

3. Energie-Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Straßenbeleuchtung

- Planung + Berechnung von SB-Anlagen mit LED-Technik
- Methoden zur lichttechnischen und energetischen Bewertung
- DIN EN 13201-5 „Energie-Effizienz-Indikatoren“ (2015)

Christoph Heyen

freiberufl. Ingenieur für Lichttechnik

Mitarbeiter im DIN FNL 11

Gütemerkmale der Straßenbeleuchtung (1)

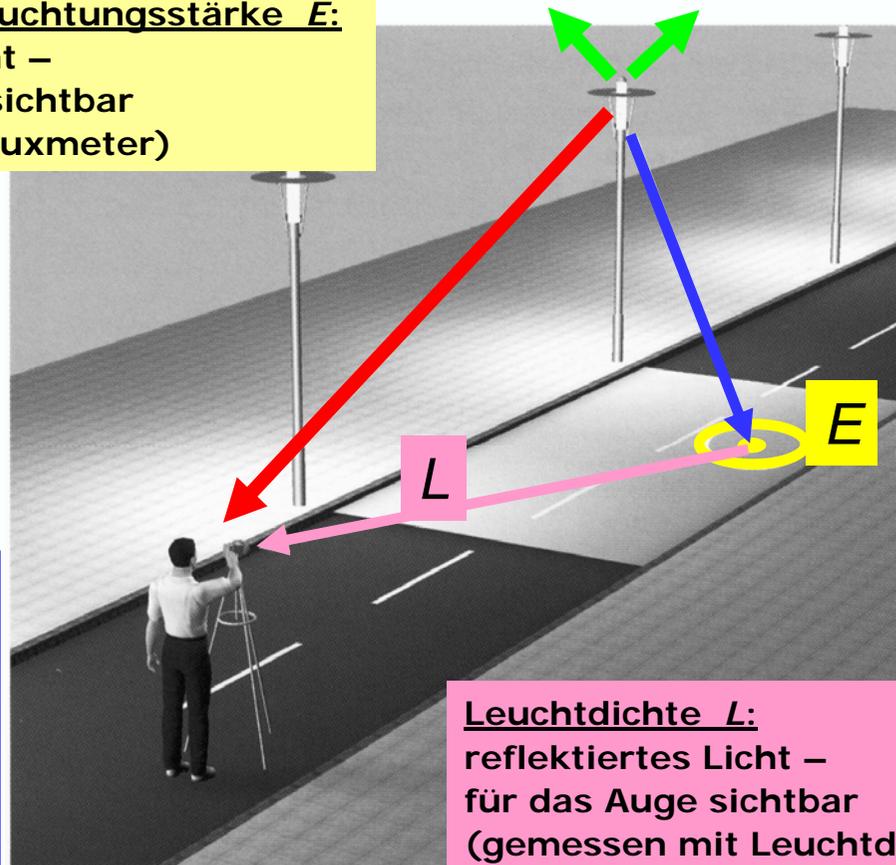
Horizontale Beleuchtungsstärke E :
einfallendes Licht –
für das Auge unsichtbar
(gemessen mit Luxmeter)

Blendung
aber auch
Gesichtserkennung

$$\begin{aligned} L &= E \times q_m \\ &= 15 \text{ lx} \times 0,07 \\ &= 1 \text{ cd/m}^2 \end{aligned}$$

$$1 \text{ cd/m}^2 \sim 15 \text{ lx}$$

Lichtimmissionen,
Himmelsaufhellung



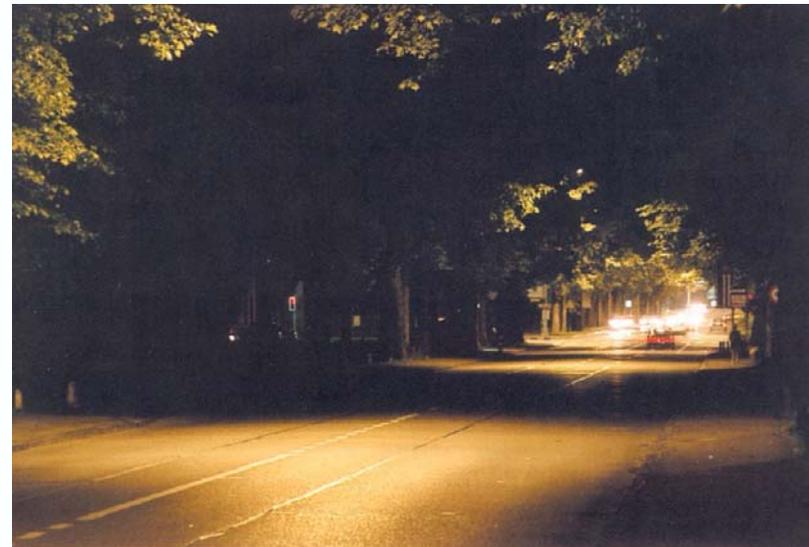
Leuchtdichte L :
reflektiertes Licht –
für das Auge sichtbar
(gemessen mit Leuchtdichtemesser)

Gütemerkmale der Straßenbeleuchtung (2)



**Straßenbeleuchtungsanlage mit guter
Längs- und Gesamtgleichmäßigkeit**

**Straßenbeleuchtungsanlage mit aus-
geprägten Tarnzonen durch Ausfall
bzw. Abschaltung von Leuchten**



Gütemerkmale der Straßenbeleuchtung (3)

Leuchtdichte-Methode (1)

