

## Der Einfluß der Blendquellengröße auf die physiologische Blendung bei kleinen Blendwinkeln

In verschiedenen Untersuchungen (z. B. *Holladay* 1926 [1], *Crawford* 1936 [2], *Adrian* 1961 [3], *Hartmann* 1961 [4]) wurde ein einfaches Additionstheorem für die physiologische Blendung gefunden bzw. bestätigt. Dieses Theorem sagt aus, daß die Gesamtschleierleuchtdichte  $L_S$  von mehreren im Gesichtsfeld vorhandenen Blendquellen gleich der Summe der Schleierleuchtdichten  $L_{S_i}$  der einzelnen Blendquellen ist. Bedient man sich der üblichen Formulierung für die Schleierleuchtdichte, so läßt sich dieser Sachverhalt wie folgt darstellen:

$$L_S = \sum_{i=1}^m L_{S_i} = k \sum_{i=1}^m \frac{E_{H_i}}{\Theta_i^n} = k \sum_{i=1}^m \frac{L_{B_i} \omega_{B_i} \cos \Theta_i}{\Theta_i^n} \quad (1)$$

bzw. in integraler Formulierung für zusammenhängende Blendquellen:

$$L_S = \tilde{k} \int \int \frac{L_B(\Theta, \varphi)}{\Theta^n} \sin \Theta \cos \Theta \, d\Theta \, d\varphi \quad (1a)$$

$L_S = \text{cd/m}^2$ ;  $E_H = \text{Hornhautbeleuchtungsstärke in lx}$ ,  $\Theta = \text{Blendwinkel in Grad}$ ;  $L_B = \text{Leuchtdichte der Blendquelle in cd/m}^2$ ;  $\omega_B = \text{Raumwinkel in sr}$ , unter dem die Blendquelle erscheint;  $k$  ist eine Konstante mit einem Zahlenwert von  $\approx 10$ , wobei auch wesentlich größere Werte vorkommen können. (Es ist also sicher nicht sinnvoll mit Dezimalen, z. B. 9,4 oder 9,6 zu rechnen. Solche Zahlen täuschen eine Genauigkeit und eine Allgemeingültigkeit vor, die in Wirklichkeit nicht gegeben ist.)  $n \approx 2$ , wobei Schwankungen um 30% und mehr auftreten, je nach Meßmethode, Versuchsanordnung, Alter der Versuchsperson usw. (Hier gilt das gleiche, was bereits bei  $k$  gesagt wurde. 2 ist bestenfalls ein brauchbarer Mittelwert.) Der Index  $i$  bezeichnet die jeweilige Größe für die  $i$ -te Blendquelle. Als untere

Grenze des Blendwinkels  $\Theta$  bis zu der die Formeln (1) und (1a) gültig sind, haben *Moon* und *Spencer* 1943 [5] und *Altmann* 1965 [6]  $\Theta = 1^\circ$  angenommen.

Das Additionstheorem ist ohne Schwierigkeiten verständlich, wenn man von den physikalischen Ursachen der Blendung, nämlich der Lichtstreuung in den Medien des Auges ausgeht (z. B. *Vos* 1962 [7]). Bei kleinen Blendwinkeln ( $\Theta < 3^\circ$ ) scheint dieses Additionstheorem aber nicht mehr zu gelten, wie im folgenden ausgeführt werden soll.

Mit einer Versuchsanordnung, wie sie schematisch aus *Bild 1* zu ersehen ist, wurde die Additivität der Schleierleuchtdichte im Bereich kleiner Winkel überprüft. Die Blendquelle war einmal kreisringförmig um den Ort, auf den das Testzeichen projiziert wurde, angeordnet, so daß der Blendwinkel für eine bestimmte Meßsituation auch bei Variation der Blendquellengröße streng konstant blieb (*Bild 1a*). Verschiedene feste Blendwinkel waren vorgesehen ( $\Theta = 0,5^\circ; 1^\circ; 2^\circ; 3,5^\circ$ );  $\Theta$  ist der Blendwinkel, der durch die Verbindungslinien Augenmitte — Testzeichen und Augenmitte — Blendquelle gegeben ist. Außerdem konnten Blendquellenlänge und Blendquellenleuchtdichte unabhängig voneinander um einen Faktor 100 variiert werden. Auf diese Weise war es möglich, die Länge und damit die Größe der Blendquelle zu verändern und durch geeignete Anpassung der Leuchtdichte die Hornhautbeleuchtungsstärke konstant zu halten. Zum anderen wurde eine radiale Blendquelle benutzt. Die Versuchsanordnung zeigt *Bild 1b*. Die radiale Blendquelle befand sich waagrecht neben dem Testzeichen und sie war ebenfalls in der Länge und Leuchtdichte variabel, so daß für jede Größe der Blendquelle konstante Hornhautbeleuchtungsstärke eingestellt werden konnte. Die Blendquellenbreite  $b$  betrug für beide Anordnungen stets 3 mm, und die VP befand sich in einer Entfernung von 3,5 m. Daraus ergibt sich, daß die Blendquellenbreite höchstens 3' betrug und gegenüber dem Blendwinkel (der kleinste war 30') vernachlässigt werden konnte.

