Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 64 (1973)

Heft: 17

Artikel: Über den Einfluss der Lichtpunktgeometrie auf verschiedene Gütekriterien in der Strassenbeleuchtung

Autor: Walthert, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915598

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: 10.07.2025

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

Zum nachstehenden Beitrag

Die Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft beauftragte vor zwei Jahren eine Studiengruppe, Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit verschiedener Strassenbeleuchtungsanlagen durchzuführen. Die Studiengruppe wählte in der Folge einige in der Schweiz häufig verwendete Modelle von Strassenleuchten aus für Bestückung mit Quecksilberdampf-Hochdrucklampen oder mit Natriumdampf-Hochdrucklampen. Die Lichtverteilungscharakteristiken dieser Leuchten wurden in einem lichttechnischen Labor ausgemessen. Ein Computerprogramm zur Berechnung von Leuchtdichteverteilungen und Blendungsbewertungsziffern erlaubte darauf, für eine Hauptverkehrsstrasse von 8 m Breite eine Anzahl von Beleuchtungsanlagen theoretisch zu erfassen. Die Lichtpunkthöhe und der Lichtpunktabstand, d. h. die Anlagegeometrie, wurden bei diesen Berechnungen variiert. Von den Ergebnissen bildeten jeweils das mittlere Leuchtdichte-Niveau und die Leuchtdichte-Ungleichmässigkeit die Grundlage für die Bestimmung einer sog. «Anlagesehleistung», während die Blendungsbewertungsziffer gesondert betrachtet wurde. Den lichttechnischen Gütemerkmalen in der genannten Form stellte man die totalen Jahreskosten, resultierend aus Betrieb, Unterhalt und Amortisation, gegenüber und suchte alles in einer Kosten–Nutzen-Darstellung grafisch zu veranschaulichen.

Es steht heute noch nicht fest, ob der Rahmen der Untersuchungen der Studiengruppe erweitert werden soll. Ebenfalls ist nicht abzusehen, wann, in welcher Form und in welchem Umfang allenfalls Ergebnisse zur Veröffentlichung gelangen können. Weil die Wirtschaftlichkeit von Strassenbeleuchtungsanlagen ein Thema von grosser Aktualität darstellt, möchte die Studiengruppe indessen mit Nachdruck auf die Publikation von R. Walthert, Technische Hochschule Karlsruhe, hinweisen. Verschiedene Voraussetzungen zu dieser Arbeit sind zwar nicht identisch mit den eben aufgeführten Anschauungen, und einige weisen auch eher auf die in Deutschland üblichen Verhältnisse hin. Der Leser erhält aber Einblick in die wichtigen grundsätzlichen Überlegungen und wird dazu angeregt, Kriterien von Wirtschaftlichkeit und moderner Strassenbeleuchtungstechnik konsequent miteinander zu verknüpfen.

Dr. Jürg Schatzmann
Mitglied des Vorstandes der SLG

Remarques préliminaires

Il y a deux années, l'Union Suisse pour la Lumière chargea un groupe de travail de faire des recherches économiques sur diverses installations d'éclairage public. Ce groupe de travail choisissait quelques-uns des modèles les plus appliqués de luminaires routiers, équipés de lampes à vapeur de mercure à haute pression et de lampes à vapeur de sodium à haute pression. Dans un laboratoire d'éclairagisme, les caractéristiques de répartition lumineuse furent mesurées. Ensuite, un programme d'ordinateur pour le calcul des répartitions lumineuses et des facteurs d'évaluation de l'éblouissement permettait d'évaluer théoriquement un nombre d'installations d'éclairage pour une route principale d'une largeur de 8 m. Le point lumineux et la distance entre les points lumineux en varient. Parmi les résultats, le niveau moyen de luminance et l'inégalité de la luminance furent pris comme base pour la détermination d'une soi-disante «capacité visuelle de l'installation», tandis que le facteur d'évaluation de l'éblouissement fut traité séparément. On comparait ces paramètres qualificatifs photométriques aux coûts annuels totaux occasionnés par l'exploitation, l'entretien et l'amortissement de l'installation, pour démontrer graphiquement la relation «coût–profit».

Il n'est, à l'instant, pas encore sûr si le cadre des recherches confié à ce groupe de travail est à étendre. De plus, il n'est pas encore clair, sous quelle forme et dans quelle mesure les résultats seront publiés. Etant donné l'actualité immédiate des aspects économiques des installations d'éclairage public, le groupe de travail attire l'attention sur l'article de R. Walthert de l'université polytechnique de Karlsruhe. Il faut signaler, cependant, que plusieurs aspects de cet exposé ne correspondent pas aux opinions susmentionnées. Quelques-uns se rapportent tout particulièrement à la situation en Allemagne. Toutefois, le lecteur peut se familiariser avec les réflexions principales de ce domaine et il commencera à voir des relations entre les critères économiques et techniques d'une installation d'éclairage public moderne.

Dr. Jürg Schatzmann
Membre du Comité de l'USL

Über den Einfluss der Lichtpunktgeometrie auf verschiedene Gütekriterien in der Strassenbeleuchtung

Von *R. Walthert*

628.971.6

Es werden der Einfluss von Lichtpunkthöhe und Lichtpunktabstand auf das Leuchtdichteniveau, die Längsgleichmässigkeit und die psychologische Blendung sowie auf die Anlage- und Betriebskosten für drei Lichtstärkeverteilungen untersucht. Die Berechnungen beruhen auf einer definierten Strassengeometrie und definierten Reflexionseigenschaften des Strassenbelages.

L'auteur traite de l'influence de la hauteur des points lumineux et de la distance entre ceux-ci sur le niveau de luminance, l'uniformité longitudinale et l'éblouissement psychologique, ainsi que sur le coût de l'installation et de son exploitation, cela pour trois courbes photométriques. Les calculs sont basés sur une géométrie définie de la chaussée et sur des propriétés définies de réflexion du revêtement de celle-ci.

