

Bewegtbilddarstellung auf LCD-Monitoren

Michael E. Becker
Display-Messtechnik & Systeme
Marie-Alexandra-Str. 44
D-76135 Karlsruhe
m.becker@display-messtechnik.de

Zusammenfassung

Dieser Beitrag vergleicht die Darstellung bewegter Bildinhalte auf unterschiedlichen elektronischen Anzeigen und erklärt die Unterschiede zwischen der Impuls-Darstellung und der Erhaltungsdarstellung (impulse-type, hold-type display). Die innerhalb der durch die Erhaltungsdarstellung vorgegebenen Grenzen möglichen unterschiedlichen Maßnahmen zur Verbesserung der Darstellung bewegter Bildinhalte auf LCD-Monitoren werden vorgestellt (Optimierung der Dynamik des LCD-Systems und elektronische Maßnahmen), ihre Möglichkeiten und Grenzen aufgezeigt und erklärt und einen Überblick über den gegenwärtig kommerziell verfügbaren Stand der Technik gegeben. Neue Verfahren zur Messung und Charakterisierung des dynamischen Verhaltens von LCDs werden vorgestellt (z. B. gray-to-gray transition times), wie sie als Reaktion auf die unzureichende Charakterisierung nach ISO-13406-2 entwickelt wurden und gegenwärtig in die neue Norm ISO 9241 integriert werden.

Keywords:

**Display performance characterization, motion artefacts
LCD-TV, visual fidelity, impulse-type - hold-type display,**

Einleitung

Nachdem LCD-Monitore im Büro bereits einen erheblichen Anteil von Kathodenstrahl-Bildschirmen (CRTs) verdrängt haben, sehen wir in letzter Zeit eine immer stärker zunehmende Zahl von LCDs in Fernsehgeräten und Video-Monitoren. Insbesondere beim der Darstellung bewegter Bildinhalte auf LCD-Bildschirmen wird klar, dass in dieser speziellen Hinsicht die Kathodenstrahlröhre ein kaum zu überbietendes Vorbild darstellt. Die Verbesserung von LCD-Monitoren hinsichtlich der fehlerfreien Wiedergabe von bewegten Bildinhalten läuft auf eine Nachbildung der dynamischen Eigenschaften von CRT-Bildschirmen hinaus.

Zur Beantwortung der Frage, was in dieser Hinsicht überhaupt möglich ist, schauen wir uns zunächst die wesentlichen Unterschiede in der Darstellung von bewegten Bildinhalten bei beiden Anzeigetypen an.

