

Flüssigkristall-Displays

Copyright © by V. Miszalok, last update: 27-07-07

- ↓ [Kurze Geschichte der LCDs](#)
- ↓ [Prinzip der LCDs](#)
- ↓ [Nematische Zellen, Multiplexansteuerung](#)
- ↓ [Thin Film Transistor TFT](#)
- ↓ [Licht und Farbe](#)
- ↓ [Probleme](#)

Kurze Geschichte der LCDs

1888 Entdeckung der Flüssigkristalle

1963 Entdeckung, dass man die Lichtdurchlässigkeit von Flüssigkristallen elektrisch schalten kann

1967 erstes Labor-LCD

1973 Serienfertigung durch Sharp in Osaka (heute ca. 40% Weltmarktanteil).

Ein modernes Display benötigt ca. 0,3 Gramm Flüssigkristalle. Den jährlichen Weltbedarf von ca. 100 Tonnen Kristallen deckt die Firma Merck Darmstadt, die ca. 2500 Patente über LC-Mischungen hält. Chefentwickler bei Merck ist Kazuaki Tarumi (genannt "der Herr der LCs"), Träger des Deutschen Zukunftspreises 2003. Siehe www2.merck.de/pb/1798.htm

Prinzip der LCDs

1. Ein gerillter Polarisationsfilter sperrt jedes Licht, das nicht in Rillenrichtung polarisiert ist.
 2. Zwei parallele, um 90 Grad gegeneinander gedrehte gerillte Polarisationsfilter sperren jedes Licht.
 3. Füllt man den Zwischenraum zwischen den parallelen Filtern mit Cholesterin-basierten Stäbchenmolekülen, so lagern sich diese parallel zu den Filterrillen an. Im Flüssigkeitsraum in der Mitte zwischen beiden Filtern haben die Moleküle 45 Grad. Insgesamt füllen sie den Zwischenraum in Form von spontan sich bildenden "Wendeltreppen" oder "verdrehten Strickleitern". Diese Molekülanordnung ist in der Lage, die Polarisationsrichtung von Licht in kleinen Schritten um 90 (auch um 180, 270 etc.) Grad zu drehen. Das gedrehte Licht kann den Austrittsfilter verlassen. Die Transparenz ist schlecht (ca. 4-8%), aber sie ist vorhanden. Rückseitig beleuchtete Displays sind im spannungslosen Zustand hell.
 4. Legt man eine genügend hohe elektrische Spannung an, dann richten sich die Stäbchenmoleküle entlang der Feldlinien geordnet aus und verlieren damit ihre natürliche Wendeltreppenordnung und damit die Fähigkeit, Licht zu drehen. Wo solche Felder herrschen, sind LC-Displays schwarz.
- Dies ist ein guter Test für die Qualität Ihres LC-Displays: Laden Sie ein schwarzes Bild, vergrößern Sie dessen Fenster auf maximale Größe (schirmfüllend) und kontrollieren Sie, ob auch wirklich alle Pixel dunkel sind. Hoffentlich müssen Sie nicht einige helle Pixel entdecken. Ist das der Fall, dann besitzen kein LC-Display der Handelsklasse A.

Zusammenfassung: Der Flüssigkristall eines LC-Displays dient als Lichtventil, das im Normalfall (ohne äußeres Feld) geöffnet ist. Mit steigender Spannung schließt sich das Ventil.

keine Spannung	Licht kann durchfallen	weißer Bildpunkt
mittlere Spannung	Licht wird teils gesperrt, teils durchgelassen	grauer Bildpunkt
maximale Spannung	Licht wird gesperrt	schwarzer Bildpunkt

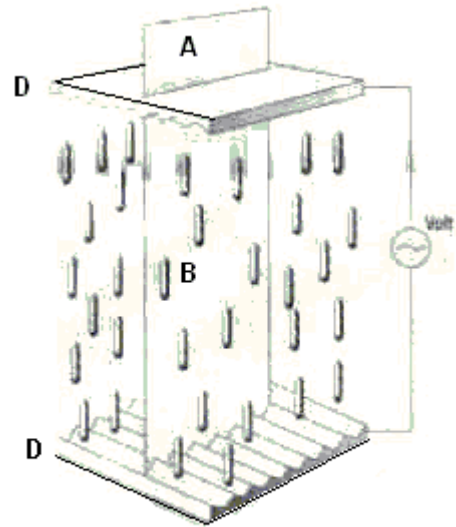
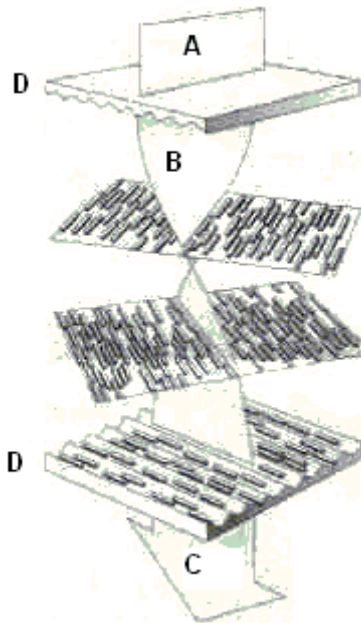
Liquid crystal as an electrically switchable light valve

