

HANSER



Leseprobe

Ulrich Leute

Optik für Medientechniker

Optische Grundlagen der Medientechnik

ISBN: 978-3-446-42384-8

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42384-8>

sowie im Buchhandel.

5 Bilderzeugung

Physikalische Pixel

Bisher wurden farbige Körper, Flächen, Linien und Punkte erzeugt, teilweise dann messtechnisch untersucht und farbmtrisch charakterisiert. Jetzt sollen aus diesen Elementen, insbesondere aus den Punkten, Bilder entstehen: Punkte sind jetzt **picture elements** = Pixel, hier verstanden als kleinste physikalisch-technologisch darstellbare Bildpunkte. Eine andere Pixel-Definition meint den kleinsten, von der Grafikkarte eines Computers gelieferten Punkt, der mit dem physikalischen Pixel nicht übereinstimmen muss. Sind z. B. die physikalischen Pixel größer als die gerechneten, weil die Auflösung zu groß ist (Beispiel 768×1024 auf einem 14"-Display), so werden die dargestellten Zeichen unscharf. Ist die Auflösung zu klein (480×640 auf 19"), so werden Zeichen stufig, ein gerechnetes Pixel besteht aus etlichen physikalischen.

In der folgenden Diskussion stehen Bildschirme am Anfang, denn Monitore, Fernsehgeräte und weitere Displays sind wohl mit Abstand die häufigsten bilderzeugenden Geräte; dann kommen Projektoren und digitale Kameras sowie Scanner. Schließlich die reizvolle Rarität der Bilderzeugung durch Holografie.

5.1 Bildschirme

Bildschirme als Direktsicht-Anzeige sind die wichtigste Schnittstelle Mensch-Computer und daher von großer Bedeutung für die Effektivität und Ergonomie von vielen Arbeitsplätzen – Bildschirmarbeitsplätze sind potenziell anstrengend bis schädlich für Augen und Gehirn, für Rücken und Gliedmaßen – bis hin zum „Mausarm“.

Lange Zeit und bis vor 2 oder 3 Jahrzehnten gab es bei nicht ganz simplen Displays praktisch nur eine Technologie, die herkömmliche CRT-Technologie (Kürzel-Erklärung vgl. 3.2.7 und 5.1.2). Doch bei wichtigen und seit den 1990er-Jahren massenhaft verkauften Produkten, v. a. Notebook und Mobiltelefon, war sie nicht einsetzbar – flach, klein und leicht war gefordert. Bei Fernsehgeräten überwog bis zum Ende des 20. und noch am Anfang des 21. Jahrhunderts CRT; erst in der zweiten Hälfte des ersten Jahrzehnts wurden Flachbildschirme wichtiger. Bei Computer-Monitoren überholten die LCDs (vgl. 5.1.3) schon etwas früher (2002 bzgl. Erlös, 2004 bzgl. Stückzahl). Diese Flüssigkristall-(Liquid Crystal)Displays sind die mit Abstand wichtigsten Flachbildschirme. Unter den anderen flachen Geräten spielen wohl Plasma Display Panels (PDPs) die größte Rolle; die zahlreichen weiteren Technologien deutlich kleinere, doch sind viele interessante neue Ansätze erkennbar. Alle werden hier sicher nicht erfasst werden, und die Einschätzungen hinsichtlich zukünftiger Bedeutung sind recht unterschiedlich und ändern sich auch schnell.

5.1.1 Kriterien

Optische Kriterien für Bildschirmqualität

Auge und Gehirn brauchen optische Qualität. Kriterien in diesem Bereich werden zuerst genannt:

- Maximale **Helligkeit**, anzugeben als Leuchtdichte in cd/m^2 ; die schwedische IT-Ergonomienorm TCO 03 (Tjänstemännens Centralorganisation) fordert für PC-Monitore mindestens $150 \text{ cd}/\text{m}^2$.
- **Kontrast**, hier gemeint Leuchtdichtekontrast, der nicht zu klein sein darf und über den Schirm gleichmäßig sein muss.

