

Entwicklung einer Messroutine - Parameter erfassen, darstellen und auswerten mit Hilfe einer Datenbank

*Katharina Michel, Matthias Held
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg,
Master Zeitabhängige Medien / Sound-Vision
Finkenau 35, 22081 Hamburg;*

Abstract

Es wurde ein allgemeines Vorgehen für Scheinwerfermessungen entwickelt. Ziel war es einen reproduzierbaren Ablauf zu definieren, der effiziente Messungen mit vergleichbaren Ergebnissen ermöglicht. Die erzeugten Daten werden in einer Datenbank gespeichert und stehen über einen Webserver zum Abrufen und Vergleichen bereit. Dabei werden folgende Parameter erfasst:

- allgemeine Daten (Größe, Gewicht usw.)
- direkte Beleuchtungsstärke und LVK (verschiedene Abstrahlwinkel)
- Messung der Grundfarben (LED-Farben / CMY)
- Spektrum (380nm - 780nm), CCT, $\Delta u'v'$
- Farborte (X, Y, Z / x, y / u' , v' / L^* , a^* , b^*)
- Farbwiedergabewerte (CRI, CQS, TLCI, TM-30)
- Messung verschiedener CCT (6000K / 5600K / 4000K / 3200K): Spektrum, CCT, $\Delta u'v'$, Farborte und Farbwiedergabewerte
- Stabilität (Dimmen / Zoomen / CTC-Einstellung)

Es besteht damit die Möglichkeit, flexibel und gezielt auf zusammengehörige Daten zuzugreifen. Der Nutzer kann sich in den verschiedenen Untermenüs die Messergebnisse anzeigen lassen und in anschaulichen Diagrammen miteinander vergleichen.

Index Terms: Datenbank, Scheinwerfermessroutine, CRI, CQS, TLCI, TM-30, Spektrum, CCT, Farbort, $\Delta u'v'$, Farbraum



1 Einleitung

Viele kennen es. Man ist unterwegs auf einem Job, die Internetverbindung ist schlecht und es fehlen Daten über den zu installierenden Scheinwerfer. Wie viel Strom zieht der nochmal? Werden wir hell genug sein? Wie groß war gleich der Abstrahlwinkel? Gibt es für den defekten Scheinwerfer eine Alternative? Auf den Websites der Hersteller muss man sich häufig durch unübersichtliche Oberflächen quälen, die Website lädt nicht oder die Informationen sind einfach nicht ausfindig zu machen. Mit unserer Datenbank soll damit endlich Schluss sein. Hier werden alle wichtigen Informationen eines Scheinwerfers in einer Applikation vereint.

2 Messung

Um vergleichbare und aussagekräftige Daten für die Scheinwerferdatenbank zu generieren, wurde ein Konzept entwickelt, wie ein einheitlicher Messablauf auszusehen hat. Dazu werden verschiedene Messziele definiert.

2.1 Messziele

Für die Katalogisierung der Scheinwerfer werden verschiedenste Parameter erfasst. Dazu zählen physikalische Größen wie zum Beispiel Maße und Gewicht oder auch die elektrische Spezifikation mit der Leistungsaufnahme des Scheinwerfers. Diese Werte sind meist vom Hersteller schon im Datenblatt sehr ausführlich angegeben und werden für die Datenbank aus diesem übernommen. Daher wird es interessanter, sich mit den spektralen Eigenschaften eines Scheinwerfers auseinander zu setzen.

Mit einer Messung des nativen Lichtoutputs (d.h. keine Farbanpassungen o.ä.) werden Beleuchtungsstärke, Farbtemperatur, Farbort und Spektrum (im sichtbaren Bereich von 380nm bis 780nm) bestimmt. Damit es möglich ist, die Beleuchtungsstärken von Scheinwerfern auch absolut und nicht nur relativ zu vergleichen, werden die Scheinwerfer in verschiedene Klassen eingeordnet. Jeder Klasse wird ein spezifischer Abstrahlwinkel zugewiesen, der von jedem Scheinwerfer der Klasse zu erreichen ist. Die gemessene Beleuchtungsstärke bei diesem Abstrahlwinkel ergibt eine neue Vergleichsmöglichkeit der Helligkeiten von Scheinwerfern.

Zur qualitativen Kategorisierung werden mit der nativen Messung auch die Farbwiedergabewerte Color Rendering Index (CRI), Color Quality Scale (CQS), Television Lighting Consistency Index (TLCI) und die IES Method for Evaluating Light Source Color Rendition (TM-30-15) bestimmt. Der CRI ist mit der bekannteste und

älteste (1965) Farbwiedergabewert. Da die Internationale Beleuchtungskommission CIE 2007 eingestanden hat, „dass die CRI-Methode generell nicht anwendbar ist, um eine Anzahl von Lichtquellen gemäß ihrer Farbwiedergabe einzuordnen, wenn weiße LEDs darunter sind“¹, gewinnen andere Werte wie der TLCI oder der TM-30 für LED-Scheinwerfer an Bedeutung.

