

Produktionsbegleitende Display-Prüfung:

## Schnelle Prüfung mit dem Spektralradiometer

Helligkeit und Farbwiedergabe eines Flachbildschirms wird im Werk kalibriert. Sie sollte aus wirtschaftlichen Gründen in einem automatisierten Prozess bereits während der Produktion erfolgen. Spektralradiometer ermöglichen präzise photometrische sowie farbmetrische Messungen und sind schnell genug für den Einsatz in der Produktion.

Von Dr. Đenan Konjhodžić



Das subjektive Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges ist nicht linear, sondern näherungsweise proportional zum Logarithmus der Intensität des physikalischen Reizes. Die Helligkeitswiedergabe eines Displays muss darauf angepasst werden. Dies ist möglich mithilfe der Gammakorrektur – eine im Bereich der Bildverarbeitung häufig verwendete Korrekturfunktion. Durch die Gammakorrektur wird eine linear wachsende Größe in einen nicht-linearen Verlauf überführt, sodass die Helligkeitsdarstellung des Displays vom Betrachter als gleichförmig empfunden werden kann. Mathematisch ausgedrückt wird eine Eingangsgröße  $X_{in}$  mit einem Exponenten, oft nur kurz Gamma genannt, in eine Ausgangsgröße  $X_{out}$  umgerechnet:  $X_{out} = X_{in}^\gamma$ . Manchmal wird auch der Kehrwert als Gamma bezeichnet wird.

Die Gammakorrektur wird häufig in Video- oder Standbildsystemen verwendet, um die Leuchtdichte und die Tristimuluswerte zu kodieren und zu dekodieren. Die Helligkeitswahrnehmung (Leuchtdichte) des Betrachters steigt in dunklen Bereichen steiler an als in hellen. Dies kann man näherungsweise durch eine Exponentialfunktion mit einem Gamma von 0,3 bis 0,5 beschreiben. Damit das Helligkeitssignal eines Anzeigegerätes, beispielsweise eines Flachbildschirms, dem entspricht, muss es mit dem Kehrwert des obigen Gammawerts (ca. 3,3 bis 2) vorverzerrt werden. Ein typischer Wert für Bildschirme ist etwa ein Gamma von 2,2. Umfasst ein Gerät mehrere Bildwandler für unterschiedliche Farben, so kann dort auf-

grund unterschiedlicher Empfindlichkeiten eine Gammakorrektur für jeden einzelnen Farbkanal notwendig sein. Dazu müssen die Leuchtdichten der drei Farbkanäle einzeln vermessen werden.

Die höchsten Messgenauigkeiten, sowohl bei der Leuchtdichte als auch bei den Farbwerten, werden mit dem Einsatz eines spektral und absolut kalibrierten Spektralradiometers erzielt. Wenn darüber hinaus schnelle Messungen erforderlich sind, z.B. im Produktionseinsatz, bietet sich ein Array-Spektralradiometer an, das mit einem CCD-Array als Detektor arbeitet. Um einer Messung mit dem Spektralradiometer absolute Einheiten zuordnen zu können, ist eine vorherige Kalibrierung notwendig, die in drei Schritten durchgeführt wird.

### Kalibrierung mit Ulbricht-Kugel

Zuerst erfolgt die Wellenlängenkalibrierung, die jedem einzelnen Pixel im CCD-Array eine bestimmte Wellenlänge des Spektrums zuordnet. Hierzu kann ein Laser, sowie eine Quecksilber-, Argon- oder Xenon-Linienlampe mit mehreren bekannten, festen Spektrallinien verwendet werden. Im zweiten Schritt, der spektralen Kalibrierung, misst man die relative spektrale Empfindlichkeit. Sie hängt im Wesentlichen von den Empfindlichkeitskurven des Detektors, des Gitters und der verwendeten Einkoppeloptik ab. Für die Erzeugung der Korrekturfunktion verrechnet man die relative Empfindlichkeitskurve des Spektralradiometers mit den Spektraldaten einer Halogenlampe, die auf ein staatliches Kalibrierlabor rückführbar ist.

Schließlich erfolgt die Absolutkalibrierung, die dem gemessenen Spektrum den Absolutwert einer Referenzlampe zuordnet, gewichtet mit der Augenempfindlichkeitskurve  $V(\lambda)$ .

