

organic photo electronics

Didaktisches Kofferset zu organischen LEDs und Solarzellen

J. Dörschelln, A. Banerji, M. Zepp, M. W. Tausch

Es wird ein Kofferset mit experimentellem Equipment und didaktischen Materialien vorgestellt, das den Charakter einer Interaktionsbox für forschendes Lernen hat und für den Einsatz im Fachunterricht und in Projektkursen geeignet ist.

Stichwörter: OLED, OPV, organische Elektronik, Lichtabsorption und -emission, Energiestufenmodell, Elektronen, Löcher

1 Organische Elektronik

Auch wenn wir es uns manchmal anders wünschen: Auf die Displays ihrer Smartphones schauen Schüler immer noch am liebsten. Einige dieser „brandneuen“ Displays verwenden bereits organische Elektronik, genauer gesagt organische Licht emittierende Dioden (OLED). Diese noch relativ junge Technologie ermöglicht es den Herstellern flache und energieeffiziente Bildschirme auf den Markt zu bringen, die ein noch brillanteres Bild erzeugen als handelsübliche Flüssigkristallbildschirme (LC-Displays). Zudem können die Anzeigen gebogen oder gar komplett flexibel gefertigt werden. Organische Elektronik innoviert aber nicht nur den Display- und Beleuchtungsmarkt, sondern findet auch beispielsweise in der Photovoltaik Anwendung. Transparente Solarfolien aus organischen Halbleitermaterialien (**Organische Photovoltaik – OPV**) können kostengünstig von der Rolle produziert werden und lassen sich künftig fast unsichtbar in Autodächer, Fensterscheiben und Gebäudefassaden integrieren. Erste Anwendungen wie die Solarbäume des Deutschen Pavillons auf der EXPO 2015 in Mailand [1] offenbaren das Potenzial der neuen Technologie.

OLED und OPV werden in diesem Beitrag als Bauteile der **organic photo electronics** zusammengefasst. Ihre Funktionsprinzipien basieren auf den gleichen Elementarschritten, verlaufen jedoch antagonistisch zueinander (Abb. 1). Die Elektrolumineszenz (OLED) beginnt mit der Injektion von Elektronen und Löchern (Elektronendefektstellen) in die Halbleiterschicht (1), gefolgt vom Transport der Ladungen zueinander (2) und resultiert in der Ausbildung eines Elektron-Loch-Paares, das unter Lichtemission rekombiniert (3). Die Photovoltaik (OPV) wird durch die Absorption eines Lichtquants und die Ausbildung eines Elektron-Loch-Paares initiiert (1). Es folgt die Ladungstrennung und der Transport der Ladungen zu den Elektroden (2), wo die Ladungsträger aus der Halbleiterschicht extrahiert und an einen externen Verbraucher abgeführt werden (3).

Man unterscheidet im Wesentlichen zwei Typen organischer Halbleiter: a) makromolekulare Verbindungen mit konjugierten Doppelbindungen über die gesamte Moleküllänge, beispielsweise Polythiophen oder PPV (Abb. 2) und b) niedrigmolekulare Verbindungen, beispielsweise Metallkomplexe mit organischen Liganden. Die nachfolgenden didaktischen Betrachtungen beziehen sich schwerpunktmäßig auf die konjugierten Polymere. Polythio-

phene werden als Lichtabsorber und Elektronendonoren in organischen Solarzellen eingesetzt, Derivate von Poly-(p-Phenylvinyl) PPV als OLED-Emitter für gelbgrünes Licht verwendet.

2 Schulbezug

Wenn junge Menschen in die Lage versetzt werden sollen, sich eine Meinung über innovative Technologien zu bilden, um im gesellschaftlichen Kontext darüber adäquat zu kommunizieren [2], müssen wir ihnen bereits in der Schulausbildung die Auseinandersetzung mit Inhalten aus der aktuellen Forschung und den damit verbundenen technischen Innovationen ermöglichen. Dies ist ein zentraler Aspekt der curricularen Innovationsforschung [3].

