Die Anwendung des Begriffes "Leuchtdichte der Strassendecke" in der Praxis der öffentlichen Beleuchtung

Autor(en): **Boer, J.B. de**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **51 (1960)**

Heft 12

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-917036

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

GEMEINSAMES PUBLIKATIONSORGAN
DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS (SEV) UND
DES VERBANDES SCHWEIZERISCHER ELEKTRIZITÄTSWERKE (VSE)

Die Anwendung des Begriffes «Leuchtdichte der Strassendecke» in der Praxis der öffentlichen Beleuchtung

Von *J. B. de Boer*, Eindhoven

628.971.6 : 535.241.44 : 628.936

Die Anwendung des Begriffes «Leuchtdichte der Strassendecke» in der Alltagspraxis der Strassenbeleuchtung scheiterte bisher an den vielen Faktoren, die diese Leuchtdichte und ihre Verteilung, bei den mehr oder weniger spiegelnden Eigenschaften der Strassendecke, bestimmen. Die Berechnungen sind deswegen zu umständlich, weil die Messung dadurch erschwert wird, dass die Möglichkeit gegeben sein soll, in einer genau bestimmten Richtung, in einem äusserst kleinen Raumwinkel und daher mit grosser Genauigkeit zu messen.

Es wird eine einfache graphische Methode zur Bestimmung von Leuchtdichten angegeben, wobei die Werte für Leuchtdichte und bestimmte Leuchtdichteverhältnisse aus Kurven, die für die Verwendung einer Art von Leuchten über einer Strassendecke gelten, zu ersehen sind.

Weiter wird ein Leuchtdichtemesser in Form eines photoelektrischen Telephotometers beschrieben, der dank der Anwendung von Transistoren, trotz den vorerwähnten Schwierigkeiten in handlichen Abmessungen gehalten werden konnte und dessen Bedienung durch eine besondere Konstruktion des Visiers für das genaue Zielen besonders einfach ist.

Dans la pratique de l'éclairage public l'application de la notion «luminance du revêtement routier» se heurta jusqu'à nos jours aux multiples facteurs déterminant cette luminance et sa distribution vu les propriétés plus ou moins spéculaires d'un tel revêtement. La conséquence en était que son calcul est fort compliqué tandis que sa mesure directe se trouve aggravée par le fait qu'elle doit se faire dans une direction spéciale et dans un angle solide fort petit, autrement dit, l'appareillage utilisé doit être d'une haute sensibilité.

Est préconisée une simple méthode graphique pour la détermination des luminances. Dans cette méthode les valeurs de la luminance et de certaines proportions dans la luminance peuvent être dérivées de courbes prévues pour des cas topiques, c'est-à-dire un seul type de luminaire associé à un seul type de recouvrement routier.

En outre se trouve décrit un luminancemètre sous forme d'un téléphotomètre photo-électrique qui, malgré les difficultés précitées a pu être réalisé dans des dimensions permettant une grande maniabilité grâce à l'utilisation judicieuse de transistors, et dont le service a été rendu particulièrement aisé par la présence d'un système de mire d'une construction spéciale pour des pointages de précision.

1. Einleitung

In der Praxis der öffentlichen Beleuchtung nimmt man für gewöhnlich die mittlere Beleuchtungsstärke der Strassendecke als Mass für das Beleuchtungsniveau und betrachtet die örtlichen Unterschiede in dieser Beleuchtungsstärke als Kennzeichen für die Ungleichmässigkeit der Beleuchtungsanlage. Das Beleuchtungsniveau in der öffentlichen Beleuchtung wird aber grossenteils bedingt durch die Leuchtdichte des Hintergrundes, gegen den die für die Verkehrsteilnehmer wichtigen Objekte als Silhouette gesehen werden. Das Lichtniveau wird also in der Hauptsache durch die mittlere Leuchtdichte und nicht durch die mittlere Beleuchtungsstärke der Strassendecke bestimmt. Weiter wird der von einer öffentlichen Beleuchtungsanlage gemachte Ungleichmässigkeitseindruck nicht durch die Verteilung der Beleuchtungsstärke, sondern nur durch diejenige der Strassenleuchtdichte bestimmt. Man kann sich davon beispielsweise überzeugen, indem man bedenkt, wie enorm verschieden eine Strassendecke in trockenem und in nassem Zustand erscheinen kann, nicht nur bezüglich der Leuchtdichte, sondern mehr insbesondere was die Verteilung der Leuchtdichte betrifft. Trotzdem sind aber in beiden Fällen die Beleuchtungsstärke der Strassendecke und deren Verteilung unverändert.

2. Bedenken gegen die Berechnung und Messung der Strassenleuchtdichte in der Praxis

Ungeachtet der grossen Wichtigkeit der eingangs beschriebenen Strassenleuchtdichte in der Praxis wird fast ausschliesslich der Begriff Beleuchtungsstärke verwendet. Das ist wegen der Einfachheit dieses Begriffes verständlich. In Fig. 1 a und b ist die Beleuchtungsstärke im Punkt P infolge des von der Leuchte L in dieser Richtung ausgestrahlten Lichtes $E_P = I \cos^3 \gamma / h^2$. Darin ist I die Lichtstärke der Leuchte in Richtung von P, die zum Beispiel aus dem Katalog der verwendeten Leuchte entnommen werden kann. Die Beleuchtungsstärke in einem gegebenen Punkt auf der Strassendecke kann also direkt von bekannten Einzelheiten der Lichtverteilung der Leuchte und einer Anzahl einfacher geometrischer Masse hinsichtlich der Lage des betreffenden Punktes bezüglich der Leuchte abgeleitet werden.

Die Bestimmung der mittleren Beleuchtungsstärke ist meistens viel einfacher, wenn, wie es für gewöhnlich der Fall ist, der die Strassendecke erreichende Lichtstrom aus den Katalogangaben der verwendeten Leuchten abgeleitet werden kann. Dieser Lichtstrom, multipliziert mit dem Verhältnis

der Leuchtenzahl je Einheit der Strassenlänge zur Strassenbreite, ergibt die mittlere Beleuchtungsstärke.

Die Messung der Beleuchtungsstärke auf der Strassendecke bringt auch keine besonderen Probleme mit sich, wenn nur eine Anzahl wichtiger Faktoren, wie der Einfallswinkel des für einen grossen Teil streifend einfallenden Lichtes und die jeweiligen atmosphärischen Verhältnisse genügend berücksichtigt werden. Diese Messung wird besonders erleichtert durch die Verwendung verschiedener Beleuchtungsmesser, die eigens zum Gebrauch bei Strassenbeleuchtung entworfen wurden.

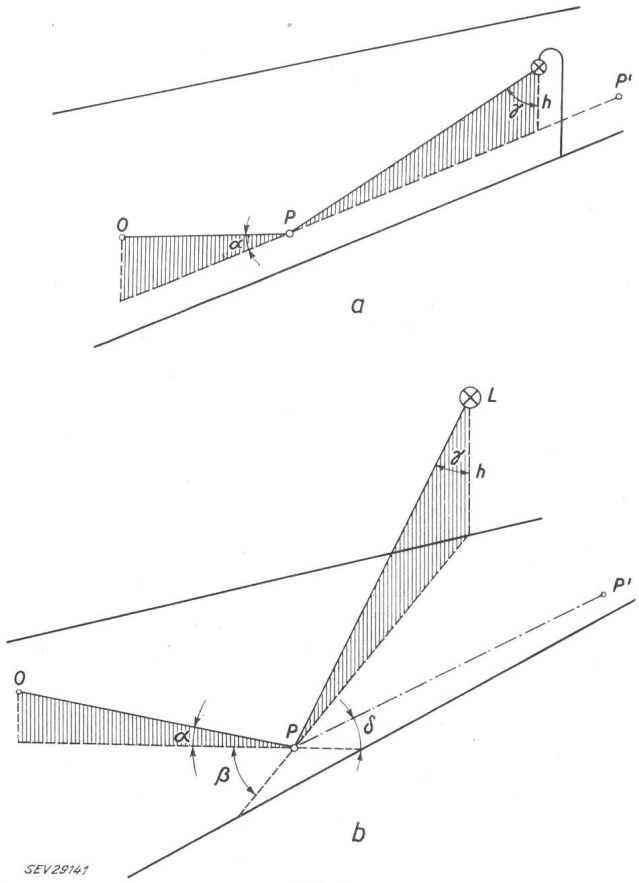

Fig. 1
Perspektivische Darstellung einer Strasse mit einer Leuchte
a Beobachter *O*, beobachteter Punkt *P* und Leuchte *L* in einer senkrechten, parallel zur Strassenachse verlaufenden Ebene (Spezialfall $\beta = 0^0$, $\delta = 0^0$)
b beliebige Lage des Beobachters *O*, des beobachteten Punktes *P* und der Leuchte *L* (allgemeiner Fall)
L Leuchte; *O* Auge des Beobachters; *P* der vom Beobachter beobachtete Punkt der Strassendecke; *h* Aufhängehöhe der Leuchte; *P*—*P'* Linie parallel zur Strassenachse

Die von einem Beobachter im Punkt *P* (Fig. 1a und b) wahrgenommene Leuchtdichte wird bestimmt durch die von der Strassendecke im Punkt *P* in Richtung der Augen des Beobachters reflektierte Lichtmenge. Im allgemeinen ist diese Leuchtdichte proportional zur Beleuchtungsstärke im Punkt *P*, das heisst zur Menge des auf das Flächenteilchen, das in dem Punkt *P* liegt, geworfenen Lichtes. Der Teil dieser Lichtmenge, der von der Strassendecke in die Augen des Beobachters reflektiert wird, ist für einen bestimmten Typ und Zustand der Strassendecke abhängig von der Richtung des einfallenden Lichtes ($\overline{LP}$) bezüglich der Beobachtungsrichtung ($\overline{OP}$) und im allgemeinen auch von der Orientierung dieser beiden Richtungen gegenüber der Strassenachse. Es ist hauptsächlich diese Verwicklung, welche den Begriff der Strassenleuchtdichte für praktische Berechnungen und Messungen so schwierig macht.

