

# leXsolar-NewEnergy Ready-to-go



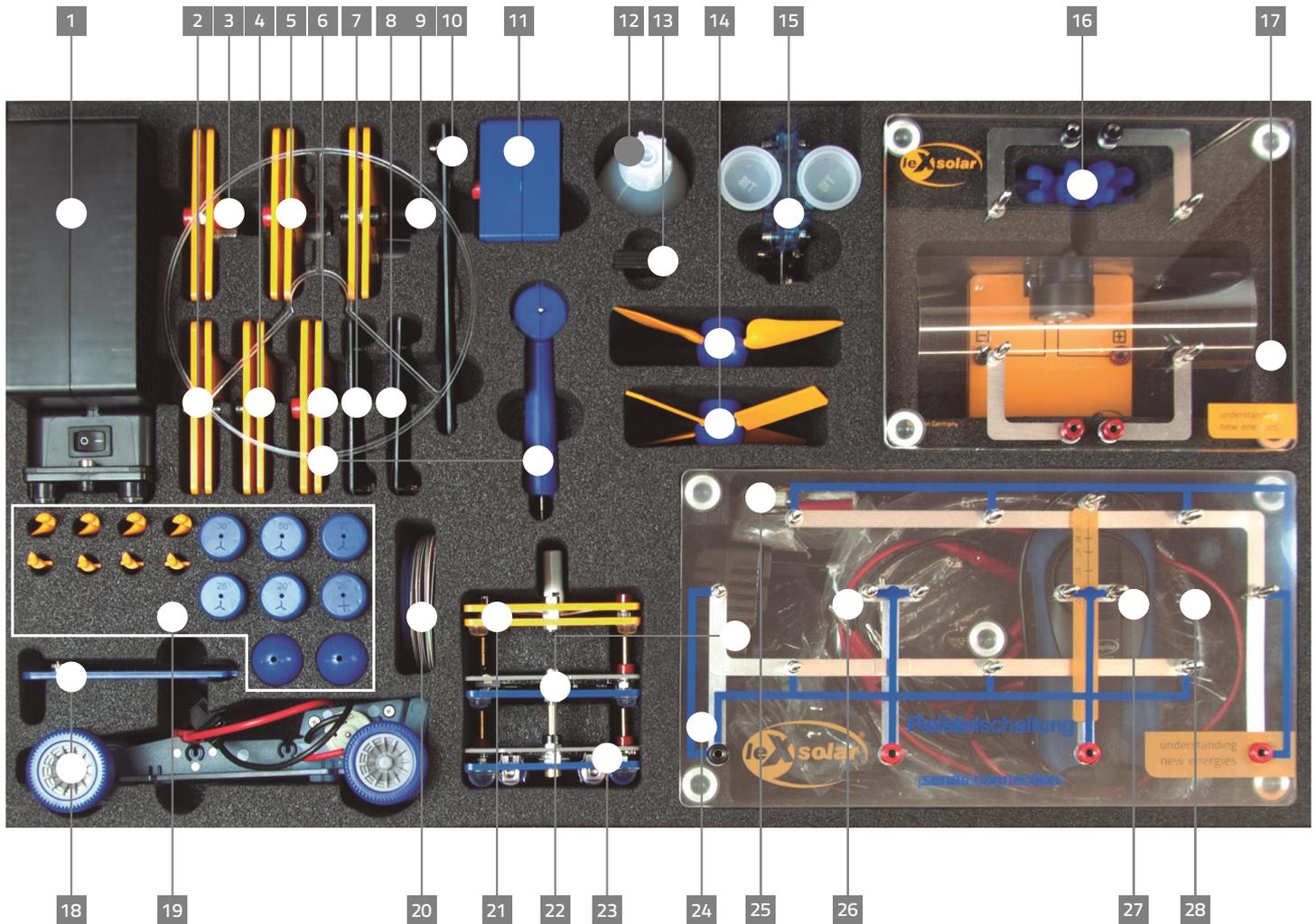
Anleitungsheft

# 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/red<br/>L2-06-014/015 Messleitung 50 cm. schw./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\_23.03.2016



# Inhalt von leXsolar – NewEnergy Ready-to-go

Kapitel 1: Bezeichnung und Handhabung der Experimentiergeräte .....	5
---	---

## Experimente – Grundschule

### Einführung

1. Aus Muskelkraft wird Strom ... wird Licht.....	18
2. Aus Muskelkraft wird Strom ... wird Bewegung .....	19
3. Aus Muskelkraft wird Strom ... wird Krach.....	20
4. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Bewegung .....	21
5. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Krach.....	22
6. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Licht.....	23
7. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Bewegung .....	24
8. Die Ausrichtung von Solarzellen.....	25
9. Von der Solarzelle zum Solarmodul .....	26
10. Teilverschattung des Solarmoduls.....	27
11. Aus Windenergie wird Strom ... wird Krach.....	29
12. Aus Windenergie wird Strom ... wird Licht.....	30
13. Abhängigkeit von der Windrichtung .....	31
14. Einfluss des Flügelprofils.....	32
15. Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.....	33
16. Aus einem Wasserstrahl wird Strom... wird Lärm .....	34
17. Je weiter das Wasser fällt, desto.....	35
18. Speicherung von Solarenergie .....	36
19. Speicherung von Windenergie.....	37
20. Was ist ein Elektrolyseur?.....	38
21. Wie kann Wasser gespalten werden?.....	40
22. Was ist eine Brennstoffzelle?.....	41
23. Die Brennstoffzelle treibt den Motor an.....	42
24. Die Brennstoffzelle treibt die Hupe an .....	43
25. Energiebedarf verschiedener Verbraucher.....	44
26. Vergleich von Glühlampe und LED .....	45
27. Energiespeicherung und Abgabe... E-Mobility.....	46

## Experimente – Sekundarstufe 1

1. Energieformen und Verbraucher .....	47
2.1 Der Grundaufbau für Farbscheibenexperimente.....	48
2.2 Farbeigenschaften.....	49
2.3 Die additive Farbmischung.....	50
2.4 Optische Täuschungen mit der Benham-Scheibe .....	51
2.5 Optische Täuschungen mit der Relief-Scheibe.....	52
3. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der beleuchteten Fläche .....	53
4.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (qualitativ).....	56
4.2 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (quantitativ).....	58
5. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Beleuchtungsstärke.....	60
6.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Last .....	62
6.2 Die U-I-Kennlinie und der Füllfaktor einer Solarzelle.....	64
6.3 Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke .....	67
7.1 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (qualitativ).....	70
7.2 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (quantitativ).....	71
8. Anlaufgeschwindigkeit an einer Windkraftanlage.....	73
9.1 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten eines Verbrauchers.....	76
9.2 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten verschiedener Verbraucher.....	78
10.1 Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblattrotoren (qualitativ).....	80
10.2 Vergleich von Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren (quantitativ).....	82
11. Kennlinie einer Windkraftanlage mit Gleichstromgenerator .....	84
12.1 Einfluss der Windrichtung (qualitativ).....	86
12.2 Einfluss der Windrichtung (quantitativ) .....	88
13.2 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (quantitativ) .....	91
14.1 Einfluss der Flügelform (qualitativ).....	93
14.2 Einfluss der Flügelform (quantitativ).....	94
15.1 Wasser als Energiequelle (qualitativ) .....	95
15.2 Wasser als Energiequelle (quantitativ).....	96
16.1 Abhängigkeit von der Fallhöhe (qualitativ) .....	97
16.2 Abhängigkeit von der Fallhöhe (quantitativ).....	98
17. Was macht ein Elektrolyseur? .....	100
18. Was macht eine Brennstoffzelle? .....	102
19. Die Kennlinie eines Elektrolyseurs.....	103
20. Die Kennlinie einer Brennstoffzelle .....	105

## Kapitel 1: Bezeichnung und Handhabung der Experimentiergeräte

### leXsolar-NewEnergy Ready-to-go

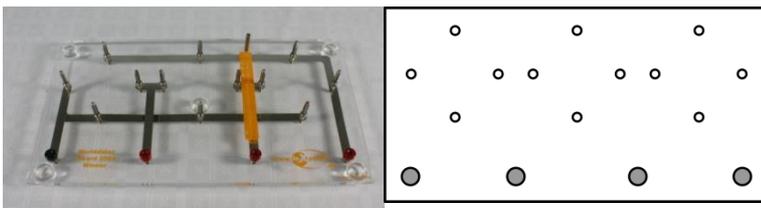
In der folgenden Auflistung werden alle im leXsolar-NewEnergy Ready-to-go Koffer enthaltenen Einzelteile aufgeführt. Zu jeder Komponente finden Sie die Bezeichnung mit Artikelnummer, eine Abbildung, das Piktogramm in den Versuchsaufbauten und Hinweise zur Bedienung. Mit Hilfe der Artikelnummer können 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 mit anderen zu verbinden, befinden sich an zwei gegenüberliegenden Seiten insgesamt vier Anschlüsse. Für die Verbindung von Modulen auf der Grundeinheit stehen zwei Kurzschlussstecker zur Verfügung.

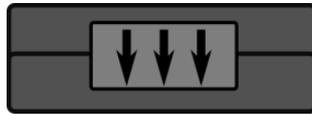
#### Grundeinheit 1100-19



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 mit anderen zu verbinden, befinden sich am unteren Ende vier Anschlüsse.

Die beiden Schaltpläne zum Auflegen auf die Grundeinheit zeigen jeweils die Verbindungen für eine Reihen- oder Parallelschaltung. Zum Wechsel zwischen Reihen- und Parallelschaltung müssen die Module jeweils um 90° gedreht aufgesteckt werden.

## Winderzeuger 1400-19



Der Winderzeuger dient zur kontrollierten Steuerung des Windes für das Experimentieren mit der Windturbine. Für die Experimente wird der Winderzeuger mit dem PowerModul (Spannungsquelle) verbunden. Hierzu muss der negative (positive) Pol des PowerModuls mit dem schwarzen (roten) Anschluss verbunden werden. Zur Inbetriebnahme befindet sich auf der den Anschlüssen gegenüber liegenden 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 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.

### Technische Daten:

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

## Windrotoren 1400-12



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 in einem Anstellwinkel von 25° und der 3-fach Einsatz in den Anstellwinkeln 20°, 25°, 30°, 50° und 90° vorhanden. Zum Einsetzen der Rotorblätter sollte folgendermaßen vorgegangen werden:



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 nach oben in den Einsatz gelegt werden.



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

## Handhabung Fingerschutz für Windturbinenmodul 1400-22

- 1) Am Windgenerator befinden sich wie abgebildet drei kleine Nasen zum Befestigen des Fingerschutzgitters.



- 2) Das Fingerschutzgitter wird auf den Kopf des Windgenerators aufgesteckt und an den unteren beiden Nasen leicht festgedrückt.

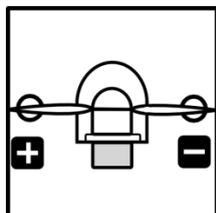


- 3) Anschließend wird der Windrotor auf die Welle des Windgenerators gesteckt.



**Hinweis:** Das Fingerschutzgitter bietet Schutz vor einer seitlichen Kollision, zum Beispiel beim Drehen des Windgenerators. Von vorn darf nicht in den Windrotor gegriffen werden, da sonst Verletzungsgefahr besteht!

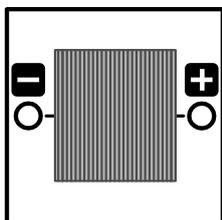
### leXsolar-Windturbinenmodul 1400-22



Zunächst muss die blaue Windturbinen auf die entsprechende Modulplatte gesteckt werden. Auf die Generatorwelle wird dann ein Windrotor befestigt, um eine kleine Windkraftanlage zu erhalten. Der Rotor sollte dabei nicht das Gehäuse der Turbine berühren, da er sich durch die Reibung deutlich schwerer drehen kann. Der Generator erzeugt eine Gleichspannung, deren Polung auf der Modulplatte erkennbar ist. Des Weiteren ist auf die Modulplatte eine Winkelskala aufgedruckt, mit der die Turbine in einem bestimmten Winkel in den Wind gedreht werden kann.

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

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

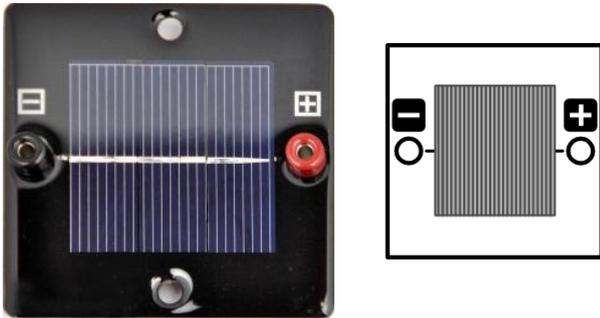


Auf der Rückseite befindet sich die Angabe zur Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke

#### Technische Daten:

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

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



Das Solarmodul ist eine Reihenschaltung aus den 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 Solarmodul ist eine Reihenschaltung aus den 5 Solarzellen.

#### Technische Daten:

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

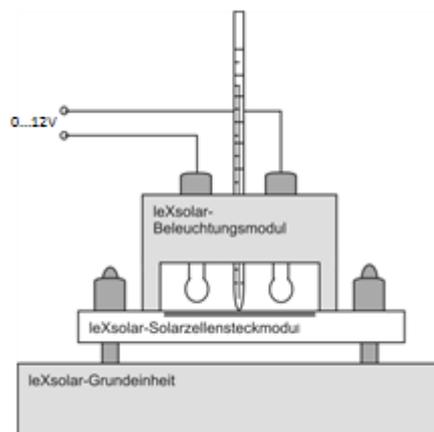
### Satz Abdeckung f. Solarzelle 1100-29



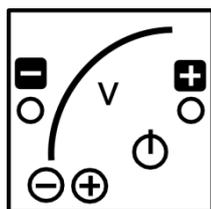
## Beleuchtungsmodul (1100-20)



Das Beleuchtungsmodul wird mit dem PowerModul 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 der Erwärmung der Solarzelle durch die Wärmestrahlung nicht zu lange auf der Solarzelle steht. Zwischen den beiden Anschlüssen befindet sich ein Loch für das Laborthermometer mit dem für einzelne Experimente die Temperatur der Solarzelle bestimmt werden kann.



## PowerModul 9100-05

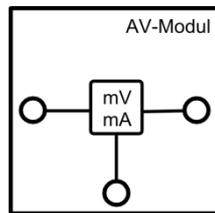


Das PowerModul ist ein kompaktes und intuitiv zu bedienendes Stromversorgungsgerät für Experimente. Zum Betrieb muss zunächst das beiliegende Steckernetzteil in die Steckdose gesteckt und mit der Eingangsbuchse oben rechts am PowerModul verbunden werden. Die Spannung wird mit der „+“ - und „-“ - Taste 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 Smart Grid Versuchen wird das PowerModul einerseits zur Spannungsversorgung, z.B. des Winderzeugers oder des Elektrolyseurs eingesetzt, andererseits simuliert es ein Kraftwerk oder eine Trafostation.

### 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! Beim Einlegen 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:

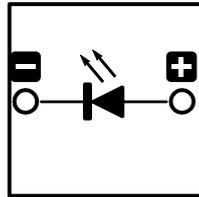
Spannungsmessung:

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

Strommessung:

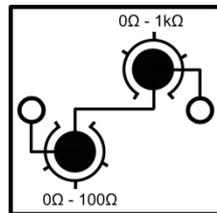
- Messbereich: 0...2 A
- Genauigkeit: 0,1 mA (0...199 mA) und 1 mA (200 mA...1 A)
- Automatiksicherung >2 A (Wiedereinschalten durch Touchbutton)
- Innenwiderstand <0,5 Ohm (0...200 mA); <0,2 Ohm (200 mA...2 A)

### LED-Modul 1400-08



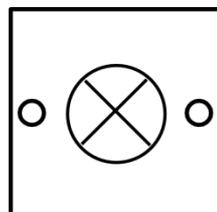
Im Inneren des LED-Moduls befindet sich eine rote LED mit einer Wellenlängenemission von 697 nm. Um die Diode zum Leuchten zu bringen muss mindestens eine Spannung von 1,7 V angelegt werden.

### Potentiometermodul 1100-61



Das Potentiometermodul besteht aus einem 0-100Ω-Drehwiderstand und einem 0-1000Ω-Drehwiderstand. Beide sind in Reihe geschaltet, sodass das Potentiometermodul Widerstände zwischen 0 Ω bis 1100 Ω annehmen kann. Die Messgenauigkeit beim Einstellen eines Widerstandes liegt bei 0,5 Ω beim kleineren Drehwiderstand und bei 5 Ω beim Größeren.

### Glühlampenmodul 1100-26



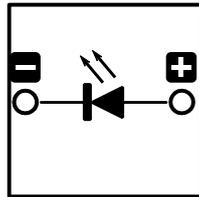
Das Glühlampenmodul fungiert als Verbraucher in den Smart Grid Versuchen.

#### Technische Daten:

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

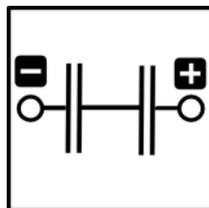
Absicherung über Spannungsbegrenzung (6V)

### LED-Modul 1400-08



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

### Kondensatormodul 1600-02



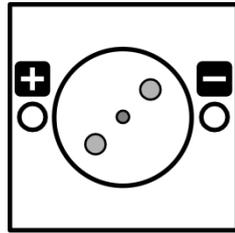
Das Kondensatormodul besteht aus zwei in Reihe geschalteten Kondensatoren. Die maximale Spannung des Kondensatormoduls beträgt 5,4 V. Zum Aufladen sollte keine höhere Spannung als 5 V angelegt werden. Zum Entladen kann der Kondensator kurzgeschlossen werden, da Sicherungen im Modul eine zu hohe Stromstärke verhindern. Zum schnellen Aufladen kann der Kondensator direkt an die Spannungsquelle angeschlossen werden. Anschließend kann die Spannungsquelle bei 0,5 V eingeschaltet und alle 10 s um 0,5 V erhöht werden. In der Endspannung sollte der Kondensator ca. 30 s aufgeladen werden.

#### Technische Daten:

Kapazität: 5 F

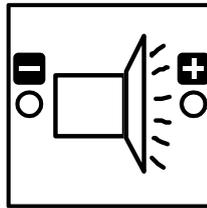
Spannung: 5,4 V

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



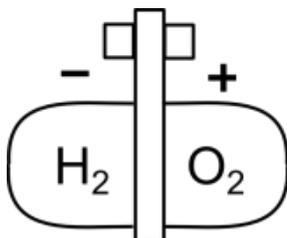
Das Motormodul beinhaltet einen Gleichstrommotor, der sich je nach angelegter Spannung in verschiedene Richtungen dreht. Um anzulaufen benötigt er eine Mindestspannung von 0,35 V. Über die Blau Plastikscheibe, können Farbscheiben an dem Motormodul befestigt werden. Mit Hilfe der Farbscheiben können optische 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

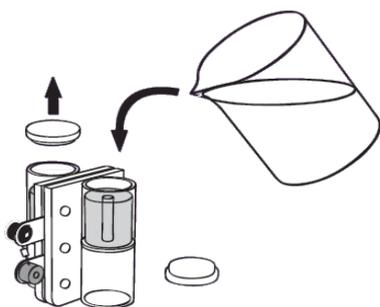


Das Hupenmodul beginnt erst ab einer Spannung von 0,7 V zu summen.

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



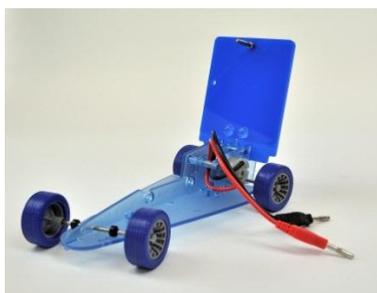
Die reversible Brennstoffzelle besteht aus einem Elektrolyseur und einer Brennstoffzelle. Zum Befüllen der reversiblen Brennstoffzelle sollte folgendermaßen vorgegangen werden:



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 sollte mit dem PowerModul keine Spannung von mehr als 1,5 V angeschlossen werden. Andernfalls kann es passieren, dass ohne zwischengeschaltete Widerstände eine größere Stromstärke als 1 A hindurchfließt, was sie funktionsunfähig machen kann.

