



# Organische Leuchtdioden

## Die neuen Sterne am Displayhimmel?

**Unser Zyklus über die zukunftssträchtigen Displaytechnologien geht weiter mit einer Beschreibung der OLED-basierten Flachbildschirme. OLED steht für Organic Light Emitting Diode und beschreibt chemisch erzeugte Molekülanordnungen, die bei elektrischer Stimulation Licht aussenden. Viele solcher kleinen OLEDs – regelmäßig in Spalten und Zeilen angeordnet – können als Bildschirm für vielfältigste Anwendungen dienen. Zurzeit gibt es noch Probleme mit der von der Farbe abhängigen OLED-Lebensdauer, an deren Lösung intensiv gearbeitet wird. Dann aber steht eine Technologie zur Verfügung, die sich auf eine biegbare Plastikfolie aufbringen lässt, höchste Auflösungen erlaubt und mit wenig Energie zufrieden ist. Weitere Vorteile sind die hohe Blickwinkelunabhängigkeit und eine im Vergleich zu Flüssigkristallen erheblich schnellere Schaltgeschwindigkeit.**

### Allgemeines

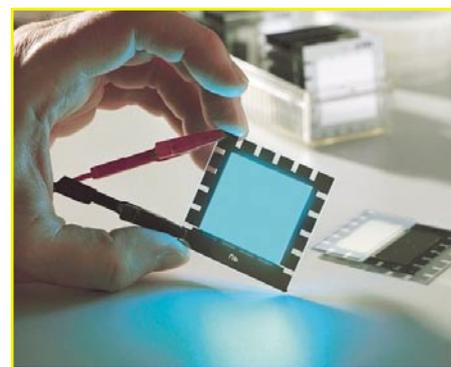
Heute werden für die Herstellung von Displays aller Art zahlreiche Technologien verwendet. Katodenstrahlröhren (CRT), Flüssigkristalldisplays (LCD), Plasmadisplays (PD), Digital Micromirror Devices (DMD), Surface-Conduction Electron-Emitter Displays (SED), um nur die Wichtigsten zu nennen, sind im Markt anzutreffen. Der Trend zu den flachen Displays hat inzwischen die Bildröhre aus dem Rennen geworfen. Mengenmäßig beherrschen gegenwärtig die Flüssigkristalldisplays den Markt, gefolgt von den Plasmabildschirmen. Die Wettbewerber holen jedoch langsam aber sicher auf, weil eine Reihe guter Gründe für sie spricht – geringerer Energieverbrauch, bessere Langzeitstabilität, niedrigeres Gewicht, breiterer Betrachtungswinkel, höherer Kontrast, gesteigerte

Helligkeit, kurze Schaltzeiten, um nur einige der Vorteile zu nennen. Immer wichtiger wird dabei die Eignung für hochqualitative mobile Anwendungen, wo es ganz entscheidend auf lange Akku-Laufzeiten bei geringem Gewicht ankommt. Und nun hat ein weiterer Displaytyp den Hut in den Ring geworfen, der auf organischen Substanzen beruht und das Zeug hat, sich an die Spitze des Feldes zu setzen. Organic Light Emitting Diode (OLED) heißt das Zauberwort, das heute schon im Bereich der kleinen Displays (Handys, Autoradios, MP3-Player, Schalttafeln usw.) in beträchtlicher Häufigkeit anzutreffen ist und in wenigen Jahren auch hochwertige Großdisplays zielen wird (Abbildung 1).

### Historisches

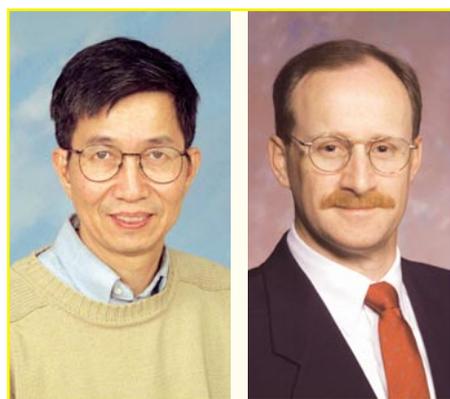
Der erste bekannte Nachweis von Lichtemission eines anorganischen Stoffes unter

dem Einfluss einer angelegten Spannung gelang 1907 dem Rundfunkpionier Henry Joseph Round (1881–1966). In Diensten der Marcony Company untersuchte er eine Vielzahl von Materialien auf ihre Eignung



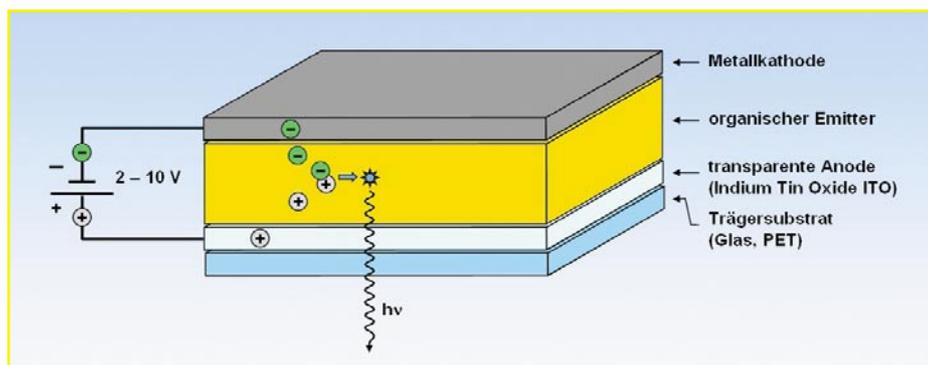
**Bild 1: Eine leuchtende OLED-Folie im Philips-Forschungslabor (Quelle: Philips)**

für Spitzendetektoren. Dabei beobachtete er, dass ein von Gleichstrom durchflossener Siliziumkarbidkristall gelblich leuchtete. Das emittierte Licht wurde von Round als „kalt“ bezeichnet, denn er konnte keine Erwärmung des Kristalls feststellen. Round beschrieb seine Beobachtung in der Zeitschrift *Electrical World* vom 9. Februar 1907. Wahrscheinlich war dies der erste Bericht über eine auf der Grundlage von Rekombinationsstrahlung arbeitende Leuchtdiode. Aber Round war mit seiner Entdeckung seiner Zeit viel zu weit voraus und verfolgte zudem andere Interessen. So dauerte es weitere 14 Jahre, bis der russische Physiker Oleg Vladimirovich Losev (im Westen unter O. W. Lossev bekannt; 1903–1942) im Alter von 18 Jahren den Effekt wieder „entdeckte“ und genauer