mittlere Leuchtdichte

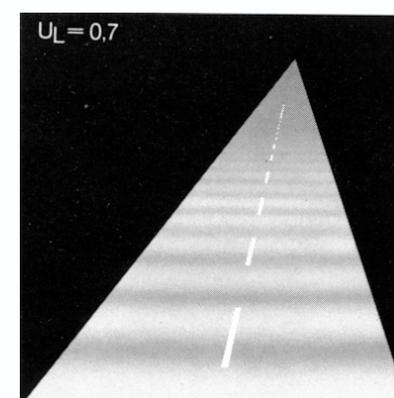
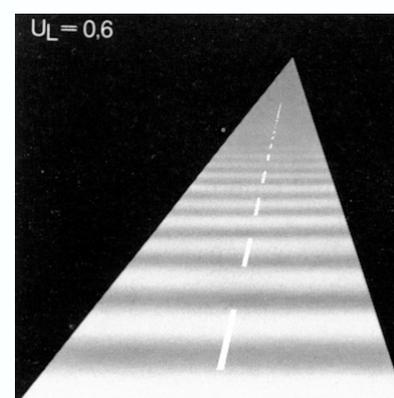
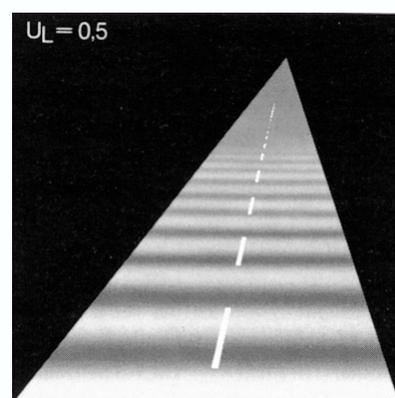
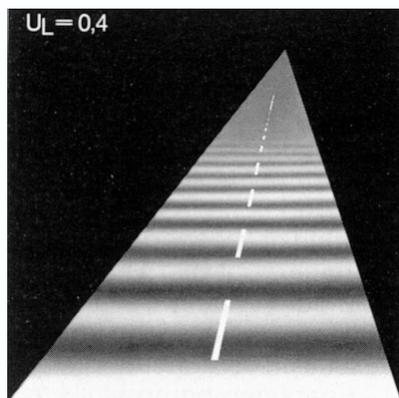
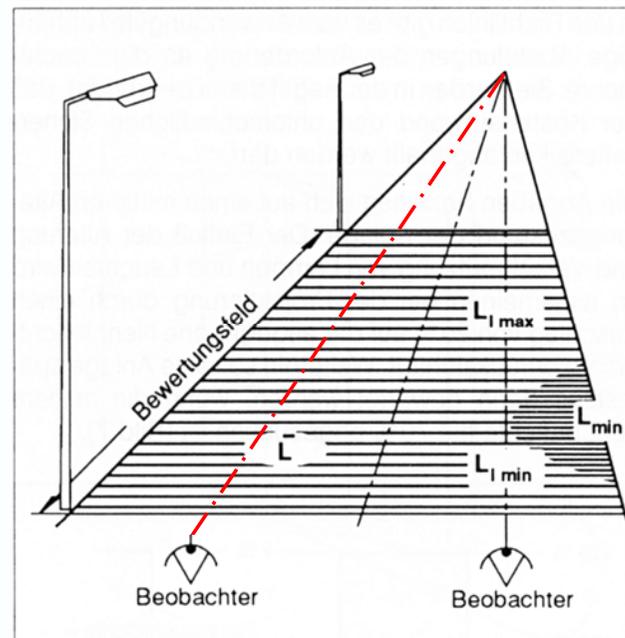
$$L_m = \sum_{P1 \dots Pn} L_P / n$$

Gesamtgleichmäßigkeit

$$U_o = L_{\min} / L_m$$

Längsgleichmäßigkeit

$$U_l = L_{l\min} / L_{l\max}$$



Gütemerkmale der Straßenbeleuchtung (4)

Leuchtdichte-Methode (2)

B1 >>>	5,5 m	0,69	0,64	0,62	0,65	0,74	0,87	1,00	0,99	0,88	0,78
	4,5 m	0,72	0,67	0,66	0,64	0,70	0,78	0,92	0,96	0,88	0,76
	3,5 m	0,61	0,56	0,54	0,50	0,52	0,58	0,72	0,76	0,74	0,64
	2,5 m	0,48	0,46	0,42	0,38	0,37	0,42	0,53	0,58	0,58	0,52
	1,5 m	0,37	0,36	0,33	0,28	0,28	0,32	0,39	0,44	0,45	0,41
	0,5 m	0,29	0,28	0,26	0,23	0,22	0,25	0,30	0,33	0,33	0,30
Y / X	1,5 m	4,5 m	7,5 m	10,5 m	13,5 m	16,5 m	19,5 m	22,5 m	25,5 m	28,5 m	
B2 >>>	5,5 m	0,72	0,66	0,64	0,65	0,73	0,84	0,99	0,90	0,88	0,78
	4,5 m	0,64	0,58	0,55	0,53	0,57	0,66	0,81	0,88	0,82	0,70
	3,5 m	0,54	0,49	0,45	0,41	0,42	0,48	0,63	0,69	0,69	0,60
	2,5 m	0,44	0,42	0,37	0,32	0,31	0,36	0,47	0,54	0,55	0,50
	1,5 m	0,36	0,34	0,31	0,26	0,25	0,29	0,37	0,42	0,43	0,39
	0,5 m	0,28	0,27	0,25	0,21	0,21	0,24	0,28	0,32	0,32	0,30
Y / X	1,5 m	4,5 m	7,5 m	10,5 m	13,5 m	16,5 m	19,5 m	22,5 m	25,5 m	28,5 m	

$$L_m = \frac{L_{P1} + L_{P2} + L_{P3} + \dots + L_{pn}}{n}$$

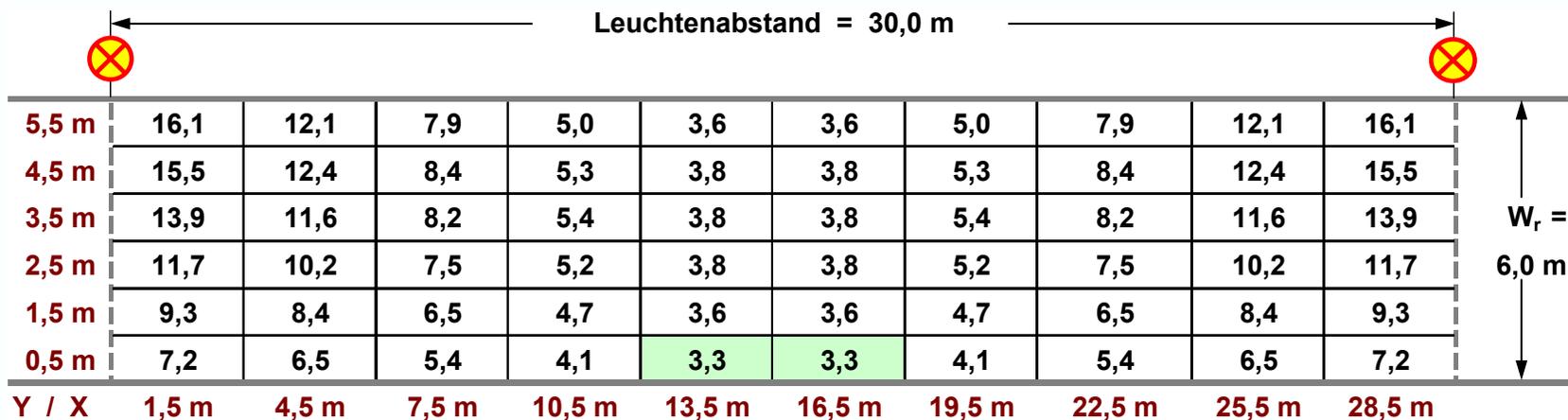
Gesamt-Gleichmäßigkeit: $U_o = L_{\min} / L_m$

