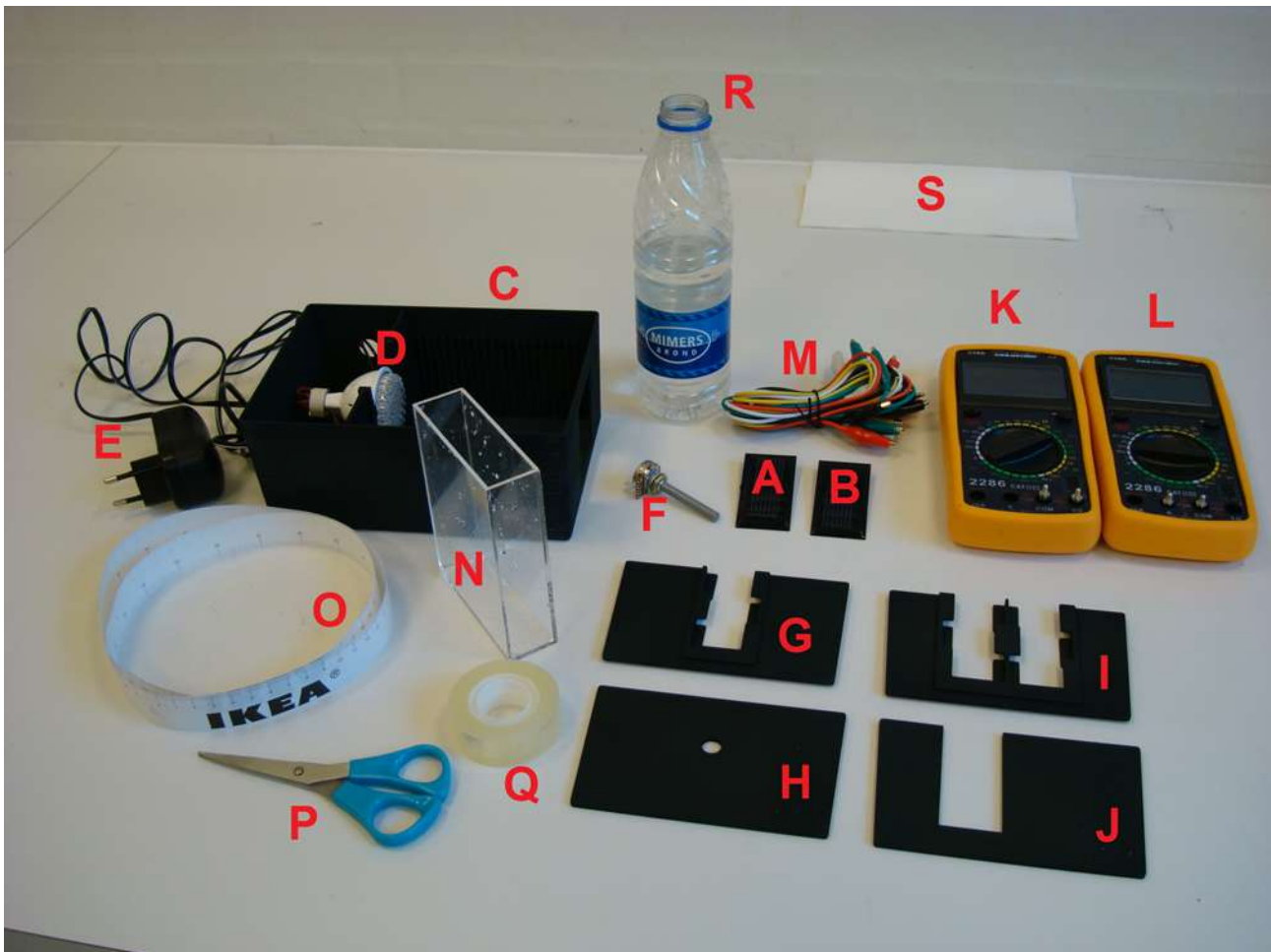


## 2.0 Einführung

Das Material für dieses Experiment ist in Abb. 2.1 zu sehen.



