

Diplomarbeit

Entwicklung der Displaytechnologie im Video- und Filmbereich

Ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades eines

Dipl.-Ing. (FH) für Telekommunikation und Medien

am Fachhochschul-Diplomstudiengang Telekommunikation und Medien St. Pölten

unter der Leitung von

Prof. Dr. Ing. Jakob Wassermann

ausgeführt von

Max Göbel

Tm0110038027

Wien, am 06.06.2005

Unterschrift:

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass

- ich diese Diplomarbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im Inland noch im Ausland einem Begutachter/einer Begutachterin zur Beurteilung oder in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Diese Arbeit stimmt mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit überein.

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	- 1 -
KURZFASSUNG	- 6 -
ABSTRACT	- 7 -
1 / EINFÜHRUNG.....	- 8 -
I / DISPLAYTECHNOLOGIEN	- 9 -
2 / CRT	- 10 -
2.1 ALLGEMEIN	- 10 -
2.2 TECHNIK	- 11 -
2.2.1 Bildmasken.....	- 14 -
2.2.2 Interlaced und Non-Interlaced	- 17 -
2.3 EIGENSCHAFTEN	- 17 -
2.3.1 Bilddiagonale.....	- 17 -
2.3.2 Auflösung	- 18 -
2.3.3 Konvergenzfehler, Verzerrungen, Neigung und Fokussierung	- 18 -
2.3.4 Bildwiederholfrequenz (Vertikalfrequenz oder Refresh)	- 19 -
2.3.5 Zeilenfrequenz (Horizontalfrequenz)	- 19 -
2.3.6 Videobandbreite	- 19 -
2.3.7 Farbbereich	- 20 -
2.4 ENTWICKLUNG.....	- 20 -
3 / LCD	- 21 -
3.1 ALLGEMEIN	- 21 -
3.2 TECHNIK	- 22 -
3.2.1 Grundlagen von LCDs.....	- 22 -
3.2.2 LCD Aufbau.....	- 23 -
3.2.3 Lichtweg.....	- 24 -
3.2.4 Arten von LCDs	- 28 -
3.2.5 Beleuchtung	- 29 -
3.2.6 TN, STN und FSTN – LCDs	- 30 -
3.2.7 TN, IPS und MVA.....	- 31 -

3.3 EIGENSCHAFTEN	- 35 -
3.3.1 Helligkeit.....	- 35 -
3.3.2 Reaktionszeit bzw. Latenzzeit (Response Time, Latency)	- 36 -
3.3.3 Betrachtungswinkel und Kontrastverhältnis.....	- 36 -
3.3.4 Pixelfehler.....	- 38 -
3.3.5 Bilddiagonale.....	- 39 -
3.3.6 Auflösung und Pixelabstand	- 40 -
3.3.7 Skalierungsfehler.....	- 40 -
3.3.8 Farbbereich & Dithering.....	- 41 -
3.4 ENTWICKLUNG UND EINSATZGEBIET	- 43 -
4 / PLASMA	- 45 -
4.1 ALLGEMEIN	- 45 -
4.2 TECHNIK	- 45 -
4.2.1 Grundlagen.....	- 45 -
4.2.2 Pixelaufbau.....	- 47 -
4.3 EIGENSCHAFTEN	- 49 -
4.3.1 Farben und Bildqualität	- 49 -
4.3.2 Betrachtungswinkel	- 51 -
4.3.3 Kontrastverhältnis.....	- 51 -
4.3.4 Helligkeit.....	- 51 -
4.3.4 Bilddiagonale.....	- 51 -
4.3.5 Auflösung und Pixelabstand	- 52 -
4.3.6 Betrachtungsabstand	- 52 -
4.4 ENTWICKLUNG.....	- 53 -
5.1 / LED	- 54 -
5.1 ALLGEMEIN	- 54 -
5.2 TECHNIK	- 55 -
5.2.1 Aufbau einer LED	- 57 -
5.2.2 Innenanwendungen:.....	- 59 -
5.2.3 Außenanwendungen:	- 60 -
5.3 EIGENSCHAFTEN	- 60 -
5.4 ENTWICKLUNG.....	- 61 -

6 / O-LED:	- 62 -
6.1 ALLGEMEIN	- 62 -
6.2 TECHNIK	- 62 -
6.3 EIGENSCHAFTEN	- 64 -
6.4 ENTWICKLUNG.....	- 64 -
7 / ELEKTRONISCHE TINTE:	- 65 -
7.1 ALLGEMEIN	- 65 -
7.2 TECHNIK	- 66 -
7.2.1 Elektronischer Tinte.....	- 66 -
7.2.2 Photonische Tinte.....	- 67 -
7.3 EIGENSCHAFTEN & ENTWICKLUNG	- 68 -
II / PROJEKTIONSTECHNOLOGIEN	- 71 -
8 / D-ILA (LCOS) PROJEKTOR	- 72 -
8.1 ALLGEMEIN	- 72 -
8.2 TECHNIK	- 72 -
8.2.1 Aufbau eines D-ILA Projektors	- 72 -
8.2.2 D-ILA Chip.....	- 73 -
8.2.3 Polarization Beam Splitter	- 75 -
8.2.4 Lichtweg und Bildaufbau	- 77 -
8.3 BILDEIGENSCHAFTEN	- 79 -
8.4 EIGENSCHAFTEN	- 81 -
8.5 ENTWICKLUNG.....	- 83 -
9 / LASER PROJEKTOR	- 85 -
9.1 ALLGEMEIN	- 85 -
9.2 TECHNIK	- 85 -
9.3 EIGENSCHAFTEN	- 86 -
9.4 ENTWICKLUNG.....	- 87 -
10 / RÖHRENPROJEKTOR	- 88 -
10.1 ALLGEMEIN	- 88 -
10.2 TECHNIK	- 88 -

10.3 EIGENSCHAFTEN	- 90 -
10.4 ENTWICKLUNG.....	- 91 -
11 / LCD PROJEKTOR.....	- 92 -
11.1 ALLGEMEIN	- 92 -
11.2 TECHNIK	- 92 -
11.2.1 Single TFT – LCD Technik	- 92 -
11.2.2 Polysilizium – LCD – Technik	- 93 -
11.2.3 Drei – TFT – Panel – Technologie.....	- 94 -
11.3 EIGENSCHAFTEN	- 95 -
11.4 ENTWICKLUNG.....	- 96 -
12 / DLP- / DMD – PROJEKTOR.....	- 97 -
12.1 ALLGEMEIN	- 97 -
12.2 TECHNIK	- 97 -
12.2.1 1 DMD – Chip.....	- 97 -
12.2.3 Drei DMD – Chips	- 100 -
12.3 EIGENSCHAFTEN	- 101 -
12.4 ENTWICKLUNG.....	- 102 -
13 / PROJEKTIONSLAMPEN.....	- 103 -
13.1 ALLGEMEIN	- 103 -
13.2 LAMPENARTEN	- 103 -
13.2.1 Halogenlampen	- 103 -
13.2.2 Metaldampf lampen	- 103 -
13.2.3 Xenon – Hochdrucklampen	- 103 -
13.2.4 UHP, UHE, VIP, und SHP Lampen	- 104 -
13.3 AUSLEUCHTUNG	- 105 -
13.3.1 Integrationslinse	- 105 -
13.4 FARBTEMPERATUR.....	- 106 -
13.4.1 Kelvin	- 106 -
13.5 LAMPENLEBENSDAUER.....	- 106 -
13.6 LAMPENKOSTEN	- 107 -
13.7 ENTWICKLUNG.....	- 108 -

III / EXPERIMENT	- 110 -
14.1 VERSUCHSAUFBAU	- 110 -
14.2 VERSUCHSERKLÄRUNG	- 111 -
14.3 ERGEBNISVERGLEICH.....	- 111 -
14.4 ERKENNTNIS	- 116 -
15 / ZUSAMMENFASSUNG	- 119 -
ANHANG A	- 120 -
QUELLEN- UND LITERATURVERZEICHNIS	- 120 -
WEBLINKVERZEICHNIS	- 121 -
ANHANG B	- 123 -
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	- 123 -
TABELLENVERZEICHNIS	- 125 -
ANHANG C	- 126 -
GLOSSAR	- 126 -

Kurzfassung

Der Unterschied der verschiedenen Projektions- und Displaytechnologien ist heutzutage enorm groß. Technologien wie CRT, Plasma, LCD, LED und andere, werden in ihrem Aufbau, ihrer Funktionsweise und Technik genau erklärt. Einsatzgebiete und Entwicklung runden das Gesamtbild der einzelnen Techniken ab, um die Erkenntnis des eigenen Anwendungsbereichs zu erkennen. Ein praktischer Versuch veranschaulicht die Unterschiede der Qualität einiger Technologien, sowie den Vergleich zur Theorie.

Technische Aspekte und Daten wurden von Herstellern und Fachmagazinen entnommen. Erkenntnisse über Einsatzgebiete und Praxisverhalten sind vorwiegend aus Erfahrungsberichten, Versuchen, eigenen Eindrücken und Umfragen entnommen worden.

Allgemein wird gesagt, dass die Röhrentechnik früher oder später keine Marktanteile mehr besitzen wird. LCDs und Plasma – Displays erfahren eine derart rasche Entwicklung, dass sie qualitativ an die Röhrentechnik bald anschließen werden. Der Trend geht allerdings auch in Richtung Platz sparen und Raumbildverschönerung, was der Röhre aufgrund ihrer klobigen Form nicht zugute kommt.

Abstract

These days there is a huge difference between various beamer technologies and display technologies. Technologies such as CRT, Plasma, LCD, LED and many others will be explained in detail in their assembly, operating mode and technics. In addition development and application areas present the overall picture of these technologies to help users decide which product would fit the most to their personal needs. Finally a test reveals the differences of quality and theory of the displays and beamers.

Various Data and technical aspects were taken from manufacturers and professional magazines. Conclusions about application areas and practical behaviour were gathered from trials, experiences and surveys.

In general there is no need to lie about losing market shares in the field of cathode ray tubes. This is because LCDs and plasma displays grow very quickly in their development, and their picture quality will reach CRT displays soon. Besides this other determining factors such as space-saving and embellishing possibilities are leading and trendsetting which makes it difficult for CRT technology to compete with.

1 / Einführung

Die Entwicklung im Bereich der Display- und Projektionstechnologien im Video- und Filmbereich ist eine sehr schnelle und kurzlebige. Die heutigen Technologien sind sehr vielfältig und am Markt weit verbreitet. Alle bauen auf komplizierten und unterschiedlichen Phänomenen auf, wobei Konsumenten oftmals mit dieser Fülle an neuen Techniken und Entwicklungen wenig anfangen können.

Es wird daher ein genauer Überblick erstellt, der den Stand der Technik, die Einsatzmöglichkeiten und die Entwicklungsperspektiven widerspiegeln soll. Eine Veranschaulichung aller Vor- und Nachteile der Displaytechnologien, vom Röhrenmonitor über LCD und Plasma, bis hin zu Elektronischer Tinte, zeigt weiters auch die Stärken und Schwächen gegenüber der Konkurrenz auf. Ein Versuch im letzten Kapitel bringt dann einen Aufschluss über den qualitativen Unterschied der Displays und ihren theoretischen Daten.

Diese Arbeit soll nun als Überblick und eventuelle Kaufentscheidungshilfe dienen. Komplizierte technische Fachbegriffe und Funktionsweise werden genau erklärt, um ein verständliches Gesamtbild der Displaytechnologien zu bekommen. Der Leser sollte danach in der Lage sein, aufgrund aller dargelegten Fakten, selbst die richtige Entscheidung treffen zu können, einen Bildschirm, Fernseher oder Beamer, auf seine Bedürfnisse abgestimmt, zu kaufen.

Alle Erkenntnisse und Daten werden empirisch aufgearbeitet, mit White Papers, Fachbüchern, Fachmagazinen und Herstellerdaten verglichen, ergänzt und ausgewertet. Da hinsichtlich der Versprechungen von Herstellern die Praxis öfters ganz anders aussieht, wird ein Teil der Erkenntnisse auch nur über Erfahrungsberichte und Versuche erzielt, die dann die wahren Stärken und Schwächen bei Displaytechnologien herauskristallisieren.

I / Displaytechnologien

Die neuen Displaytechnologien sind im Vormarsch und wollen andere Marktführer von ihrer Vormachtstellung verdrängen. Die alte Röhrentechnik, die immer noch in manchen Anwendungsbereichen unerlässlich ist, bekommt starke Konkurrenz von der LCD- und Plasmatechnik. Viele Anwender steigen schon auf Flachbildschirme um, da diese im normalen Officebereich völlig ausreichend sind. Das Preis- / Leistungsverhältnis wird zunehmend besser und der Kauf eines Röhrenmonitors oder eines Röhrenfernsehers wird immer unattraktiver. Obwohl die Technik der neuen Displaytechnologien noch lange nicht ausgereift ist, rücken diese aber in Sachen Qualität und Reaktionszeit immer näher.

Obwohl der Konkurrenzkampf immer härter wird, sind jedoch die Einsatzgebiete der einzelnen Technologien unterschiedlich. LCD – Fernseher sind derzeit noch nicht optimal zum eigentlichen Fernsehen geeignet, da es noch Probleme mit Bildqualität und Betrachtungswinkel gibt. Dafür eignet sich die LCD – Technologie wesentlich besser für Computeranwendungen, und mittlerweile auch schon zum Spielen.

Die nachfolgenden Kapitel erläutern nun den Aufbau, die verantwortlichen Techniken, die Eigenschaften und die Einsatzgebiete.

2 / CRT

2.1 Allgemein

Im 19. Jahrhundert entdeckte C. May die Lichtempfindlichkeit des Selens. Dies ermöglichte elektrische Ströme in Abhängigkeit von der Lichtintensität zu steuern. 1884 konnte Paul Nipkow auf dieser Erfindung ein Patent für die Bildzerlegung und Reduktion der großen Informationsflut, die mit der Bewegtbildübertragung zusammenhängt, anmelden. So wurde das Bild nach Nipkow zeilenweise abgetastet und zerlegt. Er behalf sich dieser Technik mittels einer drehbaren Lochscheibe, der Nipkow-Scheibe*.

1920 war dies der Anstoß für weitere Fernsehforschungen, wobei die Nipkow-Scheibe* erstmals auch professionell eingesetzt wurde. Diese Entwicklung zielte vor allem auf eine verbesserte Bildqualität.

1935 wurde in Deutschland der weltweit erste Fernsehdienst mit einer 180 Zeilen Norm ins Leben gerufen. Ohne Einsatz einer elektronischen Kamera wurden mittels der Nipkow-Scheibe* Live-Übertragungen gesendet. Damals diente der Film als Zwischenstufe vor der Bildwandlung für alle aktuellen Beiträge, da der alleinige Einsatz der Nipkow-Scheibe* sehr aufwändig war.

Bis zur Erfindung des Videorecorders war Film auch das wichtigste Speichermedium. Die erste elektronische Kamera, das Ikonoskop*, wurde dann 1936 vorgestellt. Mittels der Braunschen Röhre* konnten nun alle mechanischen Elemente aus Bildwandlungssystemen entfernt werden.

Durch den Krieg behindert, geriet die Fernsehentwicklung später ins stocken. In den USA wurde die bis heute verwendete 525 Zeilenorm entwickelt (1941). 1953 erfand man das vollelektronische NTSC-System*. Diese Entwicklung wurde dann von den USA und Japan übernommen. Wegen der schlechten Farbqualität wurden in Europa und Frankreich zwei andere Systeme eingeführt, das PAL-System* und das SECAM-Verfahren*. 1967 begann dann die regelmäßige Ausstrahlung von PAL-Sendungen* in Deutschland.

In den folgenden Jahrzehnten spielte die Bildauflösung eine immer größere Rolle. Doch auch die Verbesserungen durch die analogen Technik wurden immer mehr in den Hintergrund gerückt als die Digitaltechnik zum Vorschein kam. Dadurch entstanden nun neue Möglichkeiten von unterschiedlichsten Displaytechniken, die die herkömmliche Röhrentechnik ersetzen sollten (*vgl. Schmidt, S. 1-3*).

Langsam aber doch verliert der klassische Röhrenmonitor, aufgrund der fortschrittlich digitalen Displaytechnologien, Marktanteile. Aus einer Marktstudie der GfK Handelsforschung geht dennoch hervor, dass CRT – Monitore (engl. CRT = Cathode Ray Tube) in Deutschland noch einen Marktanteil von 65 % besitzen. Viele Bereiche sind auf diese Technik noch angewiesen, wie zum Beispiel multimediale Anwendungen, CAD / CAM Applikationen sowie Desktoppublishing (DTP). Farbspektrum, Bildqualität, Helligkeitsverteilung und Blickwinkel sind die Hauptfaktoren für diese Arbeitsbereiche. Auch wenn LCD- (Liquid Crystal Display), Plasma- und Projektionstechniken schon große Fortschritte gemacht haben, weisen sie überall noch Schwächen auf, mit denen ein Röhrenmonitor nicht mehr zu kämpfen hat. Des Weiteren ist das PreisLeistungsverhältnis eines CRT – Monitors wahrscheinlich noch immer das Beste, falls der höhere Strom- und Platzverbrauch verkraftet werden kann. Einen hochwertigen 19“ CRT – Monitor erwirbt ein Konsument heutzutage bereits um 250 € - 300€ kaufen, wobei ein hochwertiger LCD – Flachbildschirm mit gleicher Sichtdiagonale erst ab 600 € - 700 € zu erwerben ist.

2.2 Technik

Ein klassischer Röhrenmonitor (engl. CRT = Cathode Ray Tube, dt. = Kathodenstrahlröhre) arbeitet mit dem Raster – Scan – Prinzip. Hier wird von einer Elektronenkanone ein Elektronenstrahl auf die Bildröhre „geschossen“ welcher zeilenweise alle Bildinformationen wiedergibt.

Im Detail wird jetzt eine Kathode mittels Heizdrahts erhitzt und schickt somit eine Elektronenwolke aus. Der Wehnelt – Zylinder* kann diese Wolke nun in einen Elektronenstrahl umwandeln, indem er sie durch eine kleine Öffnung schickt. Je größer das angelegte Potential am Zylinder ist, desto intensiver wird der Elektronenstrahl. Diese Elektronen werden dann von der Anode abgesaugt und

werden dadurch in Richtung Bildschirm weitergeleitet. Um dies zu erreichen werden an der Anode mehrere 10000 Volt (V) angelegt. Trotz Wehnelt – Zylinder* ist der Elektronenstrahl aber noch zu diffus, um Bilder erzeugen zu können. Deswegen trifft dieser, nach der Anode, auf eine Fokussiereinheit, die ebenfalls eine Blende mit Potential besitzt. Der gebündelte Elektronenstrahl (negativ geladene Elektronen) wird dann mittels eines elektrischen bzw. magnetischen Feldes abgelenkt, das durch elektromagnetische Ablenkspulen aufgebaut wird. Auf diese Weise wird der Strahl nun zeilenweise abgelenkt, wobei am Ende jeder Zeile die Intensität des Strahls auf Null zurückgeht, um beim Rücklauf zur nächsten Zeile nicht sichtbar zu sein. Wenn alle Zeilen geschrieben worden sind, läuft der Elektronenstrahl diagonal über den Bildschirm zurück in die erste Zeile, um mit dem weiteren Aufbau eines neuen Bildes beginnen zu können (siehe Abb. 3.1.).

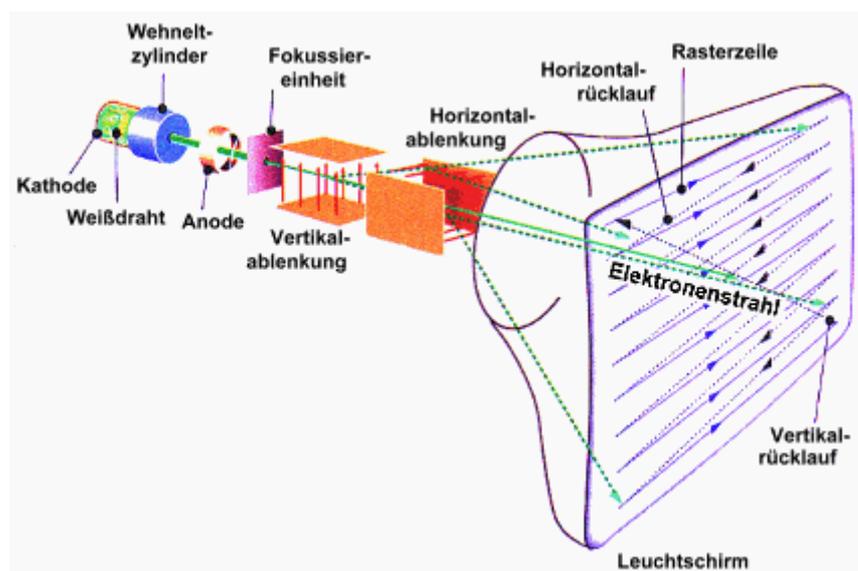


Abb. 2.1. – Aufbau einer Kathodenstrahlröhre (Quelle: <http://www-user.tu-chemnitz.de/~kunze/monitor/monitor.html>)

Um diese Information darstellen zu können, sind Phosphore, eine Art Leuchtschicht (auch Lochmaske genannt), in der Bildröhre angebracht, welche durch den Elektronenstrahl zum Leuchten angeregt werden. Diese Lochmaske ist ähnlich wie ein Sieb aufgebaut. Hier wird Licht durch die einzelnen Löcher gelassen, wobei Helligkeit bzw. Farbe oder schwarz genau geregelt werden können (siehe Kapitel 3.2.1) (vgl. *Olschbauer*, S.8-22).

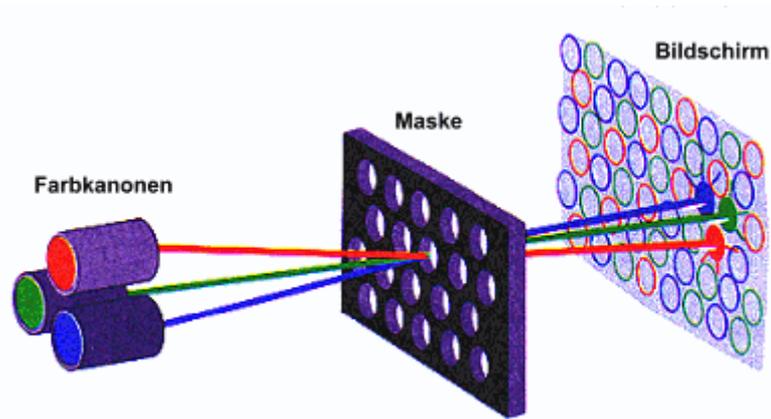


Abb. 2.2. – Funktion einer Lochmaske (Quelle: <http://www-user.tu-chemnitz.de/~kunze/monitor/monitor.html>)

Farben werden durch additive Mischung der Phosphore aus den drei Grundfarben erzeugt, für welche je ein Elektronenstrahl (Elektronenkanone, bei der Colorbildröhre "Farbkanone") notwendig ist. Ablenkspulen bringen die Strahlen an die richtige Stelle des Bildschirms, damit so das korrekte Bild entsteht. Dieser Vorgang dann zwischen 60 und 120-mal pro Sekunde wiederholt. Eine Wiederholung der Frequenz unter 75Hz nimmt das menschliche Auge als Flimmern wahr. Dies kann zu Kopfschmerzen und zu Sehschwäche führen (vgl. www.windows-tweaks.info/html/tft-technik.html, 01/2004).

Um eine hohe Bildwiederholrate gewährleisten zu können, sind verschiedene aufeinander abgestimmte Komponenten notwendig. Eine Auflösung von 1280x1024x3 zum Beispiel benötigt schon eine optimal konstruierte Elektronik verbunden mit hochqualitativen Einzelkomponenten, die bei 100 Hz einen fehlerfreien Bildaufbau erzeugen kann. Billige Monitore haben oft Probleme solche hohen Auflösungen und Bildwiederholraten anzuzeigen, da das Zusammenspiel der Komponenten nicht richtig funktioniert und sie dadurch Geometriefehler und Unschärfe produzieren.

Diese Bildwiederholrate ist bei CRT – Displays ein großer Schwachpunkt, den LC – Displays nicht kennen. Ihre Technik beruht auf Aktualisierung bei Pixeländerung (siehe Kapitel 3.3.6.). Das heißt sie verharren solange in ihrem Zustand bis es eine Änderung geben sollte (vgl. www.windows-tweaks.info/html/tft-technik.html, 01/2004; Pfeifer, S. 493-494).

Viele CRT – Monitore arbeiten bereits mit einer neueren Technik, nämlich der Flat Panel Technik. Durch die gerade Oberfläche wird eine verzerrungsfreie Darstellung und eine geringere Reflexion von Umgebungslicht gewährleistet.

2.2.1 Bildmasken

In aktuellen Monitoren können drei verschiedene Arten von Bildmasken vorkommen, die für den richtigen Aufbau des Bildes zuständig sind:

- **Lochmaske**

Eine Lochmaske, auch Schattenmaske genannt, ist notwendig, um die Elektronenstrahlen richtig abzulenken. Sie sitzt etwa 20mm hinter dem Bildschirm (siehe Abb. 2.2.) und besitzt die gleiche Anzahl an Löchern wie Phosphor – Tripel auf dem Bildschirm angebracht sind. Der Elektronenstrahl kann durch die Lochmaske nur die Leuchtpunkte seiner eigenen Farbe treffen. Damit alle drei Elektronenstrahlen ein Bild in bestimmter Auflösung und Farbgebung aufbauen können, müssen Konvergenz und Lochmaskenabstand (DOT-Pitch) bestimmte Bedingungen erfüllen (vgl. www.bet.de/lexikon; www.miszalok.de/Lectures/L09_Displays/D1_CRT/CRT_deutsch.htm):

- **Konvergenz**

Dies ist gegeben wenn alle drei Elektronenstrahlen durch ein Loch der Lochmaske hindurchgehen. Weiters fällt jeder Strahl auf den zugewiesenen Leuchtpunkt (vgl. www.bet.de/lexikon/).

- **Lochmaske (Dot – Pitch)**

Der Dot – Pitch gibt den Abstand zwischen zwei Öffnungen der Lochmaske an. Umso geringer dieser Abstand ist, umso höher ist auch die Auflösung des Monitors.

Die höchste physikalische Auflösung die sich aus einem Dot – Pitch von 0,25mm ergibt wäre 1280x1024. Um diese errechnen zu können, werden

die sichtbaren Bildschirmabmessungen ermittelt und dividiert diese durch den Lochmaskenabstand.

Beispiel: 19" Monitor – Bildschirmbereich BxH = 418mm x 378mm

$418 : 0,25 = 1672 \text{ Pixel}$

$378 : 0,25 = 1512 \text{ Pixel}$

Eine Auflösung von 1400x1050 könnten nun ohne Probleme dargestellt werden. Alles was über 1672x1512 hinausgeht würde als eine Unschärfe am Bildschirm wiedergegeben werden.

Generell gelangen nur ungefähr 18% der Elektronenstrahlen durch die Lochmaske auf den Bildschirm. Der Rest fällt auf die Maske und wird in Wärme umgesetzt. Eine Lochmaskenaufhängung mit Bimetallfedern verhindert eventuelle Farbfehler, die dadurch entstehen können.

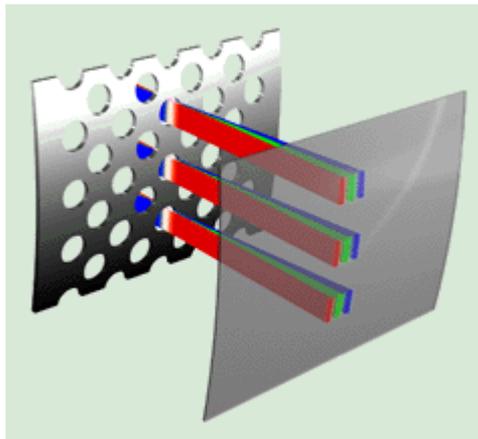


Abb. 2.3. – horizontal und vertikal gewölbte Lochmaske (Quelle: <http://www-user.tu-chemnitz.de/~kunze/monitor/monitor.html>)

Die Lochmaske ist horizontal und vertikal gewölbt (siehe Abb. 2.3.). Die Vorteile einer Lochmaske sind die Dreieckspixel, die schräge Linien ohne Treppeneffekt anzeigen, wobei aber horizontale und vertikale Linien nicht mehr ganz scharf wirken. (vgl. www.miszalok.de/Lectures/L09_Displays/D1_CRT/CRT_deutsch.htm).

- **Streifenmaske**

Diese Bildmaske wurde von Sony entwickelt und zeichnet sich durch vollere Farben und höhere Lichtintensität aus. Die Maske besteht aus einem vertikalen Drahtgeflecht. Nachteile sind hier die geringe Schärfe in vertikaler Richtung und die entstehenden Moiré – Muster* (vgl. www.de.tomshardware.com/display/20020329/crt-19zoll-vergleichstest-03.html, 03/2002).

- **Schlitzmaske**

Die Schlitzmaske ist eine Kombination aus Streifenmaske und Lochmaske. Sie ist eine Art Punktmaske und ihre Öffnungen sind streifenförmig, wobei hier eine höhere Lichtausbeute und eine erhöhte Bildstabilität erzielt werden kann (vgl. www.de.tomshardware.com/display/20020329/crt-19zoll-vergleichstest-04.html, 03/2002).

- **Trinitron**

Eine Trinitronmaske (siehe Abb. 2.4.) besitzt ein hauchdünnes Eisenblech mit vertikal eingeätzten Schlitzten. Die Lichtdurchlässigkeit ist hier um ca. ein Drittel höher als bei einer Lochmaske und produziert dadurch hellere und kontraststärkere Bilder. Die Trinitronmaske ist nur horizontal gewölbt und besitzt einen eigenen Rahmen für das Gitter. Um diese heikle Konstruktion noch besser schützen zu können, befinden sich zwei Haltedrähte auf der Maske, welche auf dem Bildschirm als zwei dünne senkrechte Streifen zu sehen sind. Die Leuchtschicht selbst besteht aus senkrechten Phosphorstreifen.

Die Trinitronröhre bietet scharfe, kontrastreiche und helle Bilder. Aufgrund der viereckigen Pixel ist ein Treppeneffekt sichtbar und die zwei Haltedrähte sind bei hellem Hintergrund leicht gräulich zu erkennen (vgl. www.de.tomshardware.com/display/20020329/crt-19zoll-vergleichstest-03.html, 03/2002).

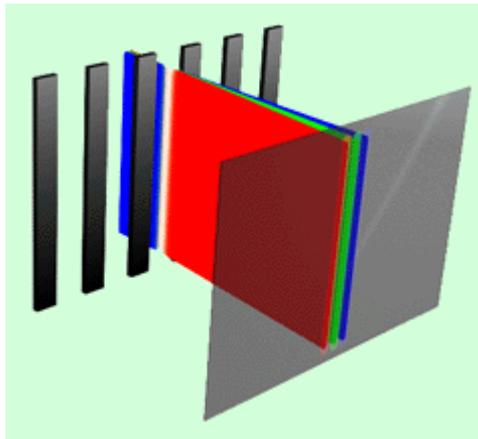


Abb. 2.4. – Funktion der Trinitronmaske (Quelle: <http://www-user.tu-chemnitz.de/~kunze/monitor/monitor.html>)

2.2.2 Interlaced und Non-Interlaced

Interlaced und Non – Interlaced sind die zwei Darstellungsmodi eines Monitors. Der non – interlaced Modus ist die zeilenweise Darstellung des Bildes. Manche Monitore können bei zu hohen Auflösungen und einer bestimmten Horizontalfrequenz (siehe Kapitel 2.3.5. und 2.3.6.) nicht mehr non – interlaced arbeiten und schalten somit in den interlaced Modus. Dieser Modus baut zwei Halbbilder hintereinander auf und führt zum Flackern des Monitorbildes. Dies führt zu schneller Ermüdung der Augen.

2.3 Eigenschaften

Gute Monitore haben neben hohen Auflösungen und exakter Bildgeometrie auch noch viele weitere Einstellmöglichkeiten, wie zum Beispiel Bildpositionsänderungen und Farbraumänderungen. In Abhängigkeit der individuellen Einstellungen gestaltet sich der Verkaufspreis. Dennoch sind sie durch ihr selbstleuchtendes Prinzip, der Bildqualität und der blickwinkelunabhängigen Kontrast- und Farbveränderung, die Monitore mit dem besten PreisLeistungsverhältnis.

2.3.1 Bilddiagonale

Aufgrund der technischen Bauweise einer Kathodenstrahlröhre haben Röhrenmonitore immer eine kleinere sichtbare Diagonale (ungefähr zwei Zoll*

weniger), als die Röhrendiagonale tatsächlich groß ist. Ein 19“ Monitor besitzt daher eine sichtbare Bilddiagonale von 17“.

2.3.2 Auflösung

Elektronenstrahlen haben den Vorteil sich durch Veränderung der Ablenkspannungen an andere Auflösungen anzupassen zu können. Landet ein Strahl zwischen den Pixel, würde dies das menschliche Auge gar nicht wahrnehmen. Die Auflösung eines Monitors (gilt auch für alle anderen Arten von Displaytechnologien) ergibt sich aus den waagrechten und senkrechten Bildpunkten (Pixel), aus denen sich das Monitorbild zusammensetzt. 1024x768 entspricht 1024 waagrechten und 768 senkrechten Pixel.

2.3.3 Konvergenzfehler, Verzerrungen, Neigung und Fokussierung

- **Konvergenzfehler**

Konvergenzfehler entstehen durch die ungenaue Zuordnung der Elektronenstrahlen. Dabei treffen diese nicht mehr in dasselbe Loch bzw. Schlitz der Maske. Es entstehen farbige Ränder bei schwarzen Buchstaben auf weißem Hintergrund. Nur sehr teure Monitore haben diese Regeloptionen um diese Fehler zu beheben.

- **Kissenverzerrung**

Hierbei werden die Bildseitenränder verzerrt dargestellt. Sie sind entweder ein- oder ausgewölbt und nicht mehr parallel zueinander. Sie lassen sich heutzutage standardmäßig über Menüpunkte korrigieren.

