

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 57 (1966)
Heft: 11

Artikel: Stand der Leuchtdichtetechnik mit besonderer Berücksichtigung der Planung und Kontrolle öffentlicher Beleuchtungsanlagen
Autor: Mäder, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916601>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 02.04.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Stand der Leuchtdichtetechnik mit besonderer Berücksichtigung der Planung und Kontrolle öffentlicher Beleuchtungsanlagen

Von F. Müder, Bern

628.971:535.241.44

Der vorliegende Aufsatz weist auf die Bedeutung hin, welche der Leuchtdichtetechnik in der Beleuchtungspraxis zukommt. Aus der Angabe einer Auswahl handelsüblicher Leuchtdichtemessgeräte ist zu ersehen, dass die heute verfügbaren messtechnischen Mittel die Einführung der Leuchtdichtetechnik erleichtern sollten. Besonders die beschriebenen Kleingeräte, welche allerdings zum Teil noch in der Entwicklung stehen, dürften der Leuchtdichtetechnik zum Durchbruch verhelfen. Es besteht auch die Möglichkeit, die in einer besonderen Situation zu erwartende Leuchtdichte mit einiger Genauigkeit vorauszubestimmen. Dies wird an Hand eines Beispiels aus der Tunnelbeleuchtungspraxis dargelegt.

L'article précité démontre l'importance que revêt la technique des luminances dans la pratique de l'éclairage. Le choix des luminancemètres courants, cités à ce propos, prouve, que les dispositifs de mesure, actuellement disponibles, devraient faciliter l'introduction de la technique des luminances. Ce sont en particulier les appareils de dimensions restreintes, dont le développement n'est toutefois pas toujours achevé, qui devraient permettre à la technique des luminances de s'imposer définitivement. Il existe également la possibilité de déterminer à l'avance avec une certaine précision la luminance présumée dans un cas particulier. Cette prédétermination est illustré par un exemple se rapportant à la pratique de l'éclairage des tunnels.

1. Einführung

Massgebend für die Beurteilung einer Beleuchtungsanlage (z. B. einer Strassenbeleuchtung) ist die mittlere Helligkeit in der die beleuchteten Gegenstände (z. B. die Strassenoberflächen) erscheinen. Nach dem internationalen Wörterbuch der Lichttechnik ist die Helligkeit die Eigenschaft einer Lichtempfindung, auf Grund deren ein Teil des Gesichtsfeldes mehr oder weniger Licht auszusenden scheint. Als Bemerkung steht dabei: Helligkeit ist angenähert das empfindungsmässige Korrelat zur photometrischen Grösse: Leuchtdichte. Um ein möglichst wirklichkeitsnahes Bild der Sehbedingungen einer beleuchteten Anlage z. B. einer beleuchteten Strasse zu erhalten, müssen deshalb die Leuchtdichten der Sehdinge z. B. des Strassenbelages ermittelt werden.

Auf diesen Sachverhalt hat man längst aufmerksam gemacht, und trotzdem wird noch heute in den Beleuchtungsleitsätzen die Güte einer Beleuchtungsanlage durch die Angabe von Beleuchtungsstärken und Beleuchtungsstärkenunterschieden gekennzeichnet. Der Grund dazu liegt darin, dass die Beleuchtungsstärkentechnik grundsätzlich einfacher ist als die Leuchtdichtetechnik. Schon allein mit der Lichtstärkenverteilung der verwendeten Leuchte lässt sich die Beleuchtungsstärkenverteilung auf der Strasse leicht berechnen. Zudem sind die Luxmeter einfach gebaute und einfach zu handhabende Messinstrumente.

Zwischen der Beleuchtungsstärkenverteilung und der Leuchtdichtenverteilung besteht im allgemeinen kein einfacher sondern eher ein verwickelter Zusammenhang. Insbesondere lässt sich auf beleuchteten Strassen die Leuchtdichte und die Leuchtdichtenverteilung im Gesichtsfeld des Beobachters nicht auf einfache Weise aus der Angabe der Beleuchtungsstärke und deren Verteilung erkennen. Beispielsweise kann wegen der Quasi-Spiegelung bei der ortsfesten

Beleuchtung der «schwarze» Asphaltbelag dem «weissen» Betonbelag hinsichtlich Leuchtdichte überlegen sein. Dies gilt aber nicht für die automobileigene Beleuchtung.

