

# Entwicklung eines Farbkalibrierungssystems für ein Mehrkameranasytem zur 3D Rekonstruktion von Personen

Silke Müller

Technische Universität Berlin

## Abstract

In diesem Paper werden drei Varianten zur Farbkalibrierung eines Mehrkameranasytems für die 3D-Rekonstruktion von Personen vorgestellt, um eine Generierung von fehlerfreien Texturen zu ermöglichen. Besonderer Fokus wird dabei auf die Anforderungen zum Einsatz eines konventionellen Referenzcharts in der Umgebung eines volumetrischen Videostudios gelegt. Im Rahmen der Masterarbeit konnte gezeigt werden, wie wichtig es ist, dass neben der farbmetrischen und lichttechnischen Stabilität der Leuchten eine identische Beleuchtung der Charts für alle Kameras gewährleistet wird. Als Alternative werden in Kürze zwei aktive, d.h. selbstleuchtende Kalibrierobjekte vorgestellt. Die erste Variante verwendet die RGB-Module der verbauten Studioleuchten, das zweite sieht den Aufbau einer LED-Leuchte mit RGBA-Emitter vor.

## 1. Einführung

2017 wurde am Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut mit dem Volumetric Video Studio das erste volumetrische Videostudio des europäischen Festlands aufgebaut.



Abbildung 1: Blick in das Volumetric Video Studio

© 2019 by the authors. – Licensee Technische Universität Imenau, Deutschland.



This is an **Open Access** article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution ShareAlike-4.0 International License](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/), (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Mit 32 über 360° verteilten Kameras (siehe Abb. 1) kann der Bewegungsablauf eines Schauspielers aufgenommen werden und in einem späteren Schritt in eine Sequenz von 3D-Modellen umgewandelt werden.

Üblicherweise wird diese Sequenz in eine computergenerierte Umgebung eingefügt und mit der Aufnahmebildrate von 25 Bildern pro Sekunde abgespielt. Mit Hilfe einer Virtual-Reality-Brille kann der Zuschauer dann in einem begehbaren Film den Schauspieler von allen Seiten betrachten.

Bei einem Mehrkammersystem zur 3D-Rekonstruktion von Personen ist die Farbkalibrierung eine wichtige Grundlage, um naturgetreue Texturen zu generieren. Sind die Kameras nicht gut aufeinander abgestimmt, kommt es bei der Fusion der Bildausschnitte der einzelnen Kameras zu Flecken auf der Textur. Um dies zu verhindern, wurden bisher bei jedem Dreh Kalibrierungsaufnahmen von einem Referenzchart mit Testfarben erstellt und die Bilder der Kameras per Auge verglichen und mit einem Farbbearbeitungsprogramm angepasst. Dieser Prozess ist jedoch sowohl zeitaufwendig als auch in seinen Resultaten nicht zufriedenstellend.

Ziel der Masterarbeit war demnach der Entwurf eines Farbkalibrierungsverfahrens, das eine möglichst einfache und akkurate Angleichung der Kameras ermöglicht. Dabei wurden sowohl Wahl und Entwicklung eines Kalibrierobjektes sowie dessen Verwendung unter den speziellen Gegebenheiten des Volumetric Video Studios berücksichtigt.

Forschungsbeiträge zu Mehrkammersystemen sind mehrheitlich im Bereich Computer Vision zu finden und legen dabei auch bei der Farbkalibrierung einen starken Fokus auf Bildverarbeitungsalgorithmen (z.B. [1]). Weder die Handhabung eines konventionellen Kalibrierungsobjektes noch die lichttechnischen Bedingungen im Aufnahmestudio wurden bisher detailliert behandelt.

## 2. Vorstellung der Kalibrierungsverfahren

Neben der Eignung zur exakten Farbabpassung der Kameras galten noch eine Reihe von anderen Anforderungen an das Kalibrierobjekt. Da ihr Einsatz nicht nur im Heinrich-Hertz-Institut geplant ist, sondern auch in weiteren Aufbauten wie dem im Filmstudio Babelsberg, sollte es möglich portabel und flexibel sein. Für alle Kalibrierobjekte ist es zudem wichtig, dass sie den im Rekonstruktionsverfahren eingesetzten Farbraum sRGB ausfüllen. Von größter Wichtigkeit sind auch die

gleichmäßige Beleuchtung der passiven Kalibrierobjekte sowie eine homogene leuchtende Fläche bei den selbstleuchtenden Varianten. Nur so kann sichergestellt werden, dass alle Kameras die gleichen Referenzfarben aufnehmen.

