

## Flüssigkristallanzeigen – Ein Thema des Physikunterrichts?

Carsten Rohe, Marcus Nientiedt und H. Joachim Schlichting

Institut für Didaktik der Physik, Universität Münster

### Kurzfassung

Flüssigkristallanzeigen (LC-Displays) sind in unserer Lebenswelt allgegenwärtig. Man denke nur an Laptops, Digitaluhren und Taschenrechner. Im Sinne eines einfachen physikalischen Zugangs mit Mitteln der Schulphysik wird der Aufbau und die Funktionsweise einer LCD-Zelle unter Betrachtung der physikalischen Eigenschaften von Flüssigkristallen modellhaft beschrieben. Auf diese Weise lassen sich die wesentlichen Eigenschaften erklären, die im täglichen Umgang mit einem LC-Display beobachtbar sind. Dazu zählen ihre geringe Bautiefe und der geringe Stromverbrauch, ebenso wie die winkelabhängige Helligkeit, die Berührungsempfindlichkeit und die Anzeigetragheit bei tiefen Temperaturen.

### 1. Einleitung

Flüssigkristallanzeigen nehmen im Alltag einen immer breiteren Raum ein. Man findet sie in Uhren, Handys, bei digitalen Messinstrumenten oder auch in Form sogenannter Flachbildschirme als Ersatz für herkömmliche Röhrenmonitore.

Grundlage dieser Anzeigen sind Flüssigkristalle, die trotz ihrer Fluidität typische Eigenschaften eines Kristalls aufweisen. So ist in einer Ausbildung der flüssigen Phase Doppelbrechung zu beobachten. Ein Verhalten, das bis zur Entdeckung der Flüssigkristalle im Jahre 1888 durch den Biologen Reinitzer unbekannt war.

Mittlerweile sind flüssigkristalline Verbindungen durch ihre Verwendung in Anzeigeeinheiten alltäglich. Sie sind ein typisches Beispiel physikalischer Technik, die in unserem Leben fast unbemerkt einen festen Platz eingenommen hat. Die physikalischen Grundlagen einer einfachen Flüssigkristallanzeige, wie man sie schon seit über 20 Jahren in Taschenrechnern findet, sind jedoch kaum jemandem bekannt.

Ähnlich verhält es sich mit anderen technischen Entwicklungen der letzten Jahrzehnte. Besonderes im Bereich der Informationstechnik finden sich in Hülle und Fülle Elemente, wie z.B. CD-Player, Modem oder Laser- und Tintenstrahldrucker, deren Funktionsweise ebenfalls kaum bekannt ist. Dieser Zustand ändert allerdings nichts an unserer Erwartungshaltung, dass derlei Geräte stabil und lange zu funktionieren haben.

Im Vergleich zu manch neueren Entwicklungen sind Flüssigkristallanzeigen mit der ersten Realisierung aus dem Jahr 1968 relativ alt.

Im Sinne eines einfachen physikalischen Zugangs mit Mitteln der Schulphysik soll der Aufbau und die

Funktionsweise einer Flüssigkristallanzeige erläutert werden. Die elektro-optischen Eigenschaften spielen hierbei eine besondere Rolle. Abbildung 1 zeigt stark schematisch den Aufbau einer Flüssigkristallzelle. **Insbesondere die auf der optischen Anisotropie beruhende Möglichkeit, die Polarisations Ebene des Lichtes zu drehen, ist der entscheidende physikalische Mechanismus der Anzeige.**

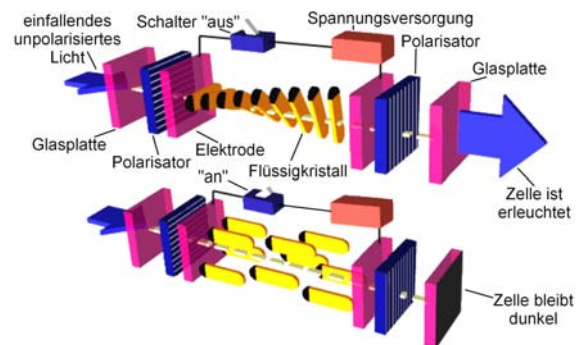


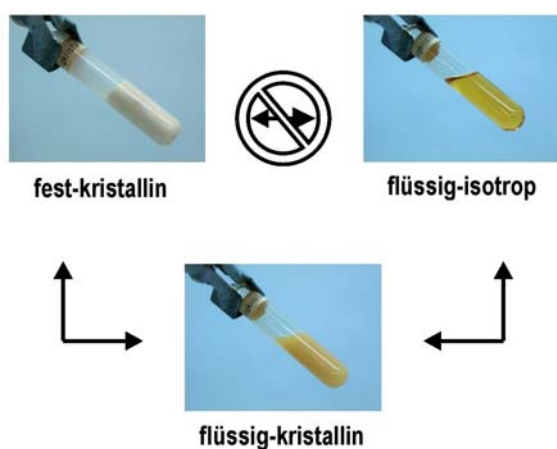
Abbildung 1: Schematischer Aufbau einer einfachen Flüssigkristallzelle

