



# FUNKTION UND AUFBAU EINER LCD-ZELLE

## EXPERIMENTE FÜR KONTEXTORIENTIERTEN PHYSIKUNTERRICHT

### DIDAKTISCHE UND PHYSIKALISCHE HINTERGRÜNDE

Der Physikunterricht muss neben den klassischen Inhalten auch fachliche Anknüpfungen an moderne Alltagstechnologien aufzeigen, um für Schülerinnen und Schüler einen subjektiven Erklärungswert zu erzielen. Entsprechende Inhalte sind schülergerecht aufzubereiten, geeignete Experimente, Erkenntnismethoden und Arbeitsmaterialien sind so zu konzipieren, dass sie Fachinteresse wecken und zur fachspezifischen Kompetenzentwicklung beitragen. LCD-Bildschirme sind im Alltag von Schülerinnen und Schülern allgegenwärtig und sind daher als Kontext für die Themen Polarisierung und Farbwahrnehmung besonders geeignet. Physikalisch basieren LCD-Bildschirme auf einem Zusammenspiel von Polarisationsfiltern, Flüssigkristallen und einem E-Feld (siehe Abb. 1). Die Intensität einer linear polarisierten Welle  $I_0$  nach Durchgang durch einen um  $\alpha$  verdrehten idealen Polarisator wird beschrieben durch das Malussche Gesetz:  $I = I_0 \cdot \cos^2(\alpha)$ . Neben den Polfiltern beeinflussen aber auch die Flüssigkristalle die Polarisierung des Lichtes. Die länglichen Flüssigkristalle besitzen in ihrer nematischen Phase eine Orientierungsordnung. Diese wird

von makroskopischen Direktoren bestimmt [1]. In einer LCD-Zelle sind diese auf den beiden Elektroden senkrecht zueinander ausgerichtet. Die Flüssigkristalle ordnen sich entsprechend verdreht an, daher der Name Twisted-Nematic. In dieser Konfiguration bewirken die Flüssigkristalle eine Drehung der Polarisationsebene des Lichts um  $90^\circ$ . Ohne elektrisches Feld ist die LCD-Zelle also lichtdurchlässig ("Normally White"-Mode). Das Anlegen einer Spannung an die Elektroden erzeugt ein E-Feld, welches die Ausrichtung der Flüssigkristalle aufgrund deren Dipolmoment ändert. Bei vollständiger Ausrichtung der Kristalle entlang der Feldlinien erfolgt keine Drehung der Polarisationsrichtung mehr und die Zelle wird schwarz. Die Farbwiedergabe erfolgt auf dem Prinzip der additiven Farbmischung und wird durch RGB-Subpixel erreicht. Dabei kann jedes Subpixel mittels Dünnschichttransistoren (TFT) separat angesprochen und seine Helligkeit gesteuert werden. Aktuelle Weiterentwicklungen verändern meist nicht das Funktionsprinzip der LCD-Zelle, sondern verbessern ihre Eigenschaften bzgl. Kontrast, Blickwinkel-Abhängigkeit, Lichtausbeute und Schaltzeit.

