Themengebiet: [Wahrnehmung und Farbe]

Das Prinzip der Kugelspiegelprojektion als Ansatz zur Bestimmung der Adaptationsleuchtdichte.

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

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 Unzahl von verschiedenen Leuchtdichten zusammengesetzt, was dazu führt, dass es noch kein wissenschaftlich gestütztes Verfahren zur Bestimmung der Adaptationsleuchtdichte gibt.

Diese Lücke soll nun geschlossen werden. Über einen Digital-Projektor und einen sphärischen Spiegel werden einer Versuchsperson sowohl homogene als auch definierte, strukturierte und zeitlich konstante Leuchtdichteverteilungen in einer Halbkugel dargeboten. Die Wirkung dieser Strukturen auf das subjektive Schwarz (die Schwarzschwelle) wird ermittelt.

Über eine entsprechende Ansteuerung können einfache Szenen aus der Realität gewählt und in abstrahierter Form dargestellt werden. Lange Umbauzeiten entfallen und die Möglichkeit die dynamische und statische Adaptation zu untersuchen sind gegeben. Ferner besteht die Möglichkeit ein nahezu homogenes Umfeld als Referenz darstellen zu können was durch eine Kugelausleuchtung z.B. über einen Glühlampenkranz schwer zu erreichen ist.

Vorgestellt wird der Versuchsaufbau, dessen technische Umsetzung und der Vergleich zu bisher verwendeten Versuchsdesigns.

Schlagwörter: Adaptationsleuchtdichte, spherical mirror projection, immersive environment, Schwarzschwelle,

1 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Historisch betrachtet gab es zahlreiche Versuche und Versuchsaufbauten zur Bestimmung unterschiedlicher Parameter des menschlichen visuellen Apparates. Eine spezielle Forschungsfrage die auch derzeit noch aktuell ist, ist die Frage nach der Bestimmung der Adaptationsleuchtdichte in inhomogenen Umfeldern unter mesopischen und photopischen Bedingungen. Bei vielen Laboraufbauten ist es relativ einfach, konstante und reproduzierbare Gegebenheiten für die einzelnen Versuche zu schaffen in Alltagssituationen ist dies nicht möglich.

Um die Adaptationsleuchtdichte homogener Umfelder zu bestimmen wurden häufig Halbkugeln verwendet welche über einen Glühlampenkranz an den Rändern beleuchtet werden konnten. Eine Versuchsperson befand sich während der Untersuchungen, fixiert mit einer Kinnstütze, vor der Kugel und musste diverse Sehaufgabe erfüllen. Bestand allerdings der Wunsch neben den homogenen Umfeldern auch definierte, strukturierte und zeitlich konstante Leuchtdichte-verteilungen zu erzeugen, so bedeutete dies meist einen erhöhten zeitlichen Umbauaufwand. So musste erst ein Stoff mit geringem Reflexionsgrad im Gesichtsfeld des Beobachters oder auf der Kugelinnenfläche befestigt werden. Dieser Vorgang ist sehr aufwendig, zeitintensiv und reduziert somit die Dauer des eigentlichen Versuchsablaufes.

Unter diesem Aspekt entstand die Idee, einen Versuchsaufbau zu entwerfen mit dem es sowohl möglich ist einer Versuchsperson ein definiertes homogenes Umfeld als auch beliebig inhomogene Leuchtdichteverteilungen zu präsentieren. Die Herausforderung bestand darin die o.g. Umbau und Rückbauzeiten auf ein Minimum zu reduzieren.

2 EINFLÜSSE AUS DER VIRTUAL REALITY

Bei der Frage nach der Umsetzung eines Versuchsaufbaus muss ein wenig über den Tellerrand der Lichttechnik in Richtung Medientechnologie geschaut werden. Ein interessanter Ansatz welcher auch schon in Bereichen der Kraftfahrzeugentwicklung, der Flugsimulation oder der Spieleindustrie seine Anwendung gefunden hat ist die virtuelle Realität (VR). Über Computer werden scheinbare Welten geschaffen welche ohne tatsächlich vorhandene Gegenstände den Eindruck einer realistisch erscheinenden Welt vermitteln. Zwei Varianten der Umsetzung sollen im Folgenden kurz angerissen werden.