Als Standard für die Kalibrierung der Leuchtdichte wird üblicherweise eine Ulbricht-Kugel mit einer stabilisierten breitbandigen Halogenlampe als Lichtquelle verwendet. Die Ulbricht-Kugel sorgt für eine vollständige Integration und Mischung der Strahlung, sodass das Lichtfeld an der Austrittsfläche sehr homogen und über die Zeit sehr stabil ist. Die gemessene Intensität aller Pixel im CCD-Array lässt sich schließlich als Strahlungsfunktion darstellen. Das Integral der Strahlungsfunktion im sichtbaren Bereich von 360 nm bis 830 nm ergibt unter Berücksichtigung der Augenempfindlichkeitskurve die Leuchtdichte des Displays gemessen in  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

### Strahlungseinkopplung

Um die Leuchtdichte mit einem Spektralradiometer zu bestimmen, muss das Licht über eine abbildende Optik eingekoppelt werden. Die Strahlungseinkopplung erfolgt über das Objektiv der Teleskopoptik, das die zu messende Strahlung auf einen Lichtwellenleiter abbildet (Bild 1). Über eine Messblende kann die Messflecksgröße variiert und den Anforderungen gemäß eingestellt werden. Der Lichtwellenleiter ist mit dem Array-Spektralradiometer verbunden. Ein Multimode-Faseranschluss stellt sicher, dass das gesamte in die Faser eingekoppelte Licht auch im Spektralradiometer gemessen wird. Der



**Bild 1. Komplettes System für die Messung der Strahl- und Leuchtdichte sowie der Farbe von Displays bestehend aus Objektiv der Teleskopoptik, Lichtwellenleiter, Modenmischer und Spektralradiometer. (Bild: Instrument Systems)**

Einsatz eines Modenmischers verhindert unterschiedliche Transmissionseigenschaften, die durch Lageänderungen des Lichtwellenleiters auftreten können, und aufgrund der Durchmischung des Lichts wird ein Polarisations-Scrambling erreicht, sodass sich auch LC-Displays sehr präzise vermessen lassen. Im Spektrographen wird das Licht durch die Beugung am Gitter spektral zerlegt und über einen Spiegel auf das CCD-Array abgebildet. Durch die vorherige Kalibrierung kann für jeden Messfleck ein Spektrum ermittelt werden.

Aus diesem Spektrum wird neben der Leuchtdichte auch die Farbe genau bestimmt. Die für das Farbempfinden des menschlichen Auges entwickelte CIE-Tristimulus-Farbmeterik basiert auf der Annahme, dass sich jede Farbe aus einer Kombination der drei Grundfarben rot, grün und blau zusammensetzt. Die Tristimuluswerte X, Y, Z werden aus der Integration der spektralen Strahlungsverteilung und den drei Augenempfindlichkeitskurven  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$  und  $z(\lambda)$  im Wellenlängenbereich von 360 nm bis 830 nm gewonnen. Aus den Tristimuluswerten werden schließlich durch Normierung die Farbkoordinaten  $x$ ,  $y$ , und  $z$  abgeleitet. Da gemäß der Definition für die Summe  $x+y+z=1$  gilt, lässt sich jede gemessene Farbe durch die Angabe der  $x$ - und  $y$ -Farbkoordinaten kennzeichnen.

Die Vermessung der Displays mit einem kalibrierten Spektralradiometer ermöglicht also die gleichzeitige Bestimmung der Leuchtdichte und Farbe und darüber hinaus noch weiterer lichttechnischer Größen, z.B. die korrelierte Farbtemperatur (CCT) oder der Farbwiedergabeindex (CRI). Dabei wird eine wesentlich höhere Genauigkeit als mit Standard-Kolorimetern erreicht. Ein weiterer Vorteil ist seine universelle Einsetzbarkeit, unabhängig von der Displaygröße. *mha*



### **Dr. Đenan Konjhodžić**

ist seit 2008 im Produktmanagement von Instrument Systems tätig. Nach seinem Physikstudium an der Universität Duisburg forschte er zum Thema „Optical Materials and Nanostructures“ am Max Planck Institute in Mülheim an der Ruhr. Neben seinen fachlichen Arbeiten im Bereich Display-Messtechnologie und Kalibrierung unterstützt er die Arbeit von Fachverbänden und

Kommissionen, wie z.B. die Internationale Beleuchtungskommission CIE und das Deutsche Institut für Normung DIN.

[konjhodzic@instrumentsystems.com](mailto:konjhodzic@instrumentsystems.com)