

# Elektrolumineszenz-Displays

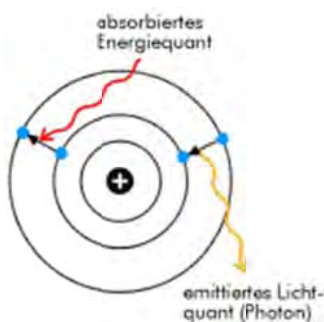
Copyright © by V. Miszalok, last update: 2011-02-17

## Lumineszenz

Nach dem Bohrschen Atommodell bewegen sich Elektronen nicht in beliebigem Abstand um den Kern, sondern nur auf ganz bestimmten, durch eine Quantenbedingung ausgezeichneten Bahnen, den sog. stationären oder erlaubten Bahnen oder Quantenbahnen.

Die Elektronen bewegen sich auf diesen stationären Bahnen strahlungsfrei, d.h. ohne Energieverlust. Je größer der Abstand der Bahnen vom Kern ist, um so größer ist das Energieniveau des Elektrons.

(Quelle: [www.led-info.de/grundlagen](http://www.led-info.de/grundlagen))



Der Übergang von einer Quantenbahn auf eine andere, der sogenannte Elektronen- oder Quantensprung, erfolgt dabei immer unter Aufnahme oder Abgabe der entsprechenden Energiedifferenz.

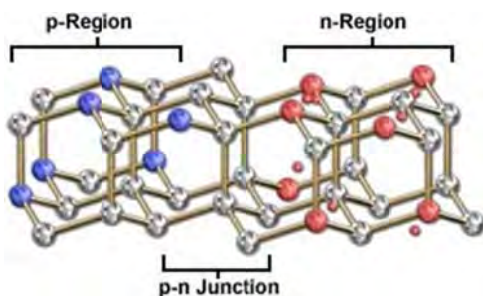
Beim Übergang zu einer niedrigeren Energiestufe wird die Energiedifferenz in Form eines Photons abgegeben. Absorption oder Emission von Strahlung kann nur in dem Energieabstand entsprechenden Frequenzen erfolgen.

Die Energie wird dabei in Elektronenvolt (eV) angegeben.

Licht emittierende Halbleiter (LED) müssen den der gewünschten Lichtfrequenz entsprechenden Energieabstand, der bei der Rekombination überbrückt wird, haben.

Kurzwellige LEDs (blau oder UV) müssen eine größere Energielücke bieten als langwellige (rot). Nach entsprechenden Halbleitern wurde in der Geschichte der LED lange geforscht.

Der Gesamtprozess, in dem ein Atom Energie aufnimmt und durch Photonenemission wieder zum Grundzustand zurückkehrt, heißt Lumineszenz.



LED = Siliziumkristall, der mit Fremdatomen dotiert ist

Silber: Silizium-Atome

Blau: p-Typ Atom mit Elektronenmangel → Anodenseite, Löcher-Injektion

Rot groß: n-Typ Atom mit Elektronenüberschuss → Kathodenseite, Elektronen-Injektion

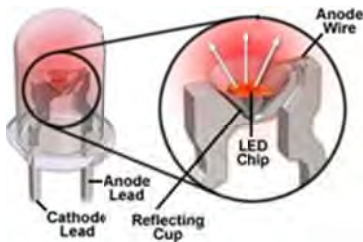
Rot klein: freie Elektronen

p-n Junction-Schicht:

Hier rekombinieren die Ladungen und hier entsteht Licht.

Bildquelle: [www.zeiss.com/campus](http://www.zeiss.com/campus)

## Light Emitting Diode Display = LEDD

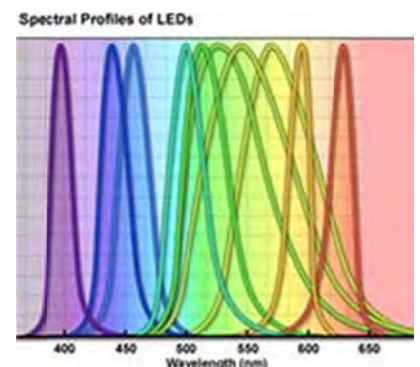


1. Basiserfindung 1962: Dotierte Galliumhalbleiter setzen el. Energie direkt in Licht um: Galliumarsenid → 780 nm = rot.
2. Basiserfindung 1993 durch Shuji Nakamura: Blaue Leuchtdiode mit Galliumnitrid 450 nm und blauer Halbleiterlaser ursprünglich als Abtaster für DVD-Player. Inzwischen gibt es sogar violette 400 nm Dioden.

Aus Blau und Violett kann man mit Hilfe von sekundärem gelbem Leuchtstoff weißes Licht erzeugen → **Pseudo-White-LEDs** (teuer).

