

Experimente für einen kontextorientierten Physikunterricht - zur Funktion und zum Aufbau einer LCD-Zelle -

Stefan Richtberg, Raimund Girwidz, Josef M. Kurz

Theresienstr. 37, 80333 München
Stefan.Richtberg@lmu.de, girwidz@lmu.de

Kurzfassung

Flüssigkristallbildschirme (liquid crystal displays, LCDs) sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Sie werden im Physikunterricht bisher jedoch nur selten als anwendungsbezogener Kontext genutzt. Dabei bieten ihr Aufbau und ihre Funktion vielfältige Anknüpfungspunkte und inhaltliche Vernetzungsmöglichkeiten mit der Physik. Hierfür werden zwei für den Unterricht geeignete Zugänge ausführlich vorgestellt. Der erste erfolgt über den Bau einer monochromen LCD-Modellzelle mithilfe von speziell beschichteten Glasplättchen und einer passenden Flüssigkristallmischung. Der zweite Zugang arbeitet mit einem alten LCD-Bildschirm, der in einen „Bildschirm für Geheimagenten“ umgewandelt wird. Nur mithilfe eines geeigneten Polarisationsfilters kann sein Inhalt gelesen werden. Anhand beider Zugänge wird gezeigt, welches Potenzial dieser Anwendungskontext für den Schulunterricht hat und welche inhaltlichen Themen damit eingeführt und behandelt werden können.

1. Einführung

Flüssigkristallbildschirme (liquid crystal displays, LCDs) sind in unserem Alltag allgegenwärtig. Seit Entwicklung der Schadt-Helfrich-Zelle Anfang der 1970er-Jahre [1] wurden für LCDs viele Einsatzmöglichkeiten gefunden. In nahezu allen Bereichen, in denen Bildschirme zum Einsatz kommen, finden auch Flüssigkristallbildschirme Verwendung, vom einfachen Taschenrechner, über das Display vieler Handys und Smartphones bis hin zum großen Fernseher im Wohnzimmer. Natürlich haben sich LCDs dabei ständig weiterentwickelt, um Kontrastverhältnisse, Schwarzwert und Blickwinkelabhängigkeit zu verbessern. Doch das grundlegende Funktionsprinzip hat sich dabei kaum verändert und kann modellhaft nach wie vor sehr gut mit klassischer Schulphysik nachvollzogen werden.

Somit ist der Kontext der Flüssigkristallbildschirme insbesondere dazu geeignet, fachliche Anknüpfungen des Schulstoffes an moderne Alltagstechnologien aufzuzeigen. Hierdurch kann für Schülerinnen und Schülern ein subjektiver Erklärungswert erzielt werden. Dazu müssen die entsprechenden Inhalte aber schülergerecht aufbereitet werden. Entsprechende Experimente, Erkenntnismethoden und Arbeitsmaterialien sind so zu gestalten, dass sie Fachinteresse wecken und zur fachspezifischen Kompetenzentwicklung beitragen. Wie dies gelingen kann, haben bspw. Fakhruddin [2] oder auch Kortemeyer [3] anhand von verschiedenen Experimenten dargestellt. In den folgenden Abschnitten werden weitere Experimentiergelegenheiten vorgestellt und ihr Potenzial aufgezeigt.

2. Funktionsweise einer LCD-Zelle

Aus physikalischer Sicht basieren LCD-Zellen auf einem Zusammenspiel von zwei Polarisationsfiltern, Flüssigkristallen und einem elektrischen Feld (vgl. Abb. 1).

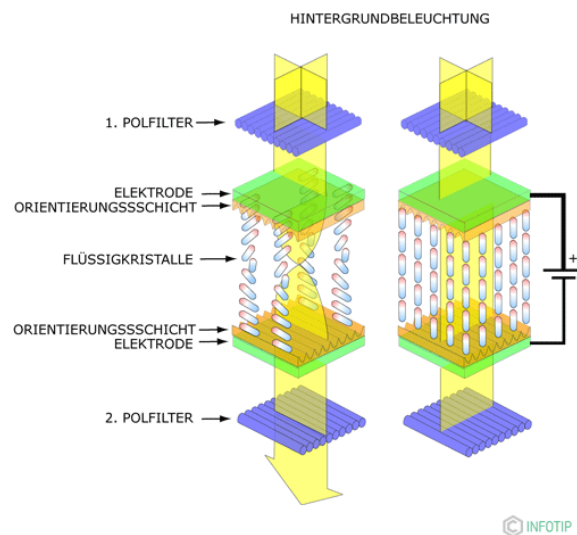


Abb. 1: Aufbau und Funktion einer Twisted-Nematic-LCD-Zelle ([4])

