

Beleuchtung verkehrsreicher Strassen

Autor(en): **Gloor, H.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **57 (1966)**

Heft 6

PDF erstellt am: **15.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916579>

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.

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

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

Beleuchtung verkehrsreicher Strassen

Von H. Gloor, Basel

628.971.6 : 625.711.3

Nach einigen Gedanken über Sinn und Zweck sowie der Wirtschaftlichkeit von Strassenbeleuchtungen folgen Angaben über Anforderungen an die Leuchten und die Anwendung der verschiedenen in Frage kommenden Lichtquellen. Ein weiterer Abschnitt ist der Anordnung der Leuchten gewidmet, und in Zusammenhang mit der Beleuchtung sind Verkehrssignale ebenfalls behandelt. Vorschläge für die Steuerung sowie Kostenvergleiche für Installationen von Autobahnen geben einen Hinweis auf verschiedene Möglichkeiten. Am Schluss werden Vorschläge gemacht, wann Autobahnen beleuchtet werden sollten, und in welchen Grenzen der Bund Erstellung und Unterhalt subventionieren sollte.

Après quelques considérations sur l'objet et l'aspect économique de l'éclairage public, l'auteur donne des indications sur les exigences posées aux luminaires et sur l'emploi des diverses sources lumineuses qui entrent en ligne de compte. Il traite ensuite de la disposition des luminaires, de même que des signaux de circulation, en relation avec l'éclairage. Des propositions concernant la commande, ainsi que des comparaisons du coût d'installations d'éclairage d'autoroutes, montrent quelles sont les possibilités dans ce domaine. Pour terminer, l'auteur envisage dans quels cas des autoroutes devraient être éclairées et dans quelle mesure la Confédération devrait en subventionner l'aménagement et l'entretien.

1. Allgemeines

Nachdem die Behörden für die Stadt Basel den ersten Entscheid in Bezug auf die Expreßstrassen gefällt haben, und nachdem mit der Signalisierung der Hauptstrassen begonnen wurde, war es an der Zeit, dass die Abteilung Öffentliche Beleuchtung des Elektrizitätswerkes Basel die Frage der Beleuchtung dieser Strassen neu überdachte.

Schon die beiden erwähnten Strassentypen ergeben verschiedene Ausgangslagen für die Projektierung, denn die Expreßstrassen sind praktisch reine Autostrassen, während auf signalisierten Hauptstrassen mit sämtlichen Verkehrsteilnehmern zu rechnen ist. Ferner sind die Expreßstrassen Neuerstellungen und können in Bezug auf die Kabelleitungen und die Steuerung bestmöglichst ausgerüstet werden, während bei den Hauptstrassen auf die vorhandenen Installationen weitgehend Rücksicht genommen werden muss.

2. Was soll mit der Strassenbeleuchtung erreicht werden?

Die wohl vornehmste Aufgabe der «Öffentlichen Beleuchtung» ist die Vermeidung von Unfällen durch das Schaffen von guten Sehbedingungen während der Dunkelheit. Namentlich in den Wintermonaten soll dem ermüdeten, von der Arbeit heimfahrenden Automobilisten durch eine gute, ortsfeste Beleuchtung ein möglichst unfallfreies Heimfahren ermöglicht werden. Erreicht der Verkehr eine gewisse Dichte, muss mit Standlicht gefahren werden können. Dabei müssen auch ältere Leute, die für ein sicheres Erkennen von Gefahren und Hindernissen bedeutend grössere Helligkeiten benötigen, annehmbare Beleuchtungsstärken vorfinden. Grundsätzlich dürfte diese Forderung erreicht sein, wenn die ortsfeste Beleuchtung so gut ist, dass für den Fahrzeugführer keine Sichtverschlechterung eintritt, wenn er von Abblendlicht auf Standlicht schaltet. Sofern mit Standlicht gefahren werden kann, ist auch die Frage der Blendung durch ent-

gegenkommende Fahrzeuge auf der andern Strassenhälfte gegenstandslos geworden. Beleuchtungsstärken und die Art der Beleuchtung müssen zwischen Expreßstrassen, Hauptstrassen und Nebenstrassen aufeinander abgestimmt werden.

Beleuchtete Verkehrssignale müssen sofort und sicher erkannt werden, und die Wegweiser schon auf Distanz sicher gelesen werden können, damit sich der Fahrer auf der Kreuzung voll dem Verkehr widmen kann.

3. Ist eine gute Strassenbeleuchtung wirtschaftlich?

Wenn dem Laien etwas von Wirtschaftlichkeit einer Strassenbeleuchtung berichtet wird, kann er das Problem nicht sofort erfassen, denn als Steuerzahler sieht er nur Ausgaben für Erstellung und Unterhalt. Von einer etwas andern Warte aus betrachtet ist jedoch jeder Unfall, der durch eine bessere Beleuchtung vermieden worden wäre, ein Verlust an Volkvermögen. Man denke an Renten für Hinterbliebene oder Invalide, Arbeitsausfall und Materialschaden, an Ersatz von ganzen Fahrzeugen oder Bestandteilen aus dem Ausland und daher Verlust von Devisen, so bekommt das Ganze einen etwas andern Aspekt, ganz zu Schweigen vom wirtschaftlich nicht erfassbaren Leid, das pro Jahr in viele Familien gebracht wird. Wirtschaftlichkeit einer guten Strassenbeleuchtung ist sicher nicht genau erfassbar, aber von einer gewissen Verkehrsdichte an bestimmt kein zu vernachlässigender Faktor mehr.

4. Kostenvergleich über Erstellung und Unterhalt

Bei der Projektierung von Beleuchtungsanlagen ist immer ein vernünftiger Kompromiss zwischen Erstellungskosten und Unterhaltskosten anzustreben. Dabei muss man sich klar werden, wie lange die einzelnen Anlageteile ihren Dienst leisten werden, und ob durch eine kleine Mehrleistung ein späterer Ausbau mit bedeutend geringeren Kosten möglich ist.

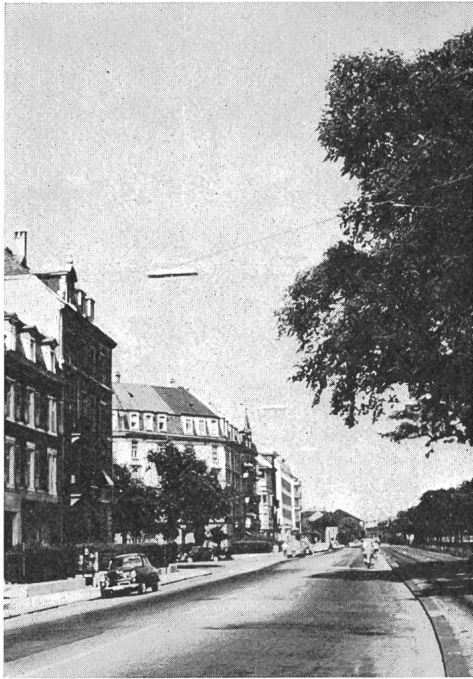


Fig. 1
Hauptstrasse mit Leuchten
für 2×250 (400) W HQL-Lampen

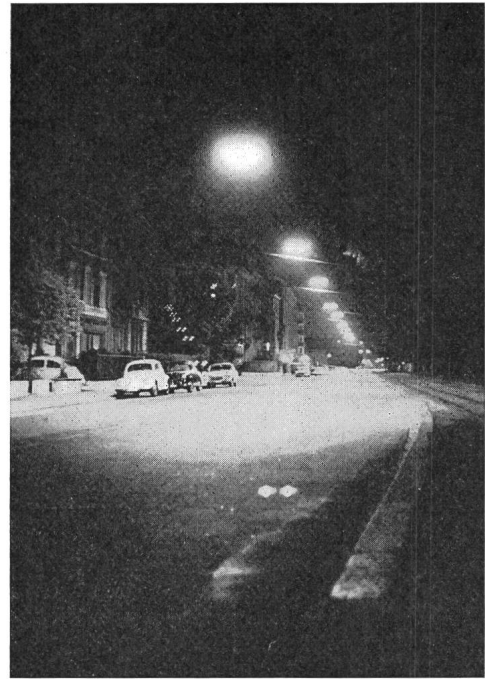


Fig. 2
Wie Fig. 1, aber bei eingeschalteter Beleuchtung
Die Leuchten sind mit 2×250 W HQL-Lampen bestückt