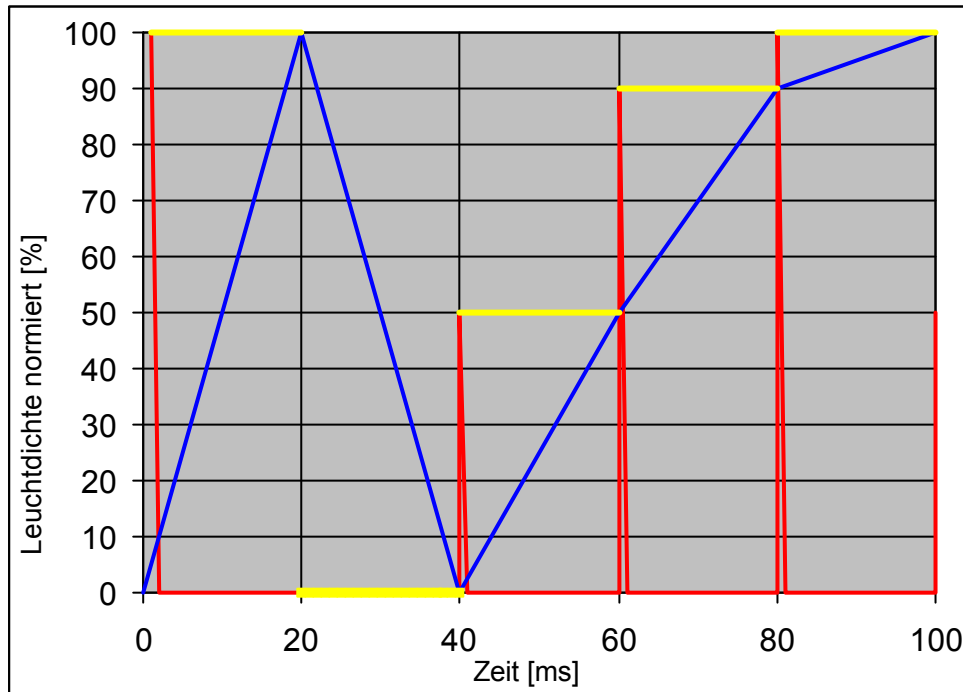


Bild 1: Prinzipieller zeitlicher Verlauf der Leuchtdichte bei CRT-Bildschirmen (rote Kurve), bei LCD-Bildschirmen mit verschwindenden Schaltzeiten ($t = 0$, gelbe Kurve) und bei LCDs mit endlichen Schaltzeiten (blaue Kurve). Der Zielwert der Leuchtdichte wird im letzteren Fall jeweils am Ende der Bildperiode (hier 20 ms) erreicht.

Impulse und Erhaltung

Misst man den zeitlichen Verlauf der Leuchtdichte an einer Stelle des Bildschirms so erhält man die in Bild 1 gezeigten prinzipiellen Verläufe für Bildschirme mit CRTs and mit LCDs. Aufgrund der schnellen Reaktion von CRTs auf die Bestrahlung der Phosphore mit dem Elektronenstrahl (typisch unterhalb von 1 ms) verzeichnen wir einen steilen Anstieg der Leuchtdichte gefolgt von einem ebenso schnellen Abfall wenn der abtastende Elektronenstrahl weitergewandert ist. Die Zielleuchtdichte wird also schnell erreicht und es erfolgt ein schnelles Abklingen nach Wegfall der Bestrahlung mit Elektronen (rote Kurve in Bild 1). Dieses Verhalten wird als **Impuls-Darstellung** (*impulse-type display*) bezeichnet.

Betrachten wir nun den Verlauf der Leuchtdichte bei einem idealen LCD-Monitor, der die vorgegebene Zielleuchtdichte ohne Verzögerung erreicht (gelbe Kurve in Bild 1), so bleibt aufgrund von Details der Ansteuerung des Bildschirms die Zielleuchtdichte über die gesamte Bildperiode erhalten. Diese Art der Visualisierung wird als **Erhaltungs-Darstellung** bezeichnet (*hold-type display*). Zu der Klasse der Anzeigen vom Erhaltungs-Typ gehören auch die an sich sehr schnell schaltenden Plasma-Anzeigen (PDPs) und Anzeigen auf der Grundlage von organischen LEDs (OLED-Anzeigen), die ebenfalls sehr kurze Übergangszeiten aufweisen.

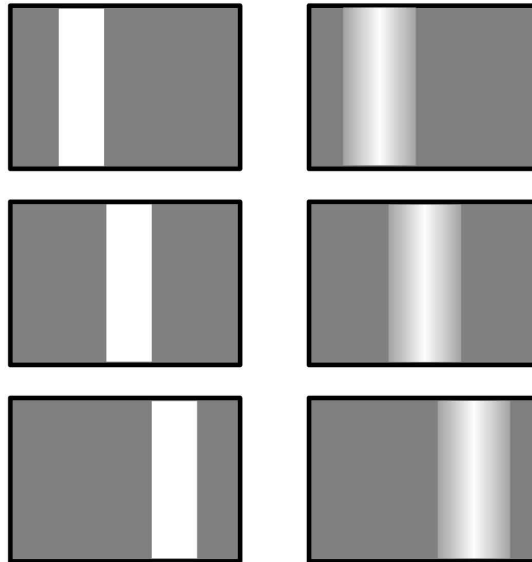


Bild 2: Visuelle Wahrnehmung eines weißen Rechtecks, das sich mit konstanter Geschwindigkeit von links nach rechts über den Bildschirm bewegt, bei Impuls-Darstellung (linke Spalte) und bei Erhaltungsdarstellung (rechte Spalte).

