

INHALTSVERZEICHNIS

I	Einleitung	2
II	Die Anzeigetechnologien	2
II-A	Vor LCD und LED - Die Nixie Tubes	2
II-B	Liquid Crystal Display (LCD)	3
II-B1	Physikalische Eigenschaften der Flüssigkristalle	3
II-B2	Beleuchtung	3
II-B3	Anfänge	4
II-B4	Dynamic Scattering Mode (DSM)	4
II-B5	Twisted Nematic Zellen (TN)	4
II-B6	Passive Matrix Addressing	6
II-B7	Weiterentwicklung der TN Zelle - Super Twisted Nematic (STN)	7
II-B8	DSTN, FSTN und TSTN	8
II-B9	Active Matrix Addressing oder TFT-LCDs	8
II-B10	Weitere Zellentypen, In Plane Switching (IPS) und Vertical Alignment (VA)	8
II-C	Light Emitting Diode (LED)	9
II-C1	Physikalisches Grundprinzip	9
II-C2	Entwicklungsschritte und Eigenschaften	9
II-C3	Organic Light Emitting Diode (OLED)	10
II-C4	Laserdioden	11
III	Vergleich der Anzeigetechnologien und Prognose	11
	Literatur	12

Diode and LCD Technology Advances

Benjamin Aschenbrenner

Zusammenfassung

Die meisten unserer elektronischen Helfer geben irgend ein visuelles Feedback, entweder mit LEDs oder einem LCD, an den Benutzer. Dieser Bericht gibt eine Übersicht auf die Fortschritte in den letzten Jahrzehnten. Begonnen wird hierbei mit den *nixie tubes* und weiter geht es mit *LEDs* und *OLEDs*. Neben den Dioden wird auf *LCDs* und damit assoziierte Technologien wie TFT eingegangen. Zudem werden ausgehend von der Funktionsweise dieser Anzeigeelemente Unterschiede und Vorteile aufgezeigt.

I. EINLEITUNG

In den letzten Jahrzehnten haben sich viele neue Formen von Anzeigeelementen entwickelt, die mit ihren speziellen Eigenschaften zahlreiche *consumer electronics* Geräte stark verändert oder deren Entwicklung überhaupt erst ermöglichten. So müssten wir, um nur ein Beispiel zu nennen, ohne Flüssigkristallanzeigen und Leuchtdioden vermutlich komplett auf handliche Notebooks, Bildschirme und Handys verzichten. In dieser Arbeit werden die Entwicklungsschritte der LCD und LED-Technologien sowie deren spezielle Eigenschaften aufgearbeitet um auf dieser Grundlage der Frage nachzugehen welche Rolle diese Technologiezweige in Zukunft spielen könnten und welche Positionen im Vergleich untereinander wahrscheinlich sind. In diesem Zusammenhang wird auf den jeweiligen historischen Kontext, grundlegende physikalische Effekte und Vor- und Nachteile eingegangen.

II. DIE ANZEIGETECHNOLOGIEN

Nach einer kurzen Einführung in die Funktionsweise und Eigenschaften der Nixie Tubes wird im Folgenden zunächst auf die LCD Technologie eingegangen. Basierend auf den Grundprinzipien der Flüssigkristalle werden die wichtigsten Entwicklungsschritte der LCDs chronologisch geordnet beschrieben. Hierbei wird ebenfalls jeweils auf Funktionsprinzip und Eigenschaften eingegangen. Den LCDs schließt sich in ähnlicher Weise die Beschreibung der Leuchtdioden an. Hier wird in Unterpunkten auf wichtige Entwicklungen sowie auf die verwandte Technologie der OLEDs eingegangen.

A. Vor LCD und LED - Die Nixie Tubes

Nixie (Numeric Indicator eXperimental) Röhren ermöglichen die Anzeige einer beschränkten Anzahl von Zeichen. Es handelt sich genauer um eine mit Neon (oder anderen Gasen) gefüllte Röhre, in der Kathoden mit der Form des darzustellenden Zeichens eingelassen sind. Im gängigsten Fall sind dies die Ziffern 0 bis 9. Um alle Kathoden ist eine gemeinsame Anode platziert. Wird nun zwischen einer Kathode und der Anode eine Gleichspannung

angelegt, so entsteht um die gewählte Kathode herum ein orange-rotes Leuchten und der Betrachter erkennt das dargestellte Zeichen. Dieser Effekt beruht auf dem Prinzip der Glimmentladung und war schon um 1920, Jahrzehnte vor der Produktion der ersten Nixies im Jahr 1954 durch die Burroughs Corporation bekannt. Allerdings eröffneten sich erst in den 50er Jahren größere Anwendungsmöglichkeiten vor allem durch die voranschreitende Verbreitung von Digitalcomputern. Bei einer Glimmentladung werden aus der Kathode Elektronen freigesetzt und durch ein elektrisches Feld in Richtung Anode beschleunigt. Haben die Elektronen auf dem Weg von Kathode zur Anode ausreichend kinetische Energie aufgenommen treten sie in Wechselwirkung mit den in der Röhre enthaltenen Gasteilchen und regen diese zum Aussenden von Licht an. Die Nixies arbeiten mit kalten Kathoden, dies bedeutet, dass es keine starke Aufheizung der Kathoden erfolgt um sie zum Emittieren von Elektronen anzuregen. [1] Das hat zur Folge, dass die Betriebstemperatur niedrig gehalten werden kann aber es werden auch relativ hohe Spannungen von 180-200 V nötig. [2] Neben letzteren Aspekt haben die Nixies wegen der räumlichen Anordnung der Kathoden einen stark beschränkten Zeichensatz und benötigen viel Platz. Zudem ergaben sich aufgrund der verwendeten Materialien hohe Stückpreise. Somit waren sie nicht die geeignete Wahl für kleinere, in Massen produzierte Geräte wie z.B batteriebetriebene Taschenrechner oder Armbanduhren.

