

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 42 (1951)
Heft: 15

Artikel: Methoden zur Bewertung der Beleuchtungsgüte : eine kritische Übersicht
Autor: Dresler, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056877>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.12.2024

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

— Elektroden — ausgeschlagen sind. Mit diesem Verfahren werden in der Herstellung von Möbeln grosse Vereinfachungen erreicht. Fig. 11 zeigt einen Lehnstuhl, der in einem Arbeitsgang hergestellt

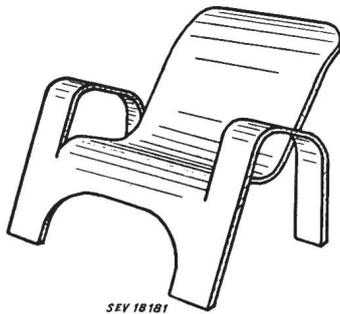


Fig. 11
Lehnstuhl in einem
Arbeitsgang gepresst,
verleimt und gebogen
Dauer der Erhitzung mit
6-kW-Generator 9 min

worden ist; das Verleimen, das Biegen und das Trocknen geschieht im selben Arbeitsgang. Dass eine solche Herstellungsart wirtschaftlich ist, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden.

c) HF-Energie als Hilfsmittel beim Verleimen

Fast alle Arten von Verleimungen können mit HF-Energie auf einfache Weise schnell und wirtschaftlich erfolgen. Erfolgt die Verleimung quer zur Leimnaht (Leimschicht parallel zur Elektrodenfläche), dann genügen Zeiten von 2...3 min. Kann die Leimschicht direkt erwärmt werden (Leimschicht senkrecht zur Elektrodenfläche), so sind Zeiten zwischen 20 und 50 s, je nach Grösse der Leimnaht und der zur Verfügung stehenden Leistung für das vollständige Binden des Leimes normal; massgebend ist die schnelle Erreichung der Bindetemperatur. Wie Fig. 12 zeigt, ist die Bindetemperatur in wenigen Sekunden erreicht.

Zum Schluss geben wir noch einige Betriebsangaben, die interessieren dürften:

Zum Verleimen von Sperrholz oder Platten aus Sägespänen oder Fasern benötigt man 0,1...0,05 kWh HF-Energie pro dm³ Holz, was einer Netz-Energie von 0,2...0,1 kWh pro dm³ entspricht. Für

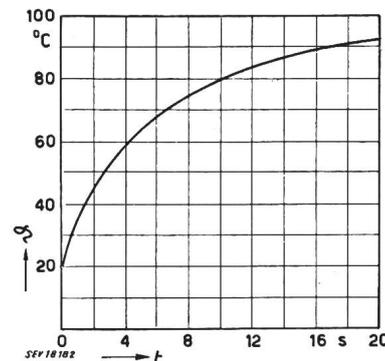


Fig. 12
Verlauf der Temperatur θ in der Leimnaht als Funktion der Zeit t

Feldstärke in der Leimnaht ca. 0,3 kV/cm
Kunstharzleim-Verbrauch ca. 140 g/m²

Fugenverleimung bei normaler Verteilung der Leimfugen benötigt man sogar nur 0,05 kWh pro dm³. Wird die Leimschicht direkt erwärmt, so kann je nach Holzart mit 200...500 cm² Leimfläche pro Minute und pro kW HF-Energie gerechnet werden.

Literatur

- [1] Whiteman, R. A.: Workcoils for HF-Heating. Radio and Television News Bd. -(1950), Okt.
- [2] Witsenburg, E. C.: Erhitzung durch hochfrequente Felder, I. Induktionsheizung. Philips' techn. Rdsch. Bd. 11, Nr. 6, S. 165...166.
- [3] Kammerloher, J.: Hochfrequenztechnik Bd. I: Elektromagnetische Schwingungskreise. Leipzig.

Adresse des Autors:

R. Wälchli, Dipl. Ing., Scheideggstrasse 86, Zürich 38.

Methoden zur Bewertung der Beleuchtungsgüte Eine kritische Übersicht

Von A. Dresler, Melbourne

628.93:612.843.6

In den letzten zehn Jahren haben namhafte amerikanische Lichtingenieure versucht, neue Methoden für die Beurteilung der Güte einer Beleuchtungsanlage zu entwickeln und praktisch einzuführen. Obwohl sich manche Einwände gegen die verschiedenen Vorschläge erheben lassen, enthalten sie jedoch so viele bemerkenswerte Anregungen, die bei der Neubearbeitung von Leitsätzen für künstliche Beleuchtung berücksichtigt werden müssen, dass im folgenden versucht wird, die vier wichtigsten Verfahren in ihren Grundzügen zu beschreiben und kritisch zu vergleichen.

Au cours des 10 dernières années des ingénieurs éclairagistes américains réputés ont tenté d'établir de nouvelles méthodes pour estimer la qualité d'une installation d'éclairage. Bien que ces diverses propositions puissent donner lieu à certaines critiques, elles renferment néanmoins maintes suggestions intéressantes, dont il faudra tenir compte lors d'une nouvelle rédaction de recommandations pour l'éclairage électrique. Exposé des principes essentiels et critique des quatre nouveaux procédés les plus importants.

Vorbemerkung. Im Gegensatz zur rein quantitativen Beurteilung einer Beleuchtungsanlage, z. B. nach der mittleren horizontalen Beleuchtungsstärke und der Gleichmässigkeit der Beleuchtung, hat die Frage nach einer ebenso geeigneten Methode zur zahlenmässigen Bewertung der Beleuchtungsgüte, d. h. also derjenigen Faktoren, die bei gegebenem Beleuchtungsniveau für gute Sehbedingungen sorgen, noch keine befriedigende Lösung gefunden. In den letzten Jahren sind zwar verschiedentlich Vorschläge zu einer zahlenmässigen Erfassung der Beleuchtungsgüte gemacht worden, doch ist man weit davon entfernt, sie widerspruchslos zu akzeptieren oder gar allgemein anzuwenden.

schusses (Standards Association of Australia) eine Neubearbeitung der im Jahre 1942 veröffentlichten australischen Leitsätze für die künstliche Beleuchtung von Innenräumen vornehmen soll. Im Rahmen der Mitarbeit des australischen Arbeitsministeriums in diesem Komitee hat der Verfasser die wichtigsten der in den letzten Jahren (bis Ende 1949) in Vorschlag gebrachten Methoden der Gütebewertung von Beleuchtungsanlagen einer kritischen Durchsicht unterzogen. Der folgende Aufsatz stellt einen Auszug aus diesem vor kurzem veröffentlichten Bericht¹⁾ dar.

Hieraus ergab sich eine besondere Schwierigkeit für das Komitee, das im Auftrag des Australischen Normenaus-

¹⁾ Methods of Appraising the Quality of Lighting, a Critical Review by A. Dresler, Department of Labour and National Service, Commonwealth of Australia, 1950.

I. Allgemeine Problemstellung

Als einige Jahre nach dem ersten Weltkrieg die Entwicklung der elektrischen Glühlampe eine solche Stufe erreicht hatte, dass zum erstenmal in der Geschichte der Menschheit die elementaren Bedürfnisse nach künstlicher Beleuchtung voll befriedigt werden konnten, wurde man schnell der Tatsache gewahr, dass das Problem der künstlichen Beleuchtung als ganzes betrachtet durch die Erzeugung beliebiger Lichtstrombeträge allein nicht gelöst werden kann. Der Lichttechniker musste lernen, dass die Beleuchtungsstärke nur *ein* Faktor unter vielen anderen technischen, physiologischen und sogar psychologischen Faktoren ist, mit denen er sich auseinandersetzen muss, ehe *gute Sehbedingungen* in künstlich beleuchteten Räumen zur Selbstverständlichkeit werden.

