

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 33 (1942)

Heft: 22

Artikel: Die photometrische Bewertung von Leuchten und die Berechnung von Strassenbeleuchtungsanlagen : nach den schweizerischen allgemeinen Leitsätzen für elektrische Beleuchtung und den schweizerischen Leitsätzen für die Beleuchtung von Fernverkehrsstrassen

Autor: Erb, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056701>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

REDAKTION:

Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telephon 5 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXIII. Jahrgang

N^o 22

Mittwoch, 4. November 1942

Die photometrische Bewertung von Leuchten und die Berechnung von Strassenbeleuchtungsanlagen

nach den schweizerischen allgemeinen Leitsätzen für elektrische Beleuchtung und den schweizerischen Leitsätzen für die Beleuchtung von Fernverkehrsstrassen

Von E. Erb, Zürich

628.971.6

Die für die Anwendung wichtigen photometrischen Daten von 5 typischen Leuchten für Strassenbeleuchtung werden anhand von Messresultaten und einfachster Theorie für den Praktiker festgestellt. Die Berechnung von Strassenbeleuchtungsanlagen unter Verwendung der 5 spezifizierten Leuchten wird an Beispielen durchgeführt, und zwar nach der Punkt-methode und nach der Wirkungsgradmethode.

Der Artikel, der für den ausübenden Praktiker gedacht ist und deshalb Rezeptform hat, soll die Anwendung der schweizerischen Leitsätze für elektrische Beleuchtung und derjenigen für die Beleuchtung von Fernverkehrsstrassen¹⁾ zeigen.

¹⁾ Siehe Seite 643; zu beziehen beim SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

L'auteur indique, à l'usage des praticiens, les données photométriques de 5 types d'appareils d'éclairage public d'après des résultats de mesures et sur la base d'une théorie simplifiée. Des exemples illustrent la méthode de calcul par points et celle du facteur d'utilisation pour des installations d'éclairage public utilisant les 5 types de luminaires.

Cet article destiné aux praticiens et indiquant dans ce but des formules pratiques, montre comment il faut appliquer les Recommandations suisses pour l'éclairage électrique et celles pour l'éclairage des routes à grand trafic¹⁾.

¹⁾ Voir page 643; en vente auprès de l'ASE, Seefeldstr. 301, Zurich 8.

A. Die Leuchten

Allgemein werden für die Strassenbeleuchtung nur direktstrahlende Leuchten verwendet. Die Leuchte hat die Aufgabe, den von der Lampe ausgestrahlten Lichtstrom mit geringsten Verlusten auf die Strassenoberfläche zu lenken, ohne Blendung zu verursachen. Diese Aufgabe lässt sich je nach Wahl des lichttechnischen Baustoffes auf verschiedene Arten lösen. Man verwendet weiss emailierte oder lackierte und durch anodische Oxydation des Aluminiums hergestellte Reflektoren, Spiegel, lichtstreuende und lichtbrechende Gläser. Es ist üblich, die Leuchten mit verstellbarer Fassung auszurüsten, um den Lichtpunkt von Lampen verschiedenster Leistung in die gewünschte Lage zu bringen.

Im folgenden werden 5 charakteristische, achsial-symmetrische Leuchten untersucht.

Beschreibung der Leuchten

Leuchte 1: Die in Fig. 1 dargestellte Leuchte ist ein Tiefstrahler. Der Reflektor aus Eisenblech ist innen weiss und aussen grau feuervermailliert. Kamin und Kappe sind aus Kupferblech hergestellt. Die Fassung E 40 ist verstellbar. Die Messung erfolgte mit einer Glühlampe Typ S, 225 V, 800 Dlm, 540 W, mit Klarglaskolben.

Leuchte 2: Der Breitstrahler Fig. 2 besitzt einen Reflektor aus Eisenblech, innen weiss und aussen grau feuervermailliert. Kamin und Kappe sind ein

Stück und aus einer korrosionsfreien Aluminium-legierung gegossen. Die Fassung E 40 ist verstellbar. Zur Messung wurde eine Glühlampe Typ S, 225 V, 800 Dlm, 540 W, mit Klarglaskolben eingesetzt.

Leuchte 3: Fig. 3 zeigt einen Breitstrahler. Der Reflektor aus Aluminium ist anodisch oxydiert (alzakiert) und leicht mattiert. Das Kamin ist ein Aluminiumguss und die Kappe aus Kupferblech. Die Fassung kann verstellt werden. Die Messung erfolgte mit einer Glühlampe Typ S, 225 V, 500 Dlm, 365 W, mit Klarglaskolben in der Stellung für eine sehr breite Ausstrahlung.

Leuchte 4: Der Breitstrahler Fig. 4 hat ein zylindrisches, unten offenes Opaleszent-Schutzglas. Aussen- und Innenreflektor aus Eisenblech sind flach und auf der Lichtseite weiss und auf der Gegenseite grau feuervermailliert. Kamin und Kappe sind aus einer korrosionsfreien Aluminiumlegierung gegossen. Die Fassung E 40 ist verstellbar und enthielt zur Messung eine Glühlampe Typ S, 225 V, 800 Dlm, 540 W, mit Klarglaskolben.

Leuchte 5: Dieser Breitstrahler für Quecksilberdampf-lampen ist in Fig. 5 dargestellt. Das zylindrische, unten offene Opaleszent-Schutzglas hängt im Aussenreflektor. Die beiden flachen, auf der Lichtseite weiss feuervermaillierten Reflektoren sind aus Eisenblech. Kamin und Kappe aus Kupferblech ermöglichen den Einbau der von der Lampe zur Strombegrenzung benötigten Drosselspule. Die

Leuchte 1

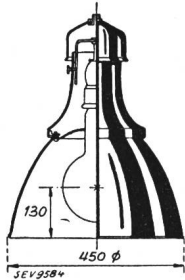


Fig. 1.

Leuchte 2

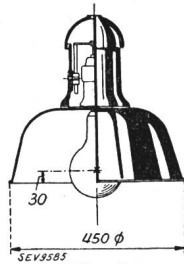


Fig. 2.

Leuchte 3

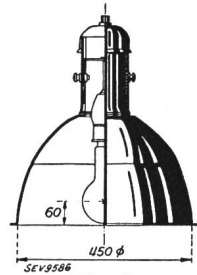


Fig. 3.

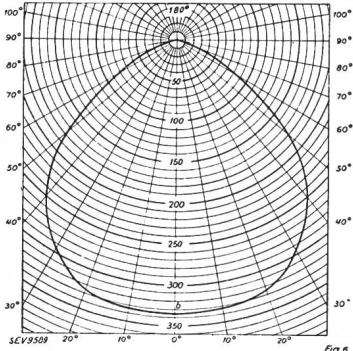


Fig. 6.

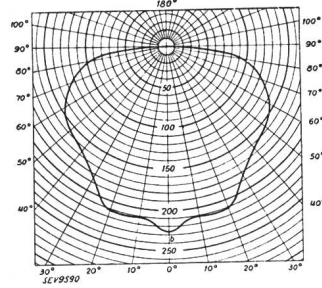


Fig. 7.

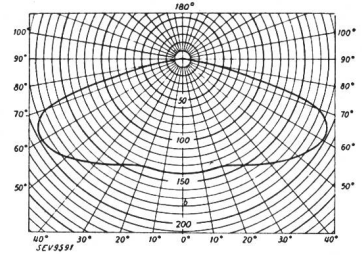


Fig. 8.

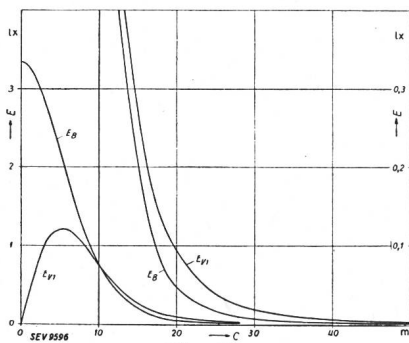


Fig. 13.

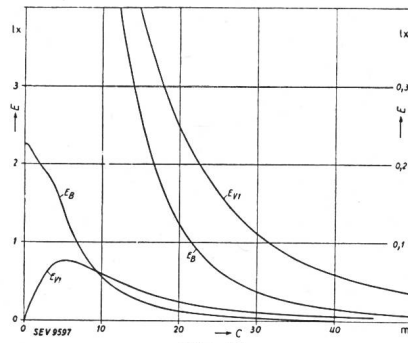


Fig. 14.

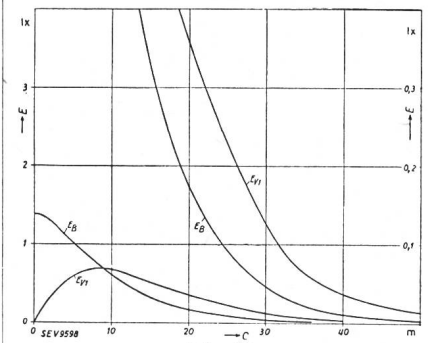


Fig. 15.

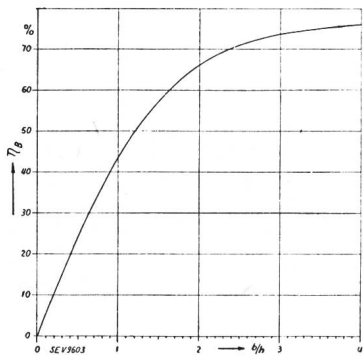


Fig. 20.

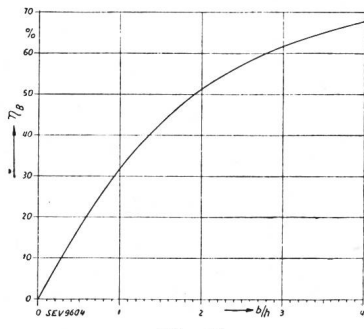


Fig. 21.

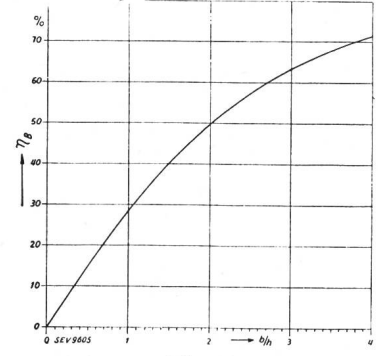


Fig. 22.

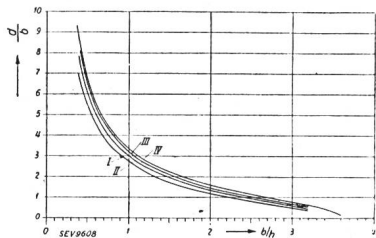


Fig. 25.

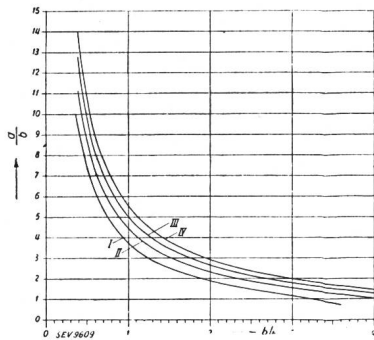


Fig. 26.

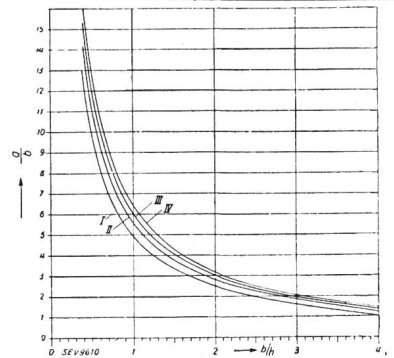
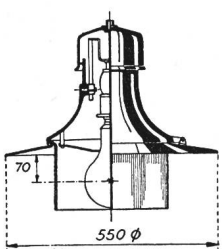
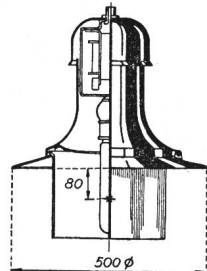
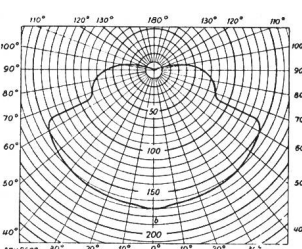
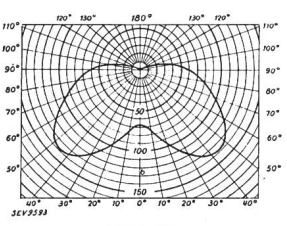
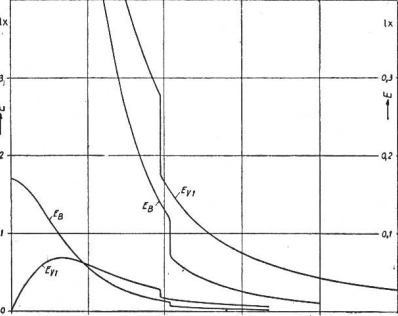
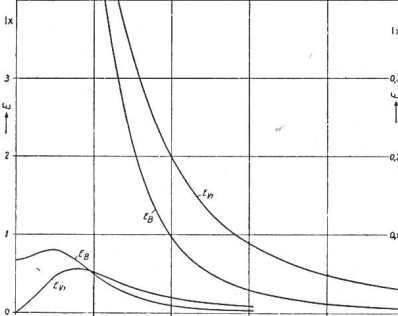
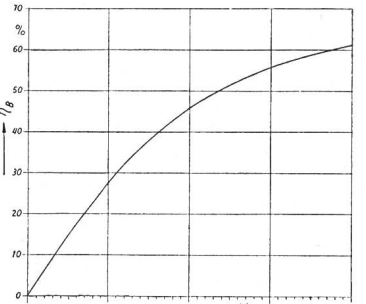
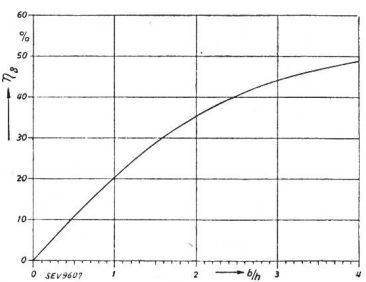
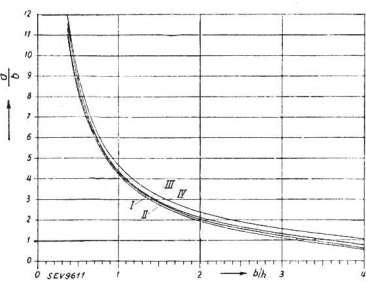
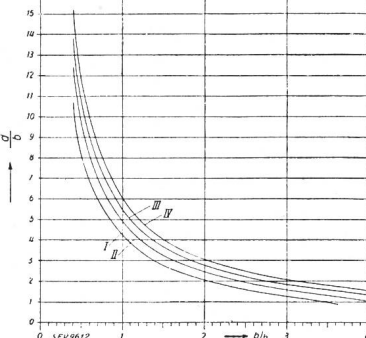


Fig. 27.