B. Liquid Crystal Display (LCD)

1) *Physikalische Eigenschaften der Flüssigkristalle:* Flüssigkristalle sind Substanzen die Eigenschaften von Kristallen aufweisen obwohl sie sich in einem flüssigen oder viskosem Zustand befinden. Modellhaft kann man sich die Form der einzelnen Flüssigkristallmoleküle als längliche Stäbchen veranschaulichen. Abhängig von der Umgebungstemperatur lassen sich verschiedene Phasen unterscheiden in denen sich das jeweilige LC-Material gerade befindet. Für eine einzelne Phase sind dabei die Ausrichtung der Flüssigkristallmoleküle und die Viskosität charakteristisch. In Displayapplikationen ist die sogenannte *nematische* Phase entscheidend. In dieser sind die Stäbchen überwiegend parallel ausgerichtet und sind noch relativ leicht beweglich.

Diese Beweglichkeit ist wichtig, denn unter Einfluss von elektrischen Feldern lässt sich die Ausrichtung der Stäbchen steuern. Hierbei unterscheidet man grundlegend zwei Arten von Flüssigkristallmolekülen, den p-Typ und den n-Typ, wobei die p-Typ Stäbchen sich parallel und n-Typ senkrecht zu den Feldlinien ausrichten. Während erste Anwendungen auf den n-Typ stützen sind war für heutigen Displays vor allem die Entwicklung von p-Typ Flüssigkristallen entscheidend.

2) *Beleuchtung:* Da die Flüssigkristalle selbst kein Licht emittieren, sind alle LCDs auf eine separate Lichtquelle angewiesen. Dies kann entweder eine direkt im Display verbaute Lichtquelle (transmissives Display) sein oder es wird das von der Umgebung einfallende Licht genutzt (reflektives Display). Von letzterem Typ sind beispielsweise die meisten Taschenrechneranzeigen. Für beide Versionen existieren jedoch Problembereiche, wenn nämlich ein transmissives Display in eine sehr helle Umgebung gebracht wird, wirken die Farben ausgewaschen und Kontraste gehen verloren. So sind beispielsweise die transmissiven Laptopdisplays unter Sonneneinstrahlung schwer abzulesen. Umgekehrtes gilt für die reflektiven Displays, sie sind in lichtschwachen Räumen benachteiligt. Aus diesem Grund

entwickelt sich auch eine Mischform, die transflektiven Displays. Hierbei sind einige Pixel reflektiv und andere transmissiv. Zu welchen Anteilen diese Aufteilung von reflektiven und transmissiven Bereichen geschieht, hängt von der jeweiligen Anwendung ab.

3) *Anfänge*: Die Entdeckung von Flüssigkristallen für Anzeigeelemente und die Entwicklung darauf basierender Technologien für ein erstes marktreifes Display war ein sehr langer Prozess. Im Wesentlichen begann es im Jahr 1956, als James L. Fergason zusammen mit anderen Wissenschaftlern bei *Westinghouse Electric* die optischen Eigenschaften von Flüssigkristallen untersuchte. 1958 entwickelte er eine erste wichtige Anwendung -Flüssigkristalle die in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur ihre Farbe ändern. [3] Aufgrund von Forschungsergebnissen von Richard Williams im Jahr 1962, wurden erste Effekte der Flüssigkristalle unter Einwirkung elektrischer Felder sichtbar. Williams beobachtete, dass die Lichtdurchlässigkeit von Flüssigkristallen unter dem Einfluss von elektrischen Wechselstrom- als auch Gleichstromfeldern ab einer gewissen Schwellenspannung sprunghaft abnimmt und gleichzeitig lieni-förmige Muster entstehen. Um diesen Effekt zu erzielen waren jedoch relativ hohe Spannungen, 1300 V/cm^2 sowie Temperaturen um 125 C nötig. [2]