**Abb. 2.1** Material für Experiment E2

- A:** Solarzelle
- B:** Solarzelle
- C:** Box mit Einschüben zur Montage von Lichtquellen, Solarzellen usw.
- D:** LED-Lichtquelle mit Fassung
- E:** Netzgerät für Lichtquelle D
- F:** Veränderlicher Widerstand
- G:** Halter für die Montage einer einzelnen Solarzelle in der Box C
- H:** Kreisblende zum Gebrauch in der Box C
- I:** Halter für die Montage von zwei Solarzellen in der Box C
- J:** Abdeckplatte zum Gebrauch in der Box C
- K:** Digitalmultimeter
- L:** Digitalmultimeter

- M:** Verbindungsleiter mit Mini-Krokodilklemmen
- N:** Gefäß, (große Küvette)
- O:** Maßband
- P:** Schere
- Q:** Klebeband
- R:** Wasser für das Gefäß N
- S:** Putzpapier, um überschüssiges Wasser aufzuwischen
- T:** Plastikgefäß für das Wasser vom Gefäß N (nicht abgebildet in Abb. 2.1)
- U:** Plastikpipette (nicht abgebildet in Abb. 2.1)
- V:** Deckel der Box C (nicht abgebildet in Abb. 2.1)

## Datenblatt: Tabelle physikalischer Konstanten

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Elementarladung	$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Boltzmannkonstante	$k_B = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

Eine Solarzelle wandelt mittels Ladungstrennung im Innern der Zelle einen Teil der elektromagnetischen Energie des einfallenden Lichts in elektrische Energie um. Dadurch kann elektrischer Strom erzeugt werden. Im Experiment E2 sollen Solarzellen mit Hilfe des zur Verfügung gestellten Materials untersucht werden. Das Material besteht aus einer Box mit Haltern für die Lichtquelle und die Solarzellen, diversen Abdeckplatten und einem Deckel. Der veränderbare Widerstand wird, wie in Abb. 2.2 dargestellt, im Gehäuse montiert. Einer der drei Anschlüsse des Widerstands wurde entfernt, da für das Experiment nur die beiden verbleibenden Anschlüsse benötigt werden. Weiter werden Verbindungsleiter mit Mini-Krokodilklemmen, sowie zwei Solarzellen (gekennzeichnet mit Seriennummern und den Buchstaben A und B) mit Anschlüssen auf der Rückseite zur Verfügung gestellt. Die zwei Solarzellen sind vom selben Typ, können aber leichte Unterschiede aufweisen. Die beiden Multimeter sind mit Anschlüssen ausgestattet, welche für den ausdrücklichen Gebrauch als Volt-, bzw. Amperemeter vorgesehen sind (Abb. 2.3). Ebenfalls für das Experiment notwendig sind eine Küvette und etwas Trinkwasser aus der Flasche.



**Abb. 2.2** (a) Box mit Lichtquelle und Widerstand zum Einbau. (b) Der eingebaute Widerstand im Gehäuse. Achte beim Einbau darauf, dass der kleine Stift auf dem Widerstand in das passende Loch rechts von der Achse gesteckt wird.



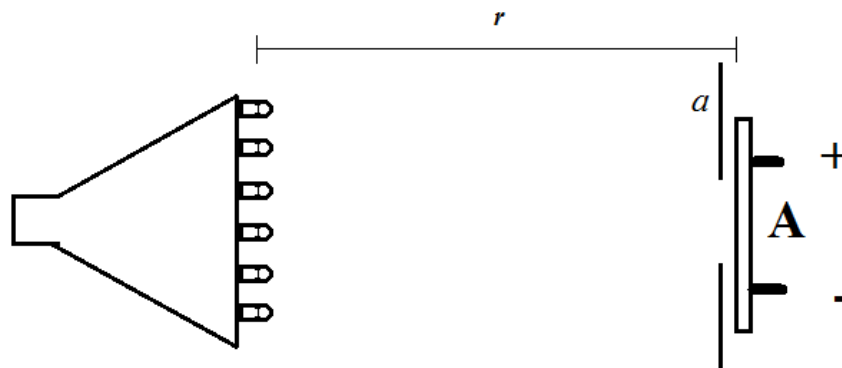
**Abb. 2.3** Die Multimeter sind mit Anschlüssen für den Gebrauch als Voltmeter (rechts) bzw. Amperemeter (links) ausgestattet. Die Instrumente werden eingeschaltet, indem man links oben den „POWER“ Schalter drückt. Bei Nichtgebrauch schaltet sich das Messgerät nach einiger Zeit selbstständig ab. Das Multimeter kann Gleichstrom und Gleichspannung ( $\equiv$ ), sowie Wechselstrom und Wechselspannung ( $\sim$ ) messen. Der Innenwiderstand des Voltmeters beträgt über den gesamten Messbereich  $10\text{ M}\Omega$ . Der Spannungsabfall des Amperemeters beträgt über den gesamten Messbereich  $200\text{ mV}$ . Bei Bereichsüberschreitung (overflow) zeigt das Instrument die Ziffer „1“ und man muss einen größeren Messbereich wählen. Der „HOLD“-Taster sollte nicht betätigt werden, es sei denn, man will einen Messwert in der Anzeige festhalten.

