

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 58 (1967)  
**Heft:** 20

**Artikel:** Lichttechnische Aspekte zur Hochmastbeleuchtung  
**Autor:** Roch, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916286>

#### **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:** 08.01.2026

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

## 5. Ausblick

Beobachtet man die Errungenschaften der letzten Jahre, so zeigt sich, dass auf allen Gebieten der Isolationstechnik zwar grosse Erfolge zu verzeichnen waren, dass aber viele der als wünschenswert erscheinenden Ziele bei weitem noch nicht erreicht wurden.

Eines dieser Ziele auf dem Gebiet der gasförmigen Isolierstoffe wäre z. B. die Bereitstellung eines Gases, das bei gleicher oder besserer dielektrischer Festigkeit als das SF<sub>6</sub> und die Fluorkarbonate einen grösseren Temperatureinsatzbereich (gegeben einerseits durch die Kondensationstemperatur unter dem benötigten Druck, anderseits durch die thermische Stabilität) gewährleisten würde. Ein anderes Ziel auf weite Sicht wäre, die zwischen organischen und anorganischen Isolierstoffen bestehende Lücke zu schliessen, um so zu Werkstoffen zu gelangen, welche die Vorteile beider Stoffgruppen in sich vereinigen.

So wie die Dinge heute liegen, ist es nicht nur schwierig zu sagen, in welcher Richtung die Lösung dieser Probleme gesucht werden muss, sondern es ist sogar fraglich, ob eine Lösung im Sinne einer so kategorischen Problemstellung überhaupt möglich ist. Dies liegt nicht daran, dass mit den höheren Anforderungen auch die Schwierigkeiten, diese Anforderungen zu erfüllen, notgedrungen immer mehr steigen müssen. Bei dem riesigen, heute zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Potential kann man erwarten, dass jedes irgendwie zu lösende Problem über kurz oder lang auch einmal gelöst werden wird. Die Erfahrung hat aber gezeigt, dass für eine Verbesserung in einem Punkt in den meisten Fällen eine Verschlechterung in einem anderen Bereich in Kauf genommen werden muss. Immerhin gibt es Beispiele dafür, dass diese Regel gelegentlich auch durch-

brochen werden kann und in einzelnen Fällen nicht das Prinzip des «entweder oder», sondern dasjenige des «sowohl als auch» Geltung besitzt.

## Literatur

- [1] Insulation Directory / Encyclopaedia Issue, Insulation 12(1966)6.
- [2] Symposium on Electrical Insulating Gases, ASTM Special Technical Publication No 346, Dec. 1963.
- [3] C. Camilli: Gaseous insulation goes to work. Power, Design and Equipment Application Section (1959) 62-66.
- [4] L. F. Kilham, R. R. Ursch: Liquid and Gas Dielectrics for Magnetic Component Miniaturization. Electrical Manufacturing, May 1957, 140-145.
- [5] Minnesota Mining and Manufacturing Company. 3 M Brand Inert Fluorchemical Liquids Technical Data.
- [6] K. Schneider: Ionisch polymerisierte Lactame, Kunststoffe 55(1965)315.
- [7] Du Pont de Nemours: Technical Information Bulletin N-195, Sept. 1965.
- [8] Ionische Äthylen-Polymerisate, Kunststoffe 55(1965)12, 952.
- [9] E. G. Driscoll: Rubber and Thermoplastic Power Cables, Insulation (1966)41.
- [10] Speciality Elastomers, Materials and Process Manual No 232 [in Materials Design Engineering 62(1965)119-134].
- [11] Der leichteste Thermoplast, Kunststoff-Berater 10(1965)797.
- [12] Eigenschaften von Polyfluorcarbonen, Kunststoffe 55(1965)9, 715.
- [13] Fluorcarbon Plastics. Materials and Process Manual No 215 [in Materials in Design Engineering 61(1964)93-104].
- [14] Wacker-Chemie GmbH: Kaltvulkanisierender Siliconkautschuk.
- [15] R. Stierli: Epoxyharze in der Elektrotechnik, ETZ-B (1965)20, 649.
- [16] K. Jellinek: Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Epoxyharze, Kunststoffe 55(1965)2, 74.
- [17] Epoxy-Plastics, Materials and Process Manual No 227 [in Materials Design Engineering (1965)111-122].
- [18] Einkristalle geben Kunststoffen hohe Festigkeit, Kunststoff-Berater 10(1965)12, 977.
- [19] PPO... new, high-heat Thermoplastic, Modern Plastics 42(1964)4, 95-97.
- [20] Noryl... a New Engineering Thermoplastic Insulation 12(1966)7, 31.
- [21] Polysulfon — bis 170 °C verwendbar. Kunststoff-Berater 10(1965)798.
- [22] J. F. Heacock, C. E. Berr: Polyimides — New High Temperature Polymers, SPE Transactions, April 1965, 105-110.
- [23] R. S. Mallouk: Polyimide-Film, Machine Design 36(1964)10, 232-37.
- [24] J. H. Freeman: New Amide-Imide Plastics, Mat. Design Engineering 64(1966)4, 80-82.
- [25] W. Hennig: Neuartiges Glas als Werkstoff der Elektronik, Elektronische Rundschau Nr. 6(1960), 233.
- [26] W. Hinz: Vitrokeram, Silikattechnik 10(1959), Nr. 3, 119.
- [27] The Carborundum Company: Boron Nitride.
- [28] C. H. Vondracek: Inorganic Potting Compounds for High Temperatures, Mat. Design Engineering 60(1964)7, 100-103.