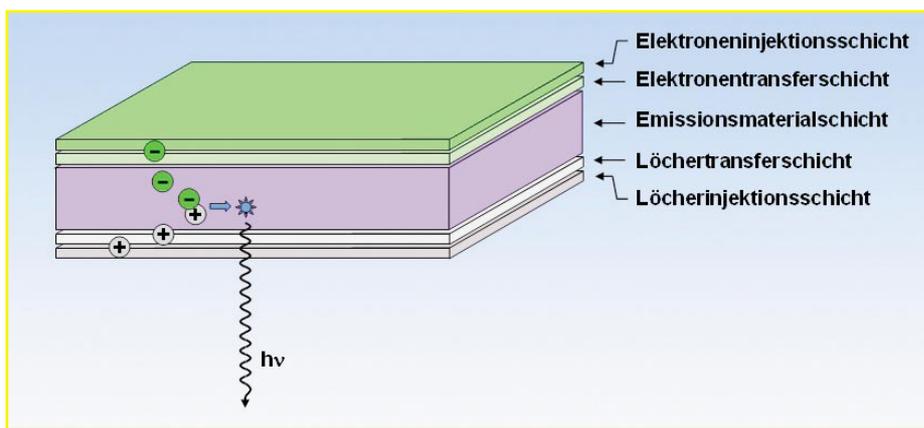


**Bild 2: Die Chemiker Ching W. Tang und Steve van Slyke gelten als die Väter der modernen OLED.**  
(Quelle: Kodak)

untersuchte. Er vermutete damals richtig, dass das Phänomen als eine Umkehrung von Einsteins photoelektrischem Effekt zu deuten ist. Georges Destriau forschte Mitte der dreißiger Jahre im Labor der Kernphysikerin Marie Curie an Zinksulfiden. Als diese versehentlich einmal mit Kupfer verunreinigt waren, stellte er unter dem Einfluss eines starken elektrischen Feldes Leuchtwirkungen fest. Destriau verwendete dafür 1937 das erste Mal den Begriff „Electrophotoluminescence“ und sprach



**Bild 3: Prinzipieller Schichtaufbau einer organischen LED**



**Bild 4: Verfeinerter Schichtaufbau eines organischen Emitters**

von Lossev-Licht. Damit waren die Grundlagen für die anorganische LED gelegt.

1953 gelang es einer Arbeitsgruppe um André Bernanose (1912–2002) erstmals, Lichtausstrahlungen organischer Farbstoffe zu beobachten, die einem starken elektrischen Wechselfeld ausgesetzt waren (Electroluminescence of organic compounds, A. Bernanose, 1955, *British Journal of Applied Physics*, Volume 6, Supplement 4, S. 54–55). Ihre Vermutung, dass es sich hierbei um das Zurückfallen elektrisch angeregter Moleküle in den Grundzustand handeln müsse, wurde durch die weiteren Forschungen bestätigt. In der Folge untersuchten viele Forscherteams weltweit tausende organischer Substanzen in Theorie und Praxis auf ihre elektrolumineszente Eignung. Einen Durchbruch konnten die Chemiker Ching W. Tang und Steve van Slyke (Abbildung 2) von Eastman-Kodak verzeichnen, die 1987 erstmals eine OLED mit einer Einsatzspannung <10 V experimentell betrieben. Der von ihnen verwendete Schichtaufbau ist bis heute prinzipiell unverändert geblieben, so dass man die beiden Forscher auch als „Väter der OLED“ bezeichnen könnte. Den Nobelpreis in Chemie für „Die Entdeckung und Entwicklung leitfähiger organischer Polymere“ erhielten im Jahr 2000 freilich der japanische Chemiker Hideki Shirakawa, der amerikanische Chemiker Alan G. MacDiarmid und der amerikanische Physi-

ker Alan J. Heeger. In der Begründung des Nobelpreiskomitees wurde kein Bezug auf frühere Entdeckungen genommen ([http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/2000/chemadv.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/chemadv.pdf)).

Es fällt auf, dass die Erforschung der organischen Leuchtdioden maßgeblich von Chemikern beeinflusst wurde. Das verwundert nicht, weil sich hier Physik, Chemie und Materialwissenschaften durchdringen. Die Entdeckungen sind noch lange nicht abgeschlossen, und es sind noch viele überraschende Entwicklungen zu erwarten.

