

Schwellenkontrast im mesopischen Bereich

Peter Bodrogi, Géza Várady, Attila Szalmás, Rita Mátrai, László Beke,
Katalin Góczy, János Schanda, Universität Veszprém, Ungarn

1. Einführung

Die Empfindlichkeit des menschlichen Auges hängt vom Beleuchtungsniveau ab.

Während die Zapfen-Photorezeptoren für Tagessehen verantwortlich sind, werden die Sehfunktionen beim Nachtsehen (beim skotopischen Sehen) von den Stäbchen-Rezeptoren übernommen. Die Stäbchen tragen aber auch zum Tagessehen, wenn auch mit steigender Netzhaut-Beleuchtung mit abnehmendem Masse, bei. Im Hinblick darauf, dass die verschiedenen Rezeptoren unterschiedlich auf der Netzhaut verteilt sind, und auch ihre Absorptionsspektren unterschiedlich sind, wird die Empfindlichkeit des Auges zu einem Sehobjekt sowohl durch das Adaptationsniveau als auch den Sehwinkel beeinflusst. Das Maximum der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges liegt beim photopischen Sehen (Tagessehen) bei 555 nm. Diese Empfindlichkeit beschreibt man mit der spektralen Hellempfindlichkeitsfunktion $V(\lambda)$ die von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) in 1924 definiert wurde. Beim skotopischen Sehen ergibt sich eine ähnliche Kurve aber mit einem Maximum bei niedrigeren Wellenlängen, 507 nm. Die CIE hat diese Kurve $V'(\lambda)$ genannt, die die spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges beim Nachtsehen beschreibt. Zwischen den Bereichen des Nachtsehens und des Tagessehens liegt ein Übergangsbereich, das sog. mesopische Sehen, mit Leuchtdichten ungefähr über 10^{-3} cd/m^2 und unter 3 cd/m^2 . In diesem Bereich arbeitet das visuelle System in einem Übergangszustand. Trotz den oben beschriebenen Tatsachen werden die meisten praktischen lichttechnischen Berechnungen, die für den mesopischen Bereich gelten sollten, heute immer noch an Hand der $V(\lambda)$ -Funktion durchgeführt.

In der Literatur werden mesopische Helligkeitsfunktionen öfters erwähnt, die von Versuchen mit verschiedenen Lichtquellen stammen. Empfehlungen für die mesopische Photometrie werden in einem technischen Bericht der CIE zusammengefasst[1]. Andere Autoren haben mit Straßenbeleuchtung und vorwärts gerichteter Fahrzeugscheinwerfer experimentiert[2-4].

He et al. und Rea et al.[5-6] haben ein neues System vorgestellt. Um die Empfindlichkeit des Auges für verschiedene Lichtquellen systematisch zu erforschen, ist es wichtig, ein monochromatisches oder quasi-monochromatisches Sehobjekt im ganzen visuellen Spektralbereich dem Beobachter darzubieten, um die Wellenlängenabhängigkeit der Strahldichte bei dem das Sehobjekt wahrgenommen wird, festzustellen.

In dieser Arbeit werden vorläufige Ergebnisse von Messungen spektraler Empfindlichkeitsfunktionen vorgestellt, die in einem Schwellenkontrastversuch mit quasi-monochromatischen Lichtquellen ermittelt wurden.

2. Methode

2.1 Versuchsaufbau.

Der konstante Hintergrund wurde mit einem Diaprojektor auf eine transportable Leinwand projiziert. Ein mit einem Rechner gesteuerter Datenprojektor projizierte das Sehobjekt auf diesen Hintergrund. Beide Projektoren wurden mit einer Kombination von Neutralfiltern gefiltert, um das entsprechende Leuchtdichteniveau zu erreichen. Außerdem wurde der Datenprojektor auch mit einem quasi-monochromatischen Interferenzfilter (Bandbreite etwa 10 nm) gefiltert. Die Leuchtdichte des Sehobjektes wurde durch eine 8-Bit-Stufenzahl bestimmt, die im Weiteren DAC-Wert genannt wird. Die konstante Hintergrundleuchtdichte wurde während der Messung mit einem Photostrommesser stets kontrolliert. Alle Spektren wurden mit einem PhotoResearch PR705 Spektro-radiometer gemessen. Ein Kreuz hat die Mitte der Leinwand gezeigt. Die Versuchsperson musste ihre Augen fest auf dieses Kreuz richten und das Sehobjekt wurde entweder zentral (auf Position des Kreuzes) oder peripher (seitlich des Kreuzes) dargeboten (s. unten). Die Versuchsperson saß vor der Leinwand, der Abstand betrug 1 Meter, und der Sehwinkel des Sehobjektes 2° .

