

OLED

Prinzip und Verwendung, im Besonderen in der Displaytechnik

Warum OLED ...

- **bessere Bildqualität**
- **weniger Energieverbrauch**
- **flexible und widerstandsfähige Anzeigen**
- **geringere Abmaße (!)**
- **kostengünstig (?!)**

Übersicht

1. Lichtemittierende Halbleiter

1.1 Lichtemittierende Dioden

1.2 Organische lichtemittierende Dioden

1.3 Gegenüberstellung LED – OLED

2. Anzeigetechnik

2.1 LCD vs. OLED Anzeigen

2.2 Beispiele der OLED Verwendung in Displays

1. Lichtemittierende Halbleiter

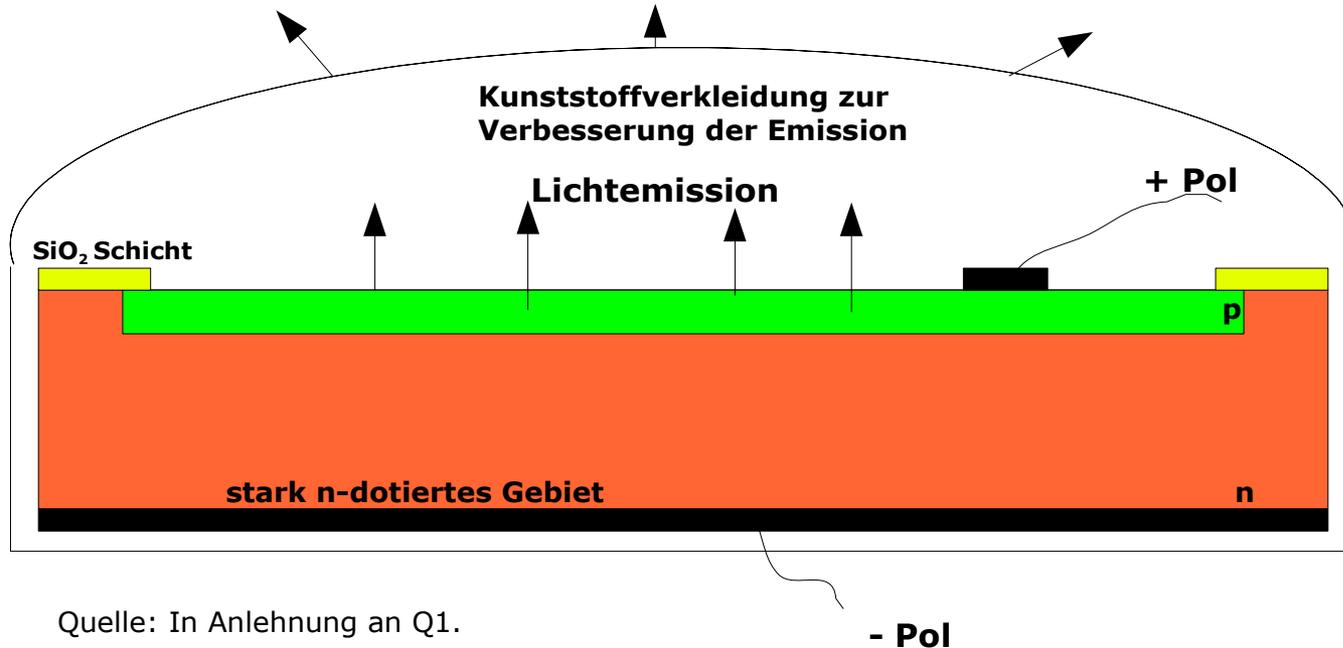
- **Umwandlung von elektrischer in Strahlungsenergie**
- **Rekombination in pn-Sperrschicht**
- **Ausprägung etwa als LED**
- **Diode in Durchlaßrichtung betrieben**
- **emittiert je nach Material unterschiedliches Licht**
- **als reine 'Lichtquelle', Laserdiode in LWL oder auch in der Anzeigetechnik etwa in Verbindung mit LCs**

1.1 Lichtemittierende Dioden

- **Aufbau aus p- und n- dotiertem Halbleiter**
- **n- Schicht stärker dotiert (oder p-Schicht, je nach Ausführung)**
- **bei Betrieb in Durchlaßrichtung fast ausschließlich Elektronenstrom**
- **Rekombination von Elektronen und Löchern im Bereich der Sperrschicht**
- **bei Rekombination wird Energie in Form von Licht freigegeben**
- **sowohl im sichtbaren als auch infrarotem Bereich, je nach Material grün, gelb, rot, orange und auch blau leuchtend**

Elektronen Orbitale

- **„Bestrebung“ von Elementen stabilen Zustand zu erreichen, d.h. keine freien Elektronen**
- **Elektronen befinden sich auf unterschiedlichen „Orbitalen“, d.h. sie besitzen ein unterschiedliches Potential**
- **Bindung von Elektronen → Rekombination**
- **im Besonderen bei OLED:**
 - **dotieren von Emissionsschichten nicht zur Ladungsänderung an sich sondern Veränderung des Energielevel in Hinblick auf die Lichtemission**
 - **... bzw. auch zur Beeinflussung des Elektronentransports und der Lebensdauer sowie der Quanteneffektivität**
 - **Verwendung von schweren Atomen wie Platin, Iridium als Emissionsträger**