### Grundlagen organischer Leuchtdioden

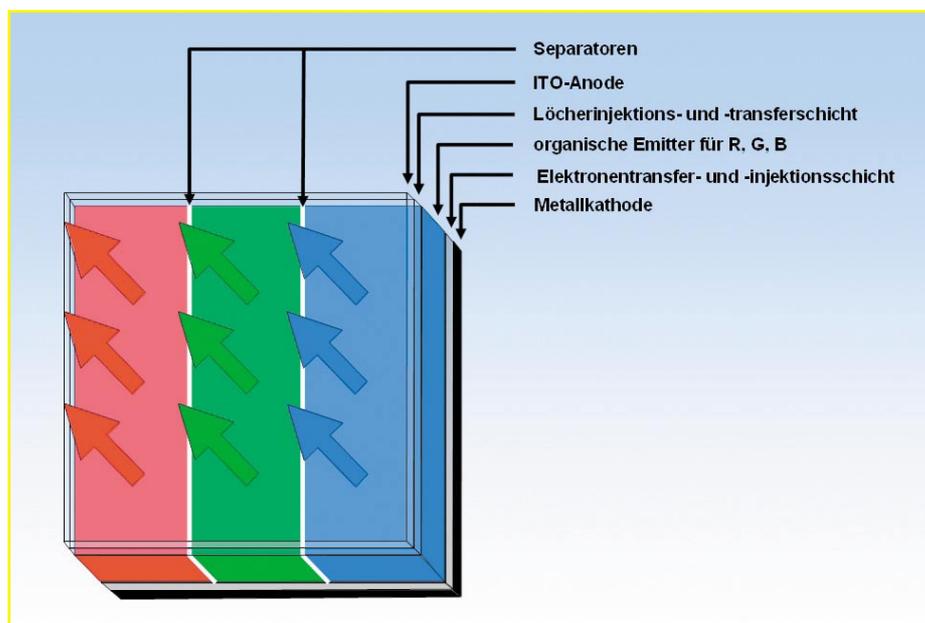
Organische Leuchtdioden (Organic Light Emitting Diode: OLED) beruhen auf der organischen Elektrolumineszenz. Darunter versteht man die Eigenart bestimmter organischer amorpher (im Gegensatz zu Kristallen unregelmäßig strukturierter) Stoffe, beim Anlegen einer elektrischen Spannung Licht abzugeben. Es haben sich zwei Grundformen herausgebildet: OLEDs aus niedermolekularen (aus kleinen Molekülen bestehenden) Materialien und solche aus polymeren Stoffen (aus Makromolekülen bestehend). Dem entsprechen die Abkürzungen SMOLED (Small Molecule OLED) und PLED (Polymer OLED). Die Vielfalt der Abkürzungen für Varianten ist beachtlich: PHOLED (Phosphorescent OLED), FOLED (Flexible OLED), WOLED (White OLED), TOLED (Top-emitting OLED oder Transparent OLED), SOLED (Stacked OLED) ...

Allen OLEDs gemeinsam ist der schichtweise Aufbau zwischen zwei Elektroden (Anode und Katode). Mehrere dünne Schichten aus organischem Material mit einer Gesamtdicke von ca. 100 nm sind quasi gestapelt, weshalb man auch vom OLED-Stack (stack: Stapel) spricht (Abbildung 3). Ähnlich wie in einem anorganischen Siliziumhalbleiter werden an der Anode positive Ladungsträger in Form von Defektelektronen („Löcher“) und an der Katode negative

Ladungsträger in den organischen Emitter eingebracht (injiziert). Diese Ladungsträger streben nun der jeweils gegenüber liegenden Elektrode zu. Wenn sie sich auf diesem Weg nahe genug kommen, rekombinieren sie unter Abgabe eines Photons. Weil die ITO-Anode und das Trägersubstrat transparent sind, kann das Licht die OLED auf dieser Seite verlassen.

Abbildung 4 zeigt den Schichtaufbau des in Abbildung 3 vergrößert als „organischer Emitter“ gelb dargestellten Blocks zwischen Anode und Katode detailliert. Zwischen den Injektionsschichten und Anode/Katode sollen sich möglichst keine Schottky-Barrieren ausbilden, um den Wirkungsgrad der Zelle nicht zu verringern. Man erreicht dies durch die Wahl von Elektrodenmaterialien mit angepassten Austrittsarbeiten, die wiederum von deren Fermi-Niveau abhängen. An die Katode grenzt die Elektroneninjektionsschicht, an die Anode die Löcherinjektionsschicht. Ihre Aufgabe ist es, die negativen bzw. positiven Ladungsträger bereitzustellen. Es folgen dann die jeweiligen Transferschichten, welche die injizierten Ladungen in Richtung Emitter (Emissionsmaterialschicht) verschieben. Hier findet jetzt die von einem winzigen Lichtblitz begleitete Rekombination von Löchern und Elektronen statt.

Die Farbe dieses Lichtes bestimmt sich aus dem so genannten Bandgap des Emittermaterials. Bekanntlich umkreisen Elektronen einen positiv geladenen Atomkern auf Bahnen mit definierten Radien. Das Energieniveau eines Elektrons hängt dabei von der von ihm besetzten Bahn ab. Je größer sein Bahnradius, umso höher sein Energieniveau. Die Energiedifferenz zwischen der kernnächsten Bahn (LUMO: Lowest Unoccupied Molecular Orbit) und der kernfernen (HOMO: Highest Occupied Molecular Orbit) bezeichnet man als Bandlücke oder Bandgap. Sie bestimmt über die Planck'sche Beziehung  $E = h\nu$  ( $E$ : Energie des Photons,  $h$ : Planck'sches Wirkungsquantum  $6,626 \times 10^{-34} \text{ Ws}^2$ ,  $\nu$ : Frequenz in  $\text{s}^{-1}$ ) die Frequenz des abgestrahlten



**Bild 5: Drei OLED-Subpixel in den Grundfarben Rot, Grün und Blau bilden ein Pixel**

Lichtes. Darin drückt sich der Dualismus Welle-Teilchen aus, den erst die Quantenmechanik auflösen konnte.

Der Ladungsträgertransport erfolgt in OLED-Materialien nicht wie bei Metallen durch isolierte Elektronen, sondern durch so genannte Radikationen, genauer gesagt durch Radikalanionen (Reduktion an der Katode) und Radikalkationen (Oxidation an der Anode). Bei deren Rekombination entsteht ein ungeladenes biradikalisches Exziton, das unter Abgabe eines Lichtquants wieder zu einem ladungsneutralen Molekül wird. Aus quantenmechanischen Gründen (25 % Singulett- und 75 % Triplettzustände) ist die interne Quantenausbeute für fluoreszierende OLEDs maximal 25 %. Mit anderen Worten, die Emission eines Photons „verbraucht“ bei der bimolekularen Reaktion der beiden Ladungsarten vier Elektronen. Phosphoreszierende OLEDs (PHOLED) beruhen auf den Triplettzuständen und haben deshalb eine erheblich höhere Lichtausbeute. Wegen ihres großen Potentials werden sie be-