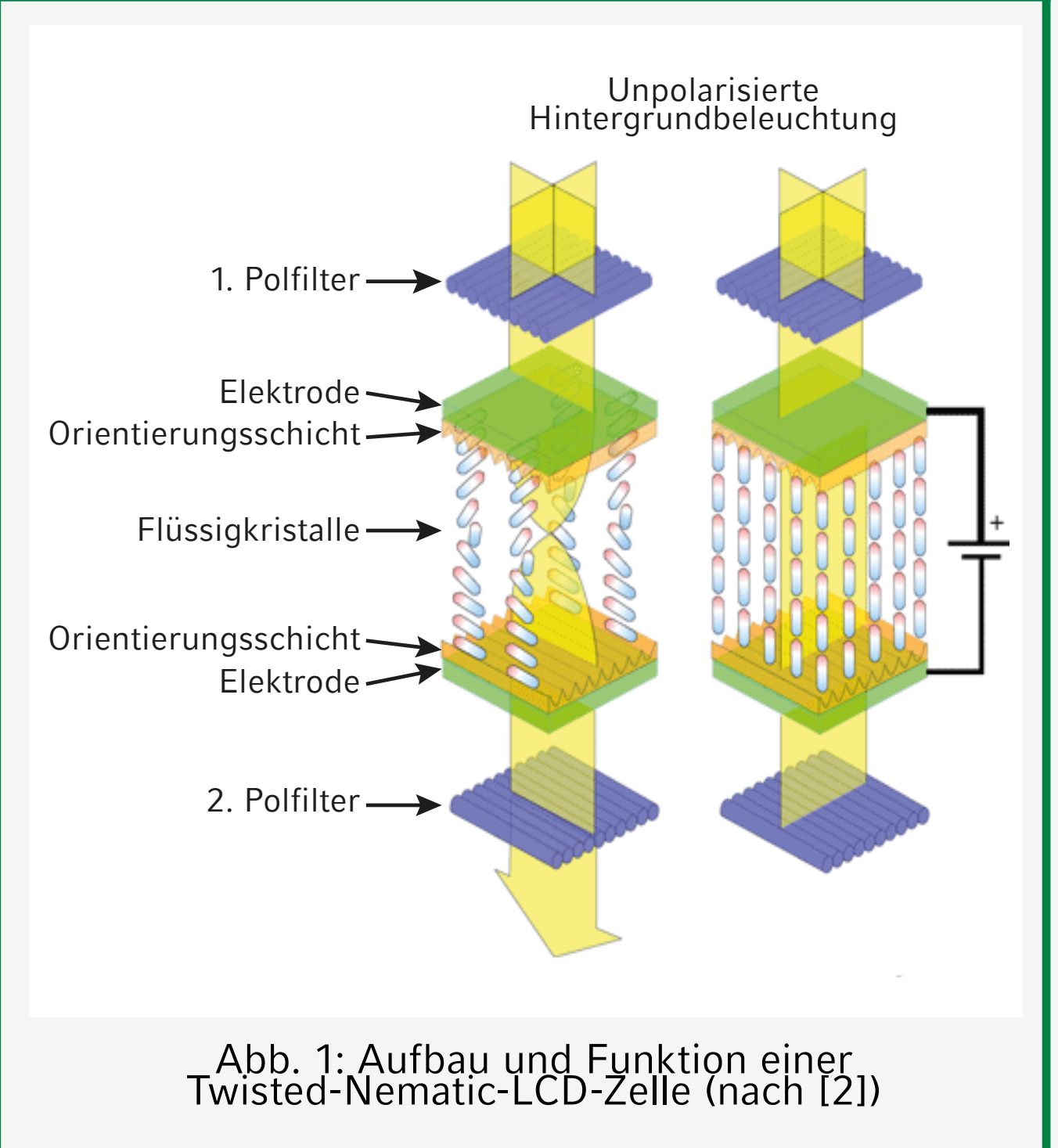


Abb. 1: Aufbau und Funktion einer Twisted-Nematic-LCD-Zelle (nach [2])

### KONTEXTORIENTIERTE EXPERIMENTE

#### LCD-Modellzelle (Twisted-Nematic)

**Material:**

- Polarisationsfilter (linear) [3]
- TCO-Glasplatten (ITO oder FTO) [4]
- Flüssigkristallmischung [5]
- Frischhaltefolie
- Flüssigkleber
- alkalische Reinigungslösung
- Netzgerät
- Multimeter

**Vorbereitung:**

Zunächst die TCO-beschichteten Glasplatten reinigen und die leitenden Seiten bestimmen. Die nicht leitenden Seiten mit Polarisationsfiltern bekleben. Nun mit einem Radiergummi entsprechend der Richtung der Polarisationsfilter über die TCO-Seiten der Platten streichen, um die Oberfläche auf mikroskopischer Ebene zu strukturieren. Zuletzt zwei Streifen Frischhaltefolie als Abstandshalter entsprechend der Breite der Glasplatten zuschneiden.

**Zusammenbau:**

Die beiden TCO-Platten, getrennt von den beiden Abstandshalterstreifen, senkrecht zueinander mit den leitenden Seiten aufeinanderlegen (Zelle ist undurchsichtig). Anschließend die beiden Platten an zwei Seiten miteinander verkleben. Nun die Flüssigkristallmischung mittels Pipette zwischen die Platten bringen bzw. ziehen lassen (Kapillareffekt). Dabei wird die Zelle durchsichtig. Nun auch die beiden anderen Seiten der Zelle mit Kleber verschließen, sodass die Zelle dicht ist.

**Funktion:**

Im spannungsfreien Zustand ist die Zelle durchsichtig ("Normally White"-Mode). Werden nun die leitenden Seiten der Glasplatten mit einem Kleinspannungsnetzteil verbunden und wird die Spannung langsam vom 0 V auf 5 V hochgeregt, so entsteht zwischen den Platten ein stärker werdendes E-Feld und die Zelle wird immer weniger durchsichtig - sie erscheint nahezu schwarz.