Um den Scheinwerfer differenziert zu betrachten, werden diese Werte nicht nur in der nativen Messung, sondern auch bei speziellen korrelierten Farbtemperaturen (3200K, 4000K, 5600K und 6000K) ermittelt. Auf diese Weise kann aufgezeigt werden, wie sich die Weißwerte und die Farbwiedergabe eines Scheinwerfers auf der Planck'schen Kurve verhält. Eine korrelierte Farbtemperatur (CCT) definiert sich hauptsächlich über das Rot-Blau Mischverhältnis einer Leuchte. Daher wären noch wärmere bzw. kältere Farbtemperaturen zwar als Extremfall interessant, weichen aber zu stark von den gängigen CCTs ab, dass nicht erwartet werden kann, dass jeder Scheinwerfer in der Lage ist diese abzubilden.

Bei vielen LED- (Entladungs-)Scheinwerfern ist es möglich, über mehrere Wege eine gewisse korrelierte Farbtemperatur zu erzeugen. Die erste Möglichkeit besteht darin, die Farben (R/G/B (W/A/L...) bzw. C/M/Y) direkt anzusteuern und über ein Mischverhältnis von Rot zu Blau (CCT) und Magenta zu Grün ($\Delta u'v'$) eine ziemlich exakte CCT (bzw. Farbort) zu treffen.

Eine Alternative dazu ist meist eine vom Hersteller entwickelte Color Temperature Correction (CTC) Funktion des Scheinwerfers. Entweder berechnet ein komplexer Algorithmus die Farbzusammensetzung des Scheinwerfers so, dass eine bestimmte CCT getroffen wird, oder der Scheinwerfer enthält einen CTC-Farbfilter, der stufenlos oder mit festen Farbtemperaturen in den Beam gefahren werden kann. Es ist interessant diese verschiedenen Wege zur korrelierten Farbtemperatur zu vergleichen, da man meist Genauigkeiten der CCT gegen Beleuchtungsstärke eintauscht.

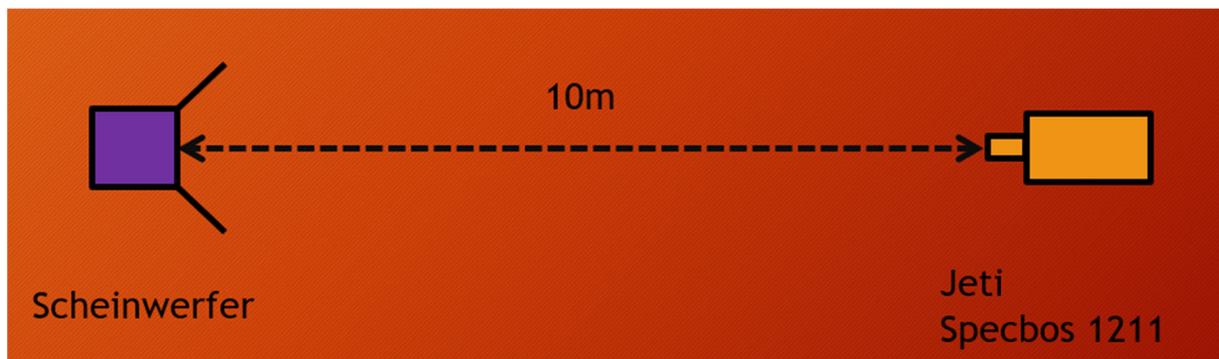
Mit einer CCT von 3200K ist auch der Glühlichtbereich abgedeckt und es kann geprüft werden, wie gut Leuchtmittel mit höheren nativen Farbtemperaturen mit einem Halogenscheinwerfer zusammen eingesetzt werden können. Zu so einer Aussage sollte aber auch stets das Spektrum eines Scheinwerfers mit in Betracht gezogen werden, um große Differenzen zu vermeiden.

Außerdem werden die Farborte in den verschiedenen Farbräumen CIE1931, CIE1964 und LAB dargestellt. Der Unterschied zweier Farborte kann zum Beispiel hilfreich sein, wenn man zwei verschiedenen Scheinwerfer dieselbe Farbe zuordnen möchte.

Die Messung einer Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) wird korrekterweise mit einer Ulbricht-Kugel durchgeführt. Um trotzdem mithilfe eines unten aufgeführten Spektrometers das Ausleuchtverhalten eines Scheinwerfers bestimmen zu

2.3 Messumgebung

Für einheitliche Messungen wird auch an die Messumgebung gleiche Maßstäbe gestellt. Es wird außerdem ein komplett abgedunkelter Raum benötigt, in dem die Umgebungsbeleuchtungsstärke minimal gehalten werden kann. Die Messdistanz liegt bei praxisnahen 10m Entfernung, wobei jeweils zu prüfen ist, ob ein Scheinwerfer oder sogar Scheinwerferklasse aufgrund zu geringer Beleuchtungsstärke mit geringerem Abstand positioniert werden muss. Der zu messende Scheinwerfer wird so ausgerichtet, dass die Linse exakt mittig zum Messgerät ausgerichtet ist und keine Drehwinkel vorhanden sind. Es wird direkt in das Messgerät gemessen. Vor Beginn jeder Messreihe wird die Umgebungsbeleuchtungsstärke festgehalten.



2: Schematische Darstellung des Messaufbaus

2.4 Messkonzept

Nach Positionierung von Leuchte und Messgerät wird der Scheinwerfer eingeschaltet, die korrekten Betriebsmodi eingestellt und danach für ca. 20 min warmgelaufen. Diese Zeit wird von der EBU empfohlen, wenn man Farbwiedergabewerte bei (LED)-Scheinwerfern verlässlich messen möchte². Gerade bei LED-Scheinwerfern und Entladungslampen kann es in den ersten Minuten, nach Einschalten des Scheinwerfers, zu Schwankungen der Lichtparameter kommen. Auch das Messgerät sollte eine ca. 30 min Aufwärmphase durchlaufen².