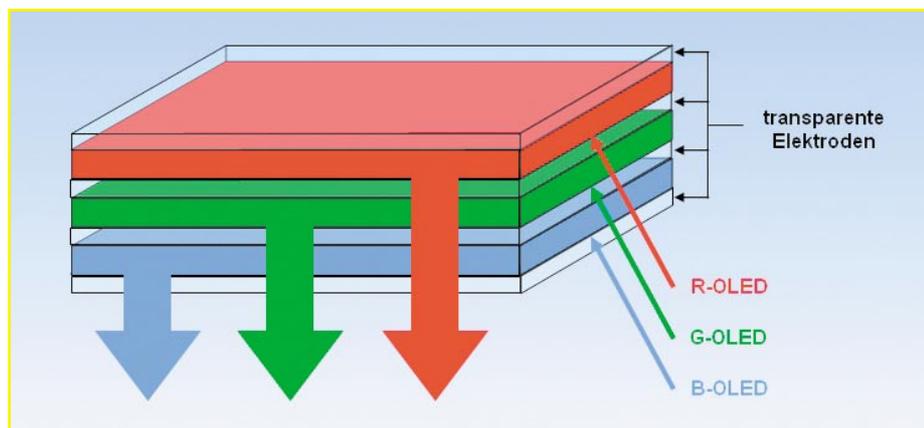
sonders intensiv erforscht. Damit wollen wir uns von der komplizierten chemisch-physikalischen Theorie ab- und den praktischen Ausprägungen und Anwendungen der OLED zuwenden.

### OLED-Pixel-Formen

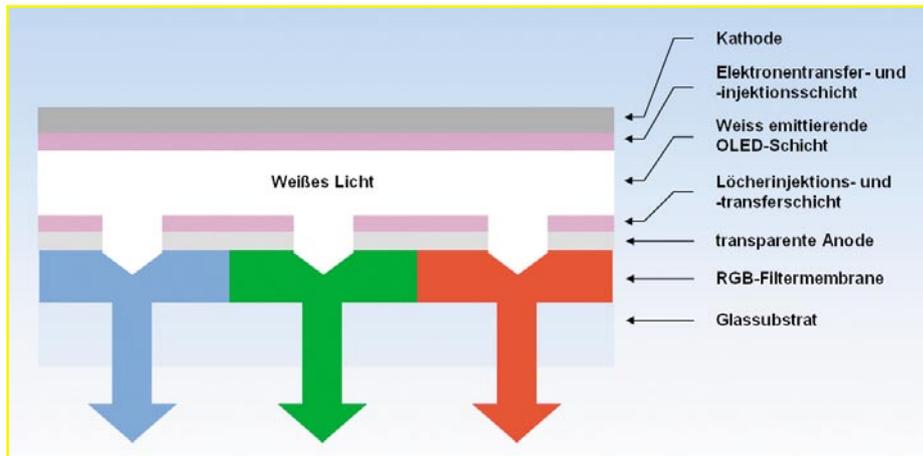
Wir hatten bereits gesagt, dass die Farbe des OLED-Lichts von der Emittersubstanz abhängt. Es ist eine große Herausforderung für die Materialforschung, Stoffe zu finden, mit denen sich Displays aus RGB-Farbtripeln bauen lassen, welche die Erzeugung aller Mischfarben in einem möglichst großen Intensitätsintervall ermöglichen (Abbildung 5).

Eine andere Möglichkeit, Farbtripel aufzubauen, besteht darin, die roten, grünen und blauen OLEDs hintereinander, durch transparente Zwischenschichten getrennt, zu Stacked-OLEDs anzuordnen (Abbildung 6). Der Vorteil dieser Anordnung liegt in einer kompakteren Packung (mehr Pixel pro  $\text{cm}^2$ ) und einer einfacheren Produktion, weil die Emittermaterialien auf der ITO-Anode nicht mehr nebeneinander alternieren, sondern schichtweise aufeinander gestapelt werden. Dafür muss als Nachteil eine gewisse Wechselwirkung des Lichts mit den unteren Schichten in Kauf genommen werden.

Leider haben die Emittermaterialien für kurzwelliges Licht eine deutlich kürzere Lebensdauer als jene für langwelliges. Blau degradiert am schnellsten, wodurch sich die Mischfarbe des Tripels im Lauf der Zeit verfälscht. Wenn es gelänge, für alle drei Farben gleichermaßen langzeitstabile Emittermaterialien zu finden, wäre dies Problem gelöst. Bis dahin gibt es als Ausweg nur die Erzeugung weißen OLED-Lichts, das von



**Bild 6: Das Licht dreier gestapelter RGB-OLEDs überlagert sich zur Pixelfarbe**



**Bild 7:** Hier entsteht die Pixelfarbe über steuerbare RGB-Filter aus weißem OLED-Licht.

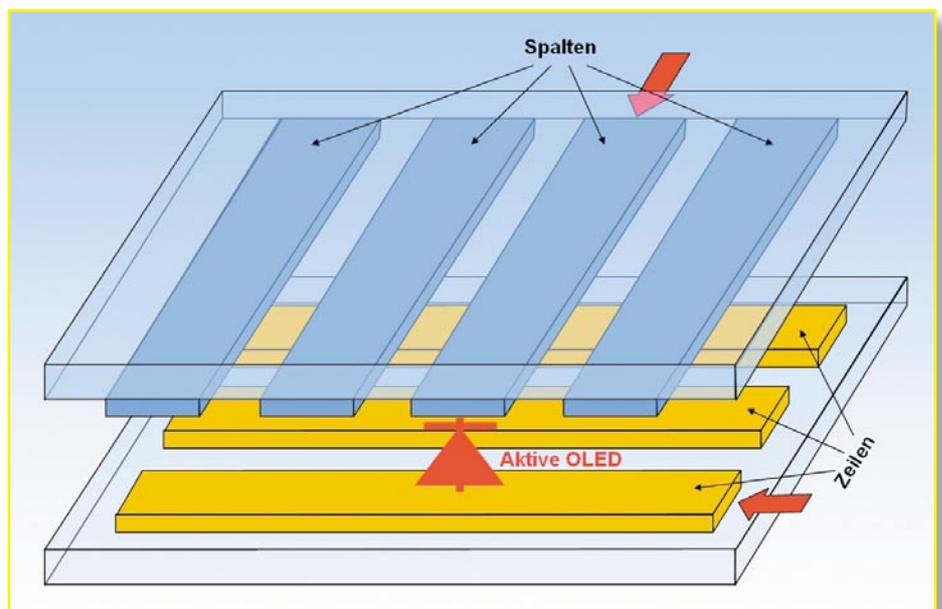
steuerbaren Subpixel-Farbfiltern so in der Intensität beeinflusst wird, dass in der Überlagerung der drei Subpixel das gewünschte Farbpixel entsteht (Abbildung 7). Weil jetzt alle Farben aus der gleichen weißen OLED-Farbe ausgefiltert werden, gibt es kein Auseinanderdriften der Farben aufgrund unterschiedlicher Langzeitstabilitäten, wie sie bei drei einzelnen OLEDs für RGB auftreten. Positiv zu vermerken sind die günstigen Produktionskosten. Allerdings sinkt der Wirkungsgrad erheblich, weil ja nur ein Bruchteil des erzeugten weißen Lichts aus den Farbfiltern austritt. Und nicht zuletzt ist die Langlebigkeit des weißen OLED-Elements zu verbessern.