Leuchte 4	Leuchte 5	Erklärung der Figuren
 <p>Fig. 4.</p>	 <p>Fig. 5.</p>	<p>Fig. 1..5. Die untersuchten Leuchten.</p>
 <p>Fig. 9.</p>	 <p>Fig. 10.</p>	<p>Fig. 6...10. Lichtverteilungskurven, bezogen auf einen Lampenlichtstrom von 1000 Lumen.</p>
 <p>Fig. 16.</p>	 <p>Fig. 17.</p>	<p>Fig. 13...17. Beleuchtungskurven. E_B Bodenbeleuchtungsstärke; E_{V1} Vertikalbeleuchtungsstärke (bezogen auf einen Lampenlichtstrom von 1000 lm; Lichtpunkthöhe $h = 10$ m); E Beleuchtungsstärke; c Abstand vom Lampenfusspunkt. Kurven links: Maßstab links Kurven rechts: Maßstab rechts</p>
 <p>Fig. 23.</p>	 <p>Fig. 24.</p>	<p>Fig. 20...24. Wirkungsgrade η_B der Bodenbeleuchtung von Strassen für verschiedene Verhältnisse b/h. Leuchten über Strassenachse. (Für seitliche Leuchtenanordnung gelten etwas kleinere Werte.) b Strassenbreite. h Lichtpunkthöhe</p>
 <p>Fig. 28.</p>	 <p>Fig. 29.</p>	<p>Fig. 25...29. Zulässige Verhältnisse d/b für Dunkel-Mittel-Gleichmässigkeitsgrade. I $E_{min} : E_{med} = 1 : 3$ II » : » = 1 : 4 III » : » = 1 : 5 IV » : » = 1 : 6 d Leuchtenabstand. b Strassenbreite.</p>

Fassung E 40 ist für die Verwendung einer Quecksilberdampfampe 220 V, 1000 Dlm, 275 W, fest montiert.

Lichtstrom, Leistung und Lichtausbeute der Lampen

Messwerte:

- Glühlampe klar, Typ S, 800 Dlm, 225 V:
7 960 lm, 541 W 14,7 lm/W
- Glühlampe klar, Typ S, 500 Dlm, 225 V:
4 940 lm, 361 W 13,7 lm/W
- Quecksilberdampfampe 1000 Dlm, 220 V:
10 000 lm, 276 W¹⁾ 36,2 lm/W

Lichtstärkemessung,

Lichtverteilungskurve der Leuchten

Die Lichtstärkemessung erfolgte bei vertikaler Stellung der Symmetrieachse der Leuchten in 8 verschiedenen Ebenen durch diese Achse. Die Lampeneinstellung ist aus Fig. 1...5 ersichtlich; das Mass bezieht sich auf den Lichtpunkt, d. h. den Mittelpunkt der eigentlichen Lichtquelle. Unter Winkel $\alpha = 0^\circ$ ist die vertikale Strahlungsrichtung nach unten und unter $\alpha = 90^\circ$ die Ausstrahlung in der horizontalen Ebene durch den Lichtpunkt angegeben. Die Messresultate, Mittelwerte aus 8 Ablesungen, umgerechnet auf einen Lampenlichtstrom von 1000 lm, sind in Tabelle I zusammengestellt. In Fig. 6...10 sind diese Werte in Polarkoordinaten graphisch dargestellt als Lichtverteilungskurven.

Lichtstärkewerte I_α

bezogen auf einen Lampenlichtstrom Φ_{Lampe} von 1000 lm
Tabelle I

Ausstrahlungswinkel α	Leuchte				
	1	2	3	4	5
0°	335	226	140	170	68
10°	332	211	140	166	76
20°	325	211	140	164	96
30°	295	184	150	162	120
40°	250	165	166	160	136
50°	175	156	186	155	135
60°	80	144	198	149	118
65°			195		
70°	25	124	176	80	95
75°			86		
80°	5	93	28	73	78
90°	0	0	0	60	60
100°	0	0	0	37	37
110°	0	0	0	16	18
120°	0	0	0	4	7
130°	0	0	0	0	2
140°	0	0	0	0	0
150°	0	0	0	0	0
160°	0	0	0	0	0
170°	0	0	0	0	0
180°	0	0	0	0	0

Ermittlung des Leuchtenlichtstromes und Leuchtenwirkungsgrades

Der Lichtstrom der achsialsymmetrischen Leuchten kann aus den Ergebnissen der Lichtstärkemessung rechnerisch ermittelt werden. Der Gesamtlichtstrom einer Leuchte wird durch Zusammenzählen der Teillichtströme über den vollen Raumwinkel erhalten. Der Teillichtstrom (Zonenlicht-

¹⁾ inklusive Drosselspule.

strom Φ_ω) ist das Produkt aus dem Raumwinkel ω der Zone und der mittlern Lichtstärke I_ω in dieser Zone.

$$\Phi_\omega = \omega \cdot I_\omega \quad (1)$$

Der Raumwinkel ω , begrenzt durch die ebenen Ausstrahlungswinkel α_1 und α_2 , ist gleich dem Inhalt der Mantelfläche der Kugelzone, die durch Rotation der beiden Winkel aus der Kugel mit dem Radius 1 herausgeschnitten wird (Fig. 11). Als mittlere Lichtstärke I_ω der Zone kann der arithme-

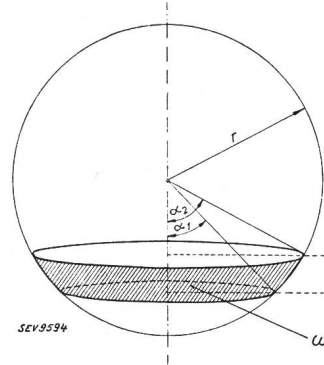


Fig. 11.

Berechnung

des Raumwinkels ω .

$$\omega = 2\pi \cdot r \cdot h.$$

$$h = r \cdot (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

$$r = 1.$$

$$\omega = 2\pi \cdot (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \quad (2)$$

tische Mittelwert der Lichtstärken unter den Winkeln α_1 und α_2 genommen werden. Tabelle II zeigt die Zusammenstellung der Resultate.

Berechnung des Leuchtenlichtstromes $\Phi_{Leuchte}$

bezogen auf einen Lampenlichtstrom Φ_{Lampe} von 1000 lm
Tabelle II

Zone $\alpha_1 \dots \alpha_2$	Raumwinkel ω	Zonen-Lichtstärke I_ω					Zonen-Lichtstrom Φ_ω				
		Leuchte					Leuchte				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0°...10°	0,096	334	218	140	168	72	32	21	13	16	7
10°...20°	0,284	328	211	140	165	86	93	60	40	47	24
20°...30°	0,463	310	197	145	163	108	143	91	67	75	50
30°...40°	0,629	273	174	158	161	128	172	109	99	101	80
40°...50°	0,774	213	160	176	157	135	165	124	136	122	104
50°...60°	0,897	128	150	192	152	127	115	134	172	136	114
60°...70°	0,992	52	134	187	115	106	51	133	185	114	105
70°...80°	1,058	15	108	102	76	86	16	114	108	80	91
80°...90°	1,090	2	46	14	66	69	2	50	15	72	75
0°...90°							789	836	835	763	650
90°...100°	1,090	0	0	0	48	49	0	0	0	52	53
100°...110°	1,058	0	0	0	26	27	0	0	0	27	29
110°...120°	0,992	0	0	0	10	13	0	0	0	10	13
120°...130°	0,897	0	0	0	2	5	0	0	0	2	4
130°...140°	0,774	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
140°...150°	0,629	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150°...160°	0,463	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160°...170°	0,284	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170°...180°	0,096	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90°...180°							0	0	0	91	100
0°...180°							789	836	835	854	750

Der Leuchten-Wirkungsgrad η_L ist der Quotient aus dem Lichtstrom der Leuchte und dem Lichtstrom der Lampe.

$$\eta_L = \frac{\Phi_{Leuchte}}{\Phi_{Lampe}} \cdot 100 \% \quad (3)$$

Die Wirkungsgrade betragen somit: Leuchte 1 =

78,9 0/0, Leuchte 2 = 83,6 0/0, Leuchte 3 = 83,5 0/0, Leuchte 4 = 85,4 0/0 und Leuchte 5 = 75,0 0/0.

In der Leuchte 1 strahlt die Lampe ihr Licht bis zum Winkel $\alpha = 60^\circ$ direkt aus, was einen Lichtstrom von 300 lm ergibt. 700 lm fallen auf den Reflektor, der 489 lm = 70 0/0 zurückstrahlt.

Leuchte 2 ermöglicht der Lampe eine direkte Ausstrahlung bis $\alpha = 82^\circ 25'$ von 490 lm. Der Reflektor reflektiert von den 510 lm 346 lm = 68 0/0.

In der Leuchte 3 beträgt die direkte Ausstrahlung der Lampe 420 lm bis $\alpha = 75^\circ$. Von den 580 lm, die auf den Reflektor fallen, werden 415 lm = 72 0/0 reflektiert.

Leuchte 4 gestattet der Lampe die direkte Ausstrahlung bis $\alpha = 64^\circ 15'$ mit 335 lm. 665 lm treffen auf Schutzglas und Reflektoren und werden dadurch auf 519 lm = 78 0/0 reduziert. Von den 854 lm, die die Leuchte ausstrahlt, entfallen 91 lm auf den obern Halbraum und sind somit für die Bodenbeleuchtung verloren.

Die Zone für direkte Ausstrahlung der Lampe bei Leuchte 5 beträgt $0^\circ \dots 52^\circ 50'$, entsprechend einem Lichtstrom von nur 155 lm. Auf Schutzglas und Reflektoren werden 845 lm gestrahlt, wovon 595 lm = 70 0/0 die Leuchte verlassen. Die Ausstrahlung in den obern Halbraum beträgt 100 lm.

Berechnung der Leuchtdichte der Leuchten und Ermittlung der maximal zulässigen Lampe

Die Leuchtdichte B einer Leuchte in einer bestimmten Richtung ist der Quotient aus der Lichtstärke I_α der Leuchte in dieser Richtung und der in dieser Richtung gesehenen leuchtenden Fläche a_α in cm^2 der Leuchte.

$$B = \frac{I_\alpha}{a_\alpha} \text{ Stilb} \quad (4)$$

Dieser Wert wird für $\alpha = 60^\circ \dots 90^\circ$ von 5 zu 5^o berechnet. Die Werte I_α werden der Tabelle I und den Lichtverteilungskurven entnommen. Die Resultate sind in Tabelle III zusammengestellt. Das Maximum

halb nur für Leuchten, deren Baustoffe diffuse und gemischte Reflexion oder Durchlässigkeit aufweisen, angewendet werden. Bei Spiegelleuchten oder Dioptern kann zufolge gerichteter Reflexion oder Durchlässigkeit nicht die ganze sichtbare Fläche, sondern nur die in der betreffenden Richtung strahlende Zone dieser Fläche berücksichtigt werden.

Zur Verhinderung der Blendung sollen die Leuchten im Ausstrahlungsbereich zwischen $60^\circ \dots 90^\circ$ eine Leuchtdichte von höchstens 2 sb aufweisen. Der maximal zulässige Lampenlichtstrom ist somit:

$$\Phi_{Lampe} = \frac{2}{B_{max}} \cdot 1000 \text{ lm} \quad (5)$$

Er beträgt: Leuchte 1 = 19 800 lm, Leuchte 2 = 5940 lm, Leuchte 3 = 6180 lm, Leuchte 4 = 13 500 lm und Leuchte 5 = 18 350 lm. Die entsprechenden listenmässigen Lampen sind: Leuchte 1 = Glühlampe 2000 Dlm, Leuchte 2 und 3 = Glühlampe 500 Dlm, Leuchte 4 = Glühlampe 1250 Dlm und Leuchte 5 = Quecksilberdampf Lampe 2000 Dlm.

B. Die Berechnung der Strassenbeleuchtungsanlagen

Güte der Strassenbeleuchtung

Bei der Strassenbeleuchtung ist die Schaffung von Helligkeitsunterschieden — sogenannten Kontrasten — zwischen der Fahrbahnoberfläche und den Hindernissen (Personen, Fahrzeuge u. a.) für deutliches Sehen nötig.

Die Helligkeit der Fahrbahn wird durch die Beleuchtungsstärke auf der Bodenfläche und deren Reflexion bestimmt, die Helligkeit der Hindernisse durch die Vertikalbeleuchtungsstärke und die Reflexion der Hindernisse.

Die Fahrbahnelligkeit kann durch ihre Leuchtdichte bewertet werden.

Berechnung der Leuchtdichte B der Leuchten im Ausstrahlungsbereich $60^\circ \dots 90^\circ$, bezogen auf einen Lampenlichtstrom Φ_{Lampe} von 1000 lm

Tabelle III

α	Lichtstärke I_α b					Leuchtende Fläche a_α cm^2				Leuchtdichte B sb				
	Leuchte					Leuchte				Leuchte				
	1	2	3	4	5	1, 2, 3	4	5	1	2	3	4	5	
60°	80	144	198	149	118	795	1354	1310	0,101	0,181	0,249	0,110	0,090	
65°	55	135	195	140	106	672	1190	1214	0,082	0,201	0,290	0,118	0,087	
70°	25	124	176	80	95	544	1030	1097	0,046	0,228	0,324	0,078	0,087	
75°	15	110	86	77	87	411	916	936	0,036	0,268	0,209	0,084	0,093	
80°	5	93	28	73	78	276	724	837	0,018	0,337	0,101	0,101	0,093	
85°	2	45	13	69	69	139	581	693	0,014	0,324	0,094	0,119	0,100	
90°	0	0	0	60	60	0	406	551	0,000	0,000	0,000	0,148	0,109	

der Leuchtdichte beträgt: Leuchte 1 = 0,101 sb, Leuchte 2 = 0,337 sb, Leuchte 3 = 0,324 sb, Leuchte 4 = 0,148 sb und Leuchte 5 = 0,109 sb bei einem Lampenlichtstrom von 1000 lm.

Die nach obiger Formel gerechneten Leuchtdichten sind Mittelwerte. Diese Formel darf des-

Da Bewertungsmaßstäbe für die Leuchtdichte der Strassendecke zurzeit noch fehlen und noch keine Erfahrungswerte für die nötigen Mindestkontraste vorliegen, müssen sich auch die schweizerischen Leitsätze mit der Angabe der erforderlichen Beleuchtungsstärken begnügen.

Die Bodenbeleuchtungsstärken sind nach der Art der zu beleuchtenden Verkehrsanlage und der Stärke des Verkehrs gestaffelt.

Die erforderliche mittlere Bodenbeleuchtungsstärke E_{med} und die Stärke der Bodenbeleuchtung an der dunkelsten Stelle E_{min} sind in Tabelle IV als Richtwerte in Lux angeführt.

Boden-Beleuchtungsstärke in Verkehrsanlagen

Tabelle IV

Art der Anlagen	Empfohlen		Unterste Grenzwerte	
	Mittelwert lx	Dunkelste Stelle lx	Mittelwert lx	Dunkelste Stelle lx
Strassen und Plätze innerorts .				
mit schwachem Verkehr	3	0,5	1	0,2
mit mittlerem Verkehr	8	1,5	3	0,7
mit starkem Verkehr .	15	4	8	2
mit stärkstem Verkehr	30	8	15	4
Hauptverkehrsstrassen ausserorts	8	1,5	3	0,7

Die Beleuchtungsstärke wird auf der wirklichen Bodenfläche gemessen. Der Mittelwert bezieht sich auf eine Fläche, welche Fahrbahn, Trottoirs und Fahrradwege oder — wo Fahrrad- und Fussgängerwege fehlen — Fahrbahn und je einen Streifen von 2 m links und rechts der Fahrbahn umfasst. Die dunkelste Stelle wird auf der eigentlichen Fahrbahn ermittelt. Die empfohlenen Werte sind stets anzustreben. Die untersten Grenzwerte sollen nie unterschritten werden.

