

Die LED 25 stellt als universell einsetzbare Einkoppeloptik eine Neuerung auf dem Gebiet der Lichtmesstechnik dar. Erstmals ist es mit einem einzigen Messkopf möglich, Averaged LED Intensity ( $I_{LED-A}$  bzw.  $I_{LED-B}$ ), Beleuchtungsstärke und (unter Einsatz eines Goniometers) auch Lichtstrom zu bestimmen, gleichzeitig aber auf lediglich eine einzige Kalibrierung zurückgreifen zu müssen.

WIR BRINGEN QUALITÄT ANS LICHT

## APPLICATION NOTE

# LED 25

## Einkoppeloptik für „Averaged LED Intensity“

### Die LED 25 als Einkoppeloptik für $I_{LED-A}$ und $I_{LED-B}$ Messungen

Bild 1a: Messgeometrie für  $I_{LED-A}$  bzw.  $I_{LED-B}$

Bild 1b: LED 25 in Kombination mit  $I_{LED-B}$ -Distanztubus und einer LED in Testfassung

Einzel-LEDs für den sichtbaren Wellenlängenbereich werden typischerweise durch die Angabe der photometrischen Größen Lichtstärke  $I_v$ , Lichtstrom  $\Phi_v$  und dominante Wellenlänge  $\lambda_{dom}$  charakterisiert. Bei weißen LEDs gibt man meistens die „korrelierte Farbtemperatur“ CCT (in Kelvin) an. Da die Lichtstärke über die Ableitung  $d\Phi/d\Omega$  definiert ist, sollte die Detektorfläche möglichst klein und der Abstand zwischen LED-Spitze und Detektor möglichst groß gewählt werden. Im Allgemeinen können derartige Bedingungen nur im Labormaßstab

realisiert werden. Aus diesem Grund wurde im CIE Dokument 127 das Messprinzip für die Bestimmung der „Averaged LED Intensity“ ( $I_{LED-A}$  bzw.  $I_{LED-B}$ ) von Einzel-LEDs im Jahre 1997 festgelegt. Danach wird empfohlen, einen örtlich homogenen Detektor mit einer Fläche von 100 mm<sup>2</sup> und  $V(\lambda)$ -förmiger spektraler Empfindlichkeit in einer Entfernung von 316 mm (für  $I_{LED-A}$ ) bzw. 100 mm (für  $I_{LED-B}$ ) von der Spitze der zu vermessenden LED entfernt zu positionieren.

Bild 1a

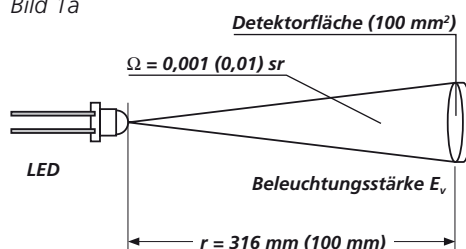
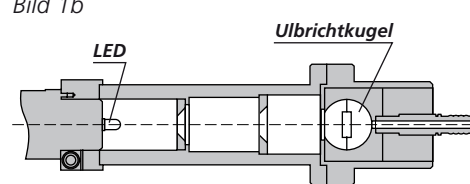


Bild 1b



Da die Spitze einer LED in den meisten Fällen nicht mit deren goniometrischem Schwerpunkt übereinstimmt, stellen  $I_{LED-A}$  und  $I_{LED-B}$  eigenständige Messgrößen dar, die über die mittlere Beleuchtungsstärke in einem bestimmten Abstand von der jeweiligen Lichtquelle, multipliziert mit dem Quadrat dieses Abstands, definiert sind.

