

Versuchsdesign zur Bestimmung der Adaptationsleuchtdichte homogener und definiert strukturierter Leuchtdichtefelder unter photopischen Bedingungen

1. **Börner, F.**¹, Schierz, C.²

¹) TU Ilmenau/FG Lichttechnik, Ilmenau, Deutschland,

²) TU Ilmenau/FG Lichttechnik, Ilmenau, Deutschland,
felix.boerner@tu-ilmenau.de

ABSTRACT

Um für unterschiedliche Situationen bei Innen und Außenbeleuchtung den Grad einer möglichen Blendung berechnen zu können, ist es wichtig das Adaptationsniveau eines Beobachters zu kennen auf das sich sein Auge eingestellt hat um optimal zu Arbeiten. Unter Laborbedingungen ist es relativ einfach, die Adaptationsleuchtdichte zu ermitteln, da die meisten Experimente vor einem homogen ausgeleuchteten Hintergrund durchgeführt werden. In der Realität existieren solche Bedingungen leider nicht. In einer Alltagssituation ist das normale Sichtfeld aus einer Vielzahl von verschiedenen Leuchtdichten zusammengesetzt. Die Wirkung dieser komplexen Leuchtdichtestrukturen konnte bisher noch durch kein wissenschaftlich gestütztes Verfahren quantifiziert werden um daraus auf die resultierende Adaptationsleuchtdichte zu schließen.

Diese Lücke soll nun geschlossen werden. Die Forschungsfrage, ob sich die Adaptationsleuchtdichte inhomogener Umfelder über eine sehwinkelabhängige Gewichtung der Leuchtdichten definierter Gesichtsfeldbereiche beschreiben lässt, soll mit diesen Versuchen geklärt werden.

Ziel der Untersuchung ist es die Schwarzschnellen herauszufinden, welche in inhomogenen Leuchtdichtestrukturen dasselbe subjektive Schwarz hervorrufen wie in einer homogenen Umgebung.

1 EINLEITUNG

Die Adaptationsleuchtdichte ist die Leuchtdichte, auf die sich das Auge einstellt, um optimal zu arbeiten[1]. Unter Laborbedingungen ist es relativ einfach, diese Größe zu ermitteln, da die meisten Experimente vor einem homogen ausgeleuchteten Hintergrund

durchgeführt werden. In der Realität existieren solche Bedingungen leider nicht. In einer Alltagssituation ist das normale Sichtfeld aus einer Unzahl von verschiedenen Leuchtdichten zusammengesetzt, was dazu führt, dass es noch kein allgemein gültiges Verfahren zur Bestimmung der Adaptationsleuchtdichte

Obwohl viele Studien über Helligkeitswahrnehmung potentiell mit dem Thema Adaptationsniveau in Beziehung stehen, konnte keine Fachliteratur gefunden werden, die diese Sache explizit behandelt. Alles was jetzt getan werden kann, ist Wissenschaftler zu ermutigen, die Forschung über das Adaptationsniveau nicht nur unter Experimentierbedingungen sondern auch in natürlicher und komplexer Umgebung durchzuführen.[1]

Zieht man einen historischen Vergleich über die Grundlagenforschung zur Bestimmung visueller Gütemerkmale verschiedener Epochen, so wird man unweigerlich auf ähnliche Versuchsaufbauten stoßen. Doch welche sind das und wie könnte man diese mit den heute vorhandenen technischen Neuerungen verbessern? Die Bestimmung der Adaptationsleuchtdichte bei inhomogenen Umfeldern über die Schwarzschwelle, unter anderem mit dieser Frage beschäftigt sich das Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität in Ilmenau.

2 HISTORISCHE AUFBAUTEN

Viele Forscher haben für ihre Untersuchungen ähnliche Versuchsbedingungen benötigt. Lowry, Haubner oder auch Rehder, um nur einige von ihnen zu nennen, benötigten ein homogenes Umfeld für ihre Untersuchungen auf das sie einen Probanden vollständig adaptiert wussten. Erreicht haben sie diese Bedingung, indem sie eine Halbkugel über einen Glühlampenkranz an den Kugelrändern beleuchteten (Abbildung 1: Messaufbau Lowry). Somit wurden zum Teil Umfeldleuchtdichten von bis zu 1000 cd/m^2 erzielt.[2][3][4]