\* Prof. Dr. E. Hartmann und Dipl.-Phys. Ch. Ucke, beide Institut für medizinische Optik der Universität München.

Zusammen mit einem Umfeld von 400' und einer Umfeldleuchtdichte von 0,05 cd/m<sup>2</sup> wurden zwei dünne schwarze Striche projiziert, die als Fixationsreize für das in der Mitte erscheinende Testzeichen dienten.

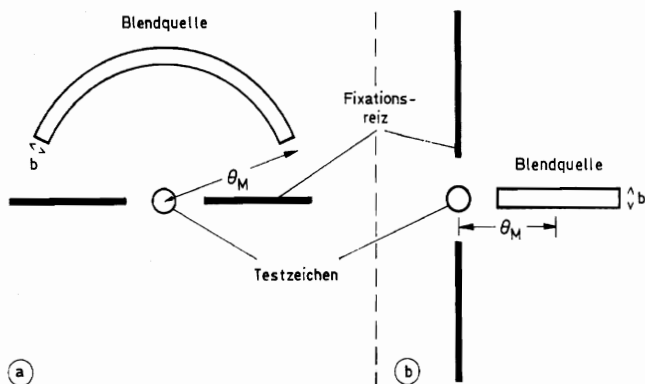


Bild 1. Versuchsanordnung zur Überprüfung des Additionstheorems der Schleierleuchtdichte. In Bild 1 a ist eine kreisringförmige Blendquelle dargestellt, die es gestattet, bei konstanter Hornhautbeleuchtungsstärke und Blendwinkel die Leuchtdichte (bzw. die Blendquellengröße) zu verändern. In Bild 1 b sieht man eine radiale Blendquelle, bei der der Winkel  $\theta_M$  bei veränderlicher Blendquellenleuchtdichte konstant gehalten wird

Das Testzeichen, eine Kreisscheibe von 4' Durchmesser und positivem Kontrast wurde in einem wechselnden Rhythmus im Zentrum des homogenen Umfeldes dargeboten. Die VP regelten von unterschwelligen Werten ausgehend, die Leuchtdichte des Testzeichens so ein, daß sie es bei gegebener Blendsituation gerade erkennen konnten (Schwellenmessung). Mit dem wechselnden Rhythmus, den die VP richtig erkennen mußten, wurde die Ratewahrscheinlichkeit erniedrigt, die Schwelle allerdings erhöht. Die gesamte Beleuchtung wurde mit Glühlampen erzeugt, wobei für die Blendquelle Parabolspiegel benutzt wurden. Die Versuchspersonen beobachteten beidäugig. Mit der beschriebenen Anordnung ist es insbesondere möglich festzustellen, ob bei konstantem Winkel  $\theta$  und konstanter Hornhautbeleuchtungsstärke  $E_H$ , aber variabler  $L_B$  (bzw.  $\omega_B$ , da ja  $E_H = L_B \cdot \omega_B \cdot \cos \theta \approx L_B \cdot \omega_B$ , wegen  $\cos \theta \approx 1$  bei kleinen Winkeln) die Schleierleuchtdichte  $L_S$  gemäß dem Additionstheorem konstant bleibt. Im Falle der kreisringförmigen Blendquelle ist dies unmittelbar einsichtig, bei der radialen Blendquelle führt eine umständlichere Betrachtung aber ebenfalls zum Ziel.