Längs-Gleichmäßigkeit: $U_l = L_{l \min} / L_{l \max}$

	B 1	B 2
L_m [cd/m ²]	0,55	0,51
U_o	0,40	0,42
U_l	0,62	0,60
TI [%]	10,5	14,9

Gütemerkmale der Straßenbeleuchtung (5)

Beleuchtungsstärke-Methode CE-Klassen



$$E_m = \frac{E_{P1} + E_{P2} + E_{P3} + \dots + E_{pn}}{n}$$

$$E_m = 7,68 \text{ lx}$$

Gesamt-Gleichmäßigkeit: $U_o = E_{\min} / E_m$

$$U_o = 3,3 \text{ lx} / 7,68 \text{ lx} = 0,43$$

$$E_{\min} : E_{\max} = 3,3 \text{ lx} : 16,1 \text{ lx} = 1 : 4,9$$

Gütemerkmale der Straßenbeleuchtung (6)

Beleuchtungsstärke-Methode S-Klassen

Beleuchtungsklasse S5

$$E_m = 3 \text{ lx} \qquad E_{\min} = 0,61 \text{ lx}$$

$$E_{m \max} = 3 * 1,5 = 4,5 \text{ lx}$$

		1,48	4,43	7,38	10,33	13,28	16,23	19,18	22,13	25,08	28,03
5,04	17,2	7,5	2,7	1,2	0,7	0,8	1,2	2,7	7,6	17,4	
4,13	14,9	6,9	2,6	1,2	0,7	0,7	1,2	2,6	6,9	15,2	
3,21	12,0	5,9	2,4	1,1	0,7	0,7	1,1	2,4	5,9	12,2	
2,29	9,2	4,9	2,1	1,0	0,7	0,7	1,0	2,1	4,9	9,3	
1,38	6,8	3,9	1,8	1,0	0,6	0,7	1,0	1,8	3,9	6,8	
0,46	5,0	3,1	1,6	0,9	0,6	0,6	0,9	1,6	3,1	4,9	

$$E_m = \frac{E_{P1} + E_{P2} + E_{P3} + \dots + E_{pn}}{n}$$

$$E_m = 4,05 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = 0,61 \text{ lx}$$

$$U_o = 0,61 / 4,05 = 0,15$$

$$E_{\min} : E_{\max} = 0,61 \text{ lx} : 17,4 \text{ lx} = 1 : 28,5$$

Berechnung der Bewertungs-Parameter (1)

1. Bewertungsgröße: **„Lichttechnische Berechnungen“**

A) Projekt: SB-Neubau- bzw. Erweiterung
Berechnungsmodus **„Abstands-Optimierung“**

Ermittelt wird die Leuchtenanzahl je 1.000 m Straßenlänge

B) Projekt: SB-Erneuerung „an Ort + Stelle“

Ermittelt wird die effizienteste Leuchte

C) Projekt: Leuchten-Auswahl bzw. -Vergleich
Berechnungsmodus **„Abstands-Optimierung“**

Ermittelt wird die Leuchtenanzahl je 1.000 m Straßenlänge

Berechnung der Bewertungs-Parameter (2)

Leuchtenabstandsrechnung
✕

1 Fahrbahn
 2 Fahrbahnen

Breite der Fahrbahn

Anzahl Fahrstreifen

Breite eines Fahrstreifens

Lichttechnische Berechnung

„Abstands-Optimierung“

Leuchtentyp

Lichtpunkthöhe h

Lichtpunktüberhang s

Leuchtenneigung α

Leuchtenreihe 1

Leuchtenreihe 2

8.00 m

8.00 m

-0.50 m

-0.50 m

15.0°

15.0°

Vorgaben

Beleuchtungsklasse

Wartungswert der Leuchtdichte

Min. Gesamtgleichm.

Min. Längsgleichm.

Umgebungsbeleuchtungsstärkeverhältnis

Wartungsfaktor

Standard-Fahrbahnoberfläche q₀

Direktberechnung

Ergebn (59.0m)

0.75 cd/m²

0.54

0.56

0.49

Maximaler Leuchtenabstand

Gewünschter Leuchtenabstand

Direktberechnung

Berechnung der Bewertungs-Parameter (3)

Rad-/Fußweg

Straßenparalleler Fuß-/Radweg Fassaden längs des Bewertungsfeldes

Berechnung Fuß-/Radweg

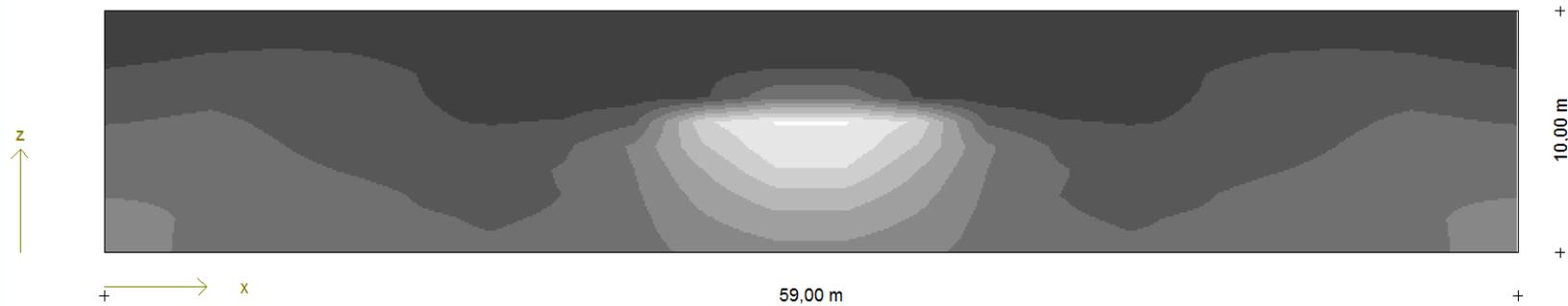
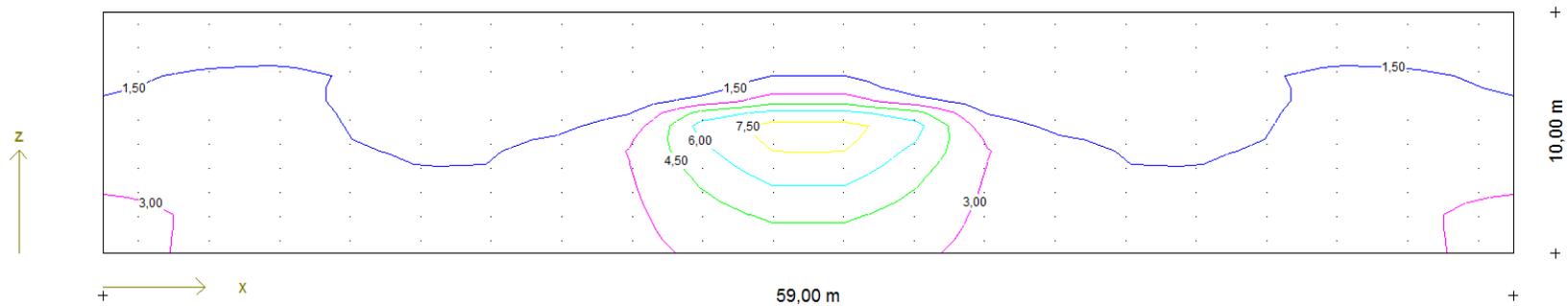
Fahrbahnseite 1
Abstand zur Fahrbahn: 0.00 m
Breite: 3.00 m
Anzahl Berechnungspunkte quer: 3

Fahrbahnseite 2
Abstand zur Fahrbahn: 0.00 m
Breite: 3.00 m
Anzahl Berechnungspunkte quer: 3

> : Richtung der C0-E...

