

# leXsolar-NewEnergy Ready-to-go



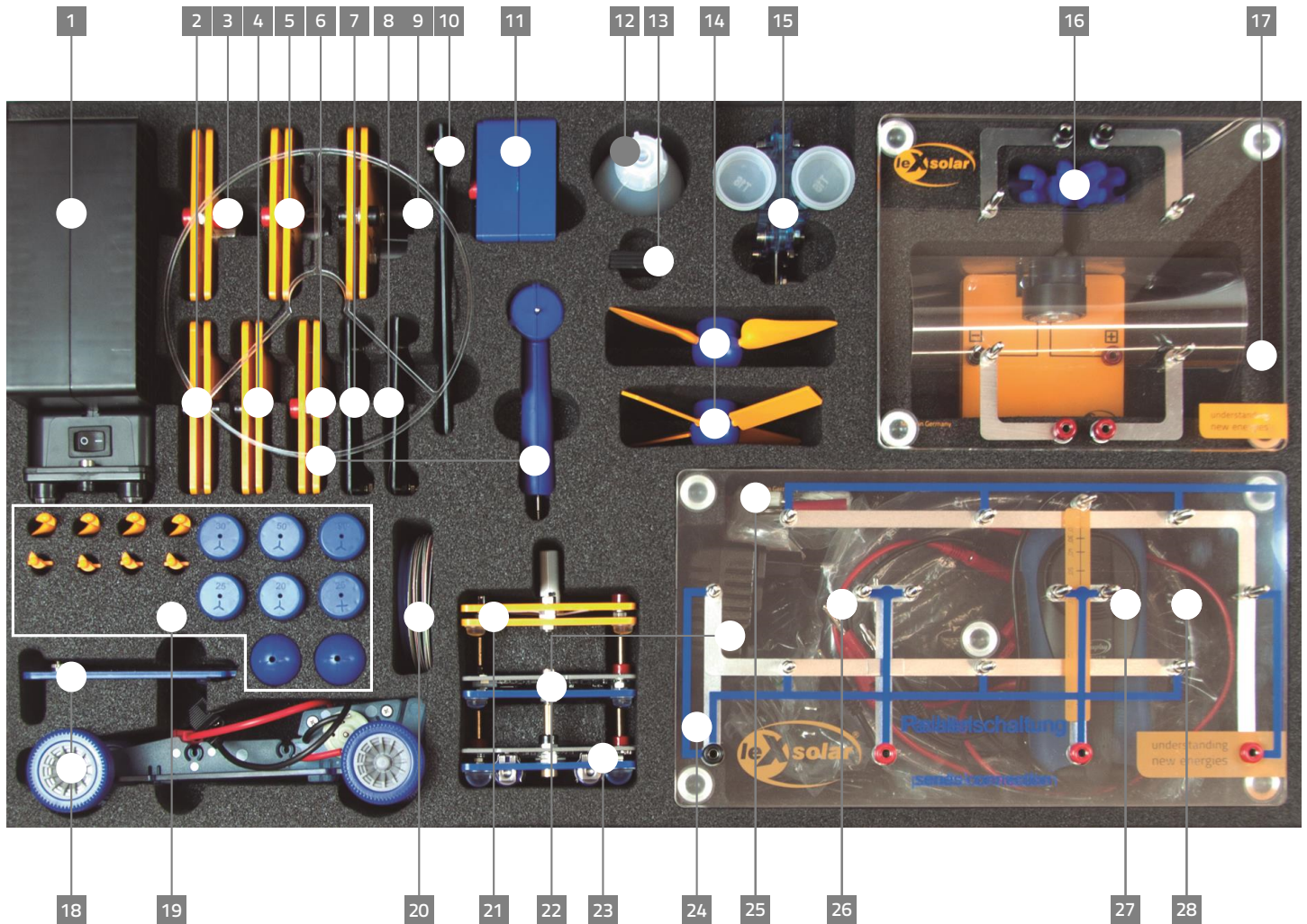
Lehrerheft

# Layout diagram leXsolar-NewEnergy Ready-to-go

Item-No.2003

## Bestückungsplan leXsolar-NewEnergy Ready-to-go

Art.-Nr.2003



- |  |   |  |
|--|---|--|
| <p><b>1</b> 1400-19 leXsolar-Wind machine<br/>1400-19 leXsolar-Winderzeuger</p> <p><b>2</b> 1400-08 LED-module 2mA, red<br/>1400-08 LED-Modul 2mA, rot</p> <p><b>3</b> 1100-27 Motor module without gear<br/>1100-27 Motormodul ohne Getriebe</p> <p><b>4</b> 1100-26 Light bulb module<br/>1100-26 Glühlampenmodul</p> <p><b>5</b> 1100-25 Buzzer module<br/>1100-25 Hupenmodul</p> <p><b>6</b> 1400-22 Wind turbine module<br/>1400-22 Windturbinenmodul</p> <p><b>7</b> 1100-02 Solar module 0.5 V, 840 mA<br/>1100-02 Solarmodul 0.5 V, 840 mA</p> | <p><b>8</b> 1100-07 Solar module 1.5 V, 280 mA<br/>1100-07 Solarmodul 1.5 V, 280 mA</p> <p><b>9</b> 1100-23 Potentiometer module<br/>1100-23 Potentiometermodul</p> <p><b>10</b> 1100-31 Solar module 2.5 V, 420 mA<br/>1100-31 Solarmodul 2.5 V, 420 mA</p> <p><b>11</b> 1100-20 Lighting module<br/>1100-20 Beleuchtungsmodul</p> <p><b>12</b> 1800-15 Distilled water (100 ml)<br/>1800-15 Destilliertes Wasser (100 ml)</p> <p><b>13</b> 1100-29 Solar cell cover set<br/>1100-29 Satz mit Abdeckung f. Solarzelle</p> <p><b>14</b> 1400-21 Wind rotor set (assembled)<br/>1400-21 Windrotoren (montierter Satz)</p> <p><b>15</b> L2-06-067 Reversible Fuel cell<br/>L2-06-067 Reversible Brennstoffzelle</p> <p><b>16</b> 1900-01 Water wheel module<br/>1900-01 Wasserradmodul</p> <p><b>17</b> 1602-01 leXsolar-Base unit small<br/>1602-01 leXsolar-Grundeinheit Small</p> <p><b>18</b> 1801-02 Electric model car<br/>1801-02 Elektro-Modellfahrzeug</p> | <p><b>19</b> 1400-12 leXsolar-Wind rotor set<br/>1400-12 leXsolar-Windrotoren</p> <p><b>20</b> 1100-28 Color discs - Set 1<br/>1100-28 Farbscheiben - Set 1</p> <p><b>21</b> 1600-02 Capacitor module 5.0F/5.4V<br/>1600-02 Kondensatormodul 5.0F/5.4V</p> <p><b>22</b> 9100-05 PowerModule<br/>9100-05 PowerModul</p> <p><b>23</b> 9100-03 AV-Module<br/>9100-03 AV-Modul</p> <p><b>24</b> 1100-19 leXsolar-Base unit Large<br/>1100-19 leXsolar-Grundeinheit groß</p> <p><b>25</b> 2xL2-06-033 Short-circuit plug<br/>2xL2-06-033 Kurzschlussstecker</p> <p><b>26</b> L2-06-012/013 Test lead 25 cm black/red<br/>L2-06-012/013 Messleitung 25 cm schw./rot<br/>L2-06-014/015 Test lead 50 cm black (2x)/red<br/>L2-06-014/015 Messleitung 50 cm schw. (2x)/rot</p> <p><b>27</b> 1602-02 Hand generator<br/>1602-02 Handgeneratormodul</p> <p><b>28</b> L2-02-051 Silicone tube 12 mm<br/>L2-02-051 Silikonschlauch innen 12mm</p> |
|--|---|--|

Version number  
Versionsnummer

III-01.24\_L3-03-259\_22.05.2019

# leXsolar – NewEnergy Ready-to-go

Konzeption von leXsolar - NewEnergy Ready-to-go.....	5
Bezeichnung und Handhabung der Experimentiergeräte.....	6

## Experimente – Grundschule

1. Aus Muskelkraft wird Strom ... wird Licht.....	18
2. Aus Muskelkraft wird Strom ... wird Bewegung.....	20
3. Aus Muskelkraft wird Strom ... wird Krach.....	23
4. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Bewegung.....	26
5. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Krach.....	29
6. Die Fläche einer Solarzelle.....	33
7. Die Ausrichtung von Solarzellen.....	35
8. Von der Solarzelle zum Solarmodul.....	37
9. Aus Windenergie wird Strom ... wird Krach.....	39
10. Aus Windenergie wird Strom ... wird Licht.....	41
11. Einfluss des Flügelprofils.....	43
12. Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.....	46
13. Aus einem Wasserstrahl wird Strom... wird Lärm.....	49
14. Je weiter das Wasser fällt, desto.....	51
15. Speicherung von Solarenergie.....	53
16. Speicherung von Windenergie.....	56
17. Was macht ein Elektrolyseur.....	59
18. Die Brennstoffzelle treibt den Motor an.....	62
19. Die Brennstoffzelle treibt die Hupe an.....	63
20. Energiespeicherung und Abgabe... E-Mobility.....	64
21. Energiebedarf verschiedener Verbraucher.....	66
22. Vergleich von Glühlampe und LED.....	68

## Experimente – Sekundarstufe 1

1. Energieformen und Verbraucher .....	69
2.1 Der Grundaufbau für Farbscheibenexperimente .....	71
2.2 Farbeigenschaften .....	72
2.3 Die additive Farbmischung .....	73
2.4 Optische Täuschungen mit der Benham-Scheibe .....	74
2.5 Optische Täuschungen mit der Relief-Scheibe .....	75
3. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der beleuchteten Fläche .....	77
4.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (qualitativ) .....	83
4.2 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (quantitativ) .....	85
5. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Beleuchtungsstärke .....	88
6.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Last .....	91
6.2 Die U-I-Kennlinie und der Füllfaktor einer Solarzelle .....	95
6.3 Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke .....	98
7.1 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (qualitativ) .....	102
7.2 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (quantitativ) .....	103
8. Anlaufgeschwindigkeit an einer Windkraftanlage .....	106
9.1 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten eines Verbrauchers .....	110
9.2 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten verschiedener Verbraucher .....	113
10.1 Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblatt-Rotoren (qualitativ) .....	116
10.2 Vergleich von Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblatt-Rotoren (quantitativ) .....	120
11. Kennlinie einer Windkraftanlage mit Gleichstromgenerator .....	125
12.2 Einfluss der Windrichtung (quantitativ) .....	132
13.1 Der Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (qualitativ) .....	135
13.2 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (quantitativ) .....	138
14.1 Einfluss der Flügelform (qualitativ) .....	141
14.2 Einfluss der Flügelform (quantitativ) .....	143
15.1 Wasser als Energiequelle (qualitativ) .....	145
15.2 Wasser als Energiequelle (quantitativ) .....	146
16.1 Abhängigkeit von der Fallhöhe (qualitativ) .....	148
16.2 Abhängigkeit von der Fallhöhe (quantitativ) .....	149
17. Funktionsweise eines Elektrolyseurs .....	152
18. Funktionsweise einer Brennstoffzelle .....	155
19. Die Kennlinie eines Elektrolyseurs .....	157
20. Die Kennlinie einer Brennstoffzelle .....	159

# Konzeption von leXsolar - NewEnergy Ready-to-go

## Konzeption:

leXsolar - NewEnergy Ready-to-go ist ein Schülerexperimentiersatz zum Thema Energie, das speziell für die Zielgruppe Grundschule und Sekundarstufe I konzipiert wurde. Daher wurde insbesondere auf folgende Punkte speziell geachtet:

- Einfache und intuitive Handhabung durch die Schüler
- Geringer Vorbereitungsaufwand für den Lehrer
- Robuste Materialien und Geräte
- Übersichtlichkeit der Materialien und Verpackung
- Gute Lehrplanintegration möglich

## Ziel:

Ziel von leXsolar - NewEnergy Ready-to-go ist es, den Schülern das Thema Energie anschaulich und durch eigenes Erleben verständlich zu machen. Eine zentrale Rolle spielt dabei auch das Thema Energieumwandlung. In der vorliegenden Version des leXsolar - NewEnergy Ready-to-go bilden die Sonnenergie, die Windenergie und die Wasserkraft die möglichen Energiequellen. Die Themen Energiespeicherung und Energiesparen runden das Themenfeld ab. Eine Form der Energiespeicherung ist dabei die durch Elektrolyse induzierte Speicherung in Form von Wasserstoff. Die Rückgewinnung der Elektroenergie geschieht durch eine Brennstoffzelle.

## Aufbau:

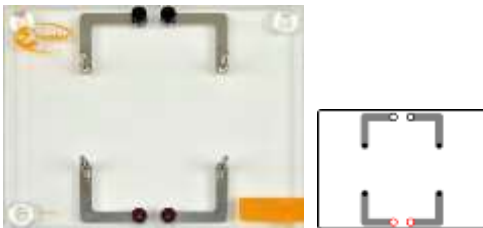
Das Heft ist zweigeteilt in den ersten Bereich, der für die Anwendung in der Grundschule vorgesehen ist und rein qualitative Versuche ohne Messgeräte enthält. Im zweiten Teil finden Sie Experimente für die Anwendung in der Sekundarstufe 1. Die Experimente im zweiten Teil gliedern sich im Allgemeinen in qualitative Versuche mit einfachen Verbrauchern und quantitative Versuche mit der Erfassung von Messdaten auf. Sie können selbstverständlich mit den Schülern der Sekundarstufe 1 ebenfalls die Experimente aus dem ersten Teil durchführen, welche sich vor allem zum Einstieg ins Experimentieren gut eignen.



## Bezeichnung und Handhabung der Experimentiergeräte leXsolar-NewEnergy Ready-to-go

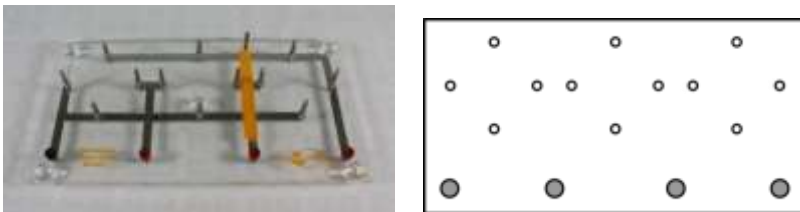
In der folgenden Auflistung werden alle im leXsolar-NewEnergy Ready-to-go Koffer enthaltenen Einzelteile aufgeführt. Zu jeder Komponente finden Sie die Bezeichnung mit Artikelnummer, eine Abbildung, das Piktogramm in den Versuchsaufbauten und Hinweise zur Bedienung. Mit Hilfe der Artikelnummer können Sie jedes Einzelteil separat nachbestellen.

### Grundeinheit Small 1602-01



Die Grundeinheit Small ist eine Steckplatine, welche bis zu zwei Module aufnehmen kann. Der Strom fließt über die an der Unterseite angebrachten Leitungen. Um die Module auf der Grundeinheit miteinander zu verbinden, befinden sich an zwei gegenüberliegenden Seiten insgesamt vier Anschlüsse. Dazu stehen unter anderem zwei Kurzschlussstecker zur Verfügung.

### Grundeinheit 1100-19



Die Grundeinheit ist eine Steckplatine, auf der bis zu drei Module in Reihe oder parallel zueinander geschaltet werden können. Der Strom fließt über die an der Unterseite angebrachten Leitungen. Um die Module auf der Grundeinheit miteinander zu verbinden, befinden sich am unteren Ende vier Anschlüsse.

## Winderzeuger 1400-19



Der Winderzeuger dient zur kontrollierten Steuerung des Windes für das Experimentieren mit der Windturbine. In den Experimenten wird der Winderzeuger mit dem PowerModul oder der Handkurbel (Spannungsquelle) verbunden. Hierzu muss der negative (positive) Pol des PowerModuls oder der Handkurbel mit dem negativen (positiven) Anschluss des Winderzeugers verbunden werden. Zur Inbetriebnahme befindet sich auf der den Anschlüssen gegenüberliegenden Seite ein separater An/Aus-Schalter. Die Windrichtung ist durch die Pfeile auf der Oberseite des Winderzeugers markiert. Der Betrieb des Winderzeugers ist nur mit dem mitgelieferten PowerModul, der Handkurbel oder einer stabilisierten Gleichspannung zulässig, andernfalls erlischt die Garantie. Des Weiteren sollte darauf geachtet werden, dass der Winderzeuger keinen starken Erschütterungen ausgesetzt ist, da sonst die Rotorblätter im Inneren abbrechen können. Er sollte daher nur auf den Grundeinheiten aufgesteckt betrieben werden.

### Technische Daten:

- Maximale Spannung: 12V DC (stabilisiert)
- Windgeschwindigkeit: 0 – 7m/s

## Windrotoren 1400-12 und Windrotoren (montierter Satz) 1400-21



Aus den Bestandteilen können Rotoren mit 2, 3 oder 4 Rotorblättern mit einem flachen Profil oder einem optimierten Profil zusammengesetzt werden. Der 4-fach Nabeneinsatz ist mit einem Anstellwinkel von 25° und der 3-fach Einsatz mit den Anstellwinkeln 20°, 25°, 30°, 50° und 90° verfügbar.

Zusätzlich ist im Experimentiersystem ein vormontierter Satz Rotoren enthalten (1x flaches Profil, 1x optimiertes Profil).

## Handhabung Rotorblätter für Windturbinenmodul 1400-22



Zuerst wird eine Nabe mit dem gewünschten Anstellwinkel und der Flügelzahl ausgewählt (die Naben sind auf der Rückseite entsprechend beschriftet). Der Zweiflügel- und Vierflügel-Rotor kann mithilfe der Nabe mit 4 Einsätzen aufgebaut werden.

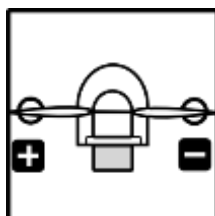


Danach werden die Rotorflügel eingesetzt. Beim Einsetzen der Flügel ist darauf zu achten, dass diese mit der abgerundeten Seite (am Endstück, welches eingelegt wird) nach oben in den Einsatz gelegt werden.



Nach dem Einsetzen der Flügel wird die Nabenkappe aufgesetzt und leicht festgedrückt.

## leXsolar-Windturbinenmodul 1400-22



Zunächst muss die blaue Windturbinen auf die entsprechende Modulplatte gesteckt werden. Auf die Generatorwelle wird dann der montierte Rotor befestigt, um eine kleine Windkraftanlage zu erhalten. Der Rotor sollte nicht zu fest aufgesteckt werden, damit das Gehäuse der Turbine nicht berührt wird, wodurch sich unnötige Reibungsverluste ergeben würden.

Der Generator erzeugt eine Gleichspannung, deren Polung auf der Modulplatte erkennbar ist. Des Weiteren ist auf die Modulplatte eine Winkelskala aufgedruckt, anhand derer die Turbine in einem bestimmten Winkel in den Wind gedreht werden kann.

Zur Vermeidung des Kontakts mit den drehenden Flügeln wird auf den Windrotor ein Fingerschutzgitter aufgebracht.

Während sich der Rotor dreht, besteht Verletzungsgefahr. Der Rotor darf nur angefasst werden, wenn er nicht rotiert!



## Handhabung Fingerschutz für Windturbinenmodul 1400-22

1) An der Windturbine befinden sich wie abgebildet drei kleine Nasen zum Befestigen des Fingerschutzgitters.



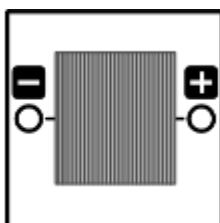
2) Das Fingerschutzgitter wird auf den Kopf der Windturbine aufgesteckt und an den unteren beiden Nasen leicht festgedrückt.



3) Anschließend wird der Windrotor auf die Welle der Windturbinen gesteckt.



## Solarzelle 1100-02 0,5V 840 mA

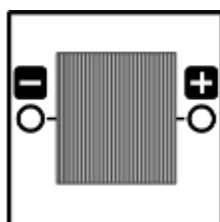


Auf der Rückseite befindet sich die Angabe zur Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke.

### Technische Daten:

Material: polykristallines Silizium  
Leerlaufspannung: 0,5V  
Kurzschlussstromstärke: 840mA  
Spitzenleistung: 0,4Wp

## Solarmodul 1100-07 1,5V 280 mA



Das Solarmodul besteht aus einer Reihenschaltung von 3 Solarzellen. Auf der Rückseite befindet sich die Angabe zur Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke.

Technische Daten:

Material: polykristallines Silizium  
Leerlaufspannung: 1,5V  
Kurzschlussstromstärke: 280mA  
Spitzenleistung: 0,13Wp

Solarmodul 1100-31 2,5V 420 mA



Das große Solarmodul besteht aus einer Reihenschaltung von 5 Solarzellen.

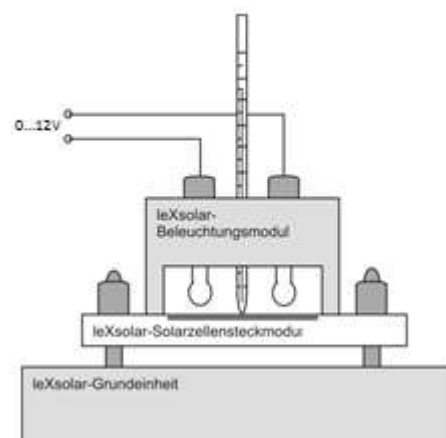
Technische Daten:

Material: polykristallines Silizium  
Leerlaufspannung: 2,5V  
Kurzschlussstromstärke: 420mA  
Spitzenleistung: 1Wp

Satz Abdeckung f. Solarzelle 1100-29

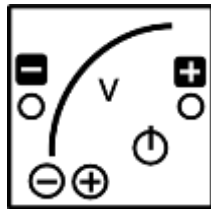


Beleuchtungsmodul (1100-20)



Das Beleuchtungsmodul wird mit dem PowerModul oder der Handkurbel betrieben. Im Inneren des Beleuchtungsmoduls befinden sich 4 Glühlampen, die durch das Herein- oder Herausdrehen zur Beleuchtung beitragen können oder nicht. In den Experimenten wird das Beleuchtungsmodul direkt auf die Solarzellen aufgelegt. Hierbei ist darauf zu achten, dass es aufgrund von Wärmestrahlung nicht zu lange auf der Solarzelle steht, um eine zu starke Temperaturerhöhung zu vermeiden. Zwischen den beiden Anschlüssen befindet sich ein Loch für ein Laborthermometer, mit dem die Temperatur der Solarzelle bestimmt werden kann.

## PowerModul 9100-05



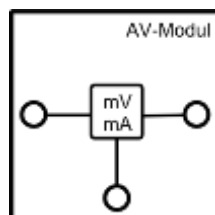
Das PowerModul ist ein kompaktes und intuitiv zu bedienendes Stromversorgungsgerät für Experimente. Zum Betrieb muss zunächst das beiliegende Steckernetzteil in die Steckdose gesteckt und mit der Eingangsbuchse oben rechts am PowerModul verbunden werden. Die **Spannung wird mit der „+“- und „-“ - Taste ausgewählt** und durch die LEDs angezeigt. Ist die gewünschte Spannung eingestellt, wird mit dem Einschalt-Button die Spannung an die Ausgangsbuchsen angelegt. Die Spannung liegt an, solange der Einschalt-Button rot leuchtet. Bei Kurzschluss oder Strömen  $>2$  A schaltet das PowerModul die Spannung ab.

In den Experimenten wird das PowerModul vorrangig zur Spannungsversorgung, z.B. des Winderzeugers oder des Beleuchtungsmoduls eingesetzt.

### Technische Daten:

- Ausgangsspannung: 0-12 V
- Ausgangsleistung: max. 24 W
- Regelbar in 0,5 V Schritten per Touchbuttons
- Überstromerkennung  $>2$  A und Abschaltung
- Eingangsspannung: 110-230 V, 50-60 Hz (über beiliegendes Steckernetzteil)

## AV-Modul 9100-03



Das AV-Modul ist ein kombiniertes Spannungs- und Strommessgerät. Es besitzt 3 Tasten, deren Funktionen jeweils im Display angezeigt werden. Durch das Drücken einer beliebigen Taste wird das Modul eingeschaltet. Im ausgeschalteten Zustand ist im Display das leXsolar-Logo zu sehen. **Wenn das Display nichts anzeigt oder beim Betrieb „Bat“ angezeigt wird, müssen die Batterien auf der Rückseite ausgetauscht werden** (2 x AA Batterien oder Akkus 1,2 bis 1,5V; Die Polarität beim Einsetzen der Batterien gemäß Markierung am Boden des Batteriefachs ist zu beachten! Während des Einlegens der Batterien dürfen die Touchfelder nicht berührt werden).

Mit der Taste rechts oben kann zwischen den 3 Modi Spannungsmessung, Stromstärkemessung und kombinierte Spannungs- und Stromstärkemessung gewechselt werden. Der Messmodus und der Anschluss der Kabel an das Modul werden durch die Schaltsymbole im Display angezeigt. Im

Modus der Spannungsmessung ist zu beachten, dass kein Strom zur rechten Buchse fließt. Im kombinierten Modus kann die Spannung sowohl über die rechte als auch die linke Buchse gemessen werden. Der Einfluss des Innenwiderstands der Stromstärkemessung wird intern kompensiert. Der Messwert ist vorzeichenbehaftet. Liegt der positive Pol an einer der roten und der negative Pol an der schwarzen Buchse an, ergibt die Spannungsmessung ein positives Ergebnis. Fließt der Strom von der linken zur rechten Buchse, ist die angezeigte Stromstärke positiv.

Nach 30 min ohne Tastendruck oder nach 10 min ohne Messwertveränderung schaltet sich das Modul automatisch aus. Das AV-Modul kann Spannungen bis 12 V und Stromstärken bis 2 A messen. Falls eine dieser Größen überschritten wird, unterbricht das Modul den Stromfluss und es erscheint „overvoltage“ bzw. „overcurrent“ im Display. Diese Fehlermeldung kann durch Betätigen der entsprechenden Taste bestätigt werden. Befinden sich die Messwerte wieder im zulässigen Bereich, misst das Modul weiter.

#### Technische Daten:

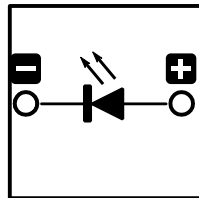
Spannungsmessung:

- Messbereich: 0...12 V
- Genauigkeit: 1 mV
- Automatische Abschaltung bei Überspannung >12 V (Wiedereinschalten durch Touchbutton)

Strommessung:

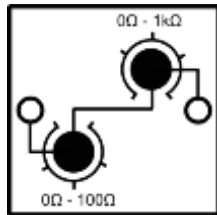
- Messbereich: 0...2 A
- Genauigkeit: 0,1 mA (0...199 mA) und 1 mA (200 mA...1 A)
- Automatiksicherung >2 A (Wiedereinschalten durch Touchbutton)
- Innenwiderstand <0,5 Ohm (0...200 mA); <0,2 Ohm (200 mA...2 A)

#### LED-Modul 1400-08



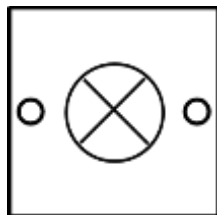
Im Inneren des LED-Moduls befindet sich eine rote LED mit einer Wellenlängenemission von 697nm. Um die Diode zum Leuchten zu bringen, muss mindestens eine Spannung von 1,7 V angelegt werden.

### Potentiometermodul 1100-61



Das Potentiometermodul besteht aus einem 0-1 k $\Omega$ -Drehwiderstand und einem 0-100  $\Omega$ -Drehwiderstand. Beide sind in Reihe geschaltet, sodass das Potentiometermodul Widerstände zwischen 0  $\Omega$  bis 1100  $\Omega$  annehmen kann. Die Messungenauigkeit beim Einstellen eines Widerstandes liegt bei 5  $\Omega$  beim kleineren Drehwiderstand und bei 20  $\Omega$  beim Größeren. Durch das Potentiometer dürfen keine Ströme von mehr als 190 mA fließen.

### Glühlampenmodul 1100-26



Das Glühlampenmodul fungiert als Verbraucher in den Experimenten.

#### Technische Daten:

Mikroglühlampe  $P_{\text{typ}} = 200\text{mW}$  (bei 3,5V)  
Absicherung über Spannungsbegrenzung (6V)

### Kondensatormodul 1600-02



Das Kondensatormodul besteht aus zwei in Reihe geschalteten Kondensatoren. Die maximale Spannung des Kondensatormoduls beträgt 5,4 V. Zum Aufladen sollte keine höhere Spannung als 5 V angelegt werden. Zum Entladen kann der Kondensator kurzgeschlossen werden, da Sicherungen im Modul eine zu hohe Stromstärke verhindern.

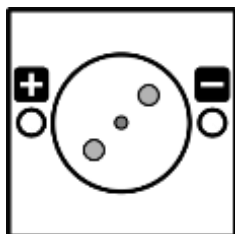
Zum schnellen Aufladen kann der Kondensator direkt an die Spannungsquelle (zum Bsp. PowerModul) angeschlossen werden. Dazu wird die Spannungsquelle bei 0,5 V eingeschaltet und alle 10 s um 0,5 V erhöht. In der gewünschten Endspannung sollte der Kondensator ca. 30 s aufgeladen werden.

Technische Daten:

Kapazität: 5 F

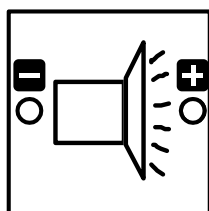
Spannung: 5,4 V

Motormodul (1100-27) mit Farbscheibenset 1 (1100-28)



Das Motormodul beinhaltet einen Gleichstrommotor, der sich je nach dem Vorzeichen der angelegten Spannung in verschiedene Richtungen dreht. Um anzulaufen, benötigt er eine Mindestspannung von 0,35 V. Über die blaue Plasticscheibe können Farbscheiben an dem Motormodul befestigt werden. Mit Hilfe der Farbscheiben können optische Täuschungen veranschaulicht werden. Hierzu gehört beispielsweise die additive Farbmischung. Die Farbscheiben sind: Rot-Grün-Blau, Rot-Blau, Rot-Grün, Grün-Blau, rote Farbtone, Relief, Stroboskopscheibe

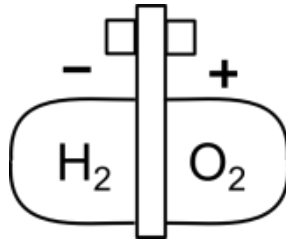
Hupenmodul 1100-25



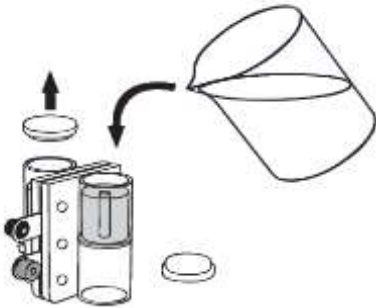
Das Hupenmodul fungiert als Verbraucher in den Experimenten.



Reversible Brennstoffzelle L2-06-067 mit destilliertem Wasser (100ml) 1800-15

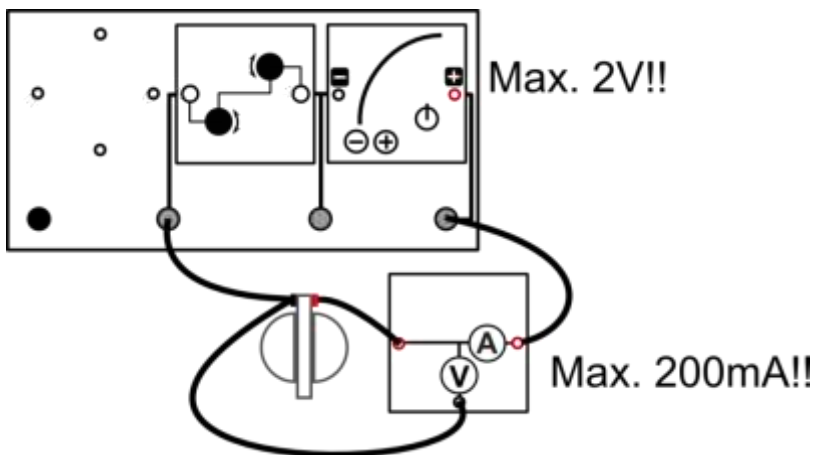


Die reversible Brennstoffzelle besteht aus einem Elektrolyseur und einer Brennstoffzelle. Zum Befüllen der reversiblen Brennstoffzelle sollte folgendermaßen vorgegangen werden:



1. Befülle die rev. Brennstoffzelle mit destilliertem Wasser wie in nebenstehender Abbildung gezeigt.
2. Fülle beide Speicherzylinder bis zum oberen Ende des Röhrchens im Inneren des Zylinders mit destilliertem Wasser auf.
3. Klopfe die rev. Brennstoffzelle leicht auf den Tisch.
4. Fülle weiter destilliertes Wasser nach, bis es durch die Röhrchen läuft.
5. Verschließe die Speicherzylinder mit den Stopfen und drehe die Zelle für den Betrieb wieder um. (Stopfen müssen für den Betrieb unten liegen)

Zum Aufladen der reversiblen Brennstoffzelle mit dem PowerModul muss ein Potentiometer ( $R=20\Omega$ ) in Reihe geschaltet und Strom und Spannung überwacht werden.



Andernfalls kann es passieren, dass ohne zwischengeschaltete Widerstände zu hohe Ströme fließen, was die Brennstoffzelle dauerhaft beschädigen kann. Spannungswerte von 2V und Stromwerte von 200mA sollten weder im Betrieb als Brennstoffzelle noch als Elektrolyseur überschritten werden. Ströme über 500mA führen zur Zerstörung der Brennstoffzelle. Die Brennstoffzelle darf **NICHT** mit der Handkurbel aufgeladen werden!

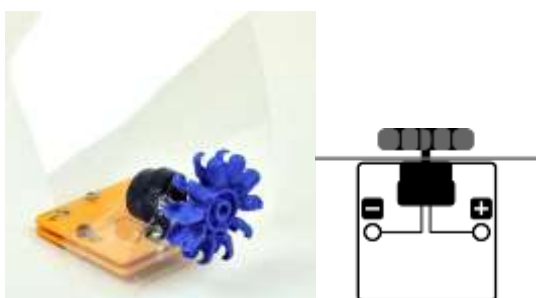
### Elektro-Modellfahrzeug mit Akku-Adapter 1801-02



Das Elektro-Modellfahrzeug kann mit der reversible Brennstoffzelle, dem Solarmodul (2,5V) oder dem Kondensatormodul betrieben werden. Die reversible Brennstoffzelle und das Solarmodul können direkt auf das Fahrzeug gesteckt werden. Das Kondensatormodul kann mit der Adapterplatte an dem Fahrzeug befestigt werden.

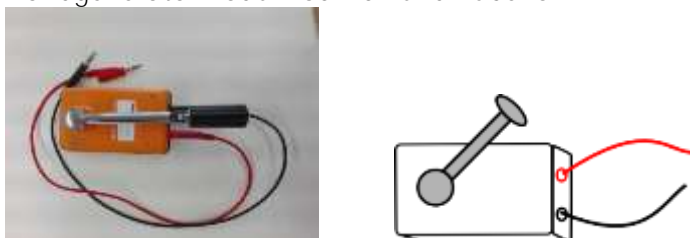
Das Fahrzeug bewegt sich, sobald die beiden Kabel an den Versorger angeschlossen werden. Werden die Räder während des Betriebs festgehalten, kommt es zum Kurzschluss und der Energiespeicher entlädt sich.

### Wasserradmodul 1900-01 und PVC-Schlauch (12mm) L2-02-051



Das Wasserradmodul ist mit einer Pelton-Turbine und einem Getriebegenerator ausgestattet. Für das Wasser reicht eine Fallhöhe von ca. 20 cm aus, um genügend Energie für kleine Verbraucher (z.B. Hupenmodul) bereitzustellen. Der transparente Spritzschutz schirmt den Generator dabei vor Feuchtigkeit ab. Der beiliegende PVC-Schlauch (12mm Innendurchmesser) wird für die Zufuhr des Wasserstrahls genutzt.

### Handgeneratormodul 1602-02 und Zubehör



Folgendes Zubehör ist im Experimentiersystem enthalten:

- Messleitung, 25cm, schwarz L2-06-012
- Messleitung, 25cm, rot L2-06-013
- 2 x Messleitung, 50cm, schwarz L2-06-014
- Messleitung, 50cm, rot L2-06-015
- 2 x Kurzschlussstecker L2-06-033



## Vorbetrachtung: 1. Aus Muskelkraft wird Strom ... wird Licht

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

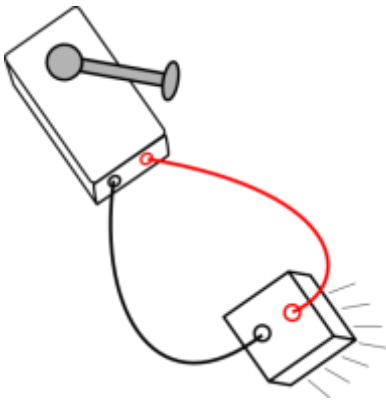
- Der Versuch lässt sich am besten zu zweit oder zu dritt durchführen, sodass ein Schüler kurbeln und die anderen Schüler beobachten können
- Die Helligkeit der Lampen lässt sich über die Kurbelgeschwindigkeit steuern.
- Beim Verbinden von Handkurbel und Beleuchtungsmodul sollte auf die richtige Polarität geachtet werden (rot an rot und schwarz an schwarz).





## 1. Aus Muskelkraft wird Strom ... wird Licht

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Handgenerator
- 1 Beleuchtungsmodul
- 1 rotes Kabel
- 1 schwarzes Kabel

### So geht's

1. Nimm dir ein rotes und ein schwarzes Kabel. Verbinde damit die Handkurbel mit dem Beleuchtungsmodul. Achte dabei darauf, jeweils die beiden roten Anschlüsse und die beiden schwarzen Anschlüsse miteinander zu verbinden (siehe Skizze).
2. Kurble nun kräftig am Handgenerator! Was beobachtest du?

Die Lampen im Beleuchtungsmodul leuchten.

---

3. Versuche, die Kurbel nun langsamer zu drehen. Was beobachtest du?

Die Lampen leuchten weniger hell.

---

4. Welche Energieumwandlungen hast du in diesem Experiment beobachtet?

Muskelkraft (Bewegungsenergie) wird zunächst in elektrische Energie umgewandelt, die über die Kabel zu den Lampen übertragen wird. Dort wird die elektrische Energie in Licht umgewandelt.

---

## Vorbetrachtung: 2. Aus Muskelkraft wird Strom ... **wird** Bewegung

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

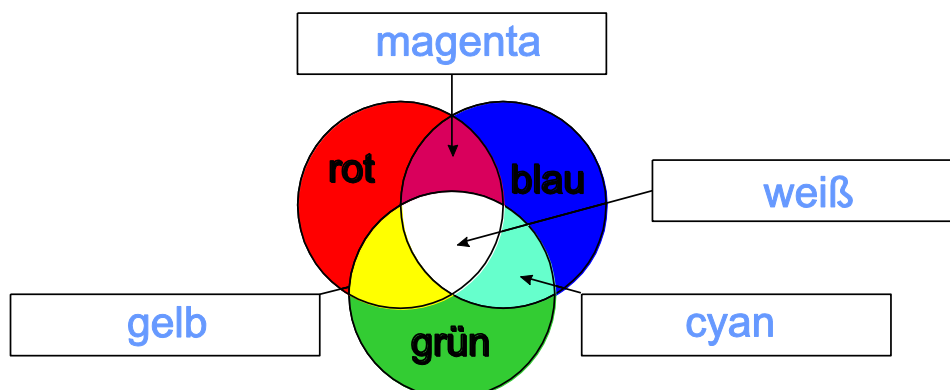
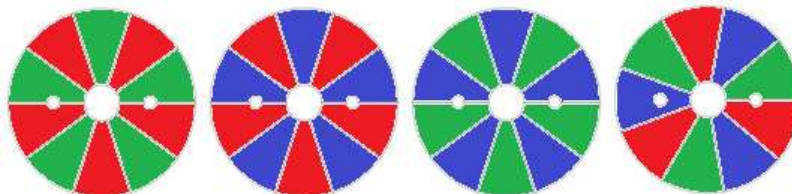
- Der Versuch lässt sich am besten zu zweit oder zu dritt durchführen, sodass ein Schüler kurbeln und die anderen Schüler beobachten können.
- Die Geschwindigkeit des Motors lässt sich gut über die Kurbelgeschwindigkeit steuern.
- Beim Verbinden von Handkurbel und Grundeinheit sollte auf die richtige Polarität geachtet werden (rot an rot und schwarz an schwarz):



- Mögliche Erweiterung der Thematik und Auswertung:

Es können auch weitere Farbscheiben verwendet werden - dann muss die Auswertung angepasst werden:

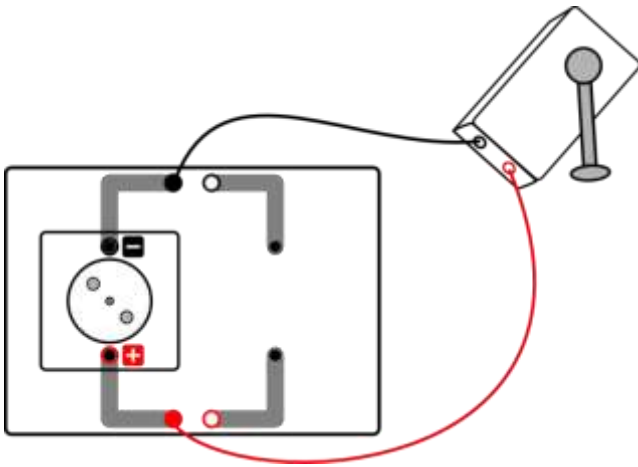
grün-rot      rot-blau      grün-blau      grün-rot-blau





## 2. Aus Muskelkraft wird Strom ... **wird** Bewegung

### Aufbau

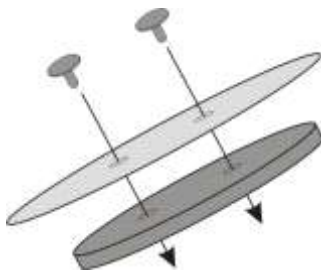


### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Handgenerator
- 1 Motormodul mit Farbscheibe rot-blau
- 1 rotes Kabel
- 1 schwarzes Kabel

### So geht's

1. Verbinde zuerst mit zwei Kabeln die Handkurbel mit der kleinen Grundeinheit. Achte dabei darauf, jeweils die beiden roten Anschlüsse und die beiden schwarzen Anschlüsse miteinander zu verbinden.
2. Stecke anschließend den Motor wie oben abgebildet auf die Grundeinheit.
3. Stecke die Pappscheibe rot-blau mit den blauen Steckern auf das blaue Rad. Stecke das Rad nun auf den Motor.