Zunächst wurde die Winkelabhängigkeit der physiologischen Blendung mit einer „punktförmigen“ Blendquelle (Größe  $3 \times 3 \text{ mm}^2 \triangleq 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ sr}$ ) geprüft, um festzustellen, inwieweit die zu Beginn mitgeteilten Konstanten für  $k$  und  $n$  gemäß dem Hollaydayschen Formalismus reproduzierbar waren. Punktförmige Blendquelle heißt dabei, daß der Durchmesser der Blendquelle (ausgedrückt in min) gegenüber dem Winkel  $\theta$  klein ist. Bei einer Hornhautbeleuchtungsstärke  $E_H = 0,2 \text{ lx}$  ergaben sich ähnliche Werte, wie sie Hartmann und Moser (1968) [8] in ihrer Arbeit berichten. In der Darstellung

$$L_S = k \frac{E_H}{\theta^n}$$

$L_S$  in cd/m<sup>2</sup>  
 $E_H$  in lx  
 $\theta$  in Grad

folgten für  $n$  und  $k$  die Werte:

$$20' \leq \theta \leq 90' \quad k_2 = 32 \quad n_2 = 3,3$$

$$90' < \theta \quad k_1 = 22 \quad n_1 = 2,4$$

Für Winkel  $\theta$  größer als 90' stimmen die Werte  $k_1$  und  $n_1$  in befriedigender Weise mit den in der Literatur angegebenen überein, wenn man zusätzlich berücksichtigt, daß mit ungeübten Vpn gearbeitet wurde und, von unterschwelligen Werten ausgehend, das Testzeichen bis zur Erkennbarkeit eingestellt wer-

den mußte. Für den Nachweis der Nichtadditivität der Schleierleuchtdichte spielt die Größe der Konstanten im übrigen praktisch keine Rolle.

Der seltsam anmutende Wert des Winkels 90', bei dem sich die Größen  $n$  und  $k$  ändern, stellt lediglich eine Rechengröße dar. In Wirklichkeit dürfte es ein Übergangsgebiet geben, in dem sich  $k$  und  $n$  kontinuierlich ändern.

Die mitgeteilten Werte von  $n$  und  $k$  sind mit einem Fehler  $\leq \pm 10\%$  behaftet.

Bild 2 zeigt die Ergebnisse der Messungen für die kreisförmige Blendquelle und verschiedene feste Blendwinkel, die unterschiedlichen Radien der Kreisbögen entsprechen. Es ist die Schleierleuchtdichte  $L_S$  als Funktion der Blendquellenleuchtdichte  $L_B$  (bzw. der Blendquellengröße  $\omega_B$ , da ja  $L_B \cdot \omega_B = E_H = 0,2 \text{ lx}$  ist) aufgetragen. Kurvenparameter ist der Blendwinkel  $\theta$ .

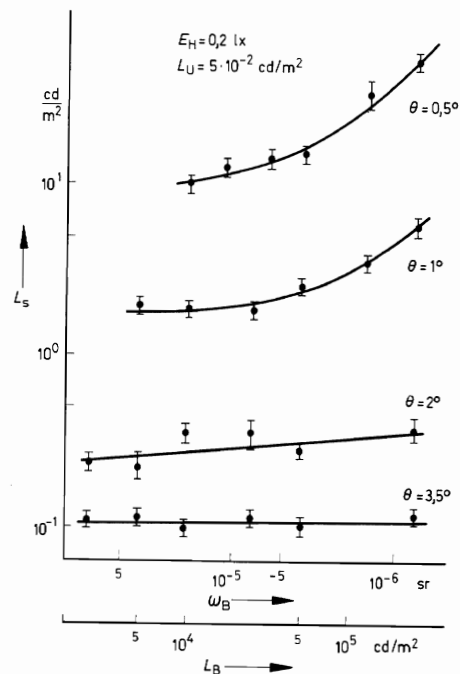


Bild 2. Die Schleierleuchtdichte  $L_S$  als Funktion der Blendquellenleuchtdichte  $L_B$  bzw. der Blendquellengröße  $\omega_B$  bei einer kreisringförmigen Blendquelle mit konstant bleibender Hornhautbeleuchtungsstärke  $E_H$ . Parameter ist der Blendwinkel  $\theta$