Die Beleuchtung der Hindernisse wird durch die Vertikalbeleuchtungsstärke bewertet, ihr Mittelwert soll kleiner sein als der Mittelwert der Bodenbeleuchtungsstärke, damit das Hindernis sich dem Auge stets dunkel auf der hellen Fahrbahn präsentiert. Die Messung der Vertikalbeleuchtungsstärke erfolgt in vertikalen Ebenen, senkrecht zur Strassenachse, 60 cm über dem Boden.

Verkehrsanlagen dürfen keine grossen Unterschiede der Beleuchtungsstärken aufweisen. Der Dunkel-Mittel-Gleichmässigkeitsgrad kann aus den Werten der Tabelle IV berechnet werden. Die in Tabelle V angeführten Ergebnisse sollen nie unterschritten werden.

Dunkel-Mittel-Gleichmässigkeitsgrad der Boden-Beleuchtungsstärke in Verkehrsanlagen

Tabelle V

Art der Anlagen	$E_{min} : E_{med}$
Strassen und Plätze innerorts	
mit schwachem Verkehr	1 : 6
mit mittlerem Verkehr	1 : 5
mit starkem Verkehr	1 : 4
mit stärkstem Verkehr	1 : 4
Hauptverkehrsstrassen ausserorts .	1 : 5

Die Berechnung der Beleuchtungsanlage beschränkt sich somit auf die Ermittlung der mittlern

Bodenbeleuchtungsstärke und die Einhaltung des Dunkel-Mittel-Gleichmässigkeitsgrades.

Berechnung der Bodenbeleuchtungsstärke

In Verkehrsanlagen ist der Einfluss der Reflexion von angrenzenden Gebäudewänden so klein, dass er bei der Berechnung der Beleuchtungsstärke vernachlässigt werden kann. Die Beleuchtungsstärke wird somit nur durch den von der Leuchte direkt auf die Verkehrsanlage ausgestrahlten Lichtstrom erzeugt.

Mit Hilfe der *Punkt-Methode* kann die Beleuchtungsstärke in jedem Punkte des Bodens ermittelt werden (Fig. 12). Für die Berechnung wird ange-

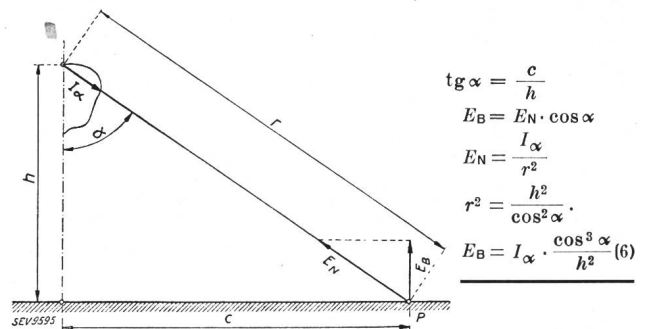


Fig. 12.

Berechnung der Bodenbeleuchtungsstärke E_B nach der Punkt-Methode.

- I_α Lichtstärke im Ausstrahlungswinkel α (in b).
- E_B Boden-Beleuchtungsstärke (in lx).
- E_N Normal-Beleuchtungsstärke (in lx).
- h Lichtpunkthöhe (in m).
- c Abstand des Punktes P vom Fußpunkt der Leuchte (in m).
- r radialer Abstand des Punktes P vom Lichtpunkt der Leuchte (in m).
- α Ausstrahlungswinkel (in Grad).

nommen, dass die Oberflächen der Fahrbahn, Trottoirs und Fahrradwege eine einzige horizontale Ebene bilden. Zur Bestimmung der mittlern Bodenbeleuchtungsstärke teilt man die zu beleuchtende Fläche — oder bei symmetrischer Anordnung sinngemäss einen Teil der Fläche — in eine Anzahl gleich grosser Rechtecke von maximal 10 m² Fläche ein, für deren Mittelpunkt man die Beleuchtungsstärke berechnet. Die Länge dieser Rechtecke darf nicht mehr als die anderthalbfache Breite betragen. Auf Strassen und Plätzen tragen stets mehrere Leuchten zur Beleuchtung der einzelnen Punkte bei. Die Bodenbeleuchtungsstärke eines Punktes ist dann gleich der Summe der Einzelbeleuchtungsstärken, die von jeder benachbarten Leuchte erzeugt werden. Die mittlere Beleuchtungsstärke E_{med} ist der arithmetische Mittelwert der Beleuchtungsstärken aller Punkte.

Berechnungsbeispiel 1

Eine Strasse durch ein geschlossen bebauten Quartier mit mittlerem Verkehr soll beleuchtet werden. Die Gesamtbreite beträgt 15 m (2 Trottoirs von je 3 m und eine Fahrbahn von 9 m). Der mittlere Leuchtenabstand wird durch die verschiedenen Strassenkreuzungen bestimmt; er beträgt 36 m. Gewählt wird eine Lichtpunkthöhe von 10 m. Die Leuchten werden über der Fahrbahnachse angeordnet. Es sind zu bestimmen:

die Lampe, die mittlere, die maximale und die minimale Bodenbeleuchtungsstärke, die Gleichmässigkeitgrade.

Die Rechnung wird dadurch vereinfacht, dass man zunächst für alle 5 Leuchten die Bodenbeleuchtungsstärke in Abhängigkeit vom Fusspunkt-Abstand c ermittelt und die Bodenbeleuchtungskurven aufzeichnet. Für verschiedene Abstände c vom Lampenfusspunkt werden die Ausstrahlungswinkel α bestimmt.

$$\text{tg } \alpha = \frac{c}{h}$$

Hernach wird für jeden Abstand der Wert $\frac{\cos^3 \alpha}{h^2}$ ermittelt. Durch Multiplikation dieses Wertes mit der aus der Lichtverteilungskurve der Leuchte für den zugehörigen Ausstrahlungswinkel α ermittelten Lichtstärke I_α erhält man die Bodenbeleuchtungsstärken. Die Ergebnisse sind in Tabelle VI ent-

Zu berücksichtigen sind die Leuchten L_I und L_{II} , während der Einfluss weiterer Leuchten der grösseren

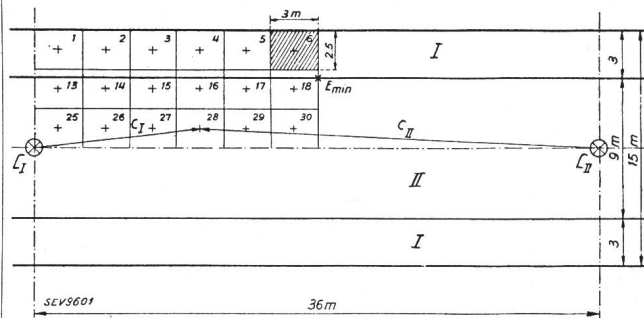


Fig. 18. Situationsplan der Strasse mit Punkteinteilung für die Berechnung der Bodenbeleuchtungsstärken. I Trottoir. II Fahrbahn.

Entfernung wegen bereits vernachlässigt werden kann. Aus dem Situationsplan kann man die Ab-

Berechnung der Bodenbeleuchtungsstärke E_B bezogen auf einen Lampenlichtstrom Φ_{Lampe} von 1000 lm Lichtpunkthöhe $h = 10$ m

Tabelle VI

Abstand c m	α °	$\frac{\cos^3 \alpha}{h^2}$	Lichtstärke I_α b					Bodenbeleuchtungsstärke E_B lx				
			Leuchte					Leuchte				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0	0°	0,01000	335	226	140	170	68	3,350	2,260	1,400	1,700	0,680
1,0	5°43'	0,00985	334	219	140	168	71	3,290	2,155	1,379	1,655	0,699
2,0	11°19'	0,00943	331	211	140	166	78	3,120	1,990	1,320	1,566	0,735
3,0	16°42'	0,00879	328	211	140	165	88	2,880	1,855	1,230	1,450	0,773
4,0	21°48'	0,00800	320	210	142	164	100	2,560	1,680	1,136	1,312	0,800
5,0	26°34'	0,00715	303	198	147	162	113	2,160	1,415	1,050	1,160	0,808
6,0	30°58'	0,00631	290	185	152	162	122	1,830	1,167	0,959	1,020	0,770
7,0	35° 0'	0,00550	275	173	158	161	130	1,510	0,952	0,870	0,885	0,715
8,0	38°40'	0,00476	255	167	164	160	135	1,215	0,795	0,781	0,762	0,643
9,0	41°59'	0,00411	238	163	170	159	138	0,980	0,670	0,699	0,654	0,568
10,0	45° 0'	0,00354	220	160	176	158	138	0,779	0,566	0,623	0,559	0,489
12,0	50°11'	0,00262	175	155	186	155	135	0,459	0,406	0,487	0,406	0,354
14,0	54°28'	0,00196	140	152	192	152	128	0,274	0,298	0,376	0,298	0,251
16,0	58° 0'	0,00149	100	148	196	150	121	0,149	0,220	0,292	0,224	0,180
18,0	60°57'	0,00114	70	143	198	148	113	0,080	0,163	0,226	0,169	0,129
20,0	63°26'	0,000894	50	138	196	146	107	0,045	0,123	0,175	0,130	0,096
24,0	67°23'	0,000569	37	130	186	82	99	0,021	0,074	0,106	0,047	0,056
28,0	70°21'	0,000380	24	123	170	80	95	0,009	0,047	0,065	0,030	0,036
32,0	72°39'	0,000265	20	118	131	78	90	0,005	0,031	0,035	0,021	0,024
36,0	74°28'	0,000192	16	112	95	77	86	0,003	0,022	0,018	0,015	0,016
40,0	75°58'	0,000143	13	108	75	76	83	0,002	0,015	0,011	0,011	0,012
45,0	77°20'	0,000103	10	104	59	75	81	0,001	0,011	0,006	0,008	0,008
50,0	78°41'	0,000076	7	100	35	74	80	0,001	0,008	0,003	0,006	0,006
55,0	79°42'	0,000057	5	95	28	73	78	—	0,005	0,002	0,004	0,004
60,0	80°32'	0,000044	4	90	26	73	75	—	0,004	0,001	0,003	0,003
65,0	81°15'	0,000035	4	82	24	72	74	—	0,003	0,001	0,003	0,003
70,0	81°52'	0,000028	3	78	22	72	73	—	0,002	—	0,002	0,002

halten. Die Bodenbeleuchtungskurven E_B sind in den Fig. 13...17 dargestellt. Für den Gebrauch der Beleuchtungskurven sollen diese auf Millimeterpapier aufgezeichnet werden mit folgenden Massstäben: Abstand c 1 cm = 1 m. Beleuchtungsstärke 1 cm = 0,1 lx, bzw. 0,01 lx.

In den maßstäblichen Situationsplan der Strasse zeichnet man die Leuchten ein und teilt im vorliegenden Fall einen Viertel der Fläche zwischen 2 Leuchten in 18 Rechtecke ein (Fig. 18). Für deren Mittelpunkte bestimmt man die Beleuchtungsstärke.

stände der 18 Punkte vom Fusspunkt der Leuchten L_I und L_{II} abmessen. Die Resultate sind in Tabelle VII zusammengestellt. Die minimale Beleuchtungsstärke wird am Fahrbahnrand, in der Mitte zwischen beiden Leuchten erzeugt. Die beiden Abstände c_I und c_{II} sind gleich gross und betragen 18,55 m. Die maximale Beleuchtungsstärke tritt bei den Leuchten 1, 2, 3 und 4 am Leuchtenfusspunkt auf, $c_I = 0$ m, $c_{II} = 36,00$ m. Bei Leuchte 5 entsteht das Maximum, wie die Bodenbeleuchtungskurve Fig. 17 zeigt, in 4,60 m Abstand vom Leuchtenfusspunkt

Abstände c_I und c_{II} der Punkte vom Fusspunkt der Leuchten L_I und L_{II} (Fig. 18) Tabelle VII

Punkt Nr.	c_I m	c_{II} m	Punkt Nr.	c_I m	c_{II} m	Punkt Nr.	c_I m	c_{II} m
1	6,43	35,06	13	4,04	34,70	25	1,95	34,52
2	7,70	32,11	14	5,86	31,72	26	4,67	31,52
3	9,76	29,18	15	8,39	28,75	27	7,60	28,53
4	12,22	26,25	16	11,15	25,77	28	10,57	25,53
5	14,88	23,35	17	14,01	22,81	29	13,56	22,53
6	17,64	20,48	18	16,92	19,86	30	16,55	19,54

auf der Strassenachse, $c_I = 4,60$ m, $c_{II} = 31,40$ m. Aus den Bodenbeleuchtungskurven können für diese Abstände die zugehörigen Bodenbeleuchtungsstärken entnommen werden. Tabelle VIII enthält diese Werte. Die mittlere Bodenbeleuchtungsstärke

Berechnung der Bodenbeleuchtungsstärke E_B , bezogen auf einen Lampenlichtstrom Φ_{Lampe} von 1000 lm Tabelle VIII

