

Farbmessung und Kalibrierung professioneller Anzeigegeräte

Zusammenfassung:

Auf Grund des Fortschritts von Displaytechnologien mit LED-Lichtquellen haben die Probleme der Farbhomogenität, Genauigkeit und Kalibrierung wieder an Bedeutung gewonnen. Dieses technische Informationsblatt veranschaulicht, dass die Verwendung von Tristimulus-Farbsensoren bei Displays mit LED Beleuchtung keine zufriedenstellende Lösung darstellt. Um eine präzise Farbwiedergabe und Kalibrierung sicherzustellen, ist die Verwendung von Spektrometern erforderlich.

1 Einleitung und Einsatzfälle

Bei vielen professionellen Anwendungen von Displays sind *Farbhomogenität, Kalibrierung* und *Stabilität* von größter Bedeutung.

So müssen beispielsweise *Videowände* für digitale Anzeigen in Kontrollräumen eine hohe Homogenität der Helligkeit und der Farbe aufweisen um die Informationen unverfälscht darzustellen. Sind die 'Module' oder 'Würfel' aus denen eine Videowand aufgebaut ist nicht gleichförmig, so wirkt sich dies störend auf den auf der Wand darzustellenden Inhalt aus, was nicht nur den Bediener irritiert, sondern was auch zu einer falschen Interpretation der (möglicherweise sensiblen) Daten führen kann. Nicht zuletzt wirft eine stark inhomogene Videowand ein schlechtes Licht auf deren Betreiber: Jedem Besucher wird das mit der Inhomogenität verbundene Schachbrettmuster unangenehm auffallen.

Die notwendige Abstimmung der unterschiedlichen Module aufeinander wird '*relative Kalibrierung*' genannt.

In anderen professionellen Anwendungen muss neben der Gleichförmigkeit des Displays auch dessen absolute Farbwiedergabe so präzise wie möglich sein. Hierbei handelt es sich um die sogenannte '*absolute Kalibrierung*'. Ein Beispiel hierfür sind *Referenzmonitore*, welche für die Qualitätsprüfung und als allgemeine Bildreferenz in einem Sendestudio verwendet werden. Außerdem sollten *Videowände*, die als *Studiokulisse* dienen, nicht nur gleichförmig ('relative Kalibrierung'), sondern auch mit größter Genauigkeit auf die Studiobeleuchtung absolut kalibriert sein. Ähnliches gilt für eine benachbarte Branche der *Nachbearbeitungsstudios*. So muss dort sichergestellt werden, dass die am Display erfolgte Farbwiedergabe genau mit der Qualität des belichteten Films übereinstimmt (ohne dafür tatsächlich einen Film zu belichten, wodurch Kosten eingespart werden).

Im Bereich der *medizinischen Bildgebung* müssen Displays, die für lebenswichtige Anwendungen eingesetzt werden, eine korrekte Grauskala- und Farbwiedergabe aufweisen, damit Röntgenbilder oder andere medizinische Informationen korrekt wiedergegeben werden. Eine falsche Interpretation des Bildes könnte für den Patienten katastrophale Folgen haben.

Eine dauerhafte Gleichförmigkeit und Genauigkeit der Farbparameter ist mehr als wünschenswert, egal für welchen Anwendungsfall ein Display bzw. eine Videowand eingesetzt wird.

Technische Information

Farblich instabile Displays müssen in regelmäßigen Abständen neu kalibriert werden, in speziellen Fällen sogar vor jedem Gebrauch. Dies wirkt sich natürlich negativ auf die Wartungskosten aus und ist ein Störfaktor. Desweiteren ist eine Kalibrierung in manchen Fällen überhaupt nicht erlaubt (z.B. im Rund-um-die-Uhr-Betrieb).

Es wird deutlich, dass in den zuvor beschriebenen Anwendungsfällen die Notwendigkeit einer sorgfältigen und genauen Farbmessung als Grundlage der Farbkalibrierung von Displays besteht – eine Tatsache, die den Fachleuten aus diesen Bereichen durchaus bewusst ist.

Technische Information

2 Eine neue Größe in der Gleichung – LED-Hintergrundbeleuchtung

Die Welt der professionellen Displays ist bis dato mit den bestehenden Displaytechnologien und Farbmesseinrichtungen gut gefahren. Was hat sich geändert, dass wir uns diesem Thema erneut widmen müssen?

