

AGF

BERICHTE

ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ

Gutachten über die lichttechnische
Verbesserung der optischen Verkehrs-
warngeräte. (Lichttechnische Verbesserung
des blauen Kennlichtes für Feuerwehrfahrzeuge)

3

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER LANDESDIENSTSTELLEN
FÜR FEUERSCHUTZ IN DEN BUNDESLÄNDERN (AGF)

ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ

AGF

Forschungsbericht Nr. 3

Gutachten über die lichttechnische Verbesserung der optischen Verkehrswarngeräte. (Lichttechnische Verbesserung des blauen Kennlichtes für Feuerwehrfahrzeuge).

von

Professor Dr.-Ing. H.-J. Helwig
Technische Universität Berlin

Berlin

Februar 1966

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. LICHTTECHNISCHE UND PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN	2
2.1. Lichttechnische Grundlagen	2
2.2. Physiologische Grundlagen	5
3. LAMPEN FÜR BLAUE RUNDUM-KENNLEUCHTEN	8
3.1. Allgemeine Forderungen	8
3.2. Glühlampen	8
3.3. Xenon-Lampen	9
3.4. Übrige Lichtquellen	10
3.5. Blitzlampen	11
4. OPTISCHE FILTER	12
5. OPTISCHE ANORDNUNGEN	12
5.1. Spiegeloptik	12
5.2. Linsenoptik	12
6. VERGLEICH DER VERSCHIEDENEN KOMBINATIONEN VON LAMPEN UND OPTISCHEN ANORDNUNGEN	13
7. BEMERKUNGEN ZUR LICHTFARBE	15
8. ZUSAMMENFASSUNG	16
9. LITERATURVERZEICHNIS	17
10. TABELLEN	19
11. BILDER	22

1. EINLEITUNG

"Rundum-Kennleuchten für bevorrechtigte Wegebenutzer sind optische Warnsignalleuchten, bei denen ein umlaufendes oder blinkendes Lichtbündel erzeugt wird, das durch ein optisches Filter blau gefärbt ist. Sie haben in Verbindung mit akustischen Verkehrswarngeräten den Zweck, die bevorrechtigten Wegebenutzer zu kennzeichnen und die übrigen Verkehrsteilnehmer zu veranlassen, dem bevorrechtigten Wegebenutzer zum Erfüllen seiner hoheitlichen Aufgaben die Bahn frei zu machen" [1] . Mit derartigem blauen Blinklicht dürfen unter anderem Lösch- und Sonder-Kraftfahrzeuge aller Feuerwehren und Kommando-Kraftfahrzeuge der Berufsfeuerwehr ausgerüstet sein [2] . Zur Zeit werden folgende Forderungen an diese Rundum-Kennleuchten gestellt [1] :

Blinkfrequenz mindestens 2 Hertz, höchstens 6 Hertz,
Dunkelpause mindestens 0,15 Sekunden, höchstens 0,35 Sekunden,
Blinkstärke innerhalb eines Winkels von $\pm 4^\circ$ gegen die
Horizontale rundum mindestens 6 Candela,
zeitlicher Mittelwert der Lichtstärke in keiner Richtung
größer als 400 Candela,
Farbort innerhalb der Farbgrenzen, die nach DIN 6163 Blatt 3
für "Blau A" festgelegt sind [3] .

Die Forderungen an die Blinkstärke der blauen Rundum-Kennleuchte sind um den Faktor 4 kleiner als die für "gelbe Rundum-Kennleuchten für Sonderfahrzeuge im Straßenverkehr" [4] .

Es hat sich herausgestellt, daß das blaue Blinklicht weder bei Tage noch bei Nacht deutlich genug zu erkennen ist, da die Lichtfarbe "Blau" keinen sehr hohen Auffälligkeitswert besitzt und die Blinkstärken wesentlich zu niedrig liegen. Die Forderungen nach einem geringeren Mindestwert der Blinkstärke bei blauem Blinklicht als bei gelbem entsprechen daher nicht den wirklichen Bedürfnissen, sondern sind dem bisherigen Stand der Technik angepaßt. Es war daher zu untersuchen, welche Möglichkeiten zu einer lichttechnischen Verbesserung der blauen Rundum-Kennleuchte bestehen.

2. LICHTTECHNISCHE UND PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN

2.1. Lichttechnische Grundlagen

Zur Erzeugung des blauen Blinklichtes muß von einer von der Lichtmaschine des Kraftfahrzeuges zur Verfügung gestellten elektrischen Leistung ausgegangen werden. Die Auffälligkeit des Blinklichtes wird desto größer, je größer die zur Verfügung gestellte elektrische Leistung ist. Es empfiehlt sich daher von vornherein, die von bevorrechtigten Wegebenutzern verwendeten Kraftfahrzeuge mit größeren Lichtmaschinen auszurüsten.

Durch die in der Rundum-Kennleuchte verwendete Lampe ist die elektrische Leistung in Strahlungsleistung umzuwandeln. Maßgebend dafür ist die "Strahlungsausbeute" im interessierenden Wellenlängenbereich der sichtbaren Strahlung ($\lambda = 380 \dots 780 \text{ nm}$).

"Die Strahlungsausbeute η_e einer Lichtquelle im Wellenlängenbereich von λ_1 bis λ_2 ist das Verhältnis aus dem in diesem Bereich abgegebenen Strahlungsfluß zu der zu seiner Erzeugung benötigten Leistung. Der Wellenlängenbereich ist jeweils mit anzugeben" [5]

$$\eta_e = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \phi_{e\lambda} \cdot d\lambda}{P} \quad (1)$$

$\phi_{e\lambda}$ abgestrahlter spektraler Strahlungsfluß,
P aufgenommene elektrische Leistung.

Für die lichttechnische Wirksamkeit der Strahlung ist nicht die abgestrahlte Leistung, sondern die nach dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges bewertete Strahlung entscheidend. Daher muß verlangt werden, daß die verwendete Lampe eine hohe "Lichtausbeute" hat.

"Die Lichtausbeute η einer Lichtquelle ist der Quotient aus abgestrahltem Lichtstrom Φ und der zu seiner Erzeugung aufgewendeten Leistung P" [5] .

$$\eta = \frac{K_m \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \Phi_{e\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{P} \quad (2)$$

$K_m = 680 \text{ lm/W}$ Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalentes.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (3)$$

Die "Lichtfarbe" der Lampe wird im allgemeinen nicht innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen [3] für "Blau A" liegen. Daher muß in den Strahlengang ein Farbfilter eingebracht werden. Die Wirksamkeit der von der Lampe abgegebenen photometrisch bewerteten Strahlung wird proportional zum "Lichttransmissionsgrad" τ des Filters herabgesetzt.

"Der Lichttransmissionsgrad τ ist das Verhältnis des von einem Körper durchgelassenen Lichtstromes Φ_τ zu dem auffallenden Lichtstrom " [6] .

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi} = \frac{\int_0^\infty \Phi_{e\lambda} \cdot \tau(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^\infty \Phi_{e\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (4)$$

$\Phi_{e\lambda}$ spektraler Strahlungsfluß der auffallenden Strahlung,

$\tau(\lambda)$ spektraler Transmissionsgrad,

$V(\lambda)$ spektraler Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges.

Um die Lichtfarbe zu ändern, muß das Filter die Strahlung in einem bestimmten Wellenlängenbereich schwächen. Optimale Verhältnisse liegen dann vor, wenn der spektrale Transmissionsgrad $\tau(\lambda)$ des Filters innerhalb des sichtbaren Bereiches entweder 0 oder 1 beträgt und höchstens zwei Sprungstellen von 0 auf 1 oder umgekehrt aufweist, und wenn die dadurch bedingte Lichtfarbe des gefilterten Lichtes möglichst nahe am Farbort der Lichtfarbe des ungefilterten Lichtes, jedoch innerhalb der vorgegebenen Grenze für "Blau A" liegt.

Die Lampe strahlt Licht im allgemeinen nicht nur in bestimmte Raumwinkelzonen, sondern in den gesamten Raum ab. In diesem Falle soll die von der Lampe abgegebene Strahlung in eine Raumwinkelzone gelenkt werden, die sich durch Rotation eines ebenen Winkels von $\pm 4^\circ$ gegen die Horizontale um den Leuchtenmittelpunkt herum ergibt. Das von der Lampe in andere Raumwinkelzonen abgestrahlte Licht soll möglichst durch optische Hilfsmittel in diese Raumwinkelzone umgelenkt werden. Dazu stehen Spiegel und Linsen zur Verfügung, deren räumliche Ausdehnung jedoch begrenzt ist (Bild 1). Ein günstiger "Nutzwirkungsgrad" [7] wird erreicht, wenn die Lampe in denjenigen Teilraumwinkel, der nicht von der Optik erfaßt werden kann, möglichst wenig Licht abstrahlt.

"Der Nutzwirkungsgrad η_N ist das Verhältnis aus dem Nutzlichtstrom Φ_N des Scheinwerfers und dem Gesamtlichtstrom Φ_L der Lichtquelle

$$\eta_N = \frac{\Phi_N}{\Phi_L} \quad . \quad (5)$$

Die Lichtstärke der optischen Anordnung hängt von der Leuchtdichte der Lampe und der Größe und Güte der optischen Elemente (Spiegel, Linsen) ab. Eine möglichst hohe Leuchtdichte ist daher zu fordern. Die Lichtstärkeverteilung hängt dagegen im wesentlichen von der räumlichen Ausdehnung der leuchtenden Fläche der Lampe (z.B. Wendelfeld der Glühlampe) und der Brennweite des optischen Elementes ab. Die Ausdehnung der leuchtenden Fläche muß in vertikaler Richtung so groß sein, daß sie vom Mittelpunkt der Optik aus einen Winkel von 8° einnimmt, damit die Forderung an die Blinkstärke innerhalb des Winkelbereiches von $\pm 4^\circ$ gegen die Horizontale eingehalten werden kann.

Der für die Auffälligkeit der Rundum-Kennleuchte maßgebende "Nutzlichtstrom" Φ_N hängt damit von der zur Verfügung gestellten elektrischen Leistung P , der Lichtausbeute η der Lampe, dem Transmissionsgrad τ des Blaufilters und dem Nutzwirkungsgrad η_N der Leuchte ab.

$$\Phi_N = P \cdot \eta \cdot \tau \cdot \eta_N \quad . \quad (6)$$

Es kommt daher darauf an, jede dieser Größen möglichst groß zu machen, damit ein großer Nutzlichtstrom zur Verfügung gestellt werden kann.

2.2. Physiologische Grundlagen

Bei Blinklichtern ist zu berücksichtigen, daß die visuell wirksame Lichtstärke I'_w eines unterbrochenen Lichtes mit dem zeitlichen Lichtstärkeverlauf $I_t = I(t)$ meist kleiner ist als das darin vorhandene Lichtstärke-Maximum $I_{t \max}$, wobei t die Zeit kennzeichnet. Die visuell wirksame Lichtstärke I'_w hängt vom zeitlichen Verlauf der Lichtstärke I_t ab. Sie wird durch die von Blondel und Rey angegebene Gleichung bestimmt.

$$I'_w = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I_t \cdot dt}{a + (t_2 - t_1)} \quad (7)$$

- I_t die zeitabhängige Lichtstärke des Blinklichtes,
- t_1, t_2 Zeitgrenzen in s, in denen die wirksame Lichtstärke I'_w vorhanden ist,
- a eine empirische Zeitkonstante in s für bestimmte Beobachtungsverhältnisse.

a kann bei Nachtbeobachtungen Werte von 0,15 bis 0,25 s annehmen. Zur Bestimmung der wirksamen Lichtstärke I'_w wird $a = 0,2$ s empfohlen. Bei Tagesbeobachtung wird $a < 0,2$ s. Aus Sicherheitsgründen ist auch hier der Wert von 0,2 s zu empfehlen [8].

Die Gleichung (7) sagt aus, daß die Flächen F_1 und F_2 in Bild 2 gleich groß sind. Es ergibt sich die Möglichkeit, die wirksame Lichtstärke I'_w und die Integrationsgrenzen dieser Gleichung graphisch zu ermitteln. Die Gerade g wird dabei parallel zur Abszisse so gelegt, daß F_1 und F_2 gleich groß sind. Die Ordinate dieser Geraden ist dann die gesuchte wirksame Lichtstärke I'_w , und t_1 und t_2 sind die Zeitgrenzen (in s), in denen die wirksame Lichtstärke I'_w vorhanden ist. Die von Blondel und Rey angegebene Gleichung kann auch wie folgt geschrieben werden:

$$\int_{t_1}^{t_2} (I_t - I'_w) dt = a I'_w \quad (8)$$

Daraus geht hervor, daß bei gegebener Konstante a die wirksame Lichtstärke desto größer ist, je kurzzeitiger das Zeitintegral der Lichtstärke $\int I_t dt$, das durch die zur Verfügung gestellte elektrische Leistung bedingt ist, abgestrahlt wird. Bei Blinkdauern unter 10^{-2} Sekunden läßt sich jedoch keine wesentliche Vergrößerung der visuellen Wirksamkeit erreichen.

