

Konrad L. Maul

## „Der Weg zur naturgetreuen Bildwiedergabe und die physiologischen Hintergründe“

### Teil 1: Displaytechniken und Verbesserungen der Bewegungs- und Schwarzwiedergabe (100Hz / 200Hz / Backlightscanning)



Konrad L. Maul  
Dipl.-Ing. (FH)  
Certified Counsellor

Konrad L. Maul war 37 Jahre in der Fernsehentwicklung tätig, davon 30 Jahre in leitender Position. Als Gruppenleiter war er für das erste 100 Hertz-TV-Gerät verantwortlich. Von 2001 bis 2008 leitete er die Fernsehentwicklung eines großen deutschen TV-Herstellers. Damit ist er einer der erfahrensten und profiliertesten TV-Entwickler Deutschlands.

Heute arbeitet er am Aufbau einer Tätigkeit als Berater für Einzelne, Gruppen und Organisationen in technischen, wirtschaftlichen und sozialen Handlungsfeldern.

<http://www.gisela-und-konrad-maul.de>

#### URHEBERRECHT / COPYRIGHT

Alle Rechte vorbehalten, all rights reserved,  
Konrad L. Maul, Dipl.-Ing. (FH)  
90473 Nürnberg

Dieses Technik-Essay, sein Inhalt und die enthaltenen Ideen sind urheberrechtlich geschützt. Sie dürfen nur zu privaten, wissenschaftlichen und nichtgewerblichen Gebrauch zum Zweck der Information kopiert und ausgedruckt werden. Der Autor behält sich das Recht vor, diese Erlaubnis jederzeit zu widerrufen. Ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Autors darf dieses Dokument nicht vervielfältigt, archiviert, oder auf einem Server gespeichert, in Webseiten und Newsgruppen einbezogen, in Online-Diensten benutzt oder auf einer CD-ROM gespeichert werden.

Ich erlaube ausdrücklich und begrüße das Zitieren aus diesem Dokument.

Dem Traum der Menschen von einer naturgetreuen Übertragung und Wiedergabe von Szenen und Ereignissen in die eigenen vier Wände kommen heutige Fernsehgeräte mit neuester Signalverarbeitung und Displaytechnologie schon sehr nahe. Der flache Bildschirm an der Wand ist Realität geworden. Die großformatige, detailgetreue Wiedergabe, angepasst an die Physiologie des menschlichen Gesichtssinnes durch 16:9 und HDTV ermöglicht eine bisher nicht gekannte Einbezogenheit in das Geschehen auf dem Bildschirm (Telepräsenz).

Ein wichtiger Schlüssel für diesen technischen Erfolg ist sicher die optimale Abstimmung der einzelnen Elemente der Wiedergabeseite, wie Empfangsteil, digitaler Signalprozessor (Scaler) und Panel. Dies ist eine der Kernkompetenzen die eine Entwicklungsabteilung einer A-Brand auszeichnet.

Natürlich kommt in dieser wiedergabeseitigen Kette der Paneltechnologie eine sehr wichtige Schlüsselrolle zu, denn einer der Gründe warum der erste Einführungsversuch von HDTV basierend auf dem HDMAC System in den 90 ziger Jahren ein Misserfolg war, war das Nichtvorhandensein von großen hochauflösenden Displays für das heimische Fernsehgerät.

Sehen wir uns daher zunächst die wichtigsten Schlüsselparameter eines Displays an. Dies sind Detailauflösung, Spitzenleuchtdichte (Helligkeit), Schwarzwiedergabe, Kontrast, Bewegungswiedergabe, Betrachtungswinkel, Geometrietreue (Konvergenz) und Farbraum. Es sollen im Folgenden nur Displaytechniken für „Direksicht“ betrachtet werden also Bildröhre, Plasma-Display und LC-Display (keine Projektionstechniken), da diese überwiegend in TV-Geräten zum Einsatz kommen.

