

# Untersuchungsansatz zur Feststellung der Auswirkungen von Mehrfachschatten auf die Formwahrnehmung

*Dipl.-Ing. Jan Krüger, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Fabricestraße 8, 01099 Dresden, krueger.jan@baua.bund.de*

## 1. Einleitung

Norden (Norden, 1933) weist auf eine faszinierende Eigenschaft der Schattenbildung hin, die im Zusammenhang mit LEDs eine besondere Bedeutung gewinnt: „die Auflösung einer Beleuchtung in die verschiedenen Bausteine, aus denen sie zusammengesetzt ist“ (S.12). Erst wenn ein Schatten werfender Körper in das Lichtfeld gebracht wird, offenbart sich durch Schattentiefe, Schattenschärfe, Schattenanzahl sowie deren Ausdehnung die Zusammensetzung des Lichts. Besonders deutlich wird dieses Phänomen beim Einsatz von gerichteter LED Beleuchtung. Durch die örtlich getrennte Anordnung der LEDs in einem Array können unnatürliche Mehrfachschatten auftreten (Yagmur and Öztürk, 2011; Kuo et al., 2011; Wu et al., 2011). Norden erläutert weiter, dass diese Eigenschaft insofern interessant ist, da das menschliche Auge nicht unterscheiden kann, ob die Beleuchtung von „einer einzigen, starken Lichtquelle herrührt, oder ob eine Vielheit kleiner Lichtquellen, sei es durch direkte, sei es durch zerstreute Lichtstrahlung, die Gesamtbeleuchtung „aufbaut““ (S.11). Aufgrund dieser Eigenschaft des Auges wird bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen der Zusammensetzung des Lichts kaum Aufmerksamkeit gewidmet. Auch Photometer oder Leuchtdichtekameras sind nicht in der Lage, die Zusammensetzung des Lichts auf einer beleuchteten Arbeitsfläche zu entschlüsseln.

Die Bedeutung der Lichtzusammensetzung soll am Einfluss von Mehrfachschatten auf die Formwahrnehmung untersucht werden, wobei die Annahme aufgestellt wird, dass Mehrfachschatten aufgrund ihres stufenförmigen Schattenwurfs die wahrgenommene Objektform verändern.

Um Rückschlüsse über die Form eines Objektes ziehen zu können, wertet das visuelle System des Menschen folgende Informationsquellen aus: Binokularität, Objektbewegung, Schlagschatten, Textur, Silhouette und Schattierungen (Todd, 2004). Das Auftreten von Mehrfachschatten beeinflusst zwei dieser Informationsquellen in direkter Weise (Schlagschatten sowie Schattierung auf der Objektoberfläche). Aus diesem Grund liegt die Vermutung nahe, dass Mehrfachschatten die Formwahrnehmung von dreidimensionalen Objekten beeinflussen. Untersuchungen von Castiello und Norman geben weitere Hinweise zur Annahme dieser Hypothese.

Castiello (Castiello, 2001) führte Versuche durch, in denen Versuchspersonen auf einem Bildschirm, dreidimensionale Objekte erkennen sollten. Die dargebotenen Objekte besaßen entweder natürliche Eigenschatten und natürliche Schlagschatten oder widersprüchliche Eigenschatten und widersprüchliche Schlagschatten.

Beispielsweise wurden Objekte gezeigt, deren Schlagschatten nicht vom Objekt selbst stammen konnten oder deren Eigenschatten nicht mit der Richtung des Schlagschattens übereinstimmten. Gemessen wurde die Erkennungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der „Widersprüchlichkeit“ des Schattenwurfs. Für Objekte ohne Schatten bzw. für Objekte mit widersprüchlichen Schatten konnte Castiello nachweisen, dass Versuchspersonen längere Zeit benötigten, um das Objekt zu erkennen.

Weitere Anhaltspunkte dafür, dass ein unnatürlicher Schlagschatten die Objekterkennung beeinflusst, geben Norman et al. (Norman et al., 2009). In ihren Experimenten sollten Schlagschatten auf gekrümmten Oberflächen einem Schatten werfenden Objekt zugeordnet werden. Ziel der Studie war es herauszufinden bis, zu welchem Grad der Verzerrung eines Schlagschattens die Objekterkennung unbeeinflusst bleibt (S.1). Norman et al. stellten fest, dass Schlagschatten auf sattelförmigen Projektionsflächen den Schatten werfenden Objekten nicht mehr eindeutig zugeordnet werden konnten.