Nr. Punkt	Leuchte 1			Leuchte 2			Leuchte 3			Leuchte 4			Leuchte 5		
	L_I lx	L_{II} lx	$L_I + L_{II}$ lx	L_I lx	L_{II} lx	$L_I + L_{II}$ lx	L_I lx	L_{II} lx	$L_I + L_{II}$ lx	L_I lx	L_{II} lx	$L_I + L_{II}$ lx	L_I lx	L_{II} lx	$L_I + L_{II}$ lx
1	1,660	0,003	1,663	1,055	0,023	1,078	0,915	0,021	0,936	0,952	0,016	0,968	0,751	0,018	0,769
2	1,293	0,005	1,298	1,840	0,031	0,871	0,810	0,034	0,844	0,800	0,021	0,821	0,665	0,024	0,689
3	0,820	0,007	0,827	0,588	0,041	0,629	0,640	0,055	0,695	0,582	0,027	0,609	0,505	0,032	0,537
4	0,435	0,013	0,448	0,391	0,057	0,448	0,472	0,081	0,553	0,390	0,036	0,426	0,340	0,043	0,383
5	0,210	0,023	0,233	0,261	0,080	0,341	0,338	0,114	0,452	0,260	0,050	0,310	0,219	0,061	0,280
6	0,089	0,041	0,130	0,172	0,115	0,287	0,237	0,164	0,401	0,177	0,124	0,301	0,137	0,089	0,226
13	2,540	0,003	2,543	1,660	0,024	1,684	1,135	0,022	1,157	1,300	0,017	1,317	0,805	0,019	0,824
14	1,850	0,005	1,855	1,180	0,032	1,212	0,968	0,036	1,004	1,032	0,021	1,053	0,782	0,025	0,807
15	1,115	0,008	1,123	0,745	0,043	0,788	0,750	0,058	0,808	0,720	0,028	0,748	0,614	0,033	0,647
16	0,580	0,014	0,594	0,463	0,060	0,523	0,540	0,086	0,626	0,467	0,038	0,505	0,403	0,046	0,449
17	0,275	0,026	0,301	0,298	0,086	0,384	0,377	0,122	0,499	0,293	0,053	0,346	0,250	0,065	0,315
18	0,110	0,047	0,157	0,191	0,125	0,316	0,260	0,178	0,438	0,196	0,133	0,329	0,154	0,097	0,251
25	3,134	0,003	3,137	2,000	0,024	2,024	1,325	0,023	1,348	1,570	0,017	1,587	0,733	0,019	0,752
26	2,292	0,005	2,297	1,485	0,032	1,517	1,078	0,038	1,116	1,210	0,022	1,232	0,810	0,025	0,835
27	1,325	0,008	1,333	0,855	0,044	0,899	0,818	0,060	0,878	0,810	0,029	0,839	0,672	0,034	0,706
28	0,672	0,015	0,687	0,513	0,062	0,575	0,582	0,088	0,670	0,512	0,039	0,551	0,442	0,047	0,489
29	0,310	0,028	0,338	0,319	0,089	0,408	0,400	0,127	0,527	0,316	0,055	0,371	0,270	0,068	0,338
30	0,125	0,051	0,176	0,203	0,131	0,334	0,272	0,186	0,458	0,206	0,138	0,344	0,164	0,102	0,266
Summe			19,140			14,318			13,410			12,657			9,563
E_{med}			1,063			0,795			0,745			0,703			0,531
E_{max}	3,350	0,003	3,353	2,260	0,022	2,282	1,400	0,018	1,418	1,700	0,015	1,715	0,810	0,025	0,835
E_{min}	0,067	0,067	0,134	0,151	0,151	0,302	0,211	0,211	0,422	0,157	0,157	0,314	0,118	0,118	0,236

E_{med} erhält man, indem man die Summe der Bodenbeleuchtungsstärken der 18 Punkte durch 18 dividiert. Die mittlere Bodenbeleuchtungsstärke soll nach Tabelle IV mindestens 3 lx, womöglich aber 8 lx betragen. Für die Leuchten 1 werden somit Glühlampen zu 500 Dlm, für die Leuchten 2, 3 und 4 solche zu 800 Dlm und für die Leuchten 5 Quecksilberdampf Lampen zu 1000 Dlm benötigt. Mit Rücksicht auf die Leuchtdichte dürfen die Leuchten 2 und 3 jedoch maximal mit Glühlampen zu 500 Dlm ausgerüstet werden. Die Werte der Tabelle VIII müssen deshalb mit 5, 8 bzw. 10 multipliziert werden, woraus die in Tabelle IX wiedergegebenen Werte folgen.

Tabelle IX

Bodenbeleuchtung	Leuchte 1	Leuchte 2	Leuchte 3	Leuchte 4	Leuchte 5
Lampe	500 Dlm	500 Dlm	500 Dlm	800 Dlm	1000 Dlm
E_{med}	5,31 lx	3,97 lx	3,72 lx	5,62 lx	5,31 lx
E_{max}	16,76 lx	11,41 lx	7,09 lx	13,72 lx	8,35 lx
E_{min}	0,67 lx	1,51 lx	2,11 lx	2,51 lx	2,36 lx
$E_{min} : E_{med}$	1 : 7,92	1 : 2,63	1 : 1,76	1 : 2,24	1 : 2,25
$E_{min} : E_{max}$	1 : 25,01	1 : 7,56	1 : 3,36	1 : 5,46	1 : 3,53

Nach Tabelle V soll der Dunkel-Mittel-Gleichmässigkeitsgrad mindestens 1 : 5 betragen. Leuchte 1 genügt den Anforderungen der Leitsätze somit nicht, sie müsste höher aufgehängt werden. Gute Resultate für die gewählte Anordnung liefern nur die Leuchten 4 und 5, da die mittlere Beleuchtungsstärke von Leuchte 3 an der unteren Grenze liegt.

Die Punktmethode hat den Vorteil, dass damit gleichzeitig der örtliche Verlauf der Beleuchtungsstärke bestimmt wird.

Mit der Wirkungsgradmethode kann die mittlere Bodenbeleuchtungsstärke rascher ermittelt werden.

Der Wirkungsgrad η_B der Bodenbeleuchtung wird durch den Quotienten aus dem Nutzlichtstrom Φ_N , der auf den Boden fällt, und dem Lichtstrom Φ_{Lampe} der Lampe bestimmt.

Der Nutzlichtstrom Φ_N ist gleich dem Produkt aus der mittlern Bodenbeleuchtungsstärke E_{med} und der Bodenfläche A pro Leuchte.

$$\eta_B = \frac{\Phi_N \cdot 100}{\Phi_{Lampe}} \tag{7}$$

$$\Phi_N = E_{med} \cdot A$$

$$\Phi_{Lampe} = \frac{E_{med} \cdot A \cdot 100}{\eta_B} \quad (8)$$

$$E_{med} = \frac{\Phi_{Lampe} \cdot \eta_B}{A \cdot 100} \quad (9)$$

$$A = b \cdot d$$

$$d = \frac{\Phi_{Lampe} \cdot \eta_B}{E_{med} \cdot b \cdot 100} \quad (10)$$

- η_B Beleuchtungswirkungsgrad (%),
- Φ_N Nutzlichtstrom pro Leuchte (lm),
- Φ_{Lampe} Lichtstrom der Lampe (lm),
- E_{med} mittlere Bodenbeleuchtungsstärke (lx),
- A Bodenfläche pro Leuchte (m²),
- b Strassenbreite (m),
- d Leuchtenabstand (m).

Der Wirkungsgrad ist abhängig von der Leuchte und dem Verhältnis der Strassenbreite b zur Lichtpunkthöhe h .

Der Beleuchtungswirkungsgrad η_B soll für die 5 Leuchtentypen bei Anordnung über der Strassenachse und 10,0 m Lichtpunkthöhe berechnet werden, wobei jeweils die Wirkung von 2 Leuchten zu berücksichtigen ist.

Zu diesem Zwecke wird für Strassen von 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36 und 40 m Breite b und je 20, 30, 40, 50 und 60 m Leuchtenabstand d die mittlere Bodenbeleuchtungsstärke E_{med} nach der Punkt-methode ermittelt. Eine Fläche von 20 m Breite und 60 m Länge wird in Quadrate von 2 m Seiten-

länge zerlegt und für deren Mittelpunkte der Abstand c vom Fusspunkt der Leuchte L berechnet (Fig. 19). Tabelle X enthält diese Werte. Hiemit kann für alle Punkte die Bodenbeleuchtungsstärke, herrührend von der Leuchte L , aus den Bodenbeleuchtungskurven E_B der Fig. 13...17 abgemessen und in Tabellen notiert werden. Die mittlere Boden-

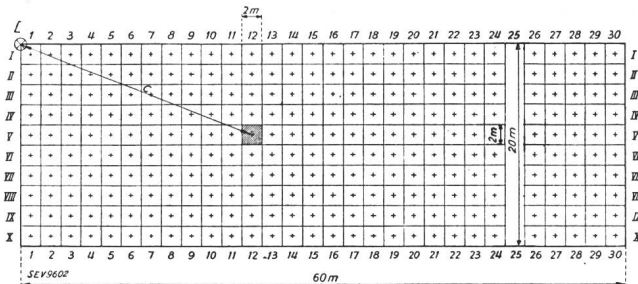


Fig. 19. Flächeneinteilung für die Berechnung des Boden-Beleuchtungswirkungsgrades.

beleuchtungsstärke einer Strasse von 8 m Breite und 20 m Leuchtenabstand ist gleich der Summe der Beleuchtungsstärken der Punkte 1...10 der Reihen I und II dividiert durch 10. Für eine 36 m breite Strasse und 50 m Leuchtenabstand werden die Beleuchtungsstärken der Punkte 1...25 der Reihen I...IX addiert und durch 112,5 (die halbe Punktzahl) dividiert usw.

Abstände c der Mittelpunkte vom Fusspunkt der Leuchte

(Fig. 19)

Tabelle X

Punkt Nr.	Reihe									
	I m	II m	III m	IV m	V m	VI m	VII m	VIII m	IX m	X m
1	1,41	3,16	5,10	7,07	9,06	11,05	13,04	15,03	17,03	19,03
2	3,16	4,24	5,83	7,62	9,49	11,40	13,34	15,30	17,26	19,24
3	5,10	5,83	7,07	8,60	10,30	12,08	13,93	15,81	17,72	19,65
4	7,07	7,62	8,60	9,90	11,40	13,04	14,76	16,55	18,38	20,25
5	9,06	9,49	10,30	11,40	12,73	14,21	15,81	17,49	19,24	21,02
6	11,05	11,40	12,08	13,04	14,21	15,56	17,03	18,60	20,25	21,95
7	13,04	13,34	13,93	14,76	15,81	17,03	18,38	19,85	21,40	23,02
8	15,03	15,30	15,81	16,55	17,49	18,60	19,85	21,21	22,67	24,21
9	17,03	17,26	17,72	18,38	19,24	20,25	21,40	22,67	24,04	25,50
10	19,03	19,24	19,65	20,25	21,02	21,95	23,02	24,21	25,50	26,87
11	21,02	21,21	21,59	22,14	22,85	23,70	24,70	25,81	27,02	28,32
12	23,02	23,19	23,54	24,04	24,70	25,50	26,42	27,46	28,60	29,83
13	25,02	25,18	25,50	25,96	26,57	27,31	28,18	29,15	30,23	31,40
14	27,02	27,17	27,46	27,89	28,46	29,15	29,97	30,89	31,91	33,02
15	29,02	29,15	29,43	29,83	30,36	31,02	31,78	32,65	33,62	34,67
16	31,02	31,14	31,40	31,78	32,28	32,89	33,62	34,44	35,36	36,36
17	33,02	33,14	33,38	33,73	34,21	34,79	35,47	36,25	37,12	38,08
18	35,01	35,13	35,36	35,69	36,14	36,69	37,34	38,08	38,91	39,82
19	37,01	37,12	37,34	37,66	38,08	38,60	39,22	39,92	40,72	41,59
20	39,01	39,12	39,32	39,62	40,02	40,52	41,11	41,79	42,54	43,38
21	41,01	41,11	41,30	41,59	41,98	42,45	43,01	43,66	44,38	45,19
22	43,01	43,10	43,29	43,57	43,93	44,38	44,92	45,54	46,24	47,01
23	45,01	45,10	45,28	45,54	45,89	46,32	46,84	47,43	48,10	48,85
24	47,01	47,10	47,27	47,52	47,85	48,27	48,76	49,34	49,98	50,70
25	49,01	49,09	49,25	49,50	49,82	50,22	50,70	51,24	51,87	52,55
26	51,01	51,09	51,24	51,48	51,79	52,17	52,63	53,16	53,76	54,42
27	53,01	53,09	53,24	53,46	53,76	54,13	54,57	55,08	55,66	56,30
28	55,01	55,09	55,23	55,44	55,73	56,09	56,52	57,01	57,57	58,19
29	57,01	57,09	57,22	57,43	57,71	58,05	58,46	58,94	59,48	60,08
30	59,01	59,09	59,21	59,41	59,69	60,02	60,42	60,88	61,40	61,98

Durch Multiplikation der mittlern Bodenbeleuchtungsstärke E_{med} mit der Bodenfläche A erhält man den Nutzlichtstrom Φ_N .

Nach Formel (7) wird der Wirkungsgrad

$$\eta_B = \frac{\Phi_N \cdot 100}{1000} \% = \frac{\Phi_N}{10} \%$$

Die Resultate dieser Berechnung sind in der Tabelle XI zusammengestellt. Diese Werte stehen scheinbar im Widerspruch zu der Behauptung, dass

Wirkungsgrad η_B der Bodenbeleuchtung

Lichtpunkthöhe $h = 10$ m Tabelle XI

Strassenbreite b m	Leuchtenabstand d m	Bodenbeleuchtungs-Wirkungsgrad η_B				
		Leuchte				
		1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
4	20	19,1	13,2	11,1	11,4	7,6
	30	19,2	13,8	11,9	11,8	8,0
	40	19,3	14,0	12,1	12,0	8,2
	50	19,3	14,1	12,1	12,0	8,2
	60	19,3	14,1	12,1	12,1	8,3
8	20	35,9	25,1	21,5	21,8	15,1
	30	36,2	26,2	23,0	22,6	16,0
	40	36,3	26,6	23,4	22,9	16,2
	50	36,3	26,8	23,5	23,0	16,4
	60	36,3	26,9	23,5	23,1	16,4
12	20	49,2	34,7	30,7	30,6	22,1
	30	49,6	36,3	33,0	31,8	23,3
	40	49,7	36,8	33,6	32,2	23,8
	50	49,7	37,1	33,7	32,4	24,0
	60	49,8	37,2	33,8	32,5	24,1
16	20	58,8	42,1	38,7	37,9	28,1
	30	59,3	44,2	41,7	39,3	29,8
	40	59,3	44,9	42,4	39,9	30,3
	50	59,5	45,3	42,6	40,1	30,6
	60	59,5	45,4	42,6	40,2	30,7
20	20	65,3	47,8	45,4	43,5	32,9
	30	66,0	50,3	49,0	45,3	34,9
	40	66,1	51,3	49,9	45,9	35,6
	50	66,1	51,7	50,1	46,3	35,9
	60	66,1	52,0	50,2	46,5	36,2
24	20	69,2	52,1	50,8	47,9	36,6
	30	69,9	55,2	55,1	49,9	39,0
	40	70,1	56,3	56,1	50,7	39,7
	50	70,2	56,8	56,4	51,1	40,1
	60	70,2	57,0	56,4	51,3	40,5
28	20	71,8	55,5	55,3	51,2	39,4
	30	72,7	59,0	60,1	53,6	42,1
	40	72,8	60,1	61,2	54,5	42,9
	50	72,8	60,8	61,5	54,9	43,4
	60	72,9	61,0	61,6	55,1	43,8
32	20	73,3	58,1	58,8	53,8	41,5
	30	74,2	61,9	64,0	56,4	44,4
	40	74,4	63,2	65,3	57,4	45,4
	50	74,5	64,0	65,6	57,8	45,9
	60	74,5	64,3	65,8	58,0	46,3
36	20	74,2	60,2	61,7	55,8	43,1
	30	75,2	64,2	67,3	58,5	46,2
	40	75,3	65,8	68,7	59,6	47,4
	50	75,4	66,5	69,1	60,1	47,9
	60	75,4	66,9	69,1	60,5	48,4
40	20	74,7	61,8	63,9	57,2	44,3
	30	75,7	66,1	69,8	60,1	47,6
	40	76,0	67,7	71,4	61,3	49,0
	50	76,0	68,6	71,8	61,8	49,6
	60	76,1	68,9	72,0	62,1	49,9

der Beleuchtungswirkungsgrad einer Leuchte nur vom Verhältnis b/h abhängig sei. Würde man nämlich für die Berechnung des Wirkungsgrades für

Wirkungsgrad η_B der Bodenbeleuchtung von Strassen für verschiedene Verhältnisse Strassenbreite b zu Lichtpunkthöhe h

Leuchten über Strassenachse

Tabelle XII

$\frac{b}{h}$	Beleuchtungs-Wirkungsgrad η_B				
	Leuchte				
	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
0,4	19,3	14,0	12,1	12,0	8,2
0,8	36,3	26,6	23,4	22,9	16,2
1,2	49,7	36,8	33,6	32,2	23,8
1,6	59,3	44,9	42,4	39,9	30,3
2,0	66,1	51,3	49,9	45,9	35,6
2,4	70,1	56,3	56,1	50,7	39,7
2,8	72,8	60,1	61,2	54,5	42,9
3,2	74,4	63,2	65,3	57,4	45,4
3,6	75,3	65,8	68,7	59,6	47,4
4,0	76,0	67,7	71,4	61,3	49,0
∞	78,9	83,6	83,5	76,3	65,0

20 m Leuchtenabstand den Einfluss von 4, statt nur von 2 Leuchten berücksichtigen, so bekäme man den gleichen Wert wie für 60 m Leuchtenabstand. Man erhält allgemein gültige Resultate, wenn man die Wirkungsgrade — und zwar die Werte für 40 m Leuchtenabstand — in Funktion des Verhältnisses b/h betrachtet, siehe Tabelle XII. Der maximale Wert des Bodenbeleuchtungswirkungsgrades einer Leuchte wird erreicht, wenn der Nutzlichtstrom gleich gross ist, wie der von der Leuchte in den untern Halbraum $0^\circ \dots 90^\circ$ ausgestrahlte Lichtstrom, siehe Tabelle II. Dies trifft zu für das Verhältnis $b/h = \infty$. Die Werte nach Tabelle XII sind in Fig. 20...24 graphisch dargestellt. Aus diesen Kurven kann für jedes beliebige Verhältnis b/h der zugehörige Wirkungsgrad abgelesen werden.