Die Leuchtdichte in *P*, die von dem Beobachter im Punkt *O* wahrgenommen wird, kann also dargestellt werden als das Produkt der Beleuchtungsstärke E_P und eines Leuchtdichtefaktors f_l, wobei f_l eine Funktion der 4 in Fig. 1 gezeigten Winkel α, β, γ und δ ist, der von der Natur und dem Zustand (trocken, feucht oder nass) der Strassendecke abhängt. Nur wenn f_l unabhängig von diesen 4 Winkeln und die Rückstrahlung von der Strassendecke also völlig diffus wäre, würde die Verwendung der Beleuchtungsstärke anstelle der Leuchtdichte zu rechtfertigen sein. Vollkommen diffus reflektierende Oberflächen bestehen aber für die Beobachtungsrichtungen, die im Strassenverkehr wichtig sind und für die Richtungen, in denen bei öffentlichen Beleuchtungsanlagen das Licht auf die Strassendecke fällt, nur im Lambertschen Gesetz und sicherlich nicht als Strassenbeläge, die in der Praxis benutzt werden. Jede Strassendecke verhält sich nämlich, selbst in trockenem Zustand, wie ein mehr oder weniger matter Spiegel und zeigt ausgeprägte Vorzugsrichtungen für das reflektierte Licht, wie aus Fig. 2 ersichtlich ist. Darin ist eine Anzahl von Linien für konstante Werte des Faktors f_l für eine Asphaltstrassendecke in trockenem (Fig. 2a) und nassem (Fig. 2b) Zustand gezogen, als Funktion der Winkel β und γ. Diese Figur gilt für den Fall: $\alpha = 1°$ und $\delta = 0°$, d. h. für eine Beobachtungsrichtung, die etwa übereinstimmt mit der des Führers eines normalen Personenwagens, der gerade nach vorne auf einen Punkt in etwa 85 m Entfernung auf der Strasse schaut. Es zeigt sich, dass f_l, besonders bei streifend einfallendem Licht (γ praktisch 90°) und für einen konstanten Wert von γ in grossem Masse abhängig ist von β. Der Faktor f_l steigt dann für Werte von β in der Nähe von 0° stark an, wenn sich der Punkt *P* dem Bilde von *L* nähert, das der Beobachter sehen würde, wenn die Strassendecke ein perfekter Spiegel wäre. Diese Tatsache lässt sich sogar bei trockener Strassendecke deutlich zeigen.

Aus der Fig. 2 geht hervor, dass schon die Notwendigkeit, völlig Rücksicht zu nehmen auf den Einfluss der Winkel β und γ (Fig. 1) auf f_l zu einer Verwicklung der Berechnungen der Strassenleuchtdichte führt, welche für die Praxis der öffentlichen Beleuchtung unannehmbar wird. Darüber hinaus sollte auch noch der Einfluss von α und δ (Fig. 1) berücksichtigt werden, obwohl dieser im allgemeinen wesentlich geringer ist als derjenige der Winkel β und γ.

Die Messung der Strassenleuchtdichte wird besonders dadurch erschwert, dass die Verkehrsteilnehmer die Strassendecke unter ausserordentlich kleinen Winkeln beobachten und weil deshalb die Strassenleuchtdichte für diese Beobachtungsrichtungen bestimmt werden muss. Der wichtigste Teil der Strassendecke, der bei der Beobachtung von Objekten als Hintergrund dient, liegt auf etwa 50 bis 150 m vor dem Verkehrsteilnehmer. Dieser Teil der Strassendecke wird unter einem Winkel α, der

von etwa $1^3/_4{}^\circ$ bis etwa $^1/_2{}^\circ$ variiert, beobachtet. Wünscht man einen «Punkt» auf der Strassendecke in diesem Gebiet zu messen, dessen «Länge» nicht mehr als 5 m beträgt, kann die Höhe der Messfläche des Leuchtdichtemessers für einen Punkt in 50 m Entfernung nur 10 Bogenminuten und bei 150 m Entfernung kaum mehr als 1 Bogenminute betragen.

darf. Es ist klar, dass die Messung der niedrigen Leuchtdichtewerte (sicher bis herab zu 0,1 cd/m²), die bei öffentlichen Beleuchtungsanlagen noch festgestellt werden müssen, mittels einer Messfläche, deren Grösse höchstens 1 bis 5 Bogenminuten beträgt, eine Bedingung ist, die sich in Verbindung mit der Forderung nach der für den praktischen

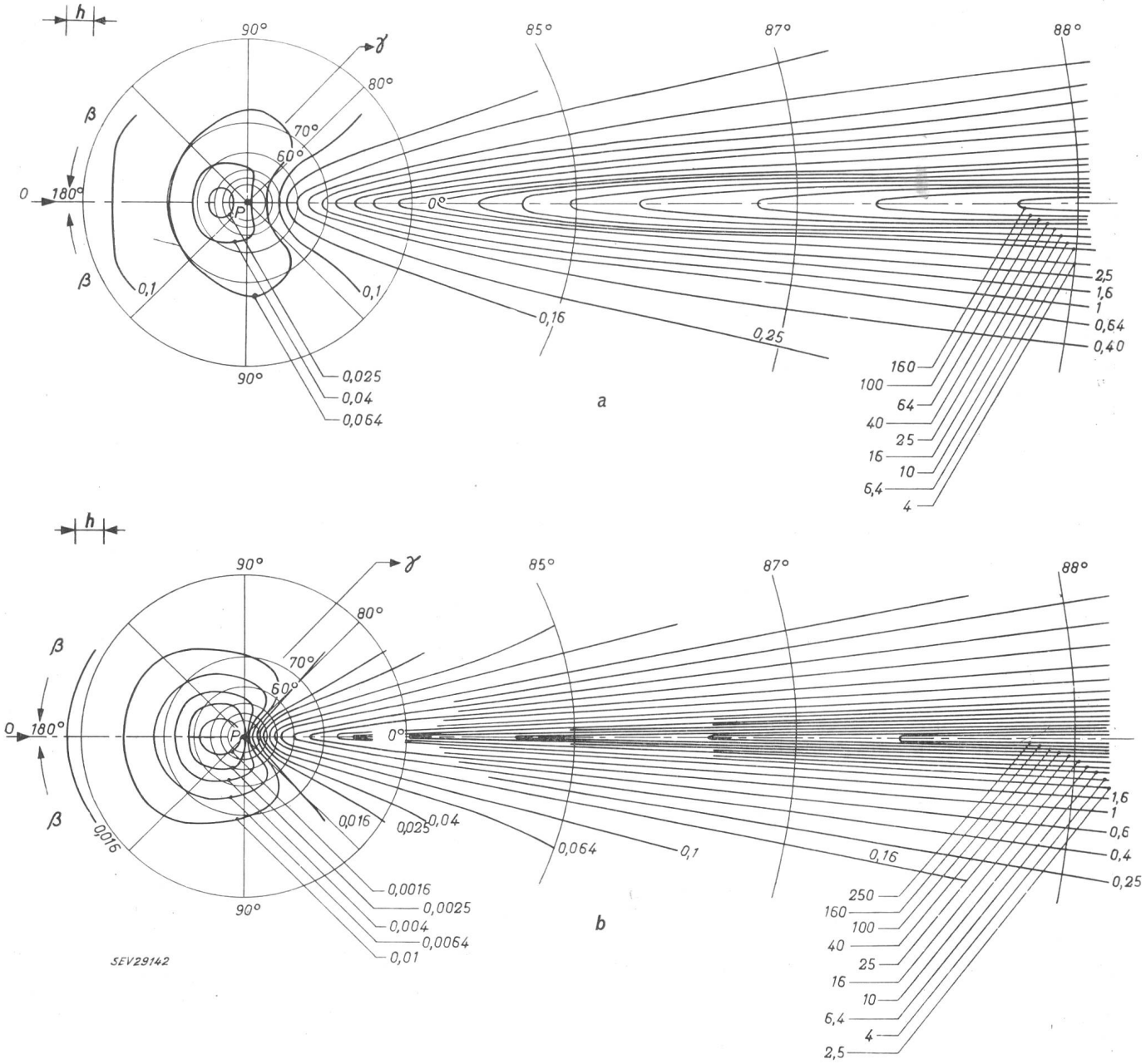

Fig. 2
Kurven konstanter Werte des Leuchtdichtefaktors einer Asphaltdecke
$\alpha = 1^0$, $\delta = 0^0$

a trockener Asphalt, f_l in Punkt P = 0,032
b nasser Asphalt, f_l in Punkt P = 0,002

Die Messfläche darf aber auch nicht zu breit sein, wenn bei der Bestimmung der Leuchtdichteunterschiede in Richtung senkrecht zur Strassenachse eine zufriedenstellende Genauigkeit erreicht werden soll. Die Erfahrung zeigt, dass für befriedigend genaue Messungen von örtlichen Werten der Strassenleuchtdichte, aus denen sichtbare Leuchtdichteunterschiede in der Breite der Strasse zahlenmässig bestimmt werden können, die Breite der Messfläche nicht mehr als 5 oder 6 Bogenminuten betragen

Gebrauch so notwendigen mechanischen Festigkeit schwer erfüllen lässt.