4) *Dynamic Scattering Mode (DSM)*: Inspiriert von Williams Experimenten wurde das erste eigentliche LCD von Wissenschaftlern George H. Heilmeyer, Louis A. Zanoni und Luke A. Barton der RCA Laboratories entwickelt. Sie fanden n-Typ Flüssigkristalle die, angeordnet zwischen zwei transparenten Elektroden, klar und durchsichtig waren. Legten sie nun aber eine hinreichend hohe elektrische Gleichspannung zwischen den Elektroden an, wurde das einfallende Licht milchig weiß reflektiert. Je stärker das Feld desto mehr Licht wurde reflektiert. Gegeben einen schwarzen Hintergrund war es nun möglich mehrere Graustufen darzustellen. Diesem Phänomen zugrunde liegend ist der Carr-Helfrich Effekt. Grundlegend beschrieben heißt das, dass die einzelnen stäbchenförmigen LC Moleküle durch das stärker werdene elektrische Feld in Rotation versetzt werden und das einfallende Licht zerstreuen. DSM wurde als Anzeigetechnologie 1968 von RCA offiziell vorgestellt unter anderem als Implementierung in einer digitalen Uhr. Als alphanumerische Anzeige bot es gegenüber den Kathodenstrahlern einige Vorteile wie niedriges Gewicht, flache kompakte Bauweise und niedrigen Energieverbrauch. Als Beispiel um diese Vorteile zu illustrieren, sei der erste LCD Taschenrechner erwähnt. Er wurde von Sharp gebaut und hatte dank dem DSM LCD und neuen getakteten CMOS Schaltungen einen 9000 mal geringeren Energieverbrauch als die bisherigen Rechner. [2]

5) *Twisted Nematic Zellen (TN)*: TN ist das Verfahren, welches die meisten heutigen LCDs implementieren. Die Grundidee dazu wurde von W. Helfrich und Martin Schadt weshalb solche Zellen auch als Schadt-Helfrich-Zelle bezeichnet wird. Unabhängig dazu wurde quasi zeitgleich die selbe Zelle von J.F. Fergason entwickelt. Um eine einfache TN Zelle zu konstruieren (Abbildung 1) werden neben zwei Glassubstratplatten zwischen denen sich p-Typ Flüssigkristallsubstanz befindet, zwei Polarisationsfilter benötigt. Zudem müssen die nach innen gerichteten Oberflächen der Substratplatten derart graviert sein, dass zueinander parallele mikroskopische Rinnen vorhanden sind. In diesen Rinnen setzen sich die stäbchenförmigen LC Moleküle fest. Die Außenflächen sind mit transparentem und leitendem Elektrodenmaterial beschichtet. In der Praxis wird dazu häufig Indiumzinnoxid (ITO - Indium tin

oxide) verwendet. Wie im Abschnitt physikalische Eigenschaften beschrieben richten sich in der nematischen Phase die einzelnen LC Moleküle parallel aus. Setzt man nun aber die Glassubstratplatten derart übereinander, sodass die Ausrichtung der eingravierten Rinnen um 90° verdreht ist, so werden die dazwischenliegenden Ketten von LC-Molekülen gezwungen sich als 90° verdrehte Helixstrukturen auszurichten. Die Stäbchen am Ende einer solchen Kette verlaufen dabei parallel zu den Rinnen der Substratplatte. Werden die Polarisationsfilter außen an die

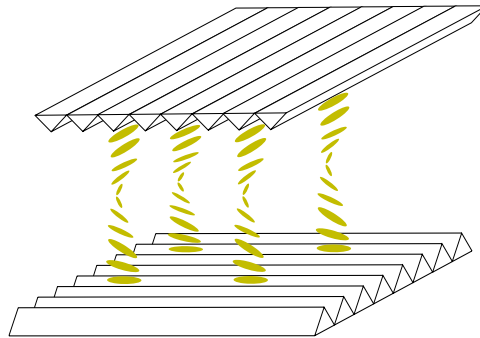


Abbildung 1. Figure TN-Grundstruktur

Substratplatten und parallel zu deren Rinnen gesetzt ergibt sich bei einfallendem Licht nun idealisiert betrachtet folgender Effekt. Das diffuse Licht der Beleuchtung trifft auf den ersten Polarisationsfilter und dieser polarisiert das Licht parallel zu den Rinnen der Substratplatte. Das bedeutet genauer, dass nur Lichtwellen den Polarisator passieren welche in den Ebenen laufen, die orthogonal zur Substratplatte und parallel zu deren Rinnen liegen. Hat das Licht den ersten Polarisator durchlaufen wird nun durch die Helixketten der LC-Moleküle die Polarisation des Lichts geändert. Eine Ebene in der Lichtwellen nach dem ersten Polarisator lagen sind jetzt nach durchlaufen eines 90° Helix idealer Weise um 90° gedreht. Diese Drehung erfolgt entlang der Längsachse eines Helix. Der zweite Polarisationsfilter, wird auch als Analysator bezeichnet, lässt in dieser Konfiguration das Licht ungehindert ausströmen. (Abbildung 2) Beim Anlegen einer elektrischen Spannung (Abbildung 3) zwischen den Elektroden verändern die verwendeten p-Typ LC-Moleküle ab einer gewissen Schwellenspannung ihre Ausrichtung und die Helixstruktur geht verloren. Folglich wird die Polarisationsrichtung nach dem Polarisator nicht mehr rotiert und der Analysator blockiert das Licht.