Das unpolarisierte Licht der weißen Hintergrundbeleuchtung trifft zunächst auf einen linearen Polarisationsfilter. Das entsprechend linear polarisierte Licht passiert nun eine leitend beschichtete Glaselektrode. Die Beschichtung kann beispielsweise aus einer durchsichtigen Indium-Zinn-Oxidschicht (ITO) bestehen. Hierbei verändert sich die Polarisation

nicht. Anschließend durchläuft das Licht die Flüssigkristallmischung. Diese kann je nach Bauweise und anliegender Spannung die Polarisationsrichtung des Lichtes verändern oder unverändert lassen. Darauf folgen eine ebenfalls leitend beschichtete Gegenelektrode und ein zweiter Polarisationsfilter. Die Ausrichtungen der Polarisationsfilter zueinander und die optischen Eigenschaften der Flüssigkristallmischung unterscheiden sich dabei zwischen den verschiedenen Bauformen. Hier soll im Folgenden auf den Typ der Twisted-Nematic-LCD-Zelle im „Normally-White-Mode“ eingegangen werden, da es sich bei der Schadt-Helfrich-Zelle um eine solche handelt und die in Abschnitt 3 beschriebene Modellzelle ebenfalls von diesem Typ ist.

2.1. Die Normally-White-Twisted-Nematic-Zelle

„Normally-White-Mode“ bedeutet hier, dass die LCD-Zelle lichtdurchlässig ist, wenn keine Spannung zwischen den beiden Elektroden anliegt, also kein elektrisches Feld die Flüssigkristalle durchdringt. Twisted, auf Deutsch verdreht, beschreibt, dass sich die länglichen Flüssigkristalle übereinander schraubenförmig anordnen, wenn keine Spannung an der Zelle anliegt. Hier vollziehen die Kristalle zwischen den Elektroden eine Drehung um 90° . Dies hat zur Folge, dass die Polarisationssebene des Lichtes beim Durchgang durch die Flüssigkristalle ebenfalls um 90° gedreht wird. Entsprechend müssen die beiden Polarisationsfilter vor und hinter den Elektroden ebenfalls um 90° zueinander verdreht sein, um einfallendes Licht durchzulassen. Erreicht wird die Ausrichtung der Flüssigkristalle durch makroskopische Direktoren auf den Elektroden [5]. Dies sind im einfachsten Fall parallele Rillen, welche durch Reibung der Elektroden mit entsprechenden Walzen erzeugt werden. Weist ein Flüssigkristall eine solche Orientierungsordnung bzgl. eines Direktors auf, so befindet er sich in seiner nematischen Phase, daher die Bezeichnung „Nematic“. Ein Erhitzen des Flüssigkristalles bis in die Nähe seines sog. Klärpunktes reduziert diese Ordnung stark.

3. Bau einer LCD-Modellzelle

Eine solche TN-Modellzelle im „Normally-White-Mode“ lässt sich mithilfe von frei im Handel erhältlichen Bauteilen zu vertretbaren Kosten herstellen (etwa 5 € pro Zelle beim Bau von 30 Zellen). Der Zusammenbau kann zum einen vorab durch den Lehrer erfolgen, um mit der fertigen Modellzelle die Funktionsweise einer TN-LCD-Zelle schnell und anschaulich demonstrieren zu können. Zum anderen ist aber auch die Herstellung der Zellen in Kleingruppen oder Einzelarbeit möglich. Der Zeitbedarf hierfür liegt bei etwa einer Doppelstunde.