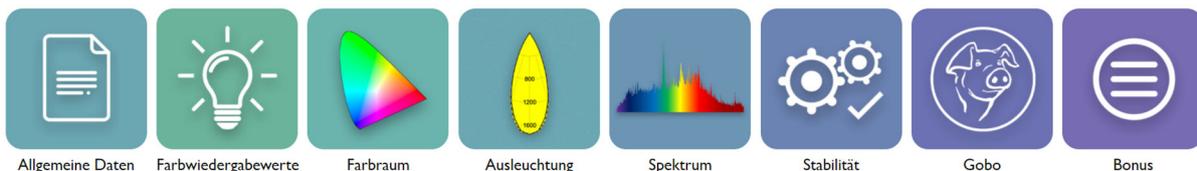
Vor jeder Messung werden die Einstellungen des Scheinwerfers dokumentiert. Idealerweise werden die folgenden Schritte je Modus, bzw. geänderter Einstellungen wie z.B. Fan Mode durchgeführt.

1. Native Messung: Erfassung von Beleuchtungsstärke, CCT, Farbwiedergabewerten, Farborten
2. Spezieller Abstrahlwinkel: Der Scheinwerfer wird je nach Klassenzuordnung auf einen bestimmten Abstrahlwinkel eingestellt, um vergleichbare Beleuchtungsstärken zu erhalten. Dieser Winkel wird für alle weiteren Messungen beibehalten.
3. Zommverhalten: Messung der Parameter bei verschiedenen Zoomstufen in 10%-Schritten
4. Dimmverhalten: Messung der Parameter bei verschiedenen Dimmstufen in 10%-Schritten
5. Farbzusammensetzung: Messung der Farborte bei Einzelfarben in 10%-Schritten
6. Farbtemperaturen: Verschiedene Farbtemperaturen werden eingestellt und einmal manuell gemischt und einmal in Verbindung mit einem CTC hergestellt (falls vorhanden)
7. Ausleuchtungsdiagramme: Das Messgerät wird horizontal schrittweise durch den Beam bewegt und es wird die Beleuchtungsstärke bestimmt

3 Auswertung der gesammelten Messwerte

Im folgenden Kapitel werden nun die aus den Messungen erhobenen Daten genommen und grafisch aufbereitet, sodass es visuell leicht ersichtlich ist, wie ein gewählter Scheinwerfer in den einzelnen Werten abschneidet. Weiterhin werden bestimmte Werte innerhalb des Scheinwerfers miteinander verglichen.

Um die Darstellung der Messergebnisse, sowie auch allgemeinen Daten, zu erleichtern, wurde ein Webinterface geschrieben. Alle erhobenen Daten wurden in Überkategorien zusammengefasst.



3: Überkategorien

3.1 Darstellung von Messergebnissen

In diesem Unterkapitel wird beispielhaft auf die Überkategorien Farbwiedergabewerte, Farbraum, Ausleuchtung und Spektrum eingegangen, um an diesen die Darstellung der Messergebnisse zu zeigen. Weiterhin wurde der Robin T1 Profile von Robe ausgewählt, mit dem die beschriebene Messroutine durchgeführt wurde und die Messwerte im Folgenden dargestellt wird.

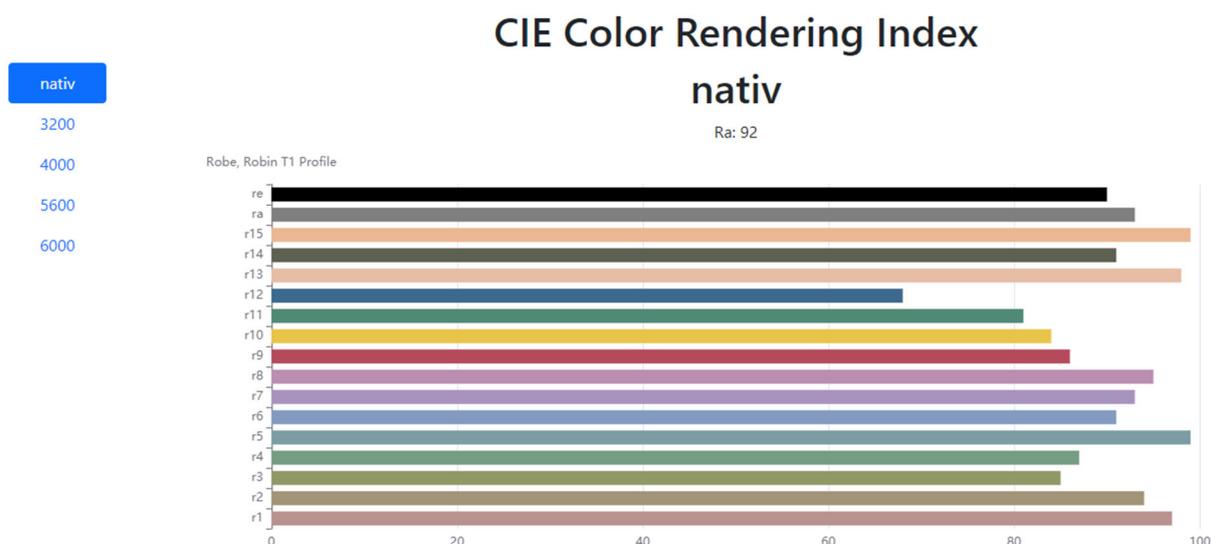
3.1.1 Farbwiedergabewerte

Da es einige Farbwiedergabewerte gibt, die man in Betracht ziehen kann, um einen Scheinwerfer in seiner Lichtqualität bewerten zu können, gibt es in dieser Kategorie zuerst einmal eine Übersicht.