Als maximale Leistung pro Leuchte dürfte mit 600...800 W zu rechnen sein, und für die Strassen die dieser Leistung entsprechenden Zuleitungskabel. Dadurch ist es möglich mit 2×250 W Quecksilber-Hochdrucklampen zu beginnen. Bestellt man die Leuchten für 2×400 W und die Drosselspulen für 400 W mit Anzapfungen bei 250 W, erhält man für 15...20 % Mehrausgaben pro Leuchte die Möglichkeit, diese auf $1 \times 250 + 1 \times 400$ W auszubauen, was die Wahl von 3 Beleuchtungsstufen ermöglicht, oder als Vollbeleuchtung 2×400 W. Eine solche Leuchte wird den Anforderungen der nächsten 10...20 Jahre vollauf genügen, bei vollem Betrieb eine sehr gute Beleuchtung ergeben und im Energieverbrauch zwischen den gewünschten Grenzen bleiben, wenn die Beleuchtung nach den Verkehrsspitzen sofort reduziert wird. Später dürften Lampen mit bis zu doppelter Lichtausbeute bei gleicher Leistung zur Verfügung stehen und damit ohne Kabelerneuerung erhöhte Beleuchtungsstärken möglich sein.

Die angegebenen Werte sind für die heutigen Verhältnisse hoch gegriffen. Überlegt man aber, was vor 10 Jahren als sehr gut taxiert worden ist, und vergleicht es mit den heutigen Beleuchtungsanlagen, erkennt man, dass das Beleuchtungsbedürfnis enorm gestiegen ist.

Die volle Aufmerksamkeit ist den Kandelabern und Auslegern zu schenken. Sie sollten mindestens 3...5mal so lange dienen — wie übrigens auch die Kabel — als die Leuchten. Es ist bei Stahlkandelabern der bestmögliche Rostschutz, selbst bei Mehrpreisen bei der Erstellung der Anlage, anzustreben, um den Unterhalt zu reduzieren oder rostfreie Materialien zu verwenden wie Beton oder Aluminium.

5. Die Leuchten

Die Leuchten müssen unbedingt mit zwei Lampen bestückt werden können. Dabei ist die kleinste Lichtleistung der einen Lampe so zu wählen, dass eine gute Strassenbeleuchtung in Bezug auf die Beleuchtungsstärke erreicht wird.

Die zweite Lampe soll die Beleuchtungsstärke mindestens verdoppeln und während den relativ kurzen Verkehrsspitzen oder bei sehr schlechter Sicht, z. B. bei Nebel, in Betrieb genommen werden (Fig. 1 und 2).

Je höher die Lichtleistungen der einzelnen Leuchten gewählt werden, um so mehr Aufmerksamkeit ist der Blendung zu schenken, und zwar nicht nur längs der Strasse, sondern auch gegenüber dem an der Strasse anstossenden Gelände. Mit dem in den Schweiz. Allgemeinen Leitsätzen für elektrische Beleuchtung festgelegten Verhältnis von 3...3,5fachem Abstand in Bezug auf die Lichtpunkthöhe ist eine relativ gute Abschirmung möglich. Blendungsfreiheit ist für die Benutzer der Strassen wichtiger als eine Einbusse von einigen Prozent an Licht. Es empfiehlt sich daher, Leuchten mit flachen oder sehr schwach gewölbten Abdeckgläsern zu verwenden. Die dadurch eingebüßte Lichtleistung kann anderseits durch eine geringere Verstaubung und Korrosion der Reflektoren wettgemacht werden. Eine vollständig abgedeckte Leuchte reduziert die Reinigungsarbeiten in sehr beträchtlichem Mass und erhält erst noch den Reflektor auf lange Zeit neuwertig. Bei abgedeckten Reflektoren ist bei höheren eingebauten Leistungen der Wärmeabfuhr ein besonderes Augenmerk zu schenken. Technisch dürfte jedoch die genügende Lüftung der Leuchte möglich sein.

Je höher die aus der Leuchte austretenden Lichtströme werden, um so eher kann die Lichtverteilungskurve von ihrer optimal möglichen Form abweichen, ohne dass der Unterschied in der Beleuchtungsstärke auf der Strasse störend wirkt. Verdoppelt man ein niedrigeres Beleuchtungsniveau, wird das als doppelt so gute Beleuchtung empfunden. Bei Strassenbeleuchtungen von 10 und mehr Lux wird eine 2- oder 3fache Beleuchtungsstärke vom Auge nicht mehr als den tatsächlichen Verhältnissen entsprechende Erhöhung empfunden.

Als Beispiel sollen die Zentralmasten erwähnt sein, die auf Kreuzungen von Hauptstrassen in Basel aufgestellt wer-

den. Die um den Mast gemessene Beleuchtungsstärke von 40...45 lx wird nicht als 3mal höher bewertet als die Strassenbeleuchtungen rings um die Kreuzung. Wenn durch relativ kleine Konzessionen an die Lichtverteilung die Leuchten wegen einer einfacheren Form billiger hergestellt werden können, wird sich dies namentlich für die Beleuchtung langer Strecken von Autobahnen auf die Erstellungskosten günstig auswirken.

Für Hauptstrassen, namentlich in der Stadt, werden die Leuchten an Überspannungen aufgehängt. Für diese Montageart sind die Leuchten auch konstruiert worden. Für Mastansatzleuchten werden meistens dieselben Reflektoren genommen und nur am Oberteil der Leuchte wird mittels eines Stutzens die Montage am Kandelaber gewährleistet. Die Bedingungen für Lichtverteilung sind jedoch verschieden, je nachdem die Leuchte in der Mitte über der Strasse hängt oder an einem Kandelaber am Strassenrand montiert ist. Man behalf sich, indem man grosse Ausladungen am Kandelaber in Kauf nahm oder indem man der Leuchte Neigungen bis zu 20° gab und damit natürlich ins Gebiet jenseits der Strasse blendete. Da mit der Beleuchtung von Expreßstrassen die Mastansatzleuchte immer mehr in den

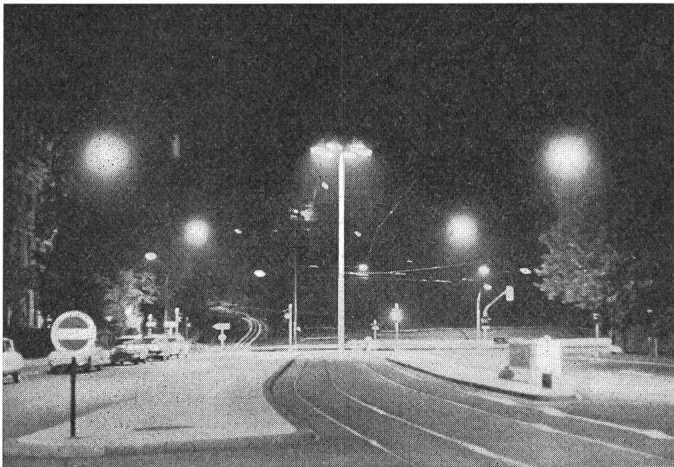


Fig. 3
Strassenkreuzung mit HQL-Tiefstrahlern von 6×400 W
Lichtpunkthöhe 16 m

Vordergrund rückt, sind Leuchten mit asymmetrischer Lichtverteilung geschaffen worden. Sofern man sich von der Idee löst, dass für die beiden Montagearten derselbe Reflektor dienen soll, wird eine günstigere Lichtverteilung erreicht.

Für Kreuzungen und Plätze können Tiefstrahler verwendet werden, auf Masten montiert (in Basel auf 16 m über Boden) und mit 250...400-W-Hochdrucklampen bestückt (Fig. 3). Die Grundidee ist, die Kreuzung lichtmässig hervorzuheben und dem Fahrzeugführer zu ermöglichen, Hindernisse auf den Kreuzungen auf grosse Distanz zu erkennen. Durch eine Blechverkleidung ist die rein technische Form des Scheinwerfers verdeckt und dient zugleich als Abschirmung, so dass die Leuchte absolut blendungsfrei ist.

