

Ein beleuchtungsinduzierter chromatischer Abbildungsfehler

H. Rehn

FISBA AG, St. Gallen

mailto:henning.rehn@fisba.com

In unserem Beitrag diskutieren wir eine durch Lichtquelle und Beleuchtungsoptik hervorgerufene Aberration bei einem Projektionsobjektiv.

1 Introduction

Gobo-Projektoren finden eine Vielzahl von Anwendungen in Architektur oder Unterhaltung. Dabei wird oft eine Projektionsoptik einfachster Art mit einer weißen Lichtquelle kombiniert [1]. Bei der Umstellung von traditionellen Lichtquellen auf LED-Beleuchtung wird jedoch auch gern der Schritt zu einer mehrfarbigen LED-Quelle getan.

Unser Beitrag beschreibt einen unerwarteten Effekt beim Einsatz einer solchen Lichtquelle bei einem Gobo-Projektor. Die Farbverteilung des auf den Gobo einfallenden Lichtes im Winkelbereich kann dabei in Wechselwirkung mit der Projektionsoptik zu einem ungewöhnlichen chromatischen Abbildungsfehler führen.

2 Beleuchtungssystem

Eine homogene Ausleuchtung des Gobos ist eine Standardaufgabe für das Beleuchtungsdesign. Das Prinzip der Köhlerschen Beleuchtung [2] vermeidet den Einsatz von Integratoren (komplexe Optiken, oft mit Werkzeugkosten verbunden) und verringert den notwendigen Bauraum (Fig. 1). Der Gobo wird in der Austrittspupille der Beleuchtungsoptik (rot) platziert; die Lichtquelle wird in die Eintrittspupille des Projektionsobjektives abgebildet.

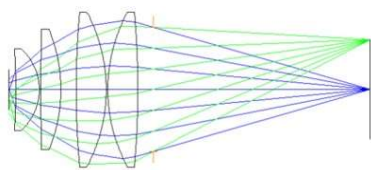


Fig. 1 Köhlersche Beleuchtung für LED-Lichtquelle.

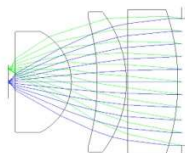


Fig. 2 LED-Beleuchtungsoptik für ein telezentrisches Projektionsobjektiv : hier wird die Quelle ins Unendliche abgebildet

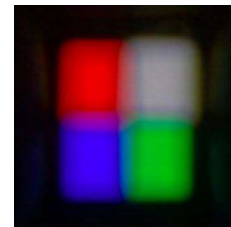


Fig. 3 Lichtverteilung einer mehrfarbigen LED-Quelle



Fig. 4 Erzielte gleichmäßige Lichtverteilung in der Austrittspupille

3 Projektionsoptik

Bei der Gobo-Projektion sind die verwendeten Objektive häufig schlicht und preisgünstig gestaltet (Fig. 5).

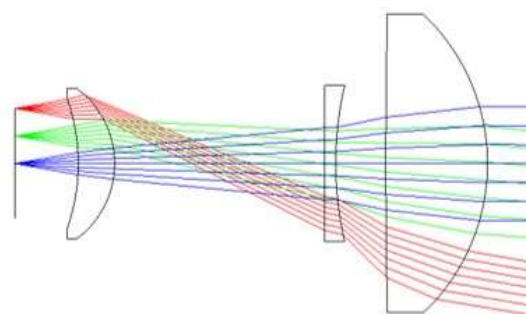


Fig. 5 Beispielhaftes Design eines einfachen telezentrischen Projektionsobjektives

Dieses Design ist dennoch bei Verwendung geeigneter Gläser nahezu frei von Farbblängs- und Farbquerfehlern (Fig. 6).

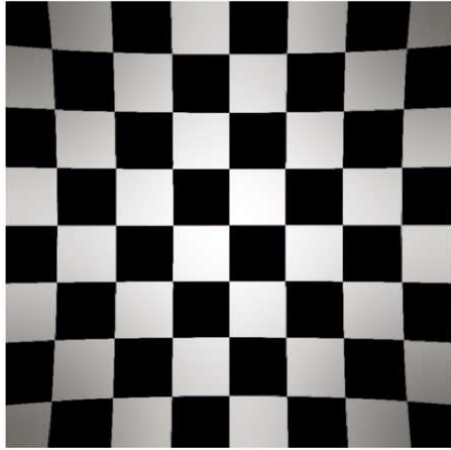


Fig. 6 Simulation der Abbildung eines Schachbrettmusters; dabei wird eine ideale Beleuchtung des Objekts impliziert