**Weiterentwicklung/Ausblick:**

Durch Strukturieren der TCO-Schicht können Zellen mit Mustern gebaut werden. Weiter sollten Farbdarstellungen auf Basis des TN-Prinzips thematisiert werden [6].

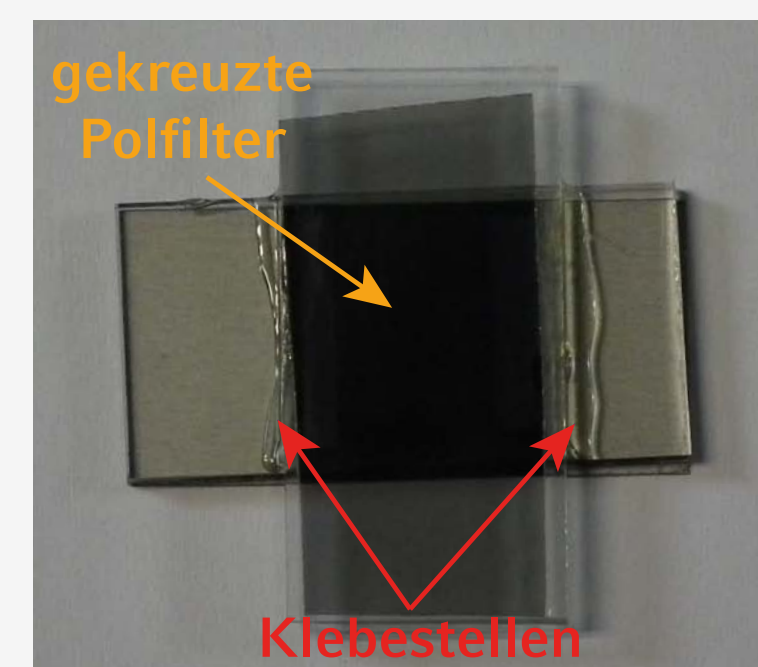


Abb. 2: Modellzelle ohne Flüssigkristall



Abb. 3: Modellzelle zu 3/4 mit Flüssigkristall gefüllt

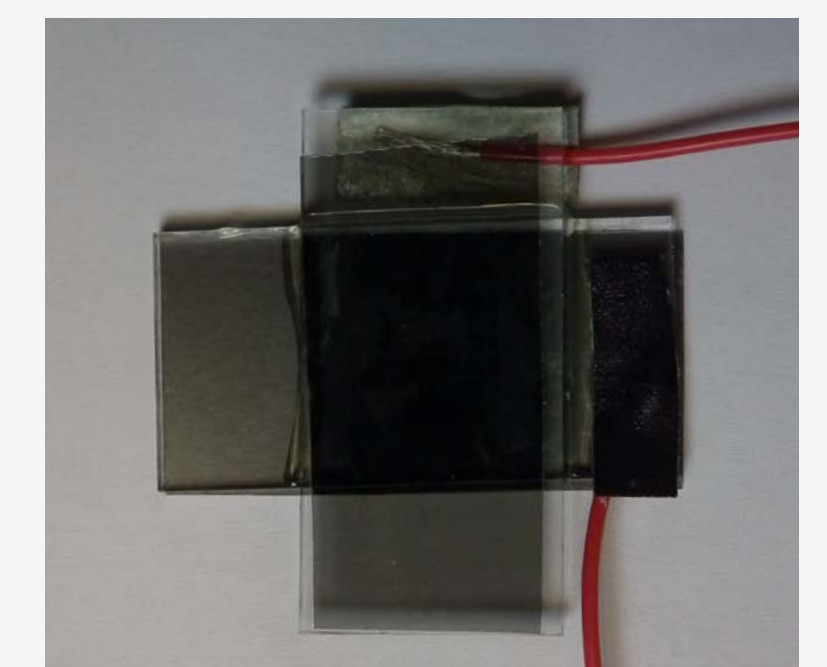


Abb. 4: Modellzelle bei angelegter Spannung (4,5 V)

#### Der geheime Bildschirm

**Material:**

- ausgedienter LCD-Bildschirm
- Polarisationsfilter [3]

**Vorbereitung:**

Die vordere Polarisationsfilter des ausgedienten LCD-Bildschirmes mithilfe eines Glasschabers vorsichtig vom LCD-Panel entfernen. Anschließend das Panel mit Lösungsmittel reinigen, um Klebstoffreste zu entfernen. Bildschirm an den PC anschließen.

