

Auswirkung peripherer Leuchtdichten auf die Kontrastempfindlichkeit bei mesopischer Adaptation

Völker, S.; Locher, J.; Wibbeke, K; Middendorf, K.

L-LAB

Salzkottener Str. 1; 33106 Paderborn

stephan.voelker@l-lab.de

Einleitung

Nach Einführung der Projektionstechnik in die Scheinwerferkonstruktion war es vor über 20 Jahren erstmals möglich, einen "lichttechnisch idealen" Scheinwerfer zu bauen. Der Lichtstrom der Lampe konnte nun durch den Reflektor und die Linse dorthin projiziert werden, wo er benötigt wurde, nämlich in die Komfort- und Fernzone. Hohe Kontraste wurden so auf den Sehobjekten erzielt, was wiederum zu einer großen Erkennbarkeitsentfernung führte. Zugleich wurde bewusst auf hohe Leuchtdichten im Vorfeld verzichtet, um günstigere Adaptationsbedingungen zu schaffen. Der Kraftfahrer sollte nicht mehr über einen "Lichtberg" hinweg schauen müssen. Des weiteren wurde eine scharfe Hell- Dunkel-Grenze erzeugt, um die entgegenkommenden Verkehrsteilnehmern möglichst wenig zu blenden. Eine solche Lichtverteilung wurde jedoch vom Endkunden abgelehnt. Mit großem Aufwand wurde daraufhin die Konstruktion überarbeitet.

Woran lag es, dass der Fahrer einen solchen Scheinwerfer ablehnte? Erkannte er nicht, dass er mit diesem Scheinwerfer besser sehen konnte? War es nur die Gewöhnung? Oder war es der übersteigerte Eifer von Lichttechnikern, die Streuleuchtdichten vermeiden wollten, welche letztlich nicht wirksam werden?

Aufgabe und Ziel

Bisher sind eine Reihe von Versuchen zur Bewertung der Lichtverteilung mit realen Scheinwerfern durchgeführt wurden. Auf Grund der Vielzahl der Parameter, die sich gleichzeitig bei solchen Versuchen ändern, sind die Ergebnisse nicht eindeutig. In Laborversuchen sollten daher alle Einflussfaktoren einzeln mit einfachen Sehzeichen untersucht werden. Der Schwellenkontrast, als Maß für die Erkennbarkeit, bildet die abhängige Variable. Als unabhängige Variablen wurden die mittlere Leuchtdichte, die Leuchtdichteverteilung, die Objektgröße und die Objektlage verwendet. Für die Untersuchung wurde ein varianzanalytischer Ansatz gewählt.

Bisherige Untersuchungen

Aus der Literatur sind viele Untersuchungen zum Schwellenkontrast bei homogenem Adaptationsfeld bekannt. Untersuchungen mit inhomogenen Adaptationsfeldern gibt es dagegen nur sehr wenige.

Jainski und Schmidt-Clausen veröffentlichten 1970 eine Untersuchung, die sich mit der Sehschärfe bei geteiltem Adaptationsfeld in Abhängigkeit von der Leuchtdichte der Adaptationsfelder befasst [JaSC70]. Dabei hatten die Felder selbst jedoch eine homogene Leuchtdichtenverteilung. Bei diesem Versuch wurde ein helles Umfeld mit hohen Leuchtdichten und unterhalb davon ein dunkleres Objektfeld benutzt. In die-

ses wurden Landoltringe mit positivem oder negativem Objektkontrast projiziert. Es wurde die Abhängigkeit der Sehschärfe von den Parametern Adaptationsleuchtdichte, Darbietungszeit und Kontrast der Landoltringe ausgewertet. An Hand der Messergebnisse konnten Optimalbereiche für die Sehschärfe bei oben genannten Bedingungen gegeben werden.

Damasky bestimmte die Unterschiedsempfindlichkeit von Kraftfahrern in nächtlichen Straßensituationen [Da95]. Dabei projizierte er eine Straßensilhouette an eine Wand. Die Leuchtdichte der Fahrbahn variierte im Bereich zwischen $0,001 \text{ cd/m}^2$ und 75 cd/m^2 . Es wurden keine Feldaufteilungen und auch keine inhomogene Leuchtdichteverteilung der Fahrbahn vorgenommen. Die Leuchtdichte des Hintergrundes, d. h. des Bereiches oberhalb des die Fahrbahn darstellenden Dreieckes betrug weniger als 10^{-5} cd/m^2 .

Als Testobjekte benutzte Damasky Quadrate und stabförmige Objekte. Diese wurden als positiver und negativer Kontrast dargeboten.