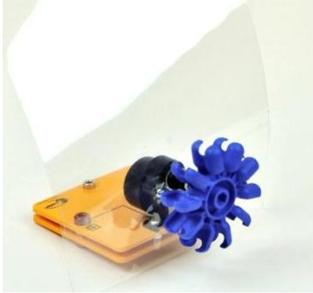
### Elektro-Modellfahrzeug mit Akku-Adapter 1801-02



Das Elektro-Modellfahrzeug kann mit der reversiblen Brennstoffzelle oder dem Kondensatormodul betrieben werden. Die reversible Brennstoffzelle kann direkt auf das Fahrzeug gesteckt werden. Das Kondensatormodul kann mit der Adapterplatte an dem Fahrzeug befestigt werden.

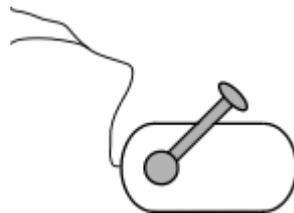
Das Fahrzeug bewegt sich, sobald die beiden Kontakte an den Versorger angeschlossen werden. Werden die Räder während des Betriebs festgehalten, kommt es zum Kurzschluss und der Energiespeicher entlädt sich.

### Wasserradmodul 1900-01



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.

### Handgeneratormodul 1602-02 und Zubehör

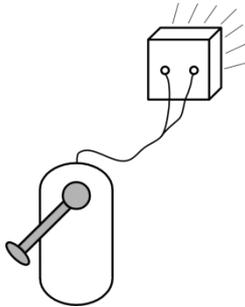




## 1. Aus Muskelkraft wird Strom ... wird Licht

### Aufbau

Stecke die Stecker des Handgenerators an das Beleuchtungsmodul.



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Handgenerator
- Beleuchtungsmodul

### So geht`s

Kurble kräftig am Handgenerator! Was beobachtest du?

---



---

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

---



---

Lasse deinen Experimentierpartner eine der Glühlampen eine Weile anfassen, während du kräftig kurbelst. Was kann er dabei wahrnehmen?

---



---

Welche Energieumwandlungen hast du in diesem Experiment beobachtet?

---



---



---



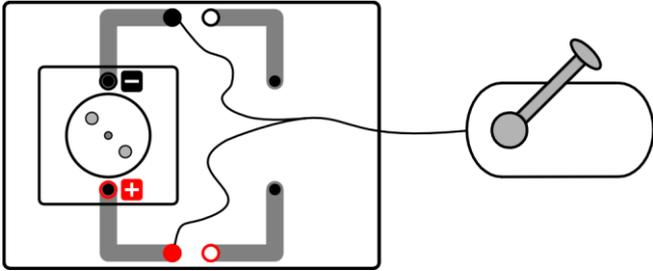
---



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

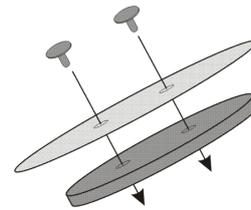
### Aufbau

Baue den Versuch so auf:  
(Achte auf die richtige Polarität: rotes Kabel in rote Buchse, schwarzes Kabel in schwarze Buchse!)



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Handgenerator
- Motormodul mit Farbscheibe rot-blau



### So geht's

Stecke den Motor auf die Grundeinheit und verbinde den Handgenerator mit der Grundeinheit. Stecke die Pappscheibe rot-blau mit den blauen Steckern auf das blaue Rad.. Stecke das blaue Rad nun auf den Motor! 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.

Kurble kräftig am Handgenerator! Was beobachtest du?

---



---

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

---



---

Vertausche nun die Kabel des Handgenerators – also rotes Kabel in die schwarze Buchse und schwarzes Kabel in die rote Buchse und kurble erneut möglichst langsam. Was beobachtest du?

---



---

Welche Energieumwandlungen hast du in diesem Experiment beobachtet?

---



---



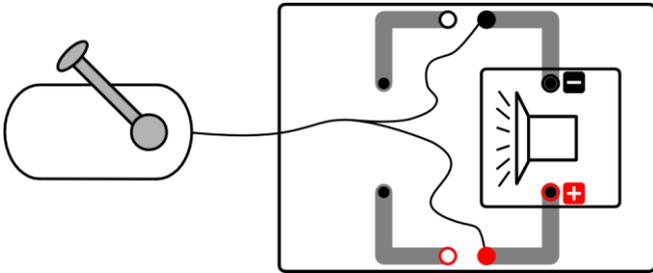
---



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

#### Aufbau

Baue den Versuch so auf:  
(Achte auf die richtige Polarität: rotes Kabel in rote Buchse, schwarzes Kabel in schwarze Buchse!)



#### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Handgenerator
- Hupenmodul

#### So geht's

Kurble kräftig am Handgenerator! Was beobachtest du?

---

---

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

---

---

Vertausche nun die Kabel des Handgenerators – also rotes Kabel in die schwarze Buchse und schwarzes Kabel in die rote Buchse und kurble erneut möglichst langsam. Was beobachtest du?

---

---

Welche Energieumwandlungen hast du in diesem Experiment beobachtet?

---

---

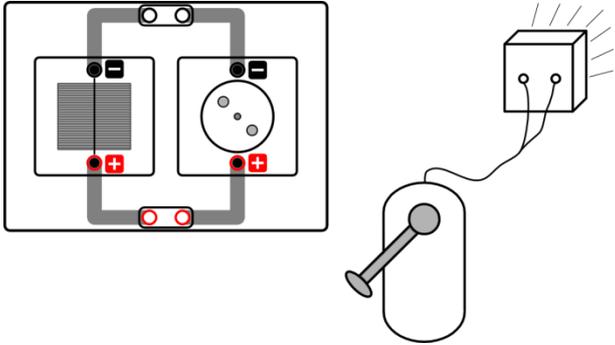
---



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

## Aufbau

Baue den Versuch so auf:



## Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Solarzelle 0,5V
- Motormodul
- Kurzschlussstecker

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

- Handgenerator
- Beleuchtungsmodul

## So geht's

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

---



---

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

---



---

Kannst du die Beobachtung erklären?

---



---



---



---



---



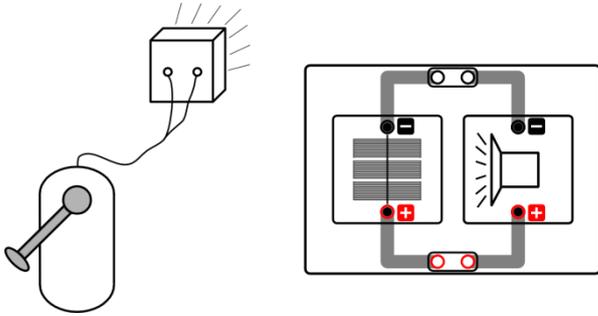
---



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

## Aufbau

Baue den Versuch so auf:



## Benötigte Geräte

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

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

- Handgenerator
- Beleuchtungsmodul

## So geht's

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

---



---

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

---



---

Kannst du die Beobachtung erklären?

---



---



---

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

---



---



---



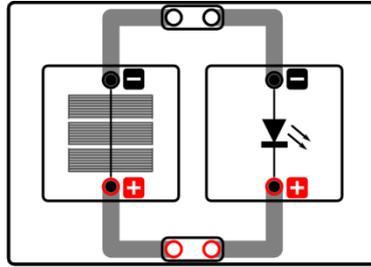
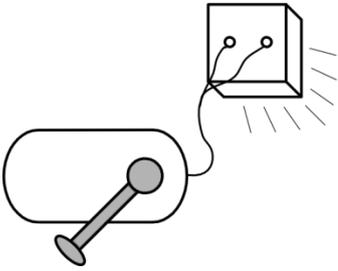
---



## 6. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Licht

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Solarmodul 1,5V
- LED-Modul
- Kurzschlussstecker

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

- Handgenerator
- Beleuchtungsmodul

### So geht's

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

---



---

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

---



---

Kannst du die Beobachtung erklären?

---



---

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

---



---



---



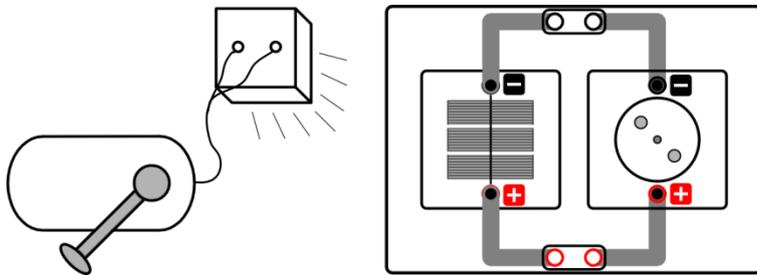
---



## 7. Aus Sonnenenergie wird Strom ... wird Bewegung

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Solarmodul 1,5V
- Motormodul mit beliebiger Farbscheibe
- Kurzschlussstecker
- Abdeckplättchen

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

Lichtquelle:

- Handgenerator
- Beleuchtungsmodul

### So geht's

Stelle die Grundeinheit ins Sonnenlicht. Falls die Sonne nicht scheint, stelle das Beleuchtungsmodul auf das Solarmodul und Kurble kräftig am Handgenerator.

Vergleiche nun folgende Situationen und notiere, in welcher sich der Motor am schnellsten, zweitschnellsten usw. dreht.

*Solarzelle durch  
Abdecken verkleinert:*

*Rangfolge der Drehgeschwindigkeit  
(1 schnellste ... 5 langsamste):*

- Solarzelle ohne Abdeckung -----
- Ein Viertel der Solarzelle bedeckt -----
- Die Hälfte der Solarzelle bedeckt -----
- Drei Viertel der Solarzelle bedeckt -----
- Die ganze Solarzelle bedeckt -----

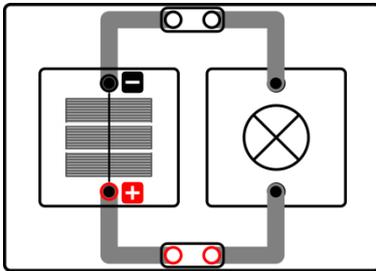
Je größer die Fläche der Solarzelle, desto \_\_\_\_\_ dreht sich der Motor!



## 8. Die Ausrichtung von Solarzellen

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Solarmodul 1,5V
- Glühlampenmodul
- Kurzschlussstecker

Dieser Versuch ist nur im direkten Sonnenlicht durchführbar!

### So geht's

Halte die Grundeinheit ins Sonnenlicht. Richte sie optimal zur Sonne aus, sodass das Solarmodul genau senkrecht zum Lichteinfall steht. (Das kannst du z.B. daran erkennen, dass die Kurzschlussstecker keinen Schatten mehr auf die Grundeinheit werfen.)

Neige nun die Grundeinheit langsam aus dem Licht und beobachte dabei die Helligkeit der Glühlampe!

Was beobachtest du?

---



---

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

---



---



---



---



---



---



---



---



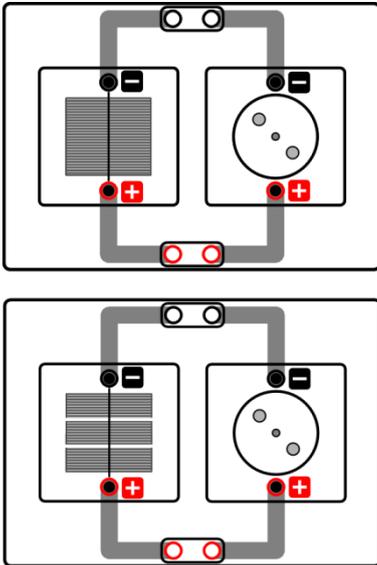
---



## 9. Von der Solarzelle zum Solarmodul

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Kurzschlussstecker
- Solarzelle 0,5V
- Solarmodul 1,5V
- Glühlampenmodul
- Motormodul
- Hupe modul
- LED-Modul

Dieser Versuch sollte möglichst unter Sonnenlicht stattfinden. Mit der „handbetriebenen“ Lichtquelle kann es zu falschen Ergebnissen kommen!

### So geht's

In diesem Versuch sollen alle vier Verbrauchermodule (Motor, Hupe, Glühlampe, LED) einmal mit der Solarzelle und einmal mit dem Solarmodul betrieben werden. (Als Verbraucher werden Bauelemente bezeichnet, die Strom *verbrauchen*. Die Solarzelle z.B. ist kein Verbraucher, sondern ein Energielieferant – sie erzeugt aus Lichtenergie elektrischen Strom – wohingegen Motor, LED usw. elektrische Energie in andere Energieformen – Bewegung, Licht, Wärme – umwandeln.)

Der Versuch wird zuerst wie oben abgebildet mit dem Motormodul aufgebaut. Anschließend wird der Motor gegen das Hupe modul, die Glühlampe und die LED ausgetauscht und der Versuch jeweils wiederholt.

Charakterisiere das Verhalten der Verbraucher: (Messergebnisse in Klammern für handbetriebene Lichtquelle)

	mit Solarzelle	mit Solarmodul
Motor	-----	-----
Hupe	-----	-----
Glühlampe	-----	-----
LED	-----	-----

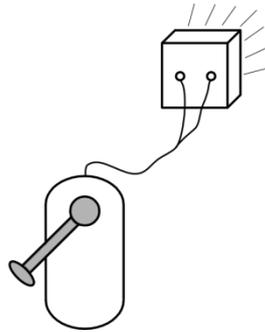
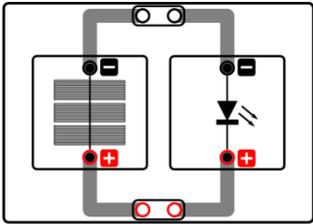
Einige Verbraucher brauchen eine bestimmte Mindestspannung, um zu funktionieren. Was kannst du daraus über den Unterschied von Solarzelle und Solarmodul folgern?



## 10. Teilverschattung des Solarmoduls

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Solarmodul 1,5V
- LED-Modul
- Kurzschlussstecker

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

- Handgenerator
- Beleuchtungsmodul

Zusätzlich benötigt:

- einen dunklen Streifen Papier/Pappe

### So geht's

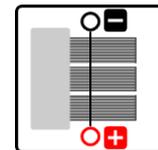
Halte das Solarmodul ins Sonnenlicht! Falls die Sonne nicht scheint, stelle das Beleuchtungsmodul auf die Solarzelle und Kurble kräftig am Handgenerator. Was beobachtest du?

---



---

Decke das Solarmodul nun mit einem schwarzen Stück Papier oder Pappe so zu:



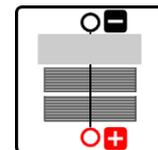
Was beobachtest du?

---



---

Decke das Solarmodul nun mit einem schwarzen Stück Papier oder Pappe so zu:



Was beobachtest du?

---



---



## 10. Teilverschattung des Solarmoduls

### So geht's

Welche Unterschiede siehst du und wie erklärst du dir das beobachtete Verhalten?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

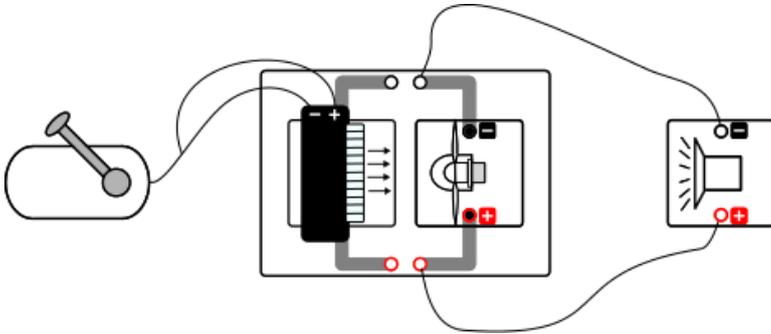
---



## 11. Aus Windenergie wird Strom ... wird Krach

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeuger
- Windturbinenmodul mit geschwungenem Propeller
- Handgenerator
- 2 Kabel
- Hupen-Modul

**Achtung Verletzungsgefahr:** Berühre nicht den drehenden Rotor!

### So geht`s

Schalte den Winderzeuger ein. Kurble kräftig am Handgenerator! Was beobachtest Du am Windturbinenmodul?

---



---

Was passiert mit der Hupe?

---



---

Erkläre Deine Beobachtung!

---



---



---



---



---



---



---



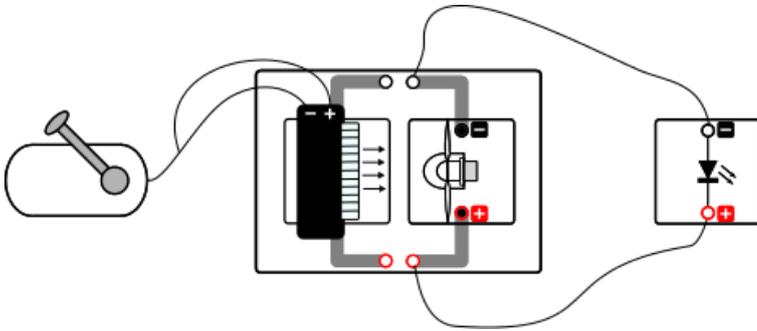
---



## 12. Aus Windenergie wird Strom ... wird Licht

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeuger
- Windturbinenmodul mit geschwungenem Propeller
- Handgenerator
- 2 lange Kabel
- LED-Modul

**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor!**

### So geht's

Kurble kräftig am Handgenerator! Was beobachtest Du am Windturbinenmodul?

---



---

Welche Beobachtung machst du an der LED?

---



---

Erkläre Deine Beobachtung!

---



---



---



---



---



---



---



---



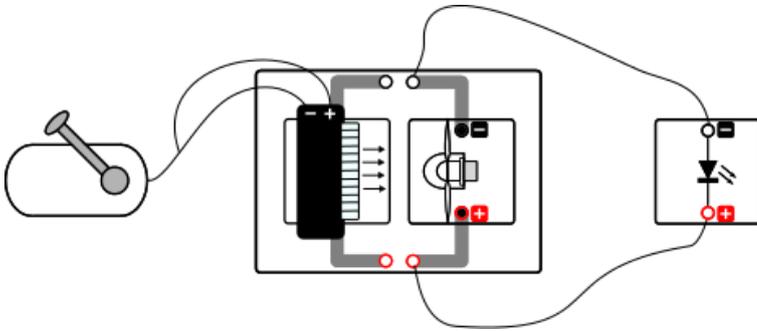
---



## 13. Abhängigkeit von der Windrichtung

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeuger
- Windturbinenmodul mit geschwungenem Propeller
- Handgenerator
- 2 Kabel
- LED-Modul

**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor!**

### So geht's

Dieser Versuch sollte von zwei Schülern gemeinsam durchgeführt werden. Ein Schüler kurbelt während des gesamten Versuchs kräftig und gleichmäßig am Handgenerator!

Wartet bis die LED hell leuchtet. Fasse nun den Fuß der Windturbine an - Halte deine Hand dabei flach, damit du den Luftstrom nicht behinderst und dich nicht verletzt.

Drehe die Windturbine langsam aus dem Wind wie auf dem Bild dargestellt und beobachte dabei die LED. Pass dabei auf, dass die Windturbine beim Drehen nicht den Winderzeuger berührt!! Was passiert?

---



---



---



---



---

Drehe die Windturbine nun in der anderen Richtung aus dem Wind. Was beobachtest du dabei?

---



---



---

Tauscht nun die Rollen und lasse deinen Mitschüler den Versuch auch durchführen.

