

## Interdisziplinäre Experimente im Modul „Naturwissenschaftliche Grundlagen“ am Beispiel einer Farbstoffsolarzelle

Andrea Ehrmann\*

\*FH Bielefeld, FB Ingenieurwissenschaften und Mathematik, Interaktion 1, 33619 Bielefeld  
andrea.ehrmann@fh-bielefeld.de

### Kurzfassung

In vielen ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen lernen die Studierenden zwar ein oder zwei Semester lang die Grundlagen der Physik kennen, häufig fehlen ihnen jedoch jegliche Grundlagen in Chemie oder Biologie, obwohl diese Naturwissenschaften für interdisziplinäre Projekte durchaus nützlich sein können. In den Studienrichtungen Mechatronik und Apparative Biotechnologie wird daher ein neues Modul „Naturwissenschaftliche Grundlagen“ konzipiert und im kommenden Jahr umgesetzt, in dem neben der Physik auch Chemie und Biologie gelehrt werden. Diese Kombination erlaubt die Integration interdisziplinärer Fragestellungen in den Unterricht. In den Praktika beschäftigen sich die Studierenden dementsprechend mit Experimenten, in denen viele verschiedene Wissensgebiete verknüpft sind.

Der Artikel stellt beispielhaft das Experiment „Farbstoffsolarzelle“ vor. Beim Bau einer Farbstoffsolarzelle und der Aufnahme ihrer I-U-Kennlinie werden u. a. die Bereiche Elektronik (Schaltkreise, strom-/spannungsrichtige Messungen), Leitfähigkeit (Elektronen, Halbleiter, Leiter) und Licht (Maßeinheiten, Wellenlängen) angesprochen, aber ebenso Redox-Reaktionen, Farbstoffe und elektronische Übergänge in Molekülen. Der Text stellt die bisherigen Erfahrungen in der Umsetzung dieses Versuches mit Studierenden dar und gibt einen Ausblick auf weitere Details des zukünftigen Praktikumsversuchs.

### 1. Einleitung

Im Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Mathematik der FH Bielefeld werden Studierende in verschiedensten ingenieurwissenschaftlichen Bachelor- und Masterstudiengängen ausgebildet, u. a. in Mechatronik, Apparativer Biotechnologie, Wirtschaftsingenieurwesen, Maschinenbau, Regenerativen Energien etc. Alle diese Fächer enthalten Physik-Vorlesungen. In den beiden erstgenannten Studiengängen, die eine gemeinsame Physikvorlesung hören, wird in Bälde der Modulverantwortliche für die Physik wechseln, was die Möglichkeit bietet, im Rahmen der bevorstehenden Studiengangsreform auch Veränderungen der aktuellen Module vorzunehmen.

In den ersten Semestern hören Mechatronik-Studierende beispielsweise die Module Konstruktive Grundlagen, Technische Mechanik und Konstruktion Maschinenelemente. In der Apparativen Biotechnologie werden stattdessen Chemie 1 und 2, Molekularbiologie und Biotechnologie 1-3 unterrichtet. Trotz der für die meisten Grundlagenfächer angebotenen Vorkurse fehlen vielen Studierenden die Grundlagen, die in diesen Modulen vorausgesetzt werden.

In den höheren Semestern hören die Studierenden beider Studienrichtungen wieder gemeinsame Vorlesungen zur Messtechnik, Regelungstechnik, Informatik, Bildverarbeitung etc. Auch hier wird seitens der Lehrenden regelmäßig beklagt, dass die Grundlagen dieser Fächer fehlten.

Um beiden Problemen entgegenzuwirken, soll das jetzige Modul Physik zu „Naturwissenschaftlichen Grundlagen“ (NWG) erweitert werden.

### 2. Konzeption des Moduls NWG

Die Physik soll weiterhin einen großen Teil des Moduls NWG einnehmen und insbesondere die Mechanik, Optik, Elektromagnetismus und Thermodynamik beinhalten. Die aktuellen Inhalte der Strömungsdynamik werden ausgegliedert.