Berechnung der Bewertungs-Parameter (4)

Berechnung der Lichtimmissionen auf Fassaden



Berechnung der Bewertungs-Parameter (5)

Lichttechnische Vorgaben:

Beleuchtungsklasse ME4b

$L_m = 0,75 \text{ cd/m}^2$ | $U_o = 0,40$ | $U_l = 0,40$ | $TI = 15 \%$ | $SR = 0,5$

Berechnungsergebnisse
✕

Beobachter	Lm(cd/m ²)	U _o	U _l	TI(%)
1 (x=-60,00 m, y=1,63)	0,75	0,56	0,56	10,7
2 (x=-60,00 m, y=4,88)	0,75	0,54	0,56	10,9

Mittlere Beleuchtungsstärke Fahrbahn (lx) 10,8

Gleichmäßigkeit U_o 0,52

Umgebungsbeleuchtungsstärkeverhältnis SR 0,49

		Fahrbahnseite 1	Fahrbahnseite 2
Rad-/Fußweg:	Mittlere Beleuchtungsstärke E _m / lx	5,44	5,44
	Minimale Beleuchtungsstärke E _{min} / lx	2,55	2,55
Fassade:	E _{max} / lx	4,31	8,05

Berechnung der Bewertungs-Parameter (6)

2. Bewertungsgröße: "Energetische Kennzahlen"

Elektrischer Anschlusswert je 1.000 m Straßenlänge

Leuchten-Anzahl x Leuchten-Anschlusswert [kW / km]

Jahres-Energieverbrauch je 1.000 m Straßenlänge

Jahresbetriebsstunden x Anschlusswert je km [kWh / km]

The screenshot shows a software window titled "Berechnungsergebnisse" with a table of results and a summary box. The table has five columns: Beobachter, Lm(cd/m²), Uo, UI, and TI(%). The summary box, titled "Energetische Kennzahlen", contains two entries: "elektr. Anschlusswert / Fahrbahnlänge" with a value of 2.814 kW/km, and "jähr. Energiebedarf / Fahrbahnlänge" with a value of 11254,2 kWh/km/a.

Beobachter	Lm(cd/m²)	Uo	UI	TI(%)
1 (x=-60,00 m, y=1,63)	0,75	0,56	0,56	10,7
2 (x=-60,00 m, y=4,88)	0,75	0,54	0,56	10,9

Energetische Kennzahlen

elektr. Anschlusswert / Fahrbahnlänge	2.814 kW/km	jähr. Energiebedarf / Fahrbahnlänge	11254,2 kWh/km/a
---------------------------------------	-------------	-------------------------------------	------------------

Bewertungs-Methoden

Lampen-Lichtausbeute lm/W

System-Lichtausbeute lm/W

Leuchten-Betriebswirkungsgrad

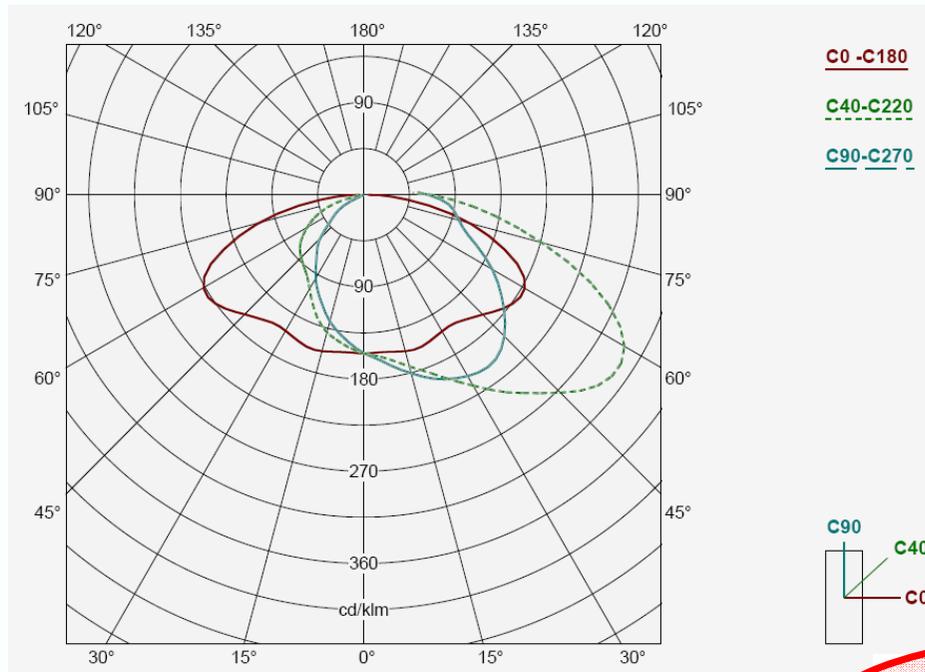
Beleuchtungs-Wirkungsgrad

Welche Methode liefert die beste Aussage ?