Wahrnehmungssache ...

Beim Betrachten eines sich bewegenden Ziels (auch auf einem Bildschirm) folgt unser Auge der Bewegung und integriert dabei die Intensität des auf der Netzhaut ankommenden Lichts über einen bestimmten Zeitraum auf (z.B. über die Bildperiode). Wird das bewegte Muster während einer Bildperiode nur kurzfristig angezeigt (Impuls-Darstellung), so sieht das Auge kurze Momentaufnahmen, die zu einer kontinuierlichen Bewegung ohne störende Nebeneffekte überlagert werden.

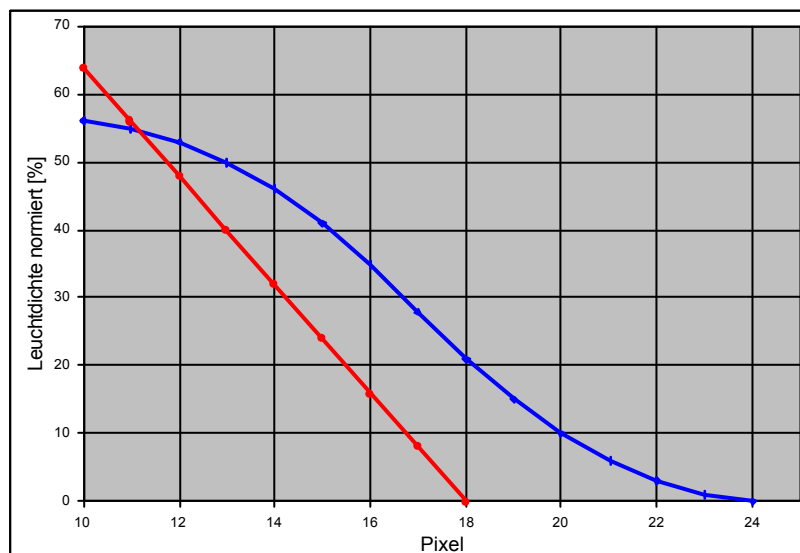


Bild 3: Berechnete Kantenverschleifung bei einem bewegten Rechteck nach Bild 1 bei einem Bildschirm mit Erhaltungsdarstellung bei verschwindender Schaltzeit ($t = 0$, rote Kurve) und einem Bildschirm, dessen Zielleuchtdichte jeweils am Ende einer Bildperiode erreicht wird (blaue Kurve). Das Rechteck ist 8 Pixel breit und bewegt sich mit 8 Pixel/Bildperiode (*frame*).

Durch numerische Integration der Intensität auf der Netzhaut des sich stetig bewegenden Auges kann man folgende Abhängigkeiten der Breite der Kantenverschleifung (*blurred-edge-width*, BEW, zwischen 10% und 90% der Intensität) ermitteln:

BEW eines mit der Geschwindigkeit v (= Anzahl Pixel / Bildperiode) bewegten Rechtecks:

- $1,1 \cdot v \cdot T$ wenn die Übergangszeit zwischen 0% und 100% gleich der Bildperiode ist (also z.B. 17ms), wird durch *feed-forward driving* realisiert ! Im Beispiel nach Bild 2 also $BEW \approx 9$ Pixel),
- $0,8 \cdot v \cdot T$ wenn die Schaltzeit = Null ist (z.B. bei OLED Displays oder OCB-LCDs),

Die messtechnische Erfassung der BEW erfolgt oft mit aufwändigen mechanisch nachgeführten elektronischen Kameras (oder entsprechenden Spiegelsystemen), was allerdings nicht nötig ist, da man die gleichen Messungen auch mit feststehenden Kameras bei mehreren Aufnahmen pro Bildperiode und numerischer Überlagerung der einzelnen Aufnahmen durchführen kann. Die oben beschriebene Integration der Lichtintensität auf der Netzhaut des Auges wird hierbei ebenfalls numerisch nachgebildet.