Eine zweite Schwierigkeit bei der Messung der Leuchtdichte von Teilen der Strassendecke, die unter äusserst kleinen Winkeln beobachtet werden, ist die Genauigkeit, womit die Richtung des Leuchtdichtemessers eingestellt werden muss, um ein gegebenes Gebiet der Strassendecke im Messfeld festzuhalten bei Entfernungen bis zu etwa 150 m. Wie aus diesen Betrachtungen hervorgeht, kann eine

Änderung der Messrichtung von nur 1 Bogenminute das beobachtete Messgebiet auf ca. 150 m Entfernung um etwa 5 m verlagern.

Aus den vorstehenden Überlegungen ergibt sich, dass es sowohl für die Berechnung als auch für die Messung der Leuchtdichte besonderer Mittel bedarf, um den Begriff «Leuchtdichte der Strassendecke» in der Alltagspraxis der öffentlichen Beleuchtung zu Gemeingut zu machen. Unter der Ziffer 3 werden wir zunächst für zusätzliche Auskunft bezüglich der lichttechnischen Eigenschaften von Leuchten eintreten. Diese zusätzliche Information, die zum Beispiel als Katalogangabe verschafft werden könnte, ermöglicht es den Leuchtenbenutzern, auf einfache Weise die Mittelwerte und die Ungleichmässigkeit der Strassenleuchtdichte für normale Verhältnisse zu bestimmen. Zweitens soll eine kurze Beschreibung eines Leuchtdichtemessers gegeben werden, dessen Handhabung nicht mehr photometrische Erfahrung voraussetzt als zum richtigen Gebrauch eines für Strassenbeleuchtungszwecke geeigneten Beleuchtungsstärkemessers erforderlich ist. Er bietet die Möglichkeit, die mittleren und örtlichen Werte der Strassenleuchtdichte mit einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit zu messen.

3. Zusätzliche Auskunft über die Eigenschaften von Leuchten zur Bestimmung von Mittelwerten und die Ungleichmässigkeit der Strassenleuchtdichte

Die Verwicklung der oben besprochenen Faktoren, welche die von dem normalen Strassenbenützer wahrgenommene Leuchtdichte der Strassendecke bestimmen, ist der Grund dafür, dass die verschiedenen Versuche, zu einer praktischen, allgemein anwendbaren Methode für die Berechnung der Leuchtdichte und deren Verteilung zu gelangen, nicht zur Annahme dieser Methoden geführt hat, ausgenommen bei einigen Spezialisten, für die die Ergebnisse solcher Berechnungen für ihre eigene Entwicklungsarbeit wichtig sind. Als Beispiel für diese Methoden sei hier zunächst die elegante, aber (soviel dem Verfasser bekannt ist) nicht veröffentlichte Darstellung der Reflexionseigenschaften von Strassendecken, die von dem Road Research Laboratory in Grossbritannien ausgearbeitet wurde, erwähnt. Ergebnisse von Berechnungen, bei denen diese Darstellungsmethode angewendet wurde, sind beispielsweise in den Veröffentlichungen [1] [1]) und [2] festgelegt. Bezüglich einer zweiten Methode zur Berechnung der Strassenleuchtdichte sei hier auf die unter [3] und [4] erwähnten Berichte verwiesen. Beide Methoden sind aber viel zu weitläufig, um die Erwartung zu rechtfertigen, dass sie allgemein von Strassenbeleuchtungsingenieuren angewendet werden. Es ist zweifelhaft, ob eine Berechnungsmethode gefunden werden kann, die nicht zu zeitraubend ist und bei der keine Vereinfachungen vorgenommen werden, die im Hinblick auf die gewünschte Genauigkeit unzulässig sind.

In der Praxis der öffentlichen Beleuchtung kann aber in sehr vielen Fällen ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden, wenn sich die Untersuchung auf die für den Strassenverkehr wichtigen Sehrichtungen beschränkt. In diesem Falle ist eine Anzahl von Vereinfachungen zulässig, insbesondere bei der Bestimmung der mittleren Strassenleuchtdichte. Für den Verkehr ist nämlich nur die Leuchtdichte der in verhältnismässig grossem Abstand vor dem Beobachter liegenden Teile der Strassendecke wichtig, weil die für den Verkehr wichtigen Einzelheiten nur gegen diese Teile als Hintergrund beobachtet werden können. Wir wollen für unseren Zweck annehmen, dass nur der Teil der Strasse zwischen 50 und 150 m vor dem Beobachter betrachtet werden soll. Der Mittelwert der Strassenleuchtdichte in diesem Strassenabschnitt (im folgenden mit L bezeichnet) wird bei den üblichen Leuchtenabständen nur in geringem Masse durch den Ort des Verkehrsteilnehmers bedingt, so dass der Einfluss der Anordnung der Leuchten leicht berücksichtigt werden kann.

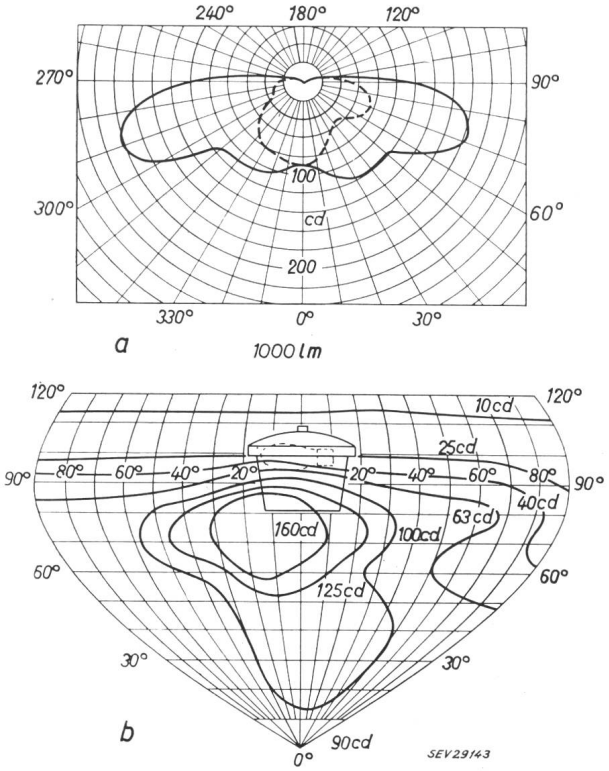

Fig. 3
Lichtverteilung einer freistrahlenden Leuchte, bezogen auf 1000 lm
a polare Lichtverteilungskurven, gemessen in einer Meridianebene durch die maximale Lichtstärke (ausgezogene Linien) und in der Meridianebene senkrecht zur Strassenachse (gestrichelte Linien)
b Isocandelakurven

Dies bedeutet, dass die Beziehung zwischen L und der Strassenbreite, gemessen zwischen einer Leuchte und dem entfernteren Strassenrand (w–ov in Fig. 7) nur für einen besonderen Fall berechnet zu werden braucht, wobei, wenn erwünscht, der mittlere Wert von L für eine Anzahl typischer Beobachtungsorte angenommen werden kann. Diese Beziehung für eine gegebene Situation (z. B. mit Leuchten nur an einer Seite der Strasse), gilt unverändert für andere Anordnungen (Leuchten einander gegenüber, versetzte Anordnung, Leuchten über die Strassenmitte), vorausgesetzt, dass die Anzahl der Leuchten für eine gegebene Strassenlänge die gleiche ist. Wenn man diese Beziehung für die Leuchtenhöhe h bestimmt, wird bei der Leuchten-

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

höhe h' und für den Fall, dass sich alle übrigen Masse im Verhältnis h'/h ändern, L geändert werden im Verhältnis $(h/h')^2$. Man kann also auf einfache Weise aus der Beziehung zwischen L und $(w–ov)$ für eine Leuchtenhöhe und -anordnung die Werte für L bei allen üblichen Anordnungen für eine gerade Strasse, wo die Leuchten in gleichen Abständen voneinander stehen, errechnen. Als Beispiel wurden für die trockene Asphaltdecke aus Fig. 2a und für zwei Leuchten verschiedener Lichtverteilung (Fig. 3 und 4) die Kurven in Fig. 5 und 6 aufgestellt, die das Produkt $L \cdot a \cdot w$ zeigen, in Abhängigkeit von $w–ov$ und ov. Die Bedeutung von a, w und ov geht aus der Fig. 7 hervor,

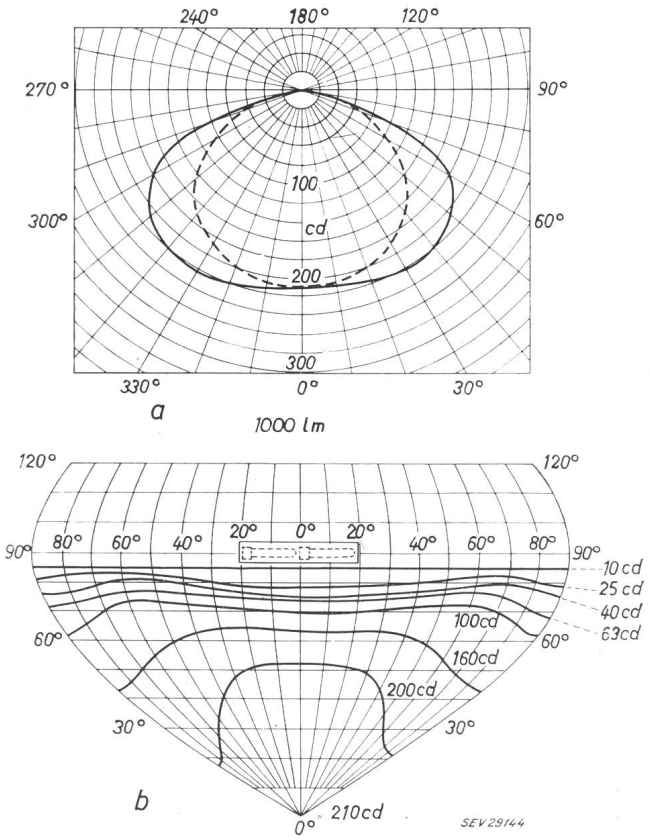

Fig. 4
Lichtverteilung einer abgeschirmten Leuchte, bezogen auf 1000 lm
Bezeichnungen siehe Fig. 3

