

Die Begrenzung der Direktblendung nach DIN 5035

LiTG

LICHTTECHNISCHE GESELLSCHAFT e. V.

Die Begrenzung der Direktblendung nach DIN 5035

Herausgegeben vom LiTG-Fachausschuß „Innenbeleuchtung“

Arbeitsgruppe „Blendung“

Bearbeitet von: A. Emig
H. D. Range
W. Schramm
G. Söllner
F. W. Thiekötter
C.-H. Zieseniß

Lichttechnische Gesellschaft e.V. Karlsruhe
Mai 1976
Geschäftsstelle: 1 Berlin 30, Burggrafenstraße 4-7

Inhalt

1. Einleitung	5
2. Das System begrenzender Leuchtdichtekurven	5
2.1 Die Entwicklung des Systems	5
2.2 Der experimentell gesicherte Anwendungsbereich	9
2.2.1 Die Räume und ihre Eigenschaften	9
2.2.2 Die Lampen und Leuchten	9
2.2.3 Die Beleuchtungsanlagen	10
3. Die Blendungsbegrenzung in DIN 5035	11
3.1 Vereinfachung des Systems begrenzender Leuchtdichtekurven für DIN 5035	11
3.2 Anwendung der Blendungsbegrenzung in DIN 5035	12
3.2.1 Universelles Verfahren nach DIN 5035	12
3.2.2 Graphische Interpolation zur Ermittlung von Leuchtdichtegrenzkurven bei beliebigen Beleuchtungsstärken	15
3.3 Zuordnung der Leuchten zur Leuchtenart und -anordnung A oder B	19
3.4 Ermittlung der Leuchtdichteverteilung von Leuchten	19
3.4.1 Grundsätzliches	19
3.4.2 Freistrahkende Leuchten	21
3.4.3 Unten offene Leuchten und Leuchten mit klaren, nicht strukturierten Abdeckungen	21
3.4.4 Leuchten mit Lichtaustrittsflächen nach oben	22
3.4.5 Leuchten mit Lampen hoher Leuchtdichte	23
3.4.6 Leuchten in Lichtbandanordnung	24
3.4.7 Abschirmung der Leuchten durch bauliche Gegebenheiten	24
3.5 Einfluß des Leuchtenumfeldes	24
3.6 Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen	24
3.7 Verschiedene Leuchtentypen in einem Raum	24
3.8 Aneinandergrenzende Räume verschiedener Güteklassen	25
3.9 Einfluß der Lichtfarbe	25
3.10 Leuchtende Decken	25
4. Darstellung der Blendungsbegrenzung in der Leuchtendokumentation	25
4.1 Vereinfachte Darstellung in tabellarischer Form	25
4.2 Vereinfachte Darstellung in graphischer Form	27
5. Überprüfung von Beleuchtungsanlagen	29
5.1 Beurteilung nach Dokumentationsunterlagen der Lieferfirma für die Leuchten	29
5.2 Meßtechnische Überprüfung einer aus der Beleuchtungsanlage ausgebauten Leuchte	29
5.3 Messung der Leuchtdichteverteilung der Leuchte in der Anlage	29
6. Das Verfahren zur Blendungsbegrenzung im CIE-Guide on Interior Lighting	30
7. Anhang 1: Leuchtdichten von Lampen	32
8. Anhang 2: Grenzkurvendiagramme für Leuchtenart A und B	39

Vorwort

Die Begrenzung der Direktblendung ist seit ihrer Einführung mit der Norm DIN 5035/Jan.1972 fester Bestandteil der Planung der Innenraumbeleuchtung geworden. Damit zusammenhängend ergaben sich aus der Praxis zahlreiche Fragen, die die Interpretation des Verfahrens und seine Anwendung betreffen.

Der Fachausschuß „Innenbeleuchtung“ der Lichttechnischen Gesellschaft hat es sich mit seiner Arbeitsgruppe „Blendung“ daher zur Aufgabe gemacht, mit der vorliegenden Schrift diese Fragen zu beantworten.

In diesem Sinne werden in dieser Schrift nach einer Einführung in das Verfahren insbesondere die Ermittlung der Leuchtdichteverteilung der Leuchten, ihre Einstufung und ihre Bewertung bezüglich der Blendung behandelt. Dabei wird auf Grenzfälle eingegangen. Darüber hinaus gibt die Schrift zusätzliche Anhaltspunkte für die Begrenzung der Blendung, die noch nicht Bestandteil der Norm sind.

So werden Abschirmwinkel bei unten offenen Leuchten, vor allem für Lampen hoher Leuchtdichte, empfohlen. Ihre Erprobung in der Praxis soll die weitere Verbesserung und Ergänzung des Verfahrens zur Begrenzung der Blendung fördern.

Traunreut, im März 1976

Prof. Dr.-Ing. H. J. Hentschel
Vorsitzender des Fachausschusses
„Innenbeleuchtung“ der LiTG

1. Einleitung

Eine Voraussetzung für die mühelose Durchführung von Sehaufgaben während längerer Zeit und für das Wohlbefinden des Menschen in einem Raum ist ein ausgewogenes Verhältnis der Leuchtdichten im Gesichtsfeld. Störungen können auftreten sowohl durch zu hohe Leuchtdichten als auch durch zu große Leuchtdichteunterschiede. Zu geringe Leuchtdichteunterschiede führen bei fehlenden Farbkontrasten jedoch zu einem monotonen, langweiligen Eindruck des Raumes. In DIN 5035 (Innenraumbelichtung mit künstlichem Licht) Abschnitt 3.1.4. werden Maximalwerte von Leuchtdichteverhältnissen angegeben, bei deren Beachtung optimale Sehbedingungen und eine angenehme Helligkeitsverteilung im Raum gewährleistet sind. Dazu trägt auch eine geeignete Farbgestaltung des Raumes und der Einrichtung bei.

Die Störungen können verursacht werden durch zu hohe Leuchtdichten von Leuchten und Fenster, durch zu große Leuchtdichteunterschiede zwischen Leuchte und Decke, durch zu unterschiedlich beleuchtete Oberflächen (z. B. verschieden geneigte Flächen) bzw. durch Flächen stark unterschiedlichen Reflexionsgrades und durch Glanzstreifen und Spiegelbilder der Lichtquellen auf Oberflächen.

Störungen durch zu hohe Leuchtdichten der Leuchten nennt man Direktblendung. Sie muß so weit begrenzt werden, daß die Benutzer eines Raumes keinen unnötigen Belästigungen ausgesetzt sind. Das kann im allgemeinen durch eine Kontrolle der Leuchtdichte der Leuchten erfolgen.

Zur Begrenzung der direkten Blendung durch die Leuchten sind in DIN 5035 für verschiedene Parameter des Raumes, der Beleuchtung und der Güteanforderungen konkrete Angaben über die zulässigen Leuchtdichten der Leuchten in einem bestimmten Winkelbereich der Ausstrahlung und Beobachtungsrichtung gemacht. Diese Regeln sind im Hinblick auf Verständlichkeit und leichte Anwendbarkeit bewußt einfach gehalten. Das kann dazu führen, daß in besonderen Fällen Zweifel bezüglich ihrer korrekten Anwendung entstehen. Im folgenden werden daher Erläuterungen zum Verfahren der Blendungsbegrenzung in DIN 5035 gegeben, die es gestatten, auch die zweifelhaften Fälle zu behandeln oder wenigstens überall in gleicher Weise zu interpretieren. Dazu wird zunächst der experimentell gesicherte Anwendungsbereich des Verfahrens abgegrenzt. Für die experimentell nicht oder ungenügend erfaßten Fälle werden – soweit möglich – in der Praxis erprobte oder aus anderen Blendungsbegrenzungssystemen übernommene Regeln vorgeschlagen.

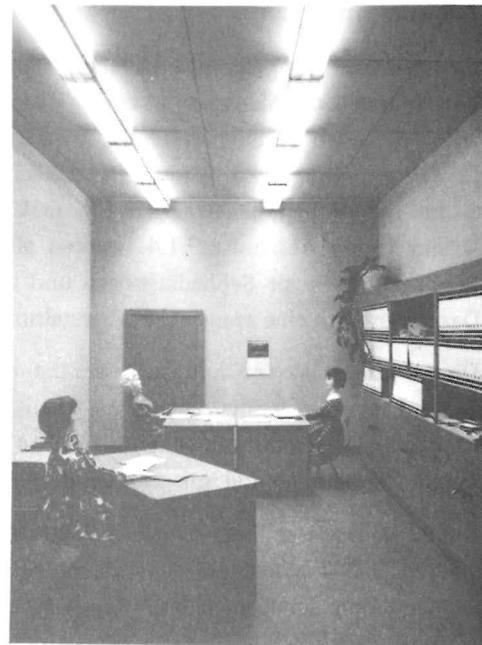
2. Das System begrenzender Leuchtdichtekurven

2.1. Die Entwicklung des Systems (1, 2)

Der Vergleich subjektiver Blendungsbewertungen durch Beobachter mit Berechnungen der Blendung nach bekannten Verfahren zeigte ungenügende Übereinstimmung (3). Der größte Teil dieser Berechnungsverfahren beruht auf in mehr oder weniger abstrakten Laboruntersuchungen entwickelten Blendungsformeln. Den Beobachtern wurde dabei eine Blendesituation dargeboten und während des Versuches ein Parameter, z. B. die Blendleuchtdichte oder die Raumwinkelgröße der Blendlichtquelle, geändert. Die Beobachter gaben an, wann sie bestimmte Blendeindrücke, z. B. „Blendung merkbar“, empfanden. Diese Art der experimentellen Untersuchungen führt zu systematischen Fehlern (4, 5). Aus den Ergebnissen, die für Situationen mit einer oder wenigen Blendlichtquellen gelten, wurden Summationsverfahren konstruiert, um auch die Blendung in großen Räumen mit vielen Blendlichtquellen berechnen zu können. Diese Summationsverfahren erwiesen sich in vielen Fällen als unzureichend.

In der Praxis ist der Beobachter aber einer gegebenen, von ihm nicht beeinflussbaren Reizkonfiguration – dargestellt durch das Leuchtdichtemuster im Gesichtsfeld – ausgesetzt. Er muß diese Situation beurteilen. Um ein Blendungsbewertungssystem auf dieser Basis aufzustellen, müssen genügend viele Beleuchtungsanlagen durch Beobachter beurteilt werden.

Für die Darbietung solcher nach Geometrie des Raumes und Beleuchtungsanlage verschiedenartiger Blendesituationen eigneten sich besonders maßstäblich verkleinerte, wirklichkeitsgetreu gestaltete Modellräume (Bilder 1 und 2).



Bilder 1 u. 2: Modellräume, in denen Bewertungen der Blendung durchgeführt wurden.

Damit wurden mehr als 850 Blendsituationen aufgebaut. Der Verkleinerungsmaßstab betrug 1:3. Ergänzend dazu und als Bestätigung der Anwendbarkeit der an Modellräumen gefundenen Ergebnisse in der Praxis wurden auch in etwa 50 wirklichen Beleuchtungsanlagen Blendungsbewertungen vorgenommen.

Die Blendungsbewertungen wurden jeweils von 10 bis 15 Personen durchgeführt. Das ergab insgesamt mehr als 11.000 Einzelbeobachtungen. Das Alter der Beobachter lag zwischen 25 und 60 Jahren. Zur Einstufung des Blendeindrucks war eine Bewertungsskala vorgegeben:

- 0 – keine Blendung
- 1 – Blendung zwischen nicht vorhanden und merkbar
- 2 – Blendung merkbar
- 3 – Blendung zwischen merkbar und störend
- 4 – Blendung störend
- 5 – Blendung zwischen störend und unerträglich
- 6 – Blendung unerträglich (unzumutbar)

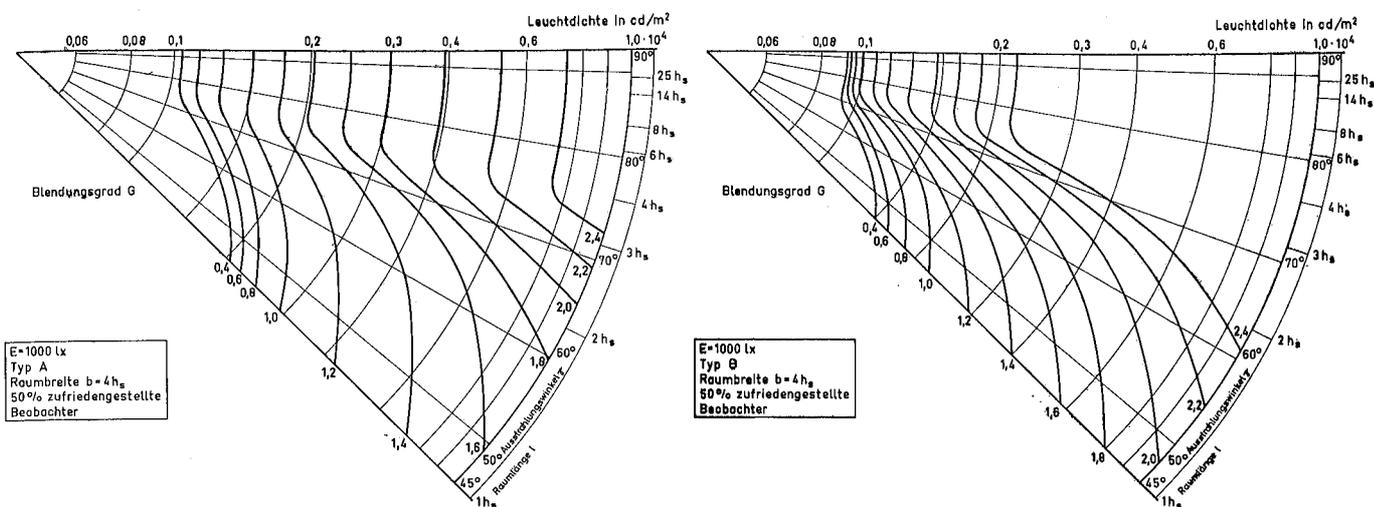
Diese Bewertungsskala ist nahezu gleichabständig (6, 7), daher können mit den Zahlen, die die Blendeindrücke symbolisieren, mathematische Operationen, wie Mittelwertbildung, durchgeführt werden. Die statistische Sicherheit der Bewertung einer Blendsituation beträgt etwa 0,3 Urteilsgrade der obigen Bewertungsskala (1).

Zum Aufstellen eines Blendungsbewertungssystems müssen Beziehungen zwischen den subjektiv ermittelten Blendungsgraden und den lichttechnischen und geometrischen Daten der Beleuchtungssituation hergestellt werden. Es zeigte sich, daß innerhalb des untersuchten Bereiches (Abschnitt 2.2.) die Blendleuchtdichte unmittelbar mit dem subjektiv bewerteten Blendeindruck zusammenhängt, wenn der Einfluß der Dimensionen des Raumes, der Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene und der Art bzw. der Montagerichtung der Leuchten berücksichtigt wird (1). Die mittlere Beleuchtungsstärke repräsentiert die mittlere Leuchtdichte des Raumes und die Anzahl der Leuchten pro Flächeneinheit der Decke, wenn die Reflexionsgrade der Oberflächen des Raumes innerhalb eines bestimmten Bereiches liegen. Bezüglich der Leuchtenart und -anordnung der Leuchten unterscheidet man:

Leuchtenart A: Alle Leuchten, deren Lichtaustrittsfläche nur in einer horizontalen Ebene liegt, insbesondere deckenbündige Einbauleuchten, sowie alle langgestreckten Leuchten, die parallel zur Blickrichtung montiert sind.

Leuchtenart B: Alle quer zur Blickrichtung angeordneten langgestreckten, quadratischen und runden Leuchten mit leuchtenden Seitenteilen, z.B. freistrahrende Leuchtstofflampen- und Wannenleuchten.

Trägt man die Zusammenhänge zwischen dem Blendungsgrad und der höchstzulässigen Leuchtdichte der Leuchten als Funktion des Ausstrahlungswinkels γ auf, so erhält man Kurvenscharen, wie sie in den Bildern 3



Bilder 3 und 4: Zwei Scharen von Leuchtdichtegrenzkurven des Systems begrenzender Leuchtdichtekurven.

und 4 für die Leuchtenarten A und B für eine Beleuchtungsstärke von $E = 1000 \text{ lx}$, für einen Anteil von 50 % der bezüglich eines bestimmten Blendungsgrades zufriedengestellten Beobachter und für eine Raumbreite von $b = 4 h_s$ (Abschnitt 3.1) dargestellt sind (2). Bei geringeren Raumbreiten können höhere Leuchtdichten zugelassen werden; größere Raumbreiten spielen nur bei der Leuchtenart B eine Rolle; die Leuchtdichten müssen dann stärker begrenzt werden. Drei Kurvenscharen für die Leuchtenart A und fünf Kurvenscharen für die Leuchtenart B beschreiben die Blendung in dem Bereich von Raumbreiten, der für die Praxis von Interesse ist. Die Höhe des Beleuchtungsstärkenniveaus hängt bei gegebenem Leuchtentyp unter gegebener Bestückung von der Anzahl der installierten Leuchten ab. Die gleiche Leuchte blendet bei höherem Niveau – also bei Vergrößerung der Anzahl der Leuchten und somit Vergrößerung der leuchtenden Fläche – mehr als bei niedrigerem Niveau. Dieser experimentell ermittelte Zusammenhang ist in Bild 5 dargestellt.

Eine Leuchte, die in einer 1000-lx-Anlage den Blendungsgrad 1,0 hervorruft, wird in einer Anlage mit 1500 lx mit dem Blendungsgrad 1,2, bei 700 lx mit dem Blendungsgrad 0,8 blenden.

Auch der Prozentsatz der bezüglich eines bestimmten Blendungsgrades zufriedengestellten Beobachter steht in einem festen Zusammenhang mit dem Blendungsgrad (Bild 6). Die Darstellungen in den Bildern 3 und 4 beziehen sich jeweils auf 50 % zufriedengestellte Beobachter für jeden der Blendungsgrade. Soll der Anteil der Beobachter, die höchstens den gegebenen Blendungsgrad empfinden, bei gleicher Beleuchtungssituation auf 60 % erhöht werden, so muß die Leuchtdichte der Leuchte im kritischen Ausstrahlungswinkelbereich so herabgesetzt werden, daß die Blendungsbegrenzung in den Bildern 3 und 4 einen um 0,3 Punkte niedrigeren Blendungsgrad ergibt. Der Zusammenhang zwischen dem Blendungsgrad und der Anzahl zufriedengestellter

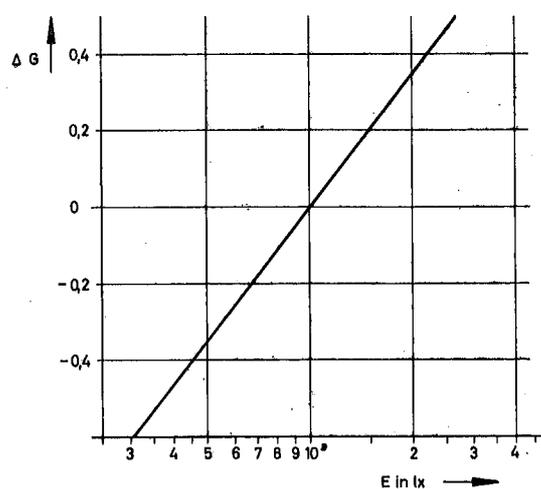


Bild 5: Veränderung des Blendungsgrades um ΔG in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke, bezogen auf $E = 1000 \text{ lx}$.

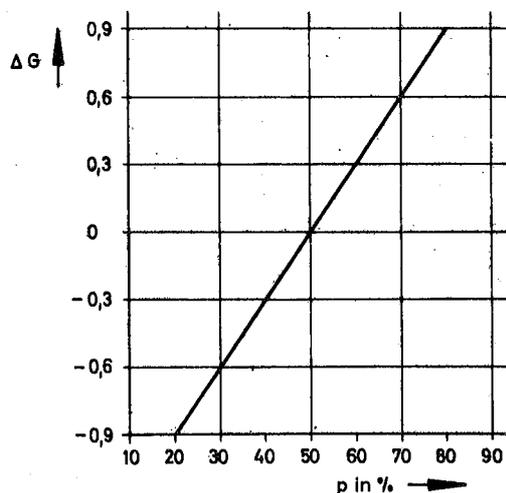


Bild 6: Veränderung des Blendungsgrades um ΔG in Abhängigkeit vom Prozentsatz zufriedengestellter Beobachter p, bezogen auf $p = 50 \%$.

Beobachter erlaubt es auch, zu ermitteln, wieviel Prozent der Beobachter eine bestimmte höhere Blendung empfinden, wenn eine Beleuchtungsanlage z. B. so ausgelegt ist, daß 50 % der Beobachter keine Beschwerden bezüglich der Blendung haben. Diese Kenntnis ist wichtig für die Auswahl bestimmter Leuchtdichtegrenzkurven für Richtlinien und Empfehlungen zur Begrenzung der Blendung.