Bei Rundum-Kennleuchten wird das umlaufende oder blinkende Licht nicht nach der Formel (7), sondern nach seiner Blinkstärke Bl bewertet [1] .

$$Bl = K \cdot \bar{I} \quad (9)$$

$\bar{I}$ ist der zeitliche Mittelwert der Lichtstärke -während der gesamten Periode- in der Beobachtungsrichtung und wird in Candela (cd) gemessen. K ist ein Beiwert, der von der Hellzeit t_H (in Sekunden) abhängt. Als Hellzeit gilt die Zeitspanne, in der die Lichtstärke größer als der zehnte Teil des Höchstwertes ist.

$$K = \frac{0,15}{0,15 + t_H} \quad (10)$$

Bei sehr kurzen Hellzeiten ($t_H < 10^{-2}$ Sekunden) ist K kleiner als diese Formel angibt.

Für eine Blinkfrequenz von 4 Hz entspricht die Blinkstärke Bl nach Gleichung (9) etwa der wirksamen Lichtstärke I'_w nach Gleichung (7). Bei einer Blinkfrequenz von 6 Hz ist die Blinkstärke Bl um etwa 50 % größer, bei einer Blinkfrequenz von 2 Hz um etwa 50 % kleiner als die wirksame Lichtstärke I'_w .

Ist die wirksame Lichtstärke der Blinkleuchte zu groß, so werden die übrigen Wegebenutzer geblendet. Psychologische Blendung ist in diesem Falle durchaus erwünscht, damit das Blinklicht einen höheren Auffälligkeitswert erreicht. Für die physiologische

Blendung zeigen zahlreiche Untersuchungen, daß der Einfluß einer Blendquelle auf den Schwellenwert zur Wahrnehmung eines Sehobjektes durch eine gleichförmige Umfeldleuchtdichte $L_{säq}$ darstellbar ist, die dieselbe Schwellenerhöhung bewirkt [9]. Der Zusammenhang zwischen dieser "Schleierleuchtdichte" $L_{säq}$ und den sie bestimmenden Größen läßt sich durch die Formel angeben:

$$L_{säq} = K \cdot E_{bl} \cdot \Theta^{-n} \quad (11)$$

E_{bl} Beleuchtungsstärke durch die Blendlichtquelle am Auge,

$$K \approx 9,2 \frac{\text{cd/m}^2}{\text{lx}},$$

Θ Winkel zwischen Sehobjekt und Blendquellenmitte in Grad,

$$n = 2.$$

Als Blendungsmaß verwendet man im allgemeinen nicht die Schleierleuchtdichte, sondern den Blendfaktor φ .

$$\varphi = \frac{L_{säq}}{L_u + L_{säq}} \quad (12)$$

L_u Umfeldleuchtdichte, bestimmt durch die Leuchtdichte des fovealen Gesichtsfeldes.

Für verschiedene Erhöhungen des Schwellenwertes des Sehdinges ergeben sich die in Bild 3 gezeigten Zusammenhänge zwischen dem Blendfaktor φ und der Umfeldleuchtdichte L_u .

Die die Schleierleuchtdichte und damit den Blendfaktor bestimmende Beleuchtungsstärke E_{bl} wird durch die Lichtstärke der Rundum-Kennleuchte und den Abstand r des Beobachters von der Leuchte bestimmt. Wird für die maximale Lichtstärke ein Wert von 400 Candela zu Grunde gelegt [1], so ergeben sich für die verschiedenen Abstände des Beobachters von der Leuchte Blendungsfaktoren, die in Bild 3 mit eingetragen sind. (Die Werte gelten

für eine zeitlich konstante Lichtstärke). Daraus ist abzulesen, in welchen Abständen bestimmte Schwellenwerterhöhungen infolge physiologischer Blendung durch das Blinklicht verursacht werden.

3. LAMPEN FÜR BLAUE RUNDUM-KENNLICHTEN

3.1. Allgemeine Forderungen

An Lampen, die in blauen Rundum-Kennleuchten verwendet werden sollen, sind eine Reihe grundlegender Forderungen zu stellen:

- a) Sie müssen jederzeit einschaltbereit sein, dürfen also keine lange Anlaufzeit haben.
- b) Die Lichtausbeute soll hoch sein, da nur eine begrenzte elektrische Leistung zur Verfügung steht.
- c) Die Strahlung soll möglichst im kurzwelligen Teil des sichtbaren Gebietes abgegeben werden, damit die benötigte blaue Lichtfarbe durch ein Filter mit großem Transmissionsgrad eingestellt werden kann.
- d) Ihre Leuchtdichte soll groß sein.
- e) Die strahlende Fläche soll groß genug sein, damit die Raumwinkelzone, die durch Rotation eines ebenen Winkels von $\pm 4^\circ$ um die Horizontale gebildet wird, ausgeleuchtet werden kann.
- f) Die Lichtstärkeverteilung der Lampe sollte möglichst rotations-symmetrisch sein, damit die Lampe bei rotierender Optik nicht gedreht werden muß, sondern fest stehen bleiben kann.
- g) Die Lebensdauer darf nicht zu klein sein.

3.2. Glühlampen

Zur Zeit werden im allgemeinen Glühlampen als Lichtquellen in blauen Rundum-Kennleuchten verwendet [10]. Bei einer Lebensdauer von 100 Stunden läßt sich sowohl bei "Kraftfahrzeug-Glühlampen für Scheinwerfer" (U 12 V, 45 W DIN 72 601, z.B. Osram,

Bestell-Nr. 7569, Bild 5a) als auch mit "Halogen-Scheinwerferlampen" (12 V 55 W, z.B. Osram, Bestell-Nr. 64 150, Bild 5b) eine Verteilungstemperatur [11] von 3000°K erreichen. Für diese Temperatur ist die Strahlungsfunktion in Bild 4 angegeben. Der größte Teil der Strahlung wird in einem Wellenlängenbereich abgestrahlt, der für die benötigte blaue Lichtfarbe uninteressant ist. Bei dieser Temperatur beträgt die Leuchtdichte des Wolframs [12] etwa 1300 cd/cm^2 . Höhere Leuchtdichten lassen sich nur bei höheren Verteilungstemperaturen erreichen. Das kann bei Wolfram-Glühlampen jedoch nur auf Kosten der Lebensdauer geschehen. Mit etwa 3000°K ist bereits ein optimaler Kompromiß zwischen Leuchtdichte und Lebensdauer erreicht. Die in der Norm [10] vorgeschriebenen Glühlampen [13] unterscheiden sich von der ebenfalls für die Rundum-Kennleuchte geeigneten Halogen-Scheinwerferlampe durch die Form und Stellung der Wendel. Die Halogen-Scheinwerferlampe ist mit der senkrecht in konzentrierter Form angeordneten Wolfram-Wendel wegen ihrer günstigeren Lichtstärkeverteilung besser geeignet als die Scheinwerferlampe. Hinzu kommt, daß bei Halogen-Glühlampen fast keine Abnahme des Lichtstromes während der Lebensdauer vorhanden ist. Diese Lampen sind jedoch nur mit einer kleinsten Nennleistung von 55 W im Handel.

Die lichttechnischen Daten der Glühlampe U 12 V 45 W DIN 72 601 und der Halogen-Scheinwerferlampe 12 V 55 W sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Zahlenangaben für die Glühlampe beziehen sich nicht auf die in DIN 72 601 Blatt 3 angegebenen Mindestwerte, sondern entsprechen etwa den heute üblichen Nennwerten

Für die Halogen-Scheinwerferlampe ist der Lichtstrom bei Prüfspannung außerdem so umgerechnet, daß bei konstanter Lichtausbeute die gleiche Leistung wie bei der Glühlampe aufgenommen wird. Wegen der höheren Lichtausbeute liefert die Halogen-Scheinwerferlampe bei gleicher Leistungsaufnahme mehr Lichtstrom als die Glühlampe.

3.3. Xenon-Lampen

Xenon-Lampen sind Gasentladungslampen, die wegen ihrer fallenden

Kennlinie nur in Reihe mit einem Widerstand (z.B. Induktivität) betrieben werden können.

Xenon-Lampen haben eine Strahlungsfunktion, die für das blaue Blinklicht besser geeignet ist als die der Wolfram-Glühlampe [14] (Bild 6).

Die in der Entwicklung befindlichen Lampen der Firma Osram XBO 75 W (Leistungsaufnahme 75 W und Lichtausbeute etwa 10 lm/W, Bild 5c) und XBO 40 W (Leistungsaufnahme 40 W und Lichtausbeute etwa 9 lm/W) haben Lampenspannungen von etwa 13 V und sind mit Gleichspannung zu betreiben. Da die Xenonlampen wie alle Gasentladungslampen nur hinter einem Vorschaltgerät betrieben werden können, muß die Spannung der Kraftfahrzeug-Batterie in eine höhere Gleichspannung umgeformt werden. Der Wirkungsgrad eines solchen Transistor-Gleichspannungswandlers beträgt etwa 60 %. Bild 7 zeigt das Prinzip-Schaltbild eines Stromversorgungsteiles mit Zündgerät zum Betrieb einer Xenon-Lampe XBO 75 W an einer Autobatterie [15]. Die Tasten T_1 und T_2 dienen als Anschwinghilfe für die Transistor-schaltung bzw. zur Zündung der Lampe. Ein geeigneter mechanischer Schalter kann die Aufgabe der beiden Tasten gleichzeitig mit dem Einschalten der Lichtanlage übernehmen. Die Lichtausbeute ist sehr stark von der Lampenleistung abhängig (siehe Tabelle 1).

Für die hier in Frage kommende Lampe XBO 75 W ist die Lichtausbeute wesentlich geringer als bei Glühlampen. Rechnet man den Lichtstrom der XBO 75 W bei konstanter Lichtausbeute auf die Leistung der Glühlampe bei Prüfspannung ($P = 52$ W) um, so ist der dann von der Xenon-Lampe abgegebene Lichtstrom wesentlich kleiner als der von der Glühlampe abgestrahlte. Der Vorteil, den die Xenon-Lampen wegen einer günstigeren Strahlungsfunktion vor Glühlampen haben, wird durch die geringe Lichtausbeute daher wieder aufgehoben.

3.4. Übrige Lichtquellen

Von den übrigen Lichtquellen würden sich wegen ihrer günstigen Strahlungsfunktion besonders Quecksilberdampf-Hochdrucklampen eignen (Lichtausbeute einer 50-W-Lampe mit Drossel etwa 29 lm/W).

Diese Lampen haben eine Anlaufzeit von etwa 3 Minuten, so daß sie nicht sofort einsatzbereit sind. Aus diesem Grunde sind sie für den vorliegenden Verwendungszweck ungeeignet. Auch alle übrigen bekannten Lichtquellen sind wegen ihrer niedrigen Leuchtdichte, wegen ihrer ungünstigen Strahlungsfunktionen oder wegen anderer lichttechnischer Eigenschaften für die Rundum-Kennleuchten nicht geeignet.

3.5. Blitzlampen

Die Verwendung von Blitzlampen in Rundum-Kennleuchten würde den Vorteil mit sich bringen, daß keine beweglichen Teile mehr verwendet werden müssen. Als Lampen kommen nur Xenon-Blitzlampen in Frage. Diese haben die gleiche Strahlungsfunktion wie andere Xenon-Hochdrucklampen. Ihre Lichtausbeute beträgt 30 bis 50 lm/W [16]. Die Stromversorgungsanlage einer Blitzlampe entspricht etwa der einer Xenon-Lampe. Von den im Handel befindlichen Blitzlampen ist die kreisringförmige Lampe der Firma Osram, Typ BL 8450 (Bild 5e) am besten geeignet. Daneben wurde auch der Typ BL 8555 (Bild 5d) geprüft.

Beide Lampen wurden an einem üblichen Netzgerät so betrieben, daß sie bei einer Blitzfolgefrequenz von 5,4 Hz eine Gesamtleistung (einschließlich Netzgerät) von 125 W aufnahmen. Rechnet man den damit erzielten Lichtstärkeverlauf auf eine Gesamtleistung von 52 W (wie Glühlampe bei Prüfspannung) und eine Frequenz von 4 Hz um, so ergibt sich der in Bild 8 gezeigte zeitliche Verlauf. Bei der Messung wurde die ringförmige Blitzlampe in der Brennpunktlinie eines verspiegelten Paraboloides (Eigenbau) angeordnet (Bild 9). Dadurch wurde die Lichtstärke etwa verdoppelt.

Wenn auch die maximale Lichtstärke der Blitzlampen größer ist als die der anderen Lampen, so ist der zeitliche Verlauf doch so, daß die Blinkstärke Bl wesentlich kleiner ist als die der übrigen Geräte (Tabelle 2). Mit Blitzlampen dürfte sich daher keine wesentliche Verbesserung der blauen Rundum-Kennleuchte erreichen lassen.