1. Einleitung

Im nächtlichen Strassenverkehr wird der Gesichtssinn des Verkehrsteilnehmers stark beansprucht – und oft genug überfordert. Die Grenzen der Leistungsfähigkeit des menschlichen Auges sind besonders im Übergangsbereich zwischen Tages- und Nachtsehen und bei den komplexen Sehaufgaben, die ein Fahrzeuglenker zu bewältigen hat, schnell erreicht. Diese natürliche Grenze berechtigt zu den hohen Anforderungen, die heute an eine moderne ortsfeste Strassenbeleuchtung gestellt werden, zu hohen Anforderungen an das Leuchtdichteniveau, an die Gleichmässigkeit und an die Blendungsbegrenzung.

Angesichts dieser Forderungen stellt sich die Frage einerseits nach den Möglichkeiten der technischen Realisierbarkeit entsprechender Beleuchtungsanlagen und andererseits nach dem Aufwand entsprechender finanzieller Mittel. Dank den heute verfügbaren Lichtquellen hoher Leistung und hoher Lichtausbeute ist das Problem auch für höchste Ansprüche aus technischer Sicht grundsätzlich gelöst. Dem projektierenden Ingenieur steht eine Vielfalt von Lösungswegen zur Verfügung, die eine Optimierung nach finanziellen und städtebauerischen Gesichtspunkten ermöglichen sollte. Die Frage nach dem Aufbringen finanzieller Mittel ist letztlich die Frage danach, ob das Gemeinwesen die notwendigen Mittel aufbringen kann oder will, um den nächtlichen Strassenverkehr unter vernünftigen Voraussetzungen abrollen zu lassen.

Aus den vielen Parametern, welche die Qualität einer Beleuchtungsanlage beeinflussen, soll an dieser Stelle die Lichtpunktgeometrie, hier als Zusammenspiel von Lichtpunktabstand und Lichtpunkthöhe verstanden, näher untersucht werden. In anderem Zusammenhange erarbeitetes Material

wurde derart geordnet, dass in knapper Form ein Einblick in die Zusammenhänge zwischen der Lichtpunktgeometrie und photometrischen, psychologischen und wirtschaftlichen Gütekriterien möglich wird.

2. Wahl der Randbedingungen

Der Einfluss der Lichtpunktgeometrie auf verschiedene Gütekriterien wurde für drei Lichtstärkeverteilungskurven berechnet, die sich in den Merkmalen tief- oder breitstrahlend und symmetrisch oder asymmetrisch weitgehend unterscheiden. Andere Parameter dagegen, wie Strassengeometrie, Strassenbelag usw., sind in allen Rechnungen als konstant vorausgesetzt, um eine gewisse Übersichtlichkeit der Aussagen zu erreichen. Diese Randbedingungen seien im folgenden definiert:

a) In Anlehnung an Autobahnen und Hauptverkehrsstrassen wurde eine Fahrbahnbreite von 8 m gewählt.

b) Die Reflexionscharakteristik des Fahrbahnbelages entspricht der Belagsklasse R II [1][1]) (Asphaltbeton mit grober bis mittlerer Körnung, rauher Zementbeton). Der mittlere Leuchtdichtekoeffizient beträgt $q_0 = 0{,}1 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2 \cdot \text{lx}}$

c) Einseitige Lichtpunktanordnung mit einem Lichtpunktüberhang von $s = 0$ m.

d) Mögliche Lichtpunkthöhen (LPH) sind – unabhängig von nationalen Normen – 6, 8, 10, 12 und 14 m. Der Lichtpunktabstand (LPA) ist beliebig.

e) Der Rechnung wurden drei Lichtstärkeverteilungen zugrunde gelegt, die drei realen Leuchten entsprechen. Ihre Lichtstärkeverteilungskurven sind in Fig. 1a, b, c für drei C-Ebenen dargestellt.

f) Die Lichtstärkeverteilungen seien für Lampenlichtströme von 6250 lm, 13 500 lm und 23 000 lm realisierbar (entsprechend Quecksilberdampf-Hochdrucklampen mit Leistungen von 125 W, 250 W und 400 W).

3. Einfluss der Lichtpunktgeometrie auf photometrische Gütekriterien

3.1 *Berechnung und Definition der photometrischen Gütekriterien*

Ausgehend von der genauen Kenntnis der Lichtstärkeverteilung der Leuchten und der Reflexionscharakteristik des Strassenbelages wurde die Leuchtdichteverteilung auf der Fahrbahn auf einer elektronischen Rechenanlage mit Hilfe eines Programms nach [2] berechnet. Die Feinheit des Punkterasters, für welchen die Leuchtdichten gerechnet wurden, betrug quer zur Fahrbahn 1 m und längs dazu 3 m. Das bewertete Feld beginnt unter einer Leuchte 60 m vor dem Beobachter und hat eine Länge von 100 m. Der Beobachterstandort ist 2 m vom rechten Fahrbahnrand entfernt in der Mitte der rechten Fahrspur gedacht.

Um die Leuchtdichteverteilung des Bewertungsfeldes zu beschreiben, sollen in Anlehnung an die Deutsche Norm DIN 5044 zwei photometrische Gütekriterien verwendet werden:

a) Das Leuchtdichteniveau L_m, definiert als arithmetischer Mittelwert der im Bewertungsfeld berechneten Punkt-Leuchtdichten (Neuwerte).

b) Die Längsgleichmässigkeit U, hier definiert als Verhältnis von maximaler zu minimaler Leuchtdichte längs einer Linie parallel zur Strassenachse in der Mitte einer Fahrbahnhälfte.

$$U = \frac{L_{max}}{L_{min}}$$

Gewertet wird der ungünstigere Wert der beiden Fahrbahnhälften.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

3.2 *Einfluss auf das Leuchtdichteniveau*

Werden Lichtpunkthöhe und Lichtpunktabstand systematisch variiert, ergeben sich für die zugrunde gelegten drei Lichtstärkeverteilungen Leuchtdichteniveaus, wie sie in Fig. 2a, b, c dargestellt sind. Erwartungsgemäss lässt sich für ein und dieselbe Leuchte und Lampe durch geeignete Wahl der Lichtpunktgeometrie ein grosser Bereich von Leuchtdichteniveaus erreichen.