## Adresse des Autors:

Frau Dr. L. Hugi, AG Brown, Boveri & Cie., 5400 Baden.

## Lichttechnische Aspekte zur Hochmastbeleuchtung

Von J. Roch, Erlangen

656.057.39

### 1. Allgemeines

In der letzten Zeit sind beim Ausbau der Verkehrswege weiträumige Anlagen erstellt worden. Zur Verminderung der Unfallgefahr und zur Erhöhung der Sicherheit wurden und werden diese Objekte beleuchtet. Bei derartigen grossflächigen Anlagen ist nun versucht worden, eine Beleuchtung mit einem oder wenigen hohen Masten anstelle vieler Maste der konventionellen Methode zu erstellen.

Hier, wo es jedoch vornehmlich um die Sicherheit des schnellen Verkehrsteilnehmers geht, sollten aber die beleuchtungstechnischen Probleme sehr genau untersucht werden, ohne dass selbstverständlich die Wirtschaftlichkeit und Ästhetik dabei ausser acht gelassen werden dürfen. Die beleuchtungstechnische Seite der Hochmastbeleuchtung zeigt nämlich einige Besonderheiten, die für die Güte der Beleuchtung entscheidend sind.

Gerade die besondere Anordnung mit wenigen hohen Masten schafft ganz andere Beleuchtungsverhältnisse, weshalb nur durch das Zusammenspiel besonderer Beleuchtungskörper und richtig gewählter Fahrbahndecken eine befriedigende Lösung erreicht werden kann.

Die folgenden Überlegungen verdeutlichen die mit der Hochmastbeleuchtung verbundenen Gesetzmässigkeiten und zeigen zugleich eine optimale Lösung auf.

### 2. Art der Lichtverteilung

Am besten lassen sich die Verhältnisse am Beispiel einer beleuchteten Strassenfläche  $A$  entsprechend Fig. 1 demonstrieren. Die Leuchte befindet sich über einem Eckpunkt in der Lichtpunkthöhe  $h$  und strahlt einen Lichtstrom  $\Phi = 1 \text{ lm}$  derart aus, dass sich auf der Fläche  $A$  eine Beleuchtungsstärke  $E_A = 1 \text{ lx}$  ergibt. In diesem Fall beträgt die Beleuchtungsstärke der darunterliegenden gleich grossen Fläche  $A'$  nur noch ein Viertel, wenn die Lichtpunkthöhe auf  $2h$  erhöht wird. Bei unveränderter Lichtstärkeverteilung müsste daher der Lichtstrom vervierfacht werden, um wieder die Beleuchtungsstärke  $E = 1 \text{ lx}$  zu erhalten.

In Formeln ausgedrückt bedeutet dies:

Unter der Voraussetzung, dass die Form der Lichtverteilung konstant bleibt und der Lichtstrom  $\Phi = 1 \text{ lm}$  beträgt, ist:

$$E_A = 1 \text{ lx}$$

und

$$E_{A'} = \frac{1}{4} \text{ lx}$$

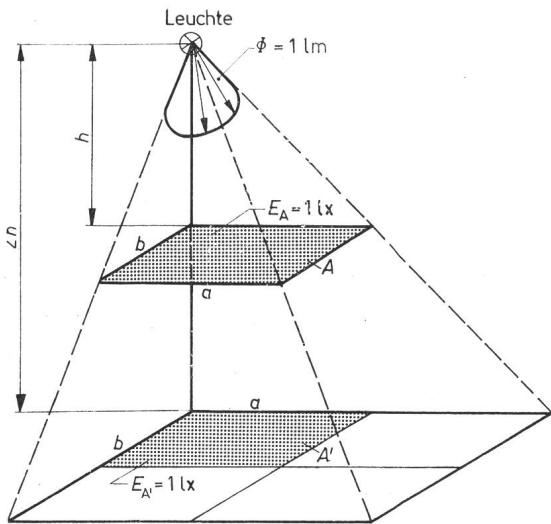


Fig. 1

**Beleuchtungsstärke- und Lichtstromverhältnisse innerhalb des gleichen Raumwinkels, jedoch verschiedener Höhe**

Für  $E_{A'} = 1 \text{ lx}$  muss  $\Phi = 4 \text{ lm}$  aufweisen.