Daneben sollen zukünftig auch einige Grundlagen der Chemie unterrichtet werden, insbesondere anorganische Chemie, aber auch organische und Polymerchemie, da insbesondere letztere im Umgang mit Kunststoffen eine große Rolle spielt und den Mechatronik-Studierenden in vielen anderen Modulen wieder begegnet. Ein kurzer Exkurs in die Biologie ist angedacht, in der der Focus auf Algen, Moosen, Schad- und Nutzpilzen, Bakterien und Bakteriophagen sowie ähnlichen Bereichen liegt, in denen zwei große Arbeitsgruppen im Fachbereich tätig sind und die daher regelmäßig in verschiedenen Projekten oder anderen Modulen eine Rolle spielen.

Zuletzt sollen die für alle anderen Module relevanten Grundlagen wie Einheiten, Zehnerpotenzen u. ä. den Studierenden nahegebracht werden.

Im zugehörigen Praktikum müssen verschiedene Rahmenbedingungen beachtet werden: Es sind nur drei Versuche pro Semester möglich, die jeweils drei Zeitstunden umfassen und in 8 Gruppen à 2 Personen pro Termin durchgeführt werden. Zudem wird

derselbe Praktikumsraum genutzt werden, in dem je nach Semester die Versuche zur Messtechnik oder zur Regelungstechnik und Sensorik laufen. Daraus können folgende Anforderungen abgeleitet werden:

- Die Versuche sollten möglichst interdisziplinär ausgerichtet sein.
- Sie sollten wenig zeitlichen Aufwand erfordern.
- Der apparative Aufwand darf nicht zu hoch sein bzw. die in den anderen Praktika vorhandene Ausstattung sollte möglichst mitgenutzt werden, um einen täglichen langwierigen Umbau zu vermeiden.
- Die Nutzung von Gas, Druckluft oder fließendem Wasser ist aufgrund der räumlichen Situation nicht möglich.

Auf dieser Grundlage wurde begonnen, Versuche für das NWG-Praktikum zu entwickeln. Einer davon wird im folgenden Kapitel vorgestellt.

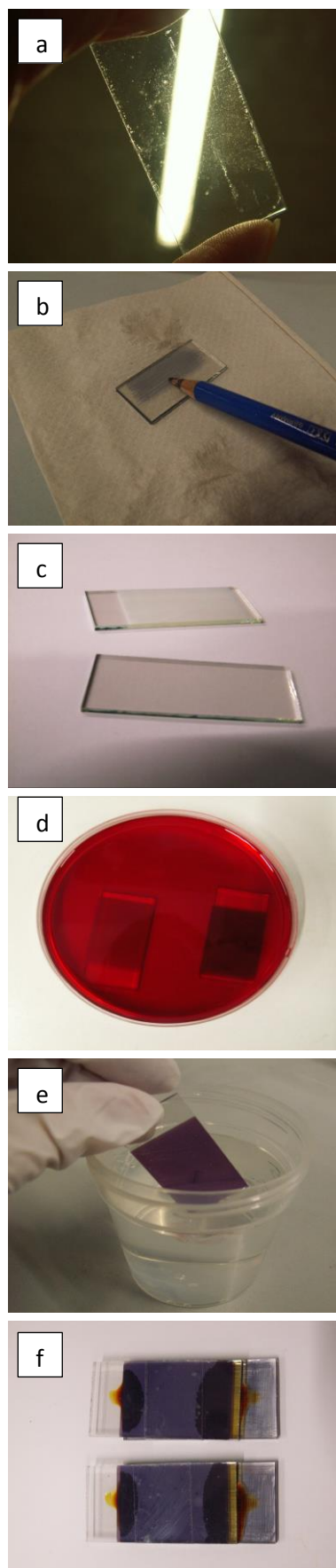
### 3. Praktikumsversuch „Farbstoffsolarzelle“

