

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

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 Fernverkehrstrassen

Autor: Erb, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061682>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.02.2026

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

BULLETIN

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

Nº 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 Fernverkehrstrassen

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 einfacher Theorie für den Praktiker festgestellt. Die Berechnung von Strassenbeleuchtungsanlagen unter Verwendung der 5 spezifizierten Leuchten wird an Beispielen durchgeführt, und zwar nach der Punktmethode 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 Fernverkehrstrassen¹⁾ 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 feuermäßigert. 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.

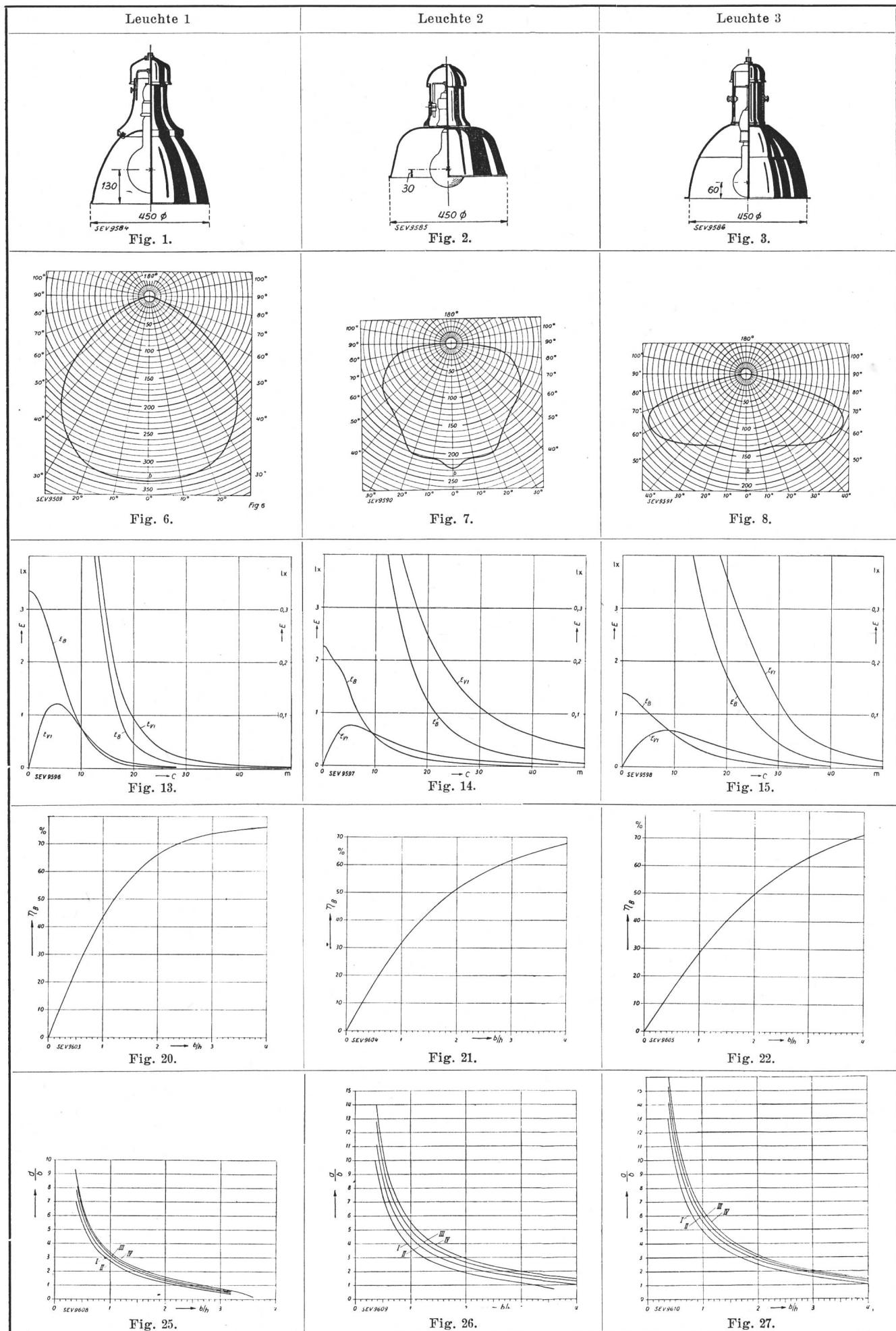
Leuchte 2: Der Breitstrahler Fig. 2 besitzt einen Reflektor aus Eisenblech, innen weiss und aussen grau feuermäßigert. Kamin und Kappe sind ein