Hinweis: Wenn nötig, kannst du zum Lösen der Clips von der Rotationsscheibe einen Stecker zu Hilfe nehmen. Drücke den Stecker dazu vorsichtig von unten gegen den Clip.





## 2. Aus Muskelkraft wird Strom ... **wird** Bewegung

### So geht's

4. Kurble kräftig am Handgenerator! Was beobachtest du?

Die Farbscheibe dreht sich. Die Farben vermischen sich zu einem magentafarbenen Farbeindruck.

5. Versuche, die Kurbel nun sehr langsam zu drehen. Was beobachtest du?

Je langsamer man kurbelt, desto langsamer dreht sich der Motor und desto besser kann man die einzelnen Farben wieder unterscheiden.

6. Vertausche nun die Kabel (nur) am Handgenerator – also rotes Kabel in die schwarze Buchse und schwarzes Kabel in die rote Buchse und kurble erneut möglichst langsam. Was beobachtest du?

Die Scheibe dreht sich in die andere Richtung.

7. Welche Energieumwandlungen hast du in diesem Experiment beobachtet?

Muskelkraft (Bewegungsenergie) wird in elektrische Energie umgewandelt, welche den Motor antreibt.

Der Motor wandelt die elektrische Energie wieder in Bewegungsenergie um.

Vorbetrachtung: 3. **Aus Muskelkraft wird Strom ... wird Krach**

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

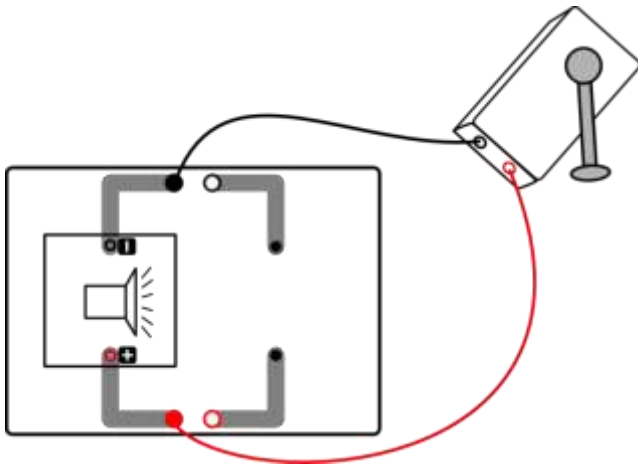
- Der Versuch lässt sich am besten zu zweit oder zu dritt durchführen, sodass ein Schüler kurbeln und die anderen Schüler beobachten können
- Die Lautstärke der Hupe lässt sich gut über die Kurbelgeschwindigkeit steuern
- Beim Durchführen des Versuchs wird es erfahrungsgemäß sehr lautstark zugehen, sodass die Anweisungen möglichst vorher gegeben werden sollten.
- Beim Verbinden von Handkurbel und Grundeinheit sollte auf die richtige Polarität geachtet werden (rot an rot und schwarz an schwarz):





### 3. Aus Muskelkraft wird Strom ... wird Krach

#### Aufbau



#### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Handgenerator
- 1 Hupenmodul
- 1 rotes Kabel
- 1 schwarzes Kabel

#### So geht's

1. Verbinde zuerst mit zwei Kabeln die Handkurbel mit der kleinen Grundeinheit. Achte dabei darauf, jeweils die beiden roten Anschlüsse und die beiden schwarzen Anschlüsse miteinander zu verbinden.
2. Stecke anschließend die Hupe wie abgebildet auf die Grundeinheit.
3. Kurble kräftig am Handgenerator! Was beobachtest du?

Die Hupe beginnt, sehr laut zu hupen.

4. Versuche, die Kurbel nun langsamer zu drehen. Was beobachtest du?

Die Hupe wird leiser.

5. Welche Energieumwandlungen hast du in diesem Experiment beobachtet?

Muskelkraft (Bewegungsenergie) wird in elektrische Energie umgewandelt. Die Hupe wandelt die elektrische Energie anschließend in Schall um. (für Fortgeschrittene: also ebenfalls in Bewegungsenergie, nämlich in Schwingung der Luft)

## Vorbetrachtung: 4. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Bewegung

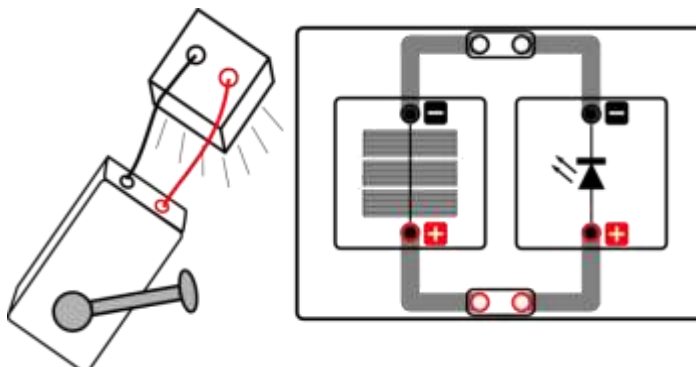
### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Beim Aufbau sollten die Schüler explizit auf den Unterschied zwischen der Solarzelle und dem (kleinen) Solarmodul hingewiesen werden. Beide Einheiten sind auf den ersten Blick leicht zu verwechseln. Beim Solarmodul ist bei genauem Hinsehen eine Trennung der drei einzelnen Bereiche (drei einzelne Solarzellen) zu erkennen. Auf der Rückseite der Module sind die Werte für Strom und Spannung markiert. Die hier verwendete Solarzelle ist durch folgende Werte gekennzeichnet: 0,5 V und 840 mA.
- Bei schlechten Lichtverhältnissen (vor allem in den Wintermonaten) sollte das Beleuchtungsmodul als konsistente Lichtquelle verwendet werden. Der Versuch lässt sich dann am besten zu zweit oder zu dritt durchführen, sodass ein Schüler kurbeln und die anderen Schüler beobachten können.
- Die Leuchtstärke der Lampen im Beleuchtungsmodul und damit die Drehgeschwindigkeit des Motors lässt sich über die Kurbelgeschwindigkeit steuern.
- Der Versuch ist erweiterbar mit verschiedenen Farbscheiben.
- Beim Verbinden von Handkurbel und Beleuchtungsmodul sollte auf die richtige Polarität geachtet werden (rot an rot und schwarz an



(schwarz):

- Typische Fehler beim Aufbau: Kurzschlussstecker vergessen, Kabel in Beleuchtungsmodul verkehrt herum eingesteckt
- Mögliche Erweiterung der Thematik und Auswertung: Der Versuch kann statt mit dem Motor oder der Hupe auch mit der LED (dann mit Solarmodul) durchgeführt werden. Dann ändert sich die Auswertung folgendermaßen:





## Vorbetrachtung: 4. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Bewegung

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

Aufgabenstellung für alternativen Versuch mit LED:

*Halte das Solarmodul ins Sonnenlicht! Falls die Sonne nicht scheint, stelle das Beleuchtungsmodul auf das Solarmodul und kurble kräftig am Handgenerator. Was beobachtest du?*

*Die LED leuchtet.*

---

*Bewege die Grundeinheit langsam aus dem Sonnenlicht bzw. lasse von einem Mitschüler das Beleuchtungsmodul langsam hoch heben. Was beobachtest du?*

*Die LED geht aus.*

---

*Kannst du die Beobachtung erklären?*

*Das Solarmodul wandelt Licht in elektrische Energie um. Die LED wandelt diese in Licht um. Je mehr Licht auf das Solarmodul fällt, desto mehr elektrische Energie wird umgewandelt und desto heller leuchtet die LED.*

---

*Fällt zu wenig Licht auf das Solarmodul, geht die LED aus.*

---

*Benutze statt des Solarmoduls die Solarzelle! Was beobachtest du? Versuche deine Beobachtung zu erklären!*

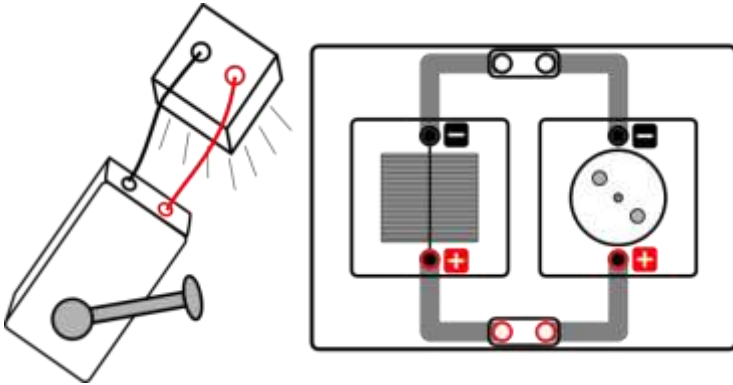
*Mit der Solarzelle funktioniert die LED nicht. Die LED funktioniert also nur, wenn man mehrere Solarzellen miteinander verbindet. Die Erklärung ist die gleiche wie bei beim Betrieb der Hupe mit dem Solarmodul, mit dem Unterschied, dass die LED 1,6 V benötigt und daher nur mit mindestens 3 Solarzellen in Reihe funktioniert.*

---



## 4. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Bewegung

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Solarzelle 0,5V
- 1 Motormodul
- 2 Kurzschlussstecker

Falls die Sonne nicht genügend scheint, brauchst Du zusätzlich eine

**„handbetriebene“ Lichtquelle:**

- 1 Handgenerator
- 1 rotes Kabel
- 1 schwarzes Kabel
- 1 Beleuchtungsmodul

### So geht's

1. Baue den Versuch wie oben abgebildet auf. Stecke die Kurzschlussstecker in die dafür vorgesehenen Anschlüsse auf der Grundeinheit, um die Solarzelle und das Motormodul zu verbinden.
2. Halte die Solarzelle ins Sonnenlicht! Falls die Sonne nicht scheint, stelle das Beleuchtungsmodul auf die Solarzelle und kurble kräftig am Handgenerator. Verbinde dazu zuerst mit zwei Kabeln die Handkurbel mit dem Beleuchtungsmodul. Achte dabei darauf, dass du die Anschlüsse mit der richtigen Farbe verbindest (rot an rot und schwarz an schwarz).

### Auswertung

1. Was beobachtest du?

Der Motor dreht sich – jedoch nicht so schnell wie beim direkten Betrieb des Motors mit dem Handgenerator.

2. Bewege die Grundeinheit langsam aus dem Sonnenlicht bzw. lasse von einem Mitschüler das Beleuchtungsmodul langsam hoch heben. Was beobachtest du?

Der Motor wird langsamer und hält schließlich ganz an.





## 4. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Bewegung

### Auswertung

3. Kannst du die Beobachtung erklären?

Die Solarzelle wandelt Licht in elektrische Energie um. Der Motor wandelt diese elektrische Energie in Bewegungsenergie um. Je heller es ist, also je mehr Licht auf die Solarzelle fällt, desto mehr Energie wird umgewandelt und desto schneller dreht sich der Motor. Fällt zu wenig Licht auf die Solarzelle, wird nicht genug Energie für den Betrieb des Motors umgewandelt und er dreht sich daher gar nicht mehr.



## Vorbetrachtung: 5. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Krach

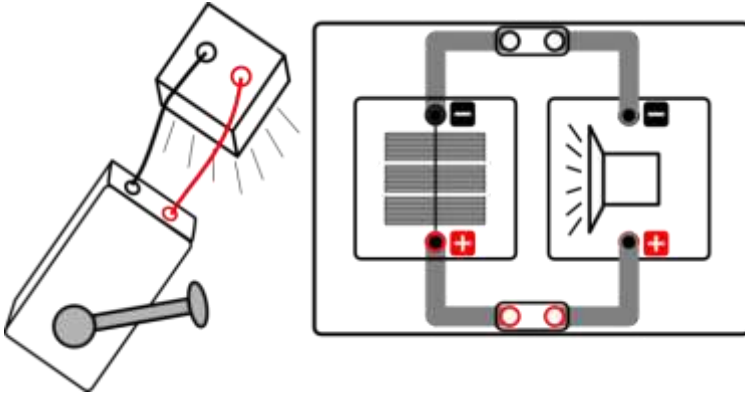
### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Beim Aufbau sollten die Schüler explizit auf den Unterschied zwischen der Solarzelle und dem Solarmodul hingewiesen werden. Beide Einheiten sind auf den ersten Blick leicht zu verwechseln. Beim Solarmodul erkennt man bei genauem Hinsehen eine Trennung der drei einzelnen Bereiche (drei einzelne Solarzellen). Auf der Rückseite der Module sind die Werte für Strom und Spannung markiert, das hier verwendete Solarmodul ist durch folgende Werte gekennzeichnet: *1,5 V und 280 mA*.
- Bei sehr schlechten Lichtverhältnissen kann das Beleuchtungsmodul als konsistente Lichtquelle verwendet werden. Der Versuch lässt sich dann am besten zu zweit oder zu dritt durchführen, sodass ein Schüler kurbeln und die anderen Schüler beobachten können. Die Hupe benötigt aber eine relativ geringe Spannung und Stromstärke, sodass sie im Allgemeinen auch bei schlechteren Lichtverhältnissen ohne zusätzliches Beleuchtungsmodul verwendet werden kann.
- Die Helligkeit der Lampen im Beleuchtungsmodul und damit die Lautstärke der Hupe lässt sich gut über die Kurbelgeschwindigkeit steuern
- Die Schüler sollten explizit auf die richtige Polarität beim Aufstecken und Verkabeln hingewiesen werden, da die Hupe sonst nicht hupt (weiterer typischer Fehler: Kurzschlussstecker vergessen.)
- Beim Durchführen des Versuchs wird es erfahrungsgemäß sehr lautstark zugehen, sodass die Anweisungen möglichst vorher gegeben werden sollten.
- Statt dem Solarmodul kann bei guten Lichtverhältnissen auch die Solarzelle verwendet werden, dann tönt die Hupe weniger laut  
(Begründung für Fortgeschrittene: Bei der Reihenschaltung addieren sich die Spannungen der einzelnen Solarzellen. Da die Hupe mindestens 0,4V benötigt, eine einzelne Solarzelle bei Zimmerlicht jedoch maximal diese 0,4V liefert, benötigt man für einen ordentlichen Betrieb 2 Solarzellen in Reihe. Die Spannung der Solarzelle ist dabei fast unabhängig von ihrer Größe.)



## 5. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Krach

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Solarmodul 1,5V
- 1 Hupenmodul
- 2 Kurzschlussstecker

Falls die Sonne nicht scheint, brauchst Du **zusätzlich eine „handbetriebene“**

Lichtquelle:

- 1 Handgenerator
- 1 rotes Kabel
- 1 schwarzes Kabel
- 1 Beleuchtungsmodul

### So geht's

1. Baue den Versuch wie oben abgebildet auf. Stecke die Kurzschlussstecker in die dafür vorgesehenen Anschlüsse auf der Grundeinheit, um das Solarmodul und das Hupenmodul zu verbinden.
2. Halte die Grundeinheit ins Sonnenlicht! Falls die Sonne nicht scheint, stelle das Beleuchtungsmodul auf das Solarmodul und kurble kräftig am Handgenerator. Verbinde dazu zuerst mit zwei Kabeln die Handkurbel mit dem Beleuchtungsmodul. Achte dabei darauf, dass du die Anschlüsse mit der richtigen Farbe verbindest (rot an rot und schwarz an schwarz).

### Auswertung

3. Was beobachtest du?

Die Hupe hupt – jedoch nicht so laut wie im direkten Betrieb der Hupe mit dem Handgenerator

4. Bewege die Grundeinheit langsam aus dem Sonnenlicht bzw. lasse von einem Mitschüler das Beleuchtungsmodul langsam hoch heben. Was beobachtest du?

Die Hupe wird leiser und verstummt schließlich ganz.



## 5. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Krach

### Auswertung

5. Kannst du die Beobachtung erklären?

Die Solarzellen wandeln Licht in elektrische Energie um. Die Hupe wandelt diese elektrische Energie in Bewegungsenergie (Schall) um. Je heller es ist, also je mehr Licht auf die Solarzellen fällt, desto mehr Energie wird umgewandelt und desto lauter tönt die Hupe. Fällt zu wenig Licht auf die Solarzellen, wird nicht genug Energie für den Betrieb der Hupe umgewandelt und sie verstummt daher.



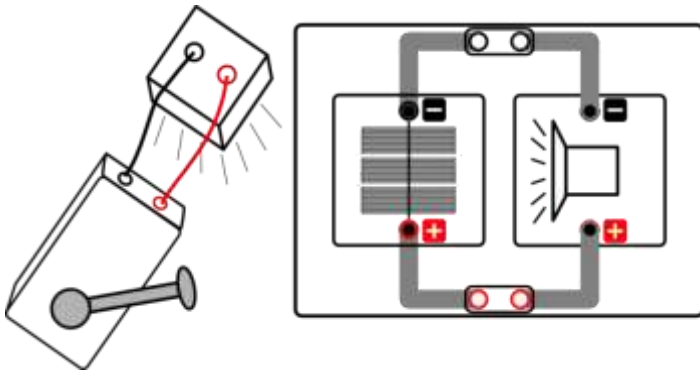
## Vorbetrachtung: 6. Die Fläche einer Solarzelle

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Beim Aufbau sollten die Schüler explizit auf den Unterschied zwischen der Solarzelle und dem Solarmodul hingewiesen werden. Beide Einheiten sind auf den ersten Blick leicht zu verwechseln. Beim Solarmodul erkennt man bei genauem Hinsehen eine Trennung der drei einzelnen Bereiche (drei einzelne Solarzellen). Auf der Rückseite der Module sind die Werte für Strom und Spannung markiert. Das hier verwendete Solarmodul ist durch folgende Werte gekennzeichnet: 1,5 V und 280 mA.
- Hinweis: Um den Versuch physikalisch korrekt durchzuführen, müsste die Solarzelle statt dem Solarmodul verwendet werden, da bei Verwendung des Solarmoduls noch andere Effekte eine Rolle spielen (zum Beispiel die Teilverschattung in der Reihenschaltung von Solarzellen). Für eine rein phänomenologische Auswertung, um den Effekt der Flächenabhängigkeit der Leistung zu zeigen, ist die Anwendung des Solarmoduls aber ebenso gut geeignet. Mit der Solarzelle lässt sich die Flächenabhängigkeit weniger gut qualitativ darstellen, weil die Spannung fast unabhängig von der Fläche ist und die Drehgeschwindigkeit des Motors, beziehungsweise die Lautstärke der Hupe sich daher kaum ändert mit abnehmender Fläche. Bei starker Sonneneinstrahlung funktioniert der Versuch auch mit der Solarzelle.
- Mit Handkurbel ist die Hupe ziemlich laut, sodass Lautstärkeunterschiede nicht so gut wahrgenommen werden können. Es empfiehlt sich also, den Versuch im indirekten Sonnenlicht durchzuführen.
- Typische Fehler beim Aufbau: Kurzschlussstecker vergessen, Kabel in Beleuchtungsmodul verkehrt herum eingesteckt, Hupe verkehrt herum eingesteckt

## 6. Die Fläche einer Solarzelle

## Aufbau



## Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Solarmodul 1,5V
- 1 Hupenmodul
- 2 Kurzschlussstecker
- 4 Abdeckplättchen

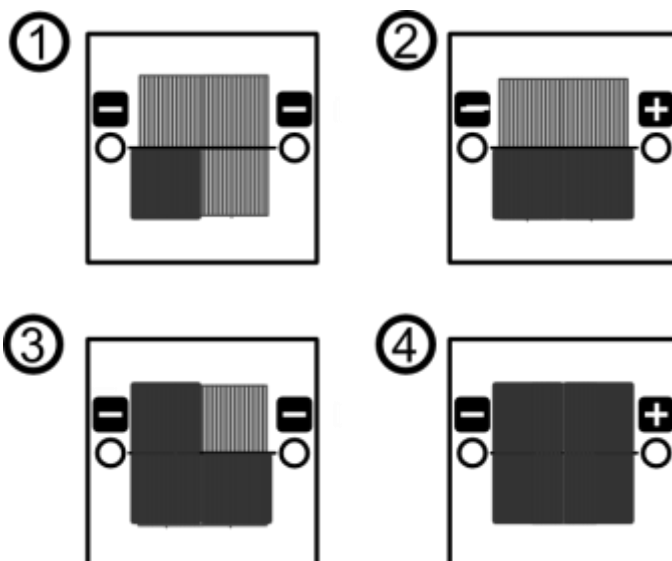
Falls die Sonne nicht scheint, brauchst Du **zusätzlich eine „handbetriebene“**

Lichtquelle:

- 1 Handgenerator
- 1 rotes Kabel
- 1 schwarzes Kabel
- 1 Beleuchtungsmodul

## So geht's

1. Baue den Versuch wie oben abgebildet auf. Stecke die Kurzschlussstecker in die dafür vorgesehenen Anschlüsse auf der Grundeinheit, um das Solarmodul und das Hupenmodul zu verbinden.
2. Stelle das Beleuchtungsmodul auf das Solarmodul und kurble kräftig am Handgenerator. Verbinde dazu zuerst mit zwei Kabeln die Handkurbel mit dem Beleuchtungsmodul. Achte dabei darauf, dass du die Anschlüsse mit der richtigen Farbe verbindest (rot an rot und schwarz an schwarz).
3. Verringere nun die Fläche des Solarmoduls, indem du ein Viertel des Moduls mit einem Abdeckplättchen zudeckst (1):







## 6. Die Fläche einer Solarzelle

### Auswertung

4. Kurble wieder kräftig am Handgenerator. Was beobachtest du?

Die Hupe tönt etwas leiser.

---

---

5. Verringere nun noch weiter die Fläche des Solarmoduls, indem du weitere Abdeckplättchen auf das Modul legst (2...4). Kurble am Handgenerator und notiere, was du beobachtest.

Je kleiner die Solarmodulfläche wird, desto leiser tönt die Hupe. Bei vollständiger Abdeckung geht die Hupe aus.

---

---

6. Kannst du die Beobachtung erklären?

Das Solarmodul wandelt Licht in elektrische Energie um. Die Hupe wandelt diese elektrische Energie in Bewegungsenergie (Schall) um. Je größer die Fläche der Solarzelle ist, desto mehr Energie wird umgewandelt und desto lauter tönt die Hupe. Fällt zu wenig Licht auf die Solarzelle, weil diese abgedeckt ist, wird nicht genug Energie für den Betrieb der Hupe umgewandelt und sie verstummt daher.

---

---



## Vorbetrachtung: 7. Die Ausrichtung von Solarzellen

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Beim Aufbau sollten die Schüler explizit auf den Unterschied zwischen der Solarzelle und dem Solarmodul hingewiesen werden. Beide Einheiten sind auf den ersten Blick leicht zu verwechseln. Beim Solarmodul erkennt man bei genauem Hinsehen eine Trennung der drei einzelnen Bereiche (drei einzelne Solarzellen). Auf der Rückseite der Module sind die Werte für Strom und Spannung markiert. Die hier verwendete Solarzelle ist durch folgende Werte gekennzeichnet: 0,5 V und 840 mA.
- Dieser Versuch sollte im direkten Sonnenlicht mit Solarzelle durchgeführt werden, da Lautstärkeunterschiede sonst nicht so gut verdeutlicht werden können
- Typische Fehler beim Aufbau: Kurzschlussstecker vergessen, Hupe verkehrt herum eingesteckt
- Mögliche zusätzliche Auswertung:

*Was bedeutet diese Beobachtung für das Verhalten der Solarzelle bzw. von Solaranlagen im Tagesverlauf?*

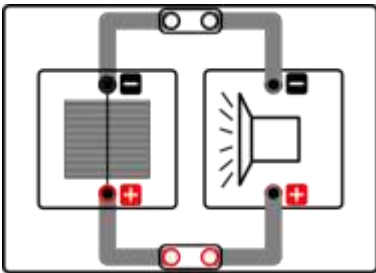
*Solaranlagen sind häufig fest montiert. Da die Sonne am Tag über den Himmel wandert, erzeugt eine Solaranlage im Tagesverlauf unterschiedlich viel Leistung.*

*Um möglichst viel Energie zu „ernten“, muss die Solaranlage am besten der Sonne nachgeführt werden, damit die Sonne immer senkrecht auf die Anlage einstrahlt. Da dieses Verfahren sehr aufwendig ist, werden Photovoltaikanlagen in einem festen Winkel aufgestellt. Der optimale Winkel hängt vom Standort der Anlage ab. Der optimale Anstellwinkel einer Solaranlage gegenüber dem Boden beträgt in Deutschland ca. 30° – 35°.*



## 7. Die Ausrichtung von Solarzellen

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Solarzelle 0,5V
- 1 Hupenmodul
- 2 Kurzschlussstecker

### So geht's

1. Baue den Versuch wie oben abgebildet auf. Stecke die Kurzschlussstecker in die dafür vorgesehenen Anschlüsse auf der Grundeinheit, um die Solarzelle und das Hupenmodul zu verbinden.
2. Halte die Grundeinheit ins Sonnenlicht. Richte sie optimal zur Sonne aus, sodass die Solarzelle genau senkrecht zum Lichteinfall steht. (Das kannst du z.B. daran erkennen, dass die Kurzschlussstecker keinen Schatten mehr auf die Grundeinheit werfen.)
3. Neige nun die Grundeinheit langsam aus dem Licht und beobachte dabei die Lautstärke der Hupe!

### Auswertung

1. Was beobachtest du?

Je stärker die Solarzelle aus dem Licht geneigt ist – je länger also die Schatten der Stecker werden – desto leiser tönt die Hupe.

2. Wie sollte also eine Solaranlage gegenüber der Sonneneinstrahlung möglichst ausgerichtet sein?

Die Solaranlage sollte möglichst senkrecht zum Lichteinfall ausgerichtet sein, um die maximale Leistung zu erzielen.

3. Du hast vielleicht schon mal ein Solaranlagen-Feld gesehen. Warum werden die Solarzellen in diesen Anlagen schräg aufgestellt?

In unseren Breitengraden scheint die Sonne nicht senkrecht auf die Erdoberfläche, sondern unter einem ortsabhängigen Einstrahlwinkel. Um einen möglichst senkrechten Lichteinfall (um die Mittagszeit) zu gewährleisten, werden die Solarzellen schräg aufgestellt.



## Vorbetrachtung: 8. Von der Solarzelle zum Solarmodul

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Beim Aufbau sollten die Schüler explizit auf den Unterschied zwischen der Solarzelle und dem Solarmodul hingewiesen werden. Beide Einheiten sind auf den ersten Blick leicht zu verwechseln. Beim Solarmodul erkennt man bei genauem Hinsehen eine Trennung der drei einzelnen Bereiche (drei einzelne Solarzellen). Auf der Rückseite der Module sind die Werte für Strom und Spannung markiert, das hier verwendete Solarmodul ist durch folgende Werte gekennzeichnet: 1,5 V und 280 mA. Die Solarzelle ist durch folgende Werte gekennzeichnet: : 0,5 V und 840 mA.
- Typische Fehler beim Aufbau: Kurzschlussstecker vergessen, Kabel in Beleuchtungsmodul verkehrt herum eingesteckt, Verbraucher (Hupe, LED) verkehrt herum eingesteckt
- Mögliche zusätzliche Auswertung:

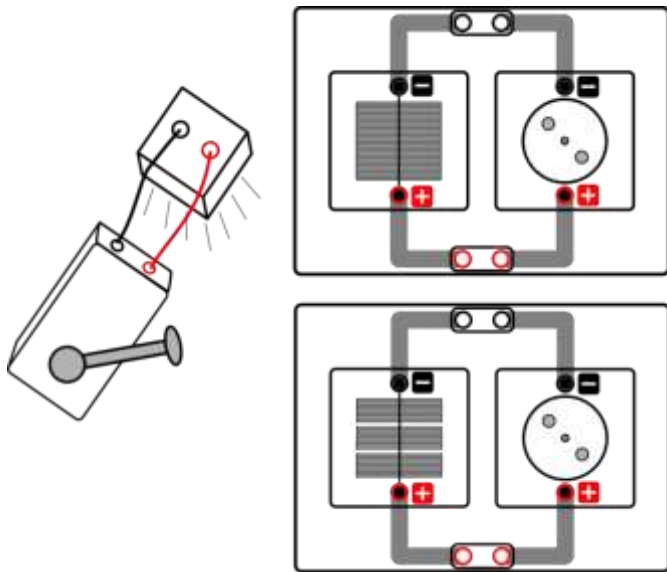
*Einige Verbraucher brauchen eine bestimmte Mindestspannung, um zu funktionieren. Was kannst du daraus über den Unterschied von Solarzelle und Solarmodul folgern?*

*Beim Solarmodul ist die Spannung höher. Dies wird durch das Hintereinanderschalten von drei Solarzellen erreicht.*

---

## 8. Von der Solarzelle zum Solarmodul

## Aufbau



## Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Solarzelle 0,5V
- 1 Solarmodul 1,5V
- 1 Hupe modul
- 1 Motormodul
- 1 Glühlampenmodul
- 1 LED-Modul
- 2 Kurzschlussstecker
- 1 Handgenerator
- 1 Beleuchtungsmodul
- 1 rotes Kabel
- 1 schwarzes Kabel

## So geht's

1. In diesem Versuch sollen alle vier Verbrauchermodule (Motor, Hupe, Glühlampe, LED) einmal mit der Solarzelle und einmal mit dem Solarmodul betrieben werden.
2. Der Versuch wird zuerst wie oben abgebildet mit dem Motormodul und der Solarzelle aufgebaut. Vergiss nicht, die Solarzelle und das Motormodul mit den Kurzschlusssteckern auf der Grundeinheit zu verbinden.
3. Stelle das Beleuchtungsmodul auf das Solarmodul und kurble kräftig am Handgenerator. Verbinde dazu zuerst mit zwei Kabeln die Handkurbel mit dem Beleuchtungsmodul. Achte dabei darauf, dass du die Anschlüsse mit der richtigen Farbe verbindest (rot an rot und schwarz an schwarz).
4. Anschließend wird der Motor gegen das Hupe modul, die Glühlampe und die LED ausgetauscht und der Versuch jeweils wiederholt. Notiere jeweils das Verhalten der Verbraucher.
5. Tausche die Solarzelle gegen das Solarmodul aus und wiederhole das Experiment mit allen Verbrauchern.

## Auswertung

	Solarzelle	Solarmodul
Motor	dreht sich	dreht sich
Hupe	hupt	hupt
Glühlampe	leuchtet nicht	leuchtet
LED	leuchtet nicht	leuchtet



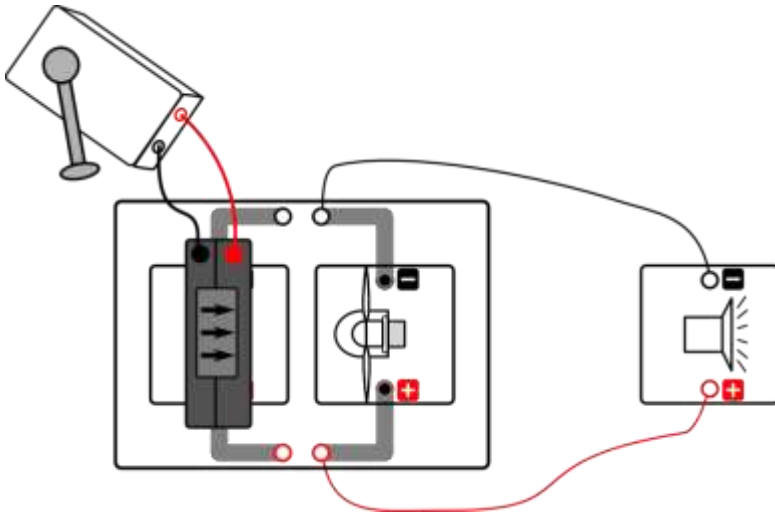
## Vorbetrachtung: 9. Aus Windenergie wird Strom ... wird Krach

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der Versuch lässt sich am besten zu zweit oder zu dritt durchführen, sodass ein Schüler kurbeln und die anderen Schüler beobachten können
- Der vorinstallierte Rotor (30°, optimiertes Profil) kann verwendet werden
- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen Sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss der Handkurbel an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (Der rote Ausgang an der Handkurbel muss mit dem roten Anschluss des Winderzeugers verbunden werden und der schwarze Ausgang der Handkurbel mit dem schwarzen Anschluss des Winderzeugers.)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Die Lautstärke der Hupe lässt sich gut über die Kurbelgeschwindigkeit steuern
- Typische Fehler beim Aufbau: Hupe verkehrt herum eingesteckt, Winderzeuger-Schalter auf aus, Winderzeuger verkehrt herum eingesteckt, Windturbine verkehrt herum eingesteckt

## 9. Aus Windenergie wird Strom ... wird Krach

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Winderzeuger
- 1 Windturbinenmodul mit Fingerschutzgitter
- 1 installierter Dreiblatt-Rotor, (Anstellwinkel 30°, optimiertes Profil)
- 1 Hupenmodul
- 2 schwarze Kabel
- 2 rote Kabel
- 1 Handgenerator

*Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Nutze den Fingerschutz mit dem Windturbinenmodul.*

### So geht's

1. Baue den Versuch wie oben abgebildet auf. Die Windrichtung am Winderzeuger ist durch aufgedruckte Pfeile auf der Oberseite gekennzeichnet. Verbinde mit einem roten und einem schwarzen Kabel den Handgenerator mit dem Winderzeuger. Achte auf die richtige Polarität der Anschlüsse. Verbinde rot mit rot und schwarz mit schwarz.
2. Verbinde das Hupenmodul mit Kabeln wie abgebildet mit der Grundeinheit. Achte auch hier auf die richtige Polarität der Anschlüsse.
3. Befestige das Fingerschutzgitter an der Windturbine.
4. Stecke anschließend den vorinstallierten Rotor mit dem optimierten Profil auf die Windturbine auf.
5. Schalte den Winderzeuger ein. Kurble kräftig am Handgenerator! Was beobachtest Du am Windturbinenmodul?

Der Propeller beginnt, sich zu drehen

Was passiert mit der Hupe?

Die Hupe hupt.

Erkläre Deine Beobachtung!

Durch die Handkurbel wird der Winderzeuger angetrieben. Der erzeugte Wind bringt den Propeller zum drehen. Der Generator in der Windturbine wandelt die Bewegungsenergie in elektrische Energie um, welche die Hupe zum Tönen bringt.



## Vorbetrachtung: 10. Aus Windenergie wird Strom ... wird Licht

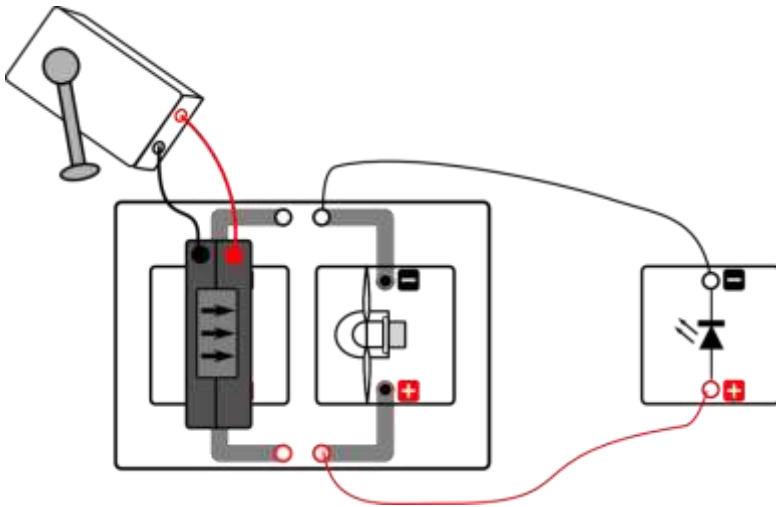
## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der Versuch lässt sich am besten zu zweit oder zu dritt durchführen, sodass ein Schüler kurbeln und die anderen Schüler beobachten können
- Der vorinstallierte Rotor (30°, optimiertes Profil) kann verwendet werden
- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss der Handkurbel an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (Der rote Ausgang an der Handkurbel muss mit dem roten Anschluss des Winderzeugers verbunden werden und der schwarze Ausgang der Handkurbel mit dem schwarzen Anschluss des Winderzeugers).
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Die Helligkeit der LED lässt sich gut über Kurbelgeschwindigkeit steuern
- Typische Fehler beim Aufbau: LED verkehrt herum eingesteckt, Winderzeuger-Schalter auf aus, Winderzeuger verkehrt herum eingesteckt, Windturbine verkehrt herum eingesteckt



## 10. Aus Windenergie wird Strom ... wird Licht

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Winderzeuger
- 1 Windturbinenmodul mit Fingerschutzgitter
- 1 Dreiblatt-Rotor, (Anstellwinkel 30°, optimiertes Profil)
- 1 LED-Modul
- 2 schwarze Kabel
- 2 rote Kabel
- 1 Handgenerator

*Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Nutze den Fingerschutz mit dem Windturbinenmodul.*

### So geht's

1. Baue den Versuch wie oben abgebildet auf. Die Windrichtung am Winderzeuger ist durch aufgedruckte Pfeile auf der Oberseite gekennzeichnet. Verbinde mit einem roten und einem schwarzen Kabel den Handgenerator mit dem Winderzeuger. Achte auf die richtige Polarität der Anschlüsse. Verbinde rot mit rot und schwarz mit schwarz.
2. Verbinde das LED-Modul wie abgebildet mit der Grundeinheit. Achte auch hier auf die richtige Polarität der Anschlüsse.
3. Befestige das Fingerschutzgitter an der Windturbine.
4. Stecke anschließend den vorinstallierten Rotor mit dem optimierten Profil auf die Windturbine auf.
5. Schalte den Winderzeuger ein. Kurble kräftig am Handgenerator! Was beobachtest Du am Windturbinenmodul?

Der Propeller beginnt, sich zu drehen

Was passiert mit der LED?

Die LED leuchtet.

Erkläre Deine Beobachtung!

Durch die Handkurbel wird der Winderzeuger angetrieben. Der erzeugte Wind bringt den Propeller zum drehen. Dieser wandelt die Bewegungsenergie in elektrische Energie um, welche die LED zum Leuchten bringt.



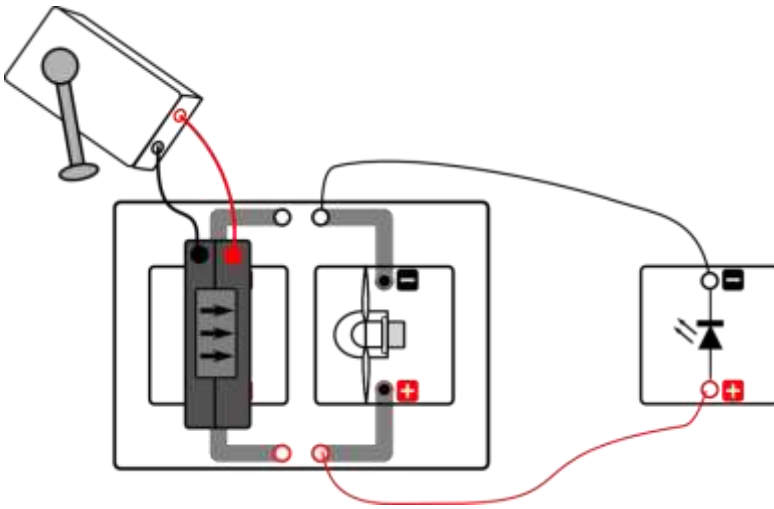
## Vorbetrachtung: 11. Einfluss des Flügelprofils

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der Versuch lässt sich am besten zu zweit oder zu dritt durchführen, sodass ein Schüler kurbeln und die anderen Schüler beobachten können
- Die vorinstallierten Rotoren können verwendet werden
- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen Sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss der Handkurbel an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (Der rote Ausgang an der Handkurbel muss mit dem roten Anschluss des Winderzeugers verbunden werden und der schwarze Ausgang der Handkurbel mit dem schwarzen Anschluss des Winderzeugers).
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Wenn die vorinstallierten Rotoren verwendet werden, besteht der Nachteil, dass nicht nur die Flügelform voneinander abweicht, sondern auch die Flügelzahl und der Anstellwinkel. Dadurch kommen weitere Parameter ins Spiel, die die Leistung der Rotoren beeinflussen. Für eine rein phänomenologische Betrachtung macht es aber kaum einen Unterschied. Die Leistungsunterschiede durch das Flügelprofil überwiegen sehr stark die Unterschiede durch die abweichende Flügelzahl (Drei-Flügler verhalten sich fast genauso wie Vier-Flügler) und den Anstellwinkel ( $30^\circ$  verhält sich ähnlich wie  $25^\circ$ ). Der Effekt, dass mit dem optimierten Profil deutlich höhere Leistungen erzeugt werden können, als mit dem flachen Profil, kann mit den vorinstallierten Rotoren trotzdem sehr gut herausgestellt werden. Um es physikalisch korrekt durchzuführen, kann ein Rotor mit gleicher Flügelzahl und Anstellwinkel aber abweichendem Flügelprofil selber aufgebaut werden.
- Weitere Ergebnisse:
  - 30°, optimiertes Profil, Drei-Flügler: LED leuchtet hell
  - 25°, flaches Profil, Vier-Flügler: LED glimmt nur leicht
  - 30°, flaches Profil, Drei-Flügler: LED leuchtet nicht
- Der Versuch ist auch mit der Glühlampe möglich (leuchtet bei optimiertem Profil, bei flachem nicht)
- Der Versuch ist auch mit der Hupe möglich (tönt leiser bei flachem Profil)
- Typische Fehler beim Aufbau: LED verkehrt herum eingesteckt, Winderzeuger-Schalter auf aus, Winderzeuger verkehrt herum eingesteckt, Windturbine verkehrt herum eingesteckt

## 11. Einfluss des Flügelprofils

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Winderzeuger
- 1 Windturbinenmodul mit Fingerschutzgitter
- 1 Rotor mit optimiertem Profil
- 1 Rotor mit flachem Profil
- 1 LED-Modul
- 2 schwarze Kabel
- 2 rote Kabel
- 1 Handgenerator

*Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Nutze den Fingerschutz mit dem Windturbinenmodul.*

### So geht's

1. Baue den Versuch wie oben abgebildet auf. Die Windrichtung am Winderzeuger ist durch aufgedruckte Pfeile auf der Oberseite gekennzeichnet. Verbinde mit einem roten und einem schwarzen Kabel den Handgenerator mit dem Winderzeuger. Achte auf die richtige Polarität der Anschlüsse. Verbinde rot mit rot und schwarz mit schwarz.
2. Verbinde das LED-Modul wie abgebildet mit der Grundeinheit. Achte auch hier auf die richtige Polarität der Anschlüsse.
3. Befestige das Fingerschutzgitter an der Windturbine.
4. Stecke anschließend den Rotor mit dem optimierten Profil auf die Windturbine auf.
5. Schalte den Winderzeuger ein. Kurble kräftig am Handgenerator! Was beobachtest Du am Windturbinenmodul?