- **Sperrschicht zwischen n- und p- Gebiet, hier p deutlich dünner und damit Grenze weniger tief im Material, d.h Photonen können leichter austreten**
- **bei Anlegen von Spannung erhöhter, gerichteter Austausch von Ladungsträgern**
- **Rekombination relativ dicht unter Oberfläche, Reflektion an Grenzschicht zwischen Halbleiter und Luft, darum Verkleidung zur Verbesserung der „Licht-Ausbeute“**
- **Wellenlänge abhängig von der Bandlücke, d.h. vom Material**

Farben und Materialien von LED

Farbe	Wellenlänge (nm)	Spannung (V)	Material
Infrarot	$\lambda > 760$	$< 1,9$	GaAs; AlGaAs
Rot	$610 < \lambda < 760$	$\sim 1,7$	AlGaAs; GaAsP; AlGaInP; GaP
Orange	$590 < \lambda < 610$	$\sim 2,0$	GaAsP; AlGaInP; GaP
Gelb	$570 < \lambda < 590$	$\sim 2,10$	GaAsP; AlGaInP
Grün	$500 < \lambda < 570$	$\sim 2,0$	InGaN; GaN; GaP; AlGaInP; AlGaP
Blau	$450 < \lambda < 500$	$\sim 3,0$	ZnSe; InGaN; Si; SiC
Weiß	Spektrum	3,5	Mischung oder Blau mit Phosphor

Gallium Arsenid (GaAs); Aluminium Gallium Arsenid (AlGaAs)

Gallium Arsenid Phosphid (GaAsP); Aluminium Gallium Indium Phosphide (AlGaInP)

Gallium (III) Phosphid (GaP); Gallium (III) Nitride (GaN); Indium Gallium Nitride (InGaN);

Zinc Selenide (ZnSe); Silizium (Si) (im Versuch), Siliziumkarbid (SiC)

Quelle: in Anlehnung an Q6.

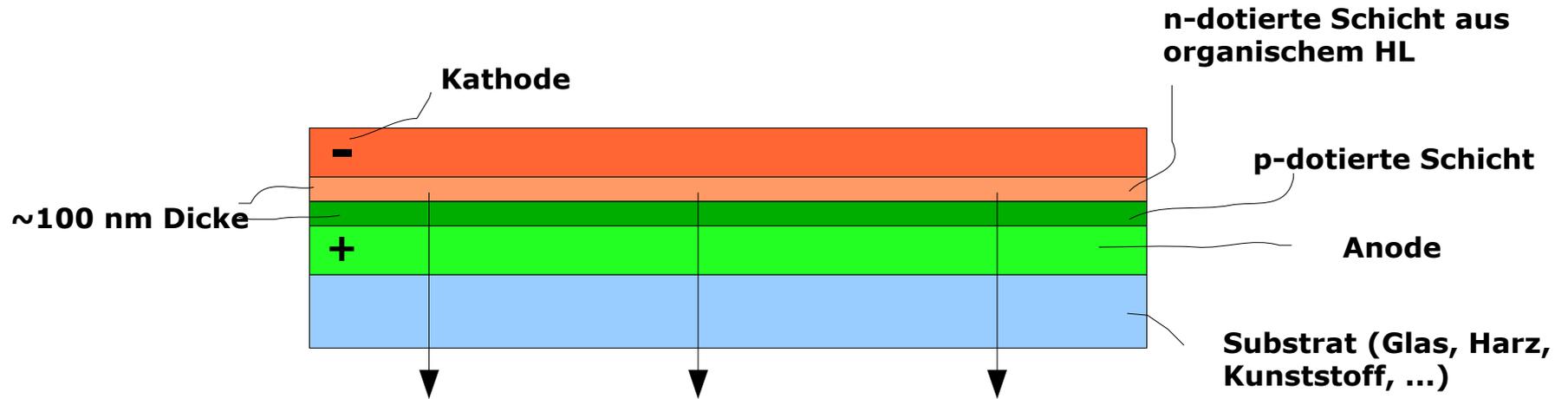
Verwendung von LED

- **Signalanzeigen**
- **Optokoppler**
- **Lichtschraken**
- **Lichtwellenleiter (Laserdioden)**
- **IR-Dioden zur Sterilisation**
- **LED Anzeigen (z.B. 7 Segment)**
- **LC Anzeigen**

1.2 Organische lichtemittierende Dioden

- ◆ **Begriff „organisch“ → Kohlenstoffverbindung, Benzenring?**
- ◆ **Aufbau im Prinzip wie LED**
- ◆ **Rekombinationsschicht hier allerdings organischer Halbleiter**
- ◆ **im Gegensatz zu LED typische Verwendung z.Z. in Anzeigetechnik**

Bild nicht maßstabsgerecht. Quelle: in Anlehnung an Q1 und Q2.