Graphics from: FAZ, Article by K. Tetzner 1999

light direction up to down corresponds to the back to front direction of a display

Spontaneous condition, no external voltage applied

Condition with external voltage applied

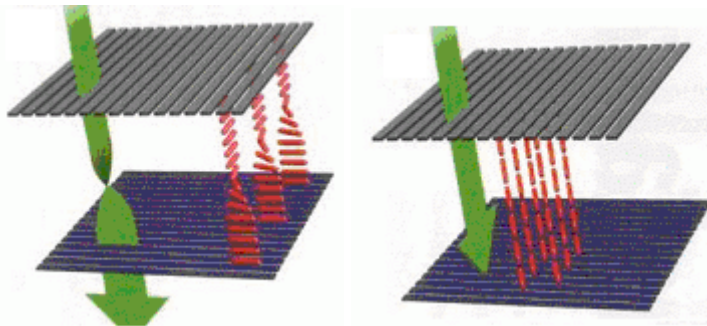


A: unpolarized light source on the rear of the display
B: 0 degrees polarized light enters the display
C: 90 degrees polarized light leaves the front of the display
D: grooves polarization plates

The elongated molecules orient themselves along the electric field losing their helical arrangement. The cell is opaque to the incident light.

Open valve

Closed Valve



Images from the article of [T. Kaltenbach](#)

Nematische Zellen, Multiplexansteuerung

Der Flüssigkeitsraum zwischen den Polarisationsfiltern ist durch ein Kunststoffgitter matrixförmig unterteilt in Spalten und Zeilen. Die rechteckigen Kompartimente nennt man "nematische Zellen".

Sie bilden die physikalischen Pixel des Displays.

Hinter jeder Spalte befindet sich ein vertikaler Draht, vor jeder Zeile ein horizontaler Draht.

An jedem Kreuzungspunkt befindet sich eine nematische Zelle mit der Möglichkeit für ein elektrisches Feld.

Die Signalzuführung geschieht durch eine **Multiplexschaltung**. Diese setzt die erste Zeile unter Spannung, anschließend alle Spalten, wo die Pixel der 1. Zeile dunkel werden sollen.

Dann fällt die Spannung der 1. Zeile auf Null und die 2. Zeile bekommt Spannung, dann wieder alle Spalten, usw. bis zur letzten Zeile.

Bei einem Refresh von T und einer Zeilenzahl von N ergibt sich eine Schaltzeit von $1/(T*N)$ [sec] pro Pixel.

Je kürzer die Schaltzeit pro Pixel umso höher muss man die Spannung wählen, um die Wendeltreppen zu zerstören. Elektrische Felder entstehen aber nicht nur an den Kreuzungsstellen der Drähte,

sondern auch entlang des gesamten Drahtverlaufes. Bei maximaler Spannung an einer Zelle werden deshalb alle Zellen in der Zeile und in der Spalte merklich dunkler. Dieser Effekt heißt Übersprechen (Cross Talk).

Um Cross Talk zu vermeiden, darf man nur niedrige Spannungen anlegen. Dieser Zwang vermindert aber den erreichbaren Lichtsperrereffekt und damit den Kontrast. Moderne monochrome LCDs bieten guten Kontrast bei geringem Übersprechen durch hoch optimiertes optisch-elektrischem Design der Zellen.

Diese Technologien heißen Super Twisted Nematic LCD-STN und Double Super Twisted Nematic LCD-DSTN. STN und DSTN können aber nur 200 bis 300 Zeilen haben, weil sonst die Schaltzeiten in einer Zeile zu kurz werden, um die Ventile richtig zu schließen.