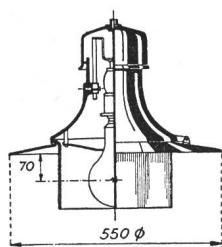
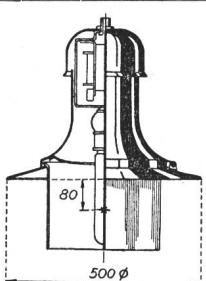
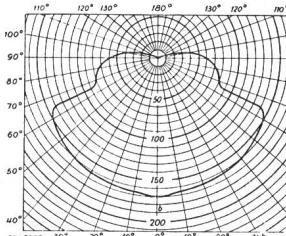
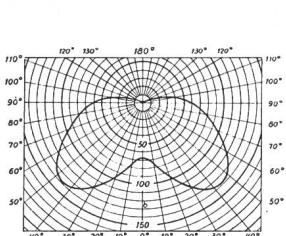
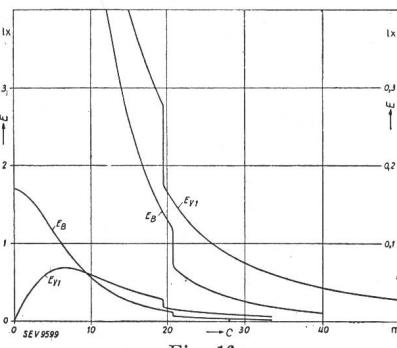
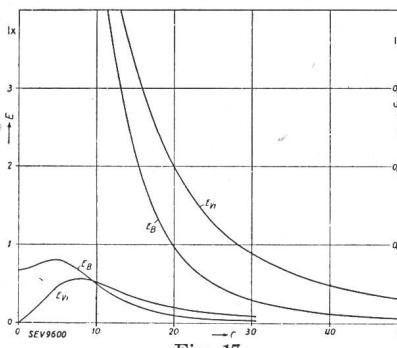
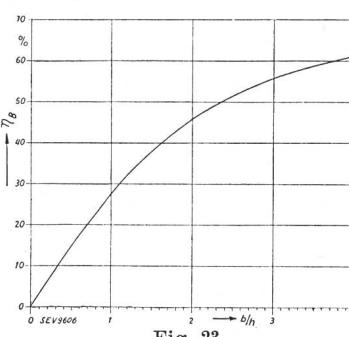
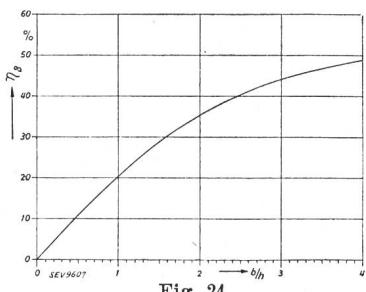
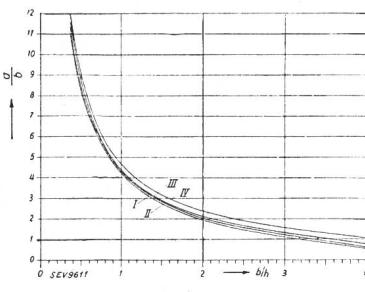
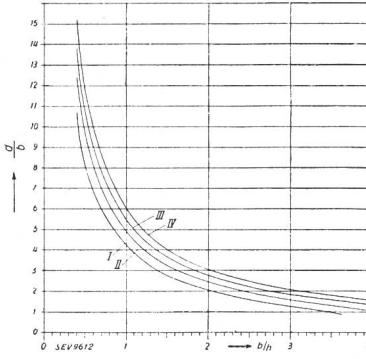
Stück und aus einer korrosionsfreien Aluminiumlegierung gegossen. Die Fassung E 40 ist verstellbar. Zur Messung wurde eine Glühlampe Typ S, 225 V, 800 Dlm, 540 W, mit Klarglaskolben eingesetzt.