Die Antwort lautet – LEDs ('Light Emitting Diode'). Dabei handelt es sich um eine anorganische Halbleiterlichtquelle. Anstelle von Kaltkathoden-(CCFL) Leuchten werden in LCD-Displays zunehmend Hintergrundbeleuchtungen mit LEDs verwendet (es werden mittlerweile mehr LED-basierte Fernsehgeräte als traditionelle Geräte mit CCFL-Röhren verkauft, selbst bei hohem Aufpreis¹). 2009 kamen auch die ersten DLP-Projektoren mit LED-Beleuchtung auf den Markt, und es wird erwartet, dass die 'grüne', umweltfreundliche LED bald die Quecksilberhochdrucklampen (UHP) ersetzen wird. Daher ist es wichtig, sich erneut den Grundlagen zu widmen und zu untersuchen, welche Herausforderungen die neue LED-Technologie im Bereich der Farbkalibrierung von Displays stellt.

2.1 Helligkeit und Lebensdauer

Es ist allgemein bekannt, dass LEDs eine weitaus längere Lebensdauer als ihre UHP-Gegenstücke im Bereich der Projektion haben. Die Lichtleistung der Leuchten dient als Hauptparameter bei der Betrachtung der Lebenszeit^{2,3}. Während eine UHP-Lampe durchschnittlich eine Lebensdauer von bis zu 10.000 Stunden erreicht aber praktisch jederzeit platzen kann, bieten LED-Hintergrundbeleuchtungen und CCFL-Leuchten folgende Vorteile:

a) Sie verfügen über eine nominale Lebensdauer von ca. 50.000 Stunden (bis zur Hälfte der Helligkeit).

b) Sie fallen normalerweise nicht komplett aus – d.h. sie funktionieren auch nach Ablauf ihrer nominalen Lebensdauer weiter, obwohl sie auf Grund der zu niedrigen Helligkeit nicht mehr verwendbar sind.

2.2 Farbwiedergabe im Alterungsprozess

Weniger bekannt ist, dass die *Farbwiedergabe* von Displays mit LED-Beleuchtung empfindlicher auf Temperaturänderungen, Betriebsstrom und Alterung reagiert als bei traditionellen Displays. Während die CCFL- und UHP-Lichtquellen sowie CRT-Leuchtstoffe hauptsächlich *an Helligkeit verlieren* und ihre *Chromatizität* nur leicht (UHP, CCFL) oder gar nicht verändern (CRT), nehmen bei LEDs die Grundfarben einerseits *individuell* in der Helligkeit ab, andererseits verändern sie erheblich ihre Chromatizität⁴.

Um dies genauer zu untersuchen, werden wir uns die Lichtspektren verschiedener Lichtquellen für Displays ansehen (Abb. 1). Ein Spektrum ist eine Funktion der Lichtintensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Die beiden Diagramme zeigen die Lampen- und LED-Technologie im Vergleich separat für LCD Displays (Vergleich von CCFL und LED) und DLP Displays (Vergleich von UHP und LED). Die Lampenspektren sind mit blauen Linien dargestellt, die LED-Spektren mit gestrichelten magentafarbenen Linien. Die Intensität ist in willkürlichen Einheiten dargestellt.

Technische Information

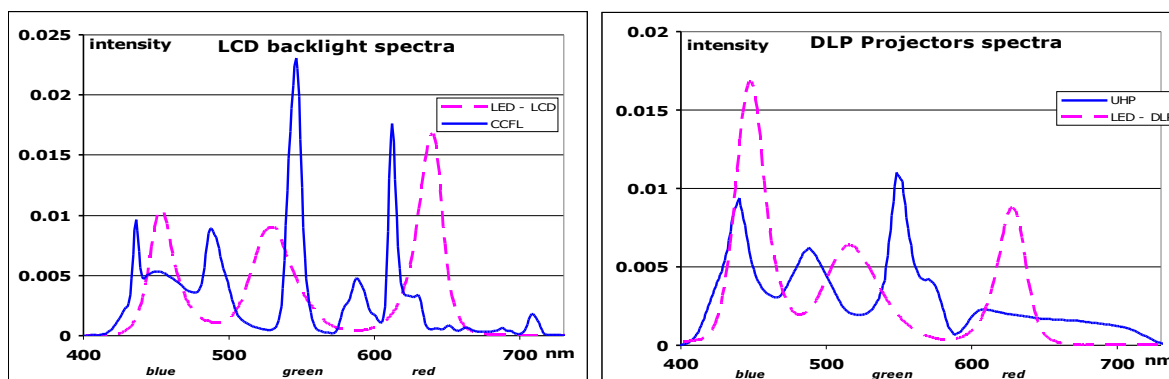


Abb. 1 links: Vergleich der CCFL- und LED-Spektren bei einem LCD Display.

