

Praktikum

Lichttechnische Grundgrößen

1 Ziel des Praktikumsversuches

Im Versuch sollen die lichttechnischen Grundgrößen Lichtstrom, Beleuchtungsstärke, Lichtstärke und Leuchtdichte sowie deren Zusammenhänge kennen gelernt werden. Aus gemessenen Beleuchtungsstärken sollen alle anderen lichttechnischen Größen berechnet werden.

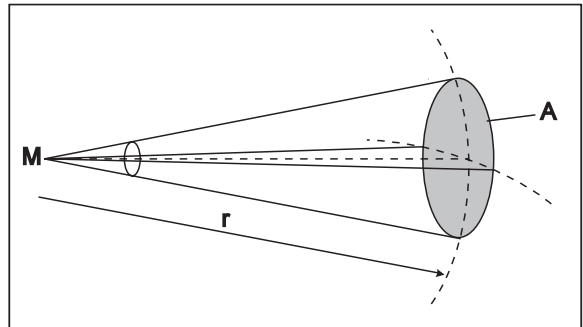


Bild 1: Raumwinkel

2 Grundlagen

Bei der Beschreibung der Lichtverhältnisse ist entweder die strahlenförmige Ausstrahlung eines leuchtenden Punktes oder die strahlenförmige Einstrahlung auf einen Punkt zu erfassen. Dafür ist der Raumwinkel Ω , der als Quotient eines Teils der Kugeloberfläche A_K zum Quadrat des Kugelradius definiert ist (Bild 1), gut geeignet:

$$(1) \quad \Omega = \frac{A_K}{r^2} \Omega_0 \quad \text{bzw.} \quad d\Omega = \frac{dA_K}{r^2} \Omega_0$$

Der Raumwinkel hat die Einheit Steradian (sr). Ω_0 ist der Einheitsraumwinkel 1 sr. In polarer Darstellung (Bild 2) kann man den Raumwinkel aus dem Meridianwinkel φ und dem Breitenwinkel γ berechnen:

$$(2) \quad \Omega = \Omega_0 \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \sin \gamma \, d\gamma \, d\varphi$$

Betrachtet man Raumwinkel nicht in Richtung auf das Lot der Kugeloberfläche hin, sondern unter einem bestimmten Winkel γ (Bild 3), so wird von einem kleinen Kugелеlement dA_K nur noch dessen Projektion wirksam (Flächenprojektion):

$$(3) \quad dA_p = dA_K \cos \gamma$$

Dividiert man durch das Quadrat des Kugelradius und multipliziert mit dem Einheitsraumwinkel, so ergibt sich die Raumwinkelprojektion Ω_p :