Vergleicht man die errechneten Werte der drei Leuchtentypen absolut, zeigen sich beachtliche Unterschiede in deren Leuchtdichtewirksamkeit, die auf einer unterschiedlichen Aus-

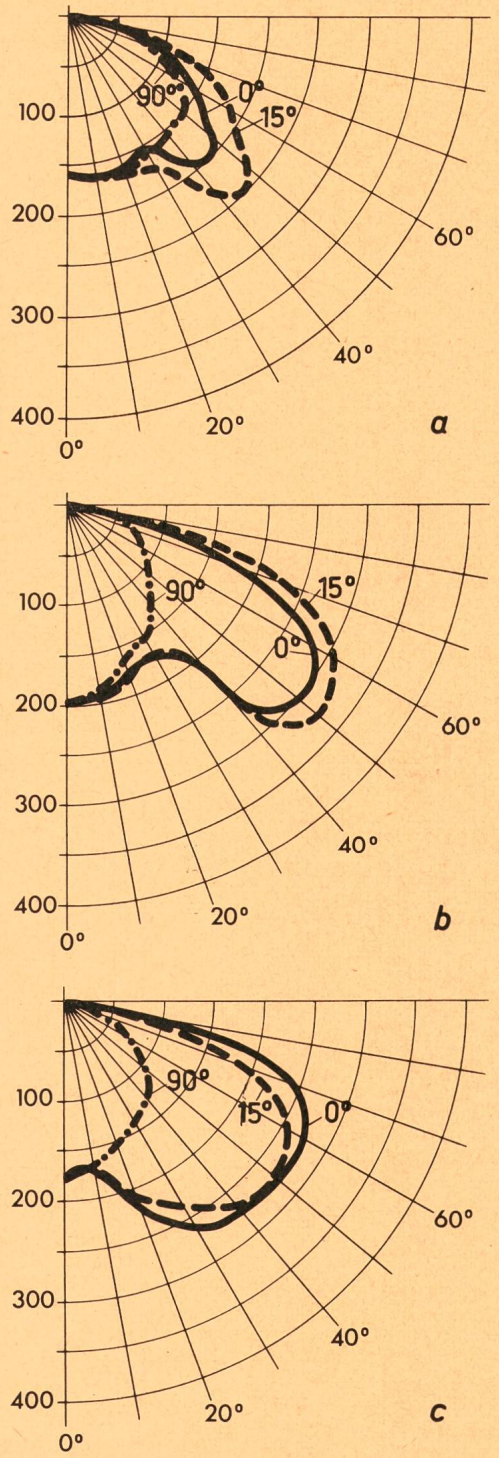


Fig. 1
Die den Rechnungen zugrundegelegten Lichtstärkeverteilungen aufgezeichnet für die Ebenen 0°, 15°, 90°
a Typ A; *b* Typ B; *c* Typ C
Werte in cd/1000 lm

nutzung der für diesen Belag günstigen Ausstrahlungswinkel beruhen. Der relative Einfluss der Lichtpunktgeometrie auf das Leuchtdichteniveau ist dagegen bei allen Lichtstärkeverteilungen ähnlich, ein Ergebnis, das weiter unten noch Anlass zu weiterer Diskussion sein wird. Der Variationsbereich der Lichtpunktgeometrie wird allerdings durch das zweite photometrische Gütekriterium, die Längsgleichmässigkeit, stark eingeschränkt. In die Kurvenschar der Leuchtdichteniveaus von Fig. 2 ist die Grenze eingetragen, wo mit grösser werdendem Lichtpunktabstand bzw. kleiner werdender Lichtpunkthöhe die Längsgleichmässigkeit $U = 1{,}6$ überschritten wird. Lichtpunktgeometrien rechts oberhalb dieser Grenze kommen für die Projektierung moderner Beleuchtungsanlagen kaum noch in Betracht.

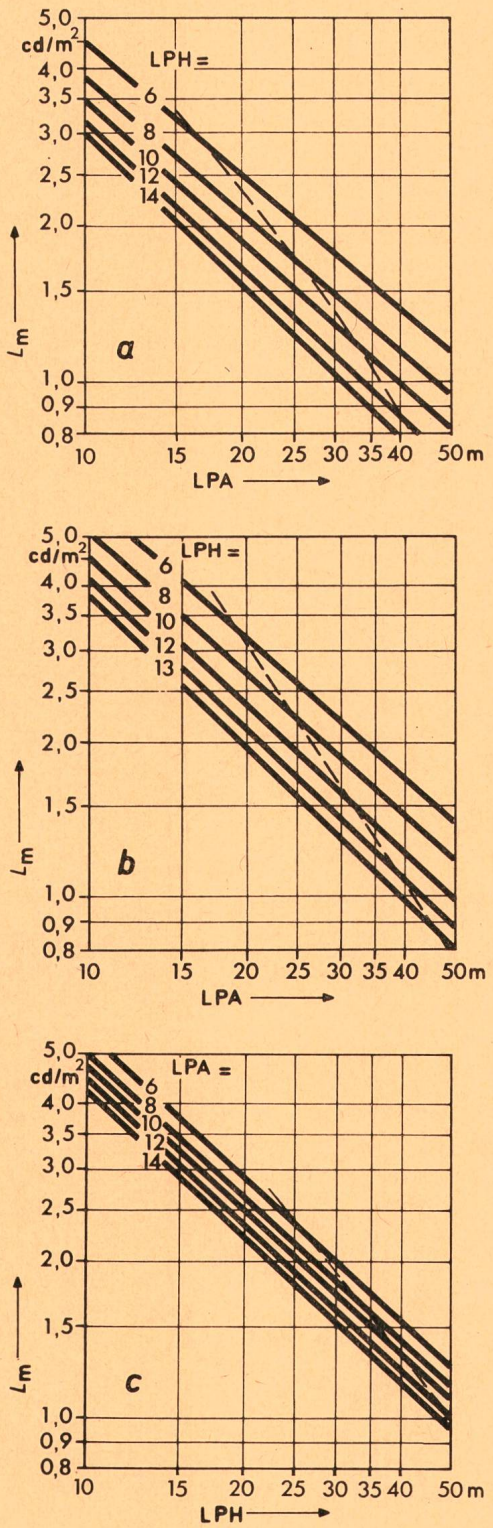


Fig. 2
Leuchtdichteniveau L_m der Fahrbahn
Aufgetragen über dem Lichtpunktabstand (LPA)
Kurvenparameter ist die Lichtpunkthöhe (LPH)
Lampenlichtstrom $\Phi o = 13\,500$ lm
a Typ A
b Typ B
c Typ C
Die gestrichelte Linie entspricht dem Grenzwert der Längsgleichmässigkeit von $U = 1{,}60$

