

# Flüssige Kristalle – von Cholesterin zum Flachbildschirm

Vor über hundert Jahren wurden Stoffe entdeckt, die oberhalb der Schmelztemperatur nicht sofort durchsichtig wurden, sondern einen wesentlich höheren Klarpunkt zeigten. Heute hat diese Phase der flüssigen Kristalle eine enorme technische Bedeutung erlangt: Liquid Crystal Displays, LCD.

Der österreichische Botaniker und Chemiker Friedrich Reinitzer experimentierte in den 1880er-Jahren mit aus Rüben extrahiertem Cholesterylbenzoat  $C_{34}H_{50}O_2$  und entdeckte eine farbenprächtige Phase des Stoffes zwischen Schmelz- und Klarpunkt (ca. 145-179 °C). Der deutsche Physiker Otto Lehmann nannte diese Phase *flüssige Kristalle*.

Um 1930 wurde entdeckt, dass sich die Transparenz flüssiger Kristalle durch elektrische Felder beeinflussen lässt. Aber erst Ende 1970 patentierten Wolfgang Helfrich und Martin Schadt von Hoffmann-LaRoche eine technisch interessante Anwendung dieses Effektes. Kurz darauf produzierte Brown Boveri & Cie in Baden Displays für elektronische Armbanduhren, die praktisch keine Leistung benötigten und selbst an der Sonne lesbar waren.

Es folgten weitere drei Jahrzehnte kontinuierlicher Entwicklungsarbeit, bis ultraflache Farb- bildschirme mit geringer Leistung, hoher Auflösung und hoher Bildfrequenz für Fernsehgeräte, Laptops und Handys zur Verfügung standen.

## Der chiral-nematische Feldeffekt

Viele Fadenmoleküle oder nematische Moleküle

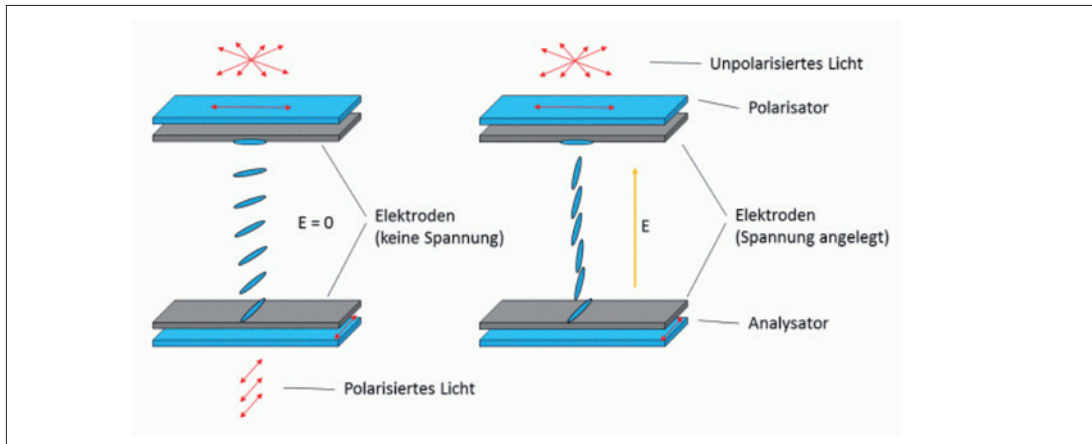


Abb. 1: Funktionsweise einer Flüssigkristall-Anzeige. Beide Bilder: Von oben her trifft gewöhnliches unpolarisiertes Licht auf die Anzeige. Unter dem Polarisator (blau) schwingt das Licht nur noch parallel zu dessen Ausrichtung (rote Doppelpfeile). Die darunterliegende Glasplatte (grau) ist auf der Innenseite mit Kratzern versehen, die parallel zur Polarisationsrichtung liegen, um die Fadenmoleküle (blaue Nadeln) analog auszurichten.

