

**Fotometrie****1 Aufgabe**

- Es ist das fotometrische Entfernungsgesetz experimentell nachzuweisen.
- Die Abstrahlcharakteristik einer LED ist aufzunehmen.
- Es ist die relative spektrale Strahlungsleistung von verschiedenen Lichtquellen zu messen.
- Der Lichtstrom eines Projektors ist zu ermitteln.

**2 Theoretische Grundlagen**

Licht kann als elektromagnetische Strahlung betrachtet werden, die vom Menschen entsprechend seiner Augencharakteristik, der sogenannten  $V(\lambda)$ -Kurve, wahrgenommen werden kann. Die Einheit des Lichtstromes  $\Phi_v$  ist das Lumen (lm). Eine elektrisch gemessene Strahlungsleistung  $\Phi_e$  kann im einfachen, monochromatischen Fall mittels des Zusammenhanges  $\Phi_v = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e$  in einen Lichtstrom umgerechnet werden ( $K_m$  ist das fotometrische Strahlungsäquivalent mit  $K_m = 683 \text{ lm/W}$ ). Im Allgemeinen, polychromatischen Fall muss über die spektrale Verteilung integriert werden.

Bei der Betrachtung eines Senders kann der Lichtstrom pro Raumwinkel, dies ist die Lichtstärke  $I_v$  in  $\text{cd} = \text{lm/sr}$ , und es kann der Lichtstrom pro Raumwinkel und Sendefläche betrachtet werden, dies ist die Leuchtdichte  $L_v$  in  $\text{cd/m}^2 = \text{lm}/(\text{sr} \cdot \text{m}^2)$ . Trifft der Lichtstrom auf eine Fläche, so ergibt sich die Beleuchtungsstärke  $E_v$  als Verhältnis von Lichtstrom und Empfangsfläche,  $E_v$  in  $\text{lm/m}^2$ . Mit  $E =$  Beleuchtungsstärke,  $I =$  Lichtstärke,  $a =$  Entfernung und  $\Omega_0 =$  Einheitsraumwinkel ergibt sich das fotometrische Entfernungsgesetz:

$$E_v = \frac{I_v}{a^2} \cdot \Omega_0$$

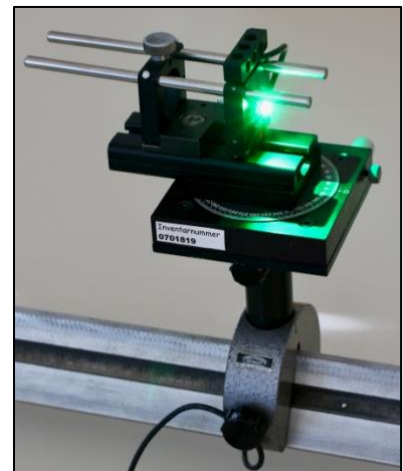
Für die spektrale Messung der Strahlung wird ein fasergebundenes Array-Spektrometer benutzt, welches ohne bewegliche Teile auskommt. Das Licht wird über eine Glasfaser in das Spektrometer eingekoppelt. Hinter der Einkopplung befindet sich der fixe Eingangsspalt. Aus dem Spektrum der einfallenden Strahlung („weißes“ Licht am Eintrittsspalt) wird durch Beugung an einem optischen Reflexionsgitter (Konkavgitter) monochromatisches Licht erzeugt. Über eine modifizierte Czerny-Turner-Anordnung wird das Spektrum auf den CCD-Detektorarray abgebildet. Die Beugung liefert eine Ablenkung am Gitter, die in einem festen Zusammenhang mit der Wellenlänge  $\lambda$  und der Gitterkonstanten steht. Durch die Wahl der entsprechenden Gitterkonstante und Eintrittsspaltgröße ist es möglich, die spektrale Auflösung entsprechend einzustellen.