Untersucht man die Leuchtdichteniveaus der beiden Fahrbahnhälften getrennt, zeigen sich interessante Zusammenhänge. So gilt für die lichtpunktferne Fahrbahnhälfte, dass das Leuchtdichteniveau – bei gegebenem Lichtpunktabstand – von der Lichtpunkthöhe kaum beeinflusst wird. Für die lichtpunktnahe Fahrbahnhälfte dagegen nimmt das Niveau – bei sonst konstant gehaltenen Parametern – mit kleiner werdender Lichtpunkthöhe schnell zu. Berücksichtigt man zudem, dass die Niveaus von lichtpunktfernen und -nahen Fahrbahnhälften bei einer Lichtpunkthöhe von 14 m praktisch gleich sind, dann ist leicht einzusehen, dass man aus Fig. 2 nicht nur das Leuchtdichteniveau der ganzen Fahrbahn herauslesen kann, sondern ebenfalls das der lichtpunktfernen (für LPH = 14 m) und das der lichtpunktnahen Fahrbahnhälfte (doppelter Wert des Leuchtdichteniveaus der ganzen Fahrbahn minus Wert für LPH = 14 m).

So ergibt sich beispielsweise für die Lichtstärkeverteilung Typ B, einer Lichtpunkthöhe von 10 m und einem Lichtpunktabstand von 30 m ein Niveau der ganzen Fahrbahn von 1,60 cd/m², für die lichtpunktferne Fahrbahnhälfte von 1,30 cd/m² und für die lichtpunktnahe Fahrbahnhälfte von 1,9 cd/m².

Bei gegebenen Werten von Lichtpunktabstand und Lichtstärkeverteilung ist durch die Verkleinerung der Lichtpunkthöhe offenbar ein Gewinn an Leuchtdichteniveau der ganzen Fahrbahn zu verzeichnen. Gleichzeitig jedoch verschlechtert sich das Verhältnis der Niveaus von lichtpunktferner zu lichtpunktnaher Fahrbahnhälfte.

3.3 *Einfluss auf die Längsgleichmässigkeit*

Neben dem Leuchtdichteniveau ist der Längsgleichmässigkeit für die Bewertung einer Beleuchtungsanlage grosses Gewicht beizumessen. Da insbesondere für hohe Anforderungen an die Gleichmässigkeit die Wahl der Lichtpunktgeometrie beträchtlich eingeengt werden kann, ist der Einfluss von Lichtpunktabstand und Lichtpunkthöhe in Fig. 3 für die drei zugrunde gelegten Lichtstärkeverteilungen aufgezeichnet. Es handelt sich bei diesen Werten ausschliesslich um Ergebnisse der lichtpunktnahen Fahrbahnhälfte. Die Längsgleichmässigkeit der lichtpunktfernen Fahrbahnhälfte fällt für die hier untersuchte einseitige Anordnung immer besser aus, und sie ist zudem nur in geringem Masse von der Lichtpunkthöhe abhängig.

3.4 *Formulierung des Geometrieeinflusses*

Für die Projektierung von Beleuchtungsanlagen wäre es oft wünschenswert, auf Grund einer bereits gerechneten Leuchtdichteverteilung deren Änderung bei der Variation der Geometrie vorauszusagen. Deshalb sollen hier einfache Extrapolationsformeln für das Leuchtdichteniveau und für die Längsgleichmässigkeit aufgestellt und anhand der vorhergehenden Rechnungen überprüft werden.

a) Extrapolation des Leuchtdichteniveaus
Es ist leicht einzusehen, dass die mittlere Leuchtdichte eines sehr langen Bewertungsfeldes proportional mit der Zahl der Lichtpunkte

Vergleich der extrapolierten mit den gerechneten Leuchtdichteniveaus bzw. Längsgleichmässigkeiten.
Extrapolationsbasis: $LPH_0 = 10$ m, $LPA_0 = 30$ m

Tabelle I

Lichtpunktabstand LPA	Lichtstärkeverteilung A				Lichtstärkeverteilung B				Lichtstärkeverteilung C			
	L_m cd/m²		U		L_m cd/m²		U		L_m cd/m²		U	
m	berechnet	extrapoliert	berechnet	extrapoliert	berechnet	extrapoliert	berechnet	extrapoliert	berechnet	extrapoliert	berechnet	extrapoliert
15	2,40	2,56	1,12	1,12	3,10	3,22	1,15	1,13	3,30	3,48	1,12	1,06
20	1,85	1,92	1,20	1,21	2,36	2,41	1,23	1,23	2,51	2,61	1,14	1,11
25	1,52	1,53	1,31	1,32	1,90	1,93	1,35	1,36	2,05	2,09	1,19	1,18
30	1,28	1,28	1,47	1,47	1,61	1,61	1,52	1,52	1,74	1,74	1,26	1,26
35	1,12	1,10	1,70	1,64	1,40	1,39	1,74	1,71	1,50	1,49	1,36	1,35
40	1,00	0,96	2,00	1,84	1,23	1,21	2,01	1,93	1,33	1,31	1,53	1,46

pro Längeneinheit zunimmt. Setzt man die Leuchtdichteverteilung einer Anlage (LPA_0; L_{m0}) als bekannt voraus, kann man die Abhängigkeit des Leuchtdichteniveaus vom Lichtpunktabstand bei sonst konstanten Parametern ansetzen zu:

$$L_m = L_{m0} \cdot \frac{LPA_0}{LPA}$$

b) Extrapolation der Längsgleichmässigkeit.