Der Propeller beginnt, sich zu drehen

---

6. Was passiert mit der LED?

Die LED leuchtet.

---



## 11. Einfluss des Flügelprofils

### So geht's

7. Tausche den optimierten Propeller gegen den Rotor mit den flachen Flügeln aus und wiederhole den Versuch. Was kannst du jetzt am Windturbinenmodul und an der LED beobachten?

Das Windrad dreht sich langsamer und die LED leuchtet weniger stark beziehungsweise gar nicht mehr.

---

---

8. Erkläre Deine Beobachtung!

Die spitzen Flügel sind wegen ihrer „windschnittigen“ Form für eine Windkraftanlage besser geeignet, weil damit höhere elektrische Energien erreichen werden können. Das liegt an der Form der Flügel, die ähnlich wie eine Flugzeugtragfläche Auftriebseffekte nutzen.

---

---



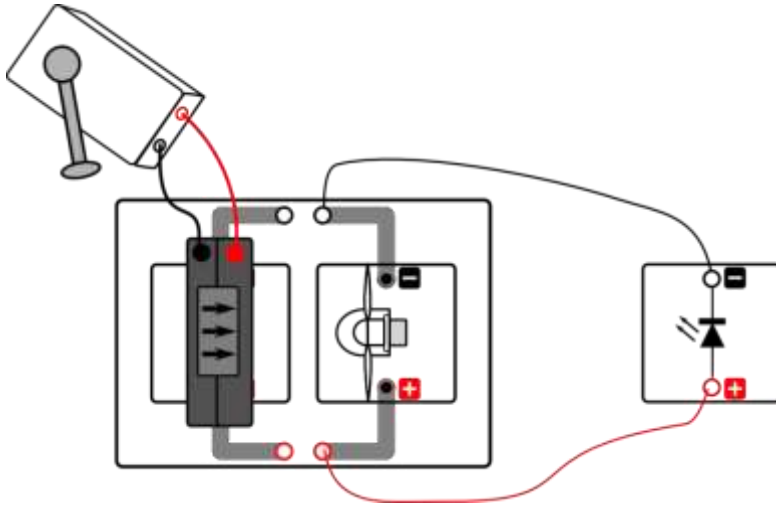
## Vorbetrachtung: 12. Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der Versuch lässt sich am besten zu zweit oder zu dritt durchführen, sodass ein Schüler kurbeln und die anderen Schüler beobachten können
- Der vorinstallierte Rotor (30°, optimiertes Profil) kann verwendet werden
- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss der Handkurbel an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (Der rote Ausgang an der Handkurbel muss mit dem roten Anschluss des Winderzeugers verbunden werden und der schwarze Ausgang der Handkurbel mit dem schwarzen Anschluss des Winderzeugers).
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Typische Fehler beim Aufbau: LED verkehrt herum eingesteckt, Winderzeuger-Schalter auf aus, Winderzeuger verkehrt herum eingesteckt, Windturbine verkehrt herum eingesteckt

## 12. Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Winderzeuger
- 1 Windturbinenmodul mit Fingerschutzgitter
- 1 installierter Dreiblatt-Rotor, (Anstellwinkel 30°, optimiertes Profil)
- 1 LED-Modul
- 2 schwarze Kabel
- 2 rote Kabel
- 1 Handgenerator

*Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Nutze den Fingerschutz mit dem Windturbinenmodul.*

### So geht's

1. Baue den Versuch wie oben abgebildet auf. Die Windrichtung am Winderzeuger ist durch aufgedruckte Pfeile auf der Oberseite gekennzeichnet. Verbinde mit einem roten und einem schwarzen Kabel den Handgenerator mit dem Winderzeuger. Achte auf die richtige Polarität der Anschlüsse. Verbinde rot mit rot und schwarz mit schwarz.
2. Verbinde das **LED-Modul** wie abgebildet mit der Grundeinheit. Achte auch hier auf die richtige Polarität der Anschlüsse.
3. Befestige das Fingerschutzgitter an der Windturbine.
4. Stecke anschließend den Rotor mit dem optimierten Profil auf die Windturbine auf.
5. Schalte den Winderzeuger ein. Kurble kräftig am Handgenerator!
6. Tauscht nun die Rollen und überprüft damit eure Ergebnisse noch einmal.

Hinweis: Bei diesem Versuch soll mit verschiedenen Geschwindigkeiten am Handgenerator gekurbelt werden. Beginnt zunächst mit der höchsten Geschwindigkeit und beobachtet dabei die LED. Lasst euren Mitschüler zunächst gleichmäßig weiterkurbeln und haltet die Hand vorsichtig (!!!) hinter das Windrad, um die Windgeschwindigkeit zu erfühlen. Lasst ihn danach die Kurbelgeschwindigkeit ein wenig verringern, beobachtet die LED und erfühlt anschließend wieder die Windgeschwindigkeit.



## 12. Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

### Auswertung

1. Fülle den Lückentext aus.

Je stärker am Handgenerator gekurbelt wird, desto höher ist die Windgeschwindigkeit. Je höher die Windgeschwindigkeit ist, desto heller leuchtet die LED. Wenn man langsam kurbelt, leuchtet die LED nicht. Wenn man sehr schnell kurbelt, leuchtet die LED hell. Reale Windkraftanlagen arbeiten besser bei höheren Windgeschwindigkeiten.



## Vorbetrachtung: 13. Aus einem Wasserstrahl wird Strom... wird Lärm

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

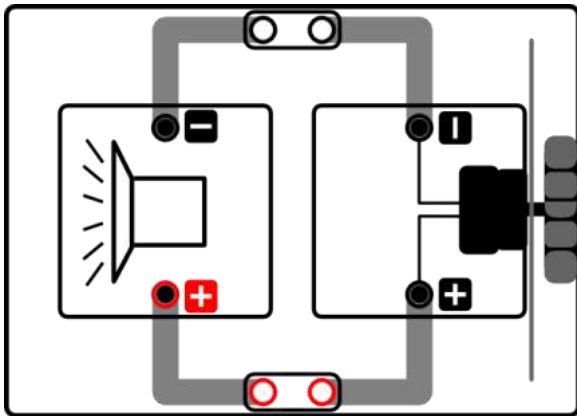
- Der Versuch sollte, wenn möglich als Outdoor-Experiment durchgeführt werden, da es teilweise stark spritzt
- In manchen Räumen kann der Versuch auch direkt unter dem Wasserhahn an einem Waschbecken durchgeführt werden. Das funktioniert allerdings nur bei ausreichendem Wasserdruck.
- Während des Versuchs sollte die Grundeinheit aus Spritzschutzgründen in einen Eimer oder eine tiefe Schüssel gehalten werden.
- Zum Anlaufen kann dem Wasserrad ein kleiner Anschubser gegeben werden
- Der Schlauch sollte für einen ausreichenden Wasserdruck möglichst weit oberhalb des Wasserradmoduls gehalten werden.
- Typische Fehler beim Aufbau: Hupe verkehrt herum eingesteckt, Kurzschlussstecker vergessen





## 13. Aus einem Wasserstrahl wird Strom... wird Lärm

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 2 Kurzschlussstecker
- 1 Wasserradmodul
- 1 Hupenmodul
- 1 Schlauch

Zusätzlich benötigt:

- 2 große Schüsseln/Kisten
- 1 Tisch/Stuhl
- Wasser

### So geht's

1. Baue den Versuch wie oben abgebildet auf. Stecke die Kurzschlussstecker in die dafür vorgesehenen Anschlüsse auf der Grundeinheit, um die Hupe und das Wasserrad zu verbinden.
2. Stelle eine Schüssel mit Wasser auf den Tisch, die andere platzierst du z.B. auf dem Boden oder Stuhl so, dass du das von oben herablaufende Wasser auffangen kannst.
3. Lege den Schlauch komplett in die obere Schüssel. Achte darauf, dass keine Luftblasen entstehen. Halte nun deinen Finger auf das eine Ende des Schlauches und halte ihn nach unten zum Wasserrad. Achte darauf, dass das andere Ende des Schlauchs im Wasser bleibt. Arbeitet am besten in kleinen Gruppen.
4. Halte die Grundeinheit mit dem Wasserrad in die untere Schüssel. Nimm nun den Finger von der Öffnung des Schlauchs, sodass der Wasserstrahl auf das Wasserrad trifft.
5. Notiere deine Beobachtungen!

### Beobachtungen

Wenn sich das Wasserrad zu drehen beginnt, beginnt auch die Hupe zu hupen. Das Wasserrad benötigt etwas Anlaufzeit, um die Trägheit der Rotoren zu überwinden.



## Vorbetrachtung: 14. Je weiter das Wasser fällt, desto...

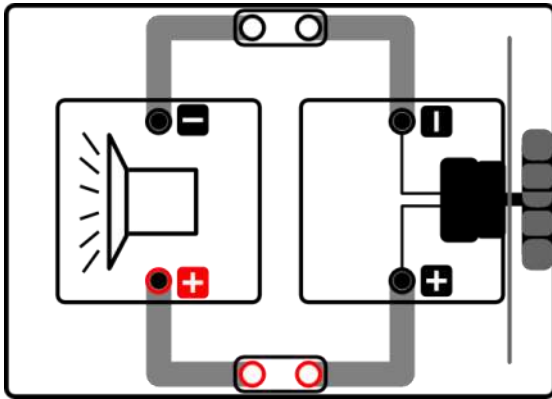
### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der Versuch sollte, wenn möglich als Outdoor-Experiment durchgeführt werden, da es teilweise stark spritzt
- In manchen Räumen kann der Versuch auch direkt unter dem Wasserhahn an einem Waschbecken durchgeführt werden. Das funktioniert allerdings nur bei ausreichendem Wasserdruck.
- Während des Versuchs sollte die Grundeinheit aus Spritzschutzgründen in einen Eimer oder eine tiefe Schüssel gehalten werden.
- Zum Anlaufen kann dem Wasserrad ein kleiner Anschubser gegeben werden
- Der Schlauch sollte für einen ausreichenden Wasserdruck möglichst weit oberhalb des Wasserradmoduls gehalten werden.
- Typische Fehler beim Aufbau: Hupe verkehrt herum eingesteckt, Kurzschlussstecker vergessen



## 14. Je weiter das Wasser fällt, desto...

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 2 Kurzschlussstecker
- 1 Wasserradmodul
- 1 Hupenmodul
- 1 Schlauch

Zusätzlich benötigt:

- 2 große Schüsseln/Kisten
- 1 Tisch/Stuhl
- Wasser

### So geht's

1. Baue den Versuch wie oben abgebildet auf. Stecke die Kurzschlussstecker in die dafür vorgesehenen Anschlüsse auf der Grundeinheit, um die Hupe und das Wasserrad zu verbinden.
2. Stelle eine Schüssel mit Wasser auf den Tisch, die andere platzierst du z.B. auf dem Boden oder Stuhl so, dass du das von oben herablaufende Wasser auffangen kannst.
3. Lege den Schlauch komplett in die obere Schüssel. Achte darauf, dass keine Luftblasen entstehen. Halte nun deinen Finger auf das eine Ende des Schlauches und halte ihn nach unten zum Wasserrad. Achte darauf, dass das andere Ende des Schlauchs im Wasser bleibt. Arbeitet am besten in kleinen Gruppen.
4. Halte die Grundeinheit mit dem Wasserrad in die untere Schüssel. Nimm nun den Finger von der Öffnung des Schlauchs, sodass der Wasserstrahl auf das Wasserrad trifft.
5. Verändere nun die Fallhöhe (also die Höhe des Wassers im oberen Gefäß zum Wasserrad). Was kannst du feststellen? Fülle dazu den untenstehenden Lückentext aus.

### Auswertung

1. Fülle den Lückentext aus.

Je größer die Höhe, desto lauter hupt die Hupe.

Erklärung:

Je weiter das Wasser fällt, desto schneller wird es. Wenn das Wasser mit größerer Geschwindigkeit auf das Wasserrad trifft, ist die Kraft größer und das Wasserrad dreht sich schneller. Dadurch fließt mehr Strom. Je mehr Strom fließt, desto lauter hupt die Hupe.



## Vorbetrachtung: 15. Speicherung von Solarenergie

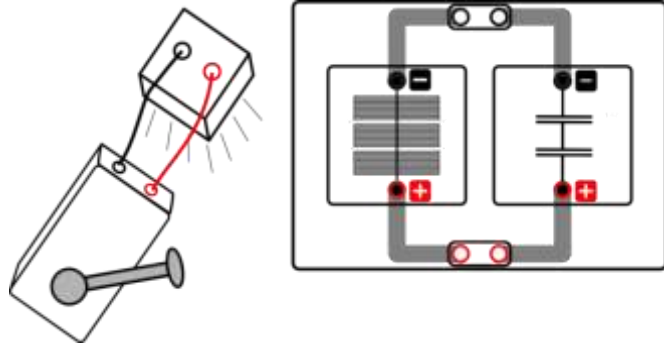
## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Beim Aufbau sollten die Schüler explizit auf den Unterschied zwischen der Solarzelle und dem Solarmodul hingewiesen werden. Beide Einheiten sind auf den ersten Blick leicht zu verwechseln. Beim Solarmodul erkennt man bei genauem Hinsehen eine Trennung der drei einzelnen Bereiche (drei einzelne Solarzellen). Auf der Rückseite der Module sind die Werte für Strom und Spannung markiert, das hier verwendete Solarmodul ist durch folgende Werte gekennzeichnet: 1,5 V und 280 mA.
- Bei sehr schlechten Lichtverhältnissen kann das Beleuchtungsmodul als konsistente Lichtquelle verwendet werden. Der Versuch lässt sich dann am besten zu zweit oder zu dritt durchführen, sodass ein Schüler kurbeln und die anderen Schüler beobachten können. Die Hupe benötigt aber eine relativ geringe Spannung und Stromstärke, sodass sie im Allgemeinen auch bei schlechteren Lichtverhältnissen ohne zusätzliches Beleuchtungsmodul verwendet werden kann.
- Typische Fehler beim Aufbau: Hupe verkehrt herum eingesteckt, Kurzschlussstecker vergessen
- Der Versuch kann alternativ auch mit dem Motor durchgeführt werden



## 15. Speicherung von Solarenergie

## Aufbau



## Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Solarmodul 1,5V
- 1 Kondensatormodul
- 1 Hupenmodul
- 2 Kurzschlussstecker

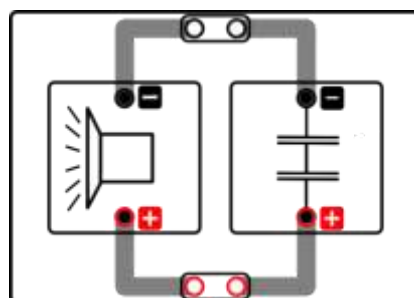
Falls die Sonne nicht scheint, brauchst Du **zusätzlich eine „handbetriebene“**

Lichtquelle:

- 1 Handgenerator
- 1 Beleuchtungsmodul
- 1 rotes Kabel
- 1 schwarzes Kabel

## So geht's

1. Baue den Versuch wie oben abgebildet auf. Stecke die Kurzschlussstecker in die dafür vorgesehenen Anschlüsse auf der Grundeinheit, um das Solarmodul und das Kondensatormodul zu verbinden.
2. Halte die Grundeinheit ins Sonnenlicht oder stelle das Beleuchtungsmodul auf die Solarzelle und kurble kräftig am Handgenerator. Verbinde dazu zuerst mit zwei Kabeln die Handkurbel mit dem Beleuchtungsmodul. Achte dabei darauf, dass du die Anschlüsse mit der richtigen Farbe verbindest (rot an rot und schwarz an schwarz).
3. Lade den Kondensator auf diese Weise für mindestens eine Minute.
4. Ziehe anschließend das Solarmodul von der Grundeinheit ab.
5. Stecke nun die Hupe auf die Grundeinheit und verbinde sie wie unten abgebildet mit dem Kondensatormodul:





## 15. Speicherung von Solarenergie

### Auswertung

Was beobachtest du?

Die Hupe hupt für einige Zeit.

---

---

Welche Eigenschaft hat also der Kondensator?

Der Kondensator speichert die elektrische Energie aus der Solarzelle und gibt sie dann an die Hupe ab.

---

---



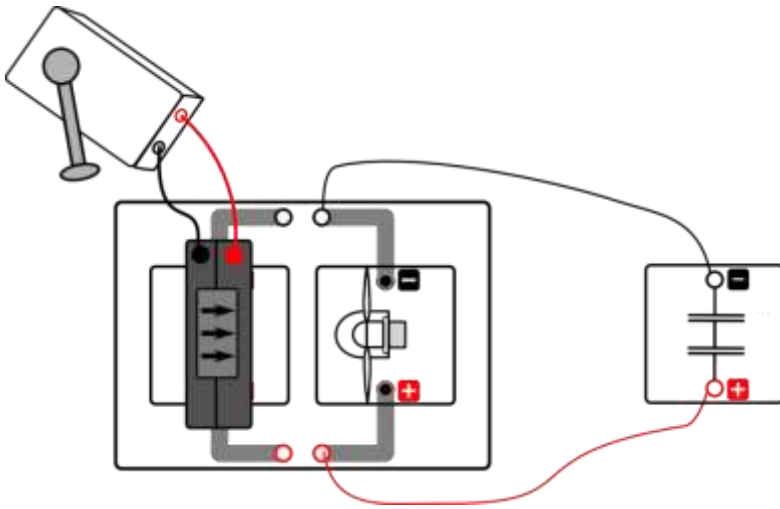
## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der Versuch lässt sich am besten zu zweit oder zu dritt durchführen, sodass ein Schüler kurbeln und die anderen Schüler beobachten können
- Der vorinstallierte Rotor (30°, optimiertes Profil) kann verwendet werden
- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss der Handkurbel an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (Der rote Ausgang an der Handkurbel muss mit dem roten Anschluss des Winderzeugers verbunden werden und der schwarze Ausgang der Handkurbel mit dem schwarzen Anschluss des Winderzeugers).
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Der Versuch kann mit Hupe und Motor durchgeführt werden. Nach etwa 1min Laden funktioniert der Aufbau auch mit der LED.
- Der Kondensator sollte schon während des Kurbelvorgangs abgezogen werden, da sich ansonsten die Stromrichtung umkehrt und der Motor in der Windturbine vom Kondensator angetrieben wird (und sich der Kondensator dadurch wieder entlädt)
- Typische Fehler beim Aufbau: Hupe verkehrt herum eingesteckt, Kurzschlussstecker vergessen



## 16. Speicherung von Windenergie

### Aufbau



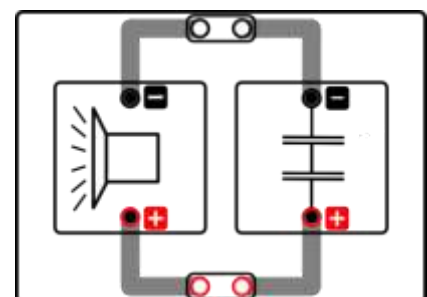
### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Winderzeuger
- 1 Windturbinenmodul mit Fingerschutzgitter
- 1 installierter Dreiblatt-Rotor, (Anstellwinkel 30°, optimiertes Profil)
- 1 Hupenmodul
- 1 Kondensatormodul
- 2 schwarze Kabel
- 2 rote Kabel
- 2 Kurzschlussstecker
- 1 Handgenerator

*Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Nutze den Fingerschutz mit dem Windturbinenmodul.*

### So geht's

1. Baue den Versuch wie oben abgebildet auf. Die Windrichtung am Winderzeuger ist durch aufgedruckte Pfeile auf der Oberseite gekennzeichnet. Verbinde mit einem roten und einem schwarzen Kabel den Handgenerator mit dem Winderzeuger. Achte auf die richtige Polarität der Anschlüsse. Verbinde rot mit rot und schwarz mit schwarz.
2. Verbinde das Kondensatormodul wie abgebildet mit der Grundeinheit. Achte auch hier auf die richtige Polarität der Anschlüsse.
3. Befestige das Fingerschutzgitter an der Windturbine.
4. Stecke anschließend den vorinstallierten Rotor mit dem optimierten Profil auf die Windturbine auf.
5. Schalte den Winderzeuger ein. Kurble für mindestens eine Minute kräftig am Handgenerator!
6. Lasse noch während du kurbelst das Kondensatormodul vorsichtig (!) von einem Mitschüler von der Schaltung trennen!
7. Entferne nun den Winderzeuger und die Windturbine von der Grundeinheit. Stecke die Hupe und den Kondensator wie rechts abgebildet auf die Grundeinheit. Verbinde beide Module mit den Kurzschlusssteckern.







## 16. Speicherung von Windenergie

### Auswertung

Was beobachtest du?

Die Hupe hupt.

---

---

Welche Eigenschaft hat also der Kondensator?

Der Kondensator speichert die elektrische Energie von der Windturbine und gibt sie dann an die Hupe ab.

---

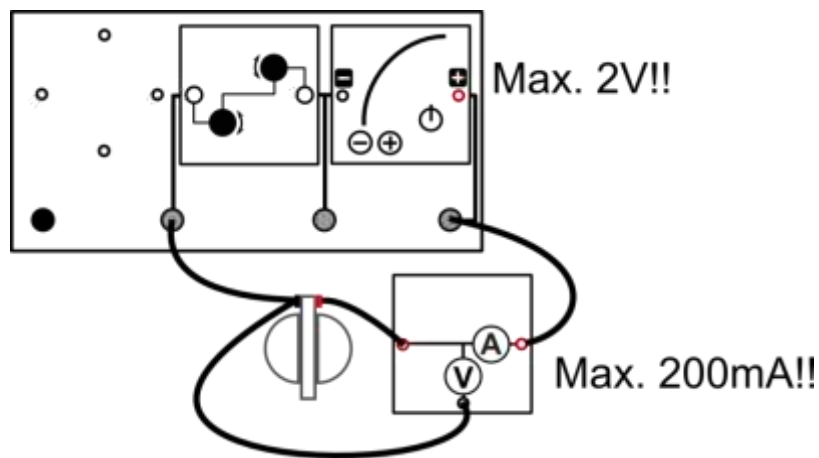
---



## Vorbetrachtung: 17. Was macht ein Elektrolyseur?

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- **Die** enthaltene Brennstoffzelle ist eine so genannte *reversible* Brennstoffzelle, d.h. dass sie sowohl als Brennstoffzelle als auch als Elektrolyseur betrieben werden kann.
- Hinweise zur Handhabung der reversiblen Brennstoffzelle finden Sie auf Seite 15.
- **Wichtig:** Unter keinen Umständen sollte die reversible Brennstoffzelle direkt mit der Handkurbel betrieben werden!!! Dies führt zur irreparablen Schädigung des Brennstoffzellenmoduls.
- Der Versuch sollte möglichst bei guter Sonneneinstrahlung durchgeführt werden, da die Wasserstoffproduktion sonst zu lange dauert. Alternativ kann eine Tischlampe verwendet werden, deren Spot das große Solarmodul ausreichend ausleuchtet. Allerdings funktioniert der Versuch am besten bei starker Sonneneinstrahlung.
- Wenn das Sonnenlicht nicht ausreicht und keine andere Methode der Beleuchtung besteht, kann stattdessen auch das PowerModul (bei maximal 1,5 V!!!) in Reihenschaltung mit dem Potentiometer (Widerstand 20  $\Omega$ ) direkt an die reversible Brennstoffzelle angeschlossen werden. Dann muss die Polarität beachtet werden:



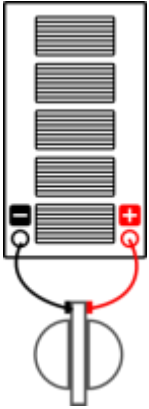


## 17. Was macht ein Elektrolyseur

### Aufgabe

Lerne die Funktionsweise eines Elektrolyseurs kennen.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 großes Solarmodul 2,5V
- 1 reversible Brennstoffzelle
- 1 rotes Kabel
- 1 schwarzes Kabel
- 1 Portion destilliertes Wasser

### So geht's

1. Befülle die reversible Brennstoffzelle mit destilliertem Wasser, wie auf Seite 15 beschrieben. Verbinde anschließend das Solarmodul mit zwei Kabeln mit der Brennstoffzelle. Achte auf die richtige Polarität (rot an rot und schwarz an schwarz).
2. Beleuchte nun das Solarmodul und beobachte die Wasserbehälter an der reversiblen Brennstoffzelle. Was kannst du erkennen?

Es bewegen sich Gas-/Wasserblasen durch das Röhrrchen und im oberen Behälter sammelt sich Flüssigkeit an.

3. Beschatte nun das Solarmodul mit deiner Hand. Was passiert?

Verschattet man das Solarmodul, hören die Luft-/Wasserblasen auf, sich zu bewegen.

4. Beleuchte das Solarmodul für etwa 10 Minuten mit direktem Sonnenlicht und trenne dann das Solarmodul von der reversiblen Brennstoffzelle. Was kannst du über die Gasmengen in den beiden Behältern sagen?

Im Wasserstoffbehälter sammelt sich etwa doppelt so viel Gas wie im Sauerstoffbehälter.



## 17. Was macht ein Elektrolyseur

## Auswertung

5. Was macht die reversible Brennstoffzelle, wenn sie als Elektrolyseur betrieben wird? Welche Energieumwandlung findet statt?

Der Elektrolyseur zersetzt Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff. Elektrische Energie wird in chemische Energie/Gasproduktion umgewandelt.

6. Erkläre Deine Beobachtungen.

Durch den vom Solarmodul erzeugten Strom entstehen im Elektrolyseur Gase. Unterbricht man die Stromzufuhr, z. B. indem man das Solarmodul beschattet, stoppt die Gasproduktion.

7. In der reversiblen Brennstoffzelle, betrieben als Elektrolyseur, wird Wasser (chemisches Zeichen:  $H_2O$ ) in die zwei Gase Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) zersetzt. Kannst du damit deine Beobachtung aus 4. erklären? Versuche eine Reaktionsgleichung aufzustellen.

Ein Wassermolekül besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom. Die Gase Wasserstoff und Sauerstoff bestehen jeweils aus zwei Atomen. Um ein Sauerstoffmolekül zu erhalten, müssen zwei Wassermoleküle gespalten werden, wobei vier Wasserstoffatome (oder zwei Wasserstoffmoleküle) frei werden. Eine einfache Bilanzgleichung lautet demnach:  $2 H_2O \rightarrow 2 H_2 + O_2$ . Dem Stoffmengenverhältnis von 2 : 1 folgt bei selbem Druck und selber Temperatur auch ein Volumenverhältnis von 2 : 1 ( $PV = nRT$ ).

8. Wie könntest Du nachweisen, dass sich in den Behältern wirklich Wasserstoff und Sauerstoff befinden?

$H_2$ : Knallgasprobe

$O_2$ : Glimmspanprobe

9. **Wie ist die gesamte Energiebilanz** dieses Experiments, das bedeutet: was hast du hineingesteckt, was ist passiert, was kam heraus?

Aufgewandte Energie: Lichtenergie

Umwandlung zu: Strom (elektrische Energie)

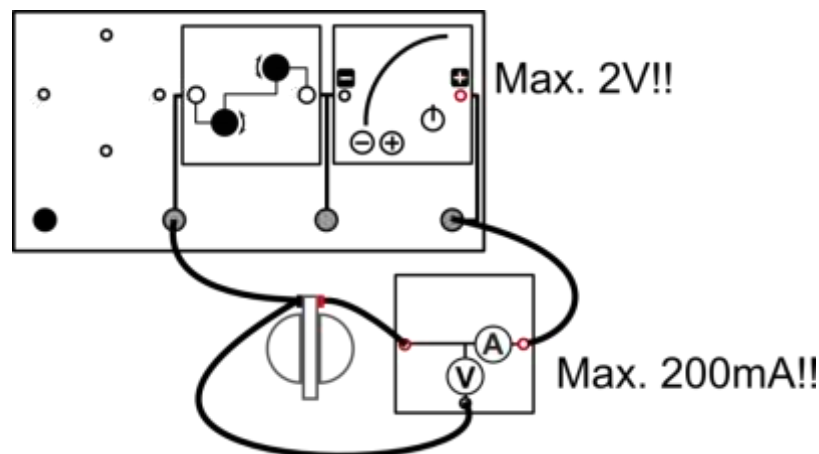
Gespeicherte Energie: Gas (chemische Energie)



## Vorbetrachtung: 18./19. Die Brennstoffzelle treibt den Motor /die Hupe an

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- **Die** enthaltene Brennstoffzelle ist eine so genannte *reversible* Brennstoffzelle, d.h. dass sie sowohl als Brennstoffzelle als auch als Elektrolyseur betrieben werden kann.
- Vor Durchführung des Experiments müssen die Wasserstoff- und Sauerstofftanks der reversiblen Brennstoffzelle gefüllt werden. Hinweise dazu finden Sie auf Seite 15. Alternativ kann Experiment 17 (**Was macht ein Elektrolyseur?**) im Vorfeld durchgeführt werden.
- **Wichtig:** Unter keinen Umständen sollte die reversible Brennstoffzelle direkt mit der Handkurbel betrieben werden!!! Dies führt zur irreparablen Schädigung des Brennstoffzellenmoduls.
- Wenn das Sonnenlicht nicht ausreicht und keine andere Methode der Beleuchtung besteht, kann stattdessen auch das PowerModul (bei maximal 1,5 V!!!) in Reihenschaltung mit dem Potentiometer (Widerstand 20  $\Omega$ ) direkt an die reversible Brennstoffzelle angeschlossen werden. Dann muss die Polarität beachtet werden:



- Mögliche zusätzliche Auswertung (beziehungsweise als Vorbereitung) zum Versuch:

Fülle den Lückentext aus:

Wenn du das Experiment 17 gemacht hast, dann weißt du, was ein Elektrolyseur spaltet das flüssige Wasser in die beiden gasförmigen Bestandteile Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ). Dabei musst du Energie aufwenden, um die Elektrolyse/Reaktion möglich zu machen. Diese Energie wird in Form von elektrischer Energie geliefert. Der Handgenerator kann die Drehbewegung der Kurbel in elektrische Energie umwandeln.

Aber wie ist es umgekehrt? Können wir die Gase verwenden, um elektrische Energie zu erzeugen? Ja, das ist möglich! Der Name des Gegenstandes, der dazu in der Lage ist, lautet Brennstoffzelle.

Diese wandelt die chemische Energie der Gase in elektrische Energie um. Die elektrische Energie kann für andere Anwendungen, wie Motor oder Hupe genutzt werden, wie du in den folgenden Experimenten sehen wirst.

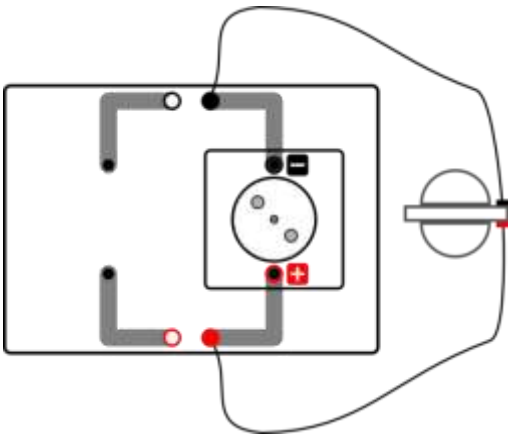


## 18. Die Brennstoffzelle treibt den Motor an

### Aufgabe

Verbinde die Brennstoffzelle so mit dem Motormodul, dass sich die Scheibe auf dem Motor dreht.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 reversible Brennstoffzelle
- 1 Motormodul
- 1 rotes Kabel
- 1 schwarzes Kabel
- 1 Portion destilliertes Wasser

### So geht's

1. Baue den Versuch wie abgebildet auf. Fülle zuerst die Gasspeicher der Brennstoffzelle. Hinweise dazu findest du auf Seite 15. Alternativ kann Experiment 17 im Vorfeld durchgeführt werden.
2. Stecke das Motormodul auf die Grundeinheit. Suche dir eine Farbscheibe aus und befestige sie am Halter:



3. Stecke den Halter nun auf das Motormodul. Verbinde zuletzt mit den Kabeln, wie in der Abbildung gezeigt, das Motormodul mit der Brennstoffzelle.
4. Was passiert?

Die Scheibe auf dem Motormodul dreht sich.

5. Was geschieht mit dem Gas in den Speicherzylindern?

Die Gasspiegel sinken langsam. (Die Gase werden also verbraucht.)

6. Erkläre deine Beobachtungen!

Das Gas wird in der Brennstoffzelle wieder zu Wasser umgewandelt. Dabei wird chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt, die den Motor antreibt.

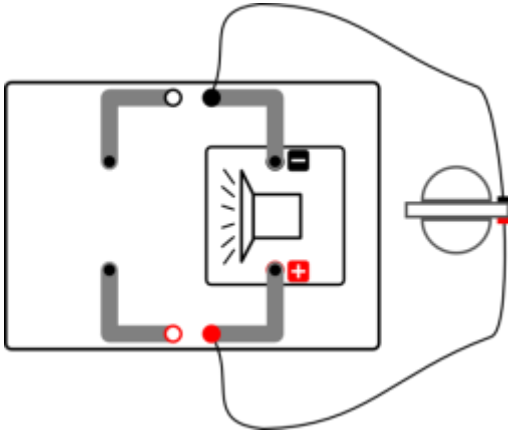


## 19. Die Brennstoffzelle treibt die Hupe an

### Aufgabe

Verbinde die Brennstoffzelle so mit der Hupe, dass die Hupe Geräusche macht.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 reversible Brennstoffzelle
- 1 Hupenmodul
- 1 rotes Kabel
- 1 schwarzes Kabel
- 1 Portion destilliertes Wasser

### So geht's

1. Baue den Versuch wie abgebildet auf. Fülle zuerst die Gasspeicher der Brennstoffzelle. Hinweise dazu findest du auf Seite 15. Alternativ kann Experiment 17 im Vorfeld durchgeführt werden.
2. Stecke das Hupenmodul auf die Grundeinheit. Verbinde zuletzt mit den Kabeln, wie in der Abbildung gezeigt, das Hupenmodul mit der Brennstoffzelle.
3. Was passiert?

Die Hupe gibt Geräusche von sich.

4. Was geschieht mit dem Gas in den Speicherzylindern?

Der Gasspiegel sinkt langsam. (Die Gase werden also verbraucht.)

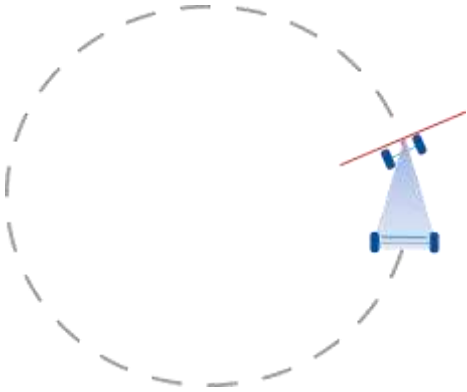
5. Erkläre deine Beobachtungen!

Das Gas wird in der Brennstoffzelle wieder zu Wasser umgewandelt. Dabei entsteht elektrische Energie, welche die Hupe antreibt.



## 20. Energiespeicherung und Abgabe... E-Mobility

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Elektro-Modellfahrzeug
- 1 Akku-Adapterplatte
- 1 Kondensatormodul
- 1 rotes Kabel
- 1 schwarzes Kabel
- 1 Handgenerator

Hinweis: Achte bei dem Versuch unbedingt darauf, dass das Auto nirgends anstoßen kann, da die Achsen ansonsten beschädigt werden könnten. Halte das Auto vor dem Losfahren einen kurzen Moment fest, da es sonst kippen könnte.

### So geht's

1. Lade das Kondensatormodul mit dem Handgenerator ca. 1 min auf (erst langsam, dann immer schneller).
2. Stecke anschließend den Kondensator auf den Akkuadapter des Autos und stelle die Vorderachse so ein, dass es im Kreis fahren kann.
3. Verbinde nun den Kondensator mit den Kabeln am Auto. Was beobachtest du?

Das Auto fährt einige Sekunden lang sehr schnell im Kreis.

4. Kannst du das erklären?

Der Kondensator speichert Energie, die er dann wieder an das Auto abgibt.

5. Welche Energieumwandlungen hast du in diesem Experiment beobachtet?

Muskelkraft (Bewegungsenergie) wird zunächst in elektrische Energie umgewandelt, die auf dem Kondensator gespeichert wird. Der Kondensator gibt die elektrische Energie wieder ab. Die elektrische Energie wird vom Motor des Autos in Bewegungsenergie umgewandelt.





## Vorbetrachtung: 21. Energiebedarf verschiedener Verbraucher

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

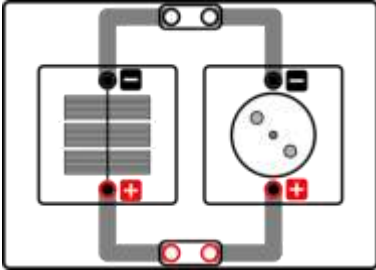
- Beim Aufbau sollten die Schüler explizit auf den Unterschied zwischen der Solarzelle und dem Solarmodul hingewiesen werden. Beide Einheiten sind auf den ersten Blick leicht zu verwechseln. Beim Solarmodul erkennt man bei genauem Hinsehen eine Trennung der drei einzelnen Bereiche (drei einzelne Solarzellen). Auf der Rückseite der Module sind die Werte für Strom und Spannung markiert, das hier verwendete Solarmodul ist durch folgende Werte gekennzeichnet: *1,5 V und 280 mA*.
- Hinweis: Der Unterschied zwischen LED und Glühlampe ist relativ gering, obwohl der Energiebedarf wesentlich voneinander abweicht. Der Grund dafür ist, dass die Spannung des Solarmoduls gerade ausreicht, um die die LED überhaupt anzutreiben. Um den Energiebedarf von LED und Glühlampe besser vergleichen zu können, sollte Experiment 22 durchgeführt werden.
- Typische Fehler beim Aufbau: Verbraucher (Hupe, LED) verkehrt herum eingesteckt, Kurzschlussstecker vergessen



## 21. Energiebedarf verschiedener Verbraucher

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Solarmodul 1,5V
- 1 Hupemodul
- 1 Motormodul
- 1 LED-Modul
- 1 Glühlampenmodul
- 2 Kurzschlussstecker

### So geht`s

1. Bei diesem Versuch soll der Energiebedarf (oder besser Leistungsbedarf) verschiedener Verbraucher verglichen werden.
2. Führe den Versuch zunächst wie oben abgebildet mit dem Motormodul durch. Danach kannst du den Motor mit der Hupe, dem LED-Modul und der Glühlampe austauschen und den Versuch erneut durchführen.
3. Finde die Bedingungen, unter denen die folgenden Verbrauchermodule gerade noch funktionieren (Minimalbedingungen)! Probiere es also z.B. mit Zimmerlicht, das Solarmodul in Richtung eines Fensters halten, das Solarmodul ins direkte Sonnenlicht halten usw.
4. Wie ist die Rangfolge des Energiebedarfs der Verbraucher (1 für geringsten Energiebedarf bis 4 für höchsten)?