2.1 FSAP (FLEXIBLE AUDIOVISUELLE STEREOPROJEKTION)

Das Kompetenzzentrum der TU Ilmenau verfügt über eine flexible audiovisuelle Stereo-Projektionseinrichtung (FASP). Diese bietet durch Kombination von Stereoprojektion und akustischer Wellenfeldsynthese technologisch neue Möglichkeiten für die Produkt- und Prozesssimulation in virtuellen Räumen. Der Aufbau (Abbildung 1) besteht aus drei Projektionsflächen (zwei flexible Projektionsflächen). Je Projektionswand werden zwei DLP Projektoren mit einer Auflösung von 1400x1050 Pixel und 4200 Lumen verwendet [1].

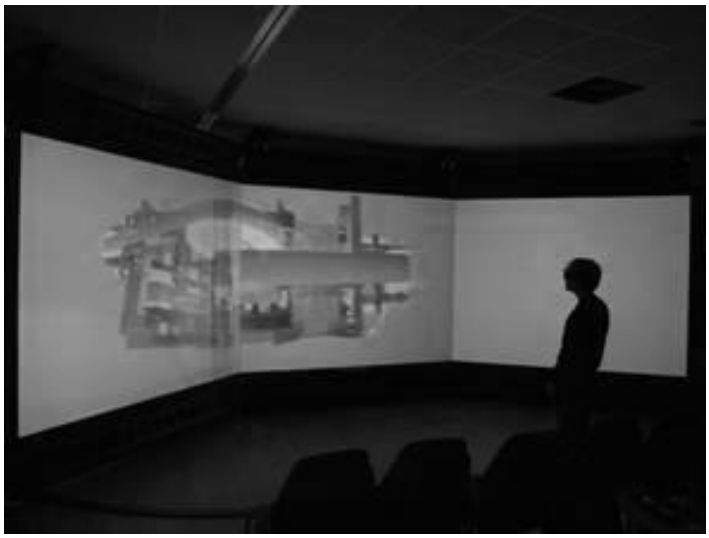

Abbildung 1 – CAVE (Cave Automatic Virtual Environment)[1]

Über eine entsprechende Software können 3D Daten geladen, konvertiert und somit einzelne Szenen umgesetzt werden.

2.2 SPHERICAL MIRROR PROJECTION

Die zweite Variante eine virtuelle Umgebung zu erzeugen ist das Prinzip der Kugelspiegel-projektion. Es besteht die Möglichkeit eine Kugelinnenfläche ähnlich einem Planetarium, mit einem Fischaugenobjektiv zu beleuchten. Allerdings ist der Knackpunkt dieser Konstellation, dass in diesem Fall der Projektor an derselben Position angebracht werden muss die perfekt für den Beobachter ist. Verwendet man jedoch einen sphärischen Spiegel, so lässt sich ein passabler Kompromiss aus Beobachterposition und Kugelbeleuchtung finden. Paul Bourke [2] fand einen Weg indem er einen Kugelspiegel am Rand einer aufrecht stehenden Halbkugel positionierte (Abbildung 2) und diesen über eine Aussparung an der Kugel beleuchtete. Die geometrische Vorverzerrung, die nötig ist zur korrekten Darstellung von Inhalten in der Halbkugel, erstellte er selber. Die wichtigsten Parameter hierzu sind:

- Halbkugel: Position und Neigungswinkel
- Projektor: Position, Neigungswinkel, Öffnungswinkel, Offset
- Spiegel: Radius und Position