3.1. Benötigtes Material

Zum Bau einer solchen Zelle wird folgendes Material benötigt:

- lineare Polarisationsfilter [6]
- leitend beschichtete Glasplatten (ITO/FTO) [7]

- Flüssigkristallmischung [8]
- Alkalische Reinigungslösung
- Glaskleber (evtl. Sekundenkleber)
- 4,5 V Flachbatterie
- Frischhaltefolie, fusselfreie Tücher

3.2. Notwendige Vorbereitungen

Zunächst müssen für jede Zelle zwei leitend beschichtete Glasplatten gereinigt werden. Dazu werden sie in die köchelnde alkalische Reinigungslösung gegeben und etwa 3 Minuten durch umrühren der Lösung gereinigt. Anschließend mit einer Pinzette oder Latexhandschuhen entnehmen, mit destilliertem Wasser abspülen und auf einem fusselfreien Tuch trocknen lassen. Nun müssen die leitenden Seiten der Glaselektroden bestimmt werden. Am einfachsten gelingt dies mit einem Multimeter. Nun sind die beiden nicht leitenden Seiten mit den linearen Polarisationsfiltern zu bekleben. Hierbei sollten die Polarisationsfilter bei beiden Glaselektroden so positioniert werden, dass ihre Polarisationsrichtung parallel zur langen Seite der Elektroden zeigt. Dies erleichtert die späteren Arbeitsschritte und den elektrischen Anschluss. Nun müssen noch die makroskopischen Direktoren erzeugt werden. Dies gelingt durch mehrfaches Reiben der leitend beschichteten Seite mit einem fusselfreien Tuch in identischer Richtung zur Polarisation, also wiederum parallel zur langen Seite der Elektroden. Alternativ kann hierzu auch ein weicher Radiergummi genutzt werden. Zuletzt noch zwei Streifen Frischhaltefolie als Abstandshalter entsprechend der Breite der Glasplatten zuschneiden und bereitlegen.

3.3. Zusammenbau der Modellzelle

Nun können die vorbereiteten Komponenten zusammengefügt werden. Dazu zunächst die beiden Glaselektroden, getrennt von den beiden Abstandshalterstreifen, senkrecht zueinander mit den leitenden Seiten aufeinanderlegen. Die Zelle erscheint jetzt undurchsichtig (vgl. Abb. 2). Anschließend die beiden Platten an den Seiten miteinander verkleben, an denen sich die Abstandshalter befinden.

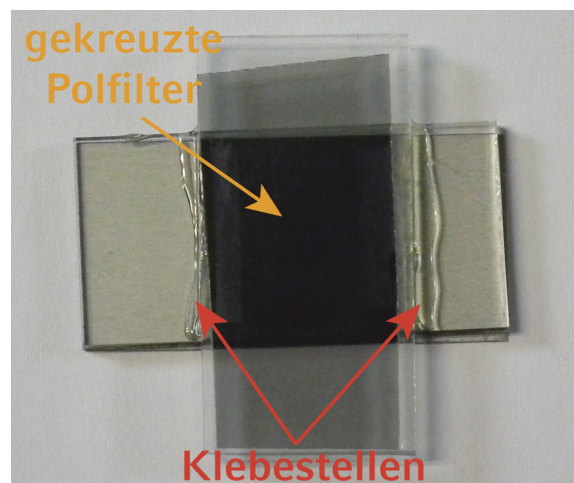


Abb. 2: TN-Modellzelle ohne Flüssigkristall

Nun einen Tropfen der Flüssigkristallmischung mittels Pipette entlang einer nicht verklebten Seite verteilen. Der Kapillareffekt sorgt dafür, dass der Flüssigkristall zwischen die Platten zieht. Dabei wird die Zelle durchsichtig (vgl. Abb. 3).



Abb. 3: Zu 80 % mit Flüssigkristall gefüllte Modellzelle

Anschließend evtl. überschüssige Flüssigkristallmischung abwischen und auch die beiden übrigen Seiten der Modellzelle mit Kleber verschließen. Jetzt ist die Zelle dicht und in dieser Form auch gut transportabel und lange haltbar.

3.4. Funktion der Modellzelle

Im spannungsfreien Zustand ist die Zelle wie in Abb. 3 durchsichtig („Normally White“-Mode). Für den Betrieb müssen die leitenden Seiten der Glasplatten per Kabel mit einer 4,5 V Flachbatterie verbunden werden. Hierdurch entsteht ein elektrisches Feld zwischen den Platten, was für die Drehung der Flüssigkristalle sorgt und die Zelle nahezu lichtundurchlässig, also schwarz werden lässt (siehe Abb. 4).