Um die Lichteinbussen in Zusammenhang mit der Verschmutzung der Leuchten und Rückgang des Lichtsternes der Lampen genauer erfassen zu können, haben das EW Basel einige Messungen gemacht. Die Resultate dürften in der Grössenordnung stimmen, können jedoch wegen den einfachen zur Verfügung stehenden Messapparaten (Luxmeter), und weil es sich nur um Messungen an einer Leuchte handelt, nicht als absolute Werte gelten.

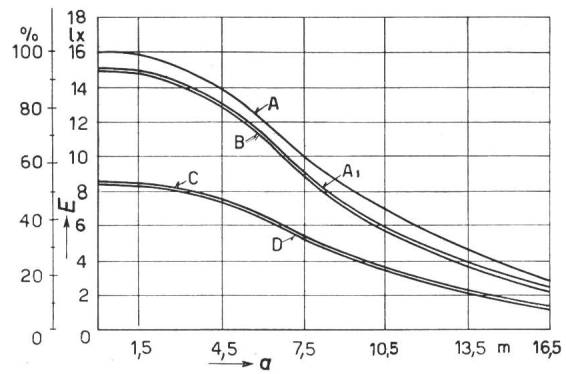


Fig. 4
Gemessene Beleuchtungsstärken

in der Mittelachse unter einer Leuchte, die während zwei Jahren mit einem Abdeckglas versehen in Betrieb war. Lampe «alt» = 6000 Brennstunden, Lampe «neu» = 200 Brennstunden
E Beleuchtungsstärke; a Abstand

- A Leuchte neu, ohne Schutzglas; frisch gereinigte Leuchte gleiche Werte
- A₁ Leuchte verschmutzt, Abdeckglas gereinigt, Lampe neu
- B Leuchte verschmutzt, Glas verschmutzt (2 Jahre), Lampe neu
- C Leuchte verschmutzt, Abdeckglas gereinigt, Lampe alt
- D Leuchte verschmutzt, Glas verschmutzt, Lampe alt

Die Kurven in Fig. 4 und 5 sind in der Mittelachse der Strasse (Lampenachse) gemessene Werte. Die aufgehängten Ovalleuchten, bestückt mit Quecksilberdampf-Hochdrucklampen von je 250 W, waren während zwei Jahren über einer Hauptstrasse montiert. Da die ausgewählten Lampen eine Halbnacht-Schaltung hatten, liegt deren Brenndauer bei 6000 h. Dort wo eine neue Lampe eingesetzt wurde, handelte es sich um eine, welche bereits 200 Betriebsstunden aufwies. Für alle Messungen wurde dasselbe Gerät verwendet, um Fehlerquellen möglichst auszuschliessen.

Vergleicht man die Kurven von Fig. 4 und 5 miteinander, so kann folgendes festgestellt werden:

- a) Die Kurven A und a sind identisch;
- b) Das Schutzglas (Flachglas) der Leuchte bringt eine Lichteinbusse von 6 %;
- c) Wird in die verschmutzte Leuchte eine neue Lampe eingesetzt, ist die Lichteinbusse bei der nicht mit Schutzglas versehenen Leuchte 17 % grösser (B—b);
- d) Werden die Leuchten gereinigt — bei der offenen Leuchte der Reflektor und bei der geschlossenen das Schutzglas, da der Reflektor noch neuwertig war — sind die Kurven G—e identisch beim Einsatz der Lampe mit 6000 Brennstunden;
- e) Nach zwei Jahren Betriebsdauer und 6000 Brennstunden der Lampe ist die Lichteinbusse bei der Leuchte ohne Schutzglas 9 % grösser (D—d);
- f) Vergleicht man die Kurven A₁—B, C—D, so fällt auf, dass die Verschmutzung des Schutzglases klein war und dass dessen Reinigung nur einen minimalen Einfluss hatte.

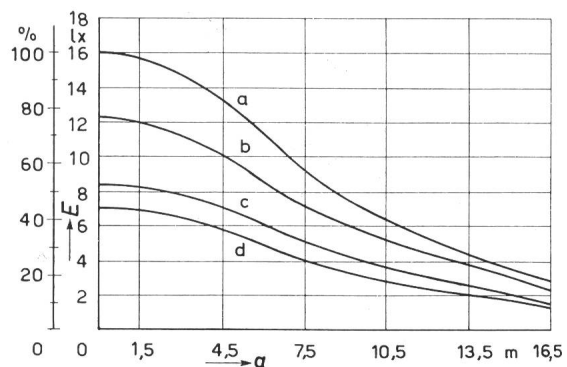


Fig. 5
Wie Fig. 4, aber ohne Abdeckglas

- a Leuchte neu, Lampe neu; b Leuchte verschmutzt, Lampe neu;
 - c Leuchte gereinigt, Lampe alt; d Leuchte verschmutzt, Lampe alt
- Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 4

5.1 Schlussfolgerungen

Das Schutzglas verursachte bei der neuen Lampe eine Lichteinbusse von 6 % [siehe b)]. Nach zwei Jahren ist das Verhältnis umgekehrt, indem die Leuchte mit Schutzglas 9 % mehr Licht abgab [siehe e)]. Der Lichtverlust betrug nach zwei Jahren bei der Leuchte ohne Schutzglas 56 % bei der Leuchte mit Schutzglas 47 %.

In Bezug auf die Unterhaltsarbeit ist zu sagen, dass das Schutzglas 6...8mal schneller gereinigt ist als der Reflektor. Zudem leidet der Reflektor mit jeder Reinigung und je rauer die Oberfläche wird, desto schneller verschmutzt er wieder. Bei der mit Schutzglas versehenen Leuchte war der Reflektor noch neuwertig.

Die Messung einer Leuchte, die vier Jahre in Betrieb war, ergab eine totale Lichteinbusse von 63 %. Schon das Reinigen der Lampe ergab eine Verbesserung der Lichtverhältnisse mit 6 %. Es ist also nicht zu erwarten, dass mit der doppelten Zeit der Verschmutzung die Reflexion in demselben Masse abnimmt. Ist der Reflektor einmal verschmutzt, dürfte in erster Linie eine weitere Lichteinbusse der Lampe eine Rolle spielen.

6. Lichtquellen

Die Anforderungen an Beleuchtungen von verkehrsreichen Strassen sind so hoch, dass nur mit den wirtschaftlichsten Lichtquellen gearbeitet werden kann. Glühlampen werden wegen der relativ geringen Lichtausbeute und der kurzen Lebensdauer nicht mehr in Frage kommen.

Im Vordergrund steht die Verwendung von Quecksilber-Hochdrucklampen, Natriumdampflampen und Leuchtstoffröhren. Die Wahl der Lichtquelle wirkt sich auf das Lichtklima aus. Bei geringen Beleuchtungsstärken wirkt das blaugrüne Licht der Hochdrucklampen kalt, während bei grösseren Leistungen eine durchaus annehmbare Beleuchtung entsteht. Die neuen Hochdrucklampen von 2000 und 400 W (HQI) haben neben höherer Lichtausbeute auch eine bessere Lichtfarbe. Das Natriumdampflicht ist dagegen in den niedrigen Beleuchtungsstärken gut, sieht doch das Auge bei schwacher Beleuchtung nur Helligkeitsunterschiede wie beim monochromatischen Natriumdampflicht. Erreicht die Beleuchtungsstärke eine gewisse Höhe, verlangt das Auge Farben zu sehen und eine weitere Steigerung der Beleuchtungs-

stärke mit Natriumlicht wird nicht in dem Masse empfunden, wie wenn die Erkennung von Farben möglich ist. Leuchtstoffröhren bieten in der Farbwahl keine Schwierigkeiten, haben jedoch pro Röhre einen relativ kleinen Lichtstrom. Werden mehrere Röhren in derselben Leuchte eingebaut, sinkt der Gesamtlichtstrom, da je ein Teil des Lichtstromes einer einzelnen Röhre durch eine benachbarte abgedeckt wird. Eine grössere Anzahl von Leuchten, jedoch nur mit zwei Röhren bestückt, hebt diesen Nachteil auf (Längsanordnung).

