

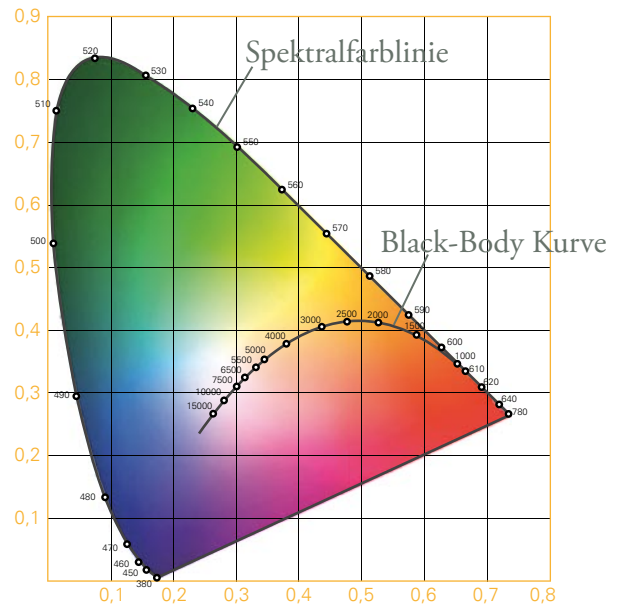
# 1. WAS IST LICHT?

Licht ist eine Form von Energie, die als sichtbarer Teil der elektromagnetischen Strahlung auftritt. Das menschliche Auge nimmt die unterschiedlichen Wellenlängen zwischen 380 und 780 Nanometer [nm] dieses elektromagnetischen Spektrums als Farben wahr. Die „kürzeste“ für unser Auge sichtbare Wellenlänge ist Violett, dann folgen aufsteigend Blau, Grün und Gelb über Orange bis Rot. Gut zu erkennen ist dieses Spektrum bei einem Regenbogen: Er zeigt die einzelnen Farbbestandteile des Tageslichts.

Oberhalb des roten Bereichs befindet sich der Bereich der infraroten Strahlung, die für das Auge nicht sichtbar ist. Sie kann als Hitze wahrgenommen werden. Weißes Licht ist ein Gemisch aus sichtbaren Wellenlängen.

## Die CIE Farbtafel

Eine graphische Darstellung der für das menschliche Auge sichtbaren Lichtfarben bietet die CIE Farbtafel. Über ihren X- und Y-Wert, die so genannten Farbkoordinaten, wird jede Farbe in ein Koordinatensystem eingetragen. Der von einem Ausgabegerät darstellbare Bereich bildet ein Dreieck, in dem sich die gesättigten Farben Rot, Grün und Violett an den Ecken befinden. Die Zwischenfarben liegen entlang der Schenkel des Dreiecks, Magenta befindet sich am unteren Rand. Zur Mitte des Dreiecks hin werden die Farben heller und gleichzeitig weniger intensiv. Die Mitte, in der alle Farben zusammentreffen, ist weiß.



## Die Farbtemperatur

Die Kurve im Inneren des Dreiecks zeigt den Planckschen Kurvenzug (BBL = Black Body Locus). Er gibt die Farbkoordinaten der von dem so genannten Planckschen Strahler bei unterschiedlichen Temperaturen (K = Kelvin) abgegebenen Strahlung an. So lassen sich die Farbkoordinaten in Farbtemperaturen übertragen. Zum Beispiel entspricht der Farbort der Strahlung bei 1000K dem von rotem Licht bei 610nm.

Obwohl weißes Licht aus einem Gemisch von Farben besteht, sind nicht alle weißen Farben gleich, da sie von ihren jeweiligen Farbbestandteilen abhängig sind. Weiß mit einem höheren Rot-Anteil erscheint wärmer, ein Weiß mit höherem Blau-Anteil wird hingegen kühler. Die folgende Tabelle zeigt Beispiele verschiedener Farbtemperaturen.

