

■ Warmes Licht für kalte Tage

Vorbei sind die Zeiten, in denen Leuchtdioden Räume in ein kaltes, weißblaues Licht tauchten. Inzwischen gibt es fürs Wohnzimmer auch warmweiße LED-Leuchtmittel.

Im gut sortierten Fachhandel sind schon seit einigen Jahren LED-Lampen für Standardfassungen erhältlich. Glühbirne (oder Energiesparlampe) raus, LED-Lampe rein. Wenn man als Trendsetter die so bestückte Deckenleuchte im Bekanntenkreis vorgeführt hat, fielen die Reaktionen allerdings durchwachsen aus: Vielen war das Licht zu bläulich, zu kalt – vom engen Raumwinkel, in den die LED-Leuchte abstrahlt, ganz zu schweigen. Doch die Situation hat sich geändert: Zunehmend kommen warmweiße LED-Leuchtmittel in den Handel, deren Lichtfarbe sehr viel näher an einer Glühbirne ist und die bereits für etwa 30 bis 50 Euro erhältlich sind.

Nun ist das Farbempfinden des Menschen eine komplexe und individuelle Angelegenheit. Trotzdem gibt es seit den Tagen von Hermann von Helmholtz eine Theorie, mit der sich das Farbsehen auf die emittierte Strahlung zurückführen lässt. Gemäß dieser additiven Farbmischung nehmen wir Licht



Neuartige LED-Konzepte ermöglichen warmweiße Leuchtmittel mit besonders hoher Lichtausbeute. Eine „grün ver-

stimmte“ Weißlicht-LED in Verbindung mit einer roten LED liefert die gewünschte Farbtemperatur für warmweißes Licht.

als weiß wahr, das entweder aus den Grundfarben Rot, Grün, Blau oder einer Grundfarbe und ihrer Komplementärfarbe (z. B. Blau und Gelb) gemischt wird. Die zweidimensionale Normfarbtafel umfasst die Gesamtheit der vom Menschen wahrnehmbaren Farben und basiert biologisch auf den Empfindlichkeitskurven der Augen (Abb. 1). In die Tafel lässt sich auch die Kurve eines Planckschen Strahlers einzeichnen, die für die Hersteller von Leuchtmitteln relevant ist, da Glühbirnen fast ideale Schwarze Körper sind. Als warmweiß gelten Farbtemperaturen zwischen ungefähr 1800 und 3000 Kelvin, kaltweiß beginnt bei etwa 4000 Kelvin.

Im Gegensatz zu Glühbirnen sind Leuchtdioden jedoch keine thermischen Strahler, sondern emittieren nur in einem recht schmalen Spektralbereich. Denn die Strahlung einer LED entsteht durch die Rekombination von Ladungsträgern im Übergangsbereich zwischen einer n- und einer p-dotierten Schicht: In Durchlassrichtung geschaltet wandern Elektronen aus der n-dotierten Schicht Richtung Pluspol, also zur p-dotierten Schicht, stoßen dort auf entgegenkommende positive Löcher und rekombinieren miteinander oder mit

den Donatoren bzw. Akzeptoren. Die frei werdende elektromagnetische Strahlung hängt von der Energielücke zwischen Leitungs- und Valenzband ab.

Mit einem LED-Chip (Abb. 2) allein lässt sich daher auf direktem Wege kein weißes Licht erzeugen. Eine Lösung ist es, drei LED-Chips für die Grundfarben so zusammenzufügen, dass die Überlagerung ihrer Emissionen weißes Licht ergibt und in der Normfarbtafel auf der Schwarz-Körper-Kurve liegt. Allerdings hat dieser Ansatz gleich mehrere Nachteile, weshalb er in der Raumbeleuchtung nicht zum Zuge kommt: Die Steuerungselektronik, mit der bei dieser Multichip-Technologie die Lichtströme der drei LEDs aufeinander abgestimmt werden, ist komplex und relativ teuer. Außerdem sind die Lichtausbeuten am Weißpunkt niedrig und damit ineffizient – besonders für warmweißes Licht, das ja einen geringen Blauanteil hat. Dies verdeutlicht ein Beispiel: Für eine Farbtemperatur von 2700 Kelvin ist ein Mischungsverhältnis von 43 Prozent Rot, 55 Prozent Grün und nur zwei Prozent Blau erforderlich. Die blaue LED verbraucht also elektrische Energie, trägt aber kaum zur Lichtausbeute bei. Ein

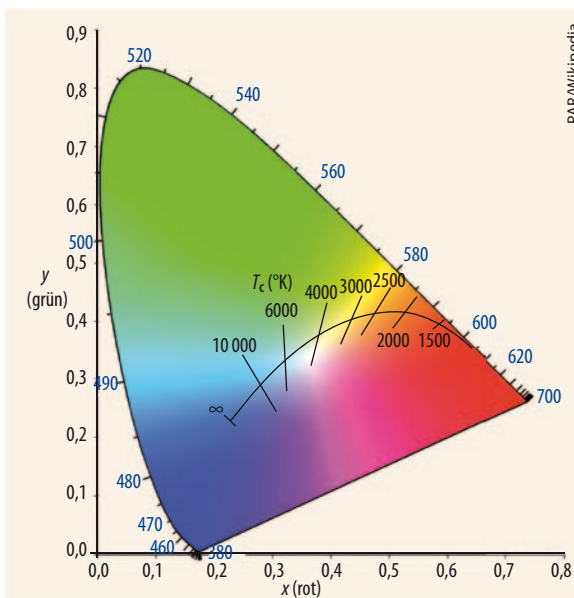


Abb. 1 Die Normfarbtafel der CIE (Commission internationale de l'éclairage) stellt den Zusammenhang zwischen menschlicher Farb Wahrnehmung und physikalisch erzeugtem Farbreiz dar. Jedem Farbton ist dabei ein Punkt (x, y) im Farbraum zugewiesen. Die dritte Komponente (blau) ergibt sich aus der Beziehung $x + y + z = 1$. Zum Weißpunkt W tragen alle Grundfarben zu jeweils 1/3 bei. Die Position des Weißpunktes im Diagramm hängt von der konkreten Beleuchtungssituation ab.