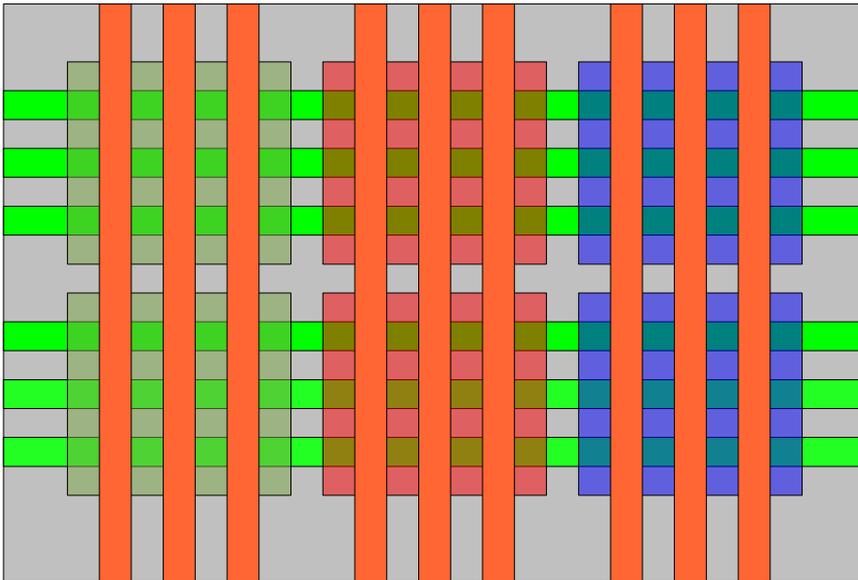
Licht einer Wellenlänge oder als Kombination bei > 2 Schichten

- **Injektion von Elektronen (Kathode) und Löchern (Anode) in zwei (oder mehr) jeweils n- bzw. p- dotierte Schichten, aus singulärem oder Polymermaterial**
- **wie bei LED Rekombination in der Grenzschicht**
- **wie bei LED hängt die Wellenlänge vom Material (hier der n- Schicht) ab**
- **... bzw. allgemein: Wellenlänge abhängig von Emissionsschicht**

OLED Typen

- **Passive Matrix**
- **Aktive Matrix**
- **Transparente**
- **Top-emitting OLED**
- **Flexible**
- **Weiß**

OLED mit passiver Matrix



Quelle: In Anlehnung an Q1 und Q2, Q6.

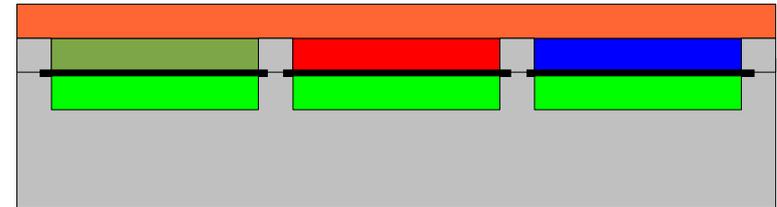
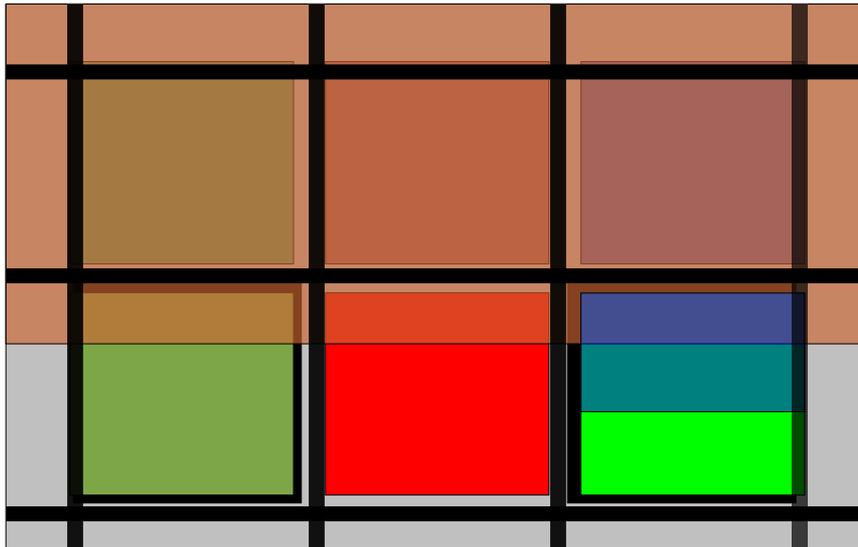
Kathode Substrat (grau)

Anode organische HL Schicht (grün, rot, blau)

- ◆ quasi pixelgenaue Ansteuerung ...
- ◆ ... aber relativ hoher Energiebedarf
- ◆ Helligkeit in Abhängigkeit von Stromstärke
- ◆ dadurch auch geringere Lebensdauer der O-Schicht
- ◆ Energiebedarf aber theoretisch geringer als LCD
- ◆ sinnvolle Verwendung primär für Text oder statische, kleinvolumige Bilder ...
- ◆ ... bzw. allgemein im mobile Bereich mit geringerer Pixelzahl/Bildschirmdiagonale

OLED mit aktiver Matrix

Quelle: In Anlehnung an Q1 und Q2, Q6.