2.2 Stimuli.

Die Sehobjekte waren Kreisflächen konstanten Sehwinkels von 2° . Sie wurden mit verschiedenen Zentralwellenlängen dargeboten. Diese Sehobjekte erschienen entweder zentral, für foveales Sehen, oder peripher, 10° seitlich, für peripheres Sehen. Die Sehobjekte hatten die folgenden Zentralwellenlängen: 450, 500, 550, 600, und 650 nm. Der Hintergrund hatte eine konstante Leuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$.

2.3 Versuchsperson.

Am vorläufigen Experiment, das hier beschrieben wird, hat eine junge weibliche Versuchsperson mit gutem Farbsehen teilgenommen. Sie musste mindestens 20 Minuten in der Dunkelheit warten, um in den nötigen Adaptionszustand zu gelangen.

2.4 Verfahren.

In der ersten Methode, der sog. *Einstellmethode*, musste die Versuchsperson melden wann das Sehobjekt erschien oder verschwand. Wenn das Sehobjekt erschien, dann hat der Versuchsleiter dessen Intensität vermindert, und wenn es verschwand, dann hat er es erhöht. Das wurde wiederholt bis die beiden Intensitäten des Erscheinens und Verschwindens nahe genug beieinander lagen. Dann hat der Versuchsleiter den Mittelpunkt dieses Intervalls berechnet. Dieser Punkt (ein DAC-Wert) wurde "*a priori Schwelle*" genannt.

Die zweite Methode, die Methode der konstanten Reize, wurde von der "*a priori Schwelle*" gestartet. Das Sehobjekt wurde in einer Bilddatei mit verschiedenen DAC-Werten dargestellt, im folgenden DAC-Wert-Intervall: 24 DAC-Werte unter der "*a priori Schwelle*" und 6 DAC-Werte über der "*a priori Schwelle*". Für jeden dritten DAC-Wert in diesem Intervall wurden 7 gleiche Bilder erstellt. Alle erstellten Bilder wurden in zufälliger Reihenfolge auf die Leinwand projiziert. Jedes Bild wurde 3 Sekunden lang dargeboten. Nach 3 Sekunden wurde die Versuchsperson gefragt, ob sie das Sehobjekt gesehen hat. Ihre Ja/Nein Antwort wurde registriert. Eine sog. "*a posteriori Schwelle*"

wurde von diesen Antworten abgeleitet. Danach wurden folgende Spektren mit dem Spektroradiometer gemessen: "*a priori Schwelle*", "*a posteriori Schwelle*", und Hintergrund.

Beide Methoden wurden bei jeder Zentralwellenlänge(450, 500, 550, 600, und 650 nm), sowohl zentral als auch peripher durchgeführt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Ja/Nein Antworten wurden folgendermaßen bearbeitet. Die relative Häufigkeit der Ja-Antworten wurde für jeden projizierten DAC-Wert berechnet, und davon die "*a posteriori Schwelle*". Die spektrale Empfindlichkeitskurve wurde vom bei der "*a posteriori Schwelle*" gemessenen Spektrum der Strahldichte mit Hilfe von Gleichung 1 ermittelt:

$$\tilde{\nu}_1(\lambda_p) = \frac{1}{\max_{\lambda_p - 10 < \lambda < \lambda_p + 10} (\Phi_{\text{targ.}}(\lambda) - \Phi_{\text{backg.}}(\lambda))} \quad (1)$$

