

Vergleich von Strahldichte- und Bestrahlungsstärkebasierten Blaulicht-Gefährdungsmessungen

*Dr. Steffen Görlich, JETI GmbH, Tatzendpromenade 2, D-07745 Jena
steffen.goerlich@jeti.com*

Zusammenfassung

Die Norm EN 62471 über photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen definiert die Blaulicht-Gefährdungsmessungen als Strahldichte-basiert. Zusätzlich wird eine alternative Methode beschrieben, die auf einer Bestrahlungsstärkemessung beruht und mit einer Apertur in der Quellenebene arbeitet. Oft ist ein geeignetes Strahldichtemessgerät nicht verfügbar und die alternative Methode muss verwendet werden.

Das Poster zeigt einen Vergleich beider Methoden an ausgewählten Proben - einer Gesundheitsleuchte, einer LED-Matrix, einer Mehrchip-LED und einer Hochdruck-Gasentladungslampe. Die Unterschiede der Messergebnisse werden kurz diskutiert.

1. Hintergrund

Die Norm EN 62471 [1] behandelt die photobiologische Sicherheit von Lampen und Beleuchtungsanlagen. Insbesondere aufgrund der immer heller werdenden LED-basierten Lichtquellen gewinnt diese Sicherheitsnorm mehr und mehr an Bedeutung. In der Norm werden die Grenzwerte für verschiedene biologische Effekte am Auge und auf der Haut definiert. Der Wichtigste davon ist die Blaulichtgefährdung des Auges. Die Einhaltung der Grenzwerte kann entweder durch Berechnung oder durch Messung erfolgen.

Die Messung basiert auf der Ermittlung der gewichteten Strahldichte ($B(\lambda)$, spektral oder mit Filter). Teilweise treten extrem hohe Strahldichten auf (einige Mio. cd/m^2), insbesondere bei der Messung von inhomogenen Beleuchtungen. Die Messwinkel müssen, in Abhängigkeit von der Risikoklasse 100 mrad ($5,73^\circ$), 11 mrad ($0,63^\circ$) oder 1,7 mrad (ca. $0,1^\circ$), betragen. Strahldichtemessgeräte können normalerweise nur mit fixen Messwinkeln genutzt werden, die meistens nicht mit den hier angegebenen Werten übereinstimmen. Deshalb wurde in der Norm auch eine alternative Messung definiert, die auf der Ermittlung der Bestrahlungsstärke beruht.

Die folgenden Abbildungen zeigen die beiden Messungen. Voraussetzung für die alternative Messung ist, dass eine Feldblende sehr nah an der Lichtquelle positioniert werden kann.

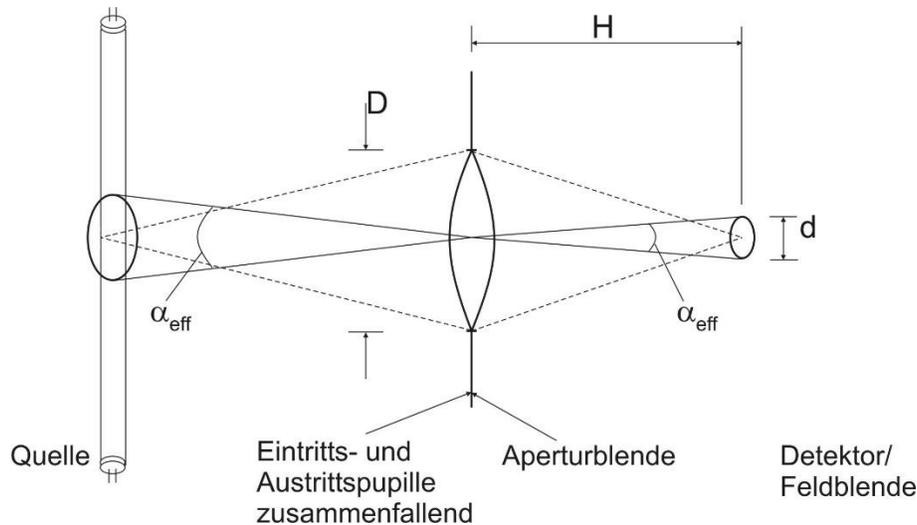


Abb. 1 – Strahldichte-basierte Messung [1]