Kathode **Anode** **Substrat (grau)**

organische HL Schicht
(grün, rot, blau)

TFT Layer
(schwarz)

- ◆ „Pixel“ aus Kathode, Anode und O-Schicht
- ◆ Anode wird durch eine dünne Transistor Matrix (TFT) überlagert
- ◆ TFT wirkt als ON/OFF Schalter für die einzelnen „Pixel“ (Schaltkreis zur Ansteuerung)
- ◆ brauchen weniger Energie als passive Variante
- ◆ haben höhere Refreshrate, auch darum besser für größere Anzeigen geeignet
- ◆ immer noch und gerade auch hier Probleme mit Degeneration der O-Schicht
- ◆ typisches Problem wie auch bei klassischen TFT Anzeigen: Bildschärfe bzw. -sichtbarkeit in direktem Sonnenlicht

Transparente OLED

- ◆ **selbes Prinzip wie zuvor aber die Schichten bestehen aus transparentem bzw. semitransparentem Material**
- ◆ **Licht wird in der aktiven Phase sowohl in Richtung der Kathode als auch der Anode emittiert**
- ◆ **Ausführung als passiv oder aktiv**
- ◆ **besserer Kontrast und damit höhere Sichtbarkeit im Sonnenlicht**
- ◆ **Verwendung z.B. in heads-up displays**

Flexible OLED und andere Sonderformen

- ◆ **flexible OLED haben eine Trägersubstanz aus dünnen Metallfolien oder Kunststoff**
- ◆ **„sehr widerstandsfähig“ und leicht**
- ◆ **Ausführung als „stacked OLED“, es werden hier die Pixel (grün, blau, rot) übereinander und nicht nebeneinander angeordnet**
- ◆ **dadurch z.B. höhere Farbtiefe und damit besser Bildqualität**
- ◆ **OLED die entweder nach oben oder unten Licht emittieren, in Verbindung mit transparenter Anode oder Kathode sowie reflektierender Gegenseite (Substrat)**

Weißlicht OLED

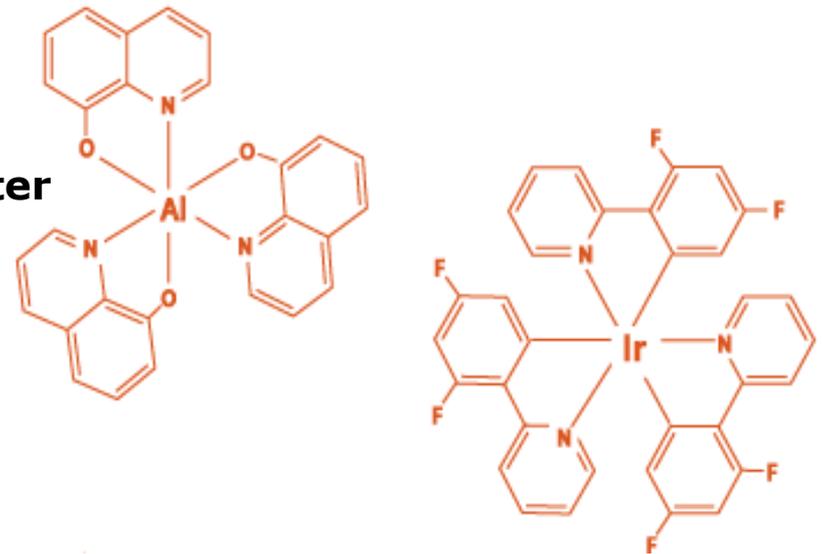
- ◆ **echtes weißes Licht**
- ◆ **deutlich geringerer Energieaufwand**
- ◆ **Probleme mit Helligkeit, einfaches Erhöhen der Eingangsleistung ist keine gute Option**
- ◆ **stacked WOLED vielversprechend → Überlagerung**

OLED Materialien

- ◆ **Molekulare Materialien, speziell kleine Moleküle (um 1987, Kodak)**
 - **erste Arten von OLED mit diesen Materialien**
 - **entweder rein organisch oder metallo-organische Materialien**
- ◆ **Polymer Materialien, hier in leitender Form (um 1990)**
 - **klassisch Polymere als Isolatoren (Kunststoff) später auch leitfähige**
 - **im Vergleich zu den kleinen Molekülen einfacher und billiger zu handhaben sowie besseres Verhältnis Energie/Licht**