Diese Technik genügt für kleine Displays (z.B. Autoradio, MP3-Player, Handy) aber nicht für ein höherzeitiges LC-Display eines Notebooks. Es gibt den Ausweg, mehrere kleine Displays kachelförmig so anzuordnen, dass der Eindruck eines großen Displays entsteht. Nachteil: Man sieht die Fugen.

Konsequenz: Vielzeilige LCDs sind unmöglich ohne eine grundlegende Änderung der Passive Matrix Multiplexansteuerung.

Thin Film Transistor TFT = Active Matrix

Dünn-Film-Transistor-Technik:

An jeder Kreuzungsstelle des Multiplexgitters baut man einen Feldeffekttransistor ein, der auf einen Schaltimpuls hin lokal ein elektrisches Feld erzeugt, diese beliebig lange hält bis er es auf einen weiteren Steuerimpuls hin wieder abbaut.

Die Transistoren dürfen den Lichtdurchfall nur wenig beeinträchtigen und werden deshalb auf dünne, durchsichtige Halbleiterscheiben (die Bildschirmgröße haben) geätzt = Thin Film Transistor TFT.

Man nennt LCDs mit solchen TFT-Spannungszuführungen auch Active Matrix LCDs = AMLCD, was aber keinesfalls bedeutet, dass diese AMLCDs aktiv leuchten. Sie brauchen wie alle LCDs durchfallendes Fremdlicht. Der Begriff "Active" bezieht sich hier nur auf die Spannungsversorgung der Zellen, die eben bei Farb-LCDs durch aktive TFT-Bauelemente (= großflächige Dünnschicht-Halbleiter) geschieht. Die Produktion der (mehrere hundert Quadratzentimeter großen) TFT-Halbleiterscheiben ist extrem teuer. Die Ausschussraten sind hoch.

Weltweit wichtigste Hersteller von LCDs sind die Firmen Sharp Osaka, Toshiba Tokyo, und NEC Niigata.

Licht und Farbe

LCDs leuchten nicht von selbst, sie brauchen fremdes Licht. Es gibt drei Beleuchtungs-Methoden:

1) Gutes Tageslicht reicht aus, ein LCD abzulesen. Man klebt hinter das hintere polarisierende Glas eine Spiegelfolie. Das Tageslicht muss also den Display zwei mal durchqueren: einmal von vorne nach hinten, dort wird es an der Spiegelfolie reflektiert und dann von hinten nach vorne.

Vorteile: Sonnenlicht ist kostenlos und braucht keinen Akku.

Nachteile: Keine Farbe, nur dunkel oder hell, Nachts nicht ablesbar.

Beispiel: Digitale Armbanduhr

2) Homogenes künstliches Weißlicht hinter dem LCD erzeugt man a) durch mehrere flache Leuchtstoffröhren oder b) durch weiße Leuchtdioden jeweils hinter einer Milchglasscheibe, die das Licht homogen streut.

Will man Farbe, dann muss man starkes Weißlicht erzeugen, aus dem man die 3 Grundfarben durch Filterfolien ausfiltern kann.

Bei solchen LCD-TFT-Farbdisplays wird die Zahl der Pixel verdreifacht.

Vor den Spalten befinden sich abwechselnd dünne rote, grüne und blaue Filterfolien.

Die Pixel haben Hochformat und der Betrachter fusioniert optisch drei verschiedenfarbige Pixel zu einem additiven Farbeindruck wie bei den Phosphortripeln der ShadowMaskColorCRTs.

Das bedeutet, dass ein Farb-LCD mit der Resolution $1024 \times 768 = 786.432$ eine Zellenzahl von $3 \times 1024 \times 768 = 2.359.296$ ansteuern muss, was definitiv ohne TFT-Technik unmöglich ist.

Durch die Filter sinkt die Lichtausbeute weiter ab. Nur 4-6% der von der Rückseite eingestrahlten Lichtenergie verlässt die Vorderseite des Displays. 96-94% der Energie heizt als Verlustwärme das Display auf und muss aufwendig abgeführt werden. Mit Mikrolinsen (siehe unten) kann man die Energiebilanz und den Kontrast etwas verbessern.

Vorteile: LCD leuchtet scheinbar selbst.

Nachteil: hoher Energieverbrauch, Sparbetrieb mit Dimmung notwendig.