## ACHTUNG:

- Die Multimeter dürfen keinesfalls als Ohmmeter an die Solarzellen angeschlossen werden, da der erzeugte Mess-Strom sie beschädigen könnte.
- Der Messbereichswahlschalter muss vorsichtig gedreht werden, da er ansonsten kaputt gehen könnte. Achte darauf, ob sich beim Messen unter dem Dezimalpunkt eine Zahl befindet. Ist der Messbereichswahlschalter nämlich nicht sauber eingerastet, misst das Instrument nicht, selbst wenn Ziffern in der Anzeige erscheinen.
- Die Spannung am Netzgerät darf nicht verändert werden. Sie muss während des gesamten Versuches 12V betragen. (Das Netzgerät für die Lichtquelle sollte mit der 230 V Steckdose am Tisch verbunden sein.)
- Fehlerabschätzungen sind nur dann durchzuführen, wenn diese ausdrücklich verlangt werden.
- Alle gemessenen und berechneten Werte sind in SI-Einheiten anzugeben.
- Alle Strom- und Spannungsmessungen in diesem Experiment sind bei eingeschalteter LED-Lichtquelle vorzunehmen.

## 2.1 Abhängigkeit des Solarzellenstroms von der Entfernung zur Lichtquelle

In dieser Aufgabe wird der in der Solarzelle erzeugte Strom  $I$  in Abhängigkeit von der Entfernung  $r$  zur Lichtquelle gemessen. Dazu wird ein Stromkreis, bestehend aus Solarzelle und Amperemeter, gebildet. Das Licht wird *im Innern* der einzelnen Leuchtdioden erzeugt, weshalb  $r$  wie in Abb. 2.4 dargestellt, gemessen werden muss.



**Abb. 2.4** Blick von oben auf die Versuchsanordnung für Aufgabe 2.1. Beachte: Die Entfernung wird vom Innern der LED's zur Oberfläche der Solarzelle gemessen.

Während dieses Experiments darf der Messbereich des Amperemeters nicht verändert werden: Der Innenwiderstand des Amperemeters hängt vom Messbereich ab und hat deshalb einen Einfluss auf den gemessenen Strom der Solarzelle.

Notiere die Seriennummern von Lichtquelle und Solarzelle A auf dem Antwortblatt. Befestige die Lichtquelle im U-förmigen Einzelhalter und schiebe sie in die Box. Die LED-Leuchte sitzt im Halter streng. Montiere sie daher mit Gefühl. Befestige die Solarzelle A im Einzelhalter und platziere die Lochblende gemäß Abb. 2.4 direkt vor der Solarzelle.

Der Strom  $I$  als Funktion des Abstands  $r$  zur Lichtquelle kann, für nicht zu kleine Werte von  $r$ , mit folgender Formel näherungsweise beschrieben werden:

$$I(r) = \frac{I_a}{1 + \frac{r^2}{a^2}} \quad \text{wobei } I_a \text{ und } a \text{ konstant sind.}$$

2.1a	Miss für verschiedene Abstände $r$ die Stromstärke $I$ . Notiere die Werte in einer Messwerttabelle.	1.0
2.1b	Bestimme die Werte von $I_a$ und $a$ mit Hilfe einer geeigneten grafischen Methode.	1.0

## 2.2 Kennlinie einer Solarzelle

Entferne die Lochblende. Befestige den veränderbaren Widerstand in der Box, wie in Abb. 2.2. gezeigt. Platziere die Lichtquelle im Einschub Nummer 0, welcher am weitesten vom veränderbaren Widerstand entfernt ist. Befestige die Solarzelle A im Einzelhalter *ohne die Lochblende* im Einschub Nummer 10. Baue eine Schaltung gemäß Abb. 2.5 auf, sodass die Kennlinie der Solarzelle gemessen werden kann. Unter der Kennlinie versteht man den Graphen von Klemmenspannung  $U$  (Ordinate) der Solarzelle in Abhängigkeit des Stroms  $I$  (Abszisse) im Schaltkreis, der aus Solarzelle, Widerstand und Amperemeter besteht.