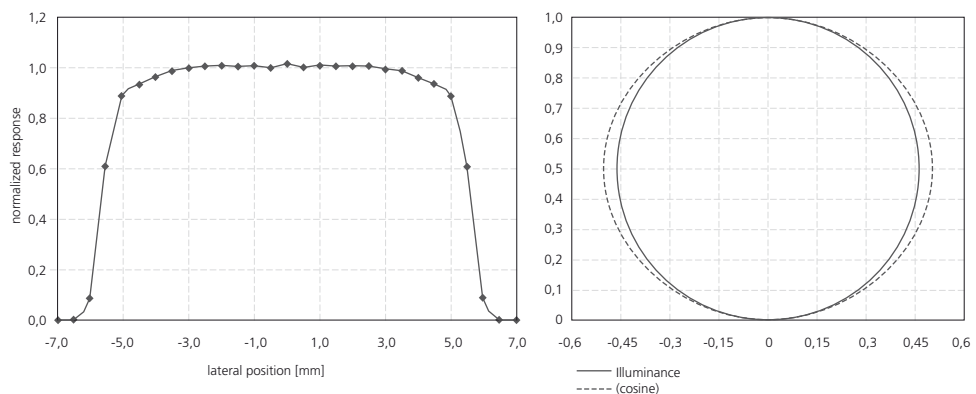
$$I_{LED-A, B} = E_v \cdot r_{A, B}^2$$

Bild 1a zeigt die prinzipielle Messgeometrie, Bild 1b eine Schnittzeichnung der LED 25 in Kombination mit einem  $I_{LED-B}$ -Distanztubus und einer LED in Testfassung.

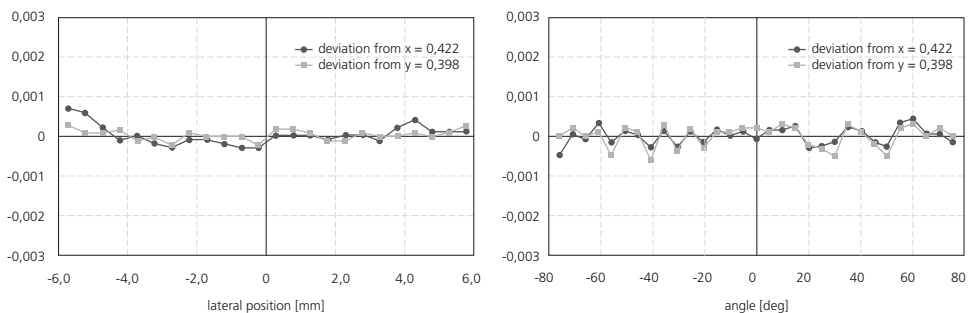
Obwohl  $I_{LED-A}$  bzw.  $I_{LED-B}$  nicht unmittelbar mit der Lichtstärke verglichen werden können, so sind die Anforderungen an die Messgeometrie und Detektorspezifikationen dennoch vergleichbar: Die spektrale und absolute Empfindlichkeit des Detektors muss über die gesamte Fläche homogen sein. Insbesondere bei High-Brightness-LEDs mit meist engwinkliger Abstrahlcharakteristik ist dies entscheidend, da in einem solchen Fall die Bestrahlungsstärke entlang der Detektorfläche signifikant variieren kann. Detektoren mit schlechter Homogenität liefern hier leicht unterschiedliche Resultate, was einen Vergleich erheblich erschwert. Um kleinstmögliche Messunsicherheiten zu erzielen, muss auch die Winkelcharakteristik des Detektors eine gewisse Güte aufweisen, insbesondere, wenn stärker ausgedehnte Lichtquellen oder Cluster untersucht werden sollen. Die LED 25 erfüllt in Verbindung mit

einem faserbündelgekoppelten Spektralradiometer alle diese Anforderungen. In Bild 2 (links) ist die photometrische Empfindlichkeit längs des Detektorquerschnitts aufgetragen, rechts daneben die entsprechende Winkelcharakteristik, die im Falle eines idealen Detektors perfekt kreisförmig ist (Cosinus-Response). In Bild 3 sind Farbortkoordinaten  $(x,y)$  von näherungsweise schwarzen Strahlern (Halogenlampen) als Funktion der Lateralposition (links) sowie des Einfallswinkels (rechts) aufgetragen. Die jeweilige Abweichung von  $x$  und  $y$  vom Sollwert liegt stets unterhalb von 0,001. Als modulares System kann die LED 25 mit Distanzstücken für  $I_{LED-A}$  bzw.  $I_{LED-B}$  verwendet werden. In Verbindung mit einem Spektralradiometer sind photometrische bzw. radiometrische Messungen innerhalb eines Spektralbereichs von 220 nm bis 2500 nm möglich.

