

# Optische Performanz und Einsatzgebiete von professionellen Displays: LCDs, OLEDs, Quantum Dot- und Micro-LEDs

Karlheinz Blankenbach\*

\*Display Labor, Hochschule Pforzheim

<mailto:kb@displaylabor.de>

Displays bestimmen unser multimediales Leben mit neuen Trends: Die etablierten LCDs werden zunehmend von OLEDs ersetzt und Quantum Dot- sowie Micro-LEDs stehen vor der Markteinführung. Die optischen Anforderungen an professionelle Displays werden an den Beispielen Kontrastverhältnis, Ablesbarkeit, Reflexionen, Homogenität und automobilen Außendisplays diskutiert.

## 1 Einführung

Elektronische Displays werden heutzutage in sehr vielen Produkten eingesetzt. Die Spanne reicht von niedrigauflösenden einfarbigen Anzeigen bis hin zu großformatigen Farbdisplays. Die unterschiedlichen Applikationen führten zu einer Vielzahl von Display-Technologien (Abb. 1): Meist werden Flüssigkristall-Anzeigen (LCD, links und rechts) eingesetzt, die per Spannung  $U$  gesteuert werden. Emissive Technologien wie LEDs und OLEDs (Mitte) wandeln elektrischen Strom  $I$  in Licht. Energieeffizient sind bistabile reflektive Anzeigen wie E-Paper (rechts). Alle Aspekte von Displays werden in [1] vorgestellt.

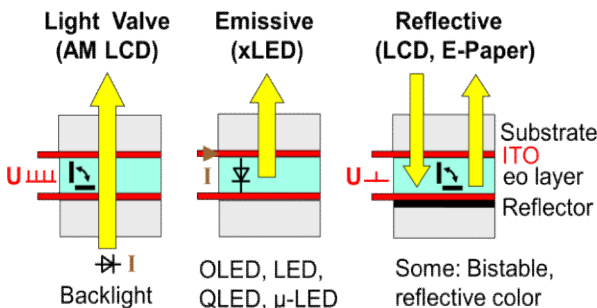


Abb. 1 Grundlegende Prinzipien von Flachdisplays.

## 2 Kontrast-Verhältnis & Ablesbarkeit

Ein oft verwendetes Maß für die Ablesbarkeit ist das Kontrastverhältnis  $CR$  (siehe [2]) als Verhältnis der Leuchtdichte  $L$  von weiß zu schwarz. Dieses wird typischerweise im Dunkeln gemessen (0 lx) und gibt somit die „reinen“ Displayeigenschaften an. Die meisten Anwendungen sind jedoch (hellem) Umgebungslicht ausgesetzt, somit reduziert die vom Display reflektierte Leuchtdichte das effektive Kontrastverhältnis (siehe Kap. 4):

$$CR = \frac{L_{whit}}{L_{black}} = \frac{L_{white} + L_{reflected}}{L_{black} + L_{reflected}} \quad (1)$$

Für die Ablesbar- bzw. Unterscheidbarkeit wird das Kontrastverhältnis benachbarter Flächen (Abb. 2 oben, „box“) und Text (Abb. 2 unten, auch Symbole etc.) in Form von Vordergrund- zu Hintergrund-

Leuchtdichte (inkl. Umgebungslicht) verwendet:

$$CR = \frac{L_{box 1}}{L_{box 2}} = \frac{L_{foreground}}{L_{background}} \quad (3)$$

Die Grenze liegt nach dem Weber'schen Gesetz [2] bei  $\Delta L/L \approx 1\%$ . Die Leuchtdichte kann gemäß der „Gamma-Formel“ (2,2, [2]) mittels Graustufen  $GL$  berechnet werden:  $L(GL) = L_{white} (GL/255)^{2.2}$ . In Abb. 2 werden ca. 3% bzw. 14% dargestellt. Die Erkennbarkeit hängt allerdings stark vom verwendeten Drucker bzw. Monitor ab.

Neighboring boxes:  
 $\Delta L/L \approx 3\%$



Fore- to background:  
"e" and "s":  $\Delta L/L \approx 14\%$



Abb. 2 Kontrastverhältnis benachbarter Rechtecke (oben) und Vordergrund zu Hintergrund (unten, „Test“).

## 3 Flächige Unterscheidbarkeit und Homogenität

Das Kontrastverhältnis (Kap. 2) gilt nur für dicht benachbarte Leuchtdichte-Unterschiede. Bei großflächigen Graustufen-Modulationen ist die „Contrast Sensitivity Function“ (CSF, Visualisierung siehe Abb. 3) nach Campbell-Robson [3] zu verwenden. Diese ist z.B. relevant für die Beurteilung der Homogenität der Leuchtdichte über die Fläche eines Displays [3]. Eine „reine“ messtechnische Analyse führt zu Bewertungen, die vom Betrachter so nicht „gesehen“ werden. Das gemessene Leuchtdichte-Profil muss mit der CSF gewichtet werden, siehe z.B. [3].

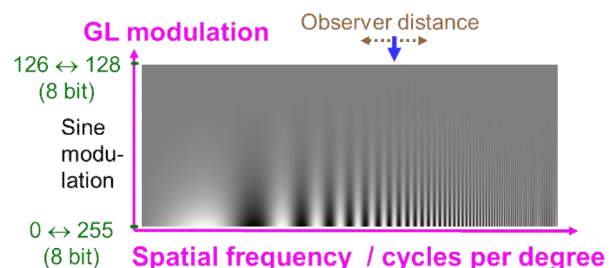


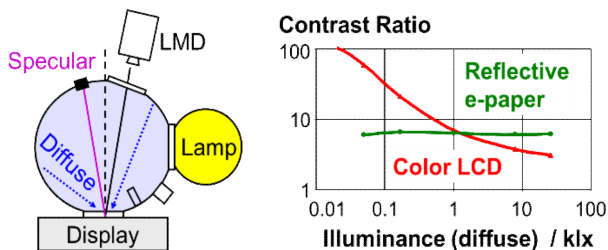
Abb. 3 Contrast Sensitivity Function nach [3].