Linkes Bild: Ohne Spannung (elektrisches Feld  $E = 0$ ) entsteht durch den atomaren Aufbau der Fadenmoleküle eine spiralförmige Ordnung, die auch die Polarisation des Lichtes mitdreht. Bei geeigneter Distanz der beiden Glasplatten dreht sich die Polarisationsebene um genau 90 Grad. Kratzer auf der unteren Glasscheibe und unterer Polarisator (im Bild Analysator genannt) sind ebenfalls um 90 Grad gedreht, so dass Licht durchscheint. Durch einen Spiegel (im Bild nicht eingezeichnet) kann das Licht nach oben reflektiert werden und tritt etwas abgeschwächt wieder aus: die Anzeige erscheint hell (transparent).

Rechtes Bild: Wenn zwischen innen auf die Glasplatten aufgedampften Elektroden eine Spannung angelegt wird, entsteht ein elektrisches Feld (gelb), das die polaren Fadenmoleküle annähernd senkrecht zu den Glasplatten ausrichtet. So kann die Polarisation des Lichtes nicht mehr gedreht werden, das Licht kann den Analysator nicht mehr passieren und die Anzeige erscheint dunkel (schwarz). Bildet man die Elektroden als Masken in Form von Liniensegmenten aus, können verschiedene Zahlen oder Buchstaben dargestellt werden, wenn jedes Segment mit einem eigenen elektrischen Anschluss versehen wird.

Abb. 2: 7-Segment LCD-Display eines eingeschalteten Taschenrechners, dessen vordere Polarisatorfolie entfernt und um 90 Grad gedreht aufgelegt wurde. Im Gegensatz zu Fernsehgeräten sind die Polarisatoren in Taschenrechnern normalerweise so angebracht, dass das Tageslicht hindurchtreten kann, am rückseitigen Spiegel reflektiert wird und wieder austritt: Die Anzeige ist weiss und die aktivierten Ziffernsegmente sind schwarz. Durch Drehung des vorderen Polarisators wird Schwarz und Weiss vertauscht. Neben dem gedrehten Polarisator sind die Ziffern nicht sichtbar.



(von griech. nema = Faden) ordnen sich selbst in der flüssigen Phase parallel zueinander an, so dass eine makroskopische Ordnung entsteht, ähnlich wie in einem Kristall. Besonders interessant sind chiral-nematische Phasen, die auch cholesterische Phasen genannt werden, weil sie zuerst an Cholesterol-Derivaten beobachtet wurden.

Solche Moleküle richten sich an einer Glasfläche, in der durch sehr feine Bürsten mikroskopisch kleine Kratzer angebracht wurden, parallel zu diesen Kratzern aus. In fortschreitender Distanz senkrecht zur Glasfläche dreht sich ihre Ausrichtung kontinuierlich, so dass eine spiralförmige (chirale) Struktur entsteht.

Eine Drehung der Ausrichtung um 360 Grad ist stoffabhängig und geschieht in einer Schicht von meist wenigen Mikrometern, was rund tausend Molekülschichten entspricht. Dieser flüssig-kristalline Aggregatzustand kann mit linear polarisiertem Licht beobachtet werden, weil sich die Polarisationsrichtung des Lichtes mit der Ausrichtung der Fadenmoleküle, die wie winzige Antennen wirken, mitdreht.

Zwischen zwei parallelen Glasplatten, deren Zwischenraum mit flüssigem Kristall gefüllt wird, kann der Abstand so eingestellt werden, dass die Polarisationssebene um genau 90 Grad gedreht wird. Legt man diese Anordnung zwischen zwei Polarisatoren (Polaroidfolien), kann Licht nur hindurchgehen, wenn die Polarisatoren gekreuzt und mit den Ausrichtungen der an den Glasplatten angebrachten Kratzern parallel sind.