Abb. 1 rechts: Vergleich der UHP- und LED-Spektren bei einem DLP-Projektor.

CRT:

CRTs (Röhrenmonitore) enthalten rote, grüne und blaue Leuchtstoffe, die Licht emittieren wenn ein fokussierter Elektronenstrahl auf sie trifft. Diese Leuchtstoffe verändern zwar im Verlauf der Zeit nicht ihre Farbe, verlieren aber an Helligkeit, was zu einer dunkleren Anzeige führt. Da unterschiedliche Leuchtstoffe ihre Helligkeit unterschiedlich schnell reduzieren, verschiebt sich im Laufe der Zeit auch der Weißabgleich. Somit liegt bei CRTs die größte Herausforderung in der Aufrechterhaltung der Farbtemperatur (Weißabgleich).

Lampe (CCFL oder UHP):

Mit zunehmendem Alter oder steigender Temperatur verlieren die Spektrallinien der verschiedenen Lampen an Intensität. Ihre Wellenlängen und Resonanzbreiten verschieben sich nur geringfügig, so dass in der Praxis die Veränderung der Chromatizität vernachlässigbar ist. Die individuelle Abnahme der Helligkeit der Primärfarben stellt die überwiegende Alterserscheinung dar. Infolge dessen ist auch in diesem Fall die Verschiebung des Weißpunktes der wesentliche zu kontrollierende Parameter.

LED:

Das Spektrum von LEDs verhält sich anders als das von Leuchtstoffen und Lampen. Mit zunehmendem Alter bzw. steigender Temperatur verhalten sich die Spektrallinien von LEDs wie folgt: a) sie verlieren an Intensität und b) sie verbreitern sich und c) sie verschieben sich auf andere Wellenlängen. Der Intensitätsverlust führt zu einer sinkenden Helligkeit sowie zu einer Verschiebung des Weißabgleichs. Die Verschiebung und Verbreiterung der Spektrallinien bewirkt zusätzlich eine sich veränderte Chromatizität der Primärfarben.

Neben dem oben beschriebenen Alterungsprozess ist bei LED zusätzlich die Abhängigkeit des Spektrums von der Sperrschicht-Temperatur zu beachten. Jegliche Farbkalibrierung wird die Helligkeit der einzelnen LEDs durch Veränderung des Stroms, der diese durchfließt, regeln. Verändert man den Strom, so verändert sich auch die lokale Temperatur, was wiederum das Spektrum verändert. Das Endresultat der Alterung von LEDs ist schließlich Folgendes: geringere Helligkeit, verschobener Weißabgleich und veränderte Chromatizität der Primärfarben und aller dazwischen liegenden Farben.

Die folgende Abbildung zeigt, dass sich der Schwerpunkt einer Spektrallinie mit der (Sperrschicht-) Temperatur der LED verschieben⁴. Hieraus wird ersichtlich, dass sich die Spitzenwellenlängen pro 10 °C um ca. 2 nm verschieben. Die Verschiebung erscheint nur gering,

Technische Information

kann aber tatsächlich zu einer deutlich sichtbaren Verschiebung in der wahrgenommenen Farbe beitragen.

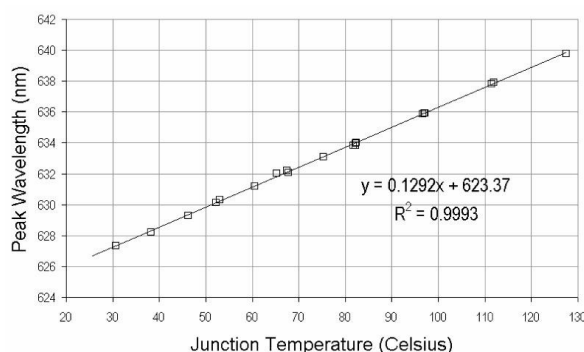


Abb. 2 Die Spitzenwellenlänge der LED verschiebt sich mit der Temperatur.