Berechnungsbeispiel 2

Für die in Beispiel 1 beschriebene Strasse soll die mittlere Bodenbeleuchtungsstärke nach der Wirkungsgradmethode berechnet werden.

$$b : h = 15 : 10 = 1,5$$

Für dieses Verhältnis werden in den Kurven Fig. 20...24 folgende Wirkungsgrade der Bodenbeleuchtung gemessen: Leuchte 1 = 57,1 %; Leuchte 2 = 42,8 %; Leuchte 3 = 40,2 %; Leuchte 4 = 38,0 % und Leuchte 5 = 28,6 %.

$$A = 15 \cdot 36 = 540 \text{ m}^2$$

Nach Formel (9) wird die mittlere Bodenbeleuchtungsstärke:

$$\text{Leuchte 1 } E_{med} = \frac{5000 \cdot 57,1}{540 \cdot 100} = 5,29 \text{ lx}$$

$$\text{Leuchte 2 } E_{med} = \frac{5000 \cdot 42,8}{540 \cdot 100} = 3,96 \text{ lx}$$

$$\text{Leuchte 3 } E_{med} = \frac{5000 \cdot 40,2}{540 \cdot 100} = 3,72 \text{ lx}$$

$$\text{Leuchte 4 } E_{med} = \frac{8000 \cdot 38,0}{540 \cdot 100} = 5,63 \text{ lx}$$

$$\text{Leuchte 5 } E_{med} = \frac{10\,000 \cdot 28,6}{540 \cdot 100} = 5,30 \text{ lx}$$

Diese Werte stimmen mit den nach der Punkt-
methode berechneten Resultaten überein.

Zur Ermittlung des Dunkel-Mittel-Gleichmässig-
keitsgrades muss die minimale Bodenbeleuchtungs-
stärke nach der Punktmethode berechnet werden.
Das nachfolgend erläuterte Verfahren gestattet dem
Projektierenden diese zeitraubende Rechnung weg-
zulassen.

Für die bereits bei der Berechnung des Wir-
kungsgrades benützten Strassenflächen bestimmt
man zunächst aus den Kurven E_B der Fig. 13...17
die minimale Beleuchtungsstärke und daraus den
Dunkel-Mittel-Gleichmässigkeitsgrad. Dabei wird
angenommen, dass die Breite der beleuchteten
Fläche sich aus der Fahrbahnbreite und zweimal
2 m Streifenbreite zusammensetzt und die Leuch-
ten über der Fahrbahnachse mit 10 m Lichtpunkt-
höhe aufgehängt seien. Der Punkt mit minimaler
Beleuchtungsstärke befindet sich am Fahrbahn-
rand in der Mitte zwischen beiden Leuchten. Die
Abstände c_I und c_{II} dieses Punktes von den Leuch-
ten L_I und L_{II} sind gleich gross; sie sind in Tabelle
XIII zusammengestellt. Die so berechneten Dunkel-

Abstände $c_I = c_{II}$ des Punktes mit minimaler Beleuchtungs-
stärke von den Leuchten L_I und L_{II}

Tabelle XIII

Breite der bel. Fläche b m	Abstände $c_I = c_{II}$				
	Leuchten-Abstand				
	$d = 20$ m	$d = 30$ m	$d = 40$ m	$d = 50$ m	$d = 60$ m
4	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00
8	10,20	15,13	20,10	25,08	30,07
12	10,77	15,52	20,40	25,32	30,27
16	11,66	16,16	20,88	25,71	30,59
20	12,81	17,00	21,54	26,25	31,05
24	14,14	18,03	22,36	26,93	31,62
28	15,62	19,21	23,32	27,73	32,31
32	17,20	20,52	24,41	28,65	33,11
36	18,87	21,93	25,61	29,68	34,00
40	20,59	23,43	26,91	30,81	34,99

Mittel-Gleichmässigkeitsgrade für alle 5 Leuchten-
typen sind in der Tabelle XIV enthalten. Man
zeichnet diese Werte als Ordinaten in Funktion
des Leuchtenabstandes d für jede Breite b und
jeden Leuchtentyp auf und verbindet sie durch
eine Kurve. Aus diesen Kurven können für die in
den Leitsätzen geforderten Dunkel-Mittel-Gleich-
mässigkeitsgrade 1 : 3, 1 : 4, 1 : 5 und 1 : 6 die
zulässigen Leuchtenabstände d abgelesen werden.
Die Resultate sind aus Tabelle XV ersichtlich.
Ersetzt man den Leuchtenabstand d durch das
Verhältnis d/b und die Breite b durch das Ver-
hältnis b/h , so erhält man allgemein gültige Zah-
len. Tabelle XVI enthält die so umgewandelten Er-
gebnisse, welche zudem in Fig. 25...29 graphisch
dargestellt sind.

Mit Hilfe dieser Kurven kann für beliebig breite
Strassen und den erforderlichen Dunkel-Mittel-

Dunkel-Mittel-Gleichmässigkeitsgrad der Bodenbeleuchtung
Lichtpunkthöhe $h = 10$ m

Tabelle XIV

Straßen- breite b m	Leuch- ten- abstand d m	Dunkel - Mittel - Gleichmässigkeitsgrad $E_{min} : E_{med}$				
		Leuchte				
		1	2	3	4	5
4	20	1 : 1,54	1 : 1,46	1 : 1,11	1 : 1,27	1 : 1,02
	30	1 : 4,01	1 : 2,24	1 : 1,49	1 : 1,93	1 : 1,56
	40	1 : 13,40	1 : 3,55	1 : 2,16	1 : 2,87	1 : 2,66
	50	1 : 28,30	1 : 5,41	1 : 3,22	1 : 7,33	1 : 4,11
	60	—	1 : 7,74	1 : 5,27	1 : 10,04	1 : 5,84
8	20	1 : 1,52	1 : 1,44	1 : 1,10	1 : 1,25	1 : 1,05
	30	1 : 3,92	1 : 2,19	1 : 1,47	1 : 1,89	1 : 1,59
	40	1 : 12,60	1 : 3,44	1 : 2,11	1 : 2,78	1 : 2,70
	50	1 : 26,70	1 : 5,15	1 : 3,16	1 : 7,03	1 : 4,17
	60	—	1 : 7,37	1 : 5,10	1 : 9,65	1 : 5,90
12	20	1 : 1,60	1 : 1,46	1 : 1,13	1 : 1,28	1 : 1,07
	30	1 : 4,03	1 : 2,13	1 : 1,48	1 : 1,85	1 : 1,68
	40	1 : 12,33	1 : 3,31	1 : 2,10	1 : 2,68	1 : 2,76
	50	1 : 25,90	1 : 4,91	1 : 3,12	1 : 6,75	1 : 4,16
	60	—	1 : 7,00	1 : 4,99	1 : 9,40	1 : 5,99
16	20	1 : 1,80	1 : 1,53	1 : 1,18	1 : 1,38	1 : 1,18
	30	1 : 4,38	1 : 2,14	1 : 1,50	1 : 1,87	1 : 1,75
	40	1 : 12,20	1 : 3,22	1 : 2,11	1 : 2,62	1 : 2,79
	50	1 : 24,80	1 : 4,71	1 : 3,09	1 : 6,60	1 : 4,15
	60	—	1 : 6,57	1 : 5,05	1 : 8,74	1 : 5,93
20	20	1 : 2,18	1 : 1,68	1 : 1,29	1 : 1,54	1 : 1,34
	30	1 : 5,10	1 : 2,22	1 : 1,58	1 : 1,95	1 : 1,92
	40	1 : 12,50	1 : 3,21	1 : 2,16	1 : 4,62	1 : 2,85
	50	1 : 25,40	1 : 4,53	1 : 3,09	1 : 6,43	1 : 4,17
	60	—	1 : 6,37	1 : 5,10	1 : 8,41	1 : 5,81
24	20	1 : 2,72	1 : 1,87	1 : 1,43	1 : 1,72	1 : 1,55
	30	1 : 6,23	1 : 2,36	1 : 1,70	1 : 2,06	1 : 2,08
	40	1 : 12,60	1 : 3,22	1 : 2,24	1 : 4,71	1 : 3,00
	50	1 : 26,60	1 : 4,46	1 : 3,18	1 : 6,46	1 : 4,17
	60	—	1 : 6,05	1 : 5,30	1 : 8,09	1 : 5,62
28	20	1 : 3,87	1 : 2,14	1 : 1,61	1 : 1,99	1 : 1,85
	30	1 : 7,85	1 : 2,56	1 : 1,84	1 : 2,23	1 : 2,34
	40	1 : 13,50	1 : 3,36	1 : 2,37	1 : 4,86	1 : 3,14
	50	1 : 27,00	1 : 4,52	1 : 3,28	1 : 6,33	1 : 4,19
	60	—	1 : 6,05	1 : 5,56	1 : 8,20	1 : 5,67
32	20	1 : 5,62	1 : 2,47	1 : 1,84	1 : 2,23	1 : 2,18
	30	1 : 9,43	1 : 2,88	1 : 2,04	1 : 2,38	1 : 2,60
	40	1 : 15,30	1 : 3,53	1 : 2,52	1 : 5,09	1 : 3,35
	50	1 : 28,30	1 : 4,55	1 : 3,47	1 : 6,45	1 : 4,22
	60	—	1 : 5,98	1 : 5,92	1 : 7,95	1 : 5,74
36	20	1 : 8,45	1 : 2,91	1 : 2,11	1 : 2,58	1 : 2,65
	30	1 : 11,20	1 : 3,10	1 : 2,27	1 : 4,60	1 : 2,93
	40	1 : 17,40	1 : 3,75	1 : 2,74	1 : 5,45	1 : 3,58
	50	1 : 30,00	1 : 4,73	1 : 3,76	1 : 6,42	1 : 4,43
	60	—	1 : 6,20	1 : 6,40	1 : 7,78	1 : 5,61
40	20	1 : 11,65	1 : 3,38	1 : 2,46	1 : 2,93	1 : 3,15
	30	1 : 13,70	1 : 3,49	1 : 2,58	1 : 5,11	1 : 3,31
	40	1 : 21,60	1 : 3,99	1 : 2,98	1 : 5,80	1 : 3,82
	50	1 : 31,60	1 : 4,90	1 : 4,27	1 : 6,72	1 : 4,60
	60	—	1 : 6,24	1 : 7,15	1 : 8,10	1 : 5,79

Gleichmässigkeitsgrad bei gegebener Lichtpunkt-
höhe h der maximale Leuchtenabstand, oder bei
gegebenen Leuchtenabstand die minimale Licht-
punkthöhe rasch ermittelt werden.

Berechnungsbeispiel 3

In Beispiel 1 wurde festgestellt, dass die
Leuchte 1 einen ungenügenden Dunkel-Mittel-
Gleichmässigkeitsgrad ergibt. Es sind zu bestimmen:

Zulässige Leuchtenabstände d
für Dunkel-Mittel-Gleichmässigkeitsgrad 1 : 3, 1 : 4, 1 : 5
und 1 : 6
Lichtpunkthöhe $h = 10$ m

Tabelle XV

Breite b m	$E_{min} : E_{med}$	Zulässige Leuchtenabstände d				
		Leuchte				
		1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
4	1 : 3	26,5	36,3	48,0	41,0	42,5
	1 : 4	29,8	42,7	54,5	42,6	49,0
	1 : 5	32,0	48,0	59,0	42,7	55,2
	1 : 6	33,5	52,7	62,5	44,0	61,0
8	1 : 3	27,0	37,0	48,6	42,0	42,3
	1 : 4	30,0	43,5	55,0	42,5	49,0
	1 : 5	32,2	49,0	59,5	42,6	55,0
	1 : 6	33,6	54,0	63,5	45,5	60,5
12	1 : 3	27,0	37,5	49,0	42,0	42,0
	1 : 4	30,0	44,5	55,5	42,1	49,0
	1 : 5	32,0	50,3	60,0	43,0	55,0
	1 : 6	33,5	55,5	64,0	47,0	60,0
16	1 : 3	25,5	38,0	49,5	41,0	41,7
	1 : 4	29,0	45,5	55,5	41,5	49,0
	1 : 5	31,5	51,6	59,8	42,0	55,0
	1 : 6	33,3	57,0	63,5	47,0	60,3
20	1 : 3	23,8	38,0	49,5	38,2	41,2
	1 : 4	27,2	46,0	55,5	39,2	48,7
	1 : 5	30,0	52,5	59,7	42,0	55,0
	1 : 6	32,0	58,0	63,0	47,5	60,7
24	1 : 3	21,0	37,5	48,5	36,5	40,0
	1 : 4	24,0	46,3	54,8	37,5	48,7
	1 : 5	27,0	53,5	59,0	41,5	56,0
	1 : 6	29,5	59,6	62,0	47,5	62,0
28	1 : 3	17,5	36,0	47,6	34,3	38,5
	1 : 4	20,5	46,0	54,2	36,0	48,0
	1 : 5	23,0	53,0	58,3	41,0	55,5
	1 : 6	25,5	59,5	61,3	48,0	62,0
32	1 : 3	12,0	32,5	46,0	32,5	36,0
	1 : 4	15,0	45,0	53,0	34,3	46,5
	1 : 5	18,0	53,0	57,5	39,5	54,7
	1 : 6	21,0	60,0	60,5	47,0	61,5
36	1 : 3	—	26,0	43,5	24,0	31,0
	1 : 4	—	43,0	51,5	27,5	45,0
	1 : 5	—	52,0	56,0	35,0	54,5
	1 : 6	6,6	58,5	59,0	46,0	62,5
40	1 : 3	—	—	40,0	21,0	—
	1 : 4	—	40,5	48,5	24,5	42,5
	1 : 5	—	51,0	53,5	27,5	53,2
	1 : 6	—	58,0	57,0	42,5	61,7

die erforderliche minimale Lichtpunkthöhe,
die Lampe,
die mittlere Bodenbeleuchtungsstärke.