### Weißer OLEDs

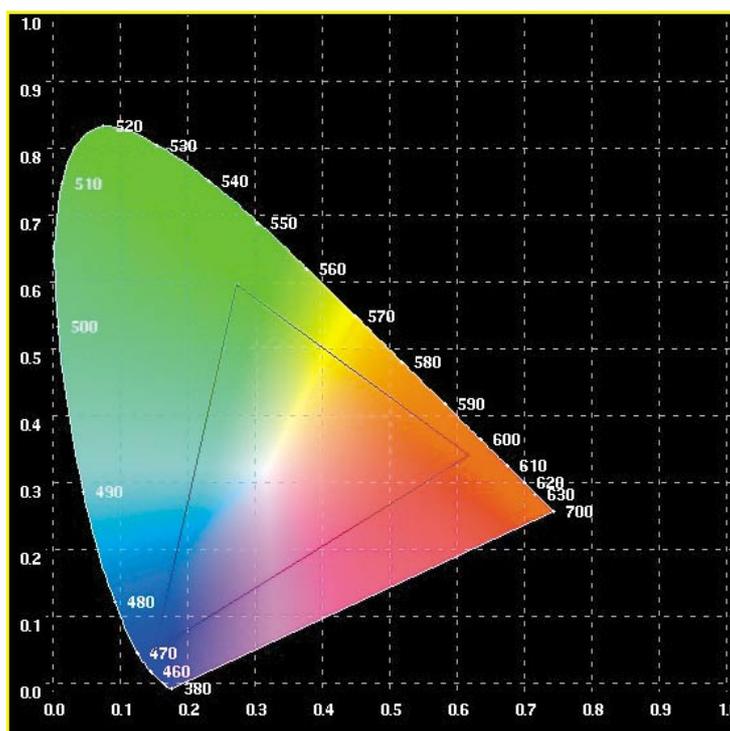
Auf dem Gebiet der weißen OLEDs (WOLED) wird zurzeit besonders inten-

siv geforscht. Sie lassen sich als besonders stromsparende Beleuchtungsmittel für Anwendungen aller Art verwenden. Nach Schätzungen könnte man durch WOLEDs allein in den USA bis zum Jahr 2025 125 Mrd. US-\$ einsparen. Das ist Ansporn, die WOLED-Technik möglichst schnell bis zur uneingeschränkten Praxisreife zu entwickeln.

Dazu muss die WOLED möglichst exakt im Weißpunkt des CIE-1931-Farbdiagramms ( $x=0,33, y=0,33$ ) arbeiten (Abbildung 8) und die Energieeffizienz einer Glühlampe von bis zu 20 Lumen/Watt übertreffen. Letzteres ist mit relativ teuer zu fertigenden Multischichtanordnungen von aufgedampften niedermolekularen OLED-Materialien (SMOLED) heute schon zu er-



**Bild 9:** Bei der Passivmatrix-OLED (PMOLED) leuchten die organischen Substanzen unter den Schnittpunkten von Spalten- und Zeilenelektroden nur, während beide aktiv sind.

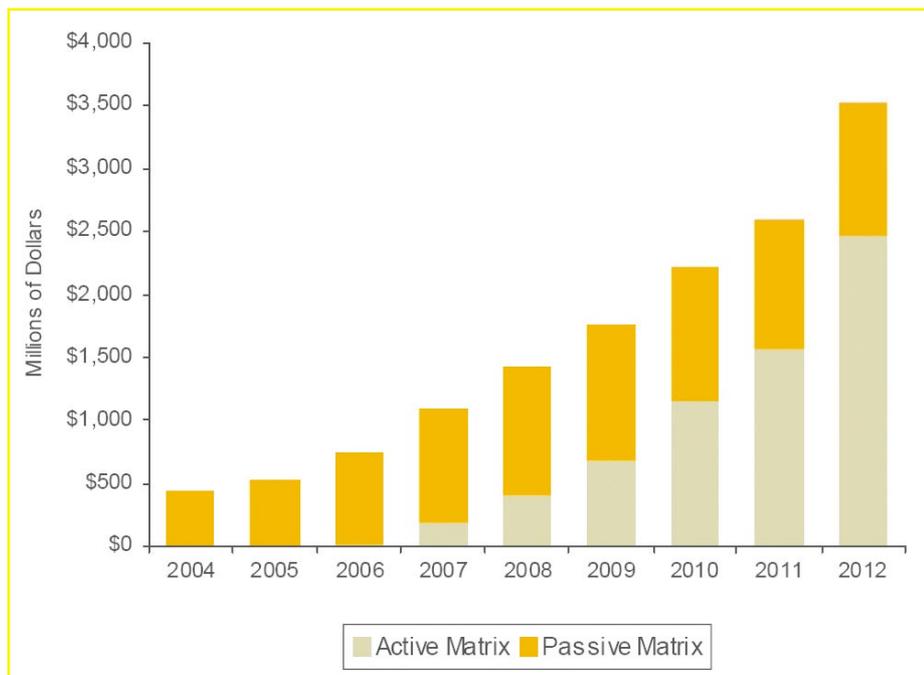


**Bild 8:** 1931 hat die Internationale Beleuchtungskommission (CIE) ausgehend vom Maxwell'schen Farbdreieck eine Tafel zur möglichst objektiven Beschreibung von Farben entwickelt.

reichen. Polymere Materialien, die preiswert aus einer flüssigen Lösung abgeschieden werden können (PLED), erreichen die erforderlichen Kenndaten jedoch noch nicht.