2.3 Beispiel

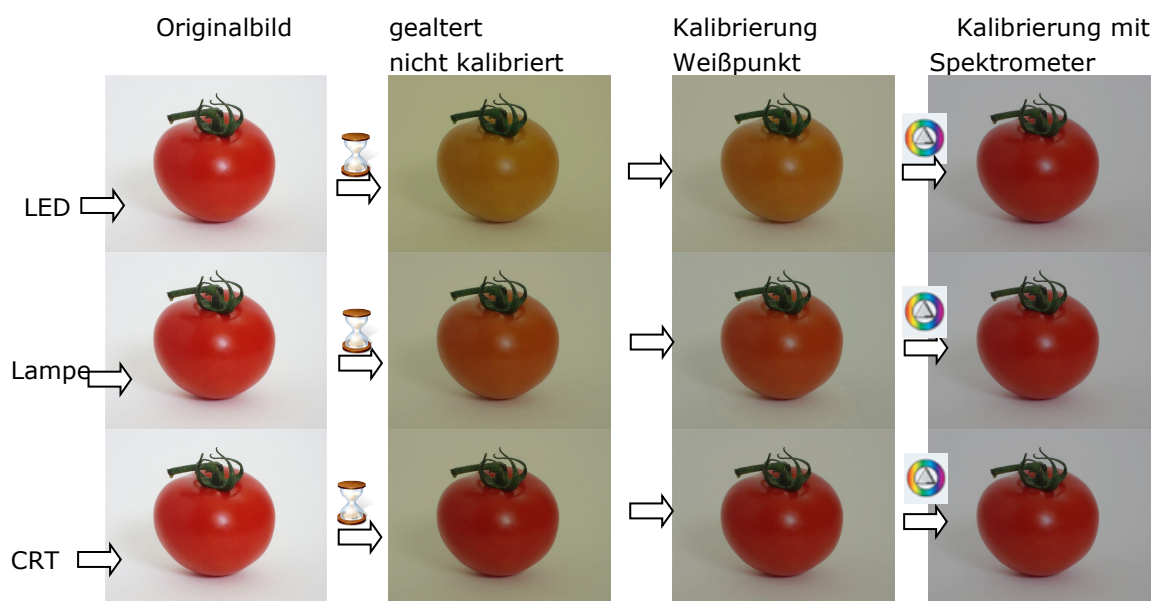


Abb. 3 Alterungseffekte bei LED, Lampe oder CRT. Links: neues Display, Mitte-links: nach Alterung und ohne Weißpunktgleich, Mitte-rechts: nach einfachem Weißpunktgleich, rechts: nach Abgleich durch Spektrometer.

Links: Originalbild

Das Originalbild (links) entspricht dem eines neuen und frisch kalibrierten Displays.

Mitte-links: gealtertes Display, keine Farbkorrektur

Technische Information

Bei allen Displays verringert sich die Helligkeit mit zunehmendem Alter. Es zeigen sich wesentliche Unterschiede im Ausmaß der Farbänderung: Bei LED-basierten Displays verändern sich die Primärfarben (die Tomate wirkt trotz der Alterung unreifer...). Auch der Weißpunkt wird zunehmend gelblicher, da blaue LEDs im vorliegenden Beispiel am schnellsten an Helligkeit verlieren.

Bei lampenbasierten Displays verschieben sich sowohl der Weißpunkt als auch die Chromatizität. Die Verschiebung der Chromatizität ist allerdings deutlich weniger ausgeprägt als bei LEDs, was dazu führt, dass das Rot mehr dem Original entspricht.

Beim CRT (dritte Reihe) kann sich der Weißpunkt verändern und die Helligkeit verringert sich. Die Chromatizität verändert sich aber nicht.

Mitte-rechts: gealtertes Display, mit Weißabgleichkorrektur

Zur Korrektur der Verschiebung des Weißpunktes wird bei den meisten professionellen Displays ein Monochromsensor eingesetzt, welcher die Helligkeit der Primärfarben misst, nicht aber die Farbe. Der Weißpunkt wird dann auf Basis der angenommenen Chromatizität der Primärfarben berechnet. Nur bei wenigen Displays wird ein Farbsensor verwendet. Im folgenden Kapitel werden wir sehen, dass diese Farbsensoren höchstens zur Messung der Helligkeit der Primärfarben und der Helligkeit und des Farbtones von Weiß geeignet sind. Durch Verwendung des Farbsensors lässt sich der neutrale Weißabgleich wiederherstellen, die tatsächliche Verschiebung der Grundfarben ist jedoch schwieriger zu messen. Die Abbildungen auf der rechten Seite zeigen, was bei einer solchen Korrektur passiert. Der weiße Hintergrund wird neutral weiß (wenn auch dunkler). Die Primärfarben sind bei einem lampenbasierten Display jedoch leicht verschoben, beim LED-basierten Display wesentlich.