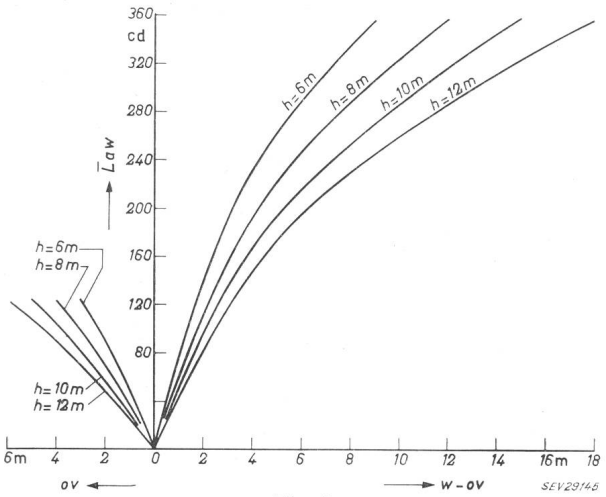

Fig. 5
Produkt der mittleren Strassenleuchtdichte L, des Leuchtenabstandes a und der Strassenbreite w (L_{aw}) in Abhängigkeit von der Strassenbreite minus den Vorbau der Leuchte ov und in Abhängigkeit von dem Vorbau der Leuchte ov bei verschiedenen Werten für die Leuchtenhöhe h
Trockene Asphaltstrassendecke nach Fig. 2a und freistrahlende Leuchten mit einer Lichtverteilung gemäss Fig. 3
Bezeichnungen siehe Fig. 7

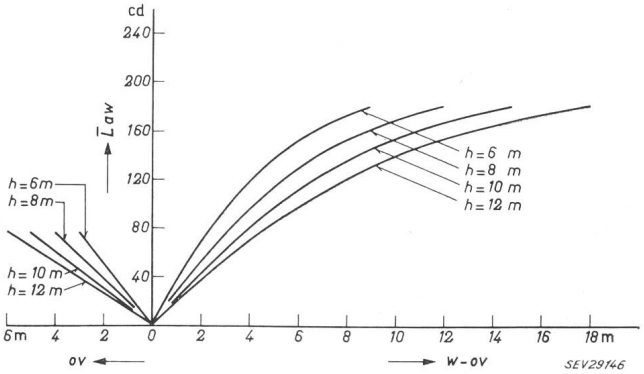

Fig. 6
Wie Fig. 5, jedoch für abgeschirmte Leuchten mit einer Lichtverteilung nach Fig. 4
Bezeichnungen siehe Fig. 5 und 7

während in Fig. 8 verschiedene Leuchtenanordnungen, in Abhängigkeit von $w–ov$ und ov. Die Be- Grundriss dargestellt sind. Die Bestimmung von L bei einer gegebenen Leuchtenanordnung besteht also darin, dass man den Wert für das Produkt $L \cdot a \cdot w$ einmal für den Wert $w–ov$ und einmal für den Wert ov der betrachteten Anlage abliest und die Summe dieser zwei Produkte teilt durch aw.

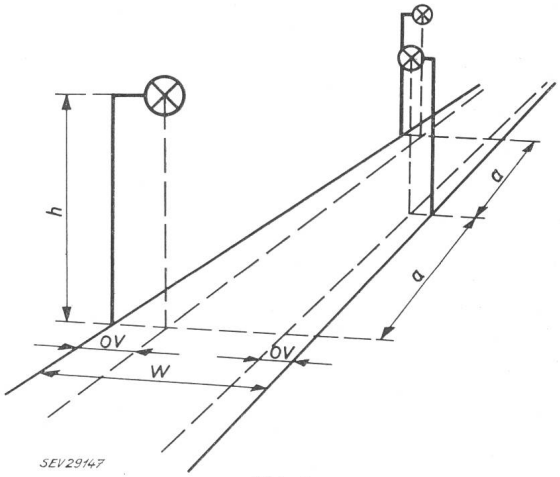

Fig. 7
Erklärung der Bezeichnungen a, w, ov und h

Es ist klar, dass bei verschiedenen Werten für $w–ov$ und ov für die Leuchtenreihen auf beiden Strassenseiten diese Bestimmung für jede Leuchtenreihe gesondert vorzunehmen ist. Betont sei noch, dass L die mittlere Strassenleuchtdichte auf 50 bis 150 m Abstand vor dem Beobachter darstellt, *so wie sie von dem Beobachter*, dessen Auge sich 1,5 m über der Strassendecke befindet, *gesehen wird*. Dies bedeutet also, dass die Leuchtdichte im perspektivischen Strassenbild gemittelt wird und nicht im Grundriss. Die Leuchtdichte eines jeden Flächenteilchens der Strassendecke wird nach dem Flächeninhalt dieses Teilchens als Anteil am perspektivischen Strassenbild bewertet.

Ausser dem Durchschnittswert für die Strassenleuchtdichte ist bei der Beurteilung der zu erwar-

tenden Ungleichmässigkeit die lokale Leuchtdichte von Bedeutung. In diesem Falle gilt das für eine gegebene Leuchtenanordnung errechnete Ergebnis nicht für eine Anzahl verschiedener Anordnungen. Angaben über die Ungleichmässigkeit müssen deshalb für jede wichtige Leuchtenanordnung (ein-

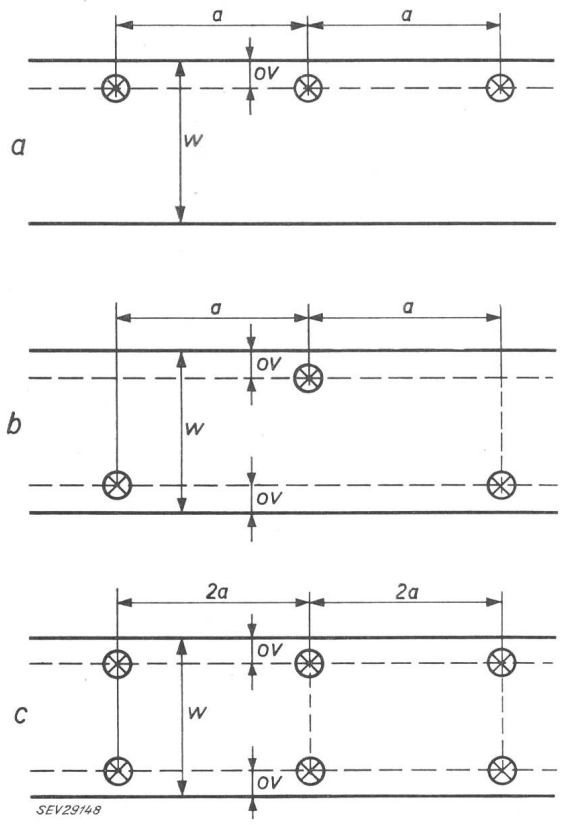

Fig. 8

Angabe von a, w und ov in einer Anzahl von Leuchtenanordnungen im Grundriss

a einseitige
b zweiseitige, versetzte
c zweiseitige, gegenüberstehende
} Anordnung

reihige, versetzte, gegenüberstehende Anordnung usw.) gemacht werden. Die Möglichkeit, mehr oder weniger allgemeine Angaben über die Ungleichmässigkeit zu machen, selbst für jede Leuchtenanordnung gesondert, hängt stark von der Frage ab, welches Kriterium für die Ungleichmässigkeit der Strassenleuchtdichte angewendet werden kann. Es soll hier nicht versucht werden, diese Frage zu beantworten. Wir wollen annehmen, dass die früher vom Verfasser und seinen Mitarbeitern verwendeten Kriterien [5] ein Mass geben für den vom Strassenbenützer empfundenen Ungleichmässigkeitseindruck. Diese Kriterien stützen sich einerseits auf das kleinste Verhältnis der Minimal- und Maximalleuchtdichte, gemessen an einer Querlinie senkrecht zur Strassenachse, wofür die Bezeichnung «Leuchtdichteverhältnis-quer» (LVq) benützt wird. Anderseits berücksichtigen die Kriterien das kleinste Verhältnis zwischen der minimalen und der mittleren Leuchtdichte der Strassenstrecke, die zwischen 50 und 150 m vor dem Beobachter liegt. Dieses Verhältnis wird im folgenden als «relative Minimal-Leuchtdichte» (rML) bezeichnet. Dies bedeutet natürlich nicht, dass für diese Ungleichmässigkeit keine besseren Kriterien zu finden wären.

