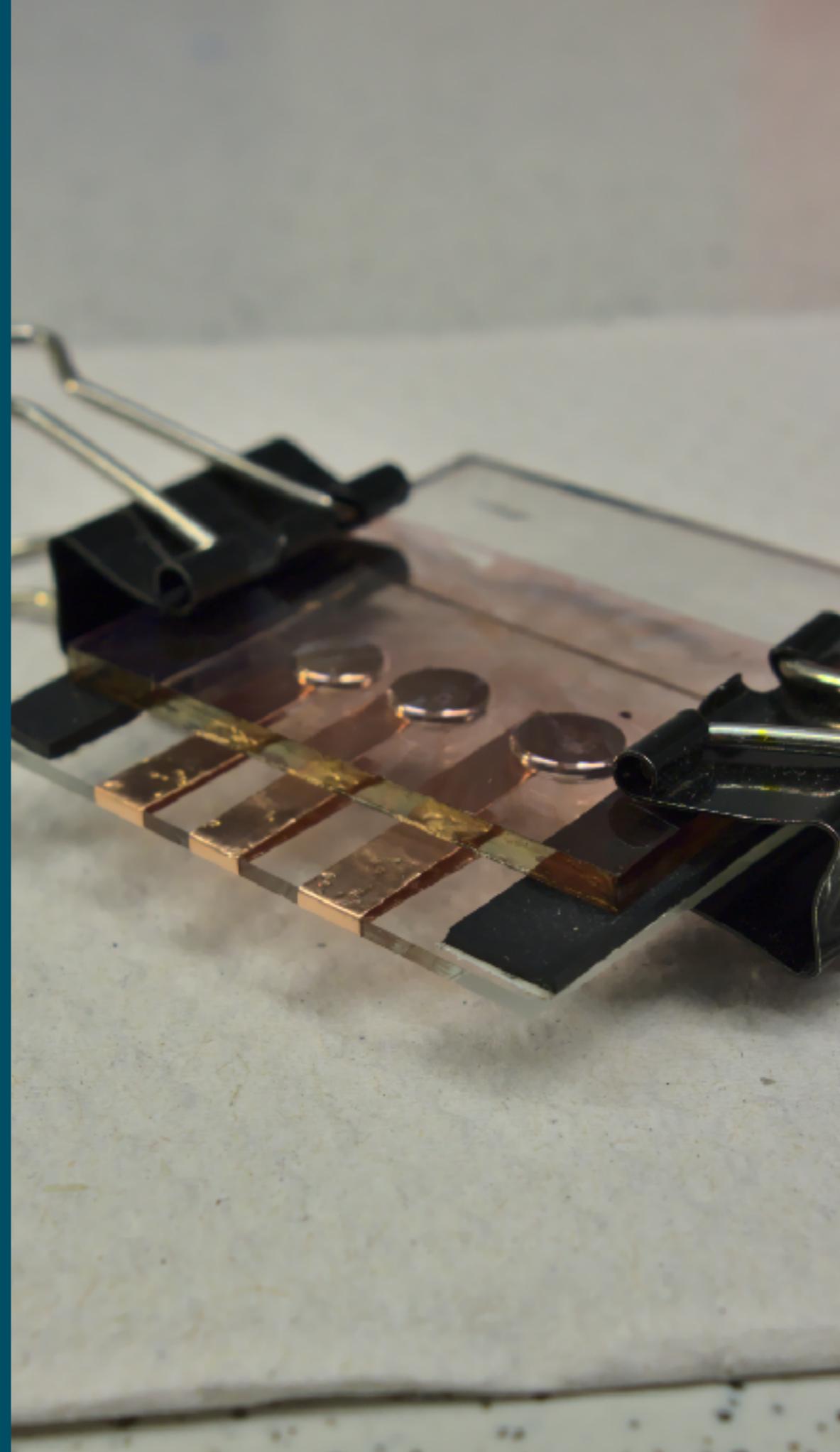


Chemie-Labothek

INTELLIGENTE KUNSTSTOFFE

BLOCK 4
Solarzelle auf Basis halbleitender organischer
Verbindungen



BLOCK 4

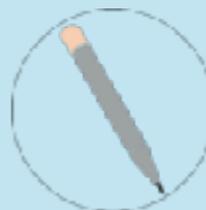
ANLEITUNG & HINWEISE

Im folgenden Abschnitt finden Sie die Anleitungen zu den Versuchen. Versuchsdurchführungen sind mit ein V gekennzeichnet (z. B. V 2.1). Anschließend sind einzelne Auswertungsfragen/-aufgaben angefügt (z. B. A 1.2).

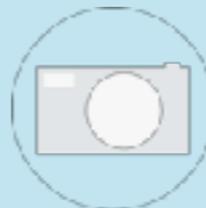
Zwischendurch werden Sie diverse Symbole und Piktogramme erkennen.



Dieses Symbol weist Sie darauf hin die beschriebenen Arbeiten im Abzug durchzuführen.



Stellen, an denen Sie etwas ausfüllen oder ergänzen sollen, sind mit diesem Symbol markiert.



Dieses Symbol signalisiert, dass Sie an dieser Stelle mithilfe der Kamera Aufnahmen tätigen sollen.

Solarzelle auf Basis halbleitender organischer Verbindungen - Herstellung

Arbeitsmaterialien

FTO-Glas, Glas mit Gummistreifen,
2 Foldbackklammern, Spincoater mit Spritz-
schutz, 1-mL-Einwegspritze mit Kanüle, Pipette,
Klebefilm, Reinigungstücher, Objekträger,
Pinzette, Heizplatte

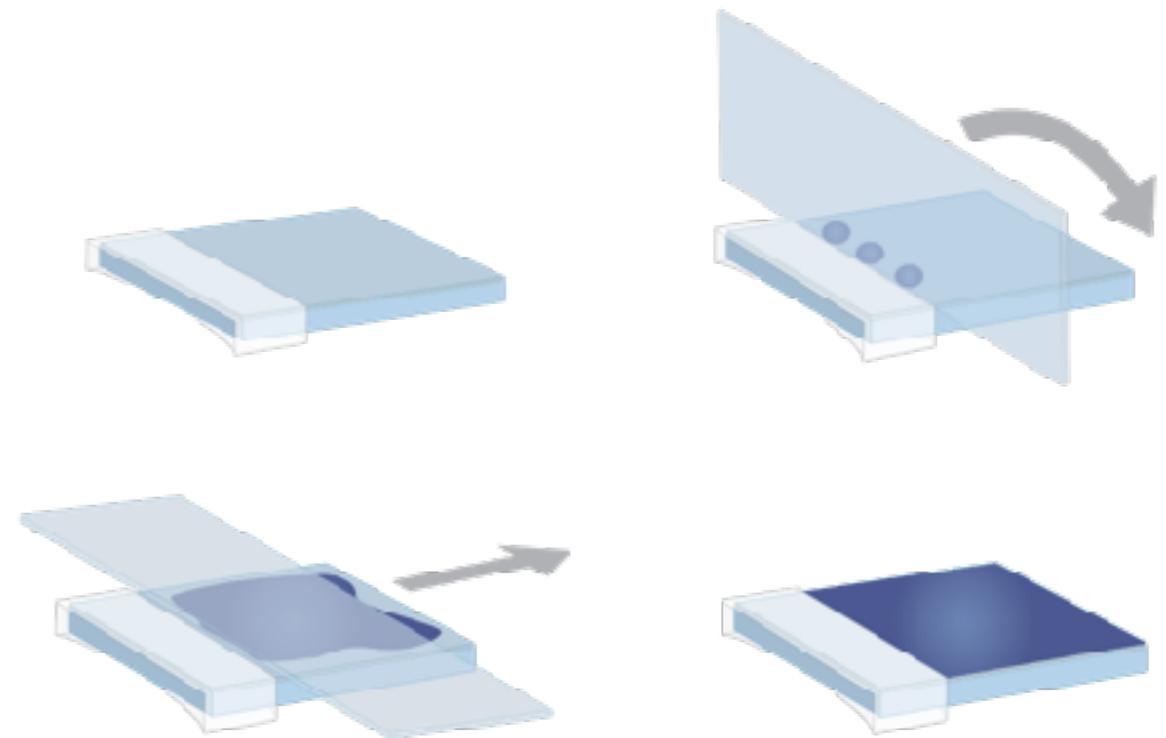
Chemikalien

PEDOT:PSS in H₂O, P3HT/PCBM in o-Dichlor-
benzol, Galinstan, Kupferfolie, Aceton

Versuchsdurchführung - Herstellung

- V 1.1 Das FTO-Glas wird mit Aceton gereinigt und es wird anschließend vermieden, die Glasflächen mit den Fingern zu berühren. Der elektrische Widerstand beider Glasseiten wird mithilfe eines Multimeters bestimmt, indem die Kabelenden in einem

Versuchsskizze



Abstand von ca. 1 cm auf die Glasoberfläche gehalten werden. Die leitfähige Seite weist einen Widerstand von ca. 20 - 40 Ω auf.