#### 4 Display-Performanz bei Umgebungslicht

Die Display-Eigenschaften wie Kontrastverhältnis sowie Graustufen- und Farbe-Wiedergabe sind bei hellem Umgebungslicht (siehe z.B. [2]) im Vergleich zu den Angaben in Datenblättern, welche im Dunkelraum gemessen wurden, deutlich schlechter. Insofern wurden Methoden etabliert, wie unter Laborbedingungen die typischen Verhältnisse bei Umgebungslicht nachgebildet werden können. Dies ist besonders bei automobilen und E-Signage Displays von höchster Relevanz.

Bevorzugt werden hier Messungen mit einer Ulbricht-Kugel (Abb. 4 links): Das Display wird von allen Seiten mit Licht „beaufschlagt“ und die Leuchtstärke (Display eingeschaltet) bzw. die Reflexion (Display ausgeschaltet) auf der Oberfläche gemessen. Der spekulare Anteil kann optional „ausgeblendet“ werden (specular excluded).

Ein typisches Messergebnis ist auf der rechten Seite dargestellt. Da die Leuchtdichte des Farb-LCDs (rote Linie) konstant bleibt und die Reflexionen mit zunehmender Beleuchtungsstärke wachsen, sinkt das Kontrastverhältnis. Reflektive Displays (Abb. 1 rechts) weisen dagegen ein von der Beleuchtungsstärke praktisch unabhängiges Kontrastverhältnis auf.



**Abb. 4** Beispiel eines Messplatzes (links, [4] zur Umgebungslicht-Simulation von Displays und typische Messergebnis für das Beleuchtungsstärke-abhängige Kontrastverhältnis (rechts, [2]).

#### 5 Externe Fahrzeug-Displays

Zukünftige autonome Fahrzeuge sind hochvernetzt und können somit auch andere Verkehrsteilnehmer mittels vorne und hinten angebrachten Displays (Abb. 5, Modellfahrzeug siehe [5]) informieren. Besonders nützlich ist ein Front-Display, welches einem Fußgänger am Straßenrand visuell mitteilt, dass das autonome Fahrzeug ihn erkannt hat, anhalten wird und anschließend das Überqueren der Fahrbahn durch animierte Gehen-Symbole.

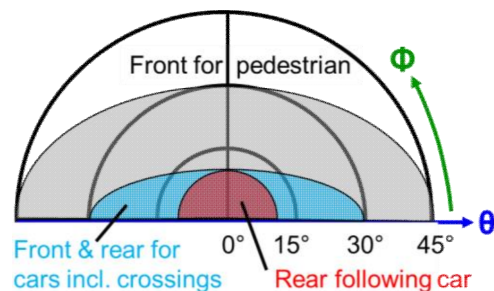


**Abb. 5** Beispiele von externen Fahrzeug-Displays.

Solche Außendisplays sind starkem Sonnenlicht ausgesetzt und müssen somit mindestens eine Leuchtdichte von 5.000 cd/m<sup>2</sup> erreichen. Dies ist derzeit nur mit LEDs möglich; aufgrund der Ableseentfernung (> 5 m) und Kostengründen wird meistens ein Pixelpitch im Bereich 5 bis 10 mm für Prototypen gewählt. Damit sinkt aber aufgrund des Flächenverhältnisses von LED zu Pixelfläche die wahrgenommene Leuchtdichte um typischerweise einen Faktor 4 bis 10 (für diesen Fall):

$$L_{display} = L_{light\ source} \frac{A_{light\ source}}{A_{pixel}} \quad (4)$$

Da jedoch der Betrachtungs-Winkelbereich für diese Anwendungsfälle stark eingeschränkt ist (siehe Abb. 6), kann durch Sekundäroptiken die meist isotrope Emissions-Charakteristik entsprechend angepasst werden. Dies resultiert z.B. für ein Frontdisplay für Fußgänger in einer „Verstärkung“ der Leuchtdichte von etwa 4x, was den oben aufgeführten „Flächen-Effekt“ kompensiert.



**Abb. 6** Blickwinkel-Bereich für externe Fahrzeug-Displays (Darstellung analog zu „Viewing Angle“ in [2]).

#### 6 Zusammenfassung

Eine optimale Display-Technologie für alle Einsatzgebiete existiert nicht. Insofern gelten der Optimierung und Evaluierung besondere Aufmerksamkeit. Messtechnisch herausfordernd sind optische Messungen wie Homogenität und Umgebungslicht.

#### Literatur

- [1] Chen, W. Cranton, M. Fihn (eds) "Handbook of Visual Display Technology" (Springer 2016)
- [2] K. Blankenbach: "Display Metrology" in: J.Chen, W. Cranton, M. Fihn (eds) "Handbook of Visual Display Technology" (Springer 2016), S. 3071 - 3282
- [3] F. W. Campbell, J. G. Robson, "Application of Fourier Analysis to the Visibility of Gratings" in: Journal of Physiology **197**, 551-566, 1968
- [4] K. Blankenbach, U. Krüger, H-U. Lauer, M. Zobl, "Recent Standardization Efforts and Measurement Procedures of German Automotive OEM and German Flat Panel Forum (DFF)" in: SID Symposium Technical Digest **47**, 361-364 (2016)
- [5] M. Krause, K. Blankenbach, "LED Exterior Signage for Autonomous Cars" in: SID China Proceedings of ICDT 2018 (International Conference on Display Technology), Guangzhou, China, 455-458 (2018)