

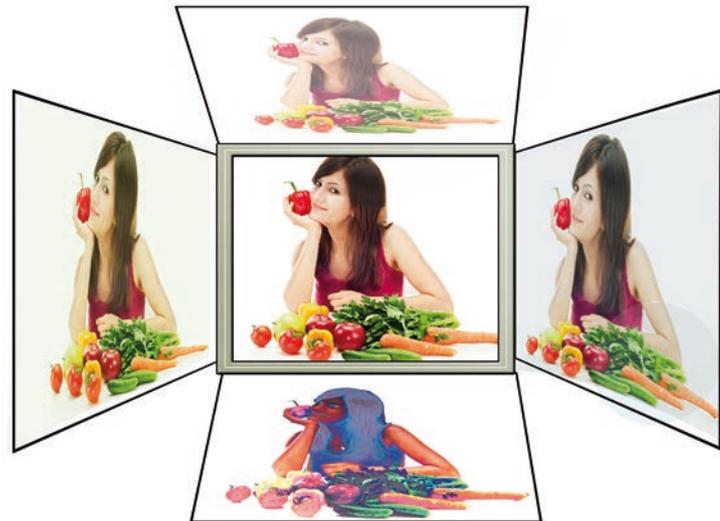
## ■ Eine Frage der Perspektive

Flüssigkristallbildschirme haben im vergangenen Jahrzehnt eine sprunghafte Entwicklung durchlaufen. Selbst ihre Blickwinkelabhängigkeit ist viel geringer geworden.

Wichtige Röhrenmonitore gehören längst der Vergangenheit an. Ob Fernseher, Computermonitor oder Notebook – überall finden sich heutzutage fast ausschließlich Liquid Crystal Displays (LCDs). Ein Problem ist allerdings die Blickwinkelabhängigkeit: Nur wenn man senkrecht oder unter kleinen Winkeln auf einen solchen Bildschirm schaut, erscheint er gleichmäßig hell. Je größer der Betrachtungswinkel wird, desto schlechter wird der Bildkontrast. Beim Smartphone ist dies sogar wünschenswert, damit nur der Benutzer die zumeist privaten Inhalte gut erkennen kann. Doch beim Notebook fällt die Blickwinkelabhängigkeit schnell negativ auf, weil man sehr nahe davor sitzt. Beim Fernseher ist der Betrachtungsabstand viel größer, sodass der Zuschauer den maximalen Blickwinkel meist nicht ausnutzt.

In den vergangenen zwei Jahrzehnten ist es den Herstellern gelungen, den Blickwinkel von Flüssigkristall-Bildschirmen zu vergrößern. Aber auch bei den besten Displays verschlechtern sich ab einer bestimmten Perspektive die Kontraste (Abb. 1). Schuld ist die Doppelbrechung der Flüssigkristalle. Bei doppelbrechenden Materialien hängt der Brechungsindex von Ausbreitungsrichtung und Polarisation des Lichts ab.

Wie der Name verrät, nehmen Flüssigkristalle eine Zwischen-



Kyocera

Abb. 1 Die doppelbrechenden Eigenschaften der Flüssigkristalle sind Schuld daran, dass das Bild auf einem LCD nur

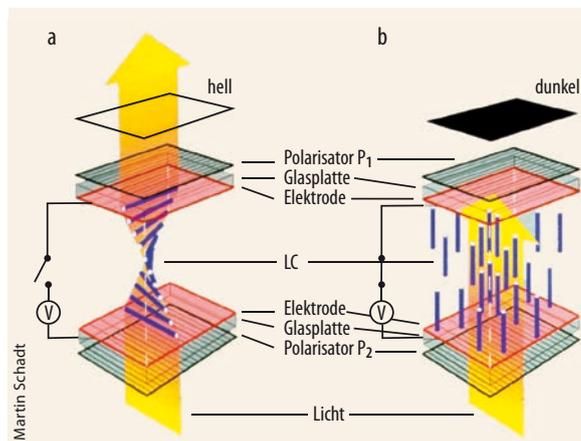
in einem gewissen Blickwinkel gleichmäßig hell erscheint.

stellung zwischen Flüssigkeiten und Kristallen ein. Oft handelt es sich um langgestreckte Moleküle, die sich aufgrund der von null verschiedenen räumlichen Ausdehnung der einzelnen Molekülbestandteile tendenziell parallel zueinander anordnen. Viele flüssigkristalline Phasen sind optisch anisotrop und daher doppelbrechend. Bei der Herstellung von Displays werden sie als wenige Mikrometer dünne Schicht zwischen zwei Glasplatten eingebracht. Die Innenseiten der Glasplatten sind so präpariert, dass sich die Flüssigkristalle, die viele leicht verschiebbare Elektronen enthalten, in der Nähe der Glasplatten

bevorzugt parallel zu ihnen ausrichten. Dadurch entstehen die so genannten Orientierungsschichten. Wird an transparente Elektroden, die jeweils zwischen der Orientierungsschicht und der Glasplatte aufgebracht sind, eine Spannung angelegt, so beeinflusst das entstehende elektrische Feld die Ausrichtung der Flüssigkristalle. Auf diese Weise lassen sich Flüssigkristalle als „Lichtventil“ – also als Pixel – betreiben.