Eine Kante der leitfähigen Seite wird mit einem Klebestreifen versehen.

V 1.2

Das vorbereitete FTO-Glas wird auf ein Papiertuch gelegt und es werden drei Tropfen der PEDOT:PSS-Lösung an die Kante des Klebefilms gegeben. Der Objektträger wird an die Kante gestellt und langsam auf das Glas gekippt, sodass sich die Lösung zwischen den Gläsern gleichmäßig verteilt.

Der Objektträger wird langsam über das FTO-Glas zu der nicht abgeklebten Seite gezogen. Daraufhin bleibt eine hauchdünne Schicht der PEDOT:PSS-Lösung auf dem Glas zurück.

Das Glas wird mit der beschichteten Seite nach oben für ca. 5 - 10 Minuten auf eine 140 °C heiße Heizplatte gelegt, um das Lösemittel zu verdampfen. Das Ende mit dem Klebefilmstreifen sollte über die Heizplatte hinausragen, damit das Klebeband nicht schmilzt.

Anschließend wird das Glas mithilfe einer Pinzette von der Heizplatte genommen und abkühlen gelassen.

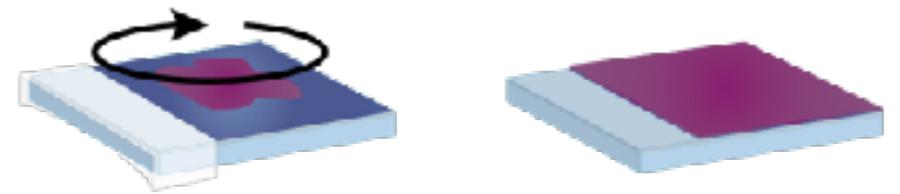
V 1.3

Das FTO-Glas wird mit der beschichteten Seite nach oben mithilfe eines doppelseitigen Klebebands mittig auf dem Drehteller des Spincoaters befestigt und der Spritzschutz wird übergestülpt.

Mithilfe der Spritze werden ca. 0,15 mL der P3HT/PCBM-Lösung mittig auf das FTO-Glas gegeben und der Spincoater wird für ca. 20 Sekunden betrieben. Dies sollte zu einer gleichmäßigen dünnen Schicht führen.

Der Klebefilmstreifen wird entfernt und das Glas wird erneut bei 140 °C auf der Heizplatte für ca. 10 Minuten erhitzt. Während der Wartezeit wird mit der Durchführung des nächsten Versuchs fortgefahren.

Versuchsskizze



V 1.4

Von der Kupferfolie werden drei schmale Streifen (ca. 3 cm lang) abgeschnitten, die Schutzfolie wird entfernt und die Kupferstreifen werden so auf den Objektträger mit den Gummistreifen geklebt, dass sie auf beiden Glasseiten bis zur Hälfte der Glasflächen ragen.

Die auf diese Weise vorbereitete Fassung wird auf ein Papiertuch mit den Gummi-

Versuchsskizze

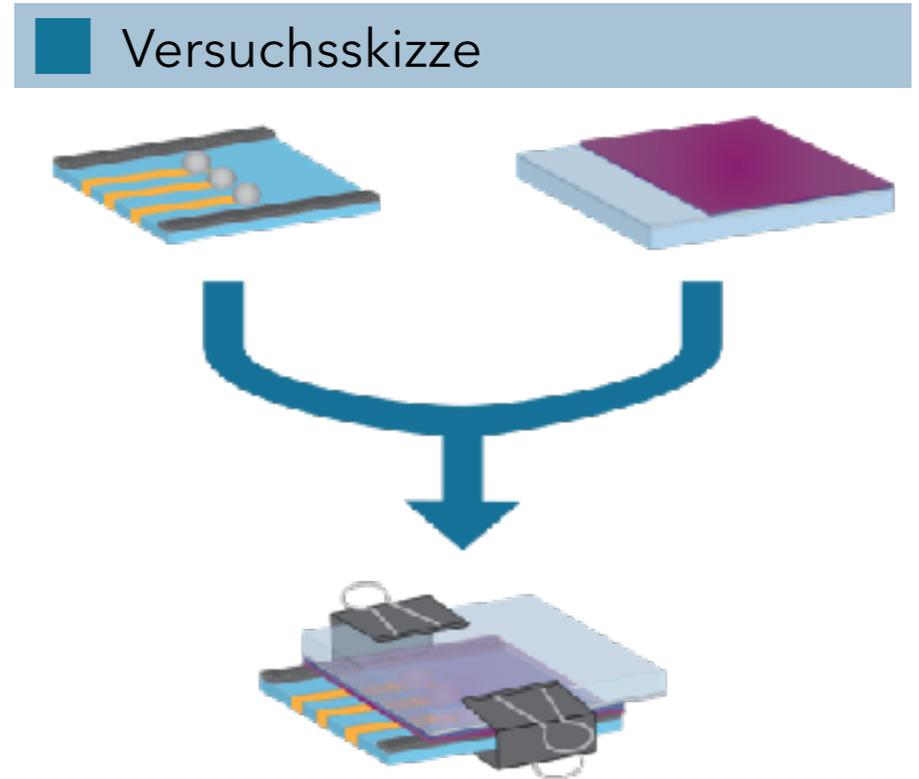


streifen nach oben gelegt und auf jeden der Kupferstreifen wird ein Streichholzkopf-
großer Galinstan-Tropfen gegeben.

V 1.5

Das FTO-Glas wird mit der be-
schichteten Seite nach unten auf die in V 1.4 vorbereitete Fassung
gelegt, sodass die organische Schicht engen
Kontakt mit dem Galinstan hat. Es wird darauf
geachtet, dass der unbeschichtete Teil des FTO-
Glases auf der gegenüberliegenden Seite der
Kupferstreifen herausragt.

Das Bauteil wird vorsichtig in die Hand
genommen und mithilfe der Foldbackklammern
fixiert.