Unter der Voraussetzung, dass die Leuchtdichteverteilung einer Leuchte längs einer Geraden parallel zur Strassenachse mit der Funktion

$$L(x) = \frac{1}{ax^2 + c}$$

angenähert werden darf, ergibt sich unter weiteren Vereinfachungen folgende Extrapolationsformel für die Längsgleichmässigkeit

$$U = 1 + (U_0 - 1) \cdot \left(\frac{LPA}{LPA_0}\right)^2$$

Um abzuschätzen, in welchem Bereich diese Extrapolationsformeln für Leuchtdichteniveaus und Längsgleichmässigkeiten Gültigkeit haben, sind in Tabelle I die extrapolierten mit den genauen Werten für drei Lichtstärkeverteilungen verglichen. Die Formeln, die übrigens unabhängig von der Belagsklasse gelten, erbringen brauchbare Näherungen für einen Variationsbereich des Lichtpunktabstandes von − 50 bis + 30 Prozent.

4. Einfluss der Lichtpunktgeometrie auf die psychologische Blendung

4.1 *Grundlagen*

In der lichttechnischen Bewertung einer Strassenbeleuchtungsanlage hat sich die Blendung als drittes Gütekriterium durchgesetzt. Als Bewertungssystem für die Blendung des Fahrzeuglenkers durch die ortsfeste Beleuchtung wird hier das System nach *Adrian* und *Schreuder* [3] verwendet. In Abhängigkeit von leuchtencharakteristischen Daten, Lichtpunktgeometrie und Leuchtdichteniveau wird der Anlage ein Wert G (glare index) zwischen 1 (unerträgliche Blendung) und 9 (keine Blendung) zugeordnet.

$$G = 13{,}84 - 3{,}31 \log I_{80} + 1{,}3 (\log I_{80}/I_{88})^{\frac{1}{2}} - \\ - 0{,}08 \log (I_{80}/I_{88}) + 1{,}29 \log F + C + \\ + 0{,}97 \log L_m + 4{,}41 \log h' - 1{,}46 \log p$$

Hierin bedeuten:

I_{80} Lichtstärke unter 80° zur Senkrechten in cd

I_{80}/I_{88} Verhältnis der Lichtstärken unter den angegebenen Winkeln in der gleichen C-Ebene

F projizierte leuchtende Fläche der Leuchten unter 76° in m²

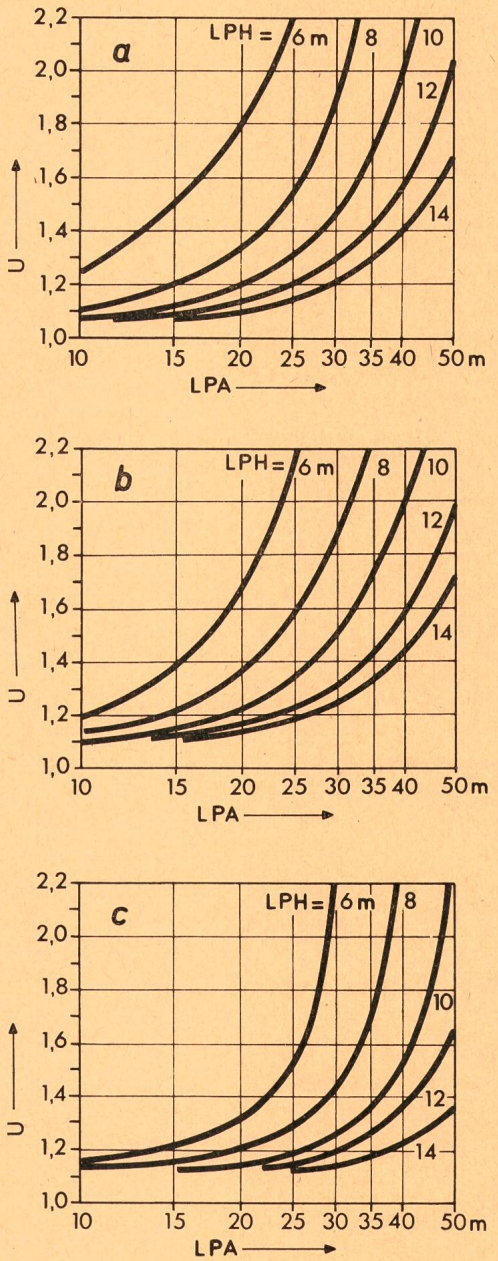


Fig. 3
Längsgleichmässigkeit U, als Verhältnis von maximaler zu minimaler Leuchtdichte definiert, aufgetragen über dem Lichtpunktabstand (LPA)
Kurvenparameter ist die Lichtpunkthöhe (LPH)
Die entsprechenden Lichtstärkeverteilungen sind
a Typ A
b Typ B
c Typ C

Die psychologische Blendung in Abhängigkeit von der Lichtpunktgeometrie.
Vergleichsbasis: $L_m = 1{,}90...2{,}20$ cd/m² $U = 1{,}20...1{,}35$

Tabelle II

Lichtstärkeverteilung	Lichtpunkthöhe m	Lichtpunktabstand m	Lampenleistung W	Blendwert G
A	6	11	125	5,3
	8	19	250	5,1
	12	26	400	5,5
B	6	13	125	5,9
	10	23	250	6,3
	14	30	400	6,7
C	6	14	125	5,2
	10	27	250	5,7
	14	36	400	5,8

L_m mittlere Strassenleuchtdichte in cd/m²
C Farbfaktor für die verwendeten Lampen
h' reduzierte Aufhängehöhe in m
($h' = LPH - 1{,}50$ m)
p Anzahl der Leuchten pro km

Der Farbfaktor hat den Wert:

Leuchtstofflampen und Glühlampen $C = 0$
Quecksilberdampf-Hochdrucklampen $C = -0{,}1$
Natriumdampfniederdrucklampen $C = +0{,}4$

4.2 *Rechnung und Resultate*

Auf Grund dieser Formulierung der Blendung wurde für die Lichtstärkeverteilungen *A, B* und *C* für unterschiedliche Lichtpunktgeometrien der *G*-Wert berechnet. Voraussetzung für den Vergleich der Anlagen war das Einhalten folgender photometrischer Gütekriterien:

Leuchtdichteniveau $L_m = 1{,}90...2{,}20$ cd/m²
Längsgleichmässigkeit $U = 1{,}20...1{,}35$

Die hierzu in Frage kommenden Geometrien sind mit den entsprechenden *G*-Werten in Tabelle II wiedergegeben.

