Energiekiste

Erneuerbare Energien



### Impressum

#### **Energiekiste – Erneuerbare Energien**

#### Herausgeber:

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Prinzregentenstraße 28 80538 München

Tel.: 089 2162-0 Fax: 089 2162-2760 E-Mail: info@stmwi.bayern.de

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

Internet: www.stmwi.bayern.de

86179 Augsburg Tel.: 0821 9071-0

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de Internet: www.lfu.bayern.de

Konzept und Text: LfU, verändert nach Vorlage von leXsolar GmbH

Bearbeitung: LfU, Ökoenergie-Institut Bayern

Layout: LfU: Waltraud Brandner, Sophia Pospiech, Sabine Schmidbauer

Fotos: LfU, Waltraud Brandner

Grafiken: leXsolar GmbH, zum Teil verändert

Stand: März 2022

## Inhalt

Einführung	3
Information für Lehrerinnen und Lehrer	5
Benötigte Geräte – Kurzübersicht	7
Handhabung der Einzelteile	9
Erneuerbare Energien	19
Basics Gleichstrom	20
Thema 1 – Elektrische Verbraucher	21
Experiment 1: Elektrische Schaltkreise aufbauen	22
Thema 2 – Optische Täuschungen	24
Experiment 2.1: Der Grundaufbau für Farbscheibenexperimente	26
Experiment 2.2: Farbeigenschaften	27
Experiment 2.3: Die additive Farbmischung	28
Experiment 2.4: Optische Täuschungen mit der Benham-Scheibe	29
Experiment 2.5: Optische Täuschungen mit der Relief-Scheibe	30
Thema 3 – Sonnenenergie	31
3.1: Die Solarzellenleistung	32
Experiment 3.1: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der beleuchteten Fläche	33
3.2: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts	36
Experiment 3.2.1: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (qualitativ)	38
Experiment 3.2.2: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (quantitativ) .	40
3.3: Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung: Kennwerte einer Solarzelle	
3.4: Die I-U-Kennlinie einer Solarzelle	44
Experiment 3.4.1: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Last	45
Experiment 3.4.2: Die I-U-Kennlinie und der Füllfaktor einer Solarzelle	47
Experiment 3.4.3: Die I-U-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke	50
Thema 4 – Windenergie	55
4.1: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine	56
Experiment 4.1.1: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (qualitativ)	58
Experiment 4.1.2: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (quantitativ)	59
4.2: Anlaufgeschwindigkeit einer Windenergieanlage  Experiment 4.2: Anlaufgeschwindigkeit einer Windenergieanlage	
4.3: Änderung der Generatorspannung durch Zuschalten von Verbrauchern	65
Experiment 4.3: Änderung der Generatorspannung durch Zuschalten von Verbrauchern	67
4.4: Änderung der Generatorspannung	
4.5.1: Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren (qualitativ)	
4.5.2: Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren (quantitativ)	
Experiment 4.5.2: Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren (quantitativ)	

## Inhalt

4.6: Kennlinie einer Windenergieanlage         Experiment 4.6: Kennlinie einer Windenergieanlage mit Gleichstromgenerator	
4.7.1: Einfluss der Windrichtung (qualitativ)  Experiment 4.7.1: Einfluss der Windrichtung (qualitativ)	85
4.7.2: Einfluss der Windrichtung (quantitativ)	
4.8.1: Der Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (qualitativ)	
4.8.2: Der Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (quantitativ)	
4.9.1: Einfluss der Flügelform (qualitativ)  Experiment 4.9.1: Einfluss der Flügelform (qualitativ)	
4.9.2: Einfluss der Flügelform (quantitativ)	
Thema 5 – Wasserkraft	103
5.1: Wasser als Energiequelle  Experiment 5.1.1: Wasser als Energiequelle (qualitativ)  Experiment 5.1.2: Wasser als Energiequelle (quantitativ)	105
5.2: Abhängigkeit von der Fallhöhe	108
Thema 6 – Brennstoffzelle und Elektrolyseur  Experiment 6.1: Was macht ein Elektrolyseur?	111
Experiment 6.2: Was macht eine Brennstoffzelle?  Experiment 6.3: Die Kennlinie eines Elektrolyseurs	117
Experiment 6.4: Die Kennlinie einer Brennstoffzelle	119



Informationen für Lehrkräfte



Aufgaben



Lösungen

**Hinweis:** Die Lösungen sind nur beispielhaft und können je nach Messbedingungen variieren.

## Einführung

## Konzeption und Ziel

Die Energiekiste "Erneuerbare Energien" ist Teil der "Energiekisten" des Bayerischen Landesamtes für Umwelt. Sie enthält einen Klassensatz (6 gleiche Kisten) mit Experimenten zum Thema erneuerbare Energien.