Versuchsaufbau und Durchführung

Versuchsstand

Zur Versuchsdurchführung stand ein etwa 4 m breiter und 12 m langer Laborraum zur Verfügung. Für die Versuche waren vier Diaprojektoren aufgebaut, von denen zwei die Umfeldleuchtdichte sowie die einzelnen Sehzeichen an die Wand projizieren konnten. Mit den anderen beiden Projektoren, die auf einem Deckengestell angebracht waren, konnten jeweils eine Straßensilhouette und die unterschiedlichen Vorfeldaufhellungen erzeugt werden.

Abbildung 1 zeigt die genaue Versuchsanordnung.

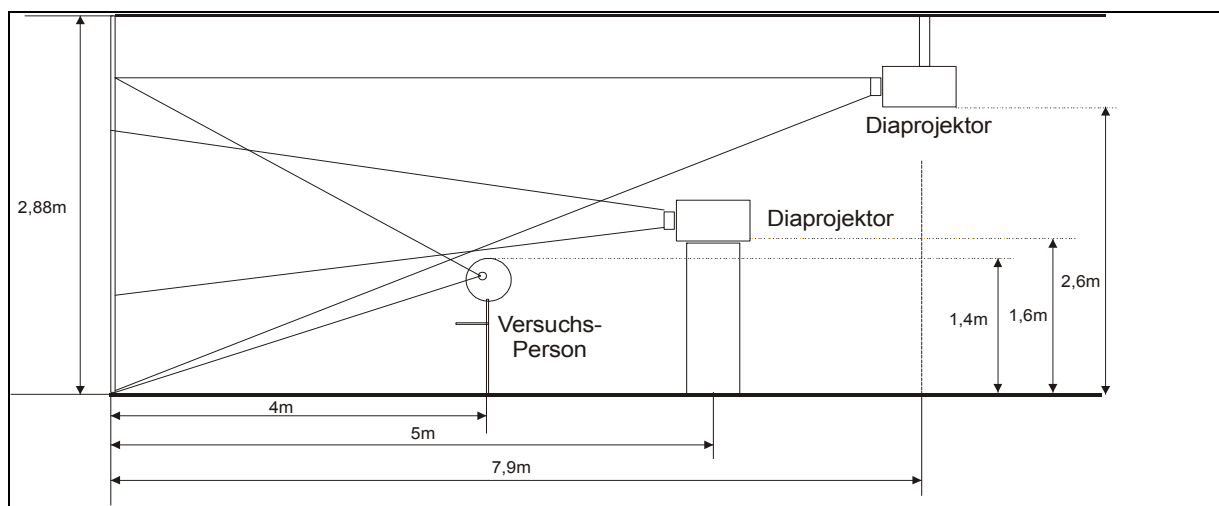


Abbildung 1: Versuchsanordnung

Um eine einheitliche Augenhöhe von 1,15 m zu erzielen, wurde eine Kinnstütze verwendet. Der Fixationspunkt lag im Unendlichpunkt der Straße, welcher sich ebenfalls in Augenhöhe (1,15 m) befand. Ein Laserpunkt, dessen Leuchtdichte geringfügig über der Schwelle lag, markierte den Fixationspunkt auf der Wand.

Die Ansteuerung der vier Dia-Projektoren bezüglich der Bildsteuerung und der Helligkeit erfolgte über eine Ansteuerungseinheit mit Mikrocontroller und Softwareprogramm. Dies ermöglichte eine sehr gute Regelbarkeit der Helligkeit, zudem konnte

die Steuerung des Versuchsablaufes von einem Arbeitsplatz aus geschehen. Die Helligkeit der Projektoren konnte in Dimmstufen eingestellt werden, wobei 0 die dunkelste Einstellung der Dimmung und 1024 die hellste Einstellung war. Mit Hilfe von Graufiltern wurde jeder Diaprojektor so angepasst, dass die erzeugten Leuchtdichten auf der Leinwand innerhalb der geforderten bzw. der erwarteten Schwellenleuchtdichten lagen.

Versuchspersonen

Alle sieben Versuche wurden mit jeweils 20 Versuchspersonen durchgeführt. Da jeder Versuch separat ausgewertet wurde, konnten für jeden Versuch unterschiedliche Testpersonen teilnehmen. Alle Probanden wurden vorab auf Normalsichtigkeit überprüft. Voraussetzung für die Versuchsteilnahme war ein Visus von 0,8. Wenn der Proband Brillen- oder Kontaktlinsenträger war, wurde dies vermerkt. Die Versuchspersonen-Gruppen bestanden überwiegend aus jüngeren männlichen Versuchsteilnehmern.