Die acht Scharen von Leuchtdichtegrenzkurven und die beiden Kurven für den Zusammenhang zwischen dem Blendungsgrad und der Beleuchtungsstärke bzw. dem Prozentsatz der zufriedengestellten Beobachter (2) sind zusammen ein komplettes System zur Blendungsbewertung. Es gibt auf zwei Fragen Auskunft:

a) Nach dem Grad der Blendung einer gegebenen Beleuchtungsanlage:

Gilt es zu ermitteln, wie stark eine Leuchte der Art A in einem Raum mit einer Breite von $4 h_s$ oder breiter bei einer Beleuchtungsstärke von 1000 lx blendet, so vergleicht man ihre Leuchtdichtekurven in der $C_0 - C_{180}$ und $C_{90} - C_{270}$ Ebene mit den Grenzkurven des Bildes 3. Wird – wie das Beispiel in Bild 7 zeigt – die Grenzkurve für den Blendungsgrad 1,4 gerade nicht überschritten, so wird der Beleuchtungsanlage der Blendungsgrad 1,4 zugeordnet.

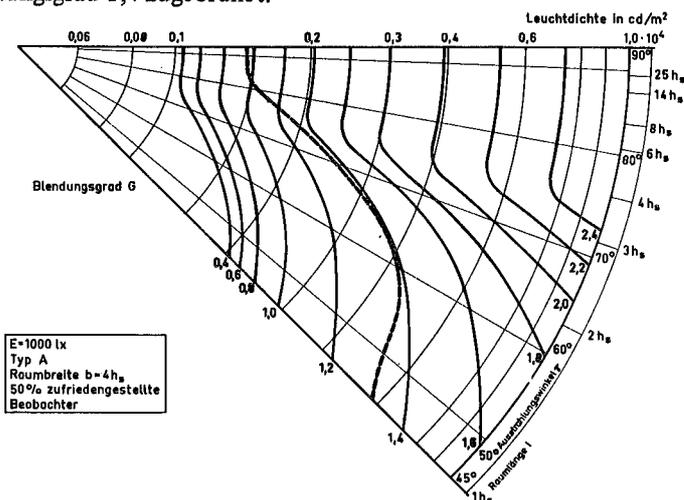


Bild 7: Vergleich der Leuchtdichteverteilung einer Leuchte mit den Leuchtdichtegrenzkurven.

In einem Raum begrenzter Länge muß nur der Winkelbereich betrachtet werden, innerhalb dessen Leuchten gesehen werden können. Die im Raum am weitesten entfernte Leuchte strahlt bei einem Abstand $a = 3 h_s$ (Bild 8) unter einem Ausstrahlungswinkel von $\gamma = 72^\circ$ zum Beobachterauge. Die Leuchtdichte der Leuchte muß demnach nur zwischen $\gamma = 45^\circ$ und $\gamma = 72^\circ$ begrenzt werden. Man nimmt allgemein an, daß Licht, das unter kleineren Winkeln als $\gamma = 45^\circ$ ausgestrahlt wird, nicht direkt ins Auge fällt, wenn der Beobachter waagrecht oder nach unten geneigt blickt. Daher hat man dort die Leuchtdichte der Leuchten nicht begrenzt.

Hat die Anlage eine Beleuchtungsstärke von 800 lx statt 1000 lx, so muß vom Blendungsgrad 1,4 der Wert 0,1 subtrahiert werden (Bild 5); die Anlage erhält dann den Blendungsgrad 1,3. Soll der Prozentsatz zufriedengestellter Beobachter 60 % betragen, so muß zu dem Blendungsgrad der Anlage für 50 % zufriedengestellte Beobachter ein $\Delta G = 0,3$ addiert werden (Bild 6). Der Anlage wird dann bei 800 lx ein Blendungsgrad $G = 1,6$ zugeordnet.

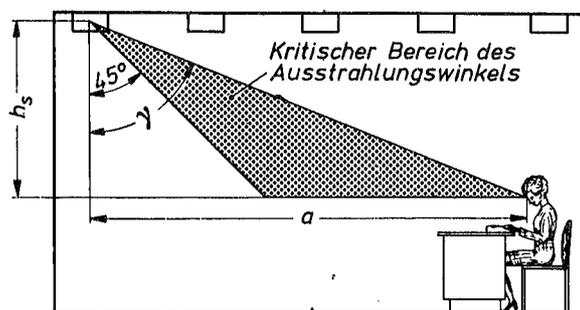


Bild 8: Ausstrahlungsbereich einer Leuchte, in dem die Leuchtdichtebegrenzung eingehalten werden muß.

Können die Personen, wie es überwiegend der Fall ist, beliebig im Raum verteilt sitzen und in beliebige Richtung blicken, so muß die Blendungsbewertung für die beiden Hauptblickrichtungen durchgeführt werden. Der höchste dabei auftretende Blendungsgrad gilt als repräsentativ für die Blendung durch die Beleuchtungsanlage. Nur in Ausnahmefällen, wenn alle Personen in gleicher Richtung orientiert sind und stets die gleiche Blickrichtung haben, genügt die Blendungsbewertung allein in dieser Blickrichtung.

b) Nach den Merkmalen einer blendungsbegrenzten Leuchte:

Die Leuchtdichtegrenzkurven für die verschiedenen Blendungsgrade (z. B. Bilder 3 und 4) zeigen direkt, wie die Leuchtdichte einer blendungsbegrenzten Leuchte als Funktion des Ausstrahlungswinkels aussehen muß. Über die unter den jeweiligen Ausstrahlungswinkeln gesehene leuchtende Fläche kann die zulässige Lichtstärke als Funktion des Ausstrahlungswinkels errechnet werden.

Bei den Blendungsbewertungen in den Modellräumen und in den wirklichen Räumen wurden zu den Beurteilungen, die die Beobachter bei horizontaler Blickrichtung abgaben, auch Bewertungen bei beliebiger Blickrichtung verlangt, die also auch nach oben zu den Leuchten gerichtet sein konnte. Bei Anlagen mit Leuchtstofflampen wurde häufig die gleiche, bei freistrahrenden Leuchten aber auch bis zu einem Blendungsgrad stärkere Blendung empfunden als bei horizontalem Blick. Das gilt auch für Industriehallen mit Hochdrucklampen (8), wobei freistrahrende Leuchten ausgenommen sind.

2.2. Der experimentell gesicherte Anwendungsbereich

Die Blendungsbeurteilungen als Basis des Blendungsbewertungssystems wurden in verkleinerten Modellräumen (Maßstab 1 : 3) und in wirklichen Innenräumen durchgeführt. Alle folgenden Angaben sind auf den natürlichen Maßstab bezogen.

2.2.1. Die Räume und ihre Eigenschaften

Die Modellräume

Abstand der Leuchten vom Fußboden:	3 m bis 5 m	
Länge des Raumes:	2,6 h_s bis 18,6 h_s	
Breite des Raumes:	1,1 h_s bis 9,3 h_s	
Reflexionsgrade:	ρ_{Decke}	0,7
	$\rho_{\text{Wände}}$	0,5 (konnte auf 0,3 vermindert werden)
	$\rho_{\text{Fußboden}}$	0,25
	$\rho_{\text{Möblierung}}$	0,3
Raumtyp:	Büroraum	

Die wirklichen Räume

Abstand der Leuchten vom Fußboden:	2,5 m bis 12 m	
Länge des Raumes:	1,4 h_s bis 28 h_s	
Breite des Raumes:	1,4 h_s bis 22 h_s	
Reflexionsgrade:	ρ_{Decke}	0,5 – 0,8
	$\rho_{\text{Wände}}$	0,2 – 0,7
	$\rho_{\text{Fußboden}}$	0,1 – 0,3
	$\rho_{\text{Möblierung}}$	0,1 – 0,4
Raumtypen:	Kleine und große Büroräume, Werkstätten, Industriehallen für leichte und schwierige Schaufgaben	

Die Blendungsbewertungen wurden zur Nachtzeit durchgeführt, daher waren zumeist schwarze Fenster im Blickfeld. In einigen Fällen wurden alternativ die Fenstervorhänge zugezogen.

2.2.2. Die Lampen und Leuchten

Die Modellräume

Die Lampen

Es wurden Leuchtstofflampen 13 W (TL 13 W/33), Lichtfarbe neutralweiß (nw) verwendet (ihre Abmessungen entsprechen einer im Maßstab 1 : 3 verkleinerten 65-W-Lampe).

Die Leuchten

- a) Freistrahrende Leuchten, 1-, 2- und 3-lampig
- b) Leuchten mit diffus leuchtenden Wannen, 2-lampig, Länge 1,5 m, Breite 0,25 m, Höhe der Wanne 0,08 m.
- c) Reflektorleuchten mit feinem Raster und diffus leuchtenden Seitenteilen, 2-lampig, Länge 1,5 m, Breite 0,25 m, Höhe der Seitenteile 0,08 m
- d) Reflektorleuchten mit grobem, grauen Raster, 2-lampig, Länge 1,5 m, Breite 0,25 m
- e) Reflektorleuchten, 2-lampig, Länge 1,5 m, Breite 0,33 m, Abschirmwinkel in der $C_0 - C_{180}$ -Ebene 15° zur Horizontalen

Alle Leuchten waren unmittelbar an der Decke montiert (mit Ausnahme einer Versuchsserie, in der freistrahrende Leuchten an Pendeln abgehängt waren). Die Lichtstärken der Leuchten wurden entsprechend der Norm DIN 5032, Blatt 4, gemessen. Die mittlere Leuchtdichte im Ausstrahlungsbereich $45^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$ wurde aus Lichtstärke und gesehener leuchtender Fläche ermittelt.

Bei der Bewertung der Blendung in den Räumen waren die Leuchtdichten der Leuchten wegen der Interflexion stets größer als die nach DIN 5032 ermittelten. Bei den Leuchten a, b, c war das unmittelbare Umfeld aufgehellt.

Die örtliche Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte der Leuchten war besser als 1 : 5. Die Leuchtdichteverteilung über den Ausstrahlungswinkeln reichte von gleichförmig bis zu stark gerichtet.

Die wirklichen Räume

Die Lampen

Es waren Leuchtstofflampen 65 W, 40 W und 20 W der Lichtfarben warmweiß (ww) und neutralweiß (nw), Farbwiedergabestufen 1, 2 und 3, eingesetzt; in Industriehallen auch Halogenmetalldampflampen 400 W mit Leuchtstoff, Lichtfarbe tageslichtweiß (tw), Farbwiedergabestufe 1.

Die Leuchten

Die wirklichen Räume waren mit folgenden Leuchtentypen für Leuchtstofflampen beleuchtet:

- a) freistrahrende
- b) mit weiß lackierten oder verspiegelten Reflektoren
- c) mit diffus leuchtenden Abdeckungen oder Wannen
- d) mit Reflektoren und/oder Rastern
- e) mit Reflektoren und/oder Refraktoren

Einige Räume waren mit Spiegelreflektor-Leuchten für Hochdruck-Entladungslampen ausgestattet.

Die Leuchten hatten verschieden große Abmessungen. Die maximale Bestückung der Leuchten für Leuchtstofflampen betrug 7 Lampen.

Die mittlere Leuchtdichte der Leuchten wurde nach DIN 5032 aus Lichtstärke und gesehener leuchtender Fläche ermittelt. Die Lichtstromabnahme durch Alterung und Verschmutzung wurde berücksichtigt. Die örtliche Gleichmäßigkeit der Leuchten-Leuchtdichte war im allgemeinen besser als $L_{\max} : \bar{L} = 5 : 1$. Bei den Spiegel-Reflektorleuchten traten auch größere Ungleichmäßigkeiten auf, bei den Leuchten für Hochdrucklampen bis zu $L_{\max} : \bar{L} = 10 : 1$.

2.2.3. Die Beleuchtungsanlagen.

Die Modellräume

Die langgestreckten Leuchten waren parallel und quer zur Blickrichtung der Beobachter in durchgehenden und unterbrochenen Reihen unmittelbar an der Decke montiert und im allgemeinen symmetrisch zur Beobachtungsrichtung angeordnet. Das unmittelbare Leuchtenumfeld wurde je nach der Art der Leuchte mehr oder weniger stark aufgehellt. Alternativ wurden einige Versuche mit an Pendeln abgehängten, freistrahrenden Leuchten durchgeführt. Damit wurde eine gleichmäßigere Aufhellung der Decke erreicht als bei Deckenmontage.

Die horizontalen Beleuchtungsstärken lagen zwischen 100 und 4000 lx. Genügend experimentell belegt ist der Bereich zwischen 250 und 2500 lx.

Das Verhältnis der mittleren vertikalen zur mittleren horizontalen Beleuchtungsstärke reichte von etwa 1 : 1,5 bis 1 : 2,5.

Die wirklichen Räume

Die Beleuchtung in den wirklichen Räumen war derjenigen in den Modellräumen ähnlich. Die Beleuchtungsstärke reichte von 100 bis 1800 lx. Es wurden jedoch nur wenig Räume mit Beleuchtungsstärken über 1000 lx untersucht. Die Leuchten waren sowohl an der Decke montiert als auch an Pendeln abgehängt. Eine Anzahl der Räume war mit Spiegel-Reflektorleuchten für Hochdrucklampen beleuchtet, die zumeist an Pendeln abgehängt waren (8). Es handelt sich hier durchweg um hohe Hallen (Lichtpunkthöhe zwischen 6 und 12 m) mit Beleuchtungsstärken zwischen 200 und 1000 lx.

3. Die Blendungsbegrenzung in DIN 5035

3.1. Vereinfachung des Systems begrenzender Leuchtdichtekurven für DIN 5035

In der Beleuchtungspraxis ist es im allgemeinen nicht notwendig, den Blendungsgrad einer gegebenen Beleuchtungsanlage detailliert zu ermitteln. Es genügt, Richtlinien zu geben, mit denen die Blendung einer Beleuchtungsanlage vermieden bzw. auf einen geforderten Wert beschränkt werden kann. Solche Richtlinien sollen einerseits einfach und gut übersehbar sein, andererseits aber müssen sie den in der Innenraumbeleuchtung üblichen Bereich von Beleuchtungsniveaus, Reflexionsgraden und Leuchtenanordnungen überdecken und außerdem die Möglichkeit bieten, verschieden hohe Güteforderungen an die Beleuchtungsanlage zu berücksichtigen.

Das DIN-Verfahren hat folgenden Aufbau:

Grundsätzlich werden die beiden Leuchtenarten bzw. Anordnungen A und B unterschieden (Bilder 9 und 10). Für drei ausgewählte Güteklassen 1, 2 und 3 werden die Leuchtdichtegrenzkurven für die Beleuchtungsstärken zwischen 250 lx und 200 lx, bei Güteklasse 1 bis 3000 lx angegeben. Güteklasse 1 entspricht einem Blendungsgrad von 1,5, Güteklasse 2 einem Blendungsgrad von 2,2 und Güteklasse 3 einem Blendungsgrad von 2,55. Zur Darstellung wurde ein rechtwinkliges Koordinatensystem gewählt, das auf der Ordinate den Ausstrahlungswinkel γ in linearem Maßstab enthält, auf der Abszisse die Leuchtdichte der Leuchte in logarithmischem Maßstab. An die Ordinate auf der rechten Seite der Darstellung ist das dem Winkel γ entsprechende Verhältnis a/h_s aufgetragen.

a ist der horizontale Abstand zwischen Beobachteraue und dem Lot vom Mittelpunkt der Lampenanordnung (DIN 5032, Blatt 4) der am weitesten entfernten Leuchte im Raum (Bild 8). h_s ist der senkrechte Abstand zwischen der Ebene in Augenhöhe und dem Mittelpunkt der Lampenanordnung der Leuchten. Die Augenhöhe sitzender Menschen ist zu 1,20 m, die stehender Menschen zu 1,50 m über dem Fußboden definiert.

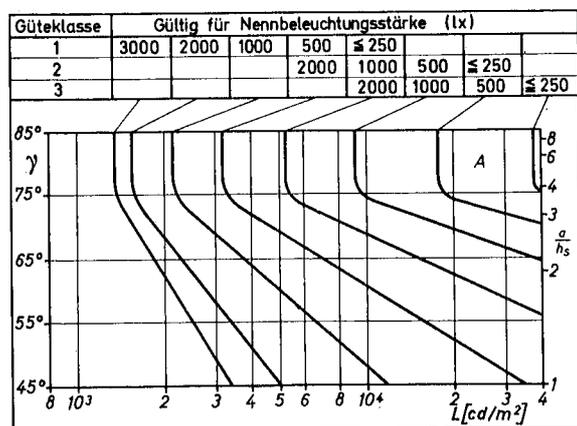


Bild 9: Leuchtdichte-Grenzkurvengültig für alle Leuchten, deren Lichtaustrittsfläche nur in einer horizontalen Ebene liegt, insbesondere deckenbündige Einbauleuchten, sowie für alle langgestreckten Leuchten, die parallel zur Blickrichtung montiert sind.

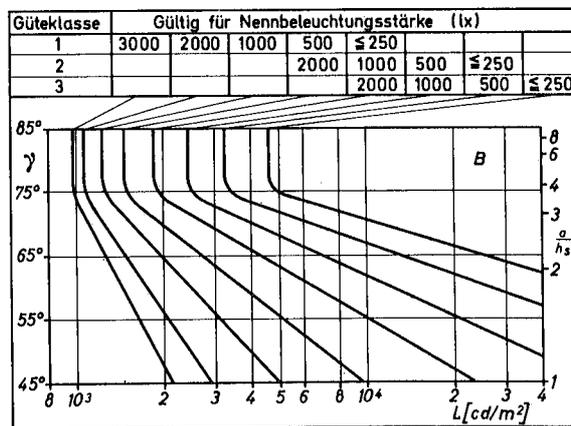


Bild 10: Leuchtdichte-Grenzkurven, gültig für quer zur Blickrichtung angeordnete langgestreckte, quadratische und runde Leuchten mit leuchtenden Seitenteilen, z. B. freistrahrende Leuchtstofflampen und Wannenleuchten.

Um die ursprüngliche Anzahl der Kurvenscharen auf zwei zu reduzieren, wurde in dem System nur die Raumbreite $b \geq 4 h_s$ berücksichtigt. Diese Raumbreite wurde besonders im Hinblick auf die Beleuchtung großer Räume gewählt, die bezüglich der Blendung besonders kritisch sind. Für schmalere Räume ist dann die Begrenzung der Leuchtdichte der Leuchten etwas stärker als notwendig (2).

Die Güteklassen sind auf einen Anteil von 50 % bezüglich eines bestimmten Blendungsgrades zufriedengestellter Beobachter bezogen. Der Blendungsgrad 1,5, der für die Güteklasse 1 gewählt wurde, stellt etwa die Schwelle dar, an der die Blendung beginnt, merkbar zu werden. Sind bezüglich dieses Wertes 50 % der Beobachter zufrieden, so haben 90 % der Beobachter die Schwelle der beginnenden Störung durch Blendung (Blendungsgrad 3) noch nicht erreicht. Güteklasse 1 wird daher für hohe Ansprüche an die Beleuchtungsgüte empfohlen. Die Güteklasse 2 (70 % der Beobachter haben die Schwelle der beginnenden Störung noch nicht erreicht) und die Güteklasse 3 sind für geringere Ansprüche zugelassen; Güteklasse 3 vor allem auch dann, wenn Gesichtspunkte wie Gleichmäßigkeit, Schattigkeit oder hohe vertikale Beleuchtungsstärke von übergeordneter Bedeutung sind.

Die Grenzkurven gelten für Reflexionsgrade der Decke von mindestens 0,5 und der Wände und Möbel von mindestens 0,25. Bei niedrigeren Reflexionsgraden können die Grenzkurven noch als orientierende Werte benutzt werden. Es ist jedoch mit stärkerer Blendung zu rechnen, als nach dem DIN-Verfahren zu erwarten ist.

Die logarithmische Leuchtdichteskala der Grenzkurviendiagramme ermöglicht besonders in den Bereichen, in denen die Leuchtdichte auf niedrige Werte begrenzt wird, eine bessere Ablesbarkeit. Diese Darstellungsweise hat in einem kartesischen Koordinatensystem außerdem den Vorteil, daß eine Änderung der Leuchtdichte der Leuchten durch die Verwendung von Lampen unterschiedlichen Lichtstromes nur eine Parallelverschiebung der in das Koordinatensystem eingezeichneten Leuchtdichteverteilung bedeutet.

Die Grenzkurven müssen für Ausstrahlungswinkel $\gamma \geq 45^\circ$ bis zu dem Winkelwert eingehalten werden, der sich bei gegebenem h_s durch den maximalen Abstand a ergibt (Bild 8). Da die Leuchtdichte einer Leuchte unter sehr flachen Ausstrahlungswinkeln schwierig zu ermitteln ist, wurden die Leuchtdichtegrenzkurven bei dem Ausstrahlungswinkel $\gamma = 85^\circ$ abgebrochen.