Die Leuchtdichte der Fahrbahnoberfläche hängt ausser von der Lichtstärkenverteilung der Leuchte auch vom Reflexionsverhalten des Strassenbelages und damit im wesentlichen von der Art des Belages, von den Einfallswinkeln des Lichtes sowie von der Blickrichtung des Beobachters ab. Es kommt darauf an, ob der Beobachter ein bestimmtes Strassenoberflächenstück aus einer Entfernung von 100 m oder bloss von 10 m betrachtet, und ob er dabei am linken oder am rechten Strassenrande steht.

Um bei der Vielfalt von Beobachtungs- und Lichteinstrahlungsmöglichkeiten eine für die Praxis noch gangbare Beurteilungsmethode zu schaffen, ist es notwendig, vereinfachende Normungen einzuführen. Gerade in der Strassenbeleuchtungstechnik konnten verhältnismässig leicht sinnvolle Vereinfachungen gefunden werden. Schon vor 15 Jahren wählten *Weigel* [1]¹⁾ und *Arnt* [2] die Höhe des Beobachtersauges oder des photoelektrischen Empfängers einheitlich 1,5 m über der Fahrbahn. Dies entspricht etwa der mittleren Höhe der Augen von Motorfahrzeuglenkern. Als Beobachtungsrichtung wurde einzig die Strassenachsenparallele vorgeschlagen und als zu beobachtende Stellen Strassenoberflächenstücke, die sich in einer Entfernung von 5, 10, 15, 25, 50 und 100 m vor dem Beobachter befanden. Für alle entsprechenden Beobachtungswinkel ermittelte *Weigel* seine Leuchtdichte-Reflexionsindikatrices von befahrenem Asphalt und von Betondecken. Mit Hilfe dieser Kurven berechneten *Weigel* und *Arnt* Leuchtdichteverteilungen, verglichen sie mit den Beleuchtungsstärkenverteilungen und wiesen neben anderem darauf hin, dass der Höchstwert der Leuchtdichte etwa

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.



Fig. 1

Spectra Brightness Spot Meter der Photo-Research-Corporation in Hollywood

dort sei, wo die Beleuchtungsstärke ihren Minimalwert aufweist.

Selbstverständlich bemüht sich auch die Internationale Beleuchtungskommission um die Vereinfachung und damit um die allgemeine Einführung der Leuchtdichtetechnik. In der Strassenbeleuchtungstechnik blieb von den vielen Neigungen der Beobachtungsrichtung, die von *Weigel* und *Arnt* verwendet wurden, nur noch jene übrig, die in der Automobilfahrpraxis die wichtigste sein soll, die Neigung von -10° . Nur nebenbei sei daran erinnert, dass die Hell-Dunkelgrenze des nach den schweizerischen Polizeivorschriften eingestellten Abblendlichtes eine stärkere Neigung haben muss. Wie schon *Weigel* und *Arnt* empfiehlt die Internationale Beleuchtungskommission als Höhe des Beobachterauges oder des photoelektrischen Empfängers 1,5 m zu wählen. Nach den gleichen Empfehlungen sollen die für die Praxis bestimmten Leuchtdichtemessgeräte eine kreisrunde Apertur von 10° aufweisen. Dies ergibt auf der Strassenoberfläche ein 115 m langes und 1,7 m breites elliptisches Testfeld, von welchem mit dem Leuchtdichtemessgerät die mittlere Leuchtdichte gemessen werden kann.

2. Die Leuchtdichtemessgeräte

Vor 15 Jahren klagte *Arnt*, die Leuchtdichtetechnik sei noch nicht Allgemeingut geworden, weil es neben anderem keine geeigneten Leuchtdichtemessgeräte gebe. Das von den erhältlichen Geräten beanspruchte Testfeld sei für die Praxis zu gross. Demgegenüber konnte man 1963 an der Tagung der Internationalen Beleuchtungskommission berichten, dass auf dem Markt genügend für den allgemeinen Gebrauch geeignete Leuchtdichtemessgeräte vorhanden seien, so dass die Leuchtdichtetechnik nach und nach in der Beleuchtungspraxis Eingang finde [3].

In den Leitsätzen für öffentliche Beleuchtung (1. Teil) [4] steht als Definition für die Leuchtdichte:

Die Leuchtdichte eines überall gleich stark leuchtenden Flächenstückes ist der *Quotient* aus der *Lichtstärke* dieses Flächenstückes in einer bestimmten Richtung und der *sichtbaren Grösse des Flächenstückes* in der betrachteten Richtung.

