

Grundlegende Untersuchung zur Unterschiedswahrnehmung bei inhomogenen Leuchtdichtefeldern in der Straßenbeleuchtung

*Dipl.-Ing. Andreas Walkling, Univ.-Prof. Dr. sc. nat. Christoph Schierz
Technische Universität Ilmenau
Fachgebiet Lichttechnik, Prof.-Schmidt-Str. 26, 98693 Ilmenau*

1. Einleitung

Die Sehleistung von Fahrzeugführern wird vorrangig durch die Unterschiedswahrnehmung beeinflusst /1/. Sie beschreibt eine elementare Sehfunktion, Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen. Kann ein Leuchtdichteunterschied zwischen Objekt und Umfeld gerade wahrgenommen werden, so bezeichnet man diesen Wert als Schwellenleuchtdichteunterschied ΔL . Der Schwellenleuchtdichteunterschied ist beispielsweise abhängig von der Adaptionsleuchtdichte, von der Größe und Darbietungszeit des Sehobjektes und vom Alter des Beobachters.

Beim Fahren bei Nacht ändert sich die Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld des Fahrers ständig, was zu einem laufenden Adaptationsvorgang am Auge führt. Die Adaptation kann dabei den schnellen Leuchtdichteänderungen nicht folgen. Es stellt sich eine mehr oder minder zeitlich mittlere Adaptionsleuchtdichte L_a ein, die in Straßenbeleuchtungsnormen als mittlere Fahrbahnleuchtdichte L_m angenommen wird /2/.

Die Hintergrundleuchtdichte L_h von Sehobjekten variiert entsprechend der inhomogenen Beleuchtungsverteilung (insbesondere auf nasser Straßenoberfläche) und weicht meistens von der mittleren Fahrbahnleuchtdichte L_m ab. Bisherige, auf homogenen Feldern beruhende Untersuchungsergebnisse und deren Gütekennziffern sind deshalb für die Bewertung der Straßenbeleuchtung nur begrenzt anwendbar. Denn diese Untersuchungsergebnisse basieren auf der Vereinfachung, dass die Hintergrundleuchtdichte gleich der Adaptionsleuchtdichte ist. Demnach wurde hierbei der Schwellenleuchtdichteunterschied von Sehobjekten in einem homogenen Umfeld mit gleicher Leuchtdichte (Umfeldleuchtdichte L_u) untersucht. Für das homogene Umfeld gilt: $L_u = L_a = L_h$.

2. Forschungsstand

Grundlegende Untersuchungen über das Verhalten der Unterschiedswahrnehmung in unbunten homogenen Umfeldern sind bereits Anfang des 20. Jahrhunderts durchgeführt worden. Basierend auf den sehr heterogenen experimentellen Material (verschiedene Bereiche für die Umfeldleuchtdichte und Sehobjektgröße) hatte Berek 1942 eine analytische Funktion aufgestellt, die den Zusammenhang zwischen dem Schwellenleuchtdichteunterschied und den relevanten Einflussgrößen erfasst /3/. 1946 hatte Blackwell sehr ausführliche Untersuchungen durchgeführt (mehr als 90000 Messwerte von sieben Versuchspersonen), die Adrian 1969 analytisch weiterverarbeitet hat (siehe Abbildung 1) /4/ /5/. Die daraus entwickelte Funktion beschreibt den Schwellenleuchtdichteunterschied gesicherter und genauer als die frühere Berek'sche Funktion, weshalb sie beispielsweise als Basis zur Berechnung des Visibility Levels VL von Sehobjekten noch heute verwendet wird (VL = Anzahl Wahrnehmungsschwellen in einer Leuchtdichtedifferenz) /6/.