Das Bild 3 zeigt die entsprechenden Ergebnisse für radiale Blendquellen, wobei hier der Blendwinkel  $\theta_M$  ebenfalls als Parameter fungiert. Während aber bei der kreisringförmigen Blendquelle der Blendwinkel auch bei Vergrößerung der Blendquelle längs der Kreisbahn automatisch konstant bleibt, ist es bei der radialen Blendquelle zur Erhaltung des Blendwinkels notwendig, diese nach innen und nach außen symmetrisch zu vergrößern, weil nur dann der Mittelpunkt der Blendquelle erhalten bleibt. Obwohl eine solche Maßnahme bei der kreisringförmigen Blendquelle nicht notwendig gewesen wäre, wurde auch dort die Blendquelle symmetrisch vergrößert.

Die Meßpunkte wurden durch Mittelwertbildung in der üblichen Weise gewonnen. Um evtl. mögliche Adaptationseinflüsse zu Beginn der Messungen und Ermüdungserscheinungen am Ende der Messungen zu verringern, wurden die Messungen für jeden Blendwinkel einmal in Richtung zunehmender und einmal in Richtung abnehmender Blendquellenleuchtdichte durchgeführt und gemittelt. Die Versuche wurden insgesamt mit drei Versuchspersonen durchgeführt.

Zu den Ergebnissen ist folgendes festzustellen: Wäre das Additionstheorem uneingeschränkt gültig, so müßten sich im Falle des Bildes 2 Geraden parallel zur Abszisse ergeben. Für den Blendwinkel  $\theta = 3,5^\circ$  trifft dies auch noch zu. Bei kleineren Blendwinkeln gibt es jedoch offensichtliche Abweichungen,

dergestalt, daß mit zunehmender Leuchtdichte bzw. abnehmender Blendquellengröße, die Schleierleuchtdichte deutlich ansteigt und zwar um so mehr, je kleiner der Blendwinkel ist.

Die Ergebnisse des Bildes 3 sind etwas komplizierter zu deuten. Bei einer in radialer Richtung ausgedehnten Blendquelle ist der Blendwinkel nicht eindeutig definiert. Die Mitte der Blendquelle

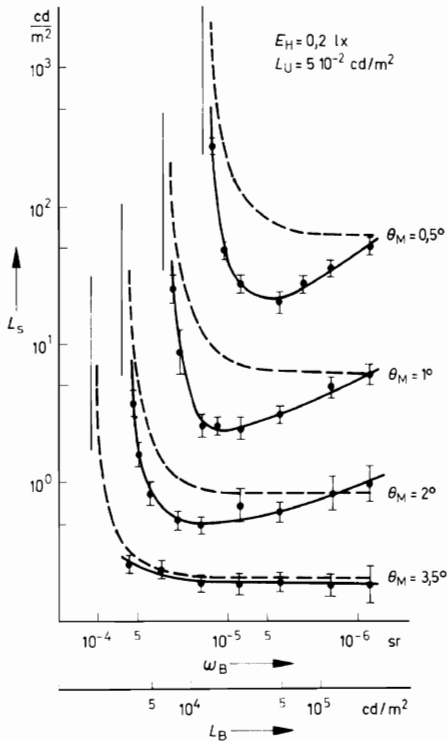


Bild 3. Die Schleierleuchtdichte  $L_S$  als Funktion der Blendquellengröße  $\omega_B$  bzw. der Blendquellenleuchtdichte  $L_B$  bei einer radialen Blendquelle. Parameter ist der Winkel  $\Theta_M$  zur Mitte der Blendquelle. Die Meßwerte sind mit einer durchgezogenen Linie verbunden; gestrichelt die rechnerischen Werte gemäß dem Additionstheorem, wobei als Bezugsgröße  $\omega_B = 7,6 \cdot 10^{-7}$  sr genommen wurde

stellt nicht das geeignete Bezugsmaß für die Berechnung der Schleierleuchtdichte  $L_S$  dar, da der Blendwinkel nicht linear, sondern reziprok-quadratisch in die Formel eingeht. Man kann nun einen Blendschwerpunkt  $\Theta_S$  folgendermaßen sinnvoll definieren:

Als Blendwinkel einer ausgedehnten Blendquelle (der Leuchtdichte  $L_1$  und des Raumwinkels  $\omega_1$ ) der Hornhautbeleuchtungsstärke  $E_H$  ist derjenige Winkel  $\Theta_S$  anzusehen, den eine punktförmige Blendquelle (der Leuchtdichte  $L_2$  und des Raumwinkels  $\omega_2$ ) gleicher Hornhautbeleuchtungsstärke  $E_H$  mit dem Testzeichen einschließt, wenn die Punktblendquelle dieselbe Schleierleuchtdichte  $L_S$  wie die ausgedehnte Blendquelle hervorruft.