Zum guten Sehen benötigt man in erster Linie einen ausreichenden Kontrast zwischen dem eigentlichen Objekt und seiner unmittelbaren Umgebung, d. h. seinem Hintergrund, sowie eine ausreichende Leuchtdichte im zentralen Teil des Gesichtsfeldes; ausserdem muss das ganze Umfeld ausreichend hell sein, um die notwendige Adaptationsleuchtdichte zu gewährleisten. Da jedoch fast alle künstlichen Lichtquellen infolge ihrer hohen Leuchtdichte Blendung hervorrufen, die ihrerseits die Sehverhältnisse verschlechtert, besteht eine der Hauptaufgaben der Beleuchtungstechnik darin, Mittel und Wege zu finden, um den Leuchtdichteunterschied zwischen der Lichtquelle und der von ihr beleuchteten Umgebung zu verringern. Das kann man erreichen, indem man nicht nur die Leuchtdichte der Lichtquelle durch geeignete Medien verringert, sondern auch die Leuchtdichte der Umgebung erhöht.

In diesem Satz steckt eigentlich schon das ganze Problem der Beleuchtungsgüte, und daraus erklärt sich auch, warum die verschiedenen jüngst veröffentlichten Vorschläge für eine quantitative Bewertung der Beleuchtungsgüte versuchen, die Verteilung des Lichtstroms oder der Leuchtdichte über das ganze Gesichtsfeld als Gütemaßstab heranzuziehen. Sie stehen dabei von Anfang an den folgenden Schwierigkeiten gegenüber:

a) Welche Lichtstrom- (oder Leuchtdichte-) Verteilung über das ganze Gesichtsfeld kann als wünschenswert und welche als tragbar bezeichnet werden?

b) Welches Verfahren meistert am besten die Schwierigkeit der Bewertung einer *räumlichen* Leuchtdichteverteilung unter Benützung normaler photometrischer Begriffe, die sich alle auf den Lichtstrom zurückführen lassen, der auf eine *Ebene* fällt?

c) Welches Verfahren lässt sich zur Beurteilung ausgeführt, wie zur Planung neuer Anlagen gleich gut verwenden und ist einfach und doch genau genug, um von der Praxis vorbehaltlos akzeptiert zu werden?

Die folgende Übersicht über die wichtigsten der bisher gemachten Vorschläge zeigt, auf wie verschiedene Weise und mit welchem Erfolg sich Antworten auf diese Fragen haben finden lassen.

II. Methoden der Bewertung der Beleuchtungsgüte

Je mehr von einer Beleuchtungsanlage hinsichtlich der Quantität geleistet wird, desto empfindlicher wird das Auge gegen Mängel in der Qualität. Da im allgemeinen in den USA bei der Innenraumbeleuchtung viel höhere Beleuchtungsstärken Anwendung finden als in anderen Ländern, ist es nicht verwunderlich, dass sich gerade unter den amerikanischen Lichttechnikern das Verlangen nach einer gründlicheren Kenntnis derjenigen Faktoren geltend gemacht hat, die die Güte der Beleuchtung beeinflussen. In den letzten 8 Jahren sind in den USA mehrere Arbeiten veröffentlicht und auch in der Amerikanischen Lichttechnischen Gesellschaft [Illuminating Engineering Society (IES)] lebhaft diskutiert worden, die Methoden zur Bewertung und Planung der Beleuchtungsgüte behandeln. Auch die IES selbst hat über ihren Ausschuss für quantitative und qualitative Beleuchtungsnormen (Committee on Standards of Quality and Quantity for Interior Illumination) verschiedentlich zu diesen Fragen Stellung genommen.

a) Die Methode von H. L. Logan

Der erste Vorschlag, der die Bezeichnung «Bewertungssystem für die Güte einer Beleuchtungsanlage» verdient, wurde bereits im Jahre 1941 von Logan²⁾ gemacht, ist aber inzwischen verschiedentlich verbessert und ergänzt worden^{3) 4)}.

Sein System geht von der Überlegung aus, dass es einen Bereich optimaler *natürlicher* Beleuchtungsverhältnisse im Freien geben muss, an die sich der Mensch im Laufe seiner biologischen Entwicklung am besten angepasst hat. Logan nimmt an, dass diese idealen Beleuchtungsverhältnisse dort vorhanden sind, wo die besten Wetterbedingungen herrschen, und das ist seiner Ansicht nach in der Umgebung der Isotherme von 70 °F (≈ 20 °C) der Fall. Aus dieser Erwägung heraus bestimmte er die natürliche Beleuchtungsverteilung im Staate New York während der Zeit der 20 °C-Sommer-Isotherme und in Mexiko während der entsprechenden Zeit im Frühjahr mit Hilfe eines besonders dazu konstruierten objektiven Photometers. Dieses Photometer besteht aus einem Spezialelement, der alles Licht über einen Winkel von 180 ° gleichmässig sammelt und in ein optisches System reflektiert, das die sphärische Projektion des Spiegelgesichtsfeldes in eine ebene Projektion transformiert, deren Abmessungen genau mit der Oberfläche eines Photoelementes übereinstimmen. Blenden, die sich vor das Photoelement schieben lassen, dienen dazu, das Gesichtsfeld in verschiedene aneinander anschliessende Zonen aufzuteilen. Auf diese Weise gelingt es, den Lichtstrom, der vom gesamten Ge-

²⁾ H. L. Logan, The Anatomy of Visual Efficiency. Illum. Engng. Bd. 36(1941), S. 1057...1108.

³⁾ H. L. Logan, Light for Living. Illum. Engng. Bd. 42(1947), S. 291...324.

⁴⁾ H. L. Logan, The Practical Mechanics of Designing Optimum Lighting Patterns. Illum. Engng. Bd. 43(1948), S. 1233...1269.

sichtsfeld kommt, in den Lichtstrom aus der oberen und unteren Hälfte des Gesichtsfeldes (durch den Horizont getrennt) oder aus der linken und der rechten Gesichtshälfte usw. aufzuteilen.

Logan hat im ganzen 89 verschiedene Gesichtsfelder ausgemessen, 25 im Jahre 1939 und 64 in den Jahren 1943/44. Die Messungen erfolgten nach einem sorgfältig aufgestellten Schema, das ungünstige Sehbedingungen *nicht* ausschloss. Jede der vier Haupthimmelsrichtungen (Nord, Süd, Ost und West) wurde zu jeder Tageszeit gleich oft herangezogen, unter gleichzeitiger Berücksichtigung aller möglichen Veränderungen hinsichtlich Terrain und Wetter. Um den Bereich der günstigen Sehbedingungen, d. h. bequemen Sehens, zu erfassen, sagte sich Logan, dass diejenigen Beleuchtungsverhältnisse gut sein müssten, bei denen der Beobachter weder starren noch blinzeln muss oder seine Augen beschattet und sich wegdreht, um nicht blinzeln zu müssen. Beispielsweise muss der Beobachter im Regen, Dunst oder Nebel starren, um überhaupt etwas erkennen zu können, und falls er durch die Sonne geblendet wird, muss er seine Augenlider teilweise schliessen (blinzeln) oder die Augen beschatten oder sich abwenden. Nach diesen einfachen Gesichtspunkten wurde verfahren. Wenn alle Beobachter (Ortsfremde wie Einheimische) eine Szene als «angenehm» bezeichneten, wurde sie als solche im Protokoll festgehalten. Sobald auch nur einer anderer Ansicht war, wurde sie als «unbequem» vermerkt. Es wurde (wenigstens in der zweiten Arbeit aus den Jahren 1943/44) an sich nicht versucht, ungünstige Gesichtsfelder zu vermeiden. Wenn z. B. der «Fahrplan» um 15 Uhr eine Messung nach Westen vorschrieb, wobei die Sonne direkt in die Instrumente hinein schien, wurde die Messung trotzdem gemacht. Ungefähr $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{7}$ aller aufgenommenen Gesichtsfelder waren solche, die von den Beobachtern als mehr oder weniger «unbequem» empfunden wurden.