Übersetzt man diese Gesetzmässigkeit auf eine Beleuchtungsanlage entsprechend Fig. 2, so erhält z. B. die Fläche  $A_1$  von der Leuchte  $a_2$  die Beleuchtungsstärke 1 lx. Verdoppelt man bei gleichbleibendem Leuchtenabstand die Lichtpunkthöhe auf  $2h$  und vervierfacht entsprechend dem erwähnten Ergebnis den Lichtstrom pro Leuchte, dann liefert sowohl Leuchte  $a'_2$  wie auch  $a'_1$  jeweils die Beleuchtungsstärke 1 auf der Fläche  $A_2$ , so dass diese Fläche die Beleuchtungsstärke  $E = 2 \text{ lx}$  erhält. Daraus folgt, dass man auf jede zweite Leuchte verzichten kann, um auf die gleiche Beleuchtungsstärke wie bei der Lichtpunkthöhe  $h$  zu kommen; mit anderen Worten, man kann das Abstandsverhältnis beibehalten. Gleichzeitig zeigt die Lichtstrombilanz, dass mit doppelter Lichtpunkthöhe, je-

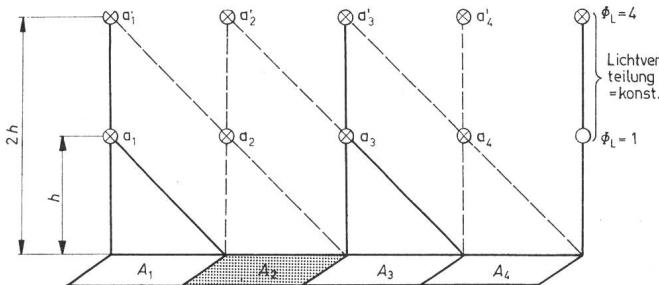


Fig. 2

**Anteil der Beleuchtungsstärke der Leuchten  $a'_1$  und  $a'_2$  auf die zu beleuchtende Strecke  $A_2$**

doch gleichem Abstandsverhältnis der gesamte Lichtstrombedarf verdoppelt werden muss. Entsprechendes gilt bei dreifach- und vierfacher Lichtpunkthöhe.

Die Voraussetzung einer gleichbleibenden Lichtstärkeverteilung ist natürlich unrealistisch. Man wird versuchen, die Lichtstärkeverteilung bei einer Lichtpunkterhöhung so zu verändern, dass trotz gleichen Lichtstromes je Leuchte die Beleuchtungsstärke unverändert bleibt. Hat daher im Beispiel von Fig. 1 bei der Lichtpunkthöhe  $h$  der Raumwinkel die Grösse  $\omega$ , dann umschliesst die Fläche  $A'$  bei doppelter Lichtpunkthöhe den Raumwinkel  $\omega/4$ . Soll der gleiche Lichtstrom  $\Phi = 1 \text{ lm}$  in diesem Raumwinkel vorhanden sein, dann muss die Lichtstärke auf das Vierfache erhöht werden. Da  $\Phi = I\omega$  muss  $\Phi = 4 \cdot 1/4 = 1 \text{ lm}$  werden.

Die Erfahrung zeigt, dass hier die Schwierigkeiten bei der Leuchtentchnik einsetzen, da sich Lichtstärke und Ausstrah-

lungsbereich quadratisch zur Höhenänderung verhalten müssen. Bei konventionellen Beleuchtungsmethoden kann mit einem Beleuchtungswirkungsgrad von ca. 30...40 % gerechnet werden. Für die in der Literatur beschriebenen Hochmastanlagen lassen sich aber nur Wirkungsgrade von ca. 20 % – oft sogar noch viel weniger – ermitteln. Das bedeutet also in jedem Fall einen nicht unerheblich höheren Lichtstromaufwand als bei konventioneller Beleuchtung (Wirtschaftlichkeitsfrage), um jeweils auf gleiche Beleuchtungsstärke zu kommen, abgesehen von den vermutlich wesentlich höheren Erstellungs- kosten.

### 3. Fahrbahnleuchtdichte und Horizontalbeleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärkeverhältnisse lassen sich leicht überblicken. Die für Sehverhältnisse entscheidenden Fragen der Fahrbahnleuchtdichte sind nicht ganz so bekannt. Sie sollen im folgenden genauer untersucht und aufgezeigt werden.

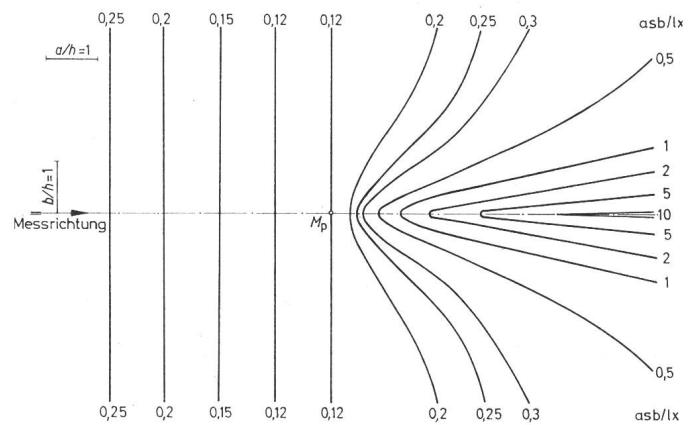


Fig. 3  
**EP-Diagramm für eine Asphalt-Feinbeton-Fahrbahn**

Hier wird die Leuchtdichte von links im Punkt  $M_p$  gemessen. Für die Leuchten werden deren Standorte auf den Kurven angenommen