Aufgrund des technischen Prinzips (Ablenktechnik, Lochmaske und großvolumiger Glaskörper) ist die Bildröhre nicht für die großformatige SDTV und HDTV Wiedergabe geeignet. Die Schwarz- und Bewegungswiedergabe der Bildröhre ist jedoch die Referenz für alle anderen Displaytypen.

Die Plasmatechnik kommt aufgrund ihrer Verwandtschaft zum Bildröhrenprinzip der guten Schwarz- und Bewegungswiedergabe der Bildröhre sehr nahe. Da beim Plasmapanel aber die Umsetzung des elektrischen Bildsignals in Helligkeitssignale in digitaler Form erfolgt, d.h. Helligkeitswerte ergeben sich durch die Anzahl der Einschaltzyklen des einzelnen Bildpunktes pro Zeiteinheit, führt dies zu Bewegungsartefakten (False Contour bedingt durch Subfield-Steuerung).

Die Schwachstellen der LC-Displays waren bisher die Bewegungs- und Schwarzwiedergabe. Im Folgenden soll nun deren Ursachen und mögliche Beseitigung diskutiert werden.

### **Bewegungswiedergabe beim LC-Display:**

Trotzdem man die physikalische Ansprechzeit (Response Time) der Flüssigkristalle unter die Bilddauer gedrückt hatte war die Bewegungswiedergabe immer noch nicht der einer Bildröhre vergleichbar. Deswegen wurde weitere Ursachenforschung betrieben.

Die Bildröhre wird als „Impuls-Type“ Display bezeichnet. Was versteckt sich dahinter? Ein Bildpunkt wird während eines Bildes nur einmal kurz angeregt und klingt dann ab. Beim LC-Display hingegen bleibt der Helligkeitswert jedes Bildpunktes über die ganze Bilddauer konstant erhalten. Deswegen spricht man von einem sogenannten „Hold-Type“ Display. In diesen unterschiedlichen Prinzipien musste die schlechtere Bewegungswiedergabe des LC-Displays wohl zu suchen sein.

Normalerweise wird versucht diese Problematik mittels schematischer Abbildungen (siehe HomeVision Nr. 11/2007) leicht verständlich zu machen. Hier soll aber versucht werden die

Vorgänge aus physikalischer und physiologischer Sicht zu erklären. Lassen Sie uns zunächst den Vorgang anhand des klassischen Weg-Zeit-Diagramms skizzieren. In Abb.1 sehen wir schematisch einen LC-Bildschirm angedeutet. Nehmen wir an, ein weißer Punkt bewegt sich von links nach rechts über den sonst dunklen Bildschirm. Die Wegkoordinate ist also im Vergleich zum klassischen Weg-Zeit-Diagramm in die Horizontale gedreht. Die Zeitachse verläuft von oben nach unten. Bei einer Bewegung aus dem wirklichen Leben würde sich ein Weg-Zeit-Diagramm mit linearem Verlauf ergeben (siehe Abb.2). Das System Auge-Gehirn würde den sich bewegenden Punkt verfolgen und keine Unschärfe bei Bewegung feststellen. Nehmen wir nun den fernsehtechnischen Fall. Eine Bewegung kann nur mittels aufeinanderfolgender Einzelbilder übertragen werden und zwar in Europa mit 50 Bildern oder Bewegungsphasen pro Sekunde. Wie wir in Abb.3 sehen bleibt der Punkt nun für die Dauer eines Bildes (T Bild 1) an derselben Stelle stehen und springt im folgenden Bild (T Bild 2) auf die nächste Position. Dieser Vorgang wiederholt sich bis der Punkt am rechten Bildschirmrand angelangt ist.

Nehmen wir an der Punkt hat sich in der reellen Vorlage in 5 Sekunden von der linken zur rechten Bildschirmseite bewegt, eine Bewegungsgeschwindigkeit die bei Fernsehaufnahmen nicht ungewöhnlich ist. Wenn wir ein LC-Display mit voller HDTV Auflösung betrachten besitzt dieses 1920 Pixel (Bildpunkte) pro Zeile.