7. Anordnung der Leuchten und Kandelaber

Für Strassen, wo Überspannungen möglich sind, dürfte die Montage der Leuchte über die Mitte der Strasse die Regel sein; die Lampenhöhe beträgt 8...12 m je nach den vorhandenen Installationen.

Auf Kreuzungen und Plätzen soll eine grössere Lichtpunkthöhe gewählt werden. Je nach der Möglichkeit zum Aufstellen der Masten werden die Tiefstrahler in einer Viereranordnung und mit kurzer Ausladung angeordnet oder mit 6 Stück und längeren Auslegerarmen (Fig. 6).

In Bezug auf die Lichtpunkthöhe sollen zuerst zwei Extreme betrachtet werden. Bei Masthöhen von z. B. 30 m ist ein Abstand von etwa 80 m möglich. Die montierten Scheinwerfer müssten das Strassenstück zwischen den Masten ausleuchten, also relativ flach eingestellt werden. Bei hügeligem Gelände würde je nach dem ein Scheinwerfer direkt auf die Strasse blenden, und an Kurven würde über die Fahrbahn hinausgeleuchtet. Bei Nebel hätte man in 30 m Höhe eine Lichtwolke und zwischen den Masten wäre es dunkel. Auch bei Anschlusswerken ist, namentlich in nebelreichen Gebieten, mit in grosser Höhe montierten Armaturen Vorsicht walten zu lassen, denn gerade bei den schlechtesten Fahrbedingungen — im Nebel — soll die ortsfeste Beleuchtung ihr möglichstes bieten.

Der andere Extremfall, nämlich unter 5 m Lichtpunkthöhe zu bleiben und mit Scheinwerfern längs der Fahrbahn zu leuchten, dürfte auch wegen den Nebeltagen nicht in Frage kommen. Wird ein Scheinwerferstrahl längs den Fahrspuren eingestellt, hat man denselben Effekt wie wenn der Fahrzeugführer mit seinen Scheinwerfern durch den Nebel fahren würde. (Andere Bedingungen ergeben natürlich Röh-



Fig. 6
Platzbeleuchtung mit 3 Masten
ausgerüstet mit je 6 HQL-Tiefstrahlern von 400 W
Lichtpunkthöhe 16 m

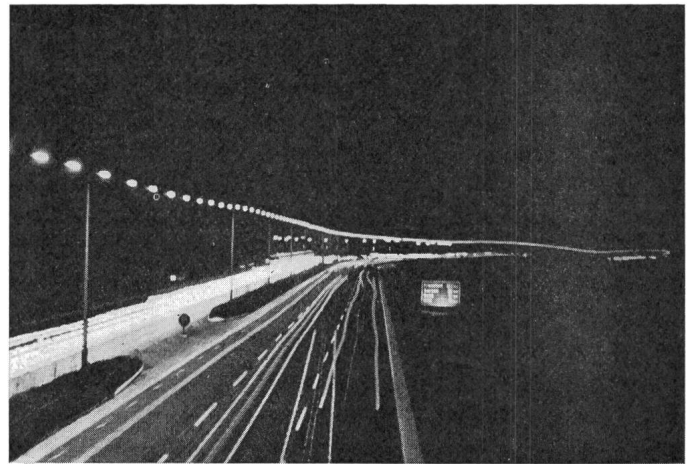


Fig. 7
Autobahnbeleuchtung bei Köln
Beispiel einer guten optischen Führung. Rechts ausgestrahlter
Vorwegweiser

ren längs den Strassen.) Man sollte also auch bei den Autobahnen schlicht und einfach bei den bewährten Lichtpunkthöhen von 8...12 m bleiben.

Bei der Anordnung der Leuchten muss auf die gute Linienführung geachtet werden. Als Musterbeispiel in dieser Beziehung darf die Montage von Leuchtstoffröhren-Armaturen an längs den Fahrbahnen gehängten Überspannungen gelten. Werden Mastansatz-Leuchten an Auslegern von 4...5 m Ausladung montiert, also 8...10 m von einem Lichtpunkt zum andern, verliert die Anordnung die Linienführung in den Kurven, indem sich die zwei Reihen überschneiden können. Haben wir jedoch Ausladungen von unter 50 cm kann sich diese Doppelreihe von Lichtpunkten selbst in Kurven nicht überschneiden, bedingt jedoch Leuchten, wie unter Abschnitt 5 beschrieben, mit asymmetrischer Lichtverteilung.

8. Verkehrszeichen

Unterschieden werden Gefahrensignale (dreieckig), Vorschriftsignale (rund) und Hinweissignale (rechteckig). Sämtliche Signale sollten von hinten ausgeleuchtet werden (Fig. 7 und 8). Ohne Zweifel kostet diese Forderung Geld, aber für die kleineren Signale gilt, dass die höheren Erstellungskosten durch kleinere Unterhaltskosten wieder kompensiert werden. Im Grunde genommen werden nur die grossen Tafeln wie Vorwegweiser, Fahrstreifentafeln usw. unverhältnismässig teuer. Der Wichtigkeit wegen, bei grossen Fahrgeschwindigkeiten die Schriften und Symbole auf grosse Distanzen zu erkennen, darf jedoch eine finanzielle Kraftanstrengung verantwortet werden. Die Alterung von angeleuchteten Tafeln erfolgt bedeutend schneller und zudem ist die Lichtintensität von durchleuchteten Tafeln von Anfang an grösser als bei angeleuchteten, was wiederum bei schlechter Sicht (Regen und Nebel) ins Gewicht fällt. Zudem ist die Gleichmässigkeit durchleuchteter Tafeln besser als von der Seite oder oben her angestrahlter Flächen.

Sehr wichtig für von hinten ausgeleuchtete Fahrstreifen- tafeln, Wegweiser usw. sind die Schriften. Leider wird in dieser Beziehung viel gesündigt. Bei jeder durchleuchteten Schrift müssen die Buchstaben-Striche eine vernünftige Breite aufweisen. Eine schwarze Schrift auf weissem Untergrund neigt zu Überstrahlung der Buchstaben, wenn die Strichdicke zu schmal gewählt ist. Ebenso werden zu kleine Abstände

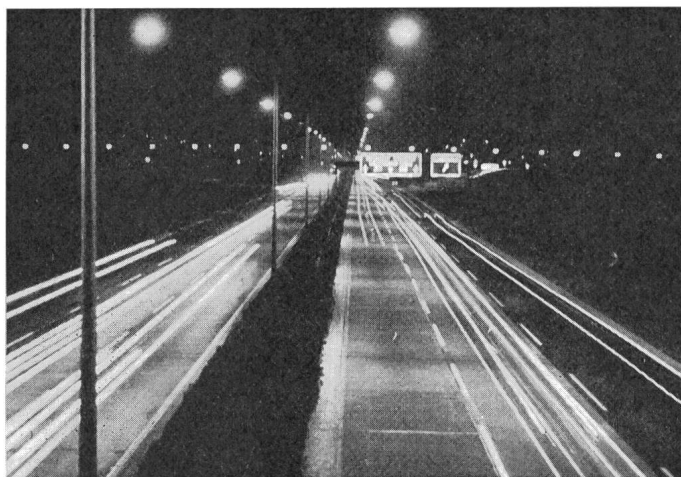


Fig. 8

Wie Fig. 7 aber mit von hinten ausgeleuchteten Wegweisertafeln
Weniger gute Linienführung

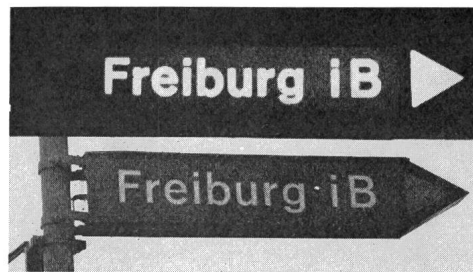


Fig. 9

Von hinten ausgeleuchteter Wegweiser

Dieselbe Schrift erscheint nachts breiter als am Tag, bedingt durch die Überstrahlung der Ränder. Sind die Buchstaben zu nahe, werden die Zwischenräume überstrahlt und die Schrift ist auf Distanz schlecht lesbar

der Buchstaben überstrahlt, wenn die Schrift weiss ist und der Untergrund blau (Fig. 9). Schriften dürfen auch nicht zu eng übereinander angebracht werden, d. h. der Zeilenabstand muss eindeutig hervortreten. Oft ist eine Schrift mit kleineren Buchstaben aber richtigen Abständen und Strichdicken auf Distanz besser lesbar als grosse fast ineinandergeschachtelte Buchstaben. Schriften, die sich für eine Durchleuchtung von hinten eignen, sind auch am Tage sehr gut lesbar. Zudem sollte eine Schrift gelesen werden können, wenn z. B. ein Wegweiser bis zu 45° gegenüber einer direkten Ansicht von der Fahrbahn aus abgedreht ist.