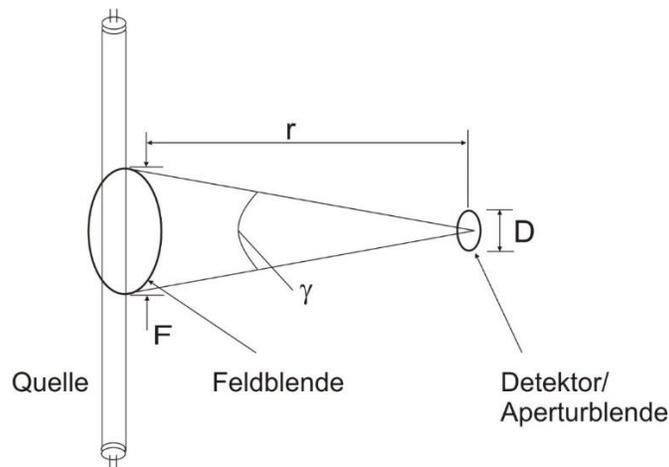


Abb. 2 – Bestrahlungsstärke-basierte Messung [1]

Die strahldichte-basierten Messungen zur Ermittlung der Blaulichtstrisikoklasse werden entsprechend folgendem Ablauf durchgeführt:

1. Wahl des Messabstandes: Ermittlung des Abstandes von der Quelle, bei dem diese eine Beleuchtungsstärke von 500 lx erzeugt (für Produkte der Allgemeinbeleuchtung) bzw. Verwendung von 200 mm (für andere und unbekannte Anwendungen) als Messabstand (ggf. anwendungsbedingt auch ein anderer Abstand)
2. Ermittlung der Winkelausdehnung der Quelle (bei < 11 mrad wird ohnehin eine kleine Quelle angenommen und deshalb immer bestrahlungsstärke-basiert gemessen)
3. Messung der gewichteten Strahldichte mit einem Messwinkel von 100 mrad (unabhängig, ob die Quelle eine größere oder kleinere Winkelausdehnung hat)
4. Einordnung in die freie Gruppe, wenn $L_B < 100 \text{ W}/(\text{sr m}^2)$ ist, Prozedur ist beendet
5. Messung der gewichteten Strahldichte mit einem Messwinkel von 11 mrad

6. Einordnung in Risikoklasse 1, wenn $L_B < 10^4 \text{ W}/(\text{sr m}^2)$ ist, Prozedur ist beendet
7. Messung der gewichteten Strahlendichte mit einem Messwinkel von 1,7 mrad
8. Einordnung in Risikoklasse 2, wenn $L_B < 4 \cdot 10^6 \text{ W}/(\text{sr m}^2)$ ist, Prozedur ist beendet
9. Einordnung in Risikoklasse 3, wenn $L_B > 4 \cdot 10^6 \text{ W}/(\text{sr m}^2)$ ist, Prozedur ist beendet