Um seine Messungen analysieren zu können, entwarf Logan ein besonderes Lichtstrom-Diagramm, das aus einer Verzerrung des Gesichtsfeldes in ein Rechteck besteht, dessen Fläche der des gesamten Gesichtsfeldes proportional ist und das in die oben bereits erwähnten verschiedenen Zonen eingeteilt ist. In dieses Rechteck wurden dann die oberen und unteren Grenzen des Schwankungsbereichs derjenigen Lichtstromverteilungen eingezeichnet, die bei den Messungen im Freien als «angenehm» vermerkt worden waren. Logan nimmt nun an — und das ist der zweite wesentliche Schritt —, dass eine künstliche Beleuchtungsanlage nur dann gut sein kann, wenn ihre Lichtstromverteilung im ganzen Gesichtsfeld innerhalb der so gefundenen Grenzen der guten *natürlichen* Tagesbeleuchtung liegt.

Will man eine geplante Beleuchtungsanlage daraufhin untersuchen, ob sie im Sinne der Loganschen Konzeption «gut» ist, so muss man zunächst eine sphärische Projektion des Gesichtsfeldes anfertigen, das man analysieren will. Der Standort des Beobachters im Raum soll dabei so ausgesucht werden, dass die grössten im Raume herrschenden

Leuchtdichteunterschiede erfasst werden. Die Blickrichtung des Beobachters wird im allgemeinen als horizontal angenommen. Der nächste Schritt besteht darin, die Leuchtdichte jeder grösseren Fläche im Gesichtsfeld zahlenmässig festzulegen. Logan schlägt vor, hiezu das Verfahren der Interreflexion⁵⁾ zu verwenden, mit dessen Hilfe die einzelnen Leuchtdichtewerte direkt aus Tabellen abgelesen werden können, um dann in die Zeichnung eingetragen zu werden. Die so erhaltenen Leuchtdichtewerte müssen dann in Lichtströme, die das Auge des Beobachters erreichen, umgewandelt werden. Dies geschieht, indem man das jeweilige Produkt aus Leuchtdichte und zugehöriger Fläche durch die in der Zeichnung auf den Raumwinkel 1 entfallende Zahl der Flächeneinheiten (je nach Wahl m² oder Quadratzoll) dividiert. Die so gewonnene Zahl ist dem Lichtstrom proportional, den die Fläche zum Beobachteraue ausstrahlt. Von hier aus ist es nur noch ein Schritt zu dem in Zonen aufgeteilten rechtwinkligen Lichtstromverteilungsdigramm, und man erhält sofort ein Bild, ob die gewählte Anlage und die Reflexionsgrade von Decke, Wänden und Fussboden zu einer Lichtstromverteilung führen, die innerhalb des oben erwähnten natürlichen Schwankungsbereiches liegt.

Um eine bereits bestehende Beleuchtungsanlage bewerten zu können, hat Logan ein objektives Photometer entwickelt, das dem für die Messungen im Freien verwendeten im Prinzip sehr ähnlich, aber wesentlich empfindlicher ist. An Stelle eines Photoelementes wird eine Alkali-Photozelle mit Verstärker benützt. Im übrigen bleibt das Verfahren zur Ermittlung der Zonenlichtstromverteilung unverändert.

In seiner 1941 veröffentlichten Arbeit untersucht Logan auch, ob man unter Benützung der von *Stiles* angegebenen Blendungskurve die wahrscheinlichen Sehverhältnisse voraussagen könne; in seiner späteren Arbeit verzichtet er jedoch hierauf ausdrücklich. Ausserdem vertritt er die Ansicht, dass die in der Zwischenzeit lebhaft propagierte Methode der begrenzten Leuchtdichteverhältnisse (siehe Abschnitt *b*) nur einen Versuch darstellt, etwas über lästige Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld auszusagen, ohne über wirklich zuverlässige Unterlagen zu verfügen. Logan zieht es vor, jede künstliche Beleuchtungsanlage so zu entwerfen, dass ihre Lichtstromverteilung innerhalb des ermittelten Schwankungsbereiches der guten natürlichen Beleuchtung im Freien liegt.

b) Das Verfahren der begrenzten Leuchtdichteverhältnisse (Brightness Ratio-Method)

Dieses Verfahren zur Bewertung der Güte einer Beleuchtungsanlage besteht im wesentlichen in der Festlegung von Höchstwerten für das Verhältnis

⁵⁾ The Interreflection Method of Predetermining Brightness and Brightness Ratios, Report No. 3 of the Committee on Standards of Quality and Quantity for Interior Illumination of the Ill. Eng. Soc. Illum. Engng. Bd. 41(1946), S. 361...385.

zwischen der grössten und der kleinsten im Gesichtsfeld vorhandenen Leuchtdichte. Der Fachausschuss der amerikanischen IES für quantitative und qualitative Beleuchtungsnormen, den wir kurz Q- und Q-Ausschuss nennen wollen, hat sich besonders für dieses Verfahren eingesetzt, das zu einem erheblichen Teil auf den Veröffentlichungen von Luckiesh und seinen Mitarbeitern aufbaut.

Im Jahre 1944 veröffentlichte Luckiesh⁶⁾ die folgende Aufstellung der seiner Ansicht nach zur Gewährleistung guten Sehens über längere Zeiten innerhalb eines Seh winkels von 30° höchstens zulässigen Leuchtdichte-Verhältnisse:

Leuchtdichte-Verhältnisse $< 1 : 5$ sind erwünscht,
 Leuchtdichte-Verhältnisse $> 1 : 10$ sollten, falls irgend möglich, vermieden werden,
 Leuchtdichte-Verhältnisse $> 1 : 100$ sollten unter keinen Umständen geduldet werden.

Zwischen den peripheren Teilen des Gesichtsfeldes und dem zentralen Blickfeld kann jedoch das höchstzulässige Leuchtdichte-Verhältnis 1:100 überschreiten. Nach Luckiesh soll ausserdem die Leuchtdichte der Leuchten für Allgemeinbeleuchtung, wenn sie sich innerhalb des normalen Gesichtsfeldes befinden, nicht mehr als 900 bis allenfalls 1350 Fusslambert (0,31...0,46 sb) betragen, für Platzbeleuchtung in der Nähe des zentralen Blickfeldes oder gar innerhalb desselben sollten wesentlich niedrigere Werte festgelegt werden.

Der erste Bericht des Q- und Q-Ausschusses⁷⁾, der etwas später, aber noch im gleichen Jahre veröffentlicht wurde, hält diese von Luckiesh genannten Leuchtdichte-Verhältnisse und auch die Höchstwerte für die Leuchtdichte von Leuchten für beträchtlich zu hoch. Unter Benutzung von Holladays Blendungsgleichung, die die Grenze zwischen erträglicher und lästiger Blendung angibt, wurde die zulässige Höchstleuchtdichte von 24 verschiedenen Leuchten (teils Glühlampen-, teils Leuchtstofflampen-Leuchten) für drei verschiedene Raumformen ermittelt. Obwohl verhältnismässig hohe Reflexionsgrade für die Arbeitsfläche (80%), Decke (70%) und Wände (50%) der Berechnung zugrundegelegt wurden, ergab es sich, dass sich beste Beleuchtung und ideale Sehbedingungen niemals durch reine Allgemeinbeleuchtung erreichen lassen, sondern zusätzliche blendungsfreie Platzbeleuchtung erfordern.