- **Auflösung**, ausgedrückt durch verschiedene Angaben:
Pixelzahl vertikal/horizontal (VGA 480 × 640, SVGA 600 × 800, XGA 768 × 1024, UXGA 1280 × 1600, QUXGA 2400 × 3200; alle für 4 : 3; HDTV 1080 × 1920 für 16 : 9); oder
Pixelichte (in ppi, per inch), **Pixelgröße**, manchmal auch **Zeilenzahl** pro Zoll (lpi, lines per inch).
- **Farbe**; hier gemeint ein möglichst großes Color Gamut, d. h., es sollen möglichst viele Farben der Farbtafel darstellbar und der Farbeindruck damit möglichst natürlich sein.
- **Geometrische Abbildungsqualität**; manche Anwendungen erfordern Verzerrungsfreiheit bis in die äußersten Ecken des Bildes, z. B. beim CAD (Computer Aided Design) im Maschinenbau.
- **Betrachtungswinkel**, also der Winkelbereich akzeptabler Leuchtdichte bei Betrachtung von der Seite bzw. von oben oder unten, angegeben als Gesamtwinkel z. B. rechts-links (< 180°, sehr gut wäre 170°).
- **Wenig Störungen durch Umgebungslicht**, vor allem wenn dieses hell ist oder in Strahlen auftrifft, die Reflexe verursachen. Manche Displays sollen in vollem Sonnenlicht einsetzbar sein. LCDs haben hier bekanntlich Schwächen.
- **Flimmerfreiheit** des Bildes; bei den meisten Displaytechnologien nicht ganz selbstverständlich.
- **Videotauglichkeit**; für viele Anwendungen gefordert ist die Fähigkeit zur scharfen **Darstellung auch schneller Vorgänge** (Bildwiederholffrequenz ≥ 85 Hz); wichtig ist insbesondere die Fähigkeit, schnelle Bildänderungen in Videospielen und Actionfilmen scharf – ohne Nachleuchten – darzustellen.
- Unempfindlichkeit gegen äußere **elektromagnetische Einflüsse**, also Felder und Wellen. Bei CRTs (vgl. 5.1.2) kann ein statisches oder niederfrequentes Magnetfeld das Bild verzerren bzw. zittern lassen (z. B. großer Lautsprecher mit Dauermagnet neben Fernseher, gut wahrnehmbares Flimmern unter einer 16,7-Hz-Bahnstromleitung). Dies gehört zur EMV zwischen Geräten, also zur elektromagnetischen Verträglichkeit.

EMV

Eine optische Forderung über eine längere Wirkungszeit ist geringe oder nicht vorhandene Empfindlichkeit des Schirms auf das **Einbrennen** lange stehender Bilder; sie schimmern bei geschädigten Bildschirmen durch später dargestellte Bilder wie das Wasserzeichen auf einer Banknote.

Nun zu den nichtoptischen Kriterien. Hier kann es weitere **EMV-Probleme** geben; die Aussendung von Störungen durch das Display soll andere Geräte nicht stören oder schädigen – und natürlich auch nicht den menschlichen Nutzer. Immerhin „bieten“ manche Technologien kräftige statische elektromagnetische Felder sowie solche im niederen und mittleren Frequenzbereich und dazu noch Röntgenstrahlung. Ergonomenormen wie TCO 03 und die Vorgänger geben dazu Grenzwerte an.

Kriterien zu EMV und EMVU (wie Umwelt)

Ökologisch wichtig ist stets der **Energieverbrauch**. Außer dem Absolutwert im Betrieb ist zu beachten, ob für vernünftigen praktischen Einsatz eine Stand-by-Schaltung erforderlich ist, die ja bekanntlich viel Strom frisst.

Kriterium Energieverbrauch

Weitere Kriterien werden von der jeweiligen Anwendung gefordert. Ist das Display stationär eingesetzt oder mobil, vielleicht sogar portabel, also bequem tragbar? In welcher Umgebung? Neben starken elektrischen Maschinen, in feuchter Umgebung, bei großer Kälte oder Hitze? Existiert eine Tastatur oder muss das Display auch die Kommunikation mit dem Nutzer übernehmen (Touchscreen)? Viele Kriterien ergeben sich aus solchen Fragen, einige seien genannt.

Weitere Kriterien je nach Einsatz

- **Bildgröße**; Bilder für mittlere Personenzahlen in mittelgroßen Räumen müssen groß sein, die Displays mancher Geräte (z. B. von Kameras) müssen aber relativ klein sein.