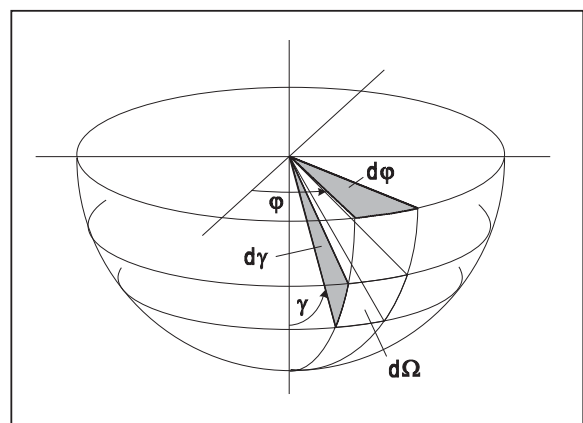


Bild 2: Darstellung zum Raumwinkel

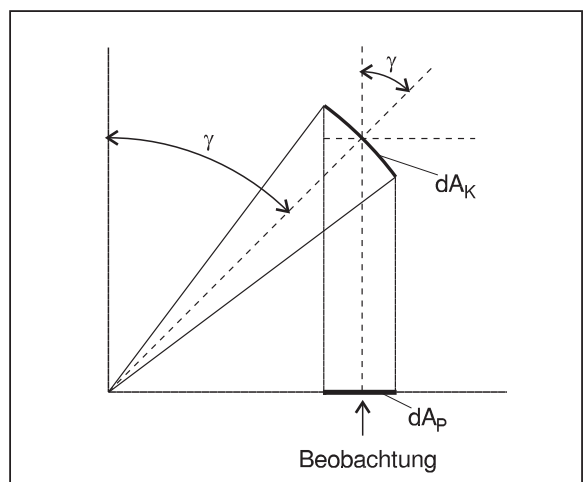


Bild 3: Raumwinkelprojektion

$$(4) \quad d\Omega = \frac{dA_p}{r^2} \Omega_o = d\Omega \cos \gamma$$

Folgende Bezeichnungen werden bei den weiteren Betrachtungen verwendet:

- Lichtstrom, der abgestrahlt wird: Φ_1
- Lichtstrom, der eingestrahlt wird: Φ_2
- leuchtende Fläche: A_1
- beleuchtete Fläche: A_2
- Raumwinkel, in den eingestrahlt wird: Ω_1
- Raumwinkel, aus dem abgestrahlt wird: Ω_2

Der Lichtstrom Φ (Einheit: Lumen, lm) ist die mit der spektralen Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges $v(\lambda)$ bewertete spektrale Strahlungsleistung des Strahlers.

$$(5) \quad \Phi = k_m \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} \Phi_{e\lambda} v(\lambda) d\lambda$$

$k_m = 683 \text{ lm/W}$
(fotometrisches Strahlungsäquivalent)

Der Quotient aus abgestrahltem Lichtstrom und Raumwinkel wird als Lichtstärke I (Einheit: Candela, cd) bezeichnet.

$$(6) \quad I = \frac{d\Phi}{d\Omega_1}$$

Da die meisten Lichtquellen das Licht in verschiedenen Richtungen unterschiedlich stark abstrahlen, muss zur vollständigen Charakterisierung des Lichtfeldes die Lichtstärkeverteilung in allen Richtungen angegeben werden. Die polare Lichtstärkeverteilung in einer Ebene wird als Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) und im Raum als Lichtstärkeverteilungskörper bezeichnet. Für viele praktische Zwecke genügt es, die Lichtstärkeverteilungskurven in ausgewählten Ebenen darzustellen.

Der Quotient aus eingestrahlttem Lichtstrom und beleuchteter Fläche wird als Beleuchtungsstärke E (Einheit: Lux, lx) bezeichnet. Für die ebene Fläche dA_2 gilt:

$$(7) \quad E = \frac{d\Phi}{dA_2}$$

Die Beleuchtungsstärkeverteilung auf einer Fläche kann entweder als Beleuchtungsstärkegebirge dargestellt werden, indem man den Beleuchtungsstärken in den einzelnen Punkten Höhen zuordnet, oder als Isoluxkurven, bei denen man in der zu betrachtenden Ebene die Punkte gleicher Beleuchtungsstärke verbindet.