- **Trapezverzerrung**

Ähnlich wie bei der Kissenverzerrung sind auch hier die Ränder oben und unten nicht mehr gleich lang. Es entsteht ein trapezförmiges Bild, welches über Menüregler reguliert werden kann.

- **Neigung oder Tilt**

Das Bild scheint gegenüber dem Monitor etwas gedreht zu sein. Dies tritt vor allem bei unsanftem Transport auf und ist heutzutage über das Monitormenü einstellbar.

- **Schlechte Fokussierung**

Schlechte Fokussierung tritt bei schlechter Bündelung der Elektronenstrahlen auf. Diese treffen hierbei gleich mehrere Löcher auf einmal. Somit wirkt das Bild unscharf.

2.3.4 Bildwiederholffrequenz (Vertikalfrequenz oder Refresh)

Die Bildwiederholffrequenz gibt die Anzahl der aufgebauten Bilder pro Sekunde an. Für das Auge ist eine Wiederholffrequenz von 72 Hertz (Hz) das Minimum, um ein ruhiges Bild darzustellen. Ab 85 Hz ist für das Auge ein flimmerfreies Bild ersichtlich. Trotzdem sind 100 Hz, wie sie in der heutigen Fernsehtechnologie verwendet werden, die beste Wiederholffrequenz, um absolut flimmerfreie Bilder zu erzeugen. Die Refresh des Monitors hängt von der Auflösung ab.

2.3.5 Zeilenfrequenz (Horizontalfrequenz)

Die Horizontalfrequenz ist die Angabe für die Anzahl der Zeilen, die der Elektronenstrahl des Monitors pro Sekunde aufbauen kann. Will jemand zum Beispiel eine Auflösung von 1280x1024 erreichen und besitzt einen Monitor mit einer maximalen Zeilenfrequenz von 110kHz, ist es möglich mit einer Bildwiederholffrequenz von 107Hz arbeiten.

2.3.6 Videobandbreite

Die Videobandbreite ist die Grenzfrequenz des Videoverstärkers. Je höher die Videobandbreite ist, umso besser sind Kontrastwechsel zu erkennen. Eine Auflösung von 1280x1024 und eine Bildwiederholffrequenz von 85Hz benötigen ungefähr 112MHz. Trotzdem sollte der Monitor eine Bandbreite von 200MHz aufweisen können, um ein steilflankiges Signal verarbeiten zu können.

2.3.7 Farbbereich

Der Farbbereich eines CRT – Monitors ist sehr breit gefächert, da er durch die Kombination von Farben eine sehr große Farbauswahl erzielen kann. 16,7 Millionen Farben sind im Bereich von Röhrenmonitoren Standard. Dies entspricht 8Bit pro RGB – Farbe, welche je 256 Abstufungen der drei Grundfarben erlauben.

2.4 Entwicklung

Röhrenmonitore haben derzeit einen schweren Stand gegenüber ihrer Konkurrenz. Der Trend geht in Richtung Kompaktheit, platz- und stromsparend, sowie flimmerfrei. Alle diese Attribute können CRT – Monitore nicht aufweisen und sind noch dazu durch ihre klobige Form und ihr Gewicht immer seltener gefragt. Heutzutage geht es hauptsächlich um Anschlussmöglichkeiten, Serviceleistungen und Bildqualität. Letzteres ist noch immer der größte Trumpf, den Röhrenmonitore ausspielen können. Denn die Kombination in Sachen Helligkeitsverteilung, Farbreinheit, Leuchtkraft und Schärfe ist das Beste was der Markt zu bieten hat. Viele Film- und Fernsehproduktionen, sowie CAD Anwender und Grafiker kommen nicht um diese alte Technik herum, wenn es um die Bildqualität geht. Auch wenn LCDs schon qualitativ an billige Röhrenmonitore herankommen, so ist ein hochwertiger CRT – Monitor (ca. 300 €) um ein vielfaches billiger als ein LCD – Monitor mit ähnlichem Leistungsprofil.

3 / LCD

3.1 Allgemein

LCD – Monitore (Liquid Crystal Display), Flüssigkristalldisplays, Flachbildschirme, TFT - Monitore oder auch oft als TFTs bezeichnet, sorgen bereits für einen großen Umschwung im Konsumerbereich, vor allem bei privaten Nutzern. Notebooks, Desktop PCs sowie Fernseher werden immer häufiger als solche gekauft und dienen vorzüglich als Platzsparer, Dekorationseinrichtung und Modeprodukt. Ein geringer Stromverbrauch ist zudem ein weiterer Vorteil der LCD – Monitore (vgl. *Eichmeier, S. 213; Mitterauer, S. 19-21*).

Die ersten wichtigen Erkenntnisse der LCD – Technologie wurden 1888 gewonnen. Friedrich Reinitzer, ein Botaniker, erkannte, dass organische Substanzen bei unterschiedlicher Temperatur bestimmte optische Eigenschaften hatten. Er beobachtete, dass Cholesterylbenzoat* bei 145° Celsius zu einer milchigen Flüssigkeit wurde. In dieser Phase verhielt sich diese Substanz jedoch eher als ein Festkörper, sobald das Geschehen unter einem Mikroskop betrachtet wurde. Diese Struktur wird heutzutage verwendet, um die Polarisationsrichtung des Lichts zu verändern.

1968 verbaute Firma RCA die Technik der LCs (Liquid Crystals) erstmals in ein Display. Später in den 70er Jahren wurde die LCD – Technik in digitalen Uhren verwendet. Monitore wurden Mitte der 80er Jahre gebaut, aber aufgrund ihrer Zweifärbigkeit (schwarz / grün) und ihres Schmiereffektes waren sie nicht für bewegte Bildinformation geeignet.

Da diese Technik durch den großen Pixelabstand auch entscheidende Probleme mit sich brachte, wurde sie durch die heutige TFT – Technik (Thin Film Transistor) weitgehend abgelöst. Diese aktiven Displays können Pixel vollständig getrennt voneinander ansteuern und haben den Vorteil des niedrigen Stromverbrauchs. Der jetzige Stand der Technik machte auch weitgehend das Problem des so genannten „Schlierens“ wett (vgl. *www.windows-tweaks.info/html/tft-technik.html, 01 / 2004; Eichmeier, S. 213*).

Der Displaymarkt boomt, und die Industrie weiß wie sie konkurrenzfähig bleibt. Durch die große Anzahl an verschiedenen Herstellern fallen die Preise in den Keller. Der Kampf ums Überleben wird immer härter. Jeder Hersteller versucht sich anders zu verkaufen, um in gewissen Sparten eine Vormachtstellung einnehmen zu können. Der eine probiert es auf dem Spielesektor, der andere versucht über Design das Rennen zu machen. Konsumer müssen sich zudem mit Details wie Reaktionszeit, Helligkeit, Kontrast, und maximalem Blickwinkel herumschlagen. Alles gar nicht so leicht durchschaubar für einen Laien, der nicht weiß, welches Anforderungsprofil seiner Arbeit gerecht wird (*vgl. Mitterauer, S. 19-21*).

3.2 Technik

3.2.1 Grundlagen von LCDs

Eigentlich heißen Flüssigkristalldisplays heutzutage korrekt TFT – LCD, oder auch TFT - Monitor, wenn von Computerdisplays und Fernsehern gesprochen wird.

Das LCD besteht aus vielen winzigen Kristallen (Liquid Crystals). Sie formen eine feste Gitterstruktur aus Molekülen (Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff), die je nach Temperatur und elektromagnetischer Kraft ein bestimmtes Verhalten und eine bestimmte Ausrichtung einnehmen. Die Flüssigkristalle lenken das von einer Leuchtstofflampe produzierte Licht auf den Bildschirm. Je nach Einfall wird Licht mehr oder weniger durchgelassen (*vgl. www.windows-tweaks.info/html/tft-technik.html, 01 / 2004; Eichmeier, S. 213-218*).

Das sie mit Hintergrundbeleuchtung arbeiten ist nur ein Beispiel, um die generelle Funktionsweise erläutern zu können. Hierbei wird zum Beispiel weißes Licht mit Hilfe von den Flüssigkristallen geschaltet (in Kapitel 3.2.4 und 3.2.6 wird dann genauer auf die anderen Techniken eingegangen). Die Lebensdauer von LCD – Pixel beträgt zirka 50000 Stunden.

Generell werden hier zwei Arten von Technik unterschieden, zum einen die passiven Matrixdisplays und zum anderen die Aktiven.

Passive Displays bestehen aus einem Raster mit horizontal und vertikal angelegten Elektroden. Bei jeder Überschneidung ist ein LC Element bzw. ein Pixel präsent. Die Ansteuerung erfolgt hier reihenweise, wobei die vordere Elektrode Spannung zuführt und für die gesamte Spalte zuständig ist. Die hintere Elektrode ist das Bezugspotential für die ganze Zeile. Nachteile sind hier die langsame Reaktionszeit, ein verschwommenes Bild und ein schlechtes Kontrastverhältnis. Dies ist zum einen auf die kapazitive Kopplung* der beiden Steuerleitungen zurückzuführen, da es bei angelegter Spannung zu Ungenauigkeiten und Beeinträchtigung der benachbarten Pixel kommt, zum anderen braucht ein Pixel sehr lange um in seinen Normalzustand zu gelangen.

Die TFT – Technik ist ein aktives Display. Sie wird aufgrund der Dünnschicht – Transistoren so genannt. Der Unterschied zur passiven Technik liegt in der Ansteuerung der Pixel. Hier sind Transistoren direkt neben dem Pixel eingebaut, welche immer eine gewisse Spannung besitzen. Dadurch fällt der Pixel nicht mehr in seinen Ausgangszustand zurück. Der Kondensator, der wie ein analoger Speicher fungiert und alle Informationen für den Pixel enthält, behält seine Daten solange bis er neue zugewiesen bekommt. Der Pixel kann in seinem derzeitigen Zustand verharren, muss nicht mehr in seinen Normalzustand zurückfallen und wartet auf neue Anweisungen. Dadurch werden Reaktionszeit und Kontrastverhältnis wesentlich verbessert. Somit entfällt die reihenweise Ansteuerung und ermöglicht nun auch die Realisierung von größeren Displays. Heutzutage gibt es schon fast überall Displays mit eingebauter TFT – Technik, da die Leistungsdaten im Verhältnis zu den Mehrkosten die passiven Displays einfach übertreffen (vgl. *Eichmeier*, S. 213-218).

3.2.2 LCD Aufbau

Ein LCD – Pixel besteht aus vielen kleinen Zellen bzw. aus zwei Glassubstraten, die weitere Schichten enthalten. Zwischen diesen zwei Substraten befinden sich ITO – Elektroden (Indium Tin Oxide), die leitfähig und transparent sind, und dazwischen wiederum Polymerfilme, die als Orientierungsschicht dienen. Die LCs sind nun innerhalb dieses Aufbaus untergebracht (siehe Abb. 3.1.). Diese

Flüssigkristalle bilden in einem Vakuum durch Unterdruck, zwischen den zwei Glasplatten einen hauchdünnen Film. Damit die Glasplatten einen bestimmten Abstand zueinander (5 – 10 Mikrometer) einhalten können, kommen Abstandshalter zum Einsatz.

Der Film aus Flüssigkristallen ist immer ein Gemisch aus vielen verschiedenen LCs. Da bis jetzt noch kein LC – Material gefunden wurde, das den Anforderungen für LCDs entspricht, sind verschiedene LC – Gemische für unterschiedliche Anforderungen notwendig (vgl. Heckmeier).

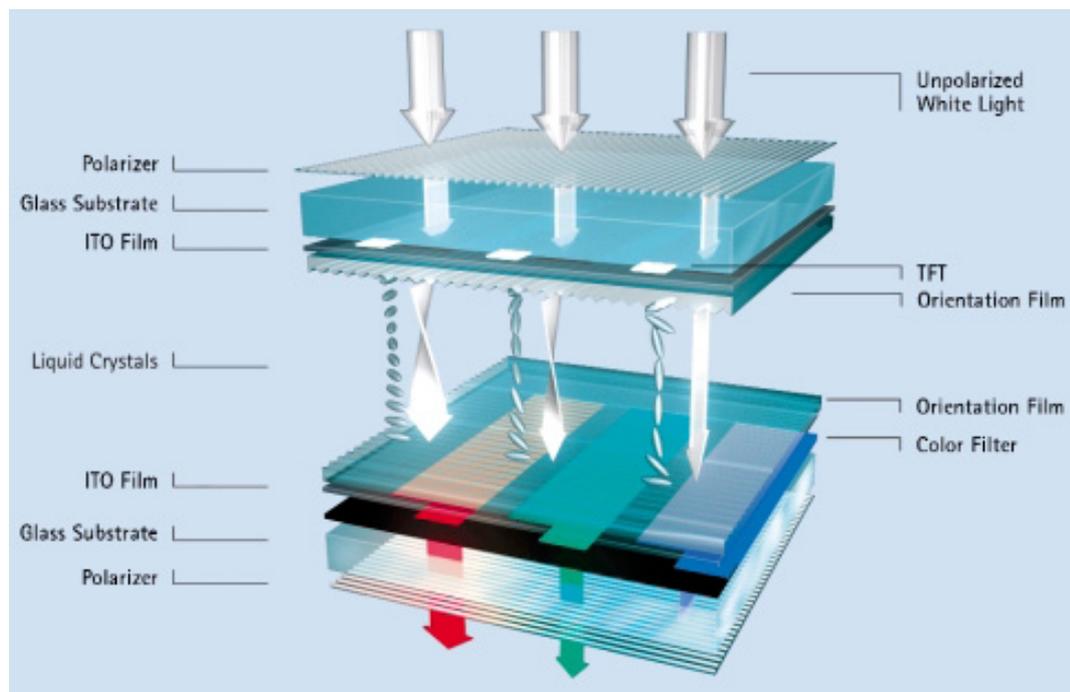


Abb. 3.1. - Aufbau eines LCD – Pixels (Quelle: Heckmeier, Michael; Lüssem, Georg; Tarumi, Kazuaki; Becker, Werner; White Paper: Liquid Crystals for Active Matrix Displays)

3.2.3 Lichtweg

Das Licht durchleuchtet die dünnen Glasscheiben, die übereinander liegen und mit verschiedenen Materialien beschichtet sind. Wie bereits zuvor erwähnt, ist jeder einzelne Pixel, mittels TFT – Technologie, einzeln mit Hilfe eines Transistors, der direkt neben dem Pixel positioniert ist, ansteuerbar.

Ein Bildpunkt besteht aus verschiedenen Schichten, die jeweils ihre bestimmte Eigenschaft besitzen.

Zuerst kommt die Polarisationsfolie zum Einsatz, die nur Licht passieren lässt, welches in eine bestimmte Richtung schwingt. Sie ist ein optischer Filter der die

Eigenschaft aufweist, Licht nur mit bestimmtem Einfallswinkel durchzulassen (siehe Abb. 3.2.).

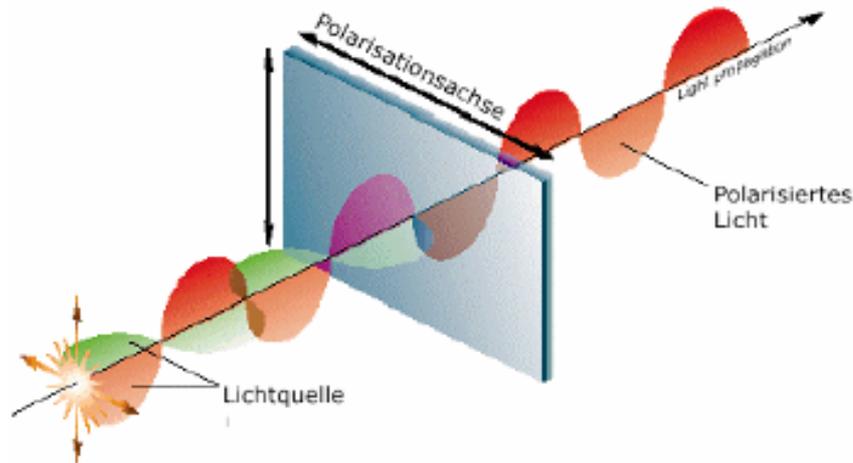


Abb. 3.2. - Funktion eines Polarisationsfilters (Quelle: <http://www.windows-tweaks.info/html/tft-technik.html>)

Wenn das Licht, welches durch die erste Polarisationsfolie durchgelassen wurde, auf die zweite Folie trifft, so wird diese keine weiteren Lichtstrahlen passieren lassen, da noch keine Winkeländerung der LCs eingetreten ist (siehe Abb. 3.3.).

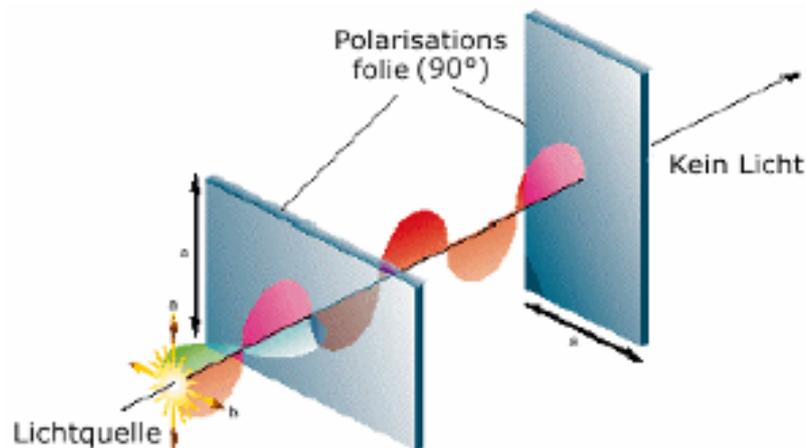


Abb. 3.3. - Zwei Polarisationsfolien die 90° zueinander gedreht sind ohne LCs (Quelle: <http://www.windows-tweaks.info/html/tft-technik.html>)

Wenn jetzt die zwei Glasplatten mit dem dünnen Film an Flüssigkristallen dazwischen gesetzt werden und noch keine Spannung anliegt, wird das Licht um 90° gedreht, um durch die zweite Polarisationsfolie durchdringen zu können

(siehe Abb. 3.4.). Wie viel Licht nun durchgelassen wird und welche Farben entstehen hängt von einigen Faktoren ab.

Wenn nun eine Spannung über die ITO – Elektroden an die Polymerschichten angelegt wird, baut sich ein elektrisches Feld auf, und die Flüssigkristalle können sich dementsprechend danach ausrichten. Diese elektrische Stärke, wird durch Transistoren erzeugt, welche an den Lichtöffnungen sitzen (eigentlich Thin – Film – Transistoren, weil diese viel kleiner als die Lichtöffnung sind). Die Höhe der elektrischen Stärke bestimmt wie stark das Licht gedreht wird, um so die Helligkeit stufenlos bestimmen zu können (siehe Abb. 3.5.) (vgl. Heckmeier; Lueder, S. 18-20).

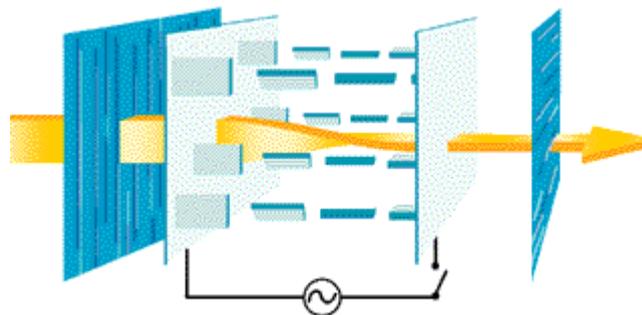
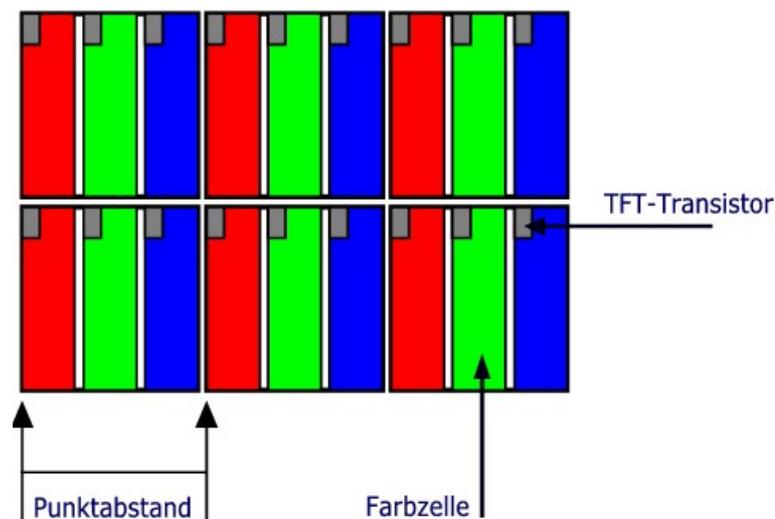


Abb. 3.4. - Lichtweg wenn keine Spannung anliegt (Quelle: www.tomshardware.de)



(c) www.tomshardware.de

Abb. 3.5. – Pixel eines TFTs. Links oben in einer Zelle ist ein TFT – Transistor eingebaut. Durch Farbfilter erhalten die Zellen ihre RGB-Grundfarben. (Quelle: www.tomshardware.de)

Unter bestimmten Spannungsverhältnissen, richten sich die Flüssigkristalle gerade aus. Das heißt, dass die zweite Polarisationsfolie das Licht absorbiert, und somit kein Licht an dieser Stelle des LCDs durchgelassen wird (siehe Abb. 3.6.).

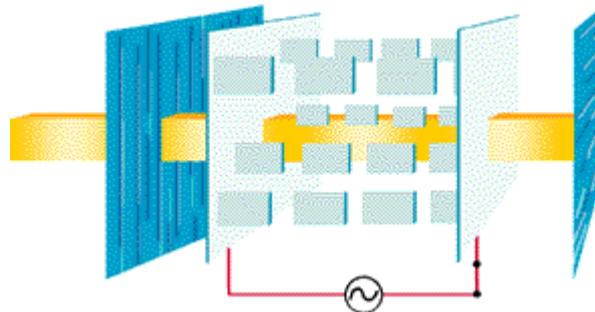


Abb. 3.6. - Lichtweg bei Spannung Funktionsweise (Quelle: www.tomshardware.de)

Um Farbe ins Spiel zu bringen sind drei Farbzellen (Zellen), auch manchmal Subpixel genannt, in rot, grün und blau, notwendig. Zusammen ergeben diese einen Pixel (siehe Abb. 3.5.). Jeder der schnell ansteuerbaren Transistoren projiziert eine der 3 Grundfarben, die in der Lichtdurchlässigkeit variiert werden. Durch diese Intensitätsverteilung ist ein sehr großes Farbspektrum darstellbar. Durch Farbfilter wird der färbige Pixel sichtbar gemacht, die auf der obersten Glasschicht angebracht sind (vgl. Pfeifer, S. 493-496; www.windows-tweaks.info/html/tft-technik.html, 01 / 2004).

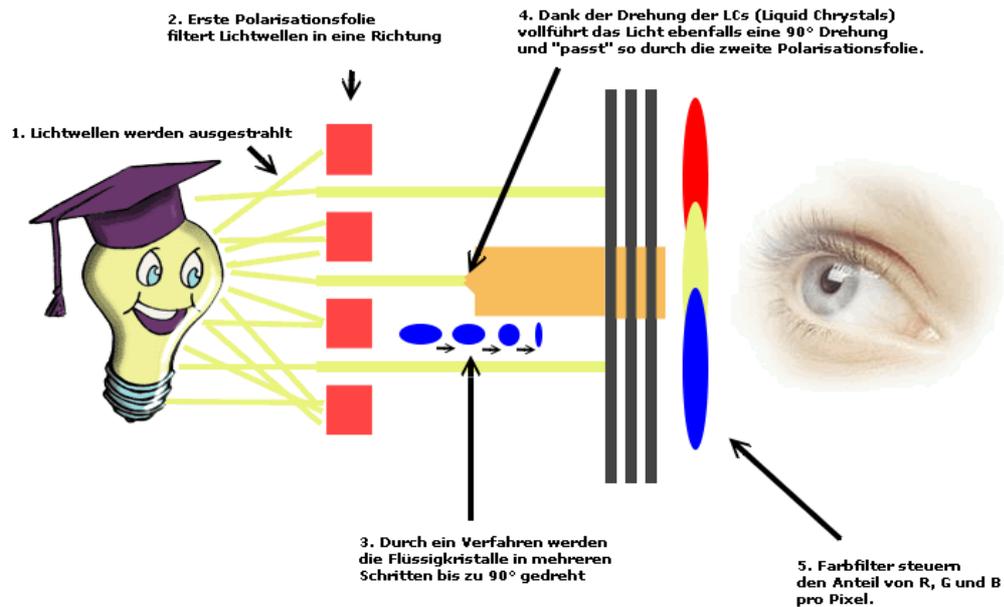


Abb. 3.7. - Gesamtaufbau der TFT – Technik mit Farbfiltern (Quelle: <http://www.windows-tweaks.info/html/tft-technik.html>)

3.2.4 Arten von LCDs

In der Flüssigkristalltechnik gibt es drei verschiedene Arten von LCDs (siehe Abb. 3.8.) (vgl. www.windows-tweaks.info/html/tft-technik.html):

- Transmissive LCDs
- Reflektive LCDs
- Transflektive LCDs

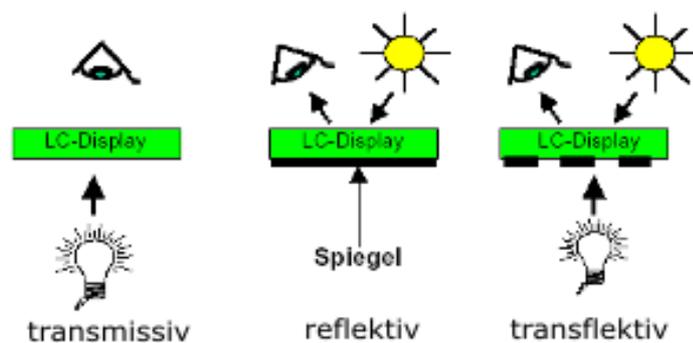


Abb. 3.8. - Verschiedene LCD – Arten (Quelle: <http://www.windows-tweaks.info/html/tft-technik.html>)

Alle drei Arten haben ganz bestimmte Eigenschaften und nutzen die Beleuchtungen auf unterschiedliche Weise optimal.

Transmissive LCDs reflektieren kein Umgebungslicht. Sie arbeiten mit einer Hintergrundbeleuchtung um Bilder zu produzieren.

Reflektive LCDs nutzen eine Art Spiegel (Reflektor), der am unteren Polarisierer angebracht ist, welcher Umgebungslicht reflektiert und das Display beleuchtet. Wegen seines niedrigen Stromverbrauchs ist diese Art von LCD sehr gut für batteriebetriebene Geräte geeignet. Weiters spricht auch der gute Kontrast bei starkem Umgebungslicht für eine Verwendung.

Transflektive LCDs arbeiten mit Hilfe der reflektiven und transmissiven Displaytechnik. Hier wird sowohl eine Hintergrundbeleuchtung eingesetzt, als auch ein halbdurchlässiger Polarisierer. Dies hat den Vorteil, dass der Benutzer nicht mehr auf bestimmte Lichtverhältnisse angewiesen ist, um ein optimales Bild zu erhalten, sondern sein Display an die Umgebung anpassen kann. Bei hellem Umgebungslicht ist eine Hintergrundbeleuchtung überflüssig. Die reflektive Technik liefert unter diesen Umständen besser Ergebnisse.

3.2.5 Beleuchtung

Heutzutage kommt fast kein Display mehr ohne Beleuchtung aus. Eine Übersicht über Beleuchtungsmethoden und deren Vor und Nachteile sind in der folgenden Tabelle 3.1. aufgelistet:

LED yellow/green	LED weiss	EL Folie	CCFL
Vorteile	- 5V= Versorgung - Lebensdauer 100.000 Stunden - sehr hell (lightbox)	- 5V= Versorgung - Lebensdauer 100.000 Stunden - weisses Licht	- stromsparend - sehr flach - verschiendene Farben lieferbar - extrem hell - weisses Licht
Nachteile	- grün-gelbe Farbe - als lightpipe nicht sehr hell und ungleichmäßig	- EL-Inverter erforderlich - Lebensdauer 5.000-10.000 Std. - nicht sehr hell	- CCFL Inverter erforderlich - Lebensdauer 10.000-20.000 Std.

Tab. 3.1. Vor- und Nachteile von Hintergrundbeleuchtung bei LCDs

Wegen der einfachen Anwendung, der hohen Haltbarkeit sowie der Helligkeit sind vor allem LEDs (= Light Emitting Diode) empfehlenswert (vgl. Gebauer).

3.2.6 TN, STN und FSTN – LCDs

So wie die unterschiedlichen Arten der LCDs gibt es auch Unterschiede bei den Flüssigkeiten. Da es bei Betrachtungswinkel und Kontraststärke schon immer Probleme gab wurde hier auch reagiert, um diese Kinderkrankheiten aus dem Weg zu schaffen bzw. einzudämmen. Dies gelang mit der Zeit durch neue Technologien immer besser. Heutzutage kommen ältere Technologien noch immer vielfältig zum Einsatz, wahrscheinlich vor allem durch den positiven Kosten- / Nutzenfaktor.

Die wichtigsten Technologien im Überblick:

- TN (Twisted – Nematic) LCDs
- STN (Super Twisted – Nematic) LCDs
- FSTN (Film Super Twisted – Nematic) LCDs

TN – LCDs oder auch **Standard TFTs** sind sehr einfache Displays. Die eingesetzte Flüssigkeit dreht die Polarisationssebene des Lichtes um 90° . Viele günstige Monitore sind noch mit dieser Technik ausgestattet. 17“ Schirme sind dadurch schon relativ günstig geworden (vgl. Lueder, S. 64-66).

STN – LCDs haben gegenüber TN – LCDs den Vorteil, dass hier der Betrachtungswinkel wesentlich erhöht und eine Kontraststeigerung erzielt wird. Der Drehungsgrad von 270° ist hier deutlich höher, als bei TN – LCDs. Durch die Doppelbrechung des Lichts kommt es hier auch zu einer Färbung, die oft gelb – grün oder blau ist. Dies passiert allerdings nur bei Displays die nur eine weiße Beleuchtung besitzen oder unbeleuchtet sind (vgl. Lueder, S. 67-72).

FSTN – LCDs nutzen zwei dünne hoch polymere Doppelbrechungsfilme (Double Refraction Film). Farbverfälschungen werden somit vermieden. Qualitativ hochwertige Displays können mit dieser Technik erzeugen werden (z. B. S/W Displays). Diese Displays benutzen eine Hintergrundbeleuchtung, um optimale Bildqualität erreichen zu können. (vgl. www.windows-tweaks.info/html/tft-technik.html).

3.2.7 TN, IPS und MVA

Bei den Betrachtungswinkeln wird zwischen 6° , Bottom View, und 12° , Top View unterschieden. Bottom View wird bei Geräten, die flach auf dem Tisch liegen, verwendet. Top View wird normalerweise in die Frontseite von Tischgeräten eingebaut.

Erstaunlicherweise, können einige TFTs immer noch keine Betrachtungswinkel von 160° aufweisen wie es bei einem CRT – Monitor üblich ist. Aufgrund des komplizierten Aufbaus der Flachbildschirme, ist eine bestimmte Ausrichtung der Lichtwellen gegeben. Diese Ausrichtung hat bei seitlicher Ansicht Kontrastverluste und Farbverfälschungen zur Folge. Um diesem Problem entgegenzuwirken wurden bereits folgende Techniken entwickelt, die Blickwinkel wie bei Röhrenmonitoren zulassen (vgl. www.de.tomshardware.com/display/19990625/ips-mva-tnfilm-lcd-tft-panels-01.html, 06/1999):

- **TN+Film (Twisted Nematic + Retardation Film)**

Dieses Verfahren ist technisch am einfachsten umzusetzen. Zusätzlich zur älteren Twisted Nematic Technik wird ein Film (Retardation – Film oder Discotic – Film) auf der Oberfläche des Panels aufgebracht. Dieser ermöglicht die Vergrößerung des Blickwinkels. Die normalen 90° (bei Standard TFTs) können auf 140° erweitert werden (siehe Abb. 3.9.). Da dieser Film aber keinen Einfluss auf die Elektronik bzw. Steuerelemente hat, können Reaktionszeit und Kontrastverhältnis nicht verbessert werden.

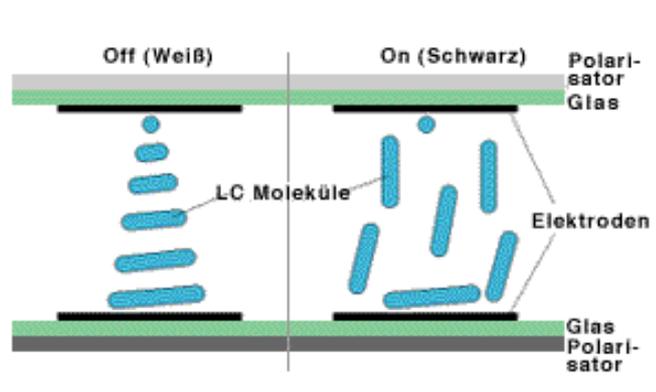


Abb. 3.9. – TN+Film – Displays richten LCs senkrecht zur Glasschicht aus, wobei ein zusätzlicher Film den Blickwinkel erhöht (Quelle: www.tomshardware.de)

Trotzdem ist es eine kostengünstige Produktionsvariante für „low-cost“ Flachbildschirme, und sind daher meistens bei herkömmlichen Büroanwendungen im Einsatz, die keine großen Anforderungen an den Monitor stellen. Hersteller werben im Moment mit immer kürzeren Reaktionszeiten und machen so den Kauf schmackhaft. Da sie zudem schneller sind als VA – Panels greifen vor allem auch Spieler auf diese Technologie zurück. Auf längere Sicht gesehen wird diese Technik allerdings bald nicht mehr eingesetzt werden, da die Anforderungsprofile bei Anwendern ständig steigen und die geringen Mehrkosten für bessere Flachbildschirme nicht mehr ins Gewicht fallen werden.

- **IPS (In – Plane – Switching)**

Dies ist ein von Hitachi entwickeltes System, welches auch Super – TFT genannt wird. Hier sind Flüssigkristalle parallel bzw. horizontal zueinander und zu den beiden Glassubstraten angeordnet (siehe Abb. 3.10.). Wenn nun eine Spannung angelegt wird, können sie sich in der gleichen Ebene drehen.