Mathematisch läßt sich dieser Sachverhalt bei einer radialen Blendquelle, deren Breite  $b$  klein gegenüber dem Blendwinkel  $\Theta$  ist, mit Hilfe von Bild 4 präzisieren. Wegen  $E_H = \text{const.}$  und  $\cos. \Theta \approx 1$  (was für die vorliegenden Messungen zutrifft) gilt

$$E_H = L_1 \cdot \omega_1 = L_2 \cdot \omega_2$$

bzw. da die Breite  $b$  in beiden Fällen gleich sein soll:

$$L_1(\Theta_{12} - \Theta_{11}) = L_2(\Theta_{22} - \Theta_{21}).$$

Man kann dann für die Schleierleuchtdichte  $L_S$  schreiben:

$$L_S = k^* \cdot L_1 \cdot \int_{\Theta_{11}}^{\Theta_{12}} \frac{1}{\Theta^n} \cdot \Theta = k^* \cdot L_2 \cdot \frac{\Theta_{22} - \Theta_{21}}{\Theta_s^n}.$$

Der Faktor  $k^*$  soll alle nicht unmittelbar wichtigen Größen beinhalten, wie z. B. Dimensionsumrechnungsfaktoren und die Breite  $b$  der Blendquellen.

Mit allen genannten Vereinfachungen ergibt sich schließlich:

$$\Theta_s^n = \frac{(\Theta_{12} - \Theta_{11})(n - 1)}{\Theta_{11}^{1-n} - \Theta_{12}^{1-n}}.$$

Für andere ausgedehnte Blendquellen muß man auf die integrale Formulierung des Additionstheorems zurückgreifen, was einen größeren Rechenaufwand bedeutet.

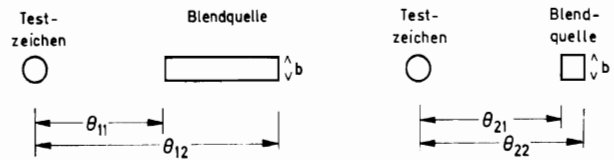


Bild 4. Zur Verdeutlichung der Definition des Blendschwerpunktes bei einer in radialer Richtung ausgedehnten Blendquelle (Näheres im Text)

Berechnet man die Schleierleuchtdichte nach der Formel

$$L_S = k \frac{E_H}{\Theta_s^n}$$

wobei die zu Beginn angegebenen Werte für  $n$  und  $k$  verwendet werden, so erhält man im Falle des Blendwinkels  $\Theta_M = 3,5^\circ$  zutreffende Ergebnisse (gestrichelt eingezeichnet in Bild 3), während im Falle  $\Theta_M \leq 2^\circ$  Abweichungen auftreten.

Auch bei der radialen Blendquelle ergibt sich also, daß die Schleierleuchtdichte bei kleinen Blendwinkeln nichtadditiv ist.

Aus den Bildern 2 und 3 folgt ferner, daß ausgedehnte Blendquellen im Bereich kleiner Winkel physiologisch weniger blendend als kleine, punktförmige Blendquellen gleicher Hornhautbeleuchtungsstärke. Dieser Sachverhalt ist bei der psychologischen Blendung durchaus geläufig.

In der physiologischen Blendung ist dies aber auch schon öfters in der Literatur berichtet worden. So weisen z. B. Legrand (1937) [9] und Eichhoff (1962) [10] in ihren Arbeiten darauf hin. Allerdings sind die Messungen im allgemeinen bei größeren Blendwinkeln und Blendquellenraumwinkeln durchgeführt worden. Die gefundenen Effekte sind wohl deshalb immer nur sehr gering gewesen.

Mjasoedova (1968) [11] befaßt sich ebenfalls mit der Nichtadditivität der Schleierleuchtdichte. Eine Formel, die sie zur Berechnung der Schleierleuchtdichte linienförmiger Blendquellen angibt, führt aber im vorliegenden Fall zu keinen vernünftigen Ergebnissen, da eine negative Schleierleuchtdichte resultiert.