Ziel dieser Kiste ist es, den Schülerinnen und Schülern (SuS) die Grundlagen der Stromerzeugung durch die erneuerbaren Energien Sonne, Wind und Wasser nahe zu bringen. Die SuS können zum Beispiel die Spannung und Stromstärke einer Solarzelle messen und daraus die Leistung berechnen und Kennlinien erstellen. Darüber hinaus sind Versuche mit einer reversiblen Brennstoffzelle enthalten.

Vorteile für die Lehrkräfte:

- Geringer Vorbereitungsaufwand
- Gute Lehrplanintegration
- Abwechslungsreiches und aktives Lernkonzept
- Gut ausgearbeitete Arbeitsmaterialien
- Übersichtlicher Inhalt
- Robuste Materialien und gute Verpackung
- Einfaches Ausleihsystem inkl. Versand

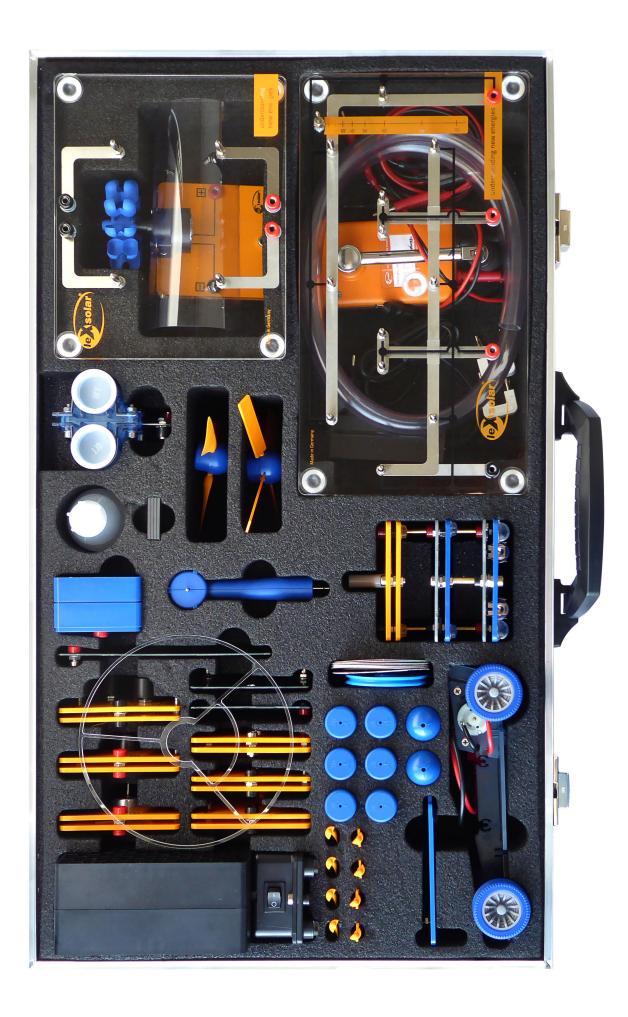
Die Aufgaben sind für die Sekundarstufe I und eventuell II konzipiert.

Alle Energiekisten sind über den Link "www. energieatlas.bayern.de/thema\_energie/bildung. html" ausleihbar.