Dadurch sind Blickwinkel von 170° möglich, welche mit einem Röhrenmonitor vergleichbar sind. Leider dürfen durch die horizontale Ausrichtung der Flüssigkristalle Elektroden nur auf der unteren Glasschicht angebracht sein, was die Lichtdurchlässigkeit beeinträchtigt. Somit wird zwangsläufig mehr Strom verbraucht und eine stärkere Hintergrundbeleuchtung, um diesen Verlust kompensieren zu können.

Generell werden aber Kontrast- und Farbveränderungen im Vergleich zu Standard TFTs nicht wesentlich verbessert. Heutzutage lässt sich diese Technologie seltener finden, da sie nur mit einem größeren Blickwinkel dienen kann. MVA (siehe nächste Seite) ist weitaus verbreiteter und kann bessere Leistungsdaten vorzeigen (vgl. www.autocad-magazin.de/index.php?page=05-04/cadfocus.html).

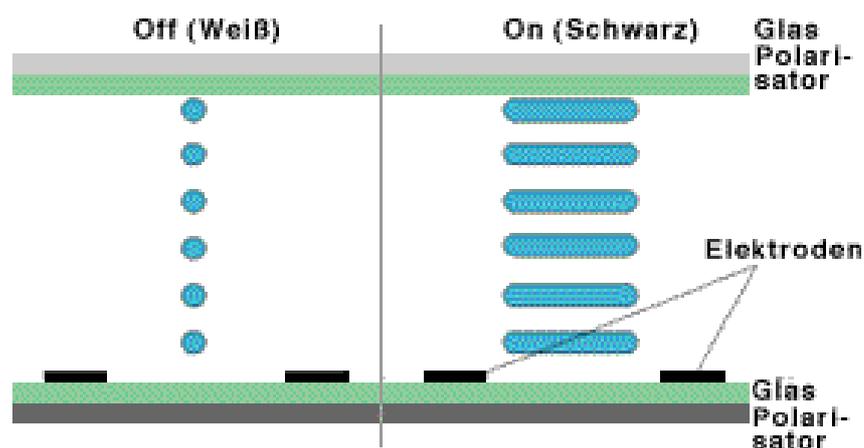


Abb. 3.10. – Bei angelegter Spannung orientieren sich die Moleküle der LCs parallel bzw. horizontal zum Glassubstrat (Quelle: www.tomshardware.de)

- **Multi – Domain Vertical Alignment:**

MVA wurde durch Fujitsu ins Leben gerufen. Diese Technik ergibt eine tolle Kombination aus Blickwinkel und Reaktionszeit, ist allerdings nur bedingt für Anwendungen mit sehr schnellem Bildwechsel geeignet.

Anders als bei IPS sind die Flüssigkeitskristalle hier rechtwinklig zu den Glassubstraten angeordnet. Weiters gibt es für die Pixel noch gesonderte

Bereiche, um das Licht bei angelegter Spannung in eine andere Richtung orientieren zu können. Dabei wird vorrangig das Kontrastverhältnis erheblich gesteigert, was zum Beispiel ein extrem dunkles schwarz hervorbringt. Leider leidet unter dieser Technik allerdings auch die Farbveränderung bei größeren Blickwinkeln.

Multi – Domain ist ein Teilbereich einer Farbzelle. Spezielle Vorsprünge (engl. Protrusions) bilden die so genannten Multi – Domains (siehe Abb. 3.11.). Bis zu vier Domains (daher auch „Multi“) kann eine Zelle enthalten. Die Kristalle können über diese Domains unterschiedliche Positionen einnehmen und kreieren somit mehrere Blickwinkelzonen, wobei aber vom Betrachter nur eine wahrgenommen wird, unabhängig von seinem Blickwinkel.

Der Zustand der vertikalen Ausrichtung (VA = vertical alignment) trifft auf die Moleküle zu, die im Ruhezustand, also bei schwarz, diese Position einnehmen. Bei angelegter Spannung drehen sie sich in eine horizontale Richtung.

Vorteile dieser Technologie sind der große Blickwinkel mit bis zu 160°, die Helligkeitsverteilung und das gute Kontrastverhältnis.

Meistens sind solche Panels in Arbeitsumgebungen aufzufinden, die qualitativ höchste Ergebnisse erzielen müssen und unter anderem auch als Präsentationsschirme fungieren sollen. Die MVA – Technik kommt im Normalfall erst in 19“ – Bildschirmen zum Einsatz, da kleinere Schirme zum Beispiel für Präsentationszwecke weniger geeignet wären.

Bei Reaktionszeiten von ungefähr 16 Millisekunden bei aktuellen TFT – Panels sind sie für Spieler eher weniger geeignet, da TN – Displays wesentlich schneller und auch billiger sind. Eine neue Technik versucht dieses Manko auszugleichen, indem das Schaltverhalten der Flüssigkristalle verbessert wird. Dieses Verfahren nennt sich „Overdrive“ und bewirkt eine schnellere Drehung des LCs bei einem Bildwechsel. Um dies erreichen zu können, wird kurzfristig eine höhere Spannung als notwendig angelegt. Während der Drehung wird wieder auf die eigentlich nötige Spannung zurückgedreht, damit der Flüssigkristall dann seine richtige Position einnehmen kann. Dieser Prozess kann jedoch nur bei Graustufenwechsel eingesetzt werden, da bei schwarz – weiß – Wechsel die minimale und maximale Spannungsgröße nicht überschritten werden kann. Diese Technik ist grundsätzlich überall anwendbar, doch im Moment sind fast nur

Panels mit MVA damit ausgestattet (vgl. www.autocad-magazin.de/index.php3?page=05-04/cadfocus.html; PC Magazin 06/05, S. 62 – 68).

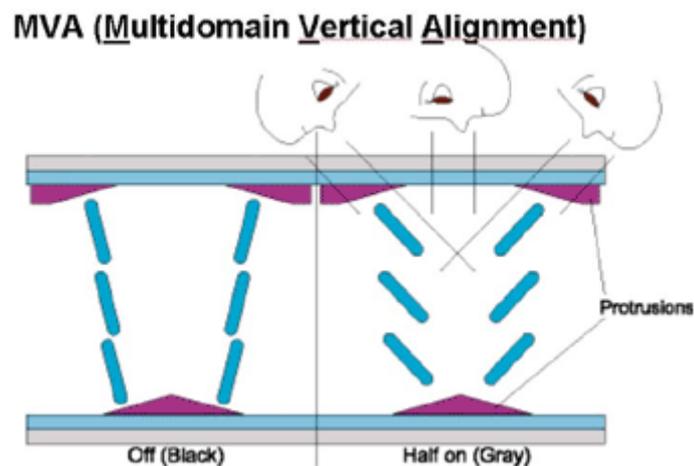


Abb. 3.11. - Technik des Multi VA (Quelle: <http://www.autocad-magazin.de/index.php3?page=05-04/cadfocus.html>)

3.3 Eigenschaften

3.3.1 Helligkeit

Flachbildschirme haben durch ihre Hintergrundbeleuchtung sehr hohe Helligkeitswerte. Diese bewegen sich im Bereich von 200 bis 350 Candela* pro Quadratmeter. Alle Werte darüber hinaus wären nicht sinnvoll, da diese einen blendenden Effekt hervorrufen würden. Leider kann die Hintergrundbeleuchtung keine gleichmäßige Helligkeitsverteilung gewährleisten. Es kann durchaus zu dunkleren Stellen an den Rändern, oder in der Mitte, kommen. Auch durch die Probleme der Betrachtungswinkel (siehe Kapitel 3.3.3) sind solche Helligkeitswerte unbedingt erforderlich.

Röhrenmonitore schaffen hingegen nur Helligkeiten von 150 cd/m², da höhere Werte eine Verringerung der Lebensdauer des Phosphors mit sich bringt und höhere Strahlenemissionen produzieren würden. Dennoch ist dies vollkommen ausreichend, da sie eine gleichmäßige Helligkeitsverteilung erreichen und blickwinkelunabhängig ein qualitativ gleichwertiges Bild erzeugen.

3.3.2 Reaktionszeit bzw. Latenzzeit (Response Time, Latency)

Ein immer wieder diskutiertes Thema ist bei Flachbildschirmen die Reaktionszeit. Vor allem bei spielbegeisterten Konsumenten ist dieser Wert der wichtigste Entscheidungsfaktor für Kauf oder Nicht – Kauf. Derzeit kann ein Konsument Flachbildschirme mit 8 ms Reaktionszeit erwerben, wobei dieser Wert wenig aussagekräftig ist.

Um diese Reaktionszeit messen zu können, muss man sich an die ISO – Norm 13406-2 halten, welche den Wechsel von schwarz nach weiß und wiederum nach schwarz vorschreibt. Bei diesem Prozess wird zwischen den Zuständen „rise“ und „fall“ unterschieden, was soviel bedeutet wie, in welcher Zeitspanne das Umschalten von schwarz nach weiß geschieht und wie schnell das Display wieder von weiß auf schwarz zurückschalten kann. Daraus ergibt sich dann die Latenzzeit der Flüssigkristalle.

Da dieser Wechselzustand im alltäglichen Arbeitsleben am Computer eher selten Eintritt, gibt es mittlerweile heftige Diskussionen über eine Messung der Sprünge innerhalb verschiedener Graustufen. Dies wäre eine weitaus bessere Methode, die tatsächliche Leistungsfähigkeit eines Flachbildschirms zu überprüfen. Eine neue ISO – Norm soll bald in Kraft treten, sobald alle Messdetails geklärt sind.

Generell erreichen Flachbildschirme nicht die Herstellerwerte. Zeiten zwischen 10 und 30 Millisekunden sind mit der jetzigen ISO – Norm Meßmethode häufig zu finden. Um aber sicher zu gehen, dass der richtige Bildschirm gekauft wird, sollten Fachzeitschriften herangezogen werden, die Monitore testen, da zum Beispiel die angegebenen 12 Millisekunden nicht immer fernseh- und spieletauglich sind. „Schlieren“* und „Geisterbilder“ wären die Folge von zu langsamen Displays (vgl. *Dörner(06/2005), S. 62 – 68*).

3.3.3 Betrachtungswinkel und Kontrastverhältnis

Heutzutage kommen die meisten Flachbildschirme mit Einblickwinkeln von 140° horizontal und 130° vertikal auf den Markt. Je nach Größe und eingebauter Technik können diese Werte mit +/- 30° variieren. Hierbei ist zu beachten, welchen Kontrastverhältniswert der Hersteller den Blickwinkeln gegenüberstellt. Ein hoher Blickwinkel bringt wenig, wenn das Kontrastverhältnis nicht

dementsprechend angepasst wurde, da dieses bei Seitenansicht und schlechten Lichtverhältnissen sowieso schon abnimmt (vgl. Pfeifer, S. 493-495).

Neben dem Betrachtungswinkel ist der Kontrast in der heutigen Flachbildschirmzeit eine weitere wesentliche Komponente und unterscheidet zwischen qualitativ hochwertig oder minderwertig. Hersteller von TFT - Monitoren geben meistens Werte zwischen 250:1 und 1000:1 an. Ein Wert von 1000:1 ist technisch aber noch gar nicht realisierbar. Dieser Wert wird mittels bestimmten Folien, welche die Kontraststärke erhöhen können, erzielt. Technisch gesehen haben Monitore mit einem Kontrastverhältnis von 1000:1 eigentlich nur einen Wert von 800:1, der eben durch spezielle Folientechnik erhöht werden kann. Trotz dieser hohen Leistungsdaten können Kontrastverhältnisse mit diesen Werten aber meistens nur unter optimalen Bedingungen abgerufen werden (z.B. in einem sehr dunkeln Raum), wobei gute Panels nur mehr um 5 % bis 10 % ihres tatsächlichen Wertes bei Blickwinkeländerungen verlieren. Schlechte LCDs verlieren bei hellerem Licht schnell an Farbumfang und Graustufen verlieren an Nuancen (vgl. NEC, Spezifikationsblatt).

Bei Röhrenmonitoren ist ein Kontrastverhältnis von 500:1 und mehr ohne Problem realisierbar. Das menschliche Auge empfindet Bilder bei einem so hohen Kontrastverhältnis schon als sehr fotorealistisch.

Im Grunde aber ist es für einen CRT – Monitor leicht solche Werte zu erzielen, denn ein schwarzes Bild kann man mit dieser Technik einfach erzeugen. An der gewünschten Stelle schaltet sich der Elektronenstrahl einfach ab, um schwarz darzustellen.

Flüssigkristalldisplays haben den Nachteil, dass ihre Leuchtstoffröhren ihre Helligkeit nahezu gar nicht verändern können. Das heißt, dass die Flüssigkristalle das Licht der Hintergrundbeleuchtung, an der Stelle wo schwarz erscheinen soll, blockieren muss. Technisch ist dies nicht hundertprozentig möglich, denn es scheint immer etwas Licht hindurch. Trotzdem sind Werte ab 250:1 schon in einem akzeptablen Rahmen für das menschliche Auge (vgl. NEC, Spezifikationsblatt; Irmer, S. 24-26).

Wie vorher bereits erwähnt, verändert sich der Kontrast auch besonders bei Blickwinkeländerungen und Reflexionen der Bildschirmoberfläche. Dies kann besser oder schlechter ausfallen, je nachdem welche Klasse ein Flachbildschirm aufweist. Ein Klasse 1 Monitor (nach Norm ISO 13406) ist dann für diese Klasse ausgewiesen, wenn mehrere Blickwinkel unterstützen kann, die in gleichem Maße gute Bildeigenschaften aufweisen, damit mehrere Benutzer gleichzeitig diesen betrachten können.

Um solche Klassen und Voraussetzungen gewährleisten zu können wird mit den vorher angesprochenen Verfahren TN+Film, IPS, VA und Overdrive gearbeitet.

3.3.4 Pixelfehler

Pixelfehler entstehen durch defekte Transistoren. Diese Fehler geschehen allerdings schon bei der Herstellung der Flachbildschirme oder bei unsachgemäßer Behandlung des Bildschirms (starker Druck auf Oberfläche).

Aufgrund der vielen einzelnen Transistoren und der technischen Fertigung ist es beinahe unmöglich immer fehlerfreie Panels auszuliefern. Bei einem 15“ TFT – Monitor und einer Auflösung von 1024 (mit drei Subpixel) x 768 wären das 2 359 296 Transistoren.

Früher gab es eine Art Toleranzzahl gegenüber defekten Pixeln. Falls diese Zahl nicht überschritten wurde, gab es auch keine Garantieansprüche. Seit einiger Zeit gibt es allerdings eine ISO – Norm die Hersteller und Konsumenten schützen bzw. Garantieleistungen geltend macht.

Pixelfehler wurden dabei in Fehlerkategorien 1 – 3 eingestuft und definiert (siehe Aufzählung unten). Weiters kann nun jeder Hersteller seine Produkte einer Pixelfehlerklasse zuordnen (siehe Tab. 3.2).

- Fehlerstatus 1: Pixel leuchtet ständig weiß
- Fehlerstatus 2: Pixel ist ständig schwarz
- Fehlerstatus 3: Subpixelfehler – entweder leuchtet das Pixel ständig in rot, grün oder blau, oder es bleibt schwarz

Die Klassen I – IV bestimmen nun welche Qualitätsmerkmale ein TFT – Monitor nach Fertigung aufweisen muss (siehe Abb. Tabelle 3.2.).

- Klasse I: kein Pixel oder Subpixel darf defekt sein
- Klasse II: 2 Pixel dürfen ständig weiß leuchten, 2 Pixel dürfen ständig schwarz sein, und 5 Subpixel dürfen ebenfalls defekt sein (insgesamt also 4 Pixel und 5 Subpixel)
- Klasse III: 5 Pixel mit Fehlerstatus 1, 15 Pixel mit Fehlerstatus 2 und 50 Subpixel mit Fehlerstatus 3 dürfen defekt sein
- Klasse IV: 50 Pixel mit Fehlerstatus 1, 150 Pixel mit Fehlerstatus 2 und 500 Subpixel mit Fehlerstatus 3 dürfen defekt sein

Pixelfehlerklasse	Fehlerstatus 1 (Pixel)	Fehlerstatus 2 (Pixel)	Fehlerstatus 3 (Pixel)
Klasse I	0	0	0
Klasse II	2	2	5
Klasse III	5	15	50
Klasse IV	50	150	500

Tab. 3.2. – Pixelfehlerklassen (Quelle: www.prad.de)

Tabelle 1 schreibt nach ISO – Norm also obige Toleranzgrenzen vor, die ein Hersteller somit selbst bestimmen kann. Jedoch ist zu beachten, dass sich diese Pixelfehlerzahl auf jeweils 1 000 000 Pixel am TFT – Monitor bezieht. Dass heißt bei Flachbildschirmen mit höheren Auflösungen werden die Toleranzgrenzen je nach Anzahl ihrer Pixel erhöht (vgl. www.prad.de/new/monitore/shownews_lex90.html).

3.3.5 Bilddiagonale

Bei TFT – Panels wird die tatsächliche Bildschirmdiagonale anders gemessen als bei Röhrenmonitoren. Da LCDs keinen Rand besitzen ist die Angabe der

Diagonale gleichzusetzen, wie mit der tatsächlichen Sichtdiagonale. Wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben haben CRT – Monitore eine, durch die Bauweise der Röhre bedingt, kleinere Sichtdiagonale. Ein 19“ Röhrenmonitor kann in etwa eine vergleichbar große Sichtdiagonale wie ein 17“ Flachbildschirm aufweisen

3.3.6 Auflösung und Pixelabstand

Flachbildschirme haben den angenehmen Nebeneffekt, dass sie nicht wie CRT – Monitore flimmern. Ihre Pixel werden einzeln angesteuert und schalten sich deshalb auch nie ab, sondern ändern nur ihre Intensität. Das Zeilensprungverfahren mit einem Elektronenstrahl gibt es hier nicht. Dies ist auf jeden Fall ein Vorteil, da das menschliche Auge weniger belastet wird und zumal keine Strahlenemissionen produziert werden.

Nachteil allerdings ist die begrenzte Auflösung die ein TFT – Monitor nur darstellen kann. Sie wird durch den Pixelabstand und die Größe des Displays bestimmt. Durch die feste Anordnung der Pixel ergibt sich sozusagen die maximale Auflösung von selbst. Niedrigere Auflösungen müssen also skaliert werden, um die komplette Bildschirmdiagonale füllen zu können. Dabei ergeben sich leider Skalierfehler (siehe Kapitel 3.3.7.). Ansonsten sieht ein Bild mit einem dicken schwarzen Bilderrahmen (*vgl. www.de.tomshardware.com/display/19990614/grundlagen-lcd-tft-monitore-05.html*).

3.3.7 Skalierungsfehler

Oft muss ein Flachbildschirm die Auflösung eines Spiels oder einer Anwendung auf die Größe des TFT – Monitors hochskalieren.

Technisch gesehen ist dies ein großer Aufwand, da es nicht immer bei einem ganzzahligen Skalierfaktor bleibt. Bei einer Auflösung von 800x600 auf 1600x1200 beträgt der Skalierfaktor x2. Dies ist einfach, weil hier jeder Pixel einfach verdoppelt werden muss. Bei 800x600 auf 1024x768 ist dies aber dann schon schwieriger, da der Faktor 1,28 beträgt. Eine Zuordnung der Pixel ist jetzt nicht mehr gegeben. So muss die Elektronik nun entscheiden welches Pixel gezeigt wird und welches nicht.

Mit Hilfe von neuer Elektronik werden Pixel mit unterschiedlicher Intensität angezeigt, falls diese nicht mehr eindeutig zugeordnet werden können. Dieses Verfahren nennt sich „Advanced Scaling“ und wird in Abb. 3.12. veranschaulicht (vgl. <http://www.de.tomshardware.com/display/19990614/grundlagen-lcd-tft-monitore-06.html>; Pfeifer, S. 495-497).

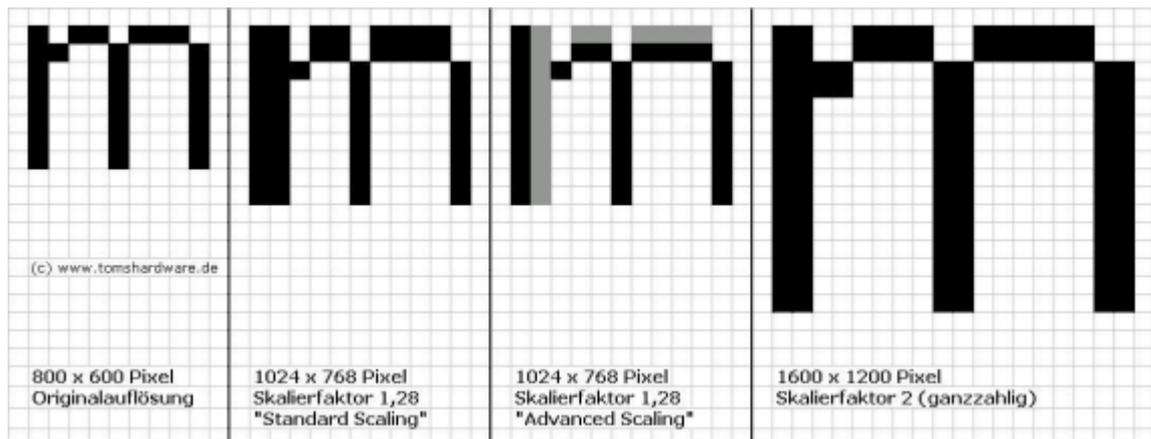


Abb. 3.12. - Skalierung des Buchstaben "m". Mittels „Advanced Scaling“ kompensiert man falsche Berechnungen bei nicht eindeutig zugeordneten Pixel (Quelle: www.tomshardware.de)

3.3.8 Farbbereich & Dithering

Entgegen der 16,7 Millionen Farben bei CRT – Monitoren können die meisten LC – Panels, die mit TN – Technologie ausgestattet wurden, nur 6Bit pro Farbe darstellen. Das bedeutet, dass nur 64 Abstufungen der Farben rot, grün und blau möglich sind und somit nur 262144 Farben erzeugt werden können. Um diesen großen Farbbereichsunterschied kompensieren zu können, greifen Panelhersteller auf die so genannte Ditheringtechnologie zurück, um die Farbpalette erweitern zu können.

Wie bereits erwähnt, besteht ein Pixel aus drei Subpixeln. Durch die unterschiedliche Intensitätsverteilung der Farben werden Farbtöne erzeugt (siehe Abb. 3.13.) (vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Dithering>).

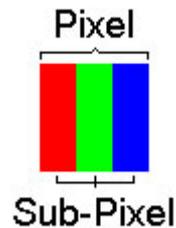


Abb. 3.13. – Aufbau eines Pixels mit drei Subpixeln

Bei der Ditheringtechnologie werden nun benachbarte Pixel mit unterschiedlichen Farbwerten dargestellt, welche ihre Palette zulässt. Aus diesen zwei bestimmten Farbwerten entsteht nun der Eindruck eines neuen Farbtons, der ansonsten, aufgrund der Farbabstufungslimitierung, nicht erzeugt werden könnte (siehe Abb. 3.14.).

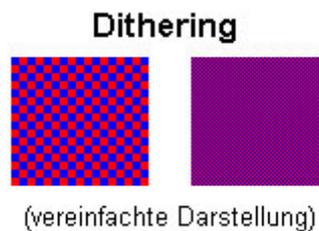


Abb. 3.14. – einfache Darstellung des Ditherings

Um Nebeneffekte wie Farbrauschen (auch Ditheringrauschen genannt) zu vermeiden, sind komplexe Zuordnungen der Pixelmuster für bestimmte Farbtöne nötig. Ein S/W Laserdrucker arbeitet zum Beispiel mit bestimmten Pixelmustern, um bestimmte Grauwerttöne darstellen zu können, falls die Abstufungen der Grauwerte nicht ausreichen sollten.

Auch wenn diese Technik einen Farbbereich von 16,2 Millionen Farben abdecken kann, treten negative Effekte auf, wie zum Beispiel der Jeansmustereffekt (siehe Abb 3.15.).

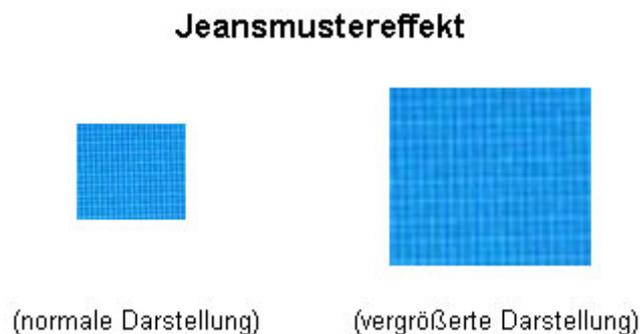


Abb. 3.15. - Jeansmustereffekt

Trotzdem hat sich diese Technik durchgesetzt, da das menschliche Auge bei gewissen Betrachtungsabständen keine farblichen Unterschiede mehr erkennt. Die vorgetäuschte größere Farbpalette bzw. deren Nebeneffekte werden von den Konsumenten anstandslos in Kauf genommen und sind auch in keiner Weise kaufentscheidende Kriterien.

3.4 Entwicklung und Einsatzgebiet

Wie im Kapitel 3.2.7 erklärt, werden verschiedene Techniken benutzt, um Betrachtungswinkel und Kontrastverhältnis zu verbessern. Im Grunde genommen hätte jeder gerne einen Bildschirm mit hoher Reaktionszeit, hohem Betrachtungswinkel und gutem Kontrastverhältnis. Aufgrund von technischen Barrieren und höheren Kosten werden Flachbildschirme auch an bestimmte Anwendergruppen angepasst werden.

Büroanwender mit Officeanwendungen zum Beispiel haben durch gute Schärfe, Helligkeit und hohe Lebensdauer optimale Arbeitsbedingungen mit TFT – Monitoren. Durch den geringen Platzverbrauch, Leistungsaufnahme und Strahlenemission ist die Arbeit auch körperlich nicht mehr so belastend.

Spieler und Grafiker hingegen müssen noch mit zu langsamen Reaktionszeiten bzw. zu schwacher Farbdarstellung kämpfen, obwohl die Industrie hier schon deutliche Fortschritte macht. TFT – Monitore mit 8 Millisekunden werden jetzt schon beworben (siehe PC Magazin 06/05, S. 62 – 68), um sich im Spielesektor etablieren zu können.

LCDs eignen sich auch schon bestens zum fernsehen und werden immer öfter für den Privathaushalt angeschafft. Allerdings sind diese noch relativ hochpreisig angesiedelt, und findet sie daher noch eher selten in privaten Haushalten (*vgl. Mitterauer, S. 31-34*).

Wie zu sehen ist, sind also LCDs nicht gleich LCDs, da sie mit unterschiedlichen Flüssigkeiten, Techniken und Lichtquellen arbeiten. Das hängt vor allem vom Anforderungsprofil des Gerätes ab und wird deshalb auch genau darauf abgestimmt.

Um optimale Qualitätseigenschaften für die Bildoptik zu erreichen, bedarf es einer komplizierten Mischung der Flüssigkristalle. Jeder dieser Mischungen ist ein streng vertrauliches Firmengeheimnis, da dies eines der wichtigsten Kriterien für Erfolg und Misserfolg ist. Diese Herstellungsmethode wird für Handys, Computer und Fernseher angewandt.

In einem deutschen Unternehmen (in Hessen) werden derzeit an LCD-Anzeigen höchste Anforderungen gestellt. Aufgrund der Farbverfälschungen bei einem flachen Betrachtungswinkel und bei Sonneneinstrahlung werden LCD-Anzeigen schwerer lesbar und verlieren vor allem an Kontrast und Helligkeit. Nicht optimal für einen Autofahrer, der sich im Normalfall auf den Straßenverkehr konzentrieren sollte.

Deswegen werden in den nächsten Jahren in diesem Bereich viele Veränderungen und Verbesserungen vorgenommen. Dies soll mit Hilfe speziell integrierter Folien und optimierten Flüssigkristallmischungen erreicht werden (*vgl. Pfeifer*).

4 / PLASMA

4.1 Allgemein

Vor Jahrzehnten war es eine Errungenschaft farbfernsehen zu können. Heutzutage will der Betrachter ein richtiges Kinoerlebnis zu Hause aufkommen lassen. Große Röhrenfernseher oder Projektoren sollen diese Art von Gefühl aufkommen lassen.

Plasmabildschirme sind die heutige Antwort auf diesen Wunsch. Diese Technik wurde durch die vier Forscher Bitzer, Slottow, Willson und Arora in den 60er Jahren in den USA erfunden. Erste Prototypen hatten Auflösungen von 4x4 Pixel. Obwohl Firmen an dieser Technik sehr interessiert waren und Geld investierten, wurde die Produktion in den USA Ende der 80er Jahre eingestellt. Erst in den 90er Jahren nutzte die Industrie diese Errungenschaft, nachdem die Forschung sich nach Japan verlagert hatte und dort marktreife Modelle produziert wurden.

Generell ist die Bauart der Plasmabildschirme besonders flach, und sie sind in ihrer Bildgröße nicht limitiert wie Röhrenfernseher. Weiters gibt es diverse Montagemöglichkeiten, die vor allem platzsparend sind und das Raumbild verschönern. Da Plasmabildschirme Xenon – Gas und keine Flüssigkristalle wie LCD-Bildschirme nützen, sind die Herstellungskosten und der Stromverbrauch relativ hoch. Auch aufgrund der Pixelgrößen werden diese Art von Bildschirmen erst ab einer Größe von 32“ (entspricht einer Bildschirmdiagonale von ca. 83cm) produziert. Alle kleineren Größen wären am derzeitigen Markt nicht mehr konkurrenzfähig und das PreisLeistungsverhältnis wäre nicht mehr gerechtfertigt.

4.2 Technik

4.2.1 Grundlagen

Anders als bei TFTs arbeiten Plasmabildschirme mit winzigen Leuchtstofflampen. Diese besitzen eine der Grundfarben rot, grün oder blau, welche auch wie bei Flachbildschirmen Subpixel genannt werden. Durch das eigenständige Leuchten der einzelnen Subpixel haben Plasmadisplays schon jetzt einige Vorteile

gegenüber der TFTs. Das generieren von Farben allerdings, ist dem von TFT – Monitoren sehr ähnlich. Durch Variation der Lichtintensität der einzelnen Subpixel können verschiedene Farbabstufungen erzeugt werden (vgl. Eichmeier, S. 387).

Grundsätzlich funktionieren Plasmabildschirme wie Leuchtstoffröhren. Jedes Ende der Röhre ist mit einer Elektrode verbunden. In der Röhre befindet sich ein Edelgas (Xenon) welches dann durch Hochspannung angeregt wird und dadurch in Plasma umgewandelt wird. Dieses neu gebildete Gas besteht aus freien Elektronen und positiven Ionen, die aber trotzdem eine Gesamtladung von Null ergeben. Nun beginnen die Elektronen zur positiven Elektrode zu wandern und die Ionen zur negativen. Durch diese Bewegung prallen Atome aufeinander und gewinnen dadurch Energie, welche die Elektronen auf eine höhere Energiestufe bringt. Beim Zurückfallen auf die Ausgangsstufe wird ein Photon, also Licht, abgegeben. Dies resultiert aus der Bewegung des Plasmas durch das elektrische Feld.

Um nun eine kontinuierliche Bewegung zu erzeugen, wird Wechselstrom angelegt, damit die Gas – Ionen von einer Elektrode zur anderen wandern können. Um das abgegebene Licht (UV Strahlung) auch sehen zu können, werden die Wände der Leuchtstoffröhre mit einem UV – empfindlichen Puder versehen. Dieses Puder ist ein so genannter Szintillator, auch Phosphorschicht genannt, welcher die Eigenschaft aufweist, einen Lichtwellenbereich in einen anderen umzuwandeln (siehe Abb. 4.1.) (vgl. Eichmeier, S. 387).

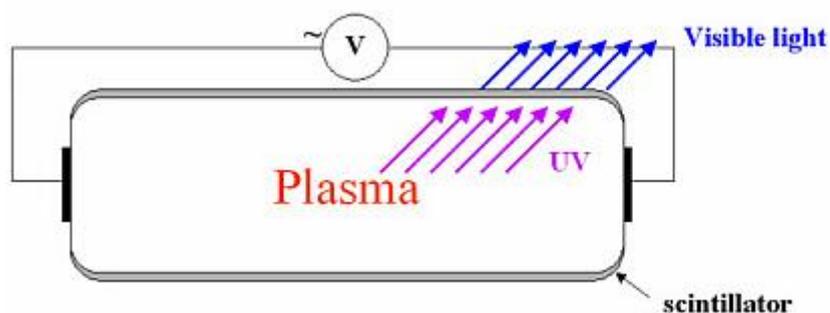


Abb. 4.1. – Umwandlung des UV – Lichts zu sichtbarem Licht durch den Szintillator (Quelle: www.tomshardware.de)

Wie bei der Röhrenmonitortechnik, wo Szintillatoren den Elektronenstrahl in rotes, grünes oder blaues Licht umwandeln, wird dieses Prinzip auch in der Plasmatechnik verwendet (vgl. www.plasma.de/de/plasmatechnik/plasmatechnik.html; Zwing, S. 101-103)

4.2.2 Pixelaufbau

Jedes Pixel besteht aus drei gleichen Leuchtstofflampen. Diese besitzen eine der drei Grundfarben rot, grün oder blau und haben an der Vorder- und Rückseite eine Elektrode. Diese Lampen haben je einen Hohlraum, wo der chemische Prozess stattfindet. Durch den Wechselstrom wird das Edelgas, wie vorhin schon geschildert, angeregt und erzeugt dadurch das Plasma. Die daraus erzeugten UV – Strahlen (in Abb. 4.2. violette Pfeile) treffen nun auf die Farbszintillatoren, die das UV – Licht in sichtbares Licht umwandeln (siehe Abb. 4.2.) .