### 2. Physikalische Eigenschaften von Flüssigkristallen

Flüssigkristalle sind „merkwürdige“ Substanzen, die beim Schmelzen nicht, wie man klassisch erwarten dürfte, vom fest-anisotropen in den flüssig-isotropen Zustand übergehen, sondern zunächst eine anisotrope flüssige Mesophase ausbilden, die sogenannte flüssigkristalline Phase. So birgt der Begriff *Flüssigkristall* eine nicht zu unterschätzende Hürde im Verständnis des physikalischen Verhaltens. Eine Flüssigkeit im traditionellen Verständnis hat keine feste, gitterartige Anordnung in ihrer atomaren

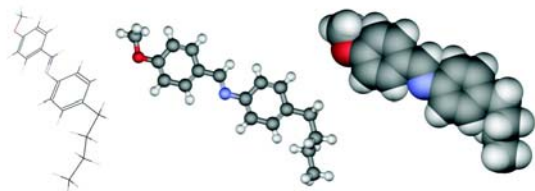
Struktur. Um die Besonderheit der flüssigkristallinen Phase zu verdeutlichen, spricht man manchmal sogar von einem 4. Aggregatzustand<sup>1</sup> neben den klassischen Phasen fest, flüssig und gasförmig.

Die Ausbildung der flüssigkristallinen Phase lässt sich bei einem Teil der relevanten Verbindungen auch bei Raumtemperaturen gut erkennen. Als Lehrmittel findet sich unseres Wissens ausschließlich die Substanz 4-Methoxybenzyliden-4'-butylanilin, kurz MBBA. Hier bildet sich die flüssigkristalline Phase im Temperaturbereich von 20° C bis 47° C aus. Die Substanz ist im Chemikalienfachhandel frei erhältlich, bereits in Glaskolben eingeschmolzene Proben werden u.a. von Cornelsen-Experimenta<sup>2</sup> angeboten. Abbildung 2 zeigt diese MBBA-Proben in allen drei zu diskutierenden Phasen.



**Abbildung 2:** Verschiedene Phasen von MBBA-Proben, die flüssigkristalline Phase unten im Bild nimmt zwischen den klassischen Phasen eine sog. Mesophase ein.

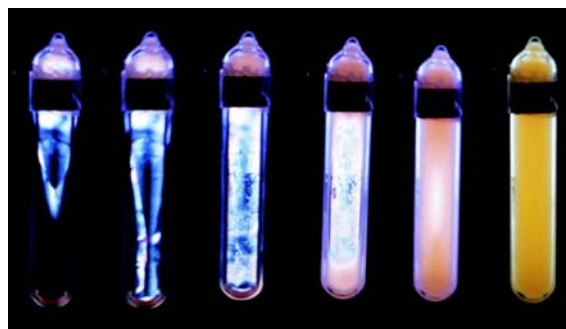
MBBA fällt durch eine sehr längliche Molekülstruktur auf. Abbildung 3 zeigt verschiedene Spielarten der Molekülstrukturdarstellung, erzielt mit aktuellen Visualisierungsprogrammen.



**Abbildung 3:** Der molekulare Aufbau eines typischen Flüssigkristalls: MBBA in verschiedenen Darstellungen

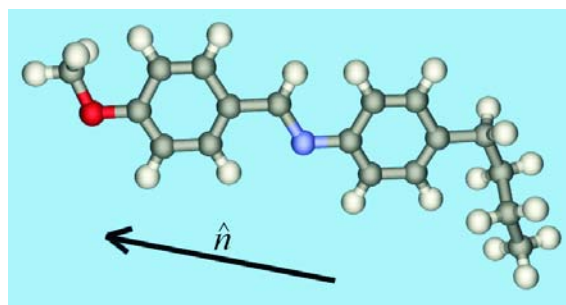
Das optische Verhalten von MBBA lässt sich mit gekreuzten Polarisatoren gut beobachten, Bringt

man eine Probe im flüssig-kristallinen Zustand in solch einen Polarisationskäfig, bleibt das Gesichtsfeld zunächst dunkel. Kühlt man die Probe aber langsam ab, so geht sie in die flüssig-kristalline Phase über und wird doppelbrechend (Abb. 4).