Die Ergebnisse demonstrieren, dass Schlagschatten einen Beitrag zur besseren Objekterkennung leisten. In Bezug auf Mehrfachschatten lässt sich aus diesen Ergebnissen ableiten, dass ein unnatürlicher Mehrfachschatten (sowohl auf dem Objekt (Mehrfacheigenschatten) als auch durch den Mehrfachschlagschatten) die Objektwahrnehmung verändert. In einem ersten Schritt zur Überprüfung dieser Hypothese wurde zunächst eine Methode aus dem Bereich „Computer Vision“ zur Erfassung der wahrgenommenen Objektform (Todd et al., 1996) für den Einsatz in realen Beleuchtungsszenen adaptiert und deren Anwendbarkeit überprüft.

## **2. Methode**

Wie kann die Formwahrnehmung eines Objekts unter realen Beleuchtungsbedingungen ermittelt werden?

Mamassian et al. (Mamassian and Kersten, 1996) erörtern, dass lokale Einschätzungen, welche sich auf die Tiefe oder Orientierung eines lokalen Bewertungspunkts auf der Objektoberfläche eines Objekts beziehen, gut geeignet sind, um eine Objektform zu beschreiben. Todd et al. und Mamassian et al. verwendeten ähnliche Ansätze und überprüften ihre Methoden an komplexen kurvigen Oberflächen. Als optischer Reiz wurden Fotografien (Todd) bzw. virtuelle Objekte (Mamassian) bei verschiedenen Beleuchtungssituationen auf einem Bildschirm dargeboten. Eine Gemeinsamkeit der von Mamassian und Todd beschriebenen Methoden ist, dass der Beobachter mittels einer Messfigur die Neigung der Objektoberfläche an mehreren Orten auf dem Objekt einschätzt. Diese Antworten werden dann genutzt, um subjektiv wahrgenommene Oberflächen zu rekonstruieren. Eine visuelle Szene wird damit in eine Matrix von kleinen lokalen Nachbarschaften (Flächenelementen) aufgebrochen. Jedes dieser Teile wird, durch die Beschreibungsmerkmale Schräge und Neigung in der 3D Struktur charakterisiert.

Die Darbietung von Fotografien bzw. virtuellen Objekten auf einem Computerbildschirm für die Formbewertung stellt eine Einschränkung dieser Methode für reale Beleuchtungssituationen dar. Todd weist darauf hin, dass die Übertragbarkeit der Methode auf reale Beleuchtungssituationen unter „Full-Cue-Conditions“ noch aussteht.

Aus diesem Grund wurde für die hier beschriebenen Versuche der Ansatz von Todd et al. und Mamassian et al. mit dem Konzept von Hayward (Hayward, 1998) kombiniert. In den Untersuchungen von Hayward wurden Probanden auf einem Computerbildschirm einzelne Silhouetten dargeboten. Die Probanden hatten die Aufgabe diese Silhouetten einem passenden Objekt zuzuordnen.

Die beiden Ansätze (Todd/Mamassian + Hayward) wurden derart verknüpft, dass Versuchspersonen ein reales Objekt dargeboten wurde und gleichzeitig dessen Silhouette auf einem Computerbildschirm. Die Probanden wurden gebeten, ihre

Formeinschätzungen des realen Objekts am PC auf der Silhouette einzutragen (Abbildung 1).