Die abnehmende Helligkeit von Lampen, LEDs und CRT-Leuchtstoffen ist unvermeidbar. Wichtig ist es aber, wenigstens den Weißabgleich *und* die Primärfarben zu erhalten. Ist dies möglich? Die Antwort lautet ja. Es müssen hierzu nur die richtigen Messmittel verwendet werden.

3 Farbmessung

Der Kerngedanke einer *aussagekräftigen* Farbmessung ist die Parametrisierung der menschlichen Wahrnehmung von Licht und Farbe. Physikalisch gesehen besteht Licht aus elektromagnetischen Wellen unterschiedlicher Wellenlänge und Intensität. Daher lässt sich Licht am besten mit Hilfe eines Spektrums messen. Ein solches Spektrum sagt allerdings nicht aus, ob es vom Menschen als braun, gelb, violett, blau, türkis, grün usw. wahrgenommen wird.

Daher müssen wir uns einer einfacheren Methode zur Darstellung der Farben bedienen. Betrachten wir die menschliche Wahrnehmung von Licht genauer: Das menschliche Auge verfügt über 3 Arten von Rezeptoren, die (grob gesprochen) für den kurz-, mittel- und langwelligen Bereich des sichtbaren Lichts verantwortlich sind. Jeder Rezeptor nimmt die gesamte Intensität des Lichts innerhalb seines Bereichs wahr, so dass sozusagen jeder Rezeptor als eine Art Farbfilter agiert und wir durch die Mischung der verschiedenen Lichtarten den Farbeindruck vermittelt bekommen. Die Reaktionen dieser 'Filter' wurden für einen Normalbeobachter gemessen und standardisiert. Man nennt sie Color Matching Functions (CMFs) (Abb. 4) und wurden bereits im Jahr 1931⁵ von der CIE-Kommission genormt.

Aufbauend auf dem oben Besprochenen, gibt es drei Methoden zur Farbmessung.

Die beste Methode ist die Verwendung eines Spektrometers. Das Spektrum wird gemessen, die genormten CMFs angewendet, und man erhält eine Farbmessung in Form von drei aussagekräftigen Parametern. Dies ist die genaueste Messmethode.

Eine weitere (und preiswertere) Methode ist die Herstellung eines Geräts, welches Filter verwendet, die exakt den Charakteristika der CMFs entsprechen und die Luminanz jedes gefilterten

Technische Information

Anteils messen, um 3 Parameter zu erhalten. Dies ist das Funktionsprinzip von Tristimulus-Farbsensoren.

Die einfachste Methode ist die Messung der integralen Helligkeit der Primärfarben. Diese Methode ergibt lediglich ungefähre Farbdaten. Dabei wird die vorherige Kenntnis des Spektrums und die Annahme, dass sich dieses nicht sehr verändern wird ausgenutzt um approximativ den Weißpunkt zu bestimmen.

Sehen wir uns jede dieser drei Messmethoden im Detail an.

3.1 Monochromsensor

Die einfachste Methode bei der Messung von Anzeigegeräten ist die Messung der Helligkeit der Primärfarben mittels Monochromlichtsensoren. Bei einem DLP-Projektor mit Lampe und Farbrad lässt sich mit einem solchen Sensor die Helligkeit des roten, grünen und blauen Lichts, das durch das Farbrad gesendet wird, messen. Analog würde der Monochromsensor (bzw. 3 Sensoren, je nach Ausführung) bei einem Display mit LEDs die Intensität des roten, grünen und blauen LED-Lichts messen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass das Lichtspektrum der Quelle im voraus bekannt ist und es sich nicht verändert. Verändert sich das Spektrum also nicht, müssen wir es nicht messen und in Echtzeit korrigieren, oder? Wie oben erläutert, verändert sich das Spektrum im Lauf der Zeit und in Abhängigkeit von der Temperatur erheblich. Da der Monochromsensor die Gesamtintensität des Lichts unabhängig von der Form und der Verschiebung des Spektrums misst, ist ein solcher Sensor wohl kaum in der Lage, die Farbtemperatur von Weiß zu korrigieren, ganz zu schweigen von der Chromatizität der Primärfarben.

Abschließend kann man sagen, dass sich mit einem Monochromsensor eine visuell zufriedenstellende Gleichförmigkeit von Videowänden und eine Kalibrierung von hochgenauen Displays nicht erreichen lässt.

