

Wie wir Licht empfinden

Dieses Dokument ist eine Ergänzung der Redaktion zum Beitrag „Die Licht(r)evolution“ von Christopher Kölper, Werner Bergbauer, Martin Strassburg und Norbert Linder in **Physik in unserer Zeit**, 42. Jahrgang 2011, Nr. 2, S. 92.

Helligkeit

Nicht nur die Effizienz einer Lichtquelle, sondern auch die „Qualität“ ihres Lichts ist wichtig. Grundlage für deren Bewertung ist unsere Wahrnehmung. Im menschlichen Auge ermöglichen verschiedene Fotorezeptoren die Wahrnehmung von Helligkeit und Farbe des Lichts. Werden alle drei Farbrezeptoren ungefähr gleich angeregt, so empfinden wir dies als „weiß“. Da auch „weißes“ Licht verschiedener Lichtquellen sich spektral unterscheiden kann, kann es sehr unterschiedliche Eindrücke erzeugen.

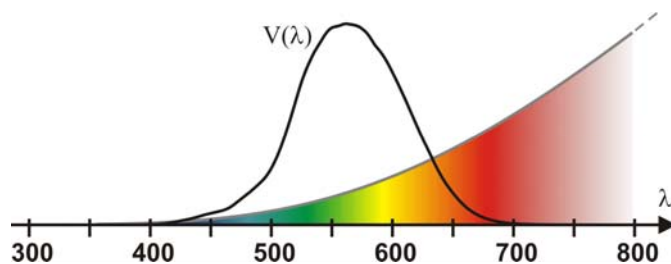


Abb. 1 Die Augenempfindlichkeitskurve $V(\lambda)$ deckt den sichtbaren Spektralbereich ab und hat ein ausgeprägtes Maximum im Grünen bei 555 nm. Das Spektrum eines thermischen Strahlers, etwa einer Glühlampe, liegt nur zu einem kleinen Teil im Sichtbaren.

Zur quantitativen Beschreibung unseres Helligkeits- und Farbempfindens dienen spektrale Empfindlichkeitskurven [1]. Die Augenempfindlichkeitskurve $V(\lambda)$ misst die vom Menschen wahrnehmbare Lichtleistung (Abbildung). Durch Gewichtung der spektralen Strahlungsleistung $\Phi_e(\lambda)$ einer Lichtquelle mit dieser Empfindlichkeitskurve ergibt sich der *Lichtstrom*

$$\Phi_v = 683 \int_0^\infty \frac{\partial \Phi_e(\lambda)}{\partial \lambda} V(\lambda) d\lambda \frac{\text{lm}}{\text{W}},$$

gemessen in Lumen (lm). Auf die aufzuwendende elektrische Leistung P bezogen, ergibt sich aus dem Lichtstrom die *Lichtausbeute*

$$\eta = \frac{\Phi_v}{P},$$

also die Effizienz einer Lichtquelle im Bezug auf die menschliche Wahrnehmung, gemessen in lm/W. Folglich ist eine Lichtquelle mit einem hohen Spektralanteil außerhalb des sichtbaren Bereiches ineffizient. Das gilt für Glühlampen, die einen hohen Infrarotanteil aufweisen (Abbildung 1).

Farbe

Analog zum Helligkeitsempfinden ergibt sich ein Maß für die vom Menschen wahrgenommene Farbe. Dazu gewichtet man das Spektrum einer Lichtquelle mit den Empfindlichkeitskurven der drei Farbrezeptoren, woraus sich ein zweidimensionaler Farbraum ableiten lässt (Abbildung 2). In diesem Diagramm hat die Planck-Kurve eine besondere Bedeutung. Sie beschreibt, die Farbe eines thermischen Strahlers in Abhängigkeit von dessen Temperatur (in Kelvin). Alle von uns als „weiß“ empfundenen Farben liegen auf dieser Kurve. Man kann sie daher durch Angabe der entsprechenden *Farbtemperatur* (CCT, Correlated Color Temperature) charakterisieren. Sonnenlicht entspricht einer Farbtemperatur von 5800 K, klassische Glühlampen emittieren mit einer Farbtemperatur von etwa 2700 K.

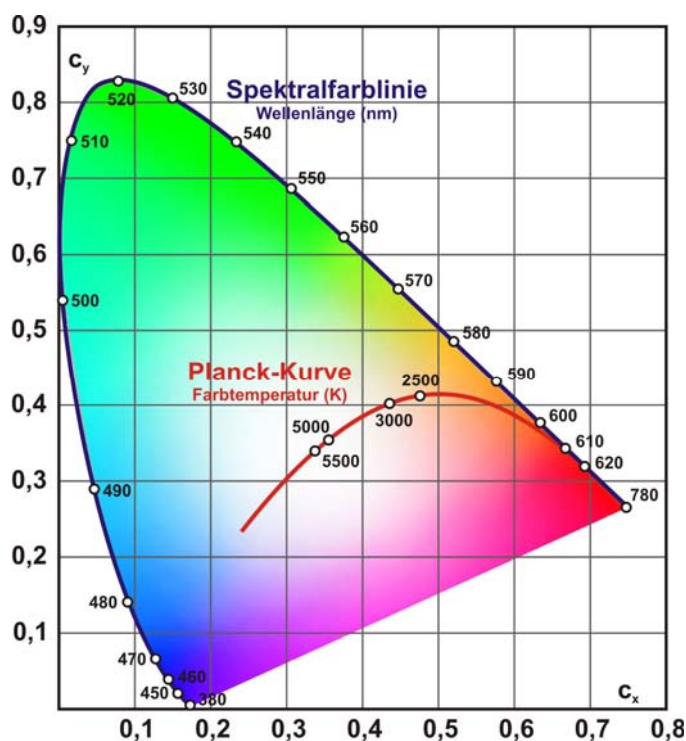


Abb. 2 Alle von Menschen wahrnehmbaren Farben (ohne Beachtung der Helligkeit) sind in der farbigen Fläche enthalten. Die Farbkoordinaten c_x und c_y charakterisieren den Farbort eindeutig.

Verschiedene Lichtquellen können trotz sehr unterschiedlicher Spektren beim Menschen das gleiche Helligkeits- und Farbempfinden hervorrufen. Der Grund: Wir verfügen über „nur“ drei Farbrezeptoren. Dennoch können sich zwei verschiedene Weißlichtquellen identischen Lichtstroms und identischer Farbtemperatur deutlich unterscheiden. Üblicherweise blicken wir nicht direkt in eine Lichtquelle. Wir nehmen vielmehr das Licht wahr, das von Objekten reflektiert wird, die von dieser Lichtquelle beleuchtet werden. Daher ist für die Beurteilung einer Lichtquelle deren Fähigkeit entscheidend, die Farbvielfalt unserer Umwelt wiederzugeben. Als Maß hierfür dient der *Farbwiedergabeindex* (CRI, Color Rendering Index). Dieser kann maximal den Wert 100 annehmen.

Literatur

[1] CIE (1932). Commission internationale de l'Eclairage proceedings, 1931. Cambridge University Press, Cambridge.