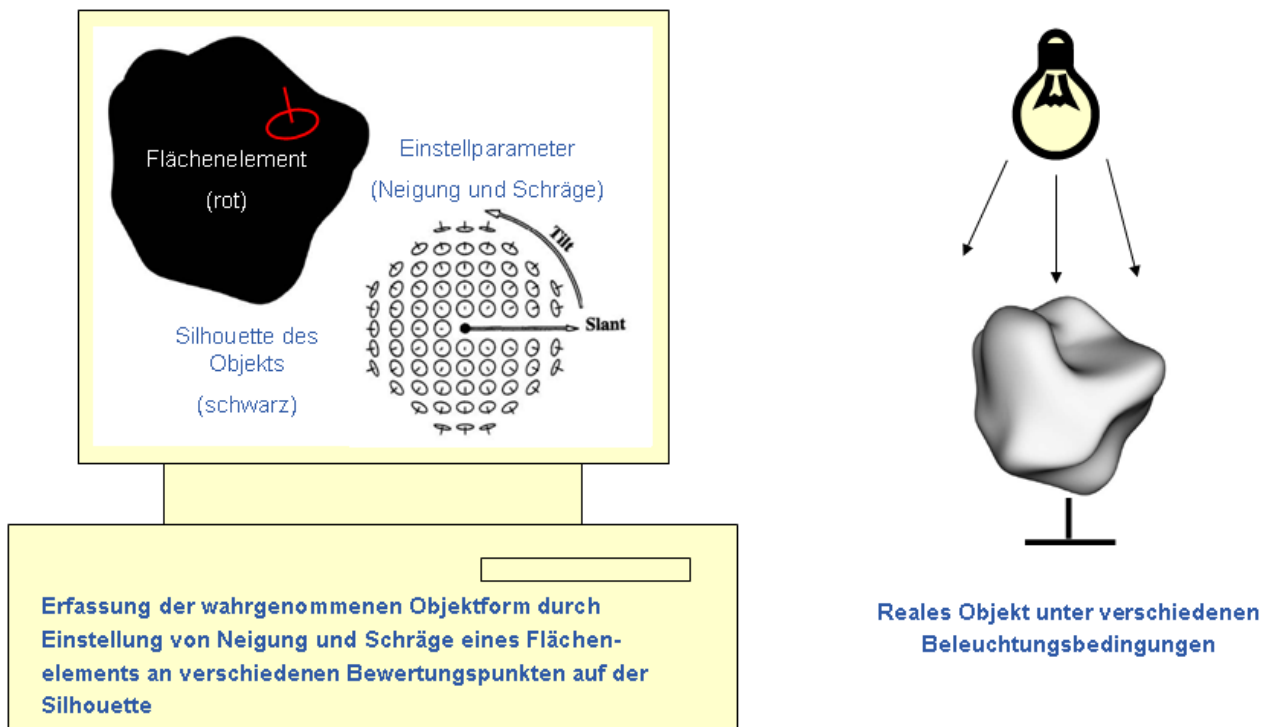


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Methode

### 3. Versuchssetting



Abbildung 2: Versuchssetting

6 Probanden saßen in mittlerer Entfernung vor einem komplex geformten dreidimensionalen Objekt mit diffuser Reflexion (Abbildung 2). Bei der Gestaltung der

Versuchsobjekte wurden abstrakte Objektformen gewählt (Tabelle 1), um Assoziationen mit bekannten Objekten zu minimieren und damit Störeinflüsse zu verkleinern. Die Beleuchtung des Objektes wurde zwischen den Versuchsgruppen verändert. Zur Erfassung der subjektiv wahrgenommenen Objektform wurden die von Wijntjes programmierten (MATLAB/Psychtool) m-Files verwendet (Wijntjes, 2012). Auf einem Laptop wurde den Versuchspersonen eine Silhouette des zu bewertenden Körpers dargeboten. Die Silhouette beinhaltete neben der Außenkontur des Objektes keine weiteren visuellen Informationen über die Objektform (z.B. Schattierungen, Kanten, Texturen). Die Probanden hatten die Aufgabe, an 112 Messpunkten ein rundes Flächenelement in seiner Neigung so einzustellen, dass es ungefähr der Flächenneigung in der realen Beleuchtungssituation entspricht. Der Proband musste die Formbewertung mittels Blickwechseln zwischen Objekt und Bildschirm durchführen. Die von der Versuchsperson eingestellten Winkel wurden gespeichert und nach dem Berechnungsverfahren von Todd (Todd et al., 1996) in Tiefenwerte umgerechnet. Nach Abschluss der Bewertung wurde für jede Versuchsperson automatisch eine txt-Datei mit X,Y,Z-Werten generiert. Die X- und Y-Werte beschreiben den jeweiligen Bewertungspunkt auf der Silhouette, der Z-Wert repräsentiert die wahrgenommene Objektiefe.