Der Leuchtenabstand d beträgt 36 m, die Strassenbreite 15 m.

$$d : b = 36 : 15 = 2,40$$

Nach Kurve III der Fig. 25 wird hierfür $b/h = 1,32$ abgelesen. Die minimale Lichtpunkthöhe $h = b : 1,32 = 15 : 1,32 = 11,35$ m. Der Wirkungsgrad η_B wird nach Fig. 20 für $b/h = 1,32$ zu 53,0% bestimmt. Nach Gleichung (8) wird

$$\Phi_{Lampe} = \frac{8 \cdot 540 \cdot 100}{53,0} = 8150 \text{ lm}$$

Gewählt wird eine Glühlampe Typ S, 225 V,

Zulässige Verhältnisse Leuchtenabstand d zu Strassenbreite b
für Dunkel-Mittel-Gleichmässigkeitsgrade 1 : 3, 1 : 4, 1 : 5
und 1 : 6
Leuchten über Strassenachse

Tabelle XVI

$\frac{b}{h}$	$E_{min} : E_{med}$	Zulässige Verhältnisse $d : b$				
		Leuchte				
		1	2	3	4	5
0,4	1 : 3	6,62	9,07	12,00	10,25	10,62
	1 : 4	7,45	10,67	13,62	10,65	12,25
	1 : 5	8,00	12,00	14,75	10,67	13,80
	1 : 6	8,37	13,17	15,62	11,00	15,25
0,8	1 : 3	3,37	4,62	6,07	5,25	5,29
	1 : 4	3,75	5,44	6,87	5,31	6,12
	1 : 5	4,02	6,12	7,44	5,33	6,87
	1 : 6	4,20	6,75	7,94	5,69	7,56
1,2	1 : 3	2,25	3,08	4,08	3,50	3,50
	1 : 4	2,50	3,71	4,63	3,51	4,09
	1 : 5	2,66	4,19	5,00	3,59	4,59
	1 : 6	2,79	4,63	5,33	3,92	5,00
1,6	1 : 3	1,59	2,38	3,10	2,56	2,61
	1 : 4	1,81	2,84	3,47	2,60	3,06
	1 : 5	1,97	3,23	3,74	2,63	3,44
	1 : 6	2,08	3,56	3,97	2,94	3,80
2,0	1 : 3	1,19	1,90	2,47	1,91	2,06
	1 : 4	1,36	2,30	2,77	1,96	2,43
	1 : 5	1,50	2,62	2,98	2,10	2,75
	1 : 6	1,60	2,90	3,15	2,37	3,03
2,4	1 : 3	0,87	1,56	2,02	1,52	1,67
	1 : 4	1,00	1,93	2,28	1,56	2,03
	1 : 5	1,12	2,23	2,46	1,73	2,34
	1 : 6	1,23	2,48	2,58	1,98	2,58
2,8	1 : 3	0,62	1,29	1,70	1,23	1,37
	1 : 4	0,73	1,64	1,94	1,29	1,71
	1 : 5	0,82	1,89	2,08	1,46	1,98
	1 : 6	0,91	2,12	2,19	1,71	2,22
3,2	1 : 3	0,37	1,02	1,44	1,01	1,13
	1 : 4	0,47	1,41	1,66	1,07	1,45
	1 : 5	0,56	1,66	1,80	1,23	1,71
	1 : 6	0,66	1,88	1,89	1,47	1,92
3,6	1 : 3	—	0,72	1,21	0,67	0,86
	1 : 4	—	1,20	1,43	0,76	1,25
	1 : 5	—	1,45	1,56	0,97	1,51
	1 : 6	0,18	1,63	1,64	1,28	1,73
4,0	1 : 3	—	—	1,00	0,52	—
	1 : 4	—	1,01	1,21	0,61	1,06
	1 : 5	—	1,27	1,34	0,69	1,33
	1 : 6	—	1,45	1,42	1,06	1,54

800 Dlm, 540 W. Die mittlere Bodenbeleuchtungsstärke berechnet man nach Formel (9)

$$E_{med} = \frac{8000 \cdot 53,0}{540 \cdot 100} = 7,85 \text{ lx}$$

Berechnungsbeispiel 4

In einem offen bebauten Quartier soll eine Strasse, bestehend aus einer 6,0 m breiten Fahrbahn und einem 2,5 m breiten Trottoir beleuchtet werden. Die Leuchten sind an Stahlrohrobogenmasten von 2,0 m Ausladung und 7,5 m Lichtpunkthöhe montiert. Die Masten sollen am Strassenrande längs der Fahrbahn aufgestellt werden. Für eine Strasse mit schwachem Verkehr wird eine mittlere Bodenbeleuchtungsstärke von 3 lx empfohlen und ein

Dunkel-Mittel-Gleichmässigkeitsgrad von 1 : 6 verlangt. Es sind zu bestimmen:

- der Leuchtenabstand,
- die Lampe,
- die mittlere Bodenbeleuchtungsstärke.

Nach den Leitsätzen wird die Breite b der zu beleuchtenden Fläche = $2,5 + 6,0 + 2,0 = 10,5$ m.

$$b : h = 10,5 : 7,5 = 1,4$$

Die zulässigen Verhältnisse d/b werden auf Kurve IV der Fig. 25...29 abgelesen. Leuchte 1 = 2,40, Leuchte 2 = 4,02, Leuchte 3 = 4,58, Leuchte 4 = 3,38 und Leuchte 5 = 4,31.

Der Leuchtenabstand d darf somit maximal betragen:

Leuchte 1	$d = 10,5 \cdot 2,40 = 25,2$ m,
Leuchte 2	$d = 10,5 \cdot 4,02 = 42,2$ m,
Leuchte 3	$d = 10,5 \cdot 4,58 = 48,1$ m,
Leuchte 4	$d = 10,5 \cdot 3,38 = 35,5$ m,
Leuchte 5	$d = 10,5 \cdot 4,31 = 45,3$ m.

In Fig. 20...24 werden für den Beleuchtungswirkungsgrad η_B folgende Werte abgelesen: Leuchte 1 = 55,0 ‰, Leuchte 2 = 41,0 ‰, Leuchte 3 = 38,1 ‰, Leuchte 4 = 36,1 ‰ und Leuchte 5 = 27,3 ‰. Diese Resultate werden um 2 ‰ reduziert, weil der Leuchtenfusspunkt 1,25 m von der Achse der beleuchteten Fläche entfernt ist. Den nötigen Lampenlichtstrom ermittelt man nach Gleichung: (8)

$$\text{Leuchte 1 } \Phi_{Lampe} = \frac{3 \cdot 25,2 \cdot 10,5 \cdot 100}{53,0} = 1499 \text{ lm (150 Dlm),}$$

$$\text{Leuchte 2 } \Phi_{Lampe} = \frac{3 \cdot 42,2 \cdot 10,5 \cdot 100}{39,0} = 3410 \text{ lm (300 Dlm),}$$

$$\text{Leuchte 3 } \Phi_{Lampe} = \frac{3 \cdot 48,1 \cdot 10,5 \cdot 100}{36,1} = 4200 \text{ lm (300 Dlm),}$$

$$\text{Leuchte 4 } \Phi_{Lampe} = \frac{3 \cdot 35,5 \cdot 10,5 \cdot 100}{34,1} = 3280 \text{ lm (300 Dlm),}$$

$$\text{Leuchte 5 } \Phi_{Lampe} = \frac{3 \cdot 45,3 \cdot 10,5 \cdot 100}{25,3} = 5640 \text{ lm (500 Dlm).}$$

Die Werte in den Klammern bezeichnen den Lichtstrom der gewählten Lampen. Die durch diese Lampen erzeugte mittlere Bodenbeleuchtungsstärke wird nach Formel (9) berechnet.

$$\text{Leuchte 1 } E_{med} = \frac{1500 \cdot 53,0}{25,2 \cdot 10,5 \cdot 100} = 3,00 \text{ lx}$$

$$\text{Leuchte 2 } E_{med} = \frac{3000 \cdot 39,0}{42,2 \cdot 10,5 \cdot 100} = 2,64 \text{ lx}$$

$$\text{Leuchte 3 } E_{med} = \frac{3000 \cdot 36,1}{48,1 \cdot 10,5 \cdot 100} = 2,14 \text{ lx}$$

$$\text{Leuchte 4 } E_{med} = \frac{3000 \cdot 34,1}{35,5 \cdot 10,5 \cdot 100} = 2,74 \text{ lx}$$

$$\text{Leuchte 5 } E_{med} = \frac{5000 \cdot 25,3}{45,3 \cdot 10,5 \cdot 100} = 2,66 \text{ lx}$$

Berechnungsbeispiel 5

Eine Strasse, bestehend aus einer Fahrbahn von 18 m Breite und 2 Trottoirs zu 5 m, mit starkem Verkehr soll beleuchtet werden. Die mittlere Bodenbeleuchtungsstärke soll 15 lx betragen, der Dunkel - Mittel - Gleichmässigkeitsgrad mindestens 1 : 4. Es sind für alle 5 Leuchtentypen zu ermitteln:

- die Lampe,
- die Lichtpunkthöhe,
- der Leuchtenabstand,
- der Nutzlichtstrom,
- die Nutzlichtausbeute,

die aufgenommene Leistung auf 1 km Strassenlänge, die aufgenommene Leistung auf 1 m² Strassenfläche, der erzeugte Lichtstrom auf 1 km Strassenlänge, der erzeugte Lichtstrom auf 1 m² Strassenfläche.

Zunächst berechnet man den nötigen Lampenlichtstrom. Da der Leuchtenabstand und die Lichtpunkthöhe noch unbekannt sind, können die beleuchtete Fläche A und der Wirkungsgrad η_B nicht ermittelt werden. Der Leuchtenabstand wird ca. 30...40 m betragen. Man setzt in Gleichung 8 den ungünstigsten Wert 40 m und dafür für jeden Leuchtentyp den günstigsten Wirkungsgrad (für $b/h = 4$) ein, und wählt den diesem Resultat am nächsten kommenden handelsüblichen Lampentyp. Hierauf nimmt man für die Lichtpunkthöhe einen Wert an und berechnet den Leuchtenabstand nach der Wirkungsgradmethode und nach dem Gleichmässigkeitsgrad. Der richtige Wert h ist gefunden, wenn beide Rechnungen den gleichen Leuchtenabstand ergeben.

Leuchte 1.

$$\Phi_{Lampe} = \frac{15 \cdot 28 \cdot 40 \cdot 100}{76,0} = 22 \text{ 100 lm}$$

Gewählt: Glühlampe Typ S, 225 V, 2000 Dlm, 1250 W, 16,00 lm/W.

Lichtpunkthöhe $h = 12,7$ m.

$$b : h = 28,0 : 12,7 = 2,20$$

Aus Kurve II, Fig. 25, ermittelt man hierfür

$$d : b = 1,17.$$

Daraus wird $d_{max} = 1,17 \cdot 28,0 = 32,8$ m.

Der Beleuchtungswirkungsgrad beträgt nach Fig. 20 68,5 ‰.

Nach Gleichung 10 wird $d = \frac{20 \text{ 000} \cdot 68,5}{15 \cdot 28 \cdot 100} = 32,6$ m.

Der Nutzlichtstrom $\Phi_N = 15 \cdot 28,0 \cdot 32,6 = 13 \text{ 700 lm.}$

Die Nutzlichtausbeute $\eta_N = \frac{13 \text{ 700}}{1250} = 10,95 \text{ lm/W.}$

Die aufgenommene Leistung auf 1 km Strassenlänge = 38,3 kW.

Die aufgenommene Leistung auf 1 m² Strassenfläche = 1,37 W.

Der erzeugte Lichtstrom auf 1 km Strassenlänge = 61 300 Dlm.

Der erzeugte Lichtstrom auf 1 m² Strassenfläche = 21,90 lm.

Leuchte 2.

$$\Phi_{Lampe} = \frac{15 \cdot 28 \cdot 40 \cdot 100}{67,7} = 24 \text{ 800 lm}$$

Gewählt: 2 Glühlampen Typ S, 225 V, 1250 Dlm, 805 W, 15,53 lm/W. 2 Leuchten pro Abspannseil, mit 5 m Abstand von der Strassenachse. Mit Rücksicht auf die Leuchtdichte muss der Leuchtdurchmesser 650 mm betragen.

Lichtpunkthöhe $h = 8,5$ m.

$$b : h = 28,0 : 8,5 = 3,29$$

Aus Kurve II, Fig. 26, ermittelt man hierfür

$$d : b = 1,36.$$

Daraus wird $d_{max} = 1,36 \cdot 28,0 = 38,1$ m.

Der Beleuchtungswirkungsgrad beträgt nach Fig. 21 63,7 ‰.

Nach Gleichung 10 wird $d = \frac{25\,000 \cdot 63,7}{15 \cdot 28 \cdot 100} = 37,9$ m.

Der Nutzlichtstrom $\Phi_N = 15 \cdot 14,0 \cdot 37,9 = 7960$ lm.

Die Nutzlichtausbeute $\eta_N = \frac{7960}{805} = 9,90$ lm/W.

Die aufgenommene Leistung auf 1 km Strassenlänge = 42,5 kW.

Die aufgenommene Leistung auf 1 m² Strassenfläche = 1,52 W.

Der erzeugte Lichtstrom auf 1 km Strassenlänge = 65 950 Dlm.

Der erzeugte Lichtstrom auf 1 m² Strassenfläche = 23,55 lm.

Leuchte 3.

$$\Phi_{Lampe} = \frac{15 \cdot 28 \cdot 40 \cdot 100}{71,4} = 23\,500 \text{ lm}$$

Gewählt: 2 Glühlampen Typ S, 225 V, 1250 Dlm, 805 W, 15,53 lm/W. 2 Leuchten pro Abspannseil, mit 5 m Abstand von der Strassenachse. Mit Rücksicht auf die Leuchtdichte muss der Leuchtdurchmesser 640 mm betragen.

Lichtpunkthöhe $h = 7,9$ m.

$$b : h = 28,0 : 7,9 = 3,55$$

Aus Kurve II, Fig. 27, ermittelt man hierfür $d : b = 1,45$.

Daraus wird $d_{max} = 1,45 \cdot 28,0 = 40,6$ m.

Der Beleuchtungswirkungsgrad beträgt nach Fig. 22 68,2 %.

Nach Gleichung 10 wird $d = \frac{25\,000 \cdot 68,2}{15 \cdot 28 \cdot 100} = 40,6$ m.

Der Nutzlichtstrom $\Phi_N = 15 \cdot 14,0 \cdot 40,6 = 8530$ lm.