Bei einer gegebenen Leuchtenanordnung (z. B. der versetzten Anordnung) und bei Verwendung eines bestimmten Leuchtentyps über einer bestimmten Strassendecke werden LVq und rML durch w/h, a/h und ov/w bestimmt. In einem Koordinatensystem mit w/h als Ordinate und a/h als Abszisse

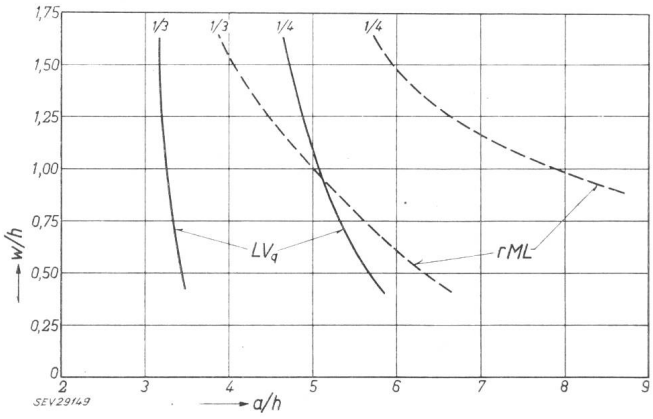

Fig. 9

Kurven für konstante Werte des Leuchtdichteverhältnisses quer zur Strasse (LV_q) und der relativen Minimalleuchtdichte (rML), eingetragen in w/h- und a/h-Koordinaten

Freistrahler mit der Lichtverteilung nach Fig. 3 in zweiseitiger, versetzter Anordnung und für trockene Asphaltdecke nach Fig. 2a
Bezeichnungen siehe Fig. 7

kann eine Anzahl Linien für konstante Werte von LVq und rML gezogen werden. Die Fig. 9 und 10 zeigen ein Beispiel für die versetzte Anordnung von Leuchten mit Lichtverteilungen gemäss Fig. 3 und 4 für die in Fig. 2a betrachtete trockene Asphalt-

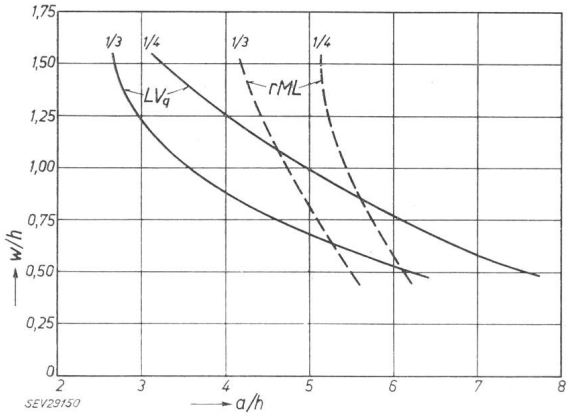

Fig. 10

Wie Fig. 9, jedoch für abgeschirmte Leuchten mit der Lichtverteilung gemäss Fig. 4

Bezeichnungen siehe Fig. 7

strasse. Fig. 9 und 10 wurden berechnet für den Strassenteil zwischen den zwei Leuchtenreihen, also für $ov/w = 0$. Es ist selbstverständlich auch möglich, Kurven für Beleuchtungsanlagen mit anderen Werten von ov/w zu geben. Da der Einfluss von ov/w auf die Ungleichmässigkeit im allgemeinen nicht sehr gross ist, hat es keinen Zweck, Kurven in Abbildungen, wie die Fig. 9 und 10, für mehrere Werte von ov/w anzugeben. In der Praxis genügt es, nur für einen einzigen anderen und dann ziemlich grossen Wert von ov/w (z. B. $ov/w = 1/4$) diese Kurven anzugeben (diese zweite Kurvenschar ist hier nicht gezeigt). Weil die beiden zueinandergehörenden Kurven $ov/w = 0$ und z. B. $ov/w = 1/4$

normalerweise nicht weit voneinander liegen, ist für willkürlich dazwischen gewählte Werte von ov/w eine ausreichend genaue Abschätzung von w/h und a/h möglich. Dabei fallen die den Werten w/h und a/h zugeordneten Ungleichmässigkeiten nicht unter das Mass, das mit dem Wert der Kriterien LVq oder rML den beiden zueinander gehörenden Kurven, zwischen denen interpoliert wird, zugeschrieben ist.

Für eine mehr oder weniger vollständige Dokumentation zur Beurteilung der zu erwartenden Gleichmässigkeit der Strassenleuchtdichte müssten LVq- und rML-Kurven für jede Kombination von Leuchten- und Strassendecken und für mehrere Anordnungen, z. B. Einfachreihe, versetzte und gegenüberstehende Anordnung, aufgestellt werden. Zusammen mit den $L \cdot a \cdot w$-Kurven zur Bestimmung der mittleren Leuchtdichte würden dann mindestens 4 Kurvengruppen für jede Leuchten- und Strassendecke-Kombination nötig sein. Zur Berechnung der zur Aufstellung dieser Kurvenscharen erforderlichen Daten kann z. B. eine der in den Veröffentlichungen [1; 2] oder [3; 4] beschriebenen Methoden angewendet werden.

Es lohnt sich durchaus, diese Berechnungen mit einer elektronischen Rechenmaschine vorzunehmen und zu diesem Zweck ein solches Rechenprogramm aufzustellen, dass die Berechnung für jede vorgegebene Lichtverteilung, also für jeden Leuchtentyp für eine Anzahl «Standardstrassendecken» durchgeführt werden kann. Die so erhaltenen Kurven könnten beispielsweise den üblichen Katalogangaben für Strassenleuchten beigelegt werden. Zwei Aspekte dieser Dokumentation über Strassenleuchtdichten sollen hier besonders erwähnt werden: erstens der Umstand, dass diese Dokumentation vernünftigerweise nur für eine beschränkte Anzahl von Strassendecken verschafft werden kann, und zweitens, dass die Personen, die die Dokumentation benutzen wollen, entscheiden können, welcher Strassendeckentyp, für den die Daten verschafft wurden, für ihren eigenen besonderen Fall gilt.

Der erste Aspekt bezieht sich auf die Notwendigkeit, zu einer Normung von Strassendecken zu gelangen. In mehreren Ländern (z. B. Grossbritannien, Holland, Belgien und Deutschland) gibt man sich Mühe, in dieser Richtung vorwärts zu kommen. Es ist sehr wohl möglich, dass die grosse Verschiedenheit der verwendeten Strassendecken in eine beschränkte Anzahl von Klassen eingeteilt werden kann, so dass eine beschränkte Anzahl charakteristischer Strassendecken als repräsentativ für diese Klassen gilt. Die in verschiedenen Ländern laufenden Versuche auf diesem Gebiet rechtfertigen die Erwartung, dass in absehbarer Zeit brauchbares Material zur Verfügung stehen wird.

Der zweite Aspekt: die Möglichkeit der Einordnung einer vorliegenden Strassendecke in genormte Strassendecken oder in die als Beispiel für die verschiedenen Klassen gewählten Strassendecken liegt in der Praxis vor, sobald Leuchtdichtemessungen für Strassenbeleuchtung nach einer ziemlich einfachen Methode durchgeführt werden können. Wir kommen auf diesen Aspekt am Schluss des Kapitels 4 zurück.

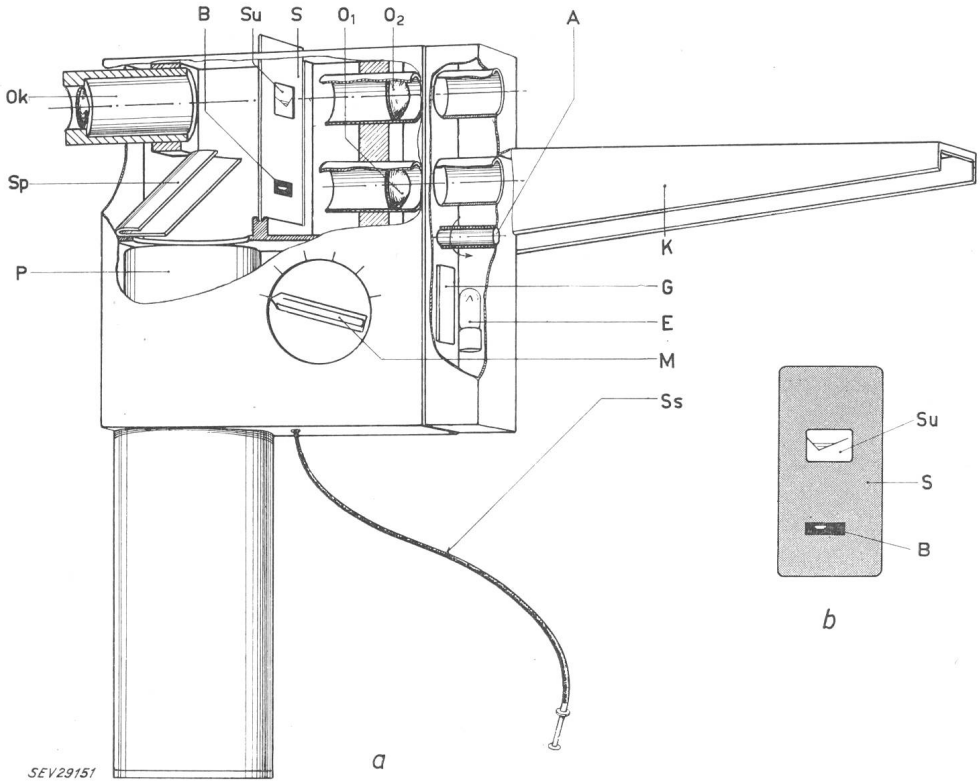

Fig. 11
Leuchtdichtemesser
a Ansicht; *b* Schieber
O_1, O_2 Doppelobjektive; *S* Schieber; *B* Blende; *Su* Sucher; *Sp* Spiegel; *P* Photosekundär-Elektronenverstärker; *Ok* Okular; *Ss* Sperrschaltersteuerung; *M* Messbereichschaltergriff; *K* Kappe; *E* Eichlampe; *G* Opalglasscheibe; *A* Drehachse des Eichkästchens

4. Die Messung der Strassenleuchtdichte

In diesem Abschnitt soll eine kurze Beschreibung eines Leuchtdichtemessers gegeben werden, der im Philips' Lichttechnischen Laboratorium zu dem Zweck entwickelt wurde, ein Instrument zu schaffen, das wegen seiner einfachen Bedienung und Konstruktion für den Gebrauch in der Praxis der normalen öffentlichen Beleuchtung empfohlen werden kann. Bei dieser Entwicklung hat man sich die Erfahrungen, die mit den früher als visuelle Photometer [6] und später auch als elektronische Leuchtdichtemesser gebauten Leuchtdichtemessern gewonnen hatte, zunutze gemacht. Bis vor kurzem hatte die Verwendung von elektronischen Leuchtdichtemessern zu anderen als Laboratoriums-

zwecken den Nachteil, dass sowohl das Instrument selbst als auch sein Stromversorgungsgerät zu sperrig waren. Dieser Nachteil ist durch die Anwendung von Transistoren wesentlich vermindert worden.