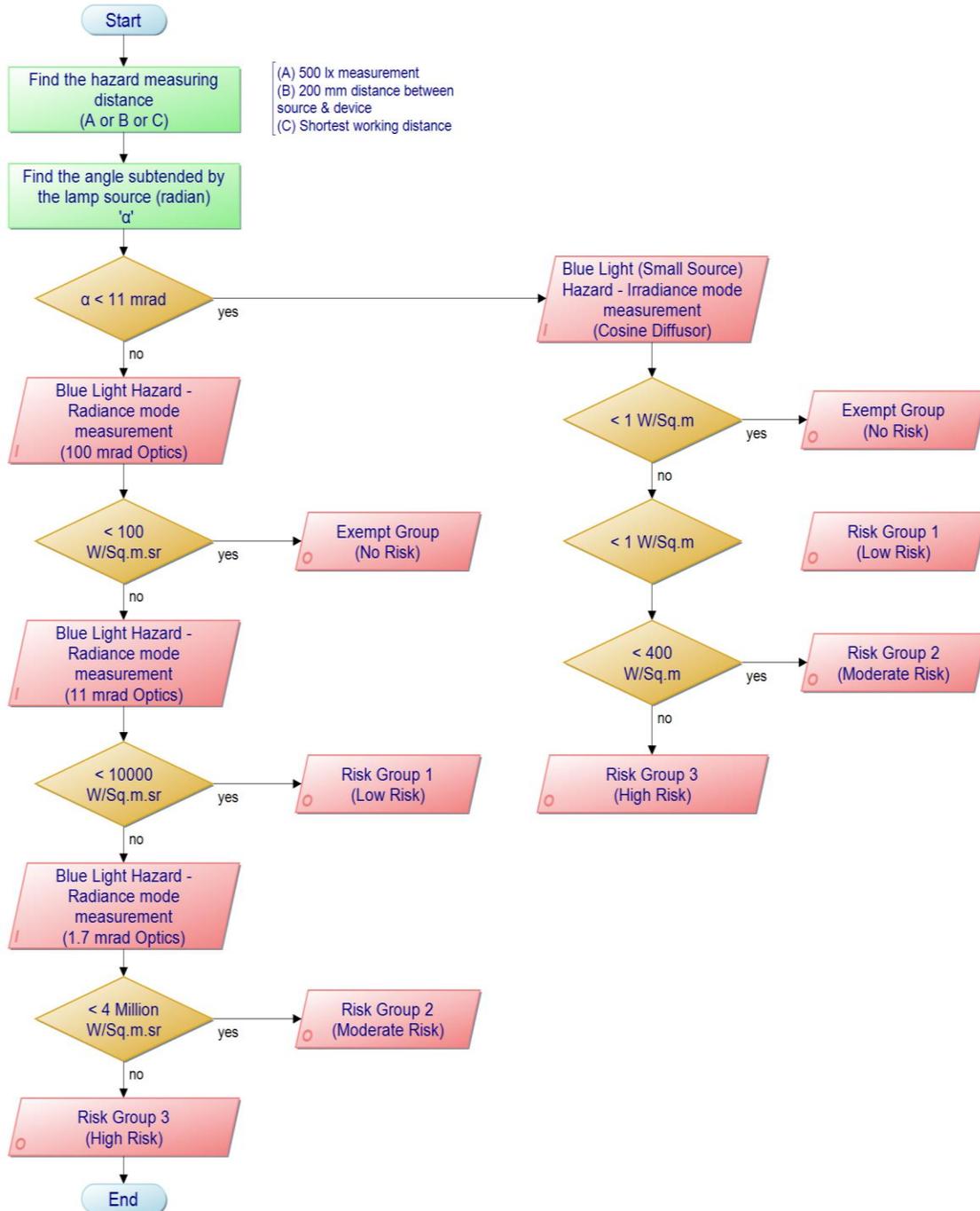


Abb. 3 – Schema zum Ablauf der Blaulichtgefährdungsmessungen

Wenn die Messungen alternativ über die Bestrahlungsstärke durchgeführt werden sollen, wird der jeweilige Messwinkel durch eine Apertur passenden Durchmessers direkt vor der Lichtquelle erzeugt. Diese Methode lässt sich nur schwer bei

unzugänglichen Quellen, z.B. an Masten montierten Scheinwerfern, realisieren. In solchen Fällen wird praktischerweise immer die strahldichte-basierte Methode verwendet.