Da gute Sehbedingungen zum grössten Teil von dem Verhältnis der Leuchtdichte des Infeldes zu der des Umfeldes, aber auch von der Leuchtdichte der Lichtquelle zu der ihres Hintergrundes abhängen, kommt der erste Q- und Q-Bericht zu folgender Formulierung:

Für die *allerbesten* Sehbedingungen sollen beide Verhältnisse, d. h.

⁶⁾ M. Luckiesh, Brightness Engineering. Illum. Engng. Bd. 39(1944), S. 75...92.

⁷⁾ Brightness and Brightness-Ratios, Report No. 1 of the Committee on Standards of Quality and Quantity for Interior Illumination of the IES. Illum. Engng. Bd. 39(1944), S. 713...730.

Leuchtdichte des Infeldes
 Leuchtdichte des unmittelbaren Umfeldes
 und
 Leuchtdichte der Lichtquelle
 Leuchtdichte ihres Hintergrundes

gleich eins sein; für gute Sehbedingungen sollen beide 3:1 nicht überschreiten.

Ein drei Jahre später veröffentlichter Bericht des Fachausschusses für Bürobeleuchtung der amerikanischen IES⁸⁾ versucht die Forderung nach diesen niedrigen Leuchtdichte-Verhältnissen aufrechtzuerhalten, wie aus dem Anhang A des Berichts hervorgeht, kann aber nicht umhin, grössere Leuchtdichte-Verhältnisse zuzulassen, und zwar solche, die tatsächlich unter günstigen Bedingungen mit gewöhnlichen Innenraumleuchten eingehalten werden können. Im einzelnen verzeichnet der Bericht:

1. um direkte Blendung zu vermeiden, soll die Leuchtdichte von Leuchten für Allgemeinbeleuchtung innerhalb eines Winkels von 45° mit der Horizontalen 400 Fusslambert (0,137 sb) nicht übersteigen. (NB: Das ist weniger als die Hälfte dessen, was Luckiesh im Jahre 1944 empfohlen hatte.)

2. Leuchtdichte-Verhältnisse zwischen Flächen von nicht zu vernachlässigender Grösse sollen für normale Blickrichtung folgende Werte einhalten:

- 3 : 1 zwischen Sehding und dessen unmittelbarer Umgebung,
- 10 : 1 zwischen Sehding und entfernteren Oberflächen,
- 20 : 1 zwischen Leuchten (oder Fenstern) und benachbarten Oberflächen,
- 40 : 1 irgendwo innerhalb des normalen Gesichtsfeldes.

Diese Leuchtdichte-Verhältnisse sollen als Höchstwerte angesehen werden; das Einhalten kleinerer Werte wird als erstrebenswert und vorteilhaft bezeichnet.

c) Das Bewertungssystem von Moon und Spencer

Das dritte Bewertungssystem, das erwähnt werden muss, ist dasjenige von P. Moon und D. E. Spencer⁹⁾, das auf den gleichen oder wenigstens sehr ähnlichen Überlegungen beruht wie das zuletzt behandelte Verfahren der begrenzten Leuchtdichte-Verhältnisse. Moon und Spencer gehen von der Tatsache aus, dass beste Sehbedingungen, d. h. grösste Sehschärfe, dann vorhanden sind, wenn das gesamte Gesichtsfeld (mit Ausnahme des eigentlichen Sehdinges) ein und dieselbe Leuchtdichte besitzt, und dass jede Ungleichförmigkeit in der Leuchtdichte die Sehschärfe herabsetzt. Diese Behauptung lässt alle psychologischen Auswirkungen, die ein solches absolut monotones Gesichtsfeld haben würde, bewusst ausser acht. Sie wird lediglich aus Experimenten über die Sehschärfe abgeleitet, in denen alle Forscher übereinstimmend festgestellt haben, dass die Sehschärfe für eine gegebene Adaptationsleuchtdichte dann ihr Maximum erreicht, wenn Infeld und Umfeld dieselbe Leuchtdichte besitzen. Um den Einfluss einer ungleichförmigen Leuchtdichtenverteilung zu bewerten, führen Moon und Spencer einen besonderen Quotienten ein, den sie *Delos* nennen.

⁸⁾ Recommended Practice in Office Lighting. A Report of the Office Lighting Committee of the IES. Illum. Engng. Bd. 42(1947), S. 673...715.

⁹⁾ P. Moon and D. E. Spencer: A simple Criterion for Quality of Lighting. Illum. Engng. Bd. 42(1947), S. 325...364.

Ist α_μ der Sehwinkel, den das kleinste Testobjekt einnimmt, das gegen einen bestimmten Hintergrund wahrgenommen werden kann, wenn Infeld und Umfeld die gleiche Leuchtdichte haben, und α der entsprechend kleinste Winkel in einem Gesichtsfeld mit ungleichmässiger Leuchtdichtenverteilung, dann ist $\frac{\alpha_\mu}{\alpha} = \text{Delos}$, ein Mass dafür, wie

nahe die gegebenen Verhältnisse sich dem Ideal nähern. Moon und Spencer geben ein Diagramm, das zeigt, wie sich Delos mit der Adaptationsleuchtdichte und für verschiedene Verhältnisse zwischen Hintergrund- und Adaptationsleuchtdichte ändert. Sobald sich das Auge an eine Leuchtdichte von mehr als 9 Fusslambert (100 asb) adaptiert hat, fallen alle Kurven, die Delos als Funktion von H_A und H_B zeigen, wobei H_A die Adaptationsleuchtdichte und H_B die Hintergrundleuchtdichte bedeuten, fast zusammen und nähern sich einer Geraden. Daher gilt für die meisten Innenraumbeleuchtungsanlagen die folgende einfache Beziehung:

$$\text{Delos} = \frac{1}{H_A/H_B} \text{ für } H_A > H_B \text{ und}$$

$$\text{Delos} = \frac{1}{H_B/H_A} \text{ für } H_B > H_A$$

In Übereinstimmung mit den im Q- und Q-Bericht Nr. 1 empfohlenen Leuchtdichte-Verhältnissen fordern Moon und Spencer, dass für jede mögliche Blickrichtung die Adaptationsleuchtdichte des Umfeldes höchstens dreimal grösser, aber auch nicht weniger als dreimal kleiner als die Adaptationsleuchtdichte des Infeldes sein soll. Sie bezeichnen dieses Postulat als ein wichtiges und einfaches Kriterium für die Bewertung der Beleuchtungsgüte, das auf jede Beleuchtungsart und für jeden beliebigen Typ und jede Zahl von Leuchten angewandt werden kann. Beim Vergleich dieses Kriteriums von Moon und Spencer mit den im ersten Q- und Q-Bericht empfohlenen Leuchtdichten-Verhältnissen muss man berücksichtigen, dass bei grossen Flächen die Adaptationsleuchtdichte mit der tatsächlichen Leuchtdichte der Fläche zahlenmässig übereinstimmen wird. Bei kleinen Flächen kann jedoch das tatsächliche Leuchtdichte-Verhältnis grösser als 3 sein, ohne die Forderung von 3:1 für die Adaptationsleuchtdichten-Verhältnisse zu verletzen.