Viel zu wenig Beachtung wird der Anordnung von Verkehrs- signalen geschenkt. Wegweiser z. B. dienen in erster Linie den ortsunkundigen Fahrern, die sich aber auch an allgemeine Verkehrsregelungen zu halten haben. Dies ist nur möglich, wenn sämtliche Signale im gleichen Blickfeld liegen. Wenn Signalanlagen (grün, gelb, rot) in Höhen über 2 m montiert sind, die Wegweiser aber unter 1 m, kommt es immer wieder vor, dass der die tief montierten Wegweiser lesende Fahrer die rote Lampe überfährt. Werden die Wegweiser knapp über den Verkehrsampeln montiert, können alle Signale gleichzeitig erfasst werden.

Für die Erkennbarkeit von Verkehrszeichen ist auch der Hintergrund von grosser Bedeutung. In Hauptstrassen durch Städte hat man oft im Blickfeld einen Inselschutzpfosten und dahinter verschiedene Lichter wie Schaufenster usw. Um diese Pfosten besser hervorzuheben, sollten sie zusätzlich mit Richtungspfeil und je nachdem noch mit einem Einbahnsignal ergänzt werden. Eine Kombination dieser Signale fällt dem Fahrzeuglenker viel früher auf und hebt sich besser von den sich im Hintergrund befindenden Lichtern ab.

Viel zu wenig, vermutlich wegen dem Fehlen einer beweglichen Steuerung, wird von Verkehrssignalen Gebrauch gemacht, die nur in eingeschaltetem Zustand erkennbar sind, sonst aber als weisse Fläche in Erscheinung treten. Im Stossverkehr oder bei nasser Fahrbahn könnte z. B. vor gewissen Kurven eine Geschwindigkeitsbeschränkung angezeigt sein, oder vereiste Stellen könnten im Winter signalisiert werden.

Eine weitere wichtige Forderung ist die Abstimmung z. B. verschiedener Farben bei Symbolen in Bezug auf die Leuchtdichte. Es dürfte nicht vorkommen, dass Untergrund und Schrift oder zwei verschiedene Farben, z. B. rot und weiss, nicht aufeinander abgestimmt sind.

9. Steuerung

Die Steuerung für Hauptstrassen ist durch die bestehenden Anlagen weitgehend festgelegt. Um eine möglichst viel-

seitige Steuerung zu erhalten, ist Basel von der nur halb- und ganznächtigen Schaltung abgegangen. Durch eine Mittelfrequenzsteuerung, nicht dem Netz überlagert, sondern über die vorhandenen Steuerdrähte geleitet, können nun 22 Doppel-Befehle durchgegeben werden.

Für Expreßstrassen und Autobahnen sollte eine möglichst vielseitige Steuerung vorgesehen werden, sei es durch eine Überlagerung von Mittelfrequenzen auf die Kabelleitungen oder indem auf Steuerdrähten, die im neu verlegten Kabel enthalten sind, mit einer Impulssteuerung von 50 Hz gearbeitet wird. Die Steuerung soll einerseits das Ein- und Ausschalten auf Befehl eines Dämmerungsschalters vornehmen; andererseits müssen fest eingestellte Schaltungen, z. B. für die Reduktion der Beleuchtungsstärke, genau eingestellt werden können. Wochenendschaltungen für den bis spät dauernden starken Verkehr müssen ebenfalls im Programm eingestellt werden können. Durch weitere Dämmerungsschalter sollen bei Nebel, starkem Regen oder Schneefall und schon in der frühen Dämmerung die Verkehrssignale eingeschaltet werden. Auf jeden Fall muss für Autobahnen eine Steuerung gewählt werden, die es ermöglicht, von zentraler Stelle aus Beleuchtungsstärken, Verkehrssignale usw. zu steuern und auf Verlangen, z. B. der Polizei, hin die Beleuchtungsanlagen dem Verkehr anzupassen. Erfolgt die Abrechnung Pauschal, d. h. nach angeschlossener Leistung und Einschaltdauer, kann für jeden Schaltbefehl ein Betriebsstundenzähler eingebaut werden. Bei bekannter Leistung erfolgt dann die Verrechnung nach den gemessenen Betriebsstunden.

10. Installation

Das zentrale Problem für die Installation der Beleuchtung, namentlich an Autobahnen, ist der Spannungsabfall. Hauptstrassen und auch Expreßstrassen führen durch besiedeltes Gebiet, so dass die Beleuchtung immer wieder an das Verteilnetz angeschlossen werden kann. Anders verhält es sich mit den Autobahnen, wo auf lange Strecken die Energie zugeführt werden muss.

Grundsätzlich bestehen drei Möglichkeiten der Installation, und zwar auf kürzeren Strecken Drehstrom 380/220 V, nächstfolgend Drehstrom mit einer Spannung knapp unter 1000 V und auf grosse Strecken Hochspannung. Spannungen unter 1000 V gelten noch als Niederspannung und Spannungsabfälle können durch Anzapfungen an den Transformatoren bis zu einem gewissen Grad ausgeglichen werden.

Die Länge des Kabels für Niederspannung dürfte durch § 23.2 der Hausinstallationsvorschriften festgelegt sein, und zwar durch die Bestimmung:

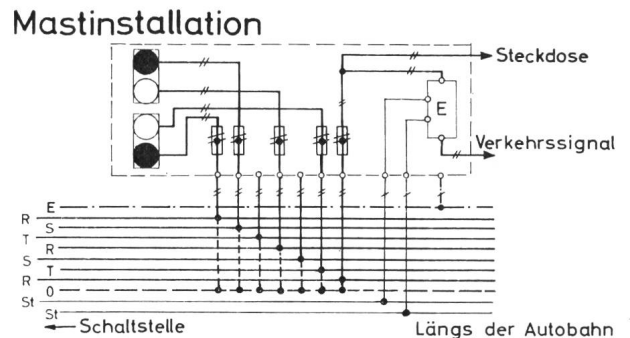
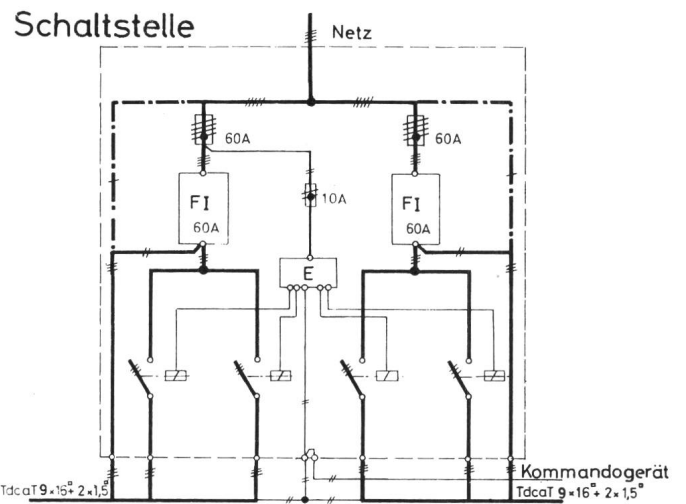


Fig. 10
Schema einer Autobahnbeleuchtung mit einem Speisekabel
 $9 \times 16 \text{ mm}^2$, Spannung $3 \times 380/220 \text{ V}$
 FI Fehlerstromschutzschaltung; E Empfänger;
 ● Lampe ganznächtigt; ○ Lampe halbnächtigt

- 23 210.2 a) Der Berührungsstrom darf bei 50 Hz nicht mehr als 0,5 mA betragen können.
- 23 210.2 b) Die Fehlerspannung darf nicht über 50 V ansteigen können.
- 23 210.2 c) Übersteigt die Fehlerspannung 50 V, so darf sie nicht länger als 5 s bestehen bleiben können.