Die Umrechnung von der gemessenen Bestrahlungsstärke in die Strahldichte erfolgt über folgende Formel:

$$L_B = \frac{4 \cdot r^2 \cdot E_B}{\pi \cdot F^2}$$

mit L_B – blauchlichtgewichtete Strahldichte, E_B – blauchlichtgewichtete Bestrahlungsstärke, r – Messabstand und F – Aperturdurchmesser.

2. Testlichtquellen und Versuchsaufbau

Folgende vier Lichtquellen wurden für die Untersuchung verwendet:



Abb. 4 – Gesundheitsleuchte Philips (Energy Up Intense Blue HF3420)

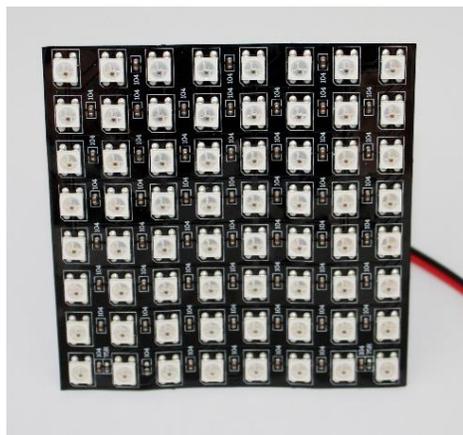


Abb. 5 – Dot-Matrix RGBW 8x8 (Thomsen RGB 120° 5V)

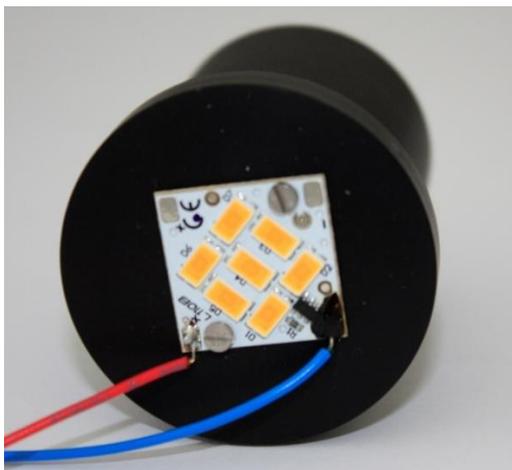


Abb. 6 – Multichip-LED 7-fach, 3 W, 324 lm (Barthelme 50770233)



Abb. 7 – Entladungslampe (Philips MasterColour CDM-T 70 W)

Die folgende Tabelle enthält nähere Angaben zu den Testlichtquellen:

Lichtquelle	500 lx- Entfernung	Winkelausdehnung der Quelle	Beleuchtungsstärke in 200 mm	Winkelausdehnung der Quelle
Gesundheitsleuchte (Philips)	32 cm	289 mrad	1412 lx	462,5 mrad
Dot-Matrix RGBW 8x8	51 cm	147 mrad	1391 lx	375 mrad
Multichip-LED (7 fach) 3 W 324 lm	49 cm	24,5 mrad	2850 lx	60,0 mrad
Entladungslampe (Philips)	99 cm	12,6 mrad	11003 lx	62,5 mrad

Tab. 1 – Verwendete Lichtquellen

Alle verwendeten Lichtquellen haben in beiden Messentfernungen eine Winkelausdehnung von > 11 mrad, erscheinen also nicht als kleine Quelle und müssen nicht von vornherein schon durch Beleuchtungsstärkemessungen charakterisiert werden.

Als Messgerät wurde ein specbos 1211 UV der Fa. JETI GmbH [2] verwendet. Dieses Spektroradiometer kann sowohl für Strahldichtemessungen als auch für Bestrahlungsstärkemessungen im Wellenlängenbereich von 230 bis 1000 nm verwendet werden. Im Strahldichtemodus hat es einen Blickwinkel von $1,8^\circ$ (32 mrad). Mittels Strahlformungsoptiken, die an das Gerät geschraubt werden, lassen sich Messwinkel von 100 und 11 mrad erzeugen. Die Messung der hohen Strahldichten wird durch zusätzliche Neutraldichtefilter ermöglicht. Für die Bestrahlungsstärkemessung muss ein Diffusor aufgeschraubt werden, dieser hat eine wirksame Fläche von 8 mm Durchmesser. Das Gerät ist mit jedem Zubehör NIST-rückführbar kalibriert und die passende Kalibrierung wird bei Verwendung des Zubehörs automatisch aktiviert.