In Gl.(1), λ_p bezeichnet die Zentralwellenlänge, $\Phi(\lambda)$ bezeichnet die spektrale Strahldichtevertelung, die Abkürzung "targ." bedeutet Sehobjekt, "backg." bedeutet Hintergrund, und λ wird in Nanometer gemessen. Die relative spektrale Empfindlichkeitsfunktion wurde laut Gleichung 2 berechnet:

$$\nu_1(\lambda_p) = \frac{\tilde{\nu}_1(\lambda_p)}{\max(\tilde{\nu}_1(\lambda_p))} \quad (2)$$

Bild 1 zeigt die foveale (kontinuierliche Kurve) und die periphere (gebrochene Kurve) Empfindlichkeitsfunktion, die bei einer Hintergrundleuchtdichte von 0,1 cd/m², von "*a posteriori Schwellen*" abgeleitet wurde. Aus Bild 1 geht hervor, dass beim peripheren Sehen die Empfindlichkeitsfunktion nach kürzeren Wellenlängen verschoben ist. "*A priori Schwellen*" zeigen ähnliche Tendenzen. Diese Ergebnisse verstärken die Tendenzen früherer Experimente in der Literatur, und deuten auf eine wirksame Methode, um experimentelle Angaben für eine neue Photometrie zu sammeln, die die visuelle Leistung im mesopischen Bereich zuverlässig beschreibt.

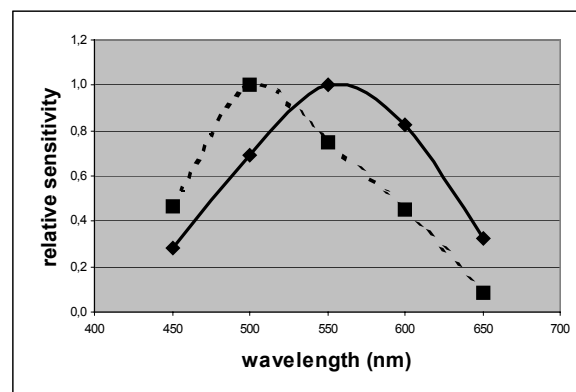


Bild 1. Zentrale Empfindlichkeitsfunktion (kontinuierliche Kurve) und periphere Empfindlichkeitsfunktion (gebrochene Kurve), bei einer Hintergrundleuchtdichte von 0,1 cd/m², abgeleitet von "*a posteriori Schwellen*".

Versuche mit anderen Hintergrundleuchtdichten und auch mit Landolt-ring statt Kreisfläche werden derzeit ausgeführt. Ergebnisse können zu einer Familie mesopischer Empfindlichkeitsfunktionen führen, um ein additives photometrisches System aufzubauen. Experimentelle Angaben können durch die Linearkombination von $V(\lambda)$ und $V'(\lambda)$ zu einer $V_{\text{mes}}(\lambda)$ Kurve führen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen eines EU Fifth Framework Projektes (MOVE, Mesopic Optimisation of Visual Efficiency, G6RD-CT-2001-00598) vorgenommen. Die Autoren bedanken sich beim EU Competitive and Sustainable Growth Programm für die Unterstützung.

Literatur

- [1] Commission Internationale de l'Éclairage, Mesopic Photometry: History, Special Problems, and Practical Solutions, Publication CIE 81-1989.
- [2] Akashi, Y., and Rea, M. S., Peripheral detection while driving under a mesopic light level, Journal of the Illuminating Engineering Society, pp. 85-93 , Vol. 31, No. 1 , Winter 2002.
- [3] Bullough J. D., and Rea, M. S., Forward vehicular lighting and inclement weather conditions, PAL 2001 Symposium; Darmstadt University of Technology, pp. 79-89, in the series Darmstaedter Lichttechnik, 2001.
- [4] Van Derlofske, J., Bullough, J. D., Lingard, R., and Rea, M. S., Roadway lighting: A systems approach, Proceedings of the 46th IESANZ Convention, Auckland – New Zealand, pp. 183-189, 2001.
- [5] He, Y., Bierman, A., and Rea, M. S., A system of mesopic photometry, Lighting research & technology, pp. 175-181 , Vol. 30, No. 4, 1998.
- [6] Rea, M. S., Bullough, J. D., Freyssinier Nova, J. P., and Bierman, A., X, Proc. CIE Expert Symposium on Temporal and Spatial Aspects of Light and Colour Perception and Measurement, pp. 51-58, Commission Internationale de l'Éclairage, 2002.