- **Tiefe** des Geräts; manchmal sind sehr flache Bildschirme angenehm, manchmal unbedingt notwendig (z. B. Laptop!).
- **Abmessungen und Gewicht**, v. a. bei mobilem Einsatz.
- Erforderliche **elektrische Spannung**; ist Netzanschluss notwendig oder kann auch mit Akkus gearbeitet werden.
- Elektrischer **Leistungsbedarf**, bestimmt v. a. durch die **Schirmeffizienz** (in Lumen pro Watt); wichtig v. a. bei Verwendung von Akkus.
- Empfindlichkeit gegen **Stöße** und gegen sonstige mechanische Risiken im mobilen Einsatz.

Relativ jung und zurzeit nur bei speziellen Anwendungen wichtig ist die Forderung nach **mechanische Flexibilität** des Displays; es soll in gewissem Maße verbiegbare sein. Man denkt an elektronische „Zeitschriften“ oder Displays in Textilien.

3-D Räumliches Bild

Keine besonderen Anforderungen stellen die meisten **3-D-Displays**, vor allem die 3-D-Fernsehgeräte. Die sollen ja stereoskopisches Sehen, also eine gewisse Tiefenwirkung des Bildes, ermöglichen. Bekanntlich beruht dieses räumliche Sehen darauf, dass das rechte und das linke Auge etwas verschiedene Bilder aufnehmen, was im Kopf in Perspektive umgerechnet wird. Einäugige sehen in diesem Sinne nicht räumlich (können aber aus der Größe bekannter Objekte auch auf Entfernung schließen). Die Bilder sind für das Gerät völlig normal, für den Betrachter aber Doppelbilder, die mit einer Filterbrille aufgespalten werden in ein Bild für das rechte und eins für das linke Auge. Was den räumlichen, also angenähert dreidimensionalen Effekt ergibt. Mit Farbfiltren – vor einem Auge rot, vor dem anderen grün – ist diese Brillentechnik viele Jahrzehnte alt.

Nur wenn sog. **Shutter-Brillen** (shutter = Verschluss, wie in einer Kamera, realisiert über Flüssigkristalle) eingesetzt werden, muss der Fernseher über ein Zusatzgerät verfügen, eine schnelle Verbindung zu der batteriebetriebenen Brille (Infrarot, Bluetooth): Er zeigt das Bild für das linke Auge genau dann, wenn der Verschluss vor dem linken Auge offen ist und vor dem rechten geschlossen. Einige Millisekunden später ist das rechte Auge dran und das linke abgedeckt.

5.1.2 CRT-Displays

Der „klassische“ Bildschirm ebenso wie das „klassische“ Fernsehgerät bedient sich zur Bildwiedergabe der **Kathodenstrahlröhre** (Cathode Ray Tube mit Kürzel CRT). Die Bezeichnung ist historisch: Bei Experimenten mit zwei unter hoher Gleichspannung stehenden Elektroden (= Metallkontakten) zur Untersuchung von Gasentladung oder Glühemission fand man einen Teilchenstrahl, der von der Kathode (= negative Elektrode) ausging und zur Anode (= positive Elektrode) hin beschleunigt wurde; hatte die Anode ein Loch, so trat der Strahl dort aus. Kurz vor 1900 wurden die Teilchen als Elektronen identifiziert – die Kathodenstrahlröhre ist also eine **Elektronenstrahlröhre**.

Elektronenstrahl im Vakuum

„Röhre“ erklärt sich so, dass ein Strahl aus den extrem leichten Elektronen in einem Gas sofort durch Stöße mit den Molekülen zerfasert würde (das Stickstoffmolekül ist beispielsweise über 50 000-mal schwerer als das Elektron). Elektronenstrahlen brauchen deshalb Vakuum, das durch Auspumpen einer Glasröhre erzeugt wird und sich dort nach Abschmelzen des Absaugstutzens jahrzehntelang hält. Ebenso dicht sind die ins Glas eingeschmolzenen elektrischen Durchführungen. Problematisch ist allerdings, dass (wegen des fehlenden Innendrucks) auf der Glaswand der Röhre die Kraft des äußeren Luftdrucks lastet, die pro cm² etwa dem Gewicht von 1 kg entspricht (Atmosphärendruck ca. 1 bar = 100 000 Pa = 100 000 N/m² = 10 N/cm²). Bei der Bildröhre