**Tabelle 1: Versuchsobjekt**



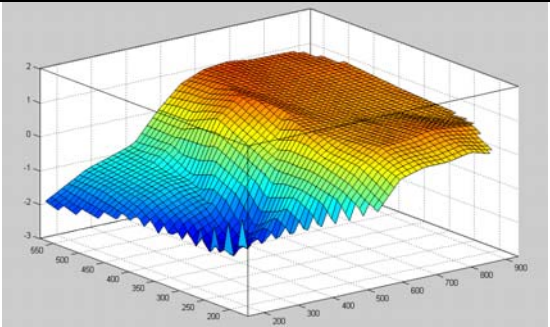
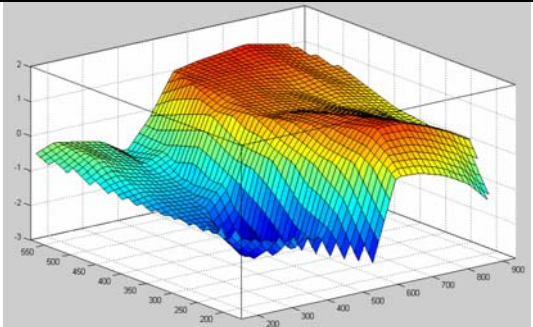
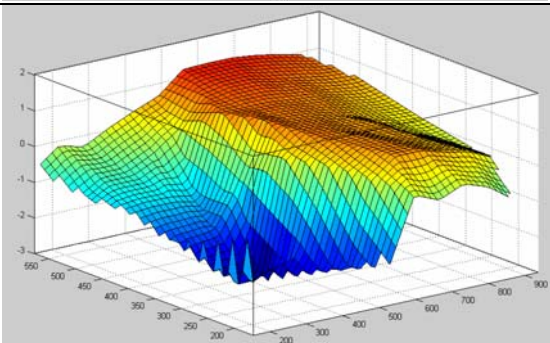
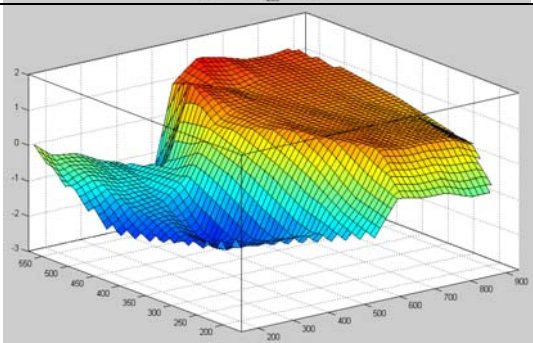
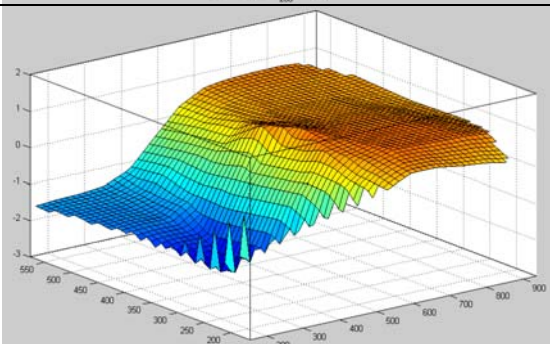
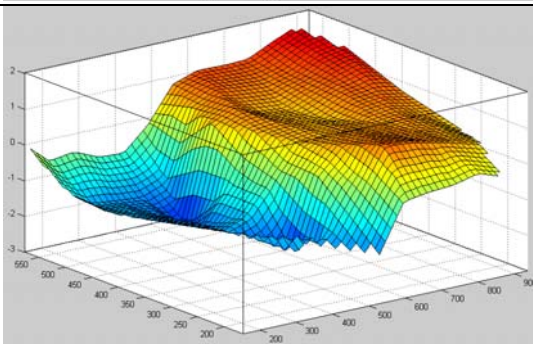
Silhouette	Diffuse Beleuchtung	Direkte Beleuchtung
		

Um im Sinne eines Proof-of-Concept einen großen Messeffekt zu erreichen, wurden zwei gegensätzliche Beleuchtungssituationen miteinander verglichen. Für die diffuse Beleuchtungssituation wurde die Allgemeinbeleuchtung (Leuchtstofflampen) im Versuchsraum eingeschaltet. Für die direkte Beleuchtungssituation wurde das Objekt von der Seite mit einer Halogen-Arbeitsplatzleuchte beleuchtet. Tageslicht wurde in beiden Situationen ausgeschlossen. Photometrische Messungen wurden für dieses stark vereinfachte Versuchsdesign nicht durchgeführt.