Im Rahmen von Schulunterricht bietet der Oberstufenlehrplan Chemie in NRW im Inhaltsfeld „Organische Produkte – Werkstoffe und Farbstoffe“ die Möglichkeit, **Struktur-Eigenschafts-Beziehungen** von Funktionspolymeren in organischen LEDs und Solarzellen zu betrachten. Diese Polymere sind aufgrund ihres konjugierten Doppelbindungssystems nicht nur zum Ladungstransport befähigt, sie emittieren bzw. absorbieren auch Licht bestimmter Wellenlängen. Die Umwandlung von elektrischer Energie in Licht (OLED) und umgekehrt (OPV) ist ein zentraler Aspekt des **Basis-konzepts Energie**. Schlüssel zu beiden Prozessen ist der elektronisch angeregte Zustand, der vereinfacht als die Ausbildung eines Elektronen-Loch-Paares betrachtet werden kann. In der organischen Solarzelle muss das Elektronen-Loch-Paar getrennt werden, damit es zu einem Stromfluss

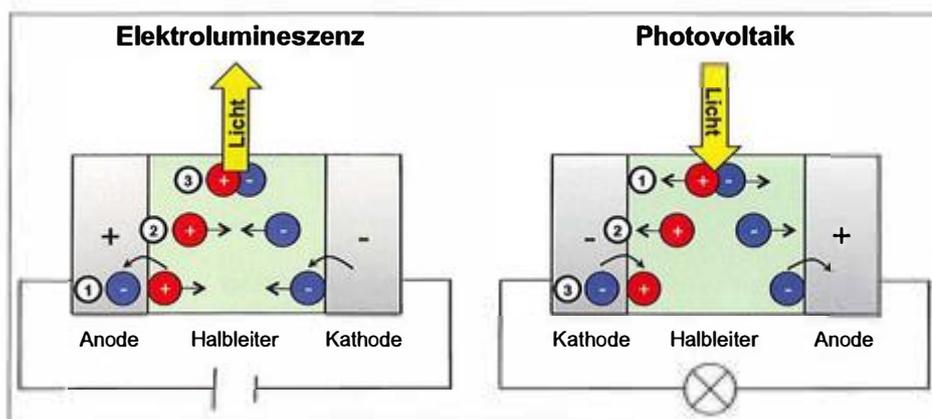


Abb. 1: Aufbau und Funktionsprinzip einer LED (links) und Solarzelle (rechts). Die Bezeichnungen der Elektroden beziehen sich auf den Ort der Reduktion (Kathode) bzw. Oxidation (Anode).

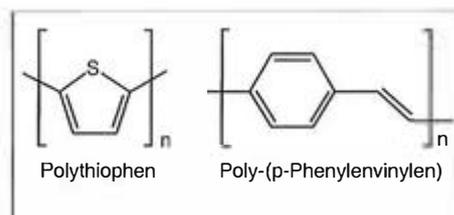


Abb. 2: Strukturereinheiten im Polythiophen- und im PPV-Makromolekül.



Abb. 3: Inhaltsübersicht des organic photo electronics Koffersets

kommen kann. Dabei findet das **Donator-Akzeptor-Prinzip** Anwendung, da das generierte Elektronen-Loch-Paar nur in freie Ladungsträger dissoziieren kann, wenn ein Akzeptor-Molekül das Elektron aufnimmt. Zur Erklärung der Elementarprozesse in der OLED und in der OPV wird das **Energie-stufenmodell** verwendet. Es gehört zu den obligatorischen Inhalten in [2] und schafft Querbezüge zur Nachbardisziplin Physik.

3 Organische LEDs und Solarzellen aus dem organic photo electronics Koffer

Der Koffer *organic photo electronics* (Abb. 3) bietet die Möglichkeit organische Solarzellen wie auch Leuchtdioden mit Schülern (sowohl in der Sek. I als auch in der Sek. II) im Klassensatz zu bauen, weiterführende Experimente durchzuführen und diese anhand verschiedener Medien zu besprechen und auszuwerten.