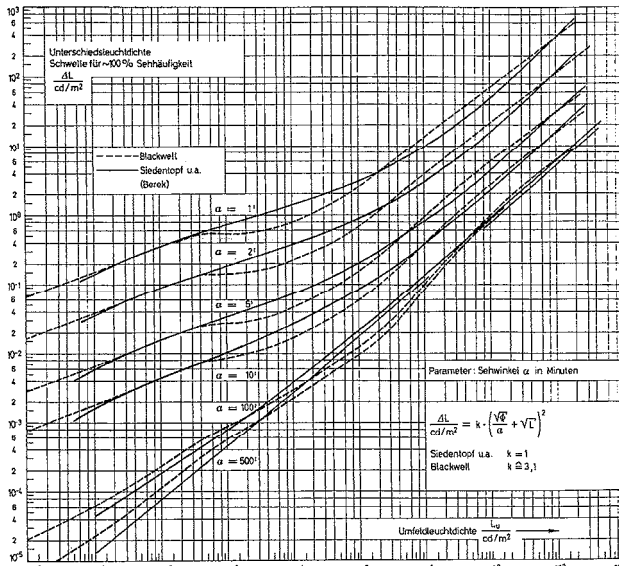


Abb. 1: Darstellung der Schwellenleuchtdichteunterschiedsfunktionen von Berek und von Adrian, letztere abgeleitet aus den Blackwell-Daten /5/

Erste Arbeiten zur Beschreibung der Wirkung von inhomogenen Feldern auf die Wahrnehmung kamen 1945 von Moon/Spencer /7/. Weiterführende Untersuchungen zum Schwellenleuchtdichteunterschied wurden 1977 von Narisada durchgeführt, welche zeigten, dass der von einer Gesichtsfeldleuchtdichte verursachte Lichtschleier sowohl eine physiologische als auch eine physikalische Wirkung hat /8/. Der Schwellenleuchtdichteunterschied wird demzufolge nicht nur von der physiologisch bedingten Adaptationsleuchtdichte, sondern auch von dem physikalischen Effekt eines durch Streulicht erzeugten Lichtschleiers auf der Netzhaut beeinflusst. Dieser wird mit der Schleierleuchtdichte beschrieben, welche die scheinbare Leuchtdichte des Sehbekjerts L_o und seines Hintergrundes L_h erhöht. Die Moon-Spencer-Gleichungen sind deshalb nicht hinreichend, weil sie lediglich den physiologischen Effekt berücksichtigen.

Die Versuchsbedingungen bei Narisada orientierten sich an der Tunnelleinfahrt bei Tage, wonach sich die Adaptationsleuchtdichte von der Hintergrundleuchtdichte deutlich unterscheidet (Black-hole-Effekt). Im ersten Teilversuch wurde der Versuchsperson ein 7 m großes quadratisches Testzeichen 0,125 s in einem kreisrunden Lichtschleierfeld angeboten. Im zweiten Teil wurde der Versuch ohne Schleierfeld wiederholt. Der untersuchte Leuchtdichtebereich reichte von ungefähr 0,3 cd/m² bis 2000 cd/m². Zwischen den beiden gemessenen Schwellenleuchtdichteunterschieden wurde ein erheblicher Unterschied festgestellt. Im Teilversuch 1 wird der Schwellenleuchtdichteunterschied durch die Adaptations- und Schleierleuchtdichte bestimmt. Im 2. Teilversuch wird der Schwellenleuchtdichteunterschied nur von der Adaptationsleuchtdichte beeinflusst. Die Differenz zwischen beiden im Labor gemessenen Schwellen ergibt einen Teilschwellenwert, der allein durch die Schleierleuchtdichte verursacht wird, die unter praktischen Straßensehbedingungen der Hintergrundleuchtdichte L_h und der äquivalenten Schleierleuchtdichte L_{eq} entspricht /9/.

3. Fragestellung und Theoriebezug

Zur Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit des Auges wird in dieser Arbeit der Einfluss des inhomogenen Gesichtsfeldes auf den Schwellenleuchtdichteunterschied bei trockener und nasser Straßenoberfläche untersucht.

In Anlehnung an die Schwellenuntersuchungen von Narisada werden Experimente durchgeführt, um dessen Ergebnisse zu validieren und weiterzuentwickeln.

4. Methode

Basierend auf dem heutigen Forschungsstand werden weiterführende Untersuchungen im Labor und Feld durchgeführt. Kern der Untersuchungen bildet ein Laboraufbau (siehe Abbildung 2), für dessen Validierung eine ergänzende Feldstudie durchgeführt wird.

Mit dem Laboraufbau wird ein Rahmen geschaffen, um normale und erschwerte Sehbedingungen reproduzierbar zu simulieren. Für die technische Umsetzung werden Beamer verwendet, mit denen sich die Testzeichen und Schleier in wechselnden Formen darstellen lassen. Um den praktischen Sichtverhältnissen auf trockener und nasser Straße näherzukommen, sind verschiedene Größen, Formen, Darbietungszeiten und Beleuchtungsniveaus für die Testobjekte und Schleier vorgesehen. Um eine hohe Retestreliabilität zu gewährleisten, wird ein teilautomatisierter Ablauf der Versuchsreihen erstellt, wobei der Versuchsleiter nur eine begleitende Rolle übernimmt.