Das Prinzip der Konstruktion des Leuchtdichtemessers ist aus Fig. 11 ersichtlich und in Fig. 12 ist das Gerät photographisch dargestellt. Das Objektiv

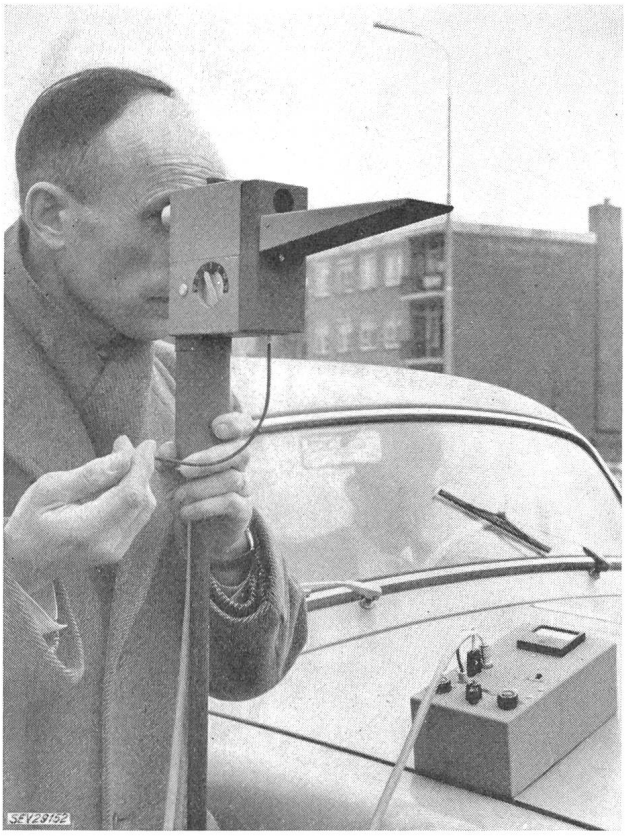

Fig. 12
Leuchtdichtemesser in Meßstellung

O_1 erzeugt ein Bild des zu photometrierenden Strassenteils (50 bis 150 m vor dem Beobachter) in der Ebene des Schiebers S, der die Blende B enthält. Diese Blende hat die Form und die Abmessungen eines umgekehrten Trapezes, das in der Oberfläche des Schiebers S als ein Bild des betreffenden Teils der Strassendecke entsteht. Das Licht fällt durch die Blende über den Spiegel Sp auf die Kathode des Photosekundärelektronenverstärkers P. Die Kappe K verhindert, dass zuviel Streulicht direkt von den Strassenlampen durch das Objektiv O_1 bis zur Photozelle vordringt.

Die in Kapitel 2 erwähnte Schwierigkeit der genauen Einstellung des Leuchtdichtemessers hat man durch den Einbau eines zweiten Objektives O_2 behoben. Dieses Objektiv erzeugt auch ein Bild des zu photometrierenden Strassenteils, und zwar im Sucher Su, der sich ebenfalls im Schieber S befindet. Der Sucher Su ist völlig transparent und zeigt nur die Ränder des zu photometrierenden Strassenteils. Der Sucher Su und die Blende B wurden in einem photographischen Verfahren mittels eines mit dem Doppelobjektiv O_1 und O_2 identischen optischen Systems erhalten. Zum Gerät gehört eine grosse Zahl von Schiebern S, die je einen Sucher und eine Blende für eine bestimmte Strassenbreite besitzen. Die verschiedenen Schieber wurden entworfen für eine Reihe von Strassen, deren Breite in Stufen von je 0,5 m ansteigt. Der Beobachter wählt den der jeweiligen Strassendecke am besten entsprechenden Schieber. Sodann richtet er das Gerät auf den zu messenden Strassenteil, indem er durch das Okular Ok schaut. Sobald die Konturen der Strasse mit den Rändern des Sucherfeldes Su zusammenfallen, fällt auch das Bild der Strassendecke zwischen 50 und 150 m vor dem Strassenbenutzer mit der Blende B zusammen. In dem Augenblick betätigt der Beobachter den Sperrschalter Ss, wodurch, wie wir in der nachfolgenden Beschreibung der elektrischen Einrichtung sehen werden, der Ladekreis eines Kondensators unterbrochen wird. Bevor der Kontakt unterbrochen wird, folgt die Spannung am Kondensator der mittleren Leuchtdichte des in B erzeugten Bildes mit einer sehr kleinen Verzögerung. Die Anzeige eines Mikroampèremeters, das über einen Gleichstromverstärker mit dem Kondensator verbunden ist, ist der Spannung zwischen den Klemmen des Kondensators proportional. Wenn die Verbindung unterbrochen wird, beginnt der Kondensator sich äusserst langsam zu entladen, und der Beobachter hat genügend Zeit zum Aufschreiben des Mikroampèremeter-Ausschlags, der in dem Augenblick, wo der Stromkreis unterbrochen wurde, vorhanden war. Um die genaue Einstellung zu erleichtern, kann man ein einbeiniges Stativ verwenden, das unten an dem Gerät befestigt werden kann.

Der Messbereich des Geräts ist am Messbereichschalter M einstellbar. Weiter interessiert die Weise, in der das Gerät geeicht werden kann. Das Eichverfahren ist deshalb so wichtig, weil in dem Gerät mehrere verschiedene Blenden B zur Verwendung kommen. Ohne weitere Massnahmen würde die Anzeige des Geräts für eine gegebene mittlere Leuchtdichte des zu messenden Feldes von der Grösse der verwendeten Blende abhängen. Diese Schwierigkeit wurde beseitigt durch Hinzufügen eines eingebauten Eichkästchens, das eine entsprechend gealterte Eichlampe E (Fig. 11) enthält und in dessen Innerem sich eine Opalglasscheibe G befindet (in dem Apparat werden mehrere Lampen verwendet, um eine gleichmässige Leuchtdichte der Glasscheibe G sicherzustellen). Das Eichkästchen kann um die waagrechte Achse A gedreht werden, so dass man G vor das Objektiv O_1 bringen kann. In dieser Stellung wird E mit der stabilisierten Speisespannung des Instrumentes verbunden, so dass G einen festen Leuchtdichtewert bekommt. Durch Einstellen des Verstärkungsfaktors des Gleichstromverstärkers (Fig. 13) kann man die gleiche Anzeige des Mikroampèremeters in einem passenden Bereich des Instrumentes für jede Blende B erhalten. Ein etwaiges Verlaufen der Empfindlichkeit des Instrumentes kann also, jedesmal wenn gewünscht, korrigiert werden.

Fig. 13 zeigt das Prinzip der elektrischen Einrichtung des Geräts. Ein Spannungsstabilisator wird von 10 Nickel-Cadmium-Zellen gespeist. Ein Hoch-

spannungsspeisungsapparat für den Photosekundärelektronenverstärker wird mit diesem Stabilisator verbunden. Einer der Widerstände, die für die Wahl des Messbereichs verwendet werden, wird mit dem

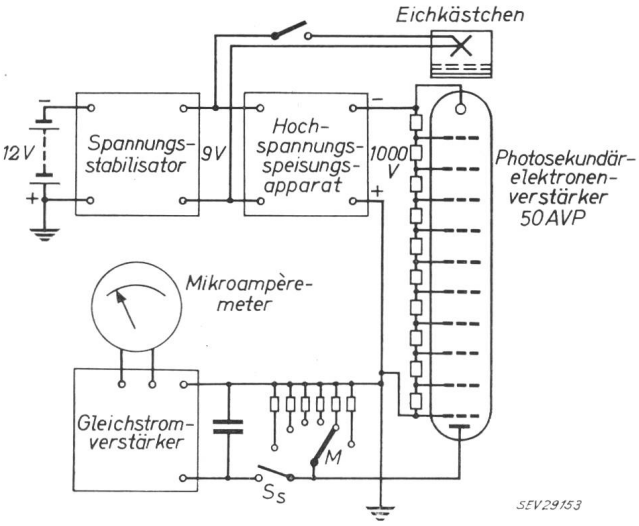

Fig. 13
Blockschema des Leuchtdichtemessers
M Messbereichschalter; *Ss* Sperrschalter

Photosekundärelektronenverstärker in Reihe geschaltet. Die Spannung zwischen den Kondensatorklemmen ist also das Produkt des photoelektrischen Stromes und des gewählten Widerstandes. Wenn der Sperrschalter Ss geöffnet wird, zeigt das Mikroampèremeter einen langsam abfallenden Wert proportional der Kondensatorspannung an. Das Eichkästchen wird auch mit dem Stabilisator verbunden und der zugehörige Schalter nur in der Eichstellung geschlossen. Die Akkumulatorenbatterie, der Stabilisator, der Hochspannungsspeisungsapparat und der Gleichstromverstärker werden in einem separaten kleinen Kasten untergebracht, der während der Messungen etwa auf dem Sitz eines Wagens niedergelegt werden kann. Die Messbereiche des Instrumentes entsprechen bei Vollausschlag des Mikroampèremeters 0,3, 1, 3, 10, 30 und 100 cd/m².

