

## Photometrische Einheiten – Radiometrische Einheiten

Während die Radiometrie den Strahlungsfluss unabhängig vom Spektrum bewertet, misst die Photometrie die optische Strahlung, wie sie vom Auge gesehen und bewertet wird.

Ein Maß für die Leistung (auch optische) war bei der Glühlampe historisch gewachsen die Leistung, die eine Glühlampe aufnimmt. Eine 100-W-Glühlampe ist damit (ungefähr) 4 mal „heller“ als eine 25-W-Lampe. Für den Hausgebrauch nimmt man diese Proportionalität als gegeben hin und ist auch hinreichend dafür.

Die Photometrie bewertet nun die Strahlung mit der sogenannten  $v(\lambda)$ -Kurve, die die Augenempfindlichkeit widerspiegelt. Damit ist schon mal klar, dass Licht Strahlung ist, die vom Auge gesehen werden kann. Strahlung außerhalb dieser Bewertungskurve kann somit kein Licht sein.

Falsch sind somit in diesem Sinne die Begriffe IR-Licht, UV-Licht, Röntgen-Licht.

Man hat nun für die Messung von Licht eine SI-Basiseinheit eingeführt, die Lichtstärke, gemessen in candela [cd]. Diese Lichtstärke  $I_v$  [cd] zur Bewertung sichtbarer optischer Strahlung ist äquivalent zur Größe der Strahlstärke  $I_e$  [W/sr], also einer Leistung pro Raumwinkel in der Radiometrie. Die **Lichtstärke  $I_v = 1$  cd** ist per definitionem die Strahlung eines Strahlers der Frequenz

$$f_d = 540 \cdot 10^{12} \text{ Hertz (540 THz)}$$

die einer Strahlstärke von  $I_e = \frac{1}{683} \text{ W/sr}$  entspricht. Die der Frequenz  $f_d$  entsprechende

Vakuumwellenlänge  $\lambda_d$  ergibt sich aus  $\lambda_d \times f_d = c_v$  ( $c_v$  = Vakuumlichtgeschwindigkeit) zu

$\lambda_d = 555.17 \text{ nm}$ . Dies ist die Wellenlänge, bei der das menschliche Auge die höchste Empfindlichkeit hat.

Wir müssen nun das radiometrische Äquivalent zum Watt der Strahlstärke in W/sr für die Lichtstärke finden. Die Candela [cd] ist ja eine Größe, die man als Lichtstrom pro Raumwinkeleinheit verstehen muss.

**Diese Größe Lichtstrom misst man in Lumen (lm)**, welches das direkte photometrische Äquivalent zum Strahlungsfluss in der Radiometrie ist und somit ist die Candela = Lumen/Raumwinkel = [lm/sr].

Um den Lichtstrom zu bestimmen, muss man die Lichtstärke über den ganzen Raumwinkel mit einem Goniometer messen und die Werte summieren. Pragmatisch nimmt man aber meist die Ulbricht-Kugel für den Vergleich von Lampen gegeneinander.

Wir finden also drei Größen, die zum Vergleich von Lampen verwendet werden können

### 1. Eingangsleistung in Watt (W)

Diese Größe ist nur zum Vergleich von Glühlampen untereinander geeignet. Für CFLs (Compact Fluorescent Lamps = Energiesparlampe) gibt es eine Faustformel. Eine Energiesparlampe muss etwa 1/5 der Leistung einer Glühlampe haben, damit sie vergleichbar hell ist. Man hat sich lange davor gedrückt, den Lichtstrom als vergleichende Größe einzuführen. Mit dem Erscheinen der LEDs auf dem Markt, vielen verschiedenen Bauformen und unterschiedlicher Spektren musste man letzten Endes doch auf die für den Laien zunächst unbekannteren aber präziser definierten Begriffe Lichtstrom in Lumen und Lichtstärke in Candela zugreifen.

### 2. Lichtstrom in Lumen (lm)

Als Referenz haben wir ja immer noch die alte Glühlampe im Kopf, nur von der gab es auf den Verpackungen keine Werte für den Lichtstrom. Inzwischen findet man auch dort mal Zahlen.

Man kann aber auch Tabellen zu Rate ziehen, denn es gibt nicht viele Variationen des Glühlampendesigns. Eine Besonderheit sind die Halogenlampen, die man aber auch hier gleich mit behandeln darf. Hier kann man sich eine oder zwei Zahlen merken. Z.B. misst man bei eine 100-W-

Glühlampe einen Lichtstrom von 1450 lm, bei einer 60-W-Lampe 720 lm (12 lm/W). Die 100-W-Halogenglühlampe liegt im Wirkungsgrad mit 1670 lm etwas höher als die vergleichbare Glühlampe. Eine typische Energiesparlampe (CFL) mit 15 W erzeugt einen Lichtstrom von 850 lm (56 lm/W). Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgerät sind ein wenig effizienter als CFLs mit 68 lm/W. Datenquelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Lichtquelle>.