Um die Messung der Adaptationsleuchtdichte zu erleichtern, haben Moon und Spencer einen besonderen objektiven Leuchtdichtemesser entwickelt, der aus einem Photoelement mit einem aufgesetzten Tubus besteht, dessen Transmissionsgrad sich mit dem Abstand von dem Photoelement ändert. Dieser Tubus ist 60 cm lang und hat eine kreisförmige Öffnung von etwa 5 cm Durchmesser. In der unmittelbaren Nähe des Photoelementes beträgt der Transmissionsgrad des Tubus nur $5,7 \cdot 10^{-5} \%$ und nimmt mit wachsendem Abstand von dem Photoelement langsam zu, um am äussersten Ende $0,33 \%$ zu erreichen. Der veränderliche Transmissionsgrad

berücksichtigt den geringen, aber veränderlichen Anteil, den die extrafoveale Leuchtdichte des Gesichtsfeldes nach Ansicht von Moon und Spencer zur gesamten Adaptation beiträgt. Die Ablesung an dem an das Photoelement angeschlossenen Mikroampèremeter ist der Adaptationsleuchtdichte des Auges proportional, wenn die Blickrichtung mit der Tubusachse zusammenfällt.

Bei der Planung einer Beleuchtungsanlage können Infeld- und allgemeine Adaptationsleuchtdichte mit Hilfe des bereits früher erwähnten Interreflexionsverfahrens und der dazugehörigen Tabellen berechnet werden [vgl. die Q- und Q-Berichte Nr. 3⁵⁾ und 4¹⁰⁾].

Moon und Spencer sind sich vollkommen darüber im klaren, dass die Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld nur ein Faktor unter vielen ist, die die Güte einer Beleuchtung bestimmen. Aus diesem Grunde stellen sie neben ihrer Forderung nach ausreichenden Delos-Werten ein vollständiges Bewertungssystem auf, das die folgenden 8 Punkte enthält:

1. Beleuchtungsstärke, den jeweiligen Normen entsprechend;
2. Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld (Delos), wie besprochen;
3. Verhältnis der durch gerichtete Reflexion entstehenden Leuchtdichten, das ebenfalls nicht grösser als 3 : 1 sein soll;
4. Schattigkeit (die Beleuchtung soll in keinem Fall durch einen schattenwerfenden Gegenstand um mehr als 10 % verringert werden);
5. Spektrale Energieverteilung des Lichtes, unter besonderer Berücksichtigung der Lichtfarbe, der Farbwiedergabe und der Erzeugung unerwünschter Wärme;
6. Psychologische Einflüsse (die nicht näher beschrieben, sondern nur in die folgenden drei Stufen eingeteilt werden: unzureichend, gut und ausgezeichnet);
7. ästhetische Einflüsse (bezüglich Form und Farbe);
8. Wirtschaftlichkeit, d. h. Leuchtenwirkungsgrad nicht unter 75 % und Interreflexionswirkungsgrad, abhängig von primärer Lichtverteilung und der Reflexionsgrade von Decke, Wänden und Fussboden, mindestens 50 %.

In diesem Bewertungssystem soll eine einwandfreie Beleuchtungsanlage 100 Punkte erreichen. Sobald einmal zuverlässige Bewertungsmaßstäbe für alle acht Faktoren aufgestellt sind, würde die im ganzen erreichte Punktzahl ein Mass für die Gesamtgüte der Anlage sein.

d) Das Blendungs-Bewertungssystem von Harrison und Meaker

Die vierte und letzte Methode, die besprochen werden muss, ist das Blendungs-Bewertungssystem von W. Harrison und P. Meaker^{11) 12) 13)}. Ausgehend von der bekannten Holladayschen Gleichung für die Grenze zwischen erträglicher und lästiger Blendung und unter Zugrundelegung neuerer Forschungsergebnisse von Luckiesh und

¹⁰⁾ Brightness Distribution in Rooms. Report No. 4 of the Committee on Standards of Quality for Interior Illumination of the IES. Illum. Engng. Bd. 42 (1947), S. 180...216.

¹¹⁾ Ward Harrison: Glare Ratings. Illum. Engng. Bd. 40 (1945), S. 525...557.

¹²⁾ Ward Harrison and Phelps Meaker: Further Data on Glare Ratings. Illum. Engng. Bd. 42 (1947), S. 153...179.

¹³⁾ Ward Harrison: Some Frontiers of the Lighting Art. Trans. IES (Ldn) Bd. 13 (1948), S. 121...142.

Guth¹⁴⁾ wird die folgende Formel für die zahlenmässige Bewertung der Blendung vorgeschlagen:

$$\text{Blendungsfaktor} = \frac{F B^2 K_L}{H^2 K_F}$$

wo F wirksame Oberfläche der Blendungsquelle in Quadratzoll

B Leuchtdichte der Blendungsquelle in Kilofusslambert (1 Kilofusslambert = 0,34 sb)

H Aufhängehöhe der Blendungsquelle über Augenhöhe in Fuss

K_L Ortsfaktor, der den Einfluss der Lage der Blendungsquelle zur Blickrichtung berücksichtigt

K_F Kontrastfaktor, der den Einfluss des Adaptationszustandes des Auges berücksichtigt, der seinerseits wieder von dem Verhältnis von Infeld- zu Umfeldleuchtdichte abhängt.

Das Verfahren geht von einer horizontalen Blickrichtung aus, und der gesamte Blendungsfaktor einer Beleuchtungsanlage ist die Summe der von den einzelnen Leuchten herrührenden Blendungsfaktoren. Werte für K_L können einem Diagramm entnommen werden, das K_L in Abhängigkeit vom Abstand der Blendungsquelle senkrecht und parallel zur Blickrichtung gibt [vgl. ¹²⁾ und ¹³⁾]. Werte für K_F sind in einer Tabelle zusammengestellt, die für Infeldleuchtdichten von 0,1...1000 Fusslambert (1,08...10760 asb) und für Umfeldleuchtdichten von 0,01...100 Fusslambert (0,108...1076 asb) gilt [vgl. ebenfalls ¹²⁾ und ¹³⁾].

Die Gleichung für den Blendungsfaktor ist ohne weiteres auf vorhandene Beleuchtungsanlagen anwendbar, wenn man einen Leuchtdichtemesser zur Verfügung hat. Bei der Planung ermöglicht das Interreflexionsverfahren die kritischen Infeld- und Umfeldleuchtdichten zu berechnen, vorausgesetzt, dass die Leuchtdichteverteilungskurven der Blendungsquellen verfügbar sind. Diese brauchen jedoch für jede Leuchtenart nur einmal ermittelt zu werden, unabhängig davon, wo die Leuchten später benützt werden. Um die Anwendung des Blendungsbewertungssystems weiter zu erleichtern, haben Harrison und Meaker¹²⁾ ¹³⁾ unter Benützung handelsüblicher Glühlampen- und Leuchtstofflampenleuchten Blendungsfaktoren-Tabellen veröffentlicht. Sie gelten für eine mittlere Horizontalbeleuchtungsstärke von 430 lx und für die folgenden Reflexionsgrade der Raumbegrenzungen: Decke 75 %, Wände 50 % und Fussboden 15 %. Umrechnungsfaktoren für andere Reflexionsgrade und Horizontalbeleuchtungsstärken sind angegeben. Da die Raumabmessungen, auf die sich die Tabellen beziehen, zwischen 10×10 Fuss (3×3 m) und 40×100 Fuss (12×30 m) Bodenfläche und bei Aufhängehöhen der Leuchten über Augenhöhe von 8...12 Fuss (2^{1/2}...3^{1/2} m) liegen, erfassen diese Tabellen

¹⁴⁾ M. Luckiesh and S. K. Guth: Discomfort-glare and Angular-distance of Glare-Source. Illum. Engng. Bd. 41(1946), S. 485...492.

die Blendungsfaktoren für einen weiten Bereich praktisch vorkommender Beleuchtungsanlagen.