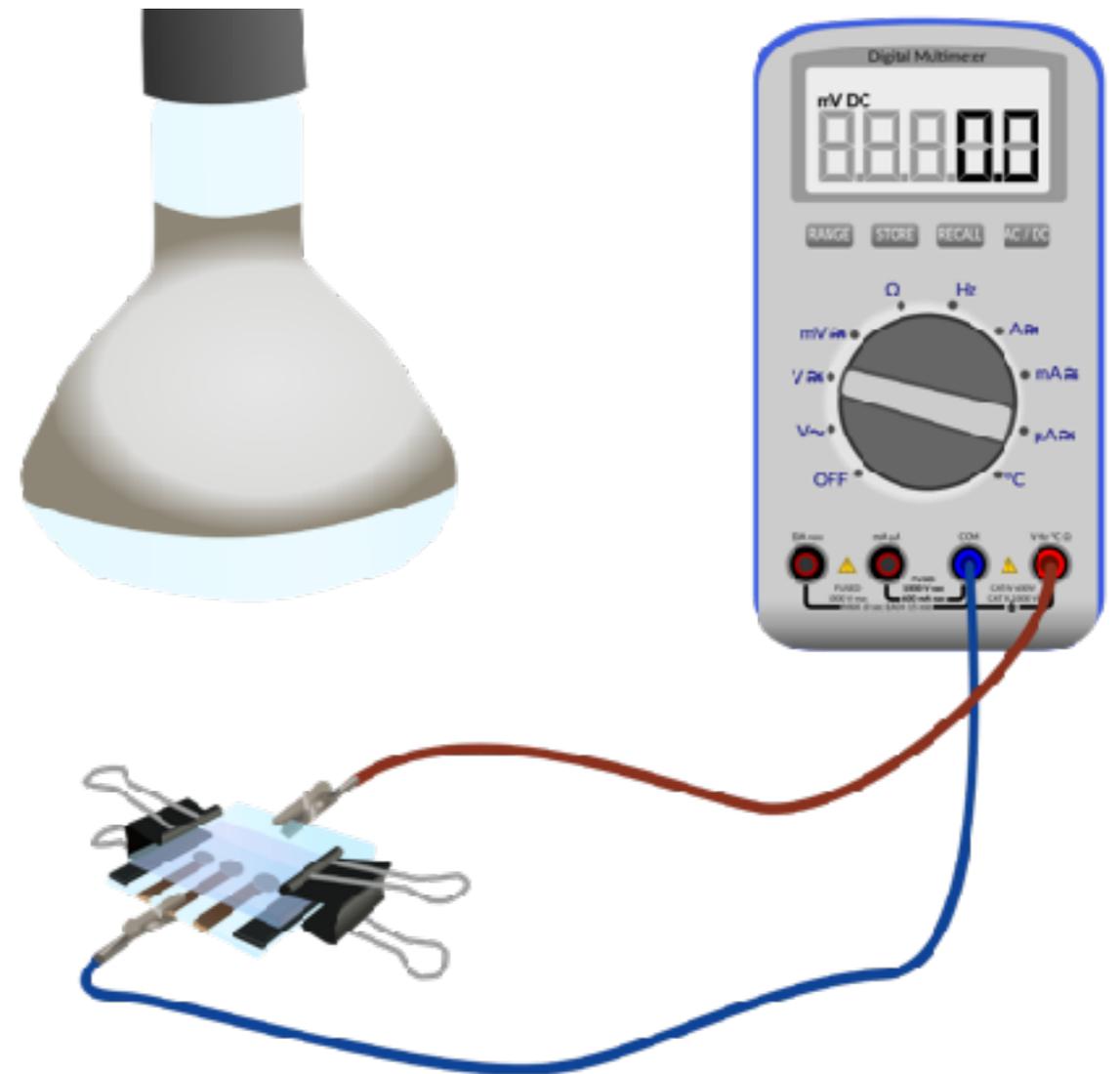


Solarzelle auf Basis halbleitender organischer Verbindungen - Untersuchung

Arbeitsmaterialien

Multimeter, 2 Kabel, 4 Krokodilklemmen, Ultravitalux-Lampe, Stativ, Muffe, Klammer, Taschenlampe mit farbigen LEDs, Solarmotor, Foldbackklammer mit Kupferfolie

Versuchsskizze



- V 2.1 Die selbstgebaute Solarzelle wird zur Messung der Stromstärke und der Spannung an ein Multimeter angeschlossen. Der Minuspol der Solarzelle (die Kupferzuleitungen) wird an COM angeschlossen, der Pluspol der Solarzelle (das FTO-Glas) an den für die Messung entsprechenden Anschluss.
- Zuerst wird die Leerlaufspannung U_{OC} jeder der drei aktiven Flächen bei Raumbelichtung gemessen. Danach wird der Kurzschlussstrom I_{SC} der aktiven Flächen gemessen.
- Zuletzt werden Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom für die gekoppelten Flächen gemessen. Dazu werden die drei Kupferstreifen mit einem weiteren Kupferstreifen, der quer über sie gelegt und mit einer Foldbackklammer festgehalten wird, verbunden.
- V 2.2 Die Messungen aus V 2.1 werden mit einer Ultravitalux-Lampe (Abstand von 20 cm) wiederholt. Der Abstand der Lampe wird auf 10 cm verringert und die Messungen werden erneut wiederholt. Legen Sie dazu die OPV auf eine Laborhebebühne.



	Raumbeleuchtung		Ultravitalux [20 cm]		Ultravitalux [10 cm]	
	U_{oc} [mV]	I_{sc} [mA]	U_{oc} [mV]	I_{sc} [mA]	U_{oc} [mV]	I_{sc} [mA]
1	_____	_____	_____	_____	_____	_____
2	_____	_____	_____	_____	_____	_____
3	_____	_____	_____	_____	_____	_____
alle 3	_____	_____	_____	_____	_____	_____

V 2.3



Die Solarzelle wird, mit allen drei aktiven Flächen verbunden, mit der (kalt-)weißen LED der LED-Taschenlampe bestrahlt. Es werden die Leerlaufspannung und der Kurzschlussstrom gemessen.

Dies wird mit den farbigen LEDs Blau, Grün und Rot wiederholt.

weiße LED

blaue LED

grüne LED

rote LED

LED-Taschenlampe	
U_{oc} [mV]	I_{sc} [mA]
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

V 2.4

Schließen Sie einen Motor anstelle des Multimeters an der Solarzelle an und bestrahlen Sie die Solarzellen mit verschiedenen Lichtquellen bzw. Farben.



V 2.5

Zum Abbau der Solarzelle werden die Gläser voneinander gelöst und das Galinstan wird in die separate Abfallspritze gesogen. Die Gläser werden unter fließendem Leitungswasser gereinigt und die Reste der organischen Schicht werden mit Aceton entfernt.

Auswertung

A1

Abbildung 1 auf der nächsten Seite zeigt dir Strukturen der Verbindungen P3HT und PCBM, die gemeinsam photoaktive Komponenten der Solarzelle bilden.

A 1.1

Eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz in organischen Solarzellen ist, dass die Verbindungen Halbleiter-Eigenschaften aufweisen. Diese Eigenschaft wird durch ein ausgedehntes konjugiertes Doppelbindungssystem (eine abwechselnde Abfolge von C-C-Einfachbindungen und C=C-Doppelbindungen) hervorgerufen. Markieren Sie dieses Doppelbindungssystem in den Strukturen von P3HT und PCBM in Abb. 1.

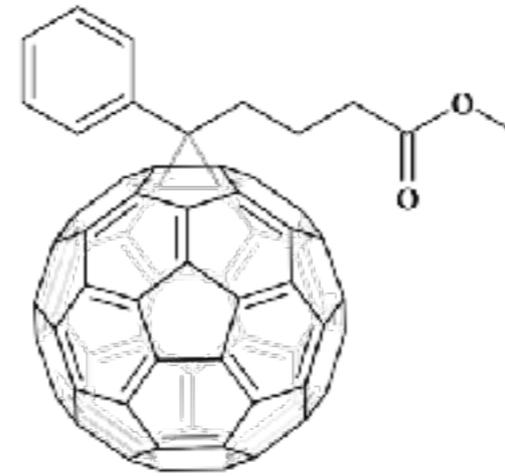
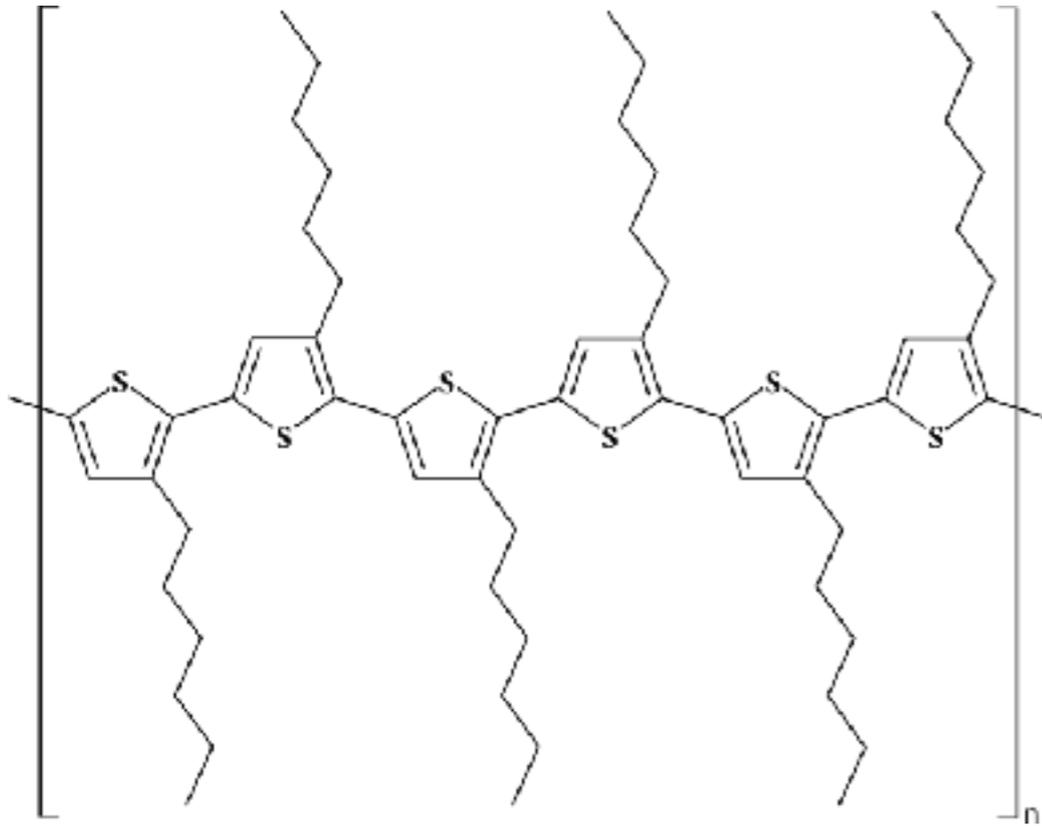
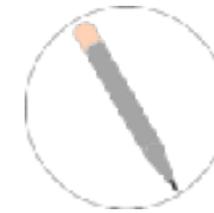