#### 3.1 Gerade Fahrbahnen

Die heute übliche Berechnung der Leuchtdichte geschieht mit sog. EP-(equivalent position)- bzw. CP-(constant position)-Diagrammen (Fig. 3 und 4). Beide geben die Reflexionseigenschaften einer bestimmten (meist trockenen) Strassendecke für eine festgelegte Beobachtungsrichtung wieder. Masseinheit ist meist der Leuchtdichtefaktor, z. B. in asb/lx, welcher für  $10^6$  Blickrichtung zur Waagerechten die bei einer vorhandenen Horizontalbeleuchtungsstärke von 1 lx erzielte Leuchtdichte in asb angibt. Der Unterschied der beiden Diagramme liegt darin, dass bei dem EP-Diagramm der Beobachter auf einen

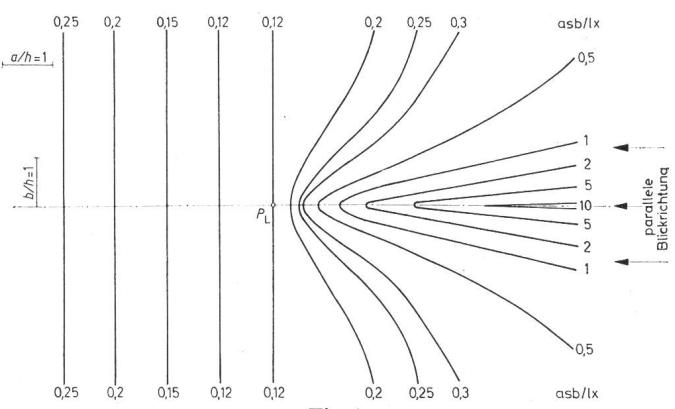


Fig. 4  
**CP-Diagramm für eine Asphalt-Feinbeton-Fahrbahn**

Hier befindet sich die Leuchte am Standort  $P_L$  und die Blickrichtung kommt von rechts

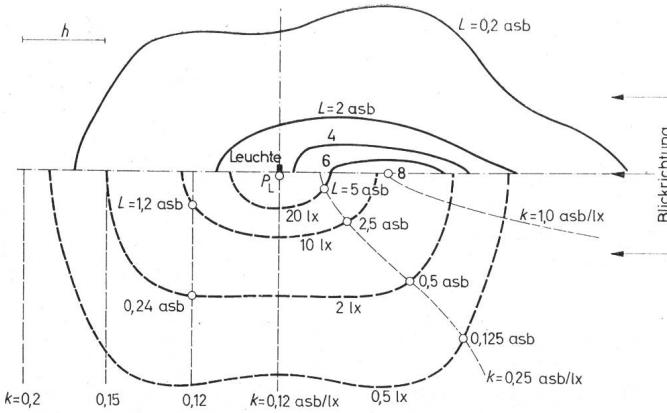


Fig. 5

Rechnungsgang einer Leuchtdichteverteilung mittels CP-Diagramm (gestrichelte Kurven) und Isoluxkurven (punktige Linien)

Das Ergebnis ist die ausgezogene Kurve im oberen Teil der Figur

festen Messpunkt blickt und die Leuchten eine Vielzahl von Standorten bei immer gleicher Messung im Messpunkt  $M_p$  einnehmen können. Die Kurven verbinden Punkte gleicher Leuchtdichtefaktorwerte miteinander.

Beim CP-Diagramm wird der erzielte Leuchtdichtefaktor einer feststehenden Leuchte an einer Vielzahl von Beobachtungspunkten angegeben, wobei die Beobachtungsrichtungen zu den Punkten jeweils parallel zueinander verlaufen müssen. Die Kurven stellen somit bereits Iso-Leuchtdichtekurven dar – vorausgesetzt, die Leuchte würde in jedem Punkt  $E_H = 1 \text{ lx}$  erzeugen.

Diese Darstellung eignet sich besser für die Betrachtung der Hochmastbeleuchtung. Sie lässt außerdem die Erstellung einer für jede Leuchte und Fahrbahn charakteristischen Leuchtdichteverteilung zu, die durch Multiplikation des CP-Diagrammes mit den Isoluxkurven der betreffenden Leuchte entsteht. Ein solches Beispiel wurde in Fig. 5 wiedergegeben. Im unteren Teil dieser Figur (gestrichelt) erkennt man die Kurven des CP-Diagrammes der Fig. 4, während die punktierten Linien die Isoluxkurven einer bestimmten Leuchte darstellen. Die Multiplikation beider Kurvenscharen liefert die im oberen Teil der Fig. 5 ausgezogenen Kurven, welche die Leuchtdichteverteilung dieser Leuchte für eine charakteristische Fahrbahndecke wiedergibt.

Diese Verteilung sollte man sich bei der Beurteilung der Lage einer Hochmastleuchte vor Augen halten, da sich auch für nasse Fahrbahnen eine ähnliche – allerdings schmalere – Charakteristik zeigt.