**Abbildung 4:** Doppelbrechendes Verhalten von MBBA, sichtbar gemacht in einem Polarisationskäfig. Beim Übergang aus der flüssig-isotropen in die flüssig-kristalline Phase (von links nach rechts) erhellt sich mit abnehmender Temperatur langsam die Probe. Der Flüssigkristall wird doppelbrechend.

Doppelbrechendes Verhalten ist normalerweise eine Folge der molekularen Anordnung in einem festen Kristallgitter. In flüssigkristallinen Phasen muss es also eine untypische Anordnung der Moleküle geben, die für das doppelbrechende Verhalten verantwortlich ist. Beim Schmelzvorgang zeigt sich physikalisch besonderes: Zwar geht die **Positionsf**ernordnung (wie bei anderen Stoffen auch) verloren, es bleibt aber eine **Orientierungsf**ernordnung erhalten. Die Moleküle sind nicht so frei beweglich, wie bei einer „normalen“ isotropen Flüssigkeit.



**Abbildung 5:** Ausrichtung eines MBBA-Moleküls, mathematisch beschreibbar durch ein Vektornormal (Direktor)

Dieses Verhalten muss eine Folge der Molekülstruktur sein. Abb. 5 zeigt detailliert ein MBBA-Molekül, bestehend aus zwei Benzolringen, die durch ein Kohlenstoff und ein doppelgebundenes Stickstoffatom (blau) miteinander verbunden sind. An einem Benzolring befindet sich eine Alkylgruppe (C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>). Der andere Benzolring hat ein OCH<sub>3</sub>-Gruppe substituiert (Sauerstoff rot). Durch diese Bindungsverhält-

<sup>1</sup> Hier nicht i.S. von Plasma zu verstehen.

<sup>2</sup> www.corex.de

nisse bekommt das Molekül eine ausgesprochen starre Struktur. Die Benzolringe liegen aufgrund der Stickstoffdoppelbindung fest in einer Ebene, der Alkylrest längt das Molekül weiter. Die Elektronen der Benzolringe sind beweglich und delokalisiert, es kommt zu wechselnden Bindungsverhältnissen zwischen Einfach- und Doppelbindungen. Zudem wirkt die  $C_4H_9$ -Gruppe als Puffer: die Elektronen sind leicht zu verschieben, indem sich die Wasserstoffatome den C-Atomen annähern. Resultat ist eine Anisotropie der Dielektrizitätszahl und der magnetischen Suszeptibilität durch das Ausbilden von Ringströmen an den Benzolringen. Ein MBBA-Molekül ist mit ca. 2,5 nm fünfmal so lang wie breit. In vielen schematischen Abbildungen zeichnet man deshalb die Moleküle mit gewisser Berechtigung als Stäbchen oder Striche (s. Abb. 1, 6)



**Abbildung 6:** Schematische Darstellung der molekularen Orientierungsfernordnung mit Vorzugsrichtung in der flüssig-kristallinen (nematischen) Phase.

Bisher wurde immer von *der* flüssigkristallinen Phase gesprochen. Je nach Art der Ordnungsstruktur unterscheidet man verschiedene Arten von Mesophasen. Im Hinblick auf Schulrelevanz haben wir auf die einfachste flüssigkristalline, die nematische Phase beschränkt.



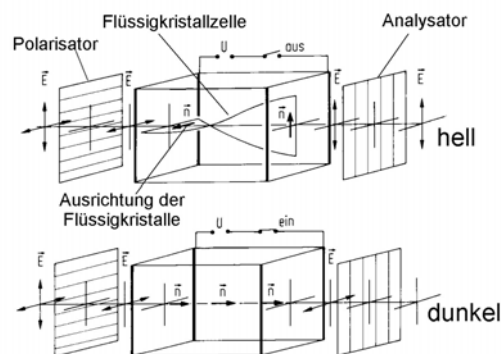
**Abbildung 7:** Flüssigkristallprobe MBBA flüssig-isotrop (oben) und milchig-trüb nematisch (unten)