Abbildung 1: Strukturausschnitte des Polymers P3HT (Poly-(3-hexylthiophen)) und des Fulleren-Derivats PCBM (Phenyl- C₆₁-Butansäuremethylester).



A 1.2

Die organischen Seitenketten der Moleküle, die nicht Teil des konjugierten Doppelbindungssystems sind, tragen zwar nicht zu den elektrischen Eigenschaften bei, haben aber dennoch eine wichtige Funktion. Stellen Sie Vermutungen über diese Funktion auf.

Hinweis: Die Verbindungen werden aus einer Lösung verarbeitet.

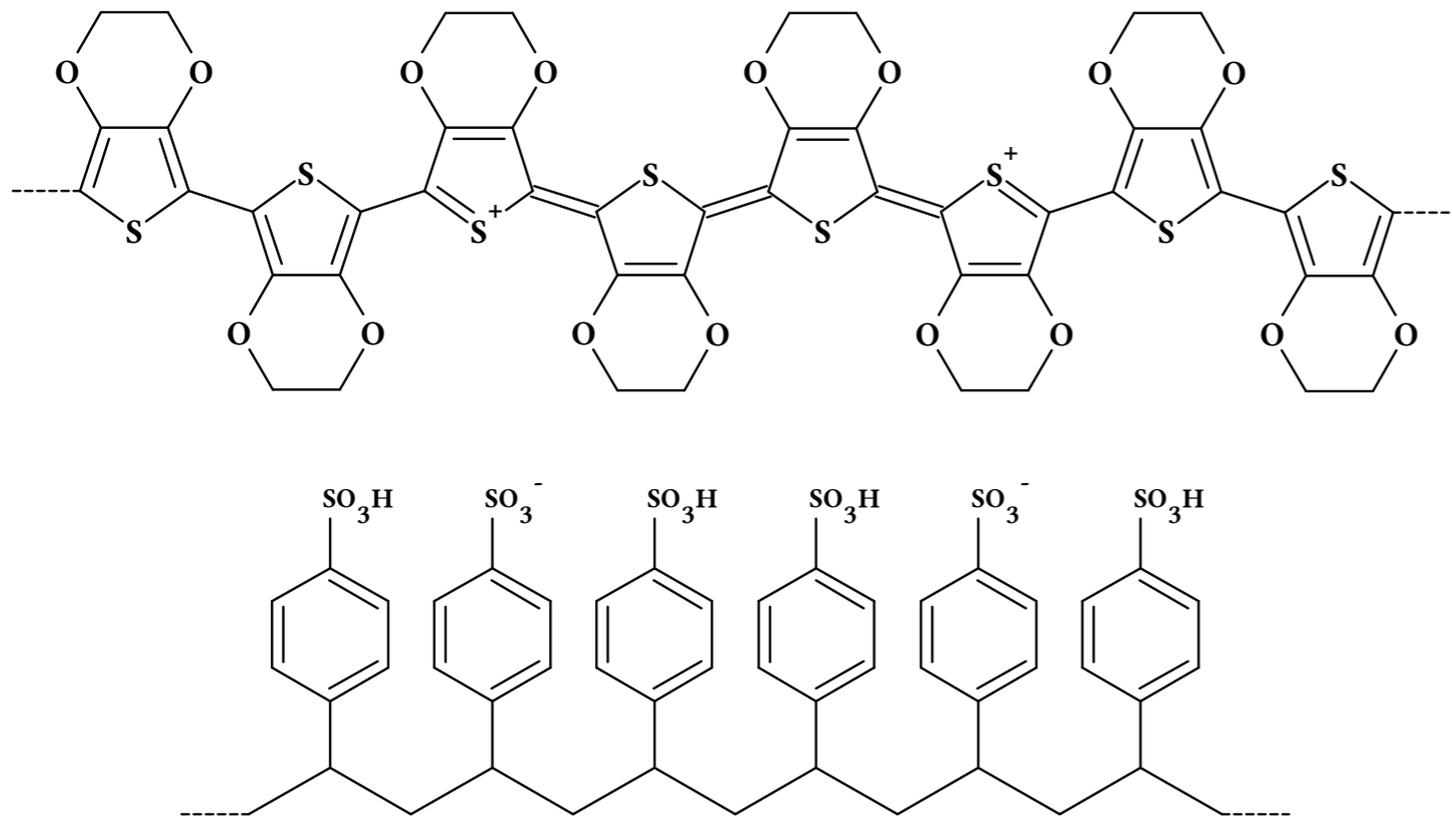


Abbildung 2: Strukturausschnitt des Polymergemischs PEDOT:PSS



- A 2 Abbildung 2 zeigt einen Strukturausschnitt der Verbindung PEDOT:PSS. Es handelt sich dabei um ein Polymergemisch der beiden Ionomere PEDOT (Poly-(3,4-ethylendioxythiophen)) und PSS (Polystyrolsulfonat). Zusammen bilden sie ein makromolekulares Salz.
- Hinweis:* Als Ionomer bezeichnet man ein Makromolekül, in dem ein kleiner aber signifikanter Anteil der Monomereinheiten ionisch vorliegt.
- A 2.1 Entscheiden Sie, durch welche der beiden Komponenten die elektrische Leitfähigkeit hervorgerufen wird, indem Sie das ausgedehnte konjugierte Doppelbindungssystem farbig markieren.
- A 2.2 Erkunden Sie das Flash-Lerntool „Organische Photovoltaik“ bezüglich der PEDOT:PSS-Schicht und nennen sie zwei wichtige Funktionen, die sie in der Solarzelle besitzt.
- A 3.1 Die Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie in organischen Solarzellen kann in vier Elementarschritte unterteilt werden. Erkunden Sie die beiden Funktionsmodelle in der Flash-Animation „Organische Photovoltaik“ und kennzeichnen Sie die Elementarschritte in beiden Modelldarstellungen der Abbildung 3.



1.

2.

3.

4.