Abb. 8 – Messgerät specbos 1211UV mit den Messvorsätzen für Bestrahlungsstärke (links) und Strahldichte 100 mrad (rechts) [2]

Die folgende Abbildung zeigt den Versuchsaufbau für die Strahldichtemessung. Da die zu messenden Lichtquellen teilweise inhomogen sind, ist die Gerätehalterung so

gestaltet, dass man das Gerät kippen und drehen kann, bis man die maximale Strahldichte misst.

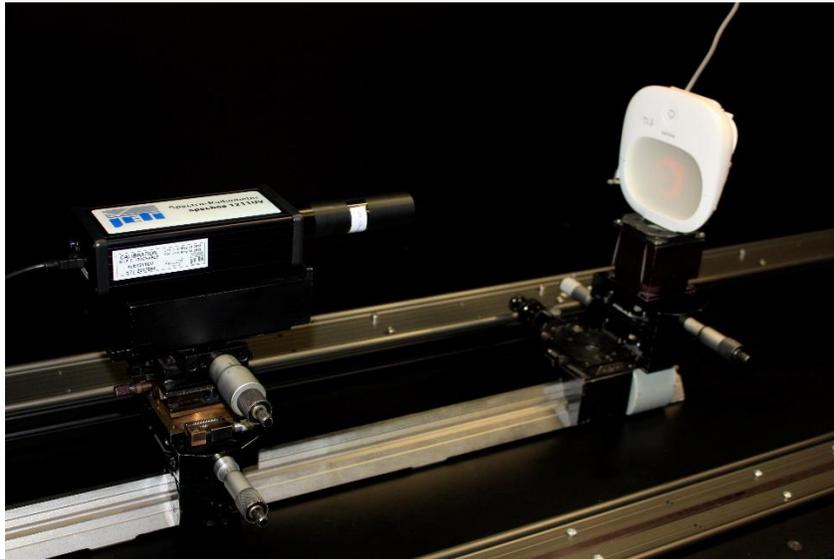


Abb. 9 – Versuchsaufbau Strahldichtemessung

Für die alternative Bestrahlungsstärkemessung tauscht man die Strahlformungsoptik mit dem Diffusor aus und bringt vor der Lichtquelle eine runde Apertur mit dem entsprechenden Durchmesser an. Es ergeben sich für die Messungen bei 200 mm Abstand die Durchmesser von 20 mm (100 mrad) bzw. 2,2 mm (11 mrad). Der Aperturdurchmesser bei 500 lx hängt von der Entfernung ab (siehe Tab.1).

