

Die Bedeutung des CRI für das Wohlbefinden und die Wahrnehmung

Langzeitstabiler Dreibandphosphor mit hohem Rotanteil als Schlüssel für neue Applikationen bietet ausgewogene, der menschlichen Wahrnehmung adäquate Beleuchtung.

Für Evolutionsbiologen steht außer Frage, dass ein sonnenlichtähnliches Spektrum Vorteile für die Wahrnehmung bietet. Die Atmosphäre besitzt nur für die Strahlung zwischen 400nm und 800 nm (und für Radiowellen) ein „Fenster“. Unter diesen Bedingungen haben sich die Evolution und Anpassung der biologischen Strukturen und damit auch der Organe für die visuelle Wahrnehmung vollzogen. Das Auge hat sich auf die optimale Ausnutzung des Tageslichtes eingestellt.¹⁾

Ein sonnenlichtähnliches, kontinuierliches Spektrum bietet Vorteile bei der Farbdifferenzierung. Bestimmte Aufgaben können besser durchgeführt werden, die Belastung der Augen und in weiterer Folge die Ermüdung sind geringer. Ebenfalls ist der Einfluss der Lichtqualität auf das subjektive Wohlbefinden auf den Menschen - wenn auch physiologisch nicht immer eindeutig - nachweisbar.

Bei einer Farbtemperatur zwischen 2.000 K und 8.000 K entspricht das Spektrum des Sonnenlichts weitgehend dem Spektrum des Planck'schen Strahlers. Die seit 1974 unverändert angewendete CIE-Methode²⁾ zur Bestimmung des CRI (Color Rendering Index) nützt diese Tatsache und vergleicht die Spektren von Lichtquellen mit der des Planck'schen Strahlers bzw. bei Tageslicht

mit 6.500 K. Eine Lichtquelle die dieses Spektrum bei der zugehörigen Farbtemperatur abstrahlt hat einen CRI von 100. Als Standard wird der generelle CRI (R_a8) mit acht Referenzfarben geringer und mittlerer Sättigung verwendet (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Vergleich zwischen Darstellung bei hohem CRI (links) und niedrigem CRI (rechts).

Der Berechnungsformalismus der CIE-Methode zur Normierung der Ergebnisse berücksichtigt jedoch verschiedene Aspekte nicht ausreichend z. B. die Verschiebung der Farbkoordinaten entlang des Planckschen Kurvenzuges sowie die Richtung der chromatischen Abweichung der gemessenen Werte. Der Einsatz neuer Technologien, z.B. für Musterausdrucke, zeigt die Grenzen der CIE-Bewertungsmethode auf. Diese Unzulänglichkeiten der CIE-Methode führen auch bei der Beurteilung von LEDs durchwegs zu schlechteren Ergebnissen als die Beurteilung durch Testpersonen.

Die theoretisch erreichbaren Grenzen der Effizienz (Lumen/Watt) korrelieren auf Grund der Augenempfindlichkeitskurve mit der spektralen Verteilung des Lichts. So ist es bei optimierter spektraler Zusammensetzung theoretisch möglich, bei einer Farbtemperatur von 3.000 K und einem CRI um 40 ca. 400 lm/W zu erzielen, wogegen bei einem CRI von 90 ca. 330 lm/W und bei einem CRI über 95 gerade noch ca. 250 lm/W

möglich sind.⁴⁾ Diese reduzierte Effizienz ist zu einem großen Teil auch auf den unteren und oberen Grenzbereich des sichtbaren Spektrums zurückzuführen, wo die Augenempfindlichkeitskurve deutlich abfällt (purpur, rot). Dies könnte dazu verleiten, diese Bereiche zu vernachlässigen, um so eine höhere Effizienz zu erzielen. Ein Fehlen dieser Bereiche führt jedoch zu einem gelblichen Farbstich. Dieses Problem wird dadurch etwas gemindert, dass bei einer Beleuchtung mit hohem CRI durch größere visuelle Klarheit Objekte natürlicher und 10-40% heller erscheinen.⁵⁾ Bislang erreichten weiße LEDs - insbesondere warmweiße LEDs - nur einen CRI zwischen 60 und 85. Zudem wurden keine weißen LEDs mit hohem Rotanteil entwickelt, da die Effizienz bzw. Stabilität des roten Phosphors nicht ausreichend gewährleistet werden konnte. In der Vergangenheit wurden überwiegend Ein- oder Zweibandphosphore eingesetzt. Der fehlende Rotanteil führte dazu, dass selbst bei einem hohen CRI die Farbwiedergabe von Rottönen unbefriedigend war (siehe Abb. 2).

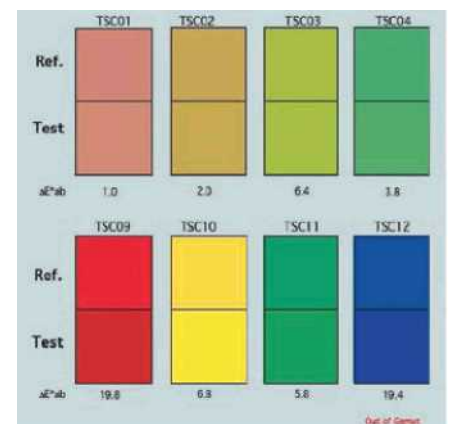


Abb. 2: Typische Farbverschiebung bei weißen LEDs mit fehlendem Rotanteil (partieller Farbwiedergabewert für die Standardfarbe R9 - tiefrot - liegt zwischen 30-40).