3.2. Anwendung der Blendungsbegrenzung in DIN 5035

Das Blendungsbegrenzungsverfahren in DIN 5035 beruht auf dem Vergleich der $C_0 - C_{180}$ - und $C_{90} - C_{270}$ -Leuchtdichteverteilungskurven der in einer Beleuchtungsanlage installierten Leuchte mit den Leuchtdichtegrenzkurven, die in Abhängigkeit von der Nennbeleuchtungsstärke und der Güteklasse in der Norm angegeben sind.

3.2.1. Universelles Verfahren nach DIN 5035

Die Leuchtdichtegrenzkurven der DIN 5035 stellen absolute Werte in cd/m^2 dar, die nicht überschritten werden dürfen. Daraus folgt, daß zum Vergleich die Leuchtdichteverteilungskurven der zu bewertenden Leuchte ebenfalls in absoluten Werten gegeben sein müssen.

Die Leuchtdichte der Leuchte ist abhängig von dem in ihr installierten Lichtstrom, d. h. vom Lichtstrom der verwendeten Lampe(n). Außerdem muß die Abhängigkeit des Lichtstromes von der Leuchtentemperatur und bei luftgekühlten Leuchten von dem durch sie abgeführten Luftvolumenstrom – der eine Kühlung der Lampen bewirkt – berücksichtigt werden.

Aus all diesem folgt, daß für eine Leuchte – je nach installiertem Lichtstrom usw. – eine Reihe von Leuchtdichteverteilungskurven angegeben werden müßte. Diese Schwierigkeit wird umgangen, wenn die Leuchtdichteverteilungskurven auf 1000 lm bezogen werden und für den Vergleich mit den absoluten Leuchtdichtegrenzkurven eine einfache Möglichkeit zum Einrechnen des wirklich installierten Leuchtenlichtstromes gegeben wird.

In Abschnitt 3.4. wird nach DIN 5032 empfohlen, die winkelabhängige mittlere Leuchtdichte der Leuchten aus ihren Lichtstärkeverteilungskurven zu berechnen. Diese Lichtstärkeverteilungskurven sind auf einen Gesamtlichtstrom der Lampen von 1000 lm bezogen, so daß die daraus resultierende Leuchtdichte ebenfalls auf 1000 lm bezogen ist. Hierbei muß beachtet werden, ob die Lichtstärken als „Betriebs-“ oder „optische“ Lichtstärken angegeben sind, d. h. ob die Lichtstärkeverteilungskurven auf den Betriebswirkungsgrad oder auf den optischen Wirkungsgrad der Leuchten bezogen sind. Je nachdem müssen auch die Leuchtdichteverteilungskurven bezeichnet werden.

Bei der Berechnung der Leuchtdichte geht neben der Lichtstärkeverteilungskurve in cd/klm die absolute geometrische Größe der leuchtenden Fläche in m^2 mit ein, so daß für jede geometrische Größe einer Leuchte die Leuchtdichteverteilung der Ebenen $C_0 - C_{180}$ und $C_{90} - C_{270}$ ermittelt werden muß. Die Leuchtdichtewerte für den Ausstrahlungsbereich $45^\circ \leq \gamma \leq 85^\circ$ werden in $\frac{\text{cd}/\text{m}^2}{\text{klm}}$ angegeben. Die Darstellung erfolgt in kartesischen Koordinaten, wobei die Abszisse, auf der die Leuchtdichten aufgetragen werden, eine logarithmische Einteilung hat. Auf der Ordinate werden die Ausstrahlungswinkel γ in linearem Maßstab aufgetragen.

Zur Blendungsbewertung müssen die auf 1000 lm Gesamtlichtstrom der Lampen bezogenen Leuchtdichten mit dem Lichtstrom in klm multipliziert werden, der insgesamt von den in der Leuchte installierten Lampen abgegeben wird. Sind „Betriebsleuchtdichten“ angegeben, muß der Gesamtlichtstrom der Lampen verwendet werden, den diese freibrennend unter Nennbedingungen (Nennlichtstrom = Lichtstrom, der von den Lampenherstellern angegeben wird) abgeben. Bei den „optischen“ Leuchtdichten muß der Gesamtlichtstrom noch zusätzlich mit dem Lichtstrom-Temperaturfaktor $F(t_u)$ (DIN 5032, Blatt 4) multipliziert werden. In entsprechender Weise wird bei luftgekühlten Leuchten der Einfluß des Luftvolumenstromes auf den Lichtstrom berücksichtigt (9).

Die Leuchtdichtediagramme der Leuchten werden im gleichen Maßstab wie die Leuchtdichtegrenzkurven der DIN 5035 gezeichnet – kartesisches Koordinatensystem und logarithmischer Maßstab der Leuchtdichte (Bild 11).

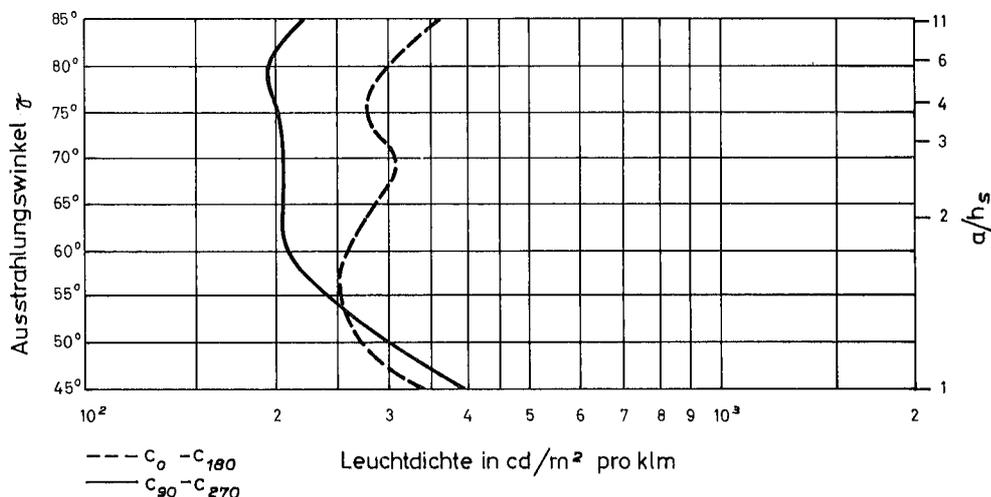


Bild 11: Leuchtdichtediagramm einer 2 x 65 W Leuchtstofflampenleuchte für 1000 lm Lampenlichtstrom und $F(t_u) = 1$. Diese Wannenleuchte hat leuchtende Seitenteile mit einer Höhe größer als 30 mm.

Sind die Grenzkurviendiagramme auf transparentem Material dargestellt (Bild 12)*, kann die Multiplikation der relativen Leuchtdichtewerte mit dem Lichtstrom in klm durch horizontales Verschieben des Maßstabnetzes ausgeführt werden.

Hierfür wird parallel zur Abszisse (Leuchtdichteskala) der Grenzkurviendiagramme eine Lichtstromskala (in klm) im gleichen logarithmischen Maßstab gezeichnet. Die Unterteilung soll verhältnismäßig fein sein. Der Wert 1 klm fällt mit dem Leuchtdichtewert $10^3 \text{ cd}/\text{m}^2$ zusammen, da die Leuchtdichtediagramme der Leuchten auf 1000 lm bezogen sind.

Diese Darstellung der Blendungsbewertung gestattet es, für jeden beliebigen Lichtstrom einer Leuchte die Blendungsbegrenzung durchzuführen, sei es für Lampen unterschiedlicher Lichtfarbe, für neu auf den Markt kommende Lampen, für unterschiedliche Umgebungstemperaturen (z. B. luftgekühlte Leuchten) usw. Diese Art der Darstellung der Blendungsbewertung ist universell.

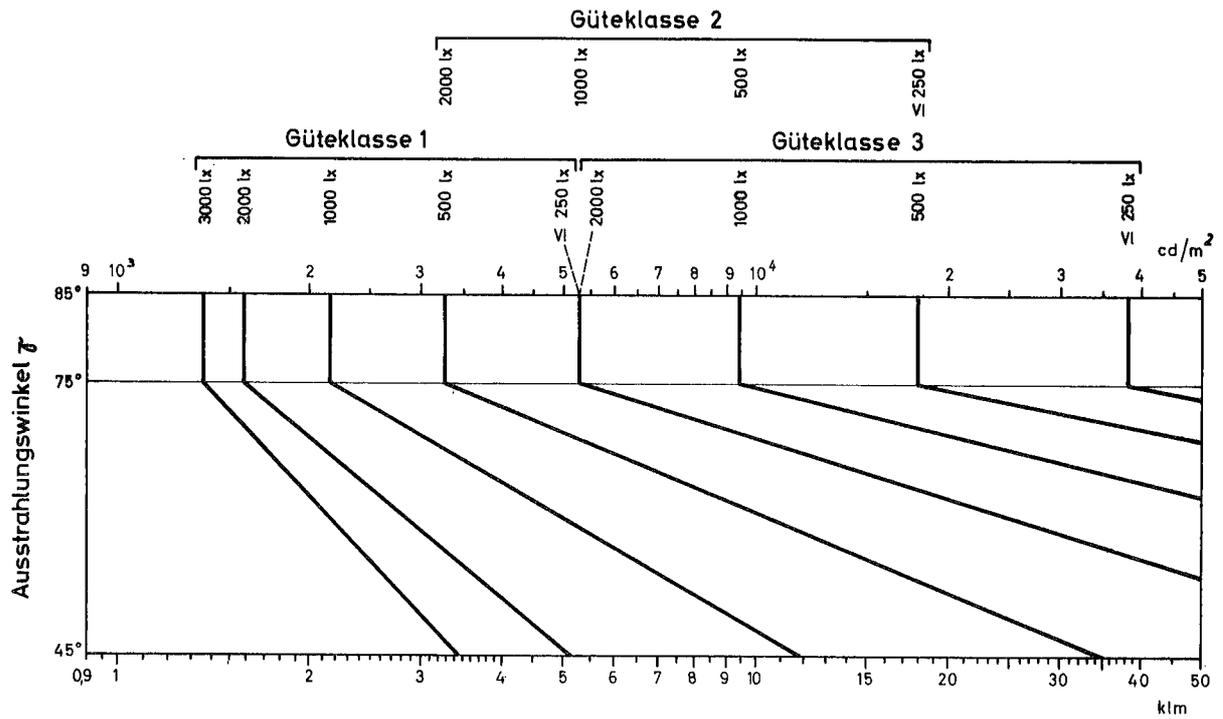
Beispiel

Die Leuchtdichteverteilungskurven der $C_0 - C_{180}$ - und $C_{90} - C_{270}$ -Ebenen einer Wannenleuchte mit 2 Leucht-

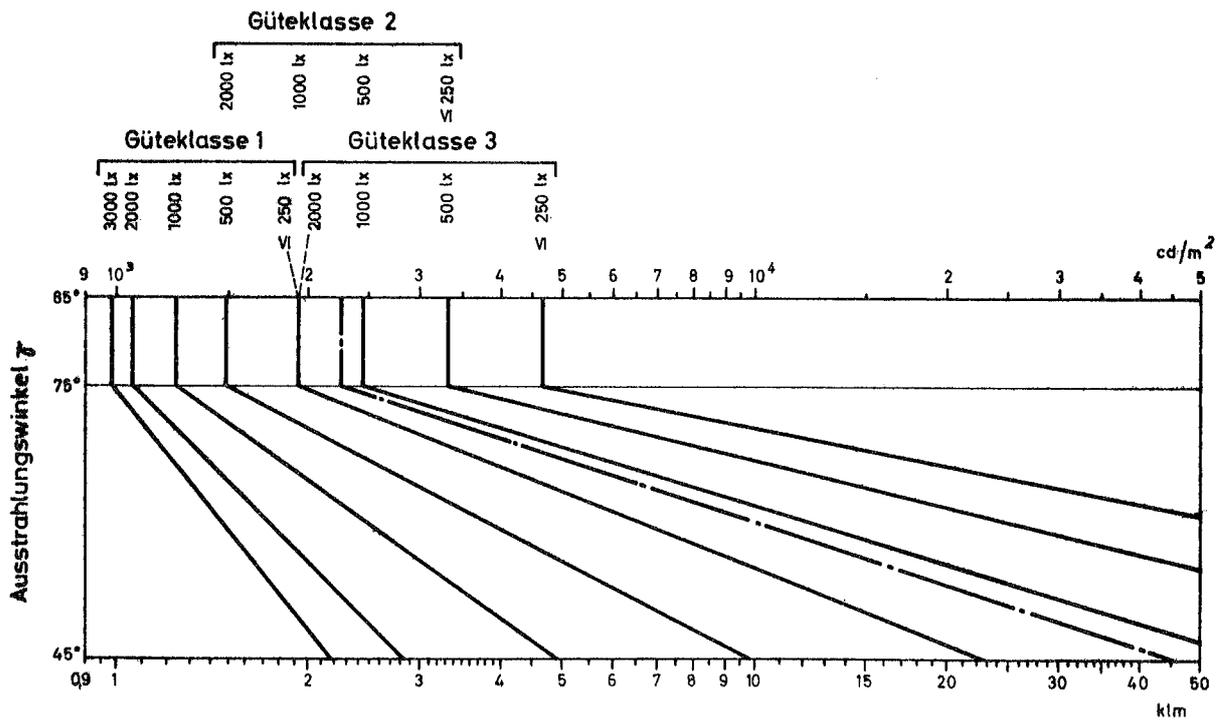
*) Ein Transparent des Bildes 12 ist dieser Schrift beigelegt (Anhang 2).

stofflampen 65 W sind im Ausstrahlungswinkelbereich $45^\circ \leq \gamma \leq 85^\circ$ für den Lichtstrom $\Phi = 1000 \text{ lm}$ und den Lichtstromtemperaturfaktor $F(t_u) = 1$ in Bild 11 angegeben.

Die 65-W-Leuchtstofflampen haben einen Nennlichtstrom von je 4000 lm. Für die unbelüftete Leuchte wird vom Hersteller ein $F(t_u) = 0,81$ angegeben.



Leuchtdichte-Grenzkurven für Leuchtenart A



Leuchtdichte-Grenzkurven für Leuchtenart B

Bild 12: Leuchtdichtegrenzkurven nach DIN 5035.

Damit ergibt sich ein Gesamt-(Betriebs-)Lichtstrom

$$\Phi = 2 \cdot 4000 \text{ lm} \cdot 0,81 = 6,48 \text{ klm}$$

Das transparente Grenzkurviendiagramm (Bild 12) muß nun auf dem Leuchtdichtediagramm der Leuchte (Bild 11) solange horizontal verschoben werden, bis der Wert 6,48 klm des Grenzkurviendiagrammes mit dem Wert 10^3 cd/m^2 des Leuchtdichtediagrammes der Leuchte zusammenfällt. (Ist der Wert 10^3 cd/m^2 außerhalb des Leuchtdichtediagrammes der Leuchte, so müssen die Werte 0,648 klm und 10^2 cd/m^2 zur Deckung gebracht werden).

Die gewählte Leuchte hat leuchtende Seitenteile und muß deshalb für die Blickrichtung quer zur Leuchtenlängsachse in der $C_0 - C_{180}$ -Ebene nach dem Grenzkurviendiagramm für die Leuchtenart B beurteilt werden. In Bild 13 ist der Vergleich der Leuchtdichtevertellung der gewählten Leuchte mit den Grenzkurven der DIN 5035 für die Leuchtenart B dargestellt.

Uneingeschränkt anwendbar (z. B. in Großräumen) ist die Leuchte bei Anforderungen der Güteklasse 2 bis zu einer Nennbeleuchtungsstärke von 500 lx. In kleineren Räumen – z. B. $a/h_s \approx 2,9$ ($\gamma = 71^\circ$) – ist sie bis zu 2000 lx bei Güteklasse 2 bzw. 500 lx bei Güteklasse 1 einsetzbar.

Bei Blickrichtung parallel zur Leuchtenlängsachse wird zur Blendungsbewertung das Grenzkurviendiagramm A mit dem Leuchtdichtediagramm der Leuchte entsprechend dem oben aufgeführten Verfahren zur Deckung gebracht. In diesem Fall muß die Leuchtdichtevertellung der $C_{90} - C_{270}$ -Ebene mit den Grenzkurven verglichen werden.

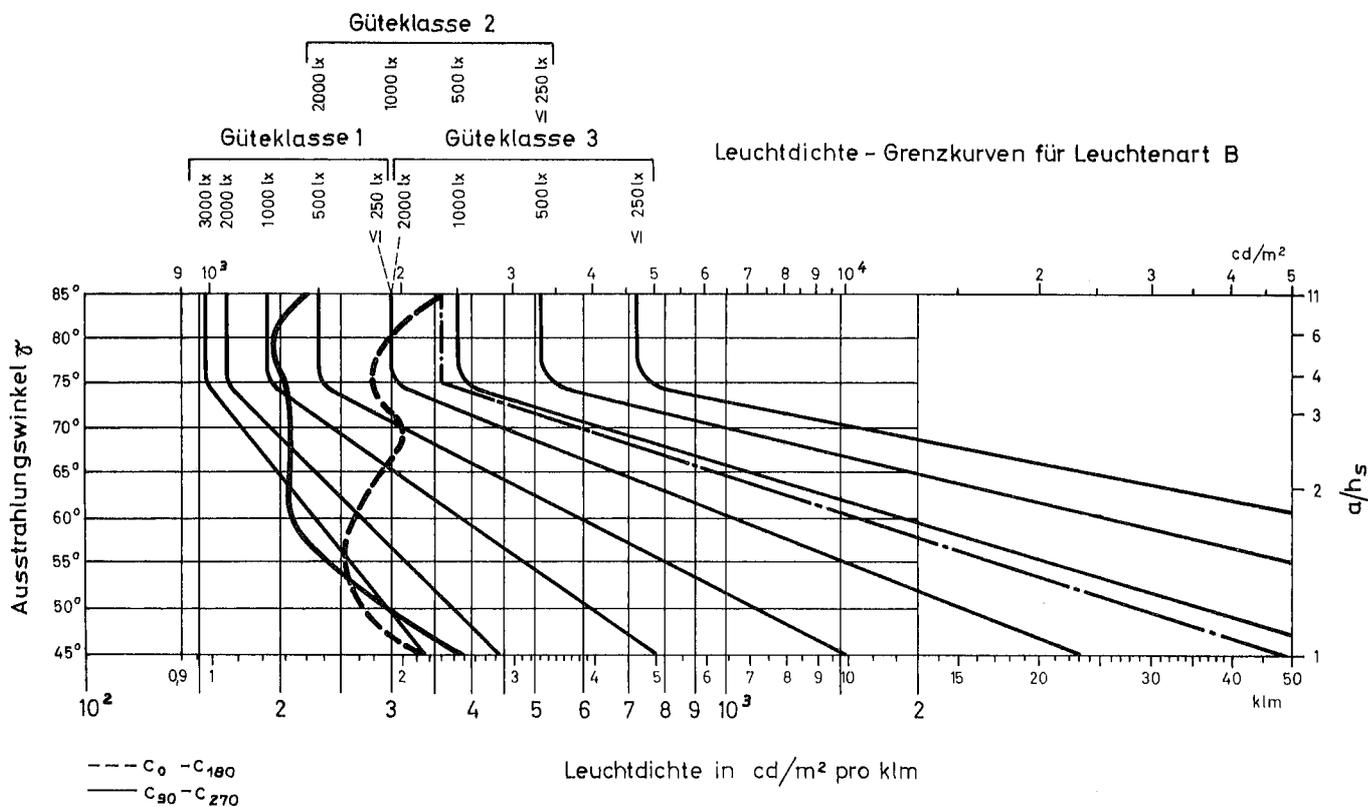


Bild 13: Leuchtdichtediagramm einer 2 x 65 W Wannenleuchte mit 6,48 klm Leuchten-Betriebslichtstrom im Vergleich mit den Leuchtdichtegrenzkurven für Leuchtenart B.

3.2.2. Graphische Interpolation zur Ermittlung von Leuchtdichtegrenzkurven bei beliebigen Beleuchtungsstärken

In der DIN 5035 sind Leuchtdichtegrenzkurven nur für fünf diskrete Nennbeleuchtungsstärken (250 lx, 500 lx, 1000 lx, 2000 lx und 3000 lx) angegeben. In der Tabelle 1 der Norm und in den „Speziellen Empfehlungen für verschiedene Beleuchtungsaufgaben“ (DIN 5035, Blatt 2) wurden jedoch auch andere Nennbeleuchtungsstärken empfohlen.

Das universelle Verfahren bietet die Möglichkeit, Leuchtdichtegrenzkurven für jede beliebige Beleuchtungsstärke aufzustellen.