Es bleibt also zusammenfassend festzustellen, dass selbst bei unendlich schnell schaltenden Anzeigen des Erhaltungstyps (also bei PDPs und OLED-Anzeigen) ein Verschleifen der Kanten unvermeidlich ist. Allerdings sind reale LCDs noch weit von einem solchen Idealzustand entfernt.

Was kann also unternommen werden, um die Schaltzeiten von LCDs so kurz wie nötig zu gestalten und was kann weiterhin unternommen werden, um das Verschleifen von bewegten Kanten zu vermeiden ?

Schaltzeiten von LCDs

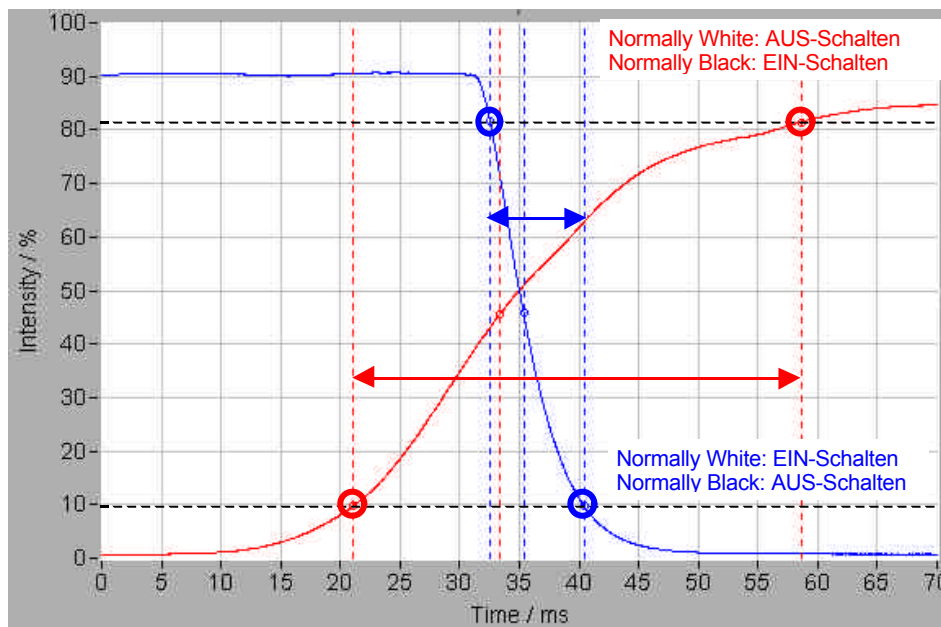


Bild 4: Gemessener zeitlicher Verlauf der Leuchtdichte eines LCD-Monitors beim Schalten zwischen Weiß und Schwarz und umgekehrt. Blaue Kurve: Einschaltvorgang für *normally-white* LCD und Ausschaltvorgang für *normally-black* LCD (Einschalten bedeutet eine Erhöhung der Ansteuerspannung am LCD). Rote Kurve: Einschaltvorgang für *normally-black* LCD und Ausschaltvorgang für *normally-white* LCD (Ausschalten bedeutet eine Reduktion der Ansteuerspannung am LCD).