Da die Fadenmoleküle mit den elektromagnetischen Lichtwellen wechselwirken, erstaunt es nicht, dass sie auch auf statische elektrische Felder

reagieren. Legt man eine genügend hohe Spannung (wenige Volt reichen aus) an zwei durchsichtige elektrisch leitende Schichten, die innen auf die Glasplatten aufgedampft wurden, drehen sich die polaren Fadenmoleküle in eine zu den Glasplatten senkrechte Lage und können die Polarisationssebene des Lichtes nicht mehr drehen: Die Zelle wird auf Grund der gekreuzten Polarisatoren undurchsichtig (schwarz) (Abb. 1). Wir haben ein elektrisch schaltbares Lichtventil gefunden!

### Technische Anwendungen

Bildet man die obere der elektrisch leitenden Schichten als Masken in der Form von Symbolen oder Balken aus, die durch feine Leiterbahnen mit Kontaktbalken am Rand des Displays verbunden sind, kann die Sichtbarkeit von Zeichen elektrisch gesteuert werden. Typische Beispiele für entsprechende Geräte sind einfache schwarz-weiss Anzeigen von 7-Segment Ziffern bei elektronischen Messgeräten oder Konsumgütern (Abb. 2). Die Komplexität solcher Anzeigen wird begrenzt durch die Anzahl der notwendigen Anschlussleitungen.

Für grosse LCD-Bildschirme moderner Fernsehgeräte (768x1366 Pixel) müssen rund eine Million farbige Pixel individuell angesteuert werden, wobei jedes Pixel aus drei Teilpixeln mit Rot-, Grün- und Blaufiltern (RGB) besteht (Abb. 3). Damit der Bildschirm aktiv leuchtet, wird eine Hintergrundbeleuchtung eingebaut, die heute mit energiesparenden LEDs realisiert wird.

Damit bei allen Pixeln die gewünschte Mischfarbe und Farbintensität eingestellt und aufrecht erhalten werden kann, wird bei jedem Teilpixel ein

## 20 FORSCHUNG – PHYSIK IM ALLTAG

Dünnschicht-Transistor als Schalter und ein Kondensator als Speicher angebracht. So leuchtet jedes Pixel ununterbrochen, bis das nächste Bild aufgespielt wird. Die Elektronik am Rand des Bildschirms sorgt dafür, dass alle Pixel zeilenweise mit neuen Spannungen versorgt werden, die in einem Grafikprozessor bereitgestellt werden.

Alle Pixel in einer Zeile und alle in einer Kolonne sind untereinander verbunden. Die Dünnschicht-Transistoren sorgen dafür, dass nur dasjenige Pixel eine neue Spannung übernehmen kann, das in der aktivierten Zeile und Kolonne liegt. Um

3 Millionen Spannungswerte 60 mal pro Sekunde einzulesen, werden vom Grafikprozessor gegen 120 Spannungen parallel übertragen, woraus sich eine Taktfrequenz von gut 1,5 Megahertz ergibt.

Fritz Gassmann

Der Autor ist Physiker und arbeitete früher am Paul Scherrer Institut PSI in Villigen.

### LITERATUR

Gärtner, A. 2008. LCD-Monitore, Teil 1: Grundlagen und Technologie. *mt-Medizintechnik* 128(2): 54-66. Download <http://docplayer.org/1350667> oder pdf beim Autor verlangen.