Materialien aus kleinen organischen und metallo-organische Moleküle

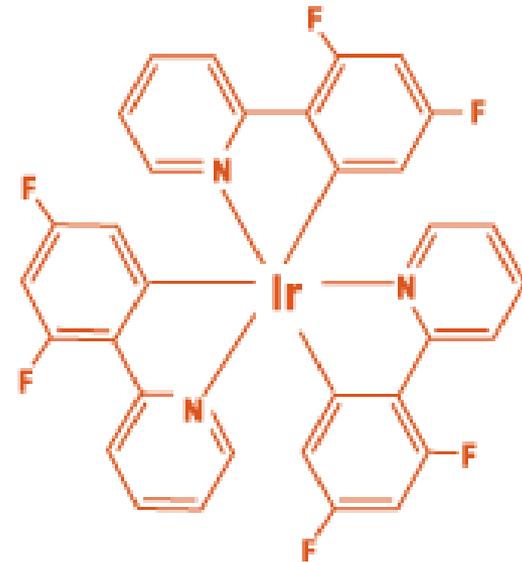
- Verwendung von Alq₃ und Iridium in Emmissionsschicht
- metallischer Kern und organische Liganden als Elektronen- bzw. Löcherleiter
- Applizierung in thermischem Bedampfungsverfahren im Hochvakuum
- wenig geeignet für großflächige OLED, dafür bessere Kontrolle der Struktur
- Problem bei Ladungsträgerleitung → Trägersubstanz und Sandwichbauweise



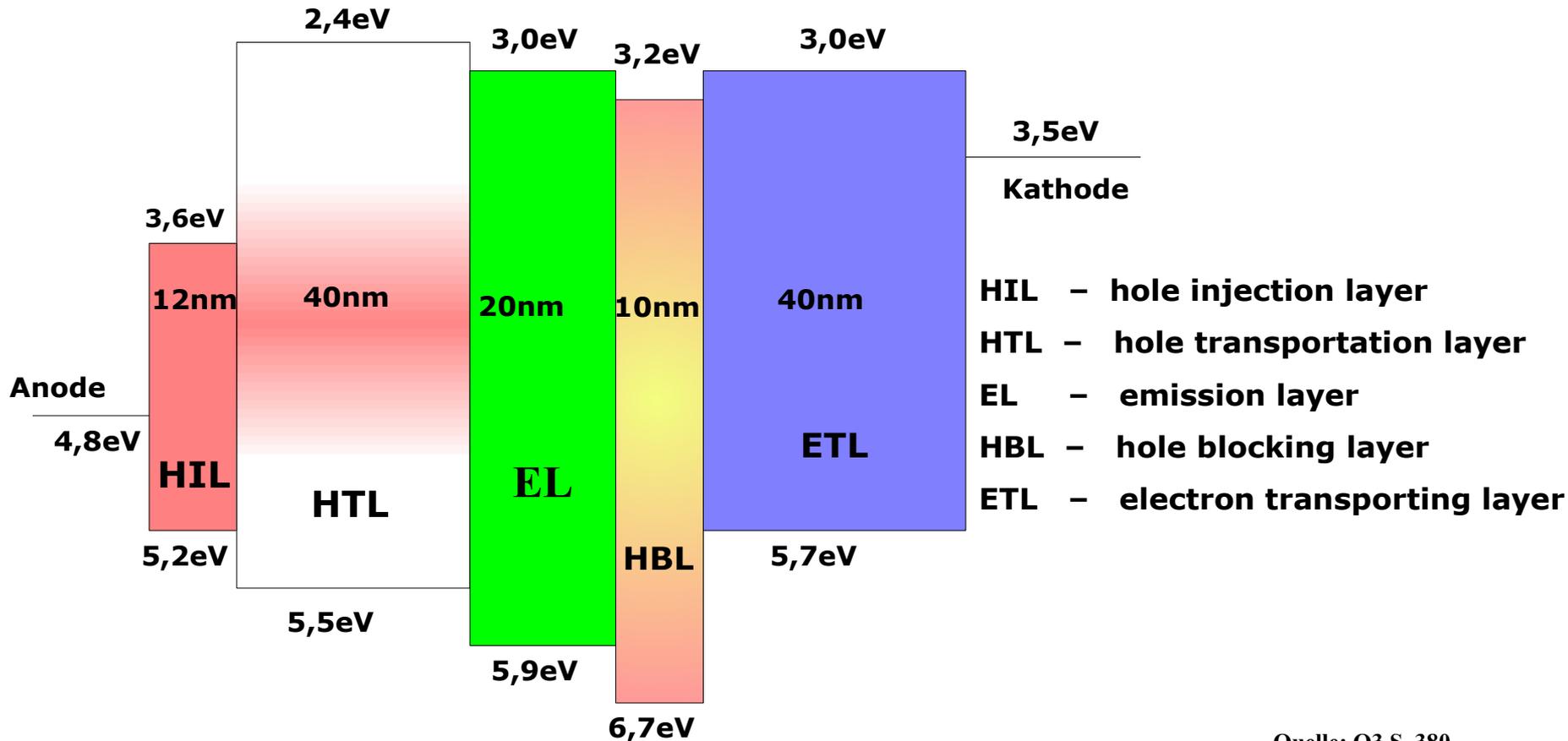
Phosphoreszenz OLED

im Gegensatz zur klassischen Elektrolumineszenz

- höhere „Lichtausbeute“ da nicht wie bei ELOLED ca. 25% der freien Energie als Licht
- Bsp. Iridium(III)komplex (grünes Licht) nahe 100% interne Quantumeffektivität
- Polymer als Trägersubstanz und organometallischer Komplex als Emitter
- Anpassung der Emissionswellenlänge möglich
- Umwandlung elektrischer Energie in Licht durch spezielle Dotierung verbessert