Betrachtet man nun die Leuchtdichteverteilung der Anlage nach Fig. 2 und setzt  $b = h = 10 \text{ m}$ , so kann man bei 20 und

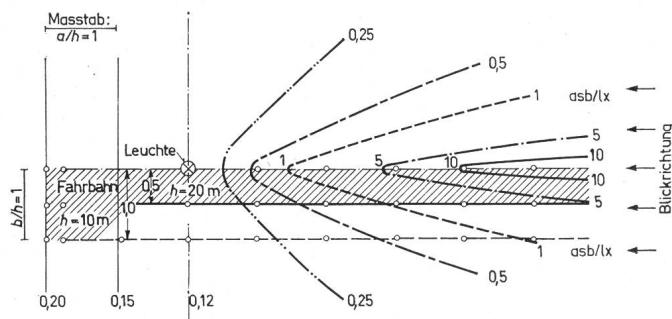


Fig. 6

Lage der Fahrbahn im CP-Diagramm bei den Lichtpunkten 10 m und 20 m  
Man erkennt deutlich, dass bei grösserer Höhe die Fahrbahn einen schmaleren Streifen beinhaltet und damit Werte grösserer Leuchtdichte ergibt

10 m Lichtpunkthöhe entsprechend dem  $b/h$ -Maßstabverhältnis der Fig. 6 die Fahrbahnbegrenzung in das CP-Diagramm eintragen. Man erkennt leicht, dass mit wachsender Lichtpunkthöhe jedoch gleichbleibender Fahrbahnbreite (schmaleres Feld) der Mittelwert der Leuchtdichtefaktoren grösser wird, zumal die Randzonen bei grösseren  $b/h$ -Werten – das entspricht kleineren Höhen – sehr kleine Werte aufweisen, die den Mittelwert erheblich beeinflussen.

Unter der Voraussetzung gleichbleibender Beleuchtungsstärke bedeutet damit die Lichtpunkterhöhung im allgemeinen eine Steigerung der Fahrbahnleuchtdichte. Der effektive Gewinn an Leuchtdichte hängt von den Reflexionseigenschaften der Fahrbahndecke ab und wird z. B. bei Beton nur unerheblich sein (Fig. 7), da hier die Leuchtdichtefaktorkurven sich nicht sehr eng an die Symmetrieachse des Diagramms anschmiegen, wie es z. B. bei Asphaltfeinbeton (Fig. 4) der Fall ist.

Der aus diesen Überlegungen gerade gezogene Schluss hat aber zur Voraussetzung, dass für die in Fig. 6 eingetragenen Fahrbahnen für  $b/h = 1$  und  $b/h = 0,5$  Maststandorte unmittelbar am Fahrbahnrand gewählt werden.

Wenn der Maststandort vom Fahrbahnrand weiter entfernt liegt, ist kein Leuchtdichtegewinn mehr durch Lichtpunkt-

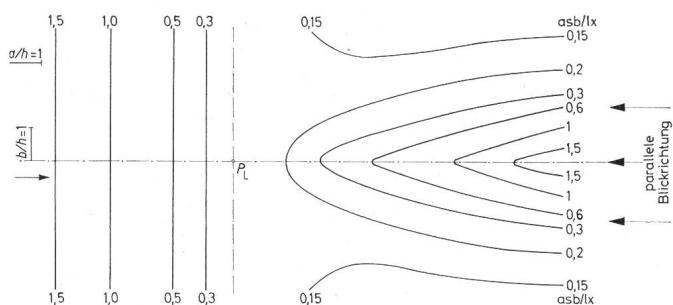


Fig. 7  
CP-Diagramm für eine Beton-Fahrbahn

Charakteristisch sind hier die kleineren Werte der Leuchtdichtefaktoren und eine breitere Form der Kurve gegenüber der Verteilung für Asphalt-Feinbeton (Fig. 4)

erhöhung zu erzielen; im Gegenteil, hier tritt eine zum Teil nicht unerhebliche Leuchtdichteminderung gegenüber der durch konventionelle Beleuchtungsmethoden erzielten Leuchtdichte ein. Man erkennt diese sofort daran, dass z. B. der in Fig. 6 zwischen  $b/h = 0,5$  und  $1,0$  liegende Fahrbahnstreifen nur von kleinen Leuchtdichtefaktoren belegt wird. Ein noch krasseres Beispiel hiefür stellt eine grosse Schleife eines Verkehrsverteilers oder auch Kleeblattes dar, die von nur einem Mast aus in der Mitte der Schleife beleuchtet werden soll. Deshalb sei dieser Fall besonders behandelt.