Lichtquelle	Farbtemperatur [K]
Kerze	1900 – 1950
Glühlampe	2700 – 2900
Leuchtstofflampe	2800 – 7500
Mondlicht	4100
Sonnenschein	5000 – 6000
Tageslicht (Sonne, blauer Himmel)	5800 – 6500
Bedeckter Himmel	6400 – 6900
Klarer, blauer Himmel	10000 – 26000

## Die Farbwiedergabewert CRI

Neben der Farbtemperatur von Lichtquellen ist die Farbwiedergabe ein wichtiger Aspekt bei künstlicher Beleuchtung. Obwohl Lichtquellen farblich gleich erscheinen können, sehen nicht alle von ihnen angestrahlten farbigen Flächen gleich aus. Zwei Lichtquellen, die ansonsten gleich weiß aussehen, können das Ergebnis unterschiedlicher Kombinationen von Wellenlängen sein. Für die Einteilung der Farbwiedergabeeigenschaften wurde der Maßstab Farbwiedergabe CRI (auch Ra) eingeführt.

Ra = 90 - 100	Ausgezeichnete Farbwiedergabeeigenschaften
Ra = 80 - 90	Gute Farbwiedergabeeigenschaften
Ra = 60 - 80	Mittlere Farbwiedergabeeigenschaften
Ra < 60	Mangelhafte Farbwiedergabeeigenschaften

## 2. LICHT MIT LEDs

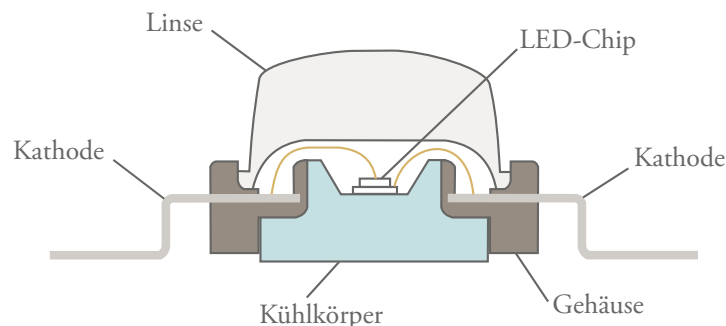
Bei konventionellen Lampen entsteht sichtbares Licht als Nebenprodukt – bei der Erwärmung von Metallwendeln, bei einer Gasentladung oder durch die Umwandlung des in einer Gasentladung erzeugten ultravioletten Strahlungsanteils. Bei LEDs dagegen findet die Lichterzeugung in einem Halbleiterkristall, dem LED-Chip, statt, der elektrisch zum Leuchten angeregt wird (Elektrolumineszenz).

### 2.1 Geschichte der Lichterzeugung mit LEDs

- 1907 Der Engländer Henry Joseph Round (1881 bis 1966) entdeckt den physikalischen Effekt der Elektrolumineszenz. Da er sich eigentlich mit einem neuen Funkortungsverfahren für die Seefahrt beschäftigt, gerät die Entdeckung zunächst in Vergessenheit.
- 1962 Die erste rote Lumineszenzdiode Typ GaAsP kommt auf den Markt. Die industriell gefertigte LED ist geboren.
- 1971 Seit Anfang der 70er-Jahre sind LEDs in weiteren Farben verfügbar: Grün, Orange, Gelb. Bei allen LEDs verbessern sich Leistung und Effektivität kontinuierlich.
- 80er- bis frühe 90er-Jahre Hochleistungs-LEDs (LED-Module) in Rot, später Rotorange, Gelb und Grün sind verfügbar.
- 1995 Die erste LED mit weißem Licht aus Lumineszenzkonversion wird vorgestellt.
- 1997 Weiße LEDs kommen auf den Markt.

### 2.2 Die Lichtquelle LED

Die Abmessungen eines LED-Chips liegen bei den größten Leuchtdioden bei zirka 1 mm Kantenlänge. Damit gehören LEDs zu den kleinsten verfügbaren, nahezu punktförmigen Lichtquellen.