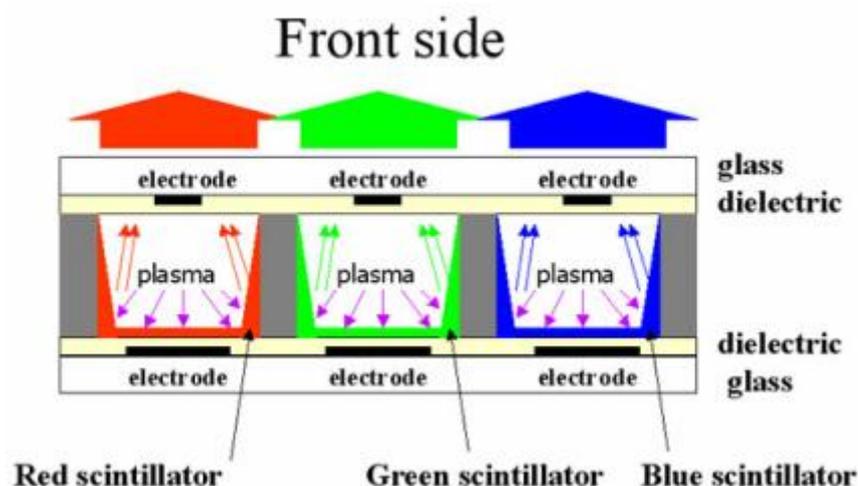


Abb. 4.2. – Lichterzeugung im Hohlraum einer Leuchtstofflampe durch Scintillatoren (Quelle: www.tomshardware.de)

Trotz der alt bewährten Technik der Leuchtstoffröhren, ist die Herstellung von großen Plasmadisplays schwierig. Aufgrund des Volumens eines Subpixels von $200 \times 200 \times 100 \mu\text{m}$, ist eine bestimmte Auflösung nur bei einer bestimmten Größe eines Panels unterzubringen. Weiters ist die Anordnung von einigen Millionen Subpixel technisch schwer realisierbar. Um nun eine optimale Leitfähigkeit und Transparenz erzeugen zu können, benutzt man dafür, wie bei LCDs, eine ITO Elektrode und eine dünne Chromschicht, wobei die Chromschicht

bessere Leitereigenschaften aufweist als die ITO Elektrode (vgl. Eichmeier, S. 387).

Die Szintillatoren haben je nach Farbe auch bestimmte chemische Zusammensetzungen, um bestimmte Wellenlängen für die entsprechende Farbe erzeugen zu können.

- **Grün:** $\text{Zn}_2\text{SiO}_4:\text{Mn}^{2+}$ / $\text{BaAl}_{12}\text{O}_{19}:\text{Mn}^{2+}$ (510 und 525 nm)
- **Rot:** $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ / $\text{Y}_0,65\text{Gd}_{0,35}\text{BO}_3:\text{Eu}^{3+}$ (610 nm)
- **Blau:** $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ (450 nm)

Wie bei TFT – Monitoren wird das Farbspektrum über die drei Subpixel und deren Intensitätsverteilung geregelt. Für die Ansteuerung der einzelnen Subpixel benötigt man theoretisch genauso viele Elektroden, wie Subpixel vorhanden sind. Da aber bei einer Auflösung von 1280x768 Pixel ungefähr sechs Millionen Elektroden nötig wären und dies technisch nicht realisierbar ist, werden diese Leitungen gebündelt. Alle vorderen Leitungen sind jetzt für je eine ganze Zeile zuständig und die hinteren für je eine ganze Spalte (siehe Abb. 4.3.). Über die Steuerungselektronik wird jetzt jeder Pixel nacheinander angewählt und zum Leuchten gebracht. Ähnlich wie bei CRT – Monitoren geschieht dies in einer Geschwindigkeit, die für das menschliche Auge nicht sichtbar ist.

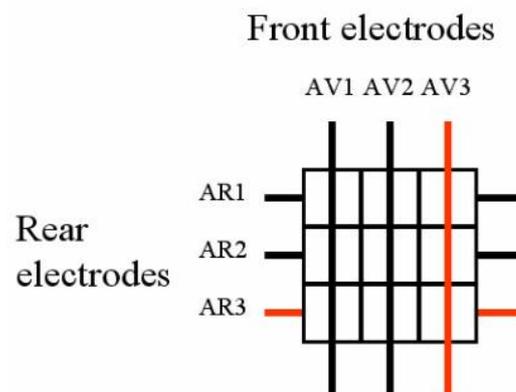


Abb. 4.3. – Aufbau der gebündelten Elektroden (Quelle: www.tomshardware.de)

Die derzeit gängigste Technik, die im Moment in Plasmadisplays verwendet wird, ist die ACC – Technik (Alternative Coplanar Current). Hier sind insgesamt drei Elektroden pro Pixel im Einsatz, anstatt der üblichen zwei.

Die Steuerelektronik ist bei diesem Aufbau etwas komplizierter. Zuerst werden Ladungsgrenzen von +100V und –200V an die Scan- und Datenelektrode angelegt. Die dritte Elektrode, die hier hinzukommt, ist die Sustain – Elektrode, welche mit der Scan – Elektrode die ständig wechselnde Polung durch den Wechselstrom aufrechterhalten kann (siehe Abb. 4.4.). Dadurch kann die Daten – Elektrode weitere Ansteuerungsbefehle entgegennehmen und der Plasmafluss kann länger gewährleistet werden (vgl. www.de.tomshardware.com/display/20050422/lcd_vs_plasma-04.html (04/2005); VDI, S. 33-36).

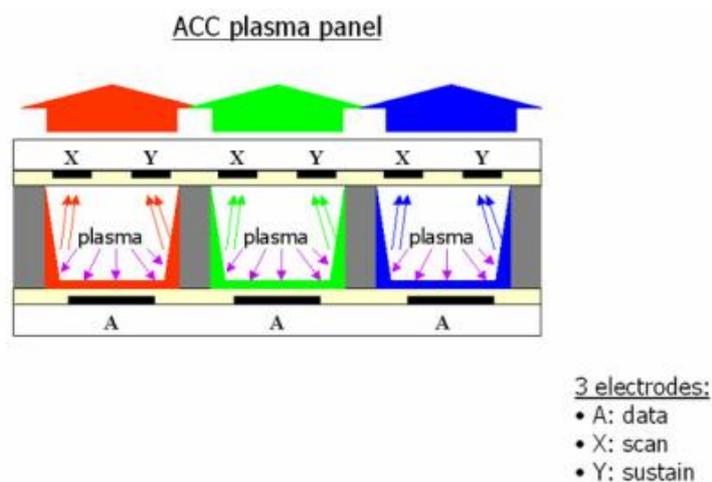


Abb. 4.4. – Leuchtstofflampen mit je 3 Elektroden (ACC – Technik) (Quelle: www.tomshardware.de)

4.3 Eigenschaften

4.3.1 Farben und Bildqualität

Plasmadisplays können einige Vorteile gegenüber LCDs und CRT – Monitoren vorweisen. Ein größeres Farbspektrum und die sehr gute Bildqualität sind zum Beispiel einer der Stärken dieser Technologie.

Durch die gezielte Auswahl von Szintillatoren ist es möglich leuchtendere Farben und ein breiteres Farbspektrum zu produzieren. 256 Graustufen und 16,7 Millionen Farben sind daher fixe Leistungsmerkmale.

Um nun solch große Farbspektren und Graustufungen gut darstellen zu können, müssen die Plasmapixel höchsten Anforderungen gerecht werden. Leider funktioniert das in der Praxis aber nicht so gut. Da nur durch die elektrische Entladung der Pixel Licht ausgestrahlt wird, gibt es keinen Zwischenzustand, der mehr oder weniger Licht ausstrahlt. Das heißt, dass es entweder leuchtet oder schwarz bleibt. Um jetzt Helligkeitsunterschiede steuern zu können, wird das PCM – Verfahren (Pulse Code Modulation) angewandt.

Hierbei wird einfach nur das Pixel öfter oder weniger oft zum leuchten gebracht (siehe Abb. 4.5.), je nachdem welcher Helligkeitszustand erreicht werden soll.

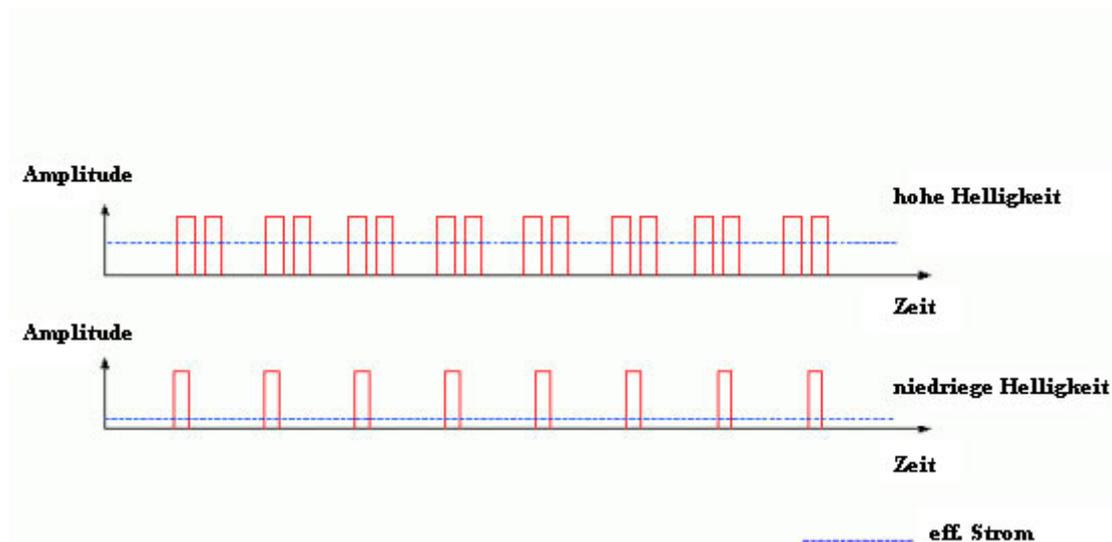


Abb. 4.5. – Helligkeitssteuerung durch elektrische Entladung des Pixels (Quelle: www.tomshardware.de)

Leider ist dies auch mit Problemen verbunden. Das PCM – Verfahren arbeitet sehr gut bei mittleren und helleren Farbtönen, zeigt jedoch bei dunkleren Farbabstufungen kaum Unterschiede. Dunkle Stellen sind daher schwer zu unterscheiden, weil die einzelnen Farbnuancen nicht optimal dargestellt werden.

Plasmapixel sind, im Gegensatz zu CRT – Monitoren, unempfindlich gegenüber externen Magneteeinflüssen und haben somit keine Bildveränderungen zu befürchten. Da sie aber mit Phosphorschichten arbeiten, muss auf die

Betriebsbedingungen des Displays geachtet werden, da sonst Phosphoreinbrennungen entstehen könnten, wie das auch bei Röhrenmonitoren der Fall sein kann. Deswegen sollten also lange Standbildsequenzen oder Firmenlogos in Werbefilmen vermieden werden, da Einbrennungen nicht mehr reparabel sind (vgl. Schmidt, S. 93-98).

4.3.2 Betrachtungswinkel

Der Betrachtungswinkel eines Plasmasdisplays ist im Vergleich zu LCDs weitaus größer. Die Pixel erzeugen ihr Licht selbst und sind nicht an Flüssigkristalle oder ähnliches gebunden. Das Licht kann so in jede Richtung gleich stark ausstrahlen. Weiters sind auch keine Polarisationsfilter nötig, die entscheiden welches Licht durchgelassen werden darf und welches nicht. Ihr Blickwinkel von 160° ist daher fast so groß wie der eines CRT – Monitors (vgl. Eichmeier, S. 388).

4.3.3 Kontrastverhältnis

Auch das Kontrastverhältnis ist der eines Röhrenmonitors bzw. –fernsehers ebenbürtig. Hier liegt der Vorteil auch wieder beim selbst erzeugten Licht des Pixels. Ein Pixel das also ausgeschaltet ist, strahlt auch kein Licht aus und ist deshalb vollkommen schwarz. Das Pixel muss nicht, wie bei LCDs, das Licht durch Kristalldrehungen blockieren, sondern kann wie eine Lampe leuchten oder auch nicht. Kontrastverhältnisse mit Werten von 800:1 bis 1000:1 sind standardmäßig zu finden (vgl. Zwing, S. 102).

4.3.4 Helligkeit

Plasmafernseher können durch ihre Technik Helligkeitswerte von 900 bis 1000 cd/m² erreichen. Dies ist natürlich auch wieder auf ihre Pixeltechnik zurückzuführen.

4.3.4 Bilddiagonale

Ein großer Vorteil ist die Bilddiagonale. Plasmabildschirme erreichen durch ihre Pixeltechnik eine ähnlich geringe Bautiefe wie LCDs und haben außerdem keine bauliche Größenbegrenzung. Röhrenmonitore können technisch bedingt, wegen ihrer Kathodenstrahlröhren, nur bis zu gewissen Größen gebaut werden. 36“ sind

bis dato für Konsumenten am freien Markt verfügbar, wogegen Plasmadisplays bei 32“ beginnen und bis über 50“ groß sein können. Generell werden Plasmadisplays auch erst ab 32“ (ca. 82cm) gebaut, da kleinere Größen durch den etwas größeren Pixelabstand keine konkurrenzfähige Auflösung bieten können (siehe Kapitel 4.3.5) (vgl. Zwing, S. 103).

4.3.5 Auflösung und Pixelabstand

Der Pixelabstand eines Plasmadisplays ist eine große Schwäche. Durch die Leuchtstofflampen können Pixel Größen von nur 0,5 bzw. 0,6 Millimeter erreichen. Technisch ist eine Verkleinerung noch nicht realisierbar. Deshalb gibt es Plasmafernseher erst ab 32“ zu kaufen, da erst bei einer solchen Größe eine wettbewerbsfähige Auflösung (853x480 Pixel) erreicht werden kann. Dies schlägt sich natürlich auch im Preis nieder.

Eine Technik von Fujitsu, unter dem Marketingnamen ALIS (Alternate Lighting of Surface), ermöglicht derzeit ungenutzten Vertikalbereich zwischen zwei Elektrodenpaaren zu nutzen. Die Elektroden der beiden Elektrodenpaare bilden jetzt ein neues Elektrodenpaar, welches zur Lichterzeugung verwendet wird. Über ein Interlaced - Ansteuerung zwischen den Zeilen wird eine theoretische doppelte Anzahl an Zeilen erzielt. Da dies nur in vertikaler Richtung möglich ist, ergeben sich andere Auflösungsarten, als gewohnt (852x1024 oder 1024x1024). Durch die Mehrarbeit für die Steuerelektronik, kommt es bei hohen vertikalen Auflösungen zu Zeilenflickereffekten (vgl. www.de.tomshardware.com/display/20050422/lcd_vs_plasma-07.html).

4.3.6 Betrachtungsabstand

Obwohl diese Kategorie eher an Projektoren gerichtet ist, stellt der Betrachtungsabstand bei Plasmadisplays einen wesentlichen Faktor dar. Auch wenn das Bild größer als bei einem Röhrenmonitor ist, ist das Fernseherlebnis nicht unbedingt intensiver. Bei zu kleinem Betrachtungsabstand kann es aufgrund der schlechten Helligkeitsabstufungen in dunkleren Bereichen zum Flimmern bzw. zu inhomogenen Bildern kommen. Auch wenn eine Bildfrequenz von über 85Hz für das menschliche Auge eigentlich nicht als Flimmern wahrgenommen wird, kann es trotzdem bei falschem Betrachtungsabstand zu Ermüdungen der

Augen führen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Augen das Flimmern trotzdem noch wahrnehmen, aber das Gehirn diese Informationen nicht schnell genug verarbeiten kann. Deswegen ist die Plasmatechnik auch im Computerbereich als nicht sinnvoll zu betrachten.

4.4 Entwicklung

Plasmascreens sind durch ihre Größe und ihre platzsparende Bauart mittlerweile schon in den heimischen Wohnzimmern vertreten. Trotzdem ist der Preisunterschied zu LCDs und Projektoren immer noch sehr hoch (3x – 4x so teuer) und dadurch oft nicht erschwinglich. In professionellen High End Bereichen allerdings wird auf seine Verwendung immer mehr Wert gelegt.

Um das Preis- / Leistungsverhältnis zu rechtfertigen, können sich Plasmascreens durch kontrastreiche Bilder, hohe Helligkeitswerte, hohe Auflösungen, geringen Platzbedarf, hohe Betrachtungswinkel, hohe Lebensdauer und gleichmäßige Ausleuchtung auszeichnen (*vgl. Mitterauer, S. 31-34*).

Seine multimediale Flexibilität ist im Bereich der Werbung und der Unterhaltung sehr beliebt, da verschiedenste Videoformate (PAL*, NTSC*, SECAM*, HDTV) unterstützt werden. Weiters können Multi – Input – Terminals mehrere Quellen gleichzeitig auf ein Display schalten, RS232 – Steuerungssysteme ermöglichen die Verwaltung mehrerer unterschiedlicher Daten- und Videoquellen, und der Konsument kann aus einer großen Palette von Displaygrößen wählen.

Die hohen Anschaffungskosten und der hohe Energieverbrauch sind aufgrund der überragenden Bildqualität und der hohen Leistung daher weniger von Bedeutung.

Dennoch schaut die Entwicklung von Plasmascreens im Großformatbereich eher schlecht aus, falls keine neuen Innovationen auf diesem Sektor auftauchen sollten. Sobald nämlich LCDs ähnliche Leistungsdaten erreichen, werden Plasmascreens verdrängt werden, einfach aufgrund der wesentlich billigeren Herstellung (*vgl. Mitterauer, S. 31-34*).

5.1 / LED

5.1 Allgemein

In den 60-er Jahren wurde aus einer Gallium – Arsen – Phosphor Kombination die erste LED (Light Emitting Diode) hergestellt. Sie leuchtete mit einer Wellenlänge von 650nm (rotes Licht) und mit einer Lichtstärke von 1 bis 10 mcd*. Die nächste Generation hatte dann eine höhere Leuchtdichte, doch lag die Leuchtfarbe in einem Bereich, welcher für das menschliche Auge unempfindlich war und daher nicht relevant für kommerzielle Einsätze.

In den 70-er Jahren wurden weitere Farben entwickelt und somit auch in Taschenrechnern und digitalen Uhren eingesetzt.

Durch ständige Forschungen wurde dann ein neues Halbleitermaterial aus Gallium – Aluminium – Arsenid (GaAlAs) erfunden, welches in den 80-er Jahren für weiteren Aufschwung in der LED – Technologie sorgte.

Am Ende der 80-er Jahre kamen neu entwickelte Laserdioden in Bar – Code – Lesegeräten zum Einsatz. Diese Technik wurde erweitert und verfeinert, und bildete später den Grundstein für die InGaAlP – Diode (Indium – Gallium – Aluminium – Phosphat), welche in der Lage war grün, gelb, orange und rot zu leuchten. Dies war der Anstoß für den Beginn neuer Marktfelder und Massenproduktion.

Trotzdem fehlte noch ein grundlegender Baustein für die Entwicklung von Bildreproduktion. Die additive Mischung von rot, grün und blau musste die Farben des sichtbaren Lichtspektrums wiedergeben können. Dies gelang erst kurz vor der Jahrtausendwende, mittels eines neuen Halbleitermaterials, dem Gallium – Nitrid (GaN). Jetzt wurden auch blaue LEDs konstruiert, die Licht in einem ausreichenden Maß (1000 mcd* = Millicandela*) emittieren konnten (*vgl. Lindner, S. 44-45; Nakamura, S. 1-2*).

LEDs sind mittlerweile durch ihre Leistungsfähigkeit in technischen Geräten weit verbreitet. Vom DVD - Player bis hin zum Auto werden sie, aufgrund der recht preiswerten Herstellungskosten, des größeren Farbspektrums, des hohen Kontrastverhältnisses und vor allem wegen der geringen Bautiefe eingesetzt. Unter geringem Stromverbrauch beginnen die kleinen Dioden zu leuchten. Eine

Diode nutzt ca. 10-mal (35%) soviel elektrische Energie und wandelt diese in Licht um, als eine normale Glühbirne. Um Farben wiederzugeben hat jeder Pixel eine grüne, rote und blaue LED. Sind alle gleichzeitig aktiviert wird die Farbe weiß generiert. Vordefinierte Wellenlängen und bestimmte Helligkeitswerte, die in speziellen Anlagen getestet werden, ermöglichen dann farbechte und naturgetreue Wiedergaben von Bildern und Filmen.

Ein besonderes Merkmal der LED ist die Leistung die eine solche Diode aufnehmen kann, also ihre Helligkeit, die sie unter geringem Stromverbrauch wieder gibt. Weiters spricht ein guter Betrachtungswinkel von über 140°, die Zuverlässigkeit und Farbtreue, sowie die lange Lebensdauer von ca. 100000 Stunden für viele unterschiedliche Einsatzgebiete.

Trotzdem arbeiten Wissenschaftler der Firma Osram an Verbesserungen, um noch bessere Leistungsergebnisse zu erzielen, da es immer noch viele Probleme gibt. Ein Teil des produzierten Lichts, welches durch Anlegen einer Spannung erzeugt wird, wird durch die Diodenoberfläche wieder reflektiert und im Inneren dann absorbiert. In Labors werden Veränderungen an der Oberfläche vorgenommen, damit Lichtstrahlen vollkommen durchdringen können und um Energieverlust zu vermeiden.

Durch diese intensiven Forschungen und Weiterentwicklungen wird die Herstellung der LEDs auch zunehmend billiger.

5.2 Technik

Eine LED – Fläche ist durch zwei Kennzahlen in ihrem Ausmaß bestimmt:

- i. Pixel Pitch
 - Abstand zwischen zwei LEDs in Millimeter
 - desto kleiner dieser Abstand ist, umso besser ist das Bild

- ii. Leuchtdichte
 - wird in cd/m^2 (candela / m^2) angegeben und bestimmt die maximale Leuchtdichte bei weißem Licht; je höher desto heller
 - Innenwände haben bis zu 2000 cd/m^2 ; Außenwände können einen Wert von bis zu 5000 cd/m^2 haben

Um weißes Licht zu erzeugen, wurde zuerst auf die additive Mischung der drei Grundfarben zurückgegriffen. Bisher war es noch nicht möglich aus einer einzelnen Diode weißes Licht zu erzeugen, bis letztendlich das Fraunhofer – Institut für Angewandte Festkörperphysik (IAF) zeitgleich mit japanischen Kollegen der Firma Nichia das Problem lösen konnte. Über Lumineszenz – Wellenlängenkonversion wurde weißes Licht hergestellt. Bei diesem Verfahren werden blaue Gallium – Nitrid – LEDs mit Lumineszenzfarbstoffen bzw. Phosphoren kombiniert. Kurzwelliges Licht bringt diese dann zum Leuchten, wobei dann Licht längerer Wellenlängen abgegeben wird. Diese Technik wird SMD – LED (Surface Mount Device LED) oder SMT (Surface Mount Technology) genannt (vgl. Lindner, S. 44-45).

LEDs arbeiten, entgegen anderen Leuchtmitteln, nicht mit Glühfäden sondern arbeiten wie eine Halbleiterdiode. Hierbei wird ein Energiequant, in Form von Licht, freigesetzt, welches durch das Zusammenbrechen der Raumladungszone (Verarmungszone), auch Rekombinationsvorgang genannt, entsteht. Die Strahlungsenergie des Lichts wird vom verwendeten Halbleitermaterial ermittelt, wobei der Bandabstand diese Energie bestimmt. Die Wellenlänge der Strahlung ist mit dem Halbleiter verbunden, da diese umgekehrt proportional zur freigesetzten Energiemenge beim Rekombinationsvorgang ist. Trotzdem ist das Lichtspektrum sehr schmal, sodass das freigesetzte Licht einfarbig ist (siehe Abb. 5.1.) (vgl. Nakamura, S. 3-8).

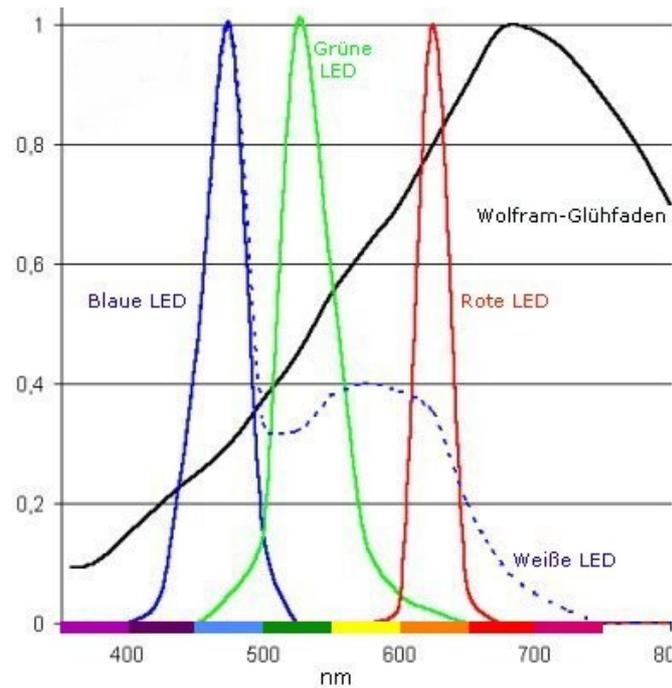


Abb.5.1. - Spektrale Strahlungsverteilung verschiedener LEDs (Quelle: www.nullohm.de)

5.2.1 Aufbau einer LED

Eine LED besteht aus einem LED – Chip, einem Reflektor, einem Golddraht und einer Kunststofflinse. Der Golddraht dient als Anodenkontakt und die Kunststofflinse als Hülle für die kleine Konstruktion. Der LED – Chip selbst wird in die Reflektorwanne eingebettet (siehe Abb. 5.2.).

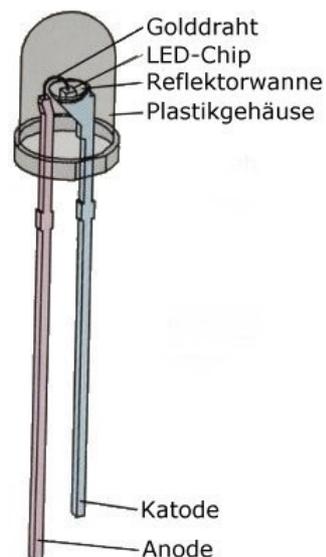


Abb. 5.2. - Schematischer Aufbau einer LED

Eine nähere Veranschaulichung zu den unterschiedlichen LED – Typen und deren Eigenschaften ist in Tabelle 5.1. zu sehen.

Typ	Farbe	Halbleitermaterial	Wellenlänge	Nennstrom	Flussspannung
Standard	Tiefrot	GaP	700 nm	20 mA	2,0 V
Standard	Rot	GaAsP	655 nm	20 mA	1,7 V
Standard	Orange	GaAsP/GaP	610 nm	20 mA	2,0 V
Standard	Gelb	GaAsP/GaP	585 nm	20 mA	2,1 V
Standard	Grün	GaP	555 nm	20 mA	2,2 V
Superhell	Hyper-Rot	GaAlAs	660 nm	20 mA	1,85 V
Superhell	Gelb	AlInGaP	595 nm	20 mA	1,8 V
Superhell	Grün	GaP	565 nm	20 mA	2,2 V
Superhell	Blau	GaN	430 nm	20 mA	3,5 V
Ultrahell	Grün	GaInN	525 nm	20 mA	3,3 V
Ultrahell	Blau	GaInN	475 nm	20 mA	3,5 V
Ultrahell	Weiß	GaInP	---	20 mA	3,5V

Tab. 5.1. – Eigenschaften von LEDs (Quelle: www.nullohm.de)

Die fehlende Wellenlänge für weiße LEDs hat den Grund, dass weißes Licht alle Spektralfarben des sichtbaren Lichts besitzt. Da ein einzelner Halbleiterkristall nun aber nicht fähig ist alle Spektralfarben zu produzieren, wird ein zusätzlicher so genannter Lumineszenz – Konverter benutzt. Dieser kann Strahlung absorbieren und sie in einem anderen Wellenlängenbereich wieder abgeben. Um jetzt eine weiße LED zu erzeugen, wird eine blaue LED mit Phosphor überzogen. Dieser Phosphor absorbiert nun Teile der Strahlung (Phosphor-Down-Conversion) die im blauen Bereich liegt und wandelt diese in Strahlung des gesamten roten, gelben und grünen Bereichs um. Bei dieser Umwandlung wird ein Augenmerk auf den gelben Wellenlängenbereich gelegt, da dieser in Verbindung mit dem blauen Wellenlängenbereich weiß ergibt.

Da eine LED empfindlich auf Spannung reagiert, müssen hier Grenzen gesetzt werden. Die Flussspannung ist die Spannung, wo eine LED die höchste Lichtausstrahlung erreichen kann, ohne dabei den Halbleiter zu beschädigen. Je nach Farbe der LED ist diese Spannung begrenzt. Die Sperrspannung von 5 Volt (V) ist die maximale Spannung, die eine verpolte LED aushält. Da nun der Stromfluss im Verhältnis zur Spannung extrem schnell ansteigt (siehe Abb. 5.3.), wird ein Widerstand benötigt, um den Stromfluss eingrenzen zu können, um optimale Lichtausbeute zu erhalten bzw. um Beschädigungen vorzubeugen (vgl. *Oschmann, www.nullohm.de/berichte/led.htm*).

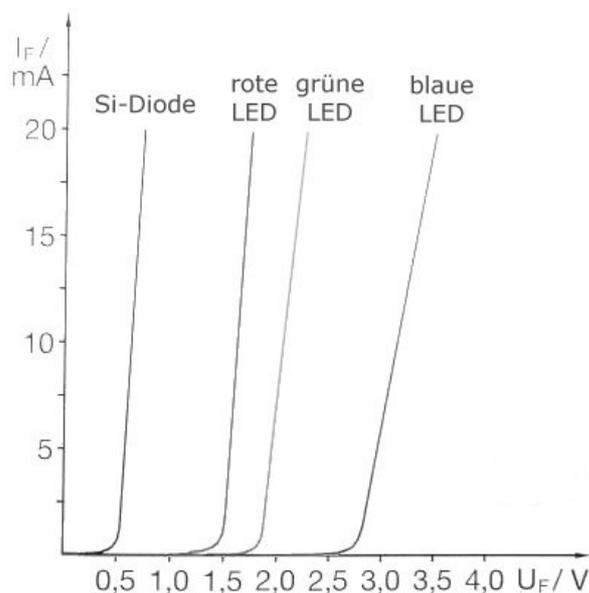


Abb. 5.3. - Strom-Spannungskurve verschiedener LEDs bzw. der Si-Diode (siehe www.nullohm.de)

5.2.2 Innenanwendungen:

Im Innenbereich brauchen LED – Schirme eine weitaus geringere Leuchtdichte als bei Außenanwendungen. Der Betrachtungsabstand, die Lichtverhältnisse und die Bauweise unterscheiden sich hier deutlich. Der kleine Pixelabstand und die Farbgebung des gesamten Farbspektrums wird durch die SMD – Technik realisiert. Das heißt, dass, anders als bei Außenwänden, hier nur eine Diode zum Einsatz kommt. Auch der Betrachtungswinkel von 145° horizontal und vertikal ist dementsprechend größer. Ein Beispiel wäre die Barco ILite 6 Innenwand, welche einen Pixelabstand von nur mehr sechs Millimetern misst, wobei bei einem Betrachtungsabstand von 3 Metern das Bild schon homogen erscheint. Dies

misst einen Stromverbrauch von ca. 2 kW/m² (vgl. Lindner, S. 45; Dolde, S. 20-22)).

5.2.3 Außenanwendungen:

Ein Beispiel für eine LED – Außenwand wäre die „DLite 7“ von der Firma Barco. Diese nutzt die Eigenschaft, für die Farben rot und blau, jeweils zwei Dioden einzusetzen, im Gegensatz zu seinem Innenpendant mit nur einer Diode. Dies kompensiert einerseits die etwas geringere Lichtstärke der jeweiligen Farbe, andererseits nähert man sich somit der Empfindlichkeitskurve des menschlichen Auges für Helligkeit an.

Je nach Größe und äußerlichen Gegebenheit kommt es zu Konstruktionen, die mehr oder weniger Dioden pro Bildpunkt einsetzen. Große Außenwände werden durch viele einzelne ¼ Quadratmeter große Module zusammengebaut. Dabei schränkt die Grundkonstruktion die Größe der Fläche ein. Ein Vorteil ist, dass hier kein 4:3 oder 16:9 Bildverhältnis verwendet werden muss. Einzelne Module können nach belieben aufgestellt, ausgetauscht und schnell wieder abgebaut werden, was servicetechnisch sehr hilfreich sein kann.

Eingesetzt werden LED –Videowände vor allem dort, wo der Abstand des Betrachters dementsprechend ausreichend ist (bei riesigen Displays ca. 8 Meter Sichtdiagonale), d.h. bei Konzerten in Stadien, Fußballstadien (z. B. Arena auf Schalke), Werbetafeln auf Häusern etc.

Qualitativ gute Bilder sind bei Betrachtungswinkeln von 120° horizontal und 60° vertikal gegeben. Der Stromverbrauch beträgt in etwa 8,75 kW/m² (vgl. Lindner, S. 45)..

5.3 Eigenschaften

LEDs sind bekannt für ihre lange Lebensdauer und ihre Stoßfestigkeit. Ihr hoher Wirkungsgrad bei gleichzeitig geringer Betriebsspannung ist ein weiteres Leistungsmerkmal. Die Leuchtkraft ist stufenlos einstellbar und ohne Verlust der Farbtemperatur möglich. Verschiedenfarbige LEDs können verschiedene Lichtfarben generieren, und ihre punktförmige Strahlungsquelle ermöglicht präzise Lichtausstrahlung.

Um LED – Wände richtig einsetzen zu können, müssen bestimmte Faktoren berücksichtigt werden. Höhe, Breite und Blickwinkel der Wände müssen so gewählt werden, um Maximalentfernungen für Betrachter errechnen zu können bzw. um zwischen Innen- und Außenanwendungen zu wählen. Wie in den Kapiteln 5.2.2 und 5.2.3 schon besprochen, sind unterschiedliche LEDs und Aufbauten dafür notwendig (vgl. Dolde, S. 19-20).

Einziges Manko sind die Betriebsgeräte, die für einen Betrieb notwendig sind, und die Strahlungsleistung, die mit zunehmender Temperatur abnimmt.