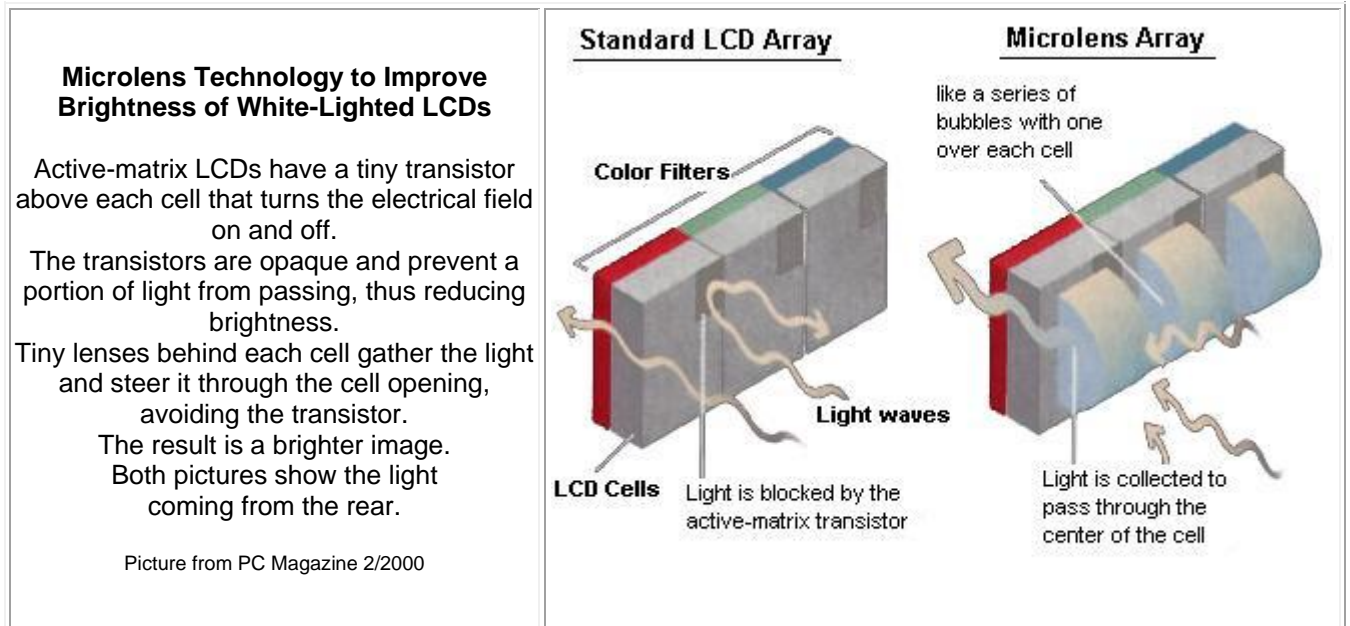
Beispiele: Handy, Notebook etc.

3) RGB-Farborgel ist eine Leuchtfläche, die eine Mischung aus roten, grünen und blauen Leuchtdioden trägt. Man erzeugt schnell hintereinander (3-fache Refresh-Frequenz) zuerst reines Rot, dann reines Grün, dann reines Blau (Field-Sequential-Technik).

Vorteile: hohe Ortsauflösung, da jedes Pixel abwechselnd alle drei Grundfarben emittiert, keine Filterfolien notwendig, viel bessere Lichtausbeute, bessere Energiebilanz, großer Farbumfang, satte Farben.

Nachteile: Flickergefahr, geht nur mit sehr flinken OCB-Flüssigkristallen, teuer.

Beispiele: High-End Notebook



Probleme

1. schlechter Kontrast: Maximaler Unterschied zwischen hell und dunkel ist 1:20, oft nur 1:5.
2. schlechte Ablesbarkeit bei seitlicher Betrachtung
3. nicht selbst leuchtend: LCDs brauchen Fremdlicht.
4. Die Energiebilanz ist schlecht (einfallende / ausfallende Lichtenergie ca. 100 : 4).
5. Trägheit: Schnellbewegte Graphische Objekte ziehen einen Schweif hinter sich z.B. Mauszeiger.
6. LCDs funktionieren nur in einem engen Temperaturbereich zwischen -5 und + 70 Grad Celsius.
Das bedeutet, dass LCDs in Autoinstrumenten, Autoradios etc. im Winter dauerbeheizt werden müssen.
7. Die Größe des Wafers begrenzt die Größe und bestimmt den Preis des Displays. Große Wafer sind teuer.

Weiterführende Literatur: www.heimo.de/jpool/articles/lcd/index.html