Erneuerbare	Ener	rgier
-------------	------	-------

## Benötigte Geräte - Kurzübersicht









Grundeinheit groß

Winderzeuger



Windrotoren



Windturbine mit Fingerschutz



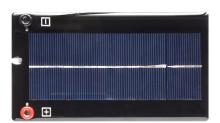
Windturbinenmodul mit Modulplatte



Solarmodul 0,5 V / 840 mA



Solarmodul 1,5 V / 280 mA



Solarmodul 2,5 V / 420 mA



Abdeckung für Solarzelle



Beleuchtungsmodul



Powermodul (o. Abb. Netzteil)







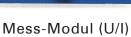


## Benötigte Geräte - Kurzübersicht











LED-Modul



Potentiometermodul



Glühlampenmodul



Kondensatormodul



Hupenmodul



Motormodul



Farbscheibenset



reversible PEM-Brennstoffzelle



Elektro-Modellfahrzeug mit Akku-Adapter



Wasserradmodul



Handgeneratormodul

In der folgenden Auflistung werden alle in einem Koffer enthaltenen Teile aufgeführt. Zu jeder Komponente finden Sie die Artikelnummer, eine Abbildung, i. a. das Piktogramm in den Versuchsaufbauten sowie Hinweise zur Bedienung. Mit Hilfe der Artikelnummer können Sie jedes Einzelteil identifizieren. Alle Versuche laufen mit Gleichstrom und bei Spannungen von maximal 12 Volt. Das Powermodul wird mit Netzstecker geliefert und dient als Trafo.



#### Grundeinheit klein 1602-01

Die kleine Grundeinheit 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 genenüberliegenden Seiten insgesammt vier Anschlüsse. Für die Verbindung von Modulen auf der Grundeinheit stehen zwei Kurzschlusstecker zur Verfügung.



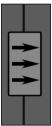
#### Grundeinheit groß 1100-19

Die große 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 Schaltpläne zum Aufstecken der Module zeigen die Verbindungen für eine Reihen- oder Parallelschaltung. Zum Wechsel zwischen Reihen- und Parallelschaltung müssen die Module um 90° gedreht aufgesteckt werden.

An der Seite oben rechts befindet sich ein Schattenstab mit Gradskala, der die Neigung bzw. Ausrichtung der Grundfläche zu einer Lichtquelle erkennen lässt.





#### Winderzeuger 1400-19

Der Winderzeuger dient zur kontrollierten Erzeugung von Wind für Experimente mit der Windturbine. Dafür wird er mit dem Powermodul als Spannungsquelle verbunden. Es muss der jeweils farbgleiche Anschluss verbunden werden (Schwarz-Schwarz, Rot-Rot). Der Betrieb des Winderzeugers ist nur mit dem mitgelieferten Powermodul oder einer stabiliserten Gleichspannung von maximal 12 Volt zulässig.

Zur Inbetriebnahme befindet sich am Gehäuse ein An-/Aus-Schalter. Die Windrichtung ist durch Pfeile auf der Oberseite des Gerätes markiert.

Der Winderzeuger darf keinen starken Erschütterungen ausgesetzt sein, da die Rotorblätter im Inneren brechen könnten.

Technische Daten:

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

















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

Zum Einsetzen der Rotorblätter sollte folgendermaßen vorgegangen werden:



- 1. Zuerst wird eine Nabe mit dem gewünschten Anstellwinkel und der Flügelzahl ausgewählt (die Naben sind auf der Rückseite entsprechend beschriftet).
- 2. Danach werden die Rotorblätter eingesetzt. Beim Einsetzen ist darauf zu achten, dass diese mit der abgerundeten Seite nach oben in den Einsatz gelegt werden.
- 3. Nach dem Einsetzen der Flügel wird die Nabenkappe aufgesetzt und leicht festgedrückt.



### Handhabung Fingerschutz

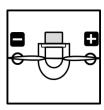
An der Windturbine befinden sich, wie im Foto zu sehen, drei kleine Nasen zum Befestigen des Fingerschutzgitters

- Das Fingerschutzgitter wird auf den Kopf des Windgenerators aufgesteckt und an den unteren beiden Nasen leicht festgedrückt.
- 2. Anschließend wird der Windrotor auf die Welle der Windturbine gesteckt.
- 3. Der Rotor sollte, wegen der Reibung, nicht bis ganz an die Turbine gedrückt werden.