Die Schaltzeiten von LCD-Monitoren bzw. die sich daraus ergebenden Bildaufbauzeiten werden nach ISO 13 406-2 wie folgt ermittelt. Die Anzeige wird in den ersten Zustand geschaltet (z.B. Weiß) und nach vollständigem Einschwingen der Leuchtdichte wird in den zweiten Zustand geschaltet (z.B. Schwarz). Die beiden Schaltzeiten ergeben sich dann als die Zeiten, die zwischen dem Zeitpunkt einer Änderung der Leuchtdichte von 10% und 90% verstreichen (siehe kreisförmige Markierungen in Bild 4 und den blauen und den roten Pfeil). Die Bildaufbauzeit ergibt sich dann als Summe der beiden Einzelschaltzeiten.

Das diese für CRT-Bildschirme hinreichende Beschreibung der Bildaufbauzeiten für LCDs nicht ausreichend ist, liegt in der Tatsache begründet, dass bei LCDs das Schalten zwischen mittleren Graustufen um einiges länger dauert als der Schaltvorgang zwischen den extremen Zuständen Schwarz und Weiß (manchmal bis 10-mal so lange). Typische Fernseh- oder Video-Bildinhalte enthalten bei weitem mehr Anteile aus dem Bereich der mittleren Graustufen als extreme Schwarz- und Weiß-Zustände.

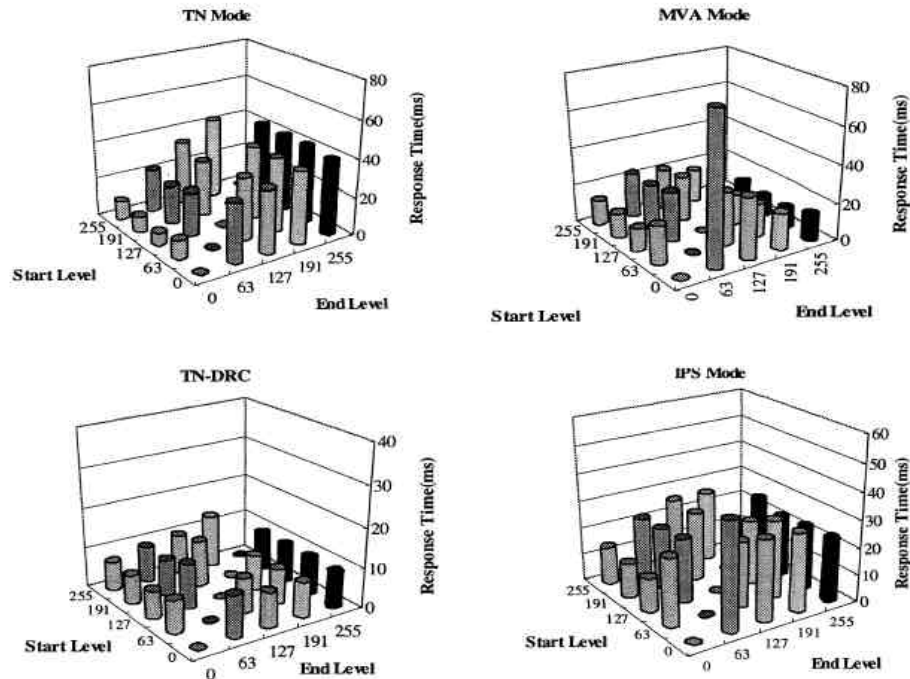


Bild 5: Graustufenübergangszeiten für verschiedene elektro-optische Effekte (man beachte die unterschiedliche Skalierung der Zeitachsen !) nach Suzuki, Proc. SPIE Vol. 4657(2002), p. 85-92.

Diese Abhängigkeit der Umschaltzeiten vom Ausgangs- und Endpegel der Ansteuerung wird geeigneterweise in einer Matrix angegeben, deren horizontale Achsen den Ausgangs- und den Endpegel bezeichnen, wie in Bild 5 dargestellt. Zur Beschreibung dieser Abhängigkeit sollen nach ISO 9241 (Nachfolgenorm zu ISO 13 406-2) mindestens 5 Zustände, möglichst aber 9 Zustände in die Messung aufgenommen werden. Neben der grafischen Darstellung der Graustufen-Übergangszeiten (*gray-level transition times*) wie in Bild 5 gezeigt soll auch der Mittelwert über alle Schaltzeiten sowie der Maximal- und Minimalwert angegeben werden.