Die Geschwindigkeit des Punktes beträgt dann:

$$v = s/t = 1920 \text{ Pixel}/5\text{sec} = 384 \text{ Pixel}/\text{sec}$$

Die Distanz des Punktes von Bild zu Bild ergibt sich aus:

$$s \text{ (Punkt Bild 1 zu Bild 2)} = v \text{ (Punkt)} * t \text{ (Bild)} = 384 \text{ Pixel}/\text{sec} * 1/50 \text{ sec} = 7,7 \text{ Pixel}$$

Ein typisches 42“ (107 cm) HDTV LC-Display besitzt eine waagrechte sichtbare Bildbreite von 930 mm und damit eine Pixelbreite von  $930 \text{ mm} / 1920 = 0,48 \text{ mm}$ .

Damit ergibt sich  $s \text{ (Punkt Bild 1 zu Bild 2 in mm)} = 7,7 \text{ Pixel} * 0,48 \text{ mm} = 3,7 \text{ mm}$ .

Der Punkt erscheint uns in die Breite gezogen. Dies ist der Verschmierungseffekt der vom System Auge-Gehirn, das den Punkt verfolgt, wahrgenommen wird.

Betrachten wir uns nun in Abb.4 die Verhältnisse bei der Bildröhre, die wie eingangs erwähnt die beste Bewegungswiedergabe besitzt. Der dem Bildpunkt entsprechende Phosphor leuchtet nur für weniger als eine tausendstel Sekunde auf und klingt dann rasch ab. Dies ist durch die Punkte im Weg-Zeit-Diagramm angedeutet. Interessanter Weise führt die Lücke von Bildinformation zwischen den Bildern zu keinem wahrnehmbaren Effekt. Im Gegenteil es wird eine kontinuierliche Bewegung wahrgenommen.

Wie ist dies zu erklären?

Eine grundlegende Eigenschaft des menschlichen Sehsystems ist die Scheinbewegung, bekannt als „Phi-Phänomen“. Mit diesem Begriff wird die Wahrnehmung einer nicht existenten Bewegung bezeichnet und wurde erstmals 1912 von Max Wertheimer, dem Begründer der Gestaltpsychologie, beschrieben. Das „Phi-Phänomen“ wird im Labor gewöhnlich mit sehr einfachen Mitteln untersucht. Man benötigt lediglich zwei Lichter, die automatisch so geschaltet werden können, dass kurz nach dem Erlöschen des einen das andere Licht angeht. Was man sieht – vorausgesetzt, der räumliche Abstand zwischen den Lichtern und die Zeitintervalle zwischen ihrem Aufleuchten stimmen – ist ein „einzelnes“ Licht, das sich scheinbar zwischen den aufleuchtenden Lichtern hin- und herbewegt. Diese Phi-Bewegung lässt sich einfach mit der Annahme erklären, dass das Auge-Netzhaut-Gehirn-

System Lücken toleriert, sofern die Sprünge in Raum und Zeit nicht zu groß sind (nach Gregory L., Auge und Gehirn, Psychologie des Sehens) .

Damit lässt sich nun ein Erklärungsmodell entwickeln warum im Fall der Bildröhre das Gehirn gewissermaßen aus den Einzelpunkten der Abb.4 eine kontinuierliche Bewegung „errechnen“ kann, die wir auch bewusst wahrnehmen. Diese Tatsache ist umso interessanter, da unser optisch-elektrischer Wandler im Auge (Netzhaut, Stäbchen, Zäpfchen) sehr träge ist und nur Vorgänge im 20 bis 30 tausendstel Sekunden Abstand unterscheiden (auflösen) kann. Fälschlicherweise wird dies meist als Erklärung angeführt, wenn die Bewegungsempfindung bei Kino und Fernsehen erklärt werden soll. Dieser Effekt ist vielmehr für den „Tiefpasscharakter“ des Systems Auge verantwortlich. D.h. wir sehen ab 70 Bildern pro Sekunde kein Flimmern oder Flackern mehr. Deswegen wurde bei den mechanischen Kinoprojektoren die Umlaufblende und bei den Röhrenfernsehgeräten die 100 Hz-Technik eingeführt.