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 Opalescent-Schutzglas. Aussen- und Innenreflektor aus Eisenblech sind flach und auf der Lichtseite weiss und auf der Gegenseite grau feuermäßigert. 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 Quecksilberdampflampen ist in Fig. 5 dargestellt. Das zylindrische, unten offene Opalescent-Schutzglas hängt im Aussenreflektor. Die beiden flachen, auf der Lichtseite weiss feuermäßigerten Reflektoren sind aus Eisenblech. Kamin und Kappe aus Kupferblech ermöglichen den Einbau der von der Lampe zur Strombegrenzung benötigten Drosselspule. Die



| Leuchte 4 | Leuchte 5 | Erklärung der Figuren |
|---|---|---|
|  Fig. 4. |  Fig. 5. | Fig. 1...5. Die untersuchten Leuchten. |
|  Fig. 9. |  Fig. 10. | Fig. 6...10. Lichtverteilungskurven, bezogen auf einen Lampenlichtstrom von 1000 Lumen. |
|  Fig. 16. |  Fig. 17. | Fig. 13...17. Beleuchtungskurven. E _B Bodenbeleuchtungsstärke; E _{V1} Vertikalbeleuchtungsstärke (bezogen auf einen Lampenlichtstrom von 1000 lm; Lichtpunkt Höhe $h = 10$ m); E Beleuchtungsstärke; c Abstand vom Lampenfußpunkt. Kurven links: Maßstab links Kurven rechts: Maßstab rechts |
|  Fig. 23. |  Fig. 24. | 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 Lichtpunkt Höhe |
|  Fig. 28. |  Fig. 29. | Fig. 25...29. Zulässige Verhältnisse d/b für Dunkel-Mittel-Gleichmässigkeitsgrade. I $E_{\min} : E_{\text{med}} = 1 : 3$ II $\gg : \gg = 1 : 4$ III $\gg : \gg = 1 : 5$ IV $\gg : \gg = 1 : 6$ d Leuchtenabstand. b Strassenbreite. |

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

Lichtstrom, Leistung und Lichtausbeute der Lampen

Messwerte:

Glühlampe klar, Typ S, 800 Dlm, 225 V:
7960 lm, 541 W 14,7 lm/W
Glühlampe klar, Typ S, 500 Dlm, 225 V:
4940 lm, 361 W 13,7 lm/W
Quecksilberdampflampe 1000 Dlm, 220 V:
10000 lm, 276 W¹⁾ 36,2 lm/W

Lichtstärkemessung, Lichtverteilungskurve der Leuchten

Die Lichtstärkemessung erfolgte bei vertikaler Stellung der Symmetriearchse 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 b | Leuchte 2 b | Leuchte 3 b | Leuchte 4 b | Leuchte 5 b |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 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-

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-

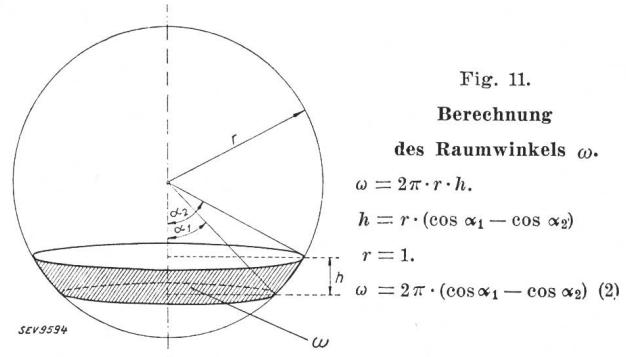


Fig. 11.

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 | Raumwinkel ω | Zonen-Lichtstärke I_ω | | | | | Zonen-Lichtstrom Φ_ω | | | | |
|---------------------------|---------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | | b | | | | | Im | | | | |
| $\alpha_1 \dots \alpha_2$ | | 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 =

¹⁾ inklusive Drosselspule.

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

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 % 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 %.

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 % 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 % reduziert. Von den 854 lm, die die Leuchte ausstrahlt, entfallen 91 lm auf den oberen Halbraum und sind somit für die Bodenbeleuchtung verloren.

Die Zone für direkte Ausstrahlung der Lampe bei Leuchte 5 beträgt $0^\circ...52^\circ 50'$, entsprechend einem Lichtstrom von nur 155 lm. Auf Schutzglas und Reflektoren werden 845 lm gestrahlt, wovon 595 lm = 70 % die Leuchte verlassen. Die Ausstrahlung in den oberen 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 $\alpha = 60^\circ...90^\circ$ von 5 zu 50° 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 $60^\circ...90^\circ$ eine Leuchtdichte von höchstens 2 sb aufweisen. Der maximal zulässige Lampenlichtstrom ist somit:

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

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 = Quecksilberdampflampe 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 Fahrbahnhelligkeit kann durch ihre Leuchtdichte bewertet werden.