4: Übersicht der Farbwiedergabewerte

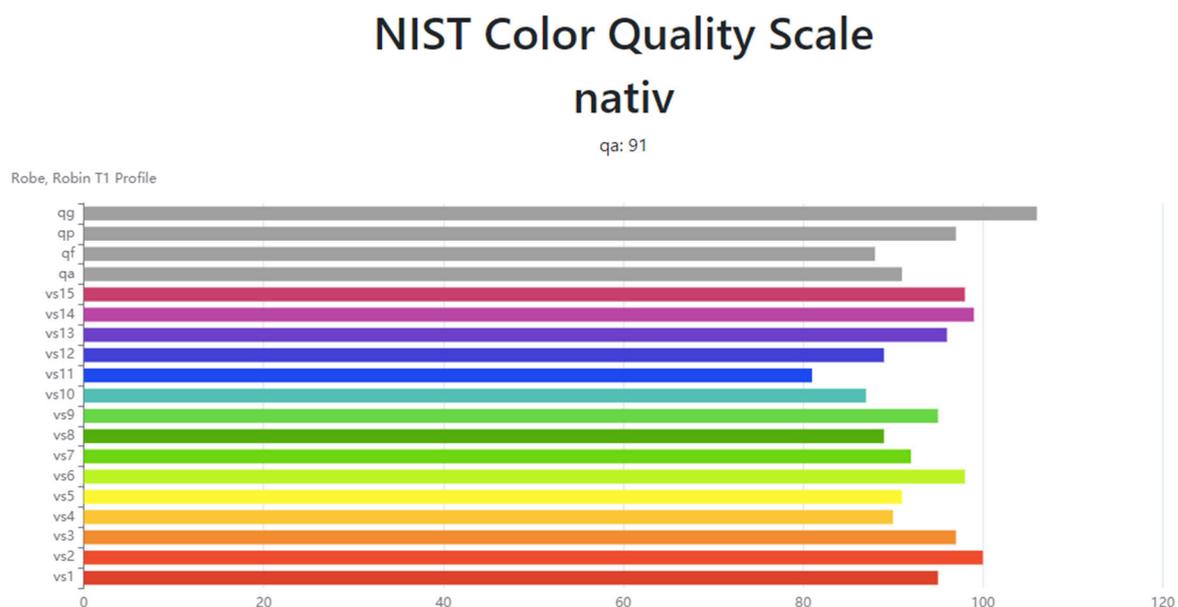
Betrachtet werden hier der CRI, CQS, TLCI und der TM-30 mit dem jeweiligen Endergebnis. Da aber nicht nur das Endergebnis, sondern auch die einzelnen Werte für die jeweiligen Farben sehr interessant sein können, werden diese in den jeweiligen Kategorien eingeteilt. Für den CIE Color Rendering Index (CRI) werden daher die 15 Farbwerte R₁-R₁₅ dargestellt, sowie auch Re und Ra in einem Diagramm abgebildet.



5: Darstellung des nativen CRIs

Auf Abbildung [5] ist der native CRI dargestellt. In diesem Fall wurde der Scheinwerfer auf 100% Helligkeit gesetzt und keine Anpassungen vorgenommen. Da Scheinwerfer nur im seltensten Fall mit der nativen Einstellung genutzt werden und meist farblich angepasst werden, um eine bestimmte Farbtemperatur zu erreichen, werden weiterhin 3200 K, 4000 K, 5600 K, und 6000 K in Unterkategorien eingeteilt. Dies gilt nicht nur für den CRI sondern auch für alle anderen Farbwiedergabewerte.

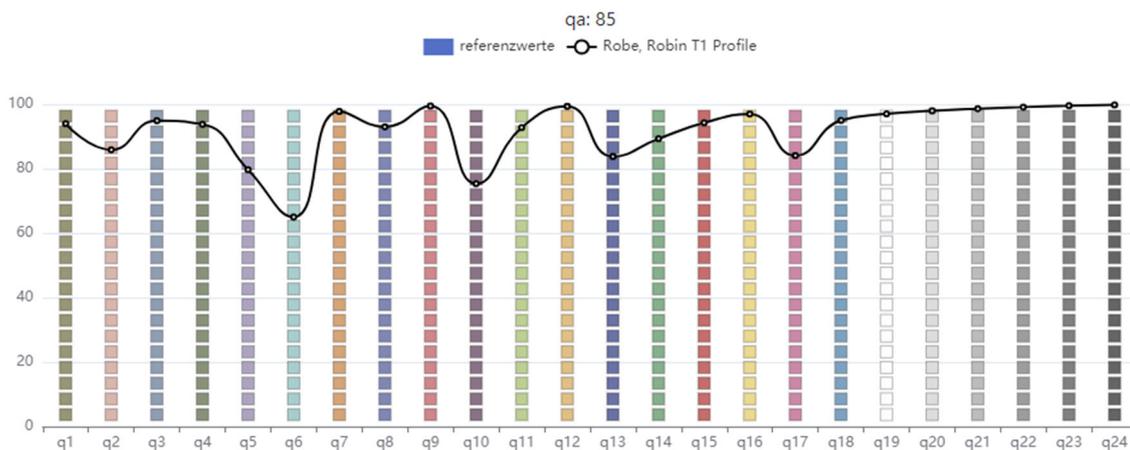
Der NIST Color Quality Scale (CQS) wird mit seinen 19 Werten in einem Balkendiagramm ähnlich wie der CRI dargestellt.