**Bild 2: Lateraler Durchsatz der LED 25 entlang des Querschnitts (links) und als Funktion des Einfallswinkels (rechts)**



**Bild 3: Abweichung der Farbortkoordinaten  $(x,y)$  einer Halogenlampe als Funktion von Ort (links) und Einfallswinkel (rechts)**

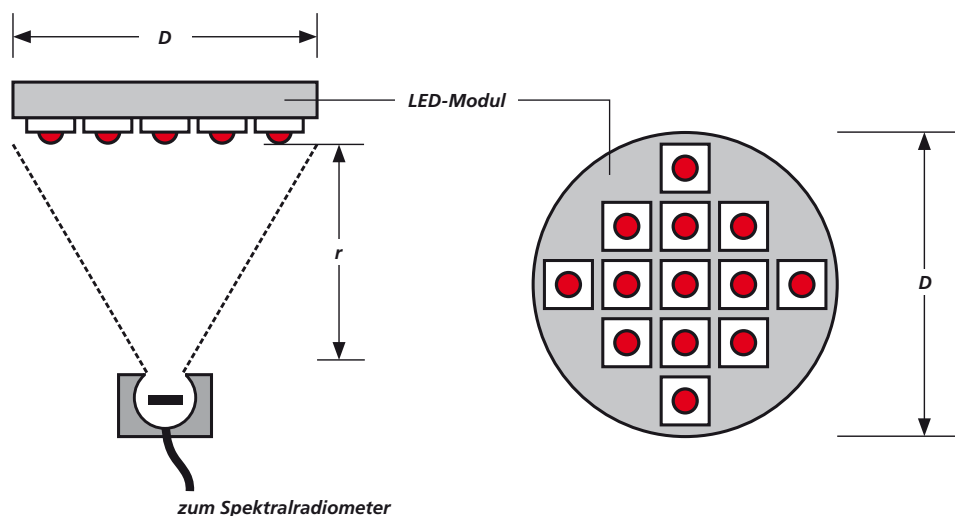


## Die LED 25 als Einkoppeloptik für die Messung von Bestrahlungs- und Beleuchtungsstärke

Aufgrund der bereits erläuterten guten Cosinus-Charakteristik kann die LED 25 auch hervorragend als universelle Einkoppeloptik für die Messung von Bestrahlungs- bzw. Beleuchtungsstärke von Lichtquellen nahezu beliebiger Geometrie verwendet werden. Die Kalibrierung erfolgt dabei sowohl spektral als auch absolut mit breitbandigen Lichtquellen (Halogenlampen, Deuteriumlampen). Eine mögliche Messgeometrie für LED-Module ist in Bild 4 dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass bei kleiner

werdendem Abstand  $r$  der maximale Einfallswinkel auf die LED 25 immer größer wird. Die in Bild 2 dargestellten Abweichungen der Empfindlichkeit vom idealen Cosinus-förmigen Verlauf kommen dann immer stärker zum tragen und wirken sich auf die Messunsicherheit aus. In Bild 5 ist die systematische Abweichung als Funktion des Aspektverhältnisses  $(v = D/2r)$  aufgetragen, wobei  $D$  der Durchmesser des Moduls ist. Ist dieser Wert beispielsweise gleich  $1/2$ , so entspricht der Abstand  $r$  zwischen