Typischer Aufbau von Phosphorescent OLED bzw. OLED per se

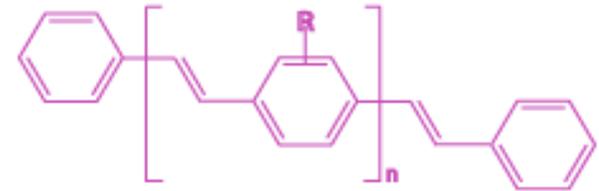


Quelle: Q3 S. 380

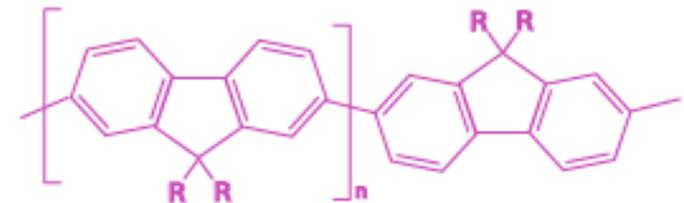
Polymer-Materialien

- ◆ Elektroluminiszenzpolymer in 1990 durch Friend und Holmes
- ◆ Einbettung von Emissionsmolekülen in lange Molekülketten → Polymere
- ◆ Feintuning der Eigenschaften dieser Polymere möglich, d.h. Effektivität der Energie-
transformation und damit der „Lichtausbeute“
- ◆ dünner Film z.B. im Injekt-Druckverfahren, Polymere werden auf Substrat aufgesprüht
- ◆ Größe der OLED Fläche fast beliebig

poly-(p-phenylenevinylene) = PPV



poly(2,7-fluorene)



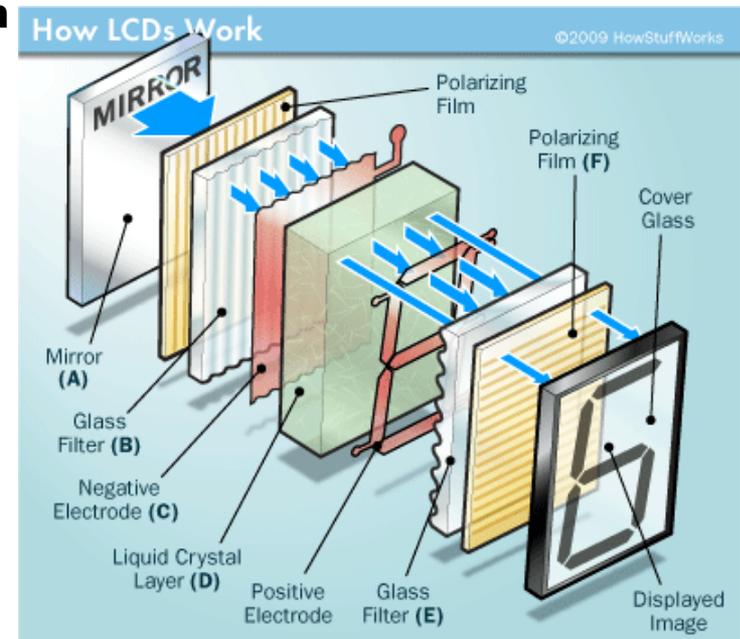
1.3 Gegenüberstellung LED - OLED

	LED	OLED
Material	metallisch	organisch oder metallo-organisch z.T. seltenerer Metalle
Kosten	gering	hoch bis gering bei Polymeren
Lebensdauer	hoch	in Abhängigkeit von Technik und Lichtfrequenz geringer oder höher als LED
Verwendung	vielfältig, einfache Signale über Laser Dioden bis TFT Display	in erster Linie Anzeigeelemente (Monitore)
Leistungs- aufnahme	gering	gering oder geringer als LED
Lichtqualität	gut je nach Frequenz Weiß durch spezielle LED oder als Spektrum	sehr gut, hohe Leuchtkraft, „echtes“ weißes Licht, Problem der Drift je nach Material

2. Anzeigetechnik hier: LC TFT Anzeigen

- LC TFT → liquid crystal thin film transistors Anzeigen
- einfacher Fall LC:
 - Licht kann polarisiert werden, Flüssigkristalle können polarisiertes Licht durchlassen bzw. seine Richtung ändern
 - die Struktur bzw. „Durchlassrichtung“ der Kristalle kann durch elektrischen Strom geändert werden
- LCD erfordert externe Lichtquelle
- damit zusätzlicher Energieverbrauch
- geringe Effektivität