Leuchten-Betriebswirkungsgrad (1)

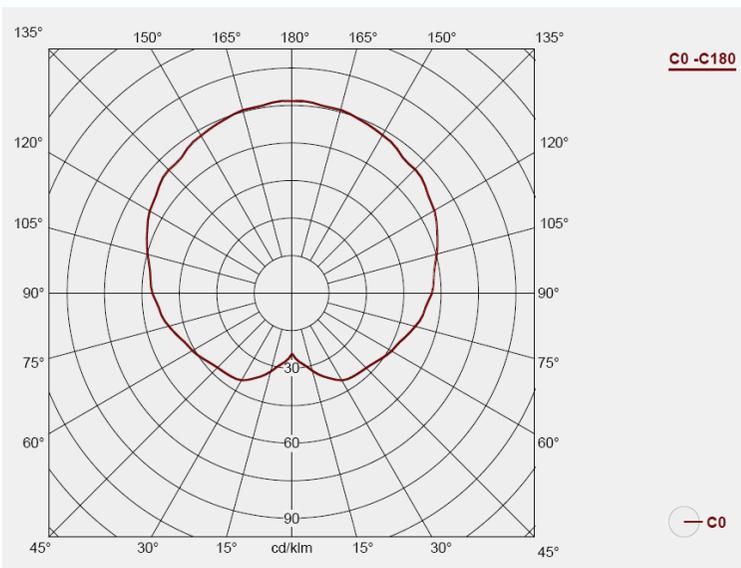
Definition: **Leuchten-Betriebswirkungsgrad**
ist Verhältnis des von der Leuchte abgegebenen Lichtstroms
zum Lichtstrom der in der Leuchte eingesetzten Lampe.

$$\eta_{\text{Leuchte}} = \phi_{\text{Leuchte}} / \phi_{\text{Lampe}}$$



Betriebswirkungsgrad: 0,78
Unterer halbräumlicher Lichtstromanteil: 100 %

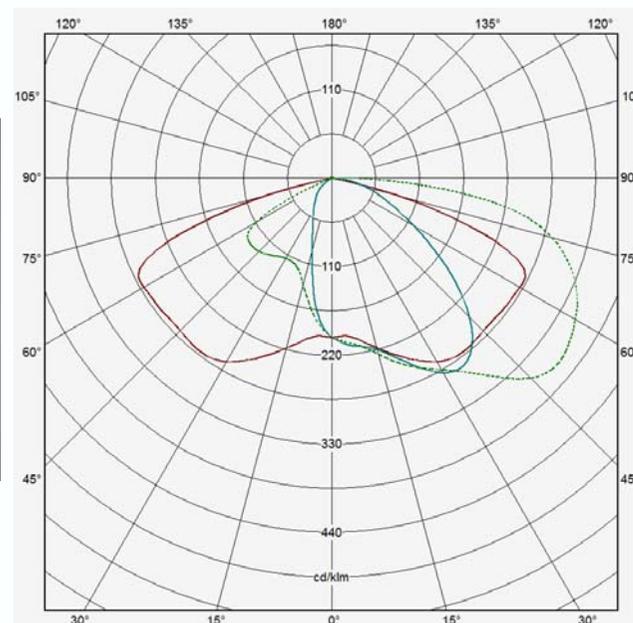
Leuchten-Betriebswirkungsgrad (2)



Betriebswirkungsgrad: 0,70
 Unterer halbräumlicher Lichtstromanteil: 41 %



Betriebswirkungsgrad: 1,00
 Unterer halbräumlicher Lichtstromanteil: 99 %



VERORDNUNG (EG) Nr. 245/2009

vom 18. März 2009

ANHANG II

2. TECHNISCHE PARAMETER FÜR UNVERBINDLICHE REFERENZWERTE

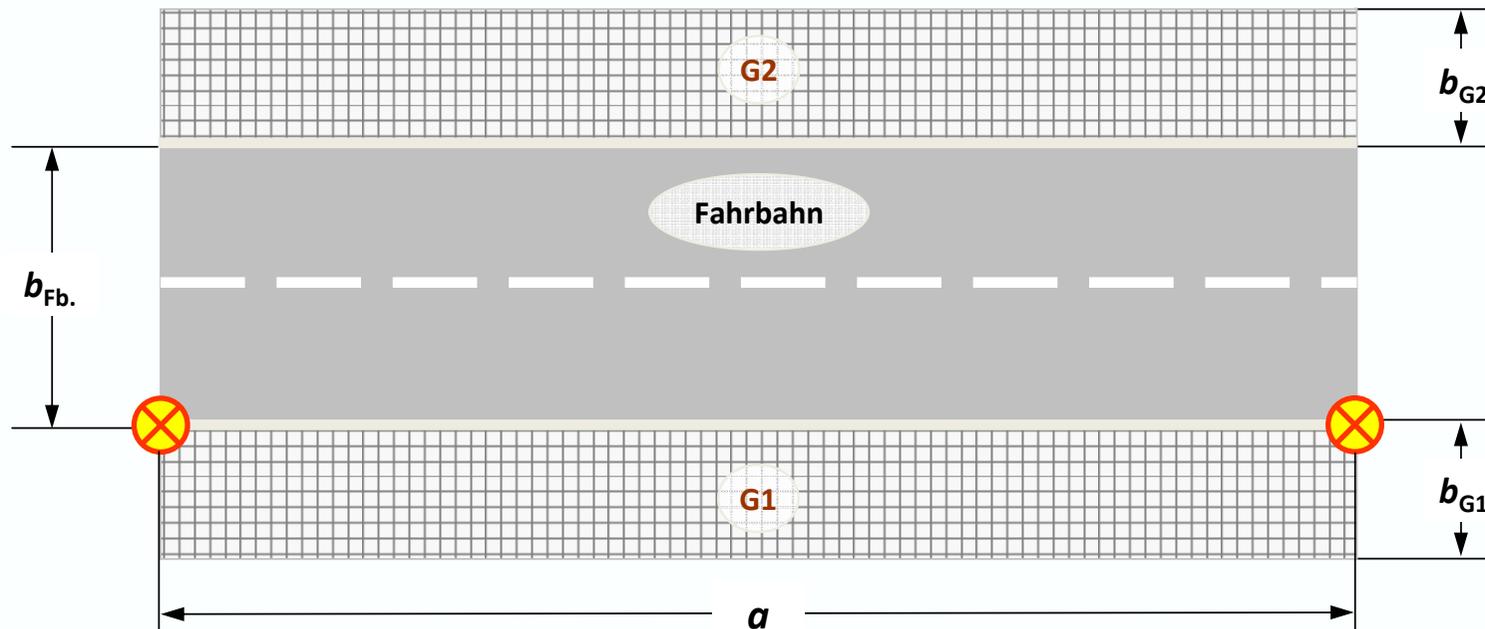
c) „Beleuchtungswirkungsgrad“ (Utilization Factor, UF)

einer Anlage für eine Bezugsfläche,

das heißt das Verhältnis zwischen dem Lichtstrom, der auf die Bezugsfläche trifft, und der Summe der Gesamtlichtströme aller Lampen der Anlage.

$$\begin{aligned} UF &= \Phi_{\text{Straße}} / \sum \Phi_{\text{Lampen}} \\ &= E_m \times A_{\text{Straße}} / \sum \Phi_{\text{Lampen}} \end{aligned}$$

Beleuchtungs-Wirkungsgrad (2)



$$\Sigma \Phi_{Lampen} = 0,5 * \Phi_{Leuchte 1} + 0,5 * \Phi_{Leuchte 2}$$

$$UF_{Fahrbahn} = E_{m Fb.} * a * b_{Fb.} / \Sigma \Phi_{Lampen}$$

$$UF_{Stra\beta e} = (E_{m Fb.} * b_{Fb.} + E_{m G1} * b_{G1} + E_{m G2} * b_{G2}) * a / \Sigma \Phi_{Lampen}$$