4. OPTISCHE FILTER

Für blaue Rundum-Kennleuchten werden meist Kunststoff-Filter verwendet. Die in den uns zur Verfügung gestellten Rundum-Kennleuchten verwendeten Filter haben einen spektralen Transmissionsgrad, der in Bild 10 gezeigt wird. Daraus ergibt sich für die Temperaturstrahlung mit einer Verteilungstemperatur von 3000 °K ein Transmissionsgrad $T \approx 10 \%$ und eine Farbart, die innerhalb des zulässigen Bereiches relativ dicht am Farbort der Lichtquelle liegt (Bild 11). Eine wesentliche Verbesserung durch Vergrößern des Transmissionsgrades ist nicht zu erwarten.

Für Xenon-Lampen hat sich ein Filter Nr. 602 der Firma Röhm u. Haas als geeignet herausgestellt. Der spektrale Transmissionsgrad dieses Filters ist in Bild 10 mit angegeben. Für die Strahlungsfunktion der Xenon-Lampe ergibt sich damit ein Transmissionsgrad von $T \approx 18 \%$ und eine Farbart, die praktisch der des blauefilterten Glühlampenlichtes entspricht. Auch hier ist eine wesentliche Vergrößerung des Transmissionsgrades durch Auswahl eines anderen Filters nicht zu erwarten.

5. OPTISCHE ANORDNUNGEN

5.1. Spiegeloptik

Bei der Rundum-Kennleuchte mit Spiegeloptik befindet sich die Lampe im Brennpunkt eines Hohlspiegels. Ein solches Gerät wurde uns von der Firma Eisemann (Type RKLE 90/12 B6) zur Verfügung gestellt (Bild 12). Die maximale Lichtstärke wird im wesentlichen durch die Größe des Spiegels bestimmt. Einfluß darauf haben auch die Oberflächengüte und der Reflexionsgrad des Spiegels.

Durch den Spiegel kann nur ein geringer Teil des von der Lampe abgegebenen Lichtstromes erfaßt werden. Günstiger wäre daher eine Anordnung mit 3 Spiegeln entsprechend der bei der Linsenoptik gewählten Anordnung (Bild 1b).

5.2. Linsenoptik

Bei der Rundum-Kennleuchte mit Linsenoptik befindet sich die

Lampe im Brennpunkt einer Linse. Ein Arbeitsgerät wurde uns von der Firma Pintsch-Bamag (Type RSN 12 B) zur Verfügung gestellt. (Bild 13). Die maximale Lichtstärke dieser Anordnung ist von dem Durchmesser der Linse abhängig. Durch die Verwendung mehrerer Linsen kann ein größerer Teil des von der Leuchte abgestrahlten Lichtstromes erfaßt werden. Bei dem vorhandenen Gerät ließe sich die maximale Lichtstärke noch vergrößern, wenn die Linsen direkt aneinander stoßen. Bei der Leuchte mit drei Linsen muß die Drehgeschwindigkeit ein Drittel derjenigen der Leuchte mit einer Linse oder mit einem Spiegel betragen.

6. VERGLEICH DER VERSCHIEDENEN KOMBINATIONEN VON LAMPEN UND OPTISCHEN ANORDNUNGEN

Zu einer vergleichenden Untersuchung der verschiedenen Lichtquellen und optischen Anordnungen standen zur Verfügung:

an Lampen: Glühlampe U 12 V 45 W DIN 72 601 (Osram Bestell-Nr.7569)
Halogen-Scheinwerferlampe 55 W (Osram Bestell-Nr.64150)
Xenon-Lampe 75 W (Osram XBO 75 W)
Blitzröhre (Osram BL 8450)
Blitzröhre (Osram BL 8555)

an Geräten: Rundum-Kennleuchte der Firma Eisemann
Typ RKLE 90/12 B6
Rundum-Kennleuchte der Firma Pintsch-Bamag
Typ RSN 12 B
Verspiegeltes Paraboloid (Eigenanfertigung) für
kreisförmige Blitzröhre Osram BL 8450.

Den Vorschriften von DIN 14 620 Blatt 1 folgend, sind die mit der Glühlampe und der Halogen-Scheinwerferlampe ermittelten Werte auf einen Lampenlichtstrom von 700 lm umgerechnet. Die mit der Xenon-Lampe XBO 75 W erreichten Meßwerte sind auf eine Gesamtleistung von 52 W umgerechnet, wobei die Lichtausbeute mit 10 lm/W als konstant angesehen und der Wirkungsgrad des Stromversorgungsteiles mit 60 % angenommen wurde. Das entspricht einer Lampenleistung von 31,2 W.

In den Bildern 14 bis 19 sind die danach mit den verschiedenen Lichtquellen an den beiden Geräten ohne Blaufilter ermittelten

Lichtstärkeverteilungen wiedergegeben.

Bei den Bildern 14, 15, 17 und 18 ist der Bezugslichtstrom von 700 lm wesentlich kleiner als der bei der Prüfspannung vorhandene Lichtstrom. Geht man von den Werten der Tabelle 1 bei Prüfspannung aus, so sind die Lichtstärken für Geräte mit der Glühlampe U 12 V 45 W DIN 72 601 um den Faktor 1,57 größer. Geht man für die Halogen-Scheinwerferlampe von einer Lampenleistung von 52 W aus (letzte Zeile der Tabelle 1) und nimmt man eine unveränderte Lichtausbeute von 25 lm/W an, so sind bei einem Lampenlichtstrom von 1300 lm die in den Bildern 15 und 18 gezeigten Lichtstärken mit dem Faktor 1,86 zu multiplizieren.

Nimmt man danach für eine Gesamtleistung von 52 W Lampenlichtströme an, wie sie für die Glühlampe, die Halogen-Scheinwerferlampe und die Xenon-Lampe in der letzten Spalte von Tabelle 1 angegeben sind, so ergeben sich Zahlenwerte, die in Tabelle 2 zusammengestellt sind. Mit eingetragen sind die Werte, die sich nach Abschnitt 3.5. für Blitzröhren ergeben. Bei den Zahlenwerten für die mittlere Lichtstärke $\bar{I}$ und die Blinkstärke B_l ist der Transmissionsgrad der Blaufilter berücksichtigt.

Bei der Berechnung der Blinkstärken B_l ist t_H meist kleiner als 10^{-2} Sekunden. Bei sehr kurzen Hellzeiten t_H ($t_H < 10^{-2}$ Sekunden) ist K kleiner als die Formel (10) angibt [1]. Daher ist hier statt mit dem Rechenwert nach Formel (10) der feste Wert $K = 0,94$ eingesetzt.

Aus der Tabelle 2 ist zu ersehen, daß die Blinkstärken der Geräte mit einer Halogen-Scheinwerferlampe größer sind als mit der Glühlampe U 12 V 45 W DIN 72 601. Das ist auf die größere Lichtausbeute der Halogen-Lampe und auch auf die günstigere Leuchtkörperform zurückzuführen. Auch die Gleichmäßigkeit der Blinkstärke in den verschiedenen Abstrahlungsrichtungen in der Horizontal-Ebene ist bei der Halogen-Lampe besser, solange sie in stehender Brennlage betrieben wird.

Die Blinkstärke der Geräte mit der Xenon-Lampe liegt wenigstens bei der Pintsch-Bamag-Leuchte in derselben Größenordnung wie die

mit der Glühlampe oder der Halogen-Lampe. Dabei ist zu beachten, daß die Lichtausbeute der 75-W-Lampe als konstant behandelt wurde, obwohl sie bei kleiner werdender Lampenleistung sinkt. Zu beachten sind dabei die wesentlich größeren Kosten eines mit einer Xenon-Lampe bestückten Gerätes, ohne daß eine wesentliche Erhöhung der Blinkstärke erreicht wurde.

Die Blinkstärke der Blitzröhren ist noch kleiner als die der Geräte mit Xenon-Lampe. Das dürfte darauf zurückzuführen sein, daß hier das Licht weniger gebündelt abgestrahlt wird.

Eine Rundum-Kennleuchte hat eine desto höhere Blinkstärke, je größer der von den Linsen oder dem Spiegel erfaßte Raumwinkel ist. Eine Linsenoptik mit drei Linsen kann daher günstiger als eine Spiegeloptik sein.

7. BEMERKUNGEN ZUR LICHTFARBE

Untersuchungen von Scheibner und Schneider [17] über die Auffälligkeit farbiger Lichter zeigen, daß bei gleicher Umfeldleuchtdichte die Lichtfarbe "Rot" sehr viel auffälliger als die Lichtfarbe "Blau" ist. Der Auffälligkeitswert von "Rot" steigt ebenso wie der von "Blau" bei größer werdender Umfeldleuchtdichte L_u noch an (Bild 20). Außerdem dürfte der Transmissionsgrad von Filtern, die die Lichtfarbe des Glühlampenlichtes in die Signalfarbe "Rot A" umwandeln, größer sein als der der hier verwendeten blauen Filter, so daß für die Lichtfarbe "Rot A" höhere Blinkstärken bei größerer Auffälligkeit zu erwarten sind als für die Lichtfarbe "Blau A". Es wäre daher zu überlegen, ob nicht an Stelle der blauen Rundum-Kennleuchte besser eine rote Rundum-Kennleuchte für bevorzugte Wegebenutzer verwendet werden sollte. Auch die Lichtfarbe "Gelb" würde trotz der geringeren Auffälligkeit dieser Lichtfarbe gegenüber "Blau" wegen des weit günstigeren Transmissionsgrades der Filter eine höhere Blinkstärke erwarten lassen.

8. ZUSAMMENFASSUNG

In blauen Rundum-Kennleuchten für bevorzugte Wegebenutzer werden heute im allgemeinen Glühlampen U 6 V oder 12 V, 45 W, DIN 72 601 verwendet. Die Blinkstärke der Leuchten kann gesteigert werden, wenn statt der Glühlampen Halogen-Scheinwerferlampen verwendet werden, da diese Lampen bei gleicher Lebensdauer eine höhere Lichtausbeute haben.

Die Verwendung von Xenon-Lampen kleiner Leistung bringt keine lichttechnische Verbesserung, da die Lichtausbeute dieser Lampen zu klein ist.

Auch die Verwendung von Blitzröhren bringt keine Erhöhung der Blinkstärken.

Bei Xenon-Lampe und Blitzröhre kommt hinzu, daß die Kosten eines solchen Gerätes gegenüber den der bisher üblichen Geräte wegen des benötigten Netzgerätes steigen würden.

Eine entscheidende Verbesserung der Blinkstärke kann für die blaue Lichtfarbe nur erreicht werden, wenn die zur Verfügung gestellte elektrische Leistung wesentlich erhöht wird. Aber selbst dann scheint die Xenon-Lampe trotz der bei höherer Leistung größeren Lichtausbeute der Halogen-Glühlampe nicht überlegen sein.

9. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] DIN 14 620 Blatt 1.
Rundum-Kennleuchten für bevorrechtigte Wegebenutzer.
Richtlinien für Bau und Prüfung.
- [2] Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO § 52 Abs.3).
- [3] DIN 6163 Blatt 3.
Farben und Farbgrenzen für Signallichter. Signal-
lichter an Straßenfahrzeugen und Straßenbahnen.
- [4] DIN 14 620 Blatt 3.
Rundum-Kennleuchten für Sonderfahrzeuge im Straßenverkehr.
Richtlinien für Bau und Prüfung.
- [5] DIN 5031 Blatt 4, Entwurf Juli 1965.
Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik.
Größen, Bezeichnungen und Einheiten. Wirkungsgrade.
- [6] DIN 5036 Blatt 2.
Bewertung und Messung der lichttechnischen Eigen-
schaften von Werkstoffen. Lichttechnische Stoffkenn-
zahlen. Begriffe.
- [7] DIN 5037 Blatt 1.
Lichttechnische Bewertung von Scheinwerfern.
Begriffe und lichttechnische Bewertungsgrößen.
- [8] DIN 5037 Blatt 2.
Lichttechnische Bewertung von Scheinwerfern.
Signalscheinwerfer. Signalleuchten.
- [9] Adrian, W.:
Zur Blendungsbewertung bei der Beleuchtung von Straßen.
Lichttechnik, 16 (1964), S. 541-546.
- [10] DIN 14 620 Blatt 2.
Rundum-Kennleuchten. Haupt- und Anschlußmaße.

