

# Der Flüssigkristallbildschirm

Kurztext im Rahmen von „Quanten auf Reisen“

Physikdidaktik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg



Weitere Kurztexte hier: <https://physikdidaktik.uni-freiburg.de/kurztexte/>

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Forschung, Technologie  
und Raumfahrt

universität freiburg



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Der Flüssigkristallbildschirm</b>	<b>3</b>
1.1	Funktionsweise von Bildschirmen . . . . .	3
1.2	Flüssigkristalle . . . . .	4
1.3	Flüssigkristallbildschirm . . . . .	5
1.3.1	Flüssigkristalle im Bildschirm . . . . .	5
1.3.2	Polarisationsfilterfolie . . . . .	7
1.3.3	Geheimer Bildschirm . . . . .	7
1.3.4	Weiß oder schwarz . . . . .	8

# Kapitel 1

## Der Flüssigkristallbildschirm

*Autor: Anja Kuhnhold, Version vom: 08.12.2025*

1

Digitale Anzeigen und Bildschirme sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken: Fernseher, Laptops, PC-Monitore, Smartphones, Werbetafeln, etc. wären ohne sie nicht möglich. In diesem Kurzttext soll insbesondere auf den Flüssigkristallbildschirm eingegangen werden, der einer der weitverbreitetsten Varianten von Bildschirmen ist und dessen Funktionsweise auf der Nutzung von polarisiertem Licht beruht. Damit kann er zur Veranschaulichung des Phänomens der Polarisation von Licht und dessen Anwendungsmöglichkeiten eingesetzt werden.

### 1.1 Funktionsweise von Bildschirmen

Ein Bildschirm besteht aus einzelnen Bildelementen, den Pixeln. Diese, bzw. ihre Untereinheiten (Subpixel), werden so gesteuert, dass durch additive Mischung der Grundfarben Rot, Grün und Blau (RGB) ein beliebiges Bild angezeigt werden kann. Meistens gibt es eine Hintergrundbeleuchtung, die innerhalb der Pixel manipuliert wird. Es gibt auch Varianten, bei denen direkt RGB-LEDs als Subpixel eingesetzt werden; diese werden heutzutage auch als organische LEDs angeboten (OLED). Bei Flüssigkristallbildschirmen (LCD von *liquid crystal display*) geschieht die Steuerung der Farben durch die namensgebenden Flüssigkristalle und deren Wirkung auf polarisiertes Licht (siehe unten).

Zum Vergleich: Bei den früheren Röhrenmonitoren (Kathodenstrahlröhren) leuchteten nicht alle Pixel gleichzeitig, sondern ein Elektronenstrahl fuhr den kompletten Monitor immer und immer wieder ab und erzeugte dadurch das Bild. Die Innenseite des Bildschirms war mit einer phosphoreszierenden Schicht überzogen, die durch die Elektronen zum Leuchten gebracht wurde. Für Farbfernsehen wurden drei Elektronenstrahlen verwendet (jeweils einer für Rot, Grün und Blau), die mittels Lochblenden nur die entsprechenden Stellen mit ihrer Grundfarbe am Bildschirm trafen.

---

<sup>1</sup>Bei der Überarbeitung und Gliederung dieses Textes, sowie der Erstellung von Abbildungen wurde ChatGPT zu Rate gezogen (Zugang: HAWKI, <https://hawki.uni-freiburg.de/interface>, ChatGPT-4.1 (Provider: Firma OpenAI), bzw. Open WebUI, <https://openwebui.uni-freiburg.de/> OpenAI: ChatGPT-5/5.2).

## 1.2 Flüssigkristalle

Als Flüssigkristalle bezeichnet man Materialien, die Eigenschaften von Flüssigkeiten und Kristallen vereinen können; es gibt Phasen zwischen diesen beiden Extremen, die spezielle Eigenschaften zeigen. Entdeckt wurden Flüssigkristalle im 19. Jh. aufgrund ihrer speziellen optischen Eigenschaften und des Auftretens mehrerer Phasenübergänge. Damit es solche flüssigkristallinen Phasen geben kann, ist eine gewisse Anisotropie der Moleküle notwendig. Die meisten (betrachteten) Flüssigkristalle bestehen aus stäbchen- oder scheibchenförmigen Teilchen. Durch die Anisotropie gibt es Zustände, bei denen sich die Schwerpunkte der Teilchen wie eine Flüssigkeit verhalten, die Orientierung der Teilchen jedoch eine weitreichendere Korrelation aufweist (sog. nematische Phase); d.h., es gibt eine Ausrichtung der Achsen in eine gemeinsame Richtung. In einer weiteren Phase ordnen sich die Schwerpunkte der Teilchen in Schichten an, sodass in einer Raumrichtung eine periodische Struktur entsteht (sog. smektische Phase); in den anderen Richtungen bleibt das Material flüssig. Eine vereinfachte Darstellung der genannten Phasen zeigt Abbildung 1.1.