Zur Berechnung der Leuchtdichtegrenzkurven wurde ein analytisches Approximationsverfahren angegeben (10). Es basiert auf der Überlegung, daß jede Grenzkurve der Norm (Bilder 9 und 10) aus zwei sich schneidenden Geraden besteht.

Eine Gerade gilt für den Winkelbereich $75^\circ \leq \gamma \leq 85^\circ$, die andere für den Bereich $45^\circ \leq \gamma \leq 75^\circ$. Durch die Angabe der Leuchtdichten bei $\gamma = 75^\circ$ und $\gamma = 45^\circ$ ist jede Leuchtdichtegrenzkurve eindeutig definiert.

Diese Leuchtdichten in cd/m^2 lassen sich nach folgender Gleichung berechnen:

$$\lg L(G, E_n, p) = \lg L_0 + c(G - \Delta G)^2$$

Dabei sind: G Blendungsgrad

E_n Nennbeleuchtungsstärke

p Prozentsatz der für den gewählten Blendungsgrad zufriedengestellten Beobachter

L_0 Leuchtdichte für $G = 0$

Die Konstanten L_0 und c sind in der folgenden Tabelle aufgeführt:

Leuchtenart bzw. -anordnung	γ	L_0	c
A	45°	$1,5 \cdot 10^3$	0,40
	75°	$1,0 \cdot 10^3$	0,15
B	45°	$1,275 \cdot 10^3$	0,26
	75°	$0,85 \cdot 10^3$	0,07

Die Abhängigkeit der Leuchtdichtegrenzkurven von der Güteklasse ist durch den Blendungsgrad G gegeben, die Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke und vom Prozentsatz der zufriedengestellten Beobachter durch ΔG -Werte.

Die in der Norm angegebenen, auf 50 % zufriedengestellte Beobachter bezogenen, Leuchtdichtegrenzkurven sind nach folgender Näherungsgleichung errechnet worden:

$$\lg L(G, E_n) = \lg L_0 + c \left(G - 1,16 \lg \frac{E_n}{1000} \right)^2$$

Die zur Zeichnung der Grenzkurven notwendigen Leuchtdichten können aus einem graphischen System (11) direkt abgelesen werden, das aus dem analytischen Verfahren entwickelt wurde.

Für die beiden Leuchtenarten und -anordnungen A und B wurden zwei Diagramme (Bild 14, 15) aufgestellt, in denen die Leuchtdichten L_{75° und L_{45° in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke 250 lx – 2000 lx bzw. 3000 lx für die Güteklassen 1, 2 und 3 aufgetragen sind. Hiermit lassen sich die Leuchtdichtegrenzkurven für jede beliebige Beleuchtungsstärke im angegebenen Bereich ermitteln.

Die Formeln und Interpolationsverfahren, die in der Schrift zur genauen Ermittlung der Leuchtdichtegrenzkurven unter verschiedenen Bedingungen angegeben sind, dürfen nicht als Ausdruck mathematischer Genauigkeit des Verfahrens zur Blendungsbegrenzung aufgefaßt werden. Sie sollen lediglich gewährleisten, daß überall die gleichen, reproduzierbaren Leuchtdichtegrenzkurven verwendet werden.

Beispiel

Es soll untersucht werden, bis zu welcher Beleuchtungsstärke die in Kapitel 3.2.1. angenommene Leuchte bei der dort angegebenen Bestückung blendungsmäßig uneingeschränkt einsetzbar ist.

Nach Bild 13 hat die Leuchte in der $C_0 - C_{180}$ -Ebene ihre maximale Leuchtdichte bei $\gamma = 85^\circ$: $L_{85^\circ} = 2,3 \cdot 10^3 \text{ cd/m}^2$. Dies ist gleichzeitig der Wert L_{75° der gesuchten Grenzkurve, da die Grenzleuchtdichte für

Leuchtenart A

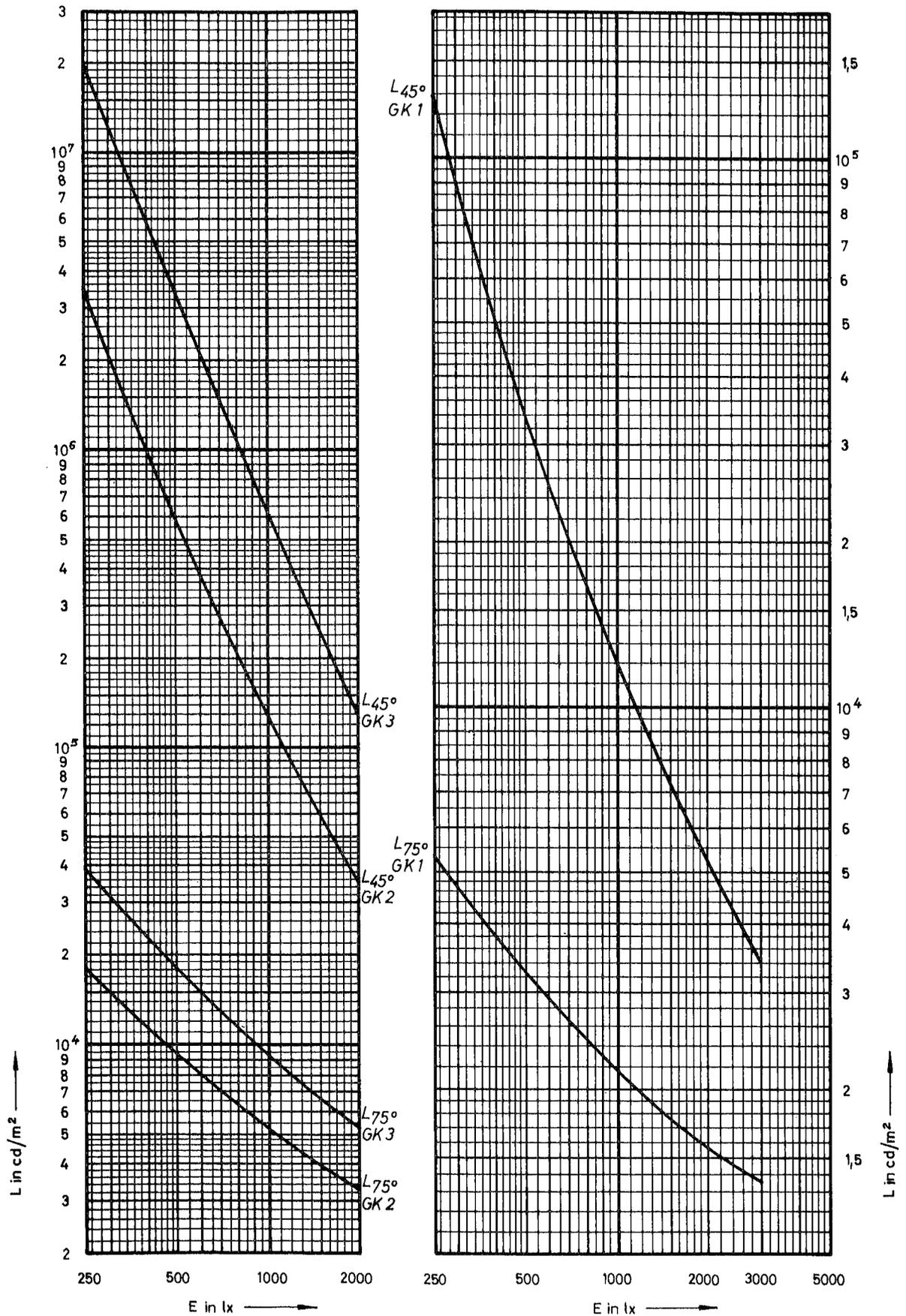


Bild 14: Diagramm zur graphischen Bestimmung der Leuchtdichten L_{45° und L_{75° für beliebige Beleuchtungsstärken für die Leuchtenart und Anordnung A.

Leuchtenart B

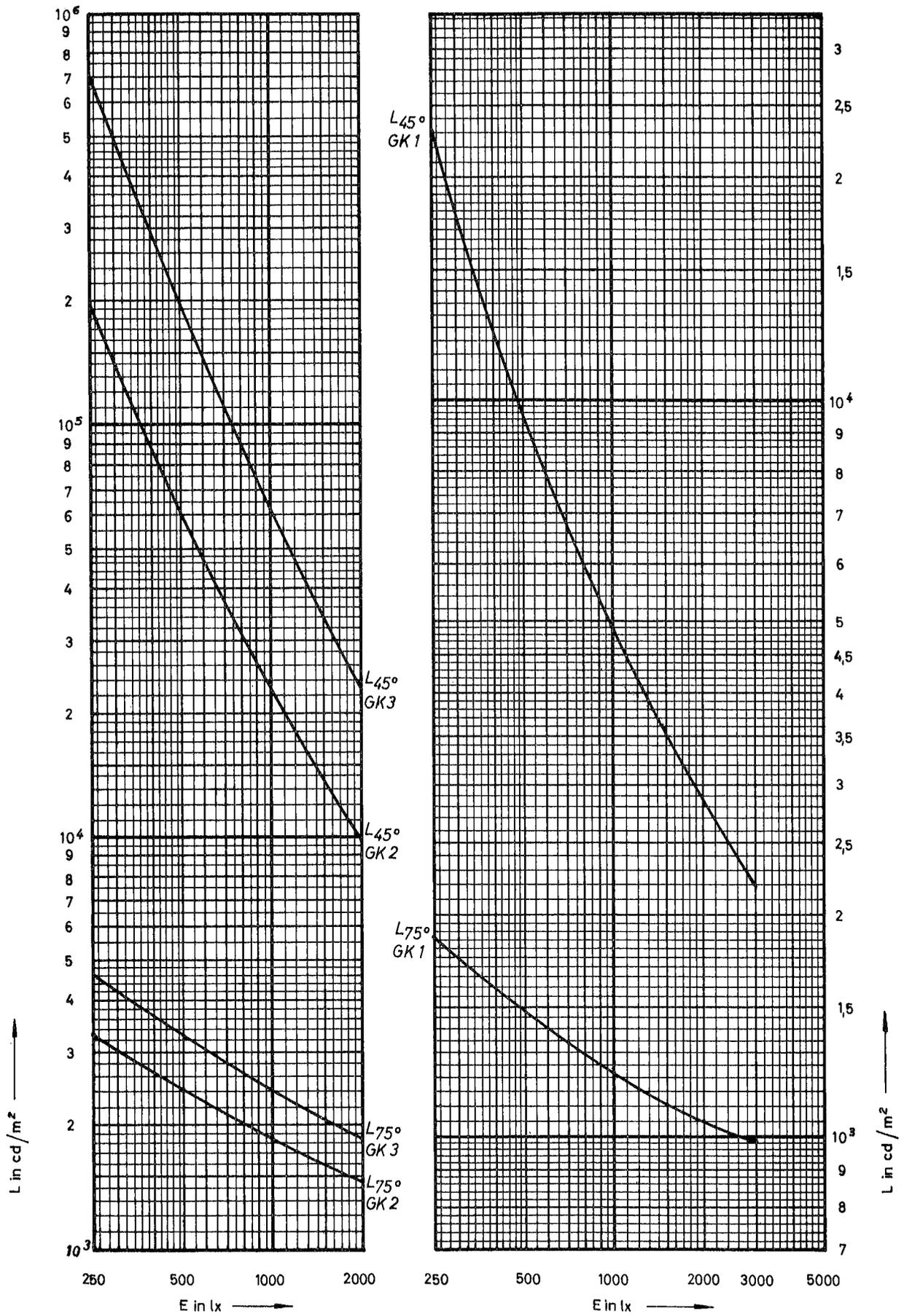


Bild 15: Diagramm zur graphischen Bestimmung der Leuchtdichten L_{45° und L_{75° für beliebige Beleuchtungsstärken für die Leuchtenart und Anordnung B.

Ausstrahlungswinkel größer als 75° unverändert bleibt. Nach Bild 15 ergibt sich für Leuchtenart B für diese Leuchtdichte $L_{85^\circ} = 2,3 \cdot 10^3 \text{ cd/m}^2$ aus den Kurven für L_{75° für die Güteklasse 2 eine Nennbeleuchtungsstärke $E_n = 600 \text{ lx}$ und für die Güteklasse 3 $E_n = 120 \text{ lx}$. Die Leuchte kann also bei Anforderungen nach Güteklasse 2 uneingeschränkt bis zu einer Nennbeleuchtungsstärke von 600 lx eingesetzt werden.

Zum Zeichnen der Grenzkurve für $E_n = 600 \text{ lx}$ bei Güteklasse 2, was einer Nennbeleuchtungsstärke $E_n = 1200 \text{ lx}$ bei Güteklasse 3 entspricht, wird in Bild 15 aus der L_{45° -Kurve für die Güteklasse 2 bei $E_n = 600 \text{ lx}$ der Wert $L_{45^\circ} = 4,75 \cdot 10^4 \text{ cd/m}^2$ ermittelt. Derselbe Wert ergibt sich für die Güteklasse 3 bei $E_n = 1200 \text{ lx}$. Die Grenzkurve ist in die Bilder 12 und 13 strichpunktiert eingezeichnet.

3.3. Zuordnung der Leuchten zur Leuchtenart und -anordnung A oder B

Nach den Leuchtdichtegrenzkurven A (Bild 1 in DIN 5035, Blatt 1) werden alle Decken-Einbau- und Anbauleuchten ohne leuchtende Seitenteile behandelt. Hierzu gehören auch alle Leuchten, deren leuchtende Seitenteile nicht höher als 30 mm sind (siehe DIN 5032, Blatt 4), gleichgültig, ob die Leuchten parallel oder quer zur Beobachtungsrichtung angeordnet sind und alle langgestreckten Leuchten mit leuchtenden Seitenteilen von mehr als 30 mm Höhe, die parallel zur Blickrichtung angeordnet sind.

Eine Leuchte gilt als langgestreckt, wenn das Seitenverhältnis ihrer horizontalen Lichtaustrittsfläche kleiner oder gleich $1 : 2$ ist (z. B. $1 : 6$).

Nach den Leuchtdichtegrenzkurven B (Bild 2 in DIN 5035, Blatt 1) werden alle Leuchten mit leuchtenden Seitenteilen, die höher als 30 mm sind, behandelt. Hierzu gehören u. a. quadratische, runde und bei Anordnung quer zur Blickrichtung auch langgestreckte Leuchten (z. B. freistrahrende Leuchten oder Wannenleuchten mit leuchtenden Seitenteilen mit Höhen über 30 mm). Sind leuchtende Seitenteile von undurchsichtigen Materialien unterbrochen, so gilt als Höhe c des leuchtenden Seitenteiles die Summe der Höhen $c_1, c_2 \dots$ der einzelnen leuchtenden Teilstücke (Bild 16). Besonderheiten werden in Abschnitt 3.4 behandelt.

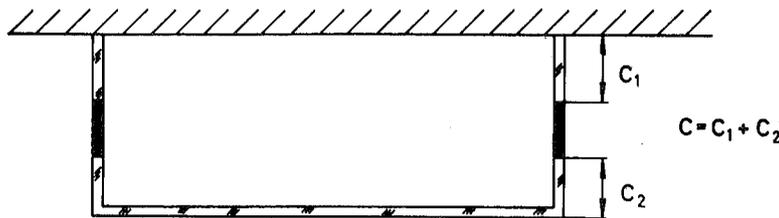


Bild 16: Zur Bestimmung der Höhe von leuchtenden Seitenteilen.

3.4. Ermittlung der Leuchtdichteverteilung von Leuchten

3.4.1. Grundsätzliches

Die mittlere Leuchtdichte $\bar{L}(\gamma)$ einer Leuchte wird durch Division der Lichtstärke $I(\gamma)$ durch die unter dem jeweiligen Ausstrahlungswinkel γ gesehene leuchtende Fläche ermittelt (DIN 5032, Blatt 4).

$$\bar{L}(\gamma) = \frac{I(\gamma)}{A_{1p}(\gamma) + A_{2p}(\gamma) + A_{3p}(\gamma)}$$

Als gesehene leuchtende Fläche (Bild 17) gilt grundsätzlich die Projektion der geometrischen Lichtaustrittsfläche A_p auf die zum Ausstrahlungswinkel γ senkrecht stehende Ebene.

Die Anteile der Teilflächen sind:

$$A_{1p}(\gamma) = 1 \cdot b \cdot \cos \gamma$$

$$A_{2p}(\gamma) = b \cdot c \cdot \sin \gamma$$

$$A_{3p}(\gamma) = 1 \cdot c \cdot \sin \gamma$$

Bei der Ermittlung der Leuchtdichteverteilung in der $C_0 - C_{180}$ -Ebene entfällt die Fläche $A_{3p}(\gamma)$, in der $C_{90} - C_{270}$ -Ebene die Fläche $A_{2p}(\gamma)$, da

$$A_{3p}(\gamma) = 0 \quad \text{in der } C_0 - C_{180}\text{-Ebene} \quad \text{und}$$

$$A_{2p}(\gamma) = 0 \quad \text{in der } C_{90} - C_{270}\text{-Ebene}$$

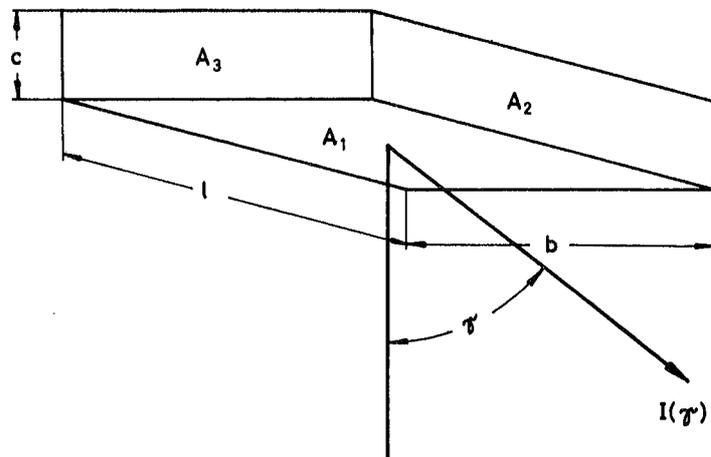


Bild 17: Definition der Teilflächen der leuchtenden Fläche einer Leuchte.

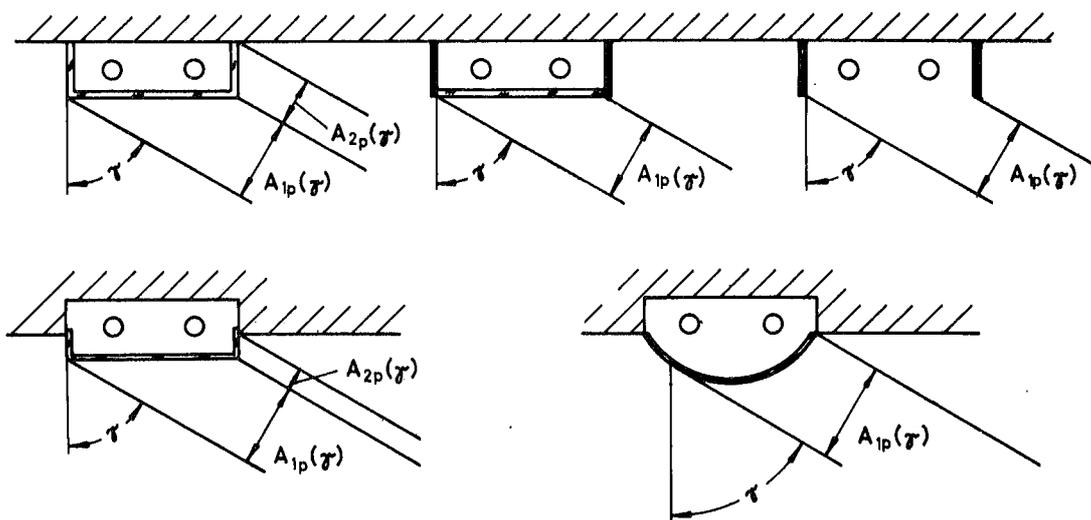


Bild 18: Zur Bestimmung der leuchtenden Fläche.

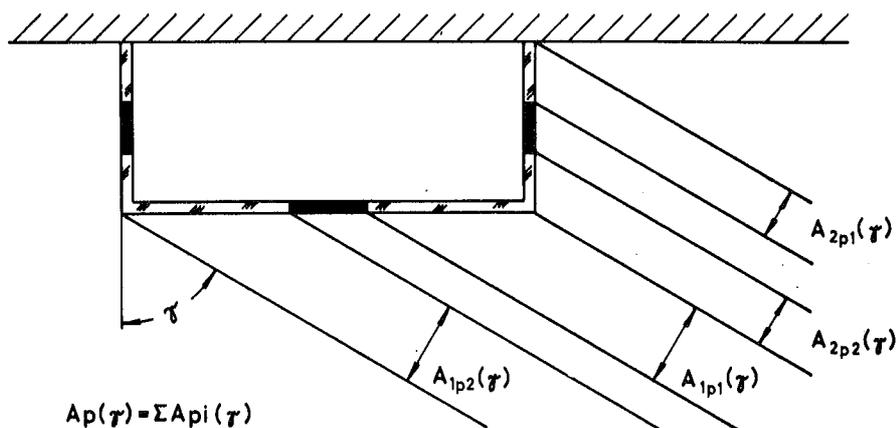


Bild 19: Zur Bestimmung der leuchtenden Fläche.