- [11] DIN 5031 Blatt 5 (z.Zt. noch Entwurf).
Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik.
Größen, Bezeichnungen und Einheiten. Temperaturbegriffe.
- [12] Helwig, H.-J. und Krochmann, J.:
Über einige strahlungsphysikalische und lichttechnische
Größen des Planckschen Strahlers und des Wolframs.
Lichttechnik, 17 (1965), S. 13A-17A.
- [13] DIN 72 601 Blatt 3.
Kraftfahrzeug-Glühlampen mit einem Leuchtkörper
für Scheinwerfer.
- [14] Frühling, H.-G., Münch, W. und Richter, M.:
Die Eignung der Xenon-Lampe als Standard-Lichtquelle
für Strahlungs- und Farbmessungen.
Farbe, 5 (1956), 1/2, S. 41-68.
- [15] Wolf, K.:
Lichttechnische Verbesserung der blauen Rundum-Kenn-
leuchte der Feuerwehr.
Berlin, Techn. Universität, Institut für Lichttechnik,
Diplomarbeit 1965.
- [16] Eckhardt, K.:
Über die elektrischen und optischen Eigenschaften
von Xenon-Funkenentladungen zur Lichterzeugung.
Berlin, Techn. Universität, Dr.-Ing. Dissertation 1963.
- [17] Scheibner, H. und Schneider, H.:
Zur Auffälligkeit farbiger Lichter.
Lichttechnik, 14 (1962), S. 558-561.

Tabelle 1. Lampendaten

Größe	Einheit	Glühlampe 12 V 45 W (z.B. Osram, Bestell-Nr. 7569)	Halogen-Scheinwerferlampe 12 V 55 W (z.B. Osram, Bestell-Nr. 64 150)	Xenon-Lampe Osram XBO 75 W
Nennspannung	V	12	12	-
Nennleistung	W	-	-	75
Lichtstrom bei Nennspannung	lm	-	-	≈ 750
Lichtausbeute bei Nennspannung	lm/W	-	-	≈ 10
Prüfspannung	V	13,2	13,2	-
Leistung bei Prüfspannung	W	52,0	63,5	-
Lichtstrom bei Prüfspannung	lm	1100	1590	-
Lichtausbeute bei Prüfspannung	lm/W	21,2	25,0	-
Lichtstrom bei 13,2 V bei einer Gesamtleistung von 52 W	lm	1100	≈ 1300	≈ 312

Tabelle 2. Ergebnisse für eine Blinkfrequenz von 4 Hz mit Blaufilter

Größe	Einheit	Glühlampe 12 V, 45W (z.B. Osram Best.-Nr. 7569)	Halogen-Schein- werferlampe 12 V, 55 W (z.B. Osram Bestr.-Nr. 64 150)	Xenon-Lampe Osram XBO 75 W	Blitzröhren Osram Bl.8555	Bl.8450
Lampen	V	13,2	13,2	-	-	-
	W	52	52	52	52	52
	lm/W	21,2	25	10	-	-
	lm	1100	1300	312	-	-
Blaufilter	%	10	10	18	18	18
Blitzröhren (Bl.8555 mit Reflektor	Hellzeit t_H K gerechnet mit K I Bl	- - - - -	- - - - -	- - - - -	0,47 0,99 0,94 23 22	0,63 0,99 0,94 14 13

Tabelle 2. Ergebnisse für eine Blinkfrequenz von 4 Hz mit Blaufilter (Fortsetzung)

	Größe	Einheit	Glühlampe 12 V, 45 W (z.B. Osram Best.-Nr. 7569)	Halogen-Scheinwerfer- lampe 12 V, 55 W (z.B. Osram Best.-Nr. 64 150)	Xenon-Lampe Osram XBO 75 W
Eisemann- Leuchte RKLE 90/12 B6	senk- recht zur Wendel- ebene	t_H K gerechnet mit K I Bl	6,6 0,96 0,94 33 31	4,2 0,97 0,94 39 37	2,3 0,98 0,94 26 25
	in Rich- tung der Wendel- ebene	t_H K K I Bl	5,9 0,96 0,94 30 28	- - - - -	- - - - -
	Mittel	Bl	30	37	25
	senk- recht zur Wendel- ebene	t_H K K I Bl	16,7 0,90 0,90 49 44	11,45 0,93 0,93 45 42	6,3 0,96 0,94 43 41
	in Rich- tung der Wendel- ebene	t_H K K I Bl	18,9 0,89 0,89 33 29	- - - - -	- - - - -
Pintsch- Bamag Leuchte RSN 12B	Mittel	Bl	37	42	41

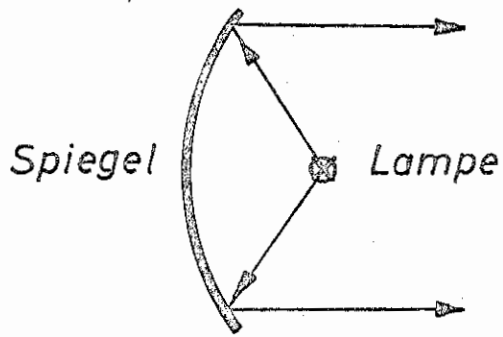


Bild 1a. Lampe mit Spiegel

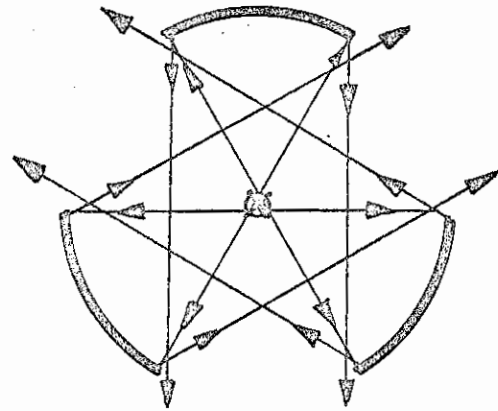


Bild 1b. Lampe mit 3 Spiegeln

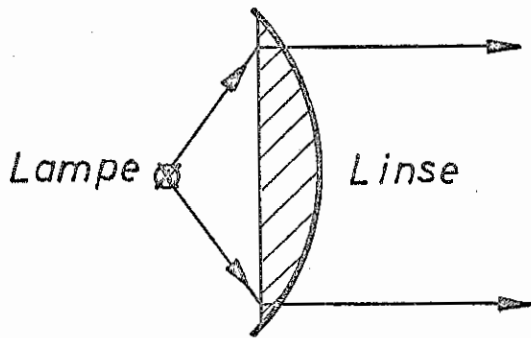


Bild 1c. Lampe mit Linse

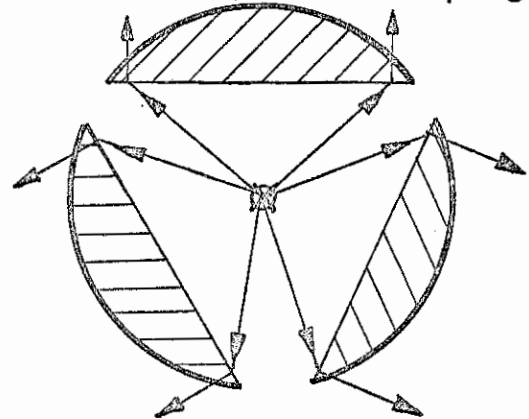


Bild 1d. Lampe mit 3 Linsen

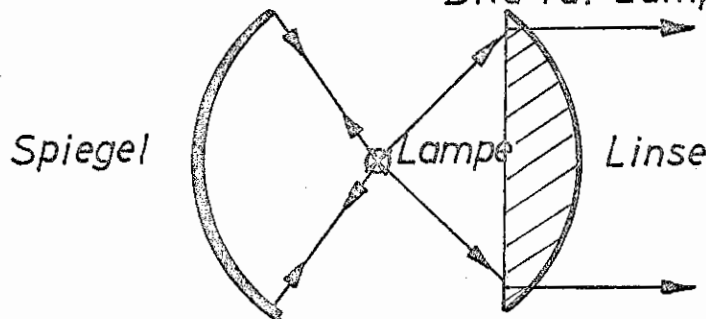


Bild 1e. Lampe mit Spiegel und Linse

Bild 1. Optische Anordnungen

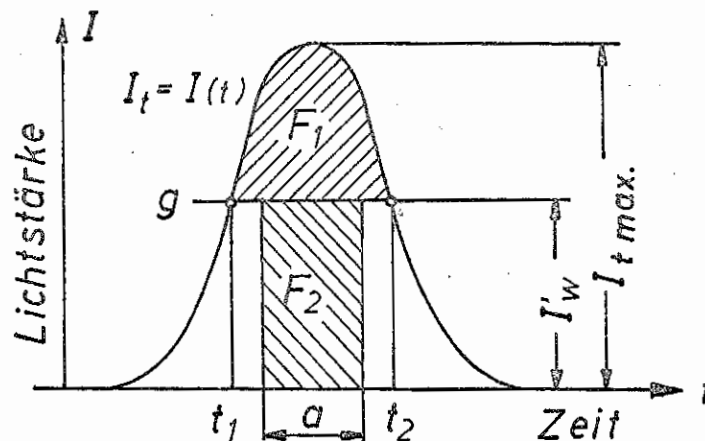
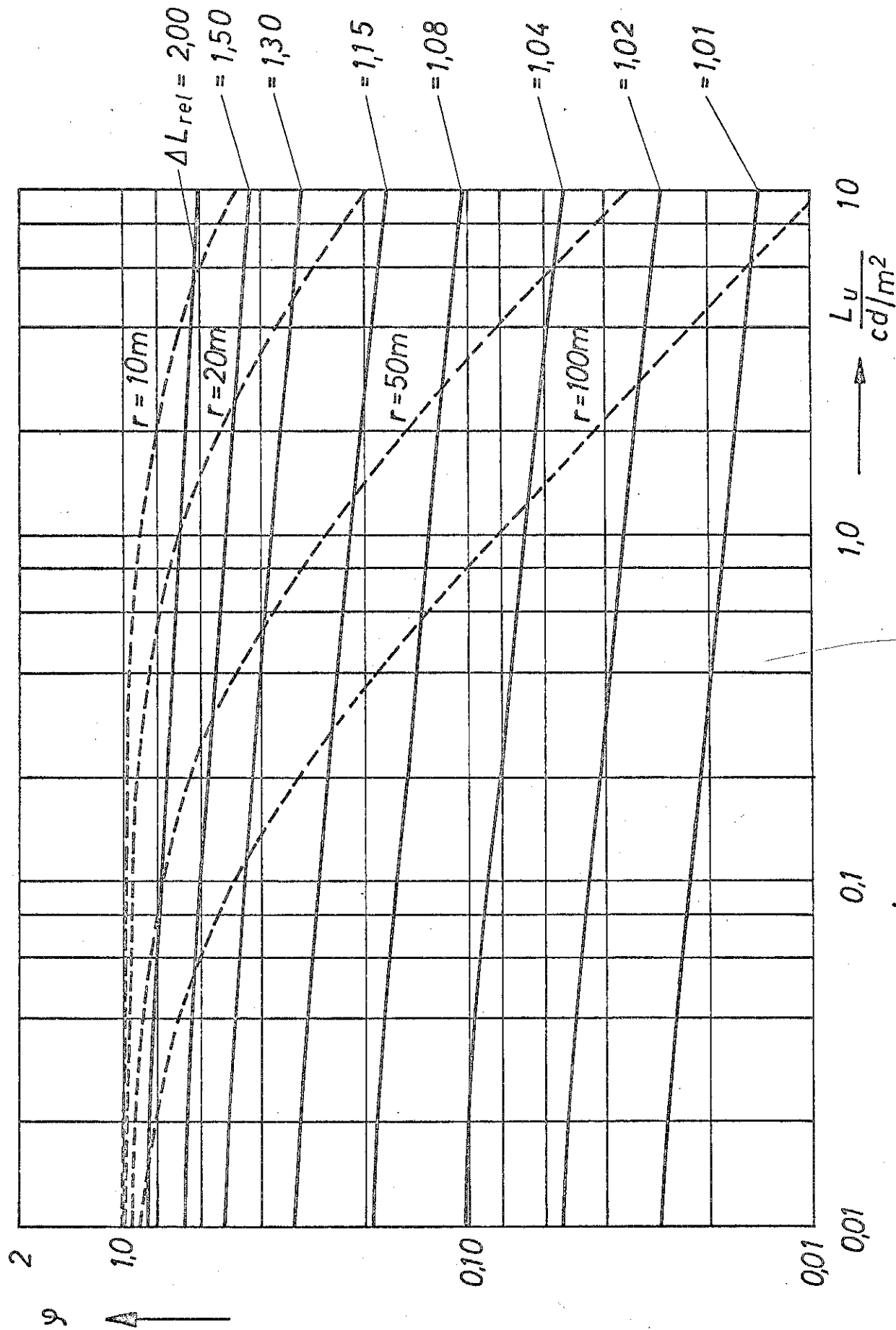


Bild 2. Bewertung von Blinklicht



a) bei verschiedenen starker relativer Schwellenerhöhung ΔL_{rel}
 b) bei verschiedenen Entfernungen r , d.h. $r = \text{Parameter}$
 $I = 400 \text{ cd}$
 $\theta = 2^\circ$