Die Nutzlichtausbeute $\eta_N = \frac{8530}{805} = 10,59$ lm/W.

Die aufgenommene Leistung auf 1 km Strassenlänge = 39,6 kW.

Die aufgenommene Leistung auf 1 m² Strassenfläche = 1,42 W.

Der erzeugte Lichtstrom auf 1 km Strassenlänge = 61 580 Dlm.

Der erzeugte Lichtstrom auf 1 m² Strassenfläche = 22,00 lm.

Leuchte 4.

$$\Phi_{Lampe} = \frac{15 \cdot 28 \cdot 40 \cdot 100}{61,3} = 27\,400 \text{ lm}$$

Gewählt: 2 Glühlampen Typ S, 225 V, 1250 Dlm, 805 W, 15,53 lm/W. 2 Leuchten pro Abspannseil, mit 5 m Abstand von der Strassenachse.

Lichtpunkthöhe $h = 9,3$ m.

$$b : h = 28,0 : 9,3 = 3,01$$

Aus Kurve II, Fig. 28, ermittelt man hierfür $d : b = 1,19$.

Daraus wird $d_{max} = 1,19 \cdot 28,0 = 33,4$ m.

Der Beleuchtungswirkungsgrad beträgt nach Fig. 23 55,9 %.

Nach Gleichung 10 wird $d = \frac{25\,000 \cdot 55,9}{15 \cdot 28 \cdot 100} = 33,3$ m.

Der Nutzlichtstrom $\Phi_N = 15 \cdot 14,0 \cdot 33,3 = 6990$ lm.

Die Nutzlichtausbeute $\eta_N = \frac{6990}{805} = 8,69$ lm/W.

Die aufgenommene Leistung auf 1 km Strassenlänge = 48,3 kW.

Die aufgenommene Leistung auf 1 m² Strassenfläche = 1,73 W.

Der erzeugte Lichtstrom auf 1 km Strassenlänge = 75 050 Dlm.

Der erzeugte Lichtstrom auf 1 m² Strassenfläche = 26,85 lm.

Leuchte 5.

$$\Phi_{Lampe} = \frac{15 \cdot 28 \cdot 40 \cdot 100}{49,0} = 34\,300 \text{ lm}$$

Gewählt: 2 Quecksilberdampf Lampen, 220 V, 2000 Dlm, 475 W, 42,10 lm/W. 2 Leuchten pro Abspannseil, mit 5 m Abstand von der Strassenachse.

Lichtpunkthöhe $h = 9,1$ m.

$$b : h = 28,0 : 9,1 = 3,08$$

Aus Kurve II, Fig. 29, ermittelt man hierfür $d : b = 1,53$.

Daraus wird $d_{max} = 1,53 \cdot 28,0 = 42,8$ m.

Der Beleuchtungswirkungsgrad beträgt nach Fig. 24 44,6 %.

Nach Gleichung 10 wird $d = \frac{40\,000 \cdot 44,6}{15 \cdot 28 \cdot 100} = 42,5$ m.

Der Nutzlichtstrom $\Phi_N = 15 \cdot 14,0 \cdot 42,5 = 8920$ lm.

Die Nutzlichtausbeute $\eta_N = \frac{8920}{475} = 18,79$ lm/W.

Die aufgenommene Leistung auf 1 km Strassenlänge = 22,35 kW.

Die aufgenommene Leistung auf 1 m² Strassenfläche = 0,80 W.

Der erzeugte Lichtstrom auf 1 km Strassenlänge = 94 100 Dlm.

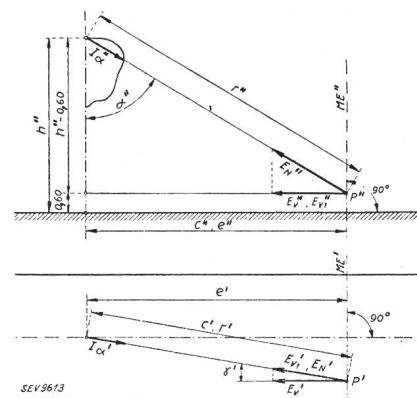
Der erzeugte Lichtstrom auf 1 m² Strassenfläche = 33,60 lm.

Berechnung der Vertikalbeleuchtungsstärke

Die Vertikalbeleuchtungsstärke wird erzeugt durch den direkt von der Leuchte stammenden und den von der Bodenfläche reflektierten Lichtstrom. Das Reflexionsvermögen der Strasse ist abhängig vom Belag, dem Zustand dessen Oberfläche und dem Lichteinfallwinkel. Es kann deshalb nur der direkt erzeugte Teil der Vertikalbeleuchtungsstärke berechnet werden. Die gemessene Vertikalbeleuchtungsstärke wird somit immer etwas grösser sein als die berechnete. Der Unterschied ist jedoch erfahrungsgemäss so klein, dass er vernachlässigt werden darf.

Die Berechnung erfolgt nach der *Punktmethode* (Fig. 30). Es wird angenommen, dass die Oberflächen der Fahrbahn, Trottoirs und Fahrradwege eine einzige horizontale Ebene bilden. Die Einteilung dieser Fläche erfolgt gleich wie zur Bestimmung der Bodenbeleuchtungsstärke. Die Punkte,

für die man die Vertikalbeleuchtungsstärke berechnet, befinden sich 60 cm senkrecht über den Mittelpunkten der Rechtecke. Die Vertikalbeleuchtungs-



$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{c}{h-0,60} \\ \cos \gamma &= \frac{e}{c} \\ E_V &= E_{V1} \cdot \cos \gamma \\ E_{V1} &= E_N \cdot \sin \alpha \\ E_N &= \frac{I_\alpha}{r^2} \\ E_{V1} &= I_\alpha \cdot \frac{\sin \alpha}{r^2} \quad (11) \\ E_V &= I_\alpha \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos \gamma}{r^2} \quad (12) \end{aligned}$$

Fig. 30.

Berechnung der Vertikalbeleuchtungsstärke E_V nach der Punkt-Methode.

- I_α Lichtstärke im Ausstrahlungswinkel α (in b).
- E_V Vertikal-Beleuchtungsstärke (in lx).
- E_N Normal-Beleuchtungsstärke (in lx).
- h Lichtpunkthöhe (in m).
- c Abstand des Punktes P vom Fusspunkt der Leuchte (in m).
- r radialer Abstand des Punktes P vom Lichtpunkt der Leuchte (in m).
- e Abstand der Meße Ebene vom Fusspunkt der Leuchte (in m).
- α Ausstrahlungswinkel (in Grad).
- ME Meße Ebene der Vertikalbeleuchtung.

Berechnungsbeispiel 6

Für die in Beispiel 1 beschriebene Strasse und die dabei ermittelten Lampen sind zu bestimmen:

die mittlere, maximale und minimale Vertikal-Beleuchtungsstärke, die Gleichmässigkeitsgrade.

Zur Vereinfachung der Rechnung wird zunächst für alle 5 Leuchten die Vertikalbeleuchtungsstärke E_{V1} in Abhängigkeit vom Fusspunkt Abstand c ermittelt. Für verschiedene Abstände c werden die Ausstrahlungswinkel α bestimmt:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{c}{h - 0,60}$$

Hernach wird für jeden Abstand der Wert $\frac{\sin \alpha}{r^2}$ ermittelt, $r^2 = (h - 0,60)^2 + c^2$. Durch Multiplikation dieses Wertes mit der aus der Lichtverteilungskurve der Leuchte für den zugehörigen Ausstrahlungswinkel α abgelesenen Lichtstärke I_α erhält man die Vertikalbeleuchtungsstärke E_{V1} . Die Ergebnisse sind in der Tabelle XVII enthalten und in Fig. 13...17 als Kurve E_{V1} eingezeichnet.

In den maßstäblichen Situationsplan der Strasse zeichnet man die Leuchten ein und teilt im vor-

**Berechnung der Vertikalbeleuchtungsstärke E_{V1} , bezogen auf einen Lampenlichtstrom Φ_{Lampe} von 1000 lm
Lichtpunkthöhe $h = 10$ m**

Tabelle XVII

Abstand c m	α 0	$\frac{\sin \alpha}{r^2}$	Lichtstärke I_α b					Vertikalbeleuchtungsstärke E_{V1} lx				
			Leuchte					Leuchte				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0	0°	0,000000	335	226	140	170	68	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	6° 4'	0,001135	333	218	140	168	73	0,378	0,248	0,159	0,191	0,083
2	12° 1'	0,002165	331	211	140	166	80	0,718	0,457	0,304	0,360	0,173
3	17° 42'	0,003005	327	211	140	165	91	0,984	0,635	0,421	0,496	0,274
4	23° 3'	0,003620	315	204	143	163	103	1,140	0,739	0,518	0,590	0,373
5	28° 1'	0,004009	300	189	148	162	117	1,202	0,759	0,594	0,650	0,470
6	32° 33'	0,004199	285	179	154	161	124	1,196	0,752	0,647	0,677	0,521
7	36° 40'	0,004231	265	171	160	161	131	1,120	0,724	0,677	0,681	0,555
8	40° 24'	0,004150	246	165	167	160	137	1,020	0,685	0,693	0,664	0,569
9	43° 45'	0,003993	225	161	174	158	138	0,899	0,643	0,695	0,631	0,551
10	46° 46'	0,003792	200	159	181	157	137	0,758	0,603	0,686	0,595	0,519
12	51° 56'	0,003334	157	154	188	154	132	0,523	0,513	0,627	0,513	0,440
14	56° 7'	0,002881	117	149	193	151	125	0,337	0,429	0,556	0,435	0,360
16	59° 34'	0,002476	84	144	198	149	119	0,208	0,356	0,490	0,369	0,294
18	62° 26'	0,002130	62	139	198	147	112	0,132	0,296	0,422	0,313	0,238
20	64° 50'	0,001839	53	134	195	147	107	0,098	0,246	0,359	0,165	0,197
24	68° 37'	0,001394	33	127	182	142	98	0,046	0,177	0,254	0,114	0,137
28	71° 26'	0,001082	22	119	152	137	93	0,024	0,129	0,165	0,086	0,101
32	73° 38'	0,000860	18	114	110	127	89	0,015	0,098	0,095	0,066	0,077
36	75° 22'	0,000697	15	108	82	117	86	0,010	0,075	0,057	0,053	0,060
40	76° 47'	0,000575	11	103	65	110	84	0,006	0,059	0,037	0,043	0,048
45	78° 12'	0,000462	9	99	49	107	81	0,004	0,046	0,023	0,034	0,037
50	79° 21'	0,000379	6	95	36	103	79	0,002	0,036	0,014	0,028	0,030
60	81° 0'	0,000267	4	84	25	97	76	0,001	0,022	0,007	0,019	0,020
80	83° 18'	0,000153	3	66	19	87	72	—	0,010	0,003	0,011	0,011
100	84° 38'	0,000099	3	53	15	80	70	—	0,005	0,001	0,007	0,007
120	85° 31'	0,000069	2	41	13	73	68	—	0,003	0,001	0,005	0,005
150	86° 25'	0,000044	2	33	10	65	66	—	0,001	—	0,003	0,003

stärke eines Punktes ist gleich der Summe der Einzelbeleuchtungsstärken, die von jeder benachbarten Leuchte erzeugt werden. Die mittlere Vertikalbeleuchtungsstärke ist der arithmetische Mittelwert der Vertikalbeleuchtungsstärken aller Punkte.

liegenden Falle die Hälfte der Fläche zwischen 2 Leuchten in 36 Rechtecke ein (Fig. 31). Zu berücksichtigen sind die Leuchten L_I und L_{II} . Die Abstände c_I und c_{II} der 36 Punkte vom Fusspunkt der beiden Leuchten sind in Tabelle XVIII zusammengestellt.

Berechnung der Vertikalbeleuchtungsstärken E_{v1} und E_v bezogen auf einen Lampenlichtstrom Φ_{Lampe} von 1000 lm

Tabelle XIX.