6: Darstellung des nativen CQS

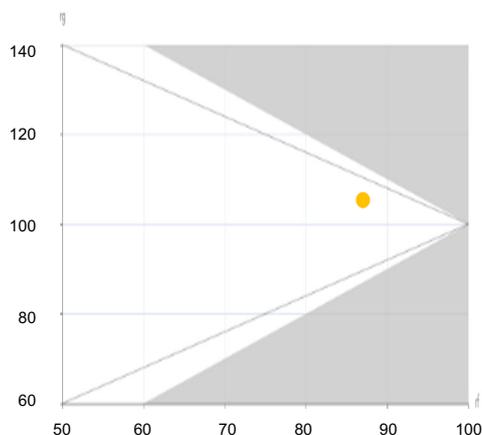
Bei dem EBU Television Lighting Consistency Index (TLCI) wurde eine andere Darstellungsweise gewählt. Hier wurden im Hintergrund die Referenzwerte für die Farbwerte Q_1 - Q_{24} eines mit TLCI bewerteten idealen Lichtquelle angenommen. Darauf wird eine Linie eingezeichnet, die die gemessenen Farbwerte Q_1 - Q_{24} miteinander verbindet und somit darstellt, wo farbliche Defizite vorhanden sind. (Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die Werte zwischen den Farbpunkten interpoliert sind.)

EBU Television Lighting Consistency Index



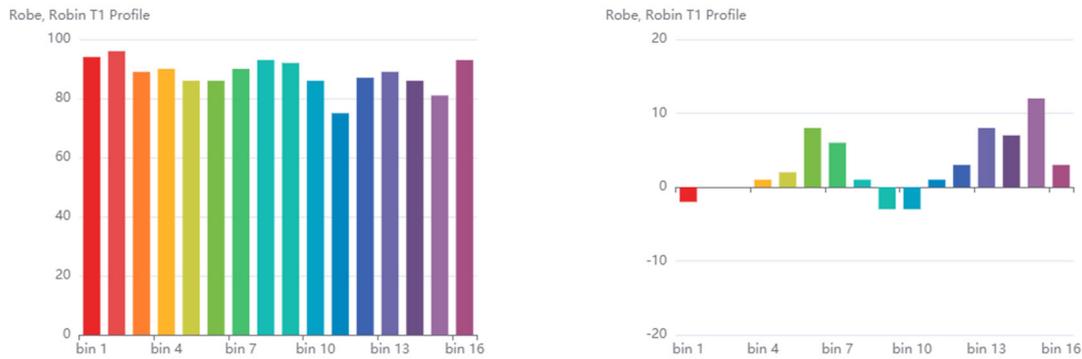
7: Darstellung des nativen TLCI

Auch hier wurde der native TLCI des Scheinwerfers Robin T1 Profile von Robe dargestellt. Als letzten Farbwert wird noch der IES TM-30 in Betracht gezogen. Dessen Darstellung gliedert sich in 4 einzelne Diagramme auf. Als erstes Diagramm wird der R_f -Wert gegen den R_g -Wert aufgespannt (Abbildung 8).



8: TM-30: R_f auf R_g Wert

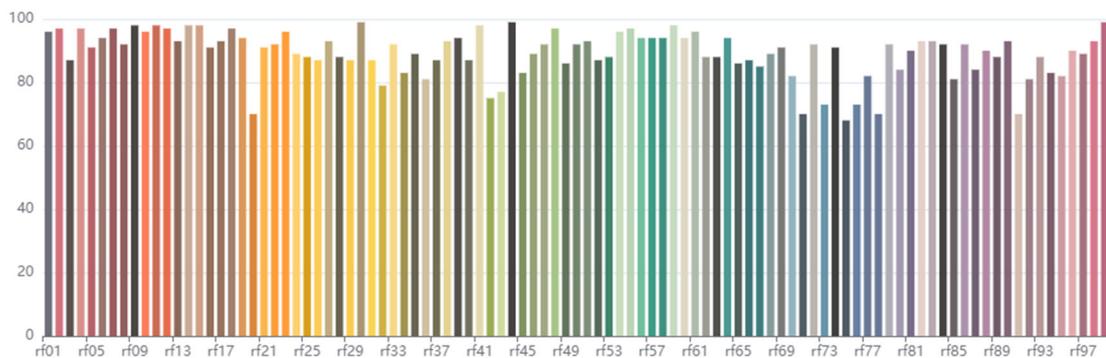
Die nächsten beiden Diagramme stellen die hue bins (linkes Diagramm auf Abbildung 9) und die chroma hue bins dar (rechtes Diagramm auf Abbildung 9).