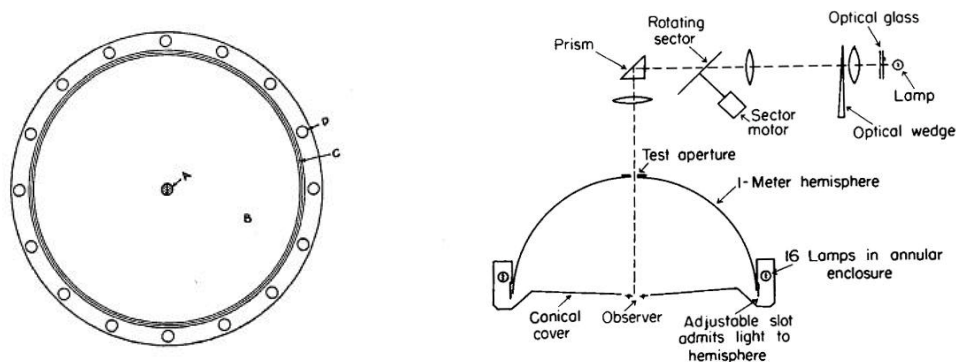


Abbildung 1: Messaufbau Lowry

Im Zentrum der Halbkugel wurde eine Lichtquelle ($0,5^\circ$ Sehwinkel) präsentiert deren Helligkeit über diverse Blenden variiert werden konnte. Für gegebene Umfeldern wurde

die Blendenstellung notiert an der eine Versuchsperson die Lichtquelle gerade nicht mehr erkennen konnte (Schwarzschwelle).

Thiele und Gall verwendeten einen anderen Ansatz indem einer Versuchsperson nach erfolgter Adaptation an ein relativ hohes Leuchtdichteniveau ein niedrigeres Leuchtdichteniveau dargeboten wird und die Zeit (t_E) misst, die zur Lösung einer gestellten Sehaufgabe vergeht. [5] Im Punkt 0 wurde über einen Testfeldprojektor ein Sehzeichen (Landoltring) projiziert und die Zeit gemessen die ein Proband benötigte dieses, nach abschalten des Szenenprojektors, zu erkennen.(Abbildung 2: Messaufbau Thiele,Gall)

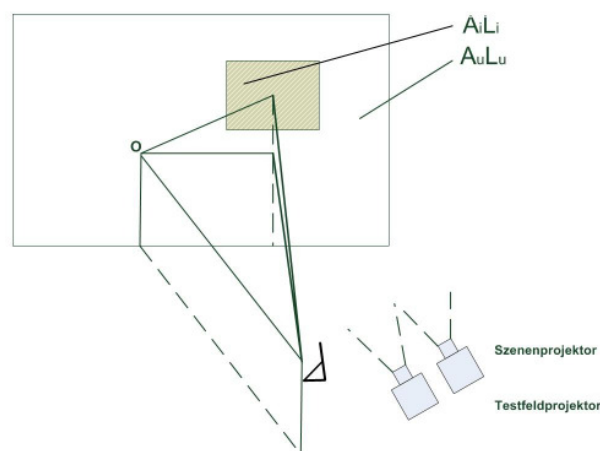


Abbildung 2: Messaufbau Thiele,Gall

Sie kommen zu dem Schluss das, für die Bestimmung der Adaptationsleuchtdichte bei Lokaladaptation wird der Adaptationszustand in der Fovea centralis sowohl von der Infeldleuchtdichte (als auch von der Größe der dargebotenen Fläche) sowie den Umfeldleuchtdichten maßgeblich beeinflusst wird.

Man muss nun aus all diesen Ergebnissen schlussfolgern, dass eine allgemeine Aussage über den Adaptationszustand bei Lokaladaptation, wie etwa bei Bildfeldern, die uns täglich umgeben, wegen der komplizierten Verflechtung aller Parameter kaum möglich ist. [5]

Die Grenzen dieser Versuchsaufbauten zeigen sich allerdings auf, wenn z.B. die Wirkung beliebig strukturierter Szenen auf den Adaptationszustand einer Versuchsperson sowohl im Labor als auch im Feld untersucht werden soll.

3 UMSETZUNG IN ILMENAU

Umgesetzt wurde der Ilmenauer Versuchsaufbau (siehe Abbildung 3) mit einer Halbkugel (Durchmesser $d=1,5\text{m}$), einem Kugelspiegel und einem DLP Projektor.