Beleuchtungs-Wirkungsgrad (3)

Beleuchtungsklasse ME5 $L_m = 0,50 \text{ cd/m}^2$ $U_0 = 0,53$ $U_1 = 0,71$ $TI = 12,5 \%$
 Beleuchtungsstärke-Berechnung HSE 70 W, 6.300 lm

Gehweg 2 2,0 m	1,67 m	9,9	6,7	4,2	3,1	2,5	2,5	3,1	4,2	6,7	9,9
	1,00 m	10,9	7,5	4,9	3,5	2,8	2,8	3,5	4,9	7,5	10,9
	0,33 m	11,6	8,4	5,5	3,9	3,1	3,1	3,9	5,5	8,4	11,6
Fahrbahn 6,5 m	5,96 m	12,4	9,5	6,4	4,6	3,5	3,5	4,6	6,4	9,5	12,4
	4,88 m	12,9	10,5	7,3	5,2	4,0	4,0	5,2	7,3	10,5	12,9
	3,79 m	12,6	10,8	7,8	5,6	4,3	4,3	5,6	7,8	10,8	12,6
	2,71 m	11,6	10,3	7,9	5,7	4,5	4,5	5,7	7,9	10,3	11,6
	1,63 m	10,0	9,2	7,4	5,6	4,4	4,4	5,6	7,4	9,2	10,0
	0,54 m	8,2	7,6	6,6	5,1	4,2	4,2	5,1	6,6	7,6	8,2
Y / X	1,5 m	4,5 m	7,5 m	10,5 m	13,5 m	16,5 m	19,5 m	22,5 m	25,5 m	28,5 m	
Gehweg 1 2,0 m	1,67 m	6,8	6,5	5,8	4,7	4,0	4,0	4,7	5,8	6,5	6,8
	1,00 m	5,8	5,6	5,1	4,3	3,8	3,8	4,3	5,1	5,6	5,8
	0,33 m	5,0	4,9	4,6	3,9	3,5	3,5	3,9	4,6	4,9	5,0

Gehweg 2 $E_m = 5,90 \text{ lx}$ $\Phi_{G2} = 5,90 \text{ lx} * 30,0 \text{ m} * 2,0 \text{ m} = 354 \text{ lm}$

Fahrbahn $E_m = 7,52 \text{ lx}$ $\Phi_{Fb} = 7,52 \text{ lx} * 30,0 \text{ m} * 6,5 \text{ m} = 1.467 \text{ lm}$

Gehweg 1 $E_m = 4,94 \text{ lx}$ $\Phi_{G1} = 4,94 \text{ lx} * 30,0 \text{ m} * 2,0 \text{ m} = 297 \text{ lm}$

$$UF_{\text{Fahrbahn}} = \frac{\Phi_{Fb.}}{\sum \Phi_{\text{Lampen}}} = \frac{1.467 \text{ lm}}{6.300 \text{ lm}} = 0,23$$

$$UF_{\text{Straße}} = \frac{(\Phi_{Fb.} + \Phi_{G1} + \Phi_{G2})}{\sum \Phi_{\text{Lampen}}} = \frac{(1.467 + 297 + 354) \text{ lm}}{6.300 \text{ lm}} = 0,34$$

Beleuchtungs-Wirkungsgrad (4)



Lampenbestückung	1 x HSE 70 W
ϕ =	6.300 lm
P =	83 W
Lampen-Lichtausbeute	90,0 lm/W
System-Lichtausbeute	75,9 lm/W

$$\begin{aligned} \text{Leuchten-Betriebswirkungsgrad} &= 0,78 \\ \phi_{\text{Leuchte}} &= 4.914 \text{ lm} \end{aligned}$$

59,2 lm/W

Beleuchtungs-Wirkungsgrad Fahrbahn

$$\begin{aligned} UF_{\text{Fahrbahn}} &= 0,23 \\ \phi_{\text{Fahrbahn}} &= 1.467 \text{ lm} \end{aligned}$$

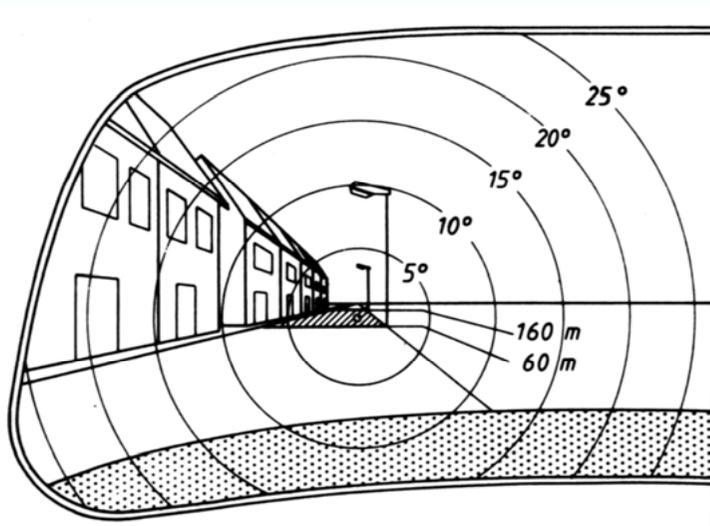
17,7 lm/W

Beleuchtungs-Wirkungsgrad Straße

$$\begin{aligned} UF_{\text{Straße}} &= 0,34 \\ \phi_{\text{Straße}} &= 2.118 \text{ lm} \end{aligned}$$