	Minimalbedingungen (z.B. Zimmerlicht, direktes Sonnenlicht, usw.)	Rangfolge Energiebedarf
Motor	Man muss das Solar <u>modul</u> nah an eine Lampe halten	__2__
Hupe	Bereits relativ schwaches Zimmerlicht ist ausreichend	__1__
Glühlampe	Man braucht direktes Sonnenlicht (Oder muss das Solar <u>modul</u> sehr nah an eine Lampe halten)	__4__
LED	Man braucht direktes Sonnenlicht (Oder muss das Solar <u>modul</u> sehr nah an eine Lampe halten)	__3__



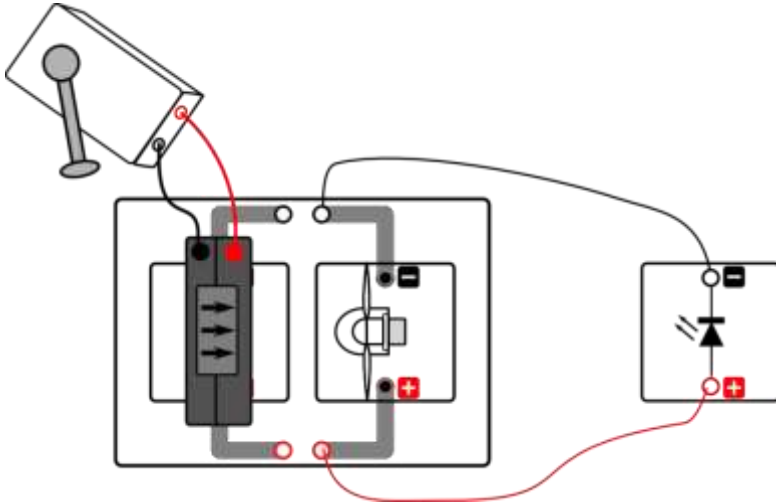
## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der Versuch lässt sich am besten zu zweit oder zu dritt durchführen, sodass ein Schüler kurbeln und die anderen Schüler beobachten können
- Der vorinstallierte Rotor (30°, optimiertes Profil) kann verwendet werden
- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss der Handkurbel an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (Der rote Ausgang an der Handkurbel muss mit dem roten Anschluss des Winderzeugers verbunden werden und der schwarze Ausgang der Handkurbel mit dem schwarzen Anschluss des Winderzeugers).
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Typische Fehler beim Aufbau: LED verkehrt herum eingesteckt, Kurzschlussstecker vergessen



## 22. Vergleich von Glühlampe und LED

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 kleine Grundeinheit
- 1 Winderzeuger
- 1 Windturbinenmodul mit Fingerschutzgitter
- 1 installierter Dreiblatt-Rotor, (Anstellwinkel 30°, optimiertes Profil)
- 1 LED-Modul
- 1 Glühlampenmodul
- 2 schwarze Kabel
- 2 rote Kabel
- 1 Handgenerator

*Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Nutze den Fingerschutz mit dem Windturbinenmodul.*

### So geht's

1. Schalte den Winderzeuger ein. Kurble kräftig am Handgenerator und warte, bis die LED leuchtet. Verringere nun die Kurbelgeschwindigkeit so lange, bis die LED gerade noch leuchtet. Merke dir gut, wie schnell du kurbeln musstest.
2. Verwende nun statt der LED eine Glühlampe. Schließe die Glühlampe jedoch zunächst noch nicht an! Kurble erst kräftig am Handgenerator bis das Windrad sich sehr schnell dreht.
3. Kurble weiter und lasse von einem anderen Schüler nun die Glühlampe anschließen. ACHTUNG: Seid vorsichtig, damit ihr nicht in das Windrad fasst!
4. Verringere nun langsam die Kurbelgeschwindigkeit, bis die Glühlampe gerade noch leuchtet. Was ist deine Beobachtung?

Bei der Glühlampe muss man sehr viel stärker kurbeln. Es ist also sehr viel mehr Windenergie nötig, um die Glühlampe zum Leuchten zu bringen.

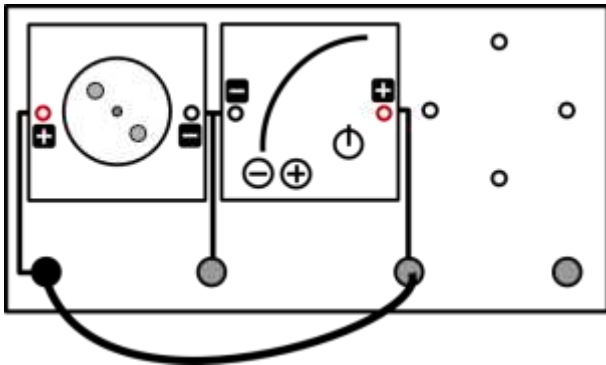
5. Welche Art der Beleuchtung ist sparsamer?

LED



## 1. Energieformen und Verbraucher

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 PowerModul
- 1 Motormodul mit beliebiger Farbscheibe
- 1 Glühlampenmodul
- 1 LED-Modul
- 1 Hupenmodul
- 1 Kabel

### Durchführung

1. Baue die Schaltung wie oben abgebildet auf und stelle 1 V auf dem PowerModul ein. Hinweise zur Handhabung des PowerModuls findest du auf Seite 11. Achte auf die richtige Polarität der Anschlüsse. Notiere deine Beobachtungen.
2. Erhöhe nun die Spannung wie in der Tabelle angegeben. Wiederhole das Experiment mit der Glühlampe, dem LED-Modul und der Hupe. Trage alle deine Beobachtungen in die Tabelle ein. Achte nicht nur auf das, was du siehst und hörst, sondern berühre auch LED und Glühlampe, wenn sie einige Zeit laufen!

### Beobachtung

Spannung	Hupe	Motor	LED	Glühlampe
1 V	Hupt	Dreht sich	Leuchtet nicht	Leuchtet nicht
2 V	Lang anhaltendes Hupen	Dreht sich schneller	Beginnt zu leuchten	Leuchtdraht glimmt leicht
4 V	Hohes, regelmäßiges Hupen	Dreht sich sehr schnell	Leuchtet hell	leuchtet
6 V	Hohes, regelmäßiges, lautes Hupen	Dreht sich sehr schnell und brummt	Leuchtet hell	Leuchtet hell, wird warm

### Auswertung

Fülle den Lückentext aus!

Hupe, Motor, LED und Glühlampe sind Verbraucher. Sie wandeln elektrische Energie, die das PowerModul liefert, in andere Energieformen um. Hupe und Motor wandeln die elektrische Energie in kinetische Energie (Bewegungsenergie) um. Geräusche, die wir wahrnehmen, sind auch Bewegungen – Schwingung der Luft. LED und Glühlampe wandeln die elektrische Energie in Lichtenergie um, die Glühlampe zusätzlich noch in thermische Energie/Wärmeenergie. Die Verbraucher „verbrauchen“ also nicht die elektrische Energie, sondern wandeln sie in andere Energieformen um.



## Vorbetrachtung: 2. Optische Täuschungen

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Eine hohe Umgebungshelligkeit ist für das Gelingen der meisten Farbscheibenexperimente von Bedeutung. Sie sorgt für eine schnelle Drehung des Motors und somit auch bei den meisten Experimenten für eine deutliche optische Täuschung. Scheint keine Sonne und es ist keine ausreichende Zimmerbeleuchtung gegeben, so kann man sich mit dem Powermodul (0,5-1,0 V) und dem Potentiometer (Reihenschaltung) helfen und somit den Motor drehen lassen.
- Für das Experiment 2.2 bietet es sich an, den HSV-Farbraum mit in die Auswertung einzubinden, der die 3 Eigenschaften beinhaltet.
- Das Phänomen der Benham-Scheiben (Experiment 2.4) ist bis heute nicht eindeutig erklärbar.
- Die Räumlichkeit entsteht nicht nur durch bikulares (mit zwei Augen) Sehen, sondern auch durch die monokular wirkende sogenannte Bewegungsparalaxe. In Experiment 2.5 wurde diese bei der Konstruktion der Scheibe genutzt. Der Effekt der Bewegungsparalaxe kann besonders bei Zug- oder Autobahnfahrten beobachtet werden. Weit entfernte Objekte bewegen sich scheinbar langsamer als beispielsweise Bäume am Straßenrand. Durch die unterschiedlichen Relativbewegungen der einzelnen Kreise der Scheibe entsteht damit ein räumliches Empfinden.
- Beim Aufbau sollten die Schüler explizit auf den Unterschied zwischen der Solarzelle und dem Solarmodul hingewiesen werden. Beide Einheiten sind auf den ersten Blick leicht zu verwechseln. Beim Solarmodul erkennt man bei genauem Hinsehen eine Trennung der drei einzelnen Bereiche (drei einzelne Solarzellen). Auf der Rückseite der Module sind die Werte für Strom und Spannung markiert, das hier verwendete Solarmodul ist durch folgende Werte gekennzeichnet: 1,5 V und 280 mA. Die Solarzelle ist durch folgende Werte gekennzeichnet: : 0,5 V und 840 mA.
- Lernziele:
  - Die Schüler beschreiben verschiedene optische Täuschungen.
  - Die Schüler erkennen, dass sich Farben nur in den 3 Eigenschaften (Farbton, Helligkeit und Sättigung) unterscheiden.
  - Die Schüler beschreiben die optische Täuschung mit verschiedenen Kombinationen der 3 Grundfarben und entdecken die additive Farbmischung.
  - Die Schüler beschreiben die optische Täuschung mit der Benham-Scheibe.
  - Die Schüler beschreiben die optische Täuschung mit der Relief-Scheibe.

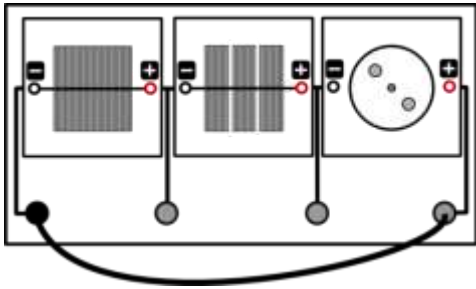


## 2.1 Der Grundaufbau für Farbscheibenexperimente

### Aufgabe

Untersuche die optische Täuschung der Farbscheibe

### Aufbau

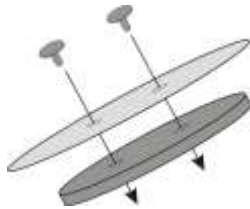


### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Solarzelle 0,5 V
- 1 Solarmodul 1,5 V
- 1 Motormodul
- 1 Kabel

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Auf den Motor wird nun die Rotationsscheibe gesteckt. Gehalten wird die Pappscheibe durch zwei farbige Kunststoffclips.

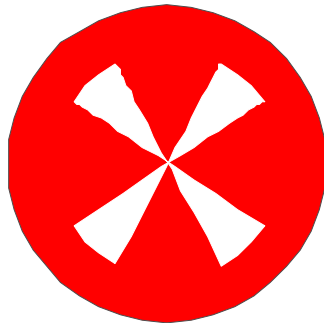


Wenn nötig, kannst du zum Lösen der Clips von der Rotationsscheibe einen Stecker zu Hilfe nehmen. Drücke den Stecker dazu vorsichtig von unten gegen den Clip.



## 2.2 Farbeigenschaften

## Pappscheibe



## Durchführung:

1. Lasse die Scheibe drehen. Halte deine Hand so darüber, dass eine Hälfte der Scheibe im Schatten liegt. Deine Ergebnisse helfen dir, Farbsysteme besser zu verstehen.
2. Farbton: Welche Farbe hat die Scheibe? Magenta
3. Helligkeit: Auf der abgeschatteten Seite wirkt die Farbe
  - heller als auf der beleuchteten Seite
  - genauso wie auf der beleuchteten Seite
  - dunkler als auf der beleuchteten Seite
4. Sättigung: In der Mitte der Scheibe ist der Farbeindruck
  - blasser als am Rand
  - genauso wie am Rand
  - kräftiger als am Rand

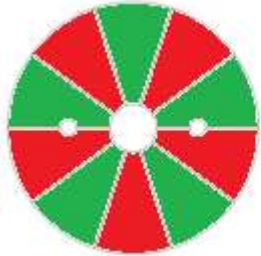




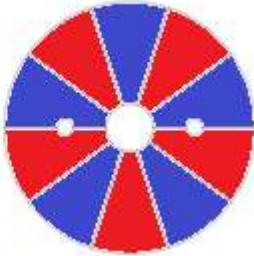
## 2.3 Die additive Farbmischung

### Pappscheiben

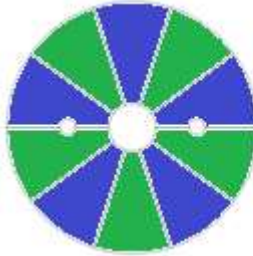
grün-rot



rot-blau



grün-blau

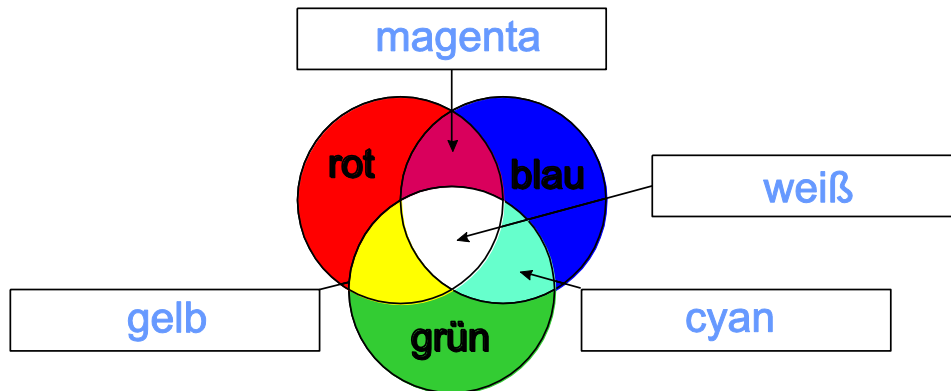


grün-rot-blau



### So geht's:

1. Die Kreisstücke der verschiedenen Scheiben haben unterschiedliche Farben, wenn die Scheibe still steht. Lasse die Farbscheiben schnell drehen, damit sich die Farben vermischen.
2. Male nun in der Zeichnung unten die einzelnen Bereiche aus. Fange mit den reinen Farben rot, grün und blau an.
3. Male danach mit Hilfe deiner Beobachtungen an den Farbscheiben die vier Mischbereiche aus.
4. Beschrifte die markierten Bereiche!





## 2.4 Optische Täuschungen mit der Benham-Scheibe

### Pappscheibe



### So geht`s:

1. Notiere deine Beobachtungen bei der abgebildeten Scheibe.

Obwohl die Pappscheibe schwarzweiß ist, erscheinen bei der Drehung farbige Ringe

---

---



## 2.5 Optische Täuschungen mit der Relief-Scheibe

### Pappscheibe



### So geht's:

1. Was siehst du, wenn sich die Scheibe langsam dreht? Falls du nichts siehst, weil sich die Scheibe zu schnell dreht, verschatte die Solarzellen ein wenig (bzw. schalte das Potentiometer in Reihe und erhöhe den Widerstand, wenn du ohne Solarzellen arbeitest)!

Bei langsamer Drehung scheint die Scheibe eine räumliche Tiefe zu besitzen. Dabei können verschiedene Objekte wahrgenommen werden, entweder ein nach innen zeigender „Vulkankrater“ oder ein sich nach außen windender „Wurm“.



## Vorbetrachtung: 3. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der beleuchteten Fläche

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Beim Aufbau sollten die Schüler explizit auf den Unterschied zwischen der Solarzelle und dem Solarmodul hingewiesen werden. Beide Einheiten sind auf den ersten Blick leicht zu verwechseln. Beim Solarmodul erkennt man bei genauem Hinsehen eine Trennung der drei einzelnen Bereiche (drei einzelne Solarzellen). Auf der Rückseite der Module sind die Werte für Strom und Spannung markiert, die hier verwendete Solarzelle ist durch folgende Werte gekennzeichnet: : 0,5 V und 840 mA.
- Bei diesem Experiment wird eine Leistung aus der Kurzschlussstromstärke und der Leerlaufspannung berechnet. Diese Leistung ist eine fiktive Leistung und entspricht nicht der Maximalleistung der Solarzelle. Sie wird jedoch verwendet, da die Ermittlung der Maximalleistung ohne technische Hilfsmittel aufwändig ist. Im Rahmen dieses Experiments führt der Vergleich der fiktiven Leistungen zum gleichen qualitativen Ergebnis, wie der Vergleich der Maximalleistungen.
- Das AV-Modul kann bei diesem Aufbau keine zuverlässigen Werte für Spannung und Stromstärke gleichzeitig liefern. Es sollte daher nur jeweils im Spannungs- beziehungsweise Stromstärkemode genutzt werden.
- Die in der Lösung angegebenen Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können je nach Beleuchtung variieren.
- Bei unzureichenden Lichtbedingungen kann das Beleuchtungsmodul verwendet werden. Es eignet sich dazu eine Powermodulspannung von 5V.

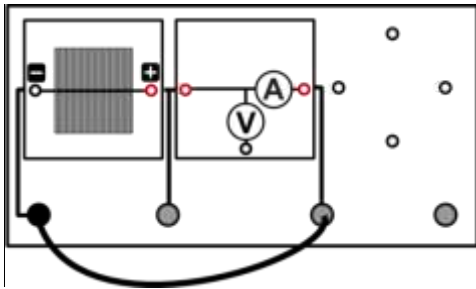


### 3. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der beleuchteten Fläche

#### Aufgabe

Bestimme die Leistung einer Solarzelle bei unterschiedlich großer aktiver Oberfläche! Benenne den Zusammenhang zwischen der Fläche und den drei Größen Stromstärke, Spannung und Leistung.

#### Aufbau



#### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Solarzelle 0,5 V
- 1 AV- Modul
- 4 Solarzellenabdeckungen (schwarze Kunststoffplättchen)
- 1 Kabel

#### Durchführung

1. Baue die Schaltung entsprechend dem Schaltplan auf!
2. Miss an der Solarzelle zunächst die Leerlaufspannung  $U_L$ . Nutze dazu das AV-Modul im Spannungsmodus.
3. Miss anschließend die Kurzschlussstromstärke  $I_K$ . Verwende dazu das AV-Modul im Stromstärke-Modus.
4. Wiederhole beide Messungen mit der Solarzelle, wenn sie zu 1/4, zur Hälfte, zu 3/4 und vollständig mit den Abdeckplättchen zugedeckt ist!
5. Erfasse alle Messwerte in einer Tabelle!

#### Auswertung

1. Berechne aus den Messwerten die jeweilige Leistung  $P$  der Solarzelle und trage deine Werte in die Tabelle ein ( $P=U_L \cdot I_K$ ).
2. Stelle die Ergebnisse in Diagrammen dar! (x-Achse: Abdeckungsgrad (0, 1/4, 1/2, 1); y-Achse:  $P$ ,  $I$  sowie  $U$ )
3. Benenne den Zusammenhang zwischen Spannung (Stromstärke, Leistung) und Fläche.
4. Erkläre das Verhalten der Leerlaufspannung und der Kurzschlussstromstärke in Abhängigkeit vom Abdeckungsgrad.

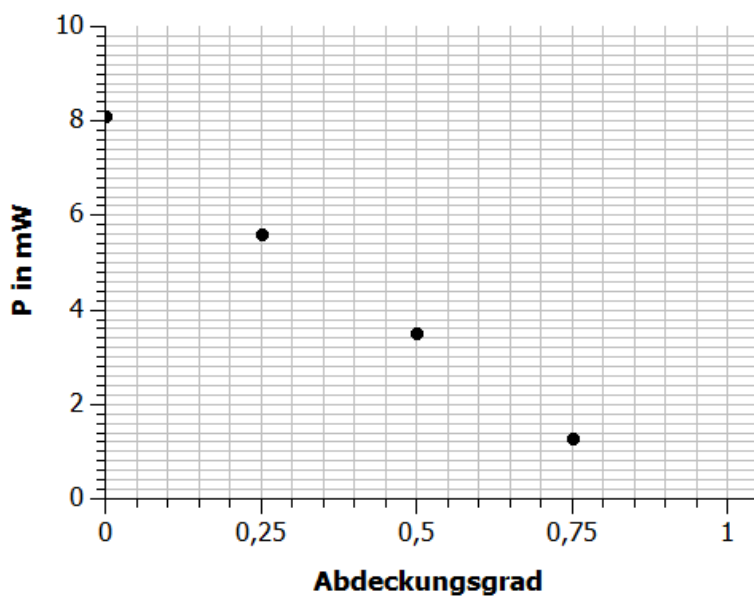
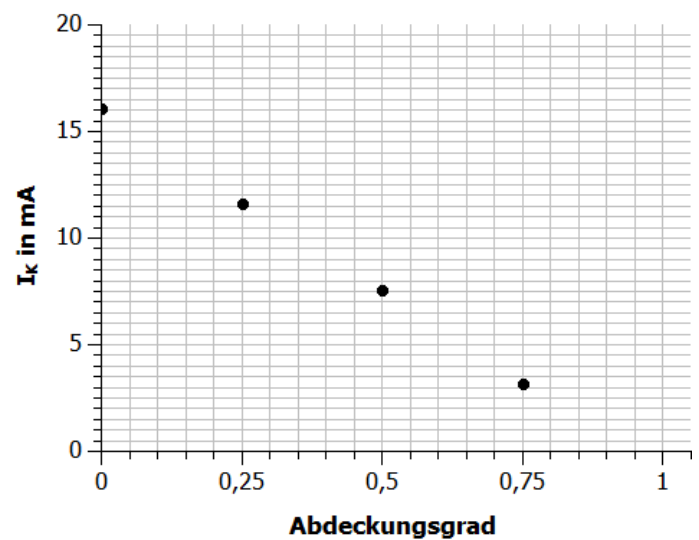
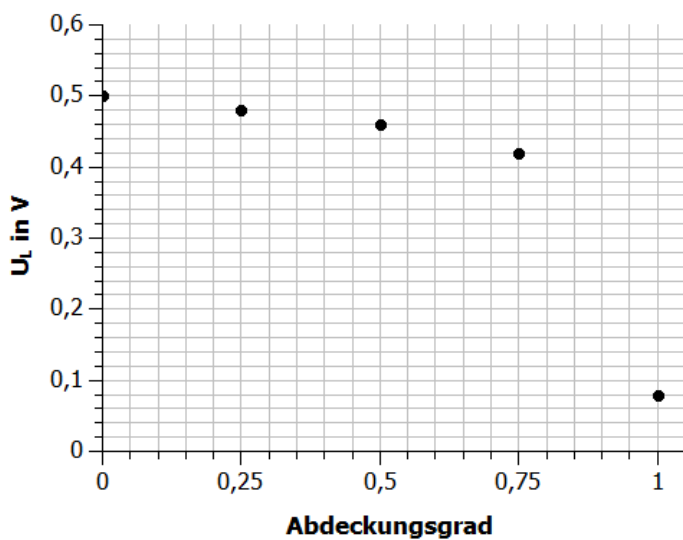


## 3. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der beleuchteten Fläche

## Messwerte

	Solarzelle abgedeckt zu				
	0 (ohne Abdeckung)	1/4	1/2	3/4	1 (ganz abgedeckt)
$U_L$ (V)	0,50	0,48	0,46	0,42	0,08
$I_K$ (mA)	16,1	11,6	7,6	3,2	0,0
$P = U_L \cdot I_K$ (mW)	8,1	5,6	3,5	1,3	0,0

## Diagramme





### 3. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der beleuchteten Fläche

#### Auswertung

#### 3. Zusammenhang zwischen...

... Spannung und Fläche: sinkt leicht, aber nahezu konstant

... Stromstärke und Fläche: direkt proportional

... Leistung und Fläche: direkt proportional

#### 4.

Aufgrund der Abdeckung eines bestimmten Anteils der Solarzellenfläche wird der gleiche Anteil von Elektronen weniger aus dem Solarzellenmaterial herausgelöst. Somit ist die Stromstärke proportional zur Fläche bzw. zum Abdeckungsgrad.

Trifft Licht auf die Solarzelle, werden Elektronen im Material freigesetzt und wandern aufgrund des elektrischen Feldes in der Verarmungszone in das n-Gebiet. Dabei ergibt sich eine bestimmte Konzentration von Elektronen in diesem Gebiet. Dieser Vorgang und die Konzentration sind nahezu unabhängig von der Intensität des Lichts. Daher bleibt die Spannung nahezu konstant.

Trifft jedoch kein Licht mehr auf das Halbleitermaterial, werden keine Elektronen mehr freigesetzt und das Material wirkt nach außen hin elektrisch neutral. Es entspricht in diesem Fall einer gewöhnlichen Diode.



## Vorbetrachtung: 4. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Beim Aufbau sollten die Schüler explizit auf den Unterschied zwischen der Solarzelle und dem Solarmodul hingewiesen werden. Beide Einheiten sind auf den ersten Blick leicht zu verwechseln. Beim Solarmodul erkennt man bei genauem Hinsehen eine Trennung der drei einzelnen Bereiche (drei einzelne Solarzellen). Auf der Rückseite der Module sind die Werte für Strom und Spannung markiert, das hier verwendete Solarmodul ist durch folgende Werte gekennzeichnet: 1,5 V und 280 mA. Die Solarzelle ist durch folgende Werte gekennzeichnet: 0,5 V und 840 mA.
- Der quantitative Versuch sollte nicht im strahlenden Sonnenlicht durchgeführt werden, da die Leistung bei hoher Lichtintensität und starken Reflexionen nur eine schwache Kosinusabhängigkeit zeigt.
- Nutzen Sie eine Lichtquelle mit geringer Streuung um einen möglichst deutlichen Schatten des Schattenstabes zu bekommen.
- In der Auswertung des Experiments bietet es sich an, zu erwähnen, dass große Solaranlagen häufig mit einer Mechanik ausgestattet sind, die es erlauben, die Solarzellen der Sonne nachzuführen. Es gibt zwei grundlegende Typen von Nachführungen: Bei der so genannten einachsigen Nachführung ist, wie es der Name schon sagt, das Solarmodul nur in einer Achse beweglich und wird auch nur in dieser einen Achse dem Sonnenstand nachgeführt. Diese Art der Nachführung wird in zwei Varianten praktiziert: Einmal als jahreszeitliche Nachführung und einmal als tägliche. Der Vorteil der jahreszeitlichen Nachführung ist der geringe Aufwand von Mechanik, da eine solche Nachführung nur in größeren Abständen nötig ist und daher von Hand erfolgen kann. Bei täglicher Nachführung werden die Module mit Hilfe von Motoren in einer Achse der Sonne nachgedreht.  
Bei der so genannten zweiachsigen Nachführung sind die Module in der horizontalen und vertikalen Achse beweglich gelagert und werden über eine relativ komplizierte Mechanik dem Sonnenstand nachgeführt, so dass das Solarmodul immer genau senkrecht zum einfallenden Licht steht.  
Durch Nachführung wird die Energiebilanz eines Solarmoduls erheblich verbessert, da z. B. allein durch tägliche einachsige Nachführung ca. 20% mehr Energie umgewandelt werden kann. Der Energieaufwand für die Nachführung beträgt dagegen durchschnittlich nur 0,2% der gesamten umgewandelten Energie des Systems.
- Lernziele:
  - Qualitativer Versuch
    - Die Schüler beschreiben das Verhalten des Motors, wenn die Solarzelle gekippt wird.
    - Die Schüler ziehen Schlussfolgerungen über die Leistung und den Betrieb realer Solarzellen.
  - Quantitativer Versuch
    - Die Schüler messen die Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung einer Solarzelle in Abhängigkeit vom Einfallswinkel.





## Vorbetrachtung: 4. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

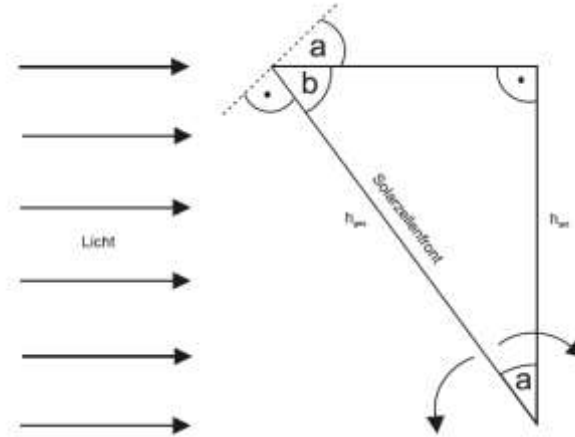
- Die Schüler berechnen aus den Messgrößen eine fiktive Leistung.
- Die Schüler tragen ihre Messwerte in ein  $\cos(\alpha)$ -Stromstärke/Leistung-Diagramm.
- Die Schüler erkennen anhand der Diagramme, dass die Stromstärke /Leistung proportional zum Kosinus des Einfallswinkels ist.
- Die Schüler erklären den linearen Zusammenhang anhand geometrischer Überlegungen und der Proportionalität zwischen Fläche und Stromstärke/ Leistung.
- Vorwissen:
  - Die Schüler wissen, dass eine schnellere Motordrehung eine größere Leistung der Solarzelle bedeutet.
  - Die Schüler wissen, dass die Stromstärke/Leistung proportional zur Fläche ist.
  - Die Schüler wissen, dass die effektiv beschienene Fläche gleich dem Produkt aus Kosinus des Einfallswinkels und der Gesamtfläche ist.
- Als Vorversuch bietet sich das Experiment „Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Fläche‘ an, da die dort gewonnenen Erkenntnisse für diesen Versuch benötigt werden.
- Beim quantitativen Experiment wird eine Leistung aus der Kurzschlussstromstärke und der Leerlaufspannung berechnet. Diese Leistung ist eine fiktive Leistung und entspricht nicht der Maximalleistung des Solarmoduls. Sie wird jedoch verwendet, da die Ermittlung der Maximalleistung ohne technische Hilfsmittel aufwändig ist. Im Rahmen dieses Experiments führt der Vergleich der fiktiven Leistungen zum gleichen Ergebnis, wie der Vergleich der Maximalleistungen.
- Das AV-Modul kann bei diesem Aufbau keine zuverlässigen Werte für Spannung und Stromstärke gleichzeitig liefern. Es sollte daher nur jeweils im Spannungs- beziehungsweise Stromstärkemode genutzt werden.
- Die in der Lösung angegebenen Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können je nach Beleuchtung variieren.



## Vorbetrachtung: 4. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Hinweise zur Kosinusberechnung (auch als mögliche zusätzliche Auswertung denkbar):



Kippt man die Zelle gegen das Licht, so reduziert sich ihre effektive (und damit aktive) Höhe auf  $h_{\text{akt}}$ , wobei gilt:

$$h_{\text{akt}} = h \cdot \cos$$

Da die aktive Breite konstant bleibt, gilt auch für die aktive Fläche:

$$A_{\text{akt}} = h_{\text{akt}} \cdot b = b \cdot h \cdot \cos = A \cdot \cos$$

Wie in Experiment 3 gezeigt, gilt weiterhin:

$$P \sim A_{\text{akt}}$$

Daraus folgt:

$$P \sim \cos$$

Da die Leerlaufspannung der Solarzelle im Wesentlichen von der Bandlücke des verwendeten Materials und der Dotierung, aber nur in äußerst geringem Maße von der Beleuchtung abhängt, ergeben sich folgende Zusammenhänge:

$$I_k \sim \cos$$

$$U_L = \text{const.}$$

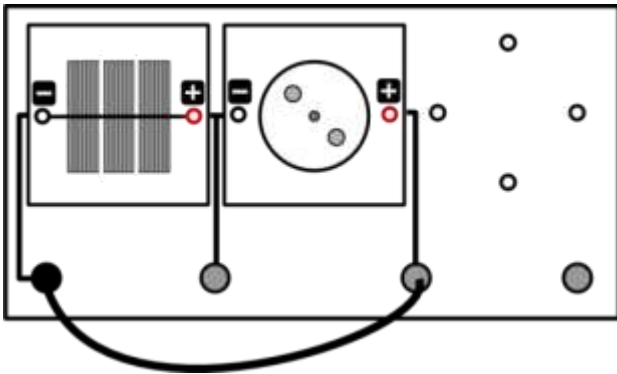


## 4.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (qualitativ)

### Aufgabe

Untersuche das Verhalten des Motors in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel.

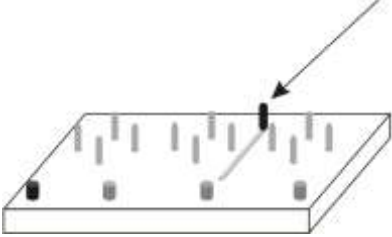
### Aufbau



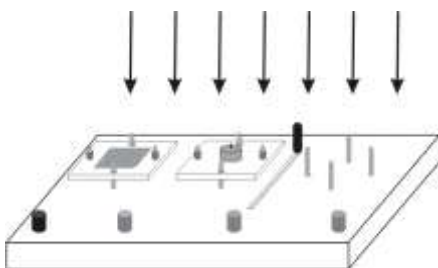
### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Solarmodul 1,5 V
- 1 Motormodul
- 1 Kabel

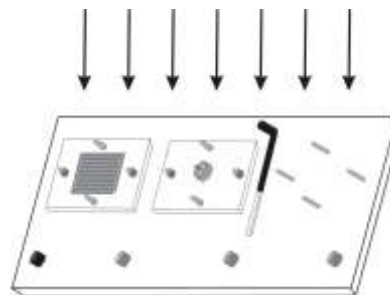
### Durchführung

1. Bei diesem Versuch kommt der Schattenstab der Grundeinheit zum Einsatz. Dieser befindet sich oben rechts auf der Grundeinheit (siehe Skizze). Mit ihm kann die Neigung der Grundeinheit zur Lichtquelle gemessen werden. Dazu muss die Grundeinheit zunächst so gedreht werden, dass der Schatten, den der Schattenstab wirft, auf die Winkelskala fällt. Den aktuellen Neigungswinkel kann man dann am Ende des Schattens ablesen. Mache dich zunächst mit der Funktion des Schattenstabs vertraut!
 
2. Baue aus Solarzelle und Motor eine Reihenschaltung auf. Halte nun die Grundeinheit mit der Vorderseite zur Lichtquelle. Dabei soll der Schattenstab keinen Schatten werfen - das Licht also senkrecht auf die Solarzelle fallen (linke Skizze). Verkippe nun die Grundeinheit, sodass sie nicht mehr direkt in Richtung der Lichtquelle zeigt. Dabei wird vom Schattenstab ein Schatten geworfen (rechte Skizze). (Hinweis: Für mehr Übersichtlichkeit ist das nötige Verbindungskabel zum Schließen des Stromkreises sowie die Drehscheibe auf dem Motor in den Skizzen nicht mitgezeichnet!)

einfallendes Licht



einfallendes Licht





## 4.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (qualitativ)

### Auswertung

1. Notiere deine Beobachtungen beim Kippen des Aufbaus. Formuliere eine Abhängigkeit zwischen Einfallswinkel des Lichts und Drehgeschwindigkeit des Motors.

Je schräger das Licht auf die Solarzellen fällt, desto langsamer dreht sich der Motor.

---

2. Ziehe Schlussfolgerungen über die Leistung der Solarzelle und für den Betrieb realer Solaranlagen.

Solarzellen scheinen ihre größte Leistung bei einem geringen Einfallswinkel zu haben. Somit sollten diese möglichst immer senkrecht zur Sonne ausgerichtet werden. Geringe Abweichungen scheinen jedoch keine großen Leistungseinbrüche zu verursachen.

---

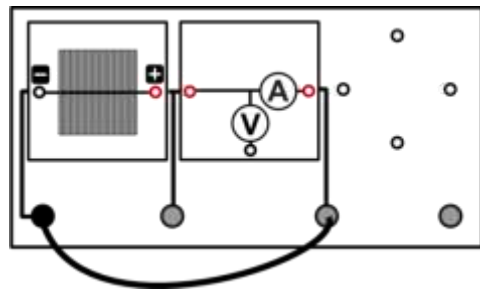


## 4.2 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (quantitativ)

### Aufgabe

Ermittle die Solarzellenleistung in Abhängigkeit vom Einfallswinkel des Lichtes.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Solarzelle, 0,5 V
- 1 AV-Modul
- 1 Kabel

### Durchführung

1. Halte die Grundeinheit mit dem Solarmodul in Richtung Sonne (oder Hauptlichtquelle im Zimmer), und finde eine Position, die einen scharf umrissenen Schatten des Schattenstabes entstehen lässt!
2. Richte die Grundeinheit so zu der Hauptlichtquelle aus, dass der Einfallswinkel  $\alpha$  zwischen Grundplatte und einfallendem Licht  $\alpha = 0^\circ$  beträgt, d.h. der Schattenstab keinen Schatten wirft!
3. Miss an der Solarzelle zunächst die Leerlaufspannung  $U_L$ . Nutze dazu das AV-Modul im Spannungsmodus.
4. Miss anschließend die Kurzschlussstromstärke  $I_K$ . Verwende dazu das AV-Modul im Stromstärke-Modus.
5. Verändere den Winkel  $\alpha$  der Grundeinheit zum einfallenden Licht (siehe Tabelle) und wiederhole deine Messungen. Erfasse alle Messwerte in einer Tabelle! Achte hierbei darauf, dass sich der Abstand zwischen Lichtquelle und Grundeinheit nicht ändert.

### Auswertung

1. Berechne für alle Messpunkte den Kosinus des Einfallswinkels und die fiktive Leistung aus Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung ( $P = I_K \cdot U_L$ ). Trage deine Werte in die Tabelle ein.
2. Zeichne das  $P - \cos \alpha$  und das  $I_K - \cos \alpha$  - Diagramm!
3. Beschreibe die Abhängigkeit der Stromstärke bzw. der Leistung vom Einfallswinkel
4. Erkläre diese Abhängigkeit geometrisch unter der Voraussetzung  $I \sim A$ , dass also der Strom proportional mit der Fläche anwächst wie in Experiment 3 gesehen!

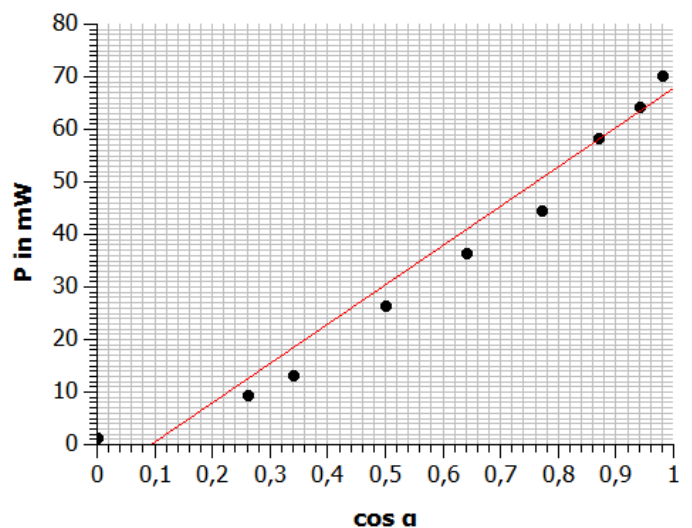
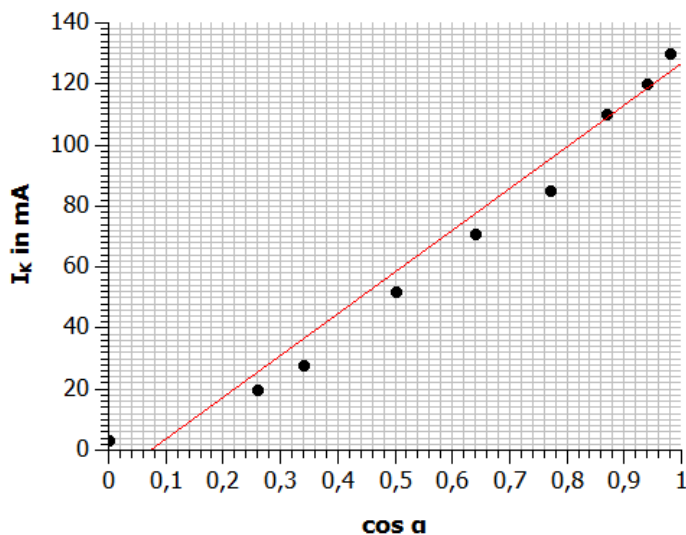


## 4.2 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (quantitativ)

### Messwerte

$\alpha$	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	75°	90°
$U_L$ (V)	0,545	0,540	0,535	0,532	0,524	0,516	0,507	0,475	0,473	0,435
$I_K$ (mA)	138	130	120	110	85	71	52	28	20	7,1
zu berechnende Werte										
$\cos \alpha$	1	0,98	0,94	0,87	0,77	0,64	0,5	0,34	0,26	0
$P = U_L \cdot I_K$ (mW)	75,2	70,2	64,2	58,5	44,5	36,6	26,4	13,3	9,5	3,1

### Diagramme



### Auswertung

3.

Es besteht ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen der Stromstärke beziehungsweise der Leistung und dem Kosinus des Einfallswinkels.

4.

Die von der Lichtquelle beschienene Fläche entspricht  $A_{eff} = \cos(\alpha) \cdot A_{gesamt}$ . Da  $I \sim A$  ist, gilt damit auch, dass  $I_{beschienen} = \cos(\alpha) \cdot I_{gesamt}$ . Da der Gesamtstrom eine Konstante ist, gilt somit auch, dass  $I \sim \cos(\alpha)$  ist.



## Vorbetrachtung: 5. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Beleuchtungsstärke

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Beim Aufbau sollten die Schüler explizit auf den Unterschied zwischen der Solarzelle und dem Solarmodul hingewiesen werden. Beide Einheiten sind auf den ersten Blick leicht zu verwechseln. Beim Solarmodul erkennt man bei genauem Hinsehen eine Trennung der drei einzelnen Bereiche (drei einzelne Solarzellen). Auf der Rückseite der Module sind die Werte für Strom und Spannung markiert, die hier verwendete Solarzelle ist durch folgende Werte gekennzeichnet: 0,5 V und 840 mA.
- Beim diesem Experiment wird eine Leistung aus der Kurzschlussstromstärke und der Leerlaufspannung berechnet. Diese Leistung ist eine fiktive Leistung und entspricht nicht der Maximalleistung des Solarmoduls. Sie wird jedoch verwendet, da die Ermittlung der Maximalleistung ohne technische Hilfsmittel aufwändig ist. Im Rahmen dieses Experiments führt der Vergleich der fiktiven Leistungen zum gleichen Ergebnis, wie der Vergleich der Maximalleistungen.
- Das AV-Modul kann bei diesem Aufbau keine zuverlässigen Werte für Spannung und Stromstärke gleichzeitig liefern. Es sollte daher nur jeweils im Spannungs- beziehungsweise Stromstärkemode genutzt werden.
- Die in der Lösung angegebenen Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können je nach Beleuchtung variieren.
- Die Beleuchtungsstärke sollte nicht über die Spannung an den Lampen geändert werden, da sich hierdurch das Spektrum ändert und es zu Messfehlern kommen kann. Bei der Variation der Beleuchtungsstärke über die Anzahl der leuchtenden Lampen kann hingegen eine lineare Abhängigkeit aufgezeigt werden.
- Das Beleuchtungsmodul sollte nicht zu lange auf der Solarzelle stehen, da ein Temperaturanstieg der Solarzelle die Messwerte verfälscht.

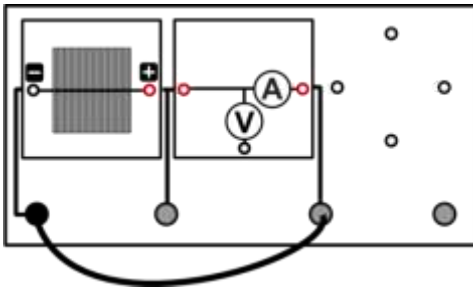


## 5. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Beleuchtungsstärke

### Aufgabe

Bestimme die Leistung einer Solarzelle bei unterschiedlich starker Beleuchtung!

