

Dr. Angerstein	2014	Photometrische und Radiometrische Größen	Blatt 1(3)
----------------	------	--	------------

1.2 Einheiten der Photometrie und Radiometrie – Zusammenfassung

Eine ausführlichere Beschreibung findet man im Web als weiteres Beiblatt „[Photometrie und Radiometrie](#)“ zum Skriptum Optik.

1.2.1 Photometrische Größen

Die **Lichtstärke** I_v ist die Strahlungsleistung einer Lichtquelle pro Raumwinkel, gewichtet mit der spektralen Hellempfindlichkeit des Auges (genauer: eines genormten 2 °-Standard-Beobachters), also der Lichtstrom pro Raumwinkel. Sie ist die photometrische Entsprechung der Strahlungsintensität.

Ursprünglich mit der Emission eines schwarzen Strahlers und bestimmten Bedingungen verknüpft ist die Candela heute auf die abgeleitete SI-Einheit Watt zurückgeführt. Siehe auch

[http://de.wikipedia.org/wiki/Lichtstärke_\(Photometrie\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Lichtstärke_(Photometrie)).

SI-Basiseinheit für die Messung photometrischer Größen ist die Candela,

abgekürzt cd. Die Candela ist eine Größe für sichtbare optische Strahlung pro Winkeleinheit, also eine

Lichtstärke I_v **(1v)**

(der Index v steht jeweils für „visible“, auch $I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}$, aber nicht definitionsgemäß)

in einem Raumwinkel, letzten Endes ein Lichtstrom Φ pro Raumwinkel Ω . Da die Candela die Basiseinheit ist, ergibt sich der Lichtstrom Φ_v einer Quelle aus dem Integral der Lichtstärke I_v über alle Winkel, die ausgeleuchtet werden.

Lichtstrom $\Phi_v = \int I_v \cdot d\Omega$ **(2v)**

oder auch $\Phi_v = \int I_v \cdot d\varphi \cdot d\theta$.

Beleuchtet man mit diesem Lichtstrom eine Fläche A , dann erzeugt man dort eine Beleuchtungsstärke E_v .

Beleuchtungsstärke $E_v = \frac{\Phi_v}{A}$, **(3v)**

wobei Φ_v der Lichtstrom innerhalb der Fläche A ist.

Trifft auf die Fläche A Licht der Lichtstärke I_v , dann ergibt sich in der Ebene der Fläche A eine Beleuchtungsstärke E_v , die, wenn der Abstand von der Quelle r ist, gegeben ist mit

Beleuchtungsstärke $E_v = \frac{I_v}{r^2}$ **(4v)**

1.2.2 Radiometrische Größen

Äquivalent zu den photometrischen Größen verwendet man für Strahlung vergleichbare Größen, also eine

Strahlstärke I_e **(1e)**

(der Index e steht hier jeweils für „energetic“)

in einem Raumwinkel Ω . Das ist ein Strahlstrom oder ein Strahlungsfluss oder eine

Strahlungsleistung Φ_e **(2e)**

pro Raumwinkel Ω .

Da in der Radiometrie die Leistung die Grundeinheit ist, ergibt sich die Strahlstärke I_e einer Quelle aus dem Quotienten aus dem Differenzial des Strahlstroms $d\Phi_e$ und dem Winkel $d\Omega$.

Strahlstärke $I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$ **(1'e)**

Beleuchtet man mit der Strahlungsleistung Φ_e eine Fläche A , dann erzeugt man dort eine Bestrahlungsstärke E_e .

Bestrahlungsstärke $E_e = \frac{\Phi_e}{A}$, **(3e)**

wobei Φ_e die Strahlungsleistung ist, die auf die Fläche A fällt.

Trifft auf die Fläche A Strahlung der Strahlstärke I_e , dann ergibt sich in der Ebene der Fläche A eine Bestrahlungsstärke E_e , die, wenn der Abstand von der Quelle r ist, gegeben ist mit

Bestrahlungsstärke $E_e = \frac{I_e}{r^2}$ **(4e)**

Dr. Angerstein	2014	Photometrische und Radiometrische Größen	Blatt 2(3)
----------------	------	--	------------

1.2.3 Photometrie und Radiometrie

Die radiometrischen Einheiten beziehen sich auf die normale physikalische Größe Leistung [Watt]. Das ist keine Besonderheit sondern konsequente Anwendung der physikalischen Grundlagen.