Alle berechneten Anlagen liegen zwischen den Urteilen 5 (gerade zulässig) und 7 (befriedigend), wobei die Tendenz besteht, dass grosse Lichtpunkthöhen, d.h. Lampen grosser Leistung bei grossen Lichtpunktabständen, etwas günstigere Blendurteile erzielen. Unter der Voraussetzung konstant gehaltener photometrischer Gütekriterien bringt die Variation von extrem kleinen zu extrem grossen Lichtpunkthöhen einen Unterschied in der Blendungsbewertung, der kleiner als eine *G*-Einheit bleibt. Ungeachtet dieser sehr geringen Abhängigkeit des Blendurteils von der Lichtpunkthöhe sollte grundsätzlich beachtet werden, dass die Verwendung von kleinen Lichtpunkthöhen erhöhte Anforderungen an die Blendungsbegrenzung der Leuchte stellt.

5. Einfluss der Lichtpunktgeometrie auf die Kosten

5.1 *Grundlagen*

Eine Ermittlung von Anlage- und Betriebskosten, die repräsentativ sein soll, ist äusserst schwierig. Um das Problem trotzdem angehen zu können und um unzulässigen Verallgemeinerungen vorzubeugen, wurden folgende einschränkende Voraussetzungen gemacht:

Die Rechnung basiert auf einem geraden Strassenstück von 1 km Länge. Die Strasse führt durch unbebautes Gelände, was eine freie Wahl der Leuchtenstandorte ermöglicht.

Die Rechnung beschränkt sich auf relativ einfach erfassbare Kostenanteile wie Materialkosten, Montagekosten, Energiekosten usw. Nicht berücksichtigt werden Netzeinspeisungen, Kabelkanäle, Leuchtenunterhalt usw.

Die Kosten werden in der Rechnung durch willkürlich festgelegte Kosteneinheiten (KE) bemessen.

Für die Berechnung der Anlagekosten wurden folgende Kostenanteile berücksichtigt: Leuchten (je nach Bestückung 0,20...0,40 KE); Lampen und Vorschaltgeräte (Katalogpreise); Kandelaber inklusive Setzen und Montage (je nach Lichtpunkthöhe 0,67...1,50 KE). Für die Berechnung der Betriebskosten wurden berücksichtigt: Energiekosten und ein jährlicher Lampenwechsel.

Um vernünftige Kostenvergleiche durchführen zu können, dienen drei «Anlagengüteklassen» als Vergleichsbasis. Diese Anlagengüteklassen seien durch die in Abschnitt 2 eingeführten photometrischen Gütekriterien in engen Toleranzbreiten definiert:

I $L_m = 1{,}90...2{,}20$ cd/m²; $U = 1{,}20...1{,}35$
II $L_m = 1{,}90...2{,}20$ cd/m²; $U = 1{,}45...1{,}65$
III $L_m = 0{,}90...1{,}10$ cd/m²; $U = 1{,}70...2{,}0$

5.2 *Rechnungen und Resultate*

Nach dieser etwas umständlichen Zusammenstellung der Spielregeln können wir nun eine Auswahl von Anlagen treffen, die sich innerhalb einer Anlagengüteklasse zum Kostenvergleich eignen. Und zwar wird für eine Lichtstärkeverteilung, bestückt mit 125 W, 250 W oder 400 W Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, diejenige Lichtpunktgeometrie ermittelt, welche minimale Anlagekosten verursacht. Diese optimalen Geometrien sind für die drei Lichtstärkeverteilungen und für die drei Anlagengüteklassen in Tabelle III zusammengestellt, gemeinsam mit den entsprechenden Anlage- und Betriebskosten.

Dieser Tabelle ist zu entnehmen, dass sowohl Anlagekosten wie auch Betriebskosten von der geforderten Anlagengüteklasse stark beeinflusst werden. Erhöhte Anforderungen an das Leuchtdichteniveau und erhöhte Anforderungen an die Gleichmässigkeit verursachen beachtliche Mehrkosten. Ein Kostenvergleich der drei Typen von Lichtstärkeverteilungen zeigt verblüffende Unterschiede. Die Anpassung der Lichtstärkeverteilung an die Reflexionseigenschaften des Strassenbelages sind offensichtlich von grosser Bedeutung, was aller-

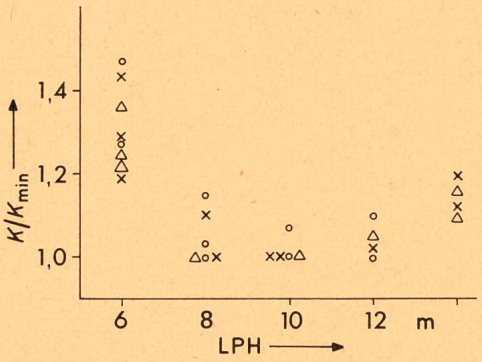


Fig. 4
Relative Anlagekosten K/K_{min}, aufgetragen über der Lichtpunkthöhe (LPH)
Die Punkte entsprechen folgenden Anlagengüteklassen:
△ $L_m = 1{,}90...2{,}20$ cd/m²; $U = 1{,}20...1{,}35$
○ $L_m = 1{,}90...2{,}20$ cd/m²; $U = 1{,}45...1{,}65$
× $L_m = 0{,}90...1{,}10$ cd/m²; $U = 1{,}70...2{,}0$

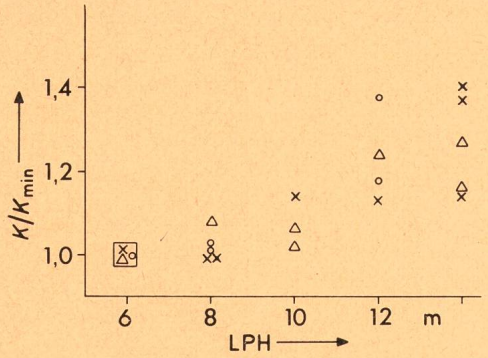


Fig. 5
Relative Betriebskosten, aufgetragen über der Lichtpunkthöhe
Bezeichnungen siehe Fig. 4

dings die genaue Kenntnis eben dieser Reflexionseigenschaften voraussetzt. (Eine Voraussetzung, die heute immer noch in den seltensten Fällen erfüllt ist.)