Im einfachsten Fall befinden sich Polarisatoren, die um  $90^\circ$  zueinander verdreht sind, auf beiden Seiten des „Sandwiches“ aus Glasplatten, Elektroden, Orientierungsschichten und Flüssigkristallschicht (Abb. 2). In einer solchen Schadt-Helfrich-Zelle – auch bekannt als nematische Drehzelle – sind die Glasplatten so präpariert, dass sich die Flüssigkristalle in der Nähe um  $90^\circ$  zueinander verdreht ausrichten. Ohne angelegte Spannung orientieren sich die Flüssigkristalle entlang der Höhe der Pixelzelle – anschaulich formuliert – wie eine Wendeltreppe, die einen rechten Winkel beschreibt. Die Polarisationsebene des von hinten einfallenden Lichts wird durch die Flüssigkristalle um  $90^\circ$  gedreht und dadurch vom

Abb. 2 Bei einer spannungsfreien Schadt-Helfrich-Zelle (a) wird die Polarisationssebene des durch P2 polarisierten Lichts im Flüssigkristall um  $90^\circ$  gedreht. Dadurch gelangt das Licht durch den Polarisator P1. Liegt eine Spannung an (b), orientieren sich die Flüssigkristalle entlang des elektrischen Feldes und drehen die Polarisationsebene des einfallenden Lichts nicht. Das Pixel ist dunkel.



zweiten Polarisator durchgelassen. Das Pixel ist hell, also weiß. Liegt dagegen eine bestimmte maximale Spannung an, richten sich die Flüssigkristalle parallel zu den Feldlinien aus und können dadurch die Polarisationssebene des Lichts nicht drehen – das Pixel bleibt dunkel, also schwarz. Graustufen lassen sich durch Spannungswerte zwischen null und dem Maximalwert erzielen; Farben durch die Kombination dreier rot, blau und grün gefilterter Subpixel zu einem Pixel, das dann eine additive Mischfarbe zeigt.

Bei dieser, auch „Twisted Nematic“ (TN) genannten Technologie sieht ein Pixel, an dem die maximale Spannung anliegt, direkt von vorn schwarz aus. Blickt man jedoch schräg darauf, erscheint es nicht mehr völlig schwarz, weil es bei dieser Geometrie immer Lichtwege gibt, die nicht parallel zu den optischen Achsen der Pixel liegen.

Dann tritt Doppelbrechung auf, und das Kontrastverhältnis verschlechtert sich mit zunehmendem Betrachtungswinkel, bis das Bild nicht mehr zu erkennen ist (**Kasten**). Eine grundlegende Technologie, um diese Blickwinkelabhängigkeit zu verringern, ist In-Plane Switching (IPS).

Dabei befinden sich kammartige Elektroden als regelmäßiges Streifenmuster auf nur einer Seite der Flüssigkristallzelle. Liegt keine Spannung an, sorgen die Orientierungsschichten dafür, dass sich die Flüssigkristalle parallel zu den Glasplatten und zu den Elektroden ausrichten. Die gekreuzten Polarisatoren lassen kein Licht durch. Liegt eine Spannung an, drehen sich die Flüssigkristalle in der Elektrodenebene zur Richtung des Feldes. Das Pixel wird hell. Da die Flüssigkristalle quasi nie schräg zur Normalen der Zelle stehen,

spielt der Betrachtungswinkel kaum eine Rolle (**Kasten**).

Zudem beeinflussen Designfragen die Größe des erreichbaren Blickwinkels. Flachere Pixelzellen etwa vergrößern naturgemäß den Winkelbereich, in den das Licht abgestrahlt wird. Und je weniger Licht die Ansteuerungselektronik verschluckt, desto mehr Licht tritt ins Pixel ein. Flachere Bauweise und kleinflächigere Ansteuerung vergrößern somit den Blickwinkel, der laut Herstellerangaben fast 180° beträgt. Wie gut das in der Realität funktioniert, sollte man vor dem Kauf des teuren Flachbildfernsehers aber besser im Geschäft prüfen.