Da eine solche Zelle weißes Licht ohne angelegte Spannung passieren lässt, bezeichnet man sie auch als *normally white* Zelle. Richtet man die Polarisationsfilter sowie die gravierten Glassubstratplatten parallel aus wird eine *normally black* Zelle realisiert. Die heutigen TN Displays werden aber praktisch ausschließlich *normally white* gebaut. Der Grund dafür liegt darin, dass die Hintergrundbeleuchtungen weißes Licht emittieren, die absolute Lichtundurchlässigkeit der *normally black* Zellen aber nur für bestimmte Wellenlängen gegeben ist. Also wäre bei schwarz darzustellenden Bildern, das Display noch in störendem Maße leuchtend. Die TN Technik bietet gegenüber dem DSM deutliche Vorteile im Bereich der Reaktionszeit und Energieaufnahme. Allerdings ergeben sich auch Probleme, wie ein eingeschränkter Blickwinkel. Entfernt man sich von der optimalen 90° Aufsicht nimmt die Helligkeit deutlich ab. Um dem entgegenzuwirken wurden vor allem andere Winkel bei der Gravur der Substratplatten

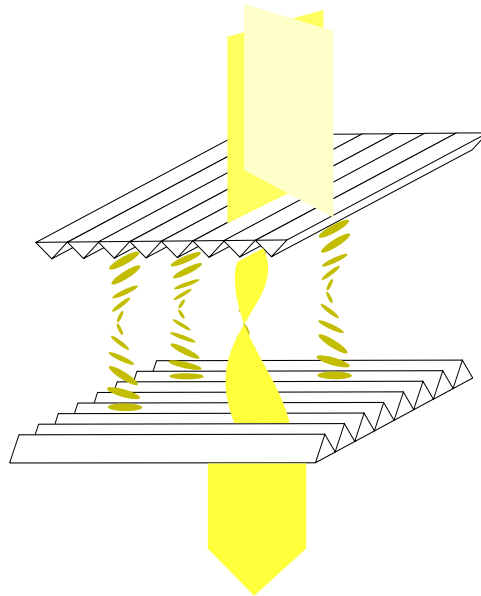


Abbildung 2. Figure TN-Grundstruktur mit Licht

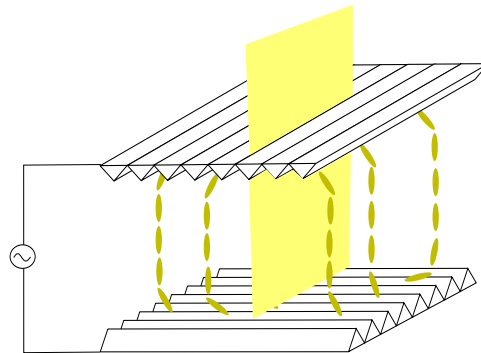


Abbildung 3. Figure TN-Grundstruktur (normally white) mit angelegter Wechselspannung und Lichteinfall

gewählt, sodass die Helligkeit in vertikaler und horizontaler Richtung gleichmäßig variiert, das Problem selbst wurde damit jedoch nicht eliminiert. Die TN-Zellen sind für viele Anwendungen wie Taschenrechner und Armbanduhren aus den vorher genannten Gründen gut geeignet. Bei diesen Anwendungen werden die anzuzeigenden Zeichen in der oft durch einzelne Segmente dargestellt. Ein Beispiel hierfür ist die LC 7-Segmentanzeige. Hierbei wird jedes einzelne Segment von der Steuerelektronik direkt mit eigenen Leitungen angesprochen. Es ergibt sich jedoch ein Problem wenn höher aufgelöste Bilder dargestellt werden sollen, denn es ist ab einer gewissen Pixelzahl sehr umständlich für jedes Pixel eigene Leitungen zu Steuereinheit zur Verfügung zu stellen.

6) *Passive Matrix Addressing*: Eine erste Antwort darauf sind die Passiv Matrix Displays. Bei diesem Typ von Displays wird im einfachen Fall jedes Pixel über eine Zeilenleitung und Spaltenleitung adressiert. Insgesamt gibt es bei $n * m$ Pixeln n Zeilenelektroden und m Spaltenelektroden, die sich im typischen Matrixschema kreuzen. Die Zeilenelektroden werden ferner im Multiplexverfahren durchlaufen. In der gerade selektierten Zeile werden dann für die Pixel, die dunkel erscheinen sollen, die Gegenelektrode mit einem Potential belegt, sodass zwischen

den Elektroden eine ausreichende Potentialdifferenz besteht, denn dann wird der Lichtfluss durch die TN-Zelle beschränkt. Für die hell darzustellenden Pixel muss die Spaltenelektrode deart belegt sein, dass die Potentialdifferenz klein ist. Da die einzelnen Zeilen nacheinander durchlaufen werden muss die Frequenz mit der alle Zeilen einmal durchlaufen werden ausreichend hoch sein. Denn ist sie zu klein ändern die LC-Moleküle ihre Ausrichtung und der Betrachter sieht ein Flackern. Auf das menschliche Auge bezogen, sollte die Frequenz also mindestens 50 Hz betragen. Zwar liegt die zeitliche Auflösung des Menschlichen Auges um 60 Hz aber die LC-Moleküle richten sich etwas träge in ihre ursprüngliche Position aus.

