 11 80  
em-la@electro-materiel.ch



## Lugano

Via Industria 6  
casella postale 453  
6814 Lamone-Lugano

Tel. 091 612 20 20  
Fax 091 612 20 30  
em-lu@elettro-materiale.ch



## Luzern

Tribschenstrasse 61  
6005 Luzern

Tel. 041 368 08 88  
Fax 041 368 08 70  
em-lz@elektro-material.ch



## Sion

Rue Traversière  
1950 Sion

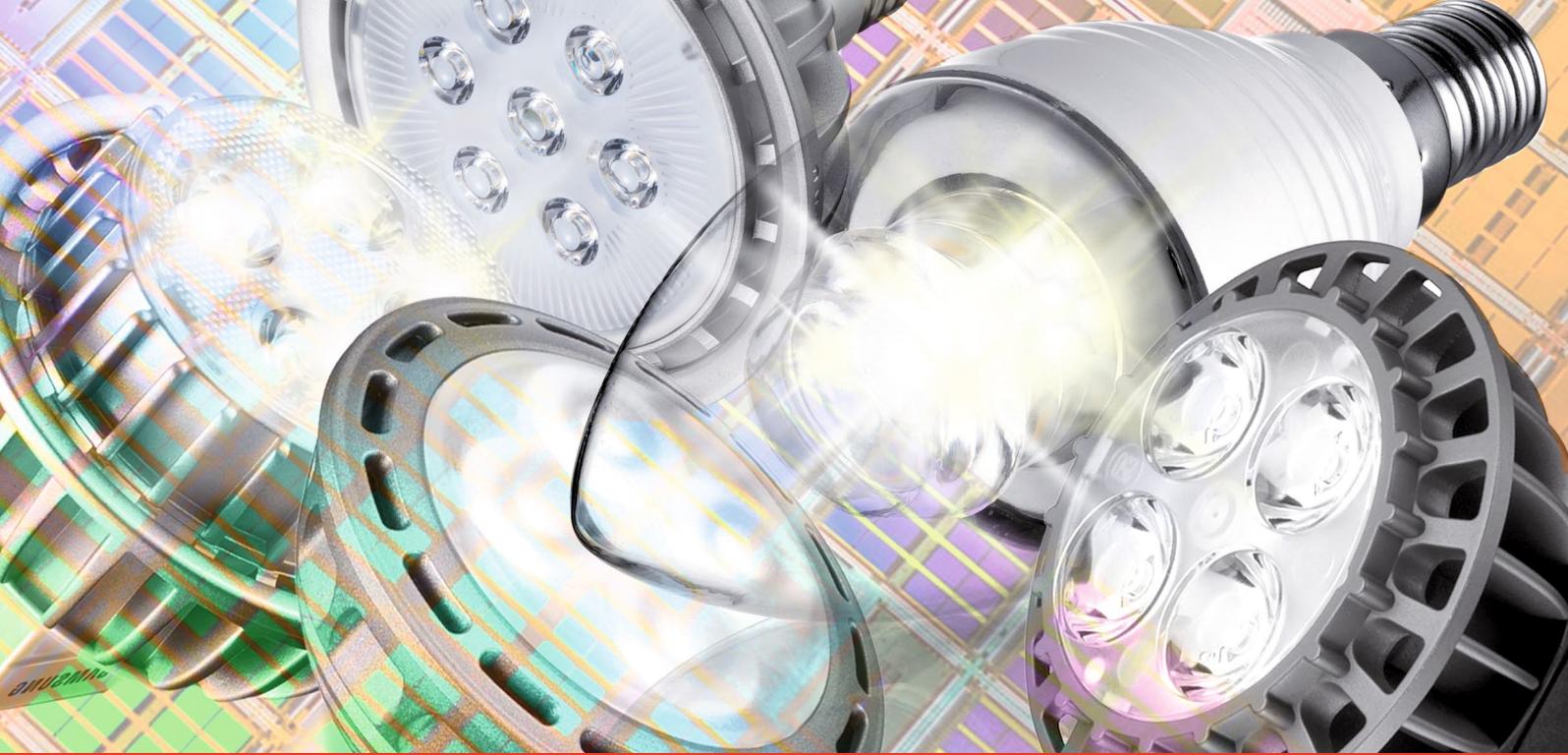
Tél. 027 324 40 50 (F)  
Tel. 027 324 40 60 (D)  
Fax 027 324 40 41  
em-si@electro-materiel.ch



## Zürich

Heinrichstrasse 200  
8005 Zürich

Tel. 044 278 12 12  
Fax 044 278 12 99  
em-zh@elektro-material.ch



Ihr guter Kontakt