Bild 3. Blendfaktor $\psi = \frac{L_{s\ddot{a}q}}{L_u + L_{s\ddot{a}q}}$

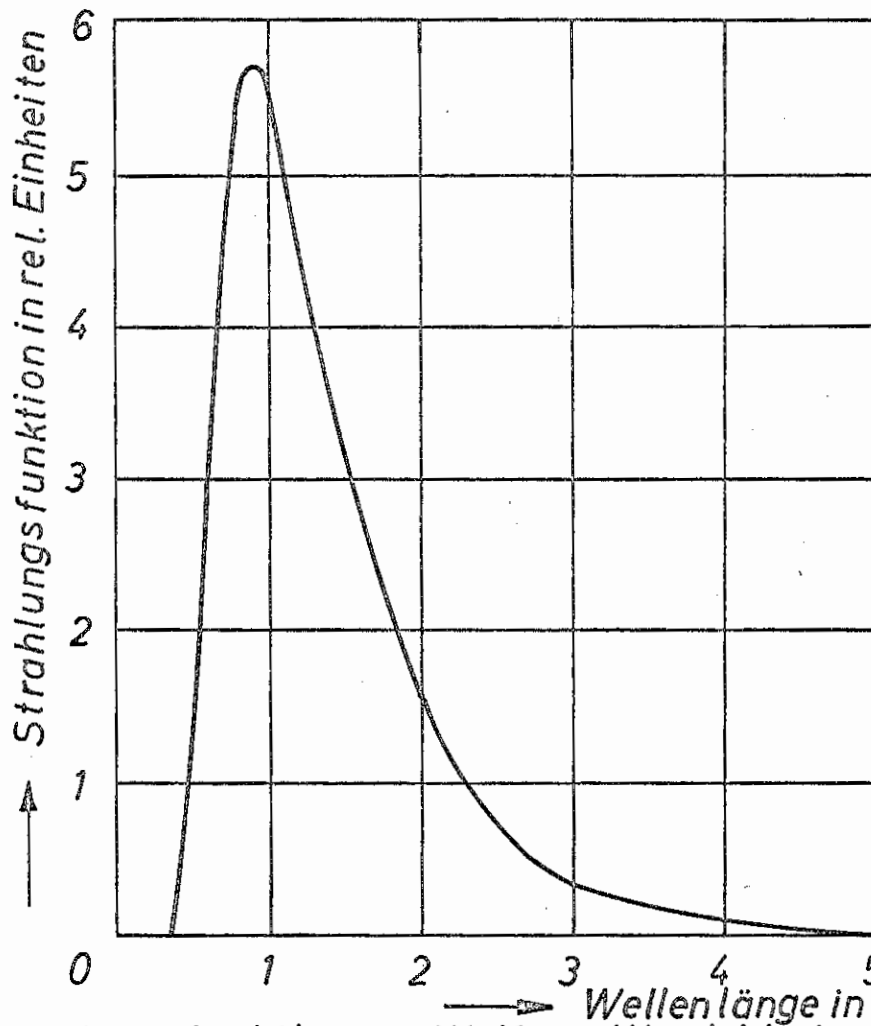


Bild 4. Strahlungsfunktion von Wolfram-Wendeldraht-Lampen für die Temperatur 3000 °K

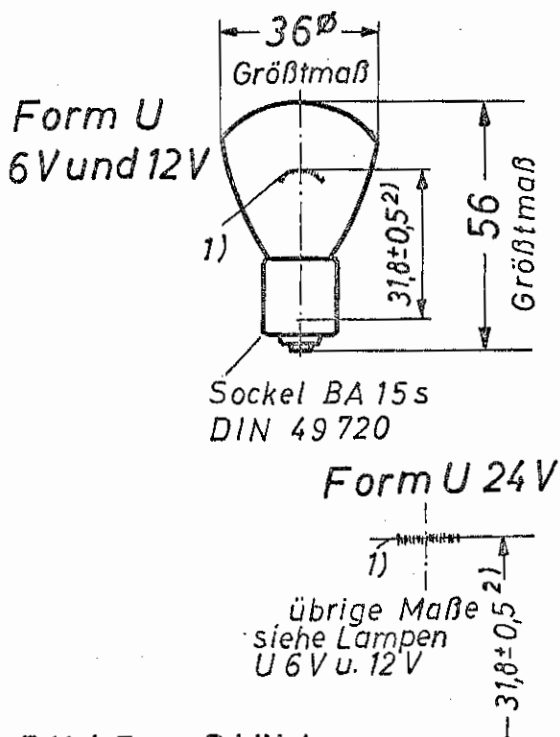


Bild 5a. Glühlampe

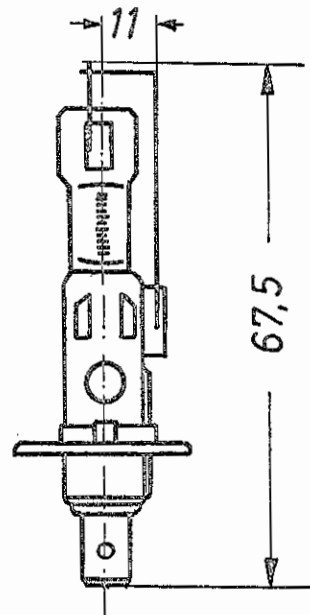


Bild 5b. Halogen-Scheinwerfer-lampe von Osram

The diagram shows a cross-section of a circular nozzle. The internal diameter is labeled D . The wall thickness is labeled m . The thickness of the conical tip is labeled d . The total height of the nozzle is labeled l . The width of the base is labeled a .

$$\begin{aligned} D &= 62 \text{ mm} \\ l &= 95 \text{ mm} \\ d &= 6 \text{ mm} \\ a &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

BI 8450

Bild 5e. Blitzröhre

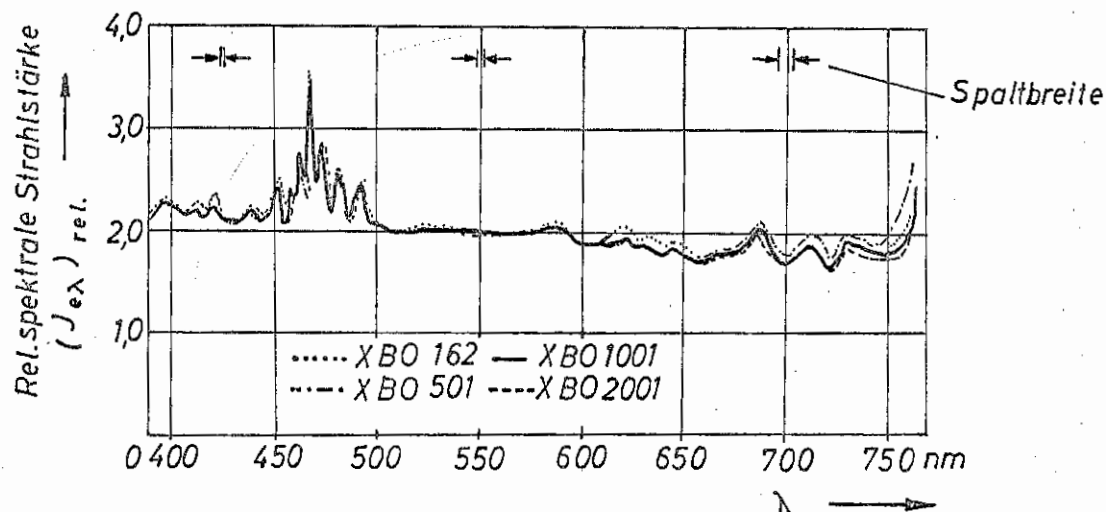


Bild 6. Relative spektrale Strahlstärkeverteilung von XBO-Lampen, Fabrikat Osram-Berlin, Spektrum der gesamten Lampe, normiert auf gleiche Lichtstärke

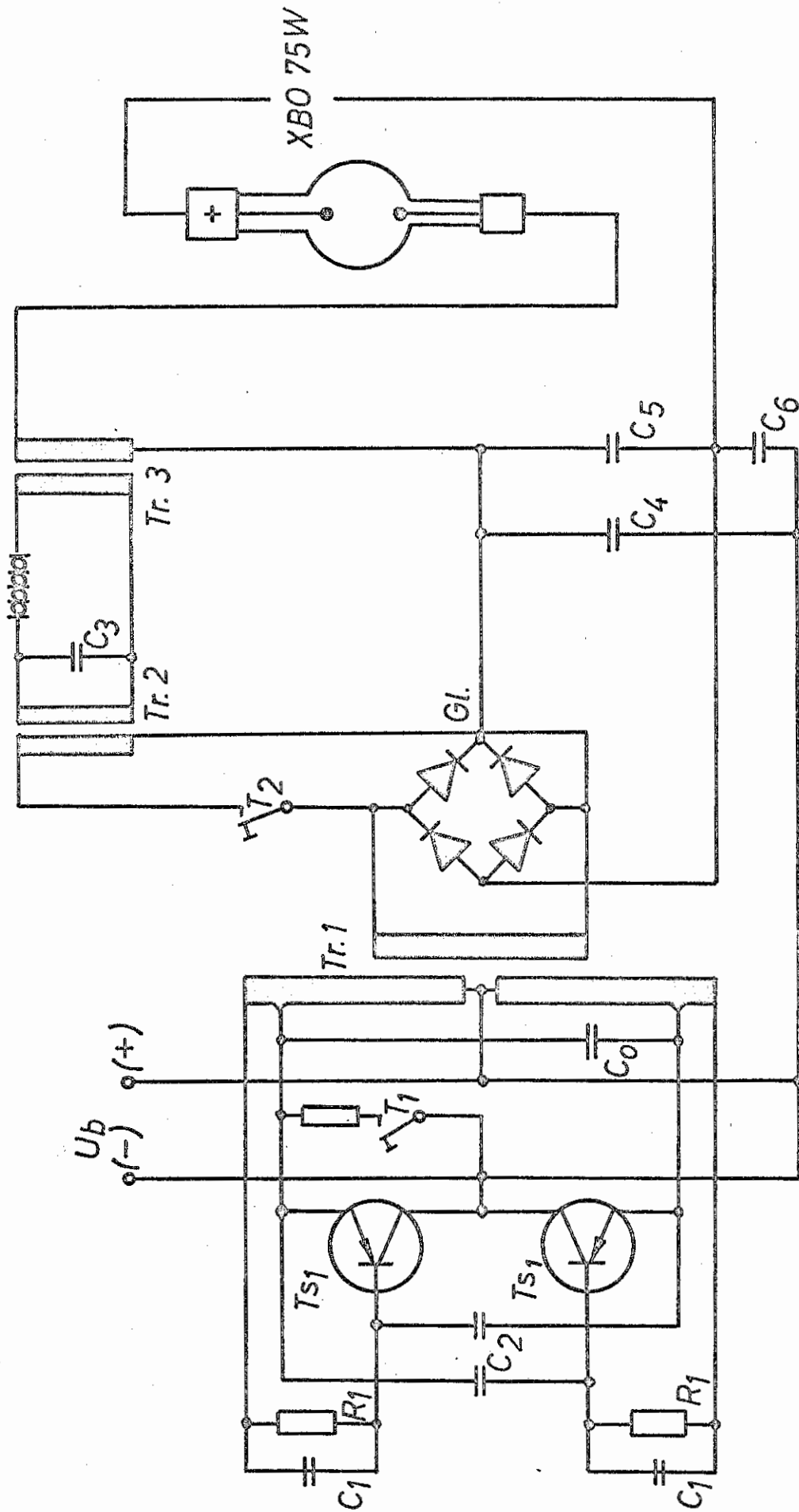
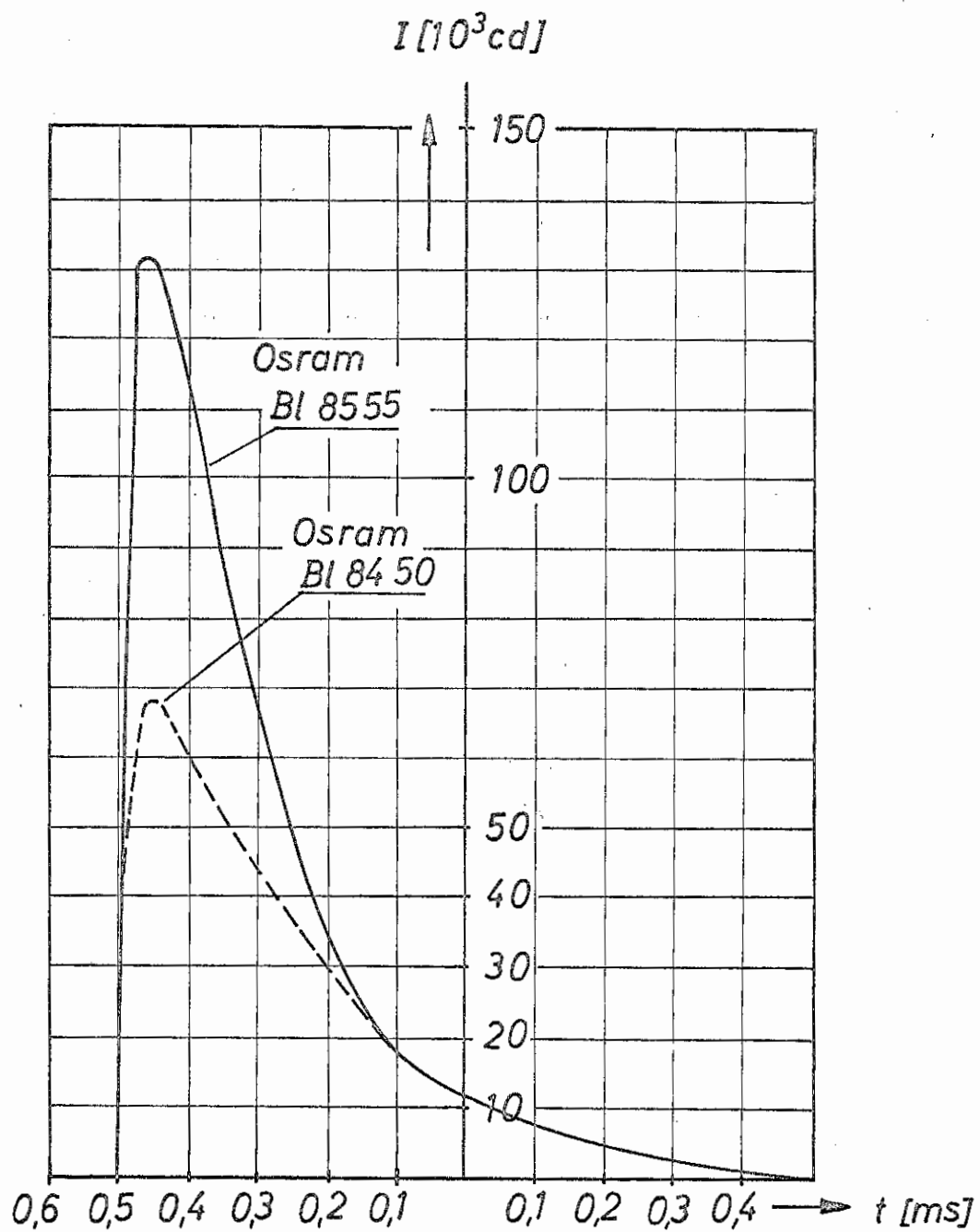