Versuchsablauf

Zunächst mussten die Versuchspersonen 15 Minuten auf eine Leuchtdichte von 1 mcd/m² adaptieren. Im Anschluss wurden sie aufgefordert, einen Laserpunkt zu fixieren. Mittels der „up and down“ Methode wurde nun durch den Versuchsleiter jedes Sehzeichen 2 mal auf- und 2 mal abgedimmt, bis die Versuchspersonen mit den Alternativen „gesehen“ oder „nicht gesehen“ antworteten. Während für das Sehzeichen Kreisscheibe als Kriterium „Kreisscheibe wahrgenommen“ galt, musste beim Landoltring die Öffnung richtig erkannt werden. Die Darbietungszeit war für alle Versuche unbeschränkt.

Sehobjekte

In einer ganzen Reihe von Versuchen wurden verschiedene Parameter systematisch variiert. So wurden als Sehobjekte Kreisscheiben und Landoltringe verwendet. Während es sich bei Kreisscheiben um Wahrnehmungsaufgaben handelt, ist bei Landoltringen Erkennensleistung gefordert.

Weiterhin variiert wurden die Umfeldleuchtdichte (im Bereich von 1 mcd/m² bis 10 cd/m², die Objektgröße ($X = 5'$ bis $120'$), der Abstand vom Fixationspunkt (0° bis 5°), sowie die Lage auf der Netzhaut (bei peripherer Vorgabe horizontal vs vertikal). Darüber hinaus wurde das Umfeld in einigen Fällen homogen, in anderen inhomogen ausgeleuchtet (vgl. Abb. 2 und 3).

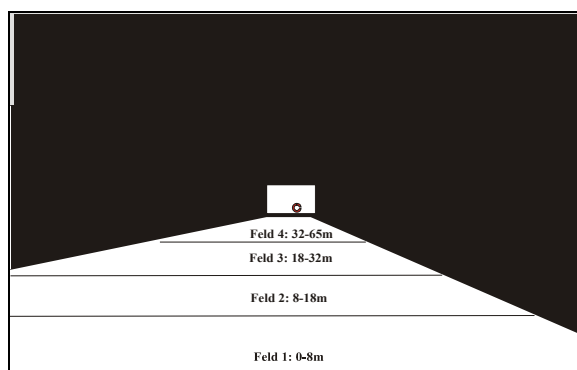


Abbildung 2: Anordnung zu Versuch 2

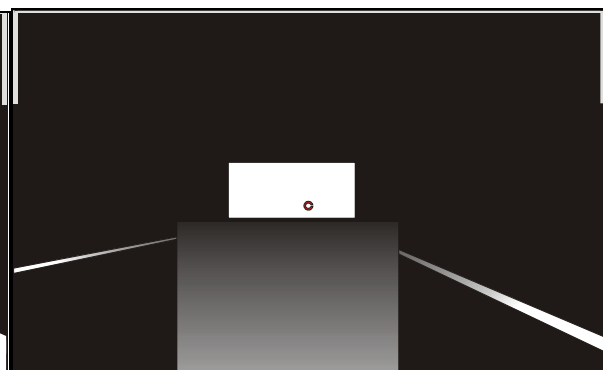


Abbildung 3: Anordnung zu Versuch 3

Auswertung

Exemplarisch seien im Folgenden die Ergebnisse dreier Teilversuche dargestellt.

Versuch 1:

In Versuch 1 wurde ein weiße Kreisscheibe foveal in einem homogenen Umfeld dargestellt. Variiert wurde die Umfeldleuchtdichte (5-fach) und die Objektgröße (5-fach). Abbildung 4 zeigt die Schwellenkontraste in Abhängigkeit der Umfeldleuchtdichten.