## 2.1 Passives Referenzchart

Das in der Praxis gängigste Farbkalibrierungsverfahren besteht darin, Abweichungen anhand eines Referenzcharts zu korrigieren. Der erste Fokus der Arbeit lag auf der Untersuchung der lichttechnischen Bedingungen für die Verwendung des Charts sowie den Anforderungen zum Einsatz innerhalb des Mehrkamerasystems.

Durch den zeitlichen Versatz zwischen Personen- und Kalibrierungsaufnahmen sind konstante lichttechnische und farbmtrische Eigenschaften der im Volumetric Video Studio verbauten Leuchten sehr wichtig. Da diese bei LED-Leuchten u.a. mit der Erwärmung verknüpft sind, hat die Autorin das Verhalten der Leuchten über einen Zeitraum von 90 Minuten nach Einschalten der Leuchten mit Hilfe von Spektroradiometermessungen (JETI specbos 1201) und durch Auswertung der Kamerabilder untersucht. Wie in Abb. 2 zu sehen ist, dauert es ca. 15 Minuten bis die Abweichung der Beleuchtungsstärke beim konstanten Endwert unter 1 % liegt. Die Abweichung der Farbörter ist hingegen vernachlässigbar.

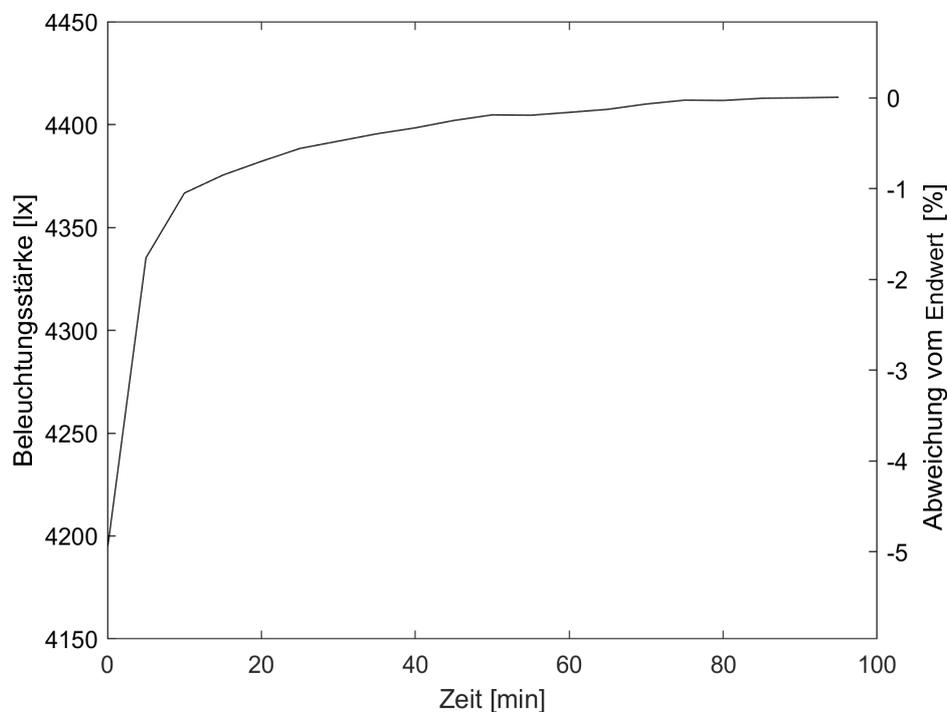


Abbildung 2: Langzeitmessung der Beleuchtungsstärke in der Mitte des Raumes

Im Zuge dieser Untersuchungen wurde auch der Farbwiedergabeindex der Leuchten überprüft und die Eignung dieser mit einem exzellenten Farbwiedergabeindex von 97,8 bestätigt.

Expliziter Bezug zur Verwendung des Charts in einem Mehrkameranystem wurde durch die Untersuchungen zur Ausrichtung des Referenzcharts genommen. Deckt das Mehrkameranystem einen so großen Winkel des Raumes ab, dass das Chart gedreht werden muss, so muss sichergestellt werden, dass die Beleuchtungsstärke auf diesem aus allen Blickwinkeln gleich ist.

Aus diesem Grund wurden sowohl die Beleuchtungsstärke als auch die Farbörter auf dem Diffusor-Aufsatz des Spektroradiometers in der Mitte des Studios aus verschiedenen Winkeln gemessen. Die Positionierung ist in Abb. 3 schematisch dargestellt.