Bild 7. Stromversorgungsteil und Zündgerät zum Betrieb der Xenonlampe
XBO 75W an einer Autobatterie



Werte umgerechnet auf 52W Gesamtleistung
(mit Netzgerät) bei 4 Hz. Bl.8555 mit Reflektor

Bild 8. Lichtstärkeverlauf von Blitzlampen ohne Blaufilter

- (a) geeignetes Filter für Xenonlampen
- (b) Filter der Lampe RSN 12 B Fa. Pintsch-Bamag
- (c) Filter der Lampe RKLE 90/12 Fa. Eisemann

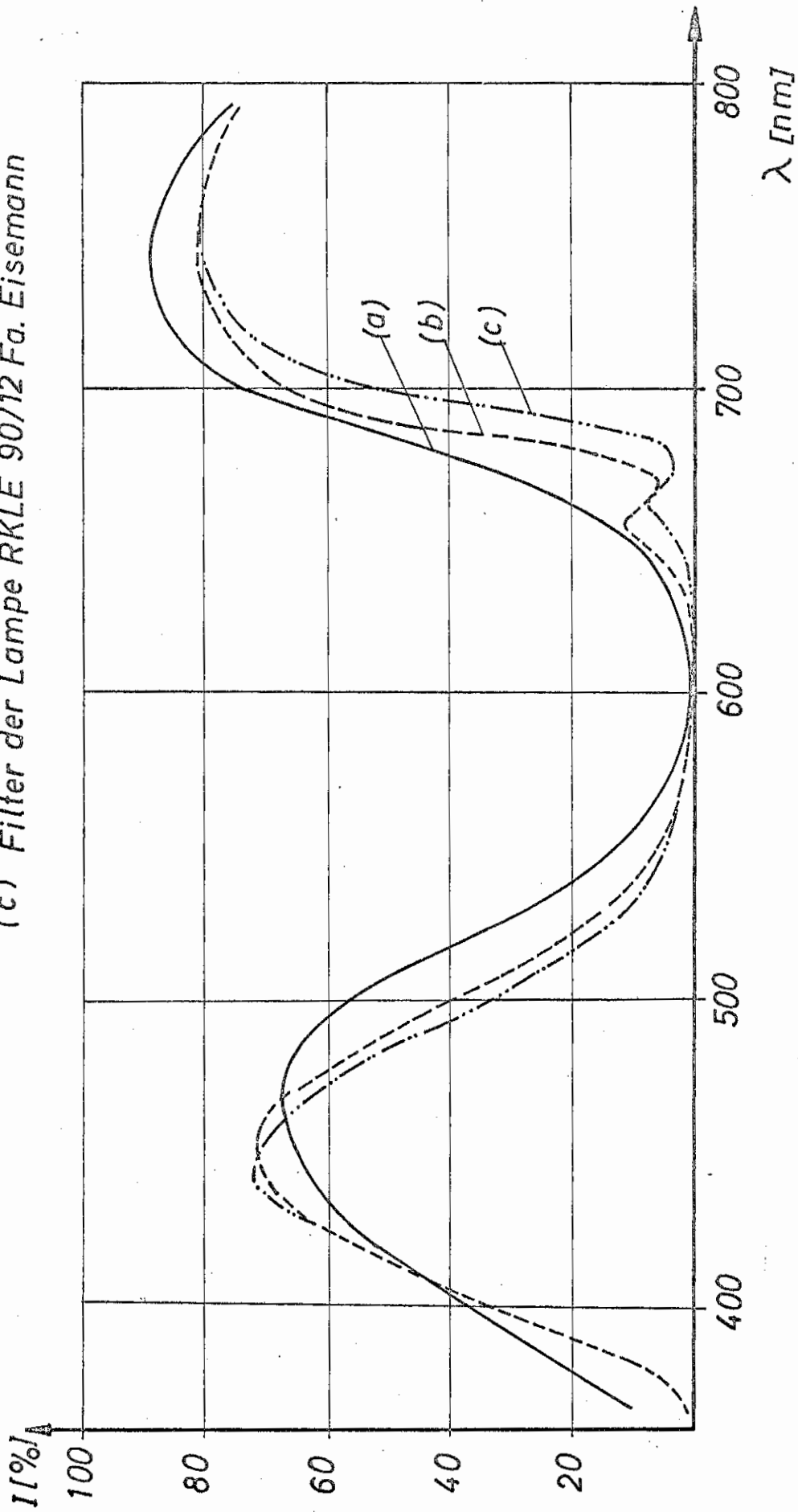
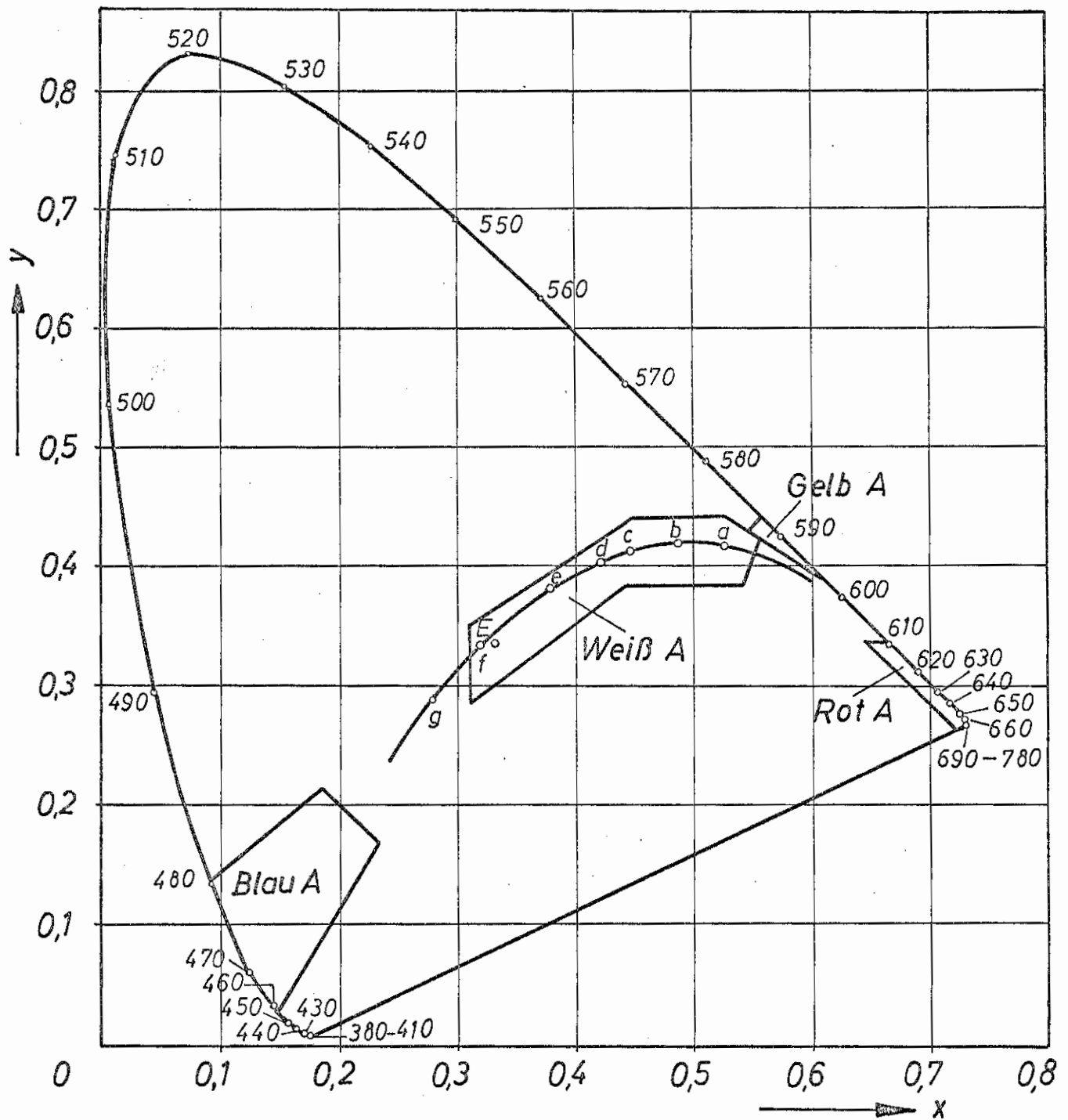


Bild 10. Spektraler Transmissionsgrad von Blaufiltern



Farbtafel nach DIN 5033 mit den Farbgrenzlinien der einzelnen Signallichter. Die Buchstaben a bis g an den Punkten des Kurvenzuges bezeichnen die Farbörter der schwarzen Strahlungen: a = 2000 °K, b = 2360 °K, c = 2850 °K, d = 3200 °K, e = 4000 °K, f = 6000 °K, g = 10000 °K.