7) *Weiterentwicklung der TN Zelle - Super Twisted Nematic (STN)*: Neben dem TN Mode bei denen die Helixrotation 90° beträgt gibt es auch den Super Twisted Nematic (STN) Mode. Der Unterschied besteht darin, dass die Polarisation des Lichtes im Idealfall um 270° gedreht wird, dies wird analog zum TN Mode realisiert nur das, die LC-Molekülketten einen 270° Helix bilden. Die Schwellenspannung bei der die Lichtdurchlässigkeit abnimmt ist zwar etwas höher als im TN Mode, trotzdem wird die maximale Verdunklung der Zeller schneller erreicht, d.h. die Steigung der Spannungs/Lichtdurchlässigkeits Kurve ist bei STN nahezu senkrecht, nachdem die Grenzspannung überschritten ist.

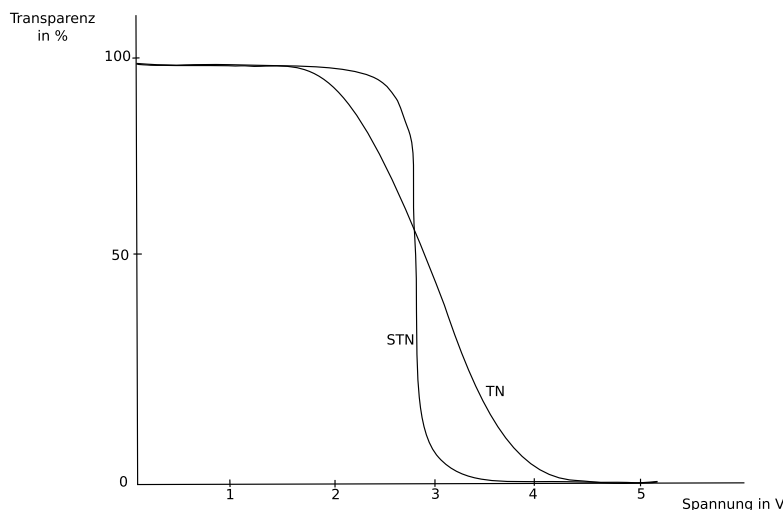


Abbildung 4. Lichtdurchlässigkeit einer TN und STN Zeller im Vergleich

Der STN Mode hat gegenüber TN Vorteile wie eine noch bessere Energieeffizienz sowie höhere Kontrastwerte. Die Energieeffizienz folgt aus der niedrigeren Spannung, bei der maximale Verdunklung für eine Zelle erreicht wird. Die höheren Kontrastwerte hängen mit den stärker verdrehten LC-Molekülketten zusammen. Aufgrund dieser stärkeren Verdrehung folgt aber gleichzeitig eine höhere Reaktionszeit bei angelegter Spannung als dies bei TN Modulen der Fall ist. So ergeben sich Reaktionszeiten um 200ms, während ein normales TN Panel Werte um 50ms aufweist. [2] Zudem besteht ein weiteres Problem, nämlich aufgrund der vorher beschriebenen, sehr steilen Änderung der Lichtdurchlässigkeit zur Spannung folgt, dass es schwer ist genügend Graustufen darzustellen, da der Wechsel der Zustände Pixel an und Pixel aus quasi stufenlos aufeinanderfolgen. Aufgrund dieser Nachteile war der TN Mode prinzipiell ungeeignet um in größeren Displays mit bewegten Bildern implementiert zu werden.

8) *DSTN, FSTN und TSTN*: Basierend auf dem ursprünglichen STN Prinzip wurde die *Double Twisted Nematic Mode* (DSTN) Technologie entwickelt. Sie realisiert grundlegend zwei übereinandergelagerte STN Zellen wobei die Roationsachse gegensätzlich ist. So konnten zwar gegenüber STN der Kontrast verdreifacht und der Blickwinkel um den Faktor 1.6 verbessert werden, [4] allerdings erwiesen sich DSTN Displays als schwer und aufwendig zu produzieren. So wurden sie schnell verdrängt als spezielle Folien, die auf Vor- und Rückseite normaler STN Zellen angebracht wurden ähnliche Verbesserungen brachten, bei gleichzeitiger Gewichts- und Kostenminimierung. Auf diesen Folien basierende Technologien heißen Film-compensated (FSTN) und Triple Super Twisted Nematic (TSTN). Allgemein bezieht sich der Begriff STN bezogen auf aktuelle Implementierungen in der Regel auf eine der beiden letztgenannten Entwicklungen. Als Anwendungen kommen sie heute vorallem im Bereich der mobilen Geräte mit kleinem Display zum Einsatz.