3.2 Tristimulus-Sensor

Grundvoraussetzung für den Tristimulus-Sensor ist, dass seine Farbfilter über die exakt gleichen Charakteristika wie die CMFs verfügen. Dies ist jedoch auch nach dem modernsten Stand der heutigen Farbfiltertechnologie nicht möglich. Im günstigsten Fall folgen die Farbsensoren dem *Trend* der CMFs, *weichen* aber dennoch in wesentlichem Maße von ihnen *ab* (Abb. 4 zeigt den Spektralverlauf eines typischen Tristimulus-Sensors im Vergleich mit den CMFs).

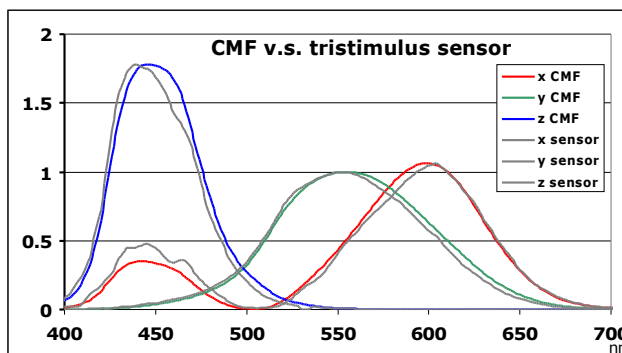


Abb.4 Abweichung eines Tristimulus-Sensors von den Color Matching Functions

Diese Abweichung bedeutet, dass wir bei der Interpretation der Messresultate eines solchen Sensors vorsichtig sein müssen, da diese im Vergleich zum Spektrometer eine erhebliche

Technische Information

Messabweichung aufweisen. Da diese Abweichung außerdem nicht für alle Wellenlängen gleich ist, hängen das Messresultat und der Messfehler von der Form *des Lichtspektrums* ab: von der Position der Resonanzwellenlänge, von der Breite der Linien und sogar von den *Änderungen* im Spektrum ein und derselben Lichtquelle.

Es ist möglich, die Messabweichung durch vorherige Kalibrierung eines Tristimulus-Farbsensors auf ein bestimmtes Display-Spektrum zu *minimieren*. Dies erfolgt durch die Hersteller der Farbsensoren. Die Differenz zwischen den Messwerten eines Spektrometers und eines Farbsensors wird im Farbsensor gespeichert und als Korrekturfaktor bei den nachfolgenden Farbsensormessungen verwendet. Auch wenn auf diese Weise niemals ein exaktes Messergebnis erzielt wird, lässt sich in der Praxis ein akzeptables Ergebnis erzielen, solange das zu messende Spektrum nicht wesentlich vom Spektrum abweicht, das für die Kalibrierung des Sensors verwendet wurde. Das Verfahren ist daher nur anwendbar in Displays mit geringfügigen Änderungen in der Form des Spektrums.

Tristimulus-Sensor und CRTs:

CRTs erzeugen Licht unter Verwendung von Leuchtstoffen mit fester Chromatizität. Was sich verändert ist die Intensität (Helligkeit) des Leuchtstoffs. Ein zuvor für die Verwendung mit CRTs kalibrierter Tristimulus-Sensor muss lediglich die Veränderung der Helligkeit der Leuchtstoffe erfassen. Danach ist es einfach, die Verstärkungskorrektur für die drei (r, g, b) Elektronenkanonen zu berechnen und einen korrekten Weißabgleich herzustellen. Daher ist ein Tristimulus-Sensor für die Kalibrierung von CRT-Displays gut geeignet.

Tristimulus-Sensor und lampenbasierte Displays:

Im Falle einer Hintergrundbeleuchtung mit Lampen verfügt das Spektrum über eine große Anzahl von Spektrallinien, die sich aber nicht sehr stark verschieben. Die Linien neigen hauptsächlich dazu, an Helligkeit zu verlieren. Ein Tristimulus-Sensor kann einen Abfall der Helligkeit bei jeder der Primärfarben feststellen, daher ist die Stabilisierung des Weißpunkts kein so großes Problem. Die absolute Messung des Weißpunktes mag fehleranfällig sein, aber in der Relativmessung (zwischen verschiedenen Displays oder im Vergleich zu einer vorhergehenden Messung) wird der Weißpunkt sehr einheitlich sein. Bei Lampen-basierten Displays ist der Tristimulus-Sensor daher im Hinblick auf Kosten und Nutzen eine annehmbare Lösung.