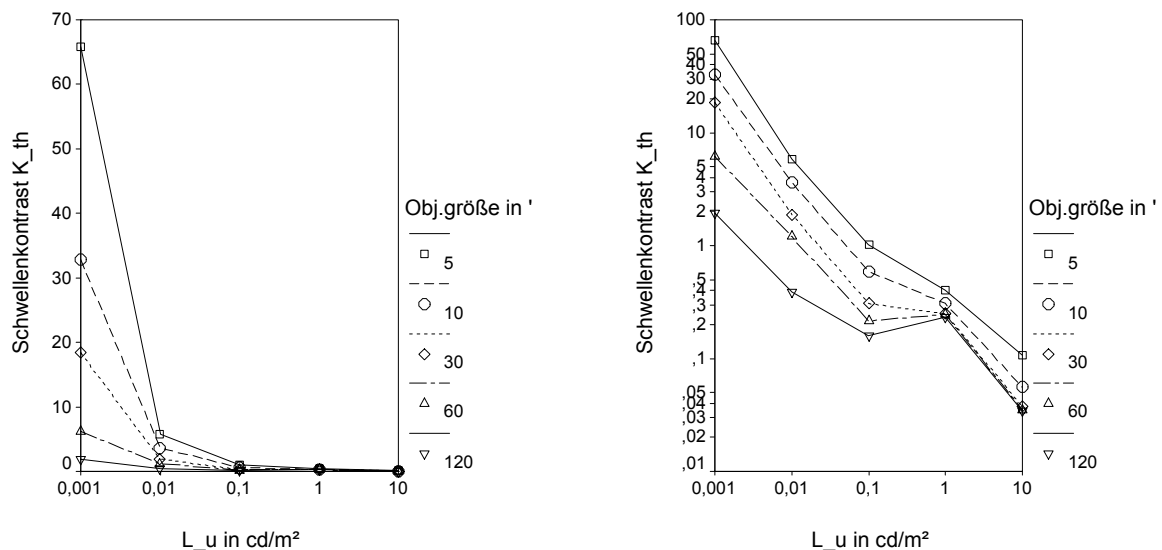


Abbildung 4 und 5: Schwellenkontrast als Funktion der Umfeldleuchtdichte (linkes Bild einfach logarithmische Darstellung; rechtes Bild doppeltlogarithmische Darstellung)

Jede Kurve repräsentiert dabei eine Objektgröße. Die Abbildung zeigt den bekannten Verlauf des Schwellenkontrastes von der Umfeldleuchtdichte mit dem Parameter Objektgröße. Betrachtet man sich die doppeltlogarithmische Darstellung, so fällt ein lokales Maximum für große Objekt bei 1 cd/m^2 auf. Dieses Maximum findet man auch bei anderen Autoren, die jedoch diesen Befund nicht diskutieren. Gezielte Untersuchungen müssen nun zeigen, ob es sich hier um ein Messfehler oder um Umschaltprozesse in der Netzhaut handelt.

Als Ergebnis bleibt aber festzustellen, dass die Leuchtdichte auf der Straße nicht unter $0,1\text{ cd/m}^2$ fallen sollte. Der erforderliche Schwellenkontrast steigt bei geringeren Leuchtdichten deutlich und die Sehleistung sinkt rapide.

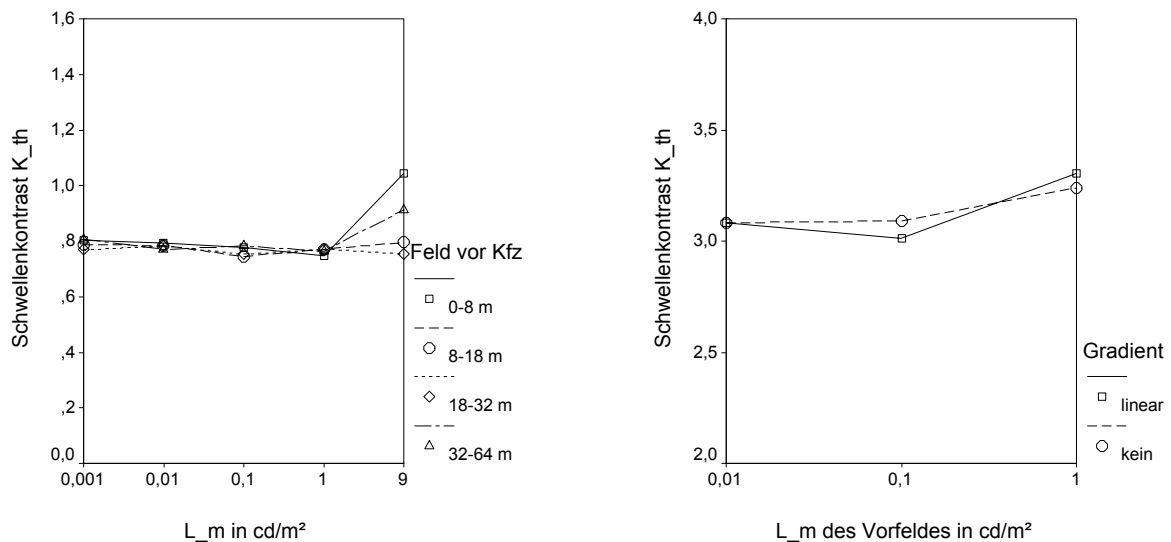
Versuch 2 und 3

Bei den Versuchen 2 und 3 wurden inhomogene Umfelder verwendet (Abb. 6 und 7). Als Sehzeichen wurden Landoltringe in konstanter Größe vorgegeben. Variiert wurden die Fläche von periphere Leuchtdichten (Versuch 2: 4-fach) und deren Gradient (Versuch 3: 2-fach). Die unmittelbare Hintergrundleuchtdichte wurde konstant auf $0,1\text{ cd/m}^2$ gehalten.