dritter Nachteil ist der niedrige Farbwiedergabeindex. Bei ihm handelt es sich um ein Maß dafür, wie wir die Farbe eines Gegenstands wahrnehmen, wenn eine Lichtquelle ihn anstrahlt. Je höher der Farbwiedergabeindex, desto natürlicher und angenehmer empfindet das menschliche Auge die Farben. Eine Glühbirne mit farblosem Glaskolben erreicht einen Wert von fast 100, dem Optimum, während Leuchtstofflampen zwischen 70 und 90 liegen. Eine klassische Natriumdampflampe, die schmalbandig emittiert, schneidet in puncto Farbwiedergabe sehr schlecht ab – ihr Farbwiedergabeindex kann sogar negativ werden. Multichip-LEDs erreichen Farbwiedergabeindizes zwischen 20 und 60.

Komplementär zum Weiß

Aus diesen Gründen setzen alle Hersteller bei der Allgemeinbeleuchtung auf ein anderes Verfahren: Sie kombinieren eine LED mit einem Lumineszenzleuchtstoff, der in der komplementären Farbe zur LED emittiert. Die wirtschaftlichste Methode, um weiße LED-Beleuchtung zu erzeugen, sind blau emittierende LEDs kombiniert mit einem gelben Leuchtstoff, etwa Cer-dotiertes Yttrium-Aluminium-Granat (YAG). Dieser Ansatz liefert den höchsten Wirkungsgrad und eine große Lichtausbeute; selbst der UV-Anteil der LED wandelt sich durch den Leuchtstoff größtenteils in gelbes Licht um.

Die Hersteller überziehen den Chip mit der blauen LED meistens

direkt mit einer Leuchtstoffschicht. Auch der Farbwiedergabeindex dieses Ein-Chip-Ansatzes fällt günstiger aus als bei RGB-LED-Leuchten, typische Werte liegen zwischen 80 und 95 – wobei die Lichtausbeute mit steigendem Index sinkt.

Besonders gut funktioniert die Kombination aus blauer Leuchtdiode und gelbem Leuchtstoff bei kaltweißem Licht, weil die Farbkoordinaten der blauen LED bereits recht nahe an den gewünschten Koordinaten in der Normfarbtafel liegen und der Leuchtstoff die Farbe nicht mehr weit „verschieben“ muss.

Für warmweißes Licht müssen die Hersteller dagegen einen höheren Aufwand treiben: Um im Farbraum tiefer ins Rot zu gelangen, ist es erforderlich, verschiedene Leuchtstoffe miteinander zu kombinieren. Das verteuert die Herstellung und reduziert die Lichtausbeute, weil die dafür verfügbaren Leuchtstoffe eine geringere Konversionseffizienz haben. Je niedriger die Farbtemperatur, desto ineffizienter sind weiße LED-Leuchten also. Ein angestrebter hoher Farbwiedergabeindex verschlimmert die Situation weiter.

Mit einem weiteren Ansatz, der quasi das Beste aus der Ein-Chip- und der Multichip-Welt miteinander verbindet, lässt sich diese Hürde jedoch umschiffen. Die Hersteller mischen dazu das Warmweiß in zwei Schritten: Zunächst kombinieren sie eine rote Leuchtdiode mit einer weißen LED, deren Emission ins Grüne verschoben

Osram Opto Semiconductors

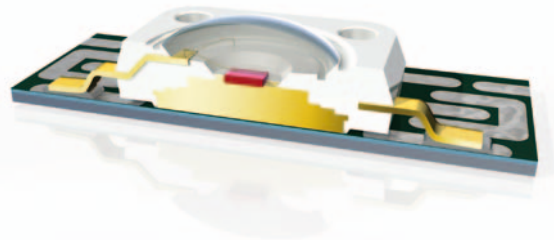


Abb. 2 Leuchtdioden für die Allgemeinbeleuchtung sind gewöhnlich direkt in den Chip integriert. Die Farbe, mit der eine LED (roter Block) leuchtet, hängt vom verwendeten Halbleitermaterial ab. Um Farben von Blau bis Rot in hoher Helligkeit zu erzeugen, kommen AlInGaP und InGaN zum Einsatz.

wurde. Die weiße LED beinhaltet einen grüngelben Leuchtstoff, der sehr geringe Konversionsverluste hat und somit eine grünlich-weiße LED hoher Effizienz ermöglicht. Den für ein warmweißes Licht mit hohem Farbwiedergabeindex erforderlichen Rotanteil steuert die zweite LED bei und nicht der Leuchtstoff. Laut Herstellerangaben lassen sich dadurch warmweiße LEDs mit Lichtausbeuten von mehr als 110 Lumen pro Watt bauen – bis zu 30 Prozent mehr als mit warmweißen LEDs und Phosphorleuchtstoffen möglich ist – bei einem vergleichbaren Farbwiedergabeindex von größer als 90. Die Zeit, in der Umstellungswillige sich mit schwachen, weißblauen LED-Leuchtmitteln zufrieden geben mussten, ist also endgültig vorbei.

*

Ich danke Christian Neugirg von Osram Opto Semiconductors in Regensburg für hilfreiche Erläuterungen.

Michael Vogel

Michael Vogel,
vogel_m@gmx.de