Hinweis: Das Fingerschutzgitter bietet Schutz vor einer seitlichen Kollision, zum Beispiel beim Drehen der Windturbine. Von vorn darf nicht in den Windrotor gegriffen werden, da Verletzungsgefahr besteht! Auch die Rotoblätter könnten beschädigt werden.





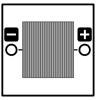
#### Windturbinenmodul 1400-22

Um eine kleine Windenergieanlage zu erhalten, muss die blaue Windturbine auf die Modulplatte gesteckt werden. Auf der Generatorwelle wird dann ein Windrotor befestigt. Der Rotor sollte dabei das Gehäuse der Turbine nicht berühren, da er sich durch die Reibung deutlich schwerer dreht.

Der Generator in der Windturbine erzeugt eine Gleichspannung, deren Polung auf der Modulplatte erkennbar ist. Auf die Modulplatte ist eine Winkelskala aufgedruckt. Damit kann die Windturbine in einem bestimmten Winkel in den Wind gedreht werden.

Hinweis: Wenn sich der Rotor dreht besteht Verletzungsgefahr. Daher immer mit dem Fingerschutz arbeiten.





#### Solarmodul 1100-02, 0,5 Volt / 840 mA

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

Technische Daten:

→ Material: polykristallines Silizium

→ Leerlaufspannung: 0,5 V

→ Kurzschlussstromstärke: 840 mA

→ Spitzenleistung: 0,42 W<sub>n</sub>





#### Solarmodul 1100-07, 1,5 Volt / 280 mA

Dieses Solarmodul ist eine Reihenschaltung aus 3 Solarzellen. Auf der Rückseite befindet sich die Angabe zur Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke.

Technische Daten:

→ Material: polykristallines Silizium

→ Leerlaufspannung: 1,5 V

→ Kurzschlussstromstärke: 280 mA

→ Spitzenleistung: 0,42 W<sub>n</sub>

















#### Solarmodul 1100-31, 2,5 Volt / 420 mA

Dieses Solarmodul ist eine Reihenschaltung aus 5 Solarzellen. Auf der Rückseite befindet sich die Angabe zur Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke.

#### Technische Daten:

- → Material: polykristallines Silizium
- → Leerlaufspannung: 2,5 Volt
- → Kurzschlussstromstärke: 420 mA
- → Spitzenleistung: 1,05 W<sub>n</sub>



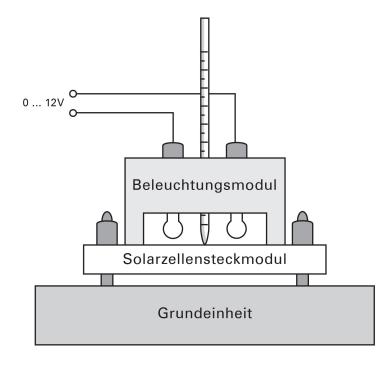
## Abdeckungen für Solarzelle 1100-29

Die 4 Abdeckungen können jeweils ein Viertel der kleinen Solarzellen abdecken.



### Beleuchtungsmodul 1100-20

Das Beleuchtungsmodul wird mit dem Powermodul betrieben. Im Inneren befinden sich 4 kleine Glühlampen, die durch das Herein- oder Herausdrehen zur Beleuchtung beitragen. In den Experimenten wird es direkt auf die Solarzelle gestellt. Zwischen den beiden Anschlüssen befindet sich eine Öffnung für ein Laborthermometer (nicht im Lieferumfang enthalten) mit dem die Temperatur unter dem Modul bestimmt werden kann. Wegen der Erwärmung durch die Glühlampen sollte das Beleuchtungsmodul nicht zu lange auf der Solarzelle stehen, da dies die Ergebnisse verfälscht.









#### Powermodul 9100-05 mit Netzteil L3-03-222

Das Powermodul dient der Stromversorgung für einige Module, z. B. dem Windgenerator. Zum Betrieb muss es mit dem Netzteil und einer 230 V-Steckdose verbunden werden. Die Eingangsbuchse dafür liegt oben rechts.