Die mittlere Leuchtdichte wird im Winkelbereich $45^\circ \leq \gamma \leq 85^\circ$ bestimmt. Unter diesen Winkeln muß demnach auch die gesehene leuchtende Fläche ermittelt werden.

Zur leuchtenden Fläche tragen alle leuchtenden Teile einer Leuchte bei, unabhängig von ihrer Größe und Neigung (Bild 18). Leuchtende Seitenteile werden also auch dann berücksichtigt, wenn ihre Höhe kleiner als 30 mm ist.

Lichtundurchlässige Teile, die Licht der Leuchte in Richtung zum Beobachteraue abschirmen, zählen nicht zur leuchtenden Fläche. Die gesehene leuchtende Fläche $A_p(\gamma)$ ist dann die Summe der leuchtenden Teilflächen $A_{pi}(\gamma)$ (Bild 19).

3.4.2. Freistrahkende Leuchten

Bei freistrahkenden Leuchten sind die Lampen nicht abgeschirmt. Als mittlere Leuchtdichte $\bar{L}(\gamma)$ gilt die auf den Nennlichtstrom bezogene Leuchtdichte der Lampe*, unabhängig davon, wie der Träger der Lampenfassungen beschaffen ist. Die Erhöhung der Leuchtdichte der Lampen bei gegenseitiger Anstrahlung in mehrlampigen Leuchten wird nicht berücksichtigt. Die Blendungsbewertung bei mehrlampigen freistrahkenden Leuchten wird deswegen für die einlampige Leuchte durchgeführt, d. h. es wird die Leuchtdichteverteilung der eingesetzten Lampe bewertet.

Bei freistrahkenden Leuchten, deren Lichtstärkeverteilung nach DIN 5032, Blatt 4, mit Hilfsdecke bzw. Hilfsecke gemessen werden muß (Bild 20), wird zur Blendungsbewertung ebenfalls die auf den Nennlichtstrom bezogene Leuchtdichte der Lampe benutzt.

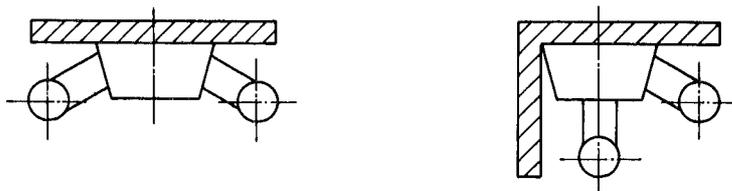


Bild 20: Freistrahkende Leuchten, bei denen bei der LVK-Messung Hilfsdecke bzw. Hilfsecke berücksichtigt werden muß.

Freistrahkende Leuchtstofflampenleuchten, die parallel zur Beobachtungsrichtung angeordnet sind, werden nach den Leuchtdichtegrenzkurven A bewertet. Sind sie quer zur Beobachtungsrichtung angeordnet, gelten die Grenzkurven B.

Bei allen anderen freistrahkenden Leuchten, z.B. für Glühlampen, Hochdruckgasentladungslampen**, werden die Lampen nach den Leuchtdichtegrenzkurven B bewertet.

3.4.3. Unten offene Leuchten und Leuchten mit klaren, nicht strukturierten Abdeckungen

Bei Leuchten, in denen im für die Direktblendung kritischen Ausstrahlungsbereich $45^\circ \leq \gamma \leq 85^\circ$ Lampen oder Teile von Lampen frei zu sehen sind, kann, insbesondere bei ungleichmäßig ausgeleuchteten Reflektoren usw., Blendung auftreten, auch wenn die mittlere Leuchtdichte der Leuchte $\bar{L}(\gamma)$ den Grenzkurven in DIN 5035 genügt. Daher sollte hier zusätzlich ein Mindestabschirmwinkel α eingehalten werden (Bild 21):

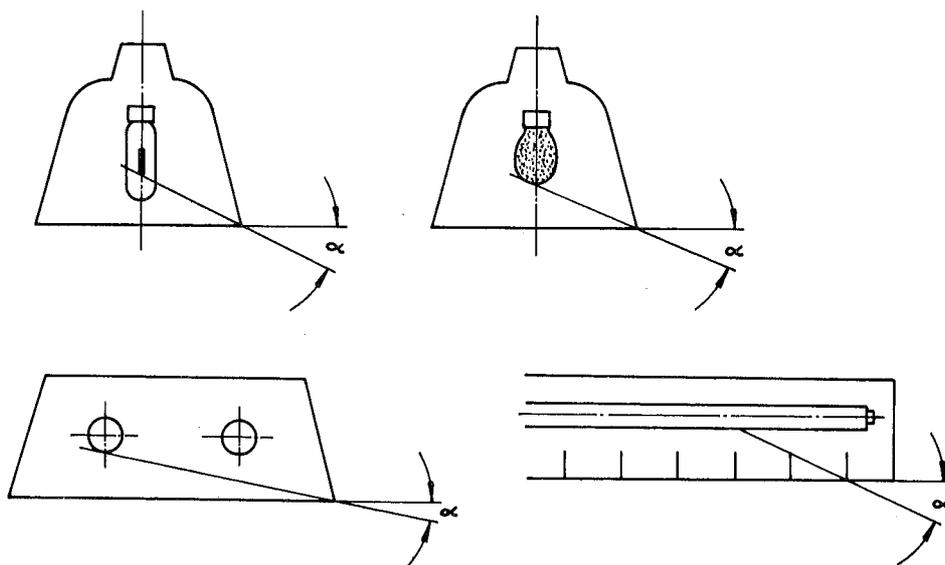


Bild 21: Zur Definition des Mindestabschirmwinkels α .

*) Die Leuchtdichteverteilungen der $C_0 - C_{180}$ - und $C_{90} - C_{270}$ -Ebenen verschiedener Leuchtstofflampen sind im Anhang 1 dargestellt.

**) Die Leuchtdichteverteilungen einiger typischer Hochdruckgasentladungslampen sind im Anhang 1 angegeben.

Die zugelassene Größe dieses Winkels ist abhängig von der Güteklasse der Blendungsbewertung und der mittleren Leuchtdichte der Lampen (Tabelle 1).

Güteklasse	Mittlere Leuchtdichte von Lampen in cd/cm^2		
	$\bar{L} \leq 2$	$2 < \bar{L} \leq 50$	$50 < \bar{L}$
1	10°	15°	30°
2	0°	5°	15°

Tabelle 1: Mindestabschirmwinkel α

Anmerkung: Die Tabelle 1 muß stets zusammen mit den Leuchtdichtegrenzkurven der DIN 5035 angewendet werden.

Wird der Mindestabschirmwinkel α nicht eingehalten, d. h. ist α kleiner als der in der Tabelle 1 angegebene Wert, so wird die Leuchte als freistrahrende Leuchte behandelt, d. h. es muß die Leuchtdichteverteilung $\bar{L}(\gamma)$ der Lampe bewertet werden (Abschnitt 3.4.2.).

Bei Reflektorleuchten ohne Stirnflächen wird nur die nach unten gerichtete Leuchtenöffnung A_1 als leuchtende Fläche gewertet (Bild 22).

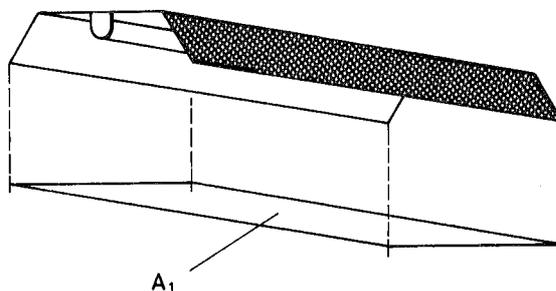


Bild 22: Zur Bestimmung der leuchtenden Fläche.

Leuchten mit klaren, nicht strukturierten Wannen bzw. Abdeckungen, deren Abschirmwinkel α nicht den Werten der Tabelle 1 entsprechen, gelten als freistrahrende Leuchten, d. h. es muß die Leuchtdichte der Lampen bewertet werden. Zu diesen Leuchten zählen manche Typen feuchtigkeits- oder explosionsgeschützter Leuchten (Bild 23).

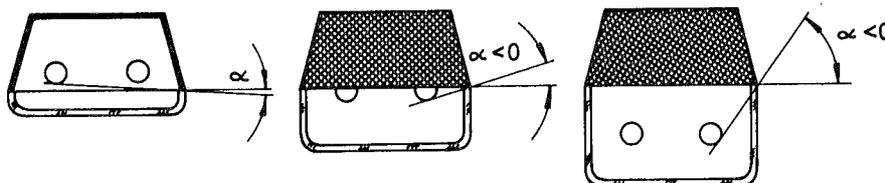


Bild 23: Abschirmwinkel α bei Leuchten mit klaren, nicht strukturierten Abdeckungen.

3.4.4. Leuchten mit Lichtaustrittsflächen nach oben

Bei Leuchten mit Lichtaustrittsflächen nach oben tragen oben befindliche angestrahlte Leuchtenbauteile und direkt oberhalb der Leuchte befindliche Deckenflächen wesentlich zur Lichtverteilung der Leuchte bei, wenn die Reflexionsgrade der angestrahlten Leuchtenbauteile bzw. Deckenflächen genügend hoch sind. Diese Leuchtenbauteile und Deckenflächen müssen daher bei der Ermittlung der Leuchtdichte für die Blendungsbewertung berücksichtigt werden. Hat das oben befindliche Leuchtenbauteil einen Reflexionsgrad $\rho \geq 0,6$, so zählt es zur leuchtenden Fläche (Bild 24).

Ist die Summe der Höhen der senkrechten leuchtenden Seitenteile größer oder gleich 30 mm (Bild 25), so werden zur Blendungsbewertung die Leuchtdichtegrenzkurven B verwendet.

Langgestreckte Leuchten dieser Art, die parallel zur Blickrichtung angeordnet sind, werden stets nach den Grenzkurven A behandelt.

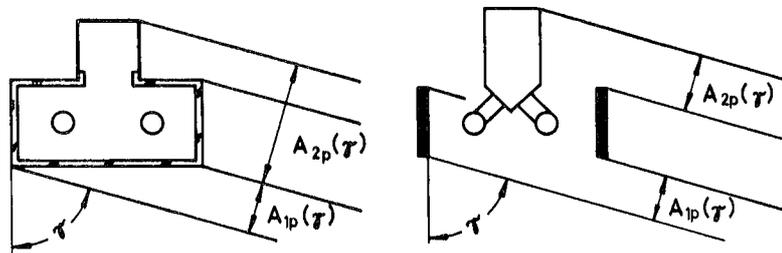


Bild 24: Zur Bestimmung der leuchtenden Fläche.

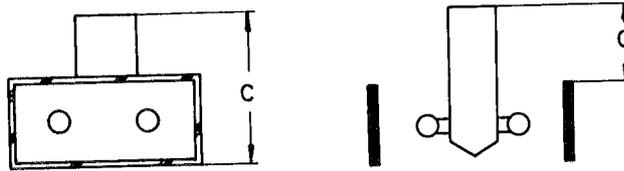


Bild 25: Zur Bestimmung der Höhe von leuchtenden Seitenteilen.

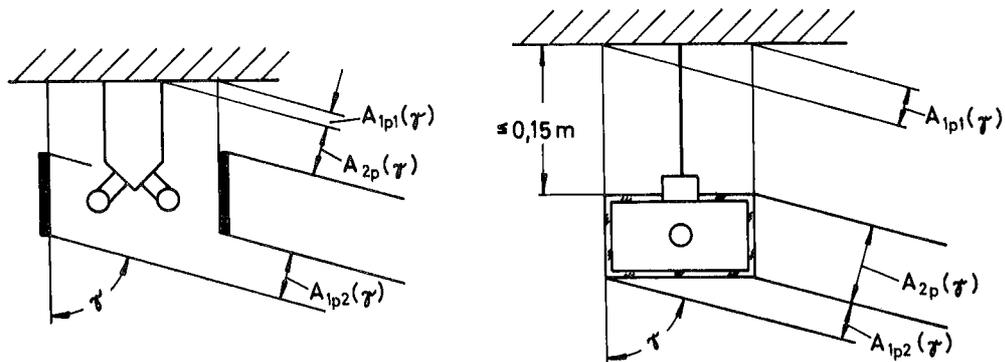


Bild 26: Zur Bestimmung der leuchtenden Fläche.

Ist der Abstand der nach oben gerichteten Lichtaustrittsfläche von der Decke kleiner oder gleich 0,15 m, so zählt die Deckenfläche, auf welche die senkrecht nach oben projizierte, nach oben gerichtete Lichtaustrittsfläche der Leuchte fällt, zur gesehenen leuchtenden Fläche, sofern ihr Reflexionsgrad $\rho \geq 0,6$ (DIN 5032, Blatt 4) ist. Diese Deckenfläche ist eine horizontale Lichtaustrittsfläche (Bild 26).

Hierzu gehören alle Leuchten, deren Lichtstärkeverteilung nach DIN 5032, Blatt 4, mit Hilfsdecke gemessen wird, mit Ausnahme der freistrahrenden Leuchten (Abschnitt 3.4.2.).

Der senkrechte Teil einer Hilfsdecke ist eine senkrechte Lichtaustrittsfläche.

Bei Leuchten, die sowohl als Decken- als auch als Pendelleuchte verwendet werden können, ist die Leuchtdichteverteilung der Leuchte sowohl mit als auch ohne Hilfsdecke anzugeben.

Ist in einer Beleuchtungsanlage der Abstand der nach oben gerichteten Lichtaustrittsfläche einer Leuchte von der Decke kleiner oder gleich 0,15 m, so ist für die Blendungsbewertung die Leuchtdichteverteilung der Leuchte mit Hilfsdecke zu verwenden, sofern die Decke des betreffenden Raumes einen Reflexionsgrad $\geq 0,6$ aufweist.

3.4.5. Leuchten mit Lampen hoher Leuchtdichte

Leuchten mit Lampen hoher Leuchtdichte (im allgemeinen Hochdruckgasentladungslampen) in hohen Räumen mit Lichtpunkthöhen* größer oder gleich 6 m werden wie alle anderen Leuchten behandelt. Die winkelabhängige mittlere Leuchtdichte $\bar{L}(\gamma)$ wird aus der Lichtstärke und der gesehenen leuchtenden Fläche ermittelt (8). Bei unten offenen oder mit klarem, nicht strukturiertem Material abgeschlossenen Leuchten ist auch der Abschirmwinkel α (Abschnitt 3.4.3.) zu beachten.

*) Lichtpunkthöhe: senkrechter Abstand zwischen Raumboden (nicht Nutzebene) und dem Mittelpunkt der Lampenanordnung der Leuchten.

Über die Bewertung der Blendung durch Leuchten mit Lampen hoher Leuchtdichte in Beleuchtungsanlagen mit Lichtpunkthöhen unter 6 m liegen bisher keine Untersuchungen vor. Es wird auch für diesen Fall empfohlen, das Blendungsbewertungssystem in der angegebenen Weise zu benutzen. Eventuell müssen später, wenn experimentelle Belege vorliegen, besondere Regeln eingeführt werden.

3.4.6. Leuchten in Lichtbandanordnung

Werden Leuchten mit leuchtenden Stirnflächen (z. B. Leuchten mit diffus leuchtenden Wannen) zu Lichtbändern unmittelbar aneinandergereiht, so sind die leuchtenden Stirnflächen nicht sichtbar (Ausnahme: Anfang des Lichtbandes). Sie sollten dementsprechend bei der Ermittlung der Leuchtdichte in der $C_{90} - C_{270}$ -Ebene weder mit ihrer Fläche noch mit ihrer Lichtstärke berücksichtigt werden.

3.4.7. Abschirmung der Leuchten durch bauliche Gegebenheiten

Werden Teile der leuchtenden Fläche der Leuchten durch bauliche Gegebenheiten abgeschirmt, so sind diese Teile bei der Blendungsbewertung der Leuchte nicht zu berücksichtigen. Sie entfallen demnach bei der Ermittlung der leuchtenden Fläche. Üblicherweise werden solche Leuchtenmodifikationen nicht in Katalogen dokumentiert.

Sind die leuchtenden Flächen der Leuchten völlig oder nahezu durch bauliche Gegebenheiten verdeckt (z. B. bei Großrasterdecken), so kann das Verfahren der Blendungsbegrenzung in DIN 5035 nicht angewendet werden (siehe Abschnitt 3.10.).

Auch für Beleuchtungsanlagen mit indirekt strahlenden Pendelleuchten, deren nach oben gerichtete Lichtaustrittsfläche weiter als 0,15 m von der Decke entfernt ist bzw. bei Reflexionsgraden der Decke kleiner als 0,6 (siehe Abschnitt 3.4.4.), kann das Verfahren nur angewendet werden, wenn der Indirektanteil der Beleuchtungsstärke kleiner ist als 40 % der Gesamtbeleuchtungsstärke.

3.5. Einfluß des Leuchtenumfeldes

Bei manchen Leuchten, z. B. solchen mit leuchtenden Seitenteilen, wird das unmittelbare Leuchtenumfeld aufgehellt. Durch die Interflexion des Lichtes im Raum erhöht sich außerdem die Leuchtdichte der leuchtenden Fläche der Leuchte. Beide Effekte sind bei der Bestimmung der mittleren Leuchtdichte einer Leuchte zur Blendungsbewertung nicht zu berücksichtigen, denn sie sind in den subjektiven Blendungsbewertungen bereits enthalten, die zur Aufstellung des Systems zur Blendungsbewertung führten (1).

3.6. Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen

Das System der Blendungsbewertung wurde aufgrund von Untersuchungen entwickelt, die in Räumen durchgeführt wurden, deren Begrenzungsflächen und Einrichtungen einen bestimmten Bereich von Reflexionsgraden einschlossen (siehe Abschnitt 2.2.1.). Bei etwas höheren Reflexionsgraden ist eine etwas geringere Blendung zu erwarten, bei etwas niedrigeren Reflexionsgraden eine etwas höhere. Für die Beleuchtungspraxis ist die Blendungsbewertung nach dem in DIN 5035, Blatt 1, angegebenen Verfahren begrenzender Leuchtdichtekurven jedoch ausreichend genau.

In Räumen mit dunkler Decke — $\rho_{\text{Decke}} < 0,3$ (das ergibt in einem konventionell eingerichteten Großraum mit nach unten strahlenden Leuchten bei einer Nennbeleuchtungsstärke von 1000 lx Deckenleuchtdichten kleiner als 20 cd/m^2) — soll zur Blendungsbegrenzung jeweils die zur nächsthöheren Nennbeleuchtungsstärke gehörende Leuchtdichtegrenzkurve eingehalten werden. Ist z. B. für einen Raum mit dunkler Decke eine Nennbeleuchtungsstärke von 1000 lx geplant, so soll die Leuchtdichte der Leuchten die Leuchtdichtegrenzkurve für 2000 lx nicht überschreiten.

3.7. Verschiedene Leuchtentypen in einem Raum

Sind in einem Raum verschiedene Leuchtentypen installiert (z. B. Leuchten für Leuchtstofflampen und Leuchten für Hochdrucklampen), so wird jeder Leuchtentyp für die durch ihn erzeugte Nennbeleuchtungsstärke bewertet.

3.8. Aneinandergrenzende Räume verschiedener Güteklassen

Grenzen Räume, für die unterschiedliche Güteklassen der Blendungsbegrenzung empfohlen werden, so aneinander, daß die an ihrem Arbeitsplatz befindlichen Personen Leuchten des angrenzenden Raumes sehen können, so müssen diese Leuchten mindestens der Güteklasse entsprechen, die für den Raum, in dem sich die Arbeitsplätze befinden, gefordert wird. Als Nennbeleuchtungsstärke gilt die des Raumes mit den höheren Güteanforderungen.

Beispiel: Arbeitsraum für Feinmontage mit angrenzendem, durch eine im oberen Teil verglaste Wand, abgetrennten Flur.

3.9. Einfluß der Lichtfarbe

Der Einfluß der Lichtfarbe auf die Blendung in Innenräumen wurde bisher nicht speziell untersucht. Die Modellräume, in denen die Blendungsbewertungen als Basis des Systems von Leuchtdichtegrenzkurven durchgeführt wurden, waren mit Lampen der Lichtfarbe neutralweiß (nw) beleuchtet. Die wirklichen Räume, die zur Überprüfung des Bewertungssystems subjektiv bewertet wurden, waren mit Leuchtstofflampen der Lichtfarben warmweiß (ww) und neutralweiß (nw) der Farbwiedergabestufen 1, 2 und 3 beleuchtet. In den untersuchten Industriehallen waren Halogenmetaldampflampen mit Leuchtstoff der Lichtfarbe tageslichtweiß (tw) der Farbwiedergabestufe 1 eingesetzt. Ein Vergleich der Beurteilungsergebnisse mit Ermittlungen der Blendung nach den Grenzkurven zeigte keine Tendenz eines Einflusses der Lichtfarbe auf den Blendungsgrad.