Um endlich den Einfluss der Lichtpunktgeometrie auf die Kosten herauszuarbeiten, wurden die Resultate aus Tabelle III wie folgt weiterverarbeitet:

Für jede Lichtstärkeverteilung stehen in einer Anlagengüteklasse drei Werte der Anlage- bzw. Betriebskosten zur Verfügung, entsprechend den drei Bestückungen. Diese drei Werte wurden nun zu ihrem kleinsten Wert ins Verhältnis gesetzt und sowohl für die Anlagekosten als auch für die Betriebskosten über der Lichtpunkthöhe aufgetragen. Die so berechneten relativen Anlagekosten (Fig. 4) haben für alle Anlagengüteklassen mindestens ein Minimum bei Lichtpunkthöhen von 8 m und 10 m. Für extreme Lichtpunkthöhen nehmen die relativen Anlagekosten zu, was insbesondere für extrem kleine Lichtpunkthöhen zutrifft.

Aus Fig. 5 geht hervor, dass die relativen Betriebskosten (Energie und Lampenwechsel) für sämtliche Anlagengüteklassen und Lichtstärkeverteilungen mit grösser werdender Lichtpunkthöhe zunehmen. Die Betriebskosten sind minimal bei 6 m Lichtpunkthöhe und erhöhen sich bei mittleren um 10 bis 20%, bei grossen Lichtpunkthöhen dagegen um 20...40%.

6. Folgerungen

Bei einer Bewertung der gesamten Kosten können für die hier durchgeführte Rechnung folgende Schlüsse gezogen werden. Extrem kleine Lichtpunkthöhen verursachen hohe Anlagekosten, extrem grosse verursachen hohe Betriebskosten. Optimale Verhältnisse finden sich für die untersuchten Lichtstärkeverteilungen bei 8 m und bei 10 m Lichtpunkthöhe.

Unter den heute in der Beleuchtungspraxis normalerweise verwendeten Lichtpunkthöhen sind offenbar keine Werte grundsätzlich zu bevorzugen, weder vom Standpunkt der Kosten noch vom Standpunkt der Blendung aus betrachtet.

Bei gegebenen Anforderungen an die Anlagengüteklasse und bei gegebenem Strassenbelag wird je nach Wahl der Leuchte und der Lichtpunktgeometrie der Kostenaufwand in weiten Grenzen variieren, was eine aufwendige rechnerische Optimierung der Lichtpunktgeometrie erforderlich macht. Dabei darf allerdings nicht ausser acht gelassen werden, dass oft andere Kriterien, wie die Beschränkung in der Wahl von Leuchtenstandorten sowie Fragen der Strassenführung, des Unterhaltes und der Städteplanung letztlich ein gewichtiges Wort mitzureden haben.

Optimale Lichtpunktgeometrien für gegebene Anlagengüteklasse, Lichtstärkeverteilung und Lampenleistung.

Die entsprechenden Anlage- und Betriebskosten sind in Kosteneinheiten (KE) angegeben. Die in der Berechnung der Kosten berücksichtigten Kostenanteile sind in Abschnitt 5.1 aufgeführt.

Tabelle III

Anlagengüteklasse	Lichtstärkeverteilung	Lampenleistung W	Lichtpunkthöhe m	Lichtpunktabstand m	Anlagekosten (KE)	Betriebskosten (KE)
$L_m = 1{,}90...2{,}20$ cd/m², $U = 1{,}20...1{,}35$	A	125	6	11	83,6	6,88
		250	8	19	61,4	7,44
		400	12	26	64,2	8,55
	B	125	6	13	70,8	5,83
		250	10	23	57,3	6,15
		400	14	30	66,7	7,44
	C	125	6	14	65,7	5,42
		250	8	27	43,2	5,24
		400	12	37	45,2	5,87
$L_m = 1{,}90...2{,}20$ cd/m², $U = 1{,}45...1{,}65$	A	125	6	12	80,0	6,59
		250	8	21	55,5	6,75
		400	10	30	48,1	7,44
	B	125	6	16	57,5	4,73
		250	8	26	45,0	5,45
		400	12	34	49,2	6,56
	C	125	–	–	–	–
		250	8	29	40,3	4,87
		400	10	40	36,2	5,57
$L_m = 0{,}90...1{,}10$ cd/m², $U = 1{,}70...2{,}0$	A	125	6	23	40,0	3,20
		250	10	39	33,7	3,61
		400	14	50	40,2	4,46
	B	125	8	28	36,9	2,70
		250	12	45	34,2	3,14
		400	14	60	33,6	3,70
	C	125	6	28	32,8	2,70
		250	12	52	29,8	2,73
		400	14	65	31,0	3,42