An und für sich kann der Blendungsfaktor, den man für eine Beleuchtungsanlage erhält, nicht mehr aussagen, als dass eine Anlage einen grösseren oder kleineren Blendungsfaktor hat als eine andere. Um jedoch eine Beziehung zwischen dem zahlenmässigen Wert des Blendungsfaktors und dem physiologischen Eindruck, den eine Beleuchtungsanlage macht, zu erhalten, veranlasste Harrison sieben Lichtingenieure mit durchschnittlich 18 Jahren lichttechnischer Praxis, 10 Beleuchtungsanlagen in Cleveland (Ohio) innerhalb von zwei Stunden zu besichtigen und festzustellen, ob die Anlagen für Bürobeleuchtung geeignet seien; schliesslich sollten die Herren die Anlagen in eine Güteskala einordnen. Keiner der sieben Herren bekam die Bewertungsziffern der anderen zu sehen, und die Blendungsfaktoren wurden erst nach Abschluss der Besichtigung ermittelt. Es zeigte sich, dass im Durchschnitt der 7 Beobachter die 10 Anlagen mit einer einzigen Ausnahme in derselben Reihenfolge als besser bewertet wurden, als ihre Blendungsfaktoren abnahmen. Vor Abgabe ihres Urteils waren die Herren gebeten worden, die Beleuchtungsanlagen in die folgenden Gruppen einzuordnen:

1. angenehm
2. gerade noch angenehm
3. etwas lästig
4. ausserordentlich lästig

Zwischen den Blendungsfaktoren und diesen vier Gruppen ergab sich der Zusammenhang nach Tabelle I.

Tabelle I

Blendungsfaktor	Bewertung nach dem physiologischen Eindruck
6	angenehm
20	gerade noch angenehm
65	leicht lästig
200	ausserordentlich lästig

Nach Harrisons Ansicht zeigt dieses Experiment ganz deutlich, dass man in einer Bürobeleuchtungsanlage mit dem Blendungsfaktor nicht über 15 gehen soll, wenn man «angenehme» Sehbedingungen gewährleisten will. Bei weniger hohen Ansprüchen, z. B. in Läden, könne man gefahrlos bis auf etwa 75 heraufgehen.

III. Diskussion der verschiedenen Verfahren

Wir wollen zunächst untersuchen, inwieweit die besprochenen Gütebewertungsverfahren die eingangs genannten 3 Fragen beantworten. Diese Fragen waren:

1. Welche Lichtstromverteilung (oder auch Leuchtdichteverteilung) im Gesichtsfeld ist wünschenswert?
2. Wie kann man die Schwierigkeit umgehen, die darin liegt, dass man eine räumliche Lichtstrom- oder Leuchtdichteverteilung mit den üblichen «zweidimensionalen» photometrischen Einheiten bewerten muss?
3. Welches Verfahren kann ohne besondere Schwierigkeiten sowohl zur Bewertung bestehender, als auch zur Beurteilung geplanter Anlagen benützt werden?

a) Logans Verfahren

Zu Frage 1: Dieser Frage widmet Logan ganz besondere Aufmerksamkeit. Er bestimmt den Bereich der seiner Meinung nach erstrebenswerten Lichtstromverteilung auf Grund von Messungen der natürlichen Tagesbeleuchtung im Freien, und zwar unter Bedingungen, an die der Mensch sich im Laufe seiner biologischen Entwicklung ohne Zweifel besonders angepasst hat. Es ist allerdings in Frage gestellt worden, ob die Lichtstromverteilung, die bei der natürlichen Tagesbeleuchtung im Freien als angenehm empfunden wird, überhaupt auf die künstliche Beleuchtung von Innenräumen übertragen werden darf. Immerhin muss man Logan zugestehen, dass sein Verfahren manches für sich hat, es sei z. B. nur daran erinnert, dass das Auge gegen Blendung aus der oberen Hälfte des Gesichtsfeldes wesentlich unempfindlicher ist als gegen Blendung von unten, einfach auf Grund der Tatsache, dass «man» sich an die Sonne und den hellen Himmel in der oberen Gesichtsfeldhälfte «gewöhnt» hat.

Gegen die horizontale Blickrichtung, auf die sich Logan im allgemeinen beschränkt, sind mehrfach Einwände erhoben worden, aber Logan hat sicherlich recht, wenn er sagt, dass die horizontale Blickrichtung die denkbar grösste Mannigfaltigkeit der Sehbedingungen einschliesst.

Zu Frage 2: Soweit es sich um die Durchmessung vorhandener Beleuchtungsanlagen handelt, hat Logan das Problem mit Hilfe seines Spezialphotometers auf überaus elegante Art und Weise gelöst, da das Instrument die Lichtstromanteile der verschiedenen Zonen des Gesichtsfeldes unmittelbar zu messen gestattet. Auf der anderen Seite stellt das Verfahren, geplante Anlagen unter Benützung einer besonderen graphischen Projektion des Gesichtsfeldes und mit Hilfe des Interreflexionsverfahrens zu bewerten, eine zwar genaue, aber auch recht komplizierte Lösung des Problems dar.

Zu Frage 3: Die Anwendung des Loganschen Verfahrens auf die Bewertung geplanter Anlagen benötigt das besondere Projektionspapier und die Tabellen des Interreflexionsverfahrens, bietet also keinerlei prinzipielle Schwierigkeiten. Die Beurteilung ausgeführter Anlagen ist jedoch nur möglich, wenn man sein besonders konstruiertes objektives Photometer zur Verfügung hat. Da dieses Instrument recht teuer ist, kann man nicht erwarten, dass es verbreitete Anwendung finden wird.

b) Das Verfahren der begrenzten Leuchtdichte-Verhältnisse

(Nach den Vorschlägen der Amerikanischen Ill. Eng. Soc.)

Zu Frage 1: Das Wesentliche an diesem Verfahren ist, dass es mehr oder weniger «ex cathedra» erklärt, dass ein bestimmtes Leuchtdichte-Verhältnis innerhalb des Gesichtsfeldes nicht überschritten werden soll. Wir haben bereits darauf hingewiesen, dass die empfohlenen Werte sich im Laufe der Jahre geändert haben, aber das 1:3-Verhältnis

scheint sich durchsetzen zu wollen. Es unterliegt keinem Zweifel, dass dieses 1:3-Verhältnis zu sehr niedrigen Werten für die zulässigen Höchstwerte der Leuchtdichte im Gesichtsfeld führt, und es hat daher auch keineswegs allgemeine Zustimmung gefunden, weder in England noch gar in den USA. Der Kompromiss, zu dem der Fachausschuss für Bürobeleuchtung der amerikanischen IES kommt, scheint den Bedürfnissen der Praxis viel besser gerecht zu werden, als es das etwas willkürlich festgelegte und zu weitgehende 1:3-Verhältnis tun könnte.

Zu Frage 2: Für dieses Verfahren besteht das räumliche Problem praktisch überhaupt nicht, da die räumliche Lichtstromverteilung nicht im einzelnen berücksichtigt wird. Die einzige Unterscheidung, auf die man sich einlässt, bezieht sich auf das Gesichtsfeld innerhalb und ausserhalb eines Sehwinkels von 30°.