Somit muss das Leuchtdichtemessgerät ein Gerät zur Messung der Lichtstärke eines bekannten, scharf begrenzten Messfeldes sein. Ist die Leuchtdichte in diesem Felde inhomogen, so misst das Gerät die mittlere Leuchtdichte.

Eine scharfe Messfeldbegrenzung erhält man am einfachsten durch Abbildung. Bei der Abbildung ist zudem die

Leuchtdichte des scharf eingestellten Bildes bis auf einen konstanten Faktor gleich der Leuchtdichte des Gegenstandes, vorausgesetzt, dass er nicht zu nah an das Objektiv heran rückt.

2.1 Visuelle Leuchtdichtemessgeräte

Schon bei den alten visuellen Leuchtdichtemessgeräten wurden die Vorteile der Abbildung ausgenützt. Es gibt heute noch visuelle Leuchtdichtemessgeräte, wovon jenes nach *Beck* von *Schmidt* und *Haensch* auch den höchsten Anforderungen genügt. Das Gerät besitzt eine Fernrohroptik, einen Lummer-Brodhun-Würfel, eine Vergleichslampe, eine Messfeldgrösse von nur $1'$ und viele von $0,0001 \text{ cd/m}^2$ bis $10\,000\,000 \text{ cd/m}^2$ gehende Empfindlichkeitsbereiche. Falls alle Möglichkeiten des Gerätes ausgenützt werden sollen, so muss man es in Verbindung mit einer Theodolit-Einstellvorrichtung verwenden.

Ein etwas handlicheres visuelles Gerät wäre das früher recht weit verbreitete Luckiesh-Taylor-Brightness-Meter. Leider ist es nicht mehr erhältlich. Kürzlich beschrieb *D. Schreuder* [5] von Philips ein visuelles Leuchtdichtemessgerät in Taschenformat. Das Feld seiner Vergleichslampe wird unter einem Winkel von $0,5^\circ$ gesehen. Somit ist das Gerät zur empfehlungsgemässen Anwendung in der Strassenbeleuchtungspraxis verwendbar. Gewiss besitzt es keine grosse Genauigkeit. Dies wird bei seiner Grösse, die jene einer Zigaretenschachtel nicht übersteigt, auch nicht erwartet. Für orientierende Messungen jedoch dürfte die Genauigkeit noch genügen.

2.2 Photoelektrische Leuchtdichtemessgeräte für die Praxis

Von den photoelektrischen mit einer Abbildungsoptik arbeitenden Leuchtdichtemessgeräten, deren Messfeldgrösse der Empfehlung der Internationalen Beleuchtungskommission genügt, d. h. die eine kreisrunde Apertur von 10° oder etwas weniger besitzen seien folgende Fabrikate erwähnt:

Das Spectra Brightness Spot Meter der Photo-Research-Corporation in Hollywood, Model UB, hat eine Messfeldgrösse von $1/2^\circ$ (Fig. 1). Als photoelektrischer Empfänger ist ein Sekundärelektronenvervielfacher eingesetzt. Zur elektrischen Speisung dient ein Netzanschlussgerät. Ein Teilstrich der 100-teiligen Ableleskala bedeutet im empfindlichsten Bereich $0,001 \text{ ft. L}$, d. h. etwa $0,01 \text{ asb}$ oder $0,003 \text{ cd/m}^2$ und im unempfindlichsten Bereich 1000 ft. L , d. h. $10\,000 \text{ asb}$