### 3.2 Gekrümmte Fahrbahnen, Autobahnschleifen

Am Fall eines Autobahnkreuzes (Fig. 8) lässt sich erkennen, in welcher Form die Leuchtdichte wirksam wird, wenn in dem einen Fall ein Mast von z. B. 30 m Höhe in der Mitte des Kreisels, im anderen Fall drei Maste von 20 m Lichtpunktshöhe aussen an dem Kreisel aufgestellt werden (oberer Teil der Fig. 8). An der Lage der Iso-asb-Linien (gestrichelt) für die jeweiligen Leuchten erkennt man, welcher Unterschied bei beiden Anordnungen vorliegt. Dieser wird bei nasser Fahrbahn noch krasser, weil dann die Leuchtdichteverteilung (punktiert) wesentlich schmäler und gerichteter wird und trotz gleicher Horizontalbeleuchtungsstärke die Mittelmastanord-

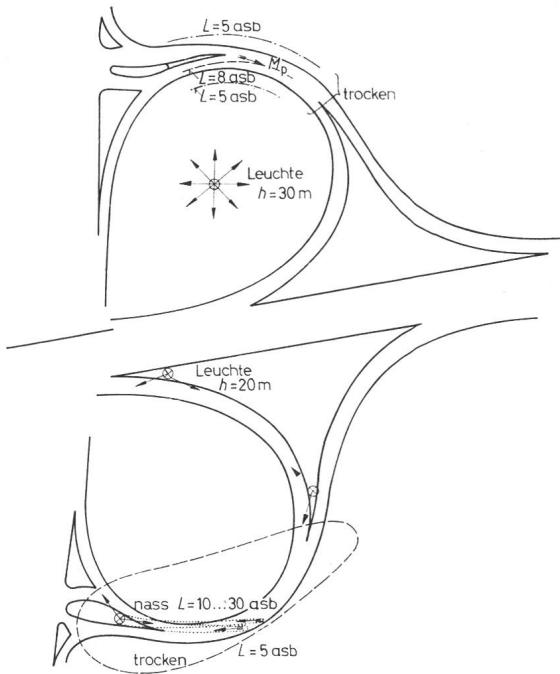


Fig. 8

**Zwei Möglichkeiten zur Beleuchtung einer Autobahnschleife durch Hochmaste**

Im oberen Teil der Leuchtdichteveerlauf bei der Mittelmastanordnung. Der untere Teil zeigt den Verlauf der Leuchtdichte für einen Außenmast

nung kaum noch Leuchtdichten auf der Fahrbahn aufweist. Liegt der Leuchtdichtegewinn bei der Außenmastanordnung bei trockener Fahrbahn etwa bei dem 1,5- bis 2-fachen der Mittelmastanordnung, so steigt er bei nasser Strasse auf das 3- bis 5-fache an. Lediglich bei einer Betonfahrbahn (z. B. Fig. 7) oder einer ähnlich rauhen, hellen Strassendecke ist der Unterschied geringer. Die grundlegenden Betrachtungen lassen diese Zusammenhänge besser erkennen, wie nachfolgend gezeigt wird.

Zunächst vergleiche man in Fig. 9 die Lage der für Mittelanordnung eingezeichneten Fahrbahnenden in dem CP-Diagramm einer Asphalt-Feinbeton-Fahrbahn. Infolge der vorausgesetzten parallelen Blickrichtung kann man hier nur ein kleines, eben noch als gerade anzusehendes Teilstück des Kreisels in das CP-Diagramm eintragen. Der Radius des Kreisels geht als Verhältnis zur Lichtpunkthöhe  $r/h$  in die Zeichnung ein. Für dieses Teilstück ergibt sich ein mittlerer Leuchtdichtefaktor, der jedoch auch für jeden anderen Punkt der Kreislinie der gleiche ist, da für jeden Punkt die Blickrichtung tangential zur Kreisbahn und damit parallel zur Abszisse des CP-Diagramms verläuft (im Abstand  $r/h$ ). Dieser Wert von 0,12 aus Fig. 9 entspricht jedoch jenem Wert, der ebenfalls im Fusspunkt der Leuchte  $P_L$  vorhanden ist.

Daraus folgt, dass der Leuchtdichtefaktor für eine gekrümmte Fahrbahn – unabhängig vom Krümmungsradius – gleich dem diffusen Anteil unter der Leuchte ist, d. h., er entspricht dem diffusen Reflexionsgrad des jeweiligen CP-Diagrammes.

**3.3 Folgerungen**

Demnach ist eine Mittelanordnung der Leuchten nur dort zu vertreten, wo ein hoher Diffusanteil der Fahrbahnindikatrix gegeben ist. Einige Werte für den Reflexionsgrad zeigt Tabelle I.

Aus dieser Tabelle ersieht man, dass bei trockener Fahrbahn bei Mittelmastanordnung ein Maximalwert von 0,25 und

Tabelle I

	Diffuser Reflexionsgrad in asb/lx für Fahrbahn	
	trocken	nass
Gussasphalt	0,08	0,01
Asphalt-Feinbeton	0,12	0,02
Beton	0,25	0,05
Guss-Asphalt mit Aufheller	0,18	0,01
Asphalt-Feinbeton mit Aufheller	0,22	0,02