Wie können wir nun die Bewegungsdarstellung des LC-Displays verbessern. Wie wir gesehen haben toleriert unser Gesichtssinn zeitliche Lücken und interpoliert daraus eine gleichförmige Bewegung. D.h. eine Möglichkeit ergibt sich ähnlich wie bei der Bildröhre das Bild nicht während der ganzen Bilddauer (Frame) zu zeigen.

Folgende Techniken wurden dazu erarbeitet und auch technisch umgesetzt:

#### Geschaltete Hintergrundbeleuchtung (Backlight Scanning).

Die früher umgesetzte Technik der geschalteten Hintergrundbeleuchtung mittels HCFL-Leuchtstoffröhren (Hot Cathode Fluorescence Lamp) wurde nur kurze Zeit eingesetzt. Kosten und Lebensdauer sprachen gegen den generellen Einsatz. Die üblichen in LC-Displays eingesetzten CCFL-Leuchtstoffröhren (Cold Cathode Fluorescence Lamp) lassen sich nicht in der erforderlichen Frequenz schalten. Der durch diese Dunkelphasen auftretende Helligkeitsverlust muss durch eine höhere Spitzenleuchtdichte der HCFLs ausgeglichen werden.

Heute wird die geschaltete Hintergrundbeleuchtung (Backlight Scanning oder blinkende Hintergrundbeleuchtung) mittels LEDs umgesetzt. Mit diesen ergeben sich keinerlei Probleme bezüglich der Lebensdauer.

#### Erhöhung der Bildfrequenz (z.B. auf 75 bis 100 Hz) und Einfügung von Bildern mit nur schwarzem oder grauem Bildinhalt.

Durch die Erhöhung der Bildfrequenz auf 75 bis 100 Hz wird Zeit gewonnen für die Einfügung von Schwarz- oder Grauphasen. Dadurch kommt man auch hier dem „Impulsverhalten“ der Bildröhre näher. Es ergeben sich die „Stützstellen“ aus denen das Gehirn die gleichförmige Bewegung interpoliert. Aufgrund der Nachteile dieser Technik, wie Helligkeitsverlust und Großflächenflimmern, wurde und wird diese Technik nur in Geräten mit einfacheren IC-Konzepten eingesetzt.

#### Verdopplung der Bildfrequenz verbunden mit der Berechnung und Einfügung von neuen Bewegungsphasen (Motion Estimation / Motion Compensation).

Dies ist die High End Klasse der Techniken zur Beseitigung der Bewegungsunschärfe bei LC-Displays. Hierbei wird die Bildfrequenz auf 100 Hz verdoppelt und in die entstandenen Lücken wird eine neu errechnete Bewegungsphase eingefügt. Erst durch den Einsatz von

modernen, sehr schnellen und hochleistungsfähigen Videosignalprozessoren konnte diese Technik auch bei HDTV LC-Displays (HDready 1080p) eingesetzt werden.

Sehen wir uns diese Technik im Weg-Zeit-Diagramm der Abb.5 an.

Wie wir schon in Abb.3 gesehen haben bleibt auch in Abb.5 der Punkt für die Dauer eines Bildes (Frame) an derselben Stelle stehen. Die Zeitdauer T des Bildes ist aber von 20 Tausendstel Sekunden (50 Hz) auf 10 Tausendstel (100 Hz) verkürzt. Während der Dauer T-Bild 1\* in Abb.5 wird eine neu errechnete Bewegungsphase eingefügt.

Nehmen wir wieder an der Punkt hat sich in der reellen Vorlage in 5 Sekunden von der linken zur rechten Bildschirmseite bewegt. Wir betrachten wieder ein LC-Display mit voller HDTV Auflösung also 1920 Pixel (Bildpunkte) pro Zeile.