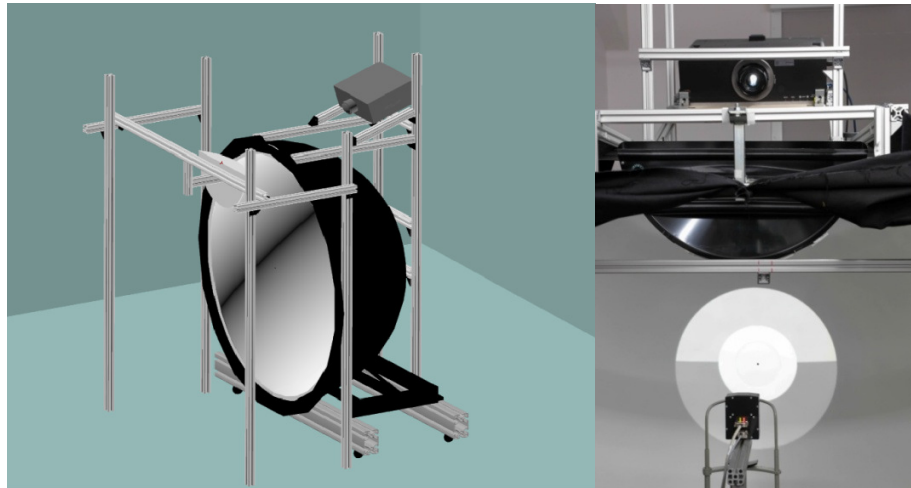


Abbildung 3: Umsetzung Halbkugelprojektion Ilmenau

Derzeit sind, je nach Projektor Einstellung, Leuchtdichten bis 300cd/m^2 (unkorrigiert) bei einer Farbtemperatur von 6500K möglich. Im Zentrum der Kugel wurde eine Aufnahme eingefügt mit der es möglich ist verschiedene kreisförmige Adapterplatten mit zentralen Öffnungswinkeln von $0,5^\circ$ bis 10° Sehfeldgröße anzubringen. Die Anbindung an Folgeuntersuchungen im Bereich der Farbwahrnehmung oder Blendung ist so ohne weiteres gegeben. Die zur geometrisch korrekten Darstellung, von Szenen und Objekten in der Kugel, notwendige Vorverzerrung wird über eine entsprechende Software rechnerseitig realisiert. Bild und Szenenwechsel dauern nur Sekunden und halten die Dauer eines Testdurchlaufes gering und infolgedessen auch die Belastung der Versuchsperson.

4 AKTUELLER FORSCHUNGSSTAND IN ILMENAU

Unter diesem Gesichtspunkt ist es somit möglich die Wirkung beliebiger homogener und inhomogener Szenen auf den Adaptationszustand eines Probanden zu untersuchen. Offene Fragen aus der Wahrnehmungsforschung und auch der Lichtmesstechnik können mit dem beschriebenen Versuchsaufbau gelöst werden.

Die Änderung des Adaptationszustandes einer Person lässt sich über die Bestimmung der Schwarzschwelle beobachten. Diese beschreibt den Punkt an dem eine Lichtquelle oder ein Objekt vom Probanden „gerade nicht mehr“ bzw. als Schwarz erkannt wird und variiert mit der Änderung des Adaptationsniveaus.

Eine Idee ist es die Schwarzschwelle für verschiedene homogene Umfelder unterschiedlicher Leuchtdichten zu bestimmen. Anschließend denselben Versuch bei inhomogenen Umfeldern zu wiederholen, auch hier die Schwarzschwelle zu bestimmen, um somit im Anschluss auf die Wirkung eines äquivalenten homogenen Umfeldes zu schließen.

4.1 ERSTE ERGEBNISSE- HOMOGENE UMFELDER

Insgesamt haben 20 Probanden zu je fünf Terminen a 60 Minuten an den ersten Testreihen teilgenommen. Das durchschnittliche Probandenalter betrug 29 Jahre. Nach einer kurzen Einweisung (5 Minuten) konnten sie sich mit der Handhabung des Steuergerätes zur Dimmung der LED sowie der Sehaufgabe vertraut machen (5 Minuten). Im Anschluss erfolgte der Testdurchlauf mit vier Strukturen. Pro Struktur sollte die Schwarzschwelle jeweils zehnmal bestimmt werden.

Zuerst wurde die Leuchtdichte der Schwarzschwelle bei homogenen Umfeldern von 3cd/m^3 bis 230cd/m^2 bestimmt und deren Verlauf festgehalten. Hierzu wird im Kugelzentrum (ähnlich wie bei Lowry) eine periodisch (jede Sekunde) für die Dauer von 0,2 Sekunden dargebotene Lichtquelle (Öffnungswinkel $0,5^\circ$) soweit gedimmt bis diese gerade nicht mehr zu erkennen ist. Der hierzu entsprechende Leuchtdichtewert der Lichtquelle ist durch Voruntersuchungen bekannt und ermöglicht dementsprechend die Bestimmung der Schwarzschwelleleuchtdichte bei gegebenem Umfeld. In diesem Fall kann $L_U = L_{Ad}$ gesetzt werden.