Berechnung der Leuchtdichte B der Leuchten
im Ausstrahlungsbereich $60^\circ...90^\circ$,
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 |

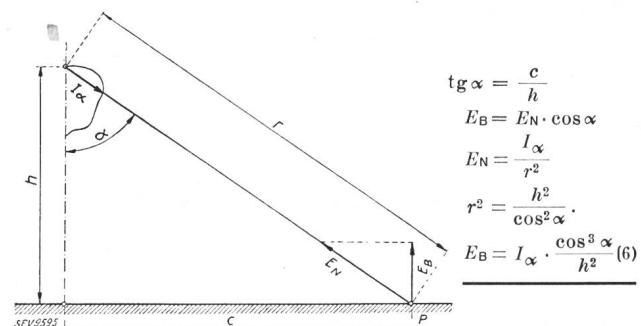
Die Berechnung der Beleuchtungsanlage beschränkt sich somit auf die Ermittlung der mittlern

Bodenbeleuchtungsstärke und die Einhaltung des Dunkel-Mittel-Gleichmässigkeitsgrades.

Berechnung der Bodenbeleuchtungsstärke

In Verkehrsanlagen ist der Einfluss der Reflexion von angrenzenden Gebäudefassaden 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 radikal 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 sinnemäss einen Teil der Fläche — in eine Anzahl gleich grosser Rechtecke von maximal 10 m^2 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.

Berechnungsbispiel 1

Eine Strasse durch ein geschlossen bebautes 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 Gleichmässigkeitsgrade.

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

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{c}{h}.$$

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 grössern

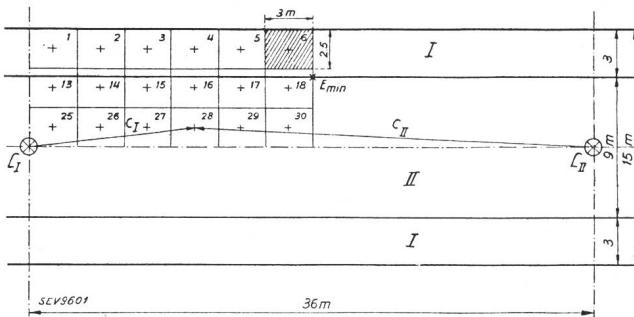


Fig. 18.

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
Lichtpunktthöhe $h = 10$ m

Tabelle VI

| Abstand c m | α ° | $\frac{\cos^3 \alpha}{h^2}$ | Lichtstärke I_α h | | | | | 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 | 0,950 | 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 | c_I | c_{II} | Punkt | c_I | c_{II} | Punkt | c_I | c_{II} |
|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| Nr. | m | m | Nr. | m | m | Nr. | m | 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

| 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.

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 | | |
| 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 | 0,220 | | |
| 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 Quecksilberdampflampen 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.

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 mittleren Bodenbeleuchtungsstärke E_{med} und der Bodenfläche A pro Leuchte.

$$\eta_B = \frac{\Phi_N \cdot 100}{\Phi_{Lampe}} \quad (7)$$

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

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

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

$$A = b \cdot d$$

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

η_B Beleuchtungswirkungsgrad (%),
 ϕ_N Nutzlichtstrom pro Leuchte (lm),
 Φ_{Lampe} Lichtstrom der Lampe (lm),
 E_{med} mittlere Bodenbeleuchtungsstärke (lx),
 A Bodenfläche pro Leuchte (m^2),
 b Strassenbreite (m),
 d Leuchtenabstand (m).

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

Der Beleuchtungswirkungsgrad η_B soll für die 5 Leuchtentypen bei Anordnung über der Strassenachse und 10,0 m Lichtpunktthöhe 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. Hiermit 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-

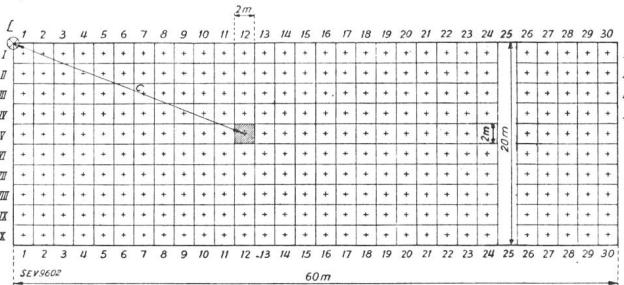


Fig. 19.
Flächeneinteilung für die Berechnung des Boden-Beleuchtungswirkungsgrades.