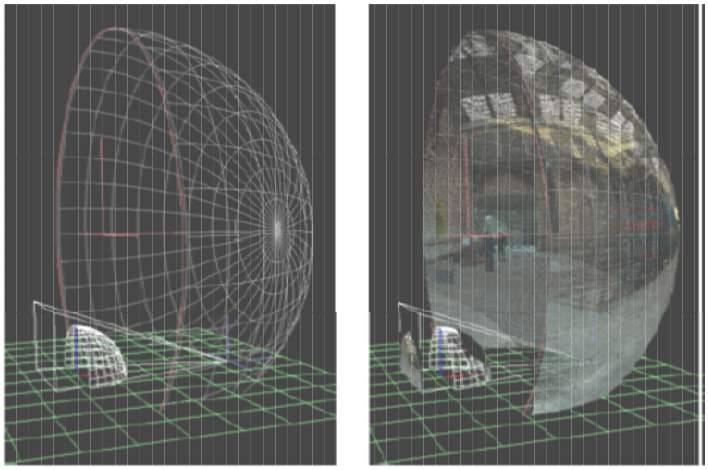

Abbildung 2 – Beispielhafter, simulierter Strahlenverlauf (links) und Umsetzung der simulierten Projektion (rechts)[2]

Über die Anbindung an die open Source Software Blender können 3D Szenen erstellt werden in denen sich ein Beobachter frei bewegen kann. Hauptanliegen des Versuchsaufbaus war es das Gefühl einer immersiven Umgebung für den Beobachter zu erzeugen also einer virtuellen Welt in die man eintauchen kann. Das erreichen möglichst hoher Leuchtdichten oder auch großer homogener Umfelder war hierbei nicht von Interesse.

3 UMSETZUNG DER KUGELPROJEKTION IN ILMENAU

Im Zuge des Zielvorhabens die visuelle Adaptation homogener und strukturierter Leuchtdichtefelder zu untersuchen scheint ein Versuchsaufbau nach Bourke geeigneter. Mit der FSAP ist es zum einen nicht möglich ein vollständig homogenes Umfeld zu generieren und ferner ist es nicht realisierbar das gesamte Gesichtsfeld einer Person auszufüllen. Des Weiteren lässt sich durch die Wahl einer Halbkugel auch der Vergleich zu vorhergegangenen Untersuchungen bzw. Ergebnissen ziehen. Das Testzeichen, welches für die Untersuchungen vorgesehen war, konnte auch nicht angebracht werden ohne den ursprünglichen Versuchsaufbau zu beschädigen.

Die Umsetzung sieht wie in Abbildung 3 dargestellt aus. Die Halbkugel hat einen Durchmesser von d=1,5m und ist mit einem matt weißen Innenanstrich ρ=0,84 versehen. Bei der Auswahl eines digitalen Projektors wurde die Entscheidung zugunsten des Panasonic PT-DZ6700 mit

einem Kontrast von 1:1500, einem Lichtstrom von 6000 Lumen bei einer Auflösung von 1920x1200Pixel getroffen. Somit sind Leuchtdichten bis 300cd/m² zu erzielen.

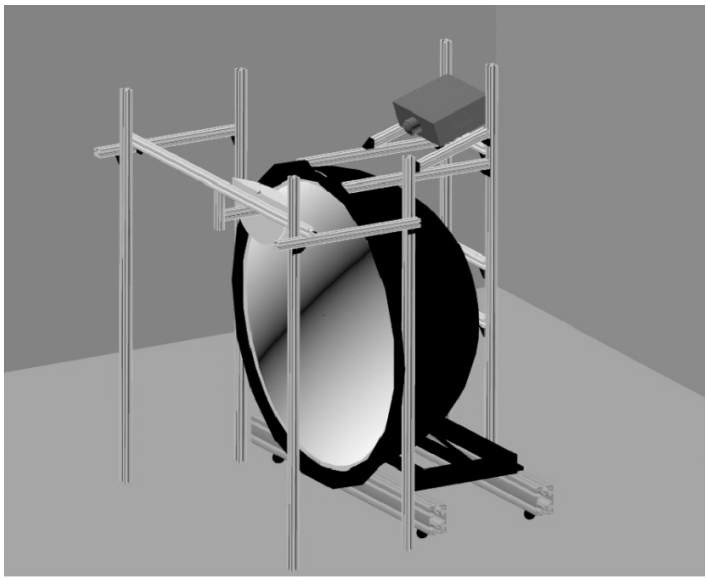

Abbildung 3 – Umsetzung der Kugelprojektion in Ilmenau

Sowohl der Kugelspiegel als auch der Projektor wurden, im Gegensatz zum Aufbau von Bourke, auf der Kugel und somit oberhalb des Probanden angebracht. Diese Position hat den Vorteil dass so keine Versuchsperson aus Versehen gegen den Spiegel treten und die geometrische Entzerrung zerstört. Die Spiegelmaße sind in Abbildung 4 dargestellt. Es handelt sich hierbei um