Die Spannung sollte bereits vor dem eigentlichen Einschalten eingestellt werden, damit in den Versuchen keine Module beschädigt werden. Das gilt insbesondere für die Brennstoffzelle und für das Kondensatormodul, die bei Überspannung leicht kaputt gehen. Mit der "+"- und "-" - Taste kann in halben Schritten zwischen 0,5 und 12 Volt gewählt werden. Die Einstellung wird als LED-Punkt neben der Zahl angezeigt (schwaches Leuchten neben der 2 entspricht dabei z. B. dem Halbton-Wert, 1,5 V).

Mit dem Einschalt-Button Ü wird dann die Spannung an die Ausgangsbuchsen angelegt. Die Spannung liegt an, solange der Einschalt-Button rot leuchtet. Bei Kurzschluss oder Strömen über 2 Ampére schaltet das Powermodul ab. Trotz dieses Schutzes sollte eine Fehlbedinung vermieden werden.

In einigen Versuchen simuliert das Powermodul ein Kraftwerk oder eine Trafostation, z. B. beim Elektrolyseur der reversiblen Brennstoffzelle.

#### Technische Daten:

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

















#### AV-Modul 9100-03 mit 2 AA-Batterien

Das AV-Modul ist ein kombiniertes Spannungs- und Strommessgerät. Es besitzt drei orange Tasten (eckig und rund), deren Funktionen jeweils im Display angezeigt werden. Durch das Drücken einer beliebigen Taste wird das Modul eingeschaltet. Im ausgeschalteten Zustand ist im Display nur das Hersteller-Logo zu sehen.

Mit der Taste rechts oben kann zwischen den drei 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 Minuten ohne Tastendruck oder nach 10 Minuten 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.

Wenn das Display nichts anzeigt oder im Betrieb "Bat" angezeigt wird, müssen die Batterien auf der Rückseite ausgetauscht werden: 2 x AA Batterien oder Akkus 1,2 bis 1,5 V; beim Einlegen der Batterien dürfen die Berührungsfelder nicht berührt werden; Polung beim Einsetzen der Batterien gemäß Markierung am Boden des Batteriefachs beachten!

#### Technische Daten:

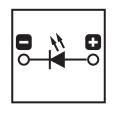
#### Spannungsmessung:

- → Messbereich: 0...12 Volt
- → Genauigkeit: 1 mV
- → Automatische Abschaltung bei Überspannung > 12 Volt (Wiedereinschalten durch Touch-Button)

#### 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);</p>
  - < 0,2 Ohm (200 mA...2 A





#### LED-Modul 1400-08

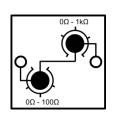
Im Inneren des LED-Moduls befindet sich eine rote LED mit einer Wellenlängenemission von 697 nm. Um die Diode zum Leuchten zu bringen muss eine Spannung von mindestens 1,7 Volt angelegt werden.







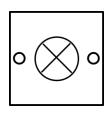




#### Potentiometermodul 1100-23

Das Potentiometermodul besteht aus einem 0-100 Ohm-Drehwiderstand und einem 0-1000 Ohm-Drehwiderstand. Beide sind in Reihe geschaltet, sodass Widerstände zwischen 0 Ohm bis 1100 Ohm gesetzt werden können. Die Messungenauigkeit beim Einstellen eines Widerstandes liegt bei 0,5 Ohm beim kleineren Drehwiderstand und bei 5 Ohm beim größeren.





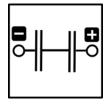
### Glühlampenmodul 1100-26

Das Glühlampenmodul dient bei einigen Versuchen als Verbraucher.

#### Technische Daten:

- → Mikroglühlampe P<sub>typ</sub> = 200 mW (bei 3,5 Volt)
- → Absicherung über Spannungsbegrenzung (6 Volt)





#### Kondensatormodul 1600-02

Das Kondensatormodul besteht aus zwei in Reihe geschalteten Kondensatoren. Die maximale Ladespannung beträgt 5,4 V. Zum Aufladen darf jedoch keine höhere Spannung als 5 V angelegt werden, da Kondensatoren mit der Zeit an Spannungsfestigkeit verlieren und kaputt gehen können, wenn sie zu hoch geladen werden. Zum Entladen kann der Kondensator kurzgeschlossen werden, da Sicherungen im Modul einen zu