

Handout zum Lehrer-Workshop

Herstellung einer low-cost Eigenbau-OLED

Literaturhinweis:

Für die theoretischen Grundlagen zur Elektrolumineszenz in der OLED verweisen wir auf unseren CHEMKON-Artikel: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ckon.201110164/pdf>

Online-Materialien:

Gehen Sie auf <http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/material/interactive/index.htm> und geben Sie "oled" in das Suchfeld ein. Sie finden hier unterstützende Materialien wie den OLED-Bau als Video, die druckbare Anleitung inkl. Arbeitsblättern und das Flash-Lerntool.

Gefahrenhinweise:

Es sind keine Gefahrenstoffhinweise für Superyellow bekannt. Allerdings basiert die Polymerlösung auf Toluol, weshalb das **Spincoating unter dem Abzug stattfinden muss**. Der Spritzschutz sollte stets festgehalten werden. Er schützt nicht nur vor Farbspritzern, sondern fängt auch das rotierende Glas ab, sollte es sich während des Schleudervorgangs vom Klebeband lösen. **Beim Spincoating stets eine Schutzbrille tragen!**

Legen Sie die Arbeitsfläche mit Zeitungspapier aus, bevor Sie mit Galinstan arbeiten. Galinstanreste sollten so gut wie möglich mit einer separaten Spritze aufgesaugt werden. Flecken der Legierung lassen sich am besten mit einer Seifenlösung und einem Haushaltsschwamm entfernen. Für Galinstan sind ebenfalls keine Gefahrenstoffhinweise bekannt.

Bezugsquellen:

Material	Bezogen von	Weitere Informationen
1. FTO-glass (TEC 7)	Sigma-Aldrich, p-nr: 735167	EC: 242-159-0
2. Galinstan®	Geratherm Germany	http://www.geratherm.com
3. Superyellow®	Merck KGaA, Germany	keine Angabe möglich
4. Selbstklebende Kupferfolie	Conrad Electronic SE	Best.-Nr.: 529532 - 62

Hinweis:

Die oben angegebenen Materialien können Lehrerinnen und Lehrer, die unsere Workshops besucht haben, als Set zum Selbstkostenpreis von unserer Arbeitsgruppe beziehen (ca. 4€ pro OLED). Besuchen Sie hierzu unsere Webseite (www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de) und klicken Sie auf „Chemikalien für unsere Partnerschulen“. Die Materialien für die Eigenbau-OLED finden Sie unter Punkt 10. Senden Sie die Bestellung per Email an Fr. Gärtig (gaertig@uni-wuppertal.de) und setzen Sie Hr. Banerji auf CC (a.banerji@uni-wuppertal.de).

Materialien pro Arbeitsplatz:

1 FTO-Glas
3 Stück doppelseitiges Klebeband (2.5 x 3.5 cm)
3 kleine Stücke selbstklebende Kupferfolie
Tesafilmrolle
1 Galinstanspritze
1 Spannungsquelle (DC) oder 9V Blockbatterie
1 Multimeter mit Kabel
2 Kabel mit Krokodilklemmen
1 Zellstofftuch
Aceton zum Reinigen

Materialien im Abzug (zum Spincoaten):

Flasche mit der Superyellow-Lösung
1 mL Einwegspritze
Bohrmaschine/ Winkelschleifer (3000 upm)
Stativmaterial (für Bohrmaschine)
PET-Flasche zurechtgeschnitten als Spritzschutz

Bauanleitung für eine Standard-OLED mit drei individuellen Emissionskreisen

1) Vorbereiten des ITO-Glases:

Reinigen Sie das ITO-Glas erst mit Wasser und dann mit Aceton und einem Zellstofftuch. Vermeiden Sie es von hieran, die ITO-Fläche mit den Fingern zu berühren. Messen sie den elektrischen Widerstand beider Glasseiten, in dem Sie die Kabelenden des Multimeters in einem Abstand von 1 cm auf die Glasoberfläche halten. Die leitfähige Seite sollte einen Wert von ca. 30-40 Ω -cm anzeigen. Kleben Sie nun das obere Drittel der leitfähigen Seite bündig mit Klebefilm ab (Abb. 1a).

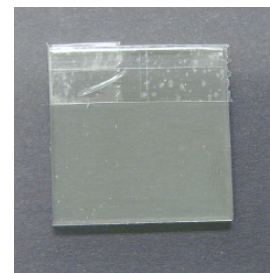


Abb. 1a: Vorbereitetes ITO-Glas

2) Spincoating des Emitters:

Achtung! Da beim Spincoaten Toluol verdunstet, sollte dieser Schritt unter dem Abzug und nur unter Aufsicht einer Lehrperson erfolgen. Spannen Sie die Bohrmaschine unter dem Abzug

senkrecht mit der Spitze nach oben in ein Stativ ein. Schließen Sie das Bohrfutter des Bohrers komplett. Fixieren Sie mithilfe eines kleinen Stück doppelseitigen Klebebands das ITO-Glas auf das Bohrfutter, sodass die leitfähige Seite nach oben blickt. Stülpen Sie einen Spritzschutz aus einer zurechtgeschnittenen 0,5L-PET-Flasche über und injizieren Sie mit der Spritze ca. 0,15-0,2 mL Superyellow-Lösung mittig zum Drehpunkt der Bohrmaschine auf das ITO-Glas (Abb. 1b). Starten Sie die Maschine mit voller Drehkraft (3000 upm) und spincoaten Sie für ca. 20 Sek. Sie sollten eine dünne, durchgehende Schicht aus Superyellow auf ihrem ITO-Glas erhalten (Abb. 1c). Der Klebefilm aus Schritt 1 wird entfernt.

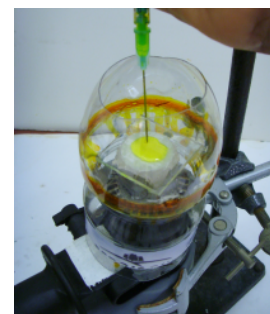


Abb. 1b: Low-cost Spincoater

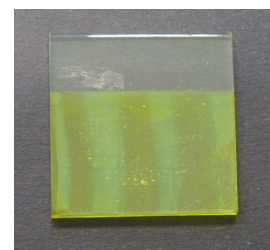


Abb. 1c: Beschichtetes ITO-Glas

3) Vorbereiten der Kathoden-Schicht:

Verkleben Sie drei Streifen doppelseitigen Klebeband (ca. 3.5cm x 2.5cm) miteinander und stanzen Sie drei Löcher mit Hilfe eines Lochers in die Schicht (Hinweis: befeuchten Sie die Bolzen mit Aceton). Bringen Sie das Klebeband auf die Superyellowschicht auf, entfernen Sie nicht die zweite Schutzfolie. Bringen Sie nun drei schmale Streifen Kupferfolien als Zuleitungen so an, dass ein Ende gerade in das Loch hineinragt, während das andere Ende zur Glaskante hin abgelenkt wird (Abb. 1d). Überkleben Sie alle drei Löcher mit einem Stück Klebefilm, sodass drei geschlossene Hohlräume gebildet werden. Drücken Sie den Klebefilm fest an, ohne die Hohlräume einzudrücken.

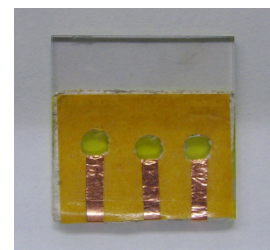


Abb. 1d: Klebebandschicht und Kupferzuleitungen

4) Injektion des Galinstans:

Achtung! Im Folgenden dürfen Sie mit der Kanüle auf keinen Fall die Superyellowschicht verletzen. Stechen Sie mit der Galinstanspritze vorsichtig an den Lochkanten ein und füllen Sie die drei Hohlräume maximal mit der Legierung aus (Abb. 1e, f). Eventuell austretendes Galinstan können Sie vorsichtig in die Spritze wieder aufsaugen. Überkleben Sie anschließend die Einstichstellen mit Klebefilm, drücken Sie nicht zu fest an, da ansonsten Galinstan austreten könnte

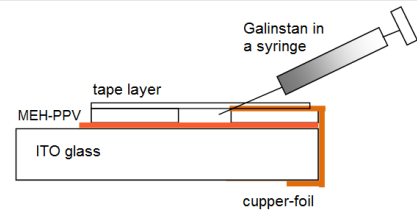


Abb. 1e: Injektion von Galinstan

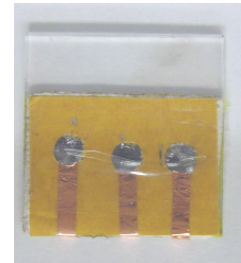


Abb. 1f: Rückseite der OLED nach Injektion von Galinstan

5) Anschluss der OLED und Aufnahme einer I/U-Kurve:

Schließen Sie mithilfe einer Krokodilklemme den Pluspol der Spannungsquelle an das freiliegende ITO-Glas an. Verbinden Sie das Multimeter mit dem Minuspol der Spannungsquelle und regulieren Sie die Spannung auf 2,0 V. Stellen Sie das Multimeter auf DC-Stromstärkemessung ein (Messbereich Milliampere) und verbinden Sie es nacheinander mit den drei Kupferzuleitungen der OLED (Abb. 1g)¹. Verdunkeln Sie den Raum und messen Sie in 1V-Schritten den Stromdurchfluss durch ihre drei Emissionskreise. Notieren Sie die Werte in die u.a. Tabelle und kategorisieren Sie das Leuchten symbolisch (s. Zuordnung unterhalb der Tabelle). Die stärkste Lumineszenz wird für gewöhnlich zwischen 8-9 V beobachtet (Abb. 1h). Beenden Sie die Messung bei 12 V und bauen Sie die OLED wie unter 6) beschrieben ab.

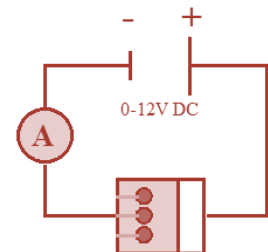


Abb. 1g: Schaltkreis

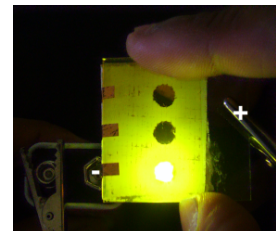


Abb. 1h: OLED bei 9V

U [V]	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I ₁ [mA]											
I ₂ [mA]											
I ₃ [mA]											

- =keine Lumineszenz; o =schwache Lumineszenz; oo = mittlere Lumineszenz; + =gute Lumineszenz; ++ = sehr gute Lumineszenz

6) Abbau der Eigenbau-OLED:

Entfernen Sie das abschließende Stück Tesafilm und wischen Sie das Galinstan mit einem Tuch raus oder saugen Sie es mit einer Spritze ab. Es eignet sich aufgrund oxidativen Abbaus nur bedingt zur Wiederverwertung. Entfernen Sie die restlichen Komponenten und waschen Sie das Glas mit fließendem Wasser und anschließend mit Aceton.

¹ Alternativ können Sie die OLED auch mit einer 9V Blockbatterie betreiben.

Arbeitsblatt 1: Leitfähigkeit in Polymeren

- Markieren Sie in den Polymeren in Abb. 1 die jeweilige Repetitionseinheit mit eckigen Klammern.
 - Überprüfen Sie die Molekülausschnitte auf konjugierte Doppelbindungen und heben Sie diese farbig hervor.

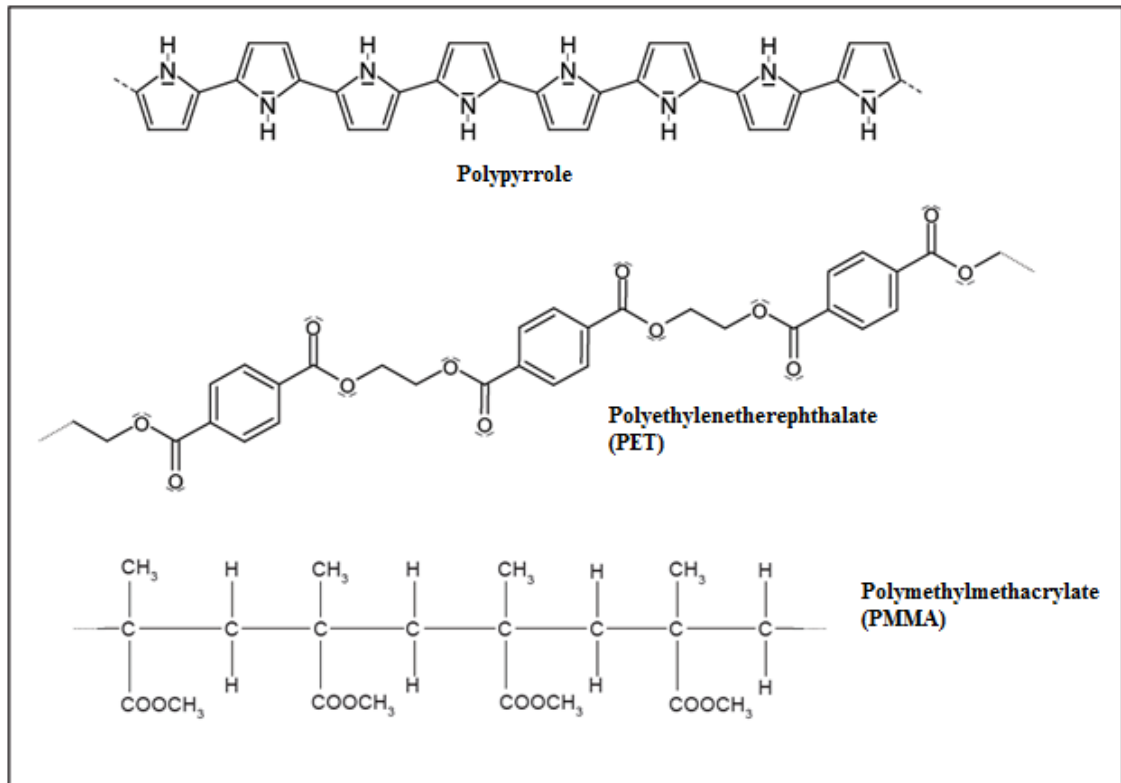


Abb. 1: Strukturausschnitte drei verschiedener Polymere

- Abb. 2 zeigt ein einfaches Modell zur Erklärung der Leitfähigkeit in Polymeren. Dieses Modell betrachtet lediglich die Kohlenstoff-Hauptkette eines Polymers mit den zugehörigen Valenzelektronen. Lesen Sie zuerst den Erklärungstext und ordnen Sie dann die drei Polymere aus Abb. 1 den drei Modellen in Abb. 2 zu.

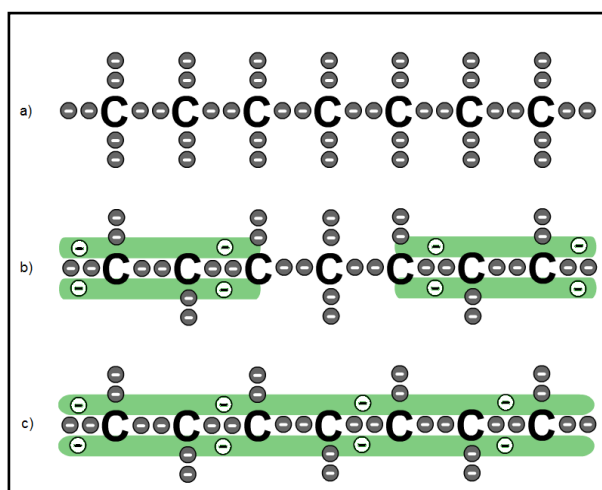


Abb. 2: Modell für die Erklärung von Leitfähigkeit in Polymeren

- lokalisiertes Elektron ⊖ delokalisiertes Elektron
- Bereich der Delokalisation

- In Polymer-Molekülen **ohne konjugierte Doppelbindungen** sind alle Elektronen lokalisiert. Diese Moleküle sind nicht in der Lage, elektrischen Strom zu transportieren.

Beispiel: _____

- In **teilkonjugierten** Polymer-Molekülen sind Doppelbindungs-Elektronen über die teilkonjugierten Abschnitte delokalisiert. Solche Moleküle zeigen keine nennenswerte elektrische Leitfähigkeit.

Beispiel: _____

- Durchkonjugierte** Polymer-Moleküle sind intrinsisch leitfähig, da hier Doppelbindungs-Elektronen, ähnlich wie ein Elektronengas, über das gesamte Molekül hinweg delokalisiert sind.

Beispiel: _____

Arbeitsblatt 2: Flash-Lerntool zur Elektrolumineszenz in OLEDs

Rufen Sie folgenden Link auf: <http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/material/interactive/index.htm> und geben Sie "oled" in das Suchfeld ein. Sie gelangen zur entsprechenden OLED-Animation. Downloaden Sie das Flash-Tool auf Ihren Desktop und extrahieren Sie die Datei „oled.exe“. MAC- oder LINUX-User können die Animation auch alternativ online abspielen, allerdings ist die Fenstergröße dann nicht regulierbar.

Untersuchen Sie zunächst das einfache Erklärungsmodell

1. Ein sehr häufig verwendeter OLED-Emitter ist das MEH-PPV. Die Abkürzung steht für:

Poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenevinyl]

- a. Ordnen sie die unterstrichenen Namenfragmente der Struktur in Abb. 3 zu. Verwenden Sie drei Farben.
- b. Die Animation zeigt das Molekül in einer reduzierten Form. Nennen Sie, welche Teile des Moleküls in der Illustration fehlen und vermuten Sie, weshalb auf ihre Darstellung verzichtet wurde.

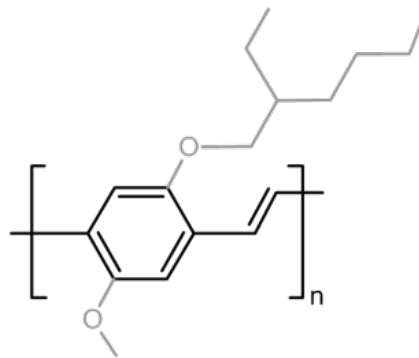


Abb. 3: Struktur von MEH-PPV

2. Die mittlere Molmasse des im Experiment verwendeten MEH-PPVs beträgt etwa 200.000 g/mol. Berechnen Sie die mittlere Anzahl der Repetitionseinheiten n. Rechnen Sie mit nachfolgenden Atommassen: $M(C) = 12 \text{ g/mol}$, $M(H) = 1 \text{ g/mol}$, $M(O) = 16 \text{ g/mol}$.

3. Abb. 4 zeigt die Situation im PPV-Molekül kurz nach der Injektion beider Ladungsträger. Kennzeichnen Sie im Bild die Anode und Kathode korrekt und ergänzen Sie die Pfade der Ladungsträger mithilfe von Pfeilen.

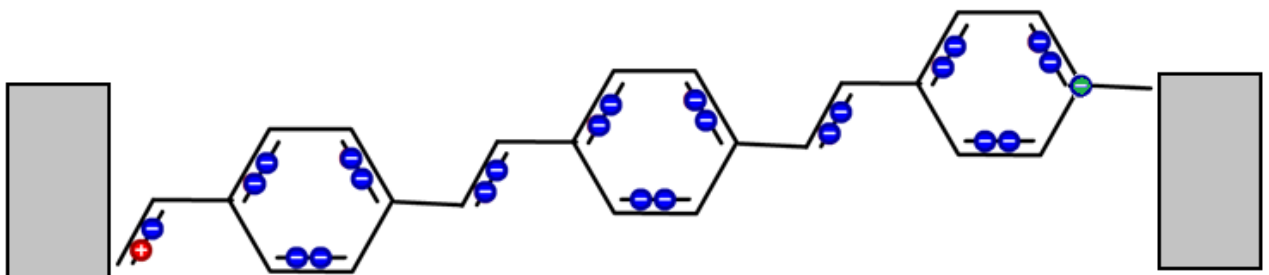


Abb. 4: Device-Struktur der OLED mit Fokus auf die Polymerschicht. Die Elektroden sind vereinfacht als Rechteckflächen dargestellt.

Untersuchen Sie jetzt das detaillierte Erklärungsmodell

4. Die Elektrolumineszenz unterteilt sich in fünf relevante Elementarprozesse. Untersuchen Sie die Prozesse im Detailmodell nacheinander. Benennen Sie die fünf Prozesse und tragen Sie die entsprechenden Nummern in beiden Teilen der nachfolgenden Abbildung ein.

- 1) _____ 2) _____
3) _____ 4) _____
5) _____

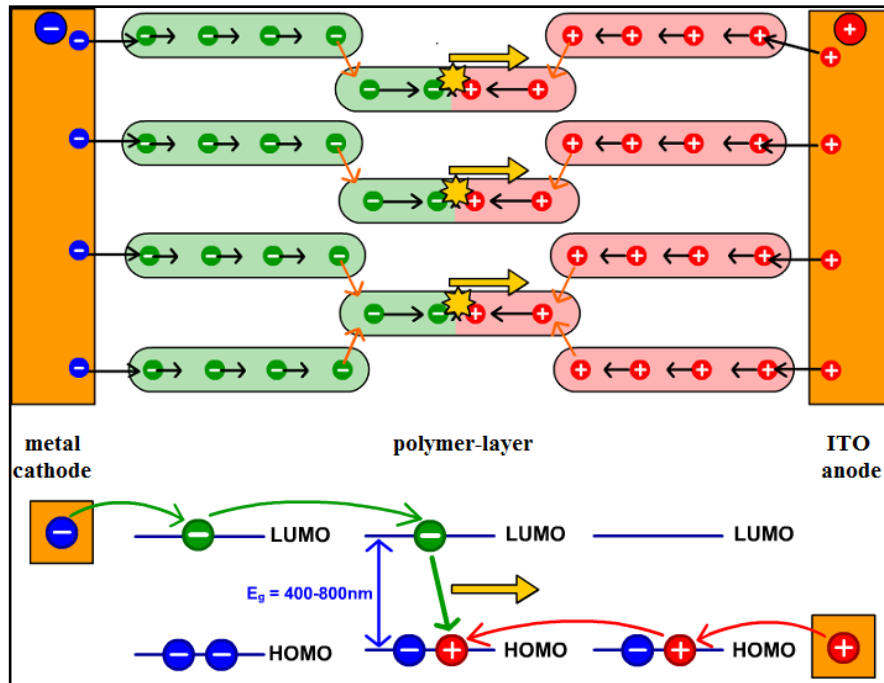


Abb. 5: Die fünf Elementarprozesse der Elektrolumineszenz im Strukturmodell (oben) und Energiemodell (unten).

5. Die Leistung einer OLED lässt sich mit der Einführung einer Lochinjektionsschicht steigern. Hierfür wird häufig das leitfähige Polymer PEDOT:PSS (Abb. 6) verwendet. Erklären Sie mithilfe des Energiediagramms in Abbildung 6, wie die PEDOT:PSS die Injektion von Löchern in die Emissionsschicht (MEH-PPV) vereinfacht.

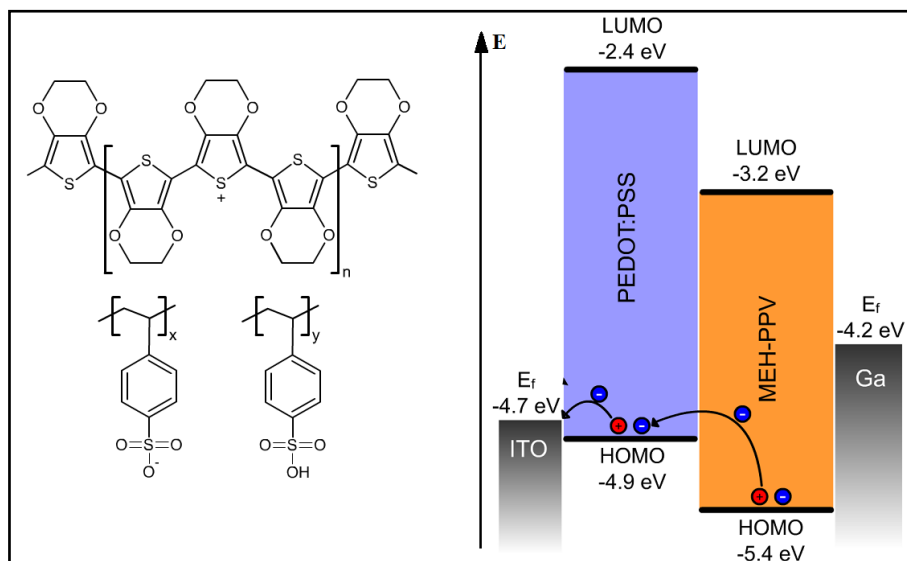
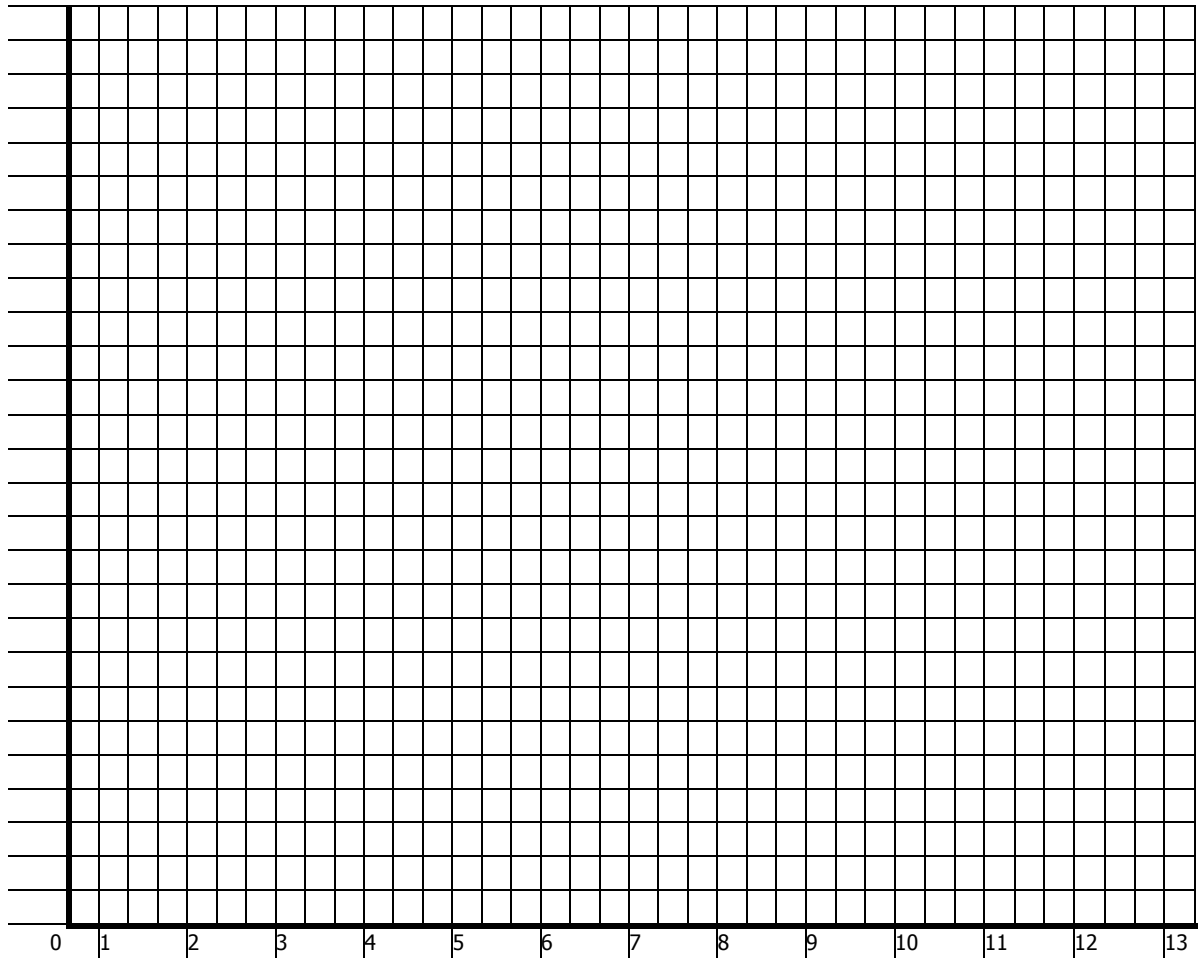


Abb. 6: links: Struktur von PEDOT: PSS; rechts: Energiediagramm einer OLED mit Lochinjektionsschicht
E_f: Fermi-Niveau (höchstes besetztes Energieniveau in anorganischen Halbleitern)
Alle Energiedaten sind in Relation zum Vakuum-Niveau angegeben.

6. Tragen Sie ihre Messdaten in das untere Diagramm ein. Verwenden Sie für die drei Emissionskreise unterschiedliche Farben. Skalieren Sie die Ordinate entsprechend der Messdaten und beschriften Sie beide Achsen.



7. Um die Effizienz ihrer OLED zu berechnen, müssen Sie die Leuchtdichten der Emissionskreise vermessen, was nur mit speziellen Geräten realisierbar ist. Der Einfachheit halber legen Sie für die Abschätzung der Effizienzen folgende fiktive Leuchtdichten in Anlehnung ihrer Klassifizierung zugrunde:

(-) = 0 Cd/m² (o) = 50 Cd/m² (oo) = 100 Cd/m² (+) = 200 Cd/m² (++) = 400 Cd/m²

Nun können Sie die Leistungseffizienz η_P (in Lumen pro Watt) ihrer drei Emissionskreise berechnen. Setzen Sie hierfür ihre I/U-Paare zusammen mit den abgeschätzten Leuchtdichten in die nachfolgende Gleichung ein:

$$\eta_P = L \cdot \pi \cdot 0,28 \text{ cm}^2 \cdot I \cdot U \cdot 10 \text{ [lm/W]}$$

L: Leuchtdichte [Cd/m²]; I: Stromstärke [mA]; U: Spannung [V]; Der Faktor π konvertiert Candela in Lumen

Tragen Sie ihre Ergebnisse in die nachfolgende Tabelle ein (auf 2 Nachkommastellen gerundet).

Markieren Sie jeweils den Punkt mit der maximalen Leistungseffizienz im obigen Diagramm.

U [V]	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
η_1											
η_2											
η_3											