Problem: Nur rote und gelbe Dioden sind billig. Der Dioden-Preis steigt exponentiell mit fallender Wellenlänge.

Vorteile: Geringer Stromverbrauch und konkurrenzlos lange Lebensdauer.



Durch enges Nebeneinanderpacken vieler Dioden kann man großflächige Rasterdisplays bauen.

**Vorteile:** leuchtstark, energieeffizient, kaltes Licht = 35% Wirkungsgrad,  
Lebensdauer 100.000 Stunden, mechan. + thermisch robust.

**Nachteile:** Pixel nicht unter 2 mm<sup>2</sup> Frontfläche miniaturisierbar,  
deshalb nur für grobe Anzeigen im Betrachtungsabstand > 5 m geeignet.

**Anwendung 1)** programmierbare Leuchtschriften und Verkehrszeichen,  
Großdisplays für Außenwerbung und Großveranstaltungen.

**Anwendung 2)** **LED-Backlight** mit local-dimming hinter LCDs,  
siehe V. Miszalog: **LCD: Licht und Farbe, Absatz 4** und c't 2/2009 Seite 102-105.

**Anwendung 3)** Scheinwerfer, Raumbelichtung, Rücklichter von Autos.

**Hersteller:** Siemens, HP, Sharp

**Zukunftsansichten:**

Geringer Stromverbrauch und konkurrenzlos lange Lebensdauer revolutionieren die Beleuchtungstechnik.

## Organic Light Emitting Diode Display = OLED

LEDs basieren auf anorganischem einkristallinem Material wie z.B. Galliumarsenid.

Erst 1977 entdeckte H. Shirakawa die Lumineszenz auf der Basis organischer Halbleiter.

Diese Entdeckung öffnet die Tür für eine neue Technologie hochauflösender und Energie-effizienter flacher Displays.

Herzstück eines OLEDs ist ein ca. 100 Nanometer dünner halbleitender Film bestehen aus einer Trägerschicht, auf der Leuchtstoffe als Farbpartikel aufgetragen sind.

Methoden des Farbauftrags:

billig: Typ 1 = PLED mit einer Art Tintenstrahldrucker oder

teuer: Typ 2 = SMOLED im Vakuum aufgedampft leuchtet stärker als Typ 1.

Der Film wird eingebettet zwischen eine transparente Anode und Kathode.

Unter einer Spannung von 2 bis 4 Volt strömen Ladungen in den Film.

Wenn Löcher und Elektronen sich auslösen, beginnen die organischen Moleküle des halbleitenden Films je nach Material rot oder grün oder blau zu leuchten mit guter Effizienz von ca. 50-100 Lumen pro Watt.

### Vorteile gegenüber LCDs:

1. Beliebige große Formate sind theoretisch möglich.
2. Selbstleuchtend ohne Hintergrund- oder Fremdbeleuchtung.
3. Graustufen werden über die Stromstärke geregelt.  
Es verbrauchen nur die Pixel Strom, die hell sind.  
Extrem stromsparend ist helle Schrift auf dunklem Hintergrund.
4. Hoher Kontrast unabhängig vom Blickwinkel,  
auch bei Sonnenlicht gut ablesbar, satte Farben.
5. Reaktionsschnell (unter 1 Millisekunde).
6. Winzig kleine Pixel möglich.
7. Alle LCD-Hersteller planen langfristig den Umstieg auf OLED.

### Zukunft:

1. Leuchtende Autoinstrumente und Tastaturen,  
die ihre Beschriftung ändern können.
2. Kreditkarten, die den Guthabenstand anzeigen,  
Zugangskarten die grün oder rot leuchten können
3. Langlebige, billige, leuchtstarke, flexible, dünne, chemisch stabile  
Displayfolien schneidbar in beliebiger Größe als Rollo oder Tapete,  
die gleichzeitig als Lampe, Fernseher und Monitor dient.

Video: [Flexible OLED](#)



## Probleme der OLEDs und deren Lösung:

Problem	Lösung
Die Kathodenschicht aus Barium reagiert extrem anfällig auf Feuchtigkeit und Sauerstoff.	Allseitige Kapselung unter Glas. Dadurch geht leider die Bieg- und faltbarkeit verloren.
Pixelalterung: Je heller ein Pixel leuchtet desto kürzer ist seine Lebensdauer. Je nach Belastung werden Pixel im Lauf von 1000 Betriebsstunden dunkler. Die blau leuchtenden Pixel altern am schnellsten, die roten am langsamsten. Nach einigen 1000 Betriebsstunden wird ein OLED insgesamt dunkler bei wachsendem Rotstich.	Gegenregulation durch Erhöhung der Betriebsspannung für jede einzelne Pixelfarbe
Wenn ein Bild lange Zeit unbeweglich auf einem OLED steht, entsteht ein dauerhaftes Schattenbild (burn-in).	Zeitgesteuerte automatische Invertierung oder Scroll des Bildinhaltes
Es gibt keine weiß leuchtenden OLEDs.	Ersatz durch von weiß durch blau. Vorgeklebte Filterfolie setzt blau nach weiß um.
Grüne Pixel leuchten am hellsten, blaue leuchten nur halb so hell.	Rote, grüne und blaue Pixel bekommen unterschiedliche Größe.
Aus quantenmechanischen Gründen können nur maximal 25% der eingesetzten elektrischen Energie in Licht umgewandelt werden.	75% muss als Abwärme entsorgt werden.
Der Herstellungsprozess ist noch nicht ausgereift bzw. gegenüber LCDs zu teuer.	OLEDs gibt es derzeit nur bis 11 Zoll.