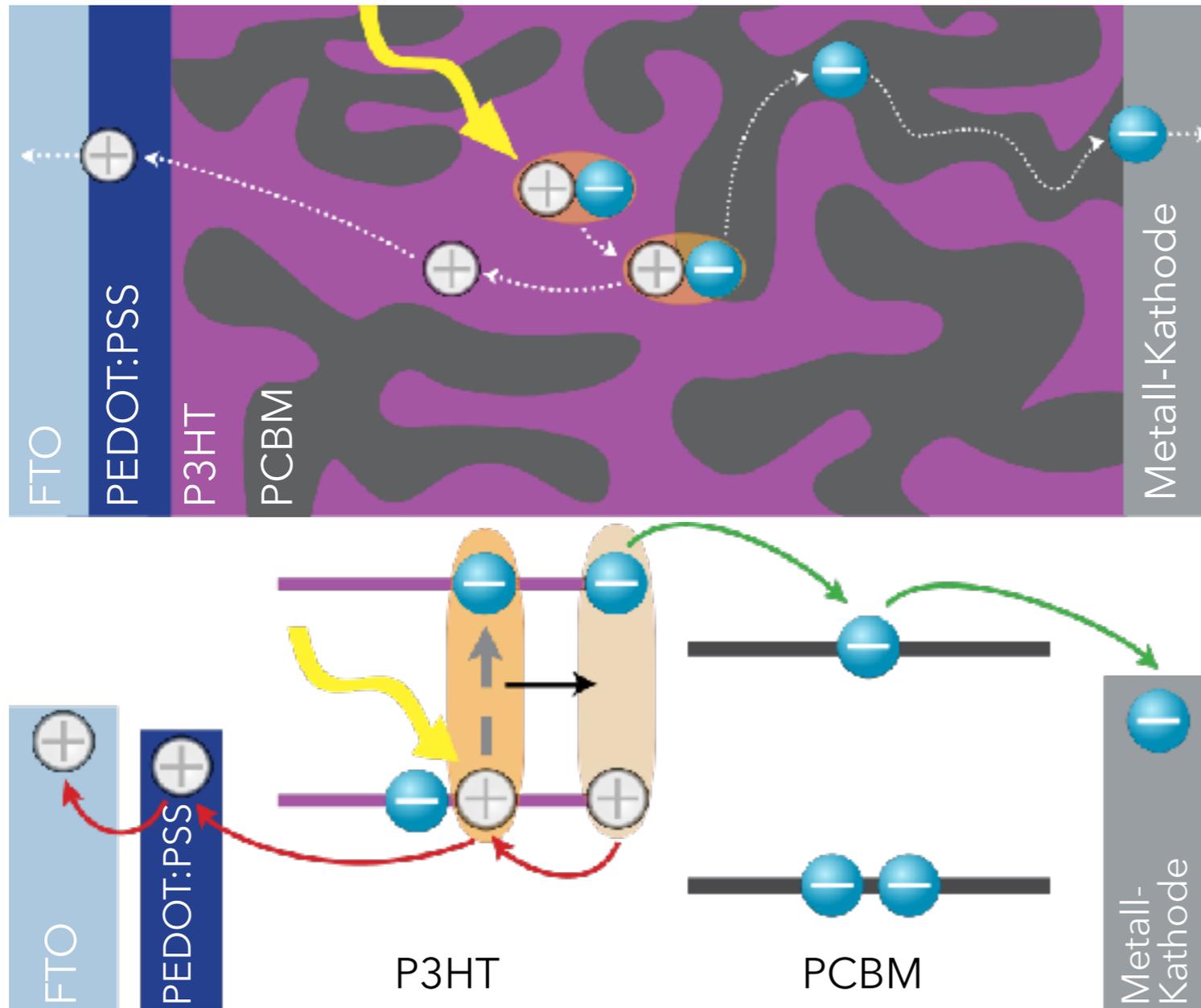


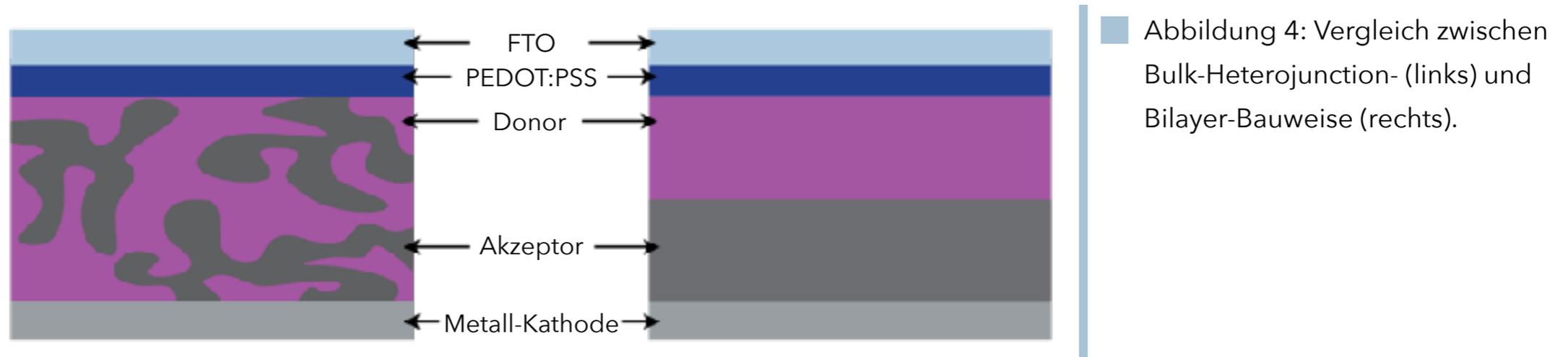
Abbildung 3: Die Elementarschritte der Energieumwandlung im Strukturmodell (oben) und im Energiestufenmodell (unten).

A 4.1

Die Erzeugung von freien Ladungsträgern kann nur an der Grenzfläche zwischen Donor (P3HT) und Akzeptor (PCBM) stattfinden. Die durch die Lichtabsorption in der Donor- Komponente gebildeten Elektronen-Loch-Paare (Excitonen) haben aber nur eine begrenzte Lebensdauer von etwa 10 ns und rekombinieren durch ihre schlechte Beweglichkeit innerhalb der P3HT-Moleküle nachdem sie eine Strecke von durchschnittlich 10 nm zurückgelegt haben. Die absorbierte Lichtenergie steht dann nicht mehr zur Erzeugung von elektrischer Energie zur Verfügung und geht als Wärmeenergie verloren.

Erklären Sie mit Hilfe dieser Informationen, warum sich die sogenannte Bulk-Heterojunction- Bauweise als vorteilhaft gegenüber der Bilayer-Bauweise erwiesen hat.





A 5.1

Abbildung 6 zeigt das Absorptionsspektrum der P3HT/PCBM-Schicht. Die Absorptionen im sichtbaren Bereich stammen von den P3HT-Molekülen, die Absorptionen im UV-Bereich sind auf die PCBM-Moleküle zurückzuführen. Erklären Sie mithilfe der Informationen aus Abbildung 5 Ihre Messwerte bei Bestrahlung der Solarzelle mit der blauen, grünen und roten LED.