Beide Versuche zeigten den Einfluss peripherer Leuchtdichtfelder, wie sie bei beleuchteter Straße durch das Kfz auftreten. Wie Abbildung 6 zu entnehmen ist, steigt der Schwellenkontrast um 20 %, wenn Leuchtdichten von 9 cd/m^2 im nahen Vorfeld (3-5 m vor dem Fahrzeug) auftreten. Ursache ist, dass Feld 1 (0-8 m) den größten Flächenanteil besitzt und damit bereits eine deutliche Schleierleuchtdichte erzeugt.

Diese führt bekanntermaßen zu einer Kontrastverflachung und damit zu einem höheren Schwellenkontrast.

Um 10 % steigt der Schwellenkontrast, wenn der Winkel zwischen Sehobjekt und einer leuchtenden Fläche mit einer Leuchtdichte von 9 cd/m^2 kleiner 2 Grad ist. Praktisch dürfte dieser Fall allerdings kaum auftreten. Die Ursache hierfür ist in dem sehr geringen Winkel zum Sehobjekt zu suchen. Zwar weist Feld 4 (35-65m) den kleinsten Flächenanteil auf, befindet sich aber unmittelbar am Landoltring. Auch hier führt das erzeugte Streulicht bei dieser Leuchtdichte (9 cd/m^2) zu einer Kontrastverflachung und zu einem Anstieg.



Abbildungen 6 und 7: Schwellenkontrast als Funktion der Leuchtdichte des Vorfeldes; links Versuch 2, d. h. Parameter: unterschiedliche Felder, die in sich homogen ausgeleuchtet wurden; rechts: Versuch 3

In Abbildung 7 wurde der Gradient des Vorfeldes variiert. Wie zu sehen ist, besitzt der Gradient des Vorfeldes bei jeweils gleicher mittlerer Leuchtdichte keinen nennenswerten Einfluss auf den Schwellenkontrast. Ebenso wie in der Abbildung 6 finden wir auch hier die Aussage bestätigt, dass sich der Schwellenkontrast bei peripheren Leuchtdichten bis 1 cd/m^2 kaum ändert.

Für Leuchtdichten bis 1 cd/m^2 kann also gesagt werden, dass die Position und die Leuchtdichte des Feldes keinen Einfluss auf den Schwellenkontrast haben. Es macht keinen Unterschied, wo sich das Vorfeld befindet und in welchem Leuchtdichteniveau es dargeboten wird. Leuchtdichten von 10 cd/m^2 sollten in der Vorfeldzone (0-8 m) vermieden werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass hohe Vorfeldleuchtdichten, welche mit heute üblichen Scheinwerfern erzeugt werden können, keinen signifikanten Einfluss auf die Sichtweite haben. Die Vorfeldleuchtdichte, die lange Zeit sowohl aus physiologischer Sicht, aber auch aus Akzeptanzgründen als sehr bedeutend angesehen wurde, spielt nach den vorliegenden Untersuchungen lediglich für die Helligkeitsbewertung eines Scheinwerfers eine wichtige Rolle.

Ohne auf weitere Fragestellungen, wie die Beeinflussung des Blickverhaltens durch unterschiedliche Lichtverteilungen hier eingehen zu können [Di99], scheint das Vorfeld nach den vorliegenden Ergebnissen relativ frei für die Gestaltung der einzelnen Kundenwünsche zu sein.

Literatur

- [JaSC70] Schmidt-Clausen, H.-J.; Jainski, P.: Über das Verhalten der Sehschärfe bei räumlich getrennten Adaptationsfeldern inhomogener Leuchtdichte. Optik, 31., 1970
- [Da95] Damasky, Joachim: Dissertation: „Lichttechnische Entwicklung von Anforderungen an Kraftfahrzeugscheinwerfern“; Darmstädter Dissertationen D17 (1995).
- [Di99] Diem, C; Schmidt-Clausen, H.-J.: Analysis of Eye-Movement Behaviour Using Moveable Headlamps. Tagungsband PAL99, S. 185-207