**Durchführung: / Beobachtung:**

Es zeigt sich zunächst ein weißer Bildschirm. Nun setzt man eine Brille mit entsprechend der entfernten Folie ausgerichteten, linearen Polarisationsfiltern auf. Der Bildschirminhalt ist wieder vollständig zu sehen. Sind die Polarisationsfilter in der Brille um  $90^\circ$  gegenüber der ursprünglichen Ausrichtung verdreht, so sind alle Farben invertiert wahrnehmbar.

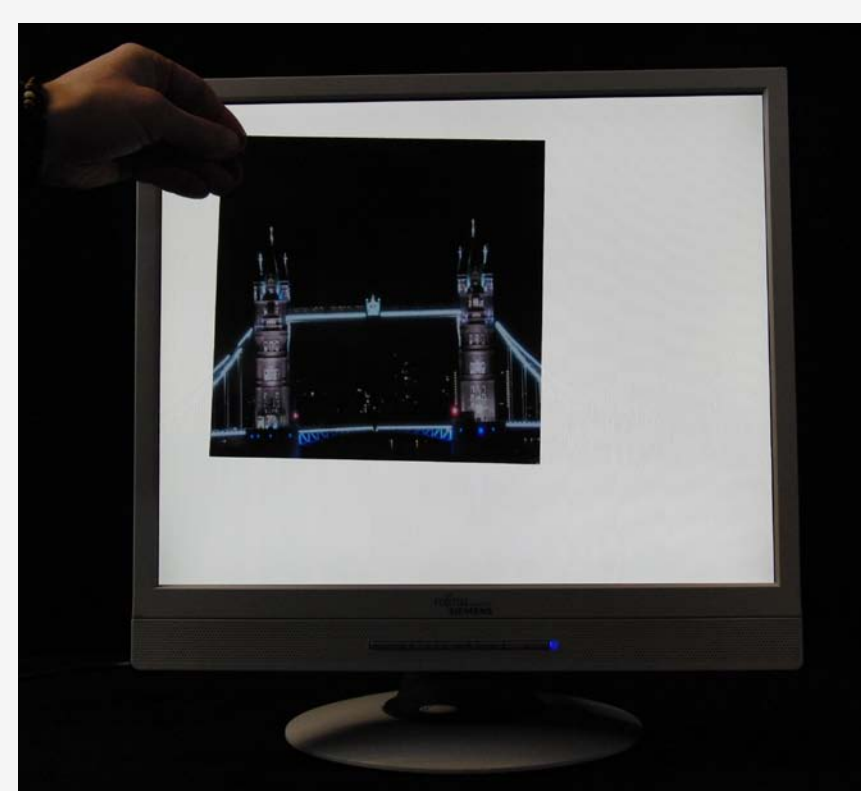


Abb. 5: Der „geheime“ Bildschirm mit vorgehaltener Polarisationsfolie

#### RGB und CMYK am LCD

**Material:**

- LCD-Bildschirm mit entfernter Polarisationsfilter
- Bilddatei mit Darstellungen vom additiven und subtraktiven Farbmodell [7]

**Vorbereitung / Durchführung:**

Die Bilddatei wird geöffnet und zunächst durch die passend ausgerichtete „Polarisationsbrille“ betrachtet. Die Farbmodelle sind korrekt wahrnehmbar. Nun wird die Brille mit den um  $90^\circ$  verdrehten Polarisationsfiltern aufgesetzt.

**Beobachtung:**

Anstelle des RGB-Modells ist nun das CMYK-Modell zu sehen und umgekehrt.