### Passive Matrix und Active Matrix

Kleine monochrome OLEDs mit weniger als 120 Zeilen werden genauso wie kleine LCDs mit Hilfe der **Multiplexschaltung = Passive Matrix** angesteuert mit je einem Spaltentreiber oben und unten (für die vertikalen Drähte) und je einem Zeilentreiber links und rechts (für die horizontalen Drähte).

Höhere Ortsauflösungen erfordern aber zwingend eine teure **Active Matrix** → **AMOLED** wie bei **LCD-TFTs**. Üblich sind zwei Transistoren und ein Kondensator pro Pixel, wobei der erste Steuertransistor den zweiten Leistungstransistor schaltet und der Kondensator die Spannung am Ausgang bis zum nächsten Refresh konstant hält. Man kann nicht die LCD-TFT-Wafer benutzen, weil die OLED-Leistungstransistoren starken konstanten Strom liefern müssen anders als bei LCDs, wo nur ein Feld aufgebaut wird.

Neu ist eine spektakuläre Weiterentwicklung der Active Matrix (Samsung, Toshiba+Matsushita): Jedes Pixel erhält einen eigenen Lichtsensor, der den Stromdurchsatz an die Lichtemission rückkoppelt → Strom steigt, wenn Licht zu schwach. Damit lassen sich viele Pixelfehler und vor allem die vielen Alterungseffekte automatisch ausregeln. Weiter kann man diese Rückkopplung auch als Berührungssensor nutzen. Nachteil: Man braucht 6 Transistoren pro Pixel.

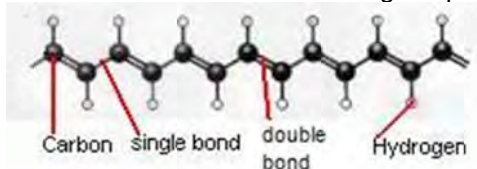

Siehe auch: Warum große OLEDs teuer sind = guter Artikel von Ulrike Kuhlmann in c't 2011, Heft 2, S. 132-134

# Typ 1 von OLED Leuchtstoff: Flüssige Polymere = POLED

Bei POLEDs bilden langkettige Polymere in Flüssigkeit gelöst (= solution based) und bilden eine Art leuchtende Tinte.

Mit solchen Tinten werden Pixel, Leitungsbahnen und Transistoren des OLED-Displays ohne Vakuum auf Glas oder PET gedruckt.

1. Basiserfindung 1977 durch Hideki Shirakawa, Nobelpreis 2000 "for the discovery of conductive polymeres": Bahnbrechende Entdeckung der Leitfähigkeit langkettiger abwechselnd ein- und zweiwertiger Kohlenstoffverbindungen  $C-C=C-C=C-C=C$ , die mit Jod dotiert (=verunreinigt) sind = konjugierte Polymere = Entdeckung der organischen Halbleiter und damit der "Organischen Elektronik". Organische Elektronik ist zwar viel langsamer als Silizium-basierte aber sie ist auf dünnen, flexiblen Plastikfolien realisierbar, energiesparend, billig und ideal als Datenträger auf Textilien, Verpackungen, Lebensmitteln.

<p>Example of a polymere-semi-conductor: Normally, the simple- and double-bounds change in exact order inside the polyacteylene-chain. In case of presence of iodine the positions of simple- and double bounds become unsharp, and electrons begin to fluctuate along the chain, but he chemical stability of the chain remains unchanged. Light emission occurs when the electrons move along the polyacteylene-chain</p> 	<p>Prof. Hideki Shirakawa Nobel prize for chemistry 2000 Image from: Scientific American 12/2000</p> 
---	--

2. Basiserfindung 1990: Entdeckung, dass einige leitende Polymere wie Polyanilin und Poly-Phenylen-Vinylen (PPV) je nach angelegter Spannung verschiedenfarbig leuchten können.