Michael Vogel

\*

Ich danke Ralf Stannarius von der Universität Magdeburg für hilfreiche Erläuterungen.

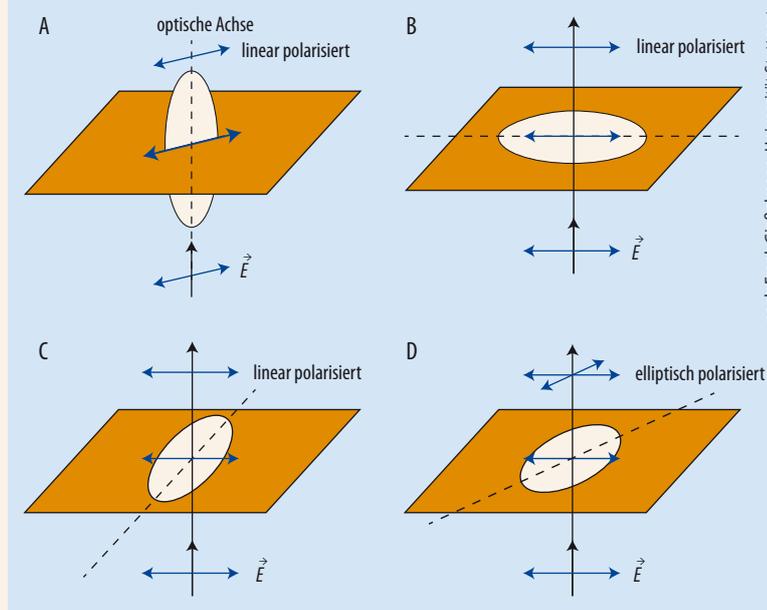
**DIE ROLLE DER DOPPELBRUCHUNG**

Dargestellt sind der Weg des Lichts (Pfeil) und die Schwingungsrichtung des E-Feldes (blaue Doppelpfeile) sowie die optische Achse (gestrichelt), die sich aus der Vorzugsrichtung des Flüssigkristalls ergibt. Das Ellipsoid repräsentiert die Brechungsindizes des ordentlichen und außerordentlichen Strahls, die sich für verschiedene Einfallrichtungen zur optischen Achse ergeben (Indikatrix). Von unten fällt linear polarisiertes Licht unter verschiedenen Winkeln zur optischen Achse in ein Pixel ein, das sich zwischen zwei gekreuzten Polarisatoren (nicht dargestellt) befindet.

■ **A:** Lichtweg und optische Achse sind parallel. Dann tritt keine Doppelbrechung auf. Der Betrachter sieht ein schwarzes Pixel. Dies entspricht der TN-Zelle, wenn die Vorzugsrichtung des Flüssigkristalls senkrecht zu den Elektroden steht (**Abb. 2b**).

■ **B und C:** Lichtweg und optische Achse stehen senkrecht zueinander. Wenn der elektrische Feldvektor des Lichts gleichzeitig parallel bzw. senkrecht zur optischen Achse liegt, kommt es zu keiner Doppelbrechung. Diese beiden Fälle entsprechen beim IPS einem schwarzen Pixel.

■ **D:** Lichtweg und optische Achse stehen senkrecht zueinander. Der elektrische Feldvektor schließt mit der optischen Achse einen Winkel zwischen 0° und 90° ein (dargestellt ist 45°). Nun



nach Frank Giebelmann, Universität Stuttgart

kommt es zur Doppelbrechung. Aus dem einfallenden linear polarisierten Licht wird für den Betrachter dadurch elliptisch polarisiertes Licht. Die 45°-Situation entspricht beim IPS einem weißen Pixel (vorausgesetzt, die Polarisatoren sind um 90° gekreuzt). Sie erklärt prinzipiell auch, warum bei schrägem Betrachtungswinkel das schwarze Pixel einer TN-Zelle aufgehellt erscheint. Denn für die diffuse Hintergrundbeleuchtung gibt es in der TN-Zelle bei den gegebenen geome-

trischen Verhältnissen immer Lichtwege, die nicht parallel zu den optischen Achsen der Pixel verlaufen.

Das weiße Pixel eines TN-Displays lässt sich mit diesem Schema nicht erklären. Dort kommt es aufgrund der helixförmigen Ausrichtung der Vorzugsrichtung im Flüssigkristall zu einer Drehung des linear polarisierten Lichts um 90°. Möglich wird dies, wenn das Pixel deutlich höher ist als die Wellenlänge des einfallenden Lichts.