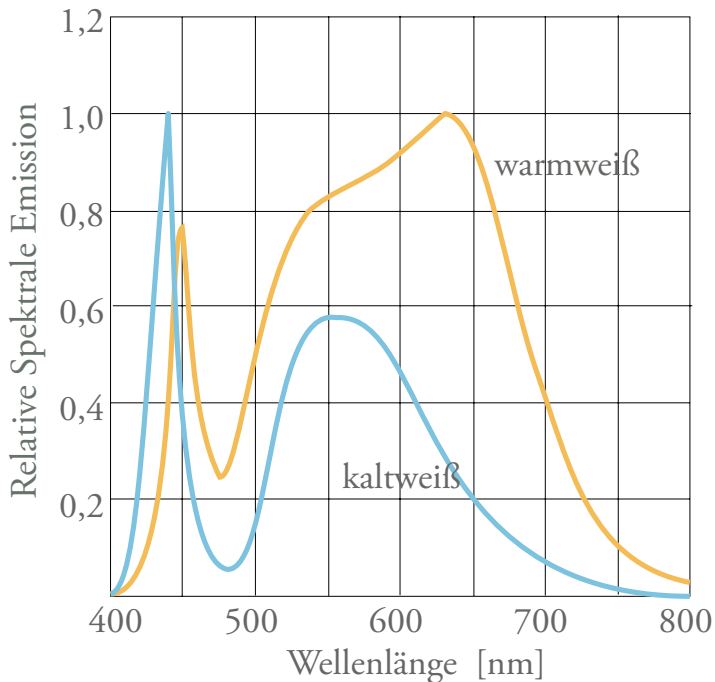


Zum Schutz vor Umwelteinflüssen wird der Halbleiterkristall in ein Gehäuse eingebracht. Dieses ist so aufgebaut, dass das Licht mit einem Ausstrahlungswinkel von 120 Grad in einen Halbraum abstrahlt. Die Lichtlenkung ist dadurch einfacher als bei Glüh- oder Entladungslampen, die ihr Licht in der Regel rundum in alle Richtungen abstrahlen.

Die dominante Wellenlänge und damit die Farbe des erzeugten Lichts ist abhängig von den Materialien, die zur Herstellung des Halbleiterkristalls verwendet wurden. Für die Farben Rot, Orange und Gelb wird heute hauptsächlich Aluminium Indium Gallium Phosphid (AlInGaP) eingesetzt. Für Grün und Blau wird Indium Gallium Nitrid (InGaN) verwendet.

Zur Erzeugung von weißem Licht stehen keine Halbleitermaterialien zur Verfügung. Weißes Licht entsteht durch eine Kombination eines Halbleiters für blaues Licht und Phosphor-Fluoreszenzfarbstoff. Dabei regt das Licht einer blauen LED Leuchtstoff an, der einen Teil des blauen in gelbes Licht wandelt. Durch die Überlagerung des entstandenen gelben Licht des Leuchtstoffs mit dem nicht umgewandelten blauen Licht ergibt sich weißes Licht. Solche kaltweißen LEDs sind seit Jahren auf dem Markt und sind vor allem für Taschenlampen und Fahrradleuchten im Einsatz.

Da der Rotanteil des emittierten Lichtes sehr gering ist, erreicht man damit nur eine mittlere Farbwiedergabe. Durch die Optimierung der Leuchtstoffe, die das blaue Licht auch in rotes Licht konvergieren können, sind heute auch leistungsfähige warmweiße LEDs verfügbar. Die besten von diesen erreichen eine hervorragende Farbwiedergabe von größer 90.



LED-Licht enthält keine ultraviolette (UV) und infrarote (IR) Strahlung. LEDs können deshalb überall dort eingesetzt werden, wo diese Art der Strahlung stört – zum Beispiel in der Lebensmittelindustrie, bei der Beleuchtung leicht ausbleichender Kunststoffe oder bei der Ausleuchtung empfindlicher Kunstwerke in Museen.

### 2.3 Vorteile LED-Technik

Moderne Lichtquellen sollen möglichst klein sein, sehr effizient Licht erzeugen und eine lange Lebensdauer haben. Heute sind mehr Lichtquellen mit diesen Eigenschaften auf dem Markt als je zuvor in der Geschichte des künstlichen Lichts. Doch vereinte bisher keine Glüh- oder Entladungslampe alle drei Eigenschaften. Nur LEDs bieten alle folgenden Vorteile:

- Geringe Größe der Lichtquelle = effiziente Steuerung des Lichtstrahls
- Extrem lange Lebensdauer = geringer Wartungsbedarf
- Niedrige Ausfallraten = zuverlässiger Betrieb, hohe Ausfallsicherheit
- Geringe Abnahme der Lichtleistung = hohe Lichtleistung während der Lebensdauer
- Keine IR-Strahlung im Spektrum = keine Wärme auf den beleuchteten Objekten
- Keine UV-Strahlung im Spektrum = keine Farbveränderungen beim angestrahlten Objekt
- Sofortiger (Neu-)Start = sicherer und komfortabler Betrieb, sofort volle Leistung nach dem Einschalten
- Hohe Schaltleistung = keine Schäden durch häufiges/permanentes Ein- und Ausschalten
- Alle Farben möglich = keine Filterung notwendig
- Dimmbarkeit von 0 bis 100 Prozent = flexible Einstellung auf unterschiedliche Anforderungen
- Betrieb an Schutzkleinspannung (SELV) möglich = ungefährliche Betriebsspannungen
- Hohe Stoßfestigkeit = problemloser Einsatz ohne Rücksicht auf Vibrationen und Erschütterungen

## 2.4 Wirtschaftlichkeit - Energievergleich - Zuverlässigkeit

Bisher waren Leuchtstofflampen bzw. Kompaktleuchtstofflampen oder Energiesparlampen bezüglich Effizienz (lm/W) das Maß der Dinge. Schon heute erreichen die neuesten LEDs die gleichen Werte. Dabei stecken noch weitere Entwicklungspotenziale in der neuen Technologie, so dass für die nächsten Jahre Werte von 150 lm/W angestrebt werden.

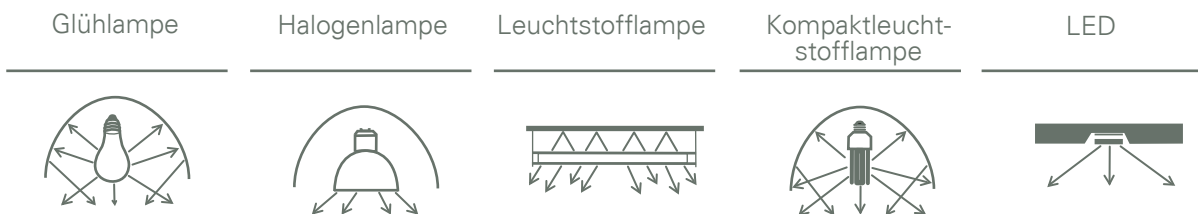
Einheit	Glühlampe	Halogen-lampe	Leuchtstoff-lampe	Kompakt-leuchtstoff-lampe	LEDs
Energieverbrauch	100 W	75 W	18 W	25 W	15 W
Lichtausbeute des Leuchtmittels	15 lm/W	20 lm/W	70 lm/W	55 lm/W	70 lm/W
Wirkungsgrad des Leuchtmittels	50%	50%	70%	68%	95%
Lichtausbeute der Leuchte <sup>1)</sup>	7,5 lm/W	10 lm/W	49 lm/W	37 lm/W	67 lm/W <sup>*)</sup>
Lebensdauer	1.000 h <sup>2)</sup>	3.000 h <sup>2)</sup>	12.000 h <sup>2)</sup>	12.000 h <sup>2)</sup>	50.000 h <sup>3)</sup>
Betriebskosten (20 Cent/kWh)	52 €	39 €	9,36 €	13 €	7,80 €
Austausch des Leuchtmittels	oft	regelmäßig	selten	selten	keiner
Wärmeentwicklung	sehr stark	sehr stark	mittel - stark	mittel - stark	gering - mittel

1) die Lichtausbeute ist letztlich abhängig vom Leuchtengehäuse (Grafik)

2) danach Ausfall

3) danach mind. 70% der ursprünglichen Helligkeit

\*) vergleiche „einzelne LED schafft 1000 lm mit 75 lm/W“



Durch den reduzierten Energieverbrauch bzw. CO<sub>2</sub>-Ausstoß leistet jeder Käufer einer LED-Lampe einen Beitrag zum Klimaschutz. Nicht umsonst wird innerhalb der EU ein Verbot der traditionellen Glühlampe bereits ab 2010 diskutiert. Käufer einer LED-Leuchte zeigen sich somit als verantwortungsvolle und vorausschauende Konsumenten.