3.10. Leuchtende Decken

In DIN 5035, Blatt 1, wird die Leuchtdichte leuchtender Decken im für die Blendung kritischen Ausstrahlungswinkelbereich auf 500 cd/m^2 begrenzt. Diese sehr vereinfachende Betrachtungsweise wird der Vielfalt der Bauarten leuchtender Decken — man denke z. B. an dreidimensionale Deckensysteme — nicht gerecht. Das Problem der Blendungsbewertung bei leuchtenden Decken soll in einer besonderen LiTG-Schrift behandelt werden.

4. Darstellung der Blendungsbegrenzung in der Leuchtendokumentation

In den Dokumentationen und Projektierungsunterlagen der einzelnen Leuchtenhersteller ist die Blendungsbegrenzung auf sehr unterschiedliche Art und Weise dargestellt worden. Die unterschiedlichen Darstellungsweisen erschweren dem Anwender das Blendungsbegrenzungsverfahren zusätzlich. Es ist daher erwünscht, in allen Leuchtendokumentationen die Blendungsbegrenzung in einer einheitlichen Darstellungsart anzugeben.

Das auf der DIN 5035-Darstellung aufbauende universelle Verfahren (Abschnitt 3.2.1.) eignet sich aufgrund seiner Vielseitigkeit besonders für ausführliche Planungsunterlagen.

Für die Leuchtendokumentation wird dagegen eine vereinfachte Darstellung der Blendungsbegrenzung in tabellarischer Form vorgeschlagen. Der Vorteil einer Tabelle besteht in der einfachen Ablesbarkeit. Eine Interpolation zwischen einzelnen Werten ist jedoch schwierig. Bei einer vereinfachten Darstellung in graphischer Form können alle Zwischenwerte abgelesen werden.

4.1. Vereinfachte Darstellung in tabellarischer Form

Die tabellarische Darstellung der Blendungsbegrenzung einer Leuchte stellt das Ergebnis der Auswertungen des Blendungsbegrenzungsverfahrens — also der universellen Darstellung — dar. Dem Anwender wird damit u. a. der für den Ungeübten nicht leichte Vergleich der Leuchtdichteverteilungskurven der Leuchte mit den Grenzkurven und die Entscheidung, ob die Leuchte zur Leuchtenart A oder B gehört, abgenommen. Diese vereinfachte Darstellung soll auf die Praxis zugeschnitten und daher für die Größen und Bedingungen aufgestellt sein, für die die Leuchte am häufigsten eingesetzt wird, z. B.

Bezugnahme auf den üblichen Betriebszustand der Leuchte, z. B. nur für unbelüftete Leuchten

Bezugnahme auf zwei bis drei Lichtströme, d. h. Auswahl der Lichtfarbe der eingesetzten Lampen

Bezugnahme auf die wichtigsten Bestückungen (z. B. 4 x 20 W, 2 x 40 W, 2 x 65 W)

Blendungsbegrenzung nach DIN 5035

Güteklasse	Nennbeleuchtungsstärke in lx						
	2000	1000	500	≈ 250	500	≈ 250	≈ 250
1							
2			2000	1000	500	≈ 250	
3				2000	1000	500	≈ 250
Lichtfarbe							
	parallel						
	quer						
	parallel						
	quer						
	parallel						
	quer						
	parallel						
	quer						
	parallel						
	quer						
	parallel						
	quer						

-  Blendung
-  Keine Blendung bis zum angegebenen Wert a/h_s
-  Keine Blendung bei beliebigen Werten a/h_s

Bild 27: Tabellarische Darstellung der Blendungsbewertung.

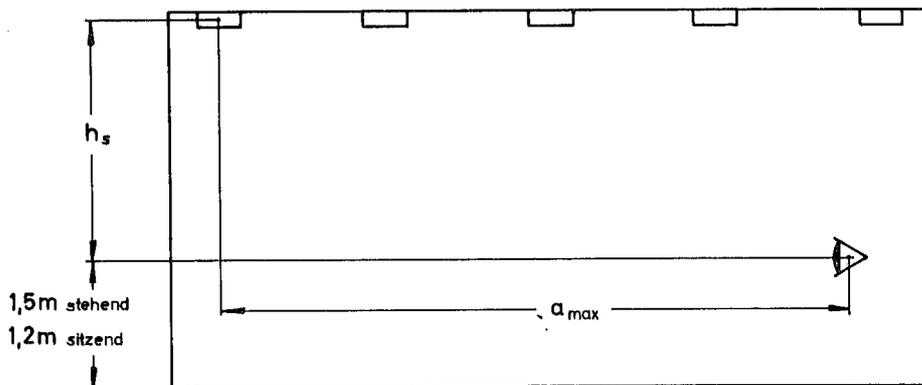


Bild 28: Zur Definition von h_s und a_{max} .

Bild 27 zeigt den Vorschlag zur tabellarischen Darstellung. Die Tabelle ist so ausgelegt, daß aus ihr der maximal zulässige Abstand a_{max} als Vielfaches der Höhe h_s der Leuchte über dem Beobachterauge (siehe Bild 28) abgelesen werden kann. a_{max} ist der Abstand der vom Beobachter am weitesten entfernten, für ihn wirksamen Leuchte und ist somit ein Maß für die zulässige Länge bzw. Breite des Raumes. a_{max} ist abhängig davon, ob die Leuchtenlängsrichtung parallel oder quer zur Blickrichtung verläuft. Für den gerasterten Bereich der Tabelle erfüllt die Leuchte die Blendungsbegrenzung nach DIN 5035 nicht. Die Zahlenwerte geben an, bis zu welchen a/h_s -Werten die Leuchte einsetzbar ist. „*“ bedeutet, daß die Leuchte für beliebig große Räume uneingeschränkt eingesetzt werden kann.

Bei Mehrfarbendruck könnte die Rasterung bzw. das Symbol „*“ durch Farben ersetzt werden, z. B. „rot“ für nicht zulässig und „grün“ für uneingeschränkt zulässig.

Beispiel: In Bild 29 ist für das Beispiel von Abschnitt 3.2. die Blendungsbegrenzung in tabellarischer Form angegeben.

Güteklasse		Nennbeleuchtungsstärke in lx							
1		2000	1000	500	≤ 250				
2				2000	1000	500	≤ 250		
3					2000	1000	500	≤ 250	
Lichtfarbe		25	25	25	25	25	25	25	25
Leuchte nach Beispiel in 3.2.1 2 x L 65 W	parallel	*	*	*	*	*	*	*	*
	quer	1,8	2,25	2,75	6,0	*	*	*	*
	parallel								
	quer								
	parallel								
	quer								
	parallel								
	quer								
	parallel								
	quer								
	parallel								
	quer								

-  Blendung
-  Keine Blendung bis zum angegebenen Wert a/h_s
-  Keine Blendung bei beliebigen Werten a/h_s

Bild 29: Tabellarische Darstellung der Blendungsbewertung für die Wannenleuchte aus Abschnitt 3.2.1.

4.2. Vereinfachte Darstellung in graphischer Form

Ähnlich wie die vereinfachte Darstellung in tabellarischer Form ist die graphische Form (Bild 30) das Ergebnis der Auswertung des Blendungsbegrenzungsverfahrens.

Der Begriff Leuchtdichte tritt hier wie bei der tabellarischen Darstellung nicht mehr auf. Die Unterscheidung in Leuchtenart A oder B bleibt erhalten; es ist jedoch auch möglich, anstelle der Bezeichnungen „A“ oder „B“ bei den Kurven direkt anzugeben, ob die Leuchtenlängsrichtung „parallel“ oder „quer“ zur Blickrichtung verläuft.

In den Diagrammen wird für jede Leuchtenart (A oder B) eine Anwendungskurve angegeben, die jeweils für einen Lampenlichtstrom gilt.

Die Diagramme sagen aus, für welche maximale Nennbeleuchtungsstärke eine Leuchte bestimmter Bestückung, bestimmten Lichtstromes usw. anwendbar ist in Abhängigkeit von der Güteklasse der Blendungsbegrenzung und von dem Verhältnis a/h_s (Bild 28). Für den sitzenden Menschen (Augenhöhe: 1,20 m) und eine Raumhöhe $h = 3$ m ist parallel zur a/h_s -Achse eine Skala der Abstände a in m angegeben. Damit ist es für diesen häufig vorkommenden Fall möglich, für eine bestimmte Raumlänge bzw. Breite a in m die für die Leuchte höchstzulässige Nennbeleuchtungsstärke unmittelbar abzulesen.

Das Entstehen der Diagramme aus den Leuchtdichtegrenzkurven und den Leuchtdichteverteilungskurven ist in Bild 30 gezeigt. In Bild 31 ist das Diagramm für das Beispiel von Abschnitt 3.2. angegeben.

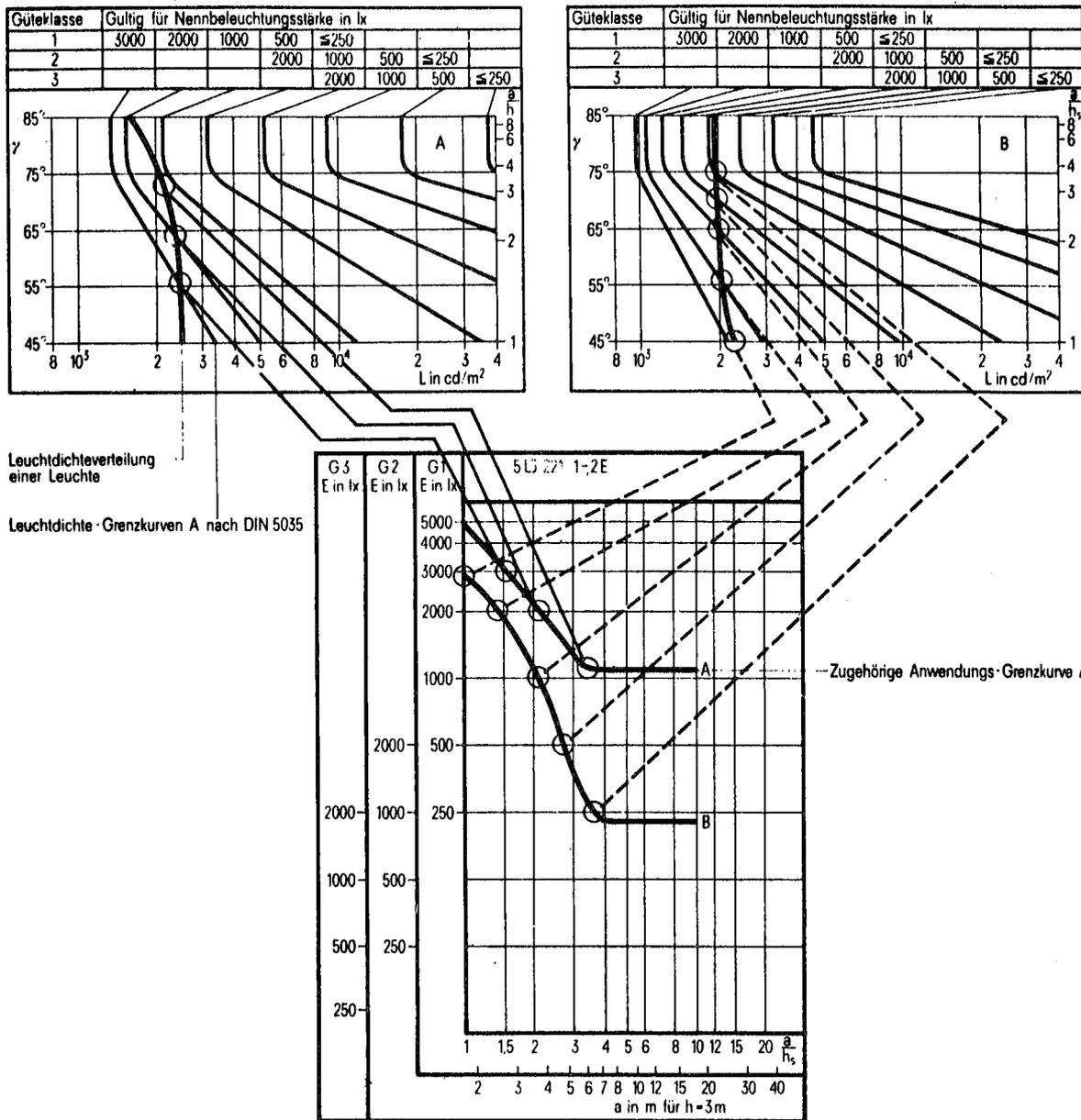


Bild 30: Zur Entwicklung der graphischen Darstellung der Blendungsbewertung (G bedeutet GK).

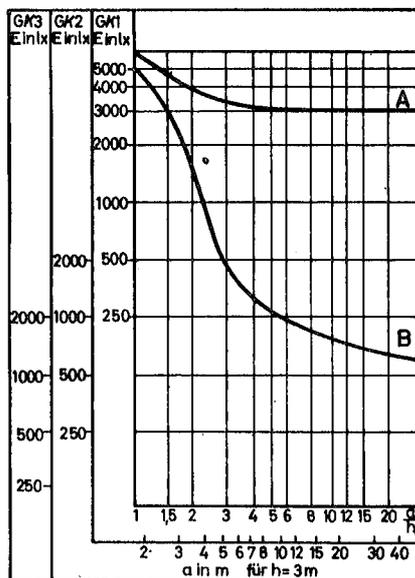


Bild 31: Anwendungsdiagramm der vereinfachten Darstellung der Blendungsbewertung in graphischer Form für eine Wannenleuchte mit leuchtenden Seitenteilen (Höhe > 0,03 m), Beispiel aus Abschnitt 3.2.1).

5. Überprüfung von Beleuchtungsanlagen

Es gibt folgende Möglichkeiten festzustellen, ob die Güteforderungen hinsichtlich der Blendungsbegrenzung nach DIN 5035 bei einer fertig installierten Beleuchtungsanlage eingehalten werden:

1. Beurteilung nach Dokumentationsunterlagen der Lieferfirma für die Leuchten
2. Meßtechnische Überprüfung einer aus der Beleuchtungsanlage ausgebauten Leuchte
3. Messung der Leuchtdichteverteilung der Leuchte in der Anlage

Die dritte Möglichkeit hat nur orientierenden Charakter.

Bei allen drei Verfahren ist es erforderlich, die Nennbeleuchtungsstärke der Anlage zu kennen.

Bei einer neuen Anlage ist die Nennbeleuchtungsstärke E_n im allgemeinen bekannt. Ist dies nicht der Fall, muß sie meßtechnisch aus der mittleren Beleuchtungsstärke \bar{E} der Anlage ermittelt werden ($E_n = 0,8 \times \bar{E}$).

Bei einer älteren Anlage ist die Bestimmung der Nennbeleuchtungsstärke schwierig, da meistens nicht bekannt ist, in welchem Betriebszustand sich die Anlage befindet (Verminderung des Lichtstromes durch Alterung der Lampen, durch Verschmutzung der Lampen und Leuchten; Verminderung des Raumwirkungsgrades durch Verschmutzung der Raumbegrenzungsflächen). Hier kann als Näherungswert anstelle der Nennbeleuchtungsstärke die meßtechnisch bestimmte mittlere Beleuchtungsstärke verwendet werden.

5.1. Beurteilung nach Dokumentationsunterlagen der Lieferfirma für die Leuchten

Es müssen folgende Angaben vorhanden sein:

E_n

Raumabmessungen

Maximal auftretende Verhältnisse a/h_s (Bild 8) bei Blickrichtung parallel bzw. quer zur Leuchtenlängsachse

Leuchtedichteverteilungskurven der $C_0 - C_{180}$ - und $C_{90} - C_{270}$ -Ebenen in den Leuchtdokumentationen. Sind nur Lichtstärkeverteilungskurven angegeben, müssen die Leuchtdichteverteilungskurven unter Berücksichtigung der gesehenen leuchtenden Fläche nach Abschnitt 3.4. berechnet werden.

Die Leuchtdichteverteilungskurven müssen dann verglichen werden mit den Leuchtdichtegrenzkurven der DIN 5035 unter Berücksichtigung der Güteklasse und der Nennbeleuchtungsstärke.

Ist die Blendungsbewertung der Leuchtdokumentation für die entsprechende Leuchte in tabellarischer Form angegeben, kann sofort abgelesen werden, ob die Güteforderung bezüglich der Blendung erfüllt ist.

5.2. Meßtechnische Überprüfung einer aus der Beleuchtungsanlage ausgebauten Leuchte

Diese Art der Überprüfung muß immer dann angewendet werden, wenn keine technische Dokumentation über die Leuchten und die Beleuchtungsanlage vorhanden ist.

Die auszubauende Leuchte muß repräsentativ für die in der Anlage eingesetzten Leuchten sein. Es empfiehlt sich, durch Leuchtdichtemessungen an den Leuchten bzw. Lampen in den Leuchten eine für den Raum repräsentative Leuchte zu ermitteln. Diese muß ausgebaut, ihre Lichtstärkeverteilung in den $C_0 - C_{180}$ - und $C_{90} - C_{270}$ -Ebenen gemessen und daraus die Leuchtdichteverteilung berechnet werden.

5.3. Messung der Leuchtdichteverteilung der Leuchte in der Anlage

Die Leuchtdichte der Leuchten in einer Anlage ist durch den Interflexionsanteil der Raumbeleuchtung höher als die Leuchtdichte der im Labor gemessenen Leuchte. Nach dem Verfahren in DIN 5035 wird die Leuchtdichteverteilung jedoch ohne diesen Einfluß zur Blendungsbewertung verwendet. Aus diesem Grunde kann die Nachmessung der Leuchtdichteverteilung einer Leuchte in einer Anlage nur orientierenden Charakter haben, d.h. wenn die so bestimmten Leuchtdichten den Anforderungen der DIN 5035 genügen, wird die Anlage sicherlich „blendfrei“ sein. Eine andere Aussage kann mit dieser Methode nicht getroffen werden. Überdies ist die Leuchte im allgemeinen in einem Betriebszustand, der nicht mit dem übereinstimmt, in dem die Lichtstärkeverteilung der Leuchte nach DIN 5032, Blatt 4, gemessen werden muß.

6. Das Verfahren zur Blendungsbegrenzung im CIE-Guide on Interior Lighting

Der „Guide on Interior Lighting“ (12) enthält ein vorläufiges System zur Blendungsbegrenzung (Interim Glare Limiting System), das jedoch nicht die umfassenderen Systeme (z. B. das Verfahren nach DIN 5035) ersetzen soll, die in verschiedenen Ländern in Gebrauch sind. Das „Interim Glare Limiting System“ soll später durch ein offizielles CIE-Blendungsbewertungssystem ersetzt werden, das von dem für Blendungsprobleme zuständigen Technischen Komitee TC 3.4 „Psychologische Blendung“ aufzustellen ist.

Das „Interim Glare Limiting System“ ist dem in DIN 5035, Blatt 1, enthaltenen System ähnlich. Es enthält für drei Güteklassen der Blendungsbegrenzung (I, II*, III*), die den Blendungsgraden 1.15, 1.5 und 2.2 des Systems begrenzender Leuchtdichtekurven entsprechen (Abschnitt 2.), Grenzwerte der mittleren Leuchtdichte der Leuchten für die Ausstrahlungswinkel $\gamma = 85^\circ$, 75° , 65° und 55° . Die Leuchtdichtegrenzwerte sind in Tabellenform für zwei Nennbeleuchtungsstärkebereiche, nämlich „750 lx und mehr“ und „500 lx und weniger“ angegeben. Für die Einteilung nach Leuchtenart bzw. Montagerichtung der Leuchten in bezug auf die Beobachtungsrichtung gilt:

„Langgestreckte Leuchten in der $C_{90} - C_{270}$ -Ebene“, wobei unter „langgestreckt“ alle Leuchten verstanden werden, bei denen das Seitenverhältnis ihrer horizontalen Lichtaustrittsfläche kleiner als 1 : 2 ist.

„Alle Leuchten in der $C_0 - C_{180}$ -Ebene“. Haben diese Leuchten keine leuchtenden Seitenteile, die über 0,03 m hoch sind bzw. ist die Leuchtdichte der Seitenteile kleiner als 750 cd/m^2 , so werden diese Leuchten als „Langgestreckte Leuchten in der $C_{90} - C_{270}$ -Ebene“ behandelt. Die Typen ohne leuchtende Seitenteile bzw. mit Leuchtdichten der Seitenteile kleiner als 750 cd/m^2 werden in den Tabellen der Leuchtdichtegrenzwerte als „dark“ (dunkel) bezeichnet, die anderen als „bright“ (hell).