Wie Bild 5 deutlich zeigt, fallen die Graustufen-Übergangszeiten bei unterschiedlichen Effekten in LCDs unterschiedlich aus. Was kann im LCD selbst getan werden, um die Übergänge zwischen unterschiedlichen Anzeigezuständen so kurz wie möglich zu gestalten ?

Die Schaltzeiten eines LCD sind proportional zu
$$\frac{\gamma \cdot d^2}{\Delta \epsilon \cdot (U^2 - U_{th}^2)}$$

mit	U	Ansteuerspannung
	U_{th}	Schwellenspannung
	$\Delta \epsilon$	Anisotropie der Dielektrizitätskonstanten
	d	Dicke der Flüssigkristallschicht
	g	Rotationsviskosität des Flüssigkristallmaterials

Die Schaltzeiten lassen sich also wirkungsvoll durch eine Reduktion der Schichtdicke des Flüssigkristalls verringern (Reduktion der Schichtdicke um 30% $\{0,7^2 = 0,49\}$ -> Halbierung der Schaltzeiten). Eine untere Grenze für die Schichtdicke des Flüssigkristalls wird dadurch gesetzt, dass noch genug Material vorhanden bleiben muss, um den Polarisationszustand des durchfallenden Lichts geeignet zu beeinflussen.

Außerdem sollte die Rotationsviskosität γ so gering wie möglich sein (Aufgabe des Herstellers von flüssigkristallinen Materialien und Mischungen). Weiterhin kann man durch die Wahl der Ansteuerspannung U das EIN-Schalten beschleunigen, durch kurzzeitige Verringerung der Spannung auf Null auch das AUS-Schalten.

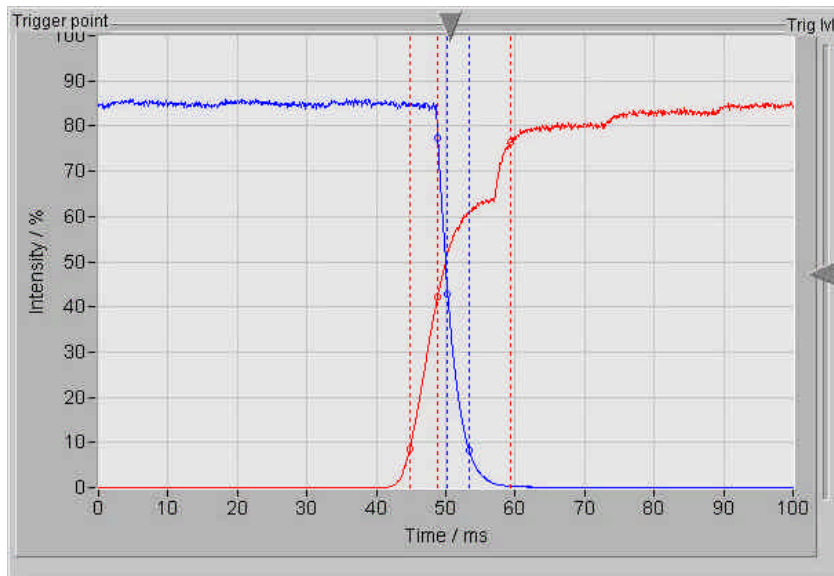


Bild 6: Zeitlicher Verlauf der Leuchtdichte eines LCD-Monitors beim Schalten von Schwarz auf Weiß (rote Kurve). Die Zielleuchtdichte wird erst nach etwa drei Bildperioden (*frames*) erreicht.

Spannung vorhalten ...