5.4 Entwicklung

Generell sind LED – Anzeigen universell einsetzbar (siehe Abb. 5.4.). Sie werden für Live – Konzerte als Videowalls eingesetzt, da sie in ihrer Bauart nicht an Maximalgrößen beschränkt sind. Viele Supermärkte und öffentliche Einrichtungen greifen auf diese langlebige und robuste Technik zurück. LED – Wände sind auch als Werbetafeln im Einsatz, wie zum Beispiel im 7. Wiener Gemeindebezirk, Neubau, bei der U6 Station Burggasse/Stadthalle.



Abb. 5.4. - Einsatzgebiete in Kaufhäusern, öffentlichen Anzeigetafeln und TV

6 / O-LED:

6.1 Allgemein

Wie oben beschrieben ist die Technologie der LEDs heutzutage schon weit verbreitet, doch der Nachfolger lässt nicht mehr lange auf sich warten. OLED (Organic Light Emitting Diode) ist ein Sammelbegriff von zwei Arten, der diese Technik umfasst. SM OLED (Small Molecule – OLED) bzw. P OLED (Polymer OLED) sind zwei Konzepte aus der Entwicklung der OLEDs. OLEDs (Organic Light Emitting Diode) sind im Gegensatz zu den herkömmlichen LEDs leichter, noch stromsparender und sogar flexibler einsetzbar, um hier nur einige Vorteile herauszuheben. Am Fraunhofer Institut für angewandte Polymerforschung in Potsdam haben Forscher die organische Substanz der OLEDs chemisch verändert und somit zum Leuchten gebracht. Die Substanz, eine Art Kunststoff, besitzt die Eigenschaft Strom zu leiten, was im Normalfall nicht üblich ist. Bei einer bestimmten Wellenlänge emittieren, die in einer Flüssigkeit gelösten organischen Moleküle, Licht.

Am Markt kommt diese Technologie schon in Autoradios, digitalen Fotoapparaten und Mobilfunktelefonen zum Einsatz.

Die selbstleuchtenden Displays können einfach und flexibel auf vielen Oberflächen angebracht werden. Für die Zukunft ist sogar von „aufzurollenden Displays“ die Rede. Prinzipiell funktioniert diese Technik mit Hilfe von organischem Material. Alltäglich kommt dieses als Einkaufstaschen in unserer Umwelt vor (*vgl. Krautwald, S. 46-47*).

6.2 Technik

Der Aufbau von OLEDs besteht aus einer organischen Schicht, wobei es einen Unterschied zwischen SM OLED bzw. P OLED gibt, obwohl sich beide nicht in ihrer Funktion unterscheiden, da sie auf Elektrolumineszenz* basieren. Bei SM OLEDs werden die Schichten durch Sublimation im Vakuum abgeschieden, wobei bei P OLEDs die aktiven Schichten aus einem Polymerfilm gebildet werden, der auf einer Lösung aufgebracht wird. Die Dicke der Schicht bewegt sich um 100nm, die zwischen einer Anode und Kathode befestigt ist. Als Oberflächenmedium wird meistens Glas (manchmal auch Silizium bzw. andere

flexible Stoffe) verwendet, auf das transparentes leitendes Indiumzinnoxid (ITO) aufgebracht wird. Danach wird die organische Schicht im so genannten Spincoating – Verfahren* aufgetragen. Dabei wird die Oberfläche mit den organischen Molekülen benetzt und bildet so einen zehntausendstel Millimeter dünnen Belag. In einer Vakuumkammer mit Metall bedampft, ergibt das eine dünne Metalloberfläche, die in Verbindung mit der organischen Kunststoffschicht steht. Wenn nun eine Spannung an die Metalloberfläche anlegt wird, fließt Strom durch die organischen Moleküle und werden dadurch zum Leuchten angeregt. Diese Technik ist bekannt als Elektrolumineszenz* (OEL) und ist in der Industrie von großem Interesse für zukünftige neue Produkte. Deshalb werden auch keine Mühen gescheut, große Summen für die intensive Forschung und Entwicklung im Bereich der OLEDs bereitzustellen (*vgl. Shinar, S. 9-16; Mitterauer, S. 93-97*).

Für die Zukunft ist diese Technik sehr viel versprechend. Flüssigkristall – Displays werden in vielen Anwendungsbereichen, aufgrund von Kosten- und Platzgründen, Flexibilität Helligkeits- und Farbvorteilen, durch OLED – Displays ersetzt werden.

Ein Problem dieser Entwicklung stellt die Forscher aber noch auf die Probe. Ihre Haltbarkeitsdauer beträgt im Moment nur ca. 10000 Stunden, was zwar für Mobilfunktelefone und deren Anwendungen völlig ausreichend ist (auch aufgrund dessen, dass Mobilfunktelefone mittlerweile zu einem Wegwerfprodukt geworden sind und kaum länger als 1 – 2 Jahre im ständigen Besitz einer Person bzw. im Marktbereich im Umlauf sind), aber für Fernseher oder Computerdisplays noch lange nicht genügt, zumal die Benutzung und deren Anwendungen sich wesentlich von Handyapplikationen unterscheiden.

Dies mag wohl auch einer der Gründe sein, warum erst 2007 erste Produktlösungen auf dem Markt zu sehen sind (*vgl. Krautwald, S. 48; Fraunhofer Institut, Applied Films, Optrex Europe GmbH, White Paper*).

6.3 Eigenschaften

OLEDs entwickeln sich im Moment zur Displaygeneration der Zukunft. Sie sind flexibel, hauchdünn und energiesparend. Allein diese Eigenschaften eignen sich hervorragend zum Einsatz für Anwendungsbereiche, die mit bisherigen Displaytechnologien gar nicht, oder nur mit sehr hohem technischem Aufwand realisierbar waren. Zudem kommen noch der extrem hohe Grad an Blickwinkelflexibilität und die geringen Herstellungskosten.

Erste Serienprodukte, die am Markt schon vorhanden sind, finden sich bei Digitalkameras, Mobiltelefonen, Autoradios und MP3 – Playern wieder. Um die Palette an Serienprodukten erweitern zu können, wird natürlich verstärkt im Bereich von Videofähigkeit und Farbwiedergabe gearbeitet (*vgl. Shinar, S. 33-34*).

6.4 Entwicklung

Wie bei allen neuen Technologien müssen zuerst noch Probleme überwunden werden, um konkurrenzfähig zu werden, und um sich am Markt etablieren zu können. Ein Konsortium unter der Führung des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik und mit Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat das Ziel, diese anspruchsvollen Aufgaben zu lösen.

Durch die rasante Entwicklung der OLEDs ist eine große Bandbreite von Endanwendungen entstanden, die genutzt werden können. Um diese aber nützen zu können, muss zuerst der weg des Produktionsprozesses zur Massenanfertigung gefunden werden.

Lösungsansätze gibt es zum Beispiel von der Firma Applied Films, die ihr Ziel in der Fertigungstechnologie auf Glas bzw. anderen transparenten Oberflächen, oder opaken und flexiblen Substraten, sehen. Im Vordergrund des Projektes stehen dann Designelemente und Aufbautechnologien (*vgl. Mitterauer, S. 93-94*).

7 / Elektronische Tinte:

7.1 Allgemein

Auch wenn es so klingt, ist elektronische Tinte keine neue Erfindung. 1975 wurde diese Technik im Xerox Forschungszentrum Parc erfunden. Trotz großen Investitionen tappte man sehr lange im Dunkeln, ob elektronische Tinte überhaupt auf den Markt kommen würde.

Langsam aber doch, erblickte dann Anfang 2003 der erste Prototyp von Philips das Licht der Welt. In Zusammenarbeit mit E Ink Corporation wurde ein Prototyp im Bereich der hochauflösenden Displays entwickelt, nämlich die „elektronische Tinte“. Das erste Produkt jedoch brachte SyncroSign von Gyricon (Ausgründung von Xerox) auf den Markt, in Form einer Anzeigetafel, wobei ihr Produkt den Namen „Smart Paper“ trägt. Diese Anzeigetafel ist mittlerweile in Serienproduktion. Vossloh Information Technologies, Bell Labs und Philips wollen natürlich sobald wie möglich nachziehen.

Ihre Eigenschaften stellen alle bisherigen Technologien in den Schatten. Klein, leicht, geringer Stromverbrauch, hohe Lesbarkeit, hohes Kontrastverhältnis und scharfe Bilder sprechen für sich.

Die Technik basiert auf kleinen Mikrokapseln, die mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, in der weiße oder schwarze Partikel schwimmen. Je nach angelegter Spannung wird die Oberfläche weiß oder schwarz.

Der Verwendung sind hier keine Grenzen gesetzt, weil elektronische Tinte einfach durch ihre hervorragenden Eigenschaften im Moment unerreichbar ist. Keine andere Displaytechnologie erfüllt im Moment dieses Profil an Leistung. Der einzige Pluspunkt ist deren derzeitige Vormachtstellung auf dem Markt, doch es ist nur eine Frage der Zeit, wann elektronische Tinte auch diese einnimmt.

Zukunftsorientiert will die Industrie bald große hochauflösende Displays bauen. Durch ihre enorme Flexibilität sind sie auch in PDAs, Mobiltelefonen, oder Handys denkbar.

Derzeit gibt es Prototypen, die eine Größe von einigen hundert Pixeln nicht überschreiten, aber die Entwickler sind der Meinung, dass auch höhere Auflösungen mit exzellenter Bildqualität kein Problem darstellen sollten. Mit

wesentlich besserer Performance hat E Ink bereits Tinten entwickelt, die schon 10 - mal schnellere Bildwechsel vollziehen kann als seine Vorgänger.

Trotzdem arbeiten Kanadische Forscher der University of Toronto schon an ihrem Nachfolger, der „P-Ink“.

7.2 Technik

7.2.1 Elektronischer Tinte

Das Leistungsprofil elektronischer Tinte lässt Technikern das Herz höher schlagen. Wenn diese Technik ihren Weg findet, dann werden es andere Technologien bald sehr schwer haben.

Die Lesbarkeit besticht durch ihre Helligkeit, die sechsmal so hoch ist wie bei normalen LC – Displays. Dadurch werden optimale Ergebnisse bei starkem Sonnenlicht oder schwacher dimmartiger Beleuchtung erzielt. Auch die Druckqualität steht dem von Papier um nichts nach. Worte wie Blickwinkeländerung und Kontrastveränderung werden hier nicht mehr in den Mund genommen, da elektronische Tinte sich diesen Problemen gar nicht erst stellen muss.

Der Stromverbrauch ist sehr niedrig gehalten, weil bei beendeter Stromzufuhr das letzte Bild aus elektronischer Tinte immer noch zu sehen ist und auch so bleibt. Solche Displays nennen sich auch bistabile Displays, weil sie nur Strom bei Bildwechseln benötigen. Das hat den Vorteil, dass Akkuleistung nicht übermäßig strapaziert wird. Hierbei wird klar, dass diese Technologie auch für den Einsatz in mobilen Geräten Verwendung finden wird, welche mit kleineren Akkus oder Batterien betrieben werden. Weiters ist auch keine zusätzliche Beleuchtung notwendig, da ein reflektierender heller Hintergrund die schwarze Schrift weiterhin sehr leuchtstark und kontrastreich anzeigt.

Die Displays mit elektronischer Tinte sind halb so dünn und halb so schwer wie LCDs, somit leichter, platzsparender und durch ihre geringe Leistungsaufnahme billiger.

Elektronische Tinte wird mit einem Gitter aus Polymer Transistoren, zwischen zwei dünnen Kunststofffolien, untergebracht. Rückseitig befindet sich eine PET-Folie und ist von vorne durch eine auflaminierte Glasplatte oder PET-Schicht geschützt. Dies wird auch „Mikrokontaktdruck“ genannt. Die Tinte, eine gefärbte Flüssigkeit, weißt Millionen an winzigen Mikrokapseln auf, mit jeweils etwa 75 Mikrometer Durchmesser, die hier eingebettet sind. Diese wiederum enthalten eine klare Flüssigkeit, die positiv geladene weiße und negativ geladene schwarze Partikel enthält. Die Oberfläche mit den steuernden Schaltkreisen bewirkt nun den Aufbau eines Bildes. Bei negativ angelegter Spannung schweben die weißen Pigment – Chips nun nach oben, da diese positiv geladen sind, und verdrängen die eingefärbte Flüssigkeit (siehe Abb. 7.1.). Gleichzeitig sinken die schwarzen Chips nach unten wo sie unsichtbar bleiben. An den Stellen der negativen Spannung erscheint die Oberfläche, aufgrund der weißen Pigment – Chips, weiß. Bei diesem Vorgang spricht man von „aufgeladener“ elektrischer Tinte (vgl. FKT, 01/02 2004, www.design-report.de/sixcms/detail.php?id=156916).

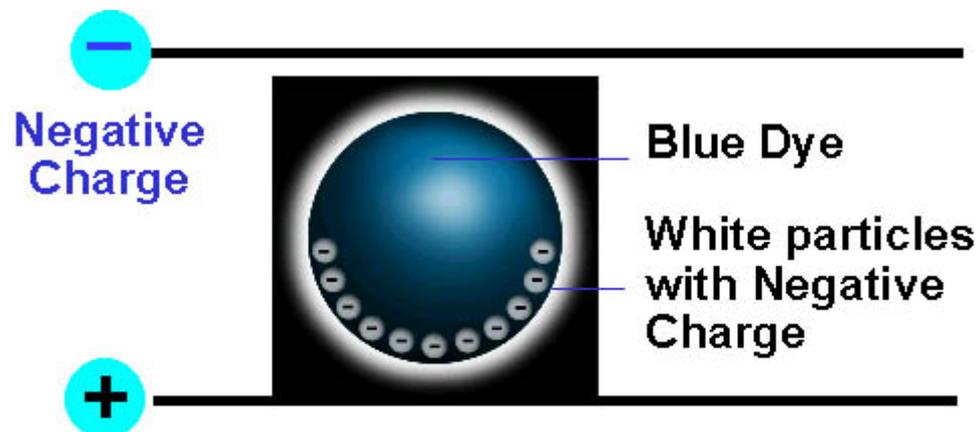


Abb. 7.1. - Mikrokapsel mit positiven und negativen Partikeln (Quelle: www.heise.de/tp/r4/artikel/7/7456/1.html)

7.2.2 Photonische Tinte

Photonische Tinte, auch P – Ink genannt, ist sozusagen der größere Bruder von elektronischer Tinte. Ian Manners und Geoffrey Ozin präsentierten mit ihrem kanadischen Team schon voll stolz ihre Weiterentwicklung. Es handelt sich hier um den Farbwechsel auf Displays, der bis jetzt nur bedingt eingesetzt werden konnte. Bisher war es nur möglich eine Farbe, aus diversen Grundfarben,

leuchtend oder nicht leuchtend zu schalten. Doch mittels Silizium – Oxid Kugeln ist es gelungen Farben per Knopfdruck zu wechseln, wobei sie hier die Lichtbrechung vollständig ausnutzen (vgl. [www.netzeitung.de/wissenschaft/231436.html\(03/2003\)](http://www.netzeitung.de/wissenschaft/231436.html(03/2003))).

Diese Kugeln werden in einer Matrix angeordnet, die aus einem leitenden Polymer – Gel besteht. Mit einer Größe von ungefähr einem 300 Millionstel Millimeter sind sie der wichtigste Teil der photonischen Tinte. Mittels der Veränderung der Brechung des Lichts können jetzt alle sichtbaren Farben, ohne jegliche Zugabe an Farbstoffen, für das menschliche Auge erzeugt werden. Durch den Abstand der einzelnen Silizium – Oxid Kugeln zueinander wird die Brechung des einfallenden Lichts bestimmt. Um den Abstand regeln zu können, wird das Polymer positiv aufgeladen. Je nach Aufladung kann das Gel mehr oder weniger Lösungsmittel aufnehmen, schwillt dementsprechend an, und bestimmt dadurch den Abstand der Kugeln.

Der Vorgang des Anschwellens und des Entladens bewegt sich im Bereich einer halben Sekunde (vgl. www.design-report.de/sixcms/detail.php?id=156916).

7.3 Eigenschaften & Entwicklung

E Ink glaubt drei entscheidende Punkte gefunden zu haben, die die heutigen LCDs, CRTs und Leuchtdioden – Displays in den Schatten stellen sollen. Elektronische Tinte zeigt seine Stärken in der Lesbarkeit, weil sie genau dieselben Farbstoffe enthält wie Druckfarbe, in der Helligkeit, weil sie ca. 6 – mal stärker leuchten als Flüssigkristalldisplays, und natürlich in ihrem Kontrastverhältnis. Texte in Büchern und Zeitungen seien noch deutlicher zu lesen, da sowohl bei schwachem und stärkerem Licht in etwa gleich gut gelesen werden kann. Dies verhilft dem menschlichen Auge auch zu einer geringeren Belastung und macht nicht mehr so schnell müde.

Durch ihre Vorzüge kann sich der zukünftige User nun auch schnell ein Bild über die diversen Einsatzmöglichkeiten machen. Mobile Geräte könnten mit dieser Technologie einen weiteren Meilenstein erfahren. Ein entscheidender Faktor ist der geringe Stromverbrauch. Elektronische Tinte benötigt ungefähr ein

Tausendstel der Energie, wie ein herkömmlicher Laptop. Zudem wird ein Bild weiterhin dargestellt, auch wenn die Stromzufuhr beendet wurde. Dies ist durch den weißen Hintergrund gewährleistet, da keine Hintergrundbeleuchtung benötigt wird.

John Rogers von der Firma Bell Labs bringt es auf den Punkt: „Sie hat das Aussehen und die Anmutung von herkömmlichen Papier, aber sie ist rekonfigurierbar wie ein normaler Computerbildschirm“ (vgl. <http://www.heise.de/tp/r4/artikel/7/7456/1.html> (04/2001)).

Bücher, Zeitungen, PDAs, und Mobilfunktelefone sind nur einige mögliche Einsatzgebiete. Plakate, Plakatsäulen, Verpackungen und Infoscreens könnten, allein durch ihre Flexibilität, neue Werbeträger werden.

Photonische Tinte besticht mit ihren Eigenschaften genauso wie elektronische Tinte, nur das hierzu das Farbspektrum noch ins Spiel kommt. Dies gibt P – Ink natürlich den Vorteil in anderen Medien eingesetzt zu werden, die von Farbe leben, wie zum Beispiel elektronische Zeitungen oder Werbetafeln. Leider muss hier aber hervorgehoben werden, dass Computerdisplays und Fernseher eher auf OLEDs zurückgreifen werden, weil der Farbwechsel durch das Gel nicht schnell genug vollzogen werden kann. (vgl. www.heise.de/tp/r4/artikel/7/7456/1.html (04/2001))

Trotz kleiner Nachteile und Einschränkungen nimmt die Entwicklung in Bezug auf elektronischer und photonischer Tinte ihren Lauf. Philips ist auf dem Weg Displays mit einer Auflösung von 320 x 240 Pixeln und 85 dpi* herzustellen. Dies geschieht mit einer 25 Mikrometer dicken Aktivmatrix, die auf einer Plastikfolie angebracht ist. Sony möchte einen E – Reader mit 160 dpi* Auflösung und 6 Zoll* Bildschirmgröße herausbringen. Dieser soll überdies auch eine 2 – Bit – Graustufenskala besitzen, um Grauabstufungen wiedergeben zu können.

Einen großen Schritt machte bereits die Firma Vossloh Information Technologies. Sie realisierten eine Anzeigentafel für den öffentlichen Verkehr mit Hilfe elektronischer Tinte (siehe Abb. 7.2.). Durch exzellente Lesbarkeit, wenig Stromverbrauch und geringer Einbautiefe ist sie dafür optimal geeignet. Nach

Pilotprojekten sollte mittlerweile schon die eigentliche Serienfertigung im Gange sein (vgl. <http://www.design-report.de/sixcms/detail.php?id=156916>).



Abb. 7.2. - Anzeige aus elektronischer Tinte im öffentlichen Verkehr (Quelle: www.design-report.de/sixcms/detail.php?id=156916)

II / Projektionstechnologien

Projektoren, auch oft Beamer genannt, sind von ihrer Technik her ebenso unterschiedlich wie Displaytechnologien. Die älteste Technologie ist hier wieder die Röhrentechnik. Heutzutage nur noch selten im Einsatz, da sie sehr groß und schwer sind bzw. sehr teuer in der Anschaffung. LCD Beamer waren hier die richtige Antwort auf Röhrenprojektoren, da sie viel kleiner, einfacher zu installieren und wesentlich billiger sind. Vor allem aber die Mobilität dieser Projektoren macht sie sehr flexibel und lassen sich dadurch in vielen Anwendungsbereichen einsetzen. Heutzutage sind LCD Beamer schon in vielen privaten Haushalten als Fernsehgerät im Einsatz. Auch wenn einige Schwächen noch offensichtlich sind, die andere Beamertechnologien nicht aufzeigen, ist das Preis- / Leistungsverhältnis so gut gewählt, sodass private Anwender bedenkenlos zugreifen. Die Techniken der DLP-, Laser- und D-ILA – Projektion bringen qualitativ bessere Bilder zustande, sind jedoch um ein vielfaches teurer als die der LCD Projektion. In geraumer Zeit allerdings wird die DLP Technik der LCD Technik starke Konkurrenz machen, da die Preisentwicklung stetig nach unten geht und die der LCD Beamer stagniert.

Folgende Kapitel veranschaulichen nun Stärken und Schwächen der einzelnen Projektionstechnologien. Auch wenn sich im Moment nur LCD- und DLP Beamer im preislichen Rahmen für Privatanwender befinden, sind die anderen Techniken durchaus einen Blick wert, da deren Entwicklung weiterhin vorangetrieben wird und wir in einigen Jahren sicherlich mehr davon hören werden.

8 / D-ILA (LCoS) Projektor

8.1 Allgemein

D-ILA (Direct Driven Image Light Amplifier) bzw. LCoS (Liquid Crystal on Silicon) Projektoren sind eine hoch komplizierte Technologie, die noch wenigen Leuten bekannt ist. Dafür verspricht diese aber auch ein extrem starkes Leistungsprofil, wo heutige LCD- und DLP – Projektoren (Digital Light Processing Projektor) nur bedingt anschließen können. Um keine Missverständnisse aufkommen zu lassen, sind D-ILA Projektoren auch unter verschiedenen Namen wie LCoS oder DNLCoS (Dynamic Nematic Liquid Cristal on Silicon) zu finden, falls diese nicht von JVC hergestellt wurden. Im Endeffekt unterscheiden sich die Hersteller aber nur minimal vom Aufbau, einzig die Dicke der LC – Schicht kann variieren, doch die Technik dahinter ist dieselbe.

Die D-ILA Technik ist eigentlich der Nachfolger der ILA (Image Light Amplifier) Technik, die 1993 von JVC und Hughes Aircraft erfunden wurde. Aufbauend auf der D-ILA Technik wird im Moment in ungeahnte Projektionssphären vorgedrungen.

Beide Projektionsarten funktionieren ähnlich, nur das D-ILA Projektoren mit Elektroden arbeiten und daher keine Röhren oder Linsen besitzen (*vgl. Löhneysen*).

8.2 Technik

Diese Technologie ist eine Art Kreuzung der älteren Beamertechniken LCD und DLP, auf die in den späteren Kapiteln eingegangen wird. Sie ist die modernste aber auch teuerste, wenn man von der Laserprojektion absieht. Flüssigkristalle werden für den Bildaufbau verwendet, nutzen aber die Reflektion des Lichts, ähnlich wie bei der DLP Technik (siehe Kapitel 12.2), um diesen sichtbar zu machen.

8.2.1 Aufbau eines D-ILA Projektors

In einem D-ILA Projektor sind ein oder drei Chips im Einsatz. Grundsätzlich haben 3-Chip Projektoren die bessere Bildqualität, sind dafür aber auch um einiges teurer. Beim 1-Chip-Modell sind alle Grundfarben in einem Chip integriert,

wobei bei drei Chips jeder nur über eine Grundfarbe verfügt. Vereinfacht gesagt, wird das Licht bei dieser Technik zunächst durch halbdurchlässige Spiegel gelassen, um die drei Grundfarben aufzuteilen. Danach kommt der D-ILA – Chip zum Einsatz und bearbeitet die Informationen, um diese nachher wieder durch ein Prisma zu schicken, welches das Bild entstehen lässt (vgl. Hayakawa, S. 3).

8.2.2 D-ILA Chip

Ein D-ILA – Chip (siehe Abb. 8.3.), oder eben auch LCoS – Chip, besteht aus drei unterschiedlichen Schichten. Die oberste besteht aus Glas. Diese wird mit einer transparenten Elektrode versehen. In der Mitte befinden sich die Flüssigkristalle, die vertikal (homeotropische Struktur) ausgerichtet sind. Die letzte Schicht ist dann eine weitere Elektrodenschicht, die viele kleine, sehr eng nebeneinander sitzende, viereckige Spiegel besitzt (siehe Abb. 8.1. und 8.5.), reflektiv wirkt und somit kein Licht durchlässt. Dahinter befinden sich Leiterbahnen die zur Ansteuerung (mittels eines CMOS – Substrats) der einzelnen Pixel (LC Zelle) dienen. Mittels einer Isolationsschicht werden die Leiterbahnen von anderen äußeren Einwirkungen, wie zum Beispiel Hitze, geschützt (vgl. Hayakawa, S. 3; JVC, S. 7).

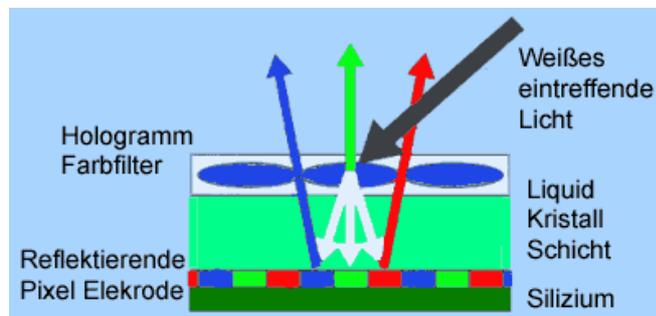


Abb. 8.1. - Pro Pixel eine Farbe aber erst drei Pixel ergeben einen Bildpunkt (Quelle: www.hcinema.de)

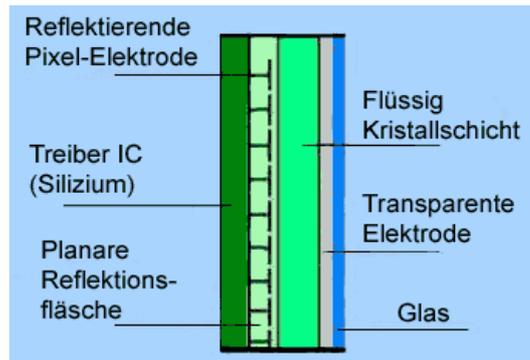


Abb. 8.2. - 3-Chip D-ILA Aufbau (Quelle: www.hcinema.de)



Abb. 8.3. - Foto eines D-ILA-Chips (Quelle: www.hcinema.de)

Dies hat den Vorteil, dass die Leiterbahnen, wie bei der herkömmlichen LCD – Technik, nicht im Weg stehen, wenn Licht darauf einfällt. Somit ist eine wesentlich höhere Pixeldichte gewährleistet (siehe Abb. 8.4.). D-ILA Chips haben eine Größe von 9 Zoll* und besitzen ein festes Raster. Pixelgrößen von $13,5 \mu\text{m}^2$ und einem Abstand von $0,5 \mu\text{m}$ zueinander, können mittlerweile untergebracht werden (vgl JVC, S. 7).

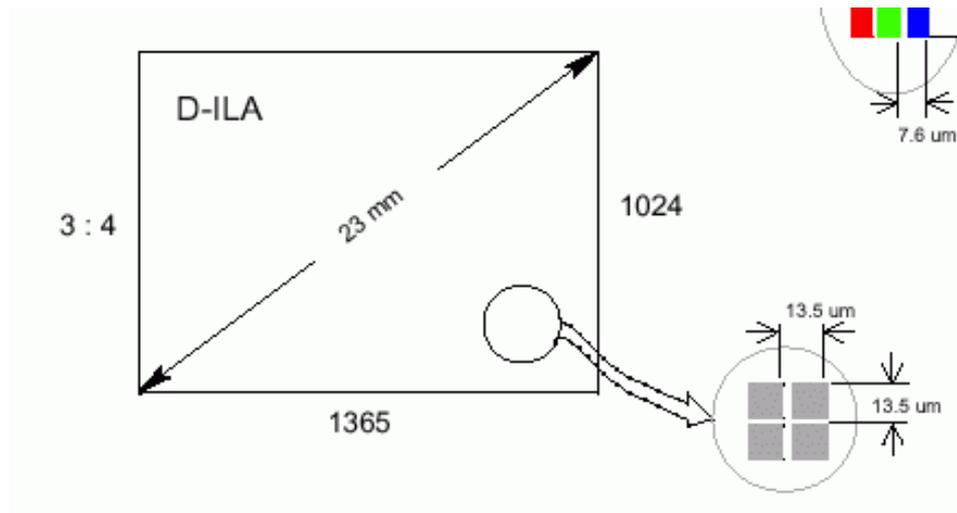


Abb. 8.4. - Pixeldichte bei D-ILA Chips z.B. in den Modellen G10/G11/G15

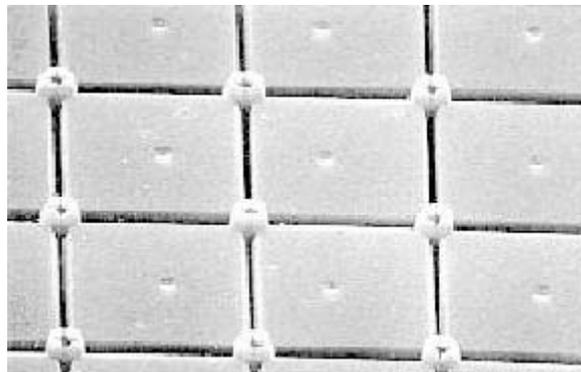


Abb. 8.5. - Mikroskopansicht von D-ILA – Spiegeln und deren Abstände zueinander

8.2.3 Polarization Beam Splitter

Jeder D-ILA Chip besitzt nun einen PBS (Polarization Beam Splitter) (siehe Abb. 8.6.), der vor dem Chip sitzt. Er ist für die Polarisation (S – Polarisation) zuständig, und lenkt das Licht auf den Chip (vgl. *Emrich*, S. 42).



Abb. 8.6. - PBS mit Polarisationspiegel (Quelle: www.hcinema.de)

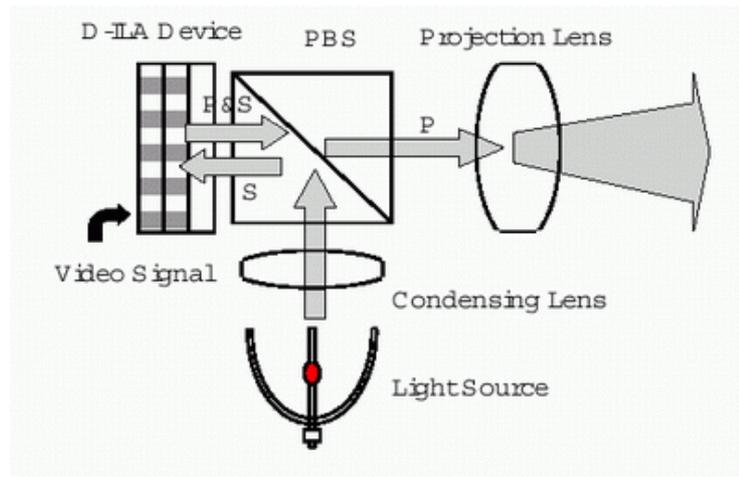


Abb. 8.7. - Polarisierung des Lichts durch den PBS (Quelle: Hayakawa, Mitsuru; Victor Company of Japan, Ltd. (JVC): ILA / D-ILA Super Projectors for the Present and the Future)

Nun wird ein polarisiertes Licht vom D-ILA Chip verarbeitet (siehe Abb. 8.7.), wobei dieses wieder reflektiert wird, und durch den PBS auf die Projektionslampe zurückgelenkt wird. Hier wird dann von einem inaktiven Pixel gesprochen (siehe Abb. 8.8.).

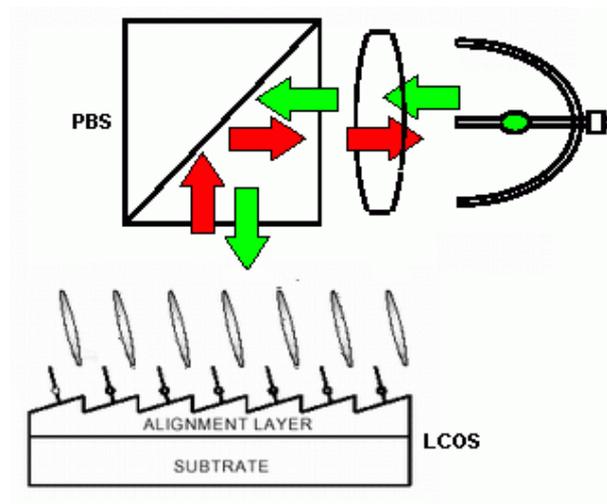


Abb. 8.8. - Inaktiv: "Schwarz"

Ein S – polarisiertes Licht allerdings wird vom D-ILA Chip gedreht und erreicht dadurch den P – Polarisationsstatus. Dieser Status gewährleistet den Weg durch den PBS bis hin zur Leinwand. Jetzt wird von einem aktiven Pixel gesprochen (siehe Abb. 8.9.).

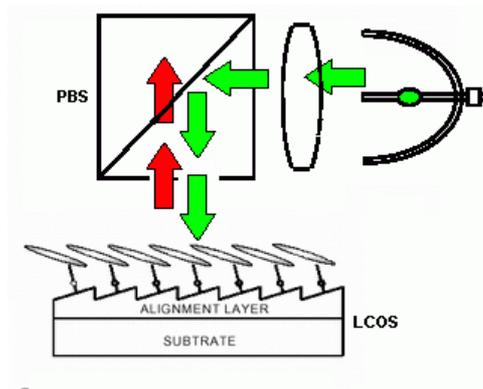


Abb. 8.9. - Aktiv: "Hell"

Helligkeitsunterschiede entstehen dann durch die unterschiedlichen Spannungen zwischen den Elektroden. So wird entweder mehr oder weniger Licht durchgelassen (vgl. JVC, S. 6).

