

Kontrast von 1 Million ?

Die Kontraste von lichtemittierenden Bildschirmen (CRTs, PDPs, etc.) werden oft mit enorm hohen Werten angegeben, so z.B. im Falle von Sony's "XEL-1" OLED Fernsehgerät, dessen Kontrast mit dem Wert von 1 Million für Aufsehen sorgt (<http://www.heise.de/newsticker/meldung/101431>).

Unter welchen Bedingungen kann ein solch hoher Kontrast überhaupt gemessen werden und wie relevant ist die entsprechende Situation für die tatsächliche Verwendung eines Fernsehbildschirms ?

Wie ist der Kontrast definiert ?

Der visuelle Kontrast von Bildschirmen ist definiert als das (dimensionslose) Verhältnis der *Leuchtdichten* eines helleren zu einem dunkleren Zustand des Bildschirms. Dabei ist die *Leuchtdichte* die physikalische Größe (angegeben in cd/m^2), die dem subjektiven Empfinden der "Helligkeit" entspricht. Meist werden für Produkte die Maximalkontraste angegeben, also das Verhältnis der höchsten *Leuchtdichte*, die der Bildschirm anzeigen kann zur niedrigsten. Da die minimale *Leuchtdichte* von lichtemittierenden Anzeigen sehr gering ist ($L \ll 1 \text{ cd}/\text{m}^2$) können die entsprechenden Kontrastwerte (Quotienten) recht große Werte annehmen.

Die Sachlage ist bei LCD-Bildschirmen anders, denn hier ist die Hinterleuchtung permanent eingeschaltet und die davorliegende LCD-Zelle ist beschränkt auf die Dämpfung des durchzulassenden Lichts. Diese Dämpfung ist durch verschiedene Nichtidealitäten der LCD auf den Bereich zwischen 5% und 0,005% beschränkt. Soll der Hellzustand bei $200 \text{ cd}/\text{m}^2$ liegen, so muss die Hinterleuchtung 20 mal "heller" sein, also eine Leuchtdichte von $4000 \text{ cd}/\text{m}^2$ aufweisen. Die Leuchtdichte des Bildschirms im Dunkelzustand beträgt dann $0,2 \text{ cd}/\text{m}^2$.

Zwei Probleme werden tauchen in diesem Zusammenhang auf:

- es ist schwierig, Leuchtdichten von $< 1 \text{ cd}/\text{m}^2$ sicher und reproduzierbar zu messen,
- es ist schwierig eine Umgebung (z.B. Messlabor) so abzudunkeln, dass kein Umgebungslicht die Messungen verfälscht.

Wie werden Kontraste gemessen ?

Die Leuchtdichte des Hellzustandes liegt bei einem Fernsehschirm (je nach Umgebungshelligkeit, also dem Adaptationszustand des Auges des Betrachters) in der Größenordnung von $100 \text{ cd}/\text{m}^2$. Ist der Bildschirm zu hell eingestellt, so kann dies als **Blendung**, also unangenehm empfunden werden.

Um bei einem Hellzustand von typisch $100 \text{ cd}/\text{m}^2$ einen Kontrast von 1 Million im Labor messen zu können, muss sichergestellt werden, dass kein Umgebungslicht (z.B. von LEDs von Messgeräten) den Dunkelzustand von $10^{-4} \text{ cd}/\text{m}^2$ verfälscht ($10^{+2} / 10^{-4} = 10^{+6}$). Und das ist in der Praxis überhaupt nicht einfach.

Außerdem sind Leuchtdichtewerte von kleiner als $10^{-3} \text{ cd}/\text{m}^2$ nur mit speziellen und deshalb teureren Messgeräten sicher zu messen.

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, so wird der Bildschirm zunächst bei voller Leuchtdichte gemessen, dann komplett dunkel geschaltet (Vollbild Schwarz) und jetzt die geringste Leuchtdichte ermittelt. Den so ermittelten Kontrast bezeichnet man als **sequentiellen Vollbild-Dunkelraum-Kontrast**. Er ist recht einfach zu messen, entspricht aber nicht dem Kontrast, der für unser visuelles Erleben entscheidend ist.



Wie müsste der Messraum gestaltet sein ?

Um die Leuchtdichte des Dunkelzustands von 10^{-4} cd/m² bei der Messung nicht zu verfälschen, müssten die Wände des Messraums extrem wenig reflektieren (Mindestwerte liegen bei etwa 5% Reflexionsgrad) oder hinreichend weit vom Messobjekt Bildschirm entfernt sein.

Rechenbeispiele

Wir wählen uns einen Fernsehschirm mit 11" Bildschirmdiagonale und stellen diesen in einem vollständig abgedunkelten Raum auf. Um den *Simultankontrast* zu ermitteln, d.h. die Form des Kontrastes, der für unser visuelles Erlebnis entscheidend ist, zeigen wir ein schwarzes Quadrat (5cm x 5cm, 0 cd/m²) auf weißem Untergrund (100 cd/m²) an.

Wir nehmen an, dass der Bildschirm 3m von der nächsten Wand entfernt ist und die Wand einen Reflexionsgrad von 18% aufweist (fotografische Graukarte). Die meisten weißen Wände haben einen Reflexionsgrad von 70%.

Der Reflexionsgrad der glatten Bildschirmoberfläche in Spiegelrichtung wird zu 5% angenommen (zum Vergleich: eine einfache Glasscheibe reflektiert an beiden Oberflächen mehr als 4% in Spiegelrichtung, also insgesamt etwa 8%).

Der Lichtweg ist wie folgt: Der Bildschirm emittiert Licht und beleuchtet die Wand, der Betrachter sieht die beleuchtete Wand im schwarzen Teil des Bildschirms (Spiegelreflexion).