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

Lichtpunktthöhe $h = 10$ 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 |
| | ∞ | 78,9 | 83,6 | 83,5 | 76,3 | 65,0 |
| 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 |
| | ∞ | 78,9 | 83,6 | 83,5 | 76,3 | 65,0 |
| 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 |
| | ∞ | 78,9 | 83,6 | 83,5 | 76,3 | 65,0 |
| 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 |
| | ∞ | 78,9 | 83,6 | 83,5 | 76,3 | 65,0 |
| 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 |
| | ∞ | 78,9 | 83,6 | 83,5 | 76,3 | 65,0 |
| 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 |
| | ∞ | 78,9 | 83,6 | 83,5 | 76,3 | 65,0 |
| 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 |
| | ∞ | 78,9 | 83,6 | 83,5 | 76,3 | 65,0 |
| 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 |
| | ∞ | 78,9 | 83,6 | 83,5 | 76,3 | 65,0 |
| 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 |
| | ∞ | 78,9 | 83,6 | 83,5 | 76,3 | 65,0 |
| 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 Lichtpunktthöhe h

Leuchten über Strassenachse

Tabelle XII

| $\frac{b}{h}$ | Beleuchtungs-Wirkungsgrad η_B | | | | |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Leuchte 1 % | Leuchte 2 % | Leuchte 3 % | Leuchte 4 % | Leuchte 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 $0^\circ...90^\circ$ 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:

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

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

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

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

$$\text{Leuchte 5 } E_{med} = \frac{10000 \cdot 28,6}{540 \cdot 100} = 5,30 \text{ lx}$$

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

Zur Ermittlung des Dunkel-Mittel-Gleichmässigkeitsgrades muss die minimale Bodenbeleuchtungsstärke nach der Punkt-methode berechnet werden. Das nachfolgend erläuterte Verfahren gestattet dem Projektierenden diese zeitraubende Rechnung wegzulassen.

Für die bereits bei der Berechnung des Wirkungsgrades 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 zusammensetze und die Leuchten über der Fahrbahnachse mit 10 m Lichtpunkt-höhe aufgehängt seien. Der Punkt mit minimaler Beleuchtungsstärke befindet sich am Fahrbahnrand in der Mitte zwischen beiden Leuchten. Die Abstände c_I und c_{II} dieses Punktes von den Leuchten 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 Beleuchtungsstärke von den Leuchten L_I und L_{II}

Tabelle XIII

| Breite der bel. Fläche b m | Abstände $c_I = c_{II}$ | | | | |
|--|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Leuchten-Abstand | | | | |
| | $d = 20 \text{ m}$ | $d = 30 \text{ m}$ | $d = 40 \text{ m}$ | $d = 50 \text{ m}$ | $d = 60 \text{ m}$ |
| 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-Gleichmässigkeitsgrade 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 Verhältnis b/h , so erhält man allgemein gültige Zahlen. Tabelle XVI enthält die so umgewandelten Ergebnisse, 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
Lichtpunkt-höhe $h = 10 \text{ m}$

Tabelle XIV

| Straßen-breite b m | Leuch- ten- abstand d m | Dunkel — Mittel — Gleichmässigkeitsgrad $E_{min} : E_{med}$ | | | | |
|----------------------------|---------------------------------------|---|----------|----------|-----------|----------|
| | | 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 |
| | 20 | 1 : 1,52 | 1 : 1,44 | 1 : 1,10 | 1 : 1,25 | 1 : 1,05 |
| 8 | 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 |
| | 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 |
| 12 | 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 |
| | 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 |
| 16 | 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 | 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 |
| 20 | 60 | — | 1 : 6,37 | 1 : 5,10 | 1 : 8,41 | 1 : 5,81 |
| | 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 |
| 24 | 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 : 5,50 | 1 : 8,20 | 1 : 5,67 |
| | 20 | 1 : 5,62 | 1 : 2,47 | 1 : 1,84 | 1 : 2,23 | 1 : 2,18 |
| 28 | 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 |
| | 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 |
| 32 | 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 |
| | 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 |
| 36 | 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 Lichtpunkt-höhe 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
Lichtpunktthöhe $h = 10$ 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 Lichtpunktthöhe,
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 hiefür $b/h = 1,32$ abgelesen. Die minimale Lichtpunktthöhe $h = b : 1,32 = 15 : 1,32 = 11,35$ 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)