Quelle: zu finden auf Q7



2.1 LCD vs. OLED Anzeigen

LCD	OLED
externe Lichtquelle	„selbstleuchtend“
starrer Träger (Glas)	Träger kann flexibel sein
immer Lichtquelle + LC = großvolumig	dünne, sich überlagernde Schichten
Herstellung ausgereift	Herstellung noch in Entwicklung
per se höhere Energieaufnahme ...	geringere Energieaufnahme ...
... aber nicht bei weißer Fläche	z.B. schwarzer Fläche (OLED = off) dafür deutlich höher bei weiß

2.1 LCD vs. OLED Anzeigen (2)

Vorteile	Nachteile
heller und kontrastreicher als LCD	Problem mit blauen OLED → Lebensdauer und Farbstabilität
kein Verlust an Grenzschicht zum Glasträger	Energieumwandlung bei blauer OLED schlechter
... oder durch LC, welche Licht blockieren	Probleme in direktem Sonnenlicht
einfacher (Polymer) und in größeren Flächen herstellbar	Trägersubstanz allerdings teuer
deutlich höhere Refreshrate (LCD 1 ms vs. OLED 0,01 ms)	Schäden durch Wasser und Sauerstoff
höheres Sichtfeld bzw. -winkel, da OLED „selbstleuchtend“	black spots bzw. screen burn-in

2.2 Beispiele der OLED Verwendung in Displays

KODAK OLED Wireless Frame



Quelle: Q10

KODAK EASYSHARE W1020 Wireless Digital Frame



Quelle: Q10

Technische Daten

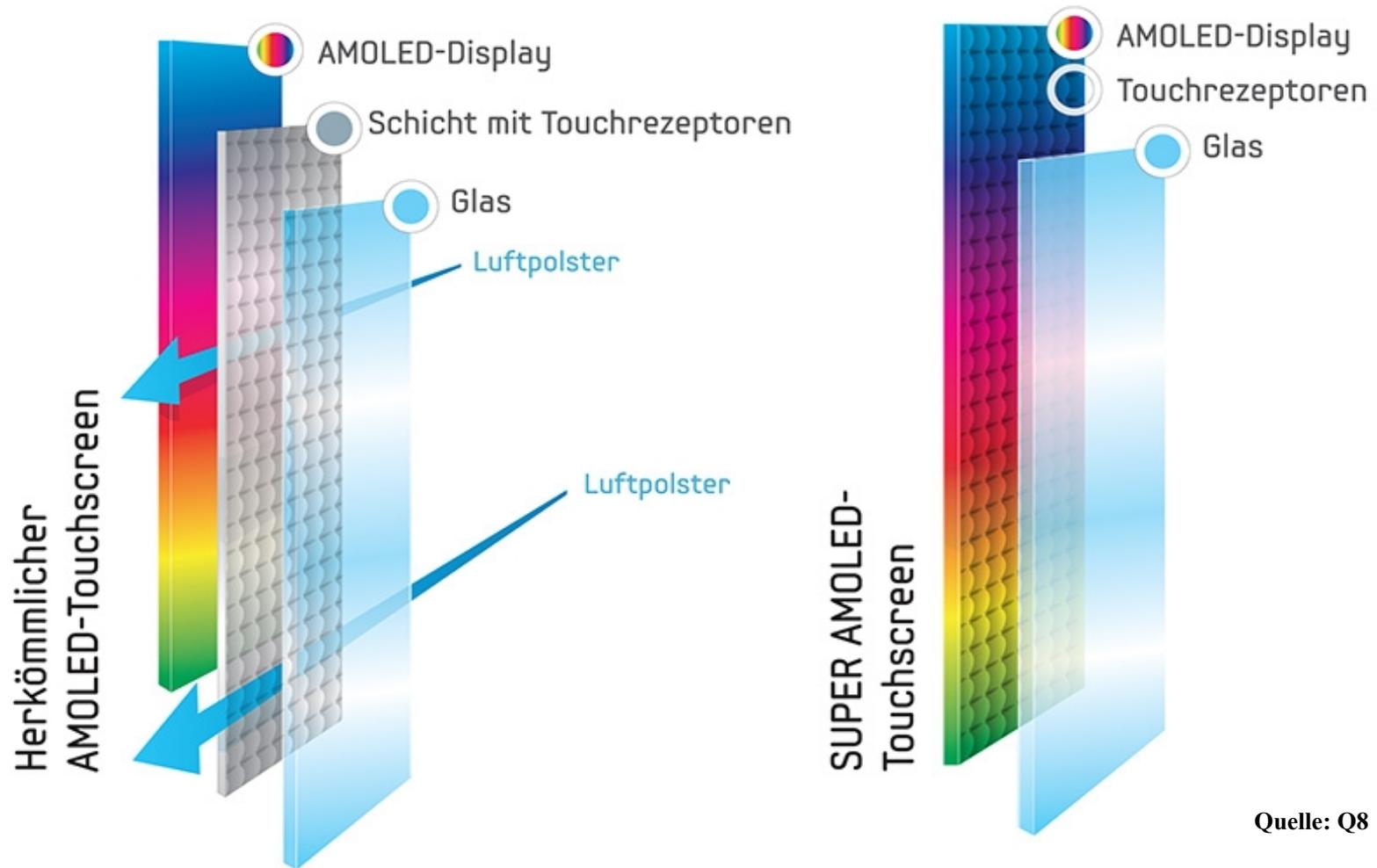
		OLED Wireless Frame	W1020
Anzeigetyp		AMOLED	TFT aktive Matrix
Kontrast		> 30k : 1	300 : 1
Abmessung	Diagonale	19,3 cm	20,3 cm
	Pixel	800 x 480	800 x 480
	sichtbar	17,6 x 10 cm	17,6 x 10 cm
Energieverbrauch	Betrieb	10,9 W	6,8 W
	Standby	0,45 W	0,47 W
	Aus	0,45 W	0,47 W
Preis		\$ 999,95	\$ 179,95

Samsung Wave S8500



Quelle: Q8

Samsung Wave S8500 „Super AMOLED“



Quelle: Q8

Nokia X6



Quelle: Q12

Ausgewählte Produktdaten S8500 und Nokia X6 im Vergleich

	Samsung 8500	Nokia X6
Anzeige	Super AMOLED	LCD
Auflösung	800 x 480 pixel	640 x 360 pixel
Größe Anzeige	8,4 cm	8,1 cm
Maße	118 x 56 x 10,9 mm	111 x 51 x 13,8 mm
Gewicht	116g	122 g
Akku	Li-Ionen, 1500 mAh	Li-Ionen, 1320 mAh
Gesprächszeit	bis 7h	6 h
Preis	um die £ 280	um die £ 300

Sony XEL 1

Quelle: Q9



Sony Bravia KDL-60LX905



Quelle: Q9

Datenvergleich XEL 1 und KDL-60LX905

	Sony Xel1	Sony Bravia KDL-60LX905
Anzeige	OLED, hier kleine Moleküle	LC Display mit LED Hintergrundbeleuchtung
Diagonale	11 "	60 "
Auflösung	960 x 540 pixel	1900 x 1200 pixel
Verbrauch	39 W	228 W / 156 W je nach Modus
Standby	0,8 W	0,2 W min
Abmessung	28,7 x 25,5 x 14,7 cm (mit Fuß) Monitor: 3 mm	144,0 x 90,6 x 6,4 cm (ohne Fuß)
Gewicht	2,3 kg (mit Fuß)	42,8 kg (ohne Fuß)
Preis	\$ 2799,99 / € 4.299,00	Sony: € 4199

Ausblick

- **OLED in flexiblen Displays (Militär!)**
- **OLED Tinten für Drucker, wie „normale“ Tinte**
- **OLED Folien, etwa Plakatwerbung**
- **OLED in Automotive Bereich, etwa Frontscheibendisplay**
- **OLED als „gewöhnliche“ Leuchtmittel (Novaled!)**
- **OLED als Ablösung der aktuellen TFT Monitor Technik**

Quellenangaben

- Q1:** Grundlagen der Photonik; 2. Auflage; Bahaa E.A. Saleh, Malevin Carl Teich;
Wilwy-VCH Verlag; ISBN: 978-3527-40677-7
- Q2:** Bauelemente und Grundschaltungen der Mikroelektronik; 9. Auflage; Frohn, Oberthür, Siedler,
Wiemer, Zastrow; Plaum Verlag; ISBN: 3-7905-0900-0
- Q3:** Highly Efficient OLEDs with Phosphorescent Materials; Yersin (Hrsg.); Wilwy-VCH Verlag;
ISBN: 978-3-527-40594-7
- Q4:** Erzeugung großflächiger organischer Leuchtdioden in einem vertikal In-Line-Bedampfungssystem;
Dissertation; Manfred Schreil; TU-Dresden 2004
- Q5:** Grundlagen der optoelektronischen Halbleiterbauelemente; Wagemann, Schmidt;
Teubner Verlag; ISBN: 3-519-03240-6
- Q6:** http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode ; http://en.wikipedia.org/wiki/Organic_light-emitting_diode
- Q7:** <http://electronics.howstuffworks.com/led.htm> ; <http://electronics.howstuffworks.com/oled.htm>
- Q8:** <http://s8500.samsungmobile.de/>
- Q9:** <http://www.sony.de/product/tvp-oled-tv/xel-1/tab/productbenefits#tab>
- Q10:** http://store.kodak.com/store/ekconsus/en_US/pd/OLED_Wireless_Frame/baseProductID.145106200/productID.145106300
- Q11:** <http://samsung.de/de/Privatkunden/TVHeimkino/Fernseher/LEDTV/ue19c4000/UE19C4000PWXZG/detail.aspx?atab=features>
- Q12:** <http://www.nokia.de/produkte/mobiltelefone/nokia-x6-8gb>
- Q13:** <http://flexdisplay.asu.edu/>



»Wissen schafft Brücken.«