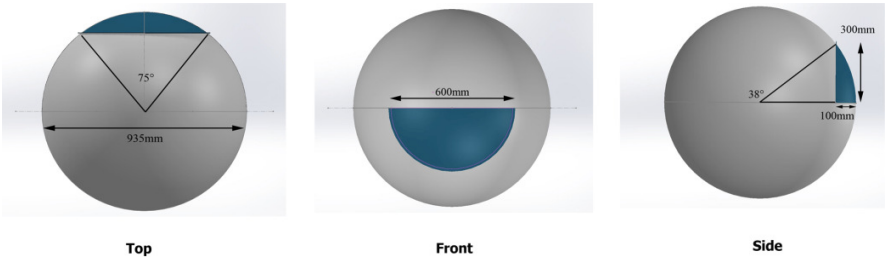

Abbildung 4 – Abmaße des Kugelspiegels

einen handelsüblichen Spiegel zur Verkehrsüberwachung wie er auch vor Einfahrten zu finden ist. Die entsprechende geometrische Vorverzerrung die nötig ist um alle Objekte und Szenen auch korrekt darzustellen, wurde über eine Software der Firma Coolux realisiert. Ist die Entzerrung einmal erstellt, können anschließend beliebig Grafiken oder Videos eingebunden werden. Über eine frei zu gestaltende Benutzeroberfläche sind die Wechsel von homogenen zu inhomogenen Umfeldern ohne Umbaumaßnahmen und erhöhten Zeitaufwand mittels einfacher Tastenbelegungen möglich. Im Kugelzentrum befindet sich eine Öffnung von 30‘ hinter welcher

sich eine blinkende LED befindet. Mittels Potentiometer kann die Versuchsperson die Helligkeit der Lichtquelle variieren. Eine Kopfstütze dient der Arretierung des Kopfes um reproduzierbare Bedingungen zu gewährleisten

4 ANWENDUNG BEI DER BESTIMMUNG DER ADAPTATIONSLEUCHTDICHTE

Die Adaptationsleuchtdichte ist die Leuchtdichte, auf die sich das Auge einstellt, um optimal zu arbeiten [3]. Bei Darbietung eines homogenen Leuchtdichtefeldes in der Halbkugel kann sie gleich der Leuchtdichte des Umfeldes gesetzt werden. Die Frage wie sie zu berechnen ist wenn das Umfeld aus einer Vielzahl verschiedener Leuchtdichten zusammengesetzt ist, kann über eine Auswahl an vorerst simplen Strukturen (Abbildung 5) untersucht werden. Die abhängige Variable dieser Testreihe ist die Schwarzschwelle oder auch die Leuchtdichte des subjektiven Schwarz. Ist das Auge auf eine bestimmte Helligkeit adaptiert, lässt sich für ein dunkles Sehobjekt die sogenannte Schwarzschwelle festlegen. Sie ist diejenige Leuchtdichte, die als „gerade lichtlos, ohne Helligkeit“ empfunden wird. Wird die Leuchtdichte weiter reduziert, erscheint das Objekt unverändert schwarz [4]. Beobachtet man also die Veränderung der Schwarzschwelle bei Betrachtung von verschiedenen Sehfeldgrößen, Positionen, Strukturen und Leuchtdichten, kann man Aussagen über die Änderung des Adaptationszustandes treffen.