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Beleuchtungsmodul
- 1 Solarzelle 0,5 V
- 1 AV-Modul
- 1 PowerModul
- 3 Kabel

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Verbinde das Beleuchtungsmodul mit dem PowerModul, stelle es auf die Solarzelle und schalte es bei einer Spannung von 9V ein. Achte darauf, dass genau eine Lampe im Beleuchtungsmodul brennt. Die anderen Lampen können durch ein bis zwei Umdrehungen (nach links) zum Erlöschen gebracht werden.
3. Miss an der Solarzelle zunächst die Leerlaufspannung  $U_L$ . Nutze dazu das AV-Modul im Spannungsmodus.
4. Miss anschließend die Kurzschlussstromstärke  $I_K$ . Verwende dazu das AV-Modul im Stromstärke-Modus.
5. Wiederhole die Messungen ( $U_L$  und  $I_K$ ) mit jeweils 2, 3 und 4 leuchtenden Lampen im Beleuchtungsmodul! Erfasse alle Messwerte in einer Tabelle!

### Auswertung

1. Errechne die fiktive Leistung aus Kurzschlussstromstärke  $I_K$  und Leerlaufspannung  $U_L$  ( $P = I_K \cdot U_L$ ) für jede Lampenanzahl und trage deine Werte in die Tabelle ein.
2. Zeichne das  $n$ - $P$ -Diagramm ( $n$ ...Anzahl der Lampen)!
3. Benenne den Zusammenhang zwischen Modulleistung und Beleuchtungsstärke (Die Beleuchtungsstärke ist direkt proportional zur Anzahl der Lampen).



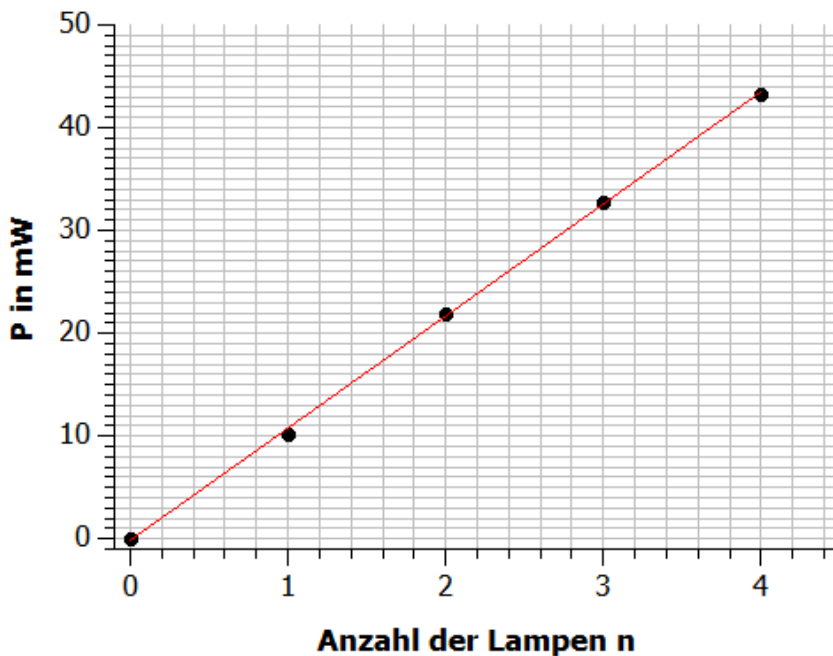


## 5. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Beleuchtungsstärke

### Messwerte

	Beleuchtung mit				
	0 Lampen	1 Lampe	2 Lampen	3 Lampen	4 Lampen
$U_L$ (V)	0,05	0,49	0,52	0,53	0,53
$I_K$ (mA)	0	20,9	42,3	61,7	81,7
$P=U_L \cdot I_K$ (mW)	0	10,2	22,0	32,7	43,3

### Diagramm



### Auswertung

Je höher die Beleuchtungsstärke, desto **größer** ist die Leistung.

Der Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und Leistung ist **proportional**. (Dies erkennt man an der Gerade durch den Ursprung.)



## Vorbetrachtung: 6. 1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Last

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Beim Aufbau sollten die Schüler explizit auf den Unterschied zwischen der Solarzelle und dem Solarmodul hingewiesen werden. Beide Einheiten sind auf den ersten Blick leicht zu verwechseln. Beim Solarmodul erkennt man bei genauem Hinsehen eine Trennung der drei einzelnen Bereiche (drei einzelne Solarzellen). Auf der Rückseite der Module sind die Werte für Strom und Spannung markiert, das hier verwendete Solarmodul ist durch folgende Werte gekennzeichnet: 1,5 V und 280 mA.
- Beim diesem Experiment wird eine Leistung aus Stromstärke und Spannung bei einem festen Widerstand berechnet. Diese Leistung ist eine fiktive Leistung und entspricht nicht der Maximalleistung des Solarmoduls. Sie wird jedoch verwendet, da die Ermittlung der Maximalleistung ohne technische Hilfsmittel aufwändig ist. Im Rahmen dieses Experiments führt der Vergleich der fiktiven Leistungen zum gleichen Ergebnis, wie der Vergleich der Maximalleistungen.
- Die in der Lösung angegebenen Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können je nach Beleuchtung variieren.
- Lernziele:
  - Die Schüler messen die Spannung und Stromstärke für 4 verschiedene Verbraucher.
  - Die Schüler berechnen die Leistung der Solarzelle und die Widerstände der Verbraucher.
  - Die Schüler vergleichen die Leistung in Abhängigkeit vom Verbraucher.
  - Die Schüler erkennen, dass ohne weitere Messungen kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Leistung und Widerstand benannt werden kann.

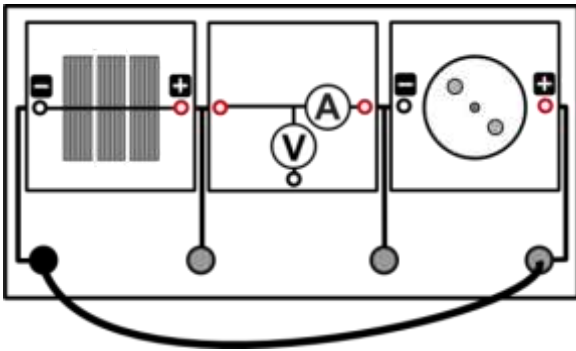


## 6.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Last

### Aufgabe

Bestimme die Leistung eines Solarmoduls bei unterschiedlichen Verbrauchern.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Solarmodul 1,5 V
- 1 AV-Modul
- 1 Hupenmodul
- 1 Motormodul
- 1 LED-Modul
- 1 Glühlampenmodul
- 1 PowerModul
- 1 Beleuchtungsmodul
- 3 Kabel

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Verbinde das Powermodul durch Kabel mit dem Beleuchtungsmodul und stelle eine Spannung von 9V ein. Stelle das Beleuchtungsmodul auf das Solarmodul.
2. Miss am Solarmodul die Spannung  $U$  und die Stromstärke  $I$ . Nutze dazu das AV-Modul im Spannungs-Stromstärkemodus.
3. Entferne den Motor und wiederhole die Messung mit dem Hupenmodul, dem LED-Modul und dem Glühlampenmodul. Erfasse alle Messwerte in einer Tabelle.

### Auswertung

1. Berechne die Leistung des Solarmoduls  $P$  ( $P=U \cdot I$ ) und den Widerstand des Verbrauchers  $R$  ( $R=U/I$ ) für alle Verbraucher und trage deine Werte in die Tabelle ein.
2. Vergleiche die Leistung der Solarzelle bei den verschiedenen Verbrauchern. Ziehe Rückschlüsse zwischen Widerstand und Leistung.

### Messwerte

	Motormodul	Hupe	LED	Glühlampe
$U$ (V)	1,46	1,63	1,62	0,88
$I$ (mA)	17,7	0,6	0,5	21,5
$P$ (mW)	25,8	1,0	0,8	18,9
$R$ ( $\Omega$ )	82,5	2716,7	3240,0	40,9



## 6.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Last

### Auswertung

2.

Die Leistung ist trotz gleicher Beleuchtungsstärke bei allen Verbrauchern unterschiedlich und hängt unter anderem vom internen Widerstand der Module ab. Das Hupenmodul und das LED-Modul benötigen die geringste Leistung für den Betrieb, die höchste Leistung verbraucht das Motor-Modul. Beim Vergleich zwischen Glühlampe und Motor zeigt sich, dass eine geringere Leistung nicht automatisch mit einem höheren Widerstand einhergeht. Für eine tiefergehende Betrachtung muss die I-U-Kennlinie und Leistungskennlinie der Solarzelle mit einbezogen werden.



## Vorbetrachtung: 6.2 / 6.3 Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Beim Aufbau sollten die Schüler explizit auf den Unterschied zwischen der Solarzelle und dem Solarmodul hingewiesen werden. Beide Einheiten sind auf den ersten Blick leicht zu verwechseln. Beim Solarmodul erkennt man bei genauem Hinsehen eine Trennung der drei einzelnen Bereiche (drei einzelne Solarzellen). Auf der Rückseite der Module sind die Werte für Strom und Spannung markiert, die hier verwendete Solarzelle ist durch folgende Werte gekennzeichnet: 0,5 V und 840 mA.

- Lernziele:

#### *Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle*

- Die Schüler messen Spannung und Stromstärke der Solarzelle bei verschiedenen Widerständen.
- Die Schüler berechnen die Leistung für verschiedenen Messwerte.
- Die Schüler zeichnen ihre Messwerte in das U-I- und U-P-Diagramm.
- Die Schüler beschreiben die U-I- und U-P-Kennlinie.
- Die Schüler schließen aus den Messwerten, dass die Leistung der Solarzelle vom angeschlossenen Widerstand abhängt und einen maximalen Wert besitzt (Maximum Power Point , MPP).
- Die Schüler berechnen den Füllfaktor und Wirkungsgrad der Solarzelle.

#### *Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke*

- Die Schüler messen Spannung und Stromstärke der Solarzelle bei verschiedenen Widerständen und Beleuchtungsstärken.
- Die Schüler berechnen die Leistung für verschiedenen Messwerte.
- Die Schüler zeichnen ihre Messwerte in das U-I- und U-P-Diagramm.
- Die Schüler vergleichen die U-I- und U-P-Kennlinien untereinander und erkennen, dass die U-I-Kennlinie entlang der der y-Achse verschoben wird.
- Die Schüler beschreiben, dass der Maximum Power Point (MPP) sich bei variierenden Beleuchtungsstärken nahezu parallel zur y-Achse verschiebt.
- Die Schüler erklären, dass sich die U-I-Kennlinie entlang der y-Achse verschiebt, da eine geringe Beleuchtung weniger Elektronen-Loch-Paarbildung bedeutet.

- Vorwissen:

- Die Schüler wissen, dass der Füllfaktor ein Maß für die Effizienz der Solarzelle ist.
- Die Schüler können den Wirkungsgrad bestimmen.

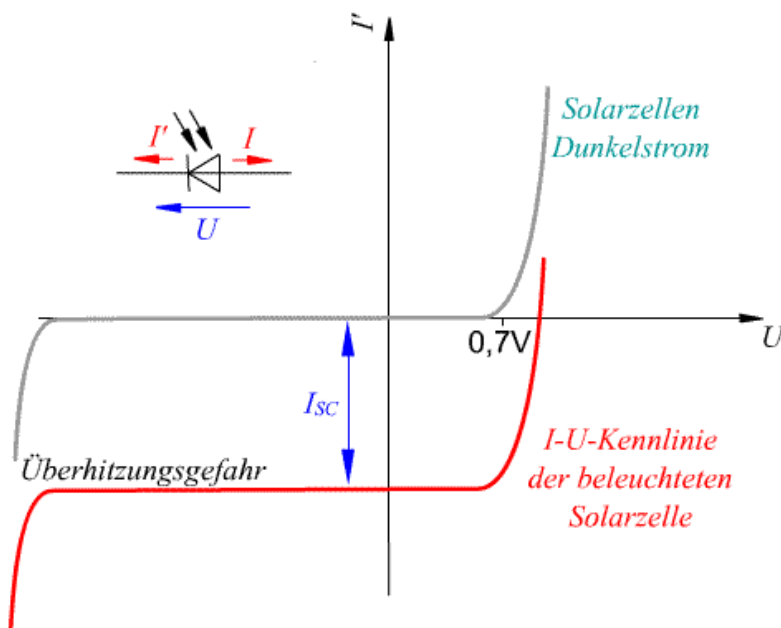
- Hinweis: Diese Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können je nach Beleuchtung variieren.



## Vorbetrachtung: 6.2 / 6.3 Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Die Beleuchtungsstärke sollte nicht durch das Verändern der Spannung am Beleuchtungsmodul geändert werden, da sich hierdurch auch das Spektrum ändert. Dieses hat ebenfalls einen Einfluss auf die Leistung der Solarzelle.
- Anstelle des Potentiometers kann auch der Kondensator verwendet werden. Bei einer Beleuchtungsspannung von 5V wird der Kondensator durch das Solarmodul so geladen, dass er alle Widerstände kontinuierlich annimmt und die Schüler genügend Zeit haben, die Messwerte aufzunehmen. Bei der Verwendung des Kondensators ist darauf zu achten, dass der Minuspol (Pluspol) des Kondensators am Minuspol (Pluspol) der Solarzelle anliegt und dass der Kondensator entladen ist. Da den Schülern eventuell nicht bewusst ist, dass der Kondensator verschiedene Widerstände annimmt, sollten die Schüler neben der Leistung des Solarmoduls auch den Widerstand des Kondensators berechnen.
- In der Auswertung der U-I-Kennlinie bietet es sich an, darauf einzugehen, dass Solarkraftanlagen mit MPP-Trackern ausgestattet sind. Sie sorgen dafür, dass die Anlage immer am MPP arbeitet. Der berechnete Wirkungsgrad entspricht etwa der Hälfte des realen Wertes für polykristallines Silizium (14%-20%). Dies liegt daran, dass der Wirkungsgrad bei geringerer Beleuchtung sinkt und er normalerweise bei einer Bestrahlung von  $1000 \text{ W/m}^2$  bestimmt wird.
- Ebenfalls bietet es sich an, die U-I-Kennlinie der Solarzelle mit der einer Diode zu vergleichen. Tauscht man die Diode mit einer Solarzelle in der gleiche Orientierung von p- und n-Übergang aus und nutzt eine Spannungsquelle, die Leistung aufnehmen kann, verschiebt sich der Graph entlang der Ordinate um den Photostrom nach unten (Siehe nachfolgende qualitative Abbildung).



Die U-I-Kennlinie, welche im Experiment 6.2 gemessen wird, befindet sich „umgeklappt“ im 4. Quadranten.

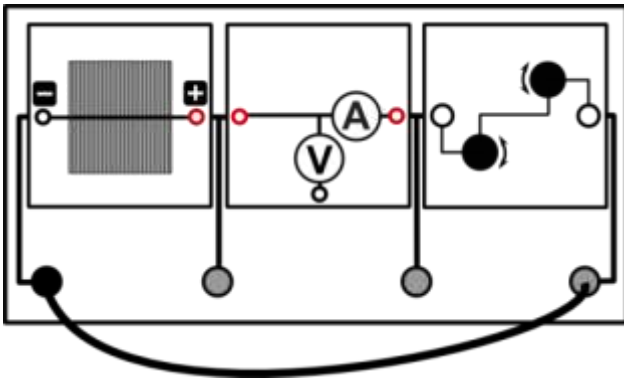


## 6.2 Die U-I-Kennlinie und der Füllfaktor einer Solarzelle

### Aufgabe

Nimm die  $U$ - $I$ -Kennlinie der Solarzelle auf!

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Solarzelle 0,5 V
- 1 AV-Modul
- 1 Potentiometermodul
- 1 Beleuchtungsmodul
- 1 PowerModul
- 3 Kabel

### Durchführung

1. Baue den Versuch wie vorgegeben auf. Schließe das Beleuchtungsmodul an das PowerModul an (5V) und stelle es auf die Solarzelle. Achte darauf, dass alle vier Glühlampen leuchten! Stelle den höchsten Widerstand am Potentiometer ein.
2. Gib dir sinnvolle Werte für die Spannung  $U$  vor und miss für diese jeweils die Stromstärke  $I$ ! Verringere dazu zunächst den  $1\text{k}\Omega$ -Widerstand, danach den  $100\Omega$ -Widerstand! Verwende das AV-Modul zum Messen im Stromstärke-Spannungsmodus.
3. Miss ohne Potentiometer ebenfalls die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke der Solarzelle. Nutze dazu das AV-Modul im Spannungs-Modus, beziehungsweise Stromstärke-Modus.
4. Erfasse alle Messwerte (jeweils Stromstärke und Spannung) in einer Tabelle.

### Auswertung

1. Zeichne das  $U$ - $I$ -Diagramm der Solarzelle!
2. Berechne zu jedem Messpunkt die jeweilige Leistung  $P$  der Solarzelle und trage deine Werte in die Tabelle ein ( $P=U \cdot I$ ). Zeichne in das  $U$ - $I$ -Diagramm zusätzlich die  $U$ - $P$ -Kennlinie ( $P$ -Achse rechts).
3. Beschreibe den Verlauf beider Kurven.
4. Zeichne in dein Diagramm die  $U$ - $I$ -Kennlinie eines  $10\Omega$ - und  $100\Omega$ -Widerstands. Erläutere die Bedeutung der Schnittpunkte der Solarzelle-Kennlinie mit den jeweiligen Widerstandskennlinien
5. Ziehe Schlussfolgerungen bezüglich der Leistung einer Solarzelle. Der Füllfaktor ( $FF$ ) ist der Quotient aus dem Produkt der Spannung  $U_{MPP}$  und Stromstärke  $I_{MPP}$  bei maximaler Leistung und dem Produkt der Leerlaufspannung  $U_L$  und der Kurzschlussstromstärke  $I_K$ . Berechne den Füllfaktor  $FF$ .

$$FF = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{U_L \cdot I_K}$$



## 6.2 Die U-I-Kennlinie und der Füllfaktor einer Solarzelle

## Auswertung

6. Berechne näherungsweise den Wirkungsgrad der Solarzelle, wenn diese am MPP arbeitet. Hinweis: Die Kurzschlussstromstärke  $I_{K,1000}$  der Solarzelle beträgt bei einer Bestrahlungsleistung von  $1000 \frac{W}{m^2}$  etwa 840 mA.

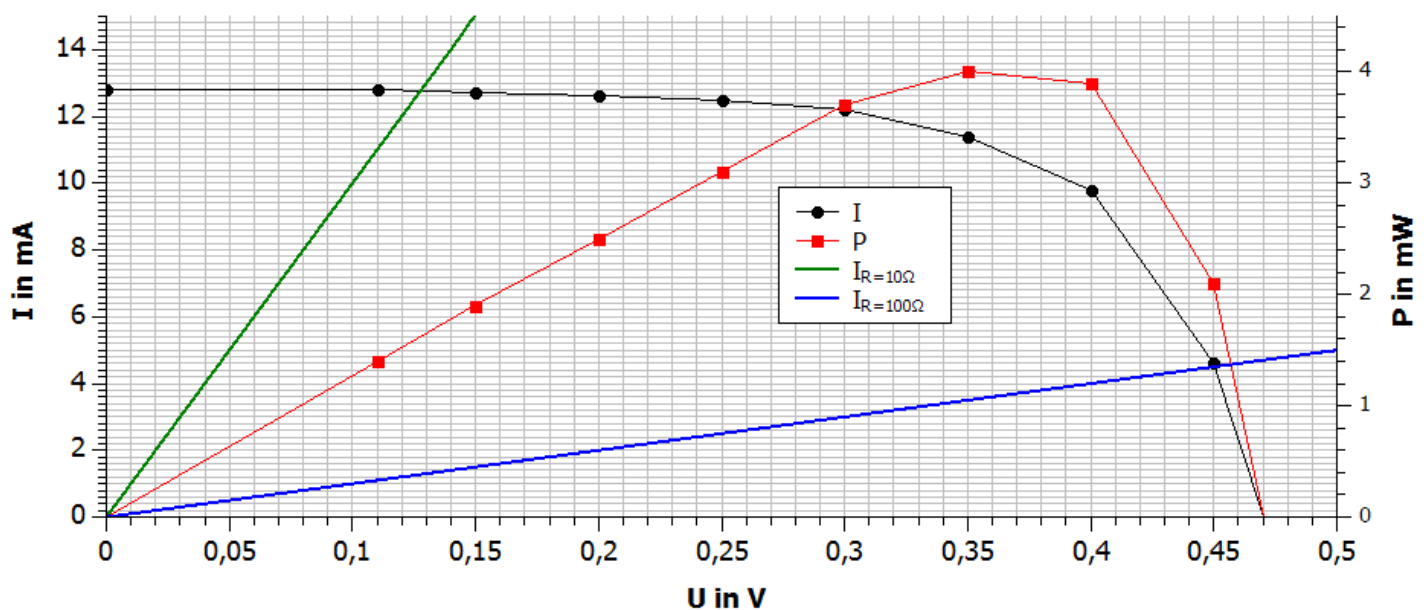
$$\eta = \frac{P_{MPP}}{P_{in}}$$

$$P_{in} = \frac{P_{in,1000} \cdot I_{K,exp}}{I_{K,1000}} \cdot A_{Solarzelle}$$

## Messwerte

$U(V)$	0,47	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,11	0
$I(mA)$	0	4,6	9,8	11,4	12,2	12,5	12,6	12,7	12,8	12,8
$P=U \cdot I(mW)$	0	2,1	3,9	4	3,7	3,1	2,5	1,9	1,4	0

## Diagramm



## Auswertung

3. Die U-I-Kennlinie zeigt, dass die Stromstärke mit zunehmender Spannung sinkt. Die maximale Spannung  $U_L$  und Stromstärke  $I_K$  betragen 0,47V beziehungsweise 12,8mA. Die Leistung besitzt bei einer Spannung von 0,35V und einer Stromstärke von 11,4mA ihr Maximum. Mit zunehmenden Abstand zu dieser Spannung sinkt die Leistung bis auf 0W.





## 6.2 Die U-I-Kennlinie und der Füllfaktor einer Solarzelle

## Auswertung

4.

Der Schnittpunkt der beiden Graphen gibt die Spannung und die Stromstärke wieder, die das Solarmodul an den jeweiligen Widerstand abgibt.

5.

Die Leistung einer Solarzelle ist nicht nur von der Bestrahlungsstärke abhängig, sondern auch von dem angeschlossenen Widerstand. Der Widerstand, um die Maximalleistung zu entnehmen beträgt in diesem Fall  $30,7\Omega$ .

6.

$$FF = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{U_L \cdot I_K}$$

$$FF = \frac{0,35V \cdot 11,4mA}{0,47V \cdot 12,8mA}$$

$$\underline{FF = 0,663 = 66,3\%}$$

7.

Berechnung der Einstrahlleistung:

$$P_{in} = \frac{P_{in,1000} \cdot I_{K,exp}}{I_{K,1000}} \cdot A_{Solarzelle}$$

$$P_{in} = \frac{1000 \frac{W}{m^2} \cdot 12,8mA}{840mA} \cdot 0,0036m^2$$

$$\underline{P_{in} = 0,0548W = 54,8mW}$$

Berechnung des Wirkungsgrades

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{P_{in}}$$

$$\eta = \frac{4mW}{54,8mW}$$

$$\underline{\eta = 7,3\%}$$

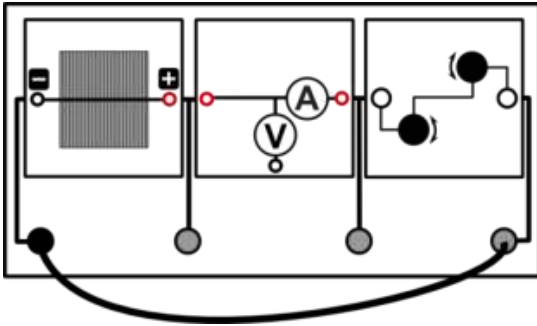


## 6.3 Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke

### Aufgabe

Nimm die  $U$ - $I$ -Kennlinie der Solarzelle bei verschiedenen Beleuchtungsstärken auf!

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Solarzelle 0,5 V
- 1 AV-Modul
- 1 Potentiometermodul
- 1 Beleuchtungsmodul
- 1 PowerModul
- 3 Kabel

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanleitung auf. Schließe das Beleuchtungsmodul an das PowerModul an (5V) und stelle es auf die Solarzelle. Achte darauf, dass zunächst nur 1 Glühlampe leuchtet.
2. Stelle zunächst den größtmöglichen Widerstand auf dem Potentiometermodul ein.
3. Gib dir sinnvolle Werte für die Spannung  $U$  vor und miss für diese jeweils die Stromstärke  $I$ ! Verringere dazu zunächst den  $1\text{k}\Omega$ -Widerstand, danach den  $100\Omega$ -Widerstand! Verwende das AV-Modul zum Messen im Stromstärke-Spannungsmodus.
4. Miss ohne Potentiometer ebenfalls die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke der Solarzelle. Nutze dazu das AV-Modul im Spannungs-Modus, beziehungsweise Stromstärke-Modus.
5. Erfasse alle Messwerte (jeweils Stromstärke und Spannung) in einer Tabelle.
6. Wiederhole die Messung für jeweils 2, 3 und 4 leuchtende Lampen im Beleuchtungsmodul.

### Messwerte

Mit einer Glühlampe:

$U(V)$	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0	
$I(mA)$	0,4	2,2	2,8	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	
$P=U \cdot I(mW)$	0,16	0,66	0,84	0,78	0,64	0,5	0,33	0,17	0	

Mit zwei Glühlampen:

$U(V)$	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,02
$I(mA)$	0,4	4	5,5	6,1	6,4	6,5	6,7	6,8	6,8	6,8
$P=U \cdot I(mW)$	0,18	1,6	1,93	1,83	1,6	1,3	1	0,7	0,3	0,14



## 6.3 Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke

### Messwerte

Mit drei Glühlampen:

$U(V)$	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,02
$I(mA)$	2,8	6,7	7,8	8,5	8,9	9,1	9,2	9,2	9,2	9,2
$P=U \cdot I(mW)$	1,3	2,7	2,7	2,5	2,2	1,8	1,4	0,9	0,5	0,2

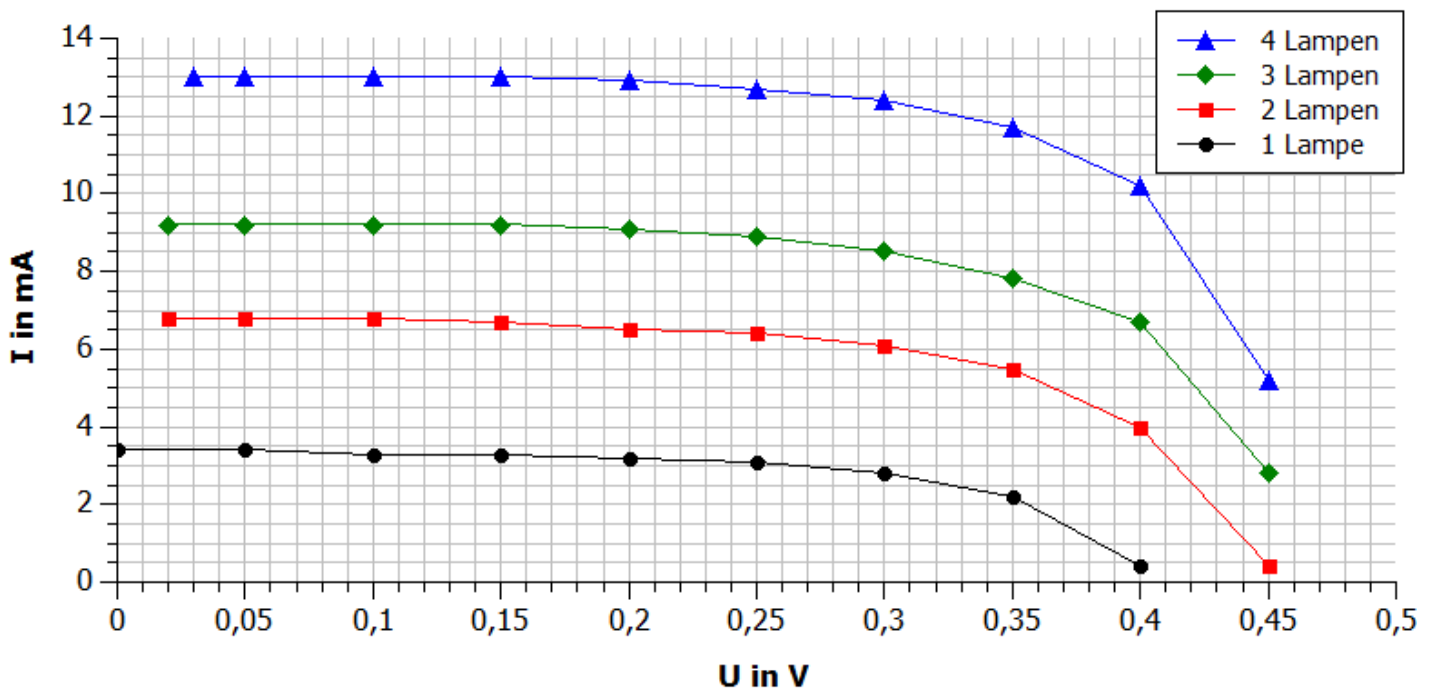
Mit vier Glühlampen:

$U(V)$	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,03
$I(mA)$	5,2	10,2	11,7	12,4	12,7	12,9	13,0	13,0	13,0	13,0
$P=U \cdot I(mW)$	2,3	4,1	4,1	3,7	3,2	2,6	2	1,3	0,7	0,4

### Auswertung

1. Zeichne das  $U$ - $I$ -Diagramm der Solarzelle für alle 4 Beleuchtungsvarianten.
2. Berechne zu jedem Messpunkt die jeweilige Leistung der Solarzelle und trage deine Werte in die Tabelle ein.
3. Zeichne in ein weiteres Diagramm die  $U$ - $P$ -Kennlinien für alle 4 Beleuchtungsvarianten.
4. Vergleiche die  $U$ - $I$ -Kennlinien untereinander und erkläre die unterschiedlichen Kurven.
5. Vergleiche die Lage des Punktes maximaler Leistung (Maximum Power Point - MPP) für die unterschiedlichen Beleuchtungsstärken.

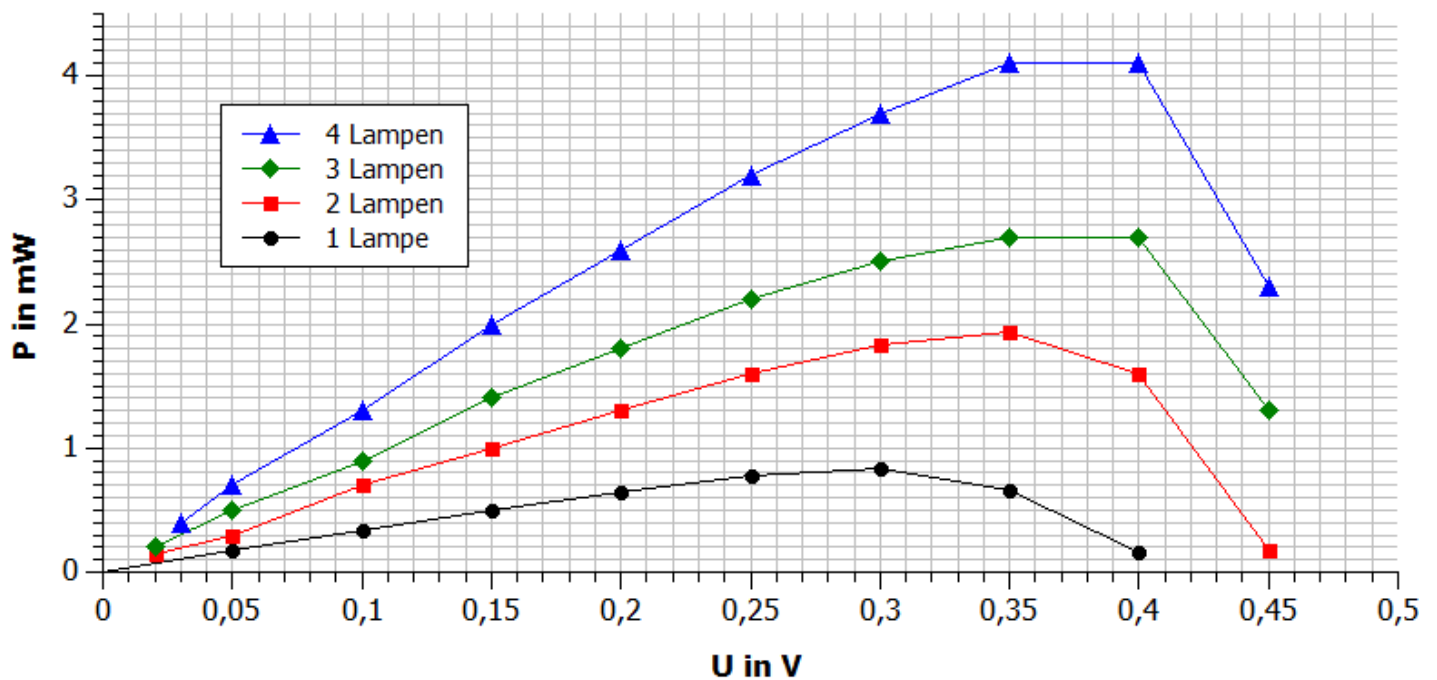
### Diagramme





## 6.3 Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke

## Diagramme



## Auswertung

4.  
Die U-I-Kennlinien werden mit steigender Beleuchtungsstärke entlang der Ordinate nach oben verschoben.  
Die Kurzschlussstromstärke steigt deutlich mit steigender Beleuchtungsstärke, während die Leerlaufspannung sich kaum vergrößert.  
Die Verschiebung entlang der y-Achse (zu geringeren Strömen) bei kleineren Beleuchtungsstärken ist dadurch zu erklären, dass weniger Elektronen-Loch-Paare durch ankommende Photonen gebildet werden. Es stehen somit weniger Ladungsträger zur Verfügung.
5.  
Der MPP verschiebt sich bei steigender Beleuchtungsstärke hauptsächlich entlang der Ordinate zu größeren Leistungen. Die MPP-Spannung verändert sich nur unwesentlich.



## Vorbetrachtung: 7.1 / 7.2 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der vorinstallierte Rotor (30°, optimiertes Profil) kann verwendet werden
- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss des Powermoduls an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (rot an rot, schwarz an schwarz)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Beim Messen der Spannung sollte darauf geachtet werden, dass die Messwerte erst dann abgelesen und in die Tabelle eingetragen werden, wenn sich der angezeigte Wert am Messgerät nicht mehr ändert.
- Es ist zu empfehlen, die Messung mit kleiner Netzspannung zu beginnen und diese dann zu erhöhen, da so eine schnellere Stabilisierung der Messwerte möglich ist.
- Lernziele:
  - Erkennen des Zusammenhangs von Windgeschwindigkeit und Spannung des Windgenerators
  - Arbeit mit Messgeräten festigen (Spannungsmessung)
  - Der phänomenologische Versuch ist für Schüler der fünften und sechsten Klasse geeignet, ggf. als Einstiegsexperiment in die Windenergie.
  - Der Versuch 7.2 (Spannungsmessung) ist gut für siebte und achte Klasse geeignet, um den Umgang mit Messgeräten zu festigen.
- Vorwissen:
  - Die Schüler wissen, dass eine höhere Netzspannung am Winderzeuger eine höhere Windgeschwindigkeit mit sich führt.
  - Die Schüler wissen, dass eine heller leuchtende Glühlampe für eine höhere Spannung am Windgenerator steht
- Die angegebenen Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können variieren.
- Ein typischer Fehler beim Aufbau der Windversuche: Windturbine um 90° gedreht aufgesteckt
- Die Windturbine startet bei etwa 5V am Powermodul
- Der Versuch kann auch alternativ mit der LED durchgeführt werden. Diese fängt an, bei etwa 5,5V zu leuchten und leuchtet bei 8V schon sehr hell.
- Auch Hupe und Motor können im qualitativen Versuch genutzt werden

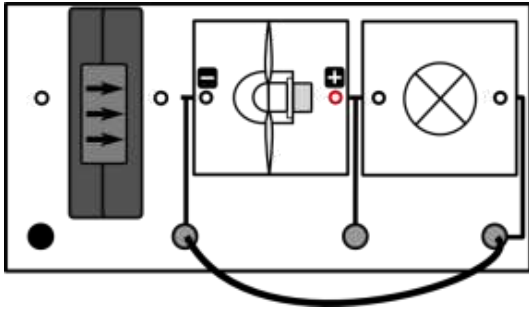


## 7.1 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (qualitativ)

### Aufgabe

Untersuche die Helligkeit einer Glühlampe, die durch eine Windturbine betrieben wird.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeuger mit PowerModul
- 1 Windturbinenmodul
- 1 Dreiblatt-Rotor (Anstellwinkel 30°, optimiertes Profil)
- 1 Glühlampenmodul
- 3 Kabel

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger und schalte beide Module ein. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Erhöhe die Spannung am Winderzeuger mithilfe des PowerModuls. Beginne bei 4V.
3. Beobachte, wie sich die Helligkeit der Glühlampe verändert, wenn du die Spannung am Winderzeuger änderst und trage deine Beobachtungen in die Tabelle ein.

### Auswertung

Spannung am Winderzeuger (V)	Die Glühlampe leuchtet...		
	hell	schwach	gar nicht
4			x
6			x
8		x	
10		x	
12	x		

Vervollständige nun den angegebenen Text:

Bei größerer Spannung am Winderzeuger ist die Windgeschwindigkeit **größer**.

Je **größer** die Windgeschwindigkeit ist, desto heller leuchtet auch die Glühlampe.

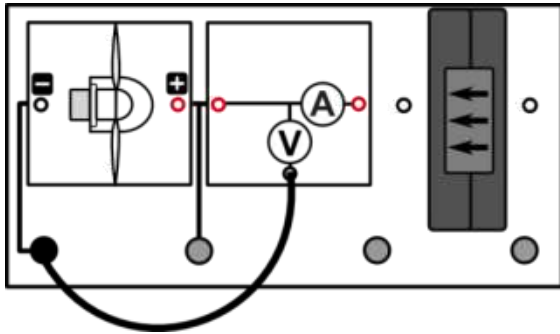


## 7.2 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (quantitativ)

### Aufgabe

Untersuche die Spannung am Generator, wenn die Windgeschwindigkeit am Winderzeuger verändert wird.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeuger mit PowerModul
- 1 Windturbinenmodul
- 1 Dreiblatt-Rotor (Anstellwinkel 30°, optimiertes Profil)
- 1 AV-Modul
- 3 Kabel

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger und schalte beide Module ein. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Verändere die Windgeschwindigkeit durch Variation der Spannung des PowerModuls  $U_{\text{Pow}}$  am Winderzeuger. Notiere deine Beobachtungen.
3. Miss nun die Spannung an der Windturbine  $U_{\text{gen}}$  jeweils für verschiedene Windgeschwindigkeiten (siehe Tabelle) und trage deine Werte in die Tabelle ein. Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus.

### Beobachtung

Je geringer die Spannung am Netzteil ist, desto geringer ist die Generatorspannung.

Das bedeutet, je geringer die Windgeschwindigkeit, desto geringer ist die Generatorspannung.

### Messwerte

$U_{\text{Pow}}$ (V)	12	11	10	9	8	7	6	5
$v$ (m/s)	6,6	6,2	5,7	5,2	4,6	4,0	3,4	2,7
$U_{\text{gen}}$ (V)	4,2	3,9	3,6	3,3	2,9	2,5	2,0	1,5

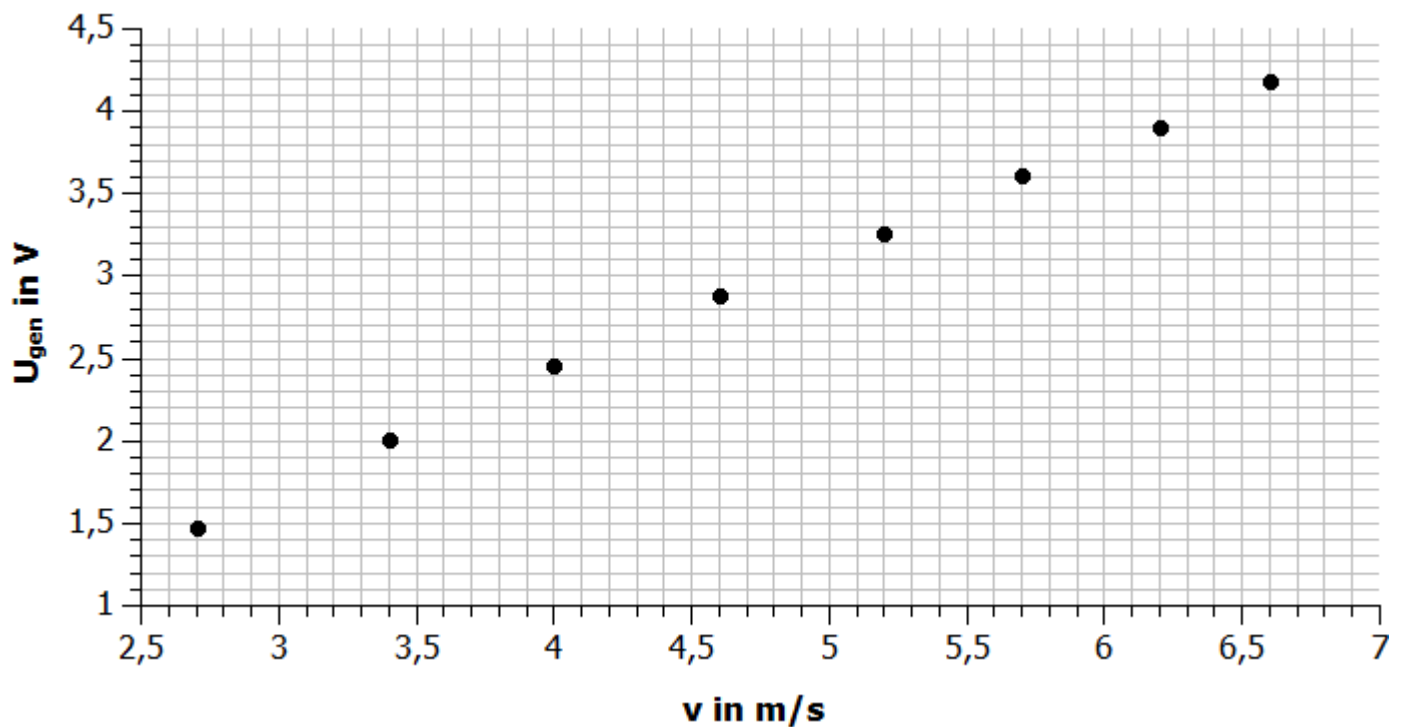


## 7.2 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (quantitativ)

## Auswertung

1. Trage deine Werte in das vorgegebene Diagramm ein.
2. Beschreibe den Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit und der Spannung  $U_{\text{gen}}$  an der Windturbine.