Wenn die LCD-Zelle selbst nicht schnell genug ist, um die Zielleuchtdichte innerhalb einer Bildperiode zu erreichen, so kann man dies durch entsprechende Korrektur der Ansteuer-spannung unterstützen, wenn man die Zielleuchtdichte für jedes Bildelement im nächsten Bild kennt. Das wird durch einen Bildspeicher erreicht, der das aktuelle Bild enthält während das Bild der zurückliegenden Periode gerade angezeigt wird. Mit der Kenntnis der zukünftigen Zielleuchtdichte kann die Ansteuerspannung so verändert werden, dass das Ziel innerhalb einer Bildperiode erreicht wird. Dies ist das Prinzip des sogenannten *overdriving* mit zusätzlichem Bildspeicher (*look-ahead memory*).

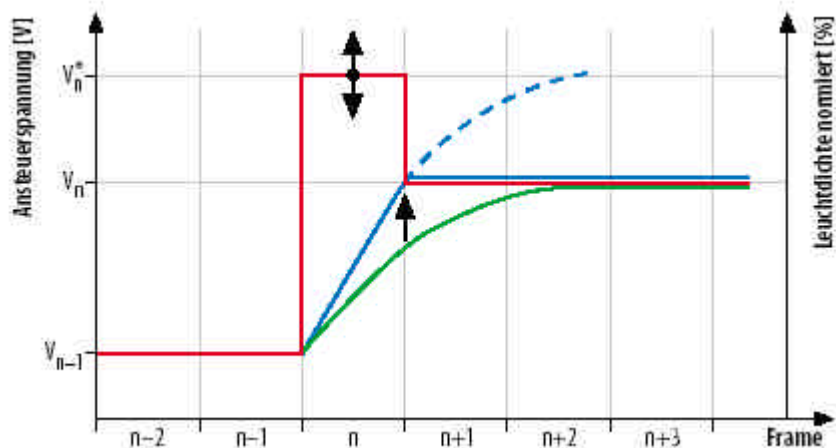


Bild 7: Prinzip der Überansteuerung (*overdriving*) bei einem *normally-black* LCD.

Bei einem normally-black LCD nimmt die Leuchtdichte der Anzeige mit der Ansteuerspannung zu (siehe Bild 7). Bei Anlegen der nominalen Ansteuerspannung erreicht die Leuchtdichte im Beispiel nach Bild 7 erst in der dritten Bildperiode nach dem Schalten den Zielwert (grüne Kurve). Nun kann man im *frame n* die Ansteuerspannung so erhöhen, dass die Leuchtdichte zum Ende der aktuellen Bildperiode den Zielwert erreicht (blaue Kurve). Danach wird die überhöhte Spannung wieder auf den Normalwert abgesenkt. Die zum Beschleunigen nötigen Spannungen sind für das jeweilige LCD experimentell ermittelt und in einer Tabelle (LUT) abgelegt. Solange die Ansteuerspannung höher ausfallen soll als die reguläre Spannung kann der Schaltvorgang durch beliebig erhöhte Spannungen prinzipiell beliebig beschleunigt werden. In der Praxis bestimmen die elektrischen Grenzwerte der Ansteuerschaltungen die maximal verwendbaren Spannungen. Das gleiche Prinzip lässt sich auch anwenden, wenn die

Ansteuerspannung verringert wird, jedoch ist hier bei einer Spannung von Null Volt die Grenze des Machbaren erreicht (Flüssigkristalle reagieren auf den Effektivwert der Ansteuerspannung, also erfahren sie für Werte von +V und -V die gleiche Auslenkung).

Weitere Maßnahmen ...

Wie bereits erwähnt, lässt sich die Darstellung von bewegten Bildinhalten auf LCD-Bildschirmen dadurch verbessern, dass man die Impuls-Darstellung von CRT-Monitoren möglichst gut annähert. Wenn das LCD-System selbst optimiert wurde (Rotationsviskosität und Schichtdicke) und die Ansteuerung durch Vorhalten der Spannung (*overdriving*) dafür sorgt, dass die Zielleuchtdichte am Ende der Bildperiode erreicht wird, so bleiben nur noch wenige Verbesserungsmöglichkeiten.