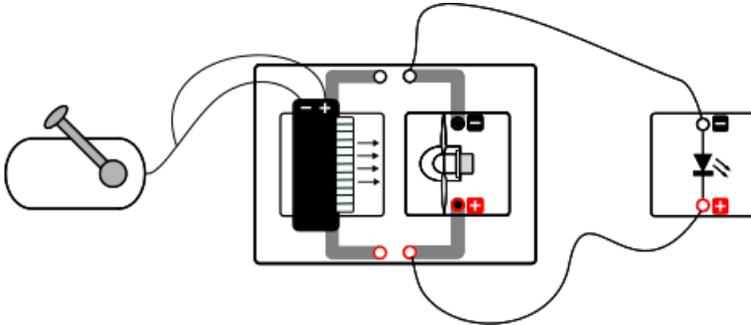
Überlegt anschließend, was ihr daraus schlussfolgern könnt.



## 14. Einfluss des Flügelprofils

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeuger
- Windturbinenmodul mit geschwungenem Propeller
- Windturbinenmodul mit Windmühlenflügeln
- Handgenerator
- 2 Kabel
- LED-Modul

**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor!**

### So geht's

Baue den Versuch zunächst mit dem Windturbinenmodul mit geschwungenem Propeller auf.

Kurble kräftig am Handgenerator! Was beobachtest Du am Windturbinenmodul?

---



---

Welche Beobachtung machst du an der LED?

---



---

Tausche den geschwungenen Propeller gegen die Windmühlenflügel aus und wiederhole den Versuch. Was kannst du jetzt am Windturbinenmodul und an der LED beobachten?

---



---

Erkläre Deine Beobachtung!

---



---



---



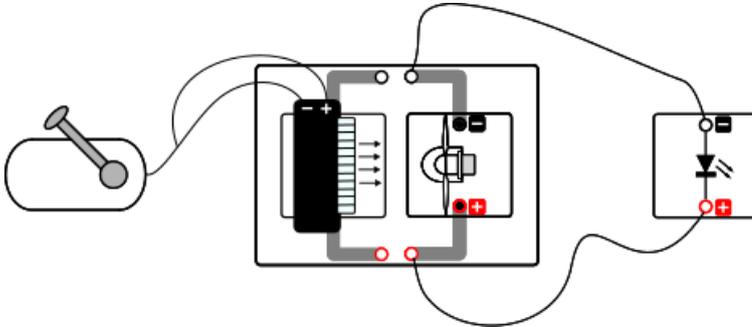
---



## 15. Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeuger
- Windturbinenmodul mit geschwungenem Propeller
- Handgenerator
- 2 Kabel
- LED-Modul

**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor!**

### So geht's

Dieser Versuch sollte von zwei Schülern gemeinsam durchgeführt werden. Ein Schüler übernimmt während des Versuchs den Handgenerator.

Bei diesem Versuch soll mit verschiedenen Geschwindigkeiten am Handgenerator gekurbelt werden. Beginnt zunächst mit der höchsten Geschwindigkeit und beobachtet dabei die LED. Lasse deinen Mitschüler zunächst gleichmäßig weiterkurbeln und halte die Hand hinter das Windrad, um die Windgeschwindigkeit zu erfühlen. Lasse ihn danach die Kurbelgeschwindigkeit ein wenig verringern, beobachte die LED und erfühle anschließend wieder die Windgeschwindigkeit.

Versucht nun die nachfolgende Tabelle auszufüllen!

Kurbelgeschwindigkeit	Windgeschwindigkeit (1 ... niedrig bis 4 ... hoch)	Helligkeit der LED (1 ... aus bis 4 ... hell)
sehr schnell	-----	-----
schnell	-----	-----
mittel	-----	-----
langsam	-----	-----

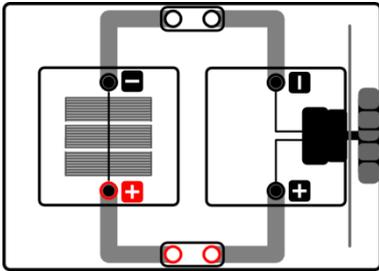
Tauscht nun die Rollen und überprüft damit Eure Ergebnisse noch einmal.



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

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Kurzschlussstecker
- Wasserradmodul
- Hupenmodul
- Schlauch

#### Zusätzlich benötigt:

- Zwei große Schüsseln/Kisten
- Wasser
- Tisch/Stuhl/anderer höherer Standort

### So geht's

Baue die Schaltung auf. Stelle eine Schüssel mit Wasser auf den Tisch, die andere platzierst du z.B. auf dem Boden oder Stuhl so, dass du das Wasser, mit dem du das Wasserrad antreiben wirst, auffangen kannst.

Stecke nun den Schlauch mit einem Ende in das Wasser und sauge das Wasser an, bis der Wasserstand im Schlauch (wenn du ihn nach unten zum Wasserrad hältst) tiefer als das Wasser in der Schüssel ist. (Finger draufhalten, damit der Wasserspiegel nicht wieder sinkt) Alternativ kannst du auch den Schlauch komplett in die Schüssel legen. 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 Schlauches im Wasser bleibt.

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.

Notiere deine Beobachtungen!

---



---



---



---



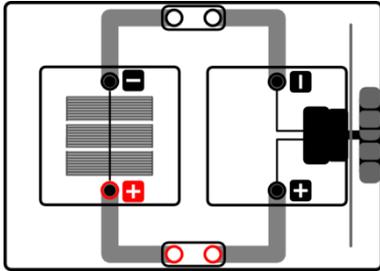
---



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

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Kurzschlussstecker
- Wasserradmodul
- Hupenmodul
- Schlauch

#### Zusätzlich benötigt:

- Zwei große Schüsseln/Kisten
- Wasser
- Tisch/Stuhl/anderer höherer Standort

### So geht's

Baue die Schaltung wie auf dem Bild auf. Stelle eine Schüssel mit Wasser auf den Tisch, die andere platzierst du auf dem Stuhl so, dass du das Wasser, mit dem du das Wasserrad antreiben wirst, auffangen kannst. Führe den Versuch wie in Experiment 16 durch. Verändere nun die Fallhöhe (also die Höhe des Wassers im oberen Gefäß zum Wasserrad). Was kannst du feststellen?

Je größer die Höhe, desto \_\_\_\_\_ hupt die Hupe.

Erklärung:

Je weiter das Wasser fällt, desto \_\_\_\_\_ wird es. Wenn das Wasser mit größerer

\_\_\_\_\_ auf das Wasserrad trifft, ist die \_\_\_\_\_ größer und das Wasserrad dreht sich

\_\_\_\_\_ Dadurch fließt mehr \_\_\_\_\_ Je mehr Strom fließt, desto \_\_\_\_\_

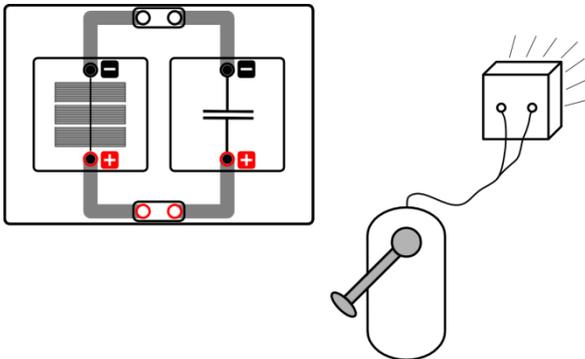
hupt die Hupe.



# 18. Speicherung von Solarenergie

## Aufbau

Baue den Versuch so auf:



## Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Solarmodul 1,5V
- Kondensatormodul
- Hupen-Modul
- Kurzschlussstecker

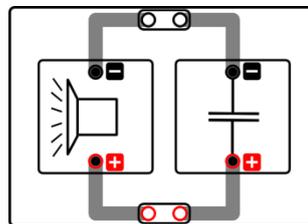
Falls die Sonne nicht scheint, brauchst Du zusätzlich eine „handbetriebene“ Lichtquelle:

- Handgenerator
- Beleuchtungsmodul

## So geht's

Wenn die Sonne nicht scheint sollte dieser Versuch von zwei Schülern gemeinsam durchgeführt werden. Ein Schüler übernimmt dann während des Versuchs den Handgenerator. Halte die Grundeinheit ins Sonnenlicht oder kurble kräftig am Handgenerator – für mindestens eine Minute! Ziehe das Solarmodul von der Grundeinheit noch während es beleuchtet wird – falls du den Handgenerator benutzt, lass dir von einem Mitschüler helfen!

Stecke nun die Hupe auf die Grundeinheit und verbinde Sie wie rechts abgebildet mit dem Kondensatormodul:



Was beobachtest du?

---



---



---

Welche Eigenschaft hat also der Kondensator?

---



---



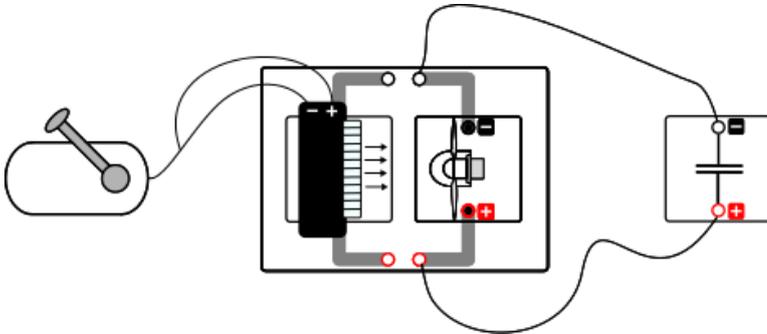
---



## 19. Speicherung von Windenergie

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeuger
- Windturbinenmodul mit geschwungenem Propeller
- Handgenerator
- 2 Kabel
- Hupe-Modul

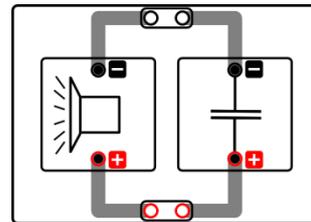
**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor!**

### So geht's

Baue den Versuch zunächst so auf:

Kurble kräftig am Handgenerator – *für mindestens eine Minute!* Lasse noch während du kurbelst das Kondensatormodul von einem Mitschüler von der Schaltung trennen!

Stecke nun die Hupe auf die Grundeinheit und verbinde Sie wie rechts abgebildet mit dem Kondensatormodul:



Was beobachtest du?

---



---



---

Welche Eigenschaft hat also der Kondensator?

---



---



---



---



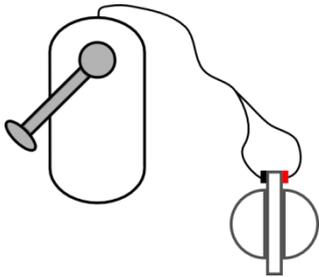
## 20. Was ist ein Elektrolyseur?

### Aufgabe

Finde heraus, was ein Elektrolyseur tut! Was passiert mit Wasser wenn es elektrolysiert wird?

### Aufbau

Baue den Versuch so auf (Achte dabei darauf, dass du die Kabel auf der richtigen Seite einsteckst: rot an rot und schwarz an schwarz!):



### Benötigte Geräte

- Brennstoffzellenmodul
- Handgenerator
- destilliertes Wasser

### Vorbetrachtung

Die reversible Brennstoffzelle besteht aus einem Elektrolyseur und einer Brennstoffzelle. Mit dem Elektrolyseur kann mit Hilfe von elektrischer Energie aus Wasser Wasserstoff hergestellt werden. Der Wasserstoff wird dabei im Speicherzylinder gesammelt. Die Brennstoffzelle wandelt den Wasserstoff dann wieder in elektrische Energie um.

### So geht's

Befülle die Brennstoffzelle mit destilliertem Wasser und baue den Versuch wie abgebildet auf.

Drehe langsam an der Kurbel des Handgenerators. Betrachte die Gasbehälter und die O<sub>2</sub>-Seite der reversiblen Brennstoffzelle.<sup>1</sup>

Was kannst du beobachten?

---



---



---

<sup>1</sup> H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> sind die chemischen Bezeichnungen für Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>). Beides sind Gase. Wasser besteht aus den Elementen Sauerstoff und Wasserstoff. Da Wasserstoff ein sehr leichtes Gas ist, ist es eher wenig in der Luft enthalten, aber Sauerstoff ist mit 21 % in der Luft das zweithäufigste und vor allem für uns lebenswichtige Gas.



## 20. Was ist ein Elektrolyseur?

### So geht`s

Die reversible Brennstoffzelle funktioniert nun als ein Elektrolyseur des Wassers. Was macht ein Elektrolyseur?

---

---

---

---

Drehe nun schneller an der Kurbel bis du siehst, dass der  $H_2$ -Behälter voll ist und kleine Blasen im Wasser aufsteigen.

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

Aufgewandte Energie: -----

Umwandlung zu: -----

Gespeicherte Energie: -----



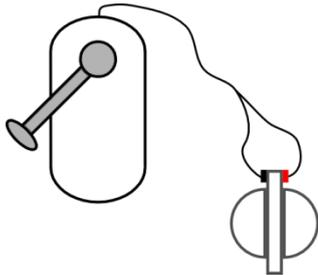
# 21. Wie kann Wasser gespalten werden?

## Aufgabe

Was passiert genau, wenn der Elektrolyseur das Wasser spaltet? Welche Menge Gas kommt heraus?

## Aufbau

Baue den Versuch so auf:



## Benötigte Geräte

- Brennstoffzellenmodul
- Handgenerator
- destilliertes Wasser

## So geht's

Befülle die Brennstoffzelle mit destilliertem Wasser und baue den Versuch wie abgebildet auf.

Kurbel kräftig am Handgenerator. Was passiert in den Gasbehältern? Ist die Gasmenge größer im H<sub>2</sub>- oder im O<sub>2</sub>-Behälter?

---



---

Wenn die Gasmenge im Gasbehälter zunimmt, muss das Wasser, das ursprünglich im Gasbehälter war, irgendwo hingehen. Deshalb steigt der Wasserspiegel außerhalb (oberhalb) des Speicherzylinders an. Lies regelmäßig die Wasserstände im unteren Speicherzylinder ab, während du insgesamt etwa 90 Sekunden lang schnell kurbelst:

	H <sub>2</sub> Behälter	O <sub>2</sub> Behälter
30 Sekunden:	-----	-----
60 Sekunden:	-----	-----
90 Sekunden:	-----	-----

Welchen Zusammenhang gibt es zwischen den Zahlen?

---



---

Weißt du, wie man Wasser aufgrund dieser Beziehung manchmal auch nennt? -----



## 22. Was ist eine Brennstoffzelle?

### Aufgabe

Finde heraus, was eine Brennstoffzelle macht! Was benötigt sie und was kommt heraus?

### Vorbereitung

Du solltest die Experimente 20. und 21. zuvor gemacht haben.

### So geht's

*Fülle die Lücken aus:*

Wenn du das Experiment 20 gemacht hast, dann weißt du, was ein Elektrolyser ist: Der Elektrolyser  
\_\_\_\_\_ das flüssige Wasser in die beiden gasförmigen Bestandteile \_\_\_\_\_ und  
\_\_\_\_\_. Dabei musst du Energie aufwenden, um die \_\_\_\_\_ möglich zu machen.

Diese Energie wird in Form von elektrischer Energie geliefert. Der Handgenerator kann die Drehbewegung der Kurbel in \_\_\_\_\_ Energie umwandeln.

Aber wie ist es umgekehrt? Können wir die Gase verwenden, um \_\_\_\_\_ zu erzeugen? Ja, das ist möglich! Der Name des Gegenstandes, der dazu in der Lage ist, kann in der Überschrift gefunden werden: \_\_\_\_\_.

Die Brennstoffzelle wandelt die \_\_\_\_\_ 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.



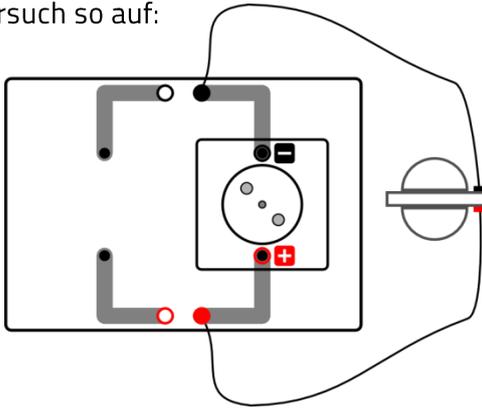
## 23. Die Brennstoffzelle treibt den Motor an

### Aufgabe

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

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- reversibles Brennstoffzellenmodul
- destilliertes Wasser
- Motormodul mit Halter für Farbscheiben
- Kabel

### So geht's

Baue den Versuch wie abgebildet auf. Wenn die Speicherzylinder der Brennstoffzelle nicht mit Gas gefüllt sind, musst du zuvor Experiment 20 durchführen.

Stecke das Motormodul auf die Grundeinheit. Suche dir eine Farbscheibe aus und befestige sie am Halter. Stecke den Halter nun auf das Motormodul. Verbinde zuletzt mit den Kabeln, wie in der Abbildung gezeigt, das Motormodul mit der Brennstoffzelle.

Was passiert?

---



---

Was geschieht mit dem Gas in den Speicherzylindern?

---



---

Erkläre deine Beobachtungen!

---



---



---



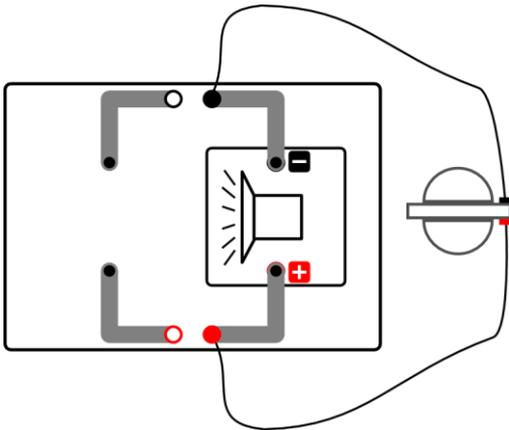
## 24. Die Brennstoffzelle treibt die Hupe an

### Aufgabe

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

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- reversibles Brennstoffzellenmodul
- destilliertes Wasser
- Hupenmodul
- Kabel

### So geht's

Baue den Versuch wie abgebildet auf. Wenn die Speicherzylinder der Brennstoffzelle nicht mit Gas gefüllt sind, musst du zuvor Experiment 20 durchführen.

Stecke das Hupenmodul auf die Grundeinheit. Verbinde zuletzt mit den Kabeln, wie in der Abbildung gezeigt, das Hupenmodul mit der Brennstoffzelle.

Was passiert?

---



---

Was geschieht mit dem Gas in den Speicherzylindern?

---



---

Erkläre deine Beobachtungen!

---



---



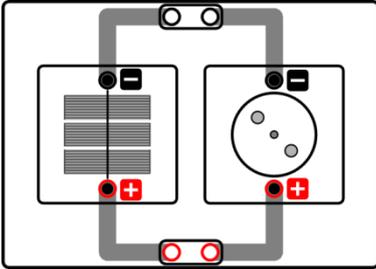
---



## 25. Energiebedarf verschiedener Verbraucher

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Solarmodul 1,5V
- Hupe
- Motormodul
- LED-Modul
- Glühlampenmodul
- Kurzschlussstecker

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

- Beleuchtungsmodul
- Handgenerator

### So geht's

Bei diesem Versuch soll der Energiebedarf (oder besser Leistungsbedarf) verschiedener Verbraucher verglichen werden. Baue den Versuch zunächst mit dem Motormodul wie abgebildet auf und führe den Versuch durch. Danach kannst du den Motor mit der Hupe, dem LED-Modul und der Glühlampe austauschen und den Versuch erneut durchführen.

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.

Wie ist die Rangfolge des Energiebedarfs der Verbraucher (1 für geringsten Energiebedarf bis 4 für höchsten)?