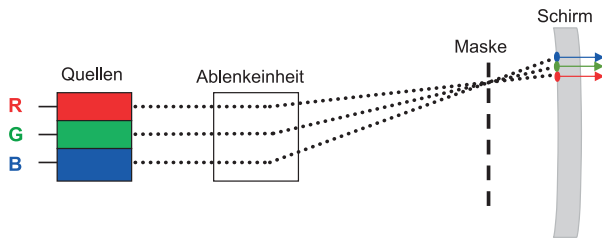


Abb. 5.1 Prinzip eines CRT-Bildschirms. In den Elektronenquellen werden Elektronenstrahlen erzeugt, deren Stärke von den RGB-Signalen bestimmt wird. Die Strahlen werden auf einen gewünschten Bildpunkt gelenkt und müssen alle drei dieselbe Öffnung der Maske treffen. Kurz dahinter treffen sie auf die eng nebeneinanderliegenden Leuchtstoffpunkte auf der Innenseite des Glasschirms. Dort wird Licht erzeugt, das zu der Farbe des Pixels gemischt wird.

eines großen Fernsehers kommen hier gewaltige Kräfte zusammen, die in sehr seltenen Fällen ja auch zu katastrophalem Versagen, also zu einer (nach innen gerichteten) Implosion führen können.

Um solche Kräfte aufnehmen zu können, besitzen CRT-Bildschirmröhren notwendigerweise eine dicke Glaswand. Sie sind daher schwer! Zudem halten perfekt ebene Glaswände der Belastung nur mit Mühe stand: der Schirm ist meistens leicht nach außen gewölbt – perfekt ebene Bilder sind dann nicht möglich. Oder er ist außen doch eben (Flat Screen) und dann sehr dick und sehr schwer.

Bilderzeugung mit der CRT – und zwar in Farbe – ist in Abb. 5.1 schematisch dargestellt. Zuerst sind Elektronenstrahlen zu erzeugen, und zwar für jeden Farbanteil R, G und B ein eigener. Dies erfolgt in den **Elektronenstrahl-Quellen** (guns). Eine Quelle besteht erstens aus der elektrisch beheizten Glühkathode, die mittels **Glühemission** Elektronen freisetzt, was erst bei 900 bis 1000 °C und dank einer besonderen Beschichtung möglich ist – normalerweise bleibt Strom ja in seinem Leiter! Dann muss ein Strahl geformt, in seiner Stärke eingestellt und mit viel Energie versehen werden, damit am Ende ausreichend Licht herauskommt. Dazu gibt es mehrere Elektroden auf verschiedenen elektrischen Spannungen; beispielsweise –100 V, dann +4500 V, dann knapp 20 000 (Monitor) bis 30 000 V (Farbfernseher).

Die Details werden hier genannt, um zwei Probleme einer CRT aufzuzeigen. Sie benötigt erstens eine **Heizung**, die im Betrieb dauernd Strom verbraucht. Beziehungsweise Zeit, wenn vom kalten Zustand aus die Glühkathodentemperatur erreicht werden muss. Man versucht, durch Stand-by- oder Energiesparschaltungen die Temperatur soweit abzusenken, dass der Stromverbrauch mäßig ist und trotzdem die Aufheizzeit noch akzeptabel. Dennoch ist der Verbrauch der heißen Glühkathode ein gewisser Nachteil des CRT-Prinzips. Ein zweiter liegt offensichtlich in den benötigten **Hochspannungen**, die eine aufwendige und relativ gewichtige Spannungsversorgung erfordern. Beide machen mobilen Einsatz mit Akkubetrieb fast unmöglich.

Die Ablenkeinheit steuert die Elektronenstrahlen auf den gewünschten Punkt des Schirms. Die Ablenkung erfolgt magnetisch; erzeugt wird das Ablenkkfeld durch stromdurchflossene Spulen, die natürlich auch wieder ein paar Watt elektrischer Leistung erfordern.

Die drei Elektronenstrahlen treffen sich in einem Loch der Lochmaske (dünnes Blech), die aus den ankommenden Strahlen schärfer berandete Strahlen mit kleinerem Durchmesser formt. In Abb. 5.2 ist die **ursprüngliche, veraltete, aber gut durchschaubare Anordnung** mit kreisrunden Löchern von knapp 0,3 mm Durchmesser und knapp 0,8 mm Abstand gezeigt. Die Maske befindet sich einige mm vor dem Glas der Vorderwand. Direkt auf diesem Glas sind Punkte aus Leuchtstoffen (im Slang auch „Phosphore“

CRT-Displays schwer

Bild meist nicht ganz eben

Bis 1000 °C und 30 kV !