Die meisten Ansätze zur Erzeugung weißen Lichts durch organische LEDs in hoher Qualität und Quantität beruhen auf der Überlagerung verschiedener Emissionsfarben (additive Mischung). Aber es sind inzwischen auch Verfahren zur Herstellung einer hocheffizienten einzelnen, weiß emittierenden Emitterschicht (ultra-wide bandgap material) bekannt, mit bis zu knapp 30 Lumen/Watt Energieeffizienz.

Das CIE-Farbdiagramm (CIE chromaticity chart) wurde 1931 von der CIE (Commission Internationale de l'Eclairage: Internationale Beleuchtungskommission) entwickelt (<http://www.cs.bham.ac.uk/%7Emer/colour/cie.html>).

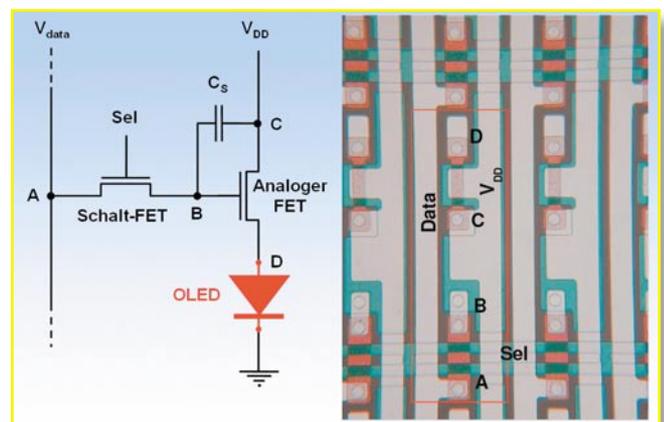


**Bild 10: Die Absatzprognosen sagen den Aktivmatrix-OLED-Displays einen stark wachsenden Anteil am Gesamt-OLED-Markt voraus. Das Volumen der Passivmatrix-OLED-Displays wird dagegen stagnieren. (Quelle: isuppli)**

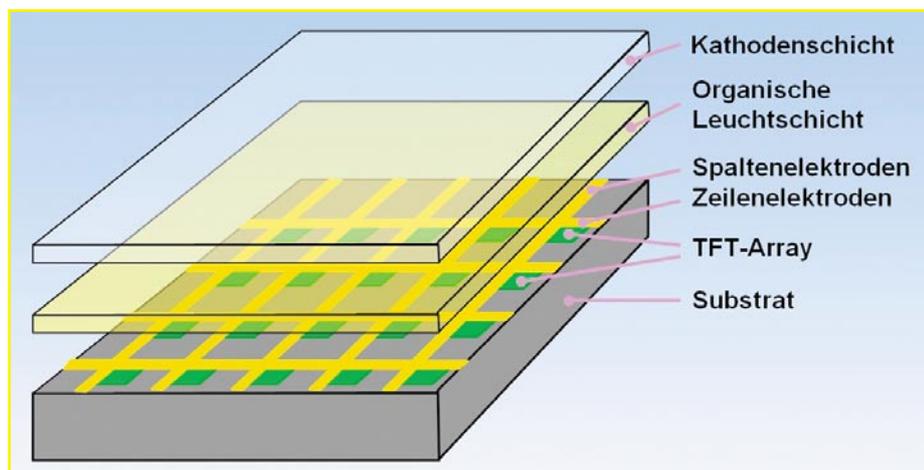
Es trägt der Tatsache Rechnung, dass sich nicht alle Farben aus den drei Grundfarben R, G, B mischen lassen. Deshalb wurden drei Normfarbwertanteile  $x$ ,  $y$  und  $z$  definiert, deren Summe eins ergibt. So genügt die Angabe von  $x$  und  $y$ , der  $z$ -Wert ist über die Summenbeziehung festgelegt. Weiterhin berücksichtigt das CIE-Norm-Farbdigramm die durch lange Versuchsreihen ermittelten Eigenschaften des menschlichen Sehens bei Beleuchtung durch eine Normlichtquelle.

Die Ecken des in Abbildung 8 eingezeichneten Dreiecks kennzeichnen die maximalen R-G-B-Werte eines Displays, der Inhalt des Dreiecks den vom Display darstellbaren Farbumfang. Dieser Teilbereich der sichtbaren Farben wird auch als Gamut (engl. Tonleiter, Skala) bezeichnet

**Bild 12: Dies ist die einfachste Schaltung zur aktiven Steuerung eines Pixels. Bei farbigen Pixeln ist eine Schaltung für jedes der drei Subpixel erforderlich. Rechts im Bild die Umsetzung in der Realität. (Quelle: Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bildschirmtechnik)**



und erreicht bei Spitzendisplays bereits bis zu 90 % der hufeisenförmigen CIE-Farbdigrammfläche.



**Bild 11: Bei der Aktivmatrix-OLED (AMOLED) leuchtet ein Pixel während der gesamten Framerate. Eine jedem (Sub-)Pixel zugeordnete Schaltung aus Dünnschicht-FETs und Speicherkondensator macht's möglich.**