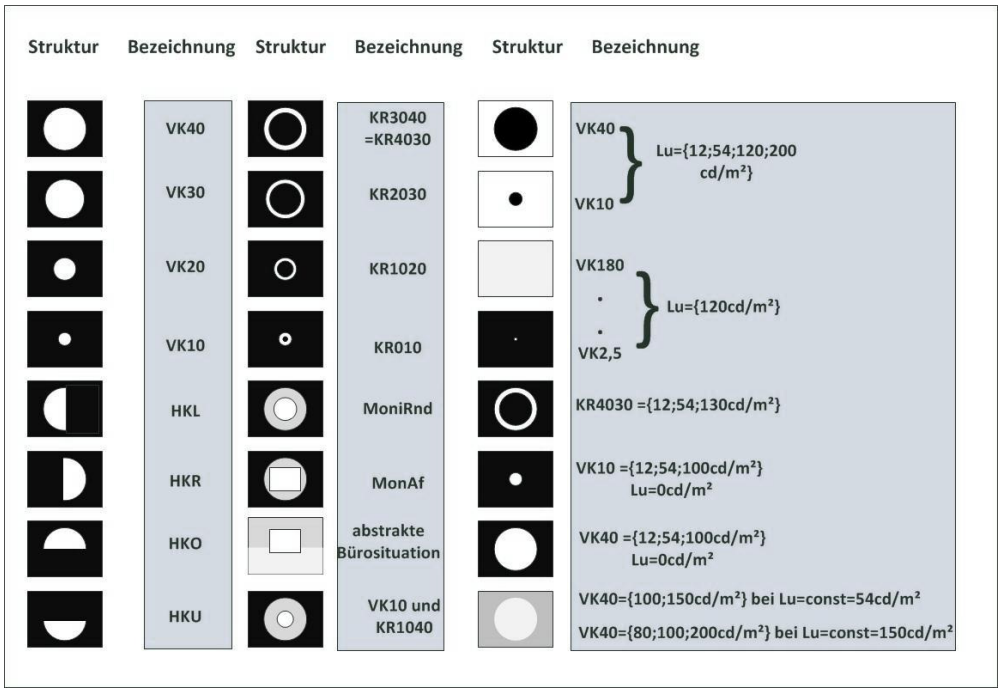

Abbildung 5 –Übersicht definierter inhomogener Leuchtdichteverteilungen

5 FAZIT

Erste Versuchsreihen haben gezeigt dass die gewonnen Leuchtdichten des subjektiven Schwarz bei homogenen Umfeldleuchtdichten zu vergleichbaren Werten vorheriger Untersuchungen wie Lowry oder Haubner führen.

Beliebige Strukturen bzw. deren Wirkung auf das Schwarzempfinden können sowohl unter mesopischen als auch unter photopischen Bedingungen getestet werden.

In zwei weiteren Untersuchungsreihen mit strukturierten Leuchtdichtefeldern konnten erste Ergebnisse zur Eingrenzung des Adaptationsfeldes bestimmt werden. Die Komplexität der Leuchtdichtestrukturen soll immer weiter erhöht werden und in der abstrakten Darstellung realer Büroszenen in Graustufen enden.

Abschließend können die Zielvorgaben als erfüllt betrachtet werden. Es wurde ein Aufbau erstellt der es ermöglicht, ohne Zeitverluste durch Umbaumaßnahmen während eines Probandentests, homogene und definierte, strukturierte und zeitlich stabile Leuchtdichteverteilungen zu erzeugen. Deren Auswirkung auf das Adaptationsniveau konnte untersucht und bewertet werden.

Der Effekt der Farbwahrnehmung in Abhängigkeit der Sehfeldgröße und des Umfeldes eines Farbreizes stellt einen weiteren Untersuchungsansatz dar.

QUELLEN

[1] KVR(Kompetenzzentrum Virtual Reality),(2007), Kompetenzzentrum Virtual Reality: Abrufbar online unter http://www.tu-ilmenau.de/mb/nachrichtenarchiv/einzelnachricht/newsbeitrag/10166/, zuletzt aufgerufen Juli 2014

[2] P.D. Bourke. Low Cost Projection Environment for Immersive Gaming. JMM (Journal of Multimedia), ISSN: 1796-2048, Volume 3, Issue 1, 2008, pp 41-46.

[3] CIE: Visual Adaptation to Complex Luminance Distribution / Commission Internationale de l´Eclairage. Wien, 1999 (135/5). – Forschungsbericht

[4] Schierz, C.: Grundlagen der Ökologie I. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich, Skript für den Bachelor-Studiengang in Architektur, 24.10.2005