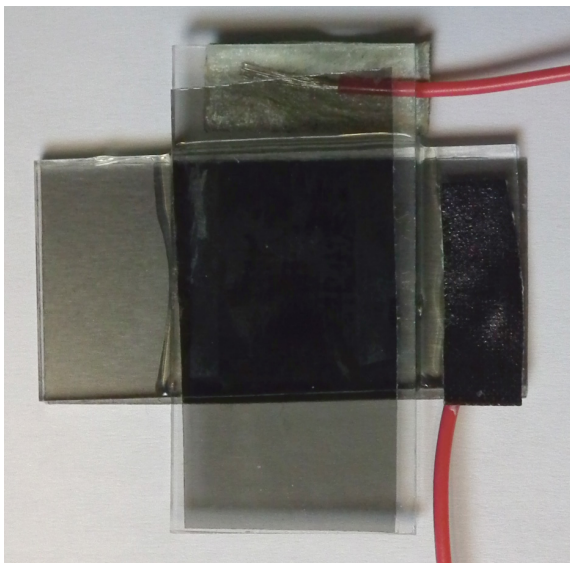


Abb. 4: Normally-White-TN-Modellzelle mit angelegter Spannung von 4,5 V

Um diesen Prozess genauer zu untersuchen, kann anstatt der Batterie auch ein regelbares Kleinspannungsnetzteil genutzt werden. Mithilfe von einem Messgerät kann hier weiter gezeigt werden, dass durch die Zelle kein Strom fließt. Die LCD-Zellen benötigen daher im Betrieb nur relativ wenig Energie.

3.5. Mögliche Lernziele

Natürlich stehen beim Bau der Flüssigkristallzelle zunächst fachliche Aspekte wie die Wirkung von Polarisationsfiltern und Flüssigkristallen im Vordergrund. Aber gleichzeitig versetzt der Bau der Modellzelle Schülerinnen und Schüler in die Lage, vertieft über einen aktuellen technischen Gegenstand zu reden und zu diskutieren. So kann beispielsweise die relevante Frage thematisiert werden, wie mithilfe solcher Zellen nicht nur monochromatische, sondern auch farbige Displays entstehen können. Die technische Lösung des Problems mit RGB-Farbfiltren ist experimentell einfach zu zeigen und für Schülerinnen und Schüler ebenfalls gut verständlich. Weiter bietet der Bau der Zelle einen Argumentationsanlass über Vor- und Nachteile verschiedener Bauformen von LCD-Zellen bspw. bezüglich Kontrast oder Schaltzeiten.

4. Der „Bildschirm für Geheimagenten“

Besonders motivierend können Aufbau und Funktion eines LCD-Bildschirmes auch durch den Bau eines „Bildschirmes für Geheimagenten“ thematisiert werden. Dazu benötigt man folgende Materialien:

- Ausgedienter LCD-Bildschirm oder Laptop
- Cutters + Glasschaber
- Evtl. Heißluftföhn
- Linearer Polarisationsfilter [6]

4.1. Präparierung des Bildschirmes

Um einen Bildschirm zu erhalten, der nur mit einem entsprechenden Hilfsmittel gelesen werden kann, muss der vordere Polarisationsfilter des ausgedienten Displays entfernt werden. Dies gelingt mithilfe von Cutter, Glasschaber und Heißluftföhn, wobei darauf zu achten ist, dass man mit dem Cutter nicht in das Panel hinein schneidet, sondern nur durch den Polarisationsfilter. Alternativ kann auch der Rahmen des Displays demontiert werden. Dann gelangt man in der Regel direkt mit einem Glasschaber zwischen Glaselektrode und Polarisationsfilter. Das Erhitzen der Folie bzw. des Klebers zwischen Folie und Glas mithilfe eines Föhns erleichtert das Entfernen. Anschließend müssen nur noch die Klebstoffreste mithilfe von Lösungsmittel vom Panel entfernt werden. Nach Anschließen des Bildschirmes an einen PC, sollte nun nur ein vollständig weißer Bildschirm zu sehen sein.