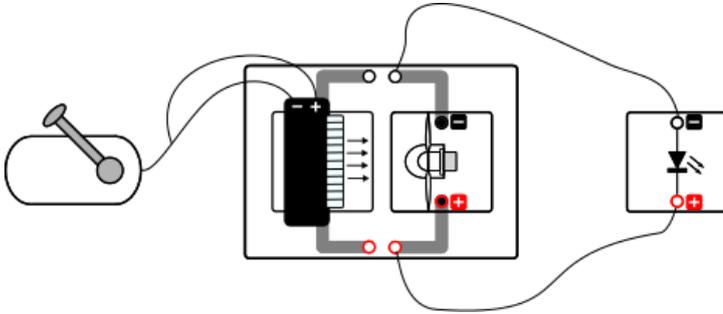
	Minimalbedingungen (z.B. Zimmerlicht, direktes Sonnenlicht, usw.)	Rangfolge Energiebedarf
Motor		-----
Hupe		-----
Glühlampe		-----
LED		-----



## 26. Vergleich von Glühlampe und LED

### Aufbau

Baue den Versuch so auf:



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeuger
- Windturbinenmodul mit geschwungenem Propeller
- Handgenerator
- 2 Kabel
- LED-Modul
- Glühlampen-Modul

**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor!**

### So geht's

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.

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.

Kurble weiter und lasse von einem anderen Schüler nun die Glühlampe anschließen. **ACHTUNG:** Seid vorsichtig, damit ihr nicht in das Windrad fasst!

Verringere nun langsam die Kurbelgeschwindigkeit, bis die Glühlampe gerade noch leuchtet. Was ist deine Beobachtung?

---



---



---



---



---



---



---

Welche Art der Beleuchtung ist sparsamer?

---

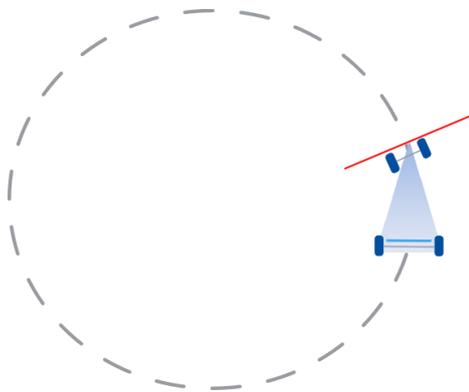


---



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

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Elektro-Modellfahrzeug mit Akkuadapter
- Kondensatormodul
- 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

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

---



---

Kannst du das erklären?

---



---



---



---

Welche Energieumwandlungen hast du in diesem Experiment beobachtet?

---



---



---

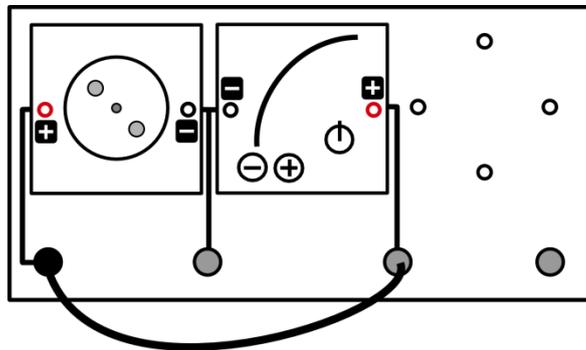


---



# 1. Energieformen und Verbraucher

## Aufbau



## Benötigte Geräte

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

## Durchführung

1. Baue die Schaltung wie oben abgebildet auf und stelle 1 V auf dem PowerModul ein. Achte auf die richtige Polarität der Anschlüsse. Notiere deine Beobachtungen.
2. Erhöhe nun die Spannung wie in der Tabelle angegeben.
3. Wiederhole das Experiment mit der Glühlampe, dem LED-Modul und der Hupe. Trage alle deine Beobachtungen in die Tabelle ein.

## Beobachtung

Spannung	Hupe	Motor	LED	Glühlampe
1 V				
2 V				
4 V				
6 V				

Bemerkung: Achte nicht nur auf das, was du siehst und hörst, sondern berühre auch LED und Glühlampe, wenn sie einige Zeit laufen!

### Auswertung

Fülle den Lückentext aus!

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

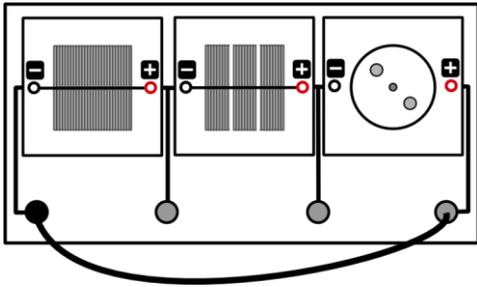


## 2.1 Der Grundaufbau für Farbscheibenexperimente

### Aufgabe

Untersuche die optische Täuschung der Farbscheibe

### Aufbau



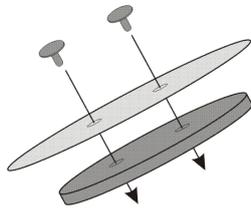
### Benötigte Geräte

- Grundeinheit (Reihenschaltung)
- Solarzelle 0,5 V
- Solarmodul 1,5 V
- Motormodul
- 1 Kabel

### Durchführung

Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.

Auf den Motor wird nun die Rotationsscheibe gesteckt. Gehalten wird die Pappscheibe durch zwei farbige Kunststoffclips.

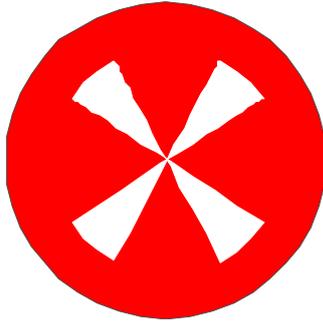


Wenn nötig, kannst du zum Lösen der Clips von der Rotationsscheibe einen Stecker zu Hilfe nehmen. Drücke den Stecker dazu vorsichtig von unten gegen den Clip.



## 2.2 Farbeigenschaften

### Pappscheibe



### Durchführung:

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.

Farbton: Welche Farbe hat die Scheibe? \_\_\_\_\_

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

Sättigung: In der Mitte der Scheibe ist der Farbeindruck

- blasser als am Rand
- genauso wie am Rand
- kräftiger als am Rand



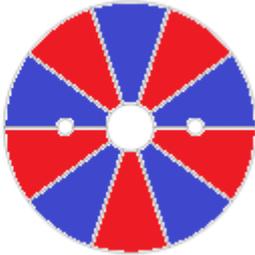
## 2.3 Die additive Farbmischung

### Pappscheiben

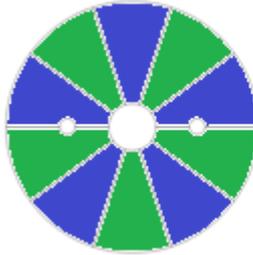
grün-rot



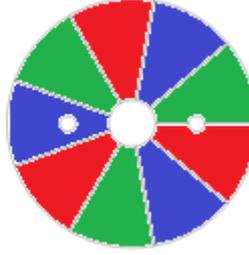
rot-blau



grün-blau



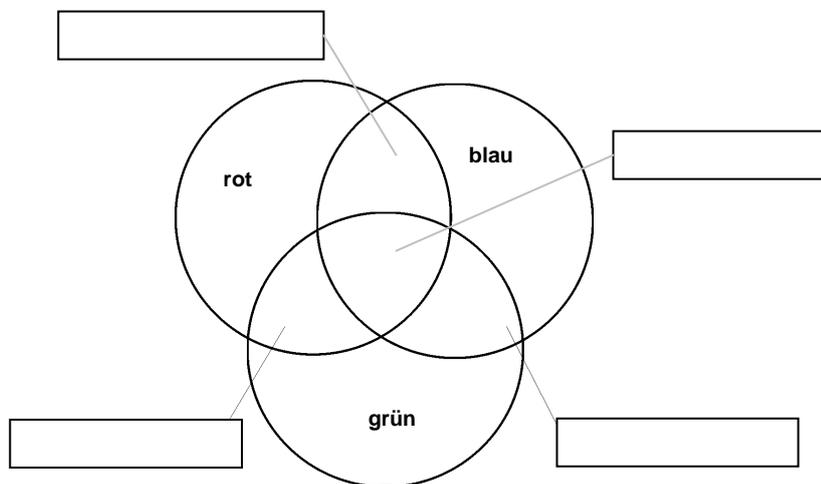
grün-rot-blau



### So geht`s:

Die Kreisstücke der verschiedenen Scheiben haben unterschiedliche Farben, wenn die Scheibe still steht. Lasse die Farbscheiben schnell drehen, damit sich die Farben vermischen.

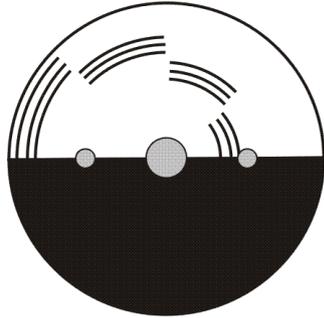
Male nun in der Zeichnung unten die einzelnen Bereiche aus. Fange mit den reinen Farben rot, grün und blau an. Male danach mit Hilfe deiner Beobachtungen an den Farbscheiben die vier Mischbereiche aus. Beschrifte die markierten Bereiche!





## 2.4 Optische Täuschungen mit der Benham-Scheibe

### Pappscheibe



### So geht's:

Notiere deine Beobachtungen auf der Scheibe.

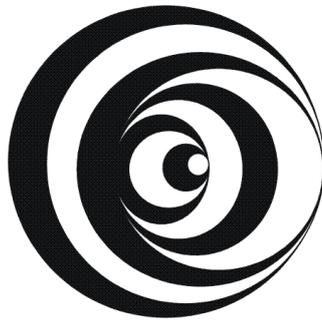
---

---



## 2.5 Optische Täuschungen mit der Relief-Scheibe

### Pappscheibe



### So geht's:

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)!

---

---

---

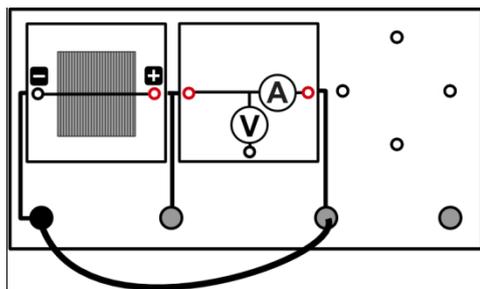


### 3. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der beleuchteten Fläche

#### Aufgabe

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

#### Aufbau



#### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Solarzelle 0,5 V
- AV- Modul
- Solarzellenabdeckungen (schwarze Kunststoffplättchen)

#### Vorbemerkung

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 Ergebnis, wie der Vergleich der Maximalleistungen.

Das AV-Modul kann keine zuverlässigen Werte für Spannung und Stromstärke gleichzeitig liefern. Nutze es daher nur im Spannungs- beziehungsweise Stromstärkemode.

#### 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 und stecke das Kabel noch nicht auf der Grundeinheit ein.
3. Miss anschließend die Kurzschlussstromstärke  $I_K$ . Stecke dazu das abgebildete Kabel auf der Grundeinheit ein und verwende 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.

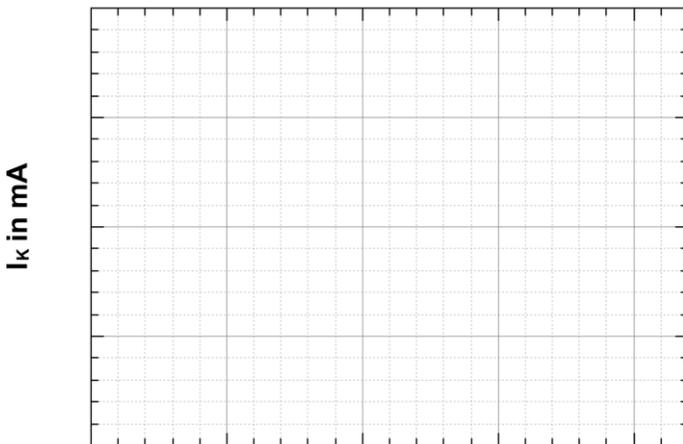


### 3. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der beleuchteten Fläche

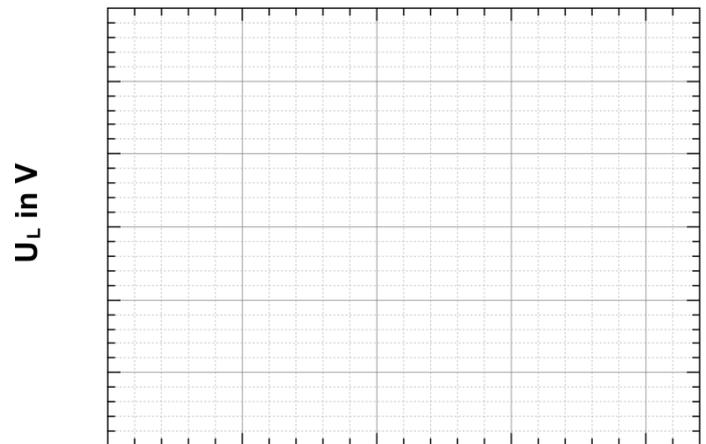
#### Messwerte

	Solarzelle abgedeckt zu				
	0 (ohne Abdeckung)	1/4	1/2	3/4	1 (ganz abgedeckt)
$U_L$ (V)					
$I_K$ (mA)					
$P = U_L \cdot I_K$ (mW)					

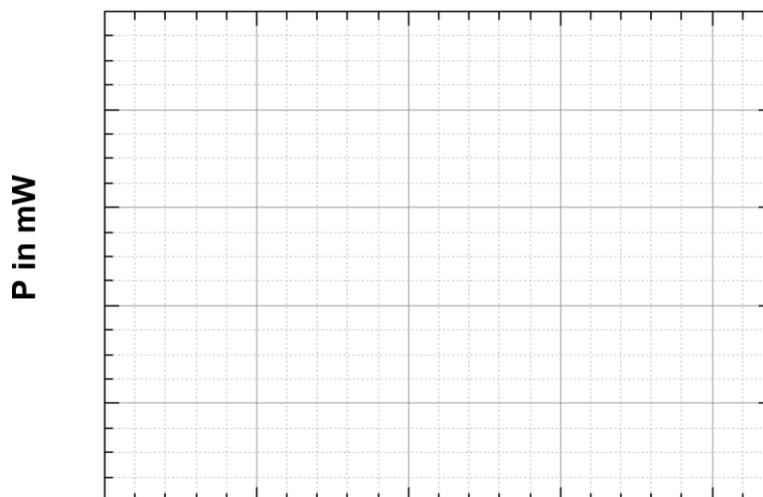
#### Diagramme



Abdeckungsgrad



Abdeckungsgrad



Abdeckungsgrad



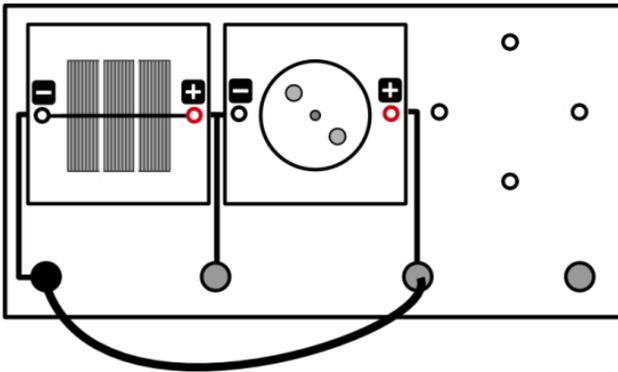


## 4.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (qualitativ)

### Aufgabe

Untersuche das Verhalten des Motors in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel.

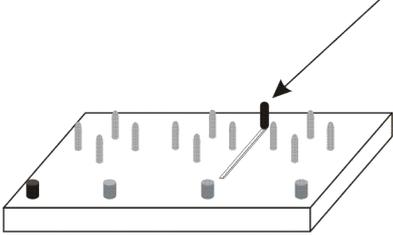
### Aufbau



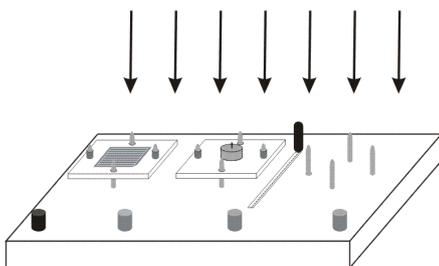
### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Solarmodul 1,5 V
- Motor
- Kabel

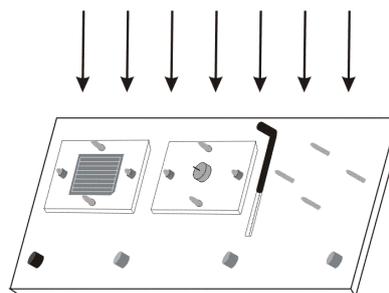
### Durchführung

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.

---

---

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

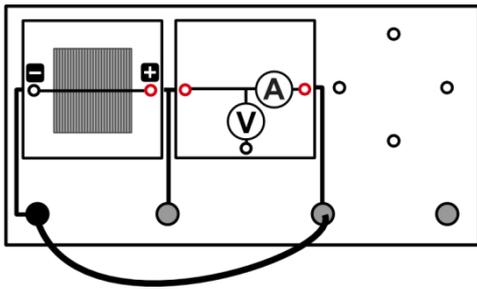


## 4.2 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (quantitativ)

### Aufgabe

Nimm Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung des Solarmoduls in Abhängigkeit vom Einfallswinkel des Lichtes auf.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Solarzelle, 0,5 V
- AV-Modul
- Kabel

### Vorbemerkung

Bei 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 keine zuverlässigen Werte für Spannung und Stromstärke gleichzeitig liefern. Nutze es daher nur im Spannungs- beziehungsweise Stromstärkemode.

### Durchführung

1. Halte die leXsolar-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 leXsolar-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 und stecke das Kabel noch nicht auf der Grundeinheit ein.
4. Miss anschließend die Kurzschlussstromstärke  $I_K$ . Stecke dazu das abgebildete Kabel auf der Grundeinheit ein und verwende 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 den Kosinus der Einfallswinkel und die fiktive Leistung aus Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung. Trage deine Werte in die Tabelle ein.
2. Zeichne das P- bzw.  $I_K \cdot \cos \alpha$  - 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 2 gesehen!

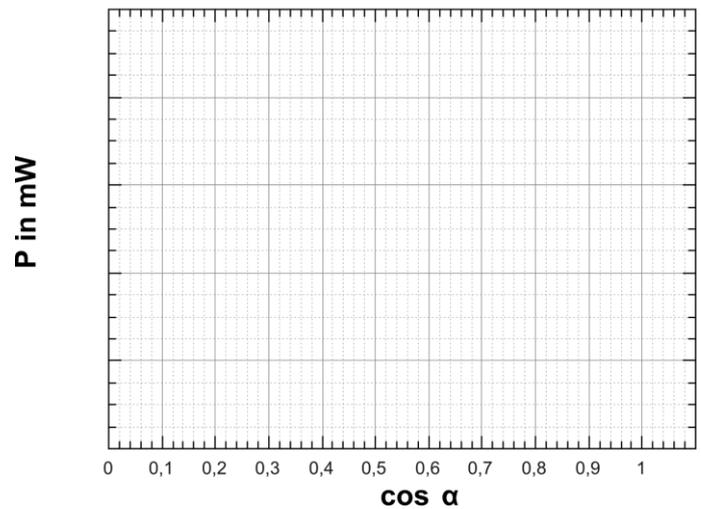
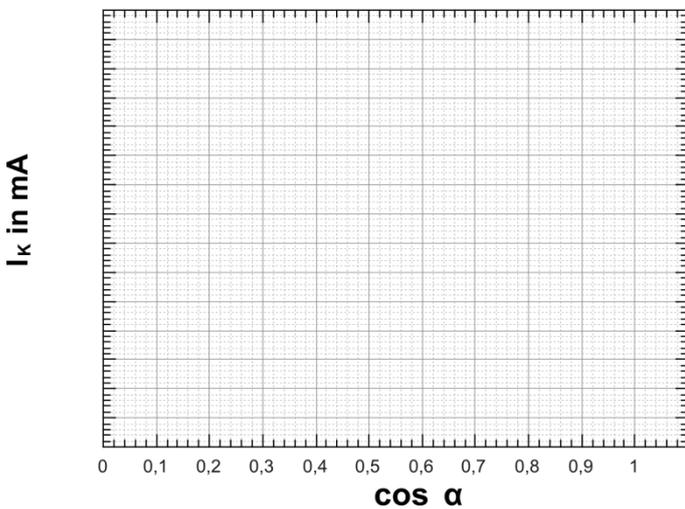


## 4.2 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (quantitativ)

### Messwerte

$\alpha$	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	75°	90°
$U_L$ (V)										
$I_K$ (mA)										
zu berechnende Werte										
$\cos \alpha$ (°)										
$P=U \cdot I$ (mW)										

### Diagramme



### Auswertung

3.