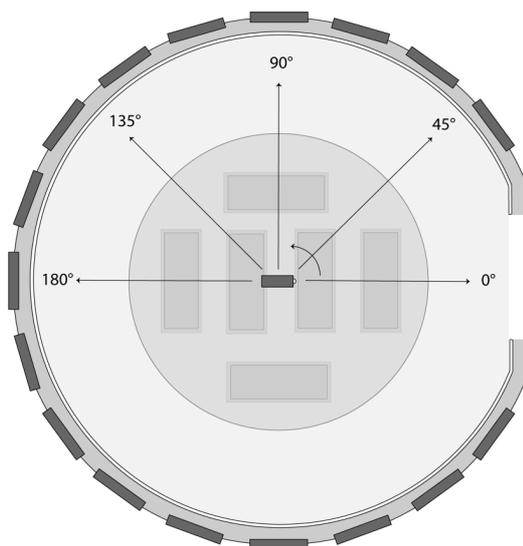


Abbildung 3: Platzierung des Spektroradiometers

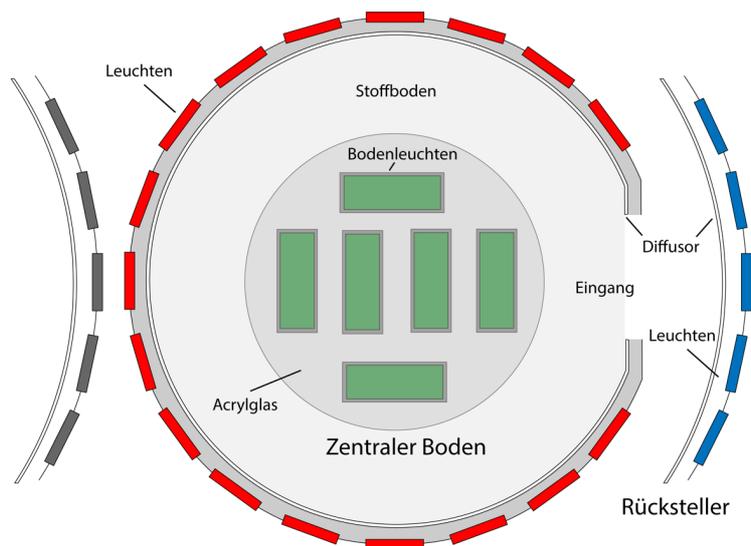


Abbildung 4: Aufbau des Volumetric Video Studios

Die Messergebnisse in Tab. 1 zeigen, dass die Beleuchtungsstärke abhängig vom horizontalen Blickwinkel ist. Dies liegt primär am Aufbau des Studios, welches aus einer Rotunde und einem Rücksteller hinter dem Eingang besteht (siehe Abb. 4), in

Winkel [°]	Rücksteller 50 %		
	Beleuchtungsstärke [lx]	x	y
0	8128	0,3314	0,3457
45	8510	0,3309	0,3453
90	8785	0,3304	0,3448
135	8800	0,3305	0,3449
180	8740	0,3305	0,3451

Tabelle 1: Beleuchtungsstärke und Farbörter über horizontalen Blickwinkel

dessen Richtung die Beleuchtungsstärke abfällt.

Die Auswirkungen der inhomogenen Lichtverhältnisse auf die RGB-Werte einzelner Farbfelder wurden durch eine Messreihe mit Verkippung des Referenzcharts in verschiedene horizontale und vertikale Winkel überprüft.

Zur Ausführung wurden sowohl ein Aufbau zum Ablesen der Winkel als auch ein System, um das Lot zur optischen Achse der Kamera zu bestimmen (siehe Abb. 5), entwickelt.

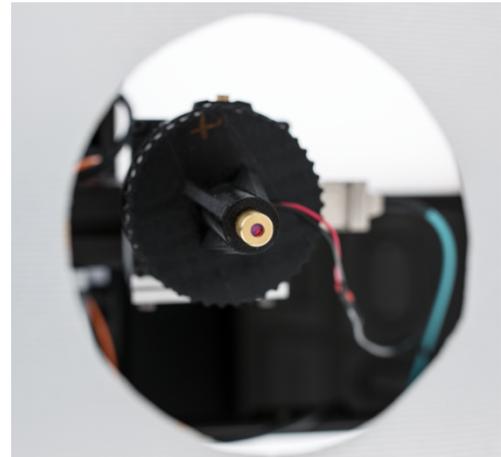


Abbildung 5: Aufbau zur Bestimmung der optischen Achse

Aus den Aufnahmen des Charts konnten pro Farbfeld für verschiedene Winkel über die Fläche gemittelte RGB-Werte berechnet werden, die sich wie in Abb. 6 vor allem in der Helligkeit unterschieden.