Sie unterscheidet sich von der „normalen“ flüssig-isotropen Phase durch eine bevorzugte Parallelorientierung der Moleküllängsachsen (Abb. 6). Eine bevorzugte Positionsfernordnung ist in dieser Phase nicht zu beobachten. Besonderes charakteristisch ist

die auf Doppelbrechung beruhende Lichtstreuung. Die Probe erscheint trüb (Abb. 7)

### 3. Anwendung: Flüssigkristallanzeige (LCD)

Nachdem 1968 die erste Anzeige von amerikanischen Wissenschaftlern realisiert werden konnte, begann ein exponentiell wachsendes Interesse an dieser neuen Technologie. Bereits 1970 produzierte die Firma Optel Digital-Segment-Anzeigen für Uhren. Ab 1977 setzten sich LC-Displays gegenüber den LED-Anzeigen vor allem in Uhren und Taschenrechnern durch, später folgten dann Bildschirmlösungen. Vereinfacht gesagt, sind beide Spielarten: Segmentanzeige und TFT-Bildschirm letztlich aufgebaut aus einer entsprechenden Anzahl von sogenannten Schadt-Helfrich-Zellen. In jeder Zelle kommt es zu einer Wechselwirkung von linear polarisiertem Licht mit einem nematischen Flüssigkristall. Der Kristall befindet sich zwischen zwei Glasplättchen, die so vorbehandelt sind, dass sich die Orientierung (Direktor  $n$ ) der Moleküle von der einen auf die andere Seite um  $90^\circ$  verdreht (Abb. 8 oben). Fällt linear polarisiertes Licht so ein, dass die Schwingungsrichtung mit der des Direktor übereinstimmt, wird auch die Polarisationsebene um  $90^\circ$  gedreht. Das Licht folgt also in seiner Schwingungsebene der Verdrehung der Moleküle und kann den nachgeschalteten gekreuzten Polarisator (Analytator) passieren: die Zelle erscheint hell<sup>3</sup>.

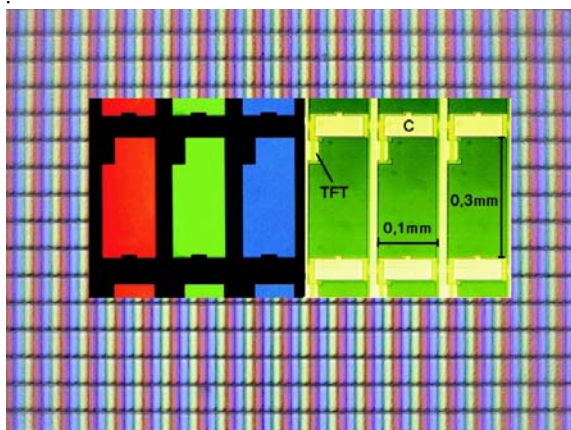


**Abbildung 8:** Prinzip einer einfachen Schadt-Helfrich-Zelle [1] mit (unten) und ohne (oben) angelegter Spannung U

Legt man nun eine Spannung an die Zelle an, so richtet sich der Flüssigkristall neu aus. Das Licht wird letztlich nicht mehr in seiner Polarisationsebene gedreht, die Zelle bleibt dunkel (Abb. 8 unten). Die elektrische Ansteuerung jeder einzelnen Zelle

<sup>3</sup> In der Fachliteratur findet sich für die verdrehte Molekülanordnung der Ausdruck TN-Zelle für *twisted nematic*, die Wechselwirkung der Molekülausrichtung zur Schwingungsebene des Licht bezeichnet man als *waveguiding*.

erfolgt bei modernen Anzeigen über sehr kleine, unauffällige Transistoren, sie geben den Bildschirmen ihren Namen TFT = *thin film transistor*. Ein z.Zt. handelsüblicher Flachbildschirm<sup>4</sup> hat entsprechend der Anzahl seiner Bildpunkte und unter Berücksichtigung der Farbmischung rund 2,5 Millionen Transistoren, die wir mit bloßem Auge nicht mal sehen! Abb. 9 zeigt vergrößert einen Bildpunkt bestehend aus drei rechteckigen ca. 0,1 • 0,3 mm großen Flüssigkristallzellen.



**Abbildung 9:** Im Vordergrund: Ein einzelner Bildpunkt eines modernen Flachbildschirms. Der für die elektrische Ansteuerung zuständige Transistor TFT befindet sich links oben an jeder Zelle ([2] und IDP, Münster).