Die Tabelle der Leuchtdichtegrenzwerte (rule 1) des Guide ist hier als Tabelle 2 aufgeführt.

Die mittlere Leuchtdichte der Leuchten für die vier Winkel zwischen 55° und 85° wird durch Division der Lichtstärke durch die unter den vier Winkeln gesehene leuchtende Fläche ermittelt. Hinweise über die Ermittlung der Leuchtdichte verschiedener Leuchtenkonstruktionen (entsprechend Abschnitt 3.4. der vorliegenden Schrift) werden nicht gegeben. Es wird auch nicht angegeben, ob leuchtende Seitenteile mit Leuchtdichten unter 750 cd/m^2 mit ihrer Lichtstärke und Fläche bei der Ermittlung der mittleren Leuchtdichte einer Leuchte berücksichtigt werden bzw. wenn nicht, durch welche Meßmethode der Einfluß der Seitenteile ausgeschaltet wird.

Für unten offene Leuchten (cut-off type luminaires) sind zusätzlich zur Leuchtdichtebegrenzung Abschirmwinkel einzuhalten (siehe Abschnitt 3.4.3. und 3.4.5.), sofern die Leuchtdichte der Lampen höher ist als 2 cd/cm^2 . Die Abschirmwinkel S sind in einer Tabelle zusammengestellt (rule 2), die der Tabelle 1 der vorliegenden Schrift ähnlich ist. Die Tabelle des Guide und damit die Größe des Abschirmwinkels S ist nach folgenden Gesichtspunkten gegliedert:

Drei Arten von Räumen:

Büros, Schulen, Räume für industrielle Arbeiten mit schwierigen Schaufgaben
Allgemeine Industrieanlagen
Läger, Durchgänge usw.

Drei Bereiche von Lampenleuchtdichten:

$$\begin{aligned} L &\leq 2 \text{ cd/cm}^2 \\ 2 \text{ cd/cm}^2 &< L \leq 50 \text{ cd/cm}^2 \\ L &> 50 \text{ cd/cm}^2 \end{aligned}$$

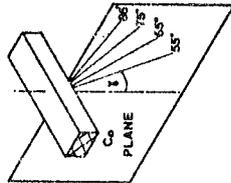
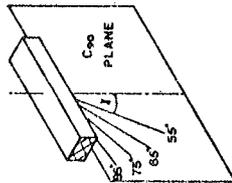
Unterschiedliche Lichtpunkthöhen

Unterschiedliche Lampenlichtströme

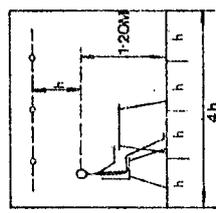
*) Die Klassen II und III entsprechen den Güteklassen 1 und 2 der Blendungsbegrenzung in DIN 5035.

TABLE 3.3 LUMINANCE LIMITS (cd/m²) FOR ALL LUMINAIRES INCLUDING BARE LAMPS

C PLANE	γ	QUALITY CLASS I		QUALITY CLASS II		QUALITY CLASS III	
		Service Value of Illuminance ≥ 750 lux	Service Value of Illuminance ≤ 500 lux	Service Value of Illuminance ≥ 750 lux	Service Value of Illuminance ≤ 500 lux	Service Value of Illuminance ≥ 750 lux	Service Value of Illuminance ≤ 500 lux
C ₉₀		All Types					
		1660	2200	2200	3300	5300	9400
		1600	2200	2200	3300	5300	9400
		2300	3800	3800	15000	15000	38000
C ₀	85° 75° 65° 55°	Luminaires with BRIGHT Sides					
		1100	1200	1200	1500	1900	2400
		1600	2200	2200	3000	3500	4300
		2300	3800	3800	15000	15000	38000
C ₀	85° 75° 65° 55°	Luminaires with DARK Sides					
		2000	3100	3100	6800	10000	20000
		2000	3100	3100	6800	10000	20000
		2000	3100	3100	6800	10000	20000



- 3.4.5 Application of the Rules
RULE 1: (FOR ALL LUMINAIRES INCLUDING BARE LAMPS)
- Determine the room dimensions and proposed arrangement of luminaires, their mounting height above eye-level, and whether they belong to the 'Bright sides' or 'Dark sides' group (as defined in 3.4.1).
 - Determine the appropriate Quality Class and Service Value of Illuminance.
 - Determine Room Dimensions P and Q as shown below.
 - Determine applicable values of γ from Table 3.2.
 - Select sets of luminance limits at appropriate angles for Room Dimensions P and Q from Table 3.3.
 - Obtain luminance data (of the kind specified in 3.4.2) on the actual luminaire it is proposed to use; and compare this with the luminance limits to ensure that none of the latter are exceeded, for either dimension.
- ROOM DIMENSIONS 'P' AND 'Q' expressed in multiples of h the mounting height above eye-level, are determined as follows:-



For ALL TYPES OF ELONGATED UNIT:
 'P' is the side parallel to the long axis of the units
 'Q' is the side normal to the long axis of the units
 For ALL OTHER TYPES OF UNIT:
 'Q' is the longer side of the room

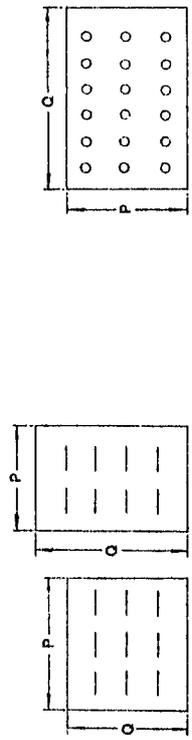


TABLE 3.2: AFFLICABLE VALUES OF γ
 Note Room Dimension relates to P for elongated units in C₉₀ plane and Q for all units in C₀ plane

Room Dimension	Applicable values of γ
$\geq 5h$	55°, 65°, 75°, 85°
$\geq 2h$ and $\leq 5h$	55°, 65°, 75°
$\leq 2h$	55°, 65°

Eye level for standing persons 1.50 m

Tabelle 2: Blendungsbegrenzungs-system des CIE-Guide on Interior Lighting: Leuchtdichtegrenz-werte (rule 1).

7. Anhang 1: Leuchtdichten von Lampen

Für die Blendungsbegrenzung von „freistrahrenden Leuchten“ und „unten offenen Leuchten“ sowie „Leuchten mit klaren, nicht strukturierten Abdeckungen“, sofern der Abschirmwinkel α (Tabelle 1) nicht eingehalten wird, ist nach Abschnitt 3.4.2. und 3.4.3. als mittlere Leuchtdichte \bar{L} (γ) die auf Nennlichtstrom bezogene Leuchtdichte der Lampe maßgebend.

Für folgende Leuchtstofflampen sind die Leuchtdichteverteilungskurven der $C_0 - C_{180}$ - und $C_{90} - C_{270}$ -Ebenen angegeben:

Stabförmige Leuchtstofflampen,		Stabförmige Reflexschicht-Leuchtstoff-	
Durchmesser 38 mm:	20 W Bild 32	lampen, Durchmesser 38 mm:	20 W Bild 37
	40 W Bild 33		40 W Bild 38
	40 W-1 Bild 34		65 W Bild 39
	42 W Bild 35		
	65 W Bild 36		

Für die Darstellung ist der Maßstab der Grenzkurviendiagramme (Bild 12 bzw. Anhang 2) gewählt worden, die Angabe der Leuchtdichten erfolgt in cd/m^2 pro klm.

Weiterhin sind für eine Reihe von Hochdruck-Gasentladungslampen die Leuchtdichteverteilungskurven angegeben*. Es wird zwischen vertikaler Brennlagelage (hängende Lampe) und horizontaler Brennlagelage unterschieden. Bei letzterer ist die Leuchtdichteverteilung sowohl parallel als auch quer zur Lampenachse angegeben. Die Leuchtdichteverteilungen sind in den folgenden Bildern dargestellt:

Quecksilberdampf-Hochdrucklampe mit Leuchtstoff, 80 W	Bild 40	Quecksilberdampf-Hochdrucklampe mit Leuchtstoff, 400 W	Bild 44
Quecksilberdampf-Hochdrucklampe mit Leuchtstoff, 125 W	Bild 41	Halogen-Metallampflampe mit Leuchtstoff, 400 W	Bild 44
Quecksilberdampf-Hochdrucklampe mit Leuchtstoff, 250 W	Bild 42	Natriumdampf-Hochdrucklampe mit lichtstreuendem Kolben, 400 W	Bild 44
Natriumdampf-Hochdrucklampe mit lichtstreuendem Kolben, 250 W	Bild 42	Natriumdampf-Hochdrucklampe mit klarem Kolben, 400 W	Bild 45
Quecksilberdampf-Hochdrucklampe mit klarem Kolben, 250 W	Bild 43	Halogen-Metallampflampe mit klarem Kolben, 400 W	Bild 45

Bei Lampen mit Leuchtstoff bzw. lichtstreuendem Kolben ist die mittlere Leuchtdichte des Kolbens angegeben, bei Lampen mit klarem Kolben die mittlere Leuchtdichte des Brenners.

In Tabelle 3 sind verschiedene Lampentypen in Leuchtdichtebereiche eingestuft, die in Tabelle 1 „Mindestabschirmwinkel α “ unterschieden werden.

Lampenart	Bereich der mittleren Leuchtdichte in cd/cm^2
Leuchtstofflampen	$\bar{L} \leq 2,0$
Hochdruck-Gasentladungslampen mit Leuchtstoff oder lichtstreuendem Kolben Natriumdampf-Niederdrucklampen	$2 < \bar{L} \leq 50$
Hochdruck-Gasentladungslampen mit Klarglaskolben bzw. in Soffittenausführung Glühlampen mit Klarglaskolben	$\bar{L} > 50$

*) Die Angaben beziehen sich auf Lampen der Firma Philips.

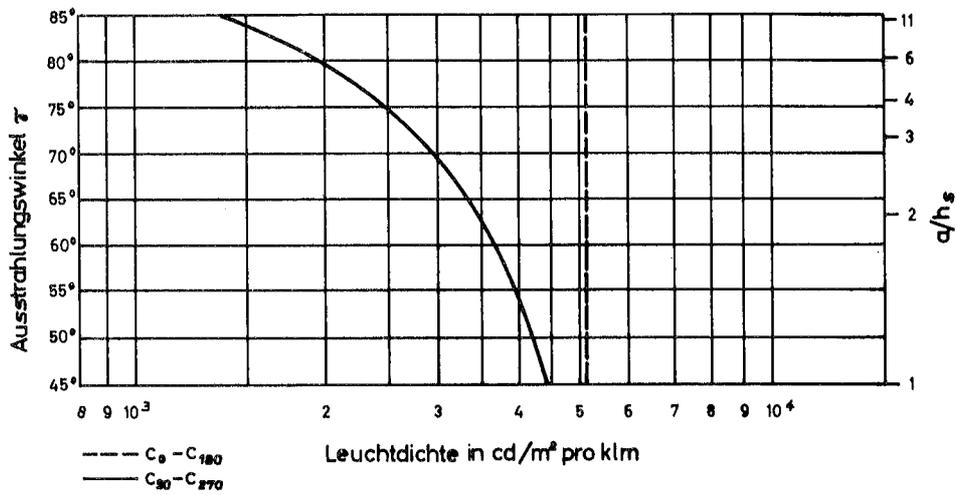


Bild 32: Leuchtdichtediagramm der stabförmigen Leuchtstofflampe: 20 W, Länge: 590 mm.

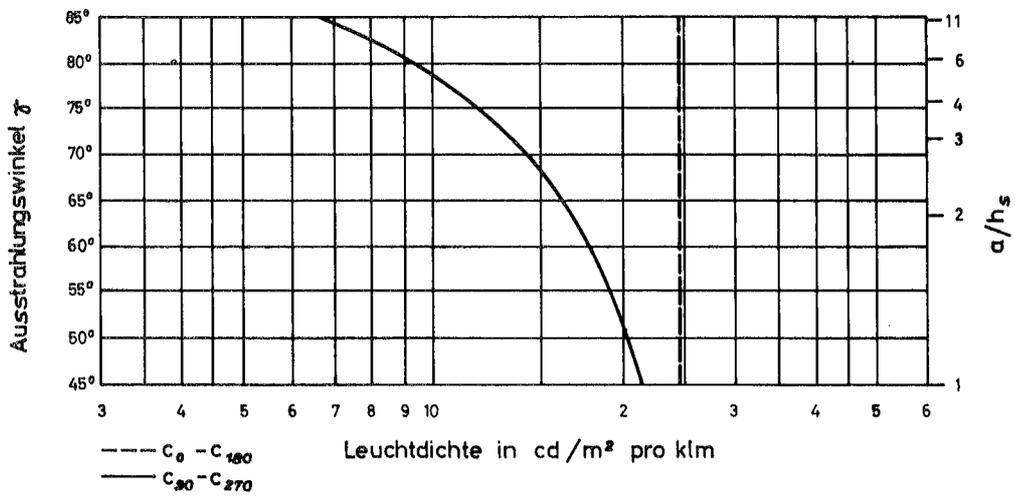


Bild 33: Leuchtdichtediagramm der stabförmigen Leuchtstofflampe: 40 W, Länge: 1200 mm.

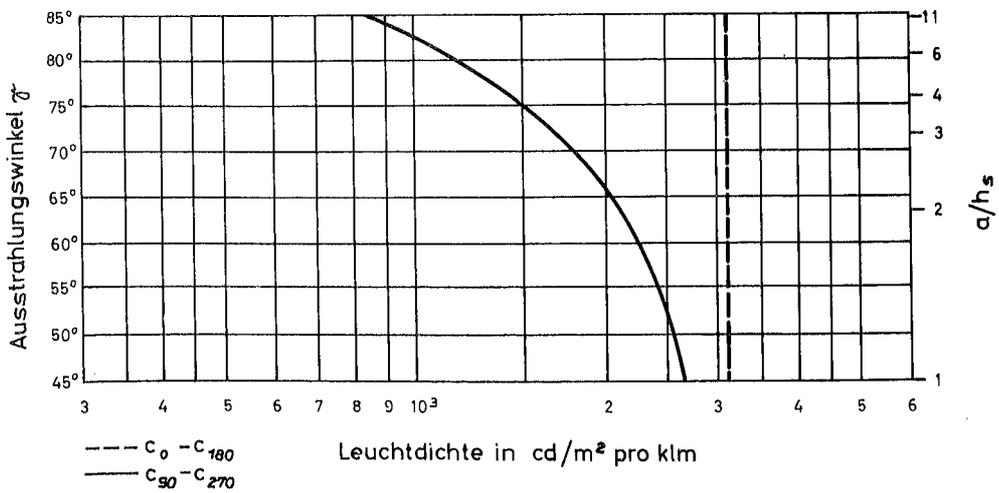


Bild 34: Leuchtdichtediagramm der stabförmigen Leuchtstofflampe 40 W-1; Länge: 970 mm.

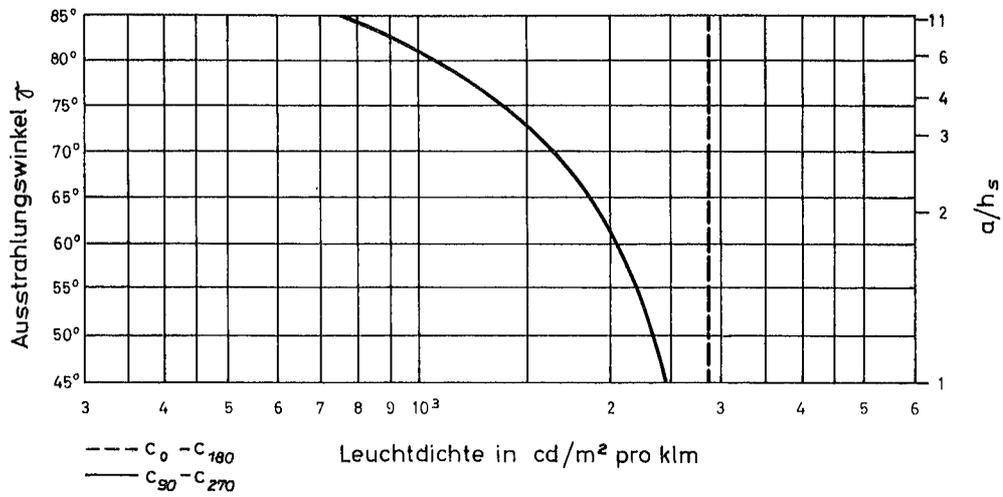


Bild 35: Leuchtdichtediagramm der stabförmigen Leuchtstofflampe 42 W; Länge: 1047 mm.

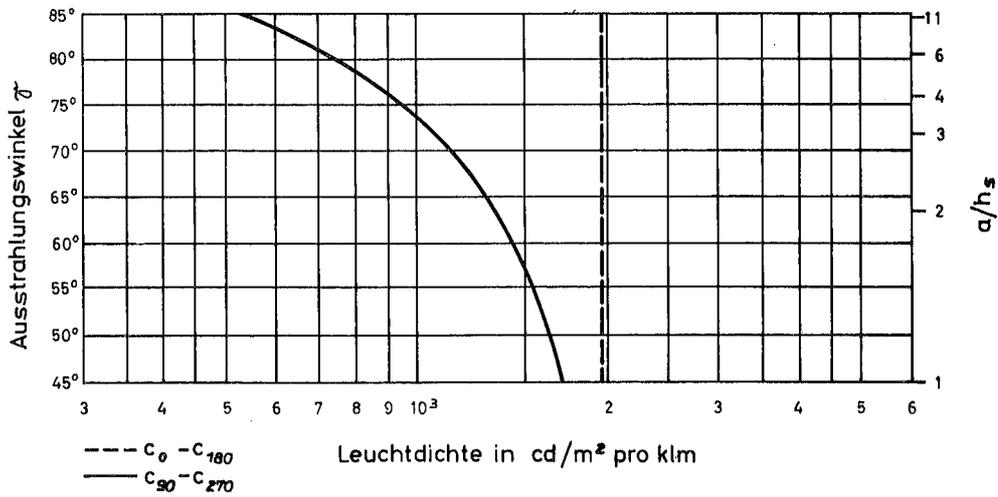


Bild 36: Leuchtdichtediagramm der stabförmigen Leuchtstofflampe 65 W; Länge: 1500 mm.

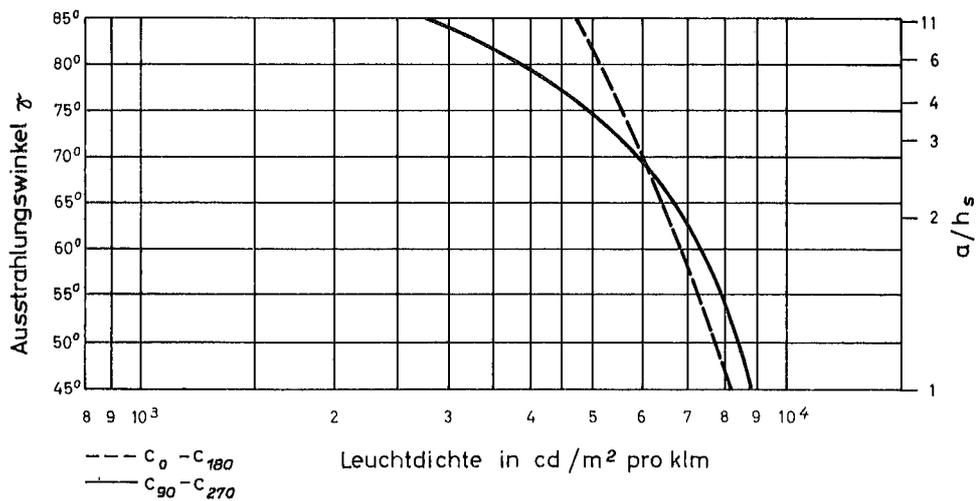


Bild 37: Leuchtdichtediagramm der stabförmigen Reflexschicht-Leuchtstofflampe 20 W; Länge: 590 mm.