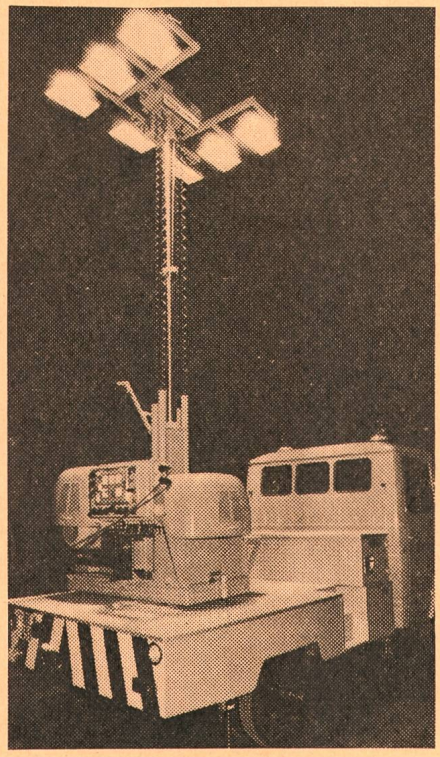
Literatur

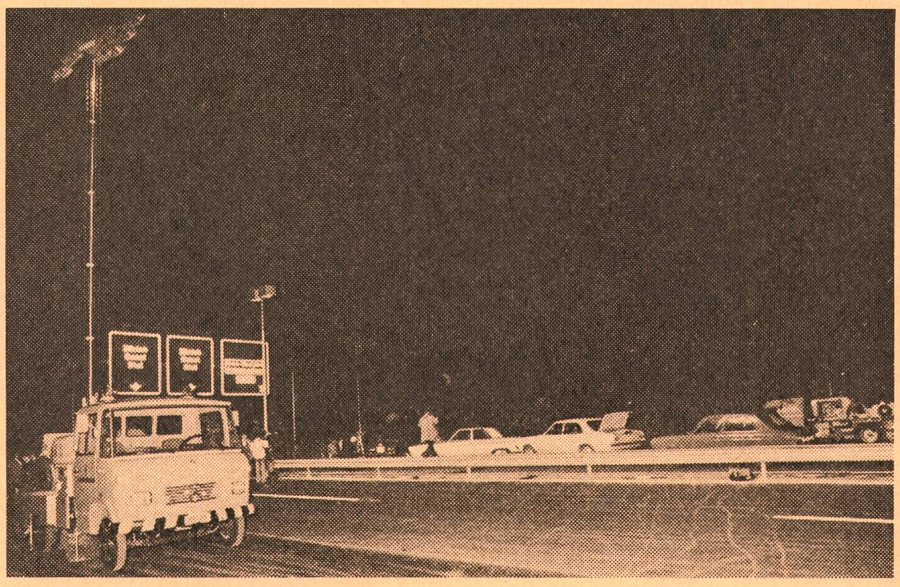
[1] Methoden der Leuchtdichteberechnung für die Strassenbeleuchtung. Lichttechnische Gesellschaft e.V. Berlin, 1970.

[2] *Adrian W.* und *Enzmann J.*: Die Berechnung der Leuchtdichte und Blendung in der Strassenbeleuchtung mit Hilfe von elektronischen Rechenmaschinen. Karlsruhe, Berenz-Verlag, 1971.

[3] *Adrian W.* und *Schreuder D. A.*: A modification of the method for the appraisal of glare in street lighting. Publikation CIE No. 21 A (1972), Compte rendu 17. Hauptversammlung September 1971.

Adresse des Autors:
Dr.-Ing. *R. Walthert,* Lichttechnisches Institut der Universität Karlsruhe, Kaiserstrasse 12, D-75 Karlsruhe.





Netzunabhängiges Beleuchtungsgerät

In Zusammenarbeit der Schweizerischen Industriegesellschaft (Neuhausen) und der Mercedes-Benz-Automobil AG (Bern-Wankdorf) wurde das Beleuchtungsfahrzeug «Kuli» entwickelt, das vor einigen Tagen vom Besitzer, dem Polizeikommando Bern, vorgeführt wurde. Es besteht z. B. ein echtes Bedürfnis an einer solchen fahrbaren Anlage, die – netzunabhängig – innert weniger Minuten einsatzbereit ist, da allzu oft bei nächtlichen Polizeieinsätzen bei Strassenunfällen oder Straftaten wegen mangelhafter Beleuchtung der Tat- oder Unfallstelle wertvolle Rettungs- und Fahndungsmöglichkeiten nicht voll wahrgenommen werden können.

Das neue Gerät beleuchtet eine Fläche von 200 auf 300 m praktisch blendungsfrei. Das Richten der Scheinwerfergruppen übernehmen vier hydraulische Schnellabstützungen. Sie können einzeln oder gemeinsam gesteuert werden. Generator, Hydraulikaggregat und Teleskopmast sind auf einen Kugeldrehkranz montiert. Die gesamte Aufbaueinheit ist rundum drehbar. Der Lichtkegel kann vom Boden aus durch Neigen des Schwenkkopfes in Sekundenschnelle gerichtet werden. Die Flutlichtstrahler sind mit dreh- und schwenkbaren Bügeln ausgerüstet und können vor dem Ausfahren des Mastes eingestellt werden. Das ausgefahrene Gerät ist bis zu Windstärke 10 der Beaufort-Skala standsicher.

Die beiden Photos zeigen das Gerät während einer Demonstration auf der N 6, um 9 Uhr abends. Selbst bei nasser Strasse ergaben sich wenig Blendung und wenig Schatten.

AOW
Photos: *Herbert Schubert*
(laut Bericht in der Solothurner Zeitung vom 20.6.73)

---

18. Hauptversammlung der CIE

Vom 10. bis 18. September 1975 wird in London die 18. Hauptversammlung der CIE stattfinden. Die Organisation von Reisen und Unterkunft liegt in den Händen von Thos. Cook & Son Ltd, London. *AOW*

Regenbogen

«Keine Löcher in den hellichten Tag brennen . . .» Unter dieser Devise griff kürzlich eine Tageszeitung die Unart an, am hellen Tag die Lampen brennen zu lassen. Zugegeben, künstliche Beleuchtung ist eine Unart, wo sie aus Prestigegründen das Tageslicht aussticht und überstrahlt. Hier soll die künstliche Beleuchtung als Verschwendung gebrandmarkt werden. Obwohl zwar die Einsparung an Energie gerade beim Licht am geringsten ist. Wo nun aber künstliche Beleuchtung als Zusatzbeleuchtung des Tageslichts angewandt und verstanden wird, hilft sie, unsere Augen zu schonen. Vergessen wir nicht: Unsere Augen sind – genau wie die Energien der Natur – kostbar und unersetzlich. Sie zu schonen, gehört ebenfalls zum «Umweltschutzdenken».

Redaktor der «Mitteilungen der SLG»: *A. O. Wuillemin,* Sekretär der Schweizerischen Lichttechnischen Gesellschaft (gegründet 1922), Seefeldstrasse 301, 8008 Zürich, Telephon 01/65 86 37.