## Diagramm



## Auswertung

2.

Bei größerer Windgeschwindigkeit (größere Netzspannung am Winderzeuger) wird auch eine größere Spannung an der Windturbine erzeugt. (Ein linearer Zusammenhang zwischen Spannung und Windgeschwindigkeit kann vermutet werden.)





## Vorbetrachtung: 8. Anlaufgeschwindigkeit an einer Windkraftanlage

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der vorinstallierte Rotor (30°, optimiertes Profil) kann verwendet werden
- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss des Powermoduls an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (rot an rot, schwarz an schwarz)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Es ist zu empfehlen, die Messung mit kleiner Netzspannung zu beginnen und diese dann zu erhöhen, da so eine schnellere Stabilisierung der Messwerte möglich ist.
- Die angegebenen Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können variieren.
- Die Windturbine startet bei etwa 5,5 V am Powermodul
  
- Erklärung der Ergebnisse:

Eine Windkraftanlage arbeitet nicht bei jeder Windgeschwindigkeit. Erst ab einer bestimmten Startgeschwindigkeit (Anlaufwindgeschwindigkeit) ist ein Betrieb möglich. Die Trägheit durch Masse und magnetisches Feld im Generator verhindert bei zu geringer Windgeschwindigkeit das Starten der Anlage. Die Anlaufwindgeschwindigkeit soll von den Schülern mithilfe dieses Experimentes bestimmt werden.
  
- Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele:

Das Experiment eignet sich besonders für die Klassenstufen 8 und 9 oder auch für den Einsatz in einem Projekt zur Windenergie in beliebigen Klassenstufen. Es beleuchtet die Starteigenschaften einer Windkraftanlage. Der Einsatz des Experimentes in Themengebieten wie z.B. „Energieversorgung“ ist zu empfehlen, da Einsatzbereiche und Standortvoraussetzungen von Windkraftanlagen in der Auswertung diskutiert werden können.

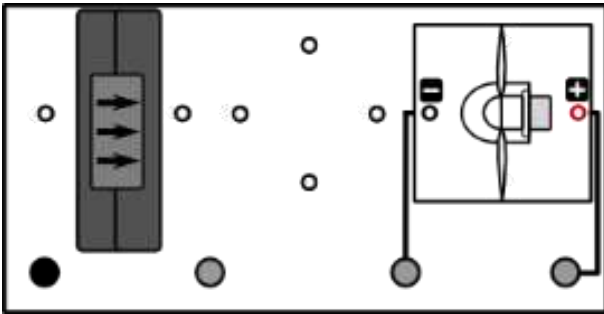


## 8. Anlaufgeschwindigkeit an einer Windkraftanlage

### Aufgabe

Untersuche, wie groß die Windgeschwindigkeit sein muss, damit die Windkraftanlage starten kann.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeuger mit PowerModul
- 1 Windturbinenmodul
- 1 Dreiblatt-Rotor (Anstellwinkel 30°, optimiertes Profil)
- 2 Kabel

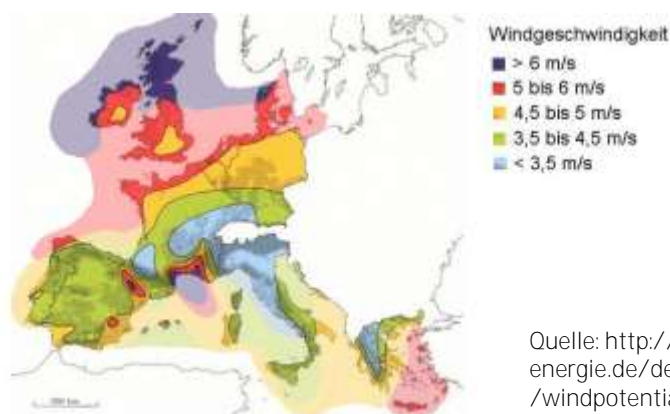
Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Benutze den Fingerschutz.

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger und schalte beide Module ein. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Stelle verschiedene Spannungen  $U$  am PowerModul ein und beobachte die Windkraftanlage.
3. Ermittle die Startgeschwindigkeit der Windkraftanlage. Entnimm den Wert dem folgenden Diagramm (die Spannung  $U$  gibt die Spannung am PowerModul an).

### Auswertung

1. Ziehe aus deinen Erkenntnissen Schlussfolgerungen für den Betrieb realer Windkraftanlagen.
2. Informiere dich über die Startgeschwindigkeiten realer Windkraftanlagen und vergleiche diese mit deinen ermittelten Werten. Erkläre die Unterschiede.
3. In der angegebenen Karte sind durchschnittliche Windgeschwindigkeiten in Westeuropa dargestellt. Begründe anhand dieser Darstellung, in welchen Gebieten Windkraftanlagen effizient und in welchen Gebieten sie nicht effizient eingesetzt werden können.





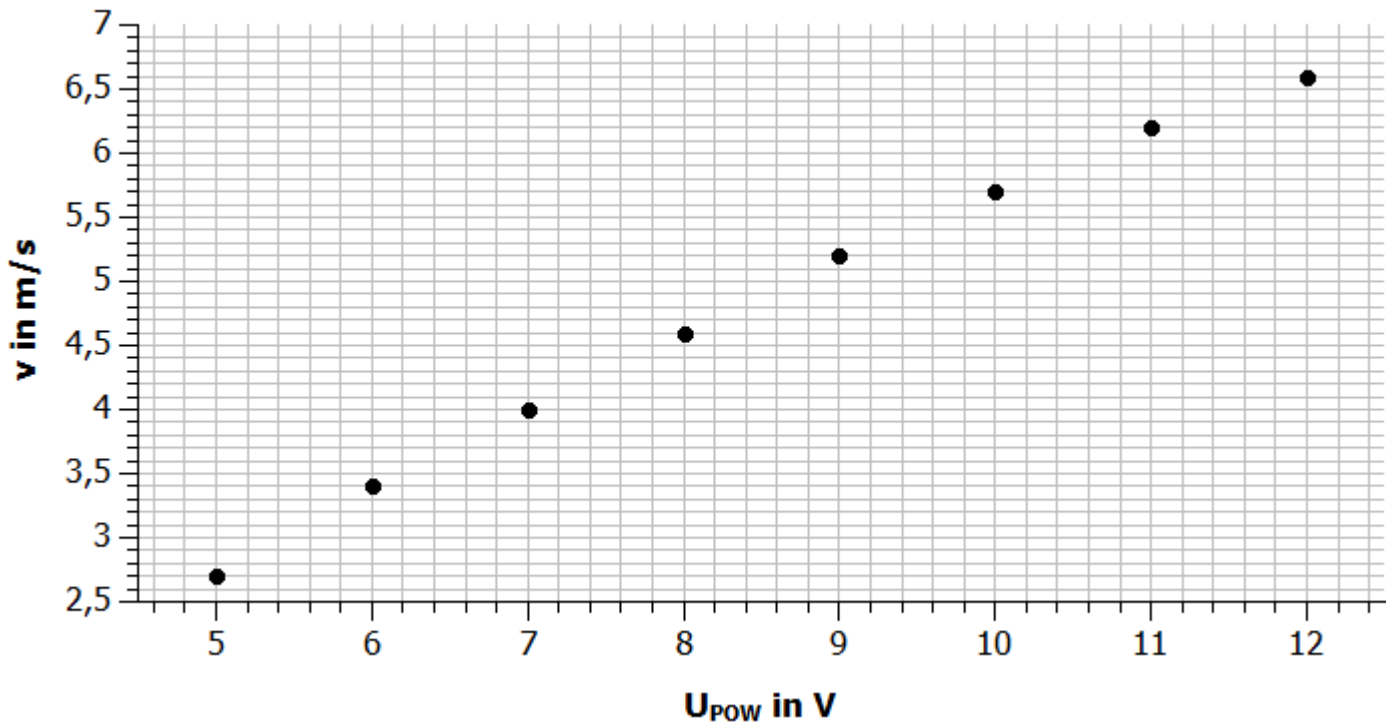
## 8. Anlaufgeschwindigkeit an einer Windkraftanlage

### Messwerte

PowerModul-Spannung bei der die Windkraftanlage startet:  $U_g = 5,5V$

Anlaufwindgeschwindigkeit:  $v_a = 3m/s$

### Diagramm



### Auswertung

1.

Eine Windkraftanlage beginnt erst ab einer genügend großen Windgeschwindigkeit sich zu drehen. Der Betrieb von Windkraftanlagen ist also nur dann effizient, wenn an einem Standort genügend große Windgeschwindigkeiten über einen großen Zeitraum vorhanden sind.

2.

Reale Windkraftanlagen starten bei Windgeschwindigkeiten von ca. 2-3 m/s (je nach Modell). Die hier genutzte Windkraftanlage startet bei ca. 5,5m/s. Die Startgeschwindigkeit ist also höher als bei einer realen Anlage.

Mögliche Gründe dafür könnten sein:

- keine optimale Form der Rotorblätter
- Reibung im Inneren des Motors ist zu groß
- Strömung des Winderzeuger zu verwirbelt



## 8. Anlaufgeschwindigkeit an einer Windkraftanlage

## Auswertung

3.

Effizient einsetzbar: Küstengebiete von Nord- und Ostsee, Britische Inseln, frz. Mittelmeerküste, Dänemark: (dunkelblau bis rot) → Nutzung von Windenergie effizient (durchschnittl. Windgeschwindigkeit von über 5 bis 6 m/s)

und: nördl. Gebiete Deutschlands und Frankreichs, Gebiete am Mittelmeer (gelb bis grün) → Windenergienutzung möglich, aber weniger effizient.

Nicht effizient einsetzbar: Nord- und Mittelitalien, Nordgriechenland, Mittel- und Ostfrankreich  
Hochgebirge: Alpen, Pyrenäen.



## Vorbetrachtung: 9.1 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten eines Verbrauchers

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der vorinstallierte Rotor (30°, optimiertes Profil) kann verwendet werden
- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss des Powermoduls an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (rot an rot, schwarz an schwarz)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Beim Messen der Spannung sollte darauf geachtet werden, dass die Messwerte erst dann abgelesen und in die Tabelle eingetragen werden, wenn sich der angezeigte Wert am Messgerät nicht mehr ändert.
- Die angegebenen Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können variieren.
- Ein typischer Fehler beim Aufbau der Windversuche: Windturbine um 90° gedreht aufgesteckt
- Statt des Motormoduls kann als Verbraucher auch das Hupen- bzw. Glühlampenmodul verwendet werden
- Erklärung der Ergebnisse:
 

Wird ein Generator ohne Belastung, also im Leerlauf (ohne angeschlossenen Verbraucher) betrieben, so liefert er eine bestimmte Spannung. Der anliegende Widerstand am Generator kann als unendlich groß betrachtet werden und es fließt (nahezu) kein Strom im Generator. Wird nun ein Widerstand (z.B. Motormodul) an den Generator angeschlossen, nimmt der Gesamtwiderstand am Generator ab. Es fließt ein Strom durch Widerstand und Generator. Dieser führt zur Selbstinduktion in den Spulen des Generators. Nach dem Lenzschen Gesetz ist die dadurch induzierte Spannung der Ursache ihrer Entstehung entgegen gerichtet und verringert die Generatorspannung. Der Generator wird also durch abgebremst und es entsteht eine Spannungsdifferenz zwischen dem Wert im Leerlauf und dem bei angeschlossenem Widerstand.
- Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele
 

Das Experiment eignet sich besonders für die Klassenstufen 8 und 9 im Themenbereich elektromagnetische Induktion. Die Schüler sollen ihre vorhandenen Kenntnisse zur Elektrizitätslehre für die Begründung der Beobachtungen am Windgeneratormodell anwenden. Außerdem festigen die Schüler ihre Fähigkeiten im Umgang mit Messgeräten in einem übersichtlichen Versuchsaufbau.

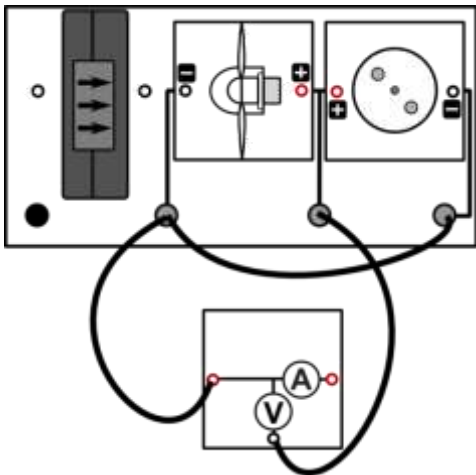


## 9.1 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten eines Verbrauchers

### Aufgabe

Untersuche, wie sich die erzeugte Generatorspannung ändert, wenn an den Generator ein Verbraucher (Widerstand) angeschlossen wird.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeugermodul mit PowerModul
- 1 Windturbinenmodul
- 1 Dreiblatt-Rotor (Anstellwinkel 30°, optimiertes Profil)
- 1 Motormodul
- 1 AV-Modul
- 5 Kabel

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

1. Baue den Versuchsaufbau vorerst ohne das Motormodul auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Stelle am PowerModul eine Spannung von 12V ein und starte den Winderzeuger. Miss die Generatorspannung an der Windturbine ohne angeschlossenen Motor ( $U_{\text{Leerlauf}}$ ). Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus.
3. Stecke nun den Motor wie abgebildet an den vorgesehenen Steckplatz und notiere deine Beobachtung. Miss anschließend die Spannung, die mit angeschlossenem Motor ( $U_{\text{Last}}$ ) entsteht.

### Beobachtungen

Anhand der Geräusche kann man vermuten, dass der Rotor sich langsamer dreht, wenn ein Verbraucher wie der Motor angeschlossen wird.

---



---

### Auswertung

1. Berechne die Differenz zwischen der Leerlaufspannung und der Spannung unter Last durch Anschluss des Motors.
2. Erkläre, warum sich die Spannung einer Wechselspannungsquelle (hier ein Generator) ändert, wenn an diese ein Verbraucher angeschlossen wird.





## Vorbetrachtung: 9.2 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten verschiedener Verbraucher

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der vorinstallierte Rotor (30°, optimiertes Profil) kann verwendet werden
- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss des Powermoduls an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (rot an rot, schwarz an schwarz)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Beim Messen der Spannung sollte darauf geachtet werden, dass die Messwerte erst dann abgelesen und in die Tabelle eingetragen werden, wenn sich der angezeigte Wert am Messgerät nicht mehr ändert.
- Die angegebenen Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können variieren.
- Ein typischer Fehler beim Aufbau der Windversuche: Windturbine um 90° gedreht aufgesteckt
- Beim Aufstecken der Hupe und der LED muss auf die richtige Polarität geachtet werden.
- Erklärung der Ergebnisse:

Im Leerlauf liefert ein Generator maximale Spannung und der angeschlossene Widerstand ist nahezu unendlich groß. Es fließt kein Strom durch den Generator. Wird einer der vier Verbraucher angeschlossen, so wird der Widerstand verringert und es fließt ein Strom durch Verbraucher und Generator. Aufgrund des fließenden Stromes kommt es durch Selbstinduktion in den Spulen des Generators zu einem Abbremsen und damit zur Verringerung der Generatorspannung. Je größer der angeschlossene Widerstand, desto kleiner ist die Spannungsdifferenz und auch der fließende Strom. Der Generator wird bei größerem Lastwiderstand weniger stark abgebremst als bei geringem Lastwiderstand. Im Beispiel verhalten sich die Widerstände folgendermaßen:  $R_{\text{Leerlauf}} > R_{\text{Hupe}} > R_{\text{Motor}} > R_{\text{Glühlampe}} > R_{\text{LED}}$

Dabei ist allerdings noch zu beachten, dass der Widerstand der Bauelemente nicht konstant ist. Bei der Glühlampe ist er beim ersten Einstecken geringer und vergrößert sich, wenn die Glühlampe länger leuchtet.

- Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele:

Das Experiment eignet sich für die Klassenstufen 8 und 9 im Themenbereich elektromagnetischen Induktion als experimentelle Aufgabe mit erhöhtem Schwierigkeitsgrad. Die Schüler sollen ihre Kenntnisse der elektromagnetischen Induktion und des elektrischen Widerstandes zur Begründung der Beobachtungen anwenden. Es wird insbesondere das Verhalten von Widerständen im Gleichstromkreis beleuchtet und untersucht. Die Schüler sollten in diesem Zusammenhang auch auf mögliche Fehlerquellen (z.B. die Änderung des Widerstandes der Verbraucher während der Messung) hingewiesen werden.



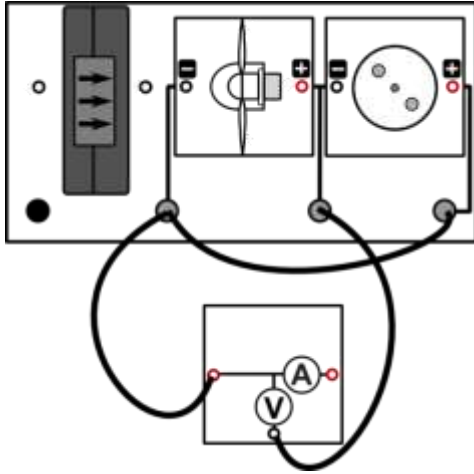


## 9.2 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten verschiedener Verbraucher

### Aufgabe

Untersuche, wie sich die erzeugte Spannung ändert, wenn an den Generator verschiedenartige Verbraucher angeschlossen werden.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeugermodul mit PowerModul
- 1 Windturbinenmodul
- 1 Dreiblatt-Rotor (Anstellwinkel 30°, optimiertes Profil)
- 1 Hupenmodul
- 1 LED-Modul
- 1 Motormodul (mit Drehscheibe)
- 1 Glühlampenmodul
- 5 Kabel
- 1 AV-Modul

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

1. Baue den Versuchsaufbau vorerst ohne eines der Verbrauchermodule auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Stelle am PowerModul eine Spannung von 12V ein und starte den Winderzeuger.
3. Miss die Generatorspannung an der Windturbine, wenn kein Modul angeschlossen ist ( $U_{\text{Leerlauf}}$ ). Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus.
4. Stecke nun nacheinander Hupe, Motor, LED und Glühlampe an den vorgesehenen Steckplatz, notiere deine Beobachtungen und die jeweilige Spannung, die am Generator erzeugt wird. Achte bei der Hupe und der LED auf die richtige Polarität zwischen Windturbine und Gerät (plus an plus, minus an minus).

### Beobachtungen

Anhand der Geräusche kann man vermuten, dass sich die Windturbine langsamer dreht, wenn ein Verbraucher angeschlossen wird. Die unterschiedlichen Module verringern die Generatorspannung unterschiedlich stark.

### Auswertung

1. Berechne die Spannungsdifferenz für die einzelnen Geräte
2. Benenne die Bauteile, die zur größten bzw. kleinsten Änderung der Spannung am Generator führen.
3. Erkläre das beobachtete Verhalten der Spannungen.
4. Ziehe aus den Messergebnissen Schlussfolgerungen für die Widerstände der einzelnen Geräte. Vergleiche sie untereinander ( $>$ ,  $<$ ,  $=$ ).



## 9.2 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten verschiedener Verbraucher

### Messwerte

$$U_{\text{Leerlauf}} = 4,2 \text{ V}$$

$$U_{\text{Motor}} = 3,2 \text{ V}$$

$$U_{\text{Hupe}} = 4,1 \text{ V}$$

$$U_{\text{Glühlampe}} = 3,1 \text{ V}$$

$$U_{\text{LED}} = 2,5 \text{ V}$$

### Auswertung

1.

$$\Delta U_{\text{Hupe}} = 0,1 \text{ V}$$

$$\Delta U_{\text{LED}} = 1,7 \text{ V}$$

$$\Delta U_{\text{Motor}} = 1,0 \text{ V}$$

$$\Delta U_{\text{Glühlampe}} = 1,1 \text{ V}$$

2.

Kleinste Änderung: Hupe-Modul

---

Größte Änderung: LED-Modul

---

3.

Durch Anschluss eines Verbrauchers wird der Stromkreis am Generator geschlossen. Der Widerstand wird verringert (denn im Leerlauf ist der Widerstand unendlich groß).

---

Im geschlossenen Stromkreis fließt ein Strom, der den Generator (durch Selbstinduktion) abbremst. Damit verringert sich die erzeugte Spannung.

---

4.

Je kleiner der Widerstand eines Bauteiles ist, desto größer ist der Strom, der durch dieses fließt. Durch den größeren Stromfluss ist die entstehende Spannungsdifferenz am größten. Die LED hat also den kleinsten Widerstand, die Hupe den größten.

---

(Achtung! Der Widerstand der Bauteile ist nicht konstant, die Änderungen werden hier vernachlässigt. Die Schüler müssen aber darauf hingewiesen werden.)

---

$$R_{\text{Leerlauf}} > R_{\text{Hupe}} > R_{\text{Motor}} > R_{\text{Glühlampe}} > R_{\text{LED}}$$



## Vorbetrachtung: 10.1 Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblatt-Rotoren (qualitativ)

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss des Powermoduls an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (rot an rot, schwarz an schwarz)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Ein typischer Fehler beim Aufbau der Windversuche: Windturbine um 90° gedreht aufgesteckt
- Der Austausch der Rotorblätter darf nur bei ausgeschaltetem Winderzeuger durchgeführt werden, da sonst Verletzungsgefahr besteht.
- Zum Starten des Zweiblatt-Rotors ist unter Umständen ein sanfter Stoß erforderlich, um die Trägheit des Generators zu überschreiten.
- Teilweise muss man einige Sekunden warten, bis die Rotoren sich stabilisiert haben und die Lampe beginnt, zu leuchten (vor allem beim Dreiflügler)
  
- Erklärung der Ergebnisse
 

Der Zweiblatt-Rotor lässt die Glühlampe gar nicht aufleuchten. Dreiblatt- und Vierblatt-Rotor bewirken eine starke Helligkeit der Glühlampe. Diese Erscheinung ist ein Resultat der verstärkten Auftriebskraft bei einem Rotor mit größerer Flügelanzahl. An jedem einzelnen Rotorblatt wirkt eine Auftriebskraft, die die Drehbewegung des Rotors verstärkt. Diese Kräfte addieren sich, je mehr Rotorblätter am Windgenerator befestigt sind. Dieser Zusammenhang gilt nicht für beliebig viele Rotorblätter, da bei zu großer Anzahl auch der Luftwiderstand sehr groß ist und damit die erzeugte Drehbewegung abgebremst wird. Für zwei, drei und vier Rotorblätter ist der Zusammenhang allerdings gegeben
  
- Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele
 

Dieses Experiment eignet sich für den Einsatz in den Klassenstufen 5 bis 7 des Anfangsunterrichtes in Physik oder naturwissenschaftlichen Grundlagenfächern. Es werden die verschiedenen Rotorarten anschaulich miteinander verglichen und die Ergebnisse auf die aktuelle Nutzung von Windkraftanlagen übertragen. Durch den einfachen Aufbau ist das Experiment zum Üben des selbstständigen Experimentierens zu empfehlen.

Die Zusatzaufgabe leistet einen Beitrag zur Übung des fachsprachlichen Argumentierens mithilfe erster physikalischer Kenntnisse.

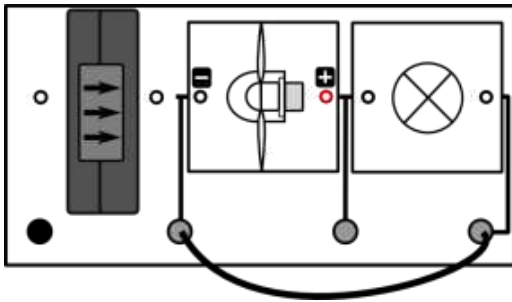


## 10.1 Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblatt-Rotoren (qualitativ)

### Aufgabe

Untersuche die Helligkeit einer Glühlampe, wenn diese durch einen Windgenerator mit zwei, drei oder vier Rotorblättern betrieben wird.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeugermodul mit PowerModul
- 1 Windturbinenmodul
- 1 Rotor mit zwei, drei und vier Rotorblättern (Anstellwinkel 25°, optimiertes Profil)
- 1 Glühlampenmodul
- 3 Kabel

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

1. Baue den Versuch nach obiger Anordnung auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Setze den Zweiblatt-Rotor an das Windturbinenmodul und schalte den Winderzeuger bei einer PowerModul-Spannung von 7,5V ein. Beobachte die Glühlampe. Verwende für den Zweiblatt-Rotor die Vierblatt-Nabe.
3. Wechsle nun die Rotorflügel und stecke nacheinander den Drei- und den Vierblatt-Rotor an das Windturbinenmodul und beobachte ebenfalls die Glühlampe. Verwende die Dreiblatt-Nabe für den Dreiblatt-Rotor.
4. Notiere deine Beobachtungen und setze dazu in die jeweiligen Felder der Tabelle ein Kreuz.

### Beobachtung

Die Glühlampe leuchtet...

	hell	schwach	gar nicht
2 Blätter			x
3 Blätter	x		
4 Blätter	x		

### Auswertung

1. Beschreibe, wie sich die Helligkeit der Glühlampe verändert, wenn sie durch Rotoren unterschiedlicher Flügelzahl betrieben wird.

Zusatz: In Deutschland kommen für Windkraftanlagen hauptsächlich Dreiblatt-Rotoren zum Einsatz. Versuche, eine mögliche Erklärung zu finden



## 10.1 Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblatt-Rotoren (qualitativ)

### Auswertung

1.

Je mehr Rotorblätter an der Windkraftanlage befestigt sind, desto heller leuchtet die Glühlampe. Bei zwei Rotorblättern leuchtet die Glühlampe kaum oder nur sehr schwach.

Zusatz:

Der Unterschied zwischen Drei- und Vierblatt-Rotor ist nicht besonders groß. Die Dreiblatt-Rotoren benötigen allerdings weniger Material (nur 3, statt 4 Flügel). Deshalb werden in Deutschland hauptsächlich Dreiblatt-Rotoren verwendet.

Hinweis für den Lehrer: Außerdem verteilen sich die Kräfte, die bei der Drehbewegung auf die Rotorblätter wirken, beim Dreiblatt-Rotor besser. Beim Vierblatt-Rotor treten beim Vorbeidrehen am Turm durch die Verwirbelungen Kräfte an diesem und dem direkt gegenüberliegenden Flügel auf. Bei Dreiblatt-Rotoren wird die Kraft, die sonst auf den entgegengesetzten Flügel wirkt, auf die beiden anderen Flügel gleichmäßig verteilt. Der Materialverschleiß ist dadurch geringer.



## Vorbetrachtung: 10.2 Vergleich von Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblatt-Rotoren (quantitativ)

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss des Powermoduls an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (rot an rot, schwarz an schwarz)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Die angegebenen Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können variieren.
- Ein typischer Fehler beim Aufbau der Windversuche: Windturbine um 90° gedreht aufgesteckt
- Der Austausch der Rotorblätter darf nur bei ausgeschaltetem Winderzeuger durchgeführt werden, da sonst Verletzungsgefahr besteht.
- Zum Starten des Zweiblatt-Rotors ist unter Umständen ein sanfter Stoß erforderlich, um die Trägheit des Generators zu überschreiten.
- Die einzelnen Rotoren brauchen unterschiedlich viel Zeit, bis sie eine konstante Umfangsgeschwindigkeit und damit eine konstante Spannung erzeugen. Die Messwerte sollten erst notiert werden, wenn sie sich nicht mehr ändern.

#### Erklärung der Ergebnisse

Der Zweiblatt-Rotor erzeugt die geringste Leistung am Generator. Drei- und Vierblatt-Rotor erreichen nahezu gleich große Leistungswerte, wobei der Dreiblatt-Rotor vor allem bei höheren Windgeschwindigkeiten geringfügig bessere Ergebnisse liefert. Diese Erscheinung ist einerseits ein Resultat der verstärkten Auftriebskraft bei einem Rotor mit größerer Flügelzahl und andererseits ein günstiger Widerstand für den Generator beim Betrieb mit 3 Rotorblättern. An jedem einzelnen Rotorblatt wirkt die Auftriebskraft, welche die Drehbewegung des Rotors verstärkt. Diese Kräfte addieren sich, je mehr Rotorblätter am Windrotor befestigt sind<sup>1</sup>. Am Zweiblatt-Rotor wirkt also die geringste Auftriebskraft, er bewirkt somit auch die langsamste Drehung und erzeugt die geringste Leistung. Der Dreiblatt-Rotor erzeugt eine größere Leistung. Am Dreiblatt-Rotor wird eine gleichgroße oder geringfügig größere Spannung erzeugt als bei einem Vierblatt-Rotor, was vor allem aus der Windgeschwindigkeit am Rotor folgt und der günstigeren Lage auf der U-I-Kennlinie.

<sup>1</sup> Dieser Zusammenhang gilt nicht für beliebig viele Rotorblätter, da bei zu großer Anzahl auch der Luftwiderstand sehr groß ist und damit die erzeugte Drehbewegung abgebremst wird.



## Vorbetrachtung: 10.2 Vergleich von Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblatt-Rotoren (quantitativ)

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele

Dieses Experiment eignet sich für den Einsatz in den Klassenstufen 7 bis 9. Auch die Nutzung in einem Projekt zur Windenergie oder zu regenerativen Energien ist zu empfehlen. Es werden die verschiedenen Rotorarten anschaulich miteinander verglichen und die Ergebnisse auf die aktuelle Nutzung von Windkraftanlagen übertragen. Die Schüler festigen ihre Kenntnisse im Umgang mit Messgeräten und in der Interpretation von Diagrammen. Sie übertragen ihre Erkenntnisse aus dem Experiment auf Sachverhalte an realen Windkraftanlagen und üben sich dabei im Umgang mit der Fachsprache des Physikunterrichtes.

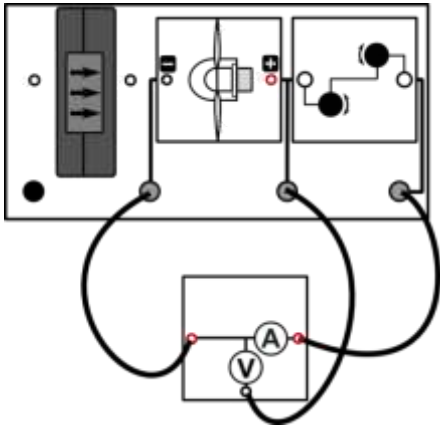


## 10.2 Vergleich von Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblatt-Rotoren (quantitativ)

### Aufgabe

Untersuche die Leistung des Windturbinenmoduls bei unterschiedlicher Anzahl von Rotorblättern.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeugermodul mit PowerModul
- 1 Windturbinenmodul
- 1 Rotor mit zwei, drei und vier Rotorblättern (Anstellwinkel 25°, optimiertes Profil)
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 5 Kabel

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Stelle das Potentiometer auf einen Widerstand von  $100 \Omega$  ein.
3. Stecke den Zweiblatt-Rotor auf das Windturbinenmodul und schalte den Winderzeuger bei einer PowerModulspannung  $U_{\text{POW}}$  von 5V ein.
4. Miss die erzeugte Spannung  $U$  und Stromstärke  $I$  an der Windturbine. Verwende das AV-Modul im Stromstärke-Spannungsmodus.
5. Verändere die Spannung am Powermodul (Werte siehe Tabelle) und wiederhole die Messung von  $U$  und  $I$  für die weiteren gegebenen Spannungen  $U_{\text{POW}}$ . Trage alle deine Werte in die Tabelle ein.
6. Wiederhole die Messungen für den Dreiblatt- und Vierblatt-Rotor.
7. Berechne jeweils die Leistung  $P$  der Windkraftanlage ( $P=U \cdot I$ ) und trage deine Werte in die jeweilige Tabelle ein.

### Messwerte

Zweiblatt-Rotor

$U_{\text{POW}}$ (V)	5	6	7	8	9	10	11	12
$v$ (m/s)	2,7	3,4	4,0	4,6	5,2	5,7	6,2	6,6
$U$ (V)	0	1,5	2,0	2,5	2,9	3,2	3,4	3,7
$I$ (mA)	0	16,7	22,1	26,9	30,8	35,0	37,4	40,0
$P$ (mW)	0	25,1	44,2	67,3	89,3	112	127,2	148





## 10.2 Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblatt-Rotoren (quantitativ)

## Messwerte

Dreiblatt-Rotor:

$U_{POW}$ (V)	5	6	7	8	9	10	11	12
$v$ (m/s)	2,7	3,4	4,0	4,6	5,2	5,7	6,2	6,6
$U$ (V)	0	1,8	2,3	2,8	3,2	3,6	3,9	4,3
$I$ (mA)	0	19,5	25,0	30,0	34,7	39,2	42,6	46,6
$P$ (mW)	0	35,1	57,5	84	111,0	141,1	166,1	200,4

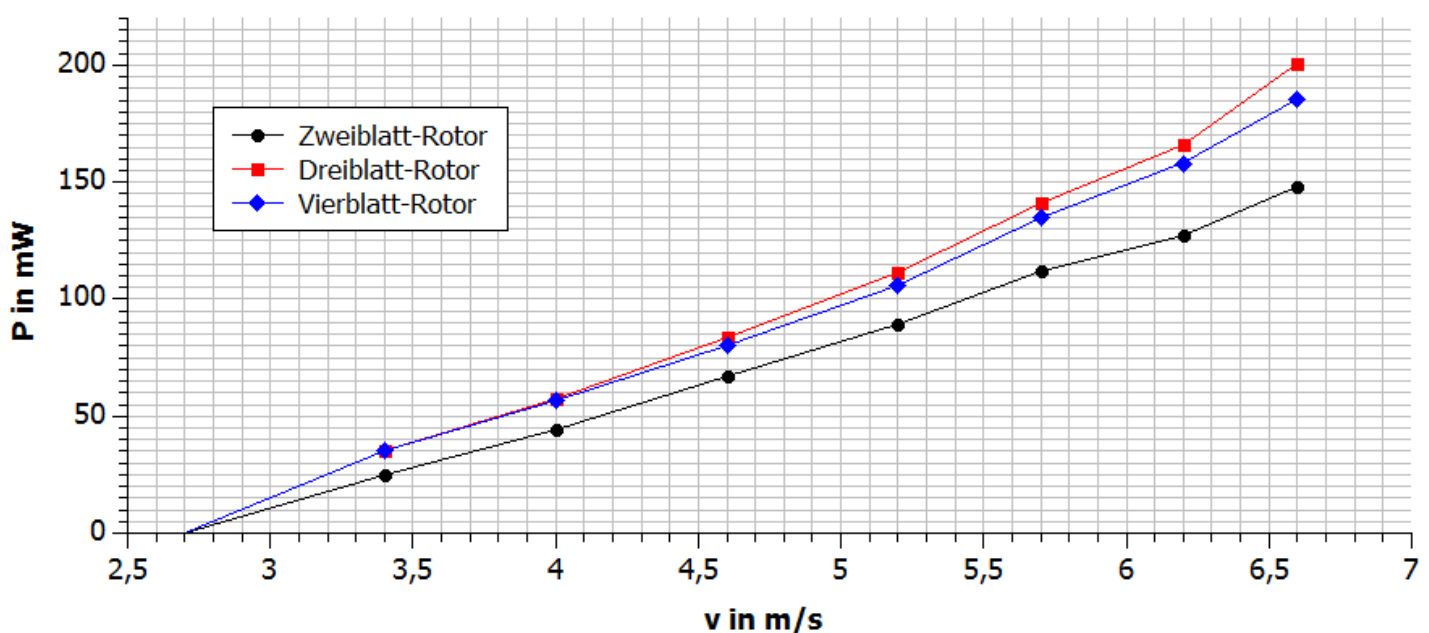
Vierblatt-Rotor:

$U_{POW}$ (V)	5	6	7	8	9	10	11	12
$v$ (m/s)	2,7	3,4	4,0	4,6	5,2	5,7	6,2	6,6
$U$ (V)	0,1	1,8	2,3	2,7	3,1	3,5	3,8	4,1
$I$ (mA)	1,4	19,6	24,8	29,6	34,2	38,5	41,6	45,2
$P$ (mW)	0,1	35,3	57,0	79,9	106,0	134,8	158,1	185,3

## Auswertung

1. Trage deine Messwerte in das entsprechende Diagramm ein.
2. Beschreibe die Messpunkte. Mit welcher Anzahl an Rotorblättern kann die größte Leistung erzeugt werden, welche erzeugt die geringste?
3. Begründe deine Messergebnisse.

## Diagramm





## 10.2 Vergleich von Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblatt-Rotoren (quantitativ)

## Auswertung

2.

Die größte Leistung wurde (hier) mit dem Dreiblatt-Rotor erzeugt. Mit dem Zweiflügler lassen sich nur geringere Leistungen erzielen.

3.

Der Dreiblatt-Rotor ist bei der hier verwendeten Windturbine am effektivsten, da er mehr kinetische Energie des Windes aufnehmen kann als der Zweiblatt-Rotor aber bei seiner Drehung weniger bremsende Verwirbelungen erzeugt als der Vierblatt-Rotor.



## Vorbetrachtung: 11. Kennlinie einer Windkraftanlage mit Gleichstromgenerator

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der vorinstallierte Rotor (30°, optimiertes Profil) kann verwendet werden
- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss des Powermoduls an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (rot an rot, schwarz an schwarz)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Beim Messen der Spannung und Stromstärke sollte darauf geachtet werden, dass die Messwerte erst dann abgelesen und in die Tabelle eingetragen werden, wenn sich der angezeigte Wert am Messgerät nicht mehr ändert.
- Hinweis: Die angegebenen Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können variieren.
- Ein typischer Fehler beim Aufbau der Windversuche: Windturbine um 90° gedreht aufgesteckt

#### • Erklärung der Ergebnisse

Die Strom-Spannungskennlinie beschreibt eine Kurve, die bei einem bestimmten Spannungswert ein Maximum der Stromstärke erreicht. Mit dem größten Widerstand wird die größte Spannung erzeugt und es fließt der geringste Strom. Verringert man nun den Widerstand, so steigt die Stromstärke. Aufgrund der Selbstinduktion innerhalb des Generators steigt die induzierte Spannung, die aufgrund der **Lenz'schen Regel** durch die Rotation verursachten Spannung entgegenwirkt. Resultierend verringert sich die Gesamtspannung. Da die induzierte Spannung proportional zur Stromstärke ist, hat die U-I-Kennlinie etwa die Form einer Geraden ( $U_{ges} = U_{leerlauf} - U_{ind}$ ).

Aus dem Diagramm mit dargestellter Leistung in Abhängigkeit der Spannung kann ein Leistungsmaximum bei einer bestimmten erzeugten Spannung festgestellt werden. Dieser Wert wird durch Einstellen des Potentiometers auf einen bestimmten Widerstand erreicht. Für reale Windkraftanlagen mit Gleichstromgenerator kann aus diesen Erkenntnissen geschlussfolgert werden, dass für den Betrieb mit maximaler Leistung ein bestimmter fester Widerstand angeschlossen werden muss. Dieser entspricht dabei gerade dem inneren Widerstand des Spulenkörpers im Generator.



## Vorbetrachtung: 11. Kennlinie einer Windkraftanlage mit Gleichstromgenerator

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele

Dieses Experiment eignet sich für den Einsatz in den Klassenstufen 8 bis 9. Für den Einsatz eignet sich ein Themenbereich, der die Kennlinien verschiedener Bauelemente vergleicht und untersucht. Auch die Nutzung in einem Projekt zur Windenergie oder zu regenerativen Energien ist zu empfehlen. Es werden Zusammenhänge zwischen Windenergienutzung und Aufbau der Windkraftanlage thematisiert. Die Schüler verbessern ihre Fertigkeiten im Umgang mit Messgeräten und führen ein vollständiges Protokoll.

Aufgrund der komplexen Zusammenhänge zwischen Strom, Spannung, Leistung und Widerstand ist auch ein Einsatz des Experimentes in der Sekundarstufe II denkbar.

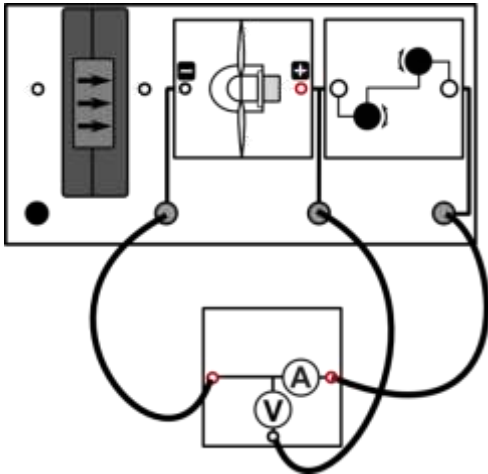


## 11. Kennlinie einer Windkraftanlage mit Gleichstromgenerator

### Aufgabe

Nimm die Strom-Spannungskennlinie des Windrotors auf. Bestimme außerdem den Lastwiderstand, bei dem die maximale Leistung erreicht wird.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeugermodul mit PowerModul
- 1 Windturbinenmodul
- 1 Dreiblatt-Rotor (Anstellwinkel 30°, optimiertes Profil)
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 5 Kabel

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Stelle mithilfe des Potentiometermoduls verschiedene Spannungswerte ein und miss jeweils die zugehörige Stromstärke. Dazu wird zunächst das 1k $\Omega$ -Poti und danach das 100 $\Omega$ -Poti bis zum Maximum gedreht. Verwende das AV-Modul im Strom-Spannungsmodus.
3. Verringere die Spannung in Schritten von je ca. 0,2V und trage deine Messwerte in die Tabelle ein. Warte nach jeder neuen Einstellung des Potentiometers bis Spannung und Stromstärke konstant sind! Miss ebenfalls Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke ohne das Potentiometer. Nutze dazu das AV-Modul im Stromstärkemodus, beziehungsweise Spannungsmodus.