9: TM-30 hue und chroma hue bins

Als letztes Diagramm des TM-30 werden alle bewerteten 99 Farben dargestellt, sodass ersichtlich ist, in welchen Farbbereichen Defizite vorliegen und in welchen Bereichen Stärken. Auch hier wird nur der native Farbwert vorerst betrachtet.

Robe, Robin T1 Profile



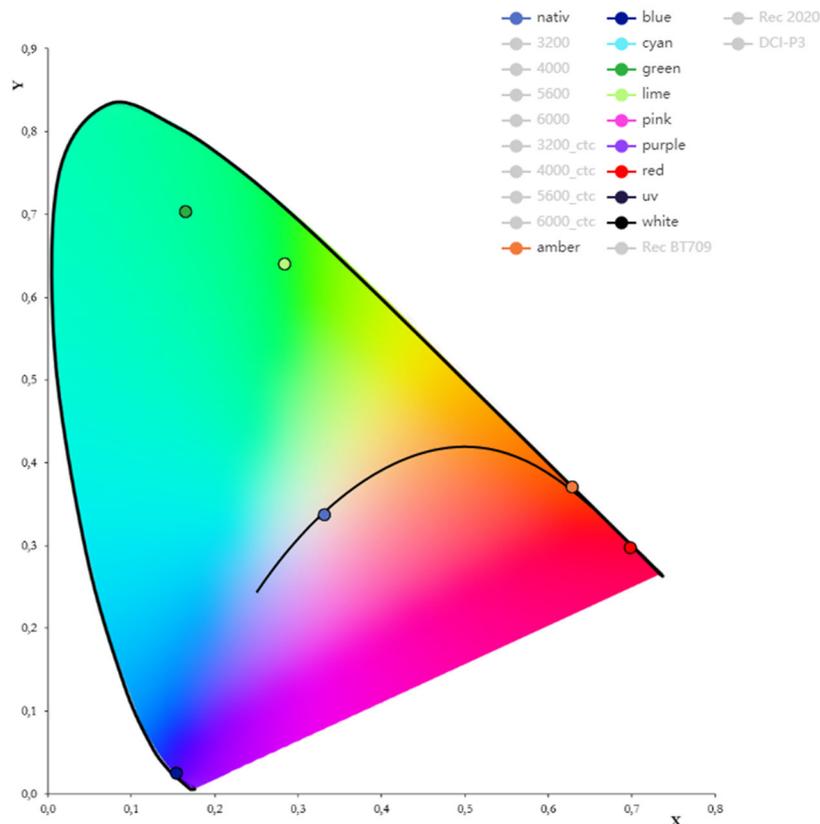
10: Darstellung aller 99 Farbwerte des TM-30

3.1.2 Farbraum

Nicht nur die Qualität von Farben eines Scheinwerfers zu betrachten ist wichtig sondern auch das Gamut eines Scheinwerfers. Zur Übersicht wurde auch hier die Kategorie in drei Unterkategorien aufgeteilt: xy-Farbraum, u'v'-Farbraum und L*a*b*-Farbraum. Beginnen wir zunächst mit der Abbildung des xy-Farbraums:

Die visuelle Darstellung wurde in dem CIE 1931 xy-Farbraum eines 2° Standardbeobachters vorgenommen

(Abbildung 11). Ausgeblendet sind die Koordinaten der einzelnen Farbtemperaturen, sowie die am meisten genutzten Videofarbräume Rec BT.709, Rec 2020 und DCI-P3. Letzterer wird vor allem bei Filmproduktionen verwendet.



11: Gamut des Robin T1 Profile im CIE 1931 xy-Farbraum

Da es weit mehr Farbräume als nur den von CIE 1931 2° Standardbeobachter xy-Farbraum gibt, wurden diese in tabellarischer Form aufgelistet. Darunter wurden berücksichtigt: CIE 1964 10° Standardbeobachter und CIE 2006 2°, sowie 10° Standardbeobachter. Für alle erwähnten Farbräume wurden nicht nur die xy-Koordinaten sondern auch die XYZ-Koordinaten zur Verfügung gestellt. Abbildung 12 zeigt beispielhaft, wie dies aussieht.

Auch für den u'v'-Farbraum wurde die beschriebene Darstellung verwendet. Sichtbar ist auch hier der 2° Beobachter CIE

	10° Beobachter:									
	CIE 1964					CIE 2006				
	x	y	X	Y	Z	x	y	X	Y	Z
nativ	0.3338	0.3370	379.0	382.6	373.7	0.3330	0.3352	386.0	388.4	384.5
3200	0.4243	0.3977	747.1	700.3	313.5	0.4247	0.3967	756.4	706.6	318.1
4000	0.3821	0.3761	830.0	817.0	525.1	0.3818	0.3749	841.2	826.0	536.2
5600	0.3343	0.3392	565.7	574.0	552.4	0.3336	0.3374	576.0	582.7	568.1
6000	0.3244	0.3329	867.4	890.1	916.6	0.3232	0.3314	881.2	903.4	941.7
3200 ctc	0.4260	0.3929	522.9	482.2	222.3	0.4266	0.3911	530.9	486.7	227.0
4000 ctc	0.3841	0.3711	539.8	521.5	344.1	0.3839	0.3692	548.7	527.7	352.8
5600 ctc	0.3344	0.3394	561.3	569.7	547.5	0.3336	0.3376	571.5	578.3	563.2
6000 ctc	0.3255	0.3314	566.2	576.4	596.8	0.3246	0.3296	576.7	585.5	614.3
Amber	0.6285	0.3701	301.3	177.5	0.7	0.6316	0.3670	306.2	177.9	0.7
Blue	0.1476	0.0502	594.0	202.0	3228.0	0.1461	0.0539	613.0	226.0	3358.0
Green	0.2013	0.6941	77.2	266.2	40.1	0.2039	0.7049	78.2	270.4	35.0
Lime	0.3158	0.6240	361.4	713.9	68.8	0.3193	0.6284	366.9	722.2	60.1
Red	0.6850	0.3089	289.3	130.4	2.6	0.6884	0.3054	289.8	128.6	2.6