Die photometrischen Größen kommen zunächst aus einer anderen Welt. Maß aller Dinge ist das menschliche Auge. Man hat durch Messungen mit Probanden festgestellt, dass die maximale Empfindlichkeit des menschlichen Auges bei einer Wellenlänge von $\lambda = 555 \text{ nm}$ liegt. Bei dieser Wellenlänge hat man die Einheit candela an das SI-System angeschlossen, indem man bestimmt hat, dass eine Candela einer Leistung von 683 W/sr (also im gleichen Raumwinkel entspricht). Somit ergibt sich für das Maximum der Augenempfindlichkeit des Menschen bei $\lambda = 555 \text{ nm}$ die messtechnisch ermittelte Beziehung

$$I_v = K_m \cdot I_e \text{ mit } K_m = 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \quad (5)$$

$K_m = 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$ nennt man das **fotometrische Strahlungsäquivalent**

Für andere Wellenlängen wurden dann die entsprechenden relativen Augenempfindlichkeiten mit Probanden bestimmt. Daraus ergibt sich die tabellarische Aufstellung der relativen Augenempfindlichkeit $v_\lambda(\lambda)$. Diese ist gelistet von $\lambda = 360 \text{ nm}$ bis $\lambda = 830 \text{ nm}$. (Anmerkung: Der Betrachtungswinkel spielt dabei noch eine Rolle, das führt hier aber zu weit. Ebenso gibt es eine weitere Tabelle an das dunkeladaptierte Auge.) Diese Tabellen sind im Anhang des Skriptums, in den Formelsammlungen und Lehrbüchern zu finden.

Für jede Wellenlänge gilt dann die Umrechnung

$$I_v = K_m \cdot v(\lambda) \cdot I_e(\lambda) \quad (6)$$

Enthält die Quelle i verschiedene diskrete Wellenlängen λ_i , so muss man summieren:

$$I_v = K_m \cdot \sum_i v_i(\lambda_i) \cdot I_{ei}(\lambda_i) \quad (7)$$

Gibt es eine Strahlungsfunktion von $I'_e(\lambda)$, dann geht die Summe in das Integral über

$$I_v = K_m \cdot \int v(\lambda) \cdot I'_e(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (8)$$

Entsprechend gilt natürlich auch

$$E_v = K_m \cdot \int v(\lambda) \cdot E'_e(\lambda) \cdot d\lambda \quad (9)$$

Auf der folgenden Seite sind die wichtigsten Größen der Radiometrie und Photometrie jeweils mit den englischen Begriffen zusammengestellt, die man kennen sollte.

Dem Anhang des Skripts ist diese Tabelle der Einheiten der Radiometrie und Photometrie hinzugefügt.

1.2.4 Einheiten der Radiometrie und Photometrie DIN 5031 T.1,3

Terms of Radiometry and Photometry

Radiometrische Größen Radiometric terms			Photometrische Größen Photometric terms		
Größe Unit	Symbol Symbol	Einheit Unit	Größe Unit	Symbol Symbol	Einheit Unit
Strahlungsfluss Strahlungsleistung Radiant flux, Radiant power	Φ_e	Watt, W	Lichtstrom Luminous flux	Φ_v	Lumen, lm
Spezifische Ausstrahlung Radiant exitance, Emittance	M_e	W/m ²	Spezifische Lichtausstrahlung Luminous emittance	M_v	lm/m ²
Strahlstärke (Radiant) intensity	I_e	W/sr	Lichtstärke (Luminous) intensity	$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}$	Candela, cd, lm/sr
Strahldichte Radiant sterance, Radiance	L_e	$\frac{W}{sr * m^2}$	Leuchtdichte Luminance (Brightness, sterance)	L_v	cd/m ²
Bestrahlungsstärke Radiant incidence, Irradiance	E_e	W/m²	Beleuchtungsstärke Illuminance	E_v	lm/m² Lux, lx
Strahlungsmenge, Strahlungsenergie Radiant energy	Q_e	Ws	Lichtmenge Luminous energy	Q_v	lm s
Bestrahlung Irradiation	H_e	Ws/m²	Belichtung Illumination	H_v	lm s/m²