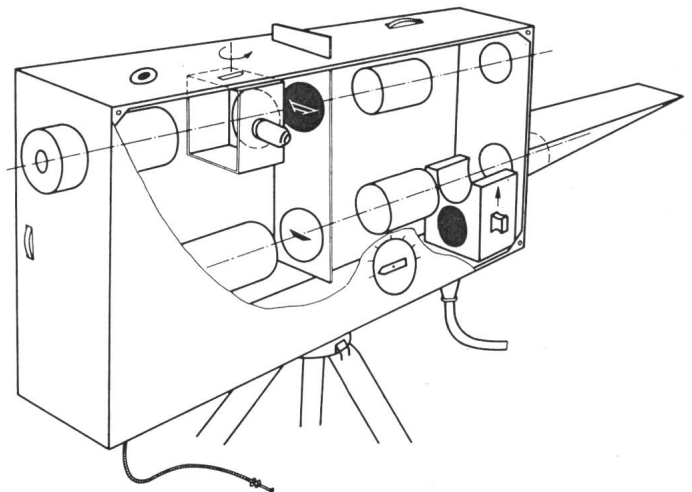


Fig. 2

Schema des Philips-Leuchtdichtemessgerätes nach de Boer und Asmussen

oder 3400 cd/m^2 . Aufgrund der hohen Empfindlichkeit und der vielen Messbereiche ist das Gerät in den verschiedensten Gebieten der Beleuchtungstechnik anwendbar. Mit ihm lässt sich die Leuchtdichte von schlecht beleuchteten Strassen wie auch die Leuchtdichte von weissen Wolken am hellen Tage messen. Durch eine im Spectra Brightness Spot Meter eingebaute Kompensationsblende wird erreicht, dass bei Scharfeinstellung auf Messobjekte, die sich in einer Entfernung zwischen ∞ und $1,8 \text{ m}$ befinden, kein Fehler entstehen soll. Die Messung der Leuchtdichten von Gegenständen, die sich näher als $1,8 \text{ m}$ vor dem Objektiv befinden, erfordert eine Zusatzoptik und eine besondere Eichung.

Ein anderes für die Praxis empfehlenswertes Leuchtdichtemessgerät ist jenes von *de Boer* und *Asmussen* [6] (Fig. 2). Auch in diesem Gerät ist ein Sekundärelektronenvervielfacher eingesetzt. Als Messfeld wird normalerweise das bei 60 m vor dem Beobachter beginnende und bis 160 m reichende Strassenstück verwendet, d. h. jenes Strassenstück, das der fahrende Automobilist hauptsächlich beobachten muss. Durch eine entsprechende Blende in der Bildebene des Objektivs wird das Strassenstück scharf umgrenzt. Selbstverständlich kann man an Stelle dieser Blende auch eine den internationalen Empfehlungen entsprechende runde Blende mit einem Öffnungswinkel von 1° einsetzen, wobei zu sagen ist, dass die Blenden von *de Boer* und *Asmussen* einen für den Lichttechniker geeigneteren Mittelwert ergeben, als eine kreisrunde Apertur. Die Empfindlichkeitsbereiche reichen von $0,1 \dots 100 \text{ cd/m}^2$ als Endausschlag des Anzeigeinstrumentes.

Es gibt noch einige andere photoelektrische Leuchtdichtemessgeräte, die einen ähnlichen Aufwand erfordern wie das Spectra Model UB — $1/2^\circ$ und das Philipsgerät.

Von den kleineren Geräten verdient der Belichtungsmesser Pentax Spot der Asahi Optical Co. Ltd. in Tokyo beachtet zu werden (Fig. 3). Als lichtempfindliches Element dient eine Cadmium-Sulfid-Widerstandszelle. Durch Entfernung des vorgesetzten Kompensationsfilters lässt sich die Empfindlichkeit des Gerätes wesentlich steigern. Es hat zwei Empfindlichkeitsstufen sowie ein Anzeigeinstrument mit logarithmischer Teilung. $0,5 \text{ cd/m}^2$ war bei dem im eidg. Amt für Mass und Gewicht, Bern, untersuchten Model I gerade noch ablesbar und 300 cd/m^2 der Endwert des oberen Skalenbereiches (ohne Zusatzfilter). Unter Verwendung der Schottfilter $1,5 \text{ mm BG 18}$ und $1,5 \text{ mm GG 10}$ kann die spektrale Empfindlichkeit des photoelektrischen Empfängers leidlich der $V\lambda$ -Kurve angepasst werden. Die Apertur ist kreisrund, beträgt beim neuen Gerät 1° und genügt somit in dieser Hinsicht den internationalen Empfehlungen.

2.3 Prüfung der Leuchtdichteverteilung mit Leuchtdichtemessgeräten

Mit einem Leuchtdichtemessgerät, dessen Öffnungswinkel 1° beträgt, und das man aus einer Höhe von $1,5 \text{ m}$ über der Fahrbahn um 1° geneigt auf die Strassenoberfläche richtet, lassen sich keine genügenden Angaben über die Gleichmässigkeit der Leuchtdichten gewinnen. Dazu braucht es Geräte mit einem scharf begrenzten Messfeld von $1'$ bis höchstens $3'$, da sonst über Unregelmässigkeiten gemittelt wird, die das Auge mit seinem Auflösungsvermögen von $1'$ bereits erfasst. Die Einstellvorrichtung mit Zielfernrohr muss die Qualität eines Theodoliten höchster Genauigkeit besitzen und die



Fig. 3
Belichtungsmesser Pentax Spot

Empfindlichkeit sollte gestatten $0,05 \text{ cd/m}^2$ noch abzulesen. Geräte, welche diesen Anforderungen genügen sind:

1. Spectra Telephotometer der Photo-Research Corp. in Hollywood (USA);
2. Luminancemètre Massart-Schröder der S. A. Schröder Ans-les-Liège (Belgien);
3. Tele-Leuchtdichtemessgerät nach *Beck* von Schmidt und Haensch.