In einem der zukünftigen Praktikumsversuche zum Modul NWG soll eine Farbstoffsolarzelle von den Studierenden hergestellt und charakterisiert werden. Dieser interdisziplinäre Versuch beinhaltet insbesondere Aspekte der Chemie und der Elektrotechnik, u. a. Schaltkreise, strom- und spannungsrichtige Messungen, Leitfähigkeit (Elektronen, Halbleiter, Leiter), elektronische Übergänge in Molekülen, aber auch Redox-Reaktionen, Licht (Maßeinheiten und Wellenlängen), Farbstoffe etc. Der zeitliche Umfang bleibt überschaubar, wenn teilweise vorgefertigte Komponenten für die Herstellung der Zellen genutzt werden. Auch der apparative Aufwand ist akzeptabel – pro Versuchsplatz werden neben einer idealerweise einstellbaren Lampe mit tageslichtähnlichem Spektrum zwei Multimeter und eine Widerstandsdekade für die Messung benötigt; alternativ kann die Messung auch vollständig über eine der vorhandenen, entsprechend programmierten DAQ-Karten durchgeführt werden. Für die Herstellung der Zellen werden nur kleine Flüssigkeitsmengen benötigt, fließendes Wasser ist nicht erforderlich.

Tests mit verschiedenen studentischen Projektgruppen haben die Umsetzbarkeit in der geplanten Zeit gezeigt und belegt, dass die gewünschten Lerneffekte eintreten.

Der Herstellungsprozess ist in Abb. 1 dargestellt. Die Gegenelektrode ist mit leitfähigem FTO (fluorine doped tin oxide) beschichtet (gekauft bei Man Solar, Niederlande). Zur Entfernung von Kleberesten wird sie mit Alkohol oder Aceton gereinigt (Abb. 1a). Anschließend wird sie mit Hilfe eines Bleistifts mit einer Graphitschicht versehen (Abb. 1b).

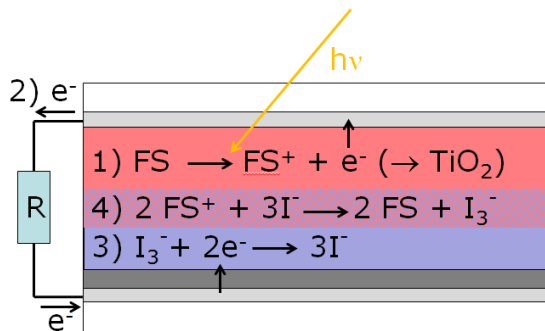
Als Frontelektrode dient eine leitfähige FTO-Glasplatte, die zusätzlich gleichmäßig mit  $\text{TiO}_2$  beschichtet ist (Abb. 1c, ebenfalls von Man Solar).



**Abb. 1:** Herstellungsprozess einfacher Farbstoffsolarzellen. Aus [1], modifiziert.

Diese wird für etwa 5 min in Farbstoffextrakt (z. B. aus Hibiskus- oder Waldbeertee) eingelegt (Abb. 1d) und anschließend abgewaschen, um nicht absorbierte Farbreste zu entfernen (Abb. 1e).

Zuletzt werden beide Seiten zusammengefügt, mit durchsichtigem Klebeband oder nicht zu großen Klemmen fixiert und mit zwei Tropfen Iod-Triiodid (Lugol'scher Lösung) als Elektrolyt versehen (Abb. 1f).



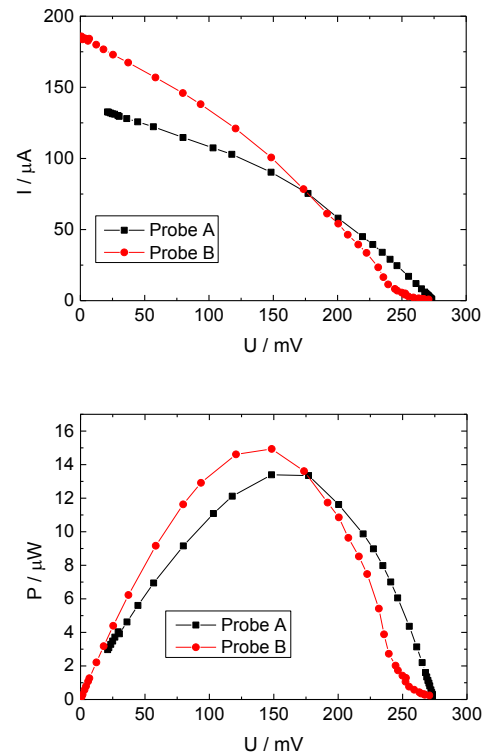
**Abb. 2:** Schema der elektrochemischen Vorgänge in einer Farbstoffsolarzelle. Nach [2], modifiziert.

Der theoretische Aufbau einer solchen Farbstoffsolarzelle ist in Abb. 2 dargestellt.