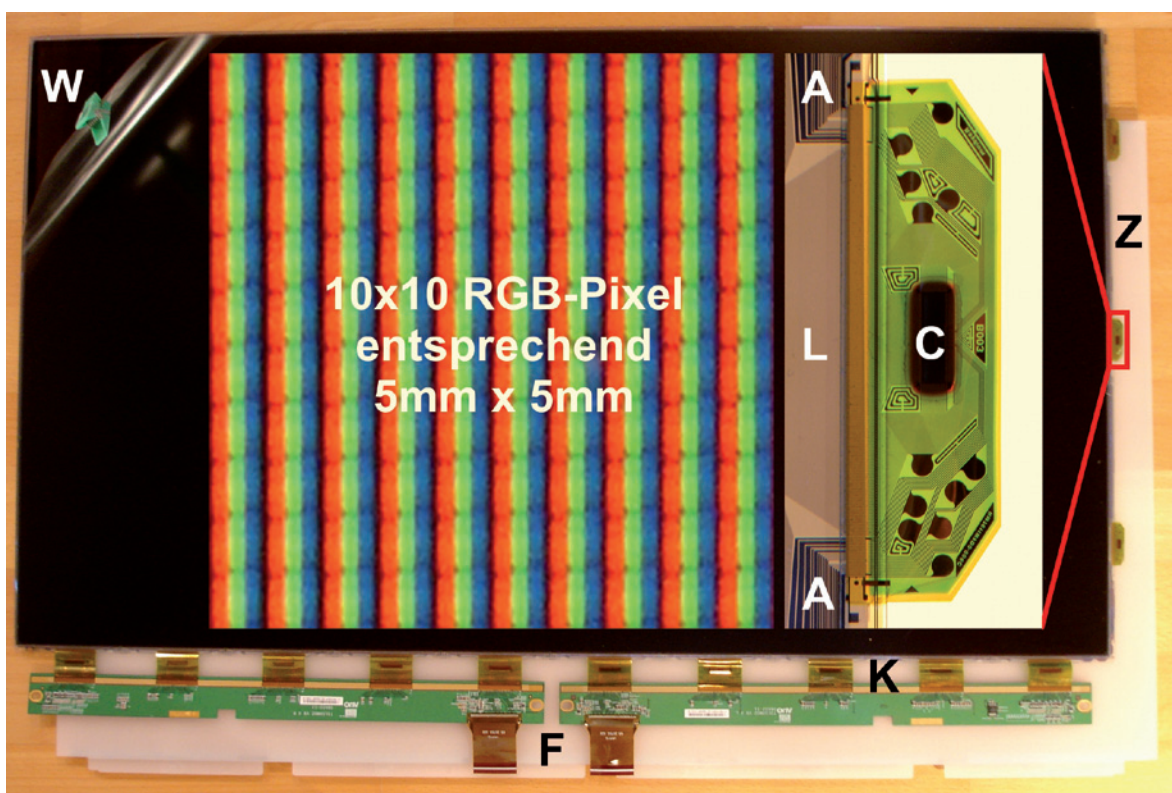


Abb. 3: Bildschirm eines High-Density (HD) Fernsehers mit 768x1366 Pixeln (39 cm x 69 cm). Der vordere Polarisator wurde zur Sichtbarmachung etwas abgezogen (grüne Wäscheklammer bei W). Ganz unten sind zwei braune Flachbandkabel (F) mit je 60 Adern sichtbar, über die Spannungswerte geliefert werden, um die Helligkeit von gegen 40 nebeneinanderliegenden Pixeln gleichzeitig einzustellen. Die darüber liegende grüne Leiterplatte generiert die korrekten Zeilen- und Kolonnenadressen für diese Pixelreihe. Auf 10 braunen, flexiblen Bändern befinden sich 10 Ansteuerchips (K) für die Kolonnen und die rechts herausragenden 3 Ansteuerchips (Z) aktivieren die zu beschreibende Zeile. Der Mittlere Zeilenchip (rot umrahmt) ist vergrößert abgebildet (C): Man erkennt die 10 Zuleitungen für die Adressbits (A), die oben im eingesetzten Bild zum dritten Zeilenchip weiterführen. In der bräunlichen Trapezfläche (L) befinden sich 256 Verbindungen zu den Zeilen, die in dieser Vergrößerung nicht aufgelöst werden können. In der Bildmitte sind 100 Pixel mit Kantenlängen von je 0,5 Millimetern stark vergrößert wiedergegeben, die nach vollständiger Entfernung der beiden Polarisatoren fotografiert wurden. Die unter dem Bildschirm liegende weiße Plastikplatte dient als Diffusor, um das Licht der Hintergrundbeleuchtung gleichmässig auf den Bildschirm zu verteilen.