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

Berechnungsbispiel 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 Stahlrohrbogenmasten von 2,0 m Ausladung und 7,5 m Lichtpunktthöhe 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:

$$\begin{aligned} \text{Leuchte 1 } d &= 10,5 \cdot 2,40 = 25,2 \text{ m,} \\ \text{Leuchte 2 } d &= 10,5 \cdot 4,02 = 42,2 \text{ m,} \\ \text{Leuchte 3 } d &= 10,5 \cdot 4,58 = 48,1 \text{ m,} \\ \text{Leuchte 4 } d &= 10,5 \cdot 3,38 = 35,5 \text{ m,} \\ \text{Leuchte 5 } d &= 10,5 \cdot 4,31 = 45,3 \text{ m.} \end{aligned}$$

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)

$$\begin{aligned} \text{Leuchte 1 } \Phi_{\text{Lampe}} &= \frac{3 \cdot 25,2 \cdot 10,5 \cdot 100}{53,0} = 1499 \text{ lm (150 Dlm),} \\ \text{Leuchte 2 } \Phi_{\text{Lampe}} &= \frac{3 \cdot 42,2 \cdot 10,5 \cdot 100}{39,0} = 3410 \text{ lm (300 Dlm),} \\ \text{Leuchte 3 } \Phi_{\text{Lampe}} &= \frac{3 \cdot 48,1 \cdot 10,5 \cdot 100}{36,1} = 4200 \text{ lm (300 Dlm),} \\ \text{Leuchte 4 } \Phi_{\text{Lampe}} &= \frac{3 \cdot 35,5 \cdot 10,5 \cdot 100}{34,1} = 3280 \text{ lm (300 Dlm),} \\ \text{Leuchte 5 } \Phi_{\text{Lampe}} &= \frac{3 \cdot 45,3 \cdot 10,5 \cdot 100}{25,3} = 5640 \text{ lm (500 Dlm).} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Leuchte 1 } E_{\text{med}} &= \frac{1500 \cdot 53,0}{25,2 \cdot 10,5 \cdot 100} = 3,00 \text{ lx} \\ \text{Leuchte 2 } E_{\text{med}} &= \frac{3000 \cdot 39,0}{42,2 \cdot 10,5 \cdot 100} = 2,64 \text{ lx} \\ \text{Leuchte 3 } E_{\text{med}} &= \frac{3000 \cdot 36,1}{48,1 \cdot 10,5 \cdot 100} = 2,14 \text{ lx} \\ \text{Leuchte 4 } E_{\text{med}} &= \frac{3000 \cdot 34,1}{35,5 \cdot 10,5 \cdot 100} = 2,74 \text{ lx} \\ \text{Leuchte 5 } E_{\text{med}} &= \frac{5000 \cdot 25,3}{45,3 \cdot 10,5 \cdot 100} = 2,66 \text{ lx} \end{aligned}$$

Berechnungsbispiel 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 Lichpunktthöhe,
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 Lichpunktthöhe 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 Lichpunktthöhe 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.

$$\Phi_{\text{Lampe}} = \frac{15 \cdot 28 \cdot 40 \cdot 100}{76,0} = 22100 \text{ lm}$$

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

Lichpunktthöhe $h = 12,7$ m.

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

Aus Kurve II, Fig. 25, ermittelt man hiefür

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

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

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

Nach Gleichung 10 wird $d = \frac{20000 \cdot 68,5}{15 \cdot 28 \cdot 100} = 32,6$ m.

Der Nutzlichtstrom $\Phi_N = 15 \cdot 28,0 \cdot 32,6 = 13700$ lm.

Die Nutzlichtausbeute $\eta_N = \frac{13700}{1250} = 10,95$ 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 = 61300 Dlm.