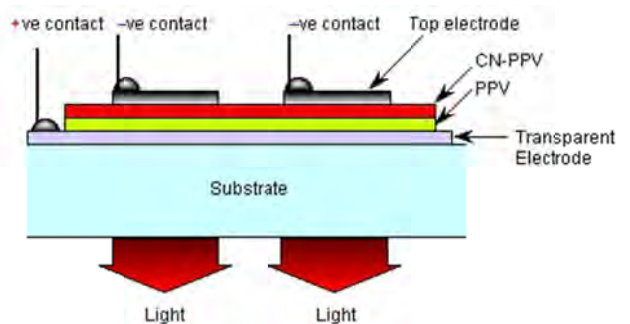
3. Basiserfindung 1997: Organische Feldeffekttransistoren aus dem Polymer Polyhexylthiopen P3HT, mit denen man PPV punktweise ansteuern kann. Jedes Pixel ist so aufgebaut von hinten nach vorne: Siliziumunterlage enthält pro Pixel eine Gate Elektrode, P3HT-Schicht mit einem FET pro Pixel incl. Source und Drain-Elektrode, Siliziumoxyd, PPV, Cäsium/Silber-Abdeckung.

Ein Pixelabstand (=Dot Pitch) von 0,5 Mikrometer ist möglich. Insgesamt entsteht eine flexible Folien-Transistorschicht als Backplane eines Displays beliebigen Formats.

Eine Spannung von  $\approx 4$  Volt an +ve und -ve trennt Ladungen in den beiden Polymerschichten CN-PPV und PPV. Es entstehen entgegengesetzt geladene bewegliche Moleküle. Treffen zwei davon aufeinander, entsteht Elektrolumineszenz.

## Aufbau einer (monochromen) PLED-Folie::

1. pro Pixel eine Top-Elektrode mit -ve contact = Kathode.
2. zwei Polymerschichten CN-PPV und PPV als Leuchtschichten.
3. transparente Elektrode aus Indium-Zinn-Oxyd = ITO mit +ve contact = Anode.  
Die  $4 \cdot 10^{-6}$  mm dicke ITO-Schicht ist leitfähig und trotzdem transparent.
4. Substrate = transparente Trägerschicht aus Glas oder PET



## Typ 2 von OLED Leuchtstoff: Pulverförmige "Small Molecules = SMOLED"

Bei SMOLEDs sind die langkettigen Polymere durch kurzkettige kleine Moleküle ersetzt.

Es entsteht ein Pulver, welches auf Glas oder PET im Vakuum (= vacuum based) aufgedampft wird.

Eine Maske aus Metall deckt die unbeschichteten Zwischenräume ab.  
siehe: [Merck: OLED Architecture](#)

### Vorteile von SMOLEDs gegenüber PLEDs:

1. längere Lebensdauer, sattere Farben.
2. Man kann durch zusätzliche phosphoreszierende Moleküle die Energiebilanz verbessern von max. 25% auf theoretisch 100%.
3. Der SMOLED-Leuchtstoff ist relativ leicht herzustellen.

### Nachteile gegenüber Polymer-OLEDs:

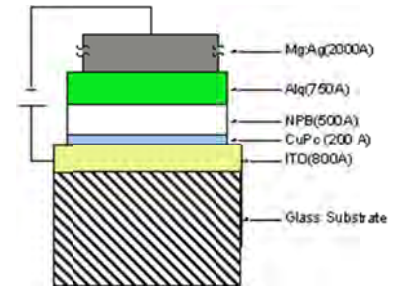
Teure Aufdampf-Beschichtung mit Hilfe von Metallmasken.

**Stand 2011:** Es sind nur Formate bis max. 92x73 cm am Markt.

Typische Anwendung: < 6 cm Bildschirmdiagonale in vielen Mobiltelefonen, MP3-Playern, Digitalkameras, 200 Milliwatt, Lebensdauer ca. 2000 Betriebsstunden.

Weltweit größter Hersteller 2011: 60% [Samsung OLED](#) Korea.

Angeblich produziert Samsung mit dem größten "Yield" der Branche, d.h. mit geringer Ausschussrate.



Aufdampfschichten von SMOLEDs in Angström = 1/10 Nanometer:

1. pro Pixel eine Magnesium-Silber Elektrode mit -ve contact = Kathode.
2. n-Typ Halbleiter aus Aluminium-Hydroxyquinolin (Alq).
3. p-Typ Halbleiter aus Naphthaphenylen-Benzidin (NPB).
4. Temperatur-stabilisierende Schicht aus CuPc.
5. transparente Elektrode aus Indium-Zinn-Oxyd (ITO) mit +ve contact = Anode.
6. Glass Substrate = transparente Trägerschicht aus Glas oder PET.

Führender Hersteller von POLED-, SMOLED- und hybriden Leuchtstoffen ist die [Fa. EMD-Merck, Darmstadt](#). In deren [Material Research Center](#) in Darmstadt werden hybride OLED-Leuchtstoffe entwickelt, die PLED- und SMOLED- Eigenschaften kombinieren.