Stromverbrauch

Hochspannung

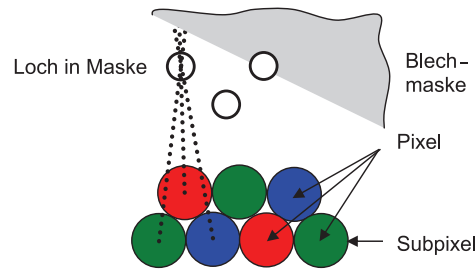


Abb. 5.2 Subpixel sind einzelne Leuchtstoffpunkte auf der Schirminnenseite, Pixel sind Tripel solcher Punkte.

Pixel, Subpixel

genannt, obwohl sie das Element Phosphor nicht enthalten) aufgetragen und zwar so, dass die R-, G- und die B-Phosphorpunkte ein Dreieck bilden. Horizontal sind die Punkte-Tripel zu Zeilen angeordnet (TV 625, HDTV 1125). Die Tripel spielen für die Bilderzeugung die Rolle der **Pixel**, die Leuchtstoffpunkte wären **Subpixel** (sub = unter).

CRT-Phosphore

Die Tripel sollen durch die 3 Elektronenstrahlen gleichzeitig zu Fluoreszenzstrahlung in Rot, Grün und Blau angeregt werden. Weil die Subpixel so eng nebeneinanderliegen, ergibt sich bei ausreichender Distanz zum Bildschirm im Auge eine **additive Mischfarbe**. Darstellbar sind die Farben in dem Dreieck innerhalb der Farbtafel, dessen Ecken durch die Leuchtstoffe definiert sind. Die in Abschnitt 3.2.7 genannten „Phosphore“ ermöglichen eine recht akzeptable, aber natürlich keineswegs vollständige Farbdarstellung:

Blau:	ZnS : Ag, Al	$x = 0,15$	$y = 0,06$
Grün:	ZnS : Cu, Al, Au	$x = 0,32$	$y = 0,60$
Rot:	Y_2O_2S : Eu	$x = 0,66$	$y = 0,33$

Im Leuchtstoff bzw. im Glas werden die Elektronen abgebremst. Dabei entsteht (wie bei jeder beschleunigten Ladung, und Bremsen ist negative Beschleunigung) Strahlung; diese **Bremsstrahlung** ist wegen der hohen Elektronenenergie von 20 bis 30 keV **Röntgenstrahlung!** Ein weiterer Grund für eine dicke Vorderscheibe, die sogar aus schwerem Bleiglas bestehen muss (Glas mit reichlich Bleioxid), um das Austreten der gefährlichen Röntgenstrahlung sicher zu verhindern. Weil man am Bildschirmarbeitsplatz näher an der Scheibe sitzt als beim Fernseher, wurde die Beschleunigungsspannung und damit die Röntgenintensität beim Monitor auf unter 20 kV reduziert.

Schließlich ist der Abtransport der von den Elektronenstrahlen angelieferten elektrischen Ladung zu ermöglichen. Dazu dient eine sehr dünne Aluminiumschicht auf der Innenseite der Leuchtstoffschicht, die von den schnellen Elektronen leicht durchdrungen wird und auf Anodenpotenzial liegt. Man spürt ihr starkes **elektrisches Feld** deutlich, wenn man den Handrücken an die Vorderscheibe hält.

Aus leuchtenden Pixeln wird ein **Bild**, wenn man die Elektronenstrahlen zeilenartig über den Schirm führt (rastern, scanning); bei jedem Bildpunkt werden die Strahlstärken an die darzustellenden Farben angepasst.

Weiterentwicklungen der geschilderten Bilderzeugung sind z. B. Masken mit Schlitzen statt Löchern (Trinitron-Röhre), dazu Phosphorstreifen statt -punkten; ferner Maßnahmen zur Kontrastverbesserung (Black Matrix usw.).

Vorteile CRT

Die CRT-Technik weist im Vergleich zu anderen Display-Technologien durchaus zahlreiche **Vorteile** auf. Sehr gut sind Farbdarstellung, Schärfe, Leuchtdichte, Kontrast, Bildwinkel, Schirmeffizienz und Blickwinkel; hervorragend sind Preis und Lebensdauer.