## Ansteuerung der Pixel

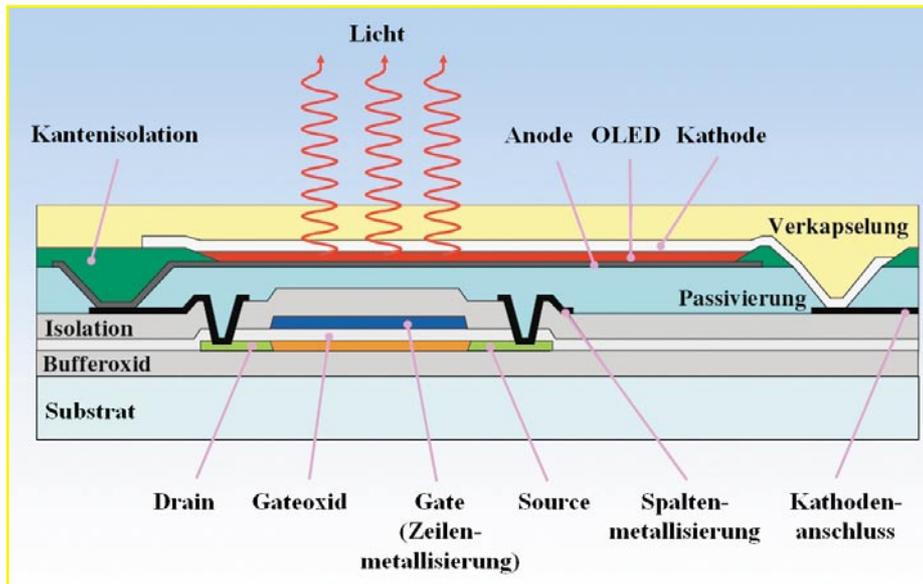
Die Ansteuerung eines Pixels kann über eine passive Elektrodenmatrix (PMOLED: Passive Matrix OLED) oder eine aktive (AMOLED: Active Matrix OLED) erfolgen.

OLEDs mit passiver Matrix sind preiswerter, weil einfacher herzustellen (Abbildung 9). Ihr Nachteil liegt in der relativ geringen Auflösung, weshalb sie meist nur für kleine Displays wie beim Handy, Autoradio oder MP3-Player eingesetzt werden. Das Ansteuerungsprinzip ist schnell erklärt: Nur die organische Leuchtsubstanz zwischen den Kreuzungspunkten unter Spannung stehender Zeilen und Spalten strahlt Licht ab. Die Kapazitäten zwischen den Elektroden wachsen proportional zur Pixelzahl. Dadurch sind hohe Treiberströme bei großen und hoch auflösenden Displays mit schnellen Bildwiederholraten erforderlich und es entstehen entsprechend hohe Umladeverluste. Das erklärt, warum für große und schnelle Displays die Passivmatrix an ihre Grenzen stößt.

OLEDs mit aktiver Matrix gehen erheblich sparsamer mit der Betriebsenergie um als Passivmatrix-OLEDs. Das macht sie besonders für portable, batterieabhängige Anwendungen, aber auch großformatige Bildschirme geeignet. Sie werden in Zukunft den OLED-Markt dominieren (Abbildung 10).

An den Kreuzungspunkten der Spalten- und Zeilenelektroden sorgen Arrays aus integrierten Dünnschicht-Feldeffekttransistoren (FET) und einem Speicherkondensator dafür, dass der Leuchtzustand des Pixels während der Bilddauer (frame time) erhalten bleibt. In Abbildung 11 stellen die grünen Flächen diese kleinen „integrierten Schaltungen“ dar.

Abbildung 12 zeigt das Prinzipschaltbild der einfachsten Ausführung einer TFT-Schaltzelle, bei der  $V_{data}$  das Spaltensignal und Sel das Zeilensignal darstellen. Bei einer selektierten Pixelzelle ist der Schalt-FET niederohmig und der Kondensator  $C_s$  lädt sich auf die Differenz zwischen  $V_{DD}$



**Bild 13: Die Herstellung eines aktiven Matrix-Subpixels ist ein komplizierter Prozess, bei dem Schicht für Schicht auf das Substrat aufgebracht und strukturiert wird. Die Verkapselung spielt im Hinblick auf die Langzeitstabilität eine ausschlaggebende Rolle.**  
(Quelle: Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bildschirmtechnik)

und  $V_{data}$  auf. Auch ohne Selektionssignal, also bei hochohmigem Schalt-FET, wird entsprechend dem Ladezustand von  $C_s$  der analoge FET durchgesteuert und bringt die OLED mehr oder weniger zum Leuchten. Dieser Zustand hält bis zum nächsten Bildscan an. Weil jetzt zur Pixelansteuerung nur noch geringe Schaltleistungen erforderlich sind, lassen sich die Treiberschaltungen da-

**Bild 15: Auch Epson/Seiko kann ein 40"-Display zeigen. Hier werden die flüssigen organischen Substanzen von einem Piezo-Druckkopf aufgebracht.**  
(Quelle: Epson)



**Bild 14: Prototyp eines 40"-Displays mit weniger als 3 cm Dicke von Samsung**  
(Quelle: Samsung)

für erheblich aufwandsärmer gestalten als bei PMOLEDs.

Heute baut man die TFT-Arrays in Aktivmatrix-OLEDs noch überwiegend mit den klassischen Verfahren mit anorganischem Polysilizium (poly-Si) oder amorphem Silizium (a-Si) schichtweise auf (Abbildung 13). Mit den Technologien der nächsten Generation werden organische TFTs (O-TFT) an ihre Stelle treten und die AMOLED-Herstellung einfacher und kostengünstiger machen.

#### Langzeitstabilität

Es wurde schon erwähnt, dass organische Leuchtstoffe Probleme mit einer langzeitstabilen Lichtausbeute haben. Besonders im Blaubereich emittierende Substanzen waren von dieser Einschränkung betroffen.

Als Lebensdauer (lifetime) des Leuchtstoffs wird im Allgemeinen die Zeit angegeben, in der seine Leuchtintensität auf die Hälfte abnimmt. Daher rührt auch der ebenfalls gebräuchliche Begriff Halbwertszeit. 10.000 Stunden waren hierfür bisher schon ein guter Wert. Nun vermeldet ganz aktuell (15. November 2006) der britische Hersteller Cambridge Display Technology ([http://www.cdtltd.co.uk/press/current\\_press\\_releases/543.asp](http://www.cdtltd.co.uk/press/current_press_releases/543.asp)) Rekordhalbwertszeiten für neue blaue Polymere von 25.000 Stunden bei einer Anfangsleuchtdichte von  $400 \text{ cd/m}^2$  (Kandela pro Quadratmeter) bzw. 400.000 Stunden bei  $100 \text{ cd/m}^2$ .