Die Geschwindigkeit des Punktes beträgt dann:

$$v = s/t = 1920 \text{ Pixel}/5\text{sec} = 384 \text{ Pixel/sec}$$

Die Distanz des Punktes von Bild zu Bild ergibt sich nun mit T Bild 1/100 Sekunde (100 Hz):

$$s (\text{Punkt Bild 1 zu Bild 1*}) = v (\text{Punkt}) * t (\text{Bild}) = 384 \text{ Pixel/sec} * 1/100 \text{ sec} = 3,8 \text{ Pixel}$$

Setzen wir ein typisches 42" (107 cm) 100 Hz HDTV LC-Display voraus ergibt sich wieder eine Pixelbreite von  $930 \text{ mm} / 1920 = 0,48 \text{ mm}$ .

Damit erhält man für s (Punkt Bild zu Bild in mm) =  $3,8 \text{ Pixel} * 0,48 \text{ mm} = 1,8 \text{ mm}$ .

Wir sehen dass der wahrgenommene Verschmierungseffekt im Vergleich zur üblichen 50 Hz Bildfrequenz halbiert und damit bei normalen Betrachtungsabständen nicht mehr erkennbar ist.

#### Vervierfachung der Bildfrequenz verbunden mit der Berechnung und Einfügung von neuen Bewegungsphasen (Motion Estimation / Motion Compensation).

Dies ist die Premium oder Königsklasse der Techniken zur Beseitigung der Bewegungsunschärfe bei LC-Displays. Hierbei wird die Bildfrequenz auf 200 Hz vervierfacht und in die entstandenen Lücken wird eine neu errechnete Bewegungsphase eingefügt.

Nach dem oben angegebenen Verfahren und Bedingungen ergibt sich nun für das 42" 200 Hz HDTV LC-Display  $s (\text{Punkt Bild zu Bild in mm}) = 1,9 \text{ Pixel} * 0,48 \text{ mm} = 0,9 \text{ mm}$ .

Wir sehen dass der wahrgenommene Verschmierungseffekt im Vergleich zur 100 Hz Bildfrequenz halbiert und damit auch bei näheren Betrachtungsabständen nicht mehr erkennbar ist.

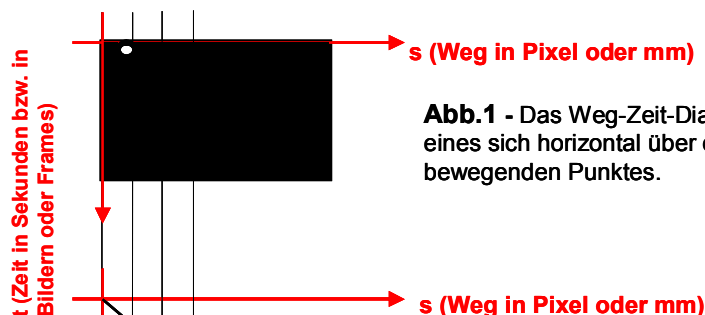
#### **Schwarzwiedergabe beim LC-Display:**

Das LC-Display basiert auf dem Lichtventilprinzip, d.h. die Hintergrundbeleuchtung ist fortwährend eingeschaltet und die Helligkeitssteuerung erfolgt durch die Flüssigkristalle. Dieses Lichtventilprinzip hat aber zur Folge, dass im dunklen Raum noch geringfügiges Restlicht zu sehen ist. Zur Verbesserung der Schwarzwiedergabe wurden nun Regelschaltungen eingeführt, die abhängig vom Bildinhalt die Hintergrundbeleuchtung dunkel steuern. Dies verbessert zwar die Schwarzwiedergabe reduziert aber den Kontrastumfang des Bildes, denn die hellen Stellen müssen zwangsläufig dunkler werden wenn die Hintergrundbeleuchtung abgeschwächt wird. Abhilfe wird hier in Zukunft die LED