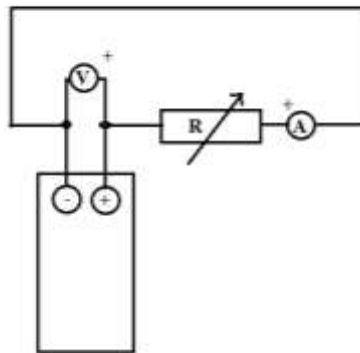


Abb. 2.5 Schaltbild für die Messung der Kennlinie in Aufgabe 2.2

2.2a	Miss für verschiedene Werte der Stromstärke $I$ die Spannung $U$ und stelle sie tabellarisch dar.	0.6
2.2b	Zeichne die I-U-Kennlinie der Solarzelle.	0.8

## 2.3 Theoretische Kennlinie der Solarzelle

Für die in diesem Experiment verwendeten Solarzellen gilt:

$$I = I_{\max} - I_0 \left( \exp\left(\frac{eU}{\eta k_B T}\right) - 1 \right)$$

Die Parameter  $I_{\max}$ ,  $I_0$  und  $\eta$  sind konstant bei unveränderter Beleuchtung. Es kann angenommen werden, dass die Temperatur 300 K beträgt.  $e$  und  $k_B$  stehen für die Elementarladung bzw. die Boltzmannkonstante.

2.3a	Benutze die Kennlinie aus Aufgabe 2.2b, um $I_{\max}$ zu bestimmen.	0.4
------	---	-----

Wir können annehmen, dass der Parameter  $\eta$  zwischen 1 und 4 liegt. Für einen gewissen Wertebereich der Spannung  $U$  gilt folgende Näherungsformel:

$$I \approx I_{\max} - I_0 \exp\left(\frac{eU}{\eta k_B T}\right)$$

2.3b	Schätze ab, für welchen Wertebereich von $U$ die Näherungsformel geeignet ist. Bestimme für deine Solarzelle graphisch die Werte von $I_0$ und $\eta$ .	1.2
------	---	-----

## 2.4 Maximale Leistung der Solarzelle

2.4a	Die maximale Leistung, die eine Solarzelle an einen Verbraucher (Außenwiderstand) abgeben kann, wird mit $P_{\max}$ bezeichnet. Bestimme für deine Solarzelle $P_{\max}$ mit Hilfe einiger geeigneter Messungen. (Du kannst früher gemachte Messungen aus 2.2 verwenden.)	0.5
2.4b	Schätze den optimalen Belastungswiderstand $R_{\text{opt}}$ ab. $R_{\text{opt}}$ ist der gesamte Außenwiderstand, bei welchem die Solarzelle ihre maximale Leistung an $R_{\text{opt}}$ abgibt. Führe eine Fehlerabschätzung durch und erläutere deine Methode mit geeigneten Berechnungen.	0.5

## 2.5 Vergleich der Solarzellen

Befestige beide Solarzellen (A und B) im Doppelhalter im Einschub Nummer 15, wie in Abb. 2.6 gezeigt.