Die Deutung der festgestellten Nichtadditivität der Schleierleuchtdichte ist vorläufig noch ziemlich spekulativ.

Gehen wir zunächst auf den Einfluß der Pupille ein. Nach Untersuchungen von Adrian (1964) [12] ändert sich bei einer Hornhautbeleuchtungsstärke von 0,14 lx im Raumwinkelbereich  $10^{-3}$  bis fast  $10^{-6}$  sr für die Blendquelle die Pupillenweite nicht. Diese Aussage gilt allerdings für einen festen Blendwinkel von  $5^\circ$ , während in der vorliegenden Untersuchung ja mit kleineren Winkeln gearbeitet wurde. Es ist zunächst nicht anzunehmen, daß die Pupillenweite in Abhängigkeit von der Blendquellengröße  $\omega$  bei kleinen Blendwinkeln plötzlich sehr starken Änderungen unterworfen ist. Abschätzungen ergeben außerdem, daß selbst ein starker Einfluß der Pupille die beschriebene Änderung der Schleierleuchtdichte bei kleinen Blendwinkeln in Abhängigkeit von der Blendquellengröße  $\omega$  nicht zu erklären vermag. Messungen mit künstlicher Pupille könnten aber diesen Punkt klären.

Zu Beginn wurde darauf hingewiesen, daß das Additionstheorem der Schleierleuchtdichte einleuchtend ist, wenn man als Ursache für die Blendung die Streuung des Lichts in den Augenmedien annimmt. Es ist nun aber sehr wahrscheinlich, daß bei kleinen Blendwinkeln zusätzliche Prozesse eine Rolle spielen. Beispielsweise können neuronale Interaktionen in der Retina (besonders bei kleinen Blendwinkeln) wirksam werden (rezeptive Felder). Möglicherweise sind auch Blickschwankungen von Bedeutung.

Aus dem vorliegenden Untersuchungsmaterial läßt sich jedenfalls noch keine befriedigende Erklärung für die beschriebenen Ergebnisse ableiten. Der Sinn dieser Arbeit liegt darum auch mehr darin, die Gültigkeitsgrenzen des Additionstheorems aufzuzeigen und Tendenzen anzudeuten.

Weitere Untersuchungen zu diesem Thema sind im Institut für medizinische Optik im Gange.

Diese Ergebnisse, die sich in den ersten Ansätzen auch in der Arbeit von Hartmann und Moser [8] bereits gezeigt haben, sind zwar für die Innenraumbeleuchtung praktisch ohne Bedeutung, da die Blendwinkel dort in aller Regel wesentlich größer sind als  $3^\circ$ . Auch im Bereich der Straßenbeleuchtung dürfte dieser Untersuchung keine wesentliche Bedeutung zukommen, da einmal die Lichtstärke einer vernünftigen Straßenleuchte unter  $87^\circ$  nicht mehr besonders hoch ist und zum anderen die Hornhautbeleuchtungsstärke aus 170 m Entfernung, gemessen am Adaptationsniveau, auch keine großen Werte mehr erreicht. Ganz anders liegen die Verhältnisse aber im Bereich der Automobilscheinwerfer, wo im Gegenverkehr auf schmalen Straßen Blendwinkel von weniger als  $3^\circ$  bis herunter zu  $0,5^\circ$  sogar normal sind. Wir sollten daher bei den Automobilscheinwerfern nicht dazu übergehen, die Leuchtdichten zu steigern und dafür die Scheinwerfer immer kleiner zu machen. Stattdessen sollte man die unbestreitbaren Vorteile der modernen Halogenlampen zusammen mit einer Leuchtweiterregelung dazu ausnutzen, eine bessere Leuchtdichteverteilung auf der Straße zu erreichen.

So könnte man z. B. dem rechten Scheinwerfer, der wegen des größeren Blendwinkels im Normalfall weniger blendet als der linke, eine größere Reichweite geben und dafür die Lichtstärke des linken Scheinwerfers im blendungswichtigen Bereich etwas reduzieren. Man kann leicht zeigen, daß auf diese Weise bei gleicher Blendung eine bessere Fahrbahnausleuchtung möglich ist.