bei nasser Fahrbahn einer von 0,05 erzielt werden kann, sofern eine Betondecke vorliegt. Bei anderen, glatteren Strassendecken liegen die Werte erheblich tiefer. Für diese Betrachtungen ist es aber auch wichtig, den Mittelwert zwischen trockener und nasser Fahrbahn für den Zeitraum eines Jahres in Betracht zu ziehen.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn man die Außenmastanordnung – in diesem Beispiel mit 3 Masten von  $h = 20$  m – im CP-Diagramm untersucht. Infolge der Gültigkeit des CP-Diagrammes, dass für alle Werte die Blickrichtungen parallel verlaufen, muss man die Fahrbahnen des Kreisels in Fig. 9 als Ortskurven zum Leuchtenpunkt einzeichnen. Damit kann für jeden Punkt der kreisförmigen Fahrbahn der äquivalente Wert der parallelen Blickrichtung für die tangential zur Kreisbahn verlaufende Blickrichtung abgelesen werden. Da eine Leuchte in diesem Fall massgeblich nur den Bereich von  $120^\circ$  des Kreisels beleuchtet, sieht man aus dem Teil der Ortskurven der Fig. 9, dass die Leuchtdichtefaktoren vor allem in dem Bereich höherer Werte liegen. Das ergibt einen grösseren Mittelwert als dem Diffusanteil von 0,12 entsprechen würde. Wichtig ist jedoch, dass die Lage der Fahrbahnen im CP-Diagramm auch bei nasser Fahrbahn höhere Werte gewährleistet als bei Mittelanordnung, da der Bereich der höheren Werte auch im CP-Diagramm für nasse Fahrbahn in der Nähe der Leuchtenachse liegt. Wenngleich die Charakteristik des CP-Diagrammes etwas schmalere Kurvenscharen aufweist, so wird dies durch den höheren Wert dieser Kurven wieder ausgeglichen.

**4. Die Blendfreiheit**

Bei der Betrachtung der lichttechnischen Merkmale einer Hochmastbeleuchtung sollte auch die Blendfreiheit in die Überlegungen miteinbezogen werden. Zwar wird auf internationaler Basis in den CIE-Empfehlungen zur Gewährleistung einer gewissen Blendfreiheit der Abschirmgrad «cut-off» vorgegeben, doch wird es in nicht allen Fällen, vor allem wenn

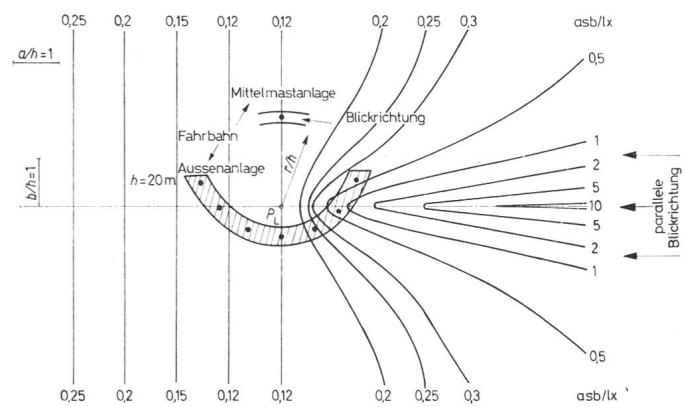


Fig. 9  
Lage der Ortskurven für die kreisförmig gekrümmten Fahrbahnen im CP-Diagramm für eine Mittel- und eine Außenmastanlage entsprechend den Abmessungen der Anlage nach Fig. 8

Scheinwerfer verwendet werden, möglich sein, oberhalb der 80°-Linie eine kleinere Lichtstärke als 30 cd/1000 lm zu gewährleisten. Hier macht sich ein Vorteil der Hochmastbeleuchtung geltend, der darauf basiert, dass die Fahrbahnleuchtdichte bezogen auf gleiche Horizontalbeleuchtungsstärke in den erwähnten speziellen Fällen oft einen höheren Wert zeigt. Bekanntlich beurteilt man die Blendfreiheit einer Anlage nach dem physiologischen Blendungsgrad  $\varphi$ , der sich wie folgt berechnen lässt:

$$\varphi = \frac{L_s}{L_s + L_A}$$

worin

$L_s$  Schleierleuchtdichte und  $L_A$  Adaptationsleuchtdichte.

Die in der Praxis vorkommenden Blendungsgrade  $\varphi$  liegen zwischen 5 und 25 %. In der vorigen Formel wird für  $L_A$  mit hinreichender Genauigkeit die Fahrbahnleuchte eingesetzt. Die Schleierleuchtdichte  $L_s$  lässt sich berechnen aus der bekannten Formel von *Holladay-Stiles*:

$$L_s = 30 \frac{E_V}{\Theta^2} \text{ asb}$$

In dieser Formel wird die vertikale Beleuchtungsstärke am Auge  $E_V$  in lx und der Winkel  $\Theta$  von Augenachse zur Licht-Einfallachse in Grad eingesetzt. Daraus lässt sich nachweisen, dass für zwei Anlagen mit verschiedenen Lichtpunkthöhen bei gleichem Horizontalbeleuchtungsstärkeniveau und gleichem Abstandsverhältnis die Schleierleuchtdichten in beiden Fällen gleich sind. Da jedoch die Fahrbahnleuchtdichte und damit die Adaptationsleuchtdichte bei der Hochmastbeleuchtung bei

Anordnung der Maste in Fahrbahnnähe, bezogen auf gleiche Beleuchtungsstärke, grössere Werte zeigt, wird der Blendungsgrad in diesem Fall um den Leuchtdichtegewinn geringer. Somit ist es demnach möglich, einen um 1,3...1,5-fachen kleineren Blendungsgrad zu gewährleisten. Es soll jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass dieser unter Umständen nur bei trockener Fahrbahn gegeben ist.