#### 4. Ergebnisse

Zur weiteren Auswertung und besseren Vergleichbarkeit der rekonstruierten Objektoberflächen wurden alle Tiefen-Messwerte in SPSS mittels einer z-Transformation standardisiert. Mit dem MATLAB-Curve-Fitting-Tool wurde anhand der X,Y,Z-Stützstellen die wahrgenommene Oberfläche rekonstruiert. Die unten stehende Tabelle zeigt die rekonstruierten Objektoberflächen (linke Spalte diffuse Beleuchtung / rechte Spalte direkte Beleuchtung). Beim qualitativen Vergleich der beiden Spalten ist für die direkte Beleuchtungssituation ein stärkerer Abfall bzw. Anstieg der Tiefe an Objektkanten sichtbar. Die Gegenüberstellung zeigt, dass Objekte unter direkter Beleuchtung plastischer und mit stärkerem Tiefengradient wahrgenommen werden.

**Tabelle 2: Qualitative Gegenüberstellung rekonstruierter Objektoberflächen**

Diffuse Beleuchtung	Direkte Beleuchtung
	
	
	
	

Um sicherzustellen, dass alle Versuchspersonen in einer Beleuchtungssituation annähernd dieselbe Wahrnehmung vom Objekt hatten, wurden die berechneten Tiefenwerte (75 Z-Werte) für jeden Bewertungspunkt (X,Y) auf Korrelation überprüft. Die nachfolgenden Tabellen zeigen bei direkter Beleuchtung zwischen den Probanden konsistentere Ergebnisse. Demnach haben verschiedene Versuchspersonen bei direkter Beleuchtung „ähnlichere“ Vorstellungen der Objektform als bei diffuser Beleuchtung. Für Beleuchtung mit direktem Licht wurde eine Gesamtkorrelation von 0,9 ermittelt,



wohingegen die Gesamtkorrelation bei diffusem Licht bei 0,8 lag. Bei Versuchen mit weniger konturierten Objekten (flachere Objekte) führte eine diffuse Beleuchtung gar zu einer Fehlinterpretation der Objektform, wohingegen sich bei direkter Beleuchtung hohe Korrelationen ergaben.

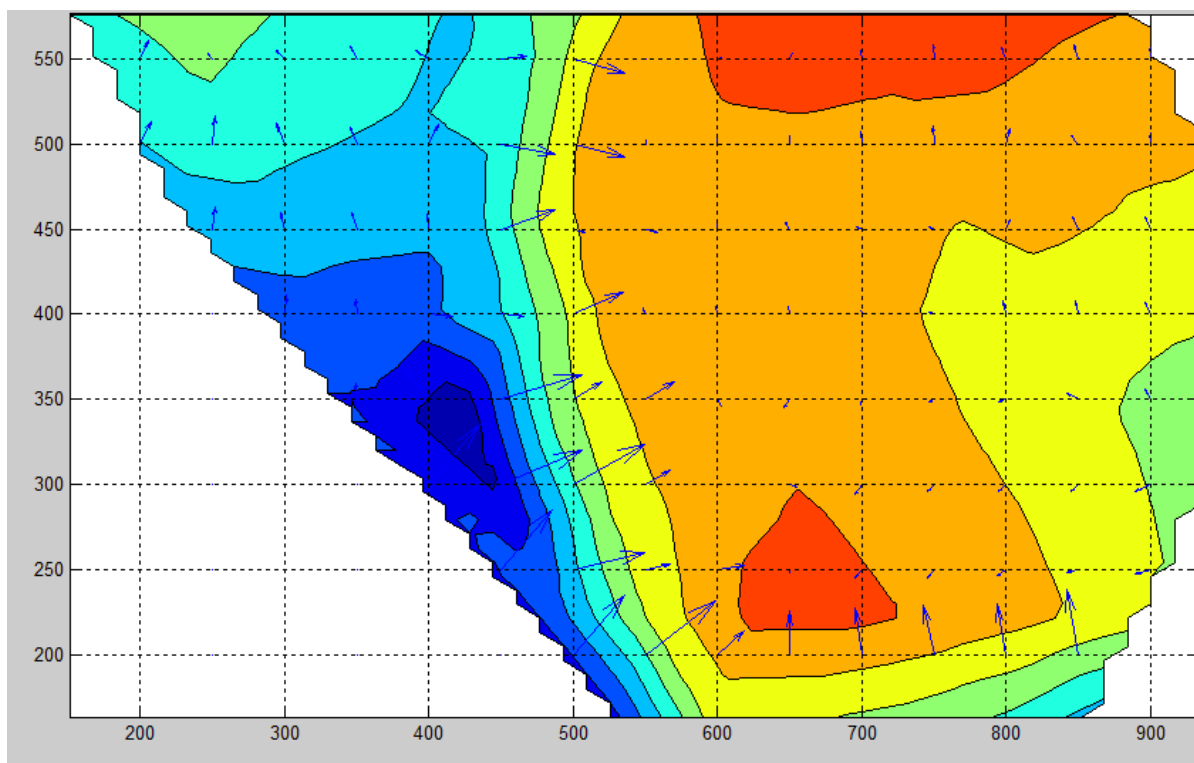
**Tabelle 3: Pearson Korrelationen zwischen den Beobachtern bei indirekter Beleuchtung**