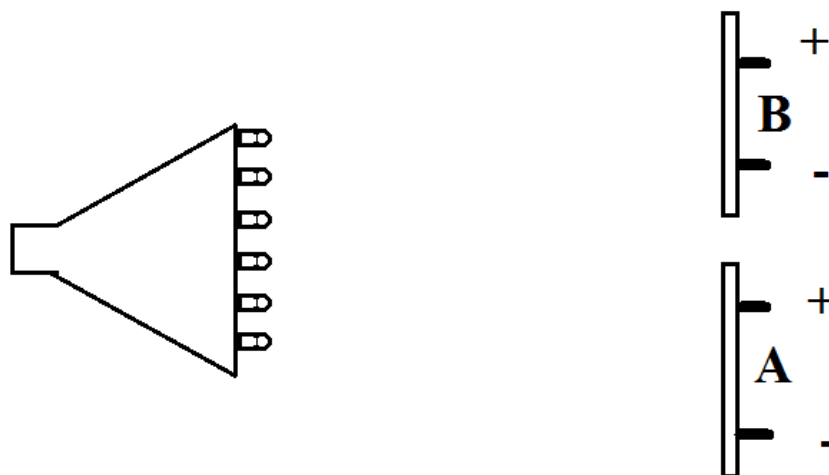
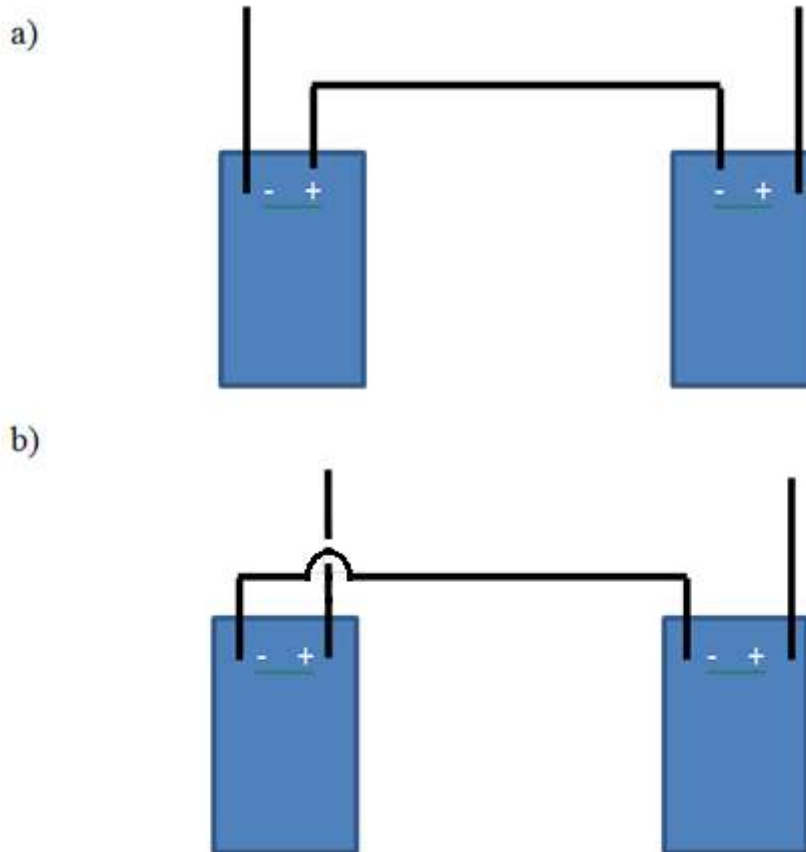


Abb. 2.6 Blick von oben: Lichtquelle und Solarzellen in Aufgabe 2.5

2.5a	<p>Miss für die gegebene, gleichbleibende Beleuchtung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die maximale Spannung <math>U_A</math>, welche über der Solarzelle A gemessen werden kann.</li> <li>- Die maximale Stromstärke <math>I_A</math>, welche durch die Solarzelle A gemessen werden kann.</li> </ul> <p>Führe beide Messungen auch für die Solarzelle B durch.</p>	0.5
2.5b	Zeichne für jede Messung einen Schaltplan, welcher die Verkabelung von Solarzelle und verwendetem Messgerät darstellt.	0.3

## 2.6 Gekoppelte Solarzellen

Die beiden Solarzellen könne auf zwei verschiedene Weisen in Serie geschaltet werden (wie in Abb. 2.7 gezeigt). Auch für die Parallelschaltung gibt es zwei Möglichkeiten (hier nicht dargestellt).



**Abb. 2.7** Zwei Möglichkeiten für die Serienschaltung von Solarzellen. Die zwei Möglichkeiten, die Zellen parallel zu schalten, sind hier nicht dargestellt.

2.6a	<p>Bestimme, welche der vier Anordnungen der zwei Solarzellen die größtmögliche Leistung im Außenwiderstand liefert, wenn eine der Solarzellen mit der Abdeckplatte (J in Abb. 2.1) verdeckt ist.</p> <p><i>Hinweis: Die größtmögliche Leistung einer Anordnung kann ziemlich gut abgeschätzt werden, indem sie aus der Maximalspannung und dem Maximalstrom für die jeweilige Anordnung berechnet wird.</i></p> <p>Zeichne jeweils den zugehörigen Schaltplan.</p>	1.0
------	---	-----

## 2.7 Der Einfluss der große Küvette auf den Solarstrom

Befestige die Lichtquelle in der Box und platziere die Solarzelle A im Einzelhalter mit der Lochblende direkt vor der Solarzelle, sodass der Abstand zwischen Solarzelle und Lichtquelle ungefähr 50 mm beträgt. Stelle die leere Küvette, wie in Abb. 2.8 dargestellt, direkt vor die Lochblende.