4.2. Experimente mit dem „geheimen Bildschirm“

Um die Anzeige auf dem Bildschirm wieder erkennen zu können, benötigt man einen linearen Polari-

sationsfilter. Wird dieser entsprechend der Polarisationsrichtung des entfernten Filters vor den Bildschirm gehalten, so wird der Bildschirm wieder für alle sichtbar (siehe Abb. 5). Der Effekt kann noch eindrucksvoller gestaltet werden, wenn, anstatt eines einfachen Polarisationsfilters, eine Brille mit entsprechenden Filtern anstelle von Gläsern verwendet wird. So kann nur derjenige, der durch die Brille blickt, den Bildschirminhalt sehen.

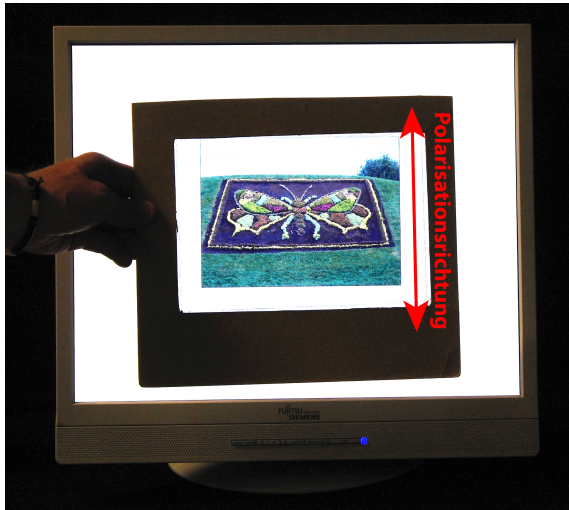


Abb. 5: Blick auf den geheimen Bildschirm durch einen passend ausgerichteten Polarisationsfilter

Ein Verdrehen des Polarisationsfilters gegenüber der Ausrichtung des entfernten Filters führt zu einer veränderten Farbdarstellung bis hin zur Invertierung aller Farben bei Verdrehung um 90° . Dies wird besonders deutlich, wenn man sich ein Bild bestehend aus dem RGB- und dem CMYK-Farbkreis auf dem präparierten Bildschirm anschaut. Bei originaler Ausrichtung des Polarisationsfilters zeigt sich Abb. 6.

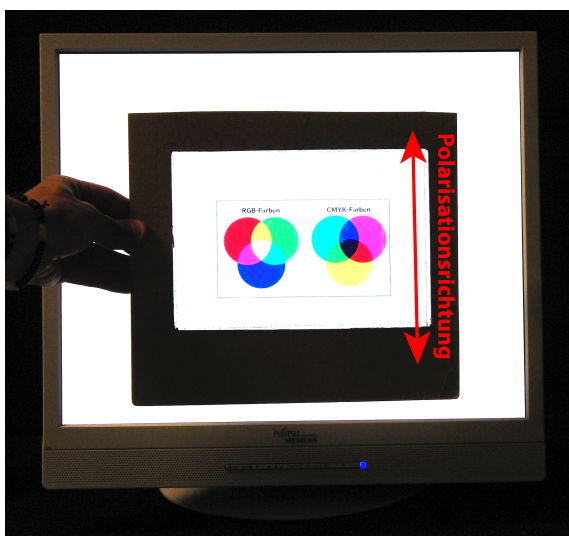


Abb. 6: Blick auf die Farbkreise bei passend ausgerichtetem Filter

Die Drehung des Polfilters um 90° führt zu einer vollständigen Invertierung der Farben. Aus weiß

wird schwarz, der RGB-Farbkreis sieht durch den so gedrehten Filter wie der CMYK-Kreis aus und der CMYK-Kreis erscheint entsprechend wie der RGB-Kreis (siehe Abb. 7).