---



---



---



---

4.

---



---



---



---

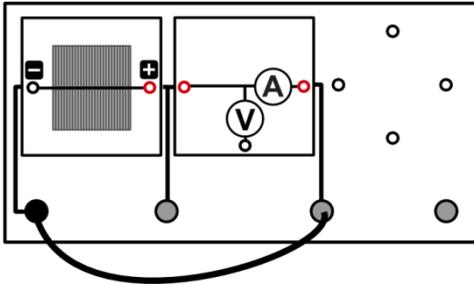


## 5. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Beleuchtungsstärke

### Aufgabe

Bestimme die Leistung einer Solarzelle bei unterschiedlich starker Beleuchtung!

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- leXsolar-Beleuchtungsmodul
- Solarzelle 0,5 V
- AV-Modul
- PowerModul (9V)

### Vorbemerkungen

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 Ergebnis, wie der Vergleich der Maximalleistungen.

Die Beleuchtungsstärke darf nicht über die Spannung an den Lampen geändert werden, da sich hierdurch das Spektrum ändert und es zu Messfehlern kommen kann.

Das Beleuchtungsmodul sollte nicht zu lange auf der Solarzelle stehen, da ein Temperaturanstieg der Solarzelle die Messwerte verfälscht.

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Schalte das Beleuchtungsmodul über das PowerModul bei einer Spannung von 9V ein mit einer der vier Lampen ein. (Man kann durch bereits eine Umdrehung die Lampen so herausziehen, dass sie nicht mehr leuchten.)
3. Miss an der Solarzelle zunächst die Leerlaufspannung  $U_L$ . Nutze dazu das AV-Modul im Spannungsmodus und stecke das Kabel noch nicht auf der Grundeinheit ein.
4. Miss anschließend die Kurzschlussstromstärke  $I_K$ . Stecke dazu das abgebildete Kabel auf der Grundeinheit ein und verwende das AV-Modul im Stromstärke-Modus.
5. Wiederhole die Messungen mit 2, 3 und 4 Lampen im leXsolar-Beleuchtungsmodul! Erfasse alle Messwerte in einer Tabelle!

### Auswertung

1. Errechne die Leistung des Solarmoduls 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.

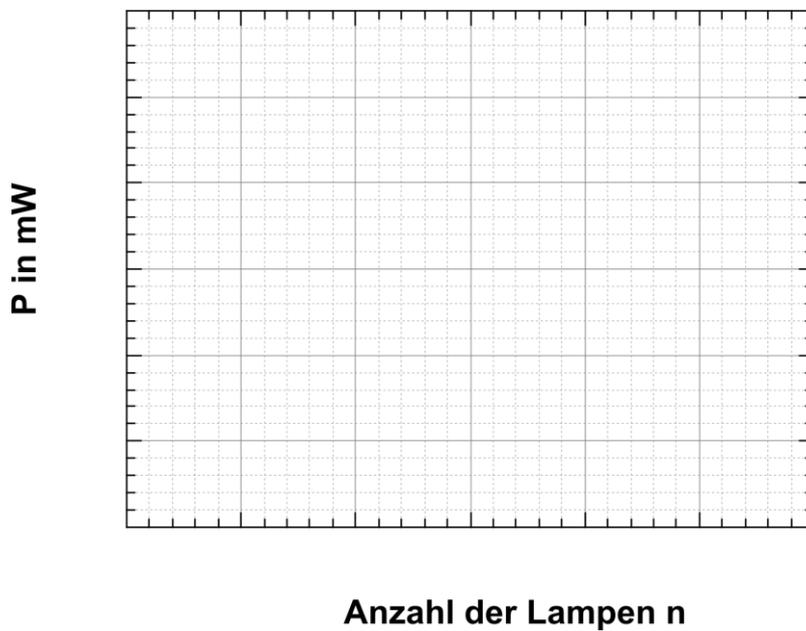


## 5. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Beleuchtungsstärke

### Messwerte

	Beleuchtung mit				
	0 Lampen	1 Lampe	2 Lampen	3 Lampen	4 Lampen
$U_L$ (V)					
$I_K$ (mA)					
$P=U_L \cdot I_K$ (mW)					

### Diagramme



### Auswertung

Je höher die Beleuchtungsstärke, desto \_\_\_\_\_ ist die Leistung.

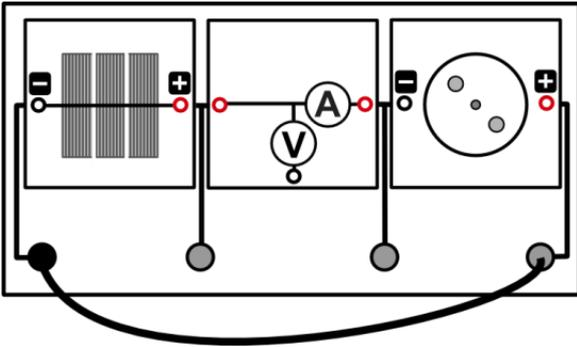
Der Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und Leistung ist \_\_\_\_\_.

## 6.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Last

### Aufgabe

Bestimme die Leistung eines Solarmoduls bei unterschiedlichen Verbrauchern.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Solarmodul 1,5 V
- AV-Modul
- Hupenmodul
- Motormodul
- PowerModul (9V)
- Beleuchtungsmodul

### 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 zunächst die Leerlaufspannung  $U_L$ . Nutze dazu das AV-Modul im Spannungsmodus und stecke das Kabel noch nicht auf der Grundeinheit ein.
3. Miss anschließend die Kurzschlussstromstärke  $I_K$ . Stecke dazu das abgebildete Kabel auf der Grundeinheit ein und verwende das AV-Modul im Stromstärke-Modus.
4. Entferne den Motor und stecke stattdessen das Hupenmodul auf. Wiederhole die Messung und erfasse alle Messwerte in einer Tabelle.

### Auswertung

1. Berechne die Leistung des Solarmoduls und den Widerstand des Verbrauchers für beide Verbraucher.
2. Vergleiche die Leistung der Solarzelle bei den verschiedenen Verbrauchern. Ziehe Rückschlüsse zwischen Widerstand und Leistung.

### Messwerte

	Motormodul	Hupe
$U$ (V)		
$I$ (mA)		
$P=U \cdot I$ (mW)		
$R=U/I$ ( $\Omega$ )		



## 6.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Last

### Auswertung

2.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

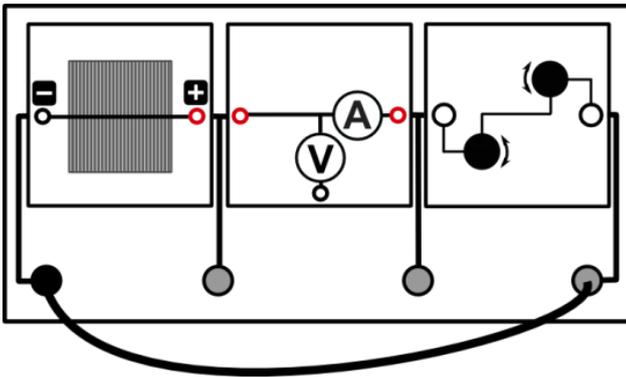
---

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

### Aufgabe

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

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Solarzelle 0,5 V
- AV-Modul
- Potentiometermodul
- leXsolar-Beleuchtungsmodul
- PowerModul (5V)

### 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 vor und miss für diese jeweils die Stromstärke! Verändere 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!
4. Erfasse alle Messwerte in einer Tabelle!

### Auswertung

1. Zeichne das  $U$ - $I$ -Diagramm der Solarzelle!
2. Berechne zu jedem Messpunkt die jeweilige Leistung der Solarzelle und trage deine Werte in die Tabelle ein. Zeichne in das gleiche Diagramm die  $U$ - $P$ -Kennlinie.
3. Beschreibe die 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.
6. Der Füllfaktor (FF) ist der Quotient aus dem Produkt der Spannung und Stromstärke bei maximaler Leistung und dem Produkt der Leerlaufspannung und der Kurzschlussstromstärke. Berechne den Füllfaktor.
7. Berechne näherungsweise den Wirkungsgrad der Solarzelle, wenn diese am MPP arbeitet. (Hinweis: Die Kurzschlussstromstärke der Solarzelle beträgt bei einer Bestrahlungsleistung von  $1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  etwa 840 mA. Beide Größen sind proportional zueinander.)

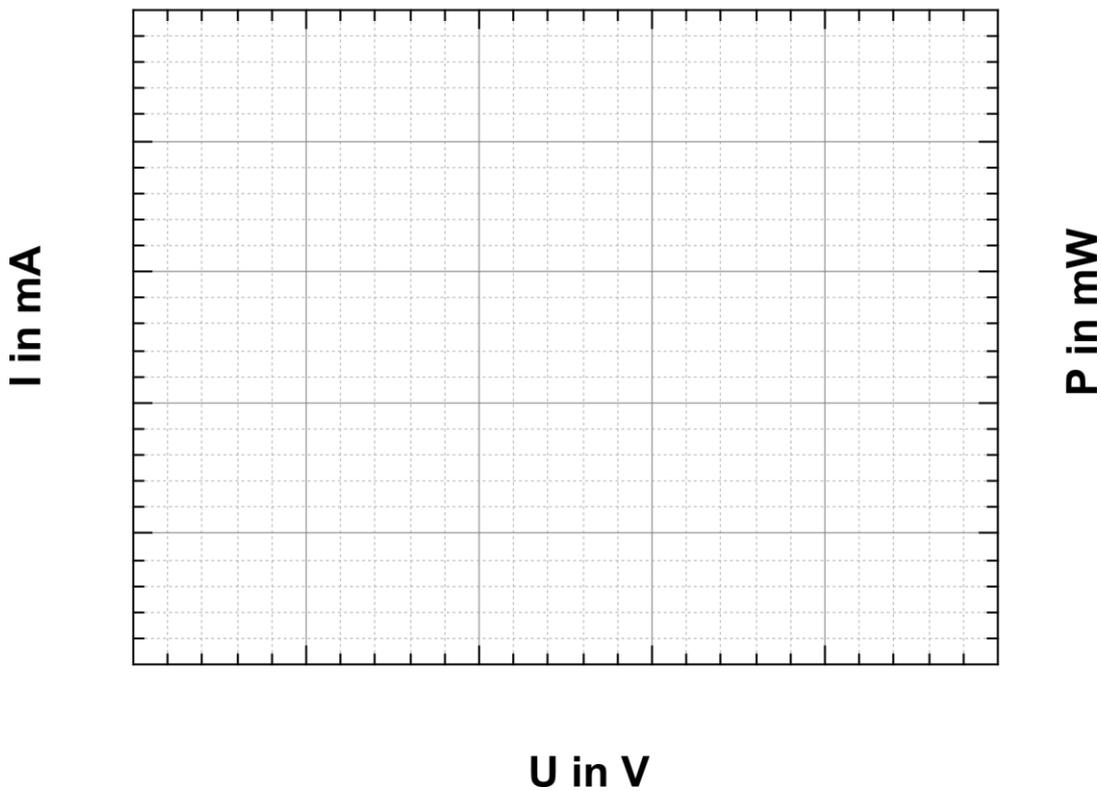


## 6.2 Die U-I-Kennlinie und der Füllfaktor einer Solarzelle

## Messwerte

$U$ (V)										
$I$ (mA)										
$P=U \cdot I$ (mW)										

## Diagramme



## Auswertung

3.

---



---



---



---



---



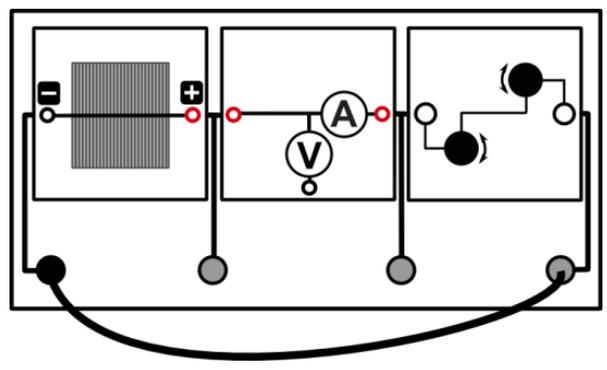


## 6.3 Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke

### Aufgabe

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

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Solarzelle 0,5 V
- AV-Modul
- Potentiometermodul
- Beleuchtungsmodul
- PowerModul (5V)

### 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.
5. Miss für verschiedene Widerstände die Spannung und die Stromstärke der Solarzelle. Verwende das AV-Modul zum Messen im Stromstärke-Spannungsmodus.
3. Wiederhole die Messung für 2, 3 und 4 Lampen.
4. Berechne die Leistung zu den verschiedenen Messpunkten.

### Messwerte

Mit einer Glühlampe:

$U(V)$										
$I(mA)$										
$P=U \cdot I(mW)$										

Mit zwei Glühlampen:

$U(V)$										
$I(mA)$										
$P=U \cdot I(mW)$										

Mit drei Glühlampen:

$U(V)$										
$I(mA)$										
$P=U \cdot I(mW)$										



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

### Messwerte

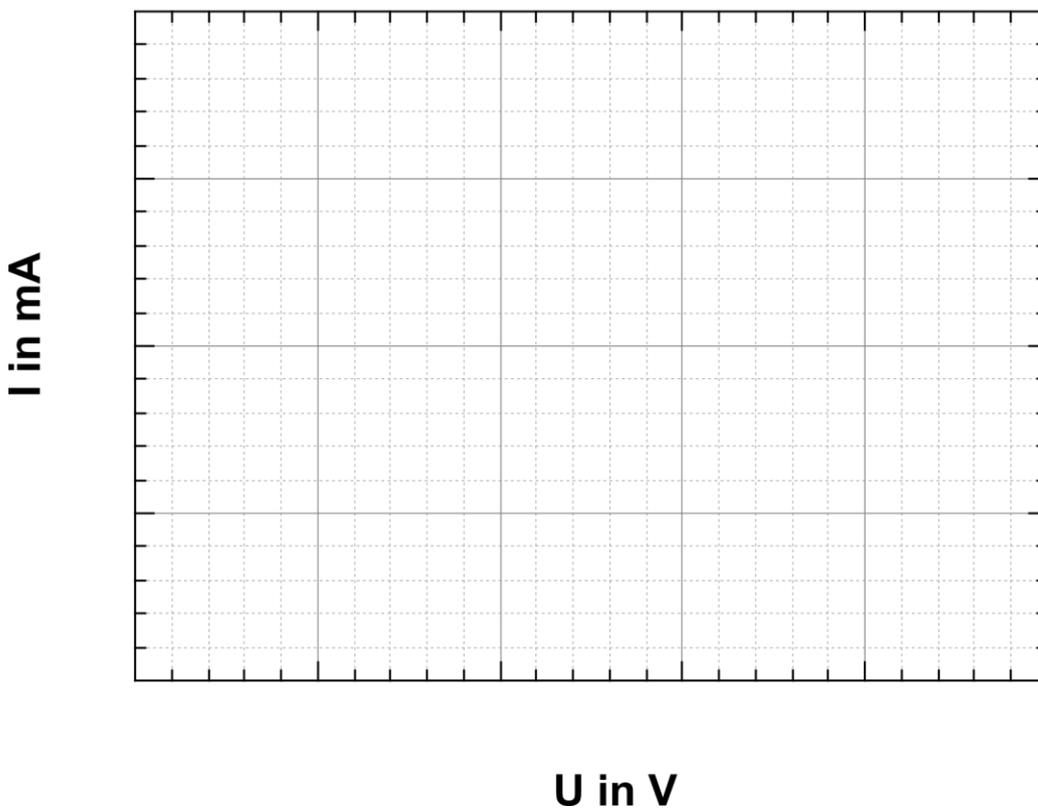
Mit vier Glühlampen:

$U$ (V)										
$I$ (mA)										
$P=U \cdot I$ (mW)										

### 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. Zeichne in das gleiche Diagramm die  $U$ - $P$ -Kennlinie für alle 4 Beleuchtungsvarianten.
3. Vergleiche die  $U$ - $I$ -Kennlinien untereinander und erkläre die unterschiedlichen Kurven.
4. Vergleiche die Lage des Punktes maximaler Leistung (Maximum Power Point - MPP).

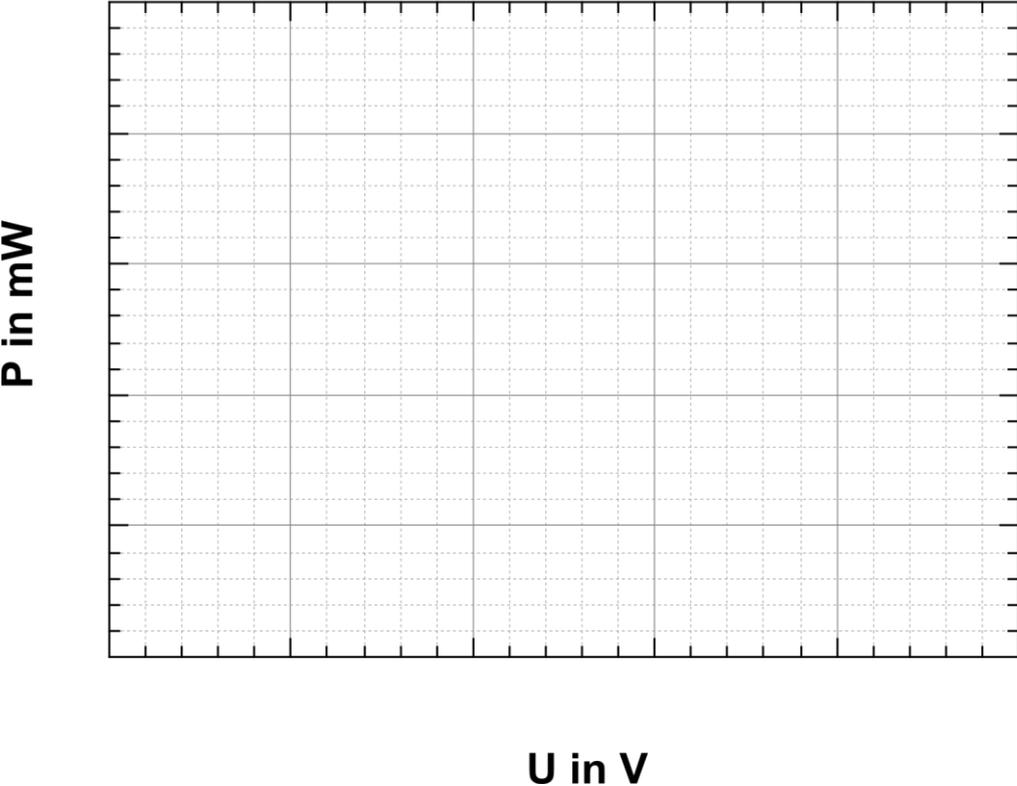
### Diagramme





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

Diagramme



Auswertung

2.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3.

---

---

---

---

---



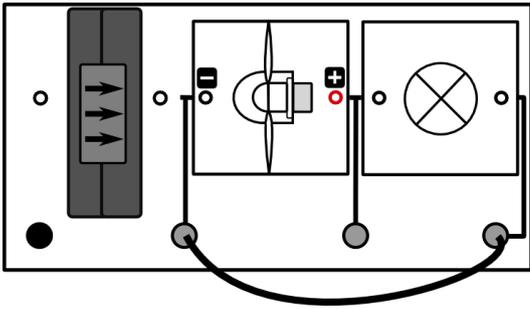
## 7.1 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (qualitativ)

### Aufgabe

Untersuche die Helligkeit einer Glühlampe, die durch einen Windgenerator betrieben wird.