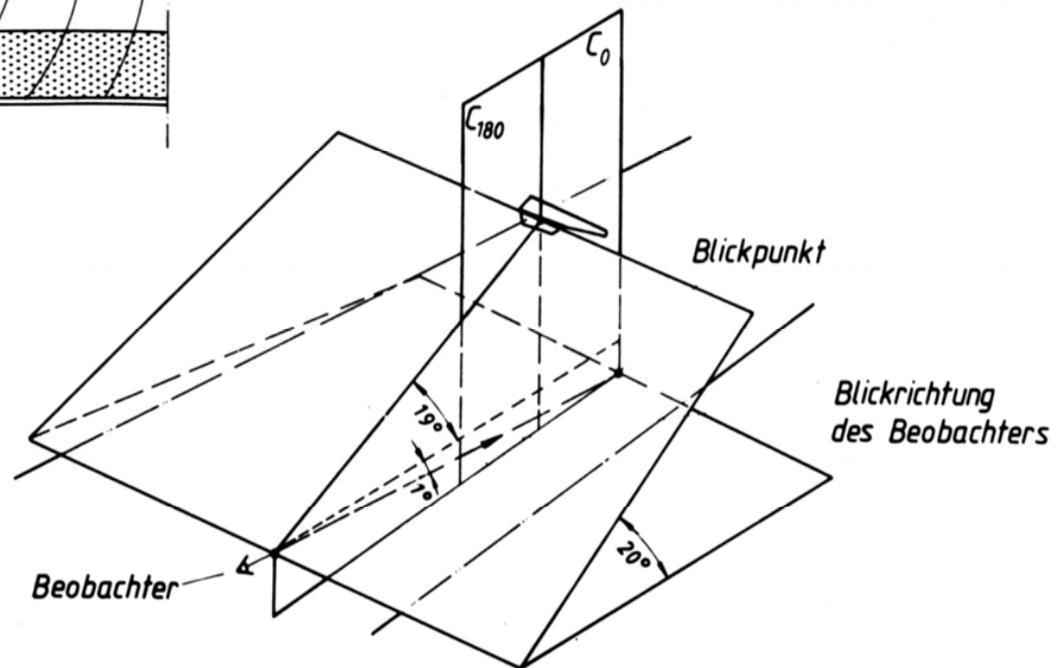
25,5 lm/W

Blendungs-Bewertung (1)



Gesichtsfeld eines Kraftfahrers
halber Öffnungswinkel = 20°

Geometrie für die vereinfachte Berechnung der Schleierleuchtdichte L_S



Blendungs-Bewertung (2)

DIN EN 13201-3

Ermittlung des TI-Werts

Schwellenwerterhöhung
(42)

$$TI = \frac{65}{L_m^{0,8}} \times L_v \quad (\%)$$

Schleierleuchtdichte
(43)

$$L_v = 10 \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\vartheta_k^2} = \frac{E_1}{\vartheta_1^2} + \frac{E_2}{\vartheta_2^2} + \dots + \frac{E_k}{\vartheta_k^2} + \dots + \frac{E_n}{\vartheta_n^2}$$

L_m anfängliche mittlere Leuchtdichte der Fahrbahn in cd/m^2

L_v äquivalente Schleierleuchtdichte in cd/m^2

E_k durch die k-te Leuchte im Neuzustand erzeugte Beleuchtungsstärke (in lx, basierend auf dem Neuwert des Lichtstroms in lm) in einer Ebene senkrecht zur Sichtlinie in der Augenhöhe des Beobachters

ϑ_k Winkel in Grad zwischen der Sichtlinie und der Verbindungslinie vom Beobachter zum Zentrum der k-ten Leuchte.

Gleichung (43) gilt für $L_m > 0,05$ und $< 5 \text{ cd/m}^2$
 $\vartheta_k > 1,5^\circ$ und $< 60^\circ$

Blendungs-Bewertung (3)

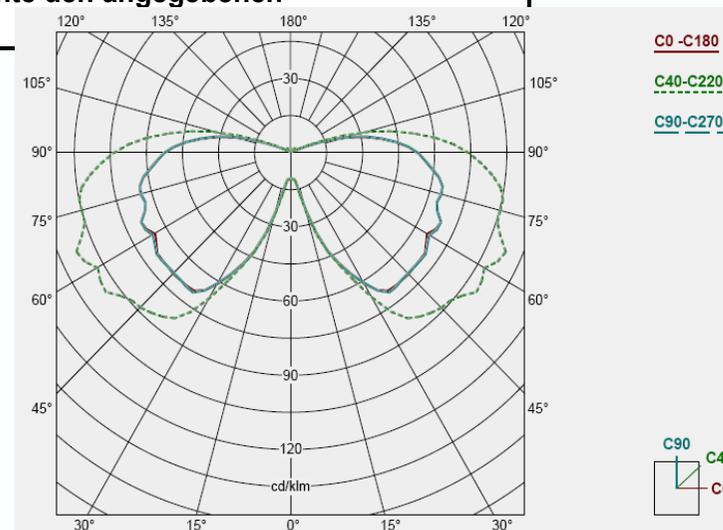
DIN EN 13201-3

Ermittlung der Lichtstärkeklasse

Klasse	Höchstwerte der Lichtstärke in cd / klm			Andere Anforderungen
	bis 70° ^a	bis 80° ^a	bis 90° ^a	
G 1		200	50	keine
G 2		150	30	keine
G 3		100	20	keine
G 4	500	100	10	Lichtstärke = 0 cd oberhalb 95°
G 5	350	100	10	Lichtstärke = 0 cd oberhalb 95°
G 6	350	100	0	Lichtstärke = 0 cd oberhalb 90°

^a Jede Richtung, die bei gebrauchsfähig installierter Leuchte den angegebenen Winkel mit der unteren Vertikalen bildet.

Tabelle A.1 - Lichtstärkeklassen zur Begrenzung der physiologischen Blendung



SB-Licht auf angrenzende Flächen

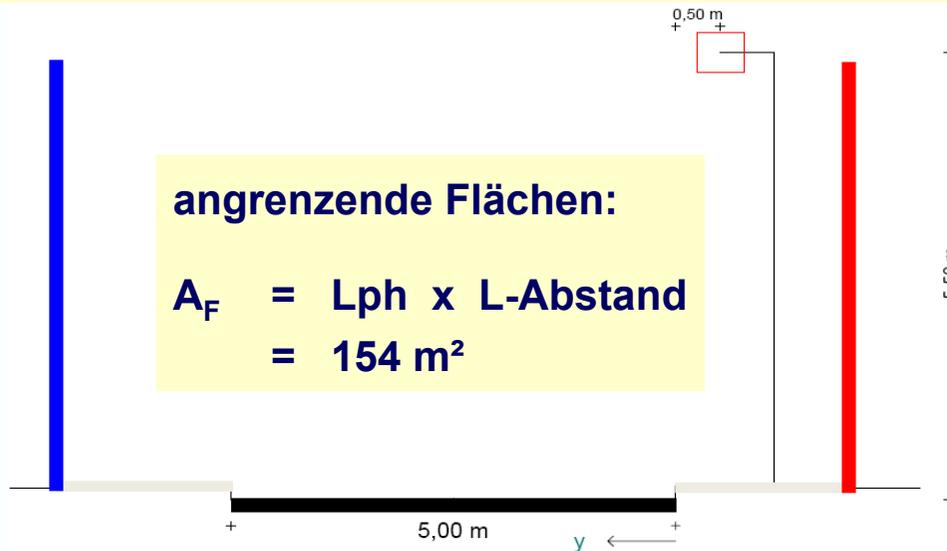


Foto: C. Heyen

SB-Licht auf angrenzende Flächen (3)



$\Phi_{\text{Lampe}} = 3.500 \text{ lm}$
 $\Phi_{\text{Leuchte}} = 2.555 \text{ lm}$