#### 4. Beobachtbare Eigenschaften von Flüssigkristallanzeigen

##### *Die flache Bauweise (Abb. 10)*

Dieser große Vorteil von Flüssigkristallanzeigen lässt sich aus dem Funktionsprinzip leicht herleiten. Während Röhrenmonitore eine lange Wegstrecke zum Erzeugen, Beschleunigen und Ablenken des Elektronenstrahls benötigen, wirkt der Flüssigkristall nur wie eine Art Lichtventil vor einer Hintergrundbeleuchtung.



**Abbildung 10:** Vergleich der Bautiefe von TFT und Röhrenmonitor

##### *Der Stromverbrauch*

Flüssigkristallanzeigen haben einen geringen Stromverbrauch von ca. einem Fünftel im Vergleich zu Röhrengeräten. Für die Ansteuerung der Zellen nötige Spannung liegt bei ca. 3 V, hinzu kommt die Hintergrundbeleuchtung. Bei Röhrengeräten ist jedoch eine Transformation in den kV-Bereich zur Erzeugung des Elektronenstrahles gefordert.

##### *Anzeigetragheit*

Bei schnellen Bildfolgen (lassen Sie z.B. einmal eine Tennisplatte über einen Beamer laufen) zeigt sich eine Anzeigetragheit. Auch bei tiefen Temperaturen (achten Sie mal Wintertags beim Starten Ihres laternengeparkten Pkws auf die LCD-Uhr) macht sich dieses Phänomen bemerkbar. Beim Wechsel einer Zelle zwischen geschaltet und nicht geschaltet orientiert sich der Flüssigkristall temperaturabhängig mit einer gewissen molekularen Trägheit.

##### *Blickwinkelabhängigkeit*

Besonderes ältere Anzeigen sind seitlich sehr schlecht lesbar (Abb. 11). Die Zellengeometrie legt einen Lichtweg senkrecht zur Polarisationsfolie und damit senkrecht zur ganzen Anzeige fest.<sup>5</sup>



**Abbildung 11:** Die stark blickwinkelabhängige Lesbarkeit von Flüssigkristallanzeigen.

#### 5. Fazit

Flüssigkristallanzeigen haben unsere technisierte Lebenswelt stark durchdrungen. I.S. eines an den Erfahrungswelt des Schülers orientierten Unterricht

<sup>4</sup> Bei 14 Zoll Diagonale ist i.d.R. eine Auflösung von 1024 mal 768 Bildpunkten realisiert. Wie beim Fernseher auch erzielt man Farbmischungen additiv durch ein Rot-Grün-Blau-Tripel (RGB). Dies fordert in der Herstellung 2.359.296 funktionierende LC-Zellen pro Gerät!

<sup>5</sup> Hier spielen auch technische Weiterentwicklung i.S. zusätzlicher Verdrehungen in der Zelle eine Rolle.

könnte sich eine Behandlung im Themenbereich Polarisation und Doppelbrechung lohnen. Einen phänomenologischen Zugang bieten die unter Abschnitt 4 aufgeführten einfach zu beobachtenden Eigenschaften der Flüssigkristallanzeigen.

#### **Zitierte und weiterführende Literatur**

- [1] Heppke, Gerd; Bahr, Christian: Flüssigkristalle. In: Bergmann-Schäfer: Lehrbuch der Experimentalphysik. Vielteilchensysteme. Berlin : deGruyter, 1992.
  
- [2] Blankenbach, K.: Multimedia-Displays – von der Technik zur Physik. <http://www.fh-pforzheim.de/fb05/mitarbeiter/blankenbach> (Stand: 10.12.2000)
  
- [3] Oestreicher, F.: Demonstrationsexperimente mit Flüssigkristallen. [http://www.tu-berlin/~insi/ag\\_heppke/Experimente/DemoBegriff.html](http://www.tu-berlin/~insi/ag_heppke/Experimente/DemoBegriff.html) (Stand: 10.12.2000)
  
- [4] Depp, Steven W.; Howard, Webster E.: Flache Bildschirme. In: Spektrum der Wissenschaft (1993), Nr. 5, S. 42-48
  
- [5] Rink, J.: Aus der neuen Welt – Flüssigkristall-Bildschirmen unter den Deckel geschaut. In: c't (1998), Nr. 6, S. 230-236

#### **10. Kontakt**

Marcus Nientiedt  
Institut für Didaktik der Physik  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Wilhelm-Klemm-Straße 10  
48149 Münster  
Tel.: 0251 83-39489  
Fax: 0251 83-39480  
e-mail: [mdp@uni-muenster.de](mailto:mdp@uni-muenster.de)