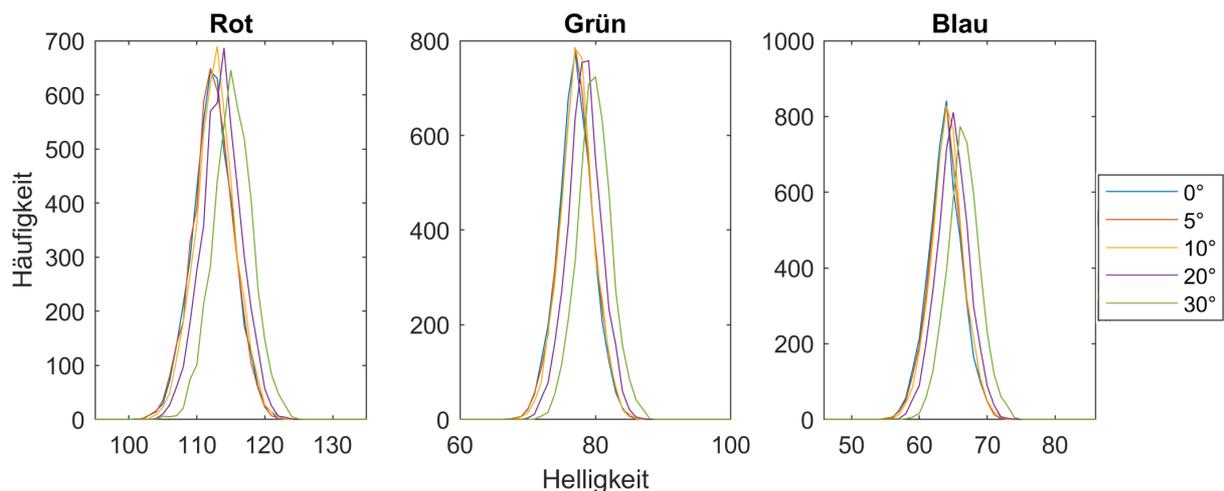


Abbildung 6: Häufigkeit der RGB-Werte des Farbfelds „Dark Skin“ über verschiedene horizontale Kippwinkel

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich je nach Drehwinkel des Charts andere RGB-Werte in der Kamera ergeben. Um den Einfluss dieser auf die Rekonstruktionsergebnisse abzuschätzen, wurde im Rahmen der Masterarbeit eine komplette 3D-Rekonstruktion einer Person durchgeführt (siehe Abb. 7).

Die Farbkalibrierung der Kameras wurde dabei mit Referenzcharts einmal mit einer festen Ausrichtung und einmal im Lot zur optischen Achse der jeweiligen Kamera durchgeführt. Für die Analyse des Charts wurde ein mehrschrittiges Schema aus einer Kombination kommerzieller Software erarbeitet. Dieses Verfahren lieferte sowohl bei

der Auswertung der Farbabstände der verarbeiteten Kamerabilder als auch der 3D-Rekonstruktionen sehr gute Ergebnisse.

Für beide Ausrichtungen zeigten sich optisch identische Ergebnisse bei der 3D-Rekonstruktion ohne Flecken in der Textur. Da jedoch nur zwei benachbarte Stereopaare, d.h. zwei Kameras verwendet wurden, vermutet die Autorin, dass die Beleuchtungsunterschiede auf den Charts deutlich geringer waren, als wenn die vollen 360° des Raums ausgenutzt werden, bei denen diese Unterschiede sich dann auch in der Textur in Form von Flecken zeigen.