## 5. Schlussbetrachtung

Zusammengefasst ergibt sich demnach, dass bei Hochmastbeleuchtung die Mastanordnung, die Form der Lichtverteilung und die Beschaffenheit der Fahrbahn von weitaus grösserem Einfluss auf die Güte der Beleuchtung ist, als bei konventionellen Anlagen. Es sollte jedoch die Wirtschaftlichkeit, vor allem auch in den laufenden Betriebskosten, nicht vernachlässigt werden, wobei diese Betrachtung immer auf die gegebenen Leuchtdichteverhältnisse abgestimmt werden müsste. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, die selbstverständlich auch die Erstellungskosten derartiger Anlagen beinhaltet müsste, würde den Nachweis einbringen, dass im allgemeinen die Hochmastbeleuchtung und sogar der eventuell erzielte Leuchtdichtegewinn mit nicht unerheblichen Mehrkosten für Anlage und Betrieb erkauft werden muss. Die Entscheidung zur Errichtung einer Hochmastbeleuchtung muss daher diese Faktoren einkalkulieren, um neben der Qualität der Beleuchtungsanlage auch deren betriebswirtschaftliche Seite optimal gestalten zu können.

### Adresse des Autors:

J. Roch, Ingenieur der Siemens AG, Postfach 325, D - 8520 Erlangen 2.

## Eine 1,3-m-Hochfeld-Helmholtz-Spule mit forcierter Heliumkühlung

Von H. Brechne, Stanford (USA)

621.318.4 : 537.312.62

Die Arbeit beschreibt Versuche mit verschiedenen harten Supraleitern (Typ II), supraleitenden Kabeln und Hohlleiterkonfigurationen. Querschneideffekt der Supraleiter, Strom-Feld-Charakteristik, und das Verhalten von supraleitenden Kabeln und Leitern im Querfeld, stabiles Verhalten von supraleitenden Magneten wird besprochen. Eine 70-kG-Helmholtz-Spule mit einem Innendurchmesser von 30 cm befindet sich zur Zeit in Stanford im Bau. Die Spule weist eine Feldenergie von  $6 \cdot 10^6$  J auf. Der Übergang vom supraleitenden zum normalen Zustand, und Stör-Effekte und Abhilfmaßnahmen werden diskutiert. Neue Leiterkonfigurationen und Wicklungsanordnungen werden vorgestellt. Ein Blasenkammermagnet der wassergekühlte Hohlleiter aufweist, soll in nächster Zeit in einem supraleitenden Magneten so umgebaut werden, dass das Zentralefeld von 20 kG (jetzige Bauart) auf mindestens 60 kG erhöht werden kann.

L'exposé décrit les essais exécutés à l'aide de divers supraconducteurs durs (type II), de câbles et de guides d'ondes supraconducteurs. L'effet de section transversale des supraconducteurs, la caractéristique du champ électrique, le comportement des câbles et des conducteurs supraconducteurs dans le champ magnétique transversal, ainsi que le comportement stable d'aimants supraconducteurs sont discutés. Une bobine de Helmholtz de 70 kG et d'un diamètre intérieur de 30 cm est actuellement en voie de construction à Stanford. La bobine accuse une énergie de champ de  $6 \cdot 10^6$  J. L'auteur discute en outre le passage de l'état supraconducteur à l'état normal, ainsi que les effets perturbateurs et les moyens d'y remédier. Il présente de nouvelles configurations de conducteurs et de nouvelles dispositions d'enroulement. Un électro-aimant de soufflage, comportant des guides d'ondes refroidis à l'eau, serait prochainement transformé en aimant supraconducteur de telle sorte que le champ central de 20 kG (de la construction actuelle) pourra être élevé à 60 kG au moins.

(Übersetzung)

### Verwendete Buchstabsymbole<sup>1)</sup>

$A_{n, s}$	Leiterquerschnitt
$2a_1$	Spulen-Innendurchmesser
$2a_2$	Spulen-Aussendurchmesser
$2b$	achsiale Spulenlänge
$2b_1$	achsiale Länge des Spulenabschnittes
$c_p$	spezifische Wärme
$d$	Leiter- oder Teilleiterdurchmesser

$f$	Faktor, der Leiterquerschnitt mit Kühlungsfläche verbindet
$2g$	achsialer Spalt zwischen Spulenteilen
$h$	Wärmeübergangszahl
$i$	Strom
$k$	Wärmeleitzahl
$K$	Faktor
$N$	Windungszahl
$S$	Stromdichte
$s$	Kühlfläche per Einheitslänge
$T$	Temperatur

<sup>1)</sup> Ein Teil dieser Buchstabsymbole entspricht nicht den internationalen und nationalen Normen. Um aber die Ableitungen nicht verändern zu müssen, haben wir die normwidrigen Symbole belassen.  
Red.