

Beleuchtungsstärkemessungen

1. Ziel des Praktikums

- Kennenlernen der Prinzipien zur Kalibrierüberprüfung von Luxmetern und deren Genauigkeitsklassen
- Überprüfung der Beleuchtungsstärkekalibrierung und der cos-Anpassung an vorgegebenen bzw. frei gewählten Luxmetern (eigene Luxmeter können gern mitgebracht werden)

2. Grundlagen

2.1. Messung der Beleuchtungsstärke nach DIN 5032

Beleuchtungsstärkemessgeräte werden mit einer Lichtstärke-Normlampe (Wi41G) bekannter Verteilungstemperatur (zumeist Normlichtart A, 2856K) oder einem Normempfänger kalibriert. Unter Beachtung der photometrischen Grenzentfernung (Mindestabstand zwischen Lampe und Empfänger zur Erreichung einer bestimmten Genauigkeit) ergibt sich nach dem photometrischen Entfernungsgesetz folgende Beziehung:

$$E = \frac{I(\gamma_1) \cdot \cos \gamma_2 \cdot \Omega_0}{r^2} \quad (1)$$

Für das photometrische Entfernungsgesetz müssen die Voraussetzungen eines punktförmigen Strahlers und eines punktförmigen Empfängers (beleuchteter Punkt) erfüllt sein.

Da reale Strahler und Empfänger eine endliche Ausdehnung haben, entsteht bei der Anwendung des photometrischen Entfernungsgesetzes immer ein Fehler. Die photometrische Grenzentfernung definiert sich daher als die Entfernung zwischen Lichtquelle und Empfänger, bei der ein vorgegebener Messfehler, verursacht durch die Ausdehnung von Lampe und Empfänger, nicht überschritten wird.

Dieser Fehler hängt u.a. von folgenden Faktoren ab:

- der größten Ausdehnung der Lichtquelle
- der größten Ausdehnung der lichtempfindlichen Fläche des Empfängers
- dem Lichtstärkeverteilungskörper der Lichtquelle
- der örtlichen Leuchtdichteverteilung der Lichtquelle
- der richtungsabhängigen Bewertung der Strahlung durch den Empfänger

(Siehe dazu auch die Grundlagen zum Praktikum Lichtstärkeverteilungskurve!)

Für genaue photometrische Messungen (Fehler bei Anwendung des photometrischen Entfernungsgesetzes < 0.05%, gilt für einen kreisförmigen Lambertstrahler) sollte als Messentfernung zwischen Lampe und Empfänger ein Abstand, der 25 mal so groß wie der Durchmesser der Lichtquelle ist, eingehalten werden.

Gegebenenfalls ist bei verschiedenen Abständen experimentell zu prüfen, ob die photometrische Grenzentfernung eingehalten wird.

Bei der Messung der Beleuchtungsstärke ist der Empfänger vor Fremdlicht zu schützen. Zu diesem Zweck werden zwischen Lichtquelle und Empfänger gerade so viele Blendschirme angeordnet (Abb. 1), dass der Empfänger von keinem Teil des Raumes aus (von der Lichtquelle abgesehen) beleuchtet werden kann. Die Innenränder der Blendenöffnungen sollen so gewählt werden, dass der von ihnen zum Empfänger reflektierte Lichtanteil vernachlässigbar klein ist. Es ist darauf zu achten, dass keine leuchtenden Teile der Lampe verdeckt werden.