Wir berechnen nun, wie die Leuchtdichte des schwarzen Quadrats auf dem Bildschirm durch die im Bildschirm sichtbare beleuchtete Wand verfälscht wird.

Ein Bildschirm mit einem Seitenverhältnis von 16:9 hat eine Oberfläche von

$$244\text{mm} \times 137\text{mm} = 33,428 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Nach Abzug von 25cm² für das schwarze Quadrat bleiben also noch

$$33,428 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 - (0,05 \text{ m})^2 = 30,93 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

lichtemittierende Fläche übrig.

Damit wird die Stärke der Beleuchtung der Wand (Beleuchtungsstärke, E) in 3m Entfernung zu

$$E = (L \cdot A) / d^2 = 100 \text{ cd/m}^2 \cdot 30,93 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / 9 \text{ m}^2 = 0,34364 \text{ lux}$$

Mit einem Reflexionsgrad von $\rho = 18\%$ ergibt sich die Leuchtdichte L der Wand zu

$$L = E \rho / \pi = 0,019689 \text{ cd/m}^2 \sim 0,02 \text{ cd/m}^2$$

Der Betrachter sieht die beleuchtete Wand im schwarzen Teil des Bildschirms mit einer im Bildschirm reflektierten Leuchtdichte L_R von

$$L_R = 0,02 \cdot 0,05 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ cd/m}^2$$

Damit ergibt sich der (Simultan)-Kontrast zwischen den weißen und schwarzen Flächen des Bildschirms zu

$$C = 100 \text{ cd/m}^2 / 1 \cdot 10^{-3} \text{ cd/m}^2 = 10^5$$



und das ist schon eine Größenordnung weniger als die angegebene 1 Million.

Wie sieht es im Wohnzimmer aus ?

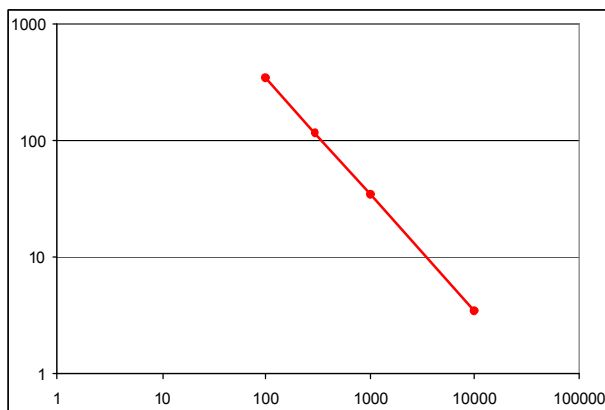
in obigem Rechenbeispiel wurde angenommen, dass der Raum vollständig dunkel ist und nur durch die Lichtemission des Bildschirm beleuchtet wird. Dies entspricht aber in keiner Weise einer realen Situation, von denen wir jetzt zwei Fälle exemplarisch untersuchen werden.

Durchschnittliche Werte für die Beleuchtungsstärke in einem Wohnzimmer, das zum Betrachten von Fernsehinhalten verwendet wird, liegt bei 100 lux. Bei dieser Beleuchtungsstärke kann der Einfluss des vom Bildschirm ausgehenden Lichts (Beleuchtungsstärke der Wand von 0,34364 lux) vernachlässigt werden.

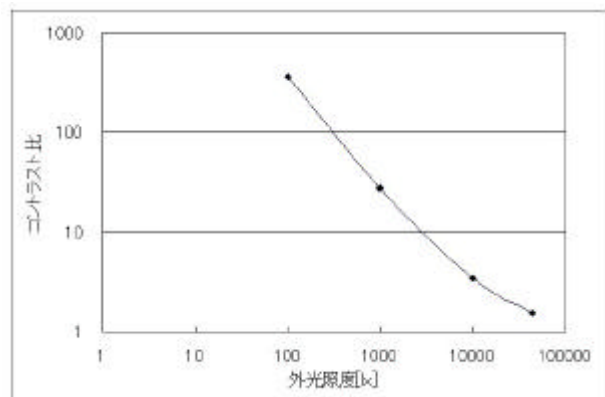
Die Beleuchtungsstärke von 100 lux erzeugt eine Leuchtdichte auf der grauen Wand (18% Reflexionsgrad) von 5,7 cd/m² und damit wird die über den Bildschirm reflektierte Leuchtdichte L_R zu 0,285 cd/m² und der Kontrast unter Wohnzimmerbedingungen zu 351.

Und wie sieht's am Arbeitsplatz aus ?

Steigt die Beleuchtungsstärke auf Werte, die für einen Büroarbeitsplatz empfohlen werden (mindestens 300 lux), so wird die Leuchtdichte der grauen Wand zu 17,2 cd/m² und der Kontrast sinkt auf 116.



Kontrastwerte als Funktion der Beleuchtungsstärke (lux) nach den obigen Berechnungen.



Kontrastwerte als Funktion der Beleuchtungsstärke (lux) für Sonys XEL-1 OLED Fernsehbildschirm nach <http://techon.nikkeibp.co.jp>.

Fazit

Die Kontrastwerte, die von Herstellern zur Demonstration der Leistungsfähigkeit ihrer Produkte angegeben werden, sind unter sehr speziellen Bedingungen ermittelt und für die meisten realen Anwendungsfälle bedeutungslos.

Da der Einsatz bis auf wenige Ausnahmen meist in heller Umgebung erfolgt, ist eine gute Entspiegelung des Bildschirms die Grundlage für gute Kontraste.

Referenzen

http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20071127/143111/
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/101431>