Die genannten Lampen leuchten alle in einen vollen Raumwinkel von  $4 \times \pi$ . Teilt man also den Lichtstrom durch diesen Wert, dann hat man schon einen Anhaltswert für die Lichtstärke in cd. Für den Hausgebrauch ist die Messung des Lichtstrom nicht durchführbar. Man braucht entweder eine Goniometeranordnung genügender Größe oder eine Ulbrichtkugel, die beide nur in gut ausgerüsteten Labors zu finden sind. Beide brauchen natürlich einen entsprechend dem Auge gefilterten Detektor oder einen Monochromator mit PC am Empfänger zur Simulation der Augenempfindlichkeit.

LEDs haben im Allgemeinen eine gerichtete Emission und der Emissionswinkel ist meist kleiner als  $2 \pi$ , der Vergleich des Lichtstroms ist bei einzelnen Chips nur von wissenschaftlichem Interesse. Bei der LED Leuchte, die vielfach aus mehreren Chips besteht und die auch noch Linsen haben kann, kann man zum Vergleich zu Glühlampen den Lichtstrom zu Rate ziehen. Je nach Spektrum haben diese Leuchten Wirkungsgrade von 75 lm/W bis 100 lm/W. Die genannten Wirkungsgrade darf man nicht verwechseln mit der theoretischen Lichtausbeute der Strahlung. Beim thermischen Strahler mit 6600 K sind maximal 95 lm/W Licht bezogen auf die Gesamtstrahlung nutzbar. Bei grünem Licht der Wellenlänge 550 nm wird ein Watt definitionsgemäß in 683 lm umgesetzt. Hier ist aber nicht der Wirkungsgrad bei der Erzeugung der optischen Strahlung inbegriffen.

## 2. Lichtstärke in Candela (cd)

Die Lichtstärke beschreibt definitionsgemäß den Strahlungsfluss pro Winkel. Diese Größe ist auch diejenige, die das menschliche Auge als „Helligkeit“ einer Quelle empfindet. Hier ist die Pupille des Auges die Messblende, und durch diese dringt der Lichtstrom, den das Auge wahrnimmt.

Eine Messapparatur sieht ähnlich aus, ein spektral gewichteter (Filter oder Monochromator mit Software) Detektor mit Messblende zur Definition des Messwinkels ist in einem vorgegebenen Abstand zur Quelle aufgestellt, Abstand und Fläche der Blende bestimmen den Messwinkel und der Lichtstrom bzw. die Leistung (spektral aufgelöst) werden gemessen. Der Quotient aus Lichtstrom und Raumwinkel ist dann die Lichtstärke. Dabei ist zu beachten, dass die Blende vollständig ausgeleuchtet wird und dass der Abstand zwischen Quelle und Detektor mindestens 5 mal größer ist als der Durchmesser der Quelle. Dies soll sicher stellen, dass das sogenannte Quadratgesetz eingehalten wird. Üblich sind Messabstände von  $> 10$  cm und Raumwinkel  $< 10$  mrad, besser  $< 1$  mrad.

Die Lichtstärke von Lampen kann man als Vergleichsmaßstab nehmen, wenn man mit Lampen mit kleinem Öffnungswinkel Flächen, wie z.B. eine Tischplatte ausleuchten will.

Eine genaue Lichtstärkemessung (und ebenso Strahlstärkemessung) ist bei sehr kleinem Öffnungswinkel problematisch. So ist die Bedingung, das Quadratgesetz einzuhalten bei geringer Divergenz schwierig zu gewährleisten, andererseits ist die Forderung, dass der Detektor ausgeleuchtet sein muss, mit wenig divergenten Laserquellen schwer zu erfüllen.

Laser haben vergleichsweise zu anderen Quellen extrem hohe Strahl- bzw. Lichtstärken.

## 3. Beleuchtungsstärke in Lux (lx)

Eine weitere Größe zur Beschreibung von Beleuchtungssituationen ist die Beleuchtungsstärke  $E_v$  (radiometrisch: Bestrahlungsstärke  $E_e$ ). Sie sagt bezüglich einer Lampe überhaupt nichts aus. Nur im Vergleich unter gleichen Bedingungen wäre diese Größe anwendbar.

Allerdings werden für die Beschreibung von z.B. Arbeitsplatzbeleuchtungen die Beleuchtungsstärken herangezogen. Aus der Lichtstärke  $I_v$  einer Lampe und dem Abstand  $a$  kann man die Beleuchtungsstärke  $E_v$  errechnen:  $E_v = I_v/a^2$ .

### **Farbwiedergabeindex (Color rendering index) $R_a$**

Hier möchte ich auf das entsprechende Wikipedia-Dokument hinweisen:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Farbwiedergabeindex>

Es gibt noch eine ganze Reihe abgeleiteter fotometrischer Größen wie Leuchtdichte, Lichtmenge und Belichtung. Wer sich mit diesen Größen nicht näher beschäftigt hat, sollte sie lieber nicht verwenden.