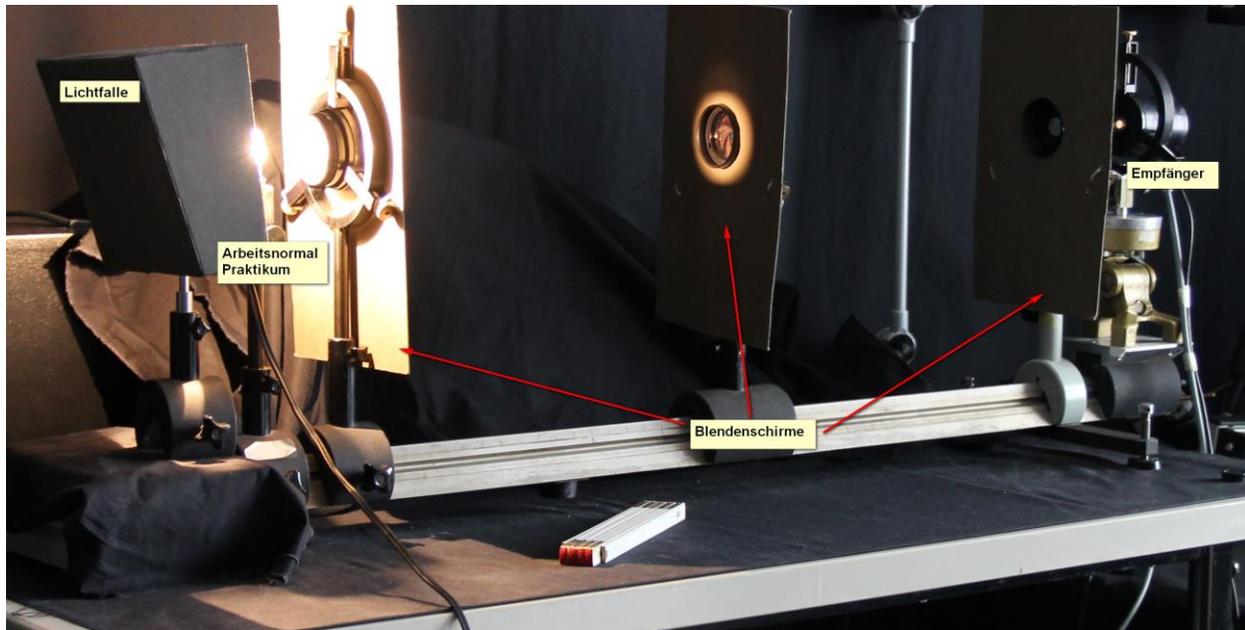


Abb. 1: Messaufbau einer Beleuchtungsstärkemessung

Betriebsbedingungen für Messlampen (meist Glühlampen vom Typ Wi 41G):

- Die Umgebungstemperatur hat i.a. wenig Einfluss auf das Betriebsverhalten. Sie sollte $25^{\circ}\text{C} \pm 5\text{K}$ betragen.
- Glühlampen sind bei Betrieb an Nennspannung zu altern. Die Alterungszeit soll 5% der Nutzlebensdauer (Nutzlebensdauer etwa 200 h), mindestens jedoch eine Stunde betragen.
- Die erforderliche Einbrenndauer ist stark typabhängig. Sie beträgt zwischen 1 und 15 Minuten bei Einstellung auf Nennspannung. Bei anderen Einstellgrößen (z.B. Strom) sind längere Einbrenndauern erforderlich.
- Glühlampen haben einen niedrigen Innenwiderstand. Bei niedriger Betriebsspannung und hohem Strom ist eine Messfassung besonders wichtig.
- 1% Änderung der Spannung verursacht eine Lichtstromabweichung von 4%
- 1% Änderung des Stromes bewirkt sogar etwa 8% Lichtstromabweichung.
- Versorgungsart: Gleichstrom
- Einstellgröße: Lampenstrom
- Einstellunsicherheit der Stromstärke: $< 0.02\%$
- Einschalten des Stromes: langsam von 0 auf den Endwert erhöhen, Abschalten entsprechend vom Maximalwert auf 0

2.2. Messung der Kenngröße f_2 zur kosinusgetreuen Bewertung

Beleuchtungsstärkemessgeräte müssen die auftreffende Strahlung (Messgröße ist hier die Lichtstärke) in Abhängigkeit vom Einfallswinkel γ_2 gemäß photometrischem Entfernungsgesetz (1) mit dem Kosinus dieses Winkels bewerten.

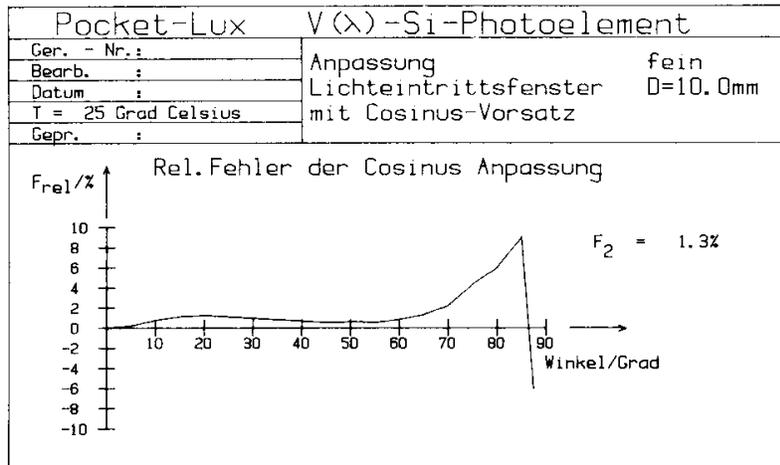


Abb. 2: cos-Bewertung Pocketlux

Für ein Beleuchtungsstärkemessgerät wird die Messabweichung der cos-Bewertung ermittelt durch $f_2(\gamma_2)$:

$$f_2(\gamma_2) = \frac{Y(\gamma_2)}{Y(0) \cdot \cos \gamma_2} - 1 \quad (2)$$

Dabei ist:

$Y(\gamma_2)$ der Anzeigewert als Funktion des Lichteinfallswinkels
 γ_2 gemessen gegen die Flächennormale oder optische Achse

$$f_2 = \int_0^{85^\circ \frac{\pi}{180^\circ}} |f_2(\gamma_2)| \cdot \sin 2\gamma_2 d\gamma_2 \quad (3)$$

In der Regel sind die Photometerköpfe konstruktiv so gestaltet, dass sie eine gute Kosinusanpassung besitzen. Als Beispiel sei das Pocketlux von LMT (Abb. 2) angeführt, das im Winkelbereich bis 70° eine sehr gute cos-Korrektur aufweist. Bei selektivem Lichteinfall zwischen 70° und 90° , in der Praxis z.B. in Sportstätten (Stadien) möglich, sollte auf eine sehr genaue Kosinuskorrektur auch in diesem Bereich geachtet werden.

Der Messaufbau wird entsprechend der Beleuchtungsstärkemessung realisiert, zusätzlich muss der Photometerkopf drehbar gelagert werden (Goniometer). Hierbei ist besonders auf eine genaue Justierung des Messkopfes zu achten, damit der Messkopf nicht aus der optischen Achse Lampe - Empfänger "herausgedreht" wird.

Kenngröße	Symbol	Klasse L	Klasse A	Klasse B	Klasse C
Kalibrierunsicherheit (k=2)	U_{Kal}	1 %	1,5 %	3 %	5 %
$V(\lambda)$ Anpassung	f_1'	1,5 %	3 %	6 %	9 %
UV-Empfindlichkeit	u	0,2 %	1 %	2 %	4 %
IR-Empfindlichkeit	r	0,2 %	1 %	2 %	4 %
cos-getreue Bewertung	f_2	-	1,5 %	3 %	6 %
Linearität	f_3	0,2 %	1 %	2 %	5 %
Anzeigegerät	f_4	0,2 %	3 %	4,5 %	7,5 %
Ermüdung	f_5	0,1 %	0,5 %	1 %	2 %
Temperaturabhängigkeit	f_6	0,2 %	2 %	10 %	20 %
moduliertes Licht	f_7	0,1 %	0,2 %	0,5 %	1 %
Abgleichfehler (Messbereichsumschaltung)	f_{11}	0,1 %	0,5 %	1 %	2 %
Gesamtkenngröße	f_{ges}	3 %	5 %	10 %	20 %
Berechnung der Gesamtkenngröße	$f_{\text{ges}} = U_{\text{Kal}} + f_1' + u + r + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6 + f_7 + f_{11}$				

Tabelle 1: Klassengrenzwerte für Beleuchtungsstärkemessgeräte der Klassen L, A, B, C nach DIN 5032 Teil 7

3. Durchführung und Auswertung

3.1. Berechnen Sie die Beleuchtungsstärke der Normallampe im Messabstand aus den Daten im Kalibrierschein der Lampe und vergleichen Sie diese mit den Anzeigewerten der Luxmeter bei senkrechter Beleuchtung der Empfängerfläche. Berücksichtigen Sie dabei den Einfluss des Streulichts der Messlampe.

3.2. Messen Sie die Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke vom Einfallswinkel auf den Photometerkopf, berechnen daraus die Größe $f_2(\gamma_2)$ nach Gleichung 2 und stellen Sie diese grafisch dar. Berechnen Sie zusätzlich die Kenngröße f_2 und bestimmen die damit mögliche Genauigkeitsklasse des Luxmeters.

3.3. Führen Sie eine qualitative Analyse der Messunsicherheiten durch.

4. Literaturangaben

/1/ Beschreibung Pocketlux der Firma LMT, Berlin

/2/ DIN 5032 Lichtmessung. Teil 1: Photometrische Verfahren, Teil 2: Betrieb elektrischer Lampen und Messung der zugehörigen Größen, Teil 7: Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräten

/3/ DIN EN 13032-1:2012-06: Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten – Teil 1: Messung und Datenformat

/4/ Beleuchtungstechnik: Grundlagen. Roland Baer. Verlag Technik 1996