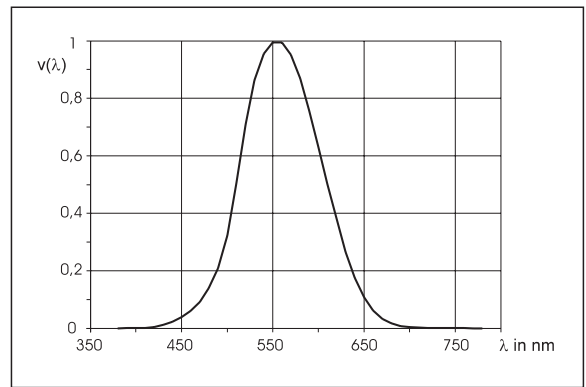


Bild 4: Spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges

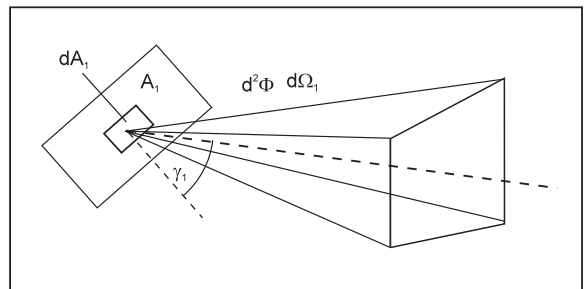


Bild 5: Leuchtdichtedefinition

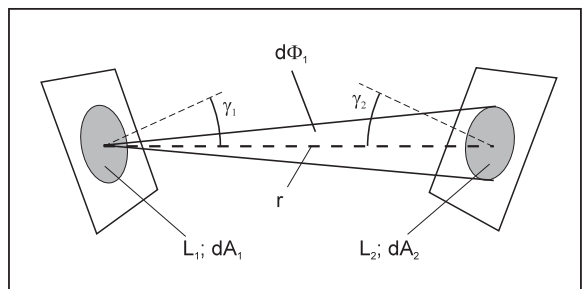


Bild 6: Photometrisches Grundgesetz

Die für den Helligkeitseindruck maßgebliche Größe ist die Leuchtdichte L (Einheit: cd/m^2). Sie ist als der Lichtstromanteil $d\Phi$ pro scheinbar leuchtende Fläche ($dA_1 \cos \gamma_1$) definiert, der in eine vorgegebene Richtung, in ein Raumwinkelelement $d\Omega_1$ eingestrahlt wird (Bild 5).

$$(8) \quad L = \frac{d^2\Phi}{dA_1 \cos \gamma_1 d\Omega_1} = \frac{dl(\gamma_1)}{dA_1 \cos \gamma_1}$$

Betrachtet man den Lichtaustausch zwischen zwei Flächen, so ergibt sich für den Lichtstrom Φ , der auf die Fläche A_2 auftrifft, folgendes Gesetz, das fotometrische Grundgesetz (Bild 6):

$$(9) \quad \Phi = \int_{A_1} \int_{A_2} L dA_1 \cos \gamma_1 dA_2 \cos \gamma_2 \frac{1}{r^2} \Omega_0$$

3 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Die Messungen der lichttechnischen Grundgrößen erfolgen an einem Versuchsaufbau, der in den Bildern 7 und 8 schematisch dargestellt ist.

Alle Messungen erfolgen mit einem $v(\lambda)$ -angepassten Empfänger. Aus der gemessenen Beleuchtungsstärke können alle anderen lichttechnischen Größen (Lichtstärke, Leuchtdichte, Lichtstrom) berechnet werden.

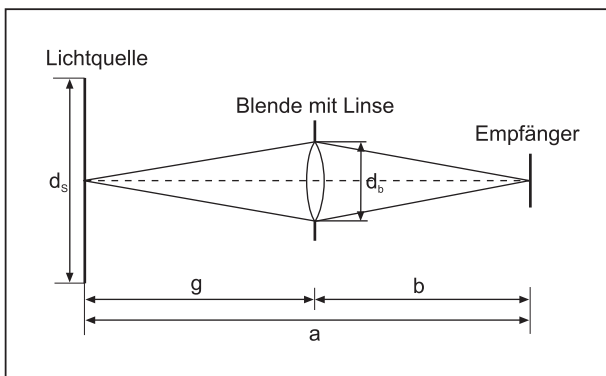


Bild 7: Versuchsaufbau (nicht maßstäblich)

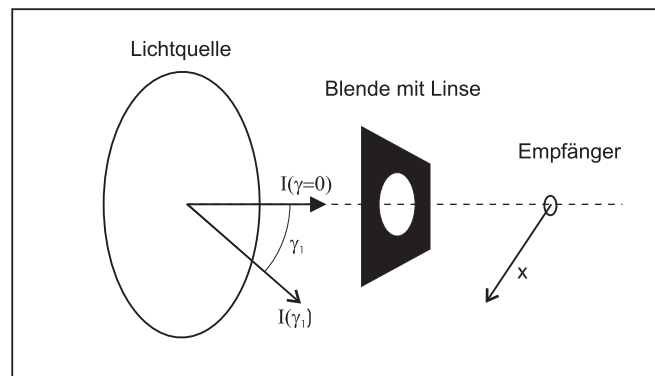


Bild 8: Versuchsaufbau (nicht maßstäblich)