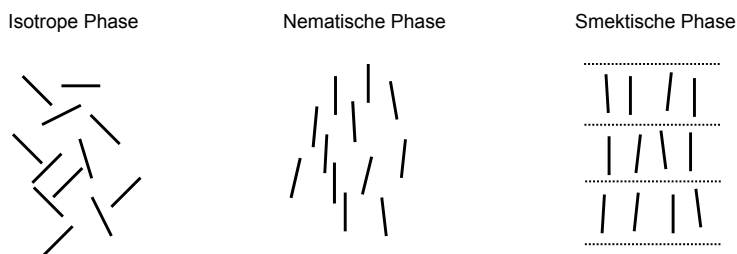


Abbildung 1.1: Vereinfachte zweidimensionale Darstellung der isotropen, nematischen und smektischen Phase eines Flüssigkristalls bestehend aus stäbchenförmigen Teilchen. In der dritten Dimension (aus der Zeichenebene heraus) ändert sich bei diesen drei Gleichgewichtsphasen nichts. Die Modulation in drei Dimensionen ist allerdings für die Anwendung in LCDs wichtig.

Es gibt noch weitere Kategorien und Unterkategorien flüssigkristalliner Phasen, die jedoch für die Erklärung des LCDs nicht relevant sind. Wichtig ist jedoch, dass die Phasen, bei denen die Moleküle ausgerichtet sind, doppelbrechend sind; d.h., die Wechselwirkung von Licht und Flüssigkristall hängt von der relativen Orientierung der Polarisationsachse und der mittleren Ausrichtung der Moleküle ab. Die Polarisation des Lichts wird beeinflusst, da der Brechungsindex von der Schwingungsrichtung des elektrischen Feldes abhängt, somit ändert sich die Phasenbeziehung von zwei Teilstrahlen mit orthogonaler Polarisationsrichtung. Aus linear polarisiertem Licht wird im Allgemeinen beim Durchlaufen eines doppelbrechenden Mediums elliptisch polarisiertes Licht. Wie diese Eigenschaft der nematischen Phase dafür sorgt, dass man aus Flüssigkristallen einen Bildschirm bauen kann, wird im nächsten Abschnitt erläutert.

## 1.3 Flüssigkristallbildschirm

### 1.3.1 Flüssigkristalle im Bildschirm

Die Anisotropie der Moleküle eines Flüssigkristalls bestimmt wesentlich deren Wechselwirkung mit Licht (also elektromagnetischen Wellen). Insbesondere kann die Polarisationsrichtung von Licht verändert werden. Im Bildschirm wird das genutzt, um die Intensität des Lichts der Subpixel zu steuern. Dazu werden die Moleküle der Flüssigkristalle in eine verdrehte nematische Phase gebracht, indem die zwei Oberflächen, zwischen denen der Flüssigkristall eingebettet ist, Vorzugsrichtungen vorgeben, die senkrecht zueinander sind. Die Moleküle, die sich direkt an einer Oberfläche befinden, richten sich entsprechend der Vorzugsrichtung aus. Dies wird zum Beispiel durch kleine Furchen auf der Oberfläche erreicht, die durch Bürsten des Materials erzeugt werden. Die Moleküle im Zwischenraum passen ihre Orientierung an die beiden Randbedingungen an und zeigen dadurch eine kontinuierliche Drehung ihrer Achsen. Dies bezeichnet man als Schadt-Helfrich-Zelle, nematische Drehzelle, oder TN-Zelle (twisted nematic)[2]. In dieser Konfiguration bewirken die Flüssigkristalle eine zirkulare Doppelbrechung, d.h., links- und rechts-zirkular polarisiertes Licht durchläuft den Kristall mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Linear polarisiertes Licht kann als Überlagerung von links- und rechts-zirkular polarisiertem Licht dargestellt werden. Trifft linear polarisiertes Licht der ersten Vorzugsrichtung auf den Flüssigkristall, wird dieses kontinuierlich mitgedreht, da die zirkular polarisierten Komponenten unterschiedlich schnell durch den Kristall propagieren. An jedem Ort überlagern sich die Komponenten wieder zu linear polarisiertem Licht, dessen Richtung jedoch gegenüber der des einfallenden Lichts gedreht ist. Hinter der Flüssigkristallschicht hat das Licht die Orientierung der zweiten Vorzugsrichtung (90°-Drehung). Dieses Licht trifft dann auf eine Polarisationsfilterfolie mit derselben Orientierung, sodass das Licht die Folie passieren kann, siehe linke Abbildung in 1.2.