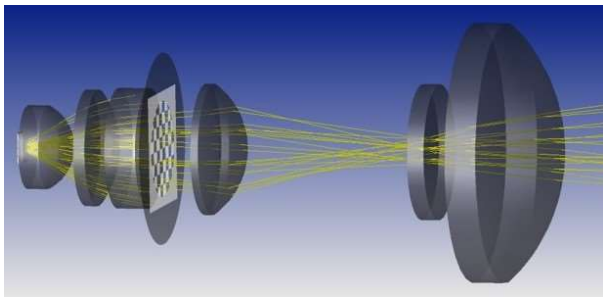


Fig. 7 Projektor, Beleuchtungssystem aus Fig. 2 mit mehrfarbiger LED, damit beleuchtetes Schachbrettmuster, Projektionsobjektiv aus Fig. 5

Wird die oben gezeigte mehrfarbige LED mit Köhlerscher Beleuchtung genutzt (Fig. 7), so finden sich im Bild nahe der Achse unsymmetrische farbige Ränder, wie man sie sonst bei starkem Farbquerfehler am Rande des Feldes erwarten würde.

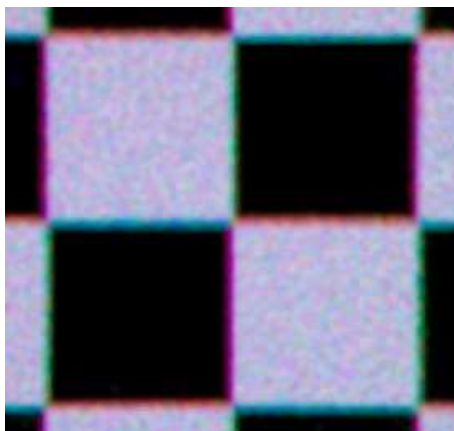


Fig. 8 Abbildung des Schachbrettmusters, Bildausschnitt nahe der optischen Achse

4 Analyse

Die Köhlersche Beleuchtung transformiert die farbige räumliche Modulation der Quelle in den Winkelbereich des auf den Gobo einfallenden Lichtes, während die homogene Fernfeldverteilung der LEDs im Ortsbereich des Gobos für eine gute Gleichmäßigkeit sorgt.

Die detaillierte Untersuchung der Strahlverläufe zeigt, dass im Projektionsobjektiv eine Modulation des Öffnungsfehlers mit der Farbe des Beleuchtungslichtes erfolgt - der beobachtete Effekt ist dem Gaußfehler zumindest verwandt. In Fig. 9 ist die Spotverteilung in der theoretischen Bildebene gezeigt: die Spots sind - abhängig von Farbe und Richtung des auf einen Achspunkt fallenden Lichtes - lateral gegeneinander verschoben. Somit erhält man am Rande von Objektstrukturen unterschiedliche farbige Ränder.

Das Problem kann durch eine deutlich aufwendigere Projektionsoptik oder ein Beleuchtungssystem mit Integrator [3] abgemildert werden.

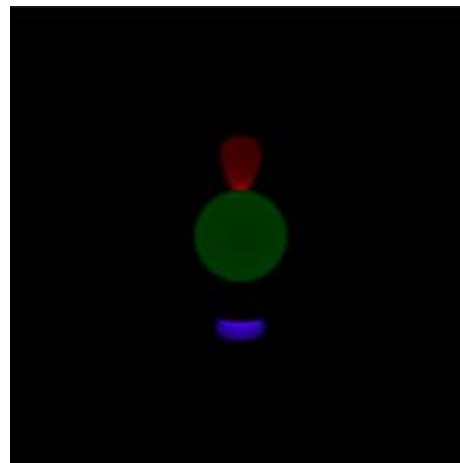


Fig. 9 Simulierte Abbildung eines Achspunktes bei der beschriebenen Beleuchtung

References

- [1] H. Rehn, "System design of a LED based gobo projector," in *Proc. SPIE 8835, LED-based Illumination Systems*, J. Jiao, ed., p. 88350F (San Diego, CA, United States, 2013).
- [2] A. Köhler, "Ein neues Beleuchtungsverfahren für mikrophotographische Zwecke," *Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie und für Mikroskopische Technik* **10**, 433 (1893).
- [3] H. Rehn, "Combined spatial and angular mixing of inhomogeneous light beams," in *Proc. SPIE 10590*, R. N. Pfisterer, J. R. Rogers, J. A. Muschawek, and P. P. Clark, eds., p. 18 (Denver, CO, United States, 2017).