Bild 11. Farbtafel

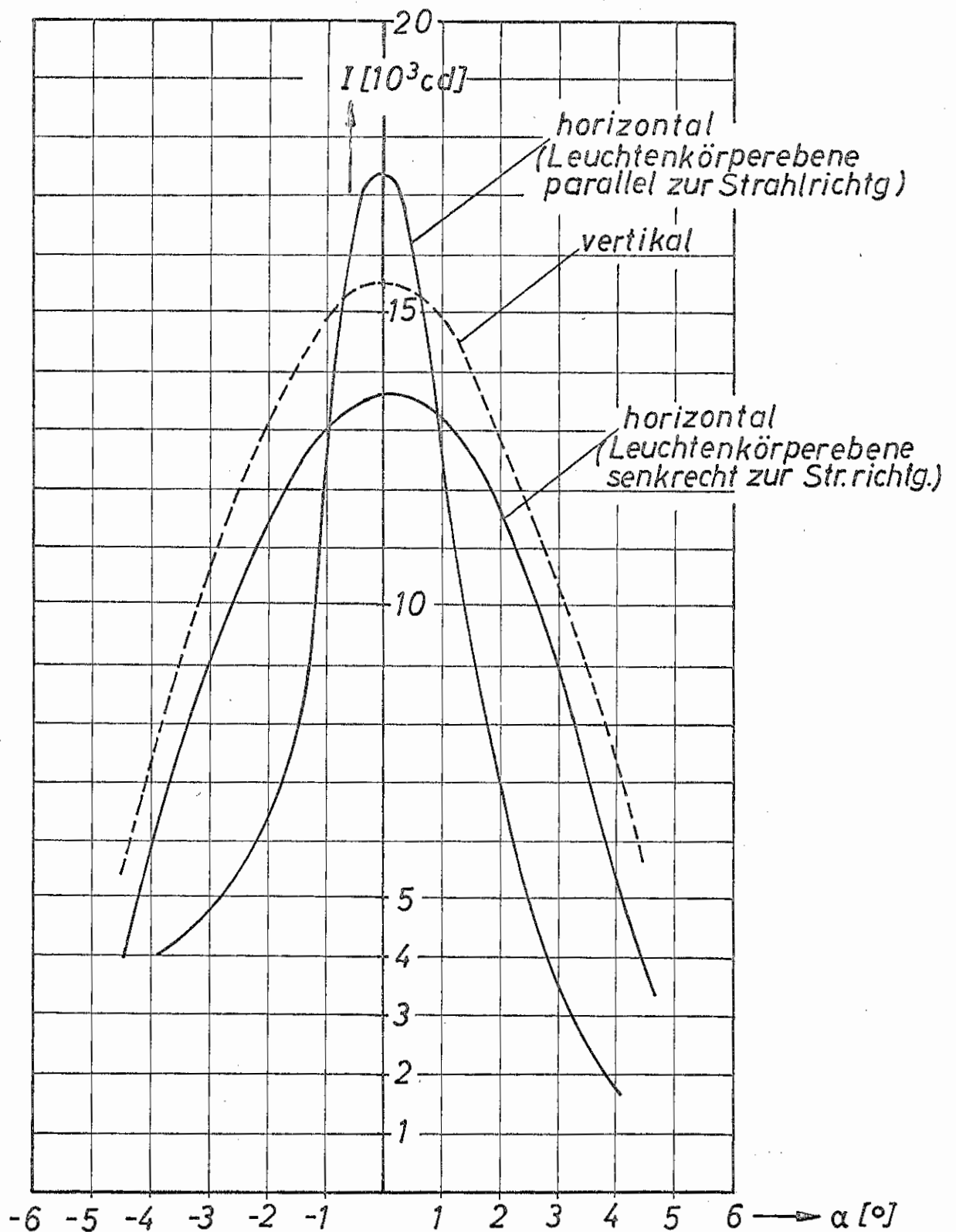


Bild 14. Lichtstärkeverteilung der Eisemann-Leuchte RKLE 90/12 B6 mit Glühlampe U12 V 45W DIN 72 601 ohne Blaufilter. Lampenlichtstrom 700 lm

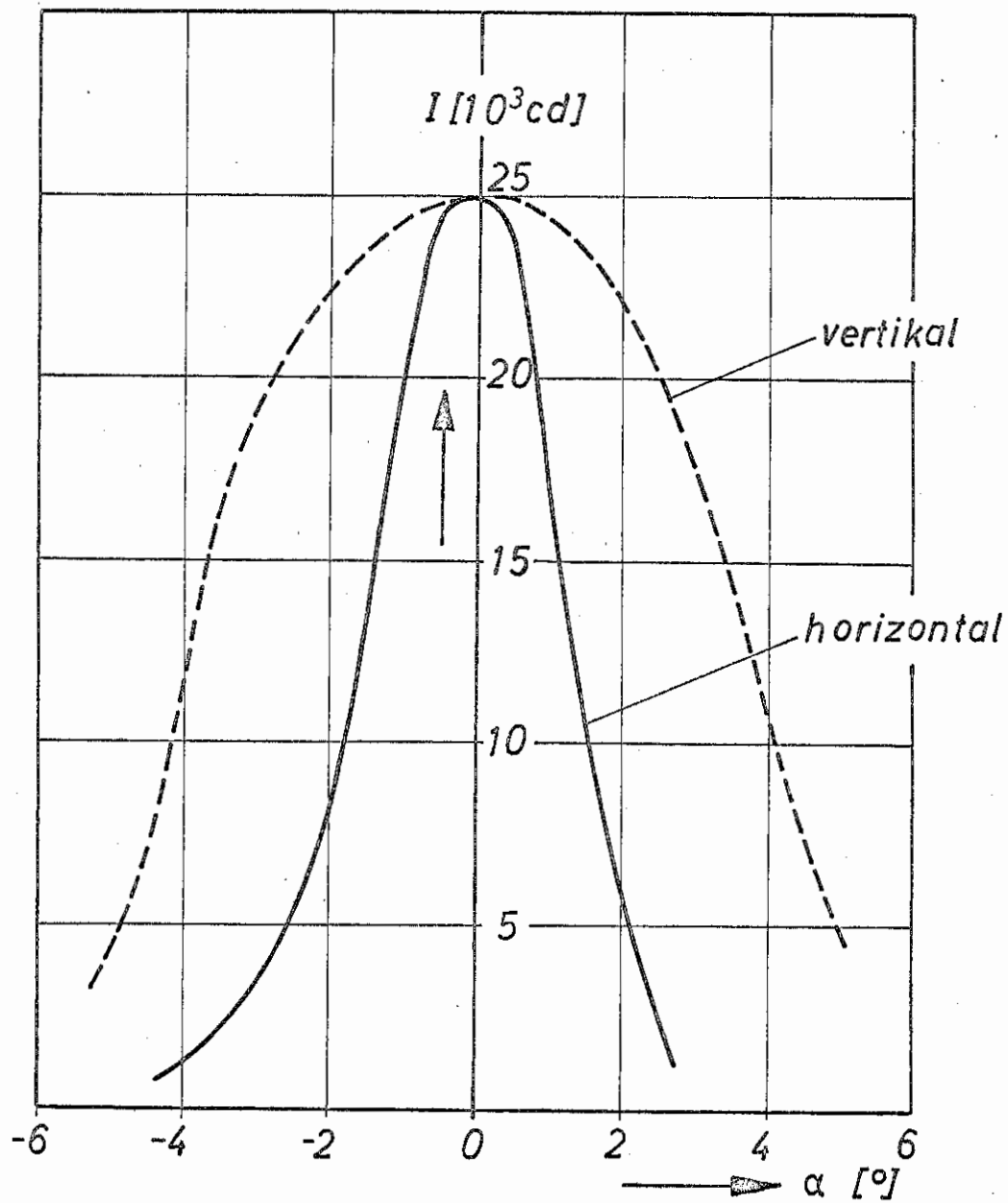
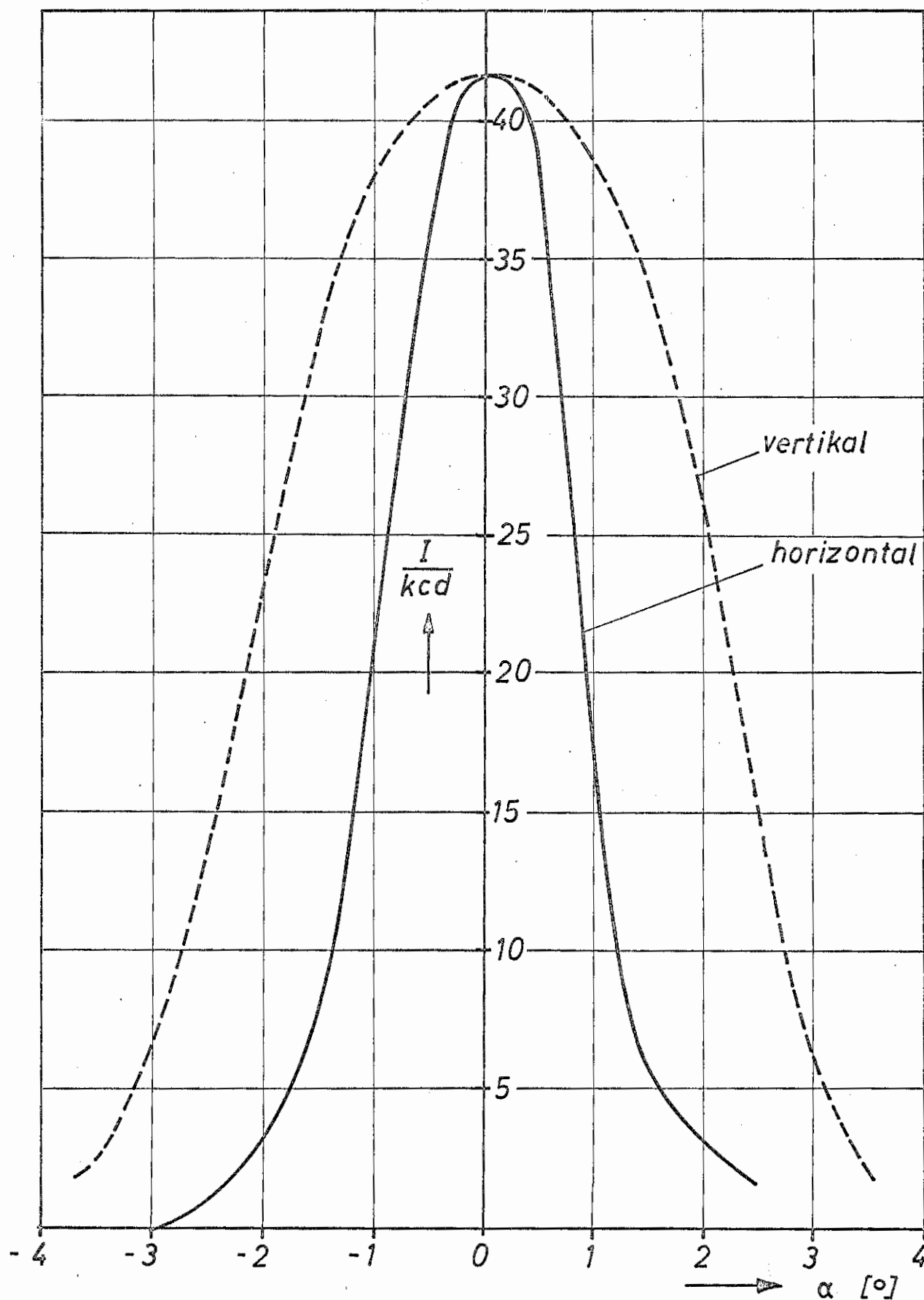


Bild 15. Lichtstärkeverteilung der Eisemann-Leuchte
RKLE 90/12 B6 mit Halogen-Scheinwerferlampe
12 V 55W ohne Blaufilter. Lampenlichtstrom 700 lm



Werte umgerechnet auf eine Gesamtleistung von 52W für einen Wirkungsgrad des Vorschaltgerätes von 60 % und eine Lichtausbeute von 10 lm/W.

Bild 16. Lichtstärkeverteilung der Eisemann-Leuchte RKLE 90/12 B6 mit XBO 75W ohne Blaufilter

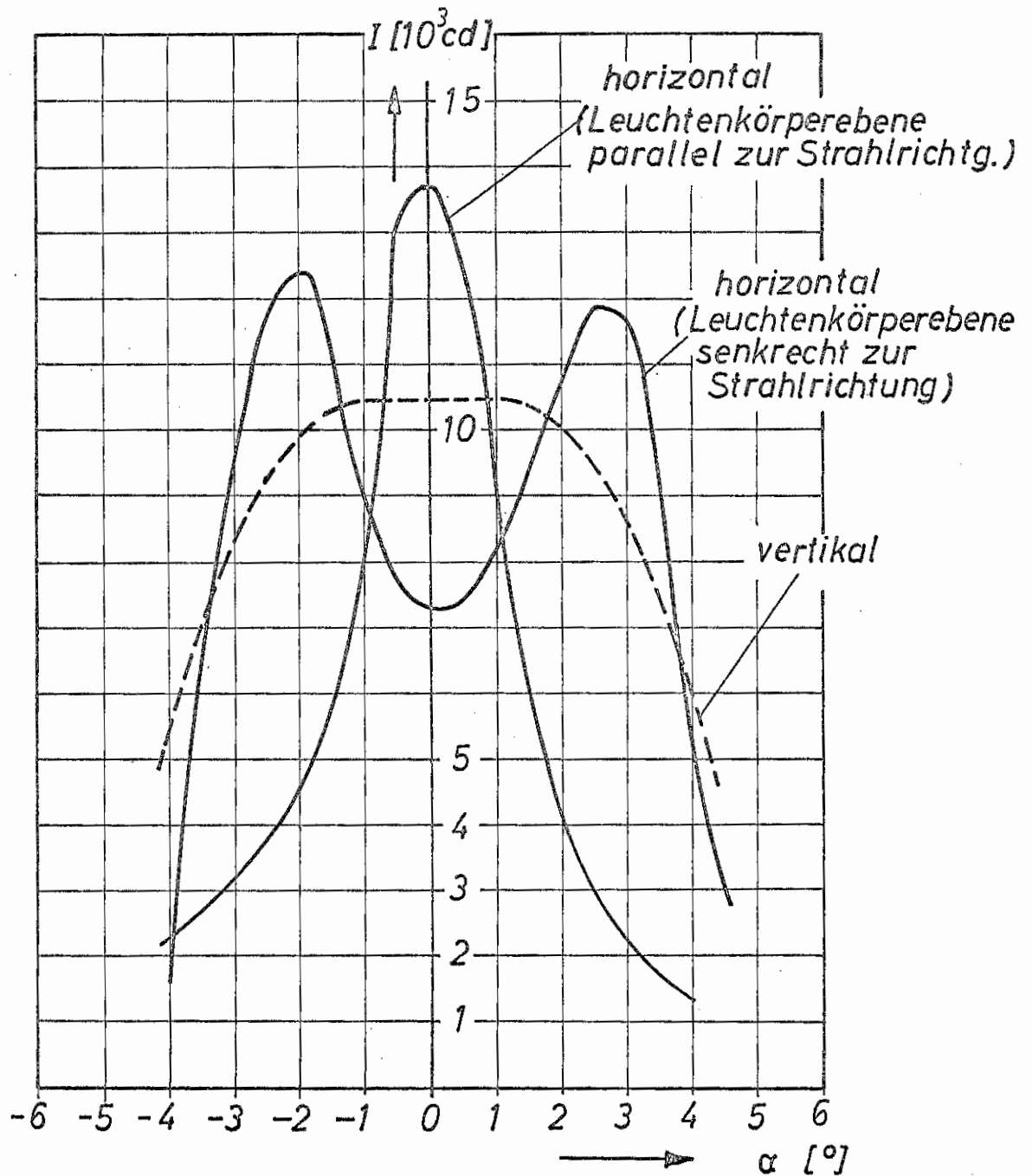


Bild 17. Lichtstärkeverteilung der Pintsch-Bamag-Leuchte RSN 12 B mit Glühlampe U12 V 45 W DIN 72 601 ohne Blaufilter. Lampenlichtstrom 700 lm