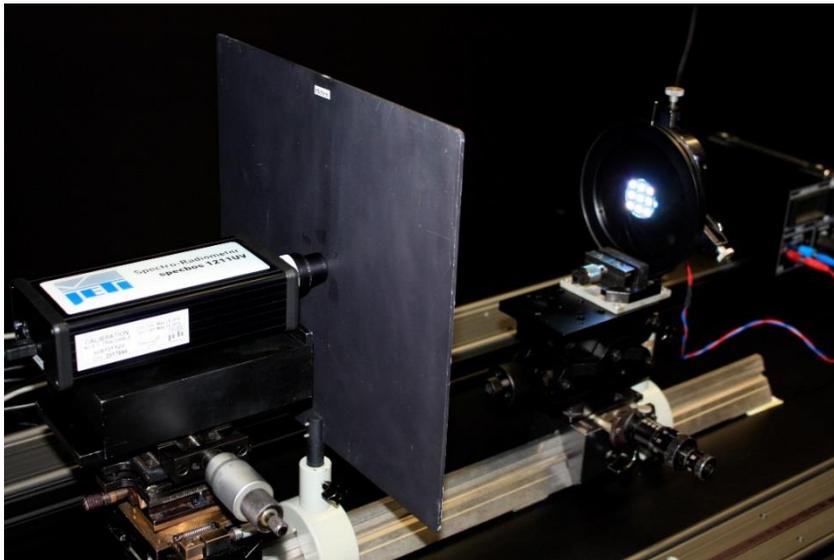


Abb. 10 – Versuchsaufbau Bestrahlungsstärkemessung

Die Berechnung der blaulichtgewichteten Strahldichte und der maximalen Expositionszeit sowie die Klassifizierung in die entsprechende Risikogruppe erfolgt mit der Gerätesoftware JETI LiVal.

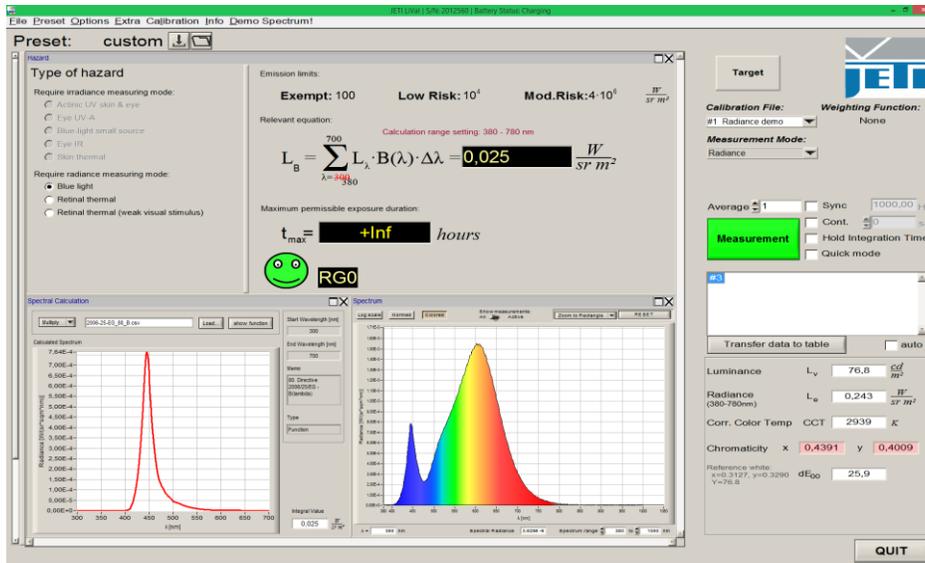


Abb. 11 – Screen shot der Auswertesoftware

3. Versuchsergebnisse

Es wurden für jede Lichtquelle die folgenden Spektralmessungen jeweils in der 500 lx-Entfernung und in einer Entfernung von 200 mm durchgeführt, unabhängig davon, ob die freie Gruppe überschritten wurde oder nicht:

- Bestrahlungsstärke
- Bestrahlungsstärke mit einer Apertur für 100 und für 11 mrad
- Strahldichte mit den Messwinkeln von 100 und 11 mrad

Die folgenden Diagramme zeigen ausgewählte Spektren dieser Messungen.