Alle diese Geräte sind sehr teuer und wohl eher für anspruchsvolle wissenschaftliche Untersuchungen als für die Beleuchtungspraxis geeignet.

Zur Not sind auch Leuchtdichtemessgeräte mit einem Messfeld von 1° zur punktuellen Ausmessung einer Beleuchtungsanlage brauchbar. Die Höhe der Beobachtungsstelle muss dazu wesentlich reduziert, die Neigung von 1° aber beibehalten werden.

2.4 Photographische Messmethoden

Eine recht gute Auskunft über die Gleichmässigkeit einer Beleuchtungsanlage erhält man mit Hilfe der von *Waldram* vor 30 Jahren in die Beleuchtungstechnik eingeführten photographischen Photometrie. In diesem Zusammenhang sei auch die Methode zur photographischen Darstellung von Leuchtdichteverteilungen erwähnt, welche *Greif* [7] und *Callender* [8] beschrieben haben. Durch wiederholtes verschiedenartiges hartes Kopieren des Originalbildes und nachträgliches Zusammensetzen der Kopien wird ein Bild mit wenigen diskreten (z. B. vier) homogenen Tönen erhalten. Die Stellen, wo zwei verschiedene Töne zusammenstossen, sind im Prinzip Isoleuchtdichtekurven. Wird ein Graukeil mit bekannter Leuchtdichteverteilung mitphotographiert, so lässt sich der Leuchtdichtewert dieser Grenzen ermitteln.

Am Eidg. Amt für Mass und Gewicht wurde diese Methode schon vor den Veröffentlichungen von *Greif* und *Callender* untersucht. Es unterlaufen einem dabei leicht Fehler, die dazu führen können, dass ein im Original helleres Tongebiet im Tonstufenbild in eine dunklere Zone fällt als ein ursprünglich dunkleres Tongebiet.

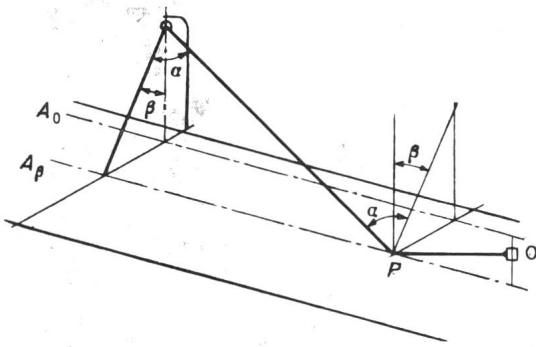


Fig. 4
Winkel α , β der Lichtstärke- und Leuchtdichtefaktor-Verteilung
Beobachtungsspur $A_\beta P$

3. Berechnung der Leuchtdichte

3.1 Berechnungsgrundlagen

Für die Berechnung der Leuchtdichte auf der Strassenoberfläche gemäss den internationalen Empfehlungen sind zwei Grundlagen notwendig:

1. Lichtstärkenverteilung der Leuchte in cd/klm ;
2. Leuchtdichtefaktorverteilung des Strassenbelages für die Blickrichtung mit einer Neigung von 1° parallel zur Strassenachse in $\frac{\text{cd/m}^2}{\text{lx}}$.

Die Lichtstärkenverteilung ist meist für einen Winkel α längs (in der sog. A-Ebene) und einen Winkel β quer zur Strassenachse angegeben $\left(\frac{I}{\Phi}\right)_{\alpha, \beta}$ (Fig. 4). Für das gleiche Winkelpaar müssen die Leuchtdichtefaktoren $\left(\frac{L}{E}\right)_{\alpha, \beta}$ bekannt sein. Die horizontale Beleuchtungsstärke $E_{hor.}$ an der durch α und β definierten Fahrbahnstelle berechnet sich nach der bekannten Formel:

$$E_{hor.} = \Phi \frac{\cos^3 \alpha \cdot \cos^3 \beta}{h^2} \left(\frac{I}{\Phi}\right)_{\alpha, \beta}$$

(h ist die Lichtpunkthöhe)

Daraus erhält man die Leuchtdichte an der betrachteten Stelle:

$$L = \Phi \frac{\cos^3 \alpha \cdot \cos^3 \beta}{h^2} \left(\frac{I}{\Phi}\right)_{\alpha, \beta} \cdot \left(\frac{L}{E}\right)_{\alpha, \beta}$$

Bauer [9] hat eine vereinfachte Berechnungsmethode für die mittlere Leuchtdichte angegeben. Leider sind bis jetzt noch wenig Leuchtdichtefaktorkurven bekannt, obwohl bereits besondere Geräte zu ihrer Ermittlung entwickelt wurden. Immerhin findet man in der Literatur schon genügend Angaben, um für einen modernen Bitumenbelag eine Überschlagsrechnung durchführen zu können.