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

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeuger mit PowerModul (variabel)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 30° (Flügel: optimiertes Profil)
- Glühlampenmodul
- Kabel

### Vorbemerkung

Bei diesem Experiment kannst du untersuchen, wie sich der vom Windgenerator erzeugte Strom ändert, wenn die Windgeschwindigkeit verändert wird. Die Variation der Windgeschwindigkeit erfolgt durch Änderung der Spannung am Winderzeuger.

Möglicherweise brauchst du mehrere Versuche, um dein Messergebnis sicher bestimmen zu können.

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Verändere die Spannung am Winderzeuger mithilfe des PowerModuls. Beginne bei 12V.
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			
6			
8			
10			
12			

Vervollständige nun den angegebenen Text:

Bei größerer Spannung am Winderzeuger ist die Windgeschwindigkeit \_\_\_\_\_.

Je \_\_\_\_\_ die Windgeschwindigkeit ist, desto heller leuchtet auch die Glühlampe.

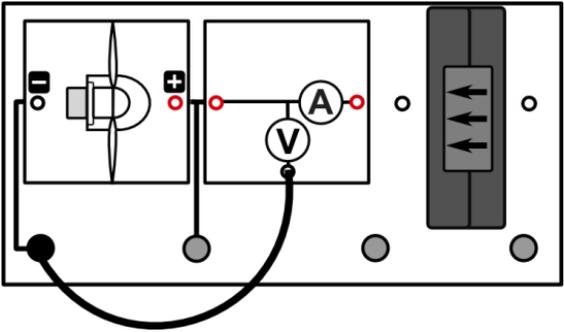


## 7.2 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (quantitativ)

### Aufgabe

Untersuche die Spannung am Generator, wenn die Windgeschwindigkeit am Winderzeuger verändert wird.  
**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor. Benutze dazu den Fingerschutz**

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit PowerModul
- Windturbinenmodul
- 3-Flügler 30° (Flügel: optimiertes Profil)
- Kabel
- AV-Modul

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Verändere die Windgeschwindigkeit durch Variation der Spannung des PowerModuls  $U_{Pow}$  am Winderzeuger. Notiere deine Beobachtungen.
3. Miss nun die Spannung an der Windturbine  $U_{gen}$  jeweils für verschiedene Windgeschwindigkeiten und trage deine Werte in die Tabelle ein. Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus.

### Beobachtung

---



---



---



---

### Messwerte

$U_{Pow}$ in V	12	9	7,5	6	5
$v$ in m/s	6,7	5,3	4,6	3,6	2,9
$U_{gen}$ in V					

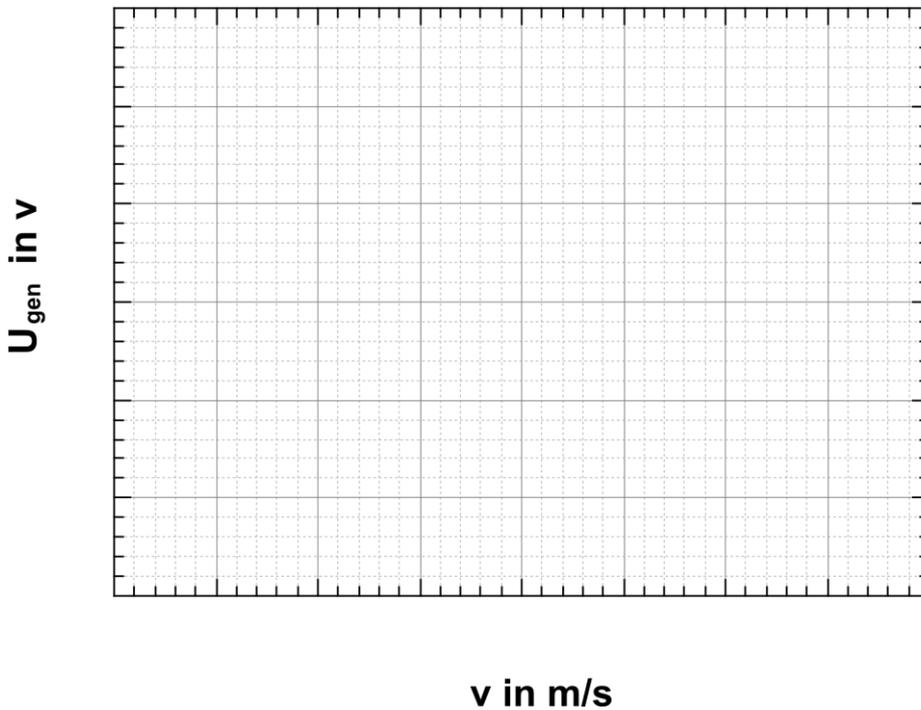


## 7.2 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (quantitativ)

## 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.

## Diagramme



## Auswertung

2.

---

---

---

---

---

---

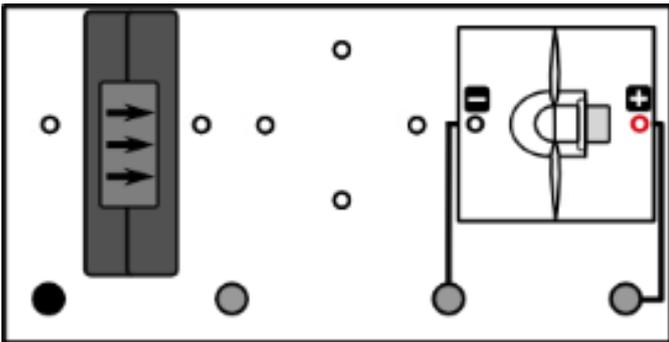
## 8. Anlaufgeschwindigkeit an einer Windkraftanlage

### Aufgabe

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

**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor**

### Aufbau

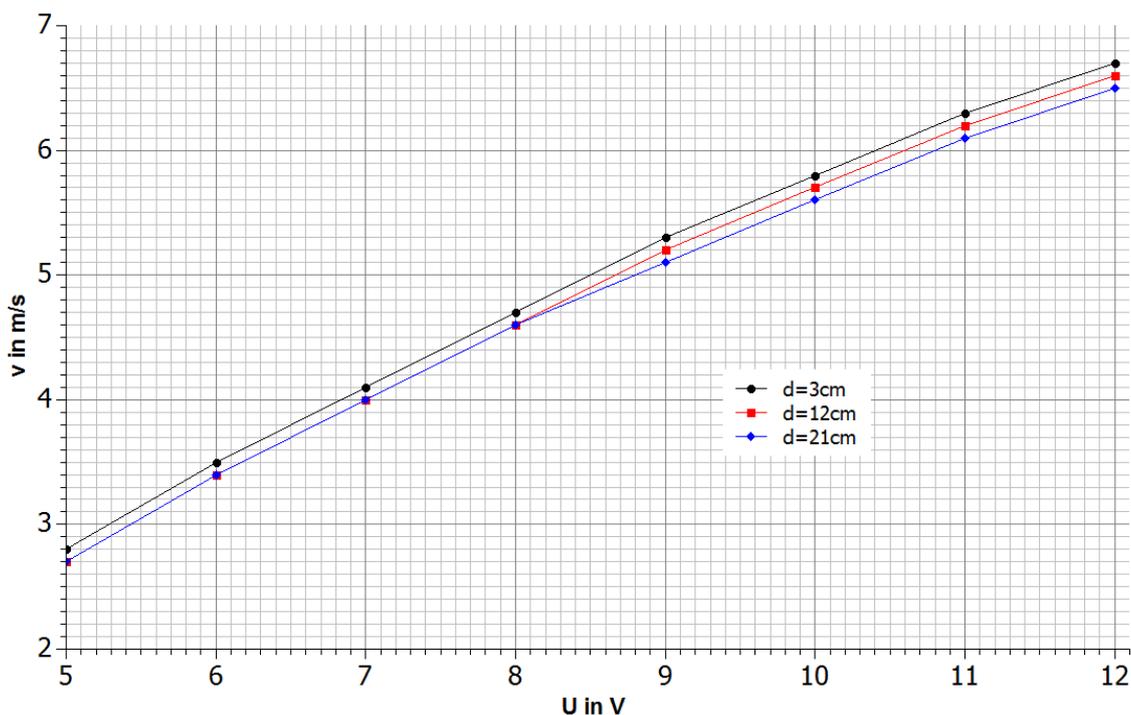


### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit PowerModul
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 30° (Flügel: optimiertes Profil)

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Stelle verschiedene Spannungen  $U$  am PowerModul ein und beobachte die Windkraftanlage. Notiere die niedrigste Spannung des PowerModuls, bei der die Windkraftanlage anfängt zu Rotieren und die größte bei der sie noch nicht rotiert.
3. Ermittle den Windgeschwindigkeitsbereich, in dem die Startgeschwindigkeit der Windkraftanlage liegt und notiere ihn (Entnimm den Wert dem folgenden Diagramm). Die Spannung  $U$  gibt die Spannung am PowerModul an.





## 8. Anlaufgeschwindigkeit an einer Windkraftanlage

### Messwerte

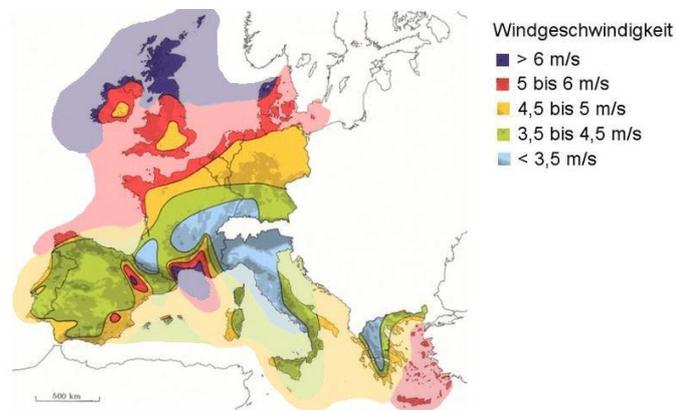
Größte PowerModulspannung bei der die Windkraftanlage noch nicht startet: \_\_\_\_\_

Kleinste PowerModulspannung bei der die Windkraftanlage startet: \_\_\_\_\_

Anlaufwindgeschwindigkeit liegt im Bereich: \_\_\_\_\_

### 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.



Quelle: <http://www.wind-energie.de/de/technik/entstehung/windpotential> (16.11.2010)

Begründe anhand dieser Darstellung, in welchen Gebieten Windkraftanlagen effizient und in welchen Gebieten sie nicht effizient eingesetzt werden können.

Lösungen zu den Aufgaben:

1.

---



---



---

2.

---



---



---



---



---



---



---





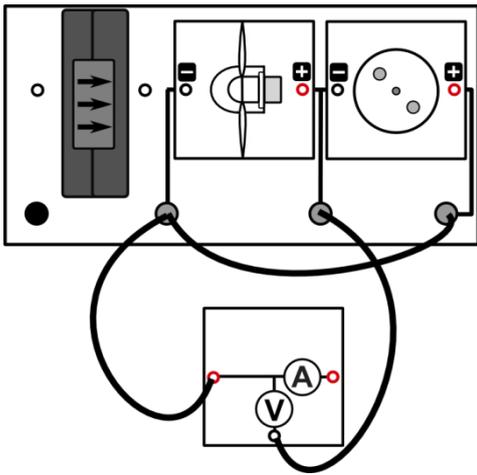
## 9.1 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten eines Verbrauchers

### Aufgabe

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

**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor.**

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit PowerModul (12V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 30° (Flügel: optimiertes Profil)
- Motormodul (alternativ Hupen-/Glühlampenmodul)
- Kabel
- AV-Modul

### Durchführung

1. Baue den Versuchsaufbau vorerst ohne das Widerstandsmodul auf.
2. Stelle am PowerModul eine Spannung von 12V ein und starte den Winderzeuger. Miss die Generatorspannung 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

---



---



---

### Messwerte

$U_{\text{Leerlauf}}$  -----

$U_{\text{Last}}$  -----





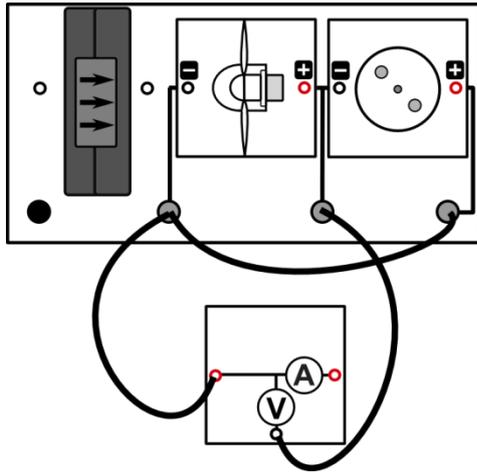
## 9.2 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten verschiedener Verbraucher

### Aufgabe

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

**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor!**

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit PowerModul (12V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 30° (Flügel: optimiertes Profil)
- Hupe modul
- LED-Modul
- Motormodul (mit Drehscheibe)
- Glühlampenmodul
- Kabel
- AV-Modul

### Durchführung

1. Baue den Versuchsaufbau vorerst ohne eines der Verbrauchermodule auf.
2. Stelle am PowerModul eine Spannung von 12V ein und starte den Winderzeuger.
3. Miss die Spannung am Generator, 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 Windgenerator und Gerät (Plus an plus, minus an minus).

### Beobachtungen

---



---



---



---

### Messwerte

$U_{\text{Leerlauf}} =$  \_\_\_\_\_

$U_{\text{Motor}} =$  \_\_\_\_\_

$U_{\text{Hupe}} =$  \_\_\_\_\_

$U_{\text{Glühlampe}} =$  \_\_\_\_\_

$U_{\text{LED}} =$  \_\_\_\_\_





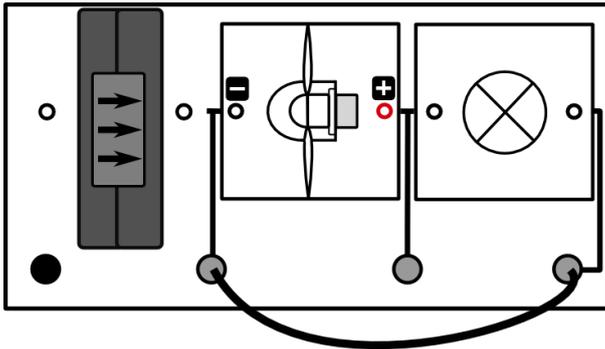
## 10.1 Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblattrotoren (qualitativ)

### Aufgabe

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

**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor**

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit PowerModul (7,5 V)
- Windgeneratormodul (mit zwei, drei und vier Rotorblättern, optimiertes Profil, 25°)
- Glühlampenmodul
- Kabel

### Durchführung

1. Baue den Versuch nach obiger Anordnung auf.
2. Setze den 2-Blatt-Rotor an den Windgenerator und schalte den Winderzeuger (PowerModulspannung 7,5V) ein. Beobachte die Glühlampe. Verwende für den 2-Blatt-Rotor die 4-Blatt-Nabe.
3. Wechsle nun die Rotorflügel und stecke nacheinander den Drei- und den Vierblattrotor an den Windgenerator und beobachte ebenfalls die Glühlampe. Verwende die 3-Blatt-Nabe für den 3-Blatt-Rotor.
4. Notiere deine Beobachtungen und setze dazu in die jeweiligen Felder der Tabelle ein Kreuz.

### Beobachtung

Die Glühlampe leuchtet...

	Die Glühlampe leuchtet...		
	hell	schwach	gar nicht
2 Blätter			
3 Blätter			
4 Blätter			

### Auswertung

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

**Zusatz:** In Deutschland kommen für Windkraftanlagen hauptsächlich Dreiblattrotoren zum Einsatz. Versuche eine mögliche Erklärung zu finden



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

## Auswertung

1.

---

---

---

---

---

---

---

Zusatz:

---

---

---

---



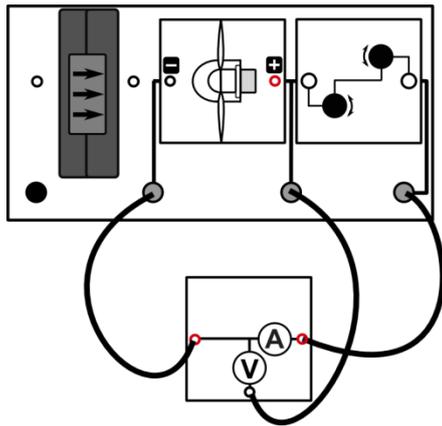
## 10.2 Vergleich von Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren (quantitativ)

### Aufgabe

Untersuche die Leistung des Windgenerators bei unterschiedlicher Anzahl von Rotorblättern.

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit PowerModul (12 V)
- Windgeneratormodul (mit zwei, drei und vier Rotorblättern, optimiertes Profil, 25°)
- Motormodul
- Kabel
- AV-Modul

### Vorbemerkung

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.

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Stelle das Potentiometer auf einen Widerstand von 100  $\Omega$  ein.
2. Stecke den Zweiblattrotor auf den Windgenerator und schalte den Winderzeuger bei einer PowerModulspannung von 12V ein.
3. Miss die erzeugte Spannung und Stromstärke an der Windturbine. Verwende das AV-Modul im Stromstärke-Spannungsmodus.
4. Verändere die Spannung am Powermodul (Werte siehe Tabelle) und wiederhole die Messung für die weiteren gegebenen Spannungen.
5. Wiederhole die Messungen für den Drei- und Vierblattrotor.
6. Trage deine Werte in die Tabelle ein und berechne jeweils die Leistung der Windkraftanlage.

### Messwerte

Zweiblattrotor

U in V	5	6	7,5	9	12
v in m/s	2,9	3,6	4,6	5,3	6,7
U in V					
I in mA					
P in mW					

Dreiblattrotor:

U in V	5	6	7,5	9	12
v in m/s	2,9	3,6	4,6	5,3	6,7
U in V					
I in mA					
P in mW					



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

### Messwerte

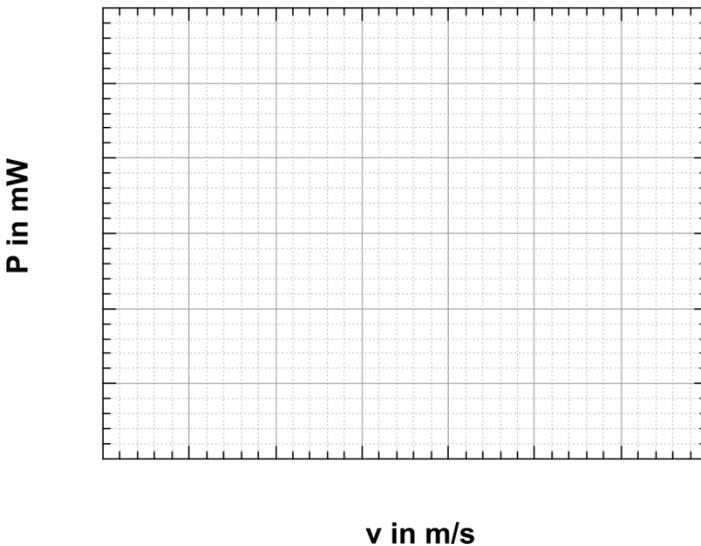
Vierblattrotor:

U in V	5	6	7,5	9	12
v in m/s	2,9	3,6	4,6	5,3	6,7
U in V					
I in mA					
P in mW					

### 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



### Auswertung

2.

---



---

3.