Zur Ermittlung des Lichtstroms  $\Phi_v$  eines Projektors werden in  $N$  angrenzenden Feldern die Beleuchtungsstärken  $E_i$  an der Stelle des Projektionsschirms bestimmt, auf die dazugehörigen Flächeninhalte  $A_i$  bezogen und über die gesamte Projektionsfläche summiert:

$$\Phi_v = \sum_{i=1}^N E_i \cdot A_i$$

**3 Hinweise zur Durchführung**

- a) Auf einer optischen Bank sind eine LED auf dem Drehtisch und der Messkopf des Luxmeters an geeigneter Stelle aufzubauen. Für mindestens zehn verschiedene Abstände zwischen Lichtquelle und Empfänger ist dann die Beleuchtungsstärke mit dem Luxmeter zu bestimmen (auf korrekte Bereichswahl am Luxmeter achten).
- b) Mit dem Aufbau wie unter a) kann die Abstrahlcharakteristik einer Lichtquelle aufgenommen werden. Dazu wird, jeweils in einem Abstand von 50 cm und 100 cm, die Lichtquelle mittels Drehtisch um geeignete Winkelgrade bis max.  $\pm 90^\circ$  verdreht (Abb. 1), und die jeweilige Beleuchtungsstärke gemessen. Es ist auf eine korrekte Justierung der Lampenfassung auf dem Drehtisch zu achten.
- c) Mit der Versuchsanordnung nach Abb. 2 kann die relative spektrale Strahlungsleistung computergestützt gemessen werden. Die Lichtquelle wird dafür in geeigneter Weise vor der Kosinuskorrektur der Glasfaser positioniert, so dass ein ausreichend großes Signal am Empfänger vorliegt. Dazu ist in der Steuersoftware für den Monochromator die Integrationszeit entsprechend anzupassen. Für einen Wellenlängenbereich von 350 bis 1000 nm sind die Spektren für verschiedene Lichtquellen aufzunehmen.

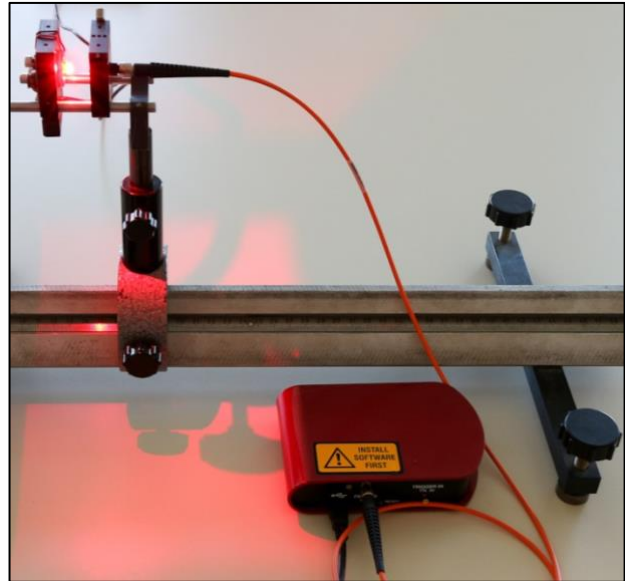


**Abbildung 1** LED in Halterung und Drehtisch auf optischer Bank

- d) Der Lichtstrom eines Projektors, der auf einem Bildschirm in einem frei zu wählendem Abstand ein weißes in der Fläche  $A$  zu bestimmendem Rechteck projiziert, soll bestimmt werden. Hierzu ist das Rechteck in neun identische, angrenzende Rechtecke mit den Teilflächen  $A_i$  zu unterteilen, in deren Mittelpunkten die Beleuchtungsstärken gemessen werden.