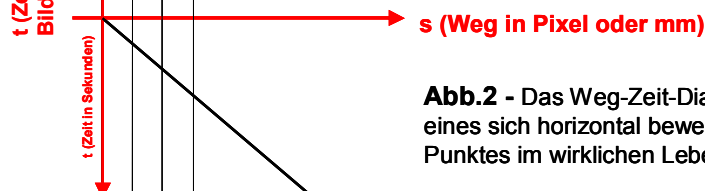
Hintergrundbeleuchtung mit lokaler Dimmung (local dimming) bringen. Da sich 2 Millionen LEDs, also für jedes Pixel eine LED, sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus räumlichen Gründen nicht realisieren lassen, teilt man das Bild in LED-Blöcke auf. Beispielsweise wurden in einer Realisierung 64 Blöcke mit je 10 LEDs gewählt also insgesamt 640 LEDs. Nun kann man unter Auswertung des Bildsignals in dunklen oder ganz schwarzen Bildbereichen die LEDs gezielt „dimmen“ bzw. ganz ausschalten ohne dass in den hellen Bildbereichen die Spitzenleuchtdichte (Helligkeit) zurückgeht.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass bei Einsatz der 100 / 200 Hz-Technik kombiniert mit Motion Compensation und der Einführung von lokaler Dimmung die letzten Schwachstellen der LC-Display-Technologie im Vergleich zur guten alten Bildröhre vermieden werden können. Der flache Bildschirm an der Wand ist der naturgetreuen Wiedergabe wieder ein sehr großes Stück näher gekommen.

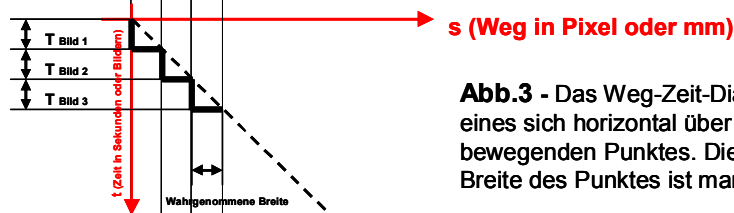
Der Teil 2 meines Technik-Essays „Die räumliche Bildwiedergabe“ handelt davon, wie den hochauflösenden Bildern nun noch die dritte Dimension der realen hinzugefügt werden kann. Dabei wird auch auf die physiologischen Grundlagen eingegangen.



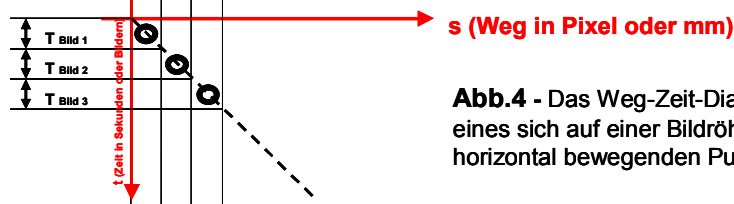
**Abb.1** - Das Weg-Zeit-Diagramm eines sich horizontal über den Bildschirm bewegenden Punktes.



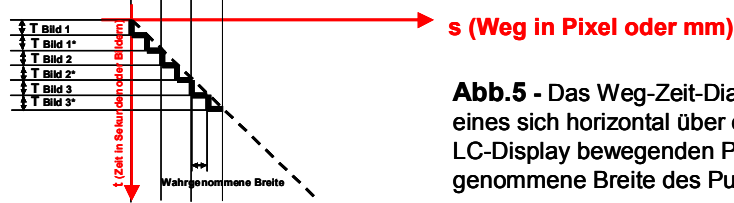
**Abb.2** - Das Weg-Zeit-Diagramm eines sich horizontal bewegenden Punktes im wirklichen Leben.



**Abb.3** - Das Weg-Zeit-Diagramm eines sich horizontal über ein LC-Display bewegenden Punktes. Die wahrgenommene Breite des Punktes ist markiert.



**Abb.4** - Das Weg-Zeit-Diagramm eines sich auf einer Bildröhre horizontal bewegenden Punktes.



**Abb.5** - Das Weg-Zeit-Diagramm eines sich horizontal über ein 100 Hz LC-Display bewegenden Punktes. Die wahrgenommene Breite des Punktes ist markiert.