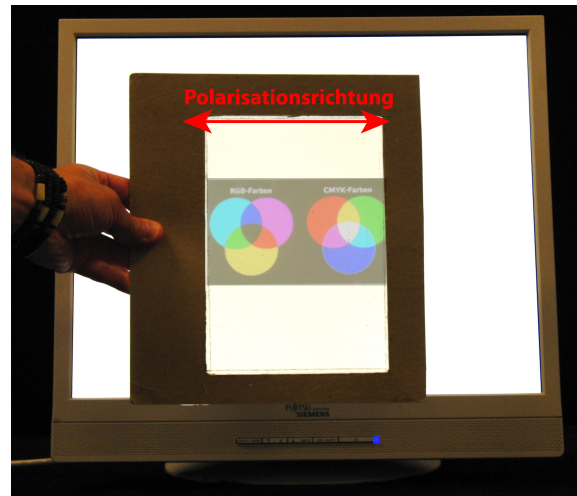


Abb. 7: Blick auf die Farbkreise mit um 90° verdrehtem Polfilter

4.3. Vernetzungsmöglichkeiten mit Schulphysik und Alltagsanwendungen

Neben dem Erreichen inhaltlicher Lernziele bzgl. des Aufbaus und der Funktion von LCDs, kann mithilfe der Experimente auch die Behandlung anderer Aspekte motiviert werden. So bietet insbesondere der Invertierungseffekt eine Verknüpfungsmöglichkeit mit der digitalen Bildbearbeitung. Der Effekt, der im Experiment durch Rotation des Polarisationsfilters erzielt wird, kann mithilfe von Bildbearbeitungsprogrammen ebenfalls erzielt werden. Wählt man dort Farben invertieren aus, verändert sich die Darstellung entsprechend. Hieran anschließend kann bspw. eine Diskussion über verschiedene Farbräume und ihre Eignung für verschiedene Wiedergabeformen folgen (Bildschirm, einfacher Druck, Kunstdruck).

Auch zum Einstieg in die Themen der zirkularen Polarisation und der 3D-Bilddarstellung kann das Experiment genutzt werden. Blickt man durch eine Real-3D-Brille, deren „Brillengläser“ jeweils aus einem Verzögerungsblättchen und einem linearen Polfilter bestehen, auf den geheimen Bildschirm, so sieht man alle Farben blasser als normal. Dreht man die Brille jedoch herum und schaut von der „falschen“ Seite durch sie hindurch, so sieht man bei passender Orientierung das normale Bild mit satten Farben. Die Richtung des Lichtdurchganges durch die Real-3D-Brille beeinflusst also ihre Wirkung. Daher ist es naheliegend, dass ein solches „Brillenglas“ aus zwei unterschiedlichen Schichten besteht und eine davon ein linearer Polarisationsfilter ist. So wird deutlich, dass dieser Typ des 3D-Fernsehens ebenfalls mit polarisiertem Licht arbeitet. Die inzwischen häufiger genutzten Systeme mit aktiven Shutterbrillen nutzen hingegen unpolarisiertes Licht.

5. Literaturverzeichnis

- [1] Schadt, Martin: Milestone in the History of Field-Effect Liquid Crystal Displays and Materials. In: Japanese Journal of Applied Physics 48 (2009), Nr. 3, 03B001
- [2] Fakhrudin, Hasan: Some Activities with Polarized Light from a Laptop LCD Screen. In: The Physics Teacher 46 (2008), Nr. 4, S. 229
- [3] Kortemeyer, Gerd: A Polarizer Demo Using LCDs. In: The Physics Teacher 46 (2008), Nr. 1, S. 58
- [4] InfoTip Service GmbH: TN-LCD-Zelle. URL: http://kompendium.infotip.de/files/wdb/GRAFI_K/2300_DISPLAYS/2310_LCD/ABB_2311_01-04_TN-Zelle.gif (Stand 5/2016)
- [5] Prost, J.: The physics of liquid crystals: Oxford university press, 1995
- [6] Perspektum 3D-Shop Peter Kaiser: <http://www.perspektrum.de> (Stand 7/2016)
- [7] MAN SOLAR B.V. Online-Shop: <http://www.mansolar.nl/supplies/12-conductive-glass-electrodes-counter-electrodes.html> (Stand 7/2016)
- [8] Oestreicher, Feodor: Lehrmittel zum Thema Flüssigkristalle. URL: <http://fluessigkristalle.com/lehrmittel.htm> (Stand: 7/2016)