Der beschriebene Leuchtdichtemesser ist nur geeignet für die Messung der mittleren Leuchtdichte eines ziemlich grossen Teiles der Strassendecke. Erheblich höhere Empfindlichkeiten des Instrumentes würden erforderlich sein, wenn auch örtliche Werte der Leuchtdichte, wie sie vom normalen Verkehrsteilnehmer gesehen werden, gemessen werden sollten, weil dann Teile der Strassendecke betrachtet werden müssten, die das Auge des Beobachters unter nur sehr kleinem Raumwinkel sieht. Diese Schwierigkeit kann dadurch umgangen werden, dass das Messinstrument in eine kurze, konstante Entfernung von jedem der zu messenden Punkte der Strasse gebracht wird, anstatt alle Messungen von einem festen Punkt aus zu machen. Dies bedeutet aber, dass, wenn man einmal eine bestimmte Grösse des Strassenteiles als repräsentativ für die örtliche Leuchtdichte gewählt hat, die Frage gelöst werden soll, wie nahe der Leuchtdichtemesser an diesen Strassenteil gebracht werden darf, ohne zu grosse Fehler infolge Änderungen der Winkel β und δ über das Messfeld (Fig. 1) einzuschleppen. (Der Einfluss der Änderung des Winkels α ist vernachlässigbar.)

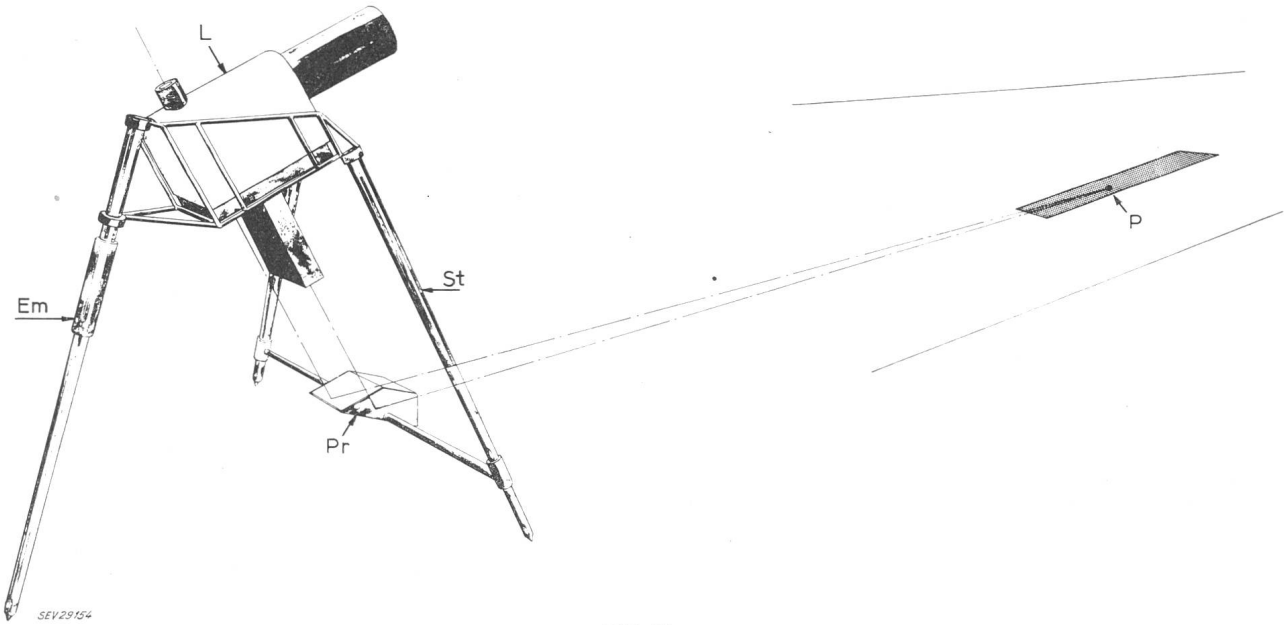

Fig. 14
Stativ für die Messung örtlicher Leuchtdichten
L Leuchtdichtemesser; *St* Stativ; *Em* Einstellmutter; *Pr* Prisma; *P* «Messpunkt»

Wir betrachten einen rechtwinkligen Teil der Strassendecke mit einer Breite von 0,1 m und einer Länge von 1 m, einerseits gross genug, um den Einfluss von Unregelmässigkeiten in der Oberflächenstruktur zu beseitigen und anderseits klein genug, um ihn noch als eine örtliche Stelle der Strassen-

decke ansehen zu können. Berechnungen haben gezeigt, dass in einer Entfernung von 3 m zwischen Leuchtdichtemesser und Punkt *P*, die mittlere Leuchtdichte des Messfeldes mit den eben erwähnten Abmessungen nicht mehr als um 10 % abweicht von dem Leuchtdichtewert, der in der Mitte des Messfeldes vorhanden ist; sogar für den Fall glatten Asphalts, beleuchtet durch freistrahlende Strassenleuchten.

Um den Leuchtdichtemesser für die Messungen örtlicher Leuchtdichten verwenden zu können, wurde ein spezielles Stativ St konstruiert, wie es in Fig. 14 gezeigt ist. Der Leuchtdichtemesser L kann in diesem Stativ in der Nähe des Messpunktes *P* in solcher Weise eingehängt werden, dass die Messrichtung einen Winkel von 1° (der Winkel α in Fig. 1) mit der Strassendecke bildet. Die optische Entfernung der Objektive der Leuchtdichtemesser

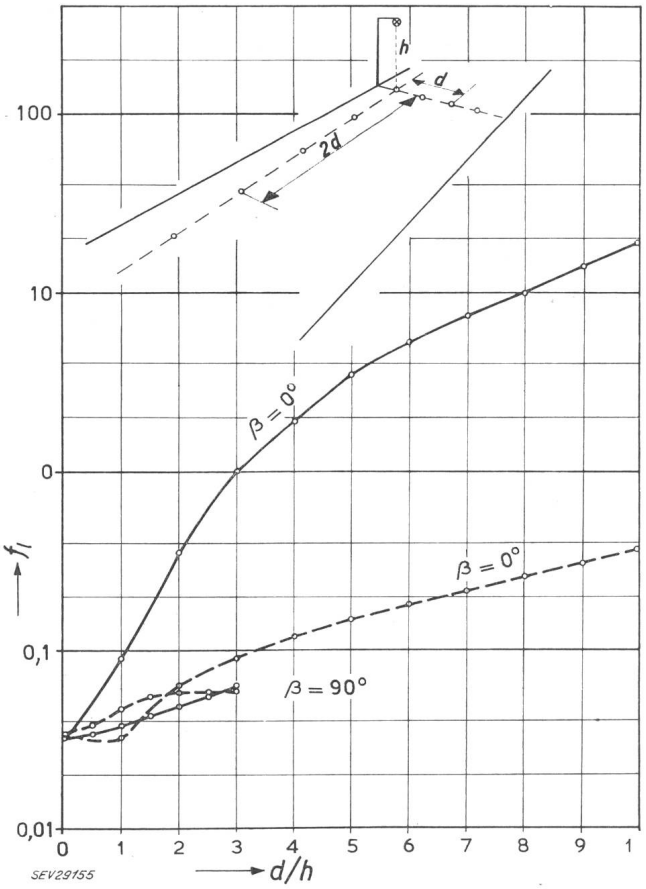

Fig. 15

Leuchtdichtefaktor f_l für zwei verschiedene Strassendecken in Abhängigkeit von der relativen Entfernung in Längs- und Querrichtung der Strasse gemessen von dem Punkt senkrecht unter der Leuchte

——— trockener Asphalt nach Fig. 2a
– – – – trockener Beton
β ist in Fig. 1b definiert

vom «Punkt» *P* ist 3 m. Das Stativ wurde derart konstruiert, dass der Beobachter die Messungen unbehindert durchführen kann. Der Beobachter schaut nach unten durch das Okular via das Prisma Pr nach dem «Punkt» *P*. Ein spezieller Schieber S wurde für diese Messung vorgesehen, welcher von solcher Art ist, dass ein rechtwinkliger Teil der Strassendecke von 0,1×1 m gemessen wird. Die niedrigste Messbereich entspricht bei vollem Ausschlag einer Leuchtdichte von 1 cd/m².

Der Sucher Su und die Blende B dieses speziellen Schiebers sind so angeordnet worden, dass die Parallaxe bei der kurzen Messentfernung korrigiert wird. Mit Hilfe der Einstellmutter Em in Fig. 14 kann die Mitte des rechtwinkligen Teiles der Strassendecke zur Deckung gebracht werden mit der Mitte des Suchers im Schieber.

Wenn die Messung von örtlichen Leuchtdichten nicht von einer Stelle, dem Ort eines normalen Verkehrsteilnehmers entsprechend, aus gemacht wird, sondern in der beschriebenen Weise, soll die Messrichtung in Draufsicht (der Winkel δ in Fig. 1) richtig eingestellt werden. Letzteres kann dadurch erreicht werden, dass eine Lichtquelle (z. B. einer der Scheinwerfer eines Automobils) an die Stelle eines hypothetischen Verkehrsteilnehmers gesetzt und dafür gesorgt wird, dass das Stativ so hingestellt wird, dass der Schatten des hinteren Beines des Stativs, mit der Einstellmutter Em, symmetrisch auf das Prisma Pr fällt.