8.2.4 Lichtweg und Bildaufbau

Ein Bild bei einem 1-Chip D-ILA Projektor (siehe Abb. 8.10.) entsteht durch die Länge der Belichtung der einzelnen Pixel. Je nachdem wie hell ein Bildpunkt werden soll, und welche Farbe er haben soll, müssen alle drei Pixel einer bestimmten Belichtung ausgesetzt sein, um das gewünschte Ergebnis zu produzieren. Weiß wird durch maximale Beleuchtung erzielt, während die Pixel bei schwarz geschlossen werden und gar keine Belichtung erfahren (vgl. JVC, S. 5; Hayakawa, S. 2).

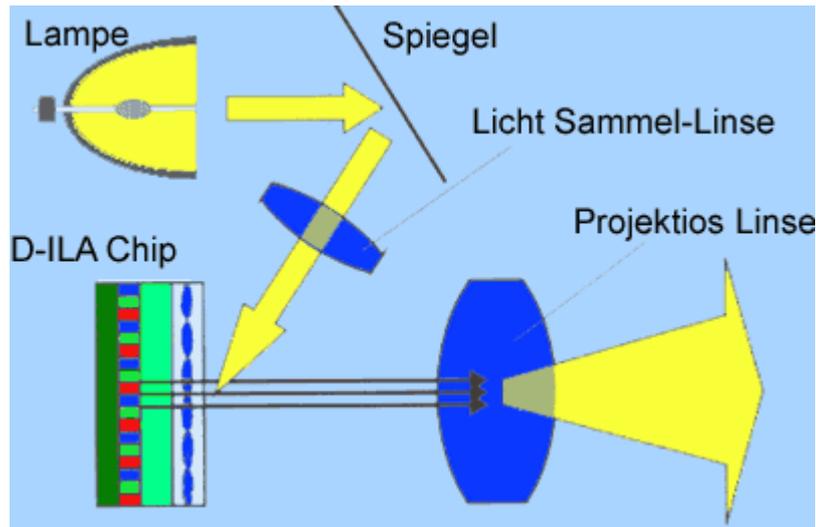


Abb. 8.10. - 1-Chip D-ILA Projektor (Quelle: www.hcinema.de)

Bei einem 3-Chip D-ILA Projektor (siehe Abb. 8.11.) wird das ausgestrahlte Licht zuerst über verschiedene Optiken abgelenkt und trifft dann auf halbdurchlässige Spiegel. Diese teilen das Licht in blau und gelb. blau wird weiters auf den PBS gelenkt. gelbes Licht wird zuerst durch einen weiteren halbdurchlässigen Spiegel gelenkt, damit sich dieses in die Farben rot und grün aufspalten kann. Diese treffen erst danach auf einen PBS. Das heißt, dass jeder D-ILA Chip einen eigenen PBS vorgesetzt bekommt. Die PBS sind sozusagen das Herzstück des Projektors, da durch ihre Polarisations- und Reflektionseigenschaften der Projektor an Bildqualität zu- bzw. abnimmt. Danach treffen alle Farben auf ihren eigenen D-ILA Chip (vgl. JVC, S. 7; Hayakawa, S. 3, Emrich, S. 42).

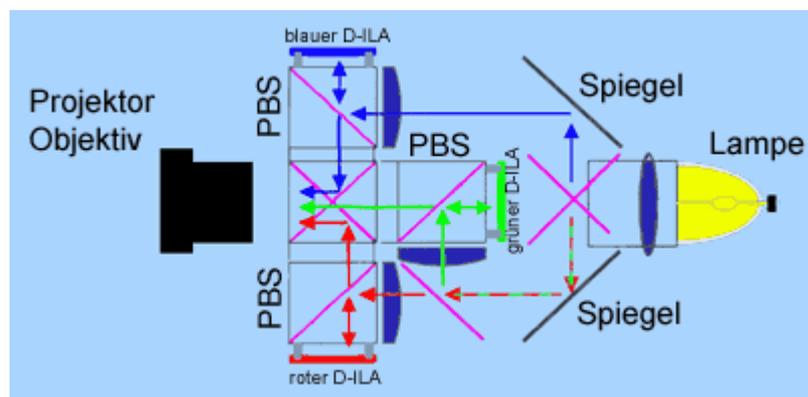


Abb. 8.11. - Lichtweg in eines 3-Chip D-ILA Projektors (Quelle: www.hcinema.de)

D-ILA Chips bestimmen dann welche Pixel auf die Leinwand projiziert werden und welche nicht.

8.3 Bildeigenschaften

Wie schon vorher angesprochen sind die Leiterbahnen des D-ILA Chips (siehe Abb. 8.12.) hinter seinen Elektroden- und seiner Flüssigkristallschicht verborgen. Anders als bei DLP und LCD, ist dadurch eine wesentlich kleinere Pixeldichte im Herstellungsprozess möglich. Das verschafft natürlich zu höheren Auflösungen und einer höheren Helligkeit auf gleicher Displaygröße. Der „Fliegengittereffekt“* wird so stark verringert, sodass eigentlich ein Bild nicht mehr verpixelt dargestellt wird.

Die Ansteuerung der D-ILA Elektroden ist durch diese Technik viel genauer und ermöglicht eine Gammaverteilung von 2.2, was nahezu ein perfektes Ergebnis widerspiegelt.

Mittlerweile gibt es schon etliche Chips in verschiedenen Auflösungen und Größen (siehe Abb. 8.13.). Eine Auflösung von 1400 x 1050 Pixel im Konsumerbereich lässt fast alle Konkurrenten hinten anstehen (vgl. *Emrich, S. 43*).

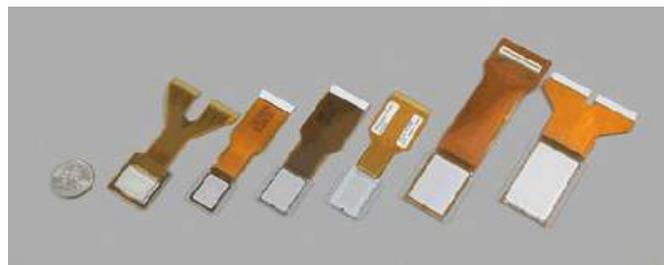


Abb. 8.12. - Diverse D-ILA Chips (Quelle: www.hcinema.de)

D-ILA IMAGE MODULATORS					
		Production			Research
		SXGA+	SXGA+	QXGA	QHDTV
Resolution	H	1365	1400	2048	3840
	V	1024	1050	1536	2048
Pixel Pitch (Micrometers)		13.5	10.4	12.9	10.1
Image Diagonal		0.91 inches (1.33:1)	0.71 inches (1.33:1)	1.3 inches (1.33:1)	1.7 inches (1.875:1)

Abb. 8.13. - Die verschiedenen Abmessungen und Auflösungen von D-ILA Chips (Quelle: www.hcinema.de)

Ein weiterer nennenswerter Punkt des D-ILA Chips ist die schnelle Umschaltzeit der Displays. Da das Licht in sehr kurzer Zeit zweimal die Flüssigkristallschicht passieren muss, ist hier eine sehr schnelle Reaktionszeit von 16ms und weniger möglich (siehe Abb. 8.14.). „Schliereffekte“* und dergleichen treten dadurch wesentlich seltener auf.

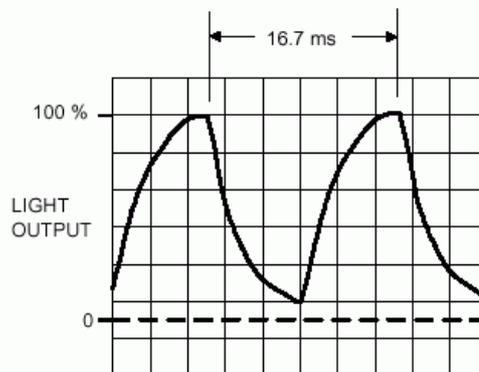


Abb. 8.14. - Umschaltzeit des Displays

Pluspunkte sammelt ein D-ILA Projektor im Bereich Farbumfang und Bildrauschen. Der Farbumfang ist, bedingt durch den getrennten RGB – Aufbau, sehr weitläufig. Dies ist die Grundlage für eine natürliche Farbdarstellung und entsprechend reale Filmcharakteristik, was unter D-ILA Fans als großer Vorteil gilt.

Das Bildrauschen, welches bei DLP – Projektoren sehr stark auftreten kann, ist durch den analogen Aufbau der Helligkeit nicht vorhanden. Problemquellen, die Bildrauschen auslösen, sind entweder das Filmmaterial selbst oder die eigentliche Signalquelle.

So ausgezeichnet der Farbumfang und die Darstellungsqualität sind, umso unspektakulärer ist sein Kontrastverhältnis. Mit einem Verhältnis von 800:1 bei aktuellen D-ILA Projektoren liegen sie bestenfalls im Mittelfeld der Displaytechnologien. Der Grund dafür liegt beim Polarization Beam Splitter, welcher von der Industrie ständig optimiert wird, um bessere Ergebnisse zu erhalten. Mittlerweile gibt es aber schon Projektoren mit Werten von 1300:1, sowie High – End Geräte (z. B. Modellbezeichnung HD – 2K), die Kontrastverhältnisse von 2200:1 darstellen sollen.

Schwachstellen werden auch beim so genannten „Shading“ aufgezeigt. Shading sind Farbwolken in Graustufen. Neuere Modelle haben diese Schwachstelle allerdings schon ausgebessert. Sie zeigen fast kein Shading mehr und sind schon mit DLP Projektoren vergleichbar.

8.4 Eigenschaften

LCoS Projektoren haben in vielerlei Hinsicht Vorteile gegenüber ihren Mitkonkurrenten (siehe Tab. 8.1.). Hohe Reaktionszeit, hohe Auflösung und gute Kontrastverhältnisse zählen zu den Stärken. Verschiedene LCoS Hersteller arbeiten mit unterschiedlichen Tricks, um zum Beispiel noch bessere Reaktionszeiten erzielen zu können. Somit können Schaltgeschwindigkeiten von unter 5 Millisekunden erreicht werden. Das eröffnet wiederum die Möglichkeit mit sequenzieller Farbdarstellung zu arbeiten, was mit nur einem Panel realisierbar wäre. Dadurch werden Produktionskosten beim Hersteller und

Anschaffungskosten beim Konsument reduziert, ohne dabei aber Qualitätseinbußen hinnehmen zu müssen. Es werden sogar bessere Produkte vertrieben bzw. erworben.

Ein weiterer großer Vorteil ist der extrem hohe Füllfaktor, also die Nutzung der Spiegelfläche, dieser Projektoren. Sie haben mit 95% die höchste Nutzungsfläche im Gegensatz zu DLP (90%) und LCD (60%). Somit wird sichergestellt, dass ein sehr homogenes und fast pixelfreies Bild dargestellt wird. Aufgrund der analogen Darstellung der Graustufen erfährt man hier das qualitativ beste Bild im Bereich von Projektoren (vgl. JVC, White Paper, S. 9).

	D-ILA	DLP	LCD
Auflösung	1365 x 1024	1280 x 1024	1280 x 1024
Nutzung der Spiegelfläche	95%	90%	65%
Pixeldichte	7 µm	17 µm	25 µm
Kontrastverhältnis	Exzellente	Gut	Mittelmäßig
Leichtigkeit der optischen Konfiguration	Gut	Gut	Exzellente
Preis- / Leistungsverhältnis	Gut	Mittelmäßig	Exzellente
Reaktionszeit	Gut	Exzellente	Gut
Entwicklung zum Single Panel Projektor	Exzellente	Gut	Mittelmäßig

Tab. 8.1. - Leistungsdatenvergleich unterschiedlicher Projektionstechnologien (Quelle: JVC, White Paper)

Doch die analoge Bauweise kann auch zu Problemen führen. Diese empfindlichen Bauteile reagieren sehr stark auf Temperaturveränderungen, Alterung und mechanische Belastung. Ein anderes Problem ist die nicht lineare Farbverarbeitung, weil die Kristalle auf unterschiedliche Wellenlängen unterschiedliche Wirkungen haben.

Obwohl die Vorteile klar auf der Hand liegen und die Konkurrenz im Schatten der LCoS Technologie steht, muss mit Vorsicht an eine Anschaffung herangetreten

werden. Da jeder Hersteller unterschiedlich arbeitet, kann es durchaus zu Qualitätsunterschieden kommen. Deshalb sollte das anvisierte Produkt vor dem Kauf, unbedingt vorgeführt werden. Am besten ist eigens mitgebrachtes Material zu empfehlen, welches schon auf anderen Displaytechnologien gesehen wurde. Das heißt, dass nur hochauflösendes Material mit kräftigen Farben kein Maßstab sein darf, da auch Himmeleinstellungen und Nebelschwaden gleichmäßig dargestellt werden sollen. Falls dies der Fall sein sollte, ist garantiert, dass man für sein Geld ein technisch und qualitativ hochwertiges Gerät bekommt.

8.5 Entwicklung

Die D-ILA Technologie macht durch ihren momentanen Stand der Technik einen soliden und zukunftsorientierten Eindruck. Obwohl schon in vielen Belangen überlegen, gibt es noch Schwachstellen, die schnell verbessert werden müssen und kategorisch an führende Displaykonkurrenten anschließen müssen. Die Zukunft lässt auf einiges hoffen, da es im Moment schon D-ILA Chips gibt, die Auflösungen von 3840 x 2048 (native) erzeugen können, ohne Einbußen hinnehmen zu müssen.

Generell ist aber zu sagen, dass D-ILA Projektoren bei einem Gewicht von 9kg bis über 15kg, nicht sehr handlich und mobil sind. Sie haben durch den Einsatz von Xenonlampen, die sehr oft zum Einsatz kommen, einen hohen Stromverbrauch (über 500 W). Außerdem spricht eine Lebensdauer von ca. 1000 Betriebsstunden auch nicht für Langlebigkeit.

Aufgrund des hohen Anschaffungs- und Erhaltungspreises ist ein D-ILA Projektor noch selten in den eigenen vier Wänden zu finden und daher hauptsächlich in professionellen Umfeldern im Einsatz.

Trotzdem hat diese Technologie noch lange nicht ihren Zenit erreicht. Sehr gute Helligkeitswerte, schnelle Inbetriebnahme (keine Konvergenzeinstellung nötig), kein „Fliegengittereffekt“* und sehr gute Ergebnisse bei Datenprojektion, sind Indizien für ein tolles Gesamtpaket. Dieses Jahr sollen endlich Geräte für die Heimkinoprojektion auf dem Markt erscheinen. Falls diese auch einen akzeptablen Preis besitzen, wäre eine Trendwende für Heimkinoprojektion nicht

ausgeschlossen. Leider gehören D-ILA Projektoren aber immer noch zu den teuersten Projektoren, was eher dagegen sprechen würde.

9 / LASER Projektor

9.1 Allgemein

Laserprojektoren sind derzeit ein noch relativ selten eingesetztes Mittel der Projektion, zumal die Anschaffungskosten im Millionenbereich liegen. Außerdem ist die geringe Herstellungszahl meist mit einer langen Wartezeit verbunden. Seit dem Insolvenzverfahren der Firma Schneider, wurde es aber in diesem Bereich immer ruhiger.

Trotzdem ist die Laserprojektion wahrscheinlich die beste Projektionstechnik, die es derzeit am Markt gibt. Diese Technik besticht durch Schärfe, Flexibilität und Kontraststärke, um hier nur einige Vorteile zu nennen. Es besteht hier die Möglichkeit auf beliebigem Hintergrund scharfe Bilder zu projizieren, ohne dass Entfernung oder Lichtverhältnisse diese beeinflussen. Ein Beispiel gibt es auf der Kärntnerstrasse vor dem Austria Casino, wo eine Laserprojektion eine Roulettscheibe auf Pflastersteine wiedergibt. Wasser, Vorhänge oder Kugeln würden auch keine Qualitätseinbußen mit sich bringen (vgl. Schneider Laser Technologies AG, S. 1-4).

9.2 Technik

Die Technik eines Laserprojektors wird mit einem Akustooptischen Modulator realisiert. Dieser ist für Farbe und Helligkeit zuständig. Je Farbe gibt es natürlich einen Modulator. Dichroitische* Spiegel setzen dann diese Farben zu einem Laserstrahl zusammen. Ein Lichtwellenleiter bringt dann den Laserstrahl zu seinem Projektionsziel, welches auch mehrere Kilometer entfernt sein könnte. Am Ziel angelangt übernehmen dann ein Polygonscanner (Spiegel), zwei Optiken und ein Galvanometerscanner die weitere Arbeit. Der Polygonscanner streut den Laserstrahl horizontal und der Galvanometerscanner in vertikale Richtung, um ein Bild zu generieren. Diese Technik arbeitet im Grunde wie ein Röhrenfernseher, weil jeder einzelne Pixel von rechts nach links aufgebaut wird. Durch die schnelle Projektion des einzelnen Strahls ist es für das menschliche Auge nicht wahrnehmbar, dass hier nur ein einzelner Strahl das Bild aufbaut (siehe Abb. 9.1.) (vgl. Schneider Laser Technologies AG, S. 12-16; www.hcinema.de/laser.htm, Eichmeier, S. 357).

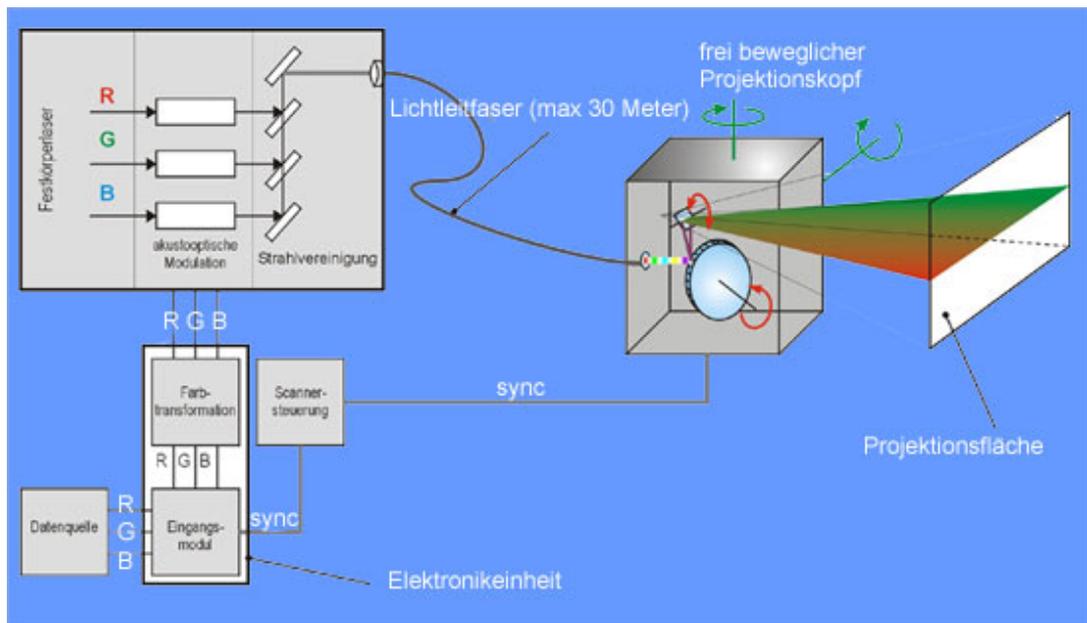


Abb.9.1. - Aufbau einer Laserprojektion (Quelle: www.hcinema.de)

9.3 Eigenschaften

Die Vorteile einer Laserprojektion liegen klar auf der Hand. Ein Laserstrahl besticht durch seine enorme Helligkeit und seinen sehr natürlichen Farben. Sein Kontrastverhältnis beträgt 1000:1, was natürlich in die Spitzenklasse der Projektion einzuordnen ist. Eine Anschaffung einer Leinwand für die Bildprojektion bleibt erspart, da die Bildqualität auf verschiedenen Medien in etwa gleich gut ist. Außerdem ist der Platz des Projektors nicht an den Vorführplatz gebunden, da die Projektion auch aus großer Entfernung stattfinden kann.

Leider sind durch die hohen Produktionskosten und den sehr hohen Stromverbrauch gewisse finanzielle Voraussetzungen notwendig. Ein Laserprojektor ist auch für eine schnelle mobile Präsentation aufgrund seines Gewichts nicht geeignet. Der Laserstrahlerzeuger sollte in etwa nach ca. 10000 Stunden gewechselt werden, was einer durchgängigen Laufzeit von ungefähr einem Jahr und einem Monat entsprechen würdet (vgl. *Schneider Laser Technologies AG, S. 16; Eichmeier, S. 357-361*).

9.4 Entwicklung

Eine Entwicklung für den heimischen Bereich ist aufgrund all dieser Fakten noch lange nicht zu erwarten. Da durch hohe Produktionskosten nur geringe Stückzahlen gebaut werden, werden die Anschaffungskosten auch nicht billiger. Vielleicht schafft es die Industrie in einigen Jahren billigere Lösungsvorschläge darzulegen, die das Interesse von mehr potentiellen Kunden wecken würde.

10 / Röhrenprojektor

10.1 Allgemein

Röhrenprojektoren sind die ältesten Projektoren, die es gibt. Sogar gebrauchte Röhren sind qualitativ noch mit den neuen zu vergleichen. Obwohl die Technik schon lange ausgereift ist, werden immer noch kleine Verbesserungen in bestimmten Bereichen vorgenommen. Trotzdem darf ein Röhrenprojektor nicht mit einem Röhrenfernseher verglichen werden, weil diese andere Ansprüche mitbringen, als eben Fernseher. Sie sind vor allem für lange Präsentationen (z. B. auf Messen) ausgelegt, die auf großen Leinwänden ihre Betrachter in den Bann ziehen sollen (vgl. <http://www.hcinema.de/rohre.htm>).

10.2 Technik

Röhrenbeamer arbeiten mit drei Röhren. Sie besitzen eine durchgehende Phosphorschicht und verwenden daher keine Pixel wie LCD- und DLP Beamer. Die Röhren, mit den Farben rot, grün und blau, sind nun für den Bildaufbau zuständig (Konvergenzeinstellung notwendig). Multiscanbeamer (nähere Erklärung im nächsten Absatz) gibt es mit 7, 8 und 9 Zoll* Röhren. Je größer die Röhre, umso besser ist dann auch die Auflösung. Diese Größen gibt es dann auch mit unterschiedlichen Röhren, wie den ESF Röhren (Elektrostatisch Fokussierte) und den EMF Röhren (Elektromagnetisch Fokussierte), wobei EMF Röhren mit einem feineren Elektronenstrahl ausgerüstet sind und dadurch qualitativ ein besseres Bild projizieren können.

In der Technik gibt es dann zwei Unterschiede bei den Röhrenprojektoren, nämlich Baseband und Multiscan. Multiscan arbeitet mit Videoprozessoren, so genannte Linedoubler (meistens externe Zusatzgeräte), die Bildoptimierungen vornehmen können (vgl. <http://www.hcinema.de/videoproz.htm>).

- **Baseband**

Es können nur Videosignale im Interlace (Halbbildverfahren) übertragen werden, da sie nur eine Ablenkfrequenz von 15 – 16 kHz haben. Deshalb

sind sie für Linedoubler nicht geeignet, weil diese eine Mindestfrequenz von 31,5 kHz voraussetzen.

- **Multiscan**

Hier können höhere Frequenzen (ab 31,5 kHz) eingesetzt und Bildverbesserungen durch Linedoubler vorgenommen werden.

Ein Videoprozessor (Linedoubler) hat die Fähigkeit Halbbilder zu einem Vollbild zusammenzufügen. Hierbei gibt es unterschiedliche Methoden, wie zum Beispiel das Line Insert, Field Insert und die Interpolation.

- **Line Insert**

Die Zeilen werden hier einfach verdoppelt. Da diese Arten von Linedoublern günstiger sind, kämpfen sie auch mit einem etwas stufigen Bildaufbau.

- **Field Insert**

Halbbilder werden bei dieser Lösung zu einem ganzen Bild zusammengestellt, also wiederholt. Der Nachteil hierbei, sind entstehende Bewegungsartefakte, welche aber selten wahrgenommen werden.

- **Interpolation**

Ähnlich wie Line Insert arbeitet die Interpolation. Bestehende Halbbilder werden berechnet, anstatt wiederholt. Dadurch werden Bewegungsartefakte und Stufenbildung vermieden. Durch die Berechnung ist das Bild allerdings oft unscharf.

Leider ist zu bemerken, dass jeder Linedoubler mit Problemen zu kämpfen hat und keiner das perfekte Bild aufbauen kann. Manche Projektoren haben auch einen integrierten Linedoubler, welche aber nur für Datenprojektion geeignet ist. Bei Videobildern könnte es dann zu größeren Problemen kommen.

Neben Linedoublern gibt es auch noch weitere Geräte, die Bilder optimiert auf die Leinwand projizieren.

- **Framedoubler** können durch Verdoppelung der Bilder 100Hz darstellen, wie es bei heutigen Fernsehern zu sehen ist. Dies verringert natürlich die Flimmerrate und ist weniger anstrengend für das menschliche Auge.
- **Skalierer**, wie der Name schon sagt, skalieren Bildinformationen einer DVD auf die Auflösung des Beamers, da diese meistens höher ist, als die der DVD. Natürlich ergibt sich durch die Interpolation ein gewisser Qualitätsverlust.
- Die meisten Projektoren besitzen integrierte DCDi Chips von der Firma Faroudja. Hier wird die **3/2 und 2/2 Pull Down** Methode genutzt, wo ein Filmbild zuerst dreimal, nachher zweimal, als Halbbild abgetastet wird, um ein vollwertiges NTSC Bild zu generieren. Für das PAL Format werden die Halbbilder nur jeweils zweimal abgetastet. Ein Nachteil ist, dass dies nur mit Filmmaterial funktioniert und nicht mit Videomaterial.
- **Quadrodoubler** werden hauptsächlich für 8 Zoll* und 9 Zoll* Röhrenprojektoren verwendet, die mehr als 64kHz aufweisen können. Hier werden noch zusätzliche Zwischenzeilen interpoliert, nachdem das Videosignal progressiv umgewandelt wurde.

10.3 Eigenschaften

Röhrenprojektoren weisen generell niedrige Helligkeitswerte auf und stehen daher schon im Schatten der Konkurrenz. 250 Ansi Lumen* ist ein Wert, der bei LCD-, DLP- und LCoS – Projektoren bei weitem übertroffen wird. Dieser Wert wird dann meistens verdoppelt oder verdreifacht, um angemessene Ergebnisse erzielen zu können.

Weiters wird nun auch der Schwarzpegel anders gemessen als bei der Konkurrenz. Der Schwarzpegel liegt bei Röhrenprojektoren oft bei 0,1 Lumen*.

Das bedeutet, dass ein Röhrenprojektor bei einem Lumenwert* von maximal 200 ein Kontrastverhältnis von 2000:1 aufweisen kann.

Röhrenmonitore kommen immer seltener zum Einsatz. Im Präsentationsbereich werden sie vor allem von LCD – Projektoren abgelöst, da diese wesentlich günstiger und handlicher sind.

Wahrscheinlich sind die Tage der Röhrenprojektoren schon gezählt, da sie zu teuer und zu groß sind.

10.4 Entwicklung

Wie schon erwähnt sind Röhrenbeamer für die Veranstaltungstechnik gebaut worden. Sie sind extrem groß und schwer und sind komplizierter einzustellen als seine digitalen Pendant LCD- und DLP – Projektoren. Probleme mit Interlaced Bildern und Konvergenzeinstellungen sind an der Tagesordnung. Leider bestechen sie auch nicht durch ihre Helligkeit und ihr Kontrastverhältnis. Ihre schlechte Ausleuchtung (in der Mitte heller und schärfer als am Rand) trübt das Gesamtbild noch mehr.

Trotz dieser deutlichen Schwächen, besticht der Röhrenbeamer durch sehr natürliche Farben, durch sehr guten Schwarzwert und durch hohe Auflösungen. Er ist zudem auch um einiges leiser, da die Röhren häufig mit Flüssigkeit gekühlt werden.

11 / LCD Projektor

11.1 Allgemein

Die ersten LCD Projektoren waren anfangs teuer und konnten auch nur niedrige Auflösungen bieten. Mit der Zeit allerdings wurde die Technik stark verbessert. SXGA – Auflösungen sind heutzutage Standard, die TFT – Technik (seit 1999 integriert) optimiert Farbsättigung und Schwarzwert um ein vielfaches, und als Ergebnis präsentiert sich ein konkurrenzfähiges Produkt, welches mit guter und klarer Bildwiedergabe besticht. Von Heimprojektoren bis hin zu Präsentationsprojektoren sind Lösungen für viele Arbeitsbereiche vorhanden. Das PreisLeistungsverhältnis ist im Moment für die meisten Anwender wahrscheinlich die beste Lösung.

11.2 Technik

Wie schon im Kapitel 4 der LCD Technologie, beruht die LCD – Beamertechnik auf dem gleichen Prinzip. Unterschiede gibt es hier ansonsten nur im Aufbau der Projektoren.

11.2.1 Single TFT – LCD Technik

Diese Technik wurde vorwiegend in älteren Projektoren verwendet, weil sie dadurch günstig zu produzieren waren. Wie der Name schon sagt, wurde hier ein Panel im Projektor verwendet. Dabei sind alle drei Grundfarben, die jeweils einer Zelle entsprechen, zu einem Pixel integriert . Mit Hilfe einer Mikrolinse würde das Licht gebündelt und durch das Panel geschickt (siehe Abb. 11.1.) (*vgl. www.kraatz.de/grossbildprojektoren/BeamerABC.html; www.hcinema.de/lcd.htm; Lueder, S. 297-302*).

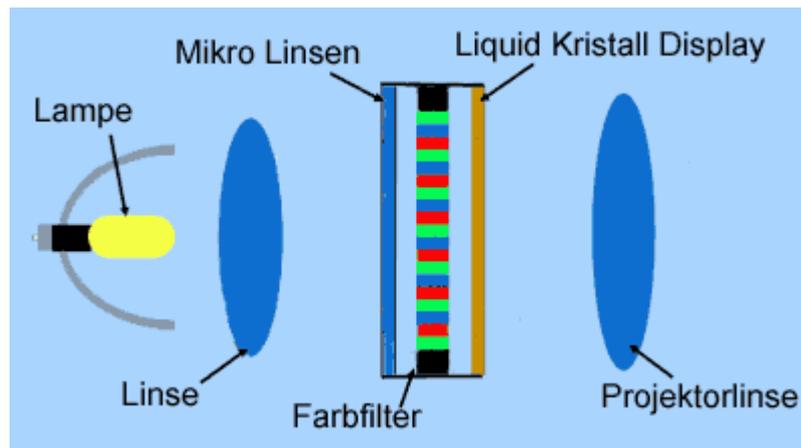


Abb. 11.1. - Aufbau der 1 – Panel – Projektionstechnik (Quelle: www.hcinema.de)

Diese Linse erhöhte aber vor allem die Helligkeit und ließ die Steuerleitungen des Panels auf der Leinwand verschwinden. Qualitativ ist diese Technik nicht weit von der 3 – Panel – Technik entfernt, muss aber bei der Auflösung deutlich Einbußen hinnehmen. 100000 Pixel bis zu 1,5 Millionen Pixel sind möglich. Es darf hier aber nicht von den tatsächlich zu sehenden Pixel gesprochen werden. Hersteller geben gerne die Gesamtanzahl an LC Zellen an, wobei alle 3 Farben einberechnet werden müssen, da sie zusammen einen Pixel ergeben. Hat ein Projektor zum Beispiel eine Auflösung von insgesamt 900000 Pixel, so sind effektiv nur 300000 Pixel zu sehen, was natürlich einen großen Unterschied ausmacht.

Generell sind 1 – Panel – Projektoren günstig, können aber, bedingt durch ihre Auflösung, keine Kinoatmosphäre aufkommen lassen.

11.2.2 Polysilizium – LCD – Technik

Hier kommen im Gegensatz zur 1 – Panel – Technik, 3 kleine FarbdDisplays, in den Farben rot, grün und blau, zum Einsatz (siehe Abb. 11.2.). Diese Technik überzeugt vor allem mit hoher Lichtdurchlässigkeit und kontrastreicher Farbprojektion. Aufgrund dieser Vorteile sind diese Projektoren extrem flexibel nutzbar und werden oft auch im Freien genutzt. Durch den Einsatz einer Metallhalogenlampe und durch die enorme Leuchtkraft kann der Qualitätsstandard derartig hoch eingestuft werden, sodass hier auch High – End

Multimediaanwendungen Verwendung finden (vgl. Eichmeier, S. 339-345; Lueder, S. 304-305).

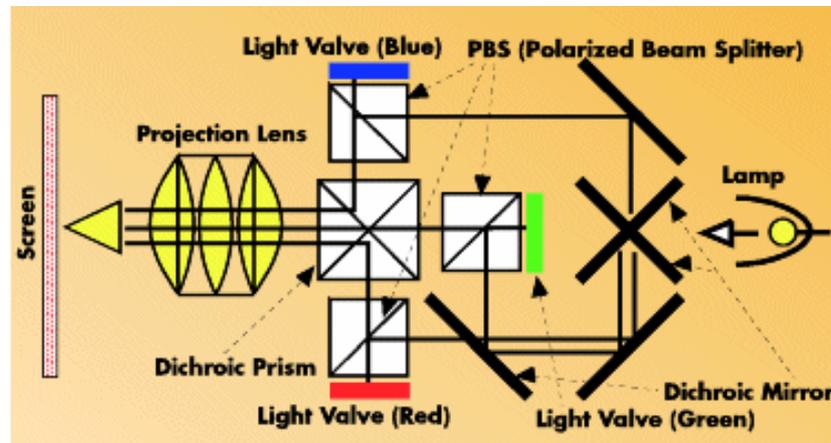


Abb. 11.2. - Aufbau der Polysilizium – LCD – Technik (Quelle: www.kraatz.de)

11.2.3 Drei – TFT – Panel – Technologie

Diese Technik zeichnet sich durch hervorragende Lichtdurchlässigkeit und hohe Auflösungen aus. Es kommen insgesamt 3 Paneele zum Einsatz, wobei jedes für eine Farbe zuständig ist (siehe Abb. 11.3.). Dichroitische* Spiegel regeln die Lichtdurchlässigkeit für jedes der einzelnen Paneele. Wie bei D – ILA Projektoren sind PBS (siehe Kapitel 8.2.3) und ein dichroitisches* Prisma im Einsatz, um das Bild richtig auf die Leinwand projizieren zu können.