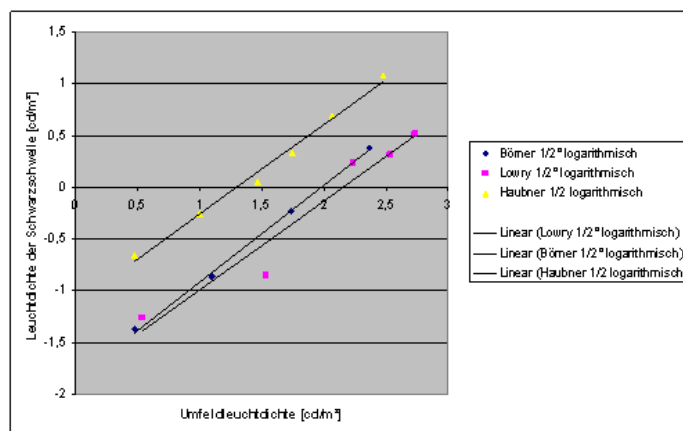


Abbildung 4: Verlauf der Schwarzschwelle Börner, Lowry, Haubner

Die Ergebnisse der ersten Messreihen wurde zu denen von Lowry und Haubner in Beziehung gesetzt (Abbildung 4) und liefern ähnliche Verläufe. Haubners Werte liegen im Durchschnitt höher als die von Börner und Lowry. Eine Ursache hierfür ist u.a. dass er keine blinkende Lichtquelle verwendete sondern eine permanent leuchtende. Lowry hingegen führte seine Untersuchungen mit nur zwei Probanden durch.

4.2 ERSTE ERGEBNISSE INHOMOGENE UMFELDER

Ob eine einfache Mittelwertbildung sämtlicher Leuchtdichten im Gesichtsfeld auch der tatsächlichen Adaptationsleuchtdichte entsprechen könnte, soll im Folgenden ähnlich wie bei Adrian untersucht werden. Hierzu wird die Schwarzswellenleuchtdichte eines im Kugelzentrum projizierten 40° Vollkreises von $L_{40^\circ\text{VK}} = 80\text{cd/m}^2$ Positivkontrast bestimmt. Im Anschluss wird das zuvor präsentierte Sehfeld in verschiedene einfache Strukturen (Abbildung 5) unterteilt, während aber der Mittelwert der Leuchtdichte auf das gesamte 40° Vollkreis Sehfeld bezogen ebenfalls 80cd/m^2 ergibt.

Einzelne Strukturen können, separat betrachtet, höhere Leuchtdichten als die angegebenen 80cd/m^2 erreichen. So lässt sich z.B. die Leuchtdichte des 20°VK ohne weiteres auf Werte $> 100\text{cd/m}^2$ einstellen. Diese Option lässt Untersuchungen zur Richtungsabhängigkeit einzelner Sehfeldbereiche offen. Indem z.B. die Struktur KR (Kreisring) je auf denselben Leuchtdichtewert eingestellt wird und die Auswirkung unterschiedlicher Winkelbereiche untersucht wird (Abbildung 5 rechts).

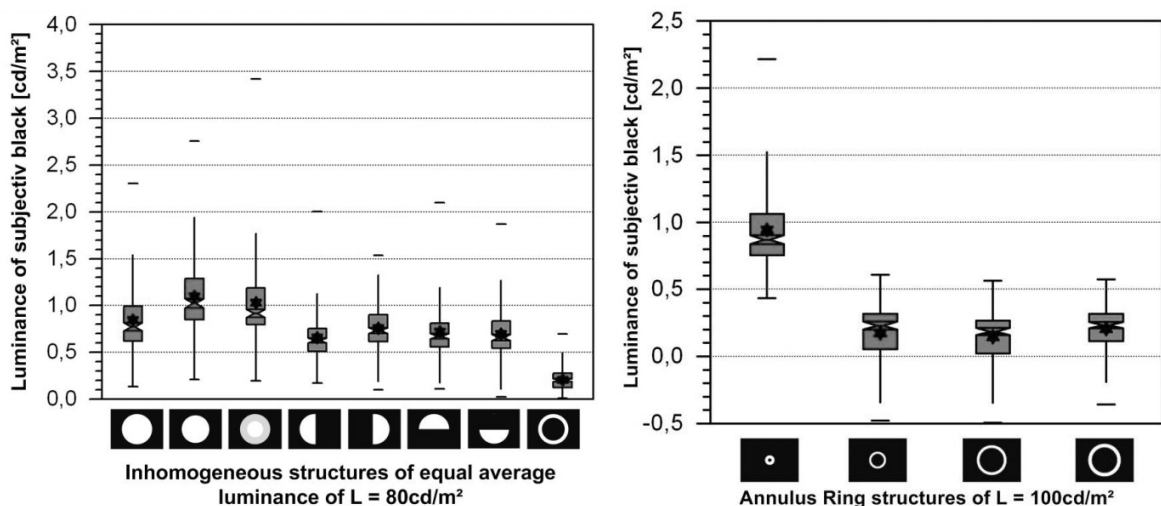


Abbildung 5: Ausprägung der Schwarzschwelle bei gleicher mittlerer Leuchtdichte (links), Einfluss ringförmiger Leuchtdichtestrukturen (rechts)