Um nun verschiedene Farben erzeugen zu können, muss die Intensität des durchgelassenen Lichts variiert werden. Dies geschieht, indem die Flüssigkristallmoleküle in eine andere Richtung gedreht werden und dadurch die Polarisationsrichtung des Lichts nicht komplett um 90° gedreht wird. Durch den Polarisationsfilter kommt dann entsprechend weniger Licht, siehe rechte Abbildung in 1.2. Der Transmissionsgrad ist  $T = I/I_{\text{total}} = \cos^2(\Delta\alpha)$ , wobei  $\Delta\alpha$  der Winkel zwischen der Polarisationsrichtung des austretenden Lichts und der Achse des Polarisationsfilters ist.

Jedes Pixel enthält drei Subpixel für die Farben Rot, Grün und Blau, wobei die Farben durch entsprechende Farbfolien erzeugt werden (das eingehende Licht ist für alle Subpixel gleich). Damit steuert man den RGB-Farbtönen jedes Pixels. Die Gesamthelligkeit des Bildschirms wird durch die Hintergrundbeleuchtung geregelt. Diese wird meistens durch LEDs erzeugt und mittels Diffusoren homogen auf die gesamte Fläche verteilt. Die Hintergrundbeleuchtung stellt den Hauptenergieverbraucher eines LCDs dar.

Die Drehung der Moleküle aus ihrer Gleichgewichtslage (verdrehte nematische Phase) geschieht durch elektrische Felder. Es eignen sich daher nur Flüssigkristalle mit nicht-verschwindendem Dipolmoment. Die Moleküle wollen sich entlang des Feldes ausrichten

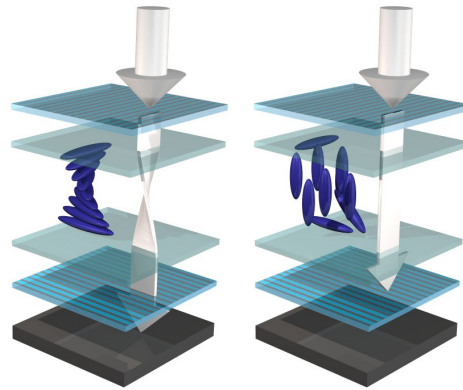


Abbildung 1.2: Schematische Darstellung des Aufbaus einer Zelle eines LCDs. Links: ohne angelegtes elektrisches Feld, rechts: mit angelegtem Feld. Unpolarisiertes Licht trifft zuerst auf einen Polarisationsfilter. Das polarisierte Licht durchquert dann die Flüssigkristallschicht. Befinden sich die Moleküle in der helikalen Anordnung (links), wird die Polarisation des Lichts um  $90^\circ$  gedreht; das Licht kann den zweiten Filter passieren. Mit angelegtem Feld richten sich die Moleküle entlang des Feldes aus (rechts), sodass das Licht nicht (genug) gedreht wird und den zweiten Filter nicht (oder nur teilweise) passieren kann. Grafiken von Kebes, eigene Arbeit, [CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4170835](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4170835), <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4170839>.

( $V = -\vec{p} \cdot \vec{E}$ ); das Feld wird daher senkrecht zu den Oberflächen, die die Vorzugsrichtungen vorgeben, angelegt.

Nachteile des LCDs: Die Umorientierung der Moleküle erfolgt nicht instantan, was zu einer Limitierung der Schaltgeschwindigkeit führt. Die Umschaltzeit hängt außerdem von der Viskosität und der Feldstärke des angelegten Feldes ab. Dies führt insbesondere zu einer Bewegungsunschärfe bei der Wiedergabe von dynamischen Szenen. Durch eine unvollständige Ausrichtung der Moleküle und durch Streuprozesse an den verschiedenen Elementen kann bei LCDs kein perfektes Schwarz erreicht werden. Die korrekte RGB-Farbe kann mit dem beschriebenen (einfachen) Aufbau offensichtlich nur bei senkrechter Ansicht erzeugt werden. Betrachten man den Bildschirm unter einem anderen Winkel, kann man Farb- und Kontrastveränderungen wahrnehmen.