Tristimulus-Sensor und LED-basierte Displays:

Das Spektrum der halbleiterbasierten LEDs unterläuft im Laufe der Alterung alle möglichen Veränderungen: die Spektrallinien werden breiter, sinken und verschieben sich, was zu Veränderungen sowohl in der Helligkeit als auch in der Chromatizität führt. Unterschiedliche LEDs altern auf unterschiedliche Weise. Um die Helligkeit zu stabilisieren, ist eine Änderung des Stroms erforderlich, was wiederum das Spektrum beeinflusst. Bei der Farbmessung eines Displays mit LED Beleuchtung mittels Tristimulus-Sensor stellt sich das Problem, dass die Form des Spektrums sich mehr als nur geringfügig ändert. Die zuvor genannte Bedingung für akzeptable Messergebnisse ist also nicht erfüllt. Es ergeben sich Messfehler, die selbst einer relativen Kalibrierung einer Bildwand nicht genügen.

Der Tristimulus-Sensor ist also für einige Displayarten (CRT) gut, für andere Arten (UHP und CCFL Lampen) ausreichend und für LEDs überhaupt nicht geeignet.

Technische Information

3.3 Spektrometer

Eine weitere Option ist die Verwendung eines *Spektrometers*. Dieses analysiert das eintretende Licht: dabei wird ein Prisma oder Beugungsgitter verwendet, um einen 'Regenbogen' zu erzeugen, d.h. das Licht in die einzelnen Wellenlängen zu zerlegen. Dieses Licht fällt dann auf ein CCD- oder Photodioden-Feld mit einer Vielzahl an Sensoren. Jeder Sensor misst die Intensität eines schmalen Wellenlängenabschnitts, so erhält man eine präzise Messung der Spektralverteilung. Aus diesem Spektrum erhält man mit Hilfe farbmeterischer Berechnungen einen Satz von drei RGB- oder XYZ-Werten von größtmöglicher Genauigkeit. Da das eintretende Licht nicht wie bei einem Farbfilter vorgefiltert wird, wird jede Veränderung des Lichtspektrums korrekt gemessen. Selbst bei Veränderungen in der Intensität des LED-Spektrums, Verschiebungen in der Wellenlänge, Verbreiterung der Spektrallinien oder unterschiedlichen LED-Chargen (alte und neue), erfasst das Spektrometer jede kleinste Differenz und erlaubt jederzeit eine präzise Messung.

Zusammenfassend lässt sich daher festhalten, dass ein Spektrometer als einziger präziser Farbsensor im Bereich von Displays mit LED Beleuchtung anzusehen ist. Der Einsatz von Tristimulus- oder von Monochromsensoren in LED-basierten Displays kann zu keiner zufriedenstellenden Farb- und Weißpunkt Regelung führen.

Technische Information

3.4 Beispiele

DLP-Videowand mit LED-Hintergrundbeleuchtung kalibriert mit einem Tristimulus-Sensor

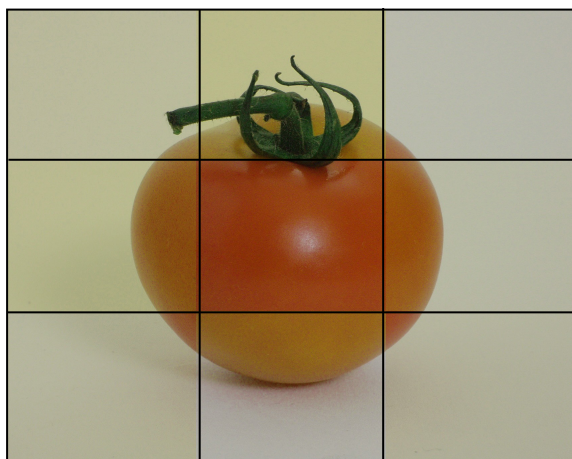


Abb.5 Welche Farbe hat eine Tomate? Mögliches Resultat einer gealterten Anzeigewand mit 3x3 Modulen auf Basis von LED-Hintergrundbeleuchtung, wenn diese nicht mit Hilfe eines Spektrometers kalibriert wurde.