Punkt Nr.	$\cos \gamma_I$ $\frac{e_I}{c_I}$	$\cos \gamma_{II}$ $\frac{e_{II}}{c_{II}}$	Leuchte 1					Leuchte 2					Leuchte 3					Leuchte 4					Leuchte 5				
			L_I		L_{II}		$L_I + L_{II}$	L_I		L_{II}		$L_I + L_{II}$	L_I		L_{II}		$L_I + L_{II}$	L_I		L_{II}		$L_I + L_{II}$	L_I		L_{II}		$L_I + L_{II}$
			E_{v1} lx	E_v lx	E_{v1} lx	E_v lx	E_v lx	E_{v1} lx	E_v lx	E_{v1} lx	E_v lx	E_v lx	E_{v1} lx	E_v lx	E_{v1} lx	E_v lx	E_v lx	E_{v1} lx	E_v lx	E_{v1} lx	E_v lx	E_v lx	E_{v1} lx	E_v lx	E_{v1} lx	E_v lx	E_v lx
1	0,233	0,985	1,162	0,271	0,008	0,008	0,279	0,742	0,173	0,066	0,065	0,238	0,661	0,154	0,045	0,044	0,198	0,681	0,159	0,047	0,046	0,205	0,540	0,126	0,053	0,052	0,178
2	0,585	0,988	1,050	0,614	0,006	0,006	0,620	0,699	0,409	0,056	0,055	0,464	0,690	0,403	0,034	0,034	0,437	0,670	0,392	0,041	0,040	0,432	0,567	0,332	0,045	0,044	0,376
3	0,769	0,989	0,790	0,607	0,004	0,004	0,611	0,612	0,471	0,048	0,047	0,518	0,689	0,530	0,025	0,025	0,555	0,603	0,464	0,035	0,035	0,499	0,528	0,406	0,039	0,039	0,445
4	0,859	0,991	0,510	0,438	0,003	0,003	0,441	0,503	0,432	0,042	0,042	0,474	0,619	0,532	0,019	0,019	0,551	0,503	0,432	0,032	0,032	0,464	0,430	0,370	0,034	0,034	0,404
5	0,908	0,993	0,270	0,245	0,002	0,002	0,247	0,393	0,357	0,036	0,036	0,393	0,525	0,477	0,014	0,014	0,491	0,402	0,365	0,028	0,028	0,393	0,330	0,300	0,030	0,030	0,330
6	0,935	0,994	0,145	0,136	0,002	0,002	0,138	0,305	0,285	0,031	0,031	0,316	0,432	0,404	0,011	0,011	0,415	0,323	0,302	0,025	0,025	0,327	0,245	0,229	0,027	0,027	0,256
7	0,953	0,994	0,087	0,083	0,001	0,001	0,084	0,237	0,226	0,027	0,027	0,253	0,346	0,330	0,009	0,009	0,339	0,157	0,150	0,022	0,022	0,172	0,188	0,179	0,024	0,024	0,203
8	0,965	0,995	0,052	0,050	0,001	0,001	0,051	0,187	0,180	0,023	0,023	0,203	0,270	0,260	0,007	0,007	0,267	0,120	0,116	0,020	0,020	0,136	0,145	0,140	0,021	0,021	0,161
9	0,971	0,995	0,031	0,030	0,001	0,001	0,031	0,148	0,144	0,020	0,020	0,164	0,198	0,192	0,006	0,006	0,198	0,097	0,094	0,017	0,017	0,111	0,114	0,111	0,018	0,018	0,129
10	0,977	0,996	0,021	0,021	—	—	0,021	0,119	0,116	0,017	0,017	0,133	0,142	0,139	0,006	0,006	0,145	0,079	0,077	0,015	0,015	0,092	0,093	0,091	0,016	0,016	0,107
11	0,982	0,996	0,015	0,015	—	—	0,015	0,097	0,095	0,015	0,015	0,110	0,093	0,091	0,005	0,005	0,096	0,066	0,065	0,014	0,014	0,079	0,076	0,075	0,014	0,014	0,089
12	0,984	0,996	0,011	0,011	—	—	0,011	0,079	0,078	0,013	0,013	0,091	0,064	0,063	0,005	0,005	0,068	0,056	0,055	0,012	0,012	0,067	0,064	0,063	0,013	0,013	0,076
13	0,372	0,995	1,142	0,425	0,008	0,008	0,433	0,740	0,275	0,067	0,067	0,342	0,521	0,194	0,046	0,046	0,240	0,592	0,220	0,048	0,048	0,268	0,380	0,141	0,054	0,054	0,195
14	0,767	0,995	1,200	0,920	0,006	0,006	0,926	0,753	0,578	0,057	0,057	0,635	0,640	0,491	0,035	0,035	0,526	0,674	0,517	0,042	0,042	0,559	0,518	0,398	0,046	0,046	0,444
15	0,894	0,996	0,972	0,870	0,004	0,004	0,874	0,670	0,599	0,049	0,049	0,648	0,694	0,620	0,026	0,026	0,646	0,651	0,582	0,036	0,036	0,618	0,568	0,508	0,039	0,039	0,547
16	0,942	0,997	0,617	0,581	0,003	0,003	0,584	0,552	0,520	0,042	0,042	0,562	0,652	0,615	0,019	0,019	0,634	0,549	0,517	0,032	0,032	0,549	0,474	0,446	0,035	0,035	0,481
17	0,963	0,997	0,337	0,324	0,002	0,002	0,326	0,428	0,412	0,037	0,037	0,449	0,554	0,533	0,015	0,015	0,548	0,434	0,418	0,028	0,028	0,446	0,360	0,347	0,030	0,030	0,377
18	0,975	0,997	0,168	0,164	0,002	0,002	0,166	0,330	0,322	0,032	0,032	0,354	0,457	0,446	0,011	0,011	0,457	0,341	0,332	0,025	0,025	0,357	0,264	0,258	0,027	0,027	0,285
19	0,982	0,997	0,097	0,095	0,001	0,001	0,096	0,250	0,246	0,027	0,027	0,273	0,362	0,356	0,009	0,009	0,365	0,167	0,164	0,022	0,022	0,186	0,199	0,195	0,024	0,024	0,219
20	0,986	0,998	0,057	0,056	0,001	0,001	0,057	0,195	0,192	0,023	0,023	0,215	0,282	0,278	0,007	0,007	0,285	0,126	0,124	0,020	0,020	0,144	0,151	0,149	0,021	0,021	0,170
21	0,990	0,998	0,034	0,034	0,001	0,001	0,035	0,154	0,151	0,020	0,020	0,171	0,210	0,208	0,006	0,006	0,214	0,100	0,099	0,018	0,018	0,117	0,118	0,117	0,018	0,018	0,135
22	0,992	0,998	0,022	0,022	—	—	0,022	0,122	0,121	0,017	0,017	0,138	0,150	0,149	0,006	0,006	0,155	0,081	0,080	0,016	0,016	0,096	0,096	0,095	0,016	0,016	0,111
23	0,993	0,998	0,015	0,015	—	—	0,015	0,099	0,098	0,015	0,015	0,113	0,099	0,098	0,005	0,005	0,103	0,067	0,066	0,014	0,014	0,080	0,078	0,077	0,014	0,014	0,091
24	0,995	0,999	0,011	0,011	—	—	0,011	0,081	0,081	0,013	0,013	0,094	0,066	0,066	0,005	0,005	0,071	0,057	0,057	0,013	0,013	0,070	0,065	0,065	0,013	0,013	0,078
25	0,770	1,000	0,700	0,539	0,008	0,008	0,547	0,450	0,346	0,068	0,068	0,414	0,298	0,229	0,048	0,048	0,277	0,352	0,271	0,049	0,049	0,320	0,170	0,131	0,055	0,055	0,186
26	0,964	1,000	1,190	1,148	0,006	0,006	1,154	0,758	0,731	0,057	0,057	0,788	0,570	0,550	0,035	0,035	0,585	0,634	0,611	0,042	0,042	0,653	0,442	0,426	0,047	0,047	0,473
27	0,987	1,000	1,060	1,046	0,004	0,004	1,050	0,701	0,692	0,049	0,049	0,741	0,689	0,680	0,026	0,026	0,706	0,672	0,664	0,036	0,036	0,700	0,565	0,558	0,040	0,040	0,598
28	0,994	1,000	0,685	0,681	0,003	0,003	0,684	0,579	0,575	0,042	0,042	0,617	0,671	0,667	0,020	0,020	0,687	0,571	0,568	0,032	0,032	0,600	0,497	0,494	0,035	0,035	0,529
29	0,996	1,000	0,374	0,372	0,002	0,002	0,374	0,445	0,443	0,037	0,037	0,480	0,571	0,569	0,015	0,015	0,584	0,451	0,449	0,029	0,029	0,478	0,378	0,376	0,031	0,031	0,407
30	0,997	1,000	0,183	0,182	0,002	0,002	0,184	0,339	0,338	0,032	0,032	0,370	0,470	0,469	0,011	0,011	0,480	0,351	0,350	0,025	0,025	0,375	0,277	0,276	0,027	0,027	0,303
31	0,998	1,000	0,102	0,102	0,001	0,001	0,103	0,258	0,258	0,028	0,028	0,286	0,371	0,370	0,009	0,009	0,379	0,173	0,173	0,023	0,023	0,196	0,205	0,205	0,024	0,024	0,229
32	0,999	1,000	0,060	0,060	0,001	0,001	0,061	0,200	0,200	0,024	0,024	0,224	0,290	0,290	0,007	0,007	0,297	0,129	0,129	0,020	0,020	0,149	0,155	0,155	0,021	0,021	0,176
33	0,999	1,000	0,035	0,035	0,001	0,001	0,036	0,157	0,157	0,020	0,020	0,177	0,214	0,214	0,006	0,006	0,220	0,102	0,102	0,018	0,018	0,120	0,120	0,120	0,019	0,019	0,139
34	1,000	1,000	0,022	0,022	—	—	0,022	0,124	0,124	0,017	0,017	0,141	0,154	0,154	0,006	0,006	0,160	0,083	0,083	0,016	0,016	0,099	0,097	0,097	0,016	0,016	0,113
35	1,000	1,000	0,016	0,016	—	—	0,016	0,101	0,101	0,015	0,015	0,116	0,102	0,102	0,005	0,005	0,107	0,068	0,068	0,014	0,014	0,082	0,079	0,079	0,014	0,014	0,093
36	1,000	1,000	0,011	0,011	—	—	0,011	0,082	0,082	0,013	0,013	0,095	0,068	0,068	0,005	0,005	0,073	0,057	0,057	0,013	0,013	0,070	0,065	0,065	0,013	0,013	0,078
<i>E_{med}</i>							10,336					11,800					12,559					10,309					9,211
							0,287					0,328					0,349					0,286					0,256
<i>E_{max}</i>	1,000	1,000	1,208	1,208	0,006	0,006	1,214	0,760	0,760	0,055	0,055	0,815	0,696	0,696	0,024	0,024	0,720	0,681	0,681	0,037	0,037	0,718	0,570	0,570	0,038	0,038	0,608
<i>E_{min}</i>	0,994	0,998	0,010	0,010	—	—	0,010	0,074	0,074	0,012	0,012	0,086	0,055	0,055	0,005	0,005	0,060	0,052	0,052	0,012	0,012	0,064	0,059	0,059	0,012	0,012	0,071

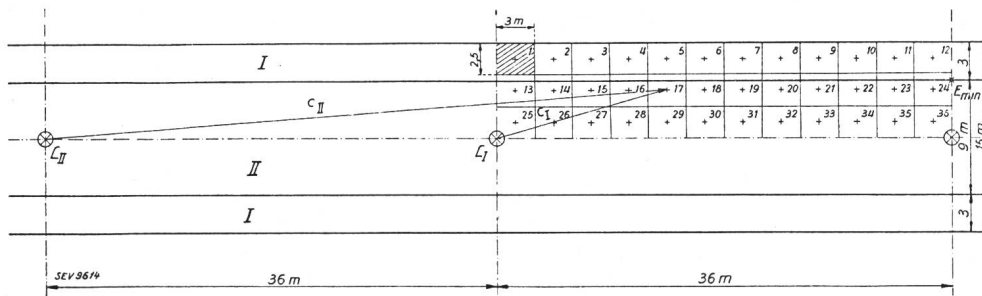


Fig. 31.
Situationsplan der Strasse mit Punkteinteilung für die Berechnung der Vertikalbeleuchtungsstärken.
I Trottoir. II Fahrbahn.

Abstände c_I und c_{II} der Punkte vom Fusspunkt der Leuchten L_I und L_{II} (Fig. 31)

Tabelle XVIII

Punkt Nr.	c_I m	c_{II} m	Punkt Nr.	c_I m	c_{II} m	Punkt Nr.	c_I m	c_{II} m	
1	6,43	38,02	13	4,04	37,69	25	1,95	37,52	
2	7,70	40,98	14	5,86	40,67	26	4,67	40,52	
3	9,76	43,95	15	8,39	43,66	27	7,60	43,52	
4	12,22	46,92	16	11,15	46,65	28	10,57	46,52	
5	14,88	49,89	17	14,01	49,64	29	13,56	49,52	
6	17,64	52,87	18	16,92	52,63	30	16,55	52,51	
7	20,48	55,85	19	19,86	55,63	31	19,54	55,51	
8	23,35	58,83	20	22,81	58,62	32	22,53	58,51	
9	26,25	61,82	21	25,77	61,61	33	25,53	61,51	
10	29,18	64,80	22	28,75	64,61	34	28,53	64,51	
11	32,11	67,79	23	31,72	67,60	35	31,52	67,51	
12	35,06	70,78	24	34,70	70,60	36	34,52	70,51	
Leuchten 1,2,3,4 u. 5		Leuchte 2				Leuchte 4			
E_{min}	36,27	72,14	E_{max}	5,20	41,20	E_{max}	6,80	42,80	
Leuchte 1		Leuchte 3				Leuchte 5			
E_{max}	5,35	41,85	E_{max}	8,60	44,60	E_{max}	8,20	44,20	

Die Tabelle enthält ferner die Abstände der Punkte mit minimaler und maximaler Vertikalbeleuchtungsstärke. Die Punkte mit maximaler Beleuchtungsstärke liegen über der Strassenachse. Aus den Kurven E_{v1} können für diese Abstände die zuge-

hörigen Beleuchtungsstärken entnommen werden. Durch Multiplikation dieser Werte mit $\cos \gamma = c/c$ erhält man die Vertikalbeleuchtungsstärke E_v . In Tabelle XIX sind der Rechnungsgang und die Ergebnisse übersichtlich dargestellt. Die Werte der Tabelle XIX entsprechen einem Lampenlichtstrom von 1000 lm, sie müssen auf den effektiven Lampenlichtstrom umgerechnet werden, was die Werte nach Tabelle XX gibt.

Tabelle XX

Vertikal- Beleuchtung	Leuchte				
	1	2	3	4	5
Lampe	500 Dlm	500 Dlm	500 Dlm	800 Dlm	1000 Dlm
E_{med}	1,43 lx	1,64 lx	1,74 lx	2,29 lx	2,56 lx
E_{max}	6,07 lx	4,07 lx	3,60 lx	5,74 lx	6,08 lx
E_{min}	0,05 lx	0,43 lx	0,30 lx	0,51 lx	0,71 lx
$E_{min} : E_{med}$	1 : 28,60	1 : 3,82	1 : 5,80	1 : 4,48	1 : 3,61
$E_{min} : E_{max}$	1 : 121,40	1 : 9,47	1 : 12,00	1 : 11,23	1 : 8,56
$E_{Bmed} : E_{vmed}$	1 : 0,269	1 : 0,413	1 : 0,468	1 : 0,407	1 : 0,482

Die mittlere Vertikalbeleuchtungsstärke ist für alle 5 Leuchten kleiner als die mittlere Bodenbeleuchtungsstärke. Die Anlagen entsprechen somit den Leitsätzen in dieser Beziehung. Ein Vergleich zwischen Tabelle VIII und XIX zeigt, dass die Vertikalbeleuchtungsstärke an einigen wenigen Punkten grösser ist als die Bodenbeleuchtungsstärke.

Demonstrationsanlage für Fernverkehrstrassenbeleuchtung

Vom Sekretariat des SBK (W. Bänninger), Zürich.

628.971.6

Die Demonstrationsanlage des Schweiz. Beleuchtungskomitees an der Schweizerischen Landesausstellung 1939 Zürich zeigte, dass nur die ortsfeste Beleuchtung das Blendungsproblem im nächtlichen Strassenverkehr lösen kann. Dabei ist ein heller Strassenbelag nötig. Die Demonstrationsanlage wird beschrieben.

L'installation de démonstration du Comité Suisse de l'Éclairage présentée à l'Exposition Nationale Suisse de 1939, à Zurich, a montré qu'un éclairage fixe est seul capable de résoudre le problème de l'éblouissement que pose le trafic routier nocturne. D'autre part, le revêtement de la chaussée doit être de couleur claire. L'auteur décrit l'installation de démonstration.

Der vorliegende Bericht ist keineswegs aktuell. Unsere Landstrassen haben infolge der radikalen Einschränkung des Brennstoffverbrauches wieder ein recht idyllisches Gesicht bekommen. Man darf aber die Frage der Fernverkehrstrassenbeleuchtung auch jetzt nicht ruhen lassen. Wir müssen uns rüsten, um in den kommenden Zeiten des wiedererstehenden Automobilverkehrs zur Verbesserung der Beleuchtung bereit zu sein.

Im Jahre 1937 setzte das Schweizerische Beleuchtungskomitee (SBK) eine Subkommission für Fernverkehrstrassenbeleuchtung ein. Anlass dazu gab die Erkenntnis, dass nur die ortsfeste

Strassenbeleuchtung dem nächtlichen Automobilverkehr jene Sicherheit und Flüssigkeit geben kann, die alle Strassenbenützer beanspruchen dürfen; keines der bekannten Systeme von Fahrzeugscheinwerfern und andern Lichtern der Fahrzeuge kann das Blendungsproblem so vollkommen und elegant lösen wie die ortsfeste Strassenbeleuchtung. Die Subkommission will deshalb die ortsfeste Fernverkehrstrassenbeleuchtung vorbereiten. Die Schweizerische Landesausstellung 1939 Zürich gab ihr auch die gern benützte Gelegenheit, diesen Gedanken zu propagieren. Unter der Mitwirkung der Zentrale für Lichtwirtschaft, des Ver-