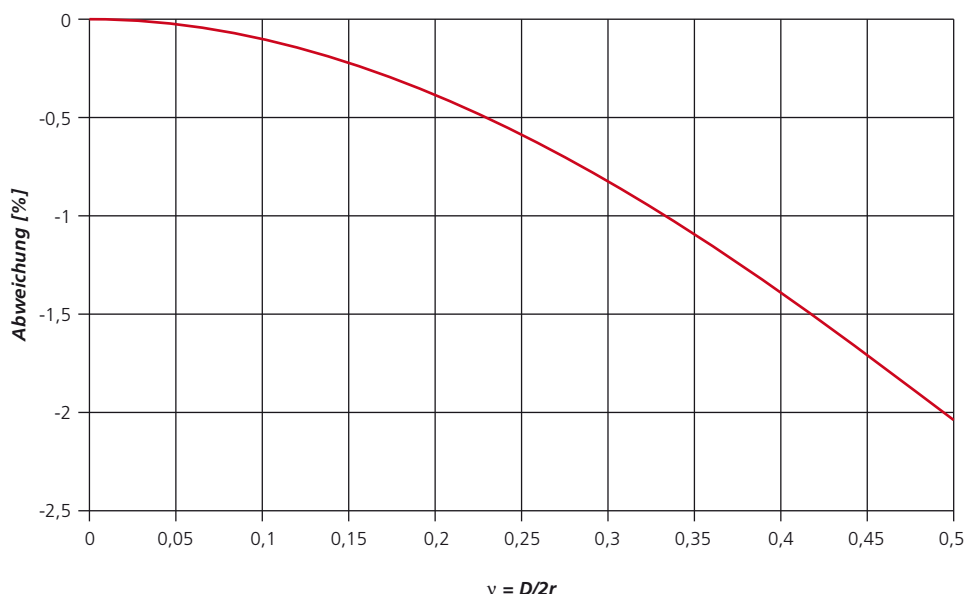
**Bild 4: Mögliche Messgeometrie zur Charakterisierung von LED-Modulen**



Bei dieser Applikation wird die LED 25 als Einkoppeloptik in Verbindung mit dem LEDGON Goniometer und einem Spektralradiometer verwendet. Die Kalibrierung erfolgt analog zur erstgenannten Applikation auf Bestrahlungsstärke mit Hilfe eines radiometrischen Standards (Halogen- oder Deuteriumlampe). Anschließend wird die LED 25 in einer definierten Entfernung zur untersuchenden Lichtquelle positioniert. Bild 7 zeigt schematisch den Aufbau, wie er typischerweise zur Vermessung von kleineren LED-Modulen eingesetzt wird.

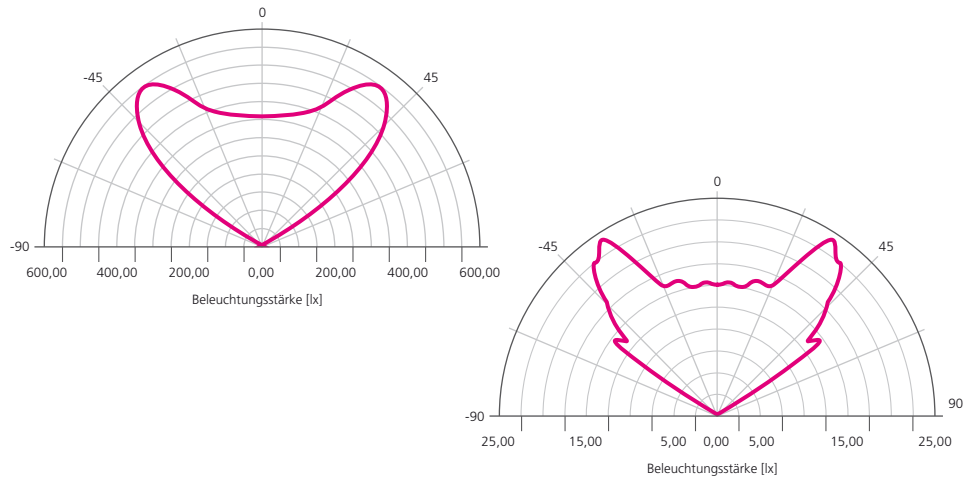
Mit dieser Anordnung ist es möglich, die Abstrahlcharakteristik bei unterschiedlichen Abständen aufzunehmen. Einige LED-Module, die in Verkehrssignalen eingesetzt werden, weisen häufig eine sog. Batwing-LVK (Lichtstärke-Verteilungskörper) auf, bei der die Hauptemission unter  $0^\circ$  gezielt unterdrückt wird. Bild 6 zeigt exemplarisch ein derartiges Modul (links), rechts die Abstrahlcharakteristiken im Nah- bzw. Fernfeld ( $r = 100 \text{ mm}$  bzw.  $r = 500 \text{ mm}$ ), aufgenommen mit LED 25 und LEDGON.