Um diesen Anforderungen gerecht werden zu können, ist die Fehlerstrom-Schutzschaltung ein geeignetes Mittel¹⁾. Da bis jetzt Fehlerstrom-Schutzschalter nur bis 100 A angeboten werden, ist die totale Leistung und damit die Länge einer Autobahnbeleuchtung begrenzt.

In Tabelle I sind verschiedene Möglichkeiten für die Installation von Autobahnbeleuchtung angegeben. Die Voraussetzungen, namentlich für die Kostenangaben, sind:

1. Mastabstand 36 m;
2. Masthöhe 12 m, Ausleger 1,5 m;
3. 2 Doppelleuchten pro Mast, bestückbar bis $2 \times 400 \text{ W}$;
4. Halb- und ganznächttige Schaltung;

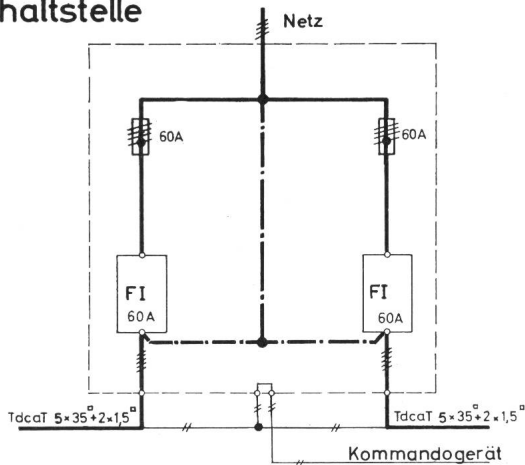
¹⁾ Siehe Bull. SEV 55(1964)1 und 55(1964)3.

Angaben für die Installation von Autobahnbeleuchtungen

Tabelle I

Variante	Netz	Kabel		Schema	Beleuchtete Strecke m	Kosten pro km Fr.
		Querschnitt mm ²	Spannung V			
1	$3 \times 380/220$	$9 \times 16 + 2 \times 1,5$	$3 \times 380/220$	1 (Fig. 10)	2×800	135 000.—
2	$3 \times 380/220$	$5 \times 35 + 2 \times 1,5$	$3 \times 380/220$	2 (Fig. 11)	2×850	145 000.—
3	$3 \times 380/220$	$5 \times 35 + 2 \times 1,5$	$3 \times 380/220$	3 (Fig. 12)	$2 \times 1 800$	165 000.—
3a	$3 \times 380/220$	5×35	$3 \times 380/220$	Var. 2	$2 \times 3 600$	200 000.—
		$5 \times 70 + 2 \times 1,5$		Var. 1		
4	$3 \times 380/220$	5×70	$3 \times 380/220$	4 (Fig. 13)	$2 \times 1 150$	145 000.—
		$4 \times 16 + 2 \times 1,5$				
5	3×6000	$9 \times 16 + 2 \times 1,5$	$3 \times 380/220$	5 (Fig. 14)	$2 \times 15 000$	170 000.—

Schaltstelle



Mastinstallation

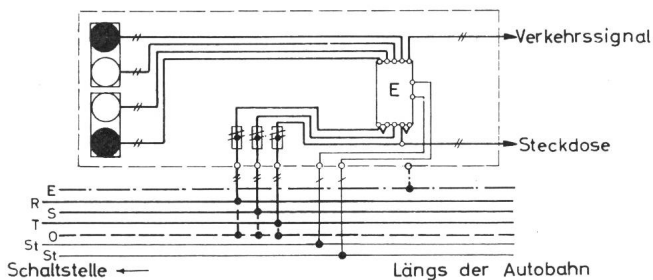


Fig. 11

Schema einer Autobahnbeleuchtung mit einem Speisekabel $5 \times 35 \text{ mm}^2$, Spannung $3 \times 380/220 \text{ V}$ Bezeichnungen siehe Fig. 10

5. Anzapfungen der Drosselspulen bis 190 V;
6. Steuersystem mittels zwei Steuerdrähten und Empfängern für verschiedene Befehle;
7. Es wurde mit doppeltem Einschaltstrom gerechnet, um sicheres Zünden zu garantieren;
8. Der Speisepunkt wurde als Mittelpunkt angenommen.

Aus Tabelle I ist ersichtlich, dass Kabelzuleitungen grösseren Querschnittes teurer kommen. Sie sollten nur verwendet werden, wenn die damit erreichte Länge der beleuchteten Strecke gerade noch ausreicht. Für grössere Strecken ist auch aus betrieblichen Gründen der Kombination Hochspannungskabel-Niederspannungsverteilung (Fig. 14) der Vorzug zu geben. Die Schaltungen nach Fig. 11 und 13 sind wegen den Empfängern bei jedem Mast störungsanfälliger, wobei allerdings die Störungen auf einen einzelnen Mast beschränkt bleiben.

11. Wann sollen Autobahnen durchgehend beleuchtet werden?

Es ist in Basel vorgesehen, dass Expreßstrassen, Tunnel und Anschlusswerke beleuchtet werden sollen. Die Frage, wann die Autobahnen durchgehend beleuchtet werden sollen, steht noch offen. Sicher dürfte die Verkehrsdichte hauptsächlich mitbestimmend sein, von welchem Zeitpunkt an die Autobahnen ihr Licht erhalten sollen.

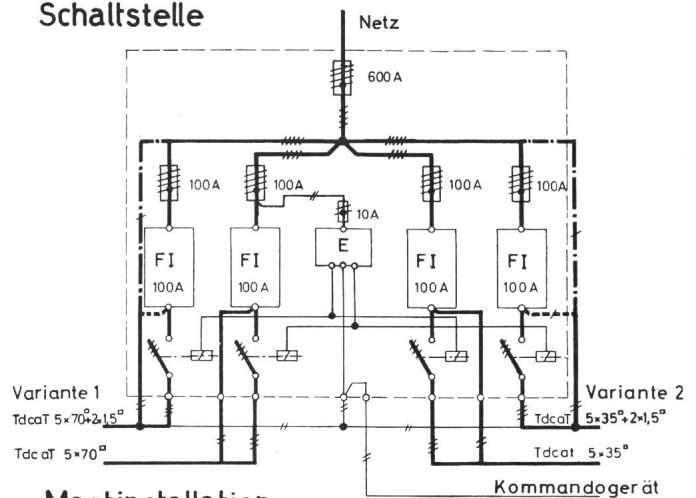
An der Diskussionsversammlung des SBK in Zürich über Autobahnbeleuchtungen kam ein Referent aus Paris zum Schluss, dass bei einer Belegung der Autobahn von mehr als 15 000 Fahrzeugen pro Tag eine Beleuchtung zu verantworten ist. Diese Verkehrsfrequenz erscheint auch für die Schweiz richtig zu sein. Aber nicht nur die durchschnittlichen Frequenzen dürfen massgebend sein, sondern auch

die Maximalbelastungen, z. B. in den Wintermonaten nach Arbeitsschluss und am Wochenende. Der von der Arbeit ermüdete Lenker und der weniger routinierte Sonntagsfahrer sollten in den Verkehrsspitzen gute Lichtverhältnisse vorfinden. Einen weiteren Vorzug bietet die ortsfeste Beleuchtung an Nebeltagen. Selbst bei niedrigeren Frequenzen als angegeben, sollten Autobahnen durch nebelreiche Gebiete beleuchtet werden. Als nebelreich soll gelten, wenn namentlich im Herbst und im Winter der Nebel nach der Abend- und vor der Morgendämmerung während Tagen nicht weicht, wie z. B. im Aaretal. Wenn durch eine ortsfeste Beleuchtung mit Standlichtern gefahren werden kann und keine Blendung durch den Gegenverkehr erfolgt, wird die Fahrgeschwindigkeit höher und damit die Autobahn leistungsfähiger.