Nachteile

Aber sie hat auch **Nachteile**:

- Nicht ganz kleine Leistungsaufnahme;
- Hochspannungsversorgung;
- Bautiefe, Volumen, Gewicht;

- Empfindlichkeit gegen äußere Magnetfelder (die ebenso zur Strahlablenkung führen würden wie die der Ablenkheit, v. a. bei den nicht so energiereichen Elektronenstrahlen in Monitoren);
- Abstrahlung elektromagnetischer Felder, also Elektrosmog (minimal bei Einhaltung der Vorschrift TCO 99);
- Flimmern (minimal bei Einhaltung der Vorschrift TCO 03);
- Einbrennen lange stehender heller Bilder (daher Bildschirmschoner);
- oft Verzeichnungen am Bildrand (schlecht bei höchsten geometrischen Anforderungen im CAD-Bereich).

Die ersten beiden Punkte schließen portablen und beinahe auch mobilen Einsatz aus, die drei Begriffe in der dritten Zeile – Maße und Gewichte – sind aber wohl der Hauptgrund für das Abnehmen des CRT-Anteils in der Display-Produktion.

Abschließend sei bemerkt, dass **monochrome Displays**, also z. B. Schwarz-Weiß-Geräte, mit nur einer Elektronenstrahlquelle arbeiten, ihr Steuergitter die Helligkeit einstellt, keine Lochmaske benötigt wird und der Schirm flächig mit Leuchtstoff beschichtet sein kann.

SW-Gerät

5.1.3 Flüssigkristall-Displays

Erfolgreiche Alternative zu den CRT-Displays sind die **LCDs**, also **Liquid Crystal** bzw. Flüssigkristall-**Displays**. Der widersprüchlich klingende Ausdruck „flüssigkristallin“ bezeichnet einen Zustand, den gewisse Substanzen in einem bestimmten mittleren Temperaturbereich einnehmen können, wenn sie aus steifen, stäbchenartigen Molekülen bestehen. Er ist eine Zwischenphase (auch Mesophase genannt) zwischen dem geordneten Kristall und der isotropen, alle Richtungen erlaubenden Flüssigkeit, gezeigt in Abb. 5.3. Als Flüssigkristall ist das Material schon fließfähig, besitzt aber noch eine gewisse Ordnung im Sinne fast paralleler Ausrichtung der Stäbchen. Diese einfachste flüssigkristalline Ordnung heißt **nematisch** von griechisch *nema* = Faden; es gibt aber noch weitere, geometrisch etwas kompliziertere flüssigkristalline Ordnungen (smektisch und cholesterisch – am Cholesterin wurde flüssigkristalline Ordnung schon 1888 entdeckt!).

Nematischer Flüssigkristall



Abb. 5.3 Substanz aus stäbchenartigen, steifen Molekülen: Links bei tiefer Temperatur kristallin; rechts bei hoher Temperatur isotrop flüssig; Mitte in einem Temperaturbereich dazwischen nematisch flüssigkristallin.

Genutzt werden in Displays die Eigenschaften, dass die Stäbchen sowohl an **vorbehandelten Oberflächen** wie auch durch **elektrische Felder** ausgerichtet werden können. Umgekehrt beeinflussen sie aber auch elektrische Felder! In Abb. 5.4 oben ist die linke Glasscheibe (T) so behandelt, dass die Stäbchen horizontal liegen, die rechte aber so,

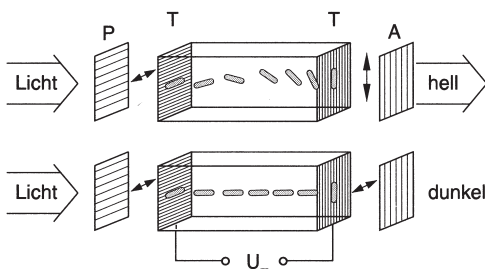


Abb. 5.4 Prinzip der Twisted-Nematic-Zelle als Lichtventil, P Polarisator, A Analysator, T transparente Elektroden mit auf der Innenseite vorbehandelten Oberflächen.