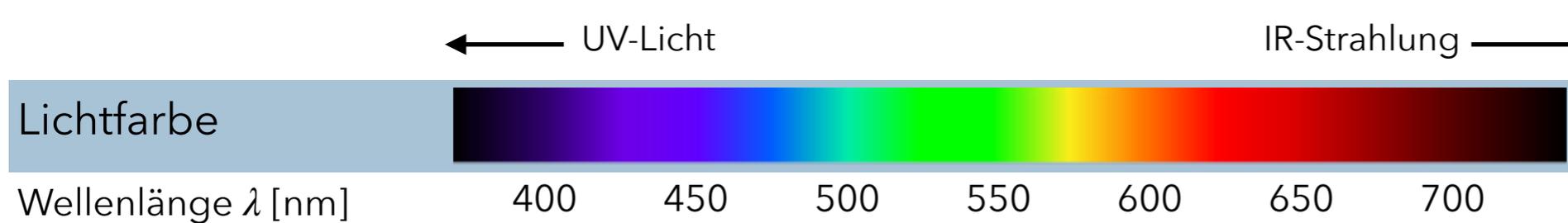
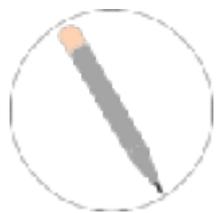
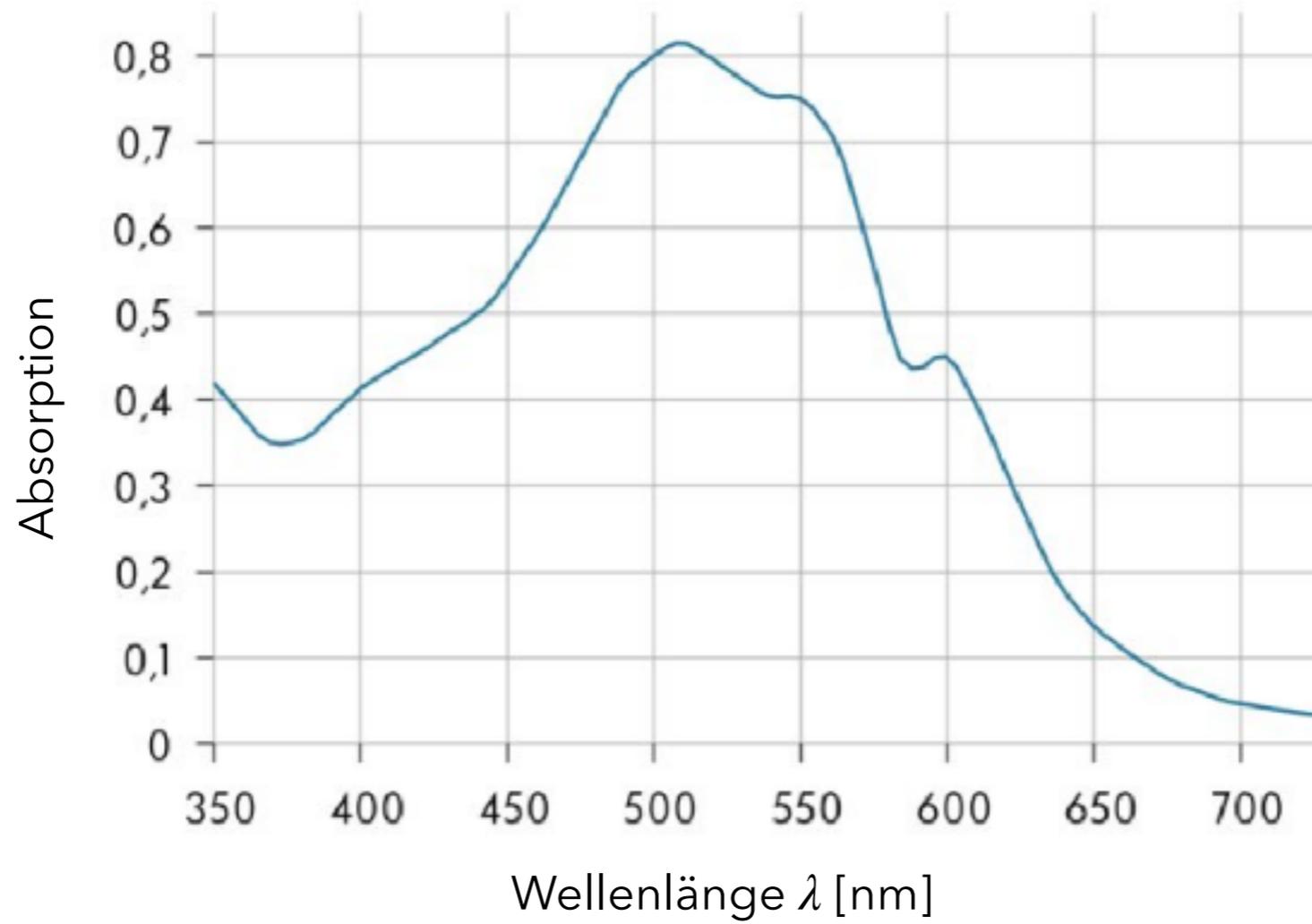


Abbildung 5: Korrelation zwischen wahrgenommener Lichtfarbe und Wellenlänge. Dargestellt ist der für das menschliche Auge wahrnehmbare sichtbare Bereich der elektromagnetischen Strahlung.



A large light blue rectangular area containing three horizontal black lines, serving as a workspace for notes or calculations.

BLOCK 4

VORSTELLUNG DER ERGEBNISSE

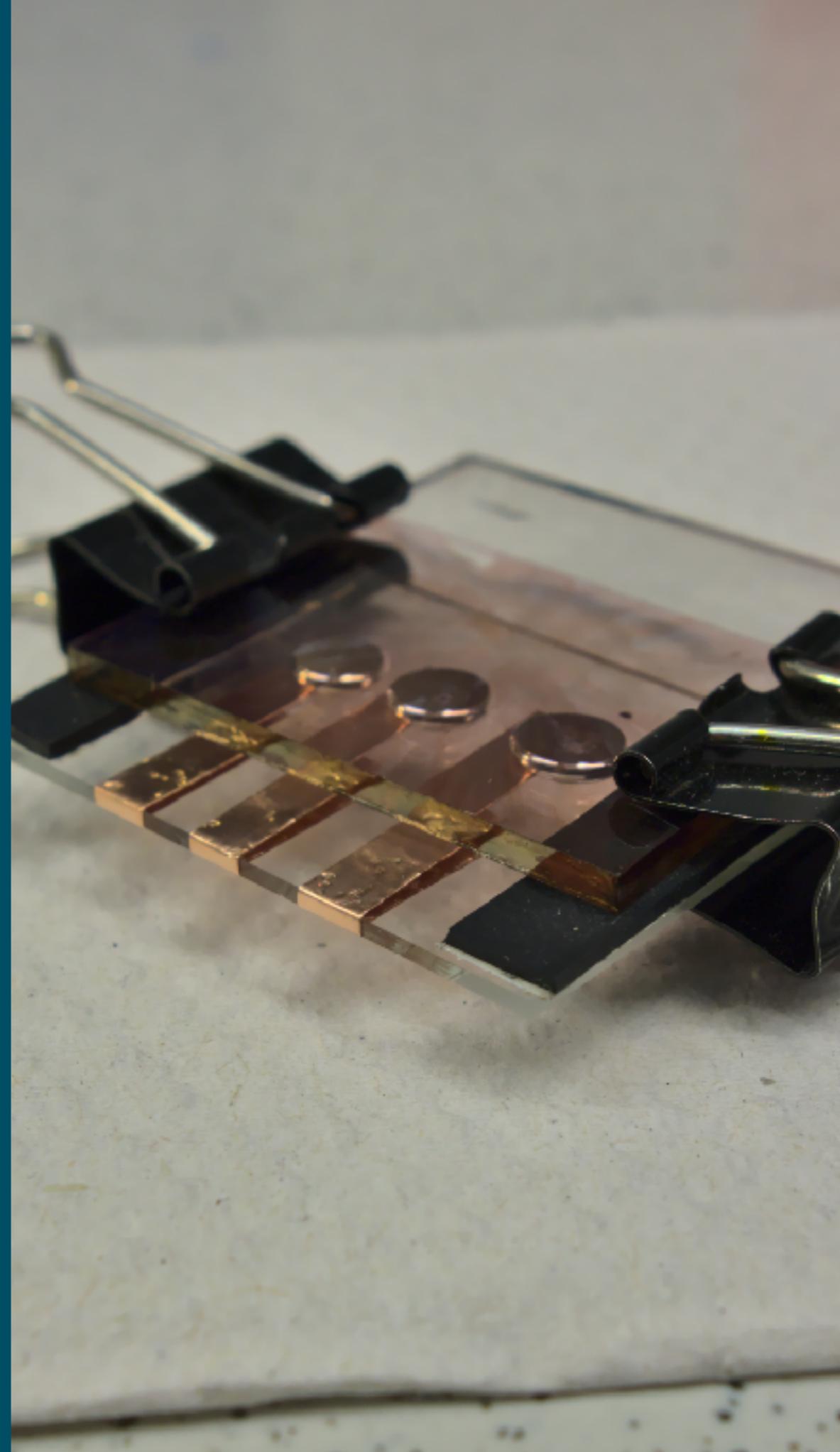
Sie haben nun alle Versuche durchgeführt. Im Folgenden finden Sie weitere Seiten, die Sie dazu nutzen sollen, um Ihren Mitschülerinnen und Mitschülern nicht nur Ihre Ergebnisse zu präsentieren, sondern auch die chemischen Inhalte „dahinter“ zu erläutern.

Sie können und sollen die Seiten ergänzen und anpassen. Wie Sie den Vortrag bzw. Die Präsentation gestaltet ist Ihnen überlassen. Ihr Betreuer kann Sie bei Fragestellungen und Schwierigkeiten unterstützen.