Die Laborversuche werden mit mindestens 20 Versuchspersonen im Alter von 18 bis 75 Jahre umgesetzt. Zu Beginn hat die Versuchsperson mindestens 25 min Zeit, um zu adaptieren. In mehreren Sitzungen werden verschiedene Situationen dargeboten, in denen die Versuchsperson den Schwellenleuchtdichteunterschied in Abhängigkeit der Adaptationsleuchtdichte zu bestimmen hat. Die ortsfesten und teilweise ortsveränderlichen Darbietungen des Testobjektes werden jeweils durch ein akustisches Signal angekündigt.



Abb. 2: Laboraufbau zur Untersuchung des Schwellenleuchtdichteunterschieds

Auf der zweistreifigen Versuchsstraße (siehe Abbildung 3) mit einseitigem Gehweg steht eine einseitige Leuchtenanordnung mit insgesamt fünf Lichtpunkten innerhalb der Versuchsstrecke zur Verfügung. Die maximal mögliche Lampenbestückung der dimmbaren und LVK-variablen Versuchsstraßenleuchten beträgt 400 W. Hiermit lässt sich jedwedes Beleuchtungsniveau der ME-Beleuchtungsklassen nach DIN EN 13201 realisieren. Erschwerte Sehbedingungen werden mit einer einseitigen Beregnungsanlage simuliert. Die Straßenoberfläche kann damit gleichmäßig bewässert und in einen nassen sowie stationären Zustand versetzt werden.

Als Testobjekt wird das Standard-Testobjekt mit einer quadratischen Fläche der Größe von 20 cm x 20 cm in einer Entfernung von 60 bis 90 m vor dem Beobachterkollektiv eingesetzt. Nach einer Dunkeladaptationsphase von etwa 25 min müssen die Versuchspersonen die Detektierbarkeit von unterschiedlich hellen Testobjekten bewerten, die an verschiedenen Stellen in einem verkürzten Bewertungsfeld aufgestellt sind. Die daraus erhaltenen Straßennesswerte werden schließlich mit den Laborwerten zur Validierung der Laborergebnisse verglichen.



Abb. 3: Versuchsstraße zur Validierung der Labormesswerte

5. Ausblick

Im Verlauf dieser Arbeit werden die Laborergebnisse zur Unterschiedswahrnehmung auf der Versuchsstraße validiert. Darüber hinaus sollen relevante Gütekennziffern überarbeitet werden. Hierbei werden auch die Erkenntnisse aus den Untersuchungen unter erschwerten Sehbedingungen verstärkt Berücksichtigung finden.

6. Literatur

- /1/ Eckert, M.: Lichttechnik und optische Wahrnehmungssicherheit im Straßenverkehr. Berlin, München: Verlag Technik (1993)
- /2/ DIN EN 13201-2: Straßenbeleuchtung – Teil 2: Gütemerkmale (2003)
- /3/ Berek, M.: Zum physiologischen Grundgesetz der Wahrnehmung von Lichtreizen. Zeitschrift f. Instrumentenkunde 63 (1943), S. 297

- /4/ Blackwell, H. R.: Contrast thresholds of the human eye. J. Opt. Soc. Am. 36 (1946), S. 624
- /5/ Adrian, W.: Die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges und die Möglichkeit ihrer Berechnung. In: Lichttechnik 21 (1969), Nr. 1, S. 2A-6A
- /6/ Adrian, W., Gibbons, R.: Visibility level und die Sichtbarkeit in der Straßenbeleuchtung. In: LICHT 10/1993, S. 734-739
- /7/ Moon, P., Spencer, D. E.: The visual effect of non-uniform surrounds. In: Journal Opt. Soc. Amer. 35 (1945), S. 233
- /8/ Narisada, K., Yoshimura, Y.: Adaptation luminance of driver's eyes at the entrance of tunnel... an objective measuring method. International Symposium on measures of road lighting effectiveness, Karlsruhe, Session 1, Fundamentals, 1977, S. 56-73
- /9/ Narisada, K.: Perception in complex fields under road lighting conditions. In: Lighting Res. Technol. (1995) 27(3), S. 123-131