Bei der Wahl des Flüssigkristalls ist neben der Manipulierbarkeit durch elektrische Felder auch zu beachten, dass die nematische Phase (in der die Moleküle parallel ausgerichtet sind bzw. sich zwischen den Oberflächen senkrecht zur Verbindungsachse drehen) bei der Betriebstemperatur des Monitors stabil ist, d.h. der Übergang zur sogenannten isotropen Phase (in der die Ausrichtung gleichverteilt ist) erst bei hohen Temperaturen stattfindet. Im Allgemeinen können LCDs aufgrund des Phasenverhaltens der Flüssigkristalle eine Temperaturabhängigkeit zeigen, die die Farbdarstellung beeinflusst.

### 1.3.2 Polarisationsfilterfolie

Die Polarisationsfilterfolien bestehen meistens aus gestreckten und dadurch in einer bestimmten Richtung ausgerichteten langen Molekülen (z.B. Polyvinylalkohol). Der Anteil des Lichts, der in der Richtung der Molekülachse schwingt, erzeugt Schwingungen von beweglichen Ladungen und wird somit absorbiert. Der übrige Anteil kann den Filter passieren. Da nicht alle Moleküle des Filters perfekt ausgerichtet sein können, absorbiert ein Filter auch dann etwas Licht, wenn die Polarisationsrichtung genau der Filterachse entspricht. Siehe dazu auch den Kurztext zu Polarisationsfiltern und Strahlteilern.

### 1.3.3 Geheimer Bildschirm

Die beschriebenen Bildschirme lassen sich leicht in „geheime“ Bildschirme verwandeln. Wenn man die vordere Polarisationsfilterfolie entfernt, funktioniert die Steuerung der Lichtintensität der Subpixel nicht mehr: Das gesamte Licht der Hintergrundbeleuchtung passiert ungehindert die Flüssigkristallschicht und gelangt nach außen. Dadurch erscheinen alle Pixel weiß, und das eigentliche Bild wird unsichtbar. Der Besitzer weiß natürlich, was zu tun ist, um das eigentliche Bild zu sehen: Er sieht durch einen Polarisationsfilter mit der richtigen Orientierung (z.B. integriert in eine Brille), siehe Foto in Abbildung 1.3. Dreht er seinen Filter aus Versehen um  $90^\circ$ , sieht er das Inverse des eigentlichen Bildes, denn dann ist die Intensität der Subpixel  $\propto \sin^2(\Delta\alpha)$  also  $\propto (1 - \cos^2(\Delta\alpha))$ . Bemerkung: Aufgrund der doppelbrechenden Eigenschaft des Flüssigkristalls, kann man das Bild erahnen, wenn man schräg auf den Bildschirm schaut; aus einer Richtung sieht man das originale Bild und aus der gegenüberliegenden das invertierte.



Abbildung 1.3: Entfernt man die vordere Polarisationsfilterfolie eines Flüssigkristallbildschirms erscheint nur noch ein weißes Bild, da die Lichtintensität der RGB-Subpixel nicht mehr durch Herausfiltern gesteuert wird. Erst wenn man durch einen (externen) Polarisationsfilter sieht, zeigt sich das eigentliche Bild.

### 1.3.4 Weiß oder schwarz

Es gibt auch die umgekehrte Technik, bei der ohne angelegtes elektrisches Feld kein Licht durchgelassen wird und erst durch das Feld die Moleküle und damit die Polarisationsrichtung so gedreht werden, dass Licht durch den zweiten Polarisationsfilter treten kann. In diesem Fall haben nämlich beide Polarisationsfilter dieselbe Ausrichtung, sodass ohne elektrisches Feld das Licht, was durch den Flüssigkristall um  $90^\circ$  gedreht wird, den zweiten Filter nicht passieren kann. Diese Betriebsweise wird als „normally black“ (im Ruhezustand schwarz) bezeichnet (im Gegensatz zu „normally white“ auf das sich dir vorangegangene Erklärung bezieht).

## Literaturempfehlung

- M. Born, E. Wolf: Principles of Optics. Cambridge University Press.
- E. Hecht: Optics. Addison-Wesley.
- B.E.A Saleh, M.C. Teich: Fundamentals of Photonics. Wiley.
- P.G. de Gennes, J. Prost: The Physics of Liquid Crystals. Oxford University Press.
- D.-K. Yang, S.-T. Wu: Fundamentals of Liquid Crystal Devices, Wiley.

# Literaturverzeichnis

- [1] Reinitzer, F. *Zur Geschichte der flüssigen Kristalle*. Annalen der Physik, 332(11), 213-224 (1907).
- [2] Schadt, M. & Helfrich, W. *Voltage-dependent optical activity of a twisted nematic liquid crystal*. Applied Physics Letters, 18, 127-128 (1971).