Abbildung 7: 3D-Rekonstruktion aus drei Winkeln

Allerdings konnte durch optischen Vergleich der nach dem Schema vorbehandelten, d.h. kalibrierten Bilder und durch Auswertung der RGB-Werte nachgewiesen werden,

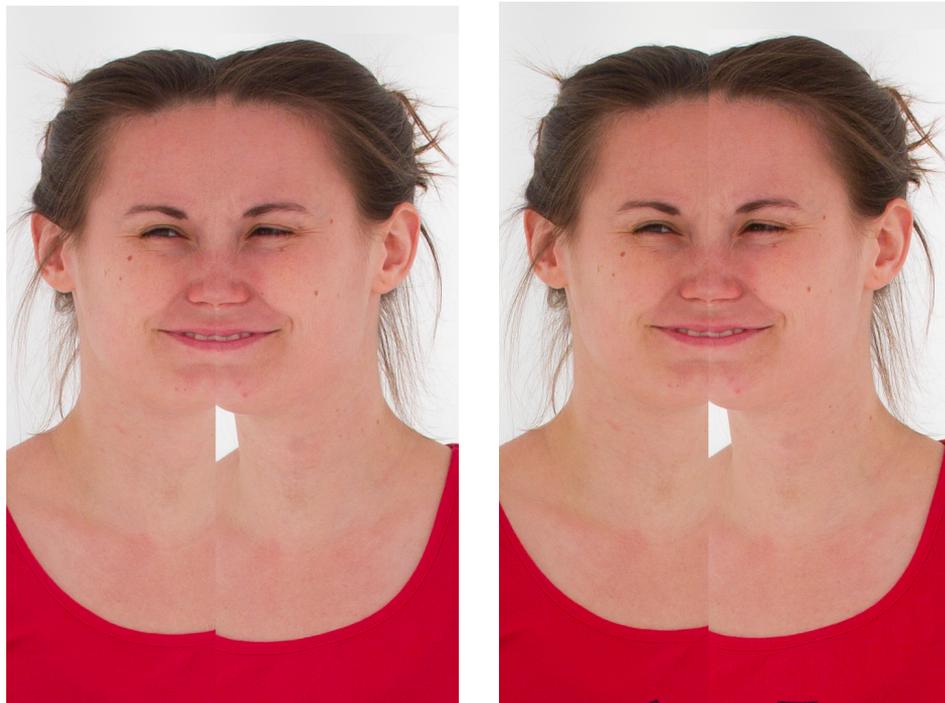


Abbildung 8: Zusammenschnitt von Bildern zweier Kameras, links: Chart mit fixer Position im Raum, rechts: Chart zu den Kameras gedreht

dass die Farbkalibrierung der Kameras untereinander schlechtere Ergebnisse liefert, wenn das Chart zur jeweiligen Kamera gedreht wird (siehe Abb. 8 rechts im Vergleich zur fixen Position links).

Daraus kann geschlossen werden, dass diese Ausrichtungsvariante generell nicht zu empfehlen ist, wenn die Beleuchtung innerhalb des Mehrkamerasytems nicht homogen ist. Dieses Ergebnis ist besonders wichtig im Hinblick darauf, dass das Chart bis zu diesen Untersuchungen im Volumetric Video Studio immer zu Kamera gedreht wurde und dies auch in Untersuchungen anderer Forschergruppen gängige Praxis ist.

## 2.2 Aktive Kalibrierkonzepte

Der zweite Fokus der Arbeit lag auf der Ausarbeitung eines aktiven Kalibrierungskonzepts, das von der Beleuchtungssituation während der Aufnahmen im Studio entkoppelt ist. Hierfür wurden zwei verschiedene Konzepte vorgestellt.

In der ersten Variante wurden die RGB-Module der im Studio verwendeten Leuchten dazu verwendet, auf einer weißen Kugel in der Mitte des Raumes Testfarben zu erzeugen (siehe Abb. 9). Der von den Modulen aufgespannte Farbraum ist dabei groß genug, um sRGB auszufüllen. Nach Anfertigung einer passenden Kugel zeigten sich bei der Überprüfung der Leuchtdichte auf der Kugel die gleichen Inhomogenitäten wie auf dem Chart. Die Ergebnisse der Messung sind in Tab. 2 aufgeführt.



Abbildung 9: Kugel im Volumetric Video Studio

Aus diesem Grund wurde diese Variante nicht weiterverfolgt, allerdings sind in der Abschlussarbeit alle Informationen gegeben, um ein vergleichbares Kalibrierobjekt herzustellen und dieses in einem Aufbau mit homogenem Licht zu verwenden.