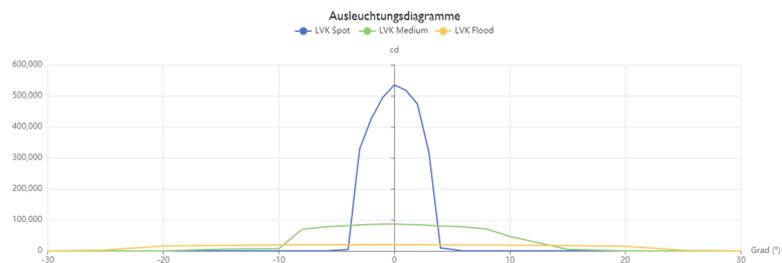
12: Darstellung der Koordinaten der xy-Farbräume CIE 1964 und CIE 2006 für den 10° Standardbeobachter

1931 u'v'- Farbraum.

In tabellarischer Form wurden die u'v'-Werte für CIE 1931 2° Beobachter, CIE 1964 10° Beobachter und CIE 2006 2° und 10° Beobachter dargestellt. Die errechneten Koordinaten für den L*a*b*-Farbraum wurden in einem 3D-Diagramm präsentiert.

3.1.3 Ausleuchtung

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Beurteilung von Scheinwerfern ist die Lichtverteilungskurve, in diesem Fall ein Ausleuchtungsdiagramm. In Abbildung 13 ist dieses dargestellt für die Abstrahlwinkel Spot (8°), Medium (30°) und Flood (50°).

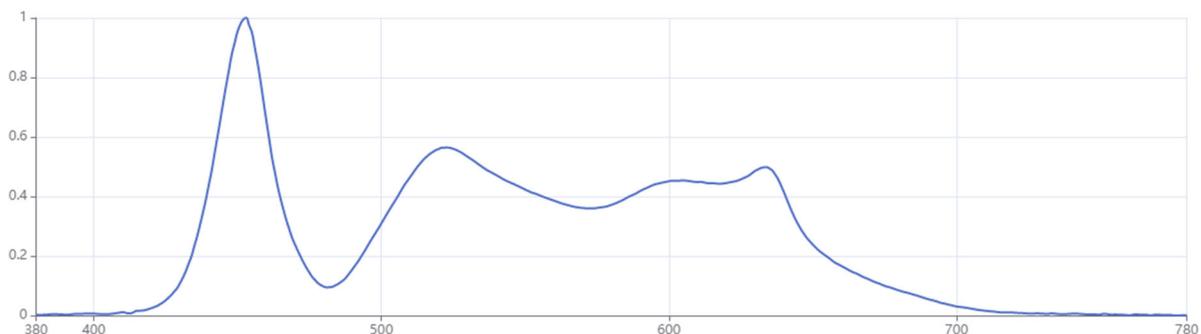


13: Ausleuchtungsdiagramm des T1 in den Abstrahlwinkeln Spot, Medium und Flood

3.1.4 Spektrum

Ein weiterer wichtiger Punkt ist das Spektrum eines Scheinwerfers. Anhand dessen können Koordinaten in einem Farbraum berechnet sowie visuell dargestellt werden, bei welchen Wellenlängen Lücken oder Peaks entstanden sind.

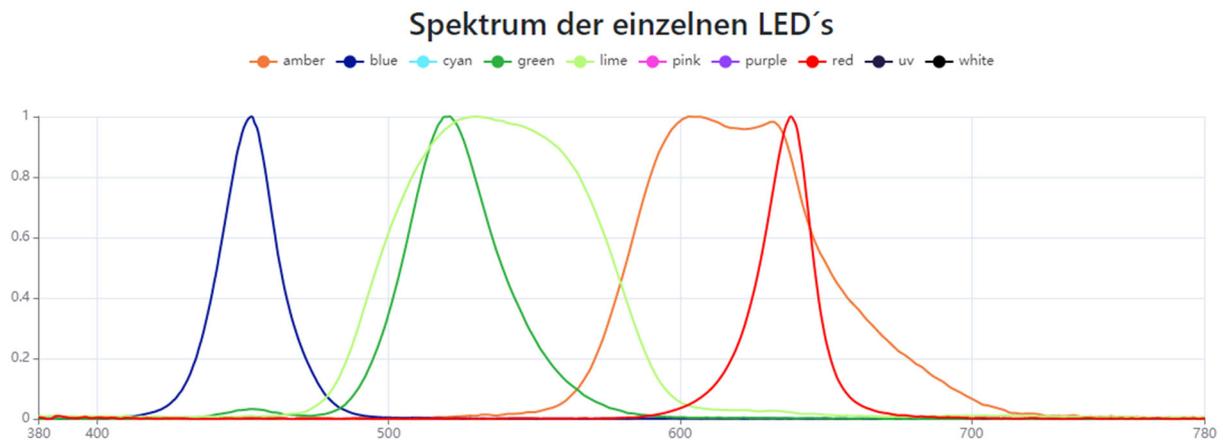
Auch hier wurde, wie bei den Farbwiedergabewerten, zuerst das native Spektrum genommen (Abbildung 12). Alle Spektren sind für eine bessere Vergleichbarkeit auf 1 normiert.