Folgende Aufgaben sind zu absolvieren:

1. Für 2 Strahler mit unterschiedlicher Ausdehnung der leuchtenden Fläche ist die fotometrische Grenzentfernung zu bestimmen. Dazu ist die Beleuchtungsstärke in verschiedenen Abständen zu messen und daraus die Lichtstärke zu bestimmen. Stellen Sie den Verlauf der ermittelten Lichtstärke in Abhängigkeit von der Messentfernung grafisch dar und legen Sie die fotometrische Grenzentfernung fest. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den theoretischen Betrachtungen der Vorbereitungsaufgabe 2.
2. Bestimmung der Beleuchtungsstärkeverteilung in x-Richtung in verschiedenen Abständen vom Strahler und stellen Sie diese grafisch dar. Wie sehen die Isolux-Linien in der Messebene aus?

3. Bestimmung der Lichtstärkeverteilung des Strahlers (Messprinzip analog Aufgabe 1). Stellen Sie die Lichtstärkeverteilung des Strahlers in Polarkoordinaten dar. Welche charakteristische Lichtstärkeverteilung hat der Strahler? Berechnen Sie mit Hilfe des zonalen Lichtstromverfahrens den Lichtstrom des Strahlers.
4. Bestimmung der Leuchtdichte des Strahlers (a und b nach Vorbereitungsaufgabe 4).
 - a) mit Hilfe einer Blende
 - b) mit Hilfe einer Blende und einer Linse
 - c) mit einem Leuchtdichtemessgerät
 Vergleichen Sie die Ergebnisse der verschiedenen Messprinzipien. Erläutern Sie eventuelle Unterschiede.
5. Bestimmung der räumliche Leuchtdichteverteilung des Strahlers mit Blende und Linse. Stellen Sie die räumliche Leuchtdichteverteilung des Strahlers in Polarkoordinaten dar. Vergleichen Sie das Ergebnis mit den Erwartungen. Ziehen Sie Schlussfolgerungen!

4 Vorbereitungsaufgaben

1. Machen Sie sich mit den lichttechnischen Grundgrößen Lichtstrom, Beleuchtungsstärke, Lichtstärke und Leuchtdichte sowie deren Zusammenhängen vertraut.
2. Leiten Sie aus dem fotometrischen Grundgesetz das quadratische Entfernungsgesetz her und erläutern Sie dessen Gültigkeit. Welcher Fehler entsteht bei der Anwendung des Gesetzes auf einen kreisförmigen Lambertstrahler? Was versteht man unter der fotometrischen Grenzentfernung?
3. Was versteht man unter dem zonalen Lichtstromverfahren? Wann ist es anwendbar? (Literaturstelle 1). Berechnen Sie die Raumwinkelanteile des Halbraumes, die zur Berechnung des Lichtstromes notwendig sind, wenn die Lichtstärken des rotationssymmetrischen Strahlers bei $\gamma_1 = 5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, \dots, 85^\circ$ bekannt sind.
4. Leiten Sie aus der Formel (8) bzw. (9) das Raumwinkelprojektionsgesetz her. Passen Sie den Zusammenhang zwischen Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke so an, dass die in Bild 7 gegebenen Größen d_B und b in der Formel enthalten sind. Die Messung soll
 - a) nur mit Blende
 - b) mit Blende und Linse erfolgen.
5. Wie groß kann man den Abstand g bei Leuchtdichtemessungen ohne Linse maximal wählen ($d_S = 5 \text{ cm}$, $d_B = 2 \text{ cm}$, $b = 10 \text{ cm}$)? Welchen Vorteil bringt die Verwendung der Linse?

5 Literatur

1. Gall, D.: Grundlagen der Lichttechnik – Kompendium, Pflaum Verlag
2. Baer, R.: Beleuchtungstechnik - Grundlagen. Kap. 1.2.1., 1.5.1. Verlag Technik Berlin