Winkel [°]	Leuchtdichte [ $\frac{cd}{m^2}$ ]	x	y
0	2310	0,3264	0,3425
90	2353	0,3258	0,3421
180	2536	0,3271	0,3429
270	2511	0,3265	0,3424
0 Bottom	2348	0,3262	0,3421
0 Top	1947	0,3299	0,3448
90 Top	1838	0,3277	0,3434
180 Top	2078	0,3296	0,3442
270 Top von oben	2037	0,3299	0,3445

Tabelle 2: Leuchtdichte auf der Kugel aus verschiedenen Winkeln gemessen

Als zweite aktive Variante wurde die komplette Entwicklung einer LED-Leuchte vorgenommen, bei der die Testfarben durch einen LED-Emitter mit RGB+Amber-Chips realisiert werden (siehe Abb. 10). Der von den RGB-Chips ausgefüllte Farbraum deckt sRGB bereits ab, die Amber-Komponente lässt aber die Möglichkeit offen, das Kalibrierobjekt in Zukunft auch für einen größeren Farbraum einzusetzen.

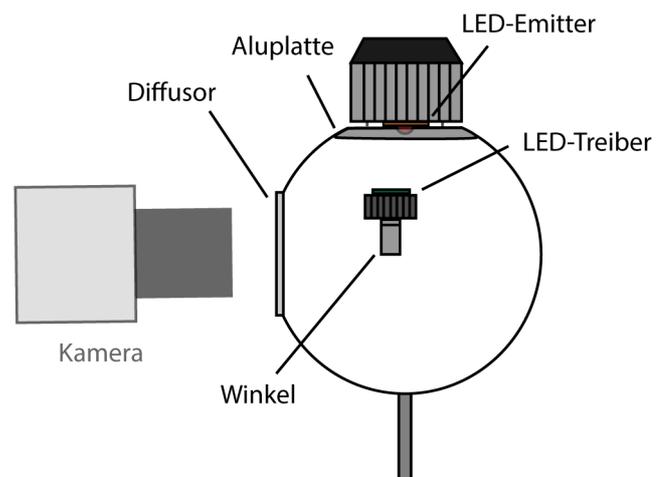


Abbildung 10: Schematischer Aufbau der LED-Leuchte

Damit die Kameras möglichst ähnlichen Beleuchtungsniveaus wie im Studio ausgesetzt werden, wurde die Beleuchtungsstärke an den Objektiven auf einen geforderten Emitter-Lichtstrom zurückgerechnet. Durch die Betrachtung des Thermomanagements wurde zudem dafür Sorge getragen, dass die lichttechnischen und farbmetrischen Parameter der Leuchte möglichst konstant gehalten werden. Durch die Wahl aller zusätzlichen Komponenten sowie Informationen über die zur Inbetriebnahme benötigten Messungen und dem Einsatz des von der Autorin erarbeiteten Kalibrierschemas sind die Voraussetzungen für eine Realisierung des Konzepts in der Arbeit gegeben.

### 3. Fazit und Ausblick

Mit der Erstellung von immersiven Inhalten für VR- und AR-Anwendungen ist eine ganz neue Form von Content-Erzeugung notwendig. Die Erkenntnisse dieser Arbeit sowie die vorgeschlagenen Messungen sind im Besonderen für die Erstellung von hochqualitativen Mehrkamera-Aufnahmen wichtig, die spezielle Anforderungen an die Beleuchtung und den Umgang mit Referenzcharts stellen.

Im Fall von blickwinkelabhängigen Beleuchtungsstärken in der Mitte des Raumes, wie im Volumetric Video Studio, können nur mit einer reduzierten Anzahl an Kameras und einem fix positionierten Referenzchart eine Beeinflussung der Kalibrierung vermieden werden. Das Drehen des Referenzcharts sollte in diesem Kontext vermieden werden. Die Autorin empfiehlt zur Einschätzung und Korrektur der Beleuchtungssituation jedes neuen Aufbaus die Durchführung der in der Arbeit beschriebenen Kontrollmessungen. Diese umfassen Messungen des Verlaufs der Beleuchtungsstärke und der Farbörter in der Mitte des Raumes nach Anschalten der Beleuchtung sowie der Beleuchtungsstärke in der Mitte über verschiedene horizontale und vertikale Blickwinkel.

Mit dem vorgestellten Konzept einer Kalibrierleuchte wurde ein Lösungsweg für Studios mit inhomogenen Lichtbedingungen skizziert. Dieses soll im Rahmen weiterer Abschlussarbeiten realisiert und im Einsatz überprüft werden.

### References

[1] Kun Li, Qionghai Dai und Wenli Xu. „Collaborative color calibration for multi-camera systems“. In: *Signal Processing: Image Communication*, 26 (Jan. 2011), S. 48–60. doi: 10.1016/j.image.2010.11.004