---



---



---



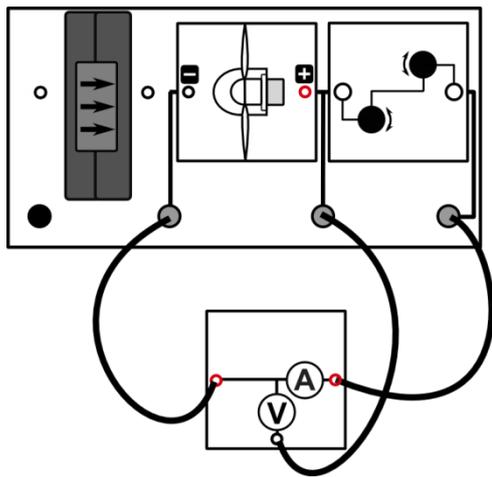
# 11. Kennlinie einer Windkraftanlage mit Gleichstromgenerator

## Aufgabe

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

**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor.**

## Aufbau



## Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit PowerModul (12 V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 30° (Flügel: optimiertes Profil)
- Potentiometermodul
- Kabel
- AV-Modul

## Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Stelle mithilfe des Potentiometermoduls verschiedene Spannungswerte ein und miss die jeweilige Stromstärke. Dazu wird zunächst das 1kΩ-Poti und danach das 100Ω-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.

## Messwerte

U in V									
I in mA									
R in Ω									
P in mW									

U in V									
I in mA									
R in Ω									
P in mW									

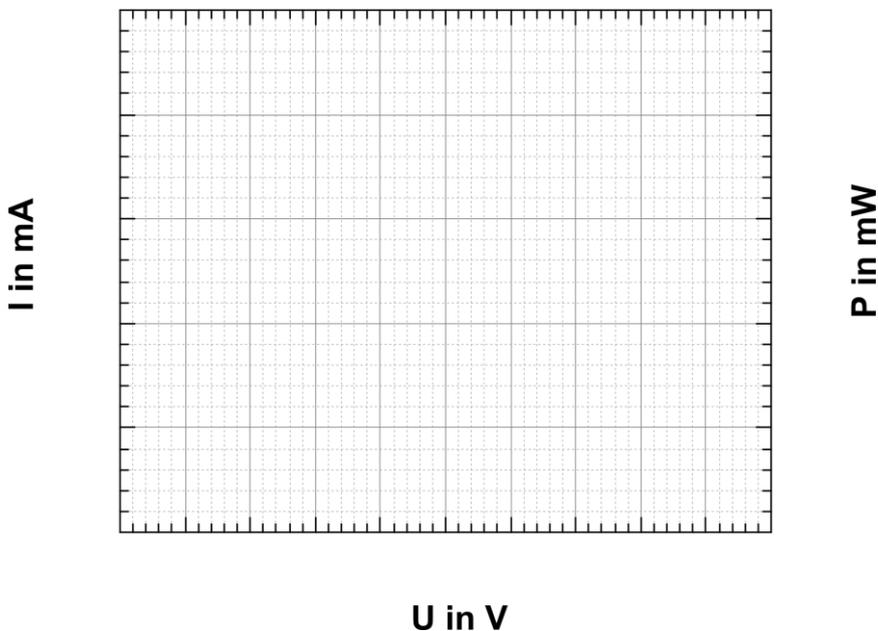


## 11. Kennlinie einer Windkraftanlage mit Gleichstromgenerator

### Auswertung

1. Berechne für jeden Messpunkt jeweils den Widerstand  $R$  und die Leistung  $P$  der Windturbine. Trage deine Werte in die Tabelle ein.
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.

### Diagramme



2.  $U_{\max} = \text{-----}$        $R_{\max} = \text{-----}$

3.

---



---

4.

---



---

5.

---



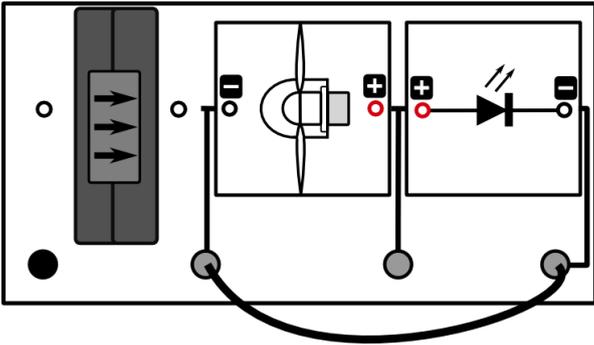
## 12.1 Einfluss der Windrichtung (qualitativ)

### Aufgabe

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

**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor, verwende den Fingerschutz!**

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit PowerModul (6 V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 30 ° (Flügel: optimiertes Profil)
- LED-Modul
- Kabel

### Vorbemerkung

**ACHTUNG!** Beim Verdrehen des Standfußes nicht in die Rotorblätter fassen – **Verletzungsgefahr!** – Zum Verdrehen sollte der Winderzeuger auch abgeschaltet werden.

### Durchführung

1. Baue den Versuch nach obiger Versuchsanordnung auf. Denke besonders an den Fingerschutz!
2. Schalte den Winderzeuger mit einer eingestellten PowerModulspannung von 6 V ein.
3. Drehe den Windgenerator vorsichtig nach rechts und links und beobachte die Leuchtdiode. Notiere deine Beobachtungen. Drehe nicht weiter als 45 °, Damit die Rotorblätter nicht gegen den Winderzeuger schlagen.

### Beobachtung

---



---



---



---



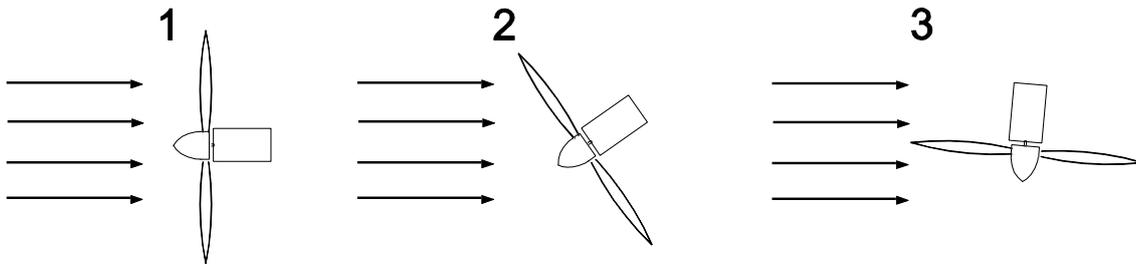
---



## 12.1 Einfluss der Windrichtung (qualitativ)

## 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.



---

---

---

---



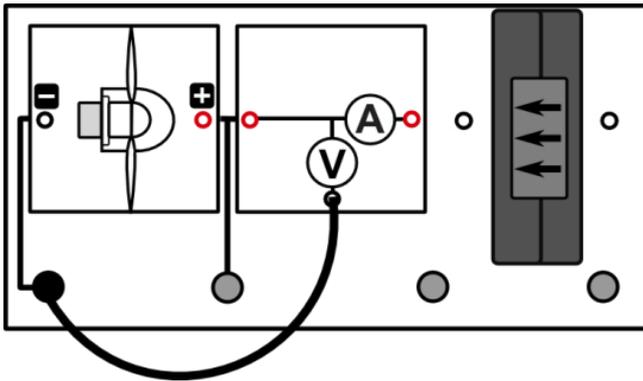
## 12.2 Einfluss der Windrichtung (quantitativ)

### Aufgabe

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

**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor.**

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit PowerModul (12 V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 30° (Flügel: optimiertes Profil)
- Kabel
- Spannungsmessgerät

### Vorbemerkung

**ACHTUNG!** Beim Verdrehen des Standfußes nicht in die Rotorblätter fassen – **Verletzungsgefahr!** – Zum Verdrehen sollte der Winderzeuger auch abgeschaltet werden.

### Durchführung

1. Stelle den Drehwinkel zu Beginn auf 0° ein.
2. Schalte das PowerModul ein und miss die entsprechende Spannung am Generator. Nutze das AV-Modul im Spannungsmodus. Trage deinen Messwert in die Tabelle ein und schalte das PowerModul wieder ab.
3. Verdrehe nun den Windgenerator vorsichtig um 10°. Wiederhole deine Messungen mit den entsprechenden Winkeleinstellungen (siehe Tabelle) und trage alle Messwerte in die Tabelle ein.

### Messwerte

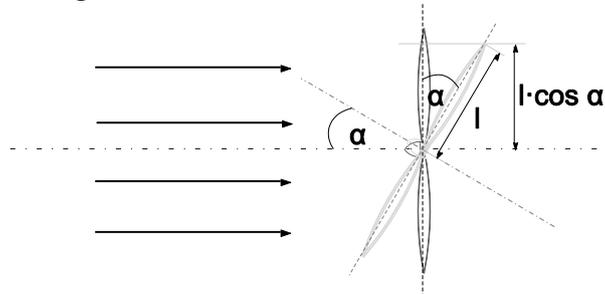
$\alpha$ in °	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\cos \alpha$										
U in V										



## 12.2 Einfluss der Windrichtung (quantitativ)

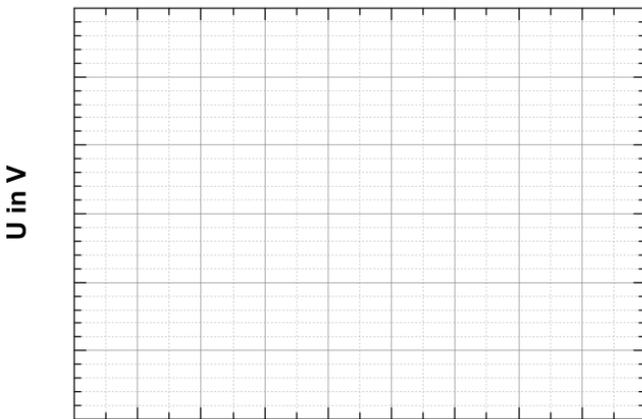
### Auswertung

1. Trage die Messwerte in die entsprechenden Diagramme 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.

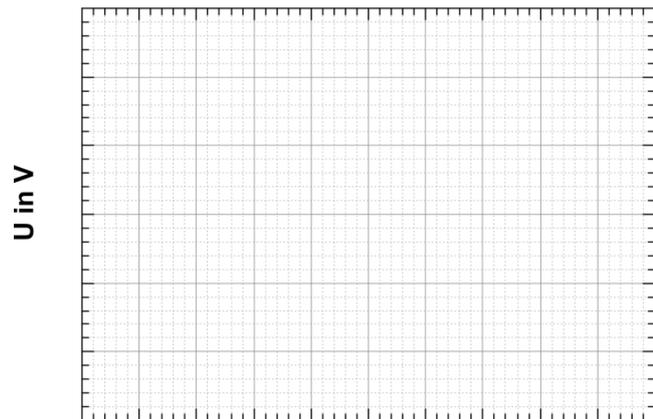


3. Die Richtung, aus der strömende Luft auf eine Windkraftanlage trifft, ist für die erzeugte Spannung von Bedeutung. Beschreibe eine Möglichkeit der Veränderung einer Anlage, um immer die maximale Spannung erzeugen zu können.

### Diagramme



$\alpha$  in  $^\circ$



$\cos \alpha$  in  $^\circ$

### Auswertung

2.

---



---

3.

---



---



---



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

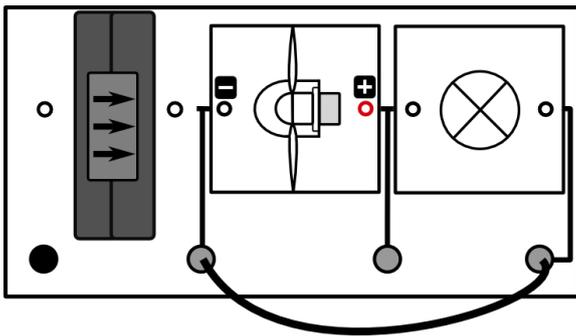
#### Aufgabe

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

**Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor.**

#### Aufbau

#### Benötigte Geräte



- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit PowerModul (9V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler (alle Winkel, optimiertes Profil)
- Glühlampenmodul
- Kabel

#### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Baue einen Rotor mit 3 Flügeln und einem Anstellwinkel der Blätter von 20° auf und stecke ihn auf den Windgenerator.
3. Schalte den Winderzeuger bei einer PowerModulspannung von 9V ein und beobachte die Helligkeit der Glühlampe. Schiebe den Rotor ggf. an, falls er nicht von allein anläuft. Trage anschließend deine Beobachtungen in die Tabelle ein. Male dazu die entsprechende Anzahl an Feldern aus.
4. Wiederhole die Messung für alle anderen Rotorblattanstellwinkel.
5. Zusatz: Führe die gleiche Messung mit den Flügeln mit flachem Profil durch!

#### Auswertung

Anstellwinkel	20°	25°	30°	50°	90°	Beispiel
Die Glühlampe leuchtet...	<input type="checkbox"/> hell					
	<input type="checkbox"/> schwach					
	<input type="checkbox"/> gar nicht					
	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>					

Vervollständige nun den angegebenen Text:

Bei größerem Anstellwinkel leuchtet die Glühlampe ..... Am stärksten leuchtet die Glühlampe bei einem Winkel von .....

Zusatz: Mit dem flachen Profil beobachtet man, .....

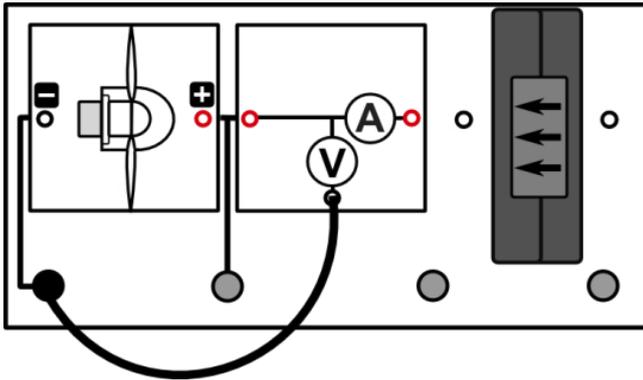
## 13.2 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (quantitativ)

### Aufgabe

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

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit PowerModul (12V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler (alle Winkel, optimiertes und flaches Profil)
- Kabel
- Spannungsmessgerät

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Baue einen Rotor mit 3 Flügeln mit optimiertem Profil und einem Anstellwinkel der Blätter von  $20^\circ$  auf und stecke ihn auf den Windgenerator.
3. Schalte den Winderzeuger bei einer PowerModulspannung von 12 V ein und miss die Spannung am Windgenerator. Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus. Erfasse die Messwerte in einer Tabelle.
4. Wiederhole die Messung für alle anderen Rotorblattanstellwinkel und für das flache Profil.

### Messwerte

	$20^\circ$	$25^\circ$	$30^\circ$	$50^\circ$	$90^\circ$
$U_{\text{optimiert}}$ in V					
$U_{\text{flach}}$ in V					

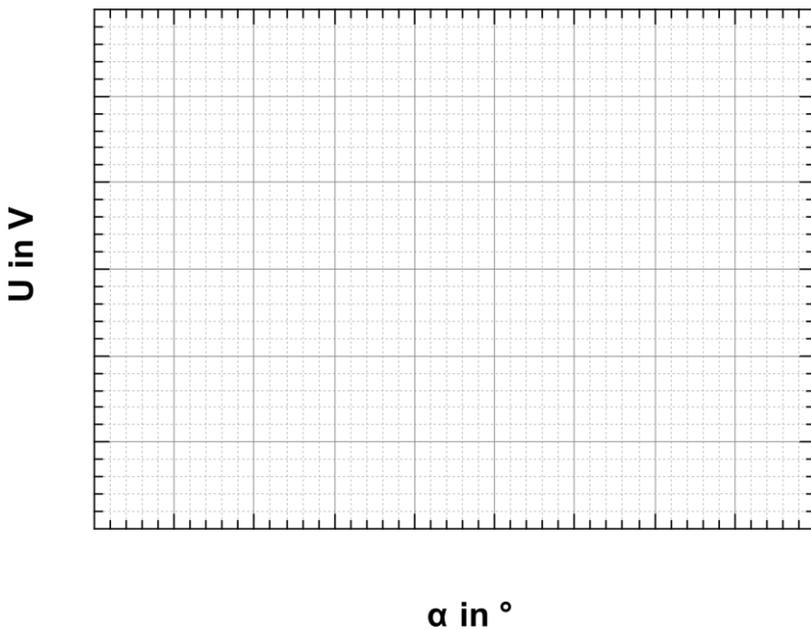


### 13.2 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (quantitativ)

#### Auswertung

1. Trage die Spannung  $U$  über dem Anstellwinkel  $\alpha$  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.

#### Diagramme



#### Auswertung

2.  

---

---

---

---

---
3.  

---

---

---

---

---



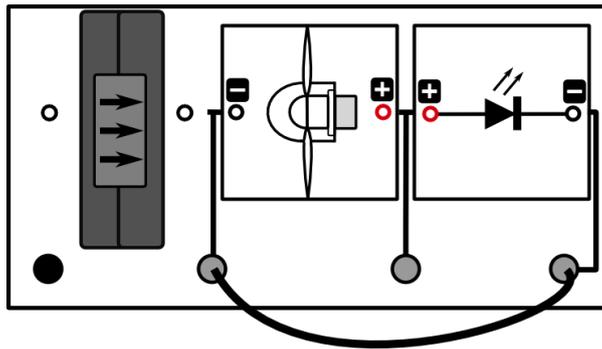
## 14.1 Einfluss der Flügelform (qualitativ)

### Aufgabe

Untersuche die Helligkeit einer Leuchtdiode bei unterschiedlicher Form der Rotorblätter.

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit PowerModul (12 V)
- Windgeneratormodul (Dreiflügler, 25°, optimiertes Profil und flaches Profil)
- LED-Modul
- Kabel

### Durchführung

1. Baue die Versuchsanordnung wie oben dargestellt auf.
2. Stecke den Dreiblattrotor mit dem optimierten Profil auf den Windgenerator und schalte den Winderzeuger bei einer PowerModulspannung von 12 V ein. Beobachte die Helligkeit der Leuchtdiode.
3. Wiederhole deine Messung mit dem Dreiblattrotor mit flachem Profil.
4. Notiere deine Beobachtungen.

### 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.

2.

3.



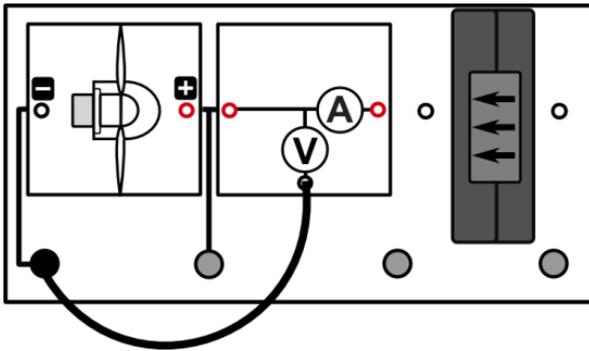
## 14.2 Einfluss der Flügelform (quantitativ)

### Aufgabe

Untersuche die Spannung am Generator bei unterschiedlicher Form der Rotorblätter.

Achtung Verletzungsgefahr: Berühre nicht den drehenden Rotor

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit PowerModul (9V)
- Windgeneratormodul (Dreiflügler, 25°, optimiertes Profil und flaches Profil)
- Kabel
- AV-Modul

### Durchführung

1. Baue die Versuchsanordnung wie oben dargestellt auf.
2. Stecke den Dreiblattrotor mit dem optimierten Profil auf den Windgenerator und schalte den Winderzeuger bei einer PowerModulspannung von 9 V ein. Miss die am Generator erzeugte Spannung. Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus.
3. Wiederhole deine Messung mit dem Dreiblattrotor mit flachem Profil.

### Messwerte

$U_{\text{opt}} = \text{-----}$

$U_{\text{flach}} = \text{-----}$

### Auswertung

1. Benenne, mit welchem Profil höhere Spannungen erzeugt werden können?
2. Vermute, wie groß der Einfluss der Flügelform auf die erzeugte Leistung einer Windkraftanlage ist.

1.

2.