Der Kofferinhalt reicht für etwa 40 OPVs und über 100 OLEDs, wobei alle Materialien bis auf die Polymerlösungen mehrfach wiederverwendet werden können. Das Begleitheft beinhaltet 16 Arbeitsblätter zum Thema OLEDs (7 für die Sek. I und 9 für die Sek. II) und 20 Arbeitsblätter zum Thema OPVs (7 für die Sek. I und 13 für die Sek. II), sowie Material-/Sachinformationen, didaktische Hinweise und Gefährdungsbeurteilungen für alle Versuche. Alle Materialien des Begleitheftes werden auf dem USB-Datenträger durch Lösungen zu den Aufgaben, Sicherheitsdatenblätter und mehrsprachige Multimedia-Animationen [4] ergänzt.

4 Bau organischer Photo-Devices

Aus früheren Publikationen ist der Eigenbau einer low-cost OLED bzw. OPV bereits bekannt [5–7]. Die Bauanleitung wurde gemeinsam mit Lehrern und Schülern kontinuierlich weiterentwickelt und soll hier in der aktuellen Variante kurz vorgestellt werden. Eine zentrale Neuerung im Experiment stellt das Aufbringen der Polymerschicht auf den Glasträger dar. Zuvor erfolgte dies über die Rotierbeschichtung (Spincoating) mittels Bohrmaschine oder Winkelschleifer. Durch Verringerung der Konzentration der Polymerlösung gelang es die nötige Drehgeschwindigkeit zu halbieren, so dass bereits ein einfacher PC-Lüfter zum Spincoaten ausreicht. Dies spart nicht nur Material und Kosten ein, sondern erhöht auch die Sicherheit, da auf schwere Werkzeuge verzichtet werden kann. Im Folgenden wird der Bau der low-cost OLED zusammengefasst (Abb. 4).

- Im ersten Herstellungsschritt wird die leitfähige Seite eines FTO-Glasträgers¹ detektiert, mit Aceton gereinigt und mit einem Stück Klebefilm abgeklebt (1).
- Anschließend wird der Glasträger mithilfe von Klebeband auf einem PC-Lüfter fixiert, welcher an eine 4,5 V Flachbatterie angeschlossen wird. Auf das rotierende Glas wird mit einer Spritze ca. 0,1 mL einer Superyellow-Lösung (ein PPV-Derivat) aufgetragen. Man erhält eine homogene, tiefgelbe Schicht des Halbleiters (2).

- Auf eine Fassung – gefertigt aus einem Objektträger, zwei schmalen Gummistreifen und selbstklebenden Kupferstreifen – werden drei Tropfen Galinstan (Eutektikum aus Gallium, Indium und Zinn) auf den Kupferstreifen platziert (3).
- Das beschichtete FTO-Glas wird mit der Halbleiterschicht auf die Fassung gelegt und mit Klammern fixiert (4, 5). Eine 9V Batterie wird mit dem Pluspol an das freigelegte FTO-Glas und mit dem Minuspol an die Kupferzuleitungen angeschlossen. Es erscheint eine helle, gelbgrüne Lumineszenz im Bereich der Kontaktfläche zwischen dem Galinstan und dem Superyellow. Je nach Güte der OLED hält das Leuchten zwischen Minuten bis zu Stunden an.

Der Bau der low-cost OPV verläuft prinzipiell analog zur OLED. Zur Effizienzsteigerung wird das FTO-Glas aber zuerst mit einer Schicht aus PEDOT:PSS (Poly-3,4-ethylenedioxythiophen und Polystyrolsulfonat) versehen. Erst dann wird die lichtabsorbierende Schicht, ein Komposit aus P3HT und PCBM (Poly-3-hexylthiophen und Phenyl-C61-butansäuremethylester), mittels PC-Lüfter aufgeschleudert. Die Schicht muss anschließend noch für ca. 10 Minuten auf 140 °C erhitzt werden, bevor das Bauteil analog zu Schritt 3–5 (Abb. 4) zusammengefügt werden kann. Die Leistung der OPV-Zelle ist ausreichend, um den beiliegenden Motor mit einer Taschenlampe zu betreiben.