3.2 Beispiel

Als Rechenbeispiel soll ein einfacher Fall aus dem Gebiete der Tagesbeleuchtung betrachtet werden, der im Zusammenhang steht mit der gegenwärtig viel diskutierten Projektierung von Beleuchtungsanlagen in der Tunneleinfahrzone.

Angenommen ein Beobachter befinde sich bei klarem Wetter um die Mittagszeit auf einer von Süden nach Norden verlaufenden Autostrasse mit dem Blick nach Norden. Die Sonne in seinem Rücken stehe in einer Höhe von 60° . Aus neueren Angaben [10; 11] über gewöhnliche bituminöse Strassenbeläge lässt sich entnehmen, dass für die beschriebenen geometrischen Verhältnisse mit einem Leuchtdichtefaktor von etwa $0,025 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$ gerechnet werden darf.

Nach allgemein bekannten Angaben [12] beträgt die horizontale Beleuchtungsstärke der Sonne im Sommer während der Mittagsstunden ca. $70\,000 \dots 100\,000 \text{ lx}$. (Dazu käme ein kleinerer hier vernachlässigter Himmelslichtanteil.) Damit ergibt die Rechnung für das unter einem Neigungswinkel von -1° betrachtete Strassenstück eine Leuchtdichte von $1750 \dots 2500 \text{ cd/m}^2$.

Ein kleiner Ausschuss der Fachgruppe Tunnelbeleuchtung hat um die Mittagszeit des 28. Juli 1965 bei verhältnismässig klarem Wetter entsprechende Messungen vor dem südlichen Eingang des Mosi-Tunnels durchgeführt. Die Messungen ergaben auf der Mitte der Fahrbahn vor dem Tunneleingang eine Leuchtdichte von 1700 cd/m^2 .

Damit soll darauf hingewiesen werden, dass man für die näherungsweise Berechnung der Leuchtdichte von Strassen bei Tag niemals einen allgemeinen wirksamen Reflexionsgrad von z. B. $0,25$ verwenden darf. Dem sich einem bestimmten Tunneleingang nähernden Automobilisten braucht sich die Fahrbahn vor dem Tunnelportal nicht dann in grösster Helligkeit darzubieten, wenn die Sonne am höchsten steht. Der Sonnenstand, bei welchem dem heranfahrenden Automobilisten die Fahrbahn vor dem Tunnelportal am hellsten erscheint, mit anderen Worten, die lichttechnisch ungünstigste Situation, wäre aus einer ortsbedingten räumlichen Darstellung von so etwas wie einer «reflektiblen Beleuchtungsstärke» zu erkennen, d. h. aus der Körperoberfläche, die aus dem Produkt von horizontaler Beleuchtungsstärke der Sonne in Abhängigkeit von der Einstrahlungsrichtung mal dem entsprechenden Leuchtdichtefaktor für eine Beobachtungsrichtung von -1° gebildet wird. Nach dieser lichttechnisch ungünstigsten Situation müsste man, wenn irgend möglich, die Beleuchtung in der Tunneleinfahrzone wählen.

Anlässlich der erwähnten Untersuchung der Leuchtdichteverhältnisse beim Mosi-Tunnel wurde als mittlere Leuchtdichte der Tunnelwände und der Fahrbahn in der Tunneleinfahrzone ein Wert von ca. 85 cd/m^2 und auf der Fahrbahn unmittelbar innerhalb des Tunnelportals ein Wert von 102 cd/m^2 festgestellt.

Nach Leitsatzentwurf der SBK ²⁾ sollte diese Leuchtdichte 120 cd/m^2 betragen. Bei den anschliessend an die Messungen durchgeführten Fahrversuche schien die Helligkeit in der Tunneleinfahrzone eher etwas knapp zu sein. Immerhin brauchte man die Leuchtdichte in der Tunnelfahrzone nicht auf das Fünffache zu erhöhen wie dies bei oberflächlicher Auslegung des Leitsatzentwurfes und ausländischer Leitsätze angenommen werden könnte.