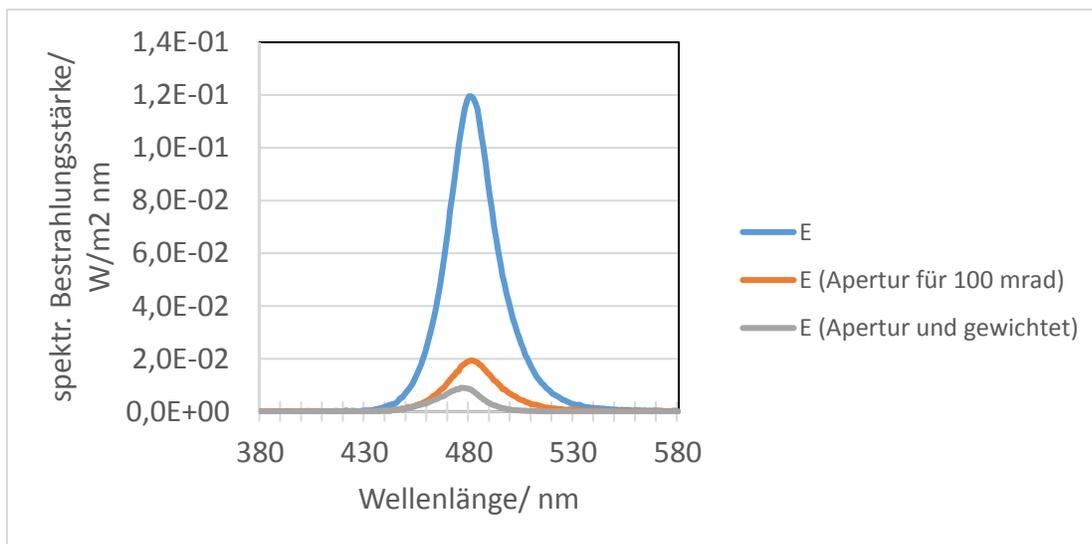


Abb. 12 – Bestrahlungsstärkespektren der Gesundheitslampe in der 500 lx Entfernung

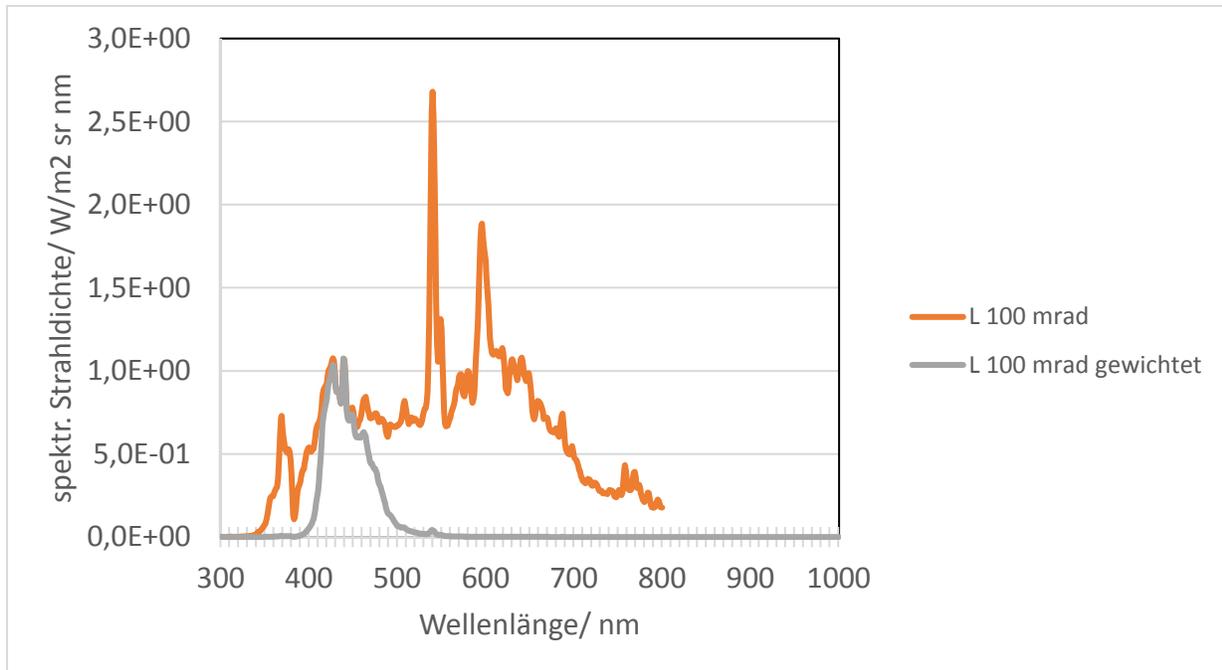


Abb. 13 – 100 mrad-Strahllichtespektren der Entladungslampe für die 500 lx-Entfernung