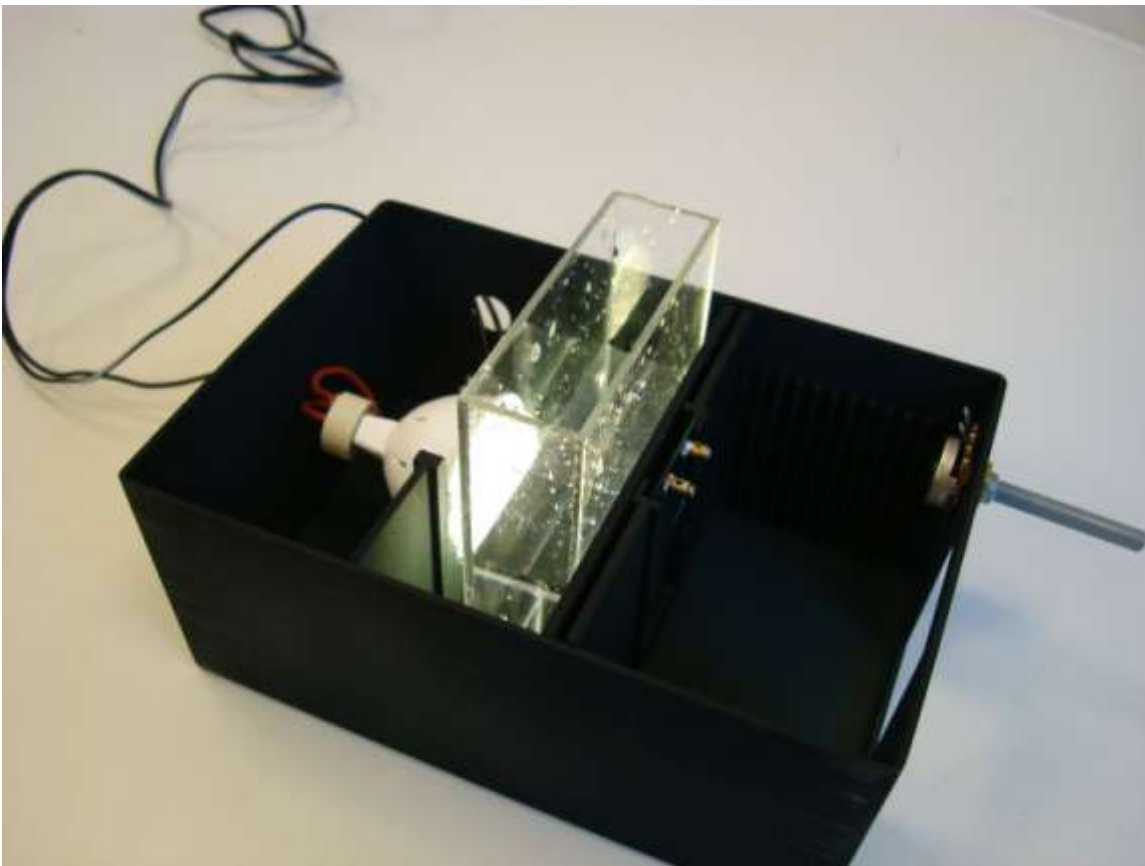


Abb. 2.8 Versuchsanordnung für Aufgabe 2.7.

2.7a	Miss den Strom $I$ wie in Aufgabe 2.1, nun aber in Abhängigkeit von der Höhe $h$ des Wassers im Gefäß (Abb. 2.8). Erstelle eine Messwerttabelle und zeichne einen Graphen.	1.0
2.7b	Erkläre ausschließlich mit Hilfe von Zeichnungen und Symbolen, weshalb der Graph diese spezifische Form hat.	1.0

Befestige die Lichtquelle in der Box und platziere die Solarzelle A im Einzelhalter so, dass der Abstand zwischen Solarzelle und Lichtquelle maximal ist. Platziere die Lochblende direkt vor der Solarzelle.

2.7c	Führe mit dieser Anordnung folgende Schritte aus: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Miss die Entfernung <math>r_1</math> und den Strom <math>I_1</math>.</li> <li>- Stelle die leere Küvette direkt vor die Lochblende und miss die Stromstärke <math>I_2</math>.</li> <li>- Fülle die Küvette bis knapp unter den Rand und miss den Strom <math>I_3</math>.</li> </ul>	0.6
2.7d	Benutze die Messungen von 2.7c, um einen Wert für den Brechungsindex $n_w$ von Wasser zu bestimmen. Erläutere deine Methode mit Hilfe von geeigneten Zeichnungen und Gleichungen. Du darfst zusätzliche Messungen durchführen.	1.6