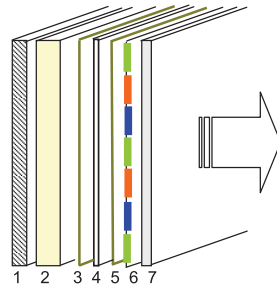


Abb. 5.5 Schichtaufbau eines LCDs. 1 Träger, 2 Backlight, 3 Polarisationsfolie, 4 LC-Elemente, 5 Polarisationsfolie, 6 Farbfilter, 7 Frontglasplatte.

dass sie vertikal stehen. Bei dem relativ geringen Abstand zwischen den beiden T-Scheiben – typisch um $10\ \mu\text{m}$ – ändert sich die Stäbchenorientierung schraubenartig. Besitzt nun Licht von links nach Polarisation in der Polarisatorfolie P einen horizontalen E -Feld-Vektor, so wird dieser von den Stäbchen zwischen den beiden T-Scheiben mitgedreht, ist rechts vertikal orientiert und kann den Analysator A passieren. Die Zelle ist ohne Spannung lichtdurchlässig!

LC-Zelle nicht selbstleuchtend sondern Lichtventil

Nun sind die Scheiben mit einer durchsichtigen, elektrisch leitenden Schicht, meist Indium-Zinn (Tin)-Oxid (ITO), versehen, stellen also transparente Elektroden dar. Legt man an sie eine kleine Gleichspannung (um 1 V), so werden die Stäbchen in gerader Linie ausgerichtet und können den E -Vektor des Lichts nicht mehr drehen. Er bleibt horizontal, das Licht wird vom Analysator nicht durchgelassen. Zwischenzustände mit kleineren Spannungen sind möglich und liefern Halbtöne. Flüssigkristallzellen nach Art der beschriebenen **Twisted-Nematic-Zelle** (TN) sind elektrisch betätigte Lichtventile, keine eigenständigen Lichtquellen!

Eine mögliche Lichtquelle ist das Umgebungslicht. Wird ganz rechts in Abb. 5.4 ein Spiegel montiert, so fällt in der oberen Ventilstellung das Licht wieder zurück, und das Element erscheint einem Betrachter auf der linken Seite hell; in der unteren ist es dunkel. Für manche Anwendungen (billige Uhren) reicht dies aus; ein Flachbildschirm beispielsweise braucht aber eine eigene Lichtquelle. Die würde jetzt links zu platzieren sein, der Betrachter rechts. Dies führt zu Schichtkonstruktionen wie in Abb. 5.5 oder, vereinfacht, Abb. 1.2.

Backlight

Die Lichtquelle für Monitore, Fernsehgeräte, Handys usw. ist eine Hintergrundbeleuchtung für den Schirm, ein **Backlight**. Es muss erstens **flächig** weißes Licht abgeben, also mit gleicher Leuchtdichte über die ganze Schirmfläche. Und zweitens muss es gutes **weißes** Licht sein, also ein breites und nicht zu löchriges Spektrum besitzen. Und natürlich darf das Backlight nur wenig zur Bildschirmdicke beitragen.

CCFL

Anfangs waren die Lichtquellen sehr dünne Leuchtstoffröhren (vgl. 3.2.7), also Gasentladungslampen. Weil zum Zünden der Gasentladung keine Vorheizung erwünscht war (um Strom zu sparen!), werden sie als **C**old **C**athode **F**luorescence **L**amp, CCFL, bezeichnet. Rechts und/oder links der Schirmfläche montiert wird ihr Licht durch Licht leitende und streuende Folien auf die Fläche verteilt. Die nächste Entwicklung waren flache Gasentladungslampen (FFL, erstes F wie Flat) in der Größe des Schirms, die „von selbst“ den ganzen Schirm ausleuchten. Vorteilhaft war zudem, dass von leuchtendem Quecksilberdampf auf leuchtendes Xenon-Gas übergegangen werden konnte, das ungiftig ist.

FFL

Backlight OLED LED

Ein anderer Weg zur Realisierung des Backlights sind leuchtende **OLED-Folien** (vgl. 3.2.9), die ganz dünne Schirme erlauben. Steht Qualität der Farbwiedergabe im Vordergrund, so ist eine gute Lösung ein **Backlight aus LEDs** (vgl. 3.2.9). Möglich sind weiße LEDs im Sinne von blauen LEDs plus Fluoreszenzfarbstoffen (Phosphoren) im Gehäuseharz, am besten mehrere Sorten für ein volleres Spektrum (siehe Abb. 3.34). Oder man ordnet rote, grüne und blaue LEDs nebeneinander an. Manchmal sind die