Ein weiteres Zubehör zum Instrument ist eine graue Reflexionsplatte mit einem Reflexionsfaktor ϱ gleich $\pi/10$. Mit Hilfe dieser Platte kann das Instrument auch als Beleuchtungsstärkemesser verwendet werden, indem man die Platte dort auf die Strasse legt, wo die Beleuchtungsstärke gemessen werden soll und die Leuchtdichte der Platte unter einem Winkel von ca. 45° misst. Die Anzeige des Instrumentes in cd/m² gibt dann die Beleuchtungsstärke in 0,1 lx an. Der kleinste Messbereich entspricht dann bei Vollausschlag 3 lx.

Aus dieser Beschreibung wird es klar sein, dass die am Schluss des Kapitels 3 erwähnten Messungen zur Einordnung einer vorliegenden Strassendecke in eine Normreihe mit Hilfe dieses Instrumentes auf einfache Weise durchgeführt werden können. Man kann z. B. die Leuchtdichte (bei $\alpha = 1°$) und die Beleuchtungsstärke messen unter einer beliebigen Leuchte (aber nur bei dem Licht dieser einzelnen Leuchte) über der zu untersuchenden Strassendecke an einer Anzahl von Stellen längs einer Linie parallel zur Strassenachse, welche durch den Lotfusspunkt der Leuchte geht. Für die Leuchtdichtemessungen in den Punkten längs dieser Linie ($\overline{PP'}$ in Fig. 1a) ist also $\beta = 0°$ oder $\beta = 180°$. Das gleiche könnte, wenn erwünscht, gemacht werden für Punkte längs einer Linie, senkrecht zur Strassenachse, also für Punkte, für welche $\beta = 90°$ ist. Aus dem Verhältnis zwischen den Leuchtdichte- und Beleuchtungsstärkewerten, die man für die verschiedenen Stellen gemessen hat, kann man dann den Leuchtdichtefaktor f_l errechnen. Dieser Faktor kann z. B. als Funktion des Abstandes von dem Punkt senkrecht unter der Leuchte, reduziert auf die Aufhängehöhe, eingetragen und verglichen werden mit den entsprechenden Kurven für die Normstrassendecken, für welche die in Kapitel 3 erwähnte Dokumentation zur Verfügung stehen sollte. Diese Darstellung des Leuchtdichtefaktors f_l ist beispielsweise in Fig. 15 für den trockenen Asphalt, worauf sich die Fig. 2a bezieht, und für eine trokkene Betondecke angegeben worden.

Literatur

[1] *Harris, A. J.* und *A. W. Christie:* Research on Two Aspects of Street Lighting: Accidents and Road Surface Characteristics. Publ. Lighting Bd. 19(1954), S. 553.

[2] *Ruff, H. R.* und *G. K. Lambert:* Relative Importance of the Variables Controlling Street Lighting Performance. Publ. Lighting Bd. 22(1957), Nr. 97, S. 177.

[3] *Boer, J. B. de, V. Onate* und *A. Oostrijck:* Practical Methods for Measuring and Calculating the Luminance of Road Surfaces. Philips Res. Rep. Bd. 7(1952), Nr. 1, S. 54...76.

[4] *Boer, J. B de* und *A. Oostrijck:* Reflection Properties of Dry and Wet Road Surfaces and a Simple Method for Their Measurement. Philips Res. Rep. Bd. 9(1954), Nr. 3, S. 209...224.

[5] *Boer, J. B. de, F. Burghout* und *J. F. T. van Heemskerck Veeckens:* Appraisal of the Quality of Public Lighting Based on Road Surface Luminance and Glare. C. I. E.-Brüssel 1959, Nr. P-59.23.

[6] *Boer, J. B. de:* Ein Leuchtdichtemesser für Strassenbeleuchtung. Lichttechnik Bd. 7(1955), Nr. 7, S. 273...275; Nr. 8, S. 307...309.
Un luminancemètre pour l'éclairage public. Rev. gén. Routes et Aérodromes Bd. -(1955), Nr. 280.

Adresse des Autors:

J. B. de Boer, Lichttechnisches Laboratorium, N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven (Niederlande).

Die verschiedenen Arten der elektrischen Zugförderung bei den Schweizerischen Bundesbahnen seit ihren Anfängen

Von *A. Degen*, Bern

621.331 : 625.1(494)

Die Entwicklung der SBB wird in grossen Zügen in der Hauptsache vom Standpunkt der Energiewirtschaft aus geschildert. Neben dem Einphasensystem mit 15 kV Fahrleitungsspannung und 16²/₃ Hz, dem weitaus die wichtigste Rolle zukommt, werden auch weitere Anwendungsarten behandelt. Die betreffenden Anlagen und Triebfahrzeuge sind zum Teil heute noch im Betrieb, zum Teil besitzen sie historischen Charakter. Zum Schluss wird auf die Verhältnisse in den Grenzbahnhöfen hingewiesen, in denen ausländische Bahnen einmünden.

Le développement des CFF est exposé d'une manière générale, principalement du point de vue de l'économie énergétique. Outre le système monophasé à 16²/₃ Hz avec tension de 15 kV au fil de contact, le plus important, il existe d'autres systèmes, qui sont indiqués. Les installations et les véhicules de traction correspondants sont en partie encore utilisés, tandis que d'autres n'ont plus qu'un caractère historique. Pour terminer, l'auteur mentionne les conditions aux gares frontalières, où aboutissent des lignes de chemins de fer de l'étranger.

1. Einleitung

Der 29. Mai 1960 war ein bedeutungsvoller Tag für die Elektrifizierung der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB). Der Sommerfahrplan trat in Kraft. Gleichzeitig wurde auf den Strecken Cadenazzo–Luino und Oberglatt–Niederweningen das Dampfross endgültig pensioniert. An seiner Stelle werden nun auch hier in Zukunft leistungsfähige elektrische Triebfahrzeuge den Verkehr bewältigen und als «Betriebsstoff» einheimische weisse Kohle konsumieren. Mit diesen beiden Umstellungen ist die Elektrifikation des Staatsbahnnetzes praktisch beendigt. Mehr als 55 Jahre sind vergangen, seit sich zum ersten Mal, am 16. Januar 1905, ein elektrisches normalspuriges Triebfahrzeug mit eigener Kraft und mit oberirdischer Stromzuführung auf dem Netze der SBB in Bewegung gesetzt hat. Das damals noch sehr zarte und allerhand Kinderkrankheiten aufweisende Bäumlein hat sich jedoch in überaus erfreulicher Weise weiterentwickelt. Heute steht es, bildlich gesprochen, als grosser, sich über das ganze Land erstreckender Wald da.

Die Anstrengungen der Pioniere der elektrischen Zugförderung in unserem Lande waren nicht umsonst. Sie mussten sich zum Teil gegen grössere Widerstände mit dem Gewicht ihrer ganzen Persönlichkeit für die Durchführung der Gedankengänge einsetzen, die von ihnen als richtig angesehen wurden. Ihre Bemühungen haben sich aber gelohnt. Dank der vollständigen Elektrifizierung besitzen die SBB heute ein sehr leistungsfähiges Netz. Die Vorteile der weissen Kohle wirken sich gegenüber dem früheren Dampfbetrieb in einer starken Vermehrung der Fahrleistungen sowie in einer Verkürzung der Fahrzeiten, besonders auf Bergstrecken, aus. Dankbar sei hier aller Pioniere aus der Frühzeit der Elektrifikation der SBB gedacht. Ihr nie erlahmender Eifer ist auch heute noch der Wegweiser für alle, die an diesem grossen Werk von nationaler Bedeutung mitarbeiten dürfen.

Bei der Umstellung des Dampfbetriebes wurde die weisse Kohle in verschiedenen Formen für die elektrische Zugförderung nutzbar gemacht. Es bestehen Unterschiede in der Erzeugung der Energie, in der Zuleitung zum Triebfahrzeug, in der Fahrleitungsspannung sowie in der Stromart, um nur die wichtigsten Punkte zu nennen. In den folgenden Ausführungen soll nun im einzelnen auf die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten von elektrischer Energie für Traktionszwecke eingegangen werden.

2. Der Akkumulatorenbetrieb

Das Triebfahrzeug mit eingebauten Akkumulatoren ist in seinem Aufbau einfach. Es kann sowohl als Motorwagen als auch als Lokomotive ausgebildet sein. Der erforderliche Betriebsstoff «Elektrizität» wird in den Akkumulatoren mitgeführt. Die gesamten Aufwendungen für die ortsfesten Einrichtungen der elektrischen Zugförderung (Fahr- und Speiseleitungen sowie Unterwerke und Umformerstationen) fallen gänzlich weg. Ausser den Triebfahrzeugen werden nur noch ortsfeste Ladeeinrichtungen für die Batterien benötigt. Die erforderliche Energie wird in der Regel in Form von Drehstrom von den örtlichen Elektrizitätswerken bezogen und für das Laden der Batterien in Gleichstrom umgewandelt. Die ortsfesten Installationen fallen somit sehr einfach aus. Sie können je nach den Betriebsverhältnissen auf einen oder mehrere Punkte des Bahnnetzes konzentriert werden. Diesen Vorteilen des Akkumulatorenbetriebes steht jedoch seine beschränkte Leistungsfähigkeit gegenüber, die sich besonders stark bei Strecken mit grösseren Steigungen bemerkbar macht. Ausserdem ergeben sich hohe Kosten, bedingt durch den Betrieb und den Unterhalt der Batterie.

Die ersten Anfänge des Einsatzes von Akkumulatoren-Triebfahrzeugen lassen sich bei den SBB sehr weit zurückverfolgen. Im Gegensatz zu ausländi-