Für zahlreiche Anwendungen stellt der fehlende Rotanteil ein erhebliches Manko dar. Für eine qualitativ hochwertige Beleuchtung z.B. von Shops, Museen, Ausstellungen, vitrinen und in medizinischen Räumen (z. B. für Chirurgie) mussten in aufwendigen Verfahren LEDs verschiedener Lichtfarbe - gegebenenfalls sogar mit farbigen LEDs - kombiniert und dementsprechend unterschiedlich angesteuert werden.

In der neuen powerXED von LEXEDIS kommt ein Dreibandphosphor mit guter Langzeitstabilität, gutem Wirkungsgrad und mit hohem Rotanteil zum Einsatz. Für die Standardfarbe R9 (tiefrot) liegt der partielle Farbwiedergabewert bei 80 (4200K) und konnte damit um den Faktor >2 gegenüber herkömmlichen Technologien gesteigert werden.

Durch die damit erzielte ausgewogene spektrale Farbverteilung bis in den roten Bereich wird ein CRI von typ.85 (3000K) bzw.>90 (4200K) erzielt.

Auch bei der powerXED kommt das von LEXEDIS entwickelte Zero-Colour-Binning zum Einsatz, das gewährleistet, dass bei Verwendung mehrerer LEDs kein sichtbarer Unterschied in der Lichtfarbe und der Farbwiedergabe entsteht. Das elektronische Design der Ansteuerung wird ebenfalls vereinfacht und es eröffnen sich in Verbindung mit der kompakten Bauform von 2,5 mm x 2,5 mm x 0,6 mm sowie den standardmäßigen verfügbaren korrelierten Farbtemperaturen 3.000 K, 4.200 K, 5.700 K und 6.500 K zahlreiche neue Anwendungen und Designoptionen.

Anwendungsgebiete in denen hohe CRI-Werte benötigt werden und die powerXED optimal zum Einsatz kommt, sind medizinische Anwendungen wie z.B. Operationsräume sowie Museen, Einkaufszentren, Shops und vielzählige Arten der direkten bzw. indirekten Werbebeleuchtung.



Abb. 4: Im Technologiepark Jennersdorf in Österreich treibt LEXEDIS die Forschung im Bereich LED voran und präsentiert nun die hocheffiziente digitale Lichtquelle powerXED mit einem CRI von 90.

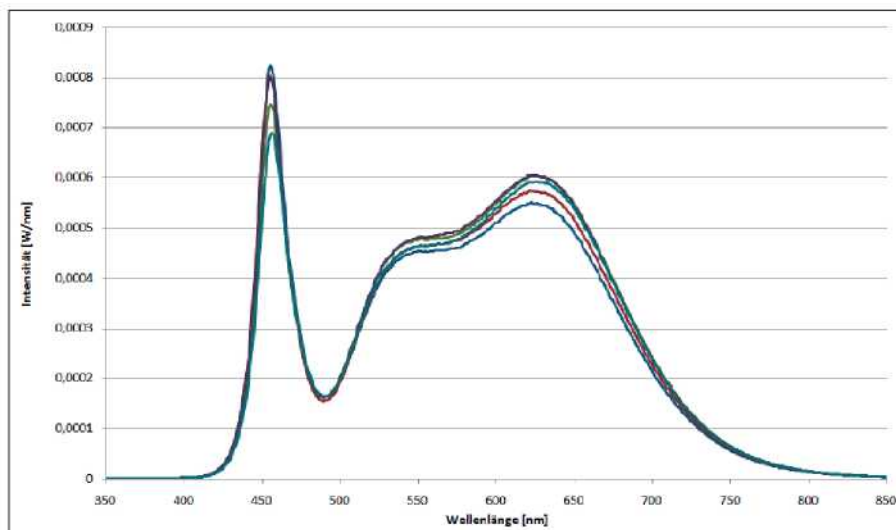


Abb. 3: Spektrum der powerXED mit Dreibandemission bei Farbtemperaturen von 3.800 K bis 4.200 K

Quellenangaben:

- Lorenz, K.: „Die angeborenen Formen möglicher Erfahrung.“ Zeitschrift für Tierpsychologie, Bd. 5 (1943), S. 235-409, 1943
- v. Dittfurth, H.: „Im Anfang war der Wasserstoff“, Hoffmann & Campe, 1972
- Schanda J., Borbely A., Samson A.: The concept of correlated colour temperature revisited, Color Research and Application, Vol. 26, No. 6, pg. 450-457, 2001
- 6.) Yoshi Ohno: „Color Rendering and Luminous Efficacy of White LED Spectra“, Proc. of SPIE Vol. 5530, pg. 92-95, 2004
- Maria R. Thompson, Una-May O'Reilly: „An Investigation into the Perception of Color under LED White Composite Spectra with Modulated Color Rendering“, page 5, 2006
- Bretschneider E.: „Efficacy Limits for Solid-State White Light Sources“, Photonics Spectra, Vol. 41; ISSUE 3, pages 72-82, 2007
- Kanaya, S., Hashimoto, K., and Kichize, E.: „Subjective balance between general color rendering index, color temperature, and illuminance of interior lighting.“ Proc. CIE 19th Session (Kyoto), pg. 274-278, 1979
- Aston, S.M., Bellchambers, H.E.: „Illumination, color rendering and visual clarity.“ Lighting Research and Technology, 1, pg. 259-261, 1969
- Boyce, P.R.: „Investigation of the subjective balance between illuminance and lamp color properties.“, Lighting Research and Technology, 1, pg. 1-24, Commission Internationale de l'Éclairage, 1977

1) Lorenz K., 1943; v. Dittfurth, 1972

2) CIE = Commission Internationale de l'Éclairage

3) Schanda J. and team, 2001

4) Yoshi Ohno, 2004; Maria R. Thompson, Una-May O'Reilly, 2006; Bretschneider E., 2007

5) Kanaya, S. and team, 1979; Aston, S.M and team, 1969; Boyce, P.R., 1977