Zu Frage 3: Da das Kriterium überaus einfach ist, besteht in der Anwendung des Verfahrens auf die Bewertung bestehender oder geplanter Anlagen keine Schwierigkeit. Die notwendigen Leuchtdichtemessungen können, wie Y. G. Hurd¹⁵⁾ gezeigt hat, mit jedem handelsüblichen objektiven Beleuchtungsmesser ausgeführt werden, dem ein einfacher konischer Tubus aufgesetzt wird.

c) Das Bewertungssystem von Moon und Spencer

Zu Frage 1: Da sich Moon und Spencer sehr für begrenzte Leuchtdichte-Verhältnisse unter ähnlichen Voraussetzungen wie bei dem soeben behandelten Verfahren einsetzen, gilt das im vorigen Abschnitt Gesagte auch hier, wo man sich ebensowenig um Einzelheiten der räumlichen Lichtstromverteilung kümmert.

In einem gewissen Umfang wird diese Einstellung durch einige der anderen Faktoren des Moon-Spencerschen Bewertungssystems korrigiert, z. B. durch «Schattigkeit» und «Psychologische Einflüsse», da eine äusserst ungewöhnliche Lichtstrom- oder Leuchtdichte-Verteilung (im Sinne der Loganschen Definition dieses Begriffes) unerwünschte psychologische Wirkungen auslösen könnte.

Zu Frage 2: Hier gilt das im Abschnitt b) Gesagte in vollem Umfang.

Zu Frage 3: Betrachtet man das gesamte Bewertungssystem, so lässt sich feststellen, dass einige der acht Faktoren sowohl bei der Bewertung von ausgeführten, als auch bei der Beurteilung von geplanten Anlagen einfach zu ermitteln sind, z. B. (1) Beleuchtungsstärke, (2) Leuchtdichte-Verteilung, (4) Schattigkeit, (5) spektrale Energiieverteilung und (8) Wirtschaftlichkeit. Andere Faktoren, z. B. (6), die psychologischen und (7), die ästhetischen Einflüsse sind ausserordentlich schwer zu definieren. Faktor Nr. 3 (die Verteilung der auf gerichteter Reflexion beruhenden Leuchtdichten) kann nur unter bestimmten Annahmen, insbesondere hinsichtlich der Art der spiegelnden Ober-

¹⁵⁾ Y. G. Hurd: Measurement of Helios with a Barrier-layer Cell. Illum. Engng. Bd. 41 (1941), S. 306...311.

fläche und ihrer Lage im Raum, vorausgesagt oder gemessen werden.

Solange jedoch die Verfasser nicht in der Lage sind, für alle 8 Faktoren gleich gut fundierte und zahlenmässig ausdrückbare Bewertungsgrundlagen zu schaffen, kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, als ob das ganze System nur aus reiner Freude am Systematisieren aufgestellt worden wäre und keine grosse praktische Bedeutung erlangen dürfte. Das in der Arbeit von Moon und Spencer im einzelnen zitierte Beispiel ist nicht in der Lage, diese Behauptung zu widerlegen, da die dort den verschiedenen Faktoren beigelegten «Punkte» keine Überzeugungskraft besitzen.

d) Das Blendungsbewertungssystem von Harrison und Meaker

Zu Frage 1: Dieses Verfahren berücksichtigt den Einfluss der räumlichen Verteilung der Leuchtdichte mit Hilfe des Ortsfaktors K_L , der auf Messungen beruht, mit denen versucht wurde, den Einfluss der Lage der Blendungslichtquelle zur Blickrichtung zu erfassen. Noch sind die Unterlagen etwas unvollkommen, aber eine Korrektur ist jederzeit möglich. Der Kontrastfaktor K_F ist ein weiteres Mittel, um die Leuchtdichte-Verhältnisse in bestimmten Grenzen zu halten. Eine neuere Arbeit von Luckiesh und Guth¹⁶⁾ zeigt, dass der Blendungseffekt von zwei Lichtquellen nur dann additiv ist, wenn beide Lichtquellen symmetrisch zur Blickrichtung angeordnet sind. Bei unsymmetrischer Anordnung besteht Abweichung von der Additivität. Harrison weist zudem selbst wiederholt darauf hin, dass seine Formel und seine Tabellen noch der Verbesserung bedürfen.

Zu Frage 2: Dieses Problem wird in einem gewissen Umfang durch den Ortsfaktor gelöst.

Zu Frage 3: Die Anwendbarkeit dieses Blendungsbewertungssystems hängt fast ausschliesslich von der Güte der von Harrison und Meaker¹²⁾ 13) veröffentlichten Tabellen ab, da man kaum erwarten kann, dass sich Lichtingenieure in der Praxis mit den recht umständlichen Berechnungsverfahren abmühen werden. Sollte es sich, wie man annehmen kann, herausstellen, dass die Tabellen im grossen und ganzen ein zuverlässiges Urteil über Beleuchtungsanlagen aller Art erlauben, so würden sie gern und oft benützt werden. Die Bewertung bereits vorhandener Anlagen nach der Gleichung oder nach den Tabellen hängt nur von dem Vorhandensein eines geeigneten Leuchtdichtemessers ab, begegnet also keinen nennenswerten Schwierigkeiten.

IV. Schlussbemerkungen

Wir glauben, hier das Wesentliche, was über die Brauchbarkeit der verschiedenen zur Diskussion gestellten Gütebewertungsverfahren zu sagen wäre, angeführt zu haben. Um das Bild abzurunden, sollen jedoch noch einige weitere Punkte gestreift werden.

¹⁶⁾ M. Luckiesh and S. K. Guth: Brightnesses in Visual Field at Borderline between Comfort and Discomfort (BCD). Illum. Engng. Bd. 44(1949), S. 650..670.

Die Reflexblendung, die in vielen Beleuchtungsanlagen eine grosse Rolle spielt, wird von dem Harrison-Meaker-Verfahren gänzlich ausser acht gelassen, während das Verfahren der begrenzten Leuchtdichte-Verhältnisse und das Moon-Spencer-System die Reflexblendung bei der Festlegung der zulässigen Leuchtdichte-Verhältnisse mit einschliessen. Logans Verfahren berücksichtigt die Reflexblendung nur dann, wenn sich die gerichtet reflektierenden Oberflächen (z. B. blankes Papier auf dem Schreibtisch) bereits im Gesichtsfeld befinden, wenn die Lichtstromverteilung ausgemessen oder berechnet wird.

Nach Ansicht vieler Lichttechniker, besonders in Grossbritannien, legt das Verfahren der begrenzten Leuchtdichte-Verhältnisse und die Methode von Moon und Spencer viel zu grossen Wert auf das Gesichtsfeld mit gleichförmiger Leuchtdichte. Beide Verfahren bezeichnen ein solches Gesichtsfeld als «normal», aber das steht im Widerspruch zu dem, was nach Logan als «normal» angesehen werden muss. Logans «normale» natürliche Lichtstromverteilung ist sicherlich ungleichförmig. Dies wird übrigens durch einige englische Lichtingenieure bestätigt, die Gelegenheit hatten, einige auf das 3:1-Verhältnis abgestellte Beleuchtungsanlagen in den USA zu besichtigen. Sie erklärten, dass sie diese Anlagen keineswegs als so gut empfunden hätten, wie ihre amerikanischen Kollegen es erwarteten, sie seien im Gegenteil von der Eintönigkeit stark beeindruckt worden. Harrison selbst hält das auf 3:1 begrenzte Leuchtdichte-Verhältnis für eine Art «Kurzschluss-Verfahren»; Tausende von Beleuchtungsanlagen, die in jeder Weise als blendungsfrei zu bezeichnen sind, würden dadurch als ungeeignet bezeichnet.