Diese Ergebnisse zeigen, wie nötig es wäre, insbesondere für die Bearbeitung beleuchtungstechnisch schwieriger Aufgaben die Leuchtdichtetechnik einzuführen.

Erwähnt sei noch, dass die beschriebenen räumlichen Darstellungen ortsbedingter «reflektibler Beleuchtungsstärken» bei der Beurteilung und der Wahl der Art sowie des Ortes von allenfalls aufzustellender Lichtdämpfungsbauten sehr gute Dienste leisten könnten.

Literatur

- [1] R. G. Weigel: Die «Leuchtdichte-Technik» in der Strassenbeleuchtung. Lichttechnik 3(1951)10, S. 245...247.
- [2] W. Arndt: «Brennende» Probleme der Strassenbeleuchtung. Lichttechnik 3(1951)6, S. 143...145.
- [3] Commission Internationale de l'Eclairage: Compte rendu quinzième session. Vienne, juin 1963 volume D, S. 555.

²⁾ SBK = Schweiz. Beleuchtungs-Kommission

- [4] *Schweizerische Beleuchtungskommission*: Leitsätze der öffentlichen Beleuchtung. Teil I: Strassen und Plätze. Publ. 4003 des SEV, Zürich 1960.
- [5] *D. A. Schreuder*: Ein Leuchtdichtemesser im Taschenformat. *Lichttechnik* 15(1963)9, S. 456...466.
- [6] *C. Bauer*: Neuere Leuchtdichtemesser. *Lichttechnik* 14(1962)10, S. 505...509.
- [7] *H. Greif*: Photographische Darstellung von Leuchtdichteverteilungen. *Lichttechnik* 13(1961)2, S. 53...55.
- [8] *R. M. Callender*: Photographische Darstellung von Leuchtdichteverteilungen. *Lichttechnik* 13(1961)8, S. 403...404.
- [9] *C. Bauer*: Ein technisches System der Leuchtdichte in der Strassenbeleuchtung. Ein Vorschlag zur Berechnung, Messung, Kennzeichnung und Normung. *Lichttechnik* 17(1965)7, S. 83 A...86 A.

- [10] *A. Pahl*: Bedeutung und Anwendung von Leuchtdichtefaktorkurven in der Strassenbeleuchtung. *Siemens Z.* 38(1964)11, S. 852...859.
- [11] *H. O. Westermann*: Reflexionskennwerte von Strassenbelägen. *Lichttechnik* 15(1963)10, S. 506...510.
- [12] *R. Sewig*: *Handbuch der Lichttechnik*. Berlin, Springer-Verlag 1938.

Adresse des Autors:

Dr. F. Mäder, Adjunkt des Eidg. Amtes für Mass und Gewicht, Lindenweg 24, 3084 Wabern.

Gleichrichterunterstationen mit Siliziumleistungsdioden für Bahnanlagen

Von H.-R. Wallertshausen, Genf

621.311.442 : 621.382.2 : 621.33

Ausgehend von den spezifischen Bedingungen einer Bahn-Unterstation, werden der Aufbau, die Schaltung und die Dimensionierung einer modernen Silizium-Gleichrichterstation behandelt. Speziell wird auf den Schutz des Gleichrichters gegen Überspannungen und Überströme insbesondere gegen Kurzschlüsse eingegangen. Die konstruktiven Lösungen für die Siliziumdioden und deren Kühlkörper und Schaltelemente, sowie der Zusammenbau der Dioden zu Gleichrichterelementen bilden weitere Punkte der Abhandlung. Eine genaue Betrachtung finden schliesslich die Anforderungen an die Dioden der Traktionsgleichrichter, das thermische Verhalten von Siliziumdioden, dessen analoge Nachbildung und die Verwendung des «thermischen Abbildes» zur Überwachung von Silizium-Anlagen.

Partant des conditions spécifiques d'une sous-station de traction, l'auteur traite de la conception, du schéma et du dimensionnement d'une sous-station moderne avec redresseurs au silicium. Il examine spécialement la question de la protection du redresseur contre les surtensions et les surintensités, en particulier contre les courts-circuits. L'article traite ensuite des solutions apportées à la construction des diodes au silicium, de leurs radiateurs et de leurs éléments RC, ainsi que de l'assemblage des diodes en éléments redresseurs. Suivent, enfin, des considérations approfondies sur les exigences auxquelles doivent répondre les diodes des redresseurs de traction, sur le comportement thermique des diodes au silicium, sur sa représentation analogique et sur l'emploi de l'«image thermique» pour la surveillance des installations au silicium.