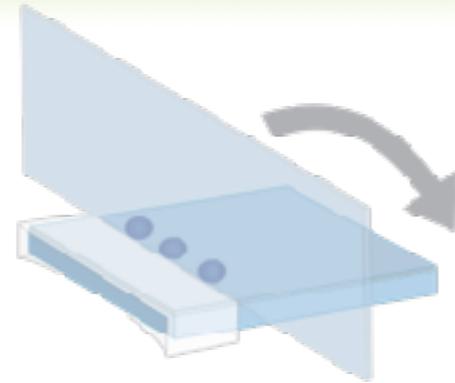
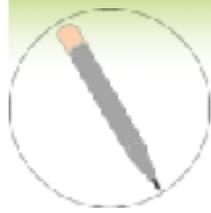
Chemie-Labothek

INTELLIGENTE KUNSTSTOFFE

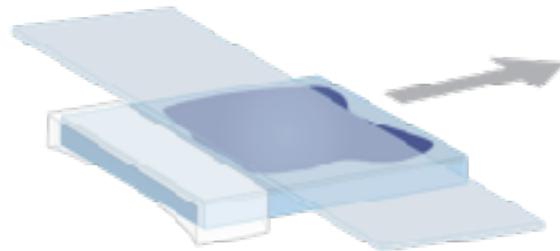
BLOCK 4
Solarzelle auf Basis halbleitender organischer
Verbindungen



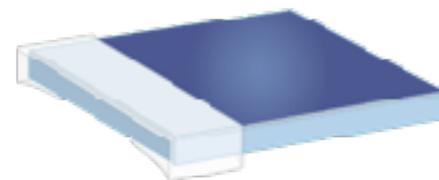
VORBEREITUNG DER PHOTOAKTIVEN SCHICHT



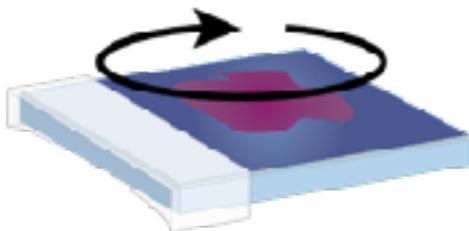
1.



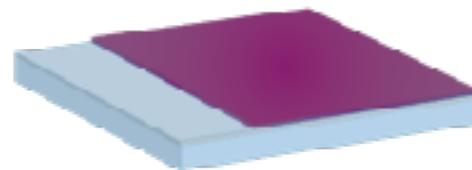
2.



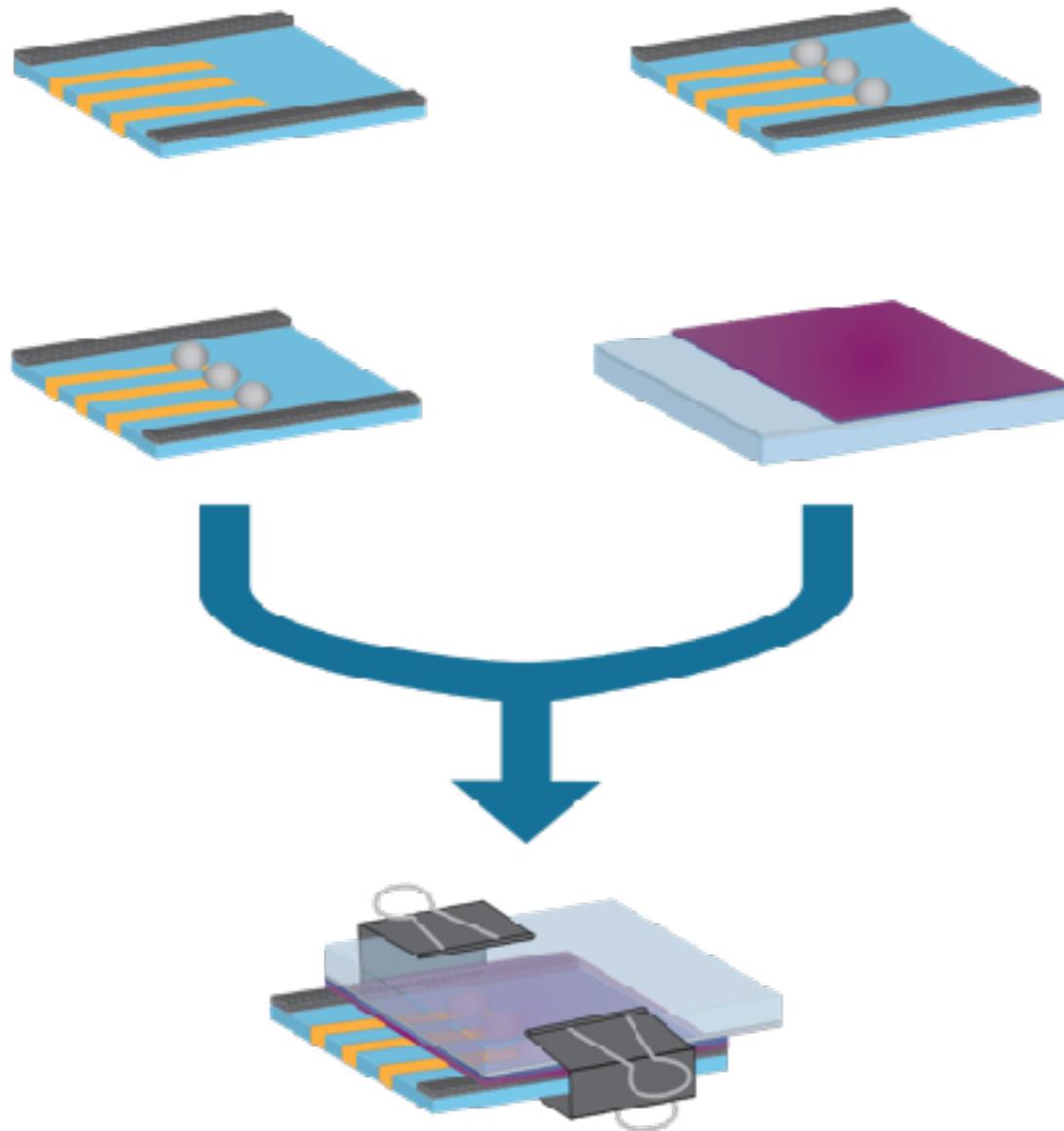
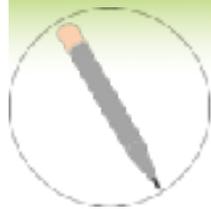
3.



4.



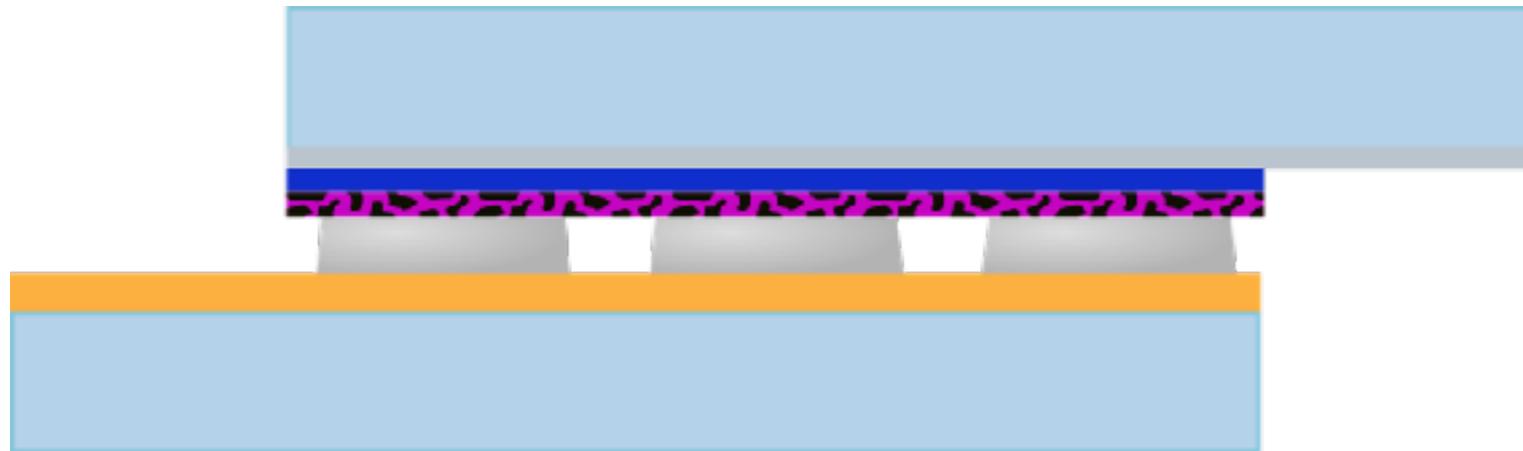
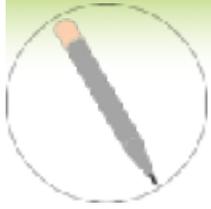
ZUSAMMENBAU DER PHOTOVOLTAIK-ZELLE