---



---



---



---

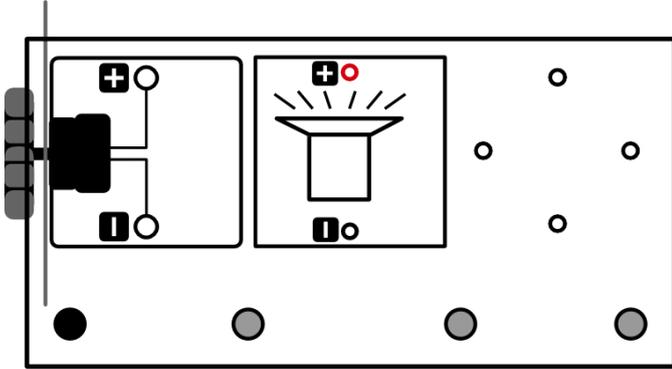


## 15.1 Wasser als Energiequelle (qualitativ)

### Aufgabe

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

### Aufbau



### Benötigte Geräte

Benötigte Geräte:

- Grundeinheit
- Wasserradmodul
- Hupenmodul
- Kabel
- Schlauch

Zusätzlich benötigt:

- Zwei große Schüsseln/Kisten
- Wasser
- Tisch/Stuhl/anderer höherer Standort

### 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.
5. Achtung! Das andere Ende des Schlauches muss immer im Wasser bleiben.
6. Richte den Schlauch so aus, dass das Wasser möglichst nur auf das Wasserrad spritzt und nimm den Finger vom Schlauchende.
7. Falls deine Fallhöhe sehr niedrig ist, kann es sein, dass du das Wasserrad „anstopfen“ musst.
8. Notiere deine Beobachtungen

### Beobachtung

---



---

### Auswertung

1. Welche Energieumwandlung findet statt?

---



---



---

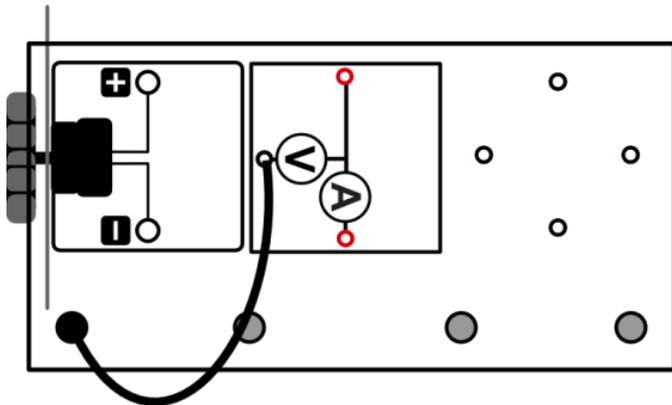


## 15.2 Wasser als Energiequelle (quantitativ)

### Aufgabe

Ermittle die Leerlaufspannung des Wasserrads und gib die Fallhöhe an!

### Aufbau



### Benötigte Geräte

Benötigte Geräte:

- Grundeinheit
- Wasserradmodul
- AV-Modul
- Kabel
- Schlauch

Zusätzlich benötigt:

- Zwei große Schüsseln/Kisten
- Wasser
- Tisch/Stuhl/anderer höherer Standort

### 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.
5. Achtung! Das andere Ende des Schlauches muss immer im Wasser bleiben.
6. Richte den Schlauch so aus, dass das Wasser möglichst nur auf das Wasserrad spritzt und nimm den Finger vom Schlauchende.
7. Falls deine Fallhöhe sehr niedrig ist, kann es sein, dass du das Wasserrad „anstopfen“ musst.
8. Miss die Spannung am Generator. Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus.

### Messwerte

U= \_\_\_\_\_ bei einer Höhe von \_\_\_\_\_

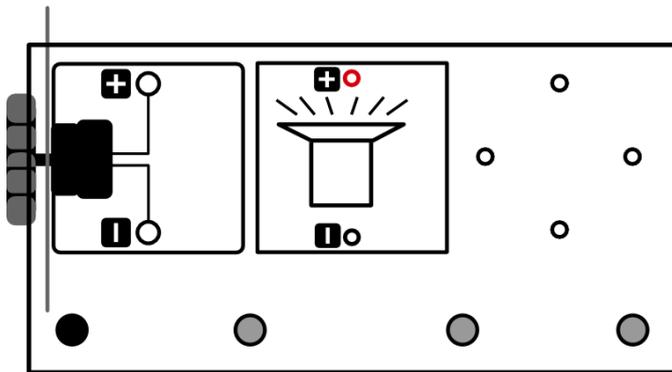


## 16.1 Abhängigkeit von der Fallhöhe (qualitativ)

### Aufgabe

Untersuche, inwieweit die Fallhöhe die Lautstärke der Hupe beeinträchtigt!

### Aufbau



### Benötigte Geräte

Benötigte Geräte:

- Grundeinheit
- Wasserradmodul
- Hupenmodul
- Kabel
- Schlauch

Zusätzlich benötigt:

- Zwei große Schüsseln/Kisten
- Wasser
- Tisch/Stuhl/anderer höherer Standort

### 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.
5. Achtung! Das andere Ende des Schlauches muss immer im Wasser bleiben.
6. Richte den Schlauch so aus, dass das Wasser möglichst nur auf das Wasserrad spritzt und nimm den Finger vom Schlauchende.
7. Falls deine Fallhöhe sehr niedrig ist, kann es sein, dass du das Wasserrad „anstupsen“ musst.
8. Notiere deine Beobachtungen.
9. Wiederhole den Versuch für verschiedene Fallhöhen (z.B. Stuhl-Boden, Tisch-Stuhl, Tisch-Boden).

### Beobachtungen

---



---

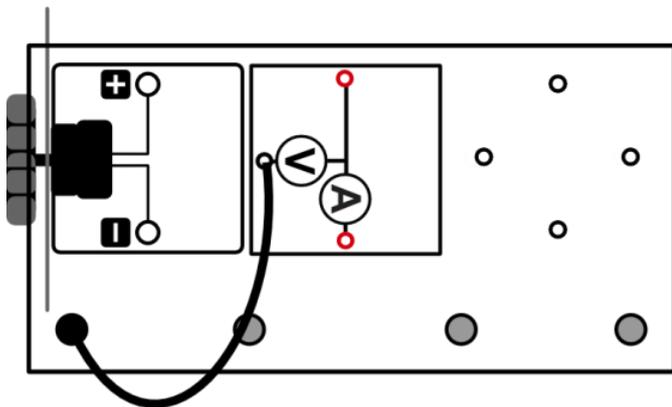


## 16.2 Abhängigkeit von der Fallhöhe (quantitativ)

### Aufgabe

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

### Aufbau



### Benötigte Geräte

Benötigte Geräte:

- Wasserradmodul
- AV-Modul
- 2 lange Kabel
- Schlauch

Zusätzlich benötigt:

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

### 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. Sauge das Wasser im Schlauch an oder lege ihn komplett ins Wasser und halte den Finger auf ein Ende.
5. Achtung! Das andere Ende des Schlauches muss immer im Wasser bleiben.
6. Richte den Schlauch so aus, dass das Wasser möglichst nur auf das Wasserrad spritzt und nimm den Finger vom Schlauchende.
7. Falls deine Fallhöhe sehr niedrig ist, kann es sein, dass du das Wasserrad „anstopfen“ musst.
8. Miss die Fallhöhe  $h$  und die Spannung  $U$  am Generatormodul. Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus.
9. Wiederhole den Versuch für verschiedene Fallhöhen (z.B. Stuhl-Boden, Tisch-Stuhl, Tisch-Boden) und trage deine Werte in die Tabelle ein.

### Messwerte

h in cm					
U in V					

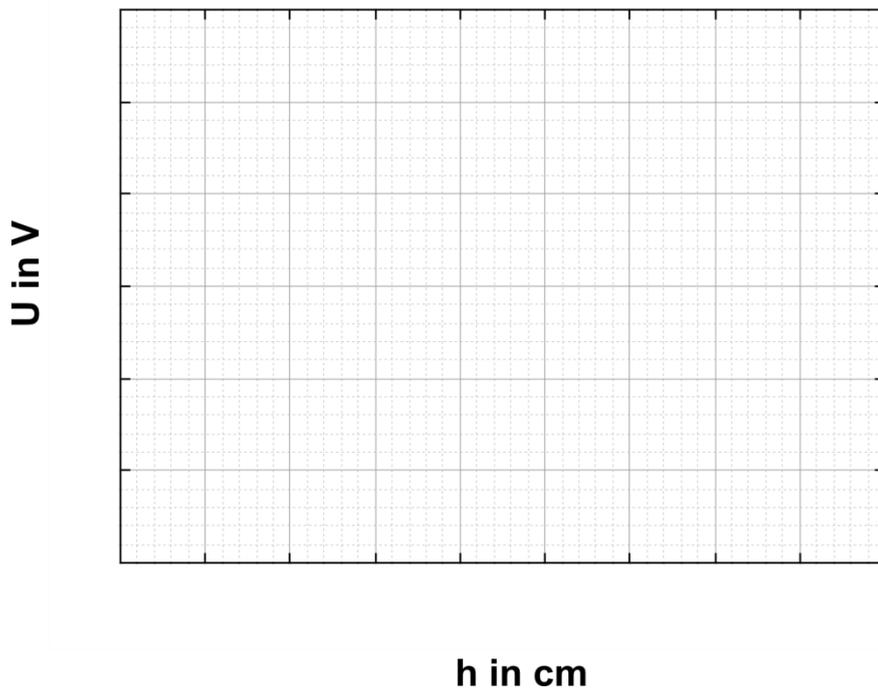
### Auswertung

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



## 16.2 Abhängigkeit von der Fallhöhe (quantitativ)

## Diagramm



## Auswertung

2.

---

---

---

---

---

---

---

---

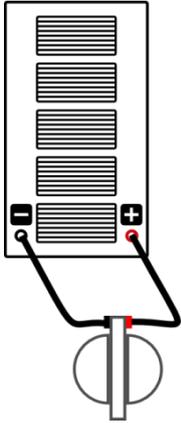


## 17. Was macht ein Elektrolyseur?

### Aufgabe

Lerne die Funktionsweise eines Elektrolyseurs kennen.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Großes Solarpanel
- Brennstoffzelle mit Verschlussstopfen
- 2 Kabel
- destilliertes Wasser

### Durchführung

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.

1. Baue das Brennstoffzellenmodul wie auf Seite 16 beschrieben auf. Achte darauf, dass der rote Anschluss an der Brennstoffzelle mit dem roten Anschluss des Solarpanels verbunden ist.
2. Beleuchte nun das Solarpanel 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 Solarpanel mit deiner Hand. Notiere deine Beobachtungen.

### Beobachtungen

---



---



---

### Auswertung

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



## 17. Was macht ein Elektrolyseur?

## Auswertung

4. In der reversiblen Brennstoffzelle, betrieben als Elektrolyseur, wird Wasser (chemisches Zeichen:  $\text{H}_2\text{O}$ ) in die zwei Gase Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) und Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) zersetzt. Kannst du damit deine Beobachtung erklären? Versuche, eine Reaktionsgleichung aufzustellen.
5. Wie könntest Du nachweisen, dass sich in dem mit „ $\text{H}_2$ “ beschrifteten Behälter wirklich Wasserstoff und im mit „ $\text{O}_2$ “ beschrifteten Behälter Sauerstoff befinden?

---

1.

---

---

---

2.

---

---

---

3.

---

---

---

4.

---

---

---

---

---

---

---

---

5.

---

---

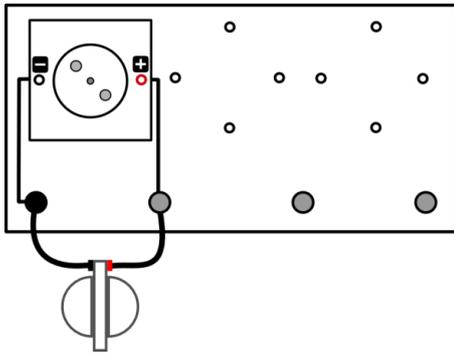


## 18. Was macht eine Brennstoffzelle?

### Aufgabe

Lerne die Funktionsweise einer Brennstoffzelle kennen.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Brennstoffzelle mit Verschlussstopfen
- 2 Kabel
- Motormodul und/oder Glühlampenmodul

### Durchführung

1. Wenn Du den Versuch „Was macht ein Elektrolyseur?“ gerade durchgeführt hast, sind die Gasbehälter schon mit Wasserstoff und Sauerstoff gefüllt. Falls nicht, fülle die Gasbehälter zunächst auf. Auf der „H<sub>2</sub>“-Seite sollte mindestens die 10 ml-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

---



---

### 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.

---



---

2.

---



---

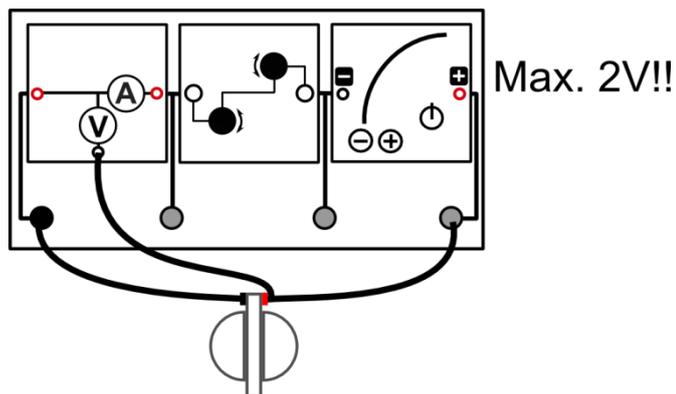


## 19. Die Kennlinie eines Elektrolyseurs

### Aufgabe

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

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Brennstoffzellenmodul
- Potentiometermodul
- PowerModul
- AV-Modul
- Kabel

### Durchführung

1. Befülle die Brennstoffzelle mit destilliertem Wasser. Hinweise zur Handhabung findest Du auf Seite 16.
2. Baue den Versuch entsprechend der obigen Abbildung auf. Achte auf die Polarität der Anschlüsse. Stelle am Potentiometer 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 Strom-Spannungs-Modus betrieben.
4. Verringere nun in mehreren Schritten den Widerstand am Potentiometer und nimm jeweils Strom und Spannung auf. 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 in V								
I in mA								

U in V								
I in mA								

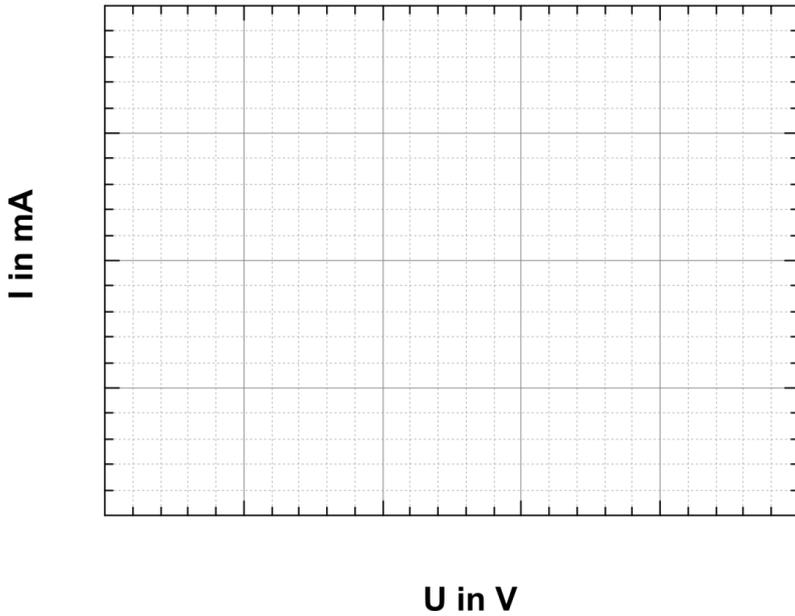


## 19. Die Kennlinie eines Elektrolyseurs

### Auswertung

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

### Diagramme



### Auswertung

2.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

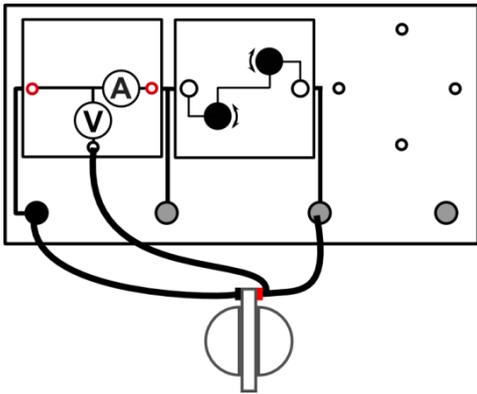


## 20. Die Kennlinie einer Brennstoffzelle

### Aufgabe

Ermittle die U-I-Kennlinie einer Brennstoffzelle.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Brennstoffzellenmodul
- Potentiometermodul
- AV-Modul
- Kabel

### 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 16. 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  $0,8\text{V} - 0,9\text{V}$ .

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Stecke das Potentiometer noch nicht auf.
2. Miss zunächst die Leerlaufspannung der Brennstoffzelle  $U_0$  und trage Deine Messwerte in die Tabelle ein.
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.
4. Verringere nun in mehreren Schritten den Widerstand am Potentiometer und miss jeweils Strom  $I$  und Spannung  $U$  an der Brennstoffzelle. 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.



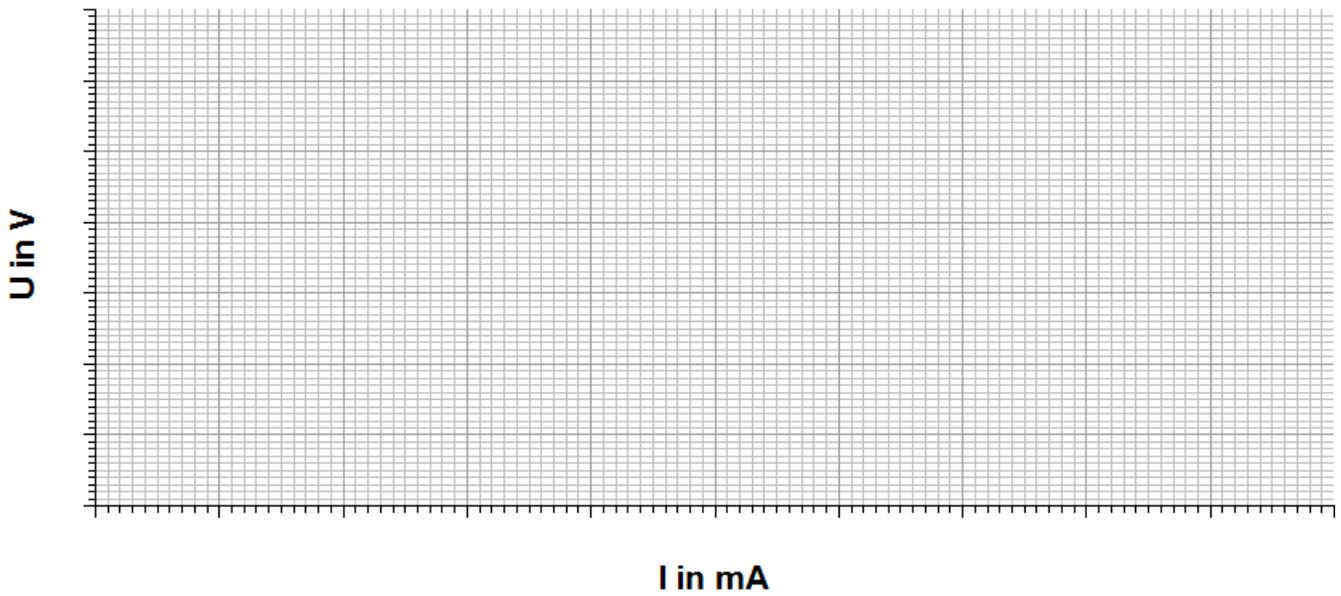
# 20. Die Kennlinie einer Brennstoffzelle

## Messwerte

U in V														
I in mA														

U in V														
I in mA														

## Diagramm



## Auswertung

2.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## 20. Die Kennlinie einer Brennstoffzelle

### Auswertung

3.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

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)