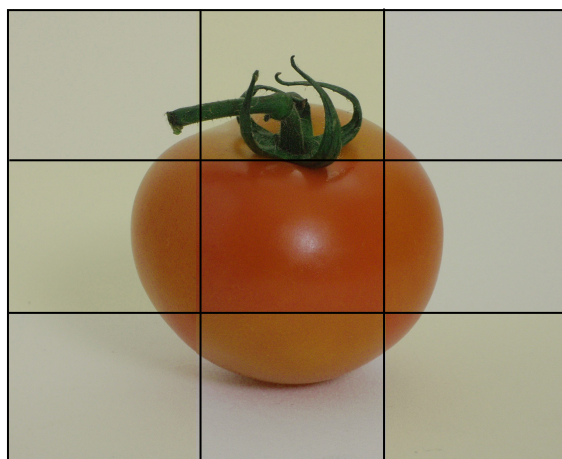


Abb.6 Selbst wenn damit eine Art Weißabgleich hergestellt werden kann, lassen sich mit einem Tristimulus-Sensor nicht die feinen Veränderungen der Chromatizität erfassen. Die Anzeigewand wird nicht gleichförmig erscheinen, solange sie nicht mit einem Spektrometer kalibriert wurde.

DLP-Videowand mit LED-Hintergrundbeleuchtung kalibriert mit einem Spektrometer

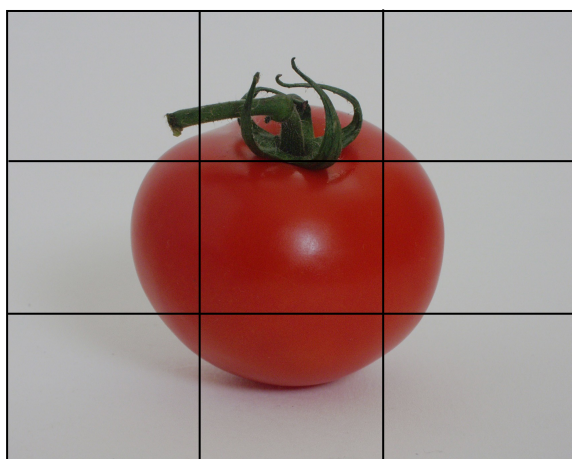


Abb.7 Obwohl die Helligkeit des Displays im Laufe der Zeit abnimmt, sorgt die (interne) Spektrometerekalibrierung für Farbtreue und -einheitlichkeit der gesamten Wand.

Technische Information

4 Schlussfolgerung

Fakt ist, dass halbleiterbasierte LEDs als Hintergrundbeleuchtung in Displays weiter auf dem Vormarsch sind. LEDs verhalten sich jedoch ganz anders als 'traditionelle' UHP- oder CCFL-Lichtquellen. Eine ausführliche Analyse dieses Verhaltens hat gezeigt, dass LEDs in Abhängigkeit von Zeit, Temperatur und Betriebsstrom instabiler sind und somit besondere Vorkehrungen bei der Kalibrierung und Messung erforderlich machen. Während bei CCFLs und UHPs ein einfacher Tristimulus-Farbsensor zu zufriedenstellenden Ergebnissen führt, ist für die akkurate Messung und Kalibrierung von LEDs ein echtes Spektrometer erforderlich.

Barco hat diese Herausforderung verstanden und ist bis dato der einzige Hersteller weltweit, der ein Spektrometer bei seinen Produkten mit LED-Hintergrundbeleuchtung einsetzt.

Ein Beispiel ist die RHDM-Reihe - Referenzmonitore der Klasse-1 zur Verwendung im Fernsehstudios und in der Nachbearbeitung. Ein weiteres Beispiel ist die OL-Serie - unsere neueste DLP-Rückprojektionsvideowand. Beide Produkte beinhalten ein eingebautes Spektrometer, welches das LED-Spektrum in Echtzeit verfolgt und für eine kontinuierliche Selbstkalibrierung, sowohl relativ (Anzeigewandmodule untereinander) als auch absolut (präzise Farben nach Sendenorm) sorgt. Endresultat ist ein stabiles Produkt mit geringem bzw. keinem Wartungsbedarf.

5 Referenzen

¹ Robust growth for monitors with LED backlights

Ken Werner, Display Daily Newsletter, 13. August 2009

<http://displaydaily.com/2009/08/13/robust-growth-for-monitors-with-led-backlights/>

² *Busting Myths about LED Reliability*

Goodman, P., Subramanya, S., Landau, S., Philips Lumileds.

<http://www.photonics.com/Content/ReadArticle.aspx?ArticleID=31912>

³ *Industry Alliance proposes standard definition for LED life*

Jennifer Taylor, LEDs Magazine, April 2005

⁴ *A method for projecting useful life of LED lightning systems*

Hing, E. und N. Narendran. 2004. Third international conference on Solid state Lighting, Proceedings of SPIE 5187:93-99

⁵ http://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space