¹ Fluor dotiertes Zinnoxid (fluorine tin oxide) ist ein transparentes leitfähiges Material

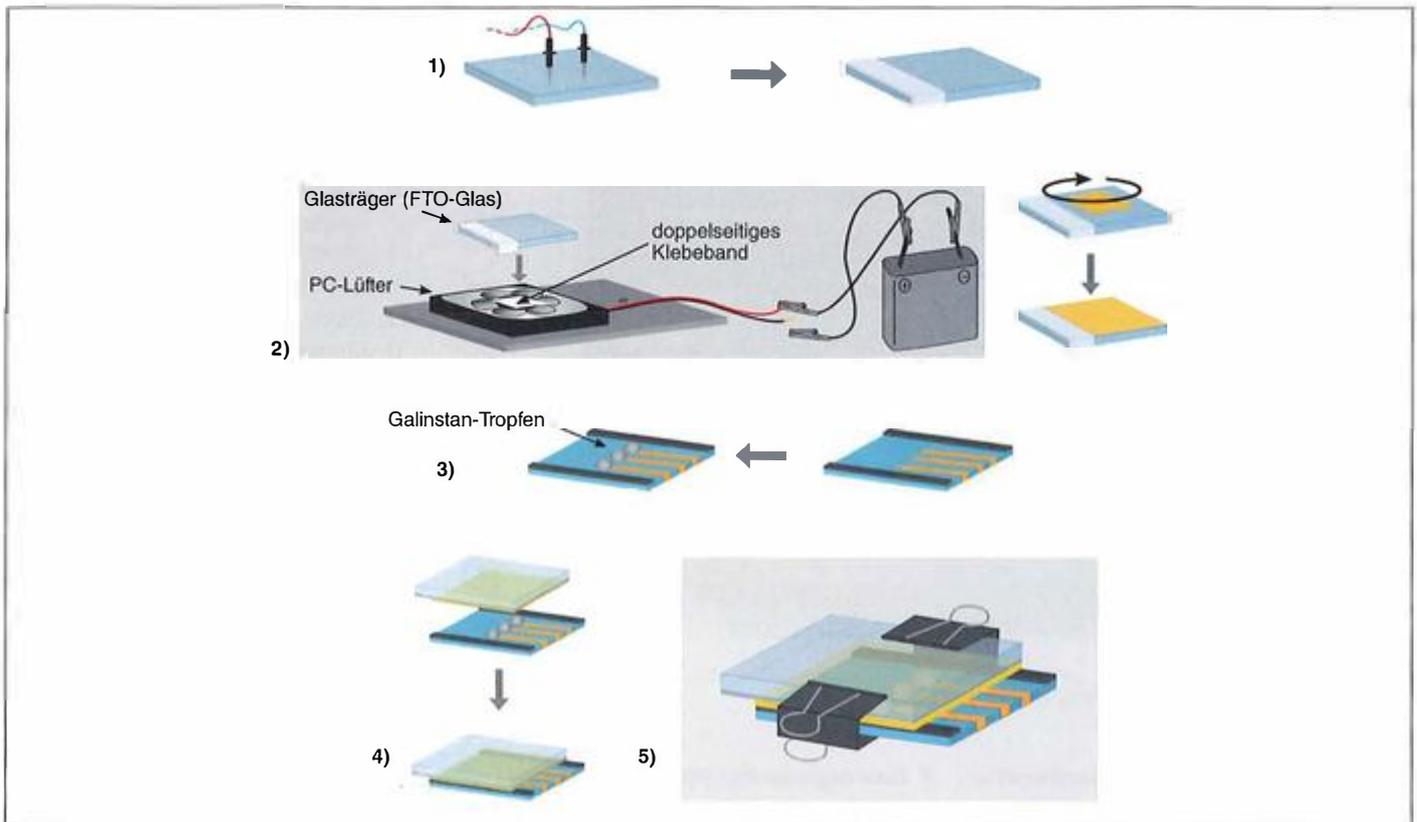


Abb. 4: Fotostory zum OLED-Bau. 1) Vorbereitung des FTO-Glases, 2) Spincoating mit PC-Lüfter, 3) Vorbereitung der Galinstanfassung, 4) Zusammenfügen des Bauteils, 5) Fertige low-cost OLED