#### OLED-Displays für hochauflösendes Fernsehen (HDTV)

Sie sind heute bereits im Markt anzutreffen. Selbst für die volle HDTV-Auflösung von  $1920 \times 1080$  Pixel gibt es schon Geräte im Prototypenstadium, z. B. mit 21"-Diagonale von Samsung. Bei den 40"-Displays liegt das Machbare gegenwärtig bei  $1280 \times 800$  Pixel (WXGA). Die technischen

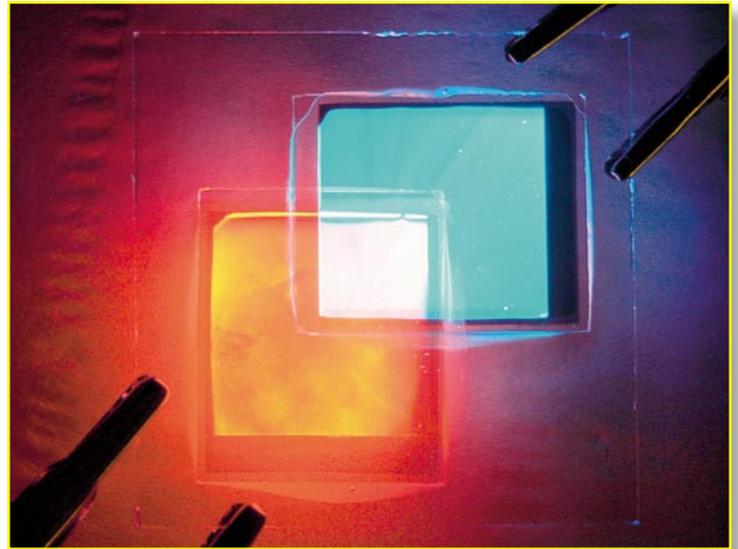
Daten solcher Boliden von Samsung (Abbildung 14) und von Epson/Seiko (Abbildung 15) sind nahezu gleich: Leuchtdichte  $600 \text{ cd/m}^2$ , Kontrastverhältnis 5000:1, Dicke  $<30 \text{ mm}$  ... In der Fertigungstechnologie jedoch gibt es erhebliche Unterschiede. Während die organischen Substanzen bei Samsungs Display noch mit herkömmlichen Technologien aufgebracht und strukturiert werden, hat Epson die flüssigen Polymere mit einem Piezo-Druckkopf in kleinsten Tropfen und mit höchster Präzision auf das Substrat „aufgedruckt“. Beide Hersteller wollen 2007 mit der Serienproduktion ihrer Großdisplays beginnen.

#### Riesige Anwendungsvielfalt

Die OLED-Technologie ist denkbar vielseitig in einer unglaublichen Fülle von Pro-



**Bild 16: OLED-Displays auf flexiblen Kunststoff- oder Metallsubstraten ermöglichen gekrümmte oder formangepasste Bildschirme. (Quelle: Pioneer)**



**Bild 18: Transparente OLEDs können die Grundlage von in Glasscheiben integrierten Displays bilden, z. B. für Head-up-Displays in den Frontscheiben von Automobilen. (Quelle: Fraunhofer)**

dukten einzusetzen. Ein ganz wesentlicher Vorteil der OLEDs besteht darin, dass sie sich auch auf biegsame, weniger als 1 mm starke Kunststofffolien aufbringen lassen (Abbildung 16). Damit sind gekrümmte Displays, „Bücher“ aus aufrollbarem „elektronischem Papier“ (Abbildung 17), leuchtende Vorhänge und Tapeten und so weiter keine Science-Fiction-Fantasien mehr. Weil sich OLED-Displays auch transparent gestalten lassen (Abbildung 18), ist es technisch machbar, sie z. B. in die Frontscheibe eines Automobils zu integrieren (statt wie bei den heute üblichen Head-up-Displays die Informationen auf die Frontscheibe zu projizieren) und bei Bedarf zu aktivieren.

Für die Designer und Ingenieure tut sich hier eine paradiesische Vielfalt der Ge-

**Bild 19: Tasten mit kleinen OLED-Bildschirmen für Stand- und Bewegtbilder lassen sich an jede Aufgabe anpassen. (Quelle: Artemy Lebedev)**

staltungsmöglichkeiten auf: dynamisch konfigurierbare Tastaturen (Abbildung 19), Drucker mit OLED-Druckkopf, elektronische Preisschilder mit RFID-Funktionen (RFID: Radio Frequency Identification) usw. usw.

### Zusammenfassung

Organische Leuchtdioden bieten eine heute gar nicht zu übersehende Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten in allen Lebensbereichen. Sind die noch bestehenden Probleme der Lebensdauer, der Temperaturbeständigkeit und der Fertigungstechnologie erst einmal restlos gelöst, werden wir über alltagstaugliche Displays mit herausragenden Eigenschaften verfügen: hohe Helligkeit bei starkem Kontrast, Blickwinkelunabhängigkeit, Videotauglichkeit durch kurze Reaktionszeiten, kompakte und extrem dünne Bauweise, niedriges Gewicht, geringer Energieverbrauch und niedrige Herstellungskosten. Es besteht kein Zweifel, dass die vereinigten Anstrengungen von Chemikern, Physikern, Verfahrenstechni-



kern und Designern uns zu Produkten und Anwendungen in Medizin, Technik und der Unterhaltung verhelfen werden, die heute noch utopisch anmuten. **ELV**

### Weiterführende Links:

- [www.oled-info.com](http://www.oled-info.com)
- [www.polymervision.com](http://www.polymervision.com)
- [www.artlebedev.com](http://www.artlebedev.com)
- [www.fujitsu.com](http://www.fujitsu.com)
- [www.basf-fb.de](http://www.basf-fb.de)
- [www.densitron.com](http://www.densitron.com)
- [www.universaldisplay.com](http://www.universaldisplay.com)
- [www.oled.at](http://www.oled.at)
- [www.marketresearch.com](http://www.marketresearch.com)
- [www.tdk-components.de/pdfs/news/uel\\_e.pdf](http://www.tdk-components.de/pdfs/news/uel_e.pdf)



**Bild 17: Flexible OLEDs – ein großes Zukunftsthema (Quelle: Scientific American)**