## Literatur

- [1] Holladay, L.: The Fundamentals of Glare and Visibility J.O.S.A. **12** (1926), 271—319
- [2] Crawford, B. H.: Integration of the glare effects from a number of glare sources, Proc. Phys. Soc. London **48** (1936), 35
- [3] Adrian, W.: Der Einfluß störender Lichter auf die extrafoveale Wahrnehmung des menschlichen Auges. I., II. u. III. LICHTTECHNIK **13** (1961), Nr. 9 S. 450/454, Nr. 10 S. 508/511 u. Nr. 11 S. 558/562
- [4] Hartmann, E.: Untersuchungen zur physiologischen Blendung, Dissertation, München 1961
- [5] Moon, P., and Spencer, D. E.: The Specification of Foveal Adaptation, J.O.S.A. **33** (1943), 444—456
- [6] Altmann, J.: Untersuchung der Unterschiedsempfindlichkeit des menschlichen Auges in der fovea centralis in Abhängigkeit von der Größe und Leuchtdichte des umgebenden Feldes. Diplomarbeit, Karlsruhe 1965
- [7] Vos, J. J.: On mechanism of glare. Thesis, Inst. f. Perception RVO-TNO Soesterberg (1962)
- [8] Hartmann, E., und Moser, E.: Das Gesetz der physiologischen Blendung bei sehr kleinen Blendwinkeln, LICHTTECHNIK **20** (1968), 67 A—69 A
- [9] Le Grand, Y.: Recherches sur la diffusion de la lumière dans l'oeil humain, Revue d'Opt. **16** (1937), 202
- [10] Eichhoff, L.: Über die Blendung in der Straßenbeleuchtung, Diplomarbeit, Berlin 1962
- [11] Mjasoedova, E.: Die Untersuchung des Summationsgesetzes der Schleierleuchtdichte, Svetotekhnika **14** (1968), 8—13
- [12] Adrian, W.: Der Einfluß der Pupillenweite bei der Bewertung der physiologischen Blendung, LICHTTECHNIK **16** (1964), 442—445
- [13] Ucke, C.: Der Einfluß der Blendquellengröße auf die Detailwahrnehmung, Diplomarbeit, München 1968

*A number of investigations confirmed that within the area of disability glare a summation formula is applicable to several discrete glare sources. In the case of a larger glare surface the sum passes into an integral, and it can be shown that this theorem of addition is also applicable to extensive glare sources. An earlier study by Hartmann and Moser already shows that at least within the range of small angles the summation formula is no longer applicable. The present study shows that in the case of circular as well as radial glare sources the equivalent veiling luminance at constant glare angle*

*and constant illumination of the cornea increases with decreasing brightness the more strongly, the smaller the angle of glare. Deviations from the theorem of addition are noted for glare angles  $< 2^\circ$ . Whereas the additivity of the equivalent veiling luminance follows clearly from the scattered light theory, the explanation of the non-additivity of the equivalent veiling luminance within the range of very small glare angles is still uncertain at the present stage of knowledge. Retinal interactions as well as involuntary eye movements could be taken into consideration for such an explanation.*

*Différentes études ont confirmé que dans le domaine de l'éblouissement perturbateur une formule d'addition est applicable à plusieurs sources d'éblouissement discrètes. En cas d'une surface d'éblouissement plus grande la somme passe dans un integral. On peut démontrer que ce théorème d'addition est également valable pour des sources d'éblouissement étendues. Il résulte d'une étude antérieure de Hartmann et Moser qu'au moins dans le domaine d'angles plus petits la formule d'addition perd sa validité. La présente étude montre qu'en cas de sources d'éblouissement radiales aussi bien que circulaires la luminance équivalente de voile en cas d'un angle d'éblouissement constant et une densité d'illumination de la cornée constante augmente avec la luminance décroissante d'autant plus fortement que l'angle d'éblouissement décroît. On note des déviations du théorème d'addition pour des angles d'éblouissement  $\leq 2^\circ$ . Tandis que l'additivité de la luminance équivalente de voile peut être déduite sans autre de la théorie de lumière diffuse une explication de la non-additivité de la densité du voile dans le domaine d'angles d'éblouissement très petits est encore incertaine à l'état actuel de notre savoir. Des interactions rétinales aussi bien que des mouvements de l'œil involontaires doivent être prises en considération pour une telle explication.*

(Eingegangen am 24. 8. 1973)