VPN1 – VPN 2	0,841**
VPN1 – VPN 3	0,709**
VPN2 – VPN 3	0,944**
<b>Gesamtkorrelation</b>	<b>0,831</b>

**Tabelle 4: Pearson Korrelationen zwischen den Beobachtern bei direkter Beleuchtung**

VPN4 – VPN5	0,898**
VPN4 – VPN6	0,917**
VPN5 – VPN6	0,916**
<b>Gesamtkorrelation</b>	<b>0,910</b>

Um den Eindruck der qualitativen Analyse zu untermauern, wurden für alle berechneten Oberflächen Gradientenvektoren an den Bewertungspunkten berechnet. Der Gradientenvektor beschreibt den Anstieg und die Richtung der Steigung der Fläche am jeweiligen Bewertungspunkt. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt beispielhaft für eine Versuchsperson bei direkter Beleuchtung eine ISO-Tiefendarstellung. Bereiche einheitlicher Farbe kennzeichnen Gebiete selber Tiefe. Zusätzlich beinhaltet die Darstellung die berechneten Gradientenvektoren. Sie sind durch blaue Pfeile in Betrag und Richtung gekennzeichnet. Ein Vergleich der Mittelwerte zwischen den Beleuchtungssituationen ergab größere Beträge für direkte Beleuchtung.



**Abbildung 3: ISO-Tiefendarstellung mit Gradientenvektoren für VPN 4**

## Literatur

Castiello U (2001) Implicit processing of shadows. *Vision Research* 41:2305-2309

Hayward WG (1998) Effects of Outline Shape in Object Recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 24:427-440

Kuo C-H, Wu W-H, Hsiao W-T, Huang K-C (2011) The Multi-shadow Analysis of LED Secondary Optics. *Physics Procedia* 19:233-238

Mamassian P, Kersten D (1996) Illumination, Shading and the Perception of Local Orientation. *Vision Research* 36:2351-2367

Norden K (1933) *Die Grundlagen der Schattentechnik*. Union Deutsche Verlagsgesellschaft Zweigniederlassung Berlin, Berlin

Norman JF, Lee Y-L, Phillips F, Norman HF, Jennings LR, McBride TR (2009) The perception of 3-D shape from shadows cast onto curved surfaces. *Acta Psychologica* 131:1-11

Todd JT (2004) The visual perception of 3D shape. *Trends in Cognitive Sciences* 8:115-121

Todd JT, Koenderink JJ, van Doorn AJ, Kappers AML (1996) Effects of Changing Viewing Conditions on the Perceived Structure of Smoothly Curved Surfaces. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 22:695-706

Wijntjes MWA (2012) Probing pictorial relief: from experimental design to surface reconstruction. *Behavior Research Methods* 44:135-143

Wu W-H, Kuo C-H, Hung M-W, Huang K-C (2011) Evaluating method for the double image phenomenon of LED lighting. *Physics Procedia* 19:96-103

Yagmur, S. A. and Öztürk, L. D. Investigation of Shadow Quality Occurred in Interiors under Artificial Lighting. CIE. *Proceedings of CIE 27th Session*(197:2011), 1029-1038. 2011. Wien, CIE Central Bureau. 10-7-2011.