Auch bei dieser Technik kommen spezielle Linsen zum Einsatz, um Steuerleitungen verschwinden zu lassen, und um die Helligkeit zu erhöhen. Gegenüber seinem kleineren Bruder sind Auflösungen von WXGA und eine bessere Farbsättigung möglich (vgl. www.hcinema.de/lcd.htm; Eichmeier, S. 339-345; Lueder, S. 302-303).

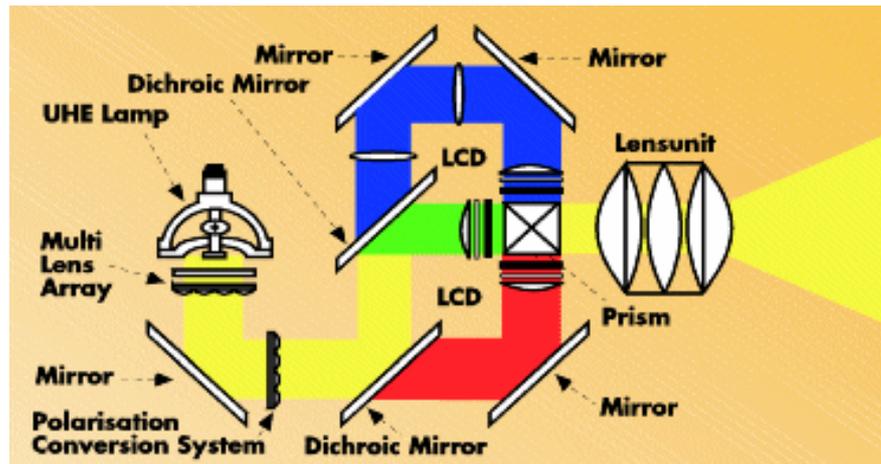


Abb. 11.3. - Aufbau von 3-TFT-Panel Technologie (siehe www.kraatz.de)

11.3 Eigenschaften

Vorteile der LCD – Projektoren sind die schnelle Inbetriebnahme und die geringe Größe. Das macht sie extrem transportabel und eignen sich daher gut für Präsentationen. Durch leichte Deckenmontage, den großen Zoombereich und durch das gute Preis- / Leistungsverhältnis (Mittelklassebeamer kosten zwischen 600€ - 1500€) sind diese Art von Beamer auch schon oft als Heimfernseher im Einsatz, um dem Kinofeeling etwas näher zu kommen. Es besteht zudem noch die Möglichkeit Vorsatzobjektive einzusetzen. Die Ausleuchtung von rund 80-90% ist akzeptabel, aber für viele Konsumenten völlig ausreichend. Mitentscheidend für die Qualität des Beamers, ist neben der Technik auch noch die Lampentechnologie (siehe Kapitel 13).

Obwohl viele Kinderkrankheiten bei neueren Modellen von Projektoren schon behoben wurden, gibt es immer noch ältere Beamer die starke Hotspots oder verpixelte Bildwiedergabe aufweisen. Ein weiteres Problem ist zudem das starke Abfallen der Leuchtintensität des blauen LCD Panels bei längerer Betriebsdauer (ewta 2000 Stunden). Dies geschieht durch die Infrarotstrahlung und ist nur mit erheblichem Mehraufwand an Kosten zu beheben.

LCD Projektoren der neuen Generation kämpfen zum Glück nicht mehr mit solchen Problemen. Einige erreichen sogar schon DLP – Qualität, wie zum

Beispiel bei Schwarzwerten. Trotzdem kämpfen sie, wie DLP Projektoren, mit einem hohen Restlicht. Obwohl neue Generationen und neue Erkenntnisse in der LCD Projektionstechnologie entsprungen sind, besitzen Beamer eher selten die Umschaltmöglichkeit in das 16:9 Format. Da nur wenige Beamer ein solches Panel eingebaut haben, wird 16:9 durch abdecken von Zeilen vorgespielt. Das heißt, dass nur mehr 432 Zielen zu sehen sind anstatt der normalen 576. Eigentlich sollte das heutzutage schon selbstverständlich sein, aber solche Projektoren sind im Normalfall erheblich teurer (ab ca. 1300€).

Zuletzt sind noch zwei weitere Nachteile nennenswert, nämlich die Lampenlebensdauer und die lauten Lüfter. Die Hersteller der unterschiedlichen Lampenarten gewährleisten heutzutage 1-2 Jahre Garantie, was je nach täglicher Betriebsdauer variieren kann. Trotzdem muss nach gewisser Zeit ein Lampenwechsel vollzogen werden, um keine Bildqualität zu verlieren. Dies kann je nach Lampenart 250-700€ kosten, was in Anbetracht der günstigen Beamer schon fast ein zweiter gekauft werden könnte.

Aufgrund der enormen Leistung dieser Lampen, muss auch eine dementsprechende Kühlung vorhanden sein, die sich oft sehr lautstark bemerkbar machen kann. Lüfter können Werte von bis zu 40dB (in etwa mit der Lautstärke eines leisen Gesprächs vergleichbar) aufweisen, was bei ruhigen Fernsehabenden störend sein kann.

11.4 Entwicklung

Obwohl die LCD – Technik gegenwärtig schon in unzähligen Elektrogeräten vertreten ist, zählt sie mittlerweile schon zu den ältesten Projektionsmethoden. Trotz der technischen Unterlegenheit gegenüber DLP und D-ILA, werden LCD – Beamer noch sehr häufig, aufgrund ihres guten Preis- / Leistungsverhältnisses, gekauft. Langfristig aber werden DLP – Beamer in dieser Kategorie Anschluss finden und die LCD – Technologie ablösen. Probleme wie Lichtausbeute, 16:9 Format und Fliegengittereffekte*, die durch die Abstände der Pixel zueinander entstehen, zeigen die klaren Schwächen dieser Displaytechnologie auf und sind daher dem gesamten Konkurrenzumfeld unterlegen.

12 / DLP- / DMD – Projektor

12.1 Allgemein

Texas Instruments entwickelte die DMD- (Digital Micromirror Devices) bzw. DLP Technik (Digital Light Processing). Auf einem Halbleiterchip basierend, sind mehrere hunderttausend kleine Spiegel angebracht, die mittels einer Steuerelektronik bewegt werden können. Aufgrund einer Projektionstechnik, die sich von anderen Techniken unterscheidet, kann hier auch ein pixelfreies Bild projiziert werden.

Dies könnte der Durchbruch für die optimale Heimkinoprojektionstechnik werden. Bei Bildschärfe und Farbenechtheit sind sie LCD – Projektoren weit überlegen, gegenüber Röhrenprojektoren sind sie um ein vielfaches kleiner und heller.

12.2 Technik

DLP – Projektoren klassifizieren sich in 1 DMD – Chip, 2DMD – Chip und 3 DMD – Chip Projektoren. Alle Prinzipien arbeiten ähnlich, nur durch feinere technische Finesse werden Verbesserungen erreicht. Diese Unterschiede spiegeln sich natürlich in Qualität und Kosten wieder.

Die generelle Arbeit wird aber von den Spiegeln, den DMD – Chips, geleistet. Über die Steuerelektronik gesteuert, entscheiden sie über die Ablenkung des einfallenden Lichts. Dieses trifft dann entweder auf die Optik des Projektors, oder aber ins Leere. Derzeitige Spiegel haben Größen von ungefähr 14 – 16 Mikrometern. Desto kleiner diese sind, umso höhere Reaktionszeiten können erzielt werden, ohne dabei die Bildqualität zu beeinflussen (*vgl. www.hcinema.de/dlp.htm*).

12.2.1 1 DMD – Chip

Wie der Name schon sagt, arbeiten diese DLP – Projektoren mit einem DMD – Chip. Dieser ist für den Bildaufbau zuständig und gewinnt Farbinformationen von einem Farbrad.

Um Farben erzeugen zu können, behelfen sich DLP – Projektoren mit diesem Farbrad. Dieses weist alle drei Grundfarben auf und dreht sich synchron mit der Bildablenkung. Durch die Drehung des Farbrads werden drei gleiche Bilder in

allen drei Farben hintereinander erzeugt und zum DMD – Chip weitergeleitet. Aufgrund der hohen Drehzahl des Rads (3600 U/min.), wird so der Eindruck eines echten Farbbilds erzeugt. Pixelstrukturen sind bei dieser Geschwindigkeit nicht mehr zu erkennen (vgl. www.hcinema.de/farbrad.htm).

Nach der Erzeugung der drei Farbbilder, fällt das Licht auf den DMD – Chip, welcher das Bild zusammensetzt. Alle Spiegel haben jetzt eine bestimmte Position eingenommen. Um schwarz anzuzeigen, wird eine schwarze Stelle am Projektor anvisiert, alle anderen drehen sich zum Farbrad hin. Die Farbe weiß wird entweder aus den Grundfarben des Farbrads gewonnen, wobei hier kein 100 %-iges weiß erzielt wird, oder mit einem RGB-W Farbrad, wo ein 100 % weiß dargestellt werden kann.

Je länger nun ein Spiegel auf die Leinwand projiziert, umso kräftiger erscheinen dann auch die Farben. Wenn das Rad sich einmal gedreht hat, entsteht dann ein Bild (siehe Abb. 12.1.). Pro Farbradfarbe sind 256 Stufungen möglich, was bei drei Farben dann 16,7 Millionen Farben ausmacht. Die Spiegel eines DMD – Chips müssen aufgrund von den Standardübertragungsformaten, PAL* (50 Hz) und NTSC* (60 Hz), auch dementsprechend schnell sein und arbeiten deswegen mit einer Reaktionszeit von 20 Mikrosekunden.

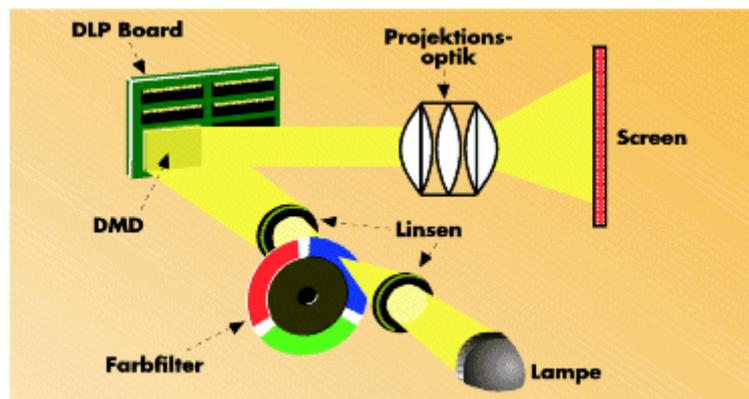


Abb. 12.1. - DLP – Projektor Aufbau (Quelle: www.kraatz.de)

Ein Nachteil bei dieser Technik ist, dass kurze Zeit nach dem blinzeln mit dem Auge eine Art Regenbogen auf der Projektionswand zu sehen ist, was generell störend wirkt. Um diesem Problem Herr zu werden, gibt es Projektoren, die die

Grundfarben auf den Farbrädern zweimal anbringen. Dadurch werden sechs Bilder erzeugt, wobei zwei Bilder immer die gleiche Farbe haben.

12.2.2 Zwei DMD – Chips

Ähnlich wie beim 1 Chip Modell, kommt ein Farbrad zum Einsatz, jedoch mit den Farben magenta und gelb. Weiters ist ein Farbteilprisma vor den beiden DMD – Chips angebracht. Dieses filtert die Farben und leitet sie zum jeweils richtigen DMD – Chip (siehe Abb. 12.2.).

Der Vorteil dieses Systems liegt darin, dass Magenta die Farben rot und blau durchlässt und gelb die Farben rot und grün. Diese gefilterten Farben werden, wie vorhin erwähnt, vom Farbteilprisma wiederum aufgeteilt und zu den richtigen Chips weitergeleitet, wobei ein Chip für die Farbe rot verantwortlich ist und der andere für grün und blau. Dadurch wird die Arbeit innerhalb der beiden Chips aufgeteilt (1/3: 2/3). Da nun längeres Belichten der Leinwand der einzelnen Spiegel möglich ist und durch das Farbrad eigentlich schon 2/3 des Lichts geschluckt werden, kann ein 50 % helleres Bild bei grün und blau und ein 300 % helleres Bild bei rot erzeugt werden. Weiters erfordert diese Technik weniger Lichtleistung, und erzielt infolge dessen auch Einsparungen bei der Kühlleistung.

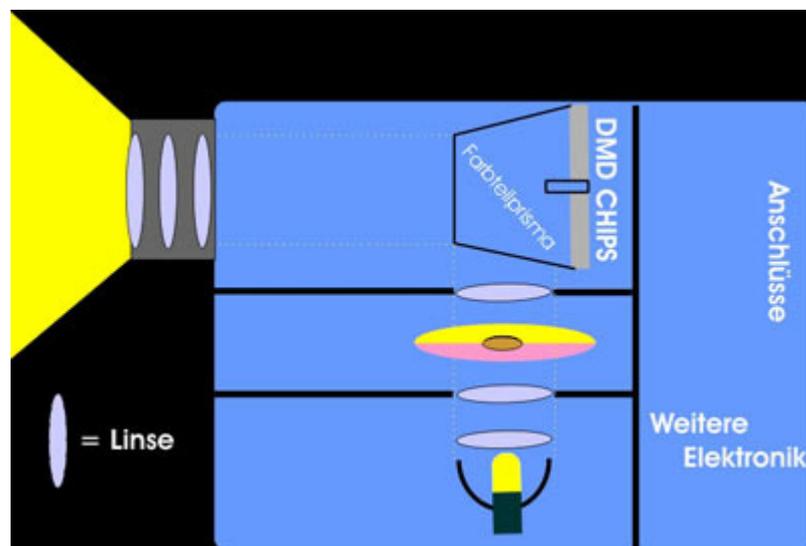


Abb. 12.2. - 2 DMD – Chip Projektor (Quelle: www.hcinema.de)

12.2.3 Drei DMD – Chips

Zuletzt gibt es nun auch die 3 – Chip DLP – Projektoren. Hier ist jeder Chip für eine Farbe (rot, grün, blau) zuständig. Ein Farbrad wird hier vergeblich gesucht, da die ganze Arbeit nun vom Farbteilprisma erledigt wird, welches wiederum alle Farben zu den richtigen DMD – Chips weiterleitet (siehe Abb. 12.3.).

Durch das Fehlen des Farbrads, geht in diesem Fall wesentlich weniger Licht verloren, als bei den anderen zwei Methoden der DLP – Projektoren. Deswegen können 3 Chip Projektoren auch dementsprechend helle Bilder projizieren. Werte von bis zu 12000 Ansi – Lumen* können hierbei erreicht werden.

Diese Art von Projektor wird allerdings im Moment nur im High End Bereich produziert, da Größe, Herstellungskosten und laute Lüftung nicht unbedingt für den Heimgebrauch sprechen. Ende des Jahres sollen aber schon 16:9 Projektoren für das Heimkino auf dem Markt erscheinen.

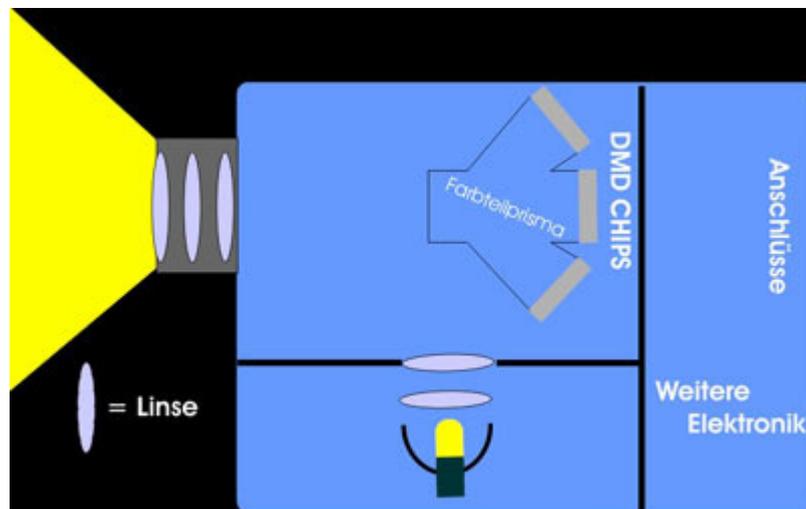


Abb 12.3. - 3 DMD – Chip Projektor (Quelle: www.hcinema.de)

12.3 Eigenschaften

Die DLP – Technologie ist eine sehr beliebte Projektionstechnik für Heimanwender und mobile Endverbraucher. Durch seine Größe ist diese Art von Projektor vorzüglich für mobile Präsentationen und Deckenmontage geeignet. Das Farbrad besticht durch sehr gute Farbsättigung, hinkt dem Röhrenprojektor allerdings noch ein bisschen hinterher. Dafür ist ein DLP – Projektor heller als ein CRT – Beamer und lässt sich schneller einstellen bzw. aufbauen, da keine Konvergenzeinstellung von Nöten ist. Durch seine Leuchtkraft und die Integrationslinse kann eine Leinwand bis zu 90 % Ausleuchtung an den Seitenrändern erreichen. Weiters steht ein größerer Zoombereich zur Verfügung, was mehr Montagespielraum zulässt.

Ein DLP – Projektor ist optimal für Datenprojektion geeignet, da er klein und kompatibel zu PCs ist. Zusätzlich sind Mausfunktionen, Standbildmöglichkeiten und PC Extras zuschaltbar.

Trotz vollen Lobes gibt es auch teilweise Schwierigkeiten, die andere Projektionstechnologien schon beseitigt haben.

Bei 100 Hz kann es zum Flackern kommen, falls die Spiegel nicht schnell genug sind. Pixelrauschen kann entstehen, wenn die Videoinformation nicht von einer DVD entsprang oder vorher nicht MPEG-2 konform codiert wurde.

Die Lüfter der Projektionslampe sind leider ziemlich leistungsstark ausgefallen, um der Wärmeentwicklung der Lampe beizukommen. Außerdem ist ein Wechsel der Lichtquelle im Durchschnitt nach 2000 Betriebsstunden notwendig. Dies schlägt sich in zudem in einem hohen Anschaffungspreis von ungefähr 450 Euro nieder.

Die Regenbogenerscheinung (tritt nur bei dieser Art von Projektion auf) bei kurzem Augenzwinkern wird zwar manchmal mit einem 6-farbigem Farbrad ausgeglichen, ist aber nicht in jedem Projektor standardmäßig eingebaut.

Wie bei LCD Beamern ist auch hier das Restlicht relativ hoch. Vor allem wenn weiß dem RGBW – Farbrad hinzugefügt wird, entstehen verfälschte Farben und schwächere Schwarzwerte (vgl. *Infocus, Spezifikationsblatt*).

12.4 Entwicklung

Der Trend geht in Richtung DLP – Projektion, vor allem was Heimkinoanwendungen betrifft, wie vorhin in Kapitel 11.4. angedeutet wurde. Informationsträger für Projektionen sind meistens DVDs oder Computerdaten, welche sich vorzüglich für die DLP – Technologie eignen. Ein DLP – Projektor hat daher ein durchaus akzeptables Preis- / Leistungsverhältnis, wenn jemand ein qualitativ hochwertiges Gerät erwerben möchte. Beamer dieser Technologie sind schon um sagenhafte 650€ zu erwerben, wobei die Preisspanne nach oben hin offen ist. Trotzdem sollte hier eventuell auf ein teureres Modell zurückgegriffen werden, um in den Genuss von höherer Auflösung, echter Formatumschaltung in 16:9 oder auch besseren Helligkeitswerten zu kommen.

13 / Projektionslampen

13.1 Allgemein

Eine Konstruktion (aus was sie auch immer bestehen mag) ist immer nur so gut wie sein schwächstes Glied, sagt ein altes Sprichwort. Dies trifft natürlich auch auf Projektoren zu. Eine ausgereifte Projektionstechnik ist deshalb nur so gut, wie seine Lampe „leuchtet“.

Heutzutage sind Lampen in Sachen Farbsättigung und Helligkeit schon extrem ausgereift. Nur die Lebensdauer und die Wärmeentwicklung bleiben in ihrer Entwicklung noch etwas stehen.

UHP, UHE, VIP und SHP Lampen sind derzeit erfolgreich am Markt vertreten und stellen alle möglichen Projektoren aus.

13.2 Lampenarten

siehe unten (vgl. www.hcinema.de/plampen.htm; Gebauer)

13.2.1 Halogenlampen

Diese Art von Lampe kam vor allem bei älteren günstigen Projektoren zum Einsatz. Leider sind Ausleuchtung und Helligkeit sehr schwach ausgefallen und deswegen nicht sehr gebräuchlich. Einzig und allein ihre Lebensdauer ist um ein vielfaches länger als bei anderen Lampen.

13.2.2 Metaldampf lampen

Metaldampflampen sind sehr oft bei alten Projektoren zu finden. Sie arbeiten mit zwei Wolframelektroden, die von Edelgas und anderen Gemischen umgeben sind. Sobald dieses Gas per Entladung entzündet wird, und das andere Gemisch verdampft ist, beginnt die Lampe zu leuchten. Um volle Helligkeit überhaupt zu erreichen, benötigt dieser Vorgang ungefähr zwei bis drei Minuten.

13.2.3 Xenon – Hochdrucklampen

Diese Lampen kommen meistens nur bei hochprofessionellen D-ILA Projektoren und manchmal in Kinos zum Einsatz. Bei einer Leistung von 1000 Watt und einer Lebensdauer von 1000 Stunden, ist sie für den Heimanwender eher

uninteressant, da eine Lampe zwischen 700 und 1200 Euro kosten kann. Vorteil dieser Lampen ist allerdings, dass sie die besten Farben wiedergeben.

13.2.4 UHP, UHE, VIP, und SHP Lampen

- **UHP** = Ultra High Performance (Fa. Philips): Je mehr Leistung die Lampe hat, umso heller ist das Bild. Die Philips 132W-UHP-Lampe, die in allen Philips Projektoren verwendet wird, garantiert große Helligkeit und Zuverlässigkeit über die Gesamtnutzungsdauer des Projektors.
- **UHE** = (Fa. Panasonic): Um ein helles Bild zu projizieren, kommen leistungsstarke UHE – Lampen zum Einsatz. Diese Ultra-High-Efficiency Lampen zeichnen sich durch eine besonders hohe Lichtausbeute aus, weil sie keine Glühwendel, sondern ein glühendes Gasgemisch nutzen. Da ihr Lichtspektrum dem des Tageslichts sehr ähnlich ist, entstehen natürliche Farben.
- **VIP** = (Fa. Osram)
- **SHP** = Die Abkürzung steht für Super High Performance. Es handelt sich um einen neuen Typ Metalldampflampe, der z.B. in Daten-Video-Projektoren eingesetzt wird. SHP-Lampen erzeugen viel Licht bei wenig Energieverbrauch und liefern eine tageslicht-ähnliche Farbtemperatur.

Alle oben genannten Lampen haben den Vorteil, dass sie nur die Hälfte an Watt Leistung benötigen (maximal 300 Watt). Das bedeutet, dass sie weniger Kühlung benötigen und einen kleineren und leiseren Ventilator besitzen.

- **Xenon** Lampen werden nur in professionellen Projektoren wie D-ILA verwendet. Sie projizieren zwar die besten Farben, kosten aber rund 700 – 1000€, was bei einer Lebensdauer von etwa 1000 Stunden relativ viel ist. Sie werden auch manchmal im Kino eingesetzt.

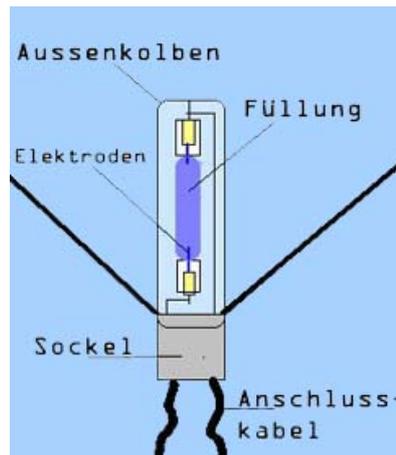


Abb. 13.1. - Projektionslampe (siehe www.hcinema.de)

13.3 Ausleuchtung

13.3.1 Integrationslinse

Früher war es oft so, dass ältere Projektoren Probleme mit der Ausleuchtung hatten. So entstand auf der Leinwand ein so genannter „Hotspot“, wo das Bild in der Mitte heller war und die Ränder aber um vieles dunkler.

Um das Problem der Ausleuchtung der Leinwand aus der Welt zu schaffen, wurden Integrationslinsen entwickelt (siehe Abb. 13.2.). Diese werden vor die Projektionslampe gesetzt und bewirken damit eine gleichmäßige Streuung des Lichts. Dadurch werden können schon Ausleuchtungen von 90 % erreicht werden.

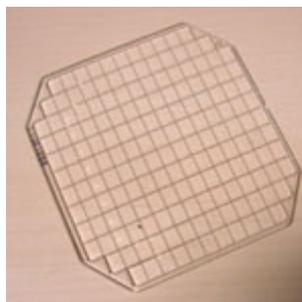


Abb. 13.2. - Integrationslinse (siehe www.hcinema.de)

13.4 Farbtemperatur

13.4.1 Kelvin

Kelvin (K) ist die Maßeinheit, die die Farbtemperatur bestimmt. Je weißer ein Licht ist, umso höher ist dessen Kelvinwert (siehe Tab. 13.1.).

Um nun Kelvinwerte für Lampen bestimmen zu können, dient das Tageslicht als einheitlicher Gradmesser, welches Werte von 5000 – 15000 Kelvin aufweist, abhängig von der Wetterlage. Bei Videobildern hat man sich auf 6500 Kelvin geeinigt, damit Aufnahmen der Kamera fast identisch mit der Ausstrahlung des Projektors sind. Je näher der Wert an 6500 Kelvin herankommt, umso natürlicher wirkt dann auch das Bild.

Lampe	Kelvinwert
Xenon	fast genau 6500
Metalldampflampe	6000 – 7000
UHP, UHE, VIP, NSH	6500 – 8000
Einfache Halogenlampe	2800 – 3200

Tab. 13.1. - Kelvinwerte gängiger Projektionslampen

In der Realität werden aber generell Lampen benutzt, die schon im Vorhinein viel heller sind und unrealistische Farben produzieren. Trotzdem kann man fast jeden gängigen Projektor schon auf 6500K einstellen.

13.5 Lampenlebensdauer

Projektionslampen sind heikel und teuer und deshalb auch nicht mit einer gewöhnlichen Schlafzimmernglühbirne zu vergleichen. Je nach Lampenart gibt es vom Hersteller eine empfohlene Lebensdauer. Diese garantiert in diesem

Zeitraum ein, der Lampe und ihren Eigenschaften entsprechendes, optimales Bild. Im Normalfall werben Hersteller mit Lebensdauern von 1000 – 8000 Stunden, bevor Trübung und milchige Projektion eintreten.

Diese Angaben sind aber mit Vorsicht zu genießen, denn viele andere Faktoren spielen hier auch eine große Rolle, die das Leben einer Lampe drastisch verkürzen können. Deswegen ist auf folgende Faktoren acht zu geben:

- Schlechte Lüfter
- Verschmutzte Filter
- Blockierung der Lüfter durch Schallisolierung
- Zu geringer Abstand zu Decke bzw. Wand
- Zu oft Ein- bzw. Ausschalten

Eine vorschriftsmäßige Anwendung ist also durchaus angebracht, da eine Halbierung der Lebenszeit sehr teuer kommen kann. Je nach Lampenart kann eine Neuerung zwischen 250 € und 1200 € kosten (siehe Tab. in Kapitel 13.6.).

Manche Projektoren haben auch einen integrierten Zähler, welcher oft nur über das OSD aufgerufen werden kann. Das heißt, wenn eine Lampe vor ihrer garantierten Zeit „erlischt“ und der Projektor keinen zusätzlichen externen Zähler besitzt, wird es schwer sein auf die Garantie rechtmäßigen Anspruch zu erheben. Leider passiert es immer häufiger, dass Besitzer Projektionslampen länger benutzen als vorgesehen. Dadurch erhöhen sie das Risiko einer Explosion, wo kleine Bauteile des Projektors in Mitleidenschaft gezogen werden könnten, und müssten zudem noch mit erheblichen Mehrkosten für eine Reparatur rechnen.

13.6 Lampenkosten

Fast jeder Projektor benötigt eine bestimmte Lampe, um optimal arbeiten zu können. Aufgrund der hohen Preise (siehe Tab. 13.2.) ist daher besonders auf die genaue Projektorbezeichnung zu achten, damit später nicht aus Versehen eine falsche Lampe gekauft wird.

Lampe	Kosten (€)
Halogen	10 – 70
UHP	250 – 700
UHE	250 – 700
SHP	250 – 700
P-VIP	250 – 700
Xenon	700 – 1200

Tab. 13.2. - Ersatzlampenkosten

Leider sind die Preise im Moment noch sehr hoch angesetzt und betragen in etwa ein Viertel bis zur Hälfte der Kosten eines neuen Projektors.

Um es aber noch einmal kurz anzusprechen, ein digitaler Projektor ist eigentlich immer noch kein Fernseherersatz, auch wenn die Projektionstechnologien schon viel versprechen. Dies bleibt immer noch dem Röhrenprojektor vorbehalten, auch wenn dieser schon in die Jahre gekommen ist.

13.7 Entwicklung

Die Entwicklung sieht es natürlich vor, dass helles und vor allem langlebiges Licht hergestellt wird. Die einzige Lichtquelle, die diese Eigenschaften bis jetzt beherrscht, ist das Laserlicht. Die geringe Wärmeentwicklung wäre ein zusätzlicher Vorteil, doch die Herstellung und Kosten eines solchen Systems sind für den Massenmarkt bei weitem noch nicht akzeptabel.

Neue Hoffnung wird aber bei der Firma Osram geschöpft. Im März 2005 stellte Osram ein neues Lampensystem für Miniprojektoren vor. Es ist eine LED – Lampe (namens Ostar) mit geringer Wärmeentwicklung und einer Lebensdauer von 30000 Stunden. Leider weist die Lampe mit 120 Lumen* keinen akzeptablen

Helligkeitswert für Projektoren auf und hat deswegen noch etwas Entwicklung vor sich. Trotzdem ist dieser Ansatz ein wichtiger Schritt in die Zukunft.

Ein ähnliches System stellte die Firma Lamina Ceramics im Februar 2005 vor. Es basiert auch auf einer LED – Lichtquelle, die zwar einen Helligkeitswert von 28000 Lumen* aufweisen kann, jedoch einen Leistungsverbrauch von 1400 Watt hat. Aufgrund dessen wäre so eine Lampe wahrscheinlich nicht in Projektoren eingesetzt.

Eine zweite bessere Lösung bietet allerdings die LED – Lampe, BL – 3000. Sie leuchtet mit 570 Lumen* und ist zudem in allen RGB Farben erhältlich. Dies wäre zum Beispiel eine optimale Lösung für DLP – Projektoren, weil dadurch das Farbrad weggelassen werden kann, welches normalerweise einen großen Teil des Lichts schluckt.

III / Experiment

Dieser Versuch soll die unterschiedlichen qualitativen Vor- und Nachteile der verschiedenen Displaytechnologien aufzeigen. Das Testumfeld beschränkte sich auf 4 Geräte, die zur Verfügung standen. Besonderes Augenmerk wurde bei den Tests auf Pixelstruktur, Umrechnungsfehler, Kontraststärke und Farbechtheit gelegt, um den Genuss von Fernsehen aus unterschiedlichen Blickwinkel betrachten zu können. Das Endergebnis soll dann die eigentlichen Stärken, mit den momentan verwendeten Techniken, jeder einzelnen Technologie hervorbringen. Die Testkandidaten wurden subjektiv auf möglichst naturgetreue Bildwiedergabe eingestellt.

14.1 Versuchsaufbau

Im Testfeld waren folgende Displays vertreten:

- Panasonic TH-42PA30 (Plasma)
- Sony PVM-14M2E (Röhre)
- Philips bSure SV1 (LCD Beamer)
- Acer AL1721hs (TFT)

Display	Kontrast	Helligkeit	Auflösung
Panasonic	4000:1	850cd/m ²	852x480
Sony (Studiomonitor)	---	---	600 TV Zeilen
Philips	300:1	1200 ANSI Lumen*	800x600
Acer	450:1	260cd/m ²	1280x1024

Mittels einer 1-Chip DV – Kamera (Model MD 9069) von der Firma Medion wurden Aufnahmen aus dem Alltagsleben gefilmt. Schnelle Bewegungen sowie farbenträchtige Aufnahmen, bilden hier die Grundlage für eine effektive Analyse. Mittels einer digitalen Spiegelreflexkamera von Canon (EOS 300D) wurden dann vom Videomaterial aussagekräftige Standbilder fotografiert, um Vergleiche anstellen zu können.

14.2 Versuchserklärung

In den folgenden Tests wurden Referenzbilder von schnellen Bewegungen und farbträchtigen Aufnahmen herangezogen. Unterschiedliche Aspekte beleuchten nun die Gesamtheit eines Displays und deren Leistungsprofil:

- Pixelstruktur
- Skalierungs- bzw. Umrechnungsfehler
- Farbechtheit und Kontraststärke

Wie in dieser Arbeit beschrieben sind die Pixelanordnung und Strukturen bei den einzelnen Display- und Projektionstechnologien unterschiedlich aufgebaut. Durch den Abstand der Pixel zueinander können so genannte Fliegengittereffekte* entstehen. Schräge Kanten oder runde Objekte weisen dann manchmal auch ungewollte Kanten auf.

Skalierungsfehler gibt es nur bei digitalen Displays und betreffen Röhrenmonitore nicht. Hier werden unterschiedliche Techniken zur Berechnung verwendet, wobei es dabei fast immer zu Ungenauigkeiten kommt.