Die Versuchsergebnisse wurden in den folgenden beiden Tabellen zusammengestellt:

Messobjekt	Messwinkel	L_B [W/m ² sr] direkt gemessen	E_B [W/m ²]	daraus L_B [W/m ² sr]	Abweichung Eb-Messung zu Lb-Messung [%]	Risikogruppe
Gesundheitsleuchte (Philips)	100 mrad	25,8	0,201	25,59	- 0,8	Freie Gr.
	11 mrad	25,4	0,0025	26,31	+ 3,6	-
Dot Matrix RGBW 8x8	100 mrad	16,69	0,131	16,71	+ 0,1	Freie Gr.
	11 mrad	93,46	0,0102	108,12	+ 15,7	-
Multichip-LED 7-fach	100 mrad	26,50	0,192	24,56	- 7,3	Freie Gr.
	11 mrad	295,2	0,029	293,0	- 0,7	-
Entladungslampe (Philips)	100 mrad	54,84	0,346	44,08	- 19,2	Freie Gr.
	11 mrad	1978	0,210	2205	+ 11,5	-

Tab. 2 – Messergebnisse für die 500 lx-Entfernung

Messobjekt	Messwinkel	L_B [W/m ² sr] direkt gemessen	E_B [W/m ²]	daraus L_B [W/m ² sr]	Abweichung Eb-Messung zu Lb- Messung [%]	Risikogruppe
Gesundheitsleuchte (Philips)	100 mrad	26,99	0,206	26,18	- 3,0	Freie Gr.
	11 mrad	25,43	0,0026	27,36	+ 7,6	-
Dot Matrix RGBW 8x8	100 mrad	23,15	0,168	21,35	- 7,8	Freie Gr.
	11 mrad	248,45	0,022	231,5	- 6,8	-
Multichip-LED 7- fach	100 mrad	129,8	0,94	119,7	- 7,8	Nicht fr. Gr.
	11 mrad	1285	0,136	1431	+ 11,3	RG 1
Entladungslampe (Philips)	100 mrad	854,1	8,55	1088	+ 27,4	Nicht fr. Gr.
	11 mrad	63010	5,21	54819	- 13,0	Nicht RG 1

Tab. 3 – Messergebnisse bei 200 mm Entfernung

4. Fazit

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich mit der alternativen Strahldichtemessung über die Bestrahlungsstärke Messergebnisse erzielen lassen, die beim Messwinkel von 100 mrad bis maximal 15 % vom Ergebnis der direkten Strahldichtemessung abweichen. Eine Ausnahme war die Entladungslampe wegen ihrer kleinen Abmessungen und großen Helligkeit.

Es ergaben sich in keinem Fall Unterschiede bezüglich der Klassifizierung in die Risikogruppe. Bei der Entladungslampe konnte beim Abstand von 200 mm aufgrund einer fehlenden 1,7 mrad-Strahldichteoptik keine endgültige Zuordnung zur Risikogruppe getroffen werden.

Je kleiner die Winkelausdehnung und die Homogenität der Quelle und der Messwinkel werden, desto grösser werden die Anforderungen an die Justagegenauigkeit. Die direkte Messmethode über die Strahldichte ist dabei deutlich weniger aufwendig und fehlerbehaftet.

Bei Verwendung der alternativen Methode wird empfohlen, weitere Messungen mit einem anderen Messgerät durchzuführen, wenn die Messergebnisse an der Grenze einer Risikoklasse liegen. Damit lassen sich Fehlklassifizierungen vermeiden.

Literatur

- [1] DIN EN 62471
- [2] http://www.jeti.com/cms/images/jeti_com/down/data_sheets/instruments/scb1211uv.pdf