Als Diskussionsgrundlage könnten die folgenden Ausführungen dienen:

- A) Autobahnen werden von Anfang an durchgehend beleuchtet, wenn:
 - a) Sechs Fahrbahnen vorgesehen sind;
 - b) Die erwartete Frequenz 10 000 Fahrzeuge pro Tag übersteigt;
 - c) Während der Dunkelheit mit Frequenzen von mehr als 600 Fahrzeugen pro Stunde in einer Richtung gerechnet wird;
 - d) In nebelreichen Gegenden $\frac{2}{3}$ der in lit. c) angegebenen Frequenzen erwartet werden;
 - e) Autobahnstücke zwischen beleuchteten Strecken weniger als 1,5 km lang sind (z. B. Anschlusswerk-Tunnel, bei 90...100 km/h Geschwindigkeit: ca. 1 min Fahrzeit).
- B) Bestehende Autobahnen werden mit einer ortsfesten Beleuchtung versehen, wenn:
 - a) Die Frequenz 15 000 Fahrzeuge pro Tag übersteigt;
 - b) In nebelreichen Gegenden $\frac{2}{3} = 10\,000$ Fahrzeuge pro Tag gezählt werden.

Schaltstelle



Mastinstallation

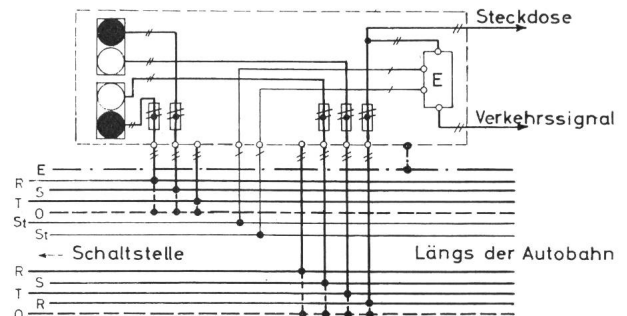
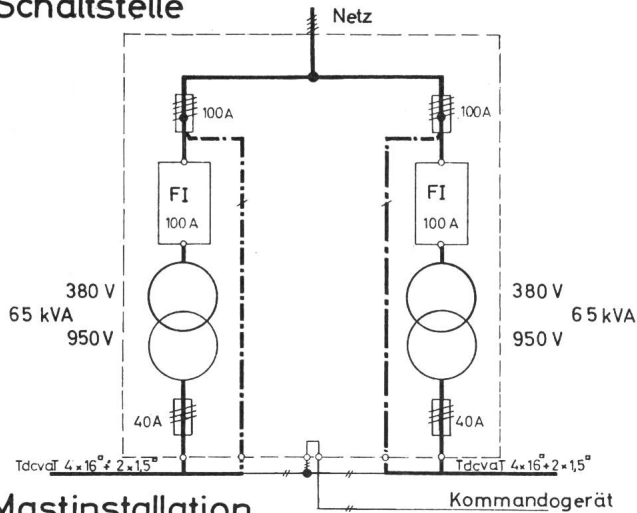


Fig. 12

Schema einer Autobahnbeleuchtung mit 2 Speisekabeln $5 \times 70 \text{ mm}^2$ und $5 \times 35 \text{ mm}^2$ Bezeichnungen siehe Fig. 10

Schaltstelle



Mastinstallation

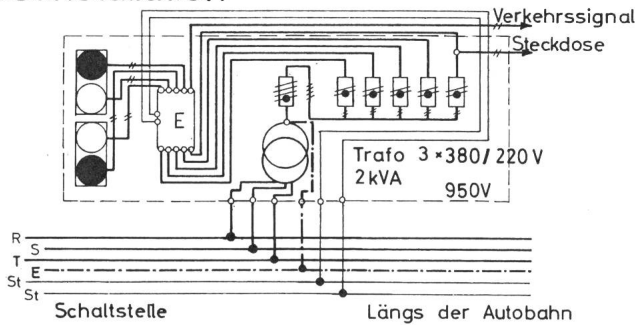


Fig. 13

Schema einer Autobahnbeleuchtung mit einem Speisekabel
 $4 \times 16 \text{ mm}^2$, Spannung $3 \times 950 \text{ V}$
 Bezeichnungen siehe Fig. 10

12. Finanzierung der Beleuchtung von Autobahnen und Expreßstrassen

Im Gegensatz zu Kantons- und Gemeindestrassen wird für die Beleuchtung der Autobahnen und Expreßstrassen eine Beteiligung des Bundes an den Energiekosten in der Höhe wie für Tiefbauten erwartet und dazu eine angemessene Beteiligung an den Unterhalt. Damit die Beleuchtung dieser Strassen in einem vernünftigen Verhältnis zu den andern Strassenbeleuchtungen steht und damit man auch steuerungsmässig zu einer Übereinstimmung gelangt, sollten die Anlagen durch die Elektrizitätswerke, die für die andern Strassenbeleuchtungen des Gebietes verantwortlich sind, erstellt und unterhalten werden. Dadurch können auch deren Erfahrung und der Pikettdienst in Anspruch genommen werden.

Tiefbauarbeiten für die Beleuchtung werden teilweise schon ausgeführt (Rohre in Kunstbauten, Kabelkanäle mit der Entwässerung kombiniert etc.). Hier stellt sich die Frage, ob nicht sofort auch die Beleuchtung erstellt werden sollte. Sicher ist eine sofortige Installation billiger als eine nachträgliche, wenn die Autobahn bereits im Betrieb ist. Es ist auch die Frage zu prüfen, wie es sich mit der Subvention des Bundes verhält, wenn z. B. ein kantonales Werk die Beleuchtung schon bei bedeutend niedrigeren Frequenzen einrichten will. Ebenso die Frage der Subvention, wenn ein städtisches Werk höhere Beleuchtungsstärken vorsieht, als das in den Empfehlungen der Schweiz. Beleuchtungskommission vorgesehene Minimum von 15 lx mittlerer Beleuchtungsstärke.

Wie unter Abschnitt 11 sollen die folgenden Ausführungen als Diskussionsgrundlage dienen.

Subventionen für die Erstellung von Strassenbeleuchtungen werden vom Bund ausbezahlt für:

- Expreßstrassen;
- Tunnel;
- Anschlusswerke.

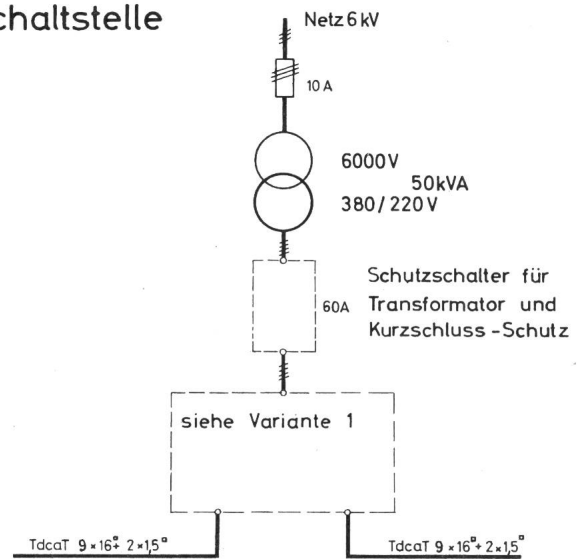
Zusätzlich sollen in Zukunft ebenfalls subventioniert werden:

- Autobahnen mit den unter Abschnitt 11, Absatz A, lit. a...e angegebenen Bedingungen;
- Autobahnen, deren Beleuchtung früher z. B. durch den Kanton erstellt wurde und deren Frequenz im Laufe der Jahre die unter Abschnitt 11, Absatz B, lit. a und b angegebenen Werte erreicht (früher und vor der Inbetriebnahme der Autobahn erstellte Beleuchtungsanlagen sind billiger und daher auch der Subventionsanteil kleiner, so dass eine durch den Kanton vorfinanzierte Installation den Bund billiger zu stehen kommt).

Subventionswürdig sind nur Beleuchtungsanlagen, die den minimalen Anforderungen entsprechen, die in den Empfehlungen der Schweiz. Beleuchtungskommission zusammengestellt sind. Da aber in Zukunft mit grösseren Beleuchtungsstärken zu rechnen ist als mit den empfohlenen Minimalwerten, empfiehlt es sich, wie im Abschnitt 4 angegeben, die Installation schon jetzt dafür auszubauen. Wenn also schon jetzt grössere Beleuchtungsstärken vorgesehen sind, sollten die nur wenig teureren Anlagen trotzdem in gleichem Masse subventioniert werden.