9) *Active Matrix Addressing oder TFT-LCDs*: Als Thin Film Transistors (TFTs) werden Transistoren bezeichnet die direkt auf das Glassubstrat eines LCDs aufgebracht sind. So hat bei einem TFT LCD jedes Pixel eigene Transistoren. Die dann vorhandenen Transistorarrays werden dann Zeile für Zeile adressiert. Dabei sind alle Gates der Pixeltransistoren einer Zeile über eine gemeinsame Adressleitung verbunden. Über separate Sourceleitungen wird dann die individuelle Datenspannung jedes Pixels angelegt und an am Drainausgang verbundene Kondensatoren gelegt. Diese Seite des Kondensators ist auch mit der Pixelelektrode verbunden, die andere Seite liegt an einer gemeinsamen Elektrode. Nach dem die Kondensatoren auf die spezielle Datenspannung gebracht wurden werden die Gates der nächsten Zeile geschaltet. Da nun aber die Transistoren der vorigen Zeile wieder hochohmig sind, bleibt die Ladung lange genug erhalten um die Datenspannung aufrecht zu erhalten bis der nächste *refresh* erfolgt. Somit ist es möglich auch größere Displays mit höheren Auflösungen zu realisieren, als dies mit einer passive Matrix möglich wäre. Gleichzeitig ist es so einfach differenzierte Datenspannungen für jedes Pixel festzulegen ohne dass die Kapazitäten benachbarter Pixel beeinflusst werden. [5] Aus diesem Grund werden in den meisten Displays bis zu einer Größe von 19 Zoll TN Zellen verbaut, da sie somit gut steuerbar sind. Zudem sind auch die schnelle Reaktionszeit und niedrigen Kosten begünstigende Faktoren für den Einsatz von TN Zellen. Um verschiedene Farben darstellen zu können werden in den Displays meist pro Pixel drei Farbfilter, Rot, Grün und Blau nebeneinander angeordnet. Hinter jedem Filter befindet sich eine eigene, direkt adressierbare LC-Zelle sodass für jede Grundfarbe die Intensität steuerbar ist.

10) *Weitere Zellentypen, In Plane Switching (IPS) und Vertical Alignment (VA)*: Wie beschrieben weisen TN und STN Displays einen recht kleinen Blickwinkel auf. Dieses Problem besteht bei IPS und VA Zellen so gut wie gar nicht und es können Blickwinkel bis fas 180° erreicht werden. Die IPS Zellen sind ähnlich zu den TN Zellen aufgebaut, allerdings sind die Elektroden nicht übereinander sondern nebeneinander liegend. Zudem sind im Normalzustand die LC Moleküle hierbei nicht verdreht sondern längs, parallel zu den Substratplatten ausgerichtet. Somit entweicht in diesem Zustand kein Licht und es handelt sich also um *normally black* Zellen. Bei Anlegung einer Spannung ändern die Stäbchen ihre Ausrichtung zu verdrehten Ketten und das Licht gelangt auch durch den zweiten Polarisationsfilter. Bedingt durch die Anordnung der Elektroden lässt eine solche Zelle

weniger Licht der Hintergrundbeleuchtung passieren. Dadurch wird es erforderlich eine Hintergrundbeleuchtung mit höherer Leuchtkraft zu wählen, was die Technik für Implementierungen in mobilen Geräten, aufgrund des höheren Energiebedarfs, unattraktiv macht. Bei VA Zellen sind die Elektroden übereinander angeordnet aber leicht schräg versetzt, auch diese Zellen sind *normally black*. Beim Anlegen einer Spannung zwischen den beiden Elektroden richten sich die LC Moleküle schräg aus und Licht strömt durch. Dieser Zellentyp ist zwar heller als IPS aber kann was die Energieaufnahme angeht ebenfalls nicht mit TN oder STN mithalten. Zudem weisen IPS und VA höhere Reaktionszeiten auf.

C. Light Emitting Diode (LED)

1) *Physikalisches Grundprinzip*: Das Aussenden von Licht durch pn Dioden, wird durch Verwendung bestimmter Halbleitermaterialien erreicht. Typischerweise sind dies, ohne hier genauer auf die chemischen Grundlagen einzugehen, die Elemente aus der 5. und 3. Hauptgruppe. Wird an die LED eine Spannung in Flussrichtung angelegt strömen Elektronen von der n Schicht in die p dotierte Seite. Hier rekombinieren sie mit den vorhandenen Löchern, was sie aber in einen Zustand niedrigerer Energie befördert, als sie vorher, als freie Ladungsträger einnahmen. Diese Energiedifferenz wird unter Aussenden eines Photons, also Licht, ausgeglichen. Das ist eine anschauliche

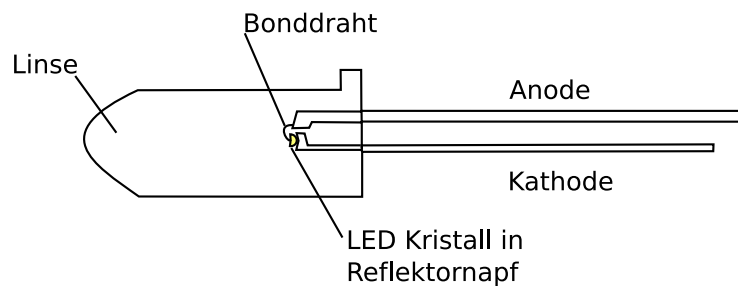


Abbildung 5. LED Aufbau

Beschreibung der Vorgänge, in der Fachliteratur wird auch von einem direkten Übergang des Elektrons vom Leiterband ins Valenzband gesprochen. [6] Da die besagte Energiedifferenz, zumindest wenn nur ein Dotierelement verwendet wird, immer genau gleich ausfällt, wird das ausgesandte Licht stark monochrom sein. Das bedeutet, dass das sichtbare Spektrum stark um eine Wellenlänge konzentriert ist und es gewissen Aufwand erfordert weißes Licht, also ein nahezu kontinuierliches Spektrum zu erzeugen.