14: natives Spektrum des Robin T1 Profile

Aus dem Spektrum des Robin T1 Profiles wird ersichtlich, dass dieser für seine Farbmischung unterschiedliche LEDs besitzt, welche additiv gemischt werden, um den gewünschten Farbort zu erreichen. Genau genommen besitzt der T1 fünf Farben (Rot, Grün, Blau, Amber und Lime). In Abbildung 15 werden die einzelnen

Farbspektren separat dargestellt. Weiterhin werden die Spektren der einzelnen Farbtemperaturen sowie die prozentualen Dimmwerte der Einzel-LEDs aufgelistet.



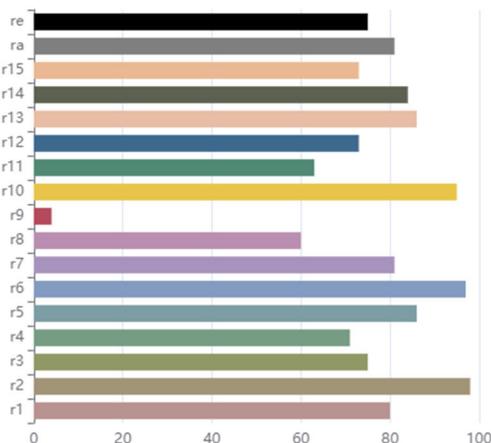
15: Spektren der einzelnen LEDs des Robin T1 Profiles

3.2 Vergleiche von Messdaten eines Scheinwerfers

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, können Weißwerte bestimmter Farbtemperaturen auf verschiedene Weisen eingestellt werden. Je nachdem können Unterschiede in Farbwiedergabewerten und Helligkeiten auftreten.

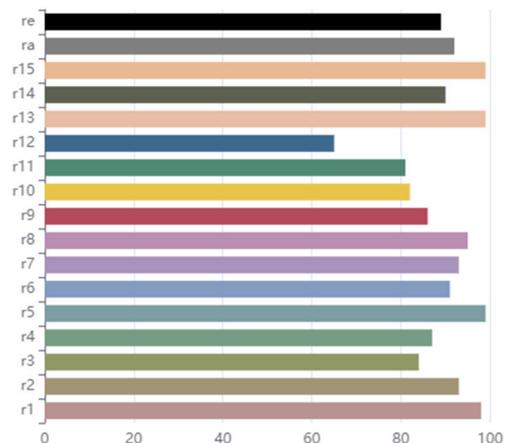
6000 über Farbmischung

Ra: 80



6000 über ctc

Ra: 92



16: Verhalten des CRIs bei unterschiedlicher Methode der Mischung bei 6000 K

Abbildung 16 zeigt diesen Vergleich anhand des CRIs bei einer Farbtemperatur von 6000 K. Diese Darstellung wurde nicht nur für 6000 K, sondern auch 3200 K, 4000 K und 5600 K für alle Farbwiedergabewerte angewendet.

4 Quellverzeichnis

[1] Commission Internationale de l'Eclairage, "Technical Report 177:2007 : Color Rendering of White LED Light Sources", <https://docplayer.org/179114593-Isbn-colour-rendering-of-white-led-light-sources-cie-177-2007-udc-descriptor-influence-of-the-colour-o.html>, p. VI, 2007

[2] Alan Roberts, "TELEVISION LIGHTING CONSISTENCY INDEX (TLCI-2012)" Version 2.015e, <https://tech.ebu.ch/docs/r/r137.pdf>, p. 5, 18.04.2015

5 Abbildungsverzeichnis

1: Jeti Spectro-Radiometer specbos 1211 - https://www.jeti.com/specbos-1211-2.html ..	4
2: Schematische Darstellung des Messaufbaus	5
3: Überkategorien	6
4: Übersicht der Farbwiedergabewerte.....	7
5: Darstellung des nativen CRIs	8
6: Darstellung des nativen CQS	8
7: Darstellung des nativen TLCI	9
9: TM-30: R_f auf R_g Wert.....	9
8: TM-30 hue und chroma hue bins.....	10
10: Darstellung aller 99 Farbwerte des TM-30.....	10
11: Gamut des Robin T1 Profile im CIE 1931 xy-Farbraum.....	11
12: Darstellung der Koordinaten der xy-Farbräume CIE 1964 und CIE 2006 für den 10° Standardbeobachter.....	11
13: Ausleuchtungsdiagramm des T1 in den Abstrahlwinkeln Spot, Medium und Flood	12
14: natives Spektrum des Robin T1 Profile	12
15: Spektren der einzelnen LEDs des Robin T1 Profiles.....	13
16: Verhalten des CRIs bei unterschiedlicher Methode der Mischung bei 6000 K ...	13