Subventionen für den Unterhalt der Beleuchtungsanlagen, wie im Abschnitt 12, lit. a)...e) festgehalten, sollen ausgerichtet werden für:

Schaltstelle



Installation längs der Autobahn

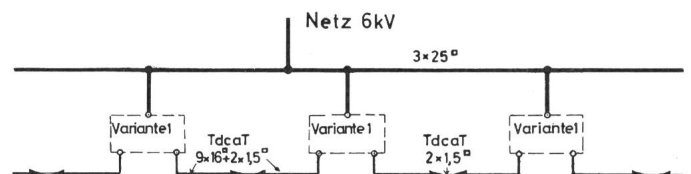


Fig. 14

Schema einer Autobahnbeleuchtung mit einem Hochspannungsspeisekabel
 $3 \times 25 \text{ mm}^2$, Spannung 6000 V und einem Verteilkabel $9 \times 16 \text{ mm}^2$,
 Spannung 380/220 V

- a) Energieverbrauch;
- b) Lampenersatz;
- c) Reinigung;
- d) Periodische Revision der Anlage (z. B. alle 4...6 Jahre);
- e) Unterhaltsarbeiten bedingt durch Witterungseinflüsse usw.;
- f) Ersatz von Anlageteilen oder deren Erweiterung.

Da grössere Leistungen für die Beleuchtung nur in den Spitzenzeiten beansprucht werden, dürfte, trotz maximaler Beleuchtung während dieser Zeit, der Energieverbrauch in vernünftigen Grenzen bleiben.

So wie erfreulicherweise einzelne Kantone Beleuchtungen von Hauptstrassen subventionieren, um den Gemeinden die Installation einer guten Strassenbeleuchtung zu ermöglichen, sollte der Bund in ähnlicher Art und Weise die Installationen von Beleuchtungsanlagen der Nationalstrassen zu einem möglichst frühen Zeitpunkt ermöglichen.

13. Unterhalt

Der Unterhalt eines Kilometers der Autobahnbeleuchtung setzt sich wie folgt zusammen:

Lampenersatz jedes zweite Jahr (Lampen der halb- und ganznächtigen Beleuchtung werden nach einem Jahr vertauscht, so dass man mit einer Lampe ca. 6000 Brennstunden erreichen kann);

- Arbeitszeit für Ersatz und Reinigung;
- Amortisation der Montage-Fahrzeuge;
- Reinigungs- und Kleinmaterial;
- Amortisation der Leuchten, Steigleitungen und Schaltstellen auf 10 Jahre;
- Amortisation der Kabel und Kandelaber auf 40 Jahre;
- Kapitalzinsen;

Zwischenkontrollen und Lampenersatz nebst der periodischen Auswechslung;
Verwaltungskosten;
Unvorhergesehenes (ca. 15 %/o).

Werden diese Kosten zusammengestellt, erreicht die errechnete Summe einen Betrag von etwa Fr. 25 000.— pro km und pro Jahr.

Mit diesem Betrag ist auszukommen, sofern abgedeckte Leuchten verwendet werden und wenn die Fahrzeuge für den Unterhalt der übrigen Strassenbeleuchtungen voll verwendet werden können. Sofern eine besondere Gruppe, die nur Autobahnbeleuchtungen betreut, den Unterhalt ausführen muss, reicht der genannte Betrag nicht aus.

14. Schlusswort

Die hier festgehaltenen Gedanken sollen selbstverständlich nicht als alleiniges Rezept aufgefasst werden. Wenn andere Voraussetzungen vorliegen als in Basel, müssen auch andere Schlussfolgerungen gezogen werden. Zudem kann die Planung mehr oder weniger grosszügig ausgeführt werden.

Wenn sich in einem regen Meinungs-austausch, namentlich was die Autobahnbeleuchtung betrifft, der einzuschlagende Weg etwas besser abzeichnet als es bis jetzt der Fall war, ist der Zweck dieser Zeilen erreicht.

Adresse des Autors:

H. Gloor, Chef der öffentlichen Beleuchtung des Elektrizitätswerkes Basel, Postfach, 4000 Basel 8.

Einfluss der Frontdauer der Stoßspannung auf das Ansprechverhalten von Funkenstrecken

Von J. Wiesinger, München

1. Einführung

Bei Einschlägen multipler Blitze in Freileitungen muss mit Spannungssteilheiten von mehreren 10 MV/μs gerechnet werden. Es ist daher notwendig zu wissen, wie sich Schutzfunkenstrecken, Lichtbogenarmaturen, Isolatoren usw. bei der Beanspruchung durch Spannungsstöße sehr kurzer Frontdauern verhalten. Da die Erzeugung und Messung dieser Steilwellen schwierig ist, liegen bis heute nur wenige experimentelle Ergebnisse vor.

In dieser Arbeit wird das Ansprechverhalten verschiedener prinzipieller Funkenstreckenordnungen bei Stossspannungen mit Frontdauern im Nanosekundenbereich dem Ansprechverhalten bei Frontdauern im Mikrosekundenbereich gegenübergestellt. Auf Grund der experimentellen Ergebnisse wird untersucht, ob sich die Stosskennlinien sehr steiler Wellen aus den Stosskennlinien der Normstosswellen (z. B. 1,2| 50-μs-Welle) berechnen lassen.

2. Der Steilwellengenerator

Fig. 1 zeigt die Schaltung des Stoßspannungsgenerators, mit dem das Ansprechverhalten von Funkenstrecken bei der Beanspruchung durch Stosswellen mit verschiedenen Frontdauern untersucht wurde. Der Generator besteht aus einem üblichen Stosskreis und einem besonders gestalteten Nachkreis.

Vor der Entladung des Generators ist die Stosskapazität C_s aufgeladen; die maximale Ladespannung beträgt 140 kV. Durch eine elektronische Auslösevorrichtung wird die Zünd-

funkenstrecke F_1 gezündet. Damit erscheint an der Belastungskapazität C_b eine exponentiell ansteigende Spannung; die Zeitkonstante wird im wesentlichen bestimmt durch C_b und den Dämpfungswiderstand R_{d1} . Wenn die Spannung an C_b ihren Maximalwert erreicht hat, zündet die Funkenstrecke F_2 im Nachkreis, deren Schlagweite entsprechend dem Maximalwert der Spannung eingestellt ist. Damit wird an den Prüfling eine sehr schnell ansteigende Spannung gelegt. Die Frontdauer T_s dieser Stoßspannung wird im wesentlichen bestimmt durch die Durchzündzeit von F_2 . Ist F_2 eine Vielfachplattenfunkenstrecke (Fig. 2), ergibt sich T_s zu ca. 5 ns (Fig. 3); ist F_2 eine Kugelfunkenstrecke, so ist T_s ca. 60 ns. Die Rückenhalbwertzeit T_r der Stoßspannung wird im wesentlichen bestimmt durch

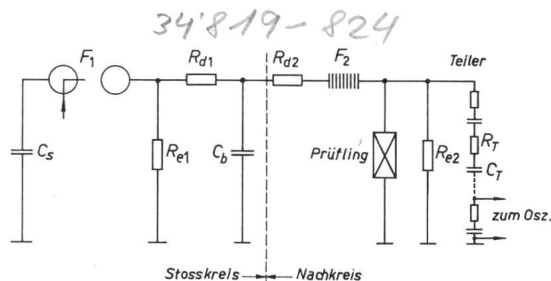


Fig. 1

Steilwellengenerator

$C_s = 30$ nF; $C_b = 3$ nF; $R_{d1} = 100...400$ Ω; $R_{d2} = 60$ Ω;
 $R_{e1} = 50$ kΩ; $R_{e2} = 45$ kΩ; $R_r = 1500$ Ω; $C_r = 100$ pF
 F_1 Zündfunkenstrecke; F_2 Vielfachplattenfunkenstrecke oder Kugelfunkenstrecke; C_b Belastungskapazität; C_s Stosskapazität;
 R_d Dämpfungswiderstand; R_e Entladewiderstand