2) *Entwicklungsschritte und Eigenschaften*: Die Entwicklung der LEDs begann im Jahr 1962, allerdings wurden Lichterscheinungen an Kristallen schon 1907 durch Henry Joseph Round beobachtet. In den 60er Jahren wurden zunächst rote und gelbe LEDs gebaut später folgten die grünen LEDs. Erst in den 80er und 90er Jahren wurde das Spektrum auf den Bereich von Grün über Blau bis Ultraviolett erweitert. Neben zusätzlich eingeführten Farben, konnte gleichzeitig, bedingt unter anderem durch reinere Halbleitermaterialien die Lichtausbeute pro Watt stark gesteigert werden. So erreichen aktuelle LEDs Lichtausbeuten über 120 Lumen/Watt [7] was deutlich effizienter ist als bei normalen Glühlampen. Eine weitere Stärke der Leuchtdioden ist ihre hohe Lebensdauer. Diese hängt

aber stark von der Betriebstemperatur und dem verwendeten Halbleitermaterial ab. Bei hohen Temperaturen sinkt die Lebenserwartung, bedingt durch Veränderungen im Halbleitermaterial. Als Ende der Lebenszeit wird häufig der Zeitpunkt definiert, bei dem die Leuchtdiode noch 50% der Ausgangshelligkeit aufweist. LEDs fallen selten spontan aus, zumal sie unempfindlicher gegenüber Erschütterungen sind als Lampen mit Glühwendel oder Hohlkörper. LEDs für Anwendungen wie Hintergrundbeleuchtungen. Mix von mehreren farbigen LEDs.

3) *Organic Light Emitting Diode (OLED)*: Ähnlich zu den LEDs funktionieren Organische LEDs. Die verwendeten Halbleitermaterialien sind hierbei jedoch organisch, z.B. werden leitende Polymere verwendet. Die erste Leuchtdiode unter Verwendung von organischem Halbleitermaterial wurden erstmals 1987 von den Forschern Ching Tang und S. A. VanSlyke der *Eastman Kodak Company* vorgeführt. Der Aufbau einer einfachen OLED besteht aus mehreren Schichten organischer Materialien. Eine Anode, eine Substratschicht, eine Emitterschicht, eine Lochleitungsschicht sowie eine Kathode. Zudem ist die Anode transparent und besteht wie bei den LCDs zum Beispiel aus Indium Zinn Oxid (ITO). Ist nun zwischen Anode und Kathode eine Spannung vorhanden, wandern wie bei den anorganischen LEDs Elektronen aus der Kathode und aus der Anode bewegt sich positive Ladung, in die Mitte der Diode. Treffen im mittleren Teil der Diode (Rekombinationsschicht) die positiven Löcher und die Elektronen zusammen rekombinieren sie. Diese entstandene Kombinationen stellen eine Anregung eines Moleküls dar und werden als Exzitonen bezeichnet. Die durch die Anregung aufgenommene Energie kann dann als sichtbares Licht oder als Strahlung eines anderen Spektralbereiches wieder abgegeben werden. Bei einfachen OLEDs wird pro Kombination in 1/4 der Fälle sichtbares Licht emittiert. [5] Neuere Entwicklungen zielen darauf ab auch die nicht im sichtbaren Bereich liegende Strahlung zu nutzen, indem spezielle Farbstoffmoleküle (meist Schwermetallatome) untergemischt werden, die angeregt durch jene Strahlung phosphoreszieren. (PHOLED) Dadurch lässt sich die Lichtausbeute je Watt erhöhen.

Von den ersten OLEDs bis zu den heutigen war ein Hauptproblem ihre Lebensdauer, da diese im Vergleich zu anorganischen LEDs deutlich geringer ausfällt. Hier bezieht sich der Ausdruck Lebensdauer wieder auf die Zeit bis zur Minderung der Ausgangshelligkeit um 50%. Die durchschnittliche Lebensdauer liegt bei etwa 10000 Stunden, allerdings gibt es Faktoren, diesen Wert stark beeinflussen. Wird nämlich eine OLED Wärme ausgesetzt fällt die Lebensdauer deutlich geringer aus, als wäre sie kühler betrieben worden. In der Regel ist die Leuchtkraft von OLEDs geringer als von anorganischen LEDs, weshalb sie, um gleiche Leuchtkraft zu erzielen, mit höheren Strömen betrieben werden. Dies hat jedoch zur Folge, dass mehr Abwärme entsteht und sich außerdem die Anzahl der Löcher schneller reduziert, was sich dann wieder negativ auf die Lebensdauer auswirkt. Außerdem altern verschiedene organische Materialien und verwendete Farbstoffmoleküle unterschiedlich schnell, wobei blau momentan am schlechtesten abschneidet. Es sollen aber andererseits rote OLEDs mit Lebensdauern von über 100000 Jahren verfügbar sein. Dies kann dazu führen, dass bei einem Display im Laufe der Betriebsdauer Farbverschiebungen auftreten.