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

Leuchte 2.

$$\Phi_{\text{Lampe}} = \frac{15 \cdot 28 \cdot 40 \cdot 100}{67,7} = 24800 \text{ lm}$$

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 Leuchtentdurchmesser 650 mm betragen.

Lichpunktthöhe $h = 8,5$ m.

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

Aus Kurve II, Fig. 26, ermittelt man hiefür

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

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

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

Nach Gleichung 10 wird $d = \frac{25000 \cdot 63,7}{15 \cdot 28 \cdot 100} = 37,9 \text{ m.}$

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

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

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.

$$\Phi_{Lampe} = \frac{15 \cdot 28 \cdot 40 \cdot 100}{71,4} = 23500 \text{ lm}$$

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 $h = 7,9 \text{ m.}$

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

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

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

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

Nach Gleichung 10 wird $d = \frac{25000 \cdot 68,2}{15 \cdot 28 \cdot 100} = 40,6 \text{ m.}$

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

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

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.

$$\Phi_{Lampe} = \frac{15 \cdot 28 \cdot 40 \cdot 100}{61,3} = 27400 \text{ lm}$$

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 $h = 9,3 \text{ m.}$

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

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

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

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

Nach Gleichung 10 wird $d = \frac{25000 \cdot 55,9}{15 \cdot 28 \cdot 100} = 33,3 \text{ m.}$

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

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

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.

$$\Phi_{Lampe} = \frac{15 \cdot 28 \cdot 40 \cdot 100}{49,0} = 34300 \text{ lm}$$

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

Lichtpunkthöhe $h = 9,1 \text{ m.}$

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

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

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

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

Nach Gleichung 10 wird $d = \frac{40000 \cdot 44,6}{15 \cdot 28 \cdot 100} = 42,5 \text{ m.}$

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

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

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-

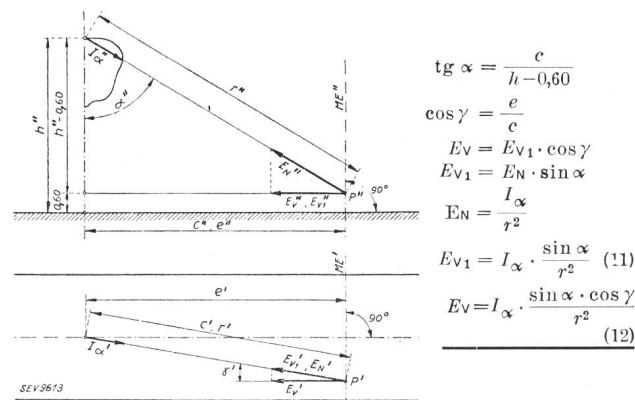


Fig. 30.

Berechnung der Vertikalbeleuchtungsstärke E_v nach der Punkt-Methode.

I_α Lichtstärke im Ausstrahlungswinkel α (in lx).
 E_v Vertikal-Beleuchtungsstärke (in lx).
 E_N Normal-Beleuchtungsstärke (in lx).
 h Lichtpunktthöhe (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 Meßebene vom Fußpunkt der Leuchte (in m).
 α Ausstrahlungswinkel (in Grad).
 ME Meßebene der Vertikalbeleuchtung.

Berechnung Beispiel 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 Fusspunktabstand 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} eingezzeichnet.

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
Lichtpunktthöhe $h = 10$ m

Tabelle XVII

| Abstand c m | α ° | $\frac{\sin \alpha}{r^2}$ | 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 | 90 | 107 | 0,098 | 0,246 | 0,359 | 0,165 | 0,197 |
| 24 | 68° 37' | 0,001394 | 33 | 127 | 182 | 82 | 98 | 0,046 | 0,177 | 0,254 | 0,114 | 0,137 |
| 28 | 71° 26' | 0,001082 | 22 | 119 | 152 | 79 | 93 | 0,024 | 0,129 | 0,165 | 0,086 | 0,101 |
| 32 | 73° 38' | 0,000860 | 18 | 114 | 110 | 77 | 89 | 0,015 | 0,098 | 0,095 | 0,066 | 0,077 |
| 36 | 75° 22' | 0,000697 | 15 | 108 | 82 | 76 | 86 | 0,010 | 0,075 | 0,057 | 0,053 | 0,060 |
| 40 | 76° 47' | 0,000575 | 11 | 103 | 65 | 75 | 84 | 0,006 | 0,059 | 0,037 | 0,043 | 0,048 |
| 45 | 78° 12' | 0,000462 | 9 | 99 | 49 | 74 | 81 | 0,004 | 0,046 | 0,023 | 0,034 | 0,037 |
| 50 | 79° 21' | 0,000379 | 6 | 95 | 36 | 73 | 79 | 0,002 | 0,036 | 0,014 | 0,028 | 0,030 |
| 60 | 81° 0' | 0,000267 | 4 | 84 | 25 | 72 | 76 | 0,001 | 0,022 | 0,007 | 0,019 | 0,020 |
| 80 | 83° 18' | 0,000153 | 3 | 66 | 19 | 69 | 72 | — | 0,010 | 0,003 | 0,011 | 0,011 |
| 100 | 84° 38' | 0,000099 | 3 | 53 | 15 | 67 | 70 | — | 0,005 | 0,001 | 0,007 | 0,007 |
| 120 | 85° 31' | 0,000069 | 2 | 41 | 13 | 66 | 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.