Die statistische Auswertung der Strukturen gleicher mittlerer Leuchtdichte zeigte einen signifikanten Effekt auf die Ausprägung der Schwarzschwelle. Dargestellt sind von links nach rechts ein 40° Sehfeld, ein 30° Sehfeld, ein 30° Sehfeld mit einem Kreisring, vier Halbkreise im 40° Sehfeld sowie ein Kreisring zwischen 30° und 40° . Obwohl die in Abbildung 5 dargestellten Halbkreise dieselbe mittlere Leuchtdichte bezogen auf ein 40° Sehfeld besaßen, so zeigte sich eine geringere Wirkung auf die Schwarzschwelle im Vergleich zu einem vollen 40° Sehfeld der Leuchtdichte $L=80\text{cd/m}^2$. Eine Abhängigkeit der Position eines der Halbkreise auf den Wert der Schwarzschwelle konnte nicht gezeigt werden.

Betrachtet man die Leuchtdichten des subjektiven Schwarz für die in Abbildung 5 rechts dargestellten Kreisringe, so fällt der Wert des Kreisringes zwischen $0,5^\circ$ und 10° Sehfeldgröße auf. Während die drei Kreisringe zwischen 10° bis 40° Sehfeldgröße einen ähnlichen geringen Effekt auf die Schwelle erzeugen so liegt der Wert der Schwarzschwelle des in der Nähe des Fixationspunkt gelegenen Kreisringes um ein vielfaches höher. Eine Ursache kann u.a. in der durch die Strukturen erzeugten unterschiedlichen Schleierleuchtdichte gesehen werden. Um diese Wirkung und den Einfluss zentrumsnaher sowie peripherer Strukturen bestimmen zu können, sind Folgeuntersuchungen notwendig.

5 Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass eine einfache Mittelung von Leuchtdichten im Gesichtsfeld eines Beobachters nicht hinreichend genau das vorherrschende Adaptationsniveau beschreiben können. Aus diesem Grund wurden Folgeuntersuchungen durchgeführt um eine Gewichtung definierter Bereiche im Gesichtsfeld sowie von Infeld und Peripherie zu untersuchen. Hierzu werden erneut einfache Kreisformen verwendet, welche sich in ihrer Größe nicht aber ihrer Leuchtdichte unterscheiden. Zur Bestimmung eines Einflusses peripherer Lichtquellen wird ein definiertes Sehfeld konstant bei einer Leuchtdichte von $L=100\text{cd/m}^2$ gehalten und die Leuchtdichte des Umfeldes stufenweise erhöht.

Sämtliche dargestellten Strukturen und Umfeldler sowie deren Wirkung auf die Schwarzwelle wurden im Zuge erster Untersuchungen nur unter photopischen Bedingungen bestimmt. Analog hierzu bieten sich Nachfolgetests unter mesopischen Voraussetzungen an.

Zum Abgabetermin des Papers lagen noch nicht sämtliche Probandenwerte vor. Diese werden während der Licht2014 in Den Haag im Zuge des Vortrages präsentiert werden.

Quellen

- [1] Visual Adaptation to Complex Luminance Distribution / Commission Internationale de l'Eclairage. Wien, 1999 (135/5). – Forschungsbericht
- [2] Lowry E.M., Jarvis J.G.: The Luminance of Subjective Black In: Journal of SMPTE Vol.65 (1956) S.411-414
- [3] Haubner P. : Zur Relation zwischen Schwarzschwelle Umfeldleuchtdichte und Detailgröße In: „Licht- Forschung: Entwicklung, Technologie“. (1979) Band 1, S. 51
- [4] Rehder, W.m.:Ö Der Adaptationszustand des menschlichen Auges in Abhängigkeit von der Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld. Dissertation, Math.-nat. Fakultät der Universität Hamburg 1965
- [5] Thiele E. ;Gall D.; Adaptationsleuchtdichte und mittlere Leuchtdichte bei direktem und indirektem Sehen In: Wiss.Z.TH Ilmenau 14; 1968