Gängige Einsatzgebiete für die OLEDs sind derzeit Kleingeräte wie Smartphones oder Notebooks, aber auch größere Displays wurden realisiert. Die Adressierung einzelner Pixel erfolgt analog wie bei den LCDs im passiven oder

aktiven Adressierungsverfahren, allerdings fällt es etwas komplizierter aus, da die Leuchtdioden stromgesteuert und nicht wie die LCDs spannungsgesteuert arbeiten. Zudem sind auch Konstantstromquellen erforderlich.

[8]

4) *Laserdioden*: Als einen weiteren Typ emittierender Dioden lassen sich die Laserdioden abgrenzen. Sie basieren ebenfalls auf dem Prinzip der LEDs und bestehen aus p-n Schichten. Je nachdem Welche Wellenlänge emittiert werden soll werden unterschiedliche Materialien verwendet oder mehrere verschiedene leitende Schichten gestapelt. Bekannte Anwendung finden sie z.B. in Blue-ray , CD/DVD und weiteren Lesegeräten.

III. VERGLEICH DER ANZEIGETECHNOLOGIEN UND PROGNOSE

Die LCD Technologie hat sich im mobilen Bereich zur Standardanzeigetechnologie entwickelt. Sie kann für reflektive Displays mit einem extrem niedrigem Energieverbrauch und billigen Produktionskosten aufwarten. Bei den transmissiven Anzeigen mit Hintergrundbeleuchtung ist sie gegenüber den selbstemittierenden LEDs und OLEDs allerdings im Nachteil, da ungefähr die Hälfte der Helligkeit auf dem Weg durch die LC-Zelle und Farbfilter verloren geht. Die Notwendigkeit einer separaten Hintergrundbeleuchtung hat zudem einen höheren Platzbedarf zur Folge und schränkt die Flexibilität des Displays ein. Im Kontrast dazu können OLEDs, sehr dünn, auf nahezu beliebige Materialien aufgedruckt werden. Dies schließt zum Beispiel auch flexible Folien ein. Ein weiterer Vorteil der Leuchtdioden ist der Blickwinkel, der im Vergleich zu den LCDs nahezu uneingeschränkt ist. Außerdem sind Kontrast und Reaktionszeit besser, da die Dioden schnell schalten und bestimmte Displaybereiche partiell gedimmt werden können. Bei all diesen offensichtlichen Vorteilen wundert es nicht, dass die OLEDs zunehmend in immer größeren Displays implementiert werden. Dieser Trend wird sich sehr wahrscheinlich innerhalb der nächsten Jahre fortsetzen, obwohl sie im Bereich der Lebensdauer und Produktionskosten den LCDs noch unterlegen sind. Die anorganischen LEDs haben kein Problem mit der Lebensdauer, können jedoch nicht so flexibel in kleineren Displays eingesetzt werden und sind teurer als OLEDs. Allerdings treten sie zunehmend als Hintergrundbeleuchtung für LCDs auf, da sie neben guter Lichtausbeute, durch partielle Dimmung die Kontrasteigenschaften verbessern können.

[9]

Man kann also insgesamt davon ausgehen, dass die Dioden in immer mehr Bereichen die LCDs ersetzen werden. Dies bezieht sich vor allem auf die transmissiven LCD Implementierungen. Die wichtigsten Technologien wurden in Tabelle 1 unter Betrachtung einiger Kriterien, zusammenfassend bewertet. Da die Bewertung für LCDs, in Abhängigkeit zum betrachteten LC-Zellen Typ in einigen Punkten stark variiert, ist für alle Kriterien die (S)TN-Zelle angenommen worden, da sie die häufigste Implementierung darstellt.

Tabelle I
VERGLEICH

Kriterium	LCD	LED	OLED
Energieaufnahme	- (transmissiv)	++	++
Lebensdauer	++	++	-
Preis	++	-	+
Displayeinsatz	+	-	++
Platzbedarf	-	+	++
Blickwinkel	-	+	++
Kontrast	+	++	++
Reaktionszeit	-	++	++

LITERATUR

- [1] G. Weston, *Cold Cathode Glow Discharge Tubes*, n.n., Ed. ILIFFE Books Ltd., 1968.
- [2] F. P. David J.R. Cristaldi, Salvatore Pennisi, *Liquid Crystal Display Drivers Techniques and Circuits*, Springer, Ed. Springer, 2009.
- [3] J. Fergason, "Liquid crystals," *Scientific American*, vol. 211, pp. 77–85, 1964.
- [4] H. Kawamoto, "The history of liquid-crystal displays," *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, p. 24, 2002.
- [5] S.-T. W. Jiun-Haw Lee, David N. Liu, *Introduction to Flat Panel Displays*, A. C. Lowe, Ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2008.
- [6] E. F. Schubert, *Light-Emitting-Diodes*, C. Press, Ed. Cambridge Press, 2003.
- [7] Osram, "Historie der led," *www.osram.de*, vol. n.n., p. 1, 2009.
- [8] U. Kuhlmann, "Leuchtende zukunft – womit die oled-technik besticht und warum sie trotzdem nicht in die puschen kommt," *c't magazin für computer technik*, vol. 16, pp. 82–86, 2007.
- [9] —, "Leds holen auf," *c't magazin für computer technik*, vol. 26, p. 29, 2009.