1. Einleitung

Gleichrichter für Strassenbahnen, Trolleybusse, Neben- und auch Vollbahnen gibt es schon lange. Der Gleichstromhauptschlussmotor ist wegen seiner Einfachheit, seinen günstigen Betriebskennlinien und seiner leichten Steuerbarkeit der bevorzugte Antriebsmotor geblieben.

Die Speisung der Fahrmotoren der Triebfahrzeuge erfolgt nach Fig. 1a über die Gleichstrom-Fahrleitung, den Gleichrichter und den Gleichrichtertransformator aus dem meist dreiphasigen Wechselstromnetz mit einer Netzspannung von 5...50 kV. Die Fahrdratgleichspannung liegt bei Strassenbahnen meistens zwischen 500 und 1500 V, bei Vollbahnen zwischen 1500 und 3000 V. Die Fahrdratgleichströme

erreichen Werte von einigen tausend Ampère. Bei grossen Streckenabschnitten werden parallelpeisende Gleichrichterunterstationen in Abständen D von 5...25 km eingesetzt. Eine andere Möglichkeit für die Gleichstromtraktion besteht darin, Gleichrichter und Gleichrichtertransformator in das Triebfahrzeug einzubauen. Nach Fig. 1b wird in diesem Fall die Fahrleitung mit hochgespanntem Einphasenwechselstrom von 15...25 kV gespeist.

Beide Systeme der stationären und mobilen Gleichrichter sind seit Jahren mit Quecksilberdampfgleichrichtern und neuerdings mit Siliziumdioden in Betrieb und gestatten unter anderem die elektrische Nutzbremse oder Rekuperation.

Die Fortschritte im Bau von Gleichrichterunterstationen liegen vorwiegend in der Entwicklung des Gleichrichters selbst. Die Entwicklung führte von den Gleichstromgeneratoren und rotierenden Umformern über die Quecksilberdampfgleichrichter zu den heutigen Siliziumgleichrichtern. Jede Entwicklungsstufe brachte gegenüber der vorhergehenden Verbesserungen in Bezug auf Wirkungsgrad, Einfachheit, Platzbedarf, Wartung und Preis.

2. Aufbau einer Gleichrichterunterstation

Der Aufbau (Fig. 2) einer modernen Unterstation mit Siliziumdioden besteht im wesentlichen aus Hochspannungs-Wechselstromeinführung 1 mit Freileitung oder Kabel, Hochspannungsschaltanlage mit magnetischer und thermischer Überstromauslösung 2, Gleichrichtertransformator 3, Siliziumgleichrichter mit Dioden und Sicherungen 4, Gleichstromschalter oder -trenner 5, evtl. Glättungsdrosselspule 6, Gleichstromsammelschienen 7 und Fahrleitungsabgängen 9 mit zugehörigen Feederschaltern 8. Die Schalter und Sicherungen wirken dabei selektiv. Die Selektivität besteht, bei

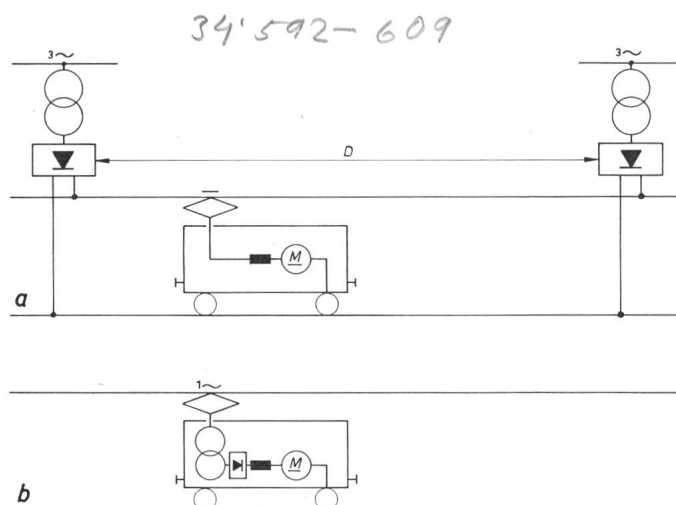


Fig. 1

Prinzipschema für die Gleichstromtraktion

a mit Unterstationen; b mit Fahrzeuggleichrichter
D Abstand