#### 4 Auswertung

- Das fotometrische Entfernungsgesetz ist anhand der aufgenommenen Messwerte zu überprüfen, und mit den theoretischen Werten in einem Diagramm zu vergleichen.
- Die normierten Werte für die LED sind als Abstrahlcharakteristik graphisch darzustellen, und mit den Werten aus dem Firmenkatalog zu vergleichen.
- Die relativen spektralen Strahlungsleistungen für die verschiedenen Lichtquellen sind zu ermitteln und graphisch in Diagrammen darzustellen. Das Ergebnis ist zu diskutieren.
- Der Lichtstrom des Projektors ergibt sich rechnerisch aus dem Mittelwert der neun ermittelten Beleuchtungsstärken, der mit der Fläche  $A$  zu multiplizieren ist.



**Abbildung 2** Messung der spektralen Strahlungsleistung einer LED mittels Kompakt-CCD-Spektrometer

#### 5 Geräte

- Halogenlampe: 12 V / 35 W, Stiftsockel GY 6.35, Fa. OSRAM, „Halostar Standard“, No. 64432
- Glühlampe (Wolframdraht): Standardkolben, 40 W. Fassung E27, Fa. OSRAM
- Kompaktleuchtstofflampe 11 W, Stecksockel G23, Fa. OSRAM, „DULUX S LUMILUX Daylight“, No. S 11 W/860
- Verschiedene LED-Module in Fassung mit Steckernetzteil (GOS Reg. 7 / # 199)
- Luxmeter LX-1108 (GOS Reg. 8 / # 198)
- Leistungsmessgerät Newport Powermeter 843-R mit Si-Detektor 818-SL/DB (GOS Reg. 7 / # 139a/b)
- Kompakt-CCD-Spektrometer CCS200/M, 200...1000 nm, Glasfaser mit Kosinuskorrektur CCSA1 (GOS Reg. 8 / # 140)
- Rechner mit Spektrometer-Ansteuer-, Mess- und Analysesoftware OSA
- Optische Bank, Halter, Drehtisch mit Winkelskala und Lampenfassung (justierbar)
- Projektor und Schirm

#### 6 Literaturhinweise

- [1] SCHRÖDER, G.; TREIBER, H.: *Technische Optik*. 10. Aufl. Würzburg: Vogel, 2007, S. 117 ff., 131 ff., 156 ff., 245 ff. & 257
- [2] NAUMANN, Helmut: *Bauelemente der Optik*. 6. Aufl. München: Hanser, 1992, S. 25ff., 195 ff., 232-234, 290-292 & 467 ff.
- [3] NAUMANN, H.; SCHRÖDER, G.; LÖFFLER-MANG, M.: *Handbuch Bauelemente der Optik*. 7. Aufl. München: Carl Hanser, 2014, S. 458
- [4] PEDROTTI, F. et al.: *Optik für Ingenieure*. 4. Auflage. Berlin: Springer, 2008.
- [5] VORLESUNG: *Optik Design und Optische Techniken in der Mechatronik*. Berlin: BHT Berlin.
- [6] SPEKTROMETER: CCS200/M. Thorlabs. [https://www.thorlabs.de/newgrouppage9.cfm?objectgroup\\_id=3482](https://www.thorlabs.de/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=3482) – Aktualisierungsdatum: 11.10.2022
- [7] BAUTSCH, M.: *Digitale bildgebende Verfahren: Beleuchtung – Projektionen – Lichtstrom*. Wikibooks. [https://de.wikibooks.org/wiki/Digitale\\_bildgebende\\_Verfahren:\\_Beleuchtung\\_-\\_Lichtstrom\\_2](https://de.wikibooks.org/wiki/Digitale_bildgebende_Verfahren:_Beleuchtung_-_Lichtstrom_2) – Aktualisierungsdatum: 11.10.2022
- [8] LEUSCHNER, Bernd; UCKERT, Danilo: *Messgerätekatalog*. Berlin: BHT Berlin / GOS. <https://labor.bht-berlin.de/fileadmin/labor/gos/dokument/Messgeraetekatalog.pdf> – Aktualisierungsdatum: 18.05.2022.