### Messwerte

U (V)	4,0	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2
I (mA)	3,4	10,5	20,5	28,7	35,7	43,3	51	61	69,8	81,3
R ( $\Omega$ )	1176,5	361,9	175,6	118,5	89,6	69,3	54,9	42,6	34,4	27,1
P (mW)	13,6	39,9	73,8	97,6	114,2	129,9	142,8	158,6	167,5	178,9



## 11. Kennlinie einer Windkraftanlage mit Gleichstromgenerator

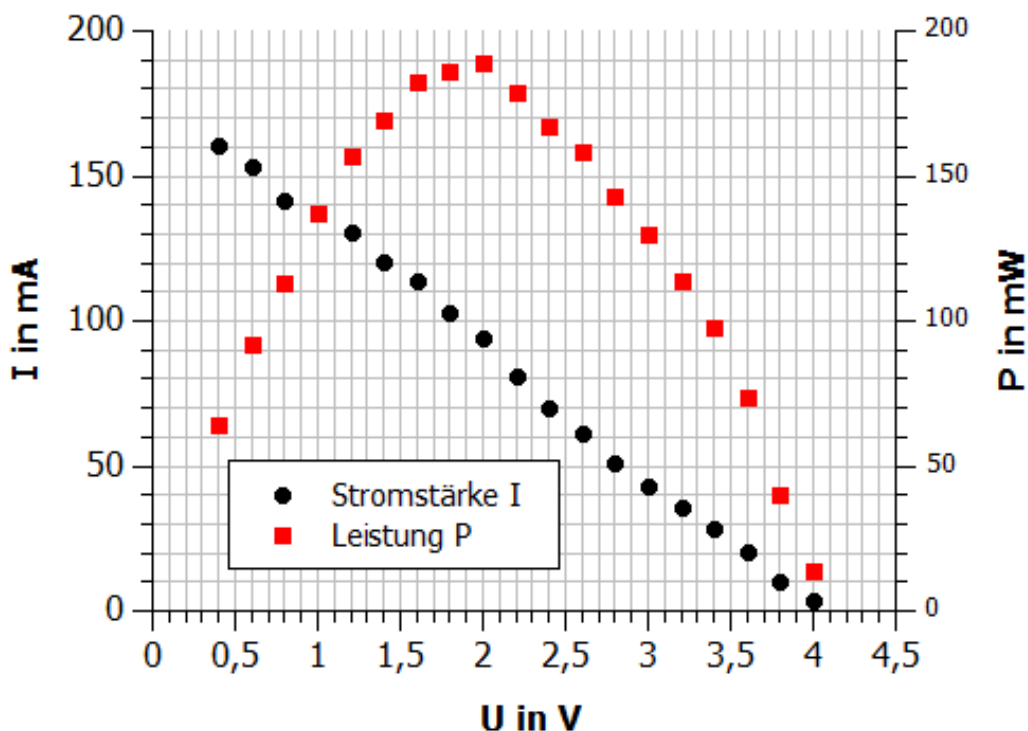
### Messwerte

U (V)	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4
I (mA)	94,5	103,2	114,2	120,7	130,9	137	141,9	153,1	160,5
R ( $\Omega$ )	21,2	17,4	14,0	11,6	9,2	7,3	5,6	3,9	2,5
P (mW)	189,0	185,8	182,7	169,0	157,1	137,0	113,5	91,9	64,2

### Auswertung

1. Berechne für jeden Messpunkt jeweils den Widerstand R und die Leistung P der Windturbine. Trage deine Werte in die Tabelle ein. ( $R=U/I$ ,  $P=U \cdot I$ )
2. Trage deine Messwertpaare in das entsprechende Diagramm ein.
3. Bestimme aus dem Diagramm den Spannungs- und Widerstandswertwert, bei dem die Leistung der Windkraftanlage mit Gleichstromgenerator am größten ist.
4. Erkläre das Absinken der Generatorspannung beim Verringern des Widerstandes.
5. Erläutere die Konsequenzen, welche sich aus diesen Ergebnissen für den Betrieb realer Windkraftanlagen mit Gleichstromgenerator ergeben.
6. Die maximale Leistung einer Windkraftanlage hängt also vom Lastwiderstand am Generator ab. Nenne mögliche Effekte oder physikalische Größen, die ebenfalls einen Einfluss auf die Leistung einer Windkraftanlage haben könnten.

### Diagramm





## 11. Kennlinie einer Windkraftanlage mit Gleichstromgenerator

## Auswertung

3.  $U_{\max} = 2,0\text{V}$        $R_{\max} = 21,2\ \Omega$

4.

Aufgrund der Verringerung des Widerstandes steigt die Stromstärke im Stromkreis. Hierdurch steigt die induzierte Spannung innerhalb des Generators, die aufgrund der Lenz'schen Regel der Generatorspannung entgegenwirkt. Dadurch sinkt die Gesamtspannung und die Rotationsgeschwindigkeit des Rotors sinkt.

5.

Eine Windkraftanlage mit Gleichstromgenerator erreicht ihre maximale Leistung, wenn der Rotor eine bestimmte Spannung erzeugt. Eine Windkraftanlage erreicht ihre maximale Leistung, wenn sie durch einen bestimmten Widerstand belastet wird.

6.

Rotorblattform, Windgeschwindigkeit, Ausrichtung zum Wind, Turmhöhe, Rotorgröße, Anzahl der Rotorblätter



## Vorbetrachtung: 12.1 Einfluss der Windrichtung (qualitativ)

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der vorinstallierte Rotor (30°, optimiertes Profil) kann verwendet werden
- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss des Powermoduls an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (rot an rot, schwarz an schwarz)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Ein typischer Fehler beim Aufbau der Windversuche: Windturbine um 90° gedreht aufgesteckt
- Beim Aufstecken der LED muss auf die richtige Polarität zum Windgenerator geachtet werden.
- Der Versuch ist statt mit einer Leuchtdiode auch mithilfe des Glühlampenmoduls durchführbar. In diesem Fall sollte die PowerModul-Spannung für die besten Effekte 9V betragen.

- Erklärung der Ergebnisse

Wird die Windkraftanlage nicht senkrecht durch den Wind angeströmt, so verringert sich deren Angriffsfläche. Durch die verkleinerte Fläche und die andere Strömungsrichtung verändert sich ebenfalls die resultierende Kraftwirkung auf die Anlage. Die Rotorgeschwindigkeit des Flügelrades verringert sich mit zunehmendem Drehwinkel und damit auch die Leistung der Windkraftanlage, die die Leuchtdiode dann nicht mehr zum Leuchten bringt.

- Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele

Dieses Experiment eignet sich für den Einsatz in den Klassenstufen 5 und 6 des Anfangsunterrichtes in Physik oder naturwissenschaftlichen Grundlagenfächern. Es ist für das Durchführen erster Experimente im Unterricht geeignet, da der Aufbau sehr übersichtlich ist. Den Schülern wird spielerisch die Abhängigkeit der Windkraftanlage von der vorherrschenden Windrichtung nahe gebracht.



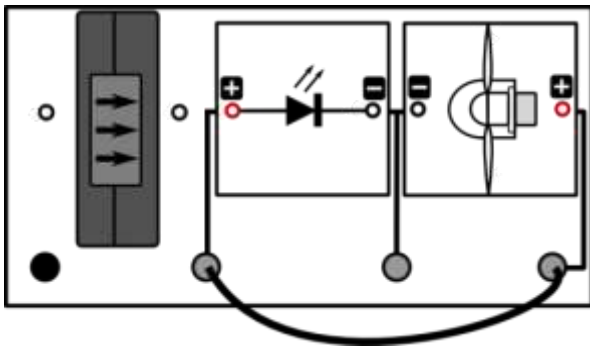


## 12.1 Einfluss der Windrichtung (qualitativ)

### Aufgabe

Untersuche, wie sich die Helligkeit einer Leuchtdiode ändert, wenn die Richtung des Windes auf das Windturbinenmodul verändert wird.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeugermodul mit PowerModul
- 1 Windturbinenmodul
- 1 Dreiblatt-Rotor (Anstellwinkel 30°, optimiertes Profil)
- 1 LED-Modul
- 3 Kabel

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre beim Verdrehen des Standfußes nicht den drehenden Rotor! Zum Verdrehen kann der Winderzeuger abgeschaltet werden. Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

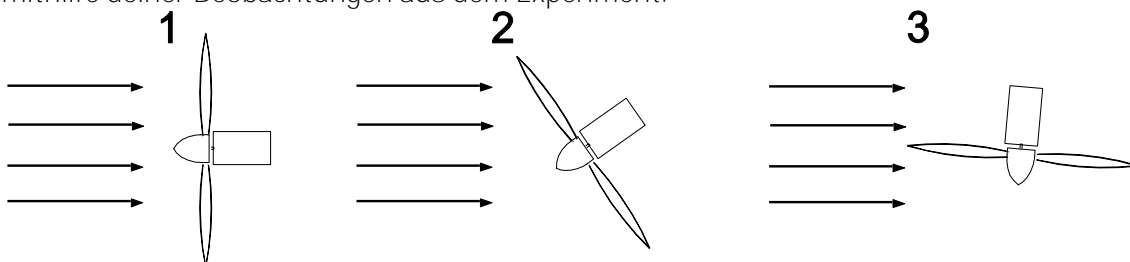
1. Baue den Versuch nach obiger Versuchsanordnung auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Stelle am PowerModul eine Spannung von 6V ein und starte den Winderzeuger.
3. Drehe das Windturbinenmodul vorsichtig nach rechts und links und beobachte die Leuchtdiode. Notiere deine Beobachtungen.

### Beobachtung

Die Leuchtdiode leuchtet weniger hell, wenn der eingestellte Winkel größer wird. Ab einem Winkel von 40° leuchtet die Leuchtdiode nicht mehr.

### Auswertung

1. In den Abbildungen sind Windkraftanlagen dargestellt. Die Pfeile kennzeichnen die Richtung des Luftstromes (Windrichtung). Welche der Anlagen kann die größte Leistung erzeugen, welche die geringste? Begründe mithilfe deiner Beobachtungen aus dem Experiment.





## 12.1 Einfluss der Windrichtung (qualitativ)

### Auswertung

1.

Die Luft strömt nun nicht mehr auf kürzestem Weg an den Rotorblättern vorbei und die Angriffsfläche am Rotor ist geringer, wenn der Winkel (die Richtung der Luft) sich ändert.

Anlage 1 erzeugt die größte Leistung, Anlage 3 die geringste.



## Vorbetrachtung: 12.2 Einfluss der Windrichtung (quantitativ)

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der vorinstallierte Rotor (30°, optimiertes Profil) kann verwendet werden
- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss des Powermoduls an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (rot an rot, schwarz an schwarz)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Beim Messen der Spannung sollte darauf geachtet werden, dass die Messwerte erst dann abgelesen und in die Tabelle eingetragen werden, wenn sich der angezeigte Wert am Messgerät nicht mehr ändert.
- Die angegebenen Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können variieren.
- Ein typischer Fehler beim Aufbau der Windversuche: Windturbine um 90° gedreht aufgesteckt
- Erklärung der Ergebnisse:

Wird die Windkraftanlage nicht senkrecht durch den Wind angeströmt, so verringert sich deren Angriffsfläche. Durch die verkleinerte Fläche und die andere Strömungsrichtung verändert sich ebenfalls die resultierende Kraftwirkung auf die Anlage. Die Drehgeschwindigkeit des Flügelrades verringert sich mit zunehmendem Drehwinkel. Der Windrotor dreht sich langsamer und die Spannung, die am Generator entsteht, ist geringer.

- Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele:

Dieses Experiment eignet sich für den Einsatz in den Klassenstufen 8 und 9. Es ist ebenfalls für den Einsatz in einem Projekt zur Windenergie oder zu regenerativen Energien zu empfehlen. Die Schüler üben ihre Fertigkeiten im Umgang mit Messgeräten. Es wird die Abhängigkeit zwischen Leistung und Windrichtung an einer Windkraftanlage untersucht und die Schüler entwickeln eigene Lösungen zu einem vorgegebenen Problem der Thematik.

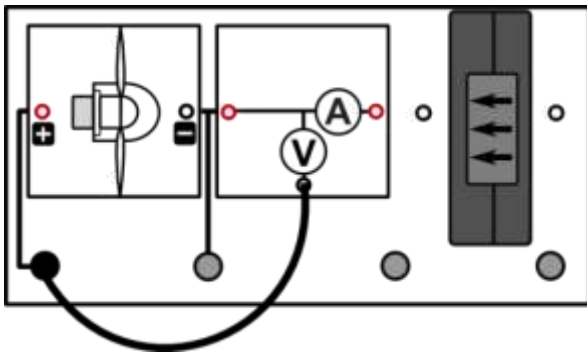


## 12.2 Einfluss der Windrichtung (quantitativ)

### Aufgabe

Untersuche die Spannung, die ein Windgenerator liefert, wenn sich die Richtung der Luftströmung auf den Rotor ändert.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeugermodul mit PowerModul
- 1 Windturbinenmodul
- 1 Dreiblatt-Rotor (Anstellwinkel  $30^\circ$ , optimiertes Profil)
- 3 Kabel
- 1 AV-Modul

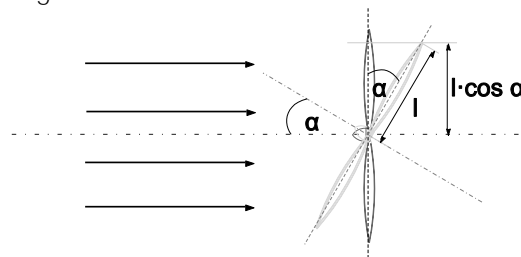
Achtung Verletzungsgefahr: Berühre beim Verdrehen des Standfußes nicht den drehenden Rotor! Zum Verdrehen kann der Winderzeuger abgeschaltet werden. Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

1. Baue den Versuch nach obiger Versuchsanordnung auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Stelle den Drehwinkel zu Beginn auf  $0^\circ$  ein.
3. Stelle am PowerModul eine Spannung von 12V ein und starte den Winderzeuger
4. Miss die entsprechende Spannung  $U_{\text{gen}}$  an der Windturbine. Nutze das AV-Modul im Spannungsmodus. Trage deinen Messwert in die Tabelle ein und schalte das PowerModul wieder ab.
5. Verdrehe nun das Windturbinenmodul vorsichtig um  $10^\circ$ . Schalte das PowerModul wieder ein und wiederhole deine Messungen mit den entsprechenden Winkeleinstellungen (siehe Tabelle) und trage alle Messwerte in die Tabelle ein.

### Auswertung

1. Trage die Messwerte in das entsprechende Diagramm ein.
2. Die Größe  $\cos \alpha$  ist ein Maß für die Angriffsfläche des Windes am Windrotor (wie in der Abbildung dargestellt). Beschreibe die Abhängigkeit der Spannung vom Drehwinkel und der Angriffsfläche des Windes am Windrotor, die durch  $\cos \alpha$  dargestellt wird.



3. Die Richtung, aus der strömende Luft auf eine Windkraftanlage trifft, ist für die erzeugte Spannung von Bedeutung. Beschreibe eine Möglichkeit der Veränderung einer Anlage, um immer die maximale Spannung erzeugen zu können.

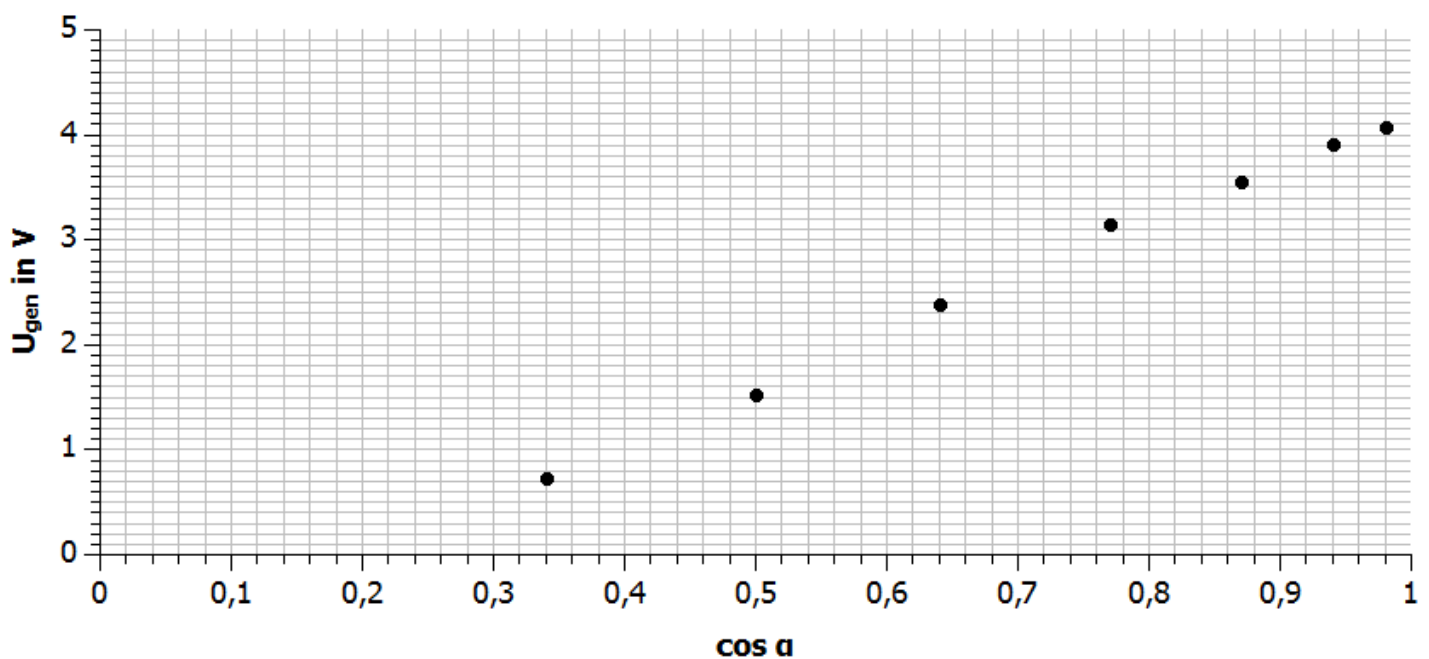


## 12.2 Einfluss der Windrichtung (quantitativ)

## Messwerte

$\alpha$ (°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\cos \alpha$	1	0,98	0,94	0,87	0,77	0,64	0,5	0,34	0,17	0
$U_{\text{gen}}$ (V)	4,15	4,08	3,92	3,56	3,15	2,38	1,53	0,73	0	0

## Diagramm



## Auswertung

2.

Die Spannung nimmt mit zunehmendem Drehwinkel ab. Der Kurvenverlauf gleicht einer Kosinusfunktion. Im  $U$ - $\cos \alpha$ -Diagramm ist daher ein annähernd linearer Zusammenhang erkennbar. Die Spannung nimmt also mit abnehmender Angriffsfläche linear ab.

3.

Um immer die maximale Spannung zu erzeugen, muss der Rotor der Windkraftanlage bei wechselnder Windrichtung gedreht werden. Der Rotor sollte jeweils so eingestellt werden, dass der Wind senkrecht auf das Flügelrad auftrifft.



## Vorbetrachtung: 13.1 Der Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (qualitativ)

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss des Powermoduls an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (rot an rot, schwarz an schwarz)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Ein typischer Fehler beim Aufbau der Windversuche: Windturbine um  $90^\circ$  gedreht aufgesteckt
- Der Austausch der Rotorblätter darf nur bei ausgeschaltetem Winderzeuger durchgeführt werden, da sonst Verletzungsgefahr besteht.
- Ergebnisse: Bei einer PowerModulspannung von 9V leuchtet die Lampe bei  $20^\circ$ ,  $25^\circ$  und  $30^\circ$ , sie leuchtet dann bei  $25^\circ$  heller als bei  $30^\circ$ .
- Tip: Für den Anstellwinkel von  $30^\circ$  kann der vormontierte Rotor verwendet werden, so können die  $30^\circ$  direkt mit  $25^\circ$  und  $50^\circ$  verglichen werden.
- Erklärung der Ergebnisse:

Die Glühlampe leuchtet am hellsten bei einem Anstellwinkel von  $25^\circ$  und ab einem Winkel von  $50^\circ$  leuchtet sie gar nicht mehr. Bei  $90^\circ$  Anstellwinkel ist es kaum möglich, den Rotor überhaupt zum Drehen zu bringen. Je nach Windgeschwindigkeit ergibt sich ein bestimmter optimaler Anstellwinkel aus der aerodynamischen Bauform der Flügel. Bei hohen Anstellwinkeln kommt es zum sogenannten Strömungsabriss an den Rotorflügeln, der zu einer starken Verringerung der Leistung am Windgenerator führt. Im Versuch zeigt sich dies in einer verringerten Helligkeit der Glühlampe bei hohem Anstellwinkel.
- Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele:

Dieses Experiment eignet sich für den Einsatz in den Klassenstufen 5 und 6 des Anfangsunterrichtes in Physik oder naturwissenschaftlichen Grundlagenfächern. Es ist für das Durchführen erster Experimente im Unterricht geeignet, da der Aufbau sehr übersichtlich ist. Den Schülern wird spielerisch die Abhängigkeit der Windkraftanlage vom Anstellwinkel der Rotorblätter nahe gebracht.

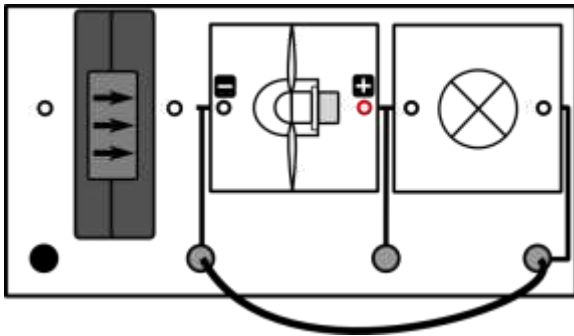


## 13.1 Der Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (qualitativ)

### Aufgabe

Untersuche den Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter gegenüber der Rotorebene auf die Helligkeit einer Glühlampe.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeugermodul mit PowerModul
- Windturbinenmodul
- 1 Dreiblatt-Rotor (alle Anstellwinkel, optimiertes Profil)
- 1 Glühlampenmodul
- 3 Kabel

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Baue einen Rotor mit 3 Flügeln und einem Anstellwinkel der Blätter von  $20^\circ$  auf und stecke ihn auf das Windturbinenmodul..
3. Schalte den Winderzeuger bei einer PowerModulspannung von 9V ein und beobachte die Helligkeit der Glühlampe. Trage anschließend deine Beobachtungen in die Tabelle ein.
4. Wiederhole die Messung für alle anderen Rotorblattanstellwinkel.

### Auswertung

Die Glühlampe leuchtet...

	hell	schwach	gar nicht
$20^\circ$	x		
$25^\circ$	x		
$30^\circ$		x	
$50^\circ$			x
$90^\circ$			x

Vervollständige nun den angegebenen Text:

Bei größerem Anstellwinkel leuchtet die Glühlampe **nicht mehr**. Am stärksten leuchtet die Glühlampe bei einem Winkel von  $25^\circ$ .



## Vorbetrachtung: 13.2 Der Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (quantitativ)

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss des Powermoduls an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (rot an rot, schwarz an schwarz)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Beim Messen der Spannung sollte darauf geachtet werden, dass die Messwerte erst dann abgelesen und in die Tabelle eingetragen werden, wenn sich der angezeigte Wert am Messgerät nicht mehr ändert.
- Die angegebenen Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können variieren.
- Ein typischer Fehler beim Aufbau der Windversuche: Windturbine um 90° gedreht aufgesteckt
- Der Austausch der Rotorblätter darf nur bei ausgeschaltetem Winderzeuger durchgeführt werden, da sonst Verletzungsgefahr besteht.
- Beim Messen der Spannung sollte darauf geachtet werden, dass die Messwerte erst dann abgelesen und in die Tabelle eingetragen werden, wenn sich der angezeigte Wert am Messgerät nicht mehr ändert.
- Tip: Für den Anstellwinkel von 30° kann der vormontierte Rotor verwendet werden, so können die 30° direkt mit 25° und 50° verglichen werden.

- Erklärung der Ergebnisse:

Im Experiment wird die größte Spannung bei einem Anstellwinkel von 25° erreicht. Mit größerem Abstand zu diesem Winkel sinkt die Spannung rapide. Dieser Effekt kommt folgendermaßen zustande: bei größeren Winkeln kommt es zum sogenannten Strömungsabriss, wodurch sich der Auftrieb an den Rotorflügel stark verringert. Bei kleinen Winkeln ist die Angriffsfläche zu gering. Durch den verringerten Auftrieb ändert sich die Leistungsaufnahme des Rotorblattes, was sich im Versuch in einer kleineren Drehzahl und damit verringerter Spannung zeigt.





## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele

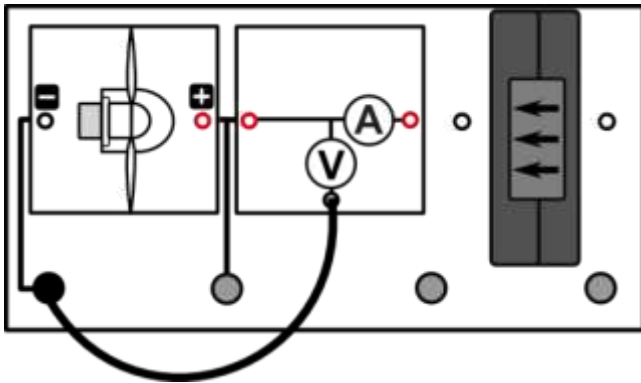
Dieses Experiment eignet sich für den Einsatz in den Klassenstufen 7 bis 9. Es ist ebenfalls für den Einsatz in einem Projekt zur Windenergie oder zu regenerativen Energien zu empfehlen. Die Schüler üben ihre Fertigkeiten im Umgang mit Messgeräten. Es wird die Abhängigkeit zwischen Spannung und Anstellwinkel von Rotorblättern an einer Windkraftanlage untersucht und die Schüler entwickeln eigene Lösungen zu einem vorgegebenen Problem der Thematik.

## 13.2 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (quantitativ)

## Aufgabe

Untersuche den Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter gegenüber der Rotorebene und der Profilform auf die Spannung am Windturbinenmodul.

## Aufbau



## Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeugermodul mit PowerModul
- 1 Windturbinenmodul
- 1 Dreiblatt-Rotor (alle Winkel, optimiertes und flaches Profil)
- 3 Kabel
- 1 AV-Modul

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

## Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Baue einen Rotor mit 3 Flügeln, optimiertem Profil und einem Anstellwinkel  $\alpha$  der Blätter von  $20^\circ$  auf und stecke ihn auf das Windturbinenmodul.
3. Schalte den Winderzeuger bei einer PowerModulspannung von 12 V ein und miss die Spannung  $U_{\text{opt}}$  am Windturbinenmodul. Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus. Erfasse die Messwerte in einer Tabelle.
4. Wiederhole die Messung für alle anderen Rotorblattanstellwinkel.
5. Führe das Experiment anschließend mit dem flachen Profil durch und miss für alle Anstellwinkel jeweils die Spannung  $U_{\text{flach}}$ .

## Messwerte

$\alpha$ ( $^\circ$ )	20	25	30	50	90
$U_{\text{opt}}$ (V)	4,8	5,2	4,1	1,7	0,4
$U_{\text{flach}}$ (V)	2,1	1,6	1,4	0,8	0,1

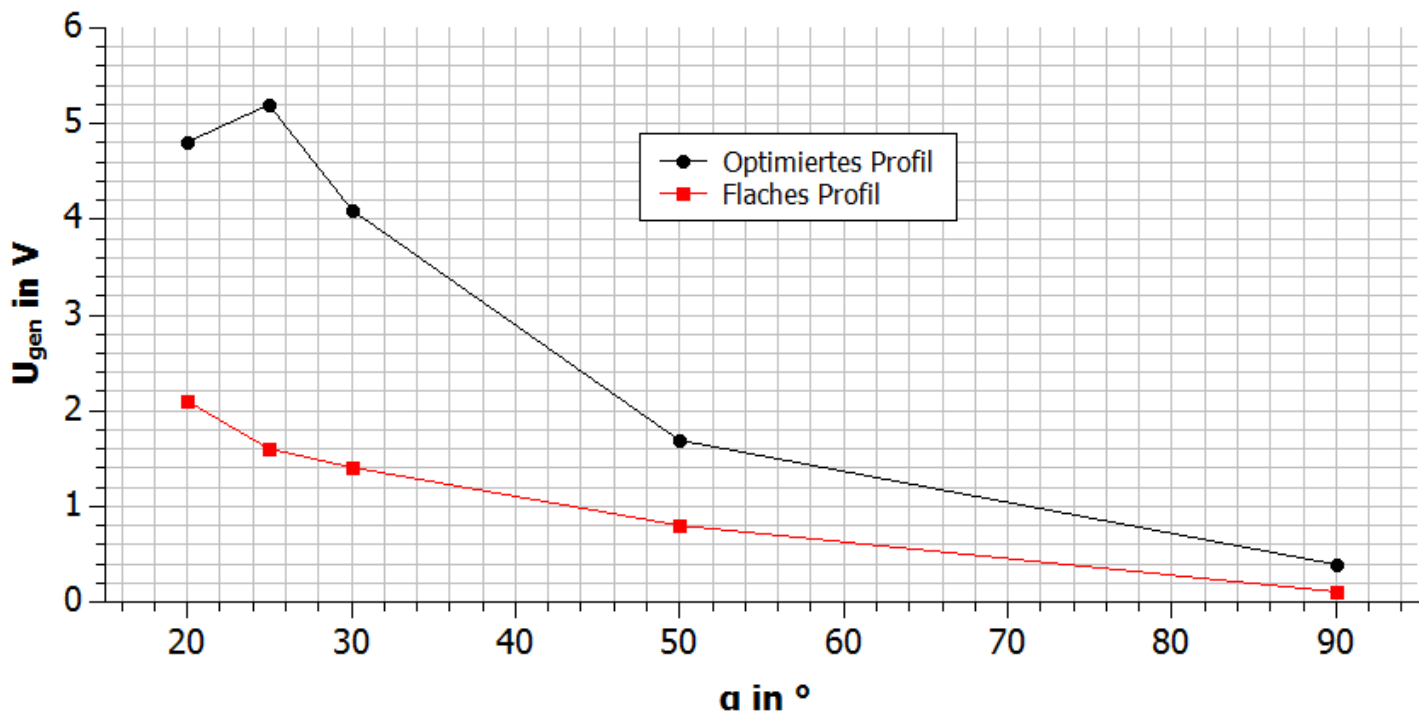


## 13.2 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (quantitativ)

## Auswertung

1. Trage die Spannungen  $U_{\text{opt}}$  und  $U_{\text{flach}}$  über dem Anstellwinkel in einem Diagramm ab.
2. Beschreibe den Zusammenhang zwischen Spannung und Anstellwinkel der Rotorblätter.
3. Vermute und begründe welchen Verlauf die Graphen für kleinere Anstellwinkel als  $20^\circ$  annehmen werden.

## Diagramm



## Auswertung

2. Beim optimierten Profil wird die größte Leerlaufspannung bei einem Anstellwinkel von  $25^\circ$  erreicht. Mit zunehmendem Abstand zu diesem Wert, nimmt die Leerlaufspannung bei den gemessenen Anstellwinkeln ab. Beim flachen Profil wird der größte Spannungswert bei  $20^\circ$  erreicht. Je größer der Winkel ist, desto kleiner wird der Spannungswert.
3. Anhand der Kurve kann für das optimierte Profil erwartet werden, dass die Spannung für kleinere Anstellwinkel immer weiter sinkt oder sich einem Sättigungswert nähert. Dies liegt daran, dass der optimierte Flügel nach dem Auftriebsprinzip arbeitet. Die Spannungswerte beim flachen Profil werden hingegen bei kleinerem Anstellwinkel steigen, da diese Flügelform allein durch den Widerstand angetrieben wird und die Widerstandsfläche immer größer wird.



## Vorbetrachtung: 14.1 Einfluss der Flügelform (qualitativ)

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss des Powermoduls an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (rot an rot, schwarz an schwarz)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Ein typischer Fehler beim Aufbau der Windversuche: Windturbine um 90° gedreht aufgesteckt
- Der Austausch der Rotorblätter darf nur bei ausgeschaltetem Winderzeuger durchgeführt werden, da sonst Verletzungsgefahr besteht.
- Der Versuch ist statt mit einer Leuchtdiode auch mithilfe des Glühlampenmoduls durchführbar.
- Erklärung der Ergebnisse:

Beim optimierten Profil leuchtet die LED heller. Das optimierte Profil ähnelt vom Aufbau her einem Flugzeugflügel, worin auch die Begründung liegt, dass dieser Flügel geeigneter ist für reale Windkraftanlagen. Durch das aerodynamisch optimierte Profil können Auftriebseffekte genutzt werden, die zu einer besseren Leistungsentnahme des Rotorflügels aus der Luft führen.
- Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele:

Dieses Experiment eignet sich für den Einsatz in den Klassenstufen 5 und 6 des Anfangsunterrichtes in Physik oder naturwissenschaftlichen Grundlagenfächern. Es ist für das Durchführen erster Experimente im Unterricht geeignet, da der Aufbau sehr übersichtlich ist. Den Schülern wird spielerisch die Abhängigkeit der Leistung einer Windkraftanlage von der Flügelform nahe gebracht.

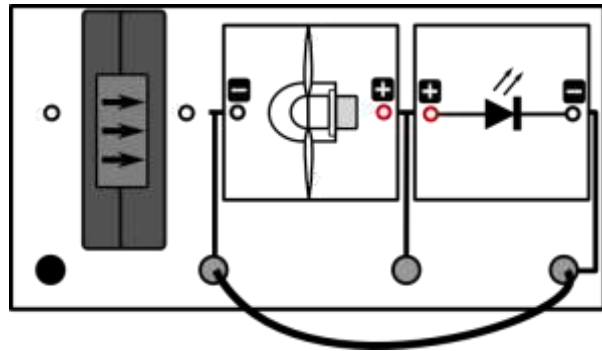


## 14.1 Einfluss der Flügelform (qualitativ)

### Aufgabe

Untersuche die Helligkeit einer Leuchtdiode bei unterschiedlicher Form der Rotorblätter.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeugermodul mit PowerModul
- 1 Windturbinenmodul
- 1 Dreiblatt-Rotor (Anstellwinkel 25°, optimiertes Profil und flaches Profil)
- 1 LED-Modul
- 3 Kabel

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

1. Baue die Versuchsanordnung wie oben dargestellt auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Stecke den Dreiblatt-Rotor mit dem optimierten Profil und 25° Anstellwinkel auf das Windturbinenmodul und schalte den Winderzeuger bei einer PowerModulspannung von 12 V ein. Beobachte die Helligkeit der Leuchtdiode.
3. Wiederhole deine Messung mit dem Dreiblatt-Rotor mit flachem Profil und 25° Anstellwinkel.

### Auswertung

1. Benenne die Flügelform, bei der die LED heller leuchtet.
2. Untersuche die Flügelform beider Rotorflügel genauer. Benenne die Unterschiede.
3. Benenne Beispiele, wo das flache Profil zum Einsatz kommt.

1.

Beim optimierten Profil

2.

Beim optimierten Profil laufen die Flügel vorn spitz zu und sind breiter am Ansatz (unsymmetrischer Aufbau, ähnlich wie Flugzeugflügel). Sie sind außerdem leicht in sich selbst verdreht. Die flachen Flügel sind rechteckig und überall gleich dick.

3.

Windmühle, Westernmill



## Vorbetrachtung: 14.2 Einfluss der Flügelform (quantitativ)

## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Bitte verwenden Sie aus Sicherheitsgründen den Fingerschutz! (Aufbau siehe Tabelle S.8)
- Die Windrichtung ist oben auf dem Winderzeuger aufgedruckt
- Falls der Winderzeuger nicht startet, überprüfen sie bitte, ob der Schalter unten am Winderzeuger auf „An“ steht
- Die Polarität beim Anschluss des Powermoduls an den Winderzeuger **MUSS** beachtet werden! (rot an rot, schwarz an schwarz)
- Kabel dürfen nicht im Weg der Rotorblätter liegen
- Beim Messen der Spannung sollte darauf geachtet werden, dass die Messwerte erst dann abgelesen und in die Tabelle eingetragen werden, wenn sich der angezeigte Wert am Messgerät nicht mehr ändert.
- Die angegebenen Messwerte sind beispielhaft. Die Messwerte können variieren.
- Ein typischer Fehler beim Aufbau der Windversuche: Windturbine um 90° gedreht aufgesteckt
- Der Austausch der Rotorblätter darf nur bei ausgeschaltetem Winderzeuger durchgeführt werden, da sonst Verletzungsgefahr besteht.
  
- Erklärung der Ergebnisse

Beim optimierten Profil ist die Spannung am Generator deutlich höher. Das optimierte Profil ähnelt vom Aufbau her einem Flugzeugflügel, worin auch die Begründung liegt, dass dieser Flügel geeigneter ist für reale Windkraftanlagen. Durch das aerodynamisch optimierte Profil können Auftriebseffekte genutzt werden, die zu einer besseren Leistungsentnahme des Rotorflügels aus der Luft und damit höheren Spannungswerten führen.
  
- Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele

Dieses Experiment eignet sich für den Einsatz in den Klassenstufen 7 bis 9. Es ist ebenfalls für den Einsatz in einem Projekt zur Windenergie oder zu regenerativen Energien zu empfehlen. Die Schüler üben ihre Fertigkeiten im Umgang mit Messgeräten. Es wird die Abhängigkeit zwischen Spannung und Flügelform der Rotorflügel einer Windkraftanlage untersucht und die Schüler entwickeln eigene Lösungen zu einem vorgegebenen Problem der Thematik.

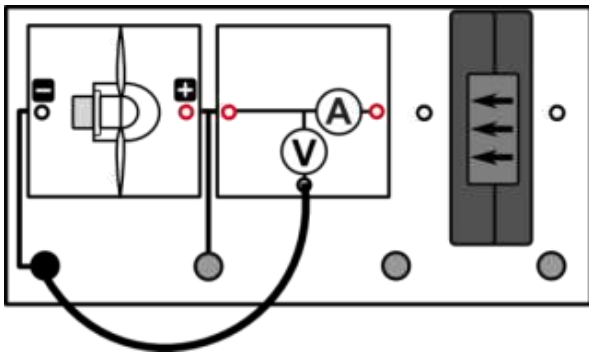


## 14.2 Einfluss der Flügelform (quantitativ)

### Aufgabe

Untersuche die Spannung am Generator bei unterschiedlicher Form der Rotorblätter.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Winderzeugermodul mit PowerModul
- 1 Windturbinenmodul
- 1 Dreiblatt-Rotor (Anstellwinkel 30°, optimiertes Profil und flaches Profil)
- 3 Kabel
- 1 AV-Modul

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor! Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

1. Baue die Versuchsanordnung wie oben dargestellt auf. Verbinde das Powermodul mit dem Winderzeuger. Achte auf die Polarität der Anschlüsse (rot an rot, schwarz an schwarz).
2. Stecke den Dreiblatt-Rotor mit dem optimierten Profil und 25° Anstellwinkel auf das Windturbinenmodul und schalte den Winderzeuger bei einer PowerModulspannung von 9 V ein. Miss die am Generator erzeugte Spannung  $U_{\text{opt}}$ . Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus.
3. Wiederhole deine Messung mit dem Dreiblatt-Rotor mit flachem Profil und 25° Anstellwinkel. Miss die Generatorspannung  $U_{\text{flach}}$ .

### Messwerte

$$U_{\text{opt}} = 4,0 \text{ V}$$

$$U_{\text{flach}} = 1,3 \text{ V}$$

### Auswertung

1. Benenne, mit welchem Profil höhere Spannungen erzeugt werden können?
2. Beschreibe den Einfluss der Flügelform auf die erzeugte Leistung einer Windkraftanlage.

1. Beim optimierten Profil

2.

Mit dem optimierten Profil lassen sich bei gleicher Windgeschwindigkeit deutlich höhere Drehzahlen erreichen. Das wiederum bedingt eine höhere Leistungsentnahme aus der Luft. In realen Windkraftanlagen sollten also die optimierten Flügel zum Einsatz kommen.



## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der Versuch sollte, wenn möglich als Outdoor-Experiment durchgeführt werden, da es teilweise stark spritzt
- In manchen Räumen kann der Versuch auch direkt unter dem Wasserhahn an einem Waschbecken durchgeführt werden. Das funktioniert allerdings nur bei ausreichendem Wasserdruck.
- Während des Versuchs sollte die Grundeinheit aus Spritzschutzgründen in einen Eimer oder eine tiefe Schüssel gehalten werden.
- Zum Anlaufen kann dem Wasserrad ein kleiner Anschubser gegeben werden
- Der Schlauch sollte für einen ausreichenden Wasserdruck möglichst weit oberhalb des Wasserradmoduls gehalten werden
- Die Ergebnisse sind beispielhafte Messwerte. Die Fallhöhe ist abhängig von den örtlichen Gegebenheiten!
- Inhalte des Experimentes:
  - Qualitativer Versuch
    - Die Schüler stellen fest, dass das Wasserradmodul eine Hupe betreiben kann.
    - **Der Versuch ist als Einstiegsexperiment in den Themenbereich „Wasserkraft“ geeignet.**
  - Quantitativer Versuch
    - Die Schüler messen die Leerlaufspannung des Wasserradmoduls im Betrieb
    - Der Versuch ist für Schüler der Klassen 7 und 8 geeignet.