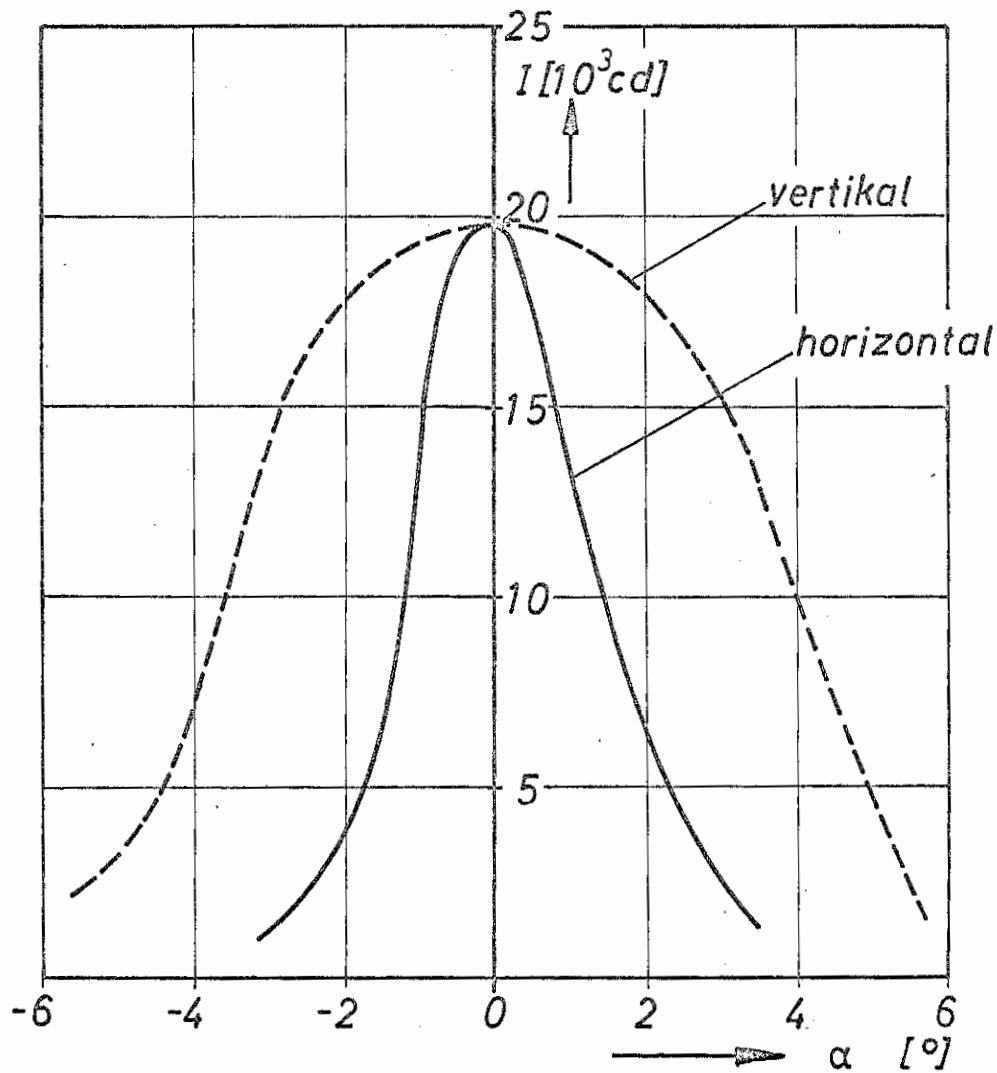
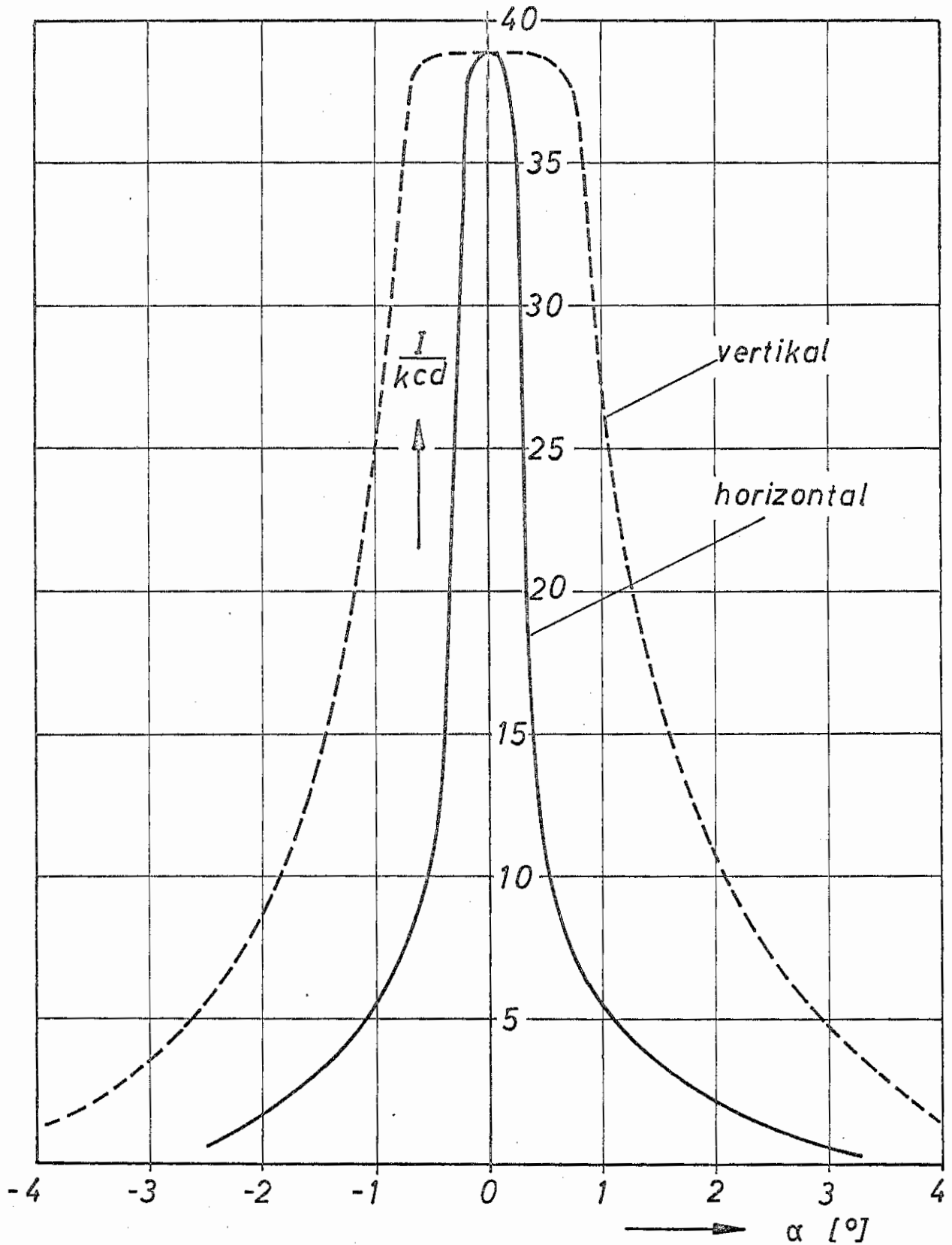


Bild 18. Lichtstärkeverteilung der Pintsch-Bamag-Leuchte RSN 12 B mit Halogen-Scheinwerferlampe 12 V 55 W ohne Blaufilter. Lampenlichtstrom 700 lm



Werte umgerechnet auf eine Gesamtleistung von 52W für einen Wirkungsgrad des Vorschaltgerätes von 60% und eine Lichtausbeute von 10 lm/W

Bild 19. Lichtstärkeverteilung der Pintsch-Bamag-Leuchte RSN 12 B mit XBO 75W ohne Blaufilter

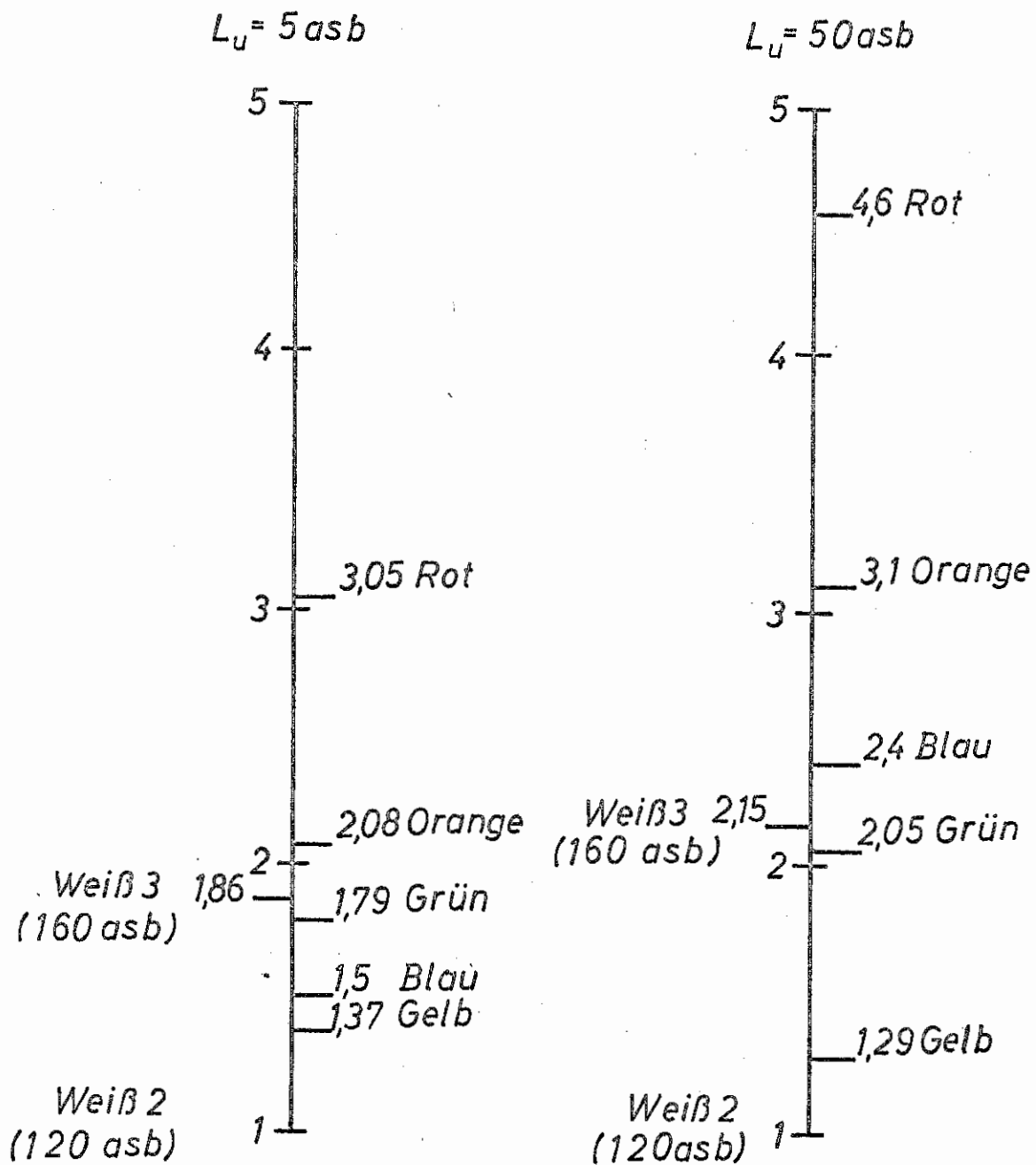


Bild 20. Auffälligkeitsskalen für farbige Signallichter bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten L_u [17].