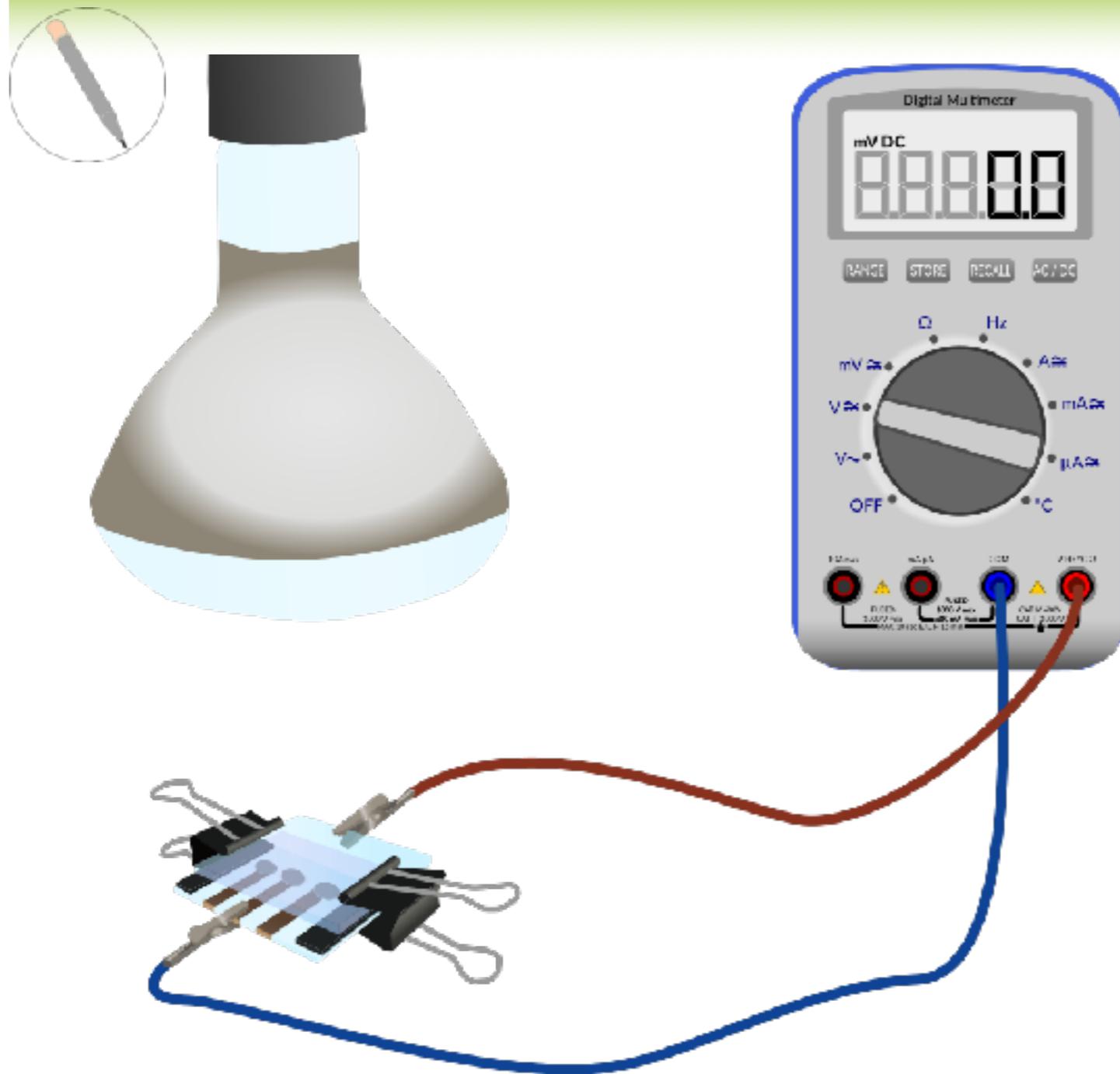
5.

6.

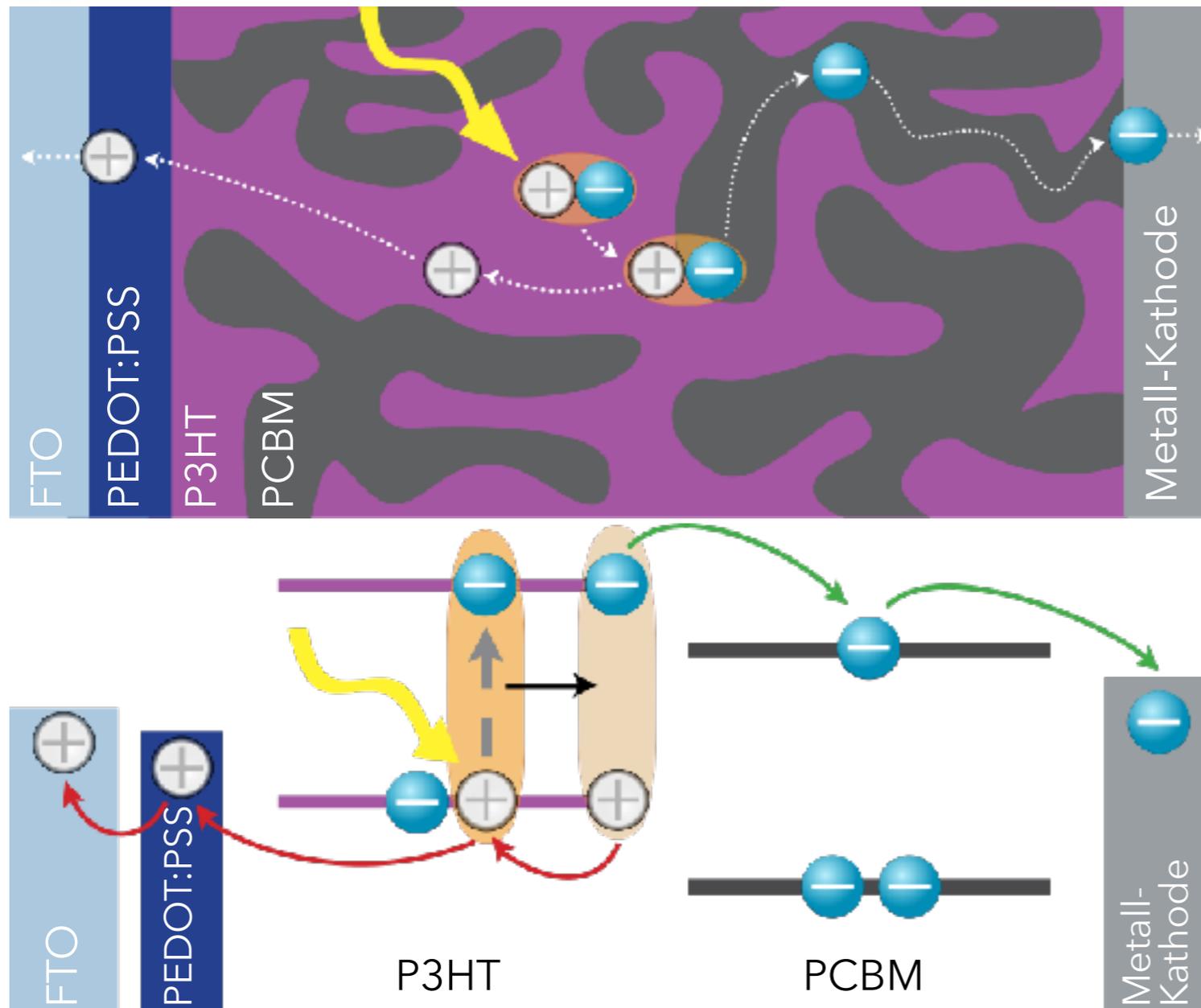
AUFBAU DER ORGANISCHEN PHOTOVOLTAIK-ZELLE



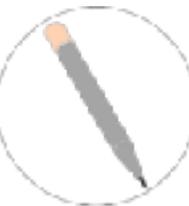
MESSUNGEN MIT DER OPV



ABLAUF DER PROZESSE



1. Absorption eines Photons, Übergang eines Elektrons von der HBE in die NUE
2. Migration des Excitons an die Grenzfläche zwischen P3HT und PCBM
3. Ladungstrennung: Elektron wird an PCBM übergeben, das Loch verbleibt in P3HT
4. Wanderung der Ladungen zur Kathode bzw. Anode und Übergang in den äußeren Stromkreis



VERGLEICH DER BAUWEISEN