**Bild 5: Prozentuale Abweichung der gemessenen Beleuchtungsstärke vom tatsächlichen Wert als Funktion des Aperturverhältnisses für Lichtquellen in Form einer Kreisfläche (z.B. bestimmte LED-Module)**

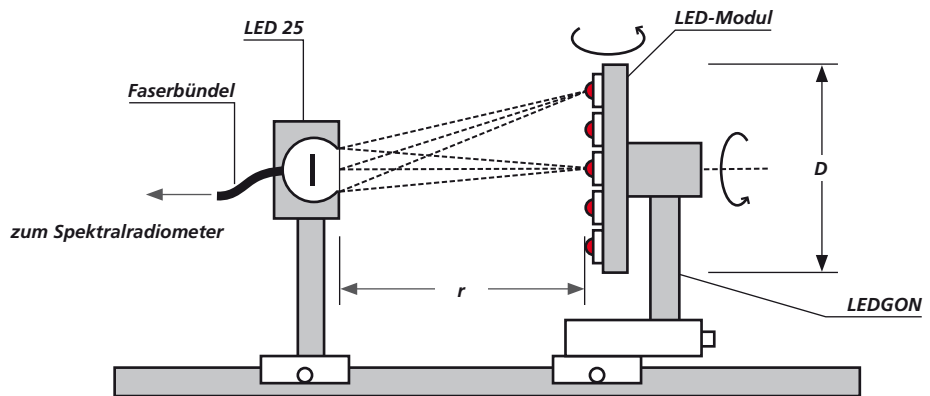




**Bild 6: Oben: LED-Modul, wie es beispielsweise in Ampelanlagen eingesetzt wird. Rechts: Beispiele für LVKs im Nah- (oberes Diagramm) bzw. Fernfeld (unteres Diagramm)**



**Bild 7: Schematische Skizze für die Lichtstrombestimmung mittels LED 25 und LEDGON**



Zur Bestimmung des Lichtstroms muss sichergestellt sein, dass der Winkelscan des LEDGON alle Richtungen erfasst, in denen eine Abstrahlung von Licht erfolgt. Der Lichtstrom ergibt sich dann rechnerisch aus der Integration der Abstrahlcharakteristik über dem erfassten Raumwinkel:

$$\Phi_V = \int_{(F)} E_V dA = \int_{(F)} E_V r^2 d\Omega = \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} E_V(\theta, \varphi) r^2 \sin\theta d\theta d\varphi$$

Die gute Cosinus-Response der LED 25 erlaubt es ferner, den Lichtstrom durch

Messungen im Nahfeld zu bestimmen. Als Vorteil sind die gute Detektoraussteuerung und die damit verbundenen kurzen Messzeiten zu nennen. Die systematischen Fehler aufgrund der Abweichung von der idealen cosinusförmigen Empfindlichkeit liegen im Falle des hier betrachteten Moduls mit einem Durchmesser D von ca. 50 mm unter 1%, wenn man Fern- und Nahfeld ( $r = 500 \text{ mm}, 100 \text{ mm}$ ) vergleicht. Erst bei Aspektverhältnissen  $v = D/2r > 0,35$  treten größere Abweichungen auf.

#### Instrument Systems GmbH

Kastenbauerstr. 2  
81677 München  
Tel.: +49 89 /45 49 43-0  
Fax: +49 89 /45 49 43-11  
E-Mail: info@instrumentsystems.de  
www.instrumentsystems.de