In der Farbstoffsolarzelle wird zunächst ein Farbstoffmolekül („FS“ in Abb. 2) angeregt. Dadurch wird ein Elektron in der Leitungsband des Halbleiters (hier  $TiO_2$ ) injiziert, zurück bleibt ein Farbstoffkation (Schritt 1 in Abb. 2). Das Elektron wird durch die  $TiO_2$ -Schicht und die Frontelektrode zu einem externen Verbraucher („R“) geleitet und von dort weiter zur Gegenelektrode (Schritt 2). Die Rückkehr in die Solarzelle wird durch Graphit oder einen anderen Katalysator unterstützt. Hier rekombiniert es mit den Akzeptoren im Elektrolyten (Schritt 3). Im letzten Schritt wird das Farbstoffkation durch den Elektrolyten wieder zu seinem neutralen Grundzustand reduziert, wodurch sich der Stromkreis schließt [3].

Gemessen werden I-U-Kennlinien (Abb. 3). Hierdurch kommen die Studierenden mit Strom und Spannung in Berührung, müssen sich mit den zugehörigen Einheiten sowie den auftretenden Zehnerpotenzen auseinandersetzen, lernen eine Widerstandsdekade und die grundsätzliche Idee einer solchen Kennlinienmessung kennen. Außerdem müssen sie sich bei der Charakterisierung der genutzten Lampe mit Angaben in lux und  $W/m^2$  beschäftigen und lernen, einen Wirkungsgrad zu berechnen.

Bei der Auftragung der Kennlinien üben die Studierenden einerseits, einfache Excel-Graphen zu erstellen. Vor allem beschäftigen sie sich aber mit Einheiten und ihrer (normgerechten) Schreibweise, der Berechnung der Leistung und der Bewertung der Ergebnisse. Im Vergleich mit den anderen Gruppen lernen sie schließlich, ihre eigenen Ergebnisse einzuschätzen.



**Abb. 3:** Typische I-U- bzw. P-U-Kennlinien einfacher Farbstoffsolarzellen.

#### 4. Weiterentwicklung

Bei der Vorstellung des geplanten Praktikumsversuchs während der DPG-Frühjahrstagung sowie im Nachgang wurden von den Zuhörern viele interessante Vorschläge gemacht, die hier nicht unerwähnt bleiben sollen.

So kann die Bedeutung der Lichttemperatur untersucht werden, indem verschiedene offensichtlich „weiße“ Lichtquellen verglichen werden. Durch Filter oder verschiedenfarbige LED-Lampen kann der Einfluss des eingestrahnten Wellenlängenbereichs geprüft werden. Die Spektren aller Lampen lassen sich mit einfachen Spektroskopen (z. B. erhältlich als Bausatz bei Astromedia) betrachten. Entsprechend der Interdisziplinarität des Versuches können Teams aus je einem Mechatronik- und einem Biotechnologie-Studierenden gebildet werden.

Diese Überlegungen werden in die Planung des Praktikums eingehen, dessen weitere Bestandteile in den kommenden Monaten entwickelt werden.

#### 5. Literatur

- [1] Juhász Junger, Irén; Grimmelsmann, Nils; Homburg, Sarah Vanessa; Meissner, Hubert; Grethe, Thomas; Schwarz-Pfeiffer, Anne; Fiedler, Johannes; Herrmann, Andreas; Blachowicz, Tomasz; Ehrmann, Andrea (2017): Einfluss des pH-Wertes von Anthocyan-Farbstoffen auf die elektrischen Eigenschaften von Farbstoffsolarzellen. In: Proceedings des Fachgruppentreffen

des Graduierteninstituts NRW – Ressourcen,  
Bochum 2017

- [2] Herrmann, Andreas; Fiedler, Johannes; Ehrmann, Andrea; Grethe, Thomas; Schwarzpfeiffer, Anne (2015): Strides towards textile based dye sensitized solar cells. In: Proc. of Aachen-Dresden Int. Textile Conf., Aachen 2015
- [3] Macht, Bernd (2003): Degradationsprozesse in  $\text{Ru}(\text{bpca})_2(\text{NCS})_2$ -sensibilisierten Farbstoffsolarellen auf Titandioxidbasis. Dissertation, FU Berlin