4,95	47,4	3,7	0,7	0,3	0,2	0,2	0,3	0,7	3,7	47,4
3,85	26,9	4,6	1,1	0,4	0,3	0,3	0,4	1,1	4,6	26,9
2,75	11,7	3,5	1,1	0,5	0,3	0,3	0,5	1,1	3,5	11,7
1,65	5,5	2,4	1,0	0,5	0,3	0,3	0,5	1,0	2,4	5,5
0,55	2,9	1,7	0,8	0,4	0,3	0,3	0,4	0,8	1,7	2,9
y / x	1,40	4,20	7,00	9,80	12,60	15,40	18,20	21,00	23,80	26,60

$E_{vmax} = 47,4 \text{ lx}$

$E_{vm} = 4,75 \text{ lx}$

$\Phi_{\text{Fläche}} = 732 \text{ lm}$

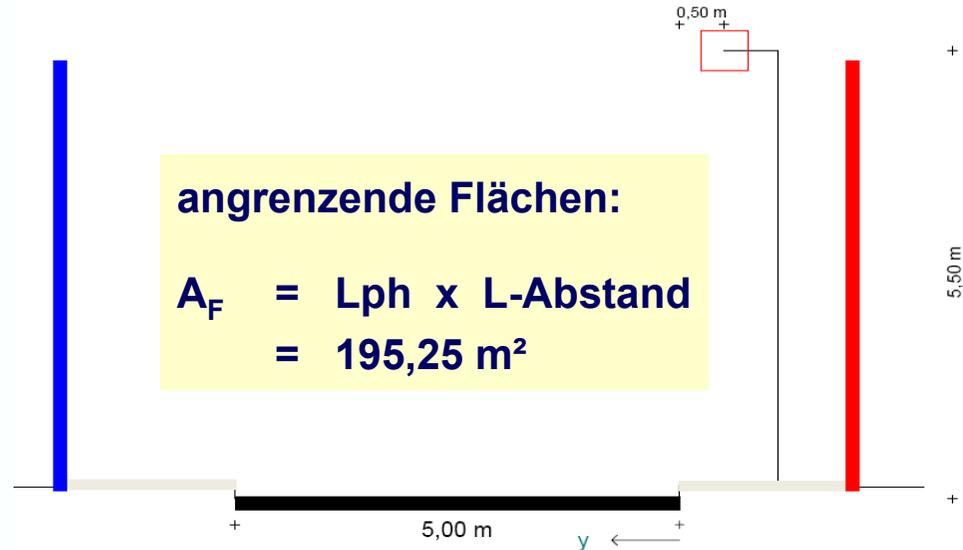
4,95	2,96	2,00	1,15	0,70	0,50	0,50	0,70	1,15	2,00	2,96
3,85	4,71	3,26	1,90	1,14	0,82	0,82	1,14	1,90	3,26	4,71
2,75	4,72	3,39	2,09	1,34	1,04	1,04	1,34	2,09	3,39	4,72
1,65	4,19	3,17	2,10	1,40	1,09	1,09	1,40	2,10	3,17	4,19
0,55	3,48	2,77	1,94	1,38	1,11	1,11	1,38	1,94	2,77	3,48
y / x	1,40	4,20	7,00	9,80	12,60	15,40	18,20	21,00	23,80	26,60

$E_{vmax} = 4,72 \text{ lx}$

$E_{vm} = 2,17 \text{ lx}$

$\Phi_{\text{Fläche}} = 334 \text{ lm}$

SB-Licht auf angrenzende Flächen (4)



$\Phi_{\text{Lampe}} = 3.000 \text{ lm}$
 $\Phi_{\text{Leuchte}} = 2.550 \text{ lm}$

4,95	18,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	18,1
3,85	30,2	6,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	6,3	30,2
2,75	14,7	6,5	1,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,9	6,5	14,7
1,65	7,1	4,4	2,1	0,7	0,2	0,1	0,1	0,2	0,7	2,1	4,4	7,1
0,55	3,7	2,9	1,5	0,9	0,4	0,2	0,2	0,4	0,9	1,5	2,9	3,7
y / x	1,48	4,44	7,40	10,35	13,31	16,27	19,23	22,19	25,15	28,10	31,06	34,02

E_{vmax}	=	30,2 lx
E_{vm}	=	3,43 lx
$\Phi_{\text{Fläche}}$	=	670 lm

4,95	0,34	0,23	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,06	0,23	0,34
3,85	1,25	0,84	0,21	0,11	0,06	0,04	0,04	0,06	0,11	0,21	0,84	1,25
2,75	3,31	3,55	1,11	0,33	0,15	0,13	0,13	0,15	0,33	1,11	3,55	3,31
1,65	3,87	5,56	3,31	1,06	0,43	0,28	0,28	0,43	1,06	3,31	5,56	3,87
0,55	2,67	5,59	3,94	2,06	0,83	0,50	0,50	0,83	2,06	3,94	5,59	2,67
y / x	1,48	4,44	7,40	10,35	13,31	16,27	19,23	22,19	25,15	28,10	31,06	34,02

E_{vmax}	=	5,59 lx
E_{vm}	=	1,40 lx
$\Phi_{\text{Fläche}}$	=	273 lm

Leistungs-Dichte-Indikator

$$D_P = \frac{P_{eff}}{\sum_{j=1}^n E_j \cdot A_j} \quad \text{W/(lx}\cdot\text{m}^2) \quad = \text{W / lm}$$

D_P	Leistungs-Dichte-Indikator	in W/(lx·m ²)
P_{eff}	Wirkleistung der gesamten SB-Anlage	in W
E_j	Mittlere Beleuchtungsstärke der Fläche j	in lx
A_j	Größe der Fläche j	in m ²

Jahres-Energieverbrauchs-Indikator

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m P_{ij} \cdot t_{ij}}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad \text{Wh/m}^2$$

D_E	Jahres-Energieverbrauchs-Indikator	in Wh/m ²
m	Anzahl der verschiedenen Beleuchtungsstufen	i
n	Anzahl der zu beleuchtenden Flächen j	
t_{ij}	Betriebsstunden der Beleuchtungsstufen i	der Fläche j
P_{ij}	Wirkleistung der Beleuchtungsstufen i	der Fläche j
A_j	Größe der Fläche j	in m ²

Die installierte Lichtausbeute (lm / W) ist definiert als :

$$\eta_{\text{ins}} = \Phi_{\text{min}} / P_{\text{total}}$$

Φ_{min} **Mindest-Lichtstrom** der erforderlich ist, um das **Mindest-Beleuchtungsniveau** auf der beleuchteten Fläche zu erreichen

P_{total} **Gesamt-Wirkleistung** der installierten **Beleuchtungsanlage**

Vielen Dank

für Ihr

Interesse !

E-Mail: Christoph.Heyen@t-online.de