Farbechtheit und Kontraststärke sind das Produkt der unterschiedlichen Leuchtmittel, die zum Einsatz kommen. Generell weisen zum Beispiel Plasmadisplays die höchste Kontraststärke und Leuchtkraft auf, bedingt durch ihre Leuchtstofflampen, wogegen die Hintergrundbeleuchtung von TFTs wesentlich schwächere Ergebnisse liefert aufgrund der nicht selbstleuchtenden Pixel.

14.3 Ergebnisvergleich

14.3.1 Pixelstruktur

Dieses bildliche Beispiel (siehe Abb. 14.1.) zeigt die Unterschiede in der Pixelstruktur der verschiedenen Displaytechnologien.

Beim CRT – Monitor ist eindeutig die Zeilenstruktur zu erkennen, wobei beim Plasma – Display die einzelnen Pixel klar zu sehen sind. Diese Pixel sind deswegen so gut zu sehen, weil sie im Vergleich zu anderen Displaytechnologien weitaus größer sind. Die kleinen Leuchtstofflampen, die einen Pixel ergeben, erreichen baulich noch keine geringeren Größen. Aufgrund ihrer Größe muss demnach auch ein größerer Betrachtungsabstand zum Plasma – Display gewählt werden, um ein homogenes Bild zu sehen.

Beim LCD Beamer ist der Fliegengittereffekt* gut zu sehen. Durch den Abstand der Pixel zueinander, ist dieser Effekt nicht zu vermeiden. DLP- und D-ILA Projektoren dagegen haben nicht so ein Problem. Aufgrund des größeren Abstandes (3-8 Meter) zwischen Projektor und Projektionswand fällt dieser aber nur bei näherer Betrachtung auf. Trotzdem wird der Gittereffekt immer stärker zu sehen sein, wenn der Abstand vom Beamer zur Projektionswand hin größer wird, aber der Betrachter selbst den Abstand zur Projektionswand nicht vergrößert.

TFT – Displays besitzen auch einen solchen Fliegengittereffekt*, der aber mit freiem Auge fast nicht zu sehen ist. Durch den eher geringen Betrachtungsabstand zum Monitor wirken die einzelnen Abstände der Pixel zueinander nicht so stark wie beim LCD Beamer. Außerdem wird das Bild nicht optisch vergrößert, sondern präsentiert sich in der tatsächlichen Größe der Pixel.

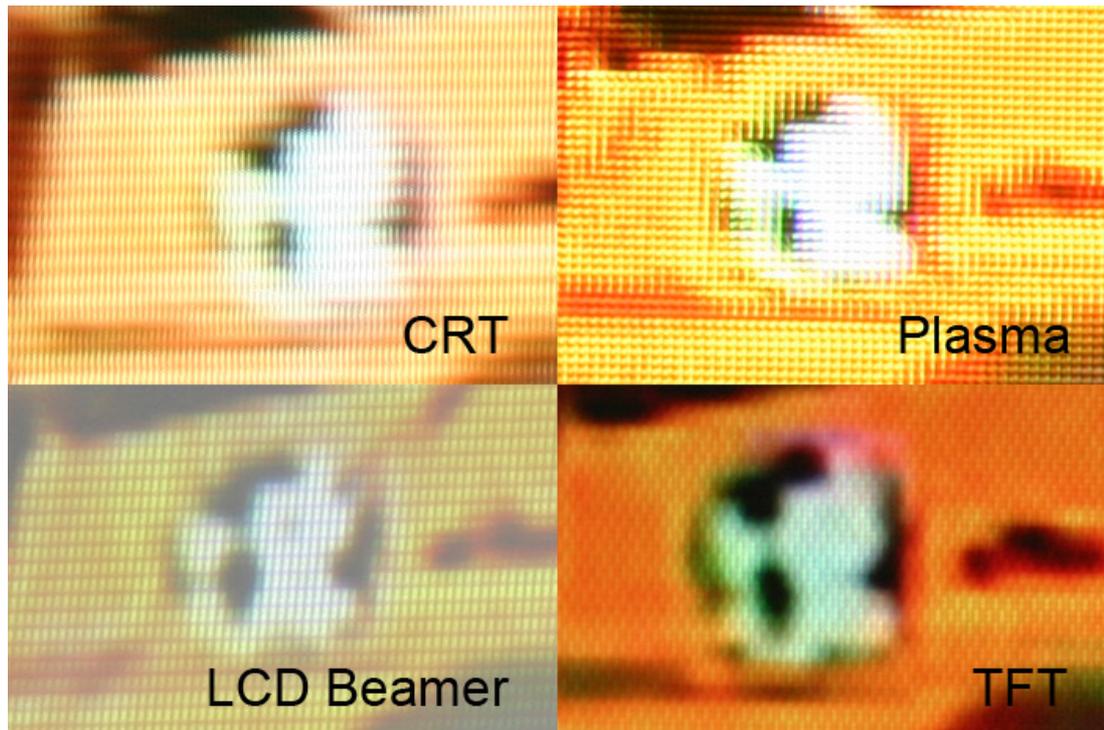


Abb. 14.1. - Pixelstrukturen

14.3.2 Skalierungs- bzw. Umrechnungsfehler

Wie schon angesprochen gibt es bei digitalen Displaytechnologien Schwierigkeiten bei der Bildumrechnung in bestimmte Auflösungen. Da das Videosignal eine bestimmte Ausgangsgröße hat, müssen Displays dieses auf ihre Auflösung anpassen. Da der Umrechnungsfaktor nicht immer ganzzahlig sein kann, werden dann Kompromisse bei der Pixelberechnung gemacht, um ähnliche Resultate zu erzielen.

Am Vergleichsbeispiel (siehe Abb. 14.2.), welches ein Standbild von einer schnellen Bewegung zeigt, sehen wir, dass der Röhrenmonitor ein sehr klares Bild mit ausgewogener Bewegungsunschärfe darstellt. Durch die Elektronenstrahlen entstehen keine Umrechnungsfehler bei den Pixel, und die Kanten des Fahrzeugs weisen schöne Verläufe in den Hintergrund auf.

Beim Plasma – Display ist sofort die grobe Körnung auf der Radkappe und den Kanten des Autos zu erkennen. Hier sind deutliche Skalierungsfehler zu sehen. Aufgrund der schnellen vorbeifahrenden Bewegung des Autos und der Skalierung scheint es, dass die Umrechnung nicht präzise genug erfolgen kann, um eine Bewegungsunschärfe korrekt berechnen zu können. Die Radkappe weist grobe Fehler in der Berechnung auf und produziert somit ungewollte Kanten und

unregelmäßige Abstufungen in der Rundung. Auch der Verlauf von den Kanten des Fahrzeugs in den Hintergrund ergibt keinen fließenden Übergang, sondern ist von starken Unregelmäßigkeiten geprägt, die eigentlich die Bewegungsunschärfe darstellen sollen. Die graue Plastikleiste, die über dem Reifen befestigt ist, zeigt auch ungewöhnliche grüne Flecken auf, welche auch ein Produkt der Umrechnungsfehler sind.

Der LCD – Beamer fällt hier insbesondere durch sein flaes Bild auf. Aber auch hier sind kleine Umrechnungsfehler bei der Radkappe zu erkennen, wobei diese wesentlich weniger stark ausgeprägt sind als beim Plasma – Display. Das grau der Plastikleiste ist allerdings unverändert.

Der TFT – Bildschirm weist, wie alle anderen digitalen Displays, auch Umrechnungsfehler auf. Diese werden allerdings durch das schwache Kontrastverhältnis und Grauabstufung verstärkt wahrgenommen. Die Plastikleiste gleicht hier eher einer grünen Leiste anstatt einer grauen. Eine Bewegungsunschärfe an den Kanten des Fahrzeugs ist hier zur Gänze nicht vorhanden. Deshalb wirkt das Bild auch eher statisch.



Abb 14.2. - Umrechnungsfehler

14.3.3 Farbechtheit und Kontraststärke

Im Testfeld ergab unser CRT – Monitor das am besten ausgewogene Bild (siehe Abb. 14.3.) in Sachen Farbe und Kontrast, obwohl das Bild etwas blass wirkt. Farbabstufungen sind aber hier am schönsten zu erkennen. Von der Helligkeit her, zeigt der Monitor ein gutes Bild, wie man es normalerweise auch gewohnt ist. Alle anderen Teilnehmer haben ihre Schwierigkeiten.

Der Plasmabildschirm weist sehr gute Helligkeitswerte und Kontrastwerte auf, wie es auch nach dem Stand der Technik sein soll. Trotzdem wirkt das Bild übertrieben und unecht. Auch wenn solch leuchtende Farben beeindrucken, spiegelt es dennoch nicht die wahre Umgebung wieder.

Beim LCD Beamer ist deutlich zu erkennen, dass das Bild flau und Kontrastarm wirkt. Die Farben wirken blass, wobei dadurch die Nuancen in den einzelnen Farbbereichen auch nicht wirklich zur Geltung kommen. Obwohl diese Aufnahmen in einem fast komplett abgedunkelten Raum vorgenommen wurden, sind hier deutliche Schwächen zu erkennen.

Der TFT – Monitor bringt überraschender Weise die natürlichsten Farben von allen Teilnehmern. Leider sind Kontrast und Helligkeit etwas schwach ausgefallen, aber das war aufgrund der Hintergrundbeleuchtung dieser Technik auch nicht anders zu erwarten. Dadurch sind die Details vom Wald auch schlechter zu erkennen.



Abb. 14.3. – Farb- und Kontrastunterschiede

14.4 Erkenntnis

Generell zeigt dieser Versuch, dass die gute alte Röhrentechnik immer noch das ausgewogenste Bild von allen Testkandidaten liefert. Auch wenn die Technik bestimmte bauliche Grenzen setzt, kommen viele Anwender nicht um diese Displaytechnologie herum. Skalierungsfehler und Pixelabstände gibt es nicht, fotorealistische Darstellungen sind ohne weiteres möglich. Ein sehr gutes Preis- / Leistungsverhältnis macht die Röhre also immer noch interessant.

Ein Plasma – Display ist normalerweise sehr groß und passt meistens immer gut ins Raumbild. Trotz seiner Größe ist durch seine Pixelabstände die Auflösung nicht sehr hoch. Mit 852x480 Pixel ist die Auflösung nicht einmal so groß wie die eines 15“ TFT – Displays. Das heißt, dass ein größerer Betrachtungsabstand gewählt werden sollte, um das Fernseherlebnis genießen zu können. Das Plasma – Display besticht im Versuch durch kräftige, etwas unnatürliche, aber kontrastreiche Farben. Der Fliegengittereffekt* verschwindet zudem nur, wenn der Betrachtungsabstand auch groß genug ist. Die Skalierungsfehler kommen häufig und stark sichtbar vor. Flache Displays in diesen Größen (ab 32“) gibt es aber nur in Form von Plasma – Displays und sind auch dementsprechend teuer.

Der LCD Beamer fällt durch seine stark flaue Projektion auf. Farben und Kontrast sind hier ganz hinten einzureihen. Skalierungsfehler sind zwar vorhanden, aber kaum erkennbar. Besonders negativ ist aber sein Fliegengittereffekt*, welcher bei zu nahem Betrachtungsabstand eindeutig ersichtlich ist.

Der TFT – Bildschirm zeigt ausgewogene Farb- und Kontrastverteilungen, auch wenn die Leuchtstoffröhren nicht ganz so hell leuchten wie Plasmapixel oder Beamerlampen. Die Skalierungsfehler sind präsent, aber nicht ganz so stark zu sehen wie bei Plasma – Displays.

Grundsätzlich messen wir Menschen die Qualität eines Fernsehbildes an den alten Röhrenfernsehern, da wir von früher nur diese kannten. Trotzdem kann der Röhrenmonitor die beste Qualität an Film- und Videowiedergabe aufweisen. Das Bild besticht durch Farbenpracht und gute Kontrastverhältnisse, die das menschliche Auge seit jeher gewohnt ist.

Auch wenn Plasmafernseher groß sind und hohe Helligkeitswerte aufweisen können, so sind Bildqualität und das Verhältnis von Baugröße und Auflösung als relativ schwach einzustufen. Im Versuchsfeld wird diese Technik ganz am Schluss eingereiht. Das schlechte Preis- / Leistungsverhältnis und das dafür gebotene Fernseherlebnis, wird zusätzlich noch durch seine bildlich qualitativen Schwächen getrübt.

Der LCD Beamer kann seine Stärke nur in gut abgedunkelten Räumen entfalten. Farben und Kontrast leiden schnell durch Tageslichteinstrahlung oder Zimmerbeleuchtung. Fliegengittereffekte* sind nur durch größeren Betrachtungsabstand nicht mehr zu erkennen, was aber durch die Wand- bzw. Leinwandprojektion, und die dadurch entstehende bildgröße, selbstverständlich ist. Durch seine mobile Einsatzmöglichkeit, einfache Montage und durch ein gutes Preis- / Leistungsverhältnis sind Beamer dieser Art sehr beliebt geworden. Der Trend Qualität dürfte anscheinend bald von Flexibilität und Heimkinofeeling abgelöst werden. Qualitativ ist der LCD Beamer auf den vorletzten Platz zu reihen.

Das TFT – Display kommt in dem Versuch auf Platz 2. Helligkeit und Kontrast sind zwar schlechter als bei Röhrenmonitoren und Plasma - Displays, jedoch wirken die Farben sehr natürlich. Skalierungsfehler machen dem TFT – Display

etwas zu schaffen, bewegen sich aber in einem akzeptablen Rahmen, ähnlich wie bei LCD Beamern. Qualitativ sind TFT – Displays der Röhre schon sehr nahe gekommen, wobei bei bewegten Bildern noch Schwierigkeiten auftreten.

15 / Zusammenfassung

Die LCD Technik ist die Displaytechnologie mit dem besten Preis- / Leistungsverhältnis. Im Büro, im Präsentationsbereich und im privaten Haushalt, kommen Geräte dieser Art immer häufiger zum Einsatz. Röhrenbildschirme werden zwar noch von speziellen Anwendern benötigt, werden aber bald von den digitalen Technologien eingeholt werden. Spezielle Anwendungsbereiche in denen CRT – Monitore unerlässlich waren, werden dann von TFT – Monitoren übernommen.

Plasmadisplays und LED – Displays haben sich für ihre bestimmten Einsatzgebiete, wie Fernseher und Videowalls, empfohlen. Trotzdem muss die Entwicklung vorangetrieben werden, denn andere Technologien drängen von hinten schon nach. O-LED und elektronische Tinte haben entweder schon Pilotversuche gestartet oder sind sogar in manchen technischen Geräten zu finden.

Auch wenn die Röhrentechnik das qualitativ beste Bild wiedergibt, so stehen, anstatt Qualität, für Konsumer andere Faktoren im Vordergrund, wie Platzgründe, Bildgröße, Kinoatmosphäre oder Raumbildverschönerung.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Projektionstechnologie. LCD Beamer sind die meist gekauften Projektoren, da sie derzeit den besten Kosten- / Nutzenfaktor haben. Die DLP Technologie kommt langsam in die Preissegmente der LCD Technologie und wird wahrscheinlich den LCD Beamer als Marktführer ablösen. Dies ist auf die wesentlich besser Bildqualität zurückzuführen und ebenso für den mobilen Transport geeignet ist.

D-ILA Projektoren und Laserprojektion sind derzeit viel zu teuer und uninteressant für den privaten Gebrauch. Ausschließlich professionelle Anwender werden auf diese Techniken zurückgreifen, da andere Anwendungsgebiete im Moment noch keinen Nutzen dafür sehen.

Anhang A

Quellen- und Literaturverzeichnis

- **Dolde**, Manfred; FKT (01-02/2004): *Großbildpräsentationstechnik im praktischen Einsatz*
- **Dörner**, Franz; PC Magazin (06/2005): *Pixelbeschleuniger*
- **Eichmeier**, Joseph [Hrsg.] (1995): *Vakuumelektronik und Displays*
- **Emrich**, Gustav Werner, FKT (01-02/2004): *Fortschritte bei der D-ILA Projektionstechnik*
- **FKT** (01-02/2004): *Hochauflösende Displays mit "elektronischer Tinte"*
- **Fraunhofer Institut, Applied Films, Optrex Europe GmbH**; White Paper: *Organic Light Emitting Diodes*
- **Gebauer**, Matthias (2000): *Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur effizienten Hinterleuchtung von LC Displays*
- **Hayakawa**, Mitsuru; Victor Company of Japan, Ltd. (JVC): *ILA / D-ILA Super Projectors for the Present and the Future*
- **Heckmeier**, Michael; **Lüsse**m, Georg; **Tarumi**, Kazuaki; **Becker**, Werner; White Paper: *Liquid Crystals for Active Matrix Displays*
- **Infocus**, LP820: *Spezifikationsblatt*
- **Irmer**, Klaus; FKT (01-02/2004): *Displaytechniken für die Fernsehbild-Wiedergabe*
- **JVC**, Technical Guide; White Paper: *D-ILA Projector*
- **Kraus**, Heinz (01-02/2004): *Projektions-TV: Technik für Highend-Multimedia-Geräte*
- **Krautwald**, Dipl.-Ing. Henning; FKT (01-02/2004): *Von der Grundlagenforschung zum OLED Display*
- **Lindner**, Dipl.-Photoing. Ronald; FKT (01-02/2002): *LED – Großbildtechnik*
- **Lüder**, Ernst (2001): *Liquid Crystal Display*
- **Mitterauer**, Johannes [Hrsg.] (2004): *Displays and vacuum electronics*

- **Nakamura, Shuji and Shigefusa F.**, Chichibu (2000): *Introduction to Nitride Semiconductor – Blue Lasers and Light Emitting Diodes*
- **NEC Display Solution**; MultiSync LCD4610 (04/2005): *Spezifikationsblatt*
- **Olschbauer, Hermann** (1949): *Die Kathodenstrahlröhre in der Nieder- und Hochfrequenztechnik*
- **Pfeifer, Dipl.-Ing. Claus**; FKT (10/2004): *Professionelle LCD Videomonitore*
- **Schmidt, Ulrich** (2000): *Professionelle Videotechnik, 2. Auflage*
- **Schneider Laser technologies AG**; White Paper: *Neu. Laser – Display – Technologie*
- **Shinar, Joseph [Hrsg.]** (2004): *Organic light – emitting devices*
- **VDI Technologiezentrum**, Physikalische Technologien (Bundesministerium für Bildung und Forschung, Deutschland): *Plasmatechnik*
- **Zwing, Dipl.-Ing. Rainer** (03/2003): *Plasma TV – Evolutionsschritte der Displaytechnik*

Weblinkverzeichnis

- **Autocad**: <http://www.autocad-magazin.de>
- **BET Michael Müller**, Online Fachwörterbuch für Fernsehen und Videotechnik: <http://bet.de/lexikon>
- **Design Report**: <http://www.design-report.de>
- **HCinema**, Projektionstechnologie Spezialist: <http://www.hcinema.de>
- **Heise.de**, M.I.T. Magazin für Innovation: <http://heise.de>
- **Kraatz.de**, Medien- und Kommunikationstechnik: <http://kraatz.de>
- **Löhneysen, Ulrich von**; Journalist, News Service: LCoS: Das Comeback des Jahres; <http://www.loehneysen.de>
- **Miszalok**, Prof. Dr. Ing. Dr. med. Volkmar, Computer Graphics, Image Processing, Computer Vision at TFH Berlin, FB Informatik: <http://www.miszalok.de/index.htm>
- **Netzeitung.de**, Tageszeitung in Deutschland: <http://www.netzeitung.de>

- **Oschmann, Tobias** (2004); Elektronik Fachinformation: <http://www.nullohm.de>
- **Plasma Surface Technology:** <http://www.plasma.de>
- **Prad.de**, spezialisiert auf TFT-Displays und TFT-TV: <http://www.prad.de>
- **Tom's hardware guide**, Beratung und Aufklärung über gängige Computertechnik: <http://www.tomshardware.de>
- **Wikipeda**, Enzyklopädie: <http://www.wikipeda.org>
- **Windows-Tweaks.info:** <http://www.windows-tweaks.info>

Anhang B

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 2.1. – Aufbau einer Kathodenstrahlröhre (S. 12)
- Abb. 2.2. – Funktion einer Lochmaske (S. 13)
- Abb. 2.3. – horizontal und vertikal gewölbte Lochmaske (S. 15)
- Abb. 2.4. – Funktion der Trinitronmaske (S. 17)
- Abb. 3.1. – Aufbau eines LCD – Pixels (S. 24)
- Abb. 3.2. – Funktion eines Polarisationsfilters (S. 25)
- Abb. 3.3. – Zwei Polarisationsfolien die 90° zueinander gedreht sind ohne LCs (S. 25)
- Abb. 3.4. – Lichtweg wenn keine Spannung anliegt (S. 26)
- Abb. 3.5. – Pixel eines TFTs. Links oben in einer Zelle ist ein TFT – Transistor eingebaut. Durch Farbfilter erhalten die Zellen ihre RGB-Grundfarben (S. 26)
- Abb. 3.6. – Lichtweg bei Spannung Funktionsweise (S. 27)
- Abb. 3.7. – Gesamtaufbau der TFT – Technik mit Farbfiltern (S. 28)
- Abb. 3.8. – Verschiedene LCD – Arten (S. 28)
- Abb. 3.9. – TN+Film – Displays richten LCs senkrecht zur Glasschicht aus, wobei ein zusätzlicher Film den Blickwinkel erhöht (S. 32)
- Abb. 3.10. – Bei angelegter Spannung orientieren sich die Moleküle der LCs parallel bzw. horizontal zum (S. 33)
- Abb. 3.11. – Technik des Multi VA (S. 35)
- Abb. 3.12. – Skalierung des Buchstaben "m". Mittels „Advanced Scaling“ kompensiert man falsche Berechnungen bei nicht eindeutig zugeordneten Pixel (S. 41)
- Abb. 3.13. – Aufbau eines Pixels mit drei Subpixeln (S. 42)
- Abb. 3.14. – einfache Darstellung des Ditherings (S. 42)
- Abb. 3.15. – Jeansmustereffekt (S. 42)
- Abb. 4.1. – Umwandlung des UV – Lichts zu sichtbarem Licht durch den Szintillator (S. 46)

- Abb. 4.2. – Lichterzeugung im Hohlraum einer Leuchtstofflampe durch Scintillatoren (S. 47)
- Abb. 4.3. – Aufbau der gebündelten Elektroden (S. 48)
- Abb. 4.4. – Leuchtstofflampen mit je 3 Elektroden (ACC – Technik) (S.49)
- Abb. 4.5. – Helligkeitssteuerung durch elektrische Entladung des Pixels (S. 50)
- Abb.5.1. – Spektrale Strahlungsverteilung verschiedener LEDs (S.57)
- Abb. 5.2. – Schematischer Aufbau einer LED (S. 57)
- Abb. 5.3. – Strom-Spannungskurve verschiedener LEDs bzw der Si-Diode (S. 59)
- Abb.5.4. – Einsatzgebiete in Kaufhäusern, öffentlichen Anzeigetafeln und TV (S. 61)
- Abb. 7.1. – Mikrokapsel mit positiven und negativen Partikeln (S. 67)
- Abb. 7.2. – Anzeige aus elektronischer Tinte im öffentlichen Verkehr (S. 70)
- Abb. 8.1. – Pro Pixel eine Farbe aber erst drei Pixel ergeben einen Bildpunkt (S. 73)
- Abb. 8.2. – 3-Chip D-ILA Aufbau (S. 74)
- Abb. 8.3. – Foto eines D-ILA-Chips (S. 74)
- Abb. 8.4. – Pixeldichte bei D-ILA Chips z.B. in den Modellen G10/G11/G15 (S. 75)
- Abb. 8.5. – Mikroskopansicht von D-ILA – Spiegeln und deren Abstände zueinander (S. 75)
- Abb. 8.6. – PBS mit Polarisationspiegel (S. 75)
- Abb. 8.7. – Polarisation des Lichts durch den PBS (S. 76)
- Abb. 8.8. – Inaktiv: "Schwarz" (S.76)
- Abb. 8.9. – Aktiv: "Hell" (S.77)
- Abb. 8.10. – 1-Chip D-ILA Projektor (S. 78)
- Abb. 8.11. – Lichtweg in eines 3-Chip D-ILA Projektors (S. 78)
- Abb. 8.12. – Diverse D-ILA Chips (S. 79)
- Abb. 8.13. – Die verschiedenen Abmessungen und Aufösungen von D-ILA Chips (S. 80)

- Abb. 8.14. – Umschaltzeit des Displays (S. 80)
- Abb. 9.1. – Aufbau einer Laserprojektion (S. 85)
- Abb. 11.1. – Aufbau der 1 – Panel – Projektionstechnik (S. 92)
- Abb. 11.2. – Aufbau der Polysilizium – LCD – Technik (S. 93)
- Abb. 11.3. – Aufbau von 3-TFT-Panel Technologie (S. 94)
- Abb. 12.1. – DLP – Projektor Aufbau (S. 97)
- Abb. 12.2. – 2 DMD – Chip Projektor (S. 98)
- Abb. 12.3. – 3 DMD – Chip Projektor (S. 99)
- Abb. 13.1. – Projektionslampe (S. 104)
- Abb. 13.2. – Integrationslinse (S.104)
- Abb. 14.1. – Pixelstrukturen
- Abb. 14.2. – Umrechnungsfehler
- Abb. 14.3. – Farb- und Kontrastunterschiede

Tabellenverzeichnis

- Tab. 3.1. Vor- und Nachteile von Hintergrundbeleuchtung bei LCDs (S. 30)
- Tab. 3.2. – Pixelfehlerklassen (S. 39)
- Tab. 5.1. – Eigenschaften von LEDs (S. 58)
- Tab. 8.1. – Leistungsdatenvergleich unterschiedlicher Projektionstechnologien (S. 82)
- Tab. 13.1. – Kelvinwerte gängiger Projektionslampen (S.105)
- Tab. 13.2. – Ersatzlampenkosten (S. 107)

Anhang C

Glossar

- **Braunsche Röhre** = Mit Hilfe einer Braunschen Röhre kann man schnell wechselnde Spannungen bzw. Ströme erkennbar machen. Sie ist das wesentliche Bauteil im Fernseher und auch im Oszilloskop.
- **Candela** = Candela (lateinisch für *Talg-, Wachslicht*) ist die photometrische SI-Basiseinheit der Lichtstärke. Die Helligkeit eines Flächenstrahlers gibt die Leuchtdichte an, gemessen in cd/m^2 .
- **Cholesterylbenzoat** = Ursubstanz der Flüssigkristalle. Friedrich Reinitzer (1857 bis 1927) hatte den Benzoessäureester von Cholesterin (Cholesterinbenzoat) entdeckt. Er stellte fest, dass das Cholesterinbenzoat bei 145,5 Grad Celsius schmilzt (Schmelzpunkt), aber sich bei 178,5 Grad plötzlich in eine klare Flüssigkeit (Klärpunkt) verwandelt. Bei Temperaturen über 145,5 und unter 178,5 Grad sieht der Stoff milchig trübe aus.
- **Dichroitisch** = Bestimmte Kristalle (*dichromatisch, dichroitisch*) lassen entlang bestimmter Kristallrichtungen nur Licht einer bestimmten Polarisation durch. Licht mit einer anderen Polarisation wird absorbiert.
- **DPI** (Dots per inch) = Damit wird angegeben, wie viel Punkte zum Beispiel ein Drucker zu Papier bringen kann. Je mehr, desto besser ist die Bildqualität.
- **Elektrolumineszenz** = Durch Anlegen einer Spannung an den horizontalen und vertikalen Elektroden lässt sich ein beliebiger Bildpunkt adressieren. Durch das dort entstandene elektrische Feld an den Kreuzpunkten erzeugt die Leuchtschicht sichtbares Licht.

-
- **Fliegengittereffekt** = Durch den Abstand der Pixel zueinander, wo das Licht nicht ausgestrahlt werden kann, können so genannte Fliegengittereffekte entstehen.
 - **Ikonoskop** = Das Ikonoskop (griechisch) ist eine Fernsehaufnahmeröhre, die von Vladimir K. Zworykin 1923 erfunden wurde und die eine Schicht aus mikroskopisch kleinen Photozellen enthält, die durch einen Elektronenstrahl abgetastet werden. Das Ikonoskop löste mechanische Abtastverfahren ab.
 - **kapazitive Kopplung** = Beeinflussung durch ein elektrisches (E-) Feld, z.B. Überkopplung auf parallel geführte Leiter in einem Kabel oder Kabelkanal oder parallel geführte Leiterbahnen auf einer Leiterplatte. Dieser Effekt tritt hauptsächlich bei Hochfrequenz auf.
 - **Lumen** = ANSI-Lumen ist ein Messverfahren zur Bestimmung der Helligkeit von Digitalen Projektoren, die neudeutsch auch Beamer genannt werden. ANSI ist die Abkürzung für American National Standards Institute. Zur Bestimmung der Helligkeit nach ANSI Lumen werden auf der Projektionsfläche neun Messungen vorgenommen und daraus ein Mittelwert gebildet. Dieser wird mit der Fläche des Bildes multipliziert, um die Lumenzahl zu erhalten. ($\text{Lux} = \text{Lumen} / \text{m}^2$)
 - **Millicandela** (mcd) = Einheit der Leuchtstärke. Bei gleichem Abstrahlwinkel bedeutet ein höherer Wert, dass die LED heller ist.
 - **Moiré – Muster** = Der Moiré-Effekt (franz. *moirer* = *moirieren*) macht sich bei der Überlagerung von Rastern oder Linien durch die Entstehung neuer Linien bemerkbar. Zum Beispiel tritt er auf beim Scannen von Bildern mit periodischen Strukturen (karierte Hemden, Rasterbilder), wenn das Bild digital abgetastet wird, oder auch beim Siebdruck durch Überlagerung der Siebstruktur mit Strichmustern im Bild.

- **Nipkow-Scheibe** = Mit ihrer Hilfe konnte dieses Bilder in Hell-Dunkel-Signale zerlegen und wieder zusammensetzen. Die rotierende Scheibe wandert dazu zeilenweise am Bild (bei der Zerlegung) bzw. der Projektionsfläche (bei der Zusammensetzung) vorbei. Sie ist mit spiralförmig angeordneten quadratischen Löchern versehen. Die Löcher in der Nipkow-Scheibe sind entlang konzentrischen Kreisen angebracht. Die einzelnen Löcher tasten somit von außen nach innen jeweils eine Lochbreite ab. Damit immer nur ein Loch innerhalb des interessierenden Ausschnittes (im Bild fett umrandet) ist, darf sich in einem Kreissegment jeweils nur ein Loch befinden. Mit anderen Worten, die Scheibe ist auch in so viele Kreissegmente eingeteilt, wie sie Zeilen abtasten muss. Durch diese Vorgehensweise wird das Bild sequentiell abgetastet.
- **NTSC** = National Televisions Systems Committee. NTSC bezeichnet die US-Fernsehnorm. Das NTSC-Signal ist ein Composite-Signal, das von der Fernseh- und Videoindustrie in den USA und Japan übernommen wurde. Ein NTSC-Signal hat eine Bildwiederholfrequenz von 29.97 Bilder (60 Halbbilder) pro Sekunde. Die Bildgröße beträgt 640 x 480 Pixel.
- **PAL** = Der Phase Alternation Line-Standard wurde von Telefunken entwickelt. Ein Fernsehbild besteht demnach aus zwei Halbbildern, die zusammen 625 Zeilen haben. Auflösung: 720x576 Bildpunkte bei 25 Hz Bildfrequenz.
- **Schlieren** = Nachleuchtdauer. Dabei handelt es sich um ein Zeitintervall, währenddessen eine durch den Elektronenstrahl getroffene Stelle auf der Bildröhre als Bildpunkt sichtbar bleibt. Die Nachleuchtdauer hängt unter anderem von der Zusammensetzung der jeweiligen Leuchtschicht ab. Dabei gilt: eine höhere Nachleuchtdauer führt bei gleicher Bildwiederholfrequenz zu einem geringeren Flimmern, wobei jedoch bei einer zu großen Nachleuchtdauer (bei LCD und Plasma eines der größten Probleme) Schlieren bei Bildbewegungen entstehen.

- **SECAM** = SECAM ist eine vor allem in Frankreich und Osteuropa gebräuchliche analoge Fernsehnorm für die Farbübertragung und wurde von Henri de France entwickelt und 1956 vorgestellt. Die Abkürzung SECAM steht für *Sequentiel Couleur avec Mémoire*, zu deutsch "Sequenzielle Farbe mit Speicher". SECAM verwendet zur Farbübertragung die Frequenzmodulation anstatt der bei NTSC* und PAL* vorkommenden Amplitudenmodulation. Der Vorteil der Frequenzmodulation liegt darin, daß Phasenverschiebungen das Signal, also die Farbinformation nicht verändern können. Dafür gibt es keine Möglichkeit, zwei Signale in einer Trägerfrequenz unterzubringen, also kein Pendant zur Quadraturamplitudenmodulation. Dies bedeutet, es kann pro Zeile immer nur eine Farbe übertragen werden! Deswegen werden beide Farben abwechselnd übertragen und die jeweils übertragende Farbe gespeichert und für die nächste Farbe erneut verwendet. Für die beiden Farbinformationen werden zwei unterschiedliche Trägerfrequenzen benutzt.
- **Spincoating Verfahren** = Dieses Verfahren wird in der Halbleiterindustrie zur Beschichtung von Wafern (= Wafer sind in der Halbleiterindustrie kreisrunde, wenige 100 µm dicke Scheiben, auf der elektronische Bauelemente, vor allem integrierte Schaltkreise durch verschiedene technische Verfahren hergestellt werden) mit Fotolacken eingesetzt. Hierbei wird auf dem schnell rotierenden Wafer der Fotolack zentriert aufgebracht und gleichmäßig aufgeschleudert.
- **Wehnelt – Zylinder** = Der Wehnelt – Zylinder ist eine Steuerelektrode zur Regelung der Helligkeit in Elektronenstrahlröhren. Dazu wird er in unmittelbarer Nähe zur Glühkathode angebracht. Der Wehneltzylinder wird mit einem negativen Potential gegenüber der Kathode versehen. Durch Regelung dieser Spannung verändert sich die Anzahl der Elektronen, die das Potential überwinden können, und somit die Intensität des Elektronenstrahles.

- **Zoll** = 1 Zoll entspricht 1 INCH → 2.54 CM