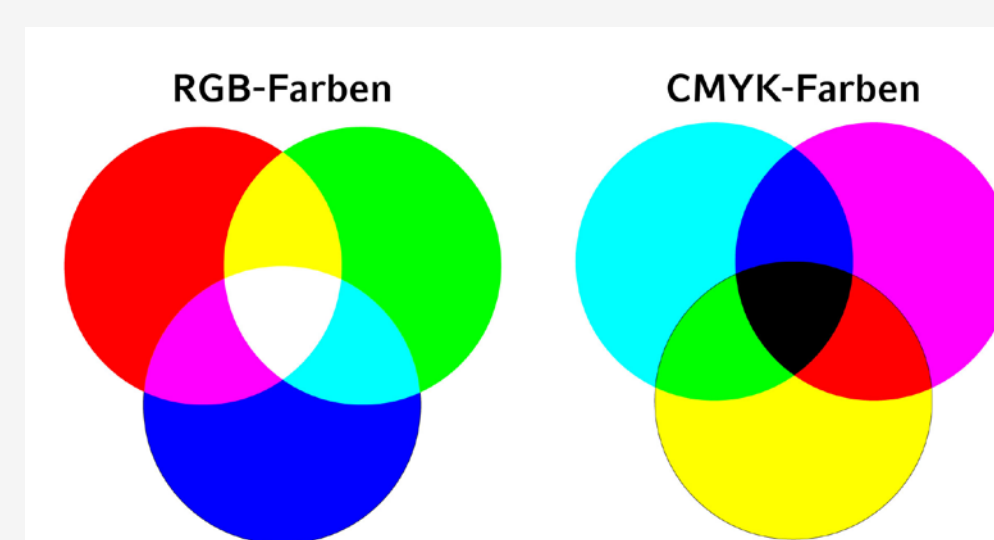


Abb. 6: Ansicht der Farbmodelle durch korrekt ausgerichtete Polarisationsfolie

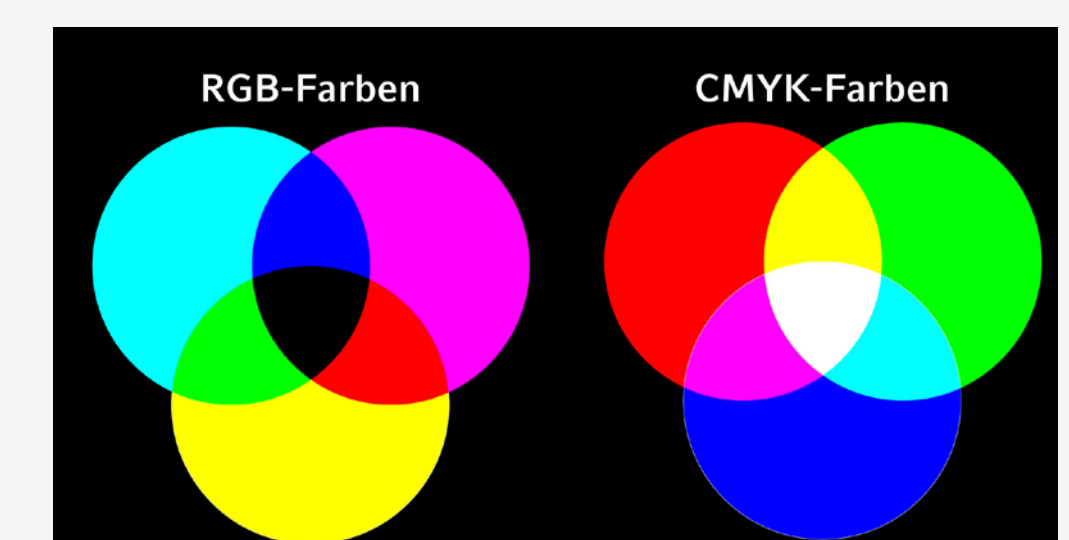


Abb. 7: Ansicht der Farbmodelle durch  $90^\circ$  gedrehte Polarisationsfolie

### WEITERE EXPERIMENTE

- Winkelabhängigkeit der Farbwahrnehmung bei verschiedenen LCD-Typen
- 3D-Darstellungen mithilfe von linear polarisierten Bildern
- Active-Shutter-Technik für 3D-Darstellung
- zirkulare Polarisierung durch Nachschaltung eines  $\lambda/4$ -Plättchens (Real 3D)

### QUELLEN

[1] Prost, J. (1995). The physics of liquid crystals (No. 83). Oxford university press.  
 [2] <http://kompendium.infotip.de/grundlagen-der-lcd-technologie.html>  
 [3] <http://www.perspektrum.de/zubehoer/polfilterfolie.htm>  
 [4] <http://www.mansolar.nl/supplies.html>  
 [5] <http://fluessigkristalle.com/lehrmittel.htm>  
 [6] [http://www.merck.de/de/unternehmen/entdecke\\_merck/lcd\\_explorer.html](http://www.merck.de/de/unternehmen/entdecke_merck/lcd_explorer.html)  
 [7] <http://richtberg.org/invertierte-farben-am-lcd-display/>



Stefan Richtberg  
Raimund Girwidz  
Josef M. Kurz

Stefan.Richtberg@physik.uni-muenchen.de  
girwidz@lmu.de

Downloads:  
- Poster  
- Bauanleitung  
- Farbkreise



DPG-Frühjahrstagung  
29.02. - 02.03. 2016  
Hannover