Tabelle XIX.

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

| Punkt Nr. | $\cos \gamma_I$ | | $\cos \gamma_{II}$ | | Leuchte 1 | | | | Leuchte 2 | | | | Leuchte 3 | | | | Leuchte 4 | | | | Leuchte 5 | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|----------------------|--------------------|-------------|----------------|-------------|-------|----------|----------------|----------------|-------------|----------------|-------------|-------|----------|----------------|----------------|-------------|----------------|-------------|-----------|----------|----------------|----------------|-------------|----------------|-------------|-------|----------|----------------|--|
| | e_I c_I | e_{II} c_{II} | E_{v1} Ix | E_v Ix | E_{v1} Ix | E_v Ix | L_I | L_{II} | $L_I + L_{II}$ | E_{v1} Ix | E_v Ix | E_{v1} Ix | E_v Ix | L_I | L_{II} | $L_I + L_{II}$ | E_{v1} Ix | E_v Ix | E_{v1} Ix | E_v Ix | L_I | L_{II} | $L_I + L_{II}$ | E_{v1} Ix | E_v Ix | E_{v1} Ix | E_v Ix | L_I | L_{II} | $L_I + L_{II}$ | |
| 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 | | | | |
| E_{med} | | | | 10,336 | | | | 11,800 | | | | 3,287 | | | | 3,28 | | | | 3,49 | | | | 2,86 | | | | 2,56 | | | |
| E_{max} | | | | 1,214 | | | | 0,760 | | | | 0,55 | | | | 0,815 | | | | 0,696 | | | | 0,024 | | | | 0,720 | | | |
| E_{min} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

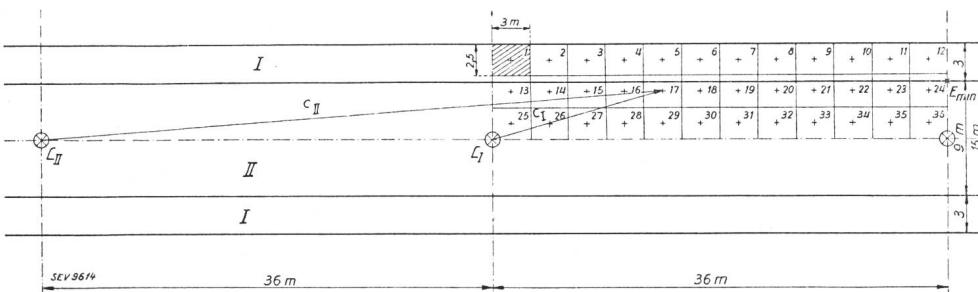


Fig. 31.
Situationsplan
der Strasse
mit Punktteilung
für die Berechnung der
Vertikalbeleuchtungs-
stärken.
I Trottoir. II Fahrbahn.

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 | | Leuchte 5 | | Leuchte 6 | |
| E_{min} | 36,27 | 72,14 | E_{max} | 5,20 | 41,20 | E_{max} | 6,80 | 42,80 | |
| Leuchte 1 | | Leuchte 3 | | Leuchte 5 | | Leuchte 6 | | Leuchte 7 | |
| 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.

Die Demonstrationsanlage des Schweizerischen Beleuchtungskomitee 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.

Die Demonstrationsanlage der Comité Suisse de l'Éclairage präsente 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 Strassenbenutzer 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-