Die Zeitspanne in der das Auge die visuelle Information während einer Bildperiode sieht kann durch Einfügen von schwarzen Bildern (oder Zeilen) verringert und so die Impulswiedergabe von CRTs angenähert werden. Damit dies ohne Erzeugung von Geisterbildern möglich ist muss die Schaltgeschwindigkeit des LCDs mindestens doppelt so hoch sein wie durch die Bildwiederholrate gefordert, was jedoch in der Praxis schwierig ist. Durch Einfügen von jeweils einem schwarzen Bild ergibt sich die BEW zu $0,55 \cdot v \cdot T$, die Leuchtdichte des Weißzustands wird jedoch ebenfalls auf die Hälfte reduziert. Generell würde auch eine Verdopplung der Bildwiederholrate die BEW auf die Hälfte reduzieren, aber dazu benötigt man gute Interpolationsalgorithmen zur Berechnung der Zwischenbilder und die Schaltzeiten des LCD müssen mindestens halbiert werden.

Zuletzt kann man auch noch in die Hinterleuchtung des LCD-Bildschirms eingreifen und diese kontrolliert (d.h. synchronisiert mit dem Bildwechsel) EIN- und AUS-Schalten (*blinking backlight*). Um Geisterbilder zu vermeiden, muss das LCD während der Einschaltperiode der Hinterleuchtung ein konstantes Bild liefern, was wiederum ein schnelles Schalten und Einschwingen voraussetzt. Jegliches AUS-Schalten der Hinterleuchtung führt natürlich zu einer (nicht erwünschten) Abnahme der maximalen Leuchtdichte.

Besteht die Möglichkeit, die Lampen der Hinterleuchtungseinheit, die meist parallel zur langen Seite des Bildschirms angeordnet sind, getrennt zu schalten, so lässt sich auf diese Weise ein *scanning backlight* realisieren, das z.B. mit 8 Leuchtstoffröhren bei einer Bildschirmdiagonalen von 32" und mehr hervorragende Resultate liefert. Dabei werden die Lampen z.B. mit einem Tastverhältnis von etwa 1/3 synchron mit dem Einschreiben der Bilddaten eingeschaltet. Dieses Prinzip lässt sich auch mit Hochleistungs-LEDs realisieren [siehe SID'05 Digest p. 996-999].

Eine letzte zu erwähnende Maßnahme besteht in einer rechnerischen Vorverzerrung des Bildinhalts zur Kompensation von Bewegungsartefakten (*inverse filtering*). Die Algorithmen und Parameter hängen stark vom jeweilig verwendeten Display und dessen Eigenschaften ab.

Schlussfolgerung

Mit den beschriebenen Maßnahmen wird es den Herstellern von LCD-Bildschirmen kurzfristig gelingen, die auffälligsten Störungen bei der Darstellung bewegter Bildinhalte zu beseitigen und so den Markt für LCD-Fernseher zu vergrößern bzw. die letzten Hindernisse für eine gründliche Marktdurchdringung auszuräumen.

Literatur:

M. E. Becker, U. Kuhlmann: "Rasante Zeiten - Techniken zur besseren Bewegtbildarstellung auf Flachbildschirmen", c't 9(2005), p. 126-129

A. A. S. Sluyterman, et.al.: "Architectural Choices in a Scanning Backlight for large LCD-TVs", SID05 Digest, p. 996-999

K. Sekiya, H. Nakamura: "Eye-Trace Integration Effect in the Perception of Moving Pictures and a New Possibility for Reducing Blur on Hold-Type Displays", SID02 Digest, p. 930-933

S. Suzuki, M. Suzuki, et. al.: "Response Time Evaluation for LCD Modes and its Relationship to Moving Image Perception", Proc. SPIE 4659(2002), p. 85-92