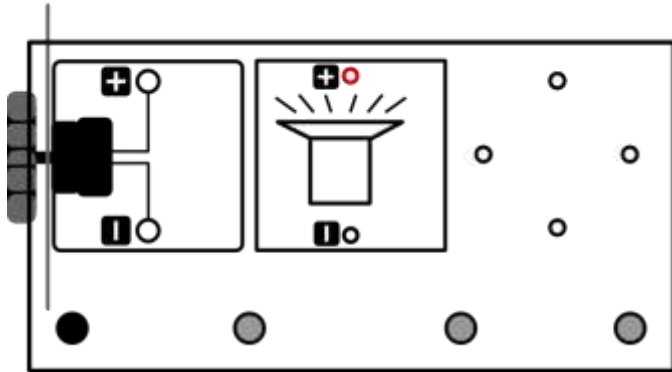


## 15.1 Wasser als Energiequelle (qualitativ)

### Aufgabe

Ermittle, ob die Hupe bei dem Wasserkraftgenerator als Spannungsquelle hupt!

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Wasserradmodul
- 1 Hupenmodul
- 1 Schlauch

*Zusätzlich benötigt:*

- 2 große Schüsseln/Kisten
- 1 Tisch/Stuhl/anderer höherer Standort
- Wasser

### Durchführung

1. Baue die Versuchsanordnung wie oben dargestellt auf. Achte dabei auf die Polarität der Verbindung.
2. Stelle eine mit Wasser gefüllte Schüssel auf einen höher gelegenen Standpunkt, eine andere, leere Schüssel auf einen niedrigeren Standpunkt.
3. Halte das Wasserradmodul über die untere Schüssel.
4. Saug das Wasser im Schlauch an oder lege ihn komplett ins Wasser der oberen Schüssel und halte den Finger auf ein Ende.
5. Richte den Schlauch so aus, dass das Wasser möglichst nur auf das Wasserrad spritzt und nimm den Finger vom Schlauchende. Achtung! Das andere Ende des Schlauches muss immer im Wasser bleiben.
6. Falls deine Fallhöhe sehr niedrig ist, kann es sein, dass du das Wasserrad „anstupsen“ musst.
7. Notiere deine Beobachtungen

### Beobachtung

Wenn das Wasserrad sich zu drehen beginnt, beginnt auch die Hupe zu hupen.

---



---

### Auswertung

1. Welche Energieumwandlung findet statt?

Das Wasser besitzt zuerst potentielle Energie, die in kinetische Energie umgewandelt wird. Durch die

Fallgeschwindigkeit wird eine Kraft auf das Wasserrad ausgeübt, die es zum Drehen bringt. Diese

Bewegungsenergie wird in dem Generator des Wasserradmoduls in elektrische Energie umgewandelt, die die

Hupe wiederum in Schwingungen (Schall, kinetische Energie der Luftteilchen) umwandelt.

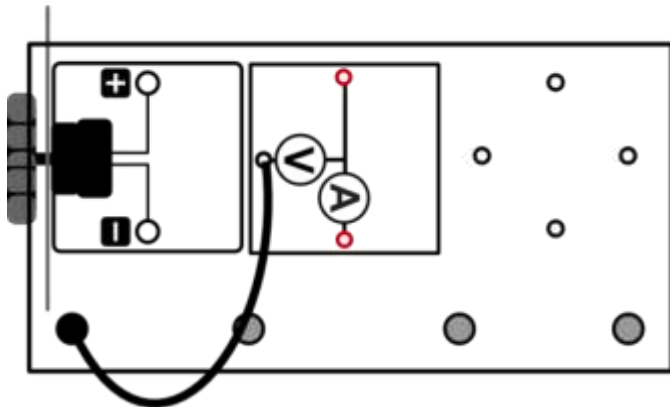


## 15.2 Wasser als Energiequelle (quantitativ)

### Aufgabe

Ermittle die Leerlaufspannung des Wasserrads und gib die Fallhöhe an!

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Wasserradmodul
- 1 AV-Modul
- 1 Kabel
- 1 Schlauch

*Zusätzlich benötigt:*

- 2 große Schüsseln/Kisten
- 1 Tisch/Stuhl/anderer höherer Standort
- 1 Lineal/Maßband
- Wasser

### Durchführung

1. Baue die Versuchsanordnung wie oben dargestellt auf. Achte dabei auf die Polarität der Verbindung.
2. Stelle eine mit Wasser gefüllte Schüssel auf einen höher gelegenen Standpunkt, eine andere, leere Schüssel auf einen niedrigeren Standpunkt.
3. Halte das Wasserradmodul über die untere Schüssel.
4. Saug das Wasser im Schlauch an oder lege ihn komplett ins Wasser der oberen Schüssel und halte den Finger auf ein Ende.
5. Richte den Schlauch so aus, dass das Wasser möglichst nur auf das Wasserrad spritzt und nimm den Finger vom Schlauchende. Achtung! Das andere Ende des Schlauches muss immer im Wasser bleiben.
6. Falls deine Fallhöhe sehr niedrig ist, kann es sein, dass du das Wasserrad „anstopfen“ musst.
7. Miss die Spannung  $U$  am Generator. Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus.

### Messwerte

$U = 2V$  bei einer Höhe von 40 cm



## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Der Versuch sollte, wenn möglich als Outdoor-Experiment durchgeführt werden, da es teilweise stark spritzt
- Während des Versuchs sollte die Grundeinheit aus Spritzschutzgründen in einen Eimer oder eine tiefe Schüssel gehalten werden.
- Zum Anlaufen kann dem Wasserrad ein kleiner Anschubser gegeben werden
- Der Schlauch sollte für einen ausreichenden Wasserdruck möglichst weit oberhalb des Wasserradmoduls gehalten werden
- Die Ergebnisse sind beispielhafte Messwerte. Die Fallhöhe ist abhängig von den örtlichen Gegebenheiten!
- Inhalte des Experimentes:

### Qualitativer Versuch

- Die Schüler stellen fest, dass die Fallhöhe mit der Leistung des Wasserrads in Beziehung steht.

### Quantitativer Versuch

- Die Schüler messen die Leerlaufspannung bei verschiedenen Fallhöhen.
- Die Schüler üben sich im Umgang mit Messgeräten und Diagrammen.
- Der Versuch ist für Schüler der Klassen 7 bis 9 geeignet.

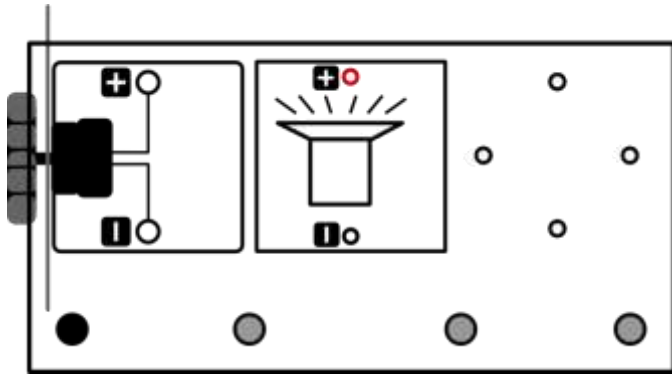


## 16.1 Abhängigkeit von der Fallhöhe (qualitativ)

### Aufgabe

Untersuche, inwieweit die Fallhöhe des Wassers die Lautstärke der Hupe beeinträchtigt!

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Wasserradmodul
- 1 Hupenmodul
- 1 Schlauch

*Zusätzlich benötigt:*

- 2 große Schüsseln/Kisten
- 1 Tisch/Stuhl/anderer höherer Standort
- 1 Lineal/Maßband
- Wasser

### Durchführung

1. Baue die Versuchsanordnung wie oben dargestellt auf. Achte dabei auf die Polarität der Verbindung.
2. Stelle eine mit Wasser gefüllte Schüssel auf einen höher gelegenen Standpunkt, eine andere, leere Schüssel auf einen niedrigeren Standpunkt.
3. Halte das Wasserradmodul über die untere Schüssel.
4. Saug das Wasser im Schlauch an oder lege ihn komplett ins Wasser und halte den Finger auf ein Ende. Achtung! Das andere Ende des Schlauches muss immer im Wasser bleiben.
5. Richte den Schlauch so aus, dass das Wasser möglichst nur auf das Wasserrad spritzt und nimm den Finger vom Schlauchende.
6. Falls deine Fallhöhe sehr niedrig ist, kann es sein, dass du das Wasserrad „anstupsen“ musst.
7. Wiederhole den Versuch für verschiedene Fallhöhen (z.B. Stuhl-Boden, Tisch-Stuhl, Tisch-Boden). Notiere deine Beobachtungen.

### Beobachtungen

Je weiter das Wasser fällt, desto lauter hupt die Hupe.

---



---

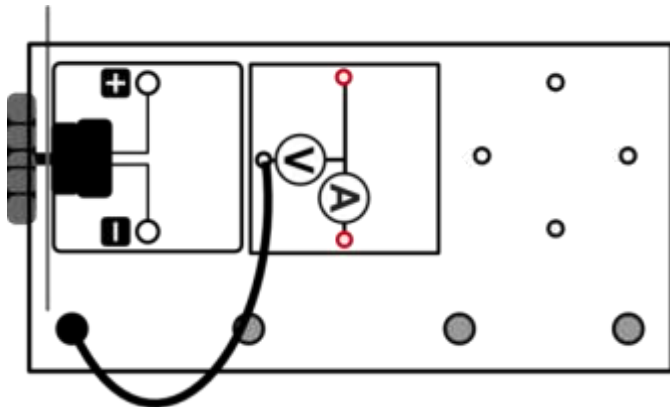


## 16.2 Abhängigkeit von der Fallhöhe (quantitativ)

### Aufgabe

Untersuche die Abhängigkeit der Leerlaufspannung des Wasserradmoduls von der Fallhöhe des Wassers!

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Wasserradmodul
- 1 AV-Modul
- 1 Kabel
- 1 Schlauch

*Zusätzlich benötigt:*

- 2 große Schüsseln/Kisten
- 1 Tisch/Stuhl/anderer höherer Standort
- 1 Lineal/Maßband
- Wasser

### Durchführung

1. Baue die Versuchsanordnung wie oben dargestellt auf. Achte dabei auf die Polarität der Verbindung.
2. Stelle eine mit Wasser gefüllte Schüssel auf einen höher gelegenen Standpunkt, eine andere, leere Schüssel auf einen niedrigeren Standpunkt.
3. Halte das Wasserradmodul über die untere Schüssel.
4. Saug das Wasser im Schlauch an oder lege ihn komplett ins Wasser und halte den Finger auf ein Ende. Achtung! Das andere Ende des Schlauches muss immer im Wasser bleiben.
5. Richte den Schlauch so aus, dass das Wasser möglichst nur auf das Wasserrad spritzt und nimm den Finger vom Schlauchende.
6. Falls deine Fallhöhe sehr niedrig ist, kann es sein, dass du das Wasserrad „anstupsen“ musst.
7. Miss die Fallhöhe  $h$  und die Spannung  $U$  am Generatormodul. Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus.
8. Wiederhole den Versuch für verschiedene Fallhöhen (z.B. Stuhl-Boden, Tisch-Stuhl, Tisch-Boden) und trage deine Werte in die Tabelle ein.

### Messwerte

$h$ (cm)	20	22	39	66	82
$U$ (V)	0	0	2	4,5	5

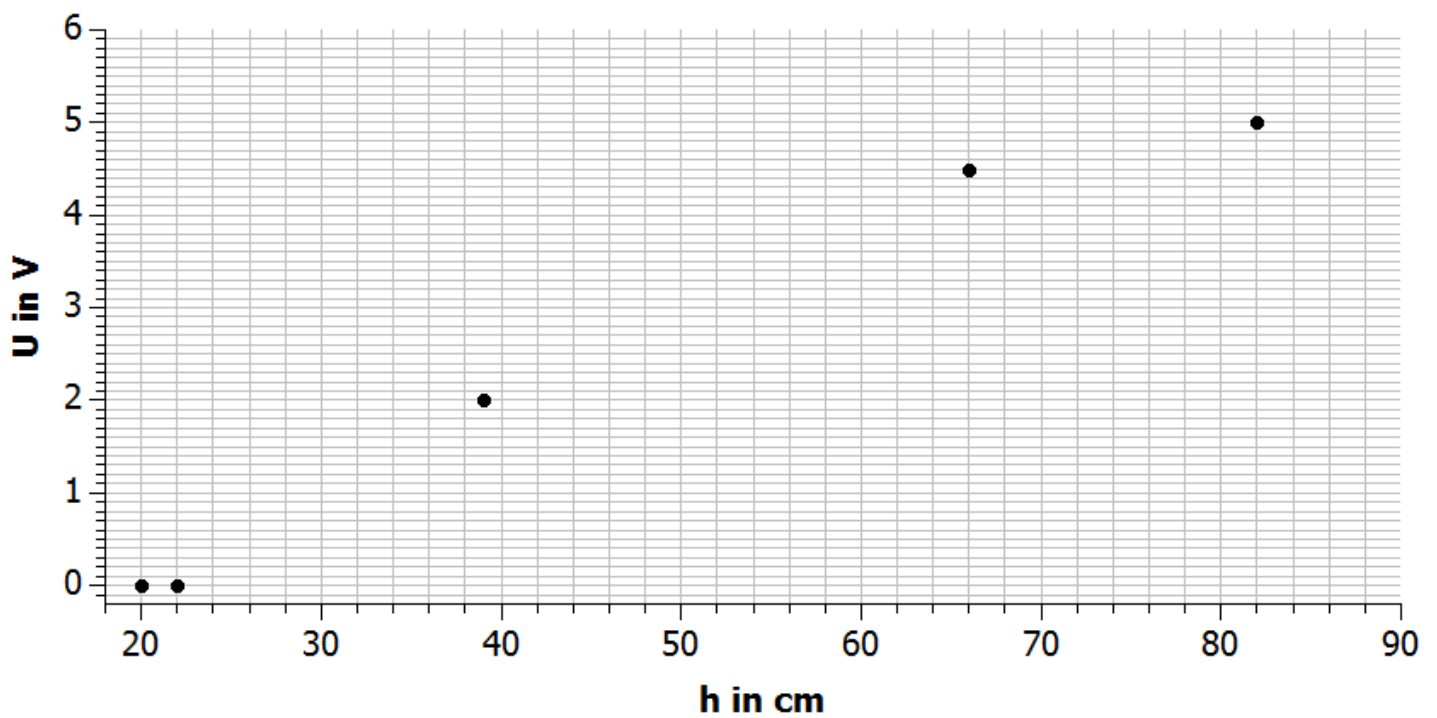
### Auswertung

1. Trage deine Messwerte in das Diagramm ein.
2. Interpretiere die Ergebnisse deines Versuchs.



## 16.2 Abhängigkeit von der Fallhöhe (quantitativ)

## Diagramm



## Auswertung

2.

Je weiter das Wasser fällt, desto höher ist die Spannung am Generatormodul. Wenn die Fallhöhe zu gering ist, kann sich das Wasserrad aufgrund von Trägheits- und Reibungseffekten nicht drehen. Bei größerer Fallhöhe steigt die kinetische Energie des Wassers, wenn es auf das Wasserrad trifft, weshalb sich dieses schneller dreht und daher größere Spannungen erzeugen kann.

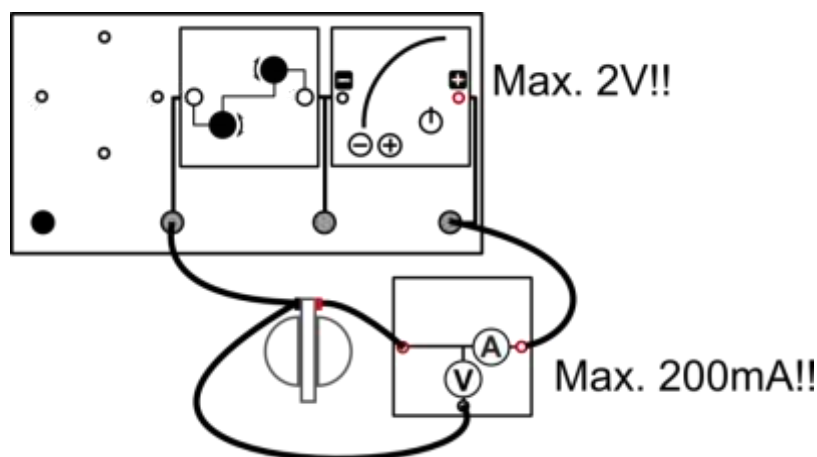
Es besteht kein linearer Zusammenhang.



## Vorbetrachtung: 17. Funktionsweise eines Elektrolyseurs

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Die in „NewEnergy“ enthaltene Brennstoffzelle ist eine so genannte *reversible* Brennstoffzelle, d.h. dass sie sowohl als Brennstoffzelle als auch als Elektrolyseur betrieben werden kann.
- Hinweise zur Handhabung der reversiblen Brennstoffzelle finden Sie auf Seite 15.
- Der Versuch sollte möglichst bei guter Sonneneinstrahlung durchgeführt werden, da die Wasserstoffproduktion sonst zu lange dauert. Alternativ kann eine Tischlampe verwendet werden, deren Spot das große Solarmodul ausreichend ausleuchtet. Allerdings funktioniert der Versuch am besten bei starker Sonneneinstrahlung.
- Wenn das Sonnenlicht nicht ausreicht und keine andere Methode der Beleuchtung besteht, kann stattdessen auch das PowerModul (bei maximal 2 V!!!) in Reihenschaltung mit dem Potentiometer (Widerstand 20  $\Omega$ ) direkt an die reversible Brennstoffzelle angeschlossen werden. Dann muss die Polarität beachtet werden:



- **Wichtig:** Unter keinen Umständen sollte die reversible Brennstoffzelle direkt mit der Handkurbel betrieben werden!!! Dies führt zur irreparablen Schädigung des Brennstoffzellenmoduls.

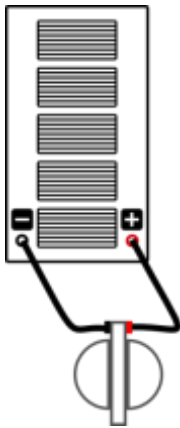


## 17. Funktionsweise eines Elektrolyseurs

### Aufgabe

Lerne die Funktionsweise eines Elektrolyseurs kennen.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 großes Solarmodul
- 1 Brennstoffzellenmodul
- 2 Kabel
- destilliertes Wasser

### Durchführung

1. Baue das reversible Brennstoffzellenmodul wie auf Seite 15 beschrieben auf. Achte darauf, dass der rote Anschluss an der Brennstoffzelle mit dem roten Anschluss des Solarmoduls verbunden ist.
2. Beleuchte nun das Solarmodul mit direktem Sonnenlicht oder einer Lampe und beobachte das Röhrchen an der oberen Öffnung der „O<sub>2</sub>“-Seite der Brennstoffzelle. Notiere deine Beobachtungen.
3. Beschatte nun das Solarmodul mit deiner Hand. Notiere deine Beobachtungen.

### Beobachtungen

Es bewegen sich Gas-/Wasserblasen durch das Röhrchen und im oberen Behälter sammelt sich Flüssigkeit an. Verschattet man das Solarmodul, hören die Luft-/Wasserblasen auf, sich zu bewegen.

### Auswertung

1. Was kannst du über die Gase in den unteren Behältern aussagen?
2. Was macht die reversible Brennstoffzelle, wenn sie als Elektrolyseur betrieben wird? Welche Energieumwandlung findet statt?
3. Erkläre Deine obigen Beobachtungen.





## 17. Funktionsweise eines Elektrolyseurs

### Auswertung

4. In der reversiblen Brennstoffzelle, betrieben als Elektrolyseur, wird Wasser (chemisches Zeichen:  $H_2O$ ) in die zwei Gase Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) zersetzt. Kannst du damit deine Beobachtung erklären? Versuche, eine Reaktionsgleichung aufzustellen.
5. Wie könntest Du nachweisen, dass sich in dem mit „ $H_2$ “ beschrifteten Behälter wirklich Wasserstoff und im mit „ $O_2$ “ beschrifteten Behälter Sauerstoff befinden?

1.  
Im Wasserstoffbehälter sammelt sich etwa doppelt so viel Gas wie im Sauerstoffbehälter.

2.  
Der Elektrolyseur zersetzt Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff. Elektrische Energie wird in chemische Energie der Gase umgewandelt.

3.  
Durch den vom Solarmodul erzeugten Strom entstehen im Elektrolyseur Gase. Unterbricht man die Stromzufuhr, z.B. indem man das Solarmodul beschattet, stoppt die Gasproduktion.

4.  
Ein Wassermolekül besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom. Die Gase Wasserstoff und Sauerstoff bestehen jeweils aus zwei Atomen. Um ein Sauerstoffmolekül zu erhalten, müssen zwei Wassermoleküle gespalten werden, wobei vier Wasserstoffatome (oder zwei Wasserstoffmoleküle) frei werden. Eine einfache Bilanzgleichung lautet demnach:  $2 H_2O \rightarrow 2 H_2 + O_2$ . Dem Stoffmengenverhältnis von 2 : 1 folgt bei konstantem Druck und Temperatur auch ein Volumenverhältnis von 2 : 1 ( $PV = nRT$ ).

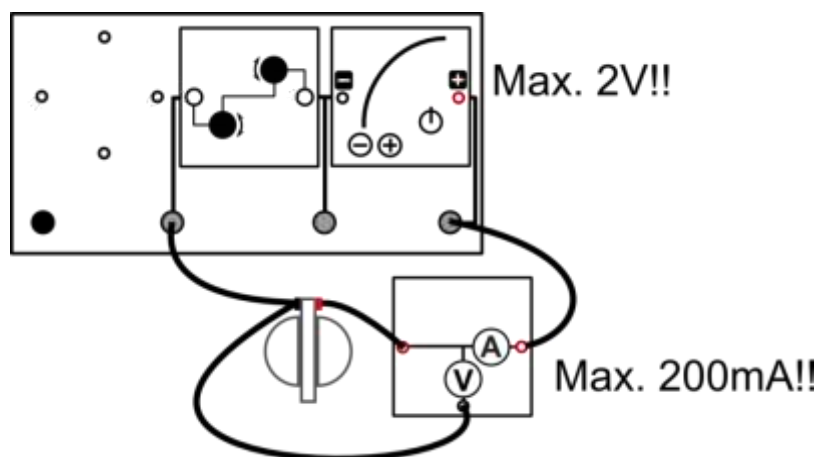
5.  
 $H_2$ : Knallgasprobe  
 $O_2$ : Glimmspanprobe



## Vorbetrachtung: 18. Funktionsweise einer Brennstoffzelle

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Die in „NewEnergy“ enthaltene Brennstoffzelle ist eine so genannte *reversible* Brennstoffzelle, d.h. dass sie sowohl als Brennstoffzelle als auch als Elektrolyseur betrieben werden kann.
- Hinweise zur Handhabung der reversiblen Brennstoffzelle finden Sie auf Seite 15.
- Das Aufladen der Brennstoffzelle sollte möglichst bei guter Sonneneinstrahlung durchgeführt werden, da die Wasserstoffproduktion sonst zu lange dauert. Alternativ kann eine Tischlampe verwendet werden, deren Spot das große Solarmodul ausreichend ausleuchtet. Allerdings funktioniert der Versuch am besten bei starker Sonneneinstrahlung.
- Wenn das Sonnenlicht nicht ausreicht und keine andere Methode der Beleuchtung besteht, kann stattdessen auch das PowerModul (bei maximal 1,5 V!!!) in Reihenschaltung mit dem Potentiometer (Widerstand 20  $\Omega$ ) direkt an die reversible Brennstoffzelle angeschlossen werden. Dann muss die Polarität beachtet werden:



- **Wichtig:** Unter keinen Umständen sollte die reversible Brennstoffzelle direkt mit der Handkurbel betrieben werden!!! Dies führt zur irreparablen Schädigung des Brennstoffzellenmoduls.

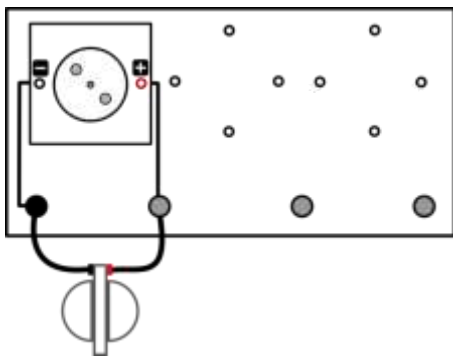


## 18. Funktionsweise einer Brennstoffzelle

### Aufgabe

Lerne die Funktionsweise einer Brennstoffzelle kennen.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Brennstoffzellenmodul
- 2 Kabel
- 1 Motormodul und/oder Glühlampenmodul
- destilliertes Wasser

### Durchführung

1. Wenn Du den Versuch 17 ( *Funktionsweise eines Elektrolyseurs* ) gerade durchgeführt hast, sind die Gasbehälter schon mit Wasserstoff und Sauerstoff gefüllt. Falls nicht, fülle die Gasbehälter wie in Versuch 17 beschrieben zunächst auf. Auf der „H<sub>2</sub>‘-Seite sollte mindestens die 4ml-Markierung erreicht sein.
2. Stecke nun als Verbraucher das Motor- oder Glühlampenmodul auf die Grundeinheit und schließe die Brennstoffzelle mit zwei Kabeln an. Was passiert mit den Gasen in den Vorratsbehältern? Notiere deine Beobachtungen

### Beobachtung

Der Motor dreht sich bzw. die Glühlampe leuchtet. Die Gase in den Vorratsbehältern werden langsam weniger.

### Auswertung

1. Was macht eine Brennstoffzelle? Welche Energieumwandlung findet statt?
2. Im Versuch „Was ist ein Elektrolyseur?“ hast Du Dir schon überlegt, welche Reaktion im Elektrolyseur abläuft (Wasser wird in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten). Wohin „verschwinden“ im Brennstoffzellenbetrieb die Gase, wenn du einen Verbraucher an die Brennstoffzelle anschließt?

1.

Die Brennstoffzelle verbraucht die zuvor hergestellten Gase und liefert Strom, der z.B. für das Antreiben eines Motors oder das Leuchten einer Glühlampe genutzt werden kann. Chemische Energie wird in elektrische umgewandelt und anschließend z.B. in mechanische oder Lichtenergie.

2.

Wasserstoff und Sauerstoff werden zu (flüssigem) Wasser kombiniert, was im Vergleich zu den Gasen ein sehr kleines Volumen hat. So entsteht der Eindruck, die Gase würden verschwinden.



## Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Die in „NewEnergy“ enthaltene Brennstoffzelle ist eine so genannte *reversible* Brennstoffzelle, d.h. dass sie sowohl als Brennstoffzelle als auch als Elektrolyseur betrieben werden kann.
- Hinweise zur Handhabung der reversiblen Brennstoffzelle finden Sie auf Seite 15.
- Die angegebenen Maximalwerte für Strom und Spannung (max. 2V und 200mA) sollten auf keinen Fall überschritten werden, da dies zur Zerstörung der reversiblen Brennstoffzelle führen kann
- Die angegebenen Messwerte sind Beispielwerte und können im Praxisversuch abweichen

**Wichtig:** Unter keinen Umständen sollte die reversible Brennstoffzelle direkt mit der Handkurbel betrieben werden!!! Dies führt zur irreparablen Schädigung des Brennstoffzellenmoduls

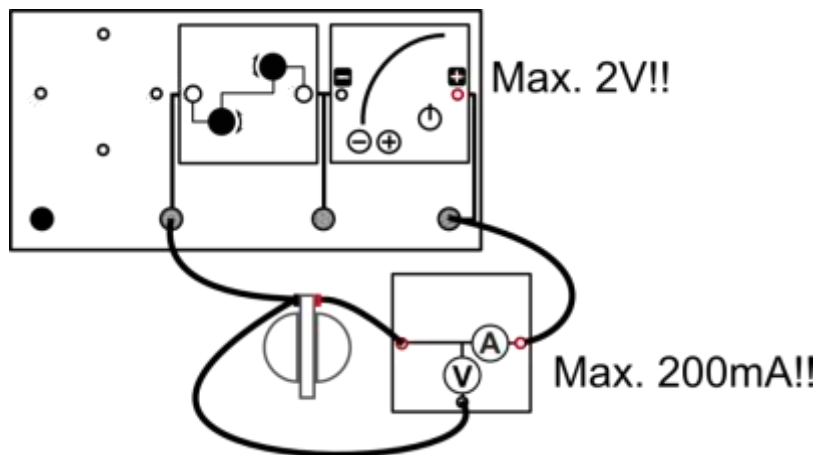


## 19. Die Kennlinie eines Elektrolyseurs

### Aufgabe

Verwende die reversible Brennstoffzelle als Elektrolyseur und nimm die zugehörige Kennlinie auf.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Brennstoffzellenmodul
- 1 Potentiometermodul
- 1 PowerModul
- 1 AV-Modul
- 4 Kabel
- destilliertes Wasser

### Durchführung

1. Befülle die Brennstoffzelle mit destilliertem Wasser. Hinweise zur Handhabung findest du auf Seite 15.
2. Baue den Versuch entsprechend der obigen Abbildung auf. Achte auf die Polarität der Anschlüsse. Stelle das Potentiometer auf den maximalen Widerstand ein. Stelle am PowerModul eine Spannung von 2V ein. Dieser Wert darf nicht überschritten werden!
3. Stelle zunächst am Potentiometer den maximalen Widerstand ein und miss Strom  $I$  und Spannung  $U$  an der Brennstoffzelle. Das AV-Modul wird im Stromstärke-Spannungs-Modus betrieben.
4. Verringere nun in mehreren Schritten den Widerstand am Potentiometer und nimm jeweils Strom und Spannung auf. Beende das Experiment, wenn eine Stromstärke von rund 150mA erreicht ist. Trage Deine Werte in die Tabelle ein.

Hinweis: Achte beim Aufbau darauf, dass der Stromkreis vor Beginn der Messung geöffnet ist (zum Beispiel durch Entfernen eines Kabels), damit das Experiment nicht ohne die Aufnahme der Messwerte beginnt.

### Messwerte

U (V)	1,40	1,42	1,44	1,46	1,48	1,49	1,50
I (mA)	0	3,4	6,7	9,4	14,2	20,6	34,1

U (V)	1,51	1,52	1,53	1,54	1,56	1,57	
I (mA)	44,4	59,7	74,5	91,2	131,9	154,7	

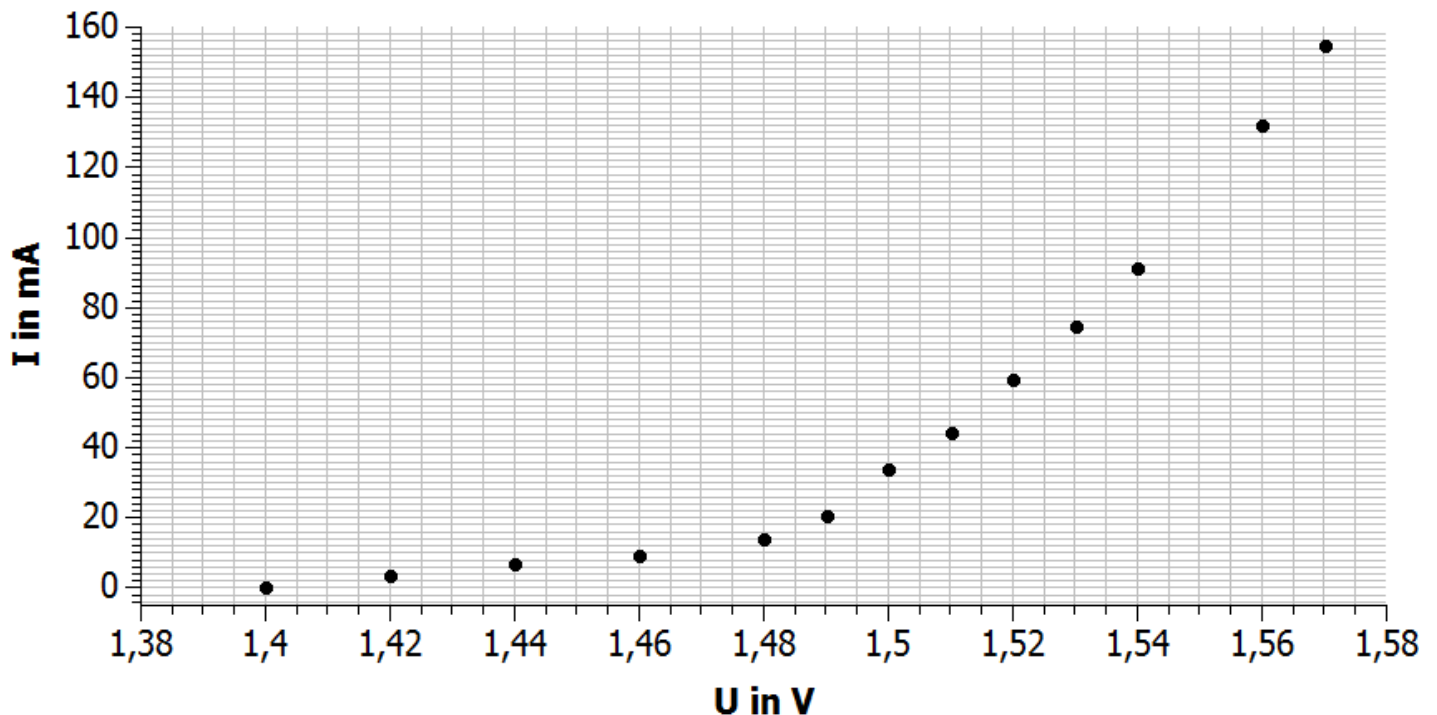


## 19. Die Kennlinie eines Elektrolyseurs

## Auswertung

1. Trage Deine Werte in das abgebildete Diagramm ein.
2. Interpretiere die U-I Kennlinie des Elektrolyseurs.

## Diagramm



## Auswertung

2.

Aus der Kennlinie ist deutlich zu erkennen, dass erst ab einer bestimmten Spannung ein Strom fließt, der zur Erzeugung der Gase führt. Die Zellspannung der galvanischen Zelle beträgt 1,23V und diese sogenannte Zersetzungsspannung muss mindestens angelegt werden, um Wasser zu zersetzen. Die gemessene Mindestspannung von ca. 1,42 V ist jedoch höher. Die Differenz von experimenteller und theoretischer Zersetzungsspannung heißt Überspannung.

Die Überspannung ist abhängig von der Art des Elektrodenmaterials, von der Oberflächenbeschaffenheit der Elektroden, von der Art und Konzentration des Elektrolyten sowie von der Stromdichte (Stromstärke pro Fläche) und der Temperatur. Überspannungen sind gering bei Elektrodenreaktionen die zur Abscheidung von Metallen führen, jedoch besonders groß, wenn Gase ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $Cl_2$ ) abgeschieden werden.

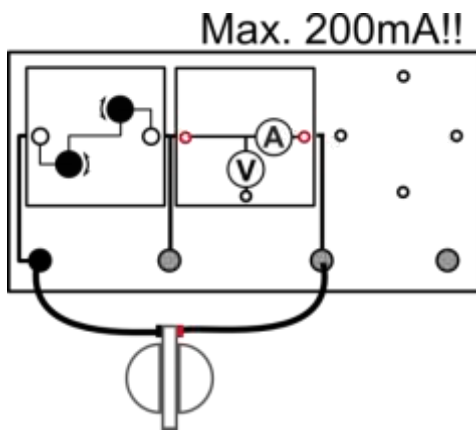


## 20. Die Kennlinie einer Brennstoffzelle

### Aufgabe

Ermittle die U-I-Kennlinie einer Brennstoffzelle.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 große Grundeinheit
- 1 Brennstoffzellenmodul
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 2 Kabel
- destilliertes Wasser

### Vorbereitung

Bevor Du mit dem Versuch startest, musst Du mit der reversiblen Brennstoffzelle ca. 10 ml Wasserstoff produzieren. Hinweise zur Handhabung findest du auf Seite 15 und in Experiment 17. Die Zelle erzeugt während des Ladens einen kapazitiven Effekt, welcher vor der Messung abgebaut werden muss. Berücksichtige deshalb, dass die reversible Brennstoffzelle vor dem Messvorgang kurz (ca. 20 Sekunden bei  $10\Omega$ ) entladen werden muss. Die für das Experiment notwendige Leerlaufspannung liegt zwischen 0,8V – 0,9 V.

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Stecke das Potentiometer noch nicht auf.
2. Miss zunächst die Leerlaufspannung der Brennstoffzelle  $U_0$ .
3. Stecke das Potentiometer auf und stelle den maximalen Widerstand ein. Miss anschließend die Spannung  $U$  und den Strom  $I$ . Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben.
5. Verringere nun in mehreren Schritten den Widerstand am Potentiometer und miss jeweils Strom  $I$  und Spannung  $U$  an der Brennstoffzelle. Beende das Experiment, wenn eine Stromstärke von rund 150mA erreicht ist. Trage Deine Werte in die Tabelle ein.

### Auswertung

1. Stelle Deine Messwerte im beigefügten Diagramm dar.
2. Beschreibe den Verlauf der U-I-Kennlinie.
3. Erläutere, welcher Bereich der Kennlinie für den Betrieb eines Verbrauchers genutzt werden sollte.
4. Erkläre, weshalb die Spannung mit höherer Stromstärke absinkt.



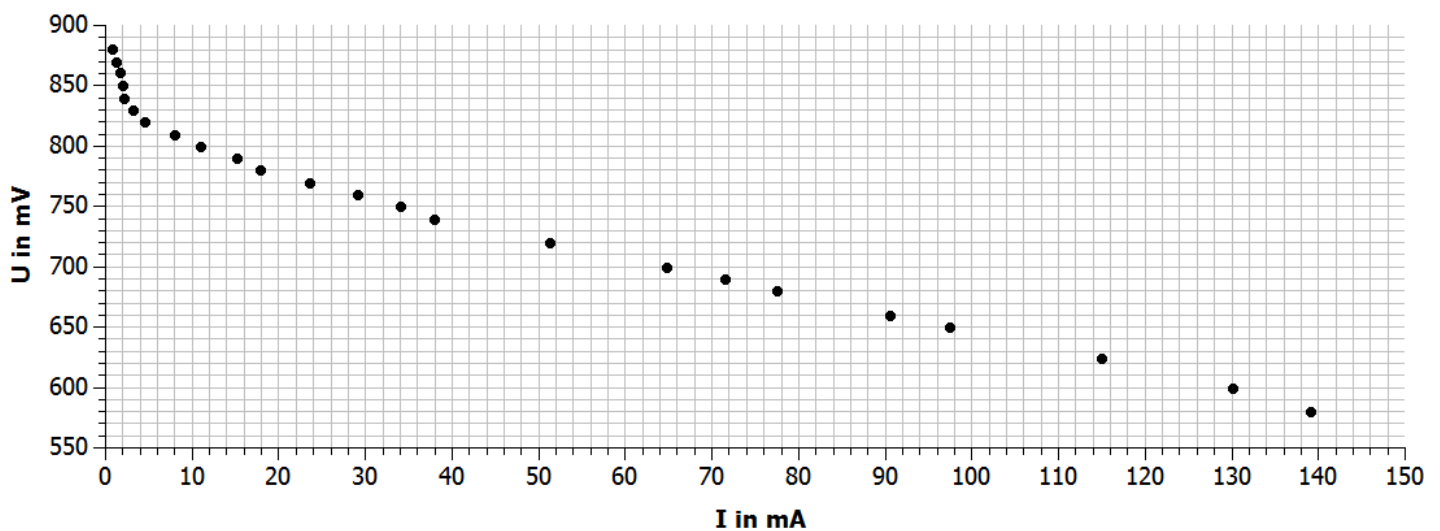
## 20. Die Kennlinie einer Brennstoffzelle

## Messwerte

U (mV)	881	870	861	850	840	830	820	810	800	790	780	770
I (mA)	0,8	1,2	1,7	2	2,1	3,2	4,5	7,9	10,9	15,1	17,9	23,5

U (mV)	760	750	740	720	700	690	680	660	650	624	600	580
I (mA)	29,1	34	37,9	51,3	64,7	71,5	77,5	90,5	97,4	114,9	130	139

## Diagramm



## Auswertung

2.

Der erste Teil der U-I-Kennlinie fällt steil ab. Anschließend verläuft die Kennlinie flacher. Der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung kann in diesem Bereich als linear angesehen werden.

Die maximal erreichbare Spannung der hier verwendeten PEM-Brennstoffzelle liegt bei etwa 0,9V.





## 20. Die Kennlinie einer Brennstoffzelle

## Auswertung

3.

Der erste Teil der Kennlinie fällt steil ab. Die Spannung sinkt also bei geringen Stromstärken stark ab. Das ist ein charakteristisches Merkmal einer PEM-Brennstoffzelle.

Mit steigender Stromstärke verläuft der Spannungsabfall flacher. Deshalb sollte die Betriebsspannung der Brennstoffzelle in diesem Bereich liegen.

4.

Im Leerlauf fließt kein Strom, wenn allerdings ein Widerstand dazu geschaltet wird, beginnt der Elektronenfluss. Dabei werden an der Anode der Brennstoffzelle Wassermoleküle in Protonen und Elektronen gespalten. Es wandern nun weniger Elektronen durch den Stromkreis als Protonen durch die Membran. Dadurch gelangen an die Kathode mehr Protonen als Elektronen pro Zeiteinheit. Dadurch bedingt folgt eine Änderung der Elektronenpotentiale. Die Potentialdifferenz sinkt und damit die Gesamtspannung der Zelle.

leXsolar GmbH  
Strehleener Straße 12-14  
01069 Dresden / Germany

Telefon: +49 (0) 351 - 47 96 56 0  
Fax: +49 (0) 351 - 47 96 56 - 111  
E-Mail: [info@lexsolar.de](mailto:info@lexsolar.de)  
Web: [www.lexsolar.de](http://www.lexsolar.de)