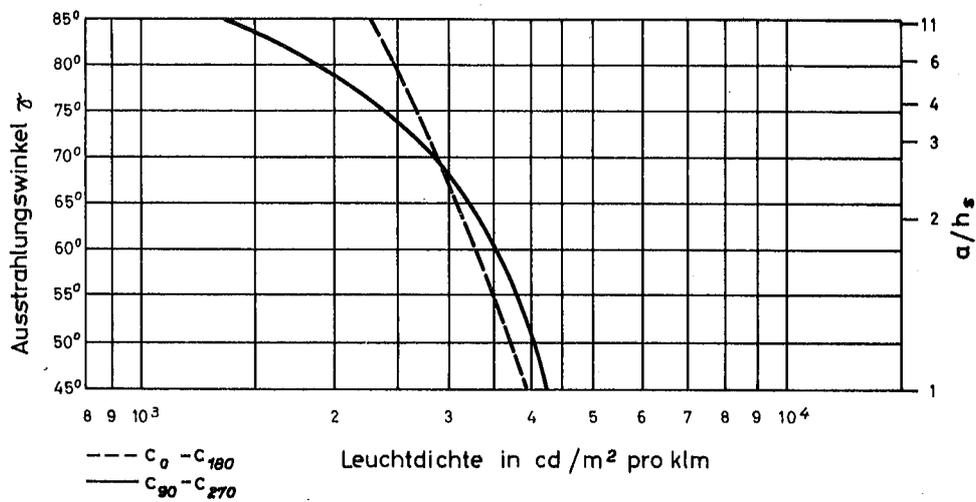


Bild 38: Leuchtdichtediagramm der stabförmigen Reflexschicht-Leuchtstofflampe 40 W; Länge: 1200 mm.

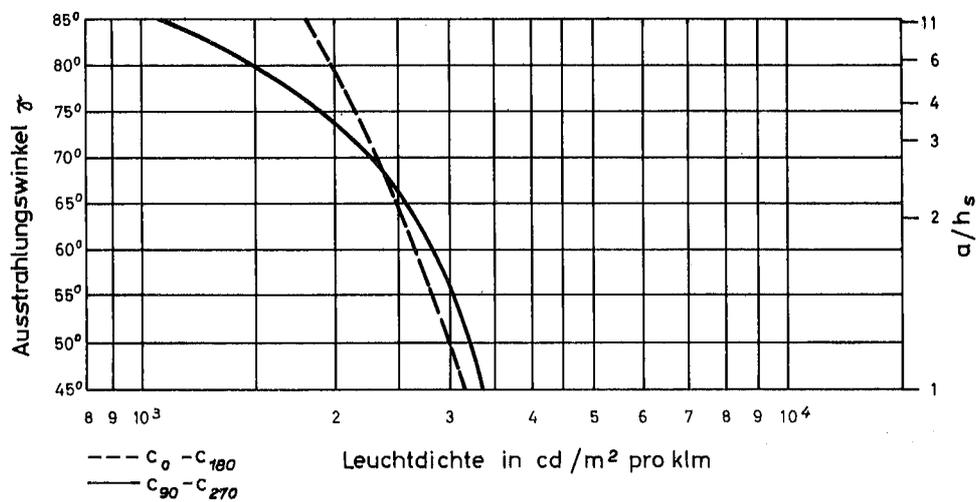


Bild 39: Leuchtdichtediagramm der stabförmigen Reflexschicht-Leuchtstofflampe 65 W; Länge: 1500 mm.

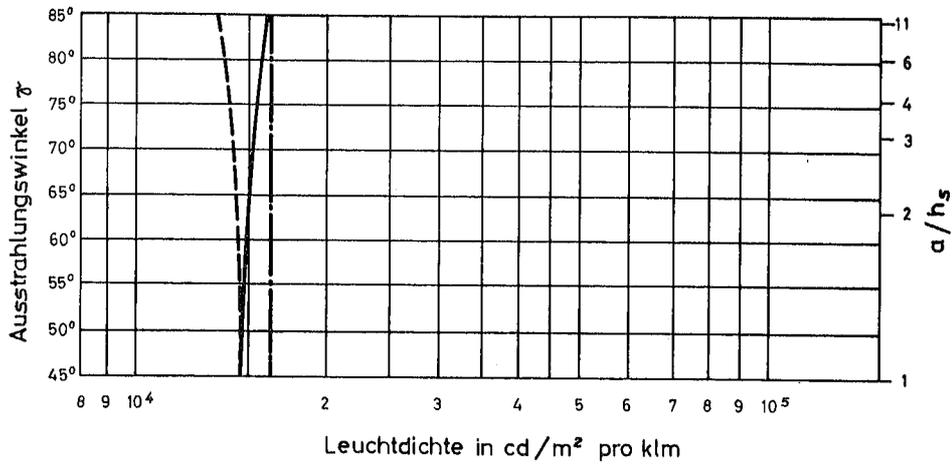


Bild 40: Leuchtdichtediagramm der Quecksilberdampf-Hochdrucklampe mit Leuchtstoff, 80 W.

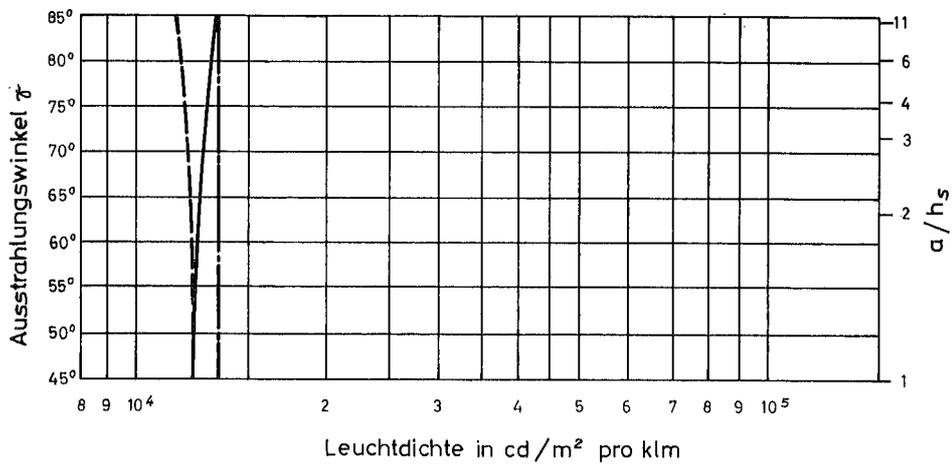


Bild 41: Leuchtdichtediagramm der Quecksilberdampf-Hochdrucklampe mit Leuchtstoff, 125 W.

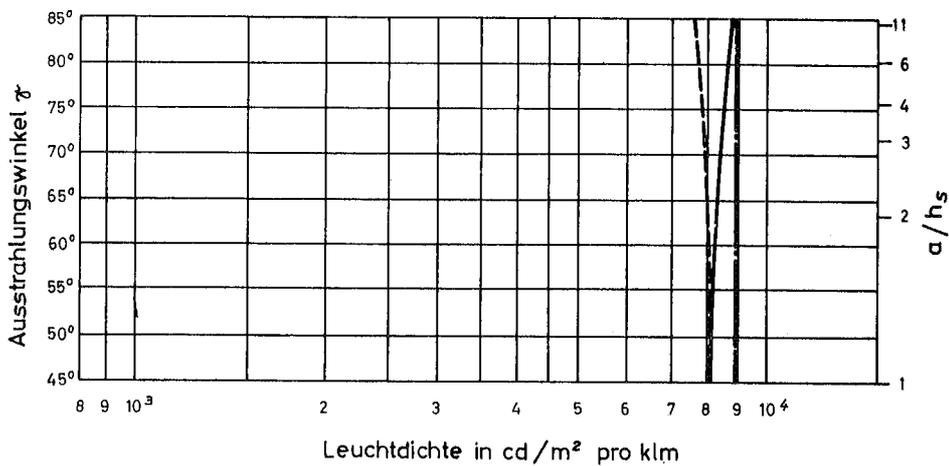


Bild 42: Leuchtdichtediagramm der Quecksilberdampf-Hochdrucklampe mit Leuchtstoff 250 W und der Natriumdampf-Hochdrucklampe mit lichtstreuendem Kolben, 250 W.

- vertikale Brennlage der Lampe (hängend)
- - - horizontale Brennlage, parallel zur Lampenachse
- · - · horizontale Brennlage, quer zur Lampenachse

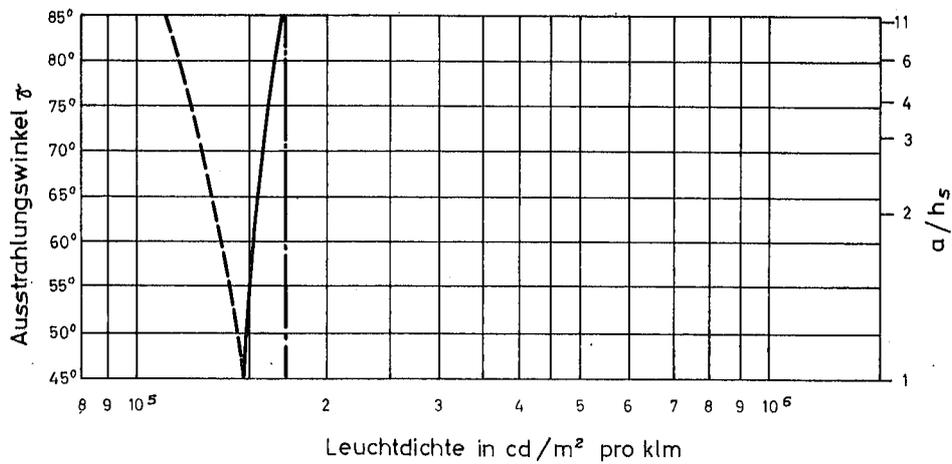


Bild 43: Leuchtdichtediagramm der Natriumdampf-Hochdrucklampe mit klarem Kolben, 250 W.

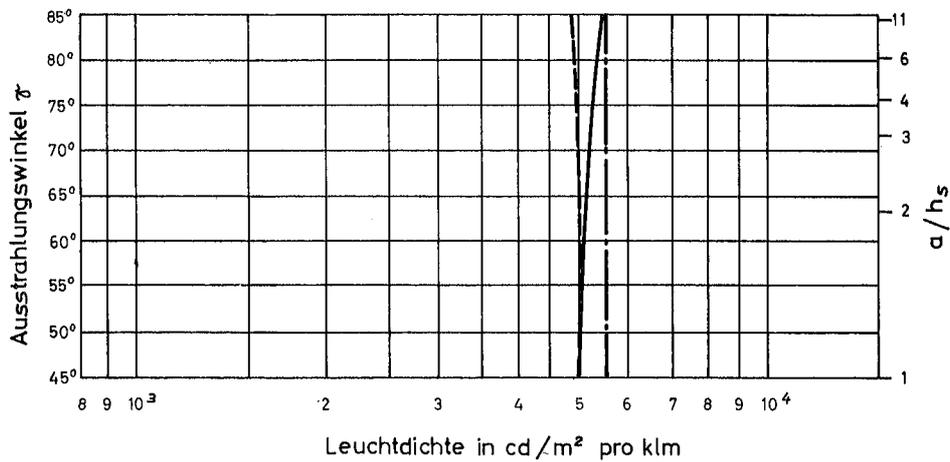


Bild 44: Leuchtdichtediagramm der Quecksilberdampf-Hochdrucklampe mit Leuchtstoff, 400 W, der Halogen-Metalldampf-lampe mit Leuchtstoff, 400 W und der Natriumdampf-Hochdrucklampe mit lichtstreuendem Kolben, 400 W.

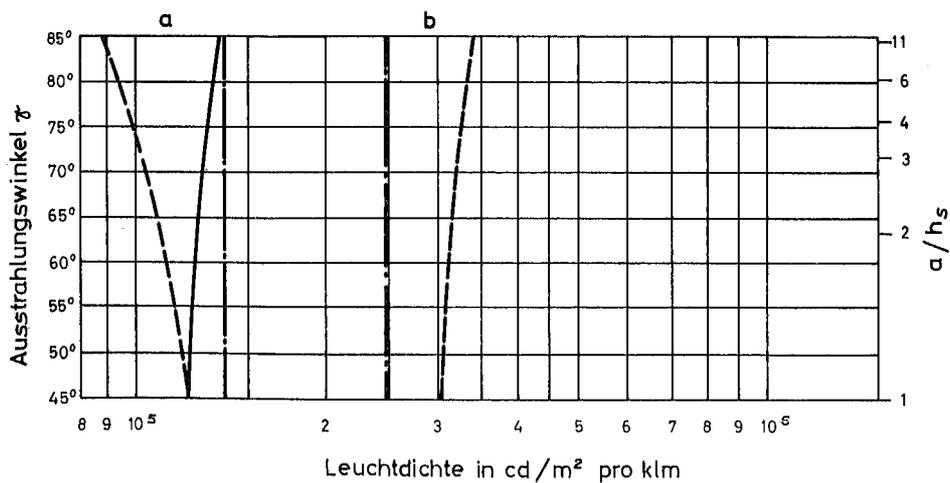


Bild 45: Leuchtdichtediagramm der Natriumdampf-Hochdrucklampe mit klarem Kolben, 400 W (a) und Halogen-Metalldampf-lampe mit klarem Kolben, 400 W (b).

- vertikale Brennlage der Lampe (hängend)
- - - horizontale Brennlage, parallel zur Lampenachse
- · - horizontale Brennlage, quer zur Lampenachse

Literatur

1. Söllner, G.: Ein einfaches System zur Blendungsbewertung. Lichttechnik 17 (1965), S. 59 A/66A
2. Söllner, G.: Bemerkungen zu einigen Verfahren der Blendungsbewertung. Lichttechnik 20 (1968), 111 A/118 A
3. Söllner, G.: Blendungsbewertung nach verschiedenen Methoden. Lichttechnik 15 (1963), S. 182/187
4. de Boer und van Heemskerck-Veeckens: Observations on Discomfort Glare in Street-Lighting – Influence of the Colour of the Light. CIE Zürich 1955, Bd. II, N-B/3 – N-B/15
5. Söllner, G.: Positionswinkel und unmittelbares Umfeld bei Blendlichtquellen. Philips' Lichttechnisches Laboratorium Aachen, Laborbericht 1.14/3 vom 13.12.1952
6. Haubner, P.: Zur Bewertung der psychologischen Blendung in Innenräumen. Diplom-Arbeit Universität Karlsruhe, Lichttechnisches Institut (1967)
7. Haubner, P.: A Method of Scaling Judgments. Lighting Research and Technology 1 (1969), S. 182/183
8. Söllner, G.: Blendungsbewertung in Beleuchtungsanlagen mit Lampen hoher Leuchtdichte. Lichttechnik 26 (1974), S. 169/172
9. Lichttechnische Gesellschaft: Beleuchtung in Verbindung mit Klima- und Schalltechnik; 1. Teil: Beleuchtung mit künstlichem Licht (herausgegeben vom LiTG-Fachausschuß „Innenbeleuchtung“ Arbeitsgruppe „Licht – Klima – Akustik“)
10. Fischer, D.: Analytische Approximation des Blendungsbewertungssystems nach Söllner. Lichttechnik 23 (1971), S. 395/398
11. Range, H.D.: Graphische Interpolation zur Ermittlung von Leuchtdichtegrenzkurven der DIN 5035. AEG-Telefunken Hameln, Laborbericht Li 429 vom 1.8.72
12. CIE – TC 4.1: Guide on Interior Lighting, Publication. No. 29 (1975)

Weitere Literatur

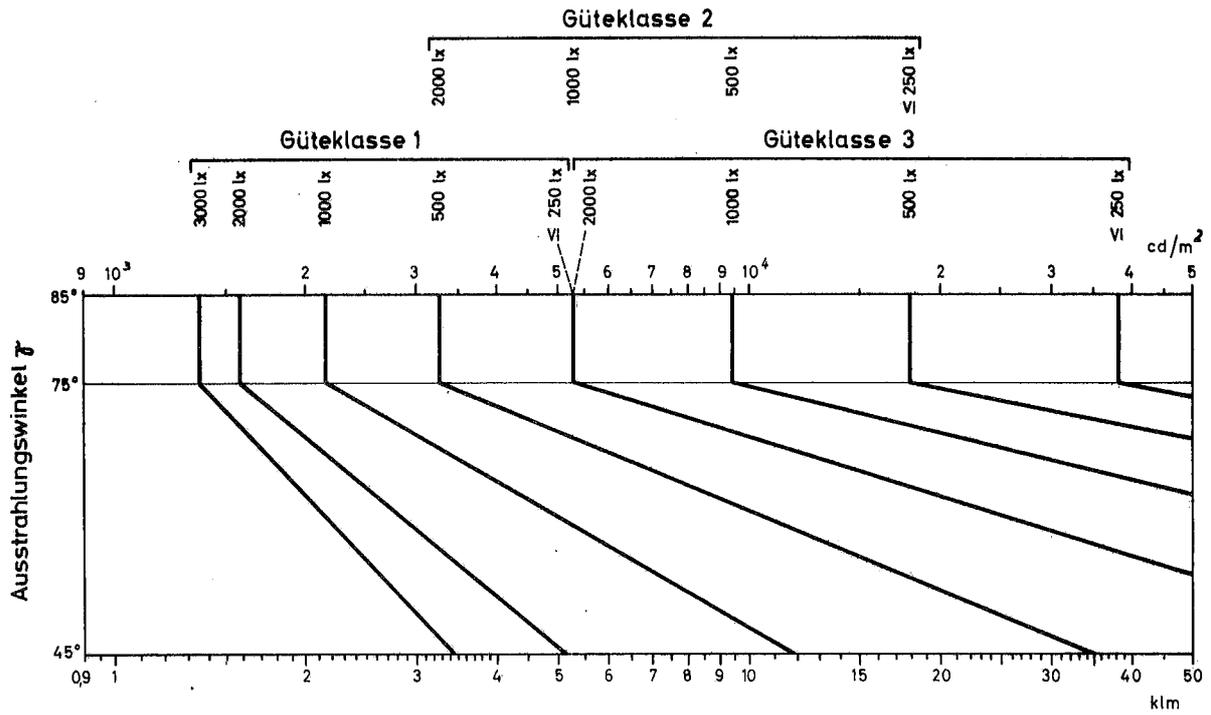
Lichttechnische Gesellschaft: Projektierung von Beleuchtungsanlagen für Innenräume nach dem Wirkungsgradverfahren (Veröffentlichung des LiTG-Fachausschusses „Beleuchtungsberechnungen“; bearbeitet von K. Stolzenberg)

DIN 5035 Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht, Beuth-Verlag

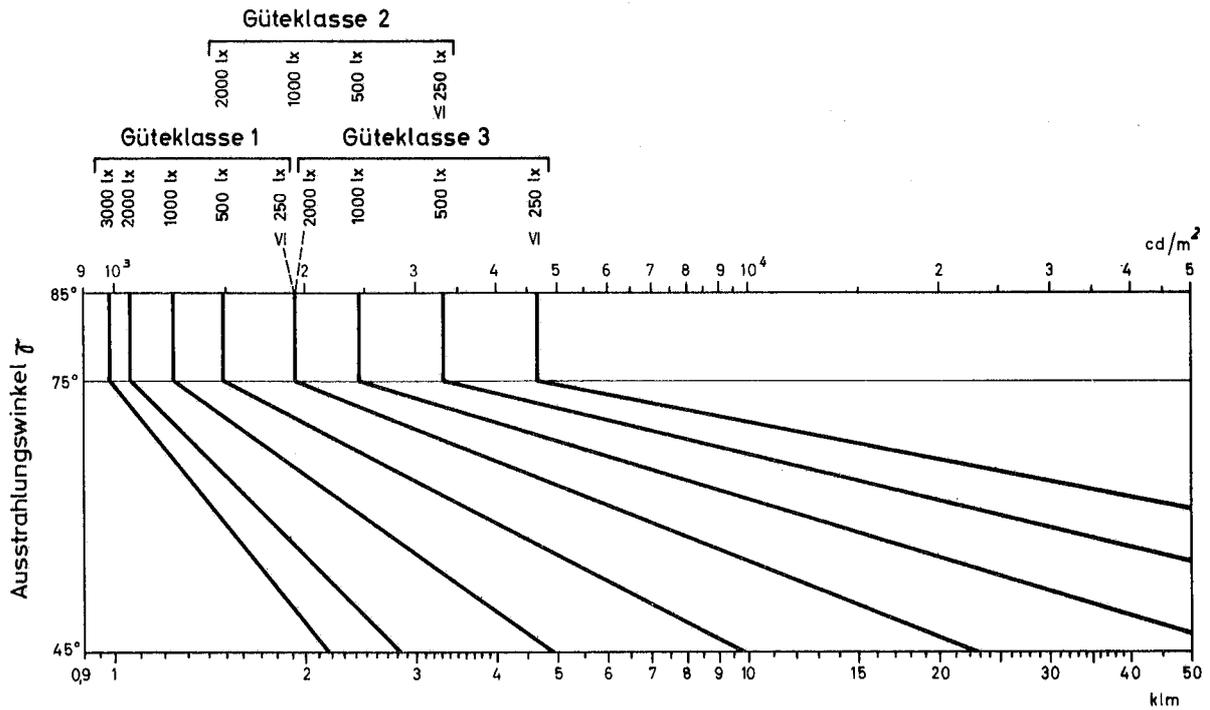
DIN 5032 Lichtmessung, Beuth-Verlag

8. Anhang 2: Grenzkurviendiagramme für Leuchtenart A und B.

Darstellung in Transparent



Leuchtdichte-Grenzkurven für Leuchtenart A



Leuchtdichte-Grenzkurven für Leuchtenart B