Gegen Moons Adaptationsleuchtdichte und den ausserordentlich kleinen Anteil, den die parafoveale Leuchtdichte an ihr hat, wendet Logan folgendes ein: die Stäbchen, d. h. die Aussenbezirke der Netzhaut, ermöglichen es dem Menschen überhaupt erst, sich sicher zu bewegen und rechtzeitig vor etwa auftauchenden Hindernissen gewarnt zu werden. Man müsse daher bei der Definition der «wirksamen» Adaptationsleuchtdichte den Einfluss des zentralen Gesichtsfeldes nicht überbewerten.

Beim Vergleich der verschiedenen Methoden miteinander darf man schliesslich auch nicht ausser acht lassen, dass die Richtlinien, die sich aus Logans Vorschlägen ergeben, und die Voraussetzungen, auf denen sich das Bewertungssystem von Moon und Spencer und das Verfahren der begrenzten Leuchtdichte-Verhältnisse aufbauen, nicht ganz realistisch sind. Die ihnen zugrundeliegenden Ideen beruhen auf Erfahrungen, die man in Amerika mit ultramodernen Beleuchtungsanlagen für höchste Ansprüche gewonnen zu haben glaubt. Es kann nicht eindringlich genug darauf hingewiesen werden, dass das in diesen Anlagen vorhandene Beleuchtungsniveau keineswegs weit verbreitet ist, nicht einmal in den USA, geschweige denn in anderen Ländern.

Dieser Hinweis betrifft nicht das Blendungsbewertungssystem von Harrison und Meaker, das sich auf Grund der veröffentlichten Tabellen auf jedes praktisch in Frage kommende Beleuchtungsniveau anwenden lässt. Man kann freilich noch nicht mit Sicherheit übersehen, inwieweit der Bereich der als annehmbar bezeichneten Blendungsfaktoren, wie er durch das Urteil der sieben amerikanischen Lichtingenieure festgelegt worden ist, nicht durch das relativ hohe Niveau der Beleuchtungstechnik in den USA beeinflusst wurde. Hier muss das Urteil von Lichttechnikern aus anderen Ländern abge-

wartet werden. Auf der Pariser Tagung der Internationalen Beleuchtungs-Kommission im Juli 1948 hörte man verschiedentlich, dass Blendungsfaktoren zwischen 50 und 100 nicht einmal für Bürobeleuchtung als zu hoch angesehen zu werden brauchten. Hierauf lässt auch eine neuere Arbeit von Meaker schliessen¹⁷⁾.

Adresse des Autors:

Dr.-Ing. A. Dresler, 12, Pascoe Avenue, Bentleigh, Melbourne (Australien).

¹⁷⁾ Phelps Meaker: Brightness vs. Area in the Glare Factor Formula. Illum. Engng. Bd. 44(1949), S. 401...404.

Neues Erdungsprüfgerät (EP-Gerät) zum Untersuchen der Erdungsanlagen in Niederspannungsnetzen

Von J. Husi, Zürich

621.317.736

Zur Feststellung, ob in Niederspannungsnetzen bei Erdschluss durch Schmelzen der Sicherungen defekte Anlageteile von den Zuleitungen selbsttätig abgeschaltet werden, oder zum Messen der bei Erdschluss im Bereiche der Fehlerstrombahn auftretenden Potentialdifferenzen ist eine neue Messmethode entwickelt worden. Es wird hier die Methode und das von der EMA A.-G., Fabrik für elektrische Messapparate, Meilen (ZH), nach ihr gebaute Erdungsprüfgerät (genannt EP-Gerät) beschrieben. Das EP-Gerät kann in Wechsel- und Mehrphasennetzen bis 290 V Spannung gegen Erde verwendet werden.

Cet article décrit une nouvelle méthode pour vérifier le fonctionnement des fusibles coupe-circuit assurant la coupure entre les lignes d'aménée de courant et les parties d'installation défectueuses en cas de court-circuit accidentel à la terre dans des réseaux à basse tension. Ce procédé permet également de contrôler les différences de potentiels dues aux courants de défaut. La fabrique d'appareils de mesure électriques EMA S. A. à Meilen (ZH) a développé un appareil de contrôle (contrôleur de mise à la terre EP) pouvant être utilisé dans des réseaux mono- ou polyphasés jusqu'à des tensions de 290 V contre la terre.

Einleitung

Die elektrischen Niederspannungsverteilanlagen sind nach Ziff. 4, Art. 26, der bundesrätlichen Starkstromverordnung (StV) so einzurichten, dass bei Erdschluss z. B. an Motoren- oder Apparategehäusen höchstens 50 V Spannung gegenüber Erde auftreten oder der defekte Anlageteil bei höheren Spannungen innert weniger Sekunden (5 s) selbsttätig abgeschaltet wird. Ferner ist vorgeschrieben, dass der Systemnullpunkt betriebsmässig geerdet werden muss. Zum kurzzeitigen Abschalten des defekten Anlageteiles oder zum Tiefhalten der bei Erdschluss an den Objektgehäusen entstehenden Spannungen gegen Erde wird in den Energieverteilanlagen meistens die Nullung oder die Schutzerdung, vereinzelt aber auch die Schutzschaltung angewendet (siehe § 18 der Hausinstallationsvorschriften des SEV).

Die eindeutige Methode zur Prüfung der Erdungssysteme besteht darin, dass bei künstlich erzeugten satten Erdschlüssen das Schmelzen der Objektsicherungen beobachtet wird, oder die im Bereiche der Fehlerstrombahn entstehenden Potentialdifferenzen gemessen werden. Bei dieser Methode können aber die Anlagen Schaden nehmen; auch führt sie oft zu Betriebsunterbrüchen. Daher werden meistens solche Prüfungen mit einem Begrenzungswiderstand, der den Fehlerstrom erheblich verkleinert, durchgeführt. Die so im verkleinerten Maßstab im Bereich der Fehlerstrombahn erzeugten, d. h. gemessenen Potentialdifferenzen müssen aber auf die bei Erdschluss entstehenden umgerechnet werden.

Diese umständlichen Verfahren erweckten den Wunsch nach einem Gerät, mit dem die Prüfungen

der Erdungssysteme auf ihre Wirkung bei Erdschluss einfacher möglich sind. Aus einigen mathematischen Überlegungen heraus resultierte eine Lösung, die diese Forderung erfüllt. Die hergeleiteten Beziehungen ermöglichen eine einfache Konstruktion des Gerätes. Mit ihm ist für Erdschlüsse das rechtzeitige Schmelzen der Objektsicherungen bestimmbar. Auch können die im Bereiche der Fehlerstrombahn auftretenden Potentialdifferenzen direkt gemessen werden; lediglich bei fremden Spannungseinflüssen sind sie unter Umständen etwas zu korrigieren. Das Gerät ist auch als Voltmeter für 80 V und 400 V verwendbar. Die mit dem EP-Gerät durchgeführten Messungen und die dabei gesammelten Erfahrungen haben dessen Brauchbarkeit vollauf erwiesen.

Theoretische Grundlagen

In den folgenden Ableitungen und Ersatzschaltbildern bedeuten:

- E EMK im Transformator oder Energieerzeuger (zwischen Polleiter und Systemnullpunkt)
- U Netzspannung am Verbraucher
- U_b Spannung am Begrenzungswiderstand R_b
- U_f Potentialdifferenz in der Fehlerstrombahn
- I_c Fehlerstrom
- I_b begrenzter Fehlerstrom
- I_i Strom im Instrument
- Z_n Summe aller Widerstände in der Fehlerstrombahn
- Z_e Teilwiderstand von Z_n
- R_b Begrenzungswiderstand
- Z_v Verbraucherwiderstand
- R Widerstand des Voltmeters
- R_x Teilwiderstand des Voltmeters