5 Erprobungsphase

Im Rahmen des *International Year of Light* fand im Juli 2015 ein Multiplikatorkurs statt, bei dem Vertreter der GDCh-Lehrerfortbildungszentren die Gelegenheit hatten, mithilfe des Koffers OLEDs und OPVs zu bauen und in die Lage versetzt zu werden, die Experimentiertechnik und den Einsatz der didaktischen Materialien in der Lehrerfortbildung zu vermitteln. Für das Jahr 2016 sind an diesen Zentren Fortbildungen geplant, um Lehrern einen didaktischen Zugang zur innovativen Thematik der organischen Elektronik zu gewähren. Nach erfolgreicher Fortbildung sollen die Koffer von den Fortbildungszentren leihweise den Partnerschulen zur Verfügung gestellt werden. Über den genauen Ablauf und die Modalitäten der Fortbildungen und des Verleihs der Koffer kann zu diesem Zeitpunkt noch keine verbindliche Aussage getroffen werden. Es wird aber ausdrücklich gewünscht, sich bei Interesse an der Fortbildung und dem Koffer unverbindlich online zu registrieren [8] oder auf dem elektronischen Weg bei den Verfassern dieses Beitrags zu melden.

Nach einer Erprobungsphase ist vorgesehen weitere Koffer zu produzieren, die über Förderinitiativen von Schulen

und Bildungseinrichtungen bezogen werden können. Hierüber wird in Zukunft berichtet. ■

Danksagungen

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG wird für die Förderung des Forschungsvorhabens Photo-LeNa (Photoprozesse in der Lehre der Naturwissenschaften) gedankt.

Der Firma MERCK KgaA und der GDCh wird für das Sponsoring der Prototyp-Exemplare des organic photo electronic Koffers gedankt.

Literatur

- [1] J. Rahner, *Materialien der organischen Photovoltaik auf der EXPO 2015 in Mailand*, www.aktuelle-wochenschau.de, Beitrag 21/2015, abgerufen am 18.08.15
- [2] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II, Gymnasium/ Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen, Chemie*, S. 12 (2014)
- [3] M. W. Tausch, „Innovationen - In Zeiten von Kerncurricula und PISA“, *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 58 (2), 35 (2009)
- [4] Alle Flash-Animationen sind auch frei im Internet verfügbar unter: <http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/flash/index.html>, abgerufen am 18.08.15

html, abgerufen am 18.08.15

[5] A. Banerji, M. W. Tausch, „Elektrolumineszenz in organischen Leuchtdioden“, *PdN-ChiS* 59 (4), 42 (2010)

[6] A. Banerji, M. W. Tausch, U. Scherf, „Fantastic Plastic – von der Cola-Flasche zur organischen Leuchtdiode“, *CHEMKON* 19 (1), 7 (2012)

[7] M. W. Tausch, M. Zepp, „Organische Photovoltaik“, *PdN-ChiS* 64 (1), 18 (2015)

[8] <http://www.iyl2015.uni-wuppertal.de/material/equipment/ope/index.html>

Anschrift der Verfasser

Jun.-Prof. Dr. Amitabh Banerji

Jennifer Dörschelln

Universität zu Köln, Chemie und ihre Didaktik,
Herbert-Lewin-Str. 2, 50931 Köln
a.banerji@uni-koeln.de
j.doerschelln@uni-koeln.de

Melanie Zepp

Prof. Dr. Michael W. Tausch

Bergische Universität Wuppertal
FB C – L13.01/04
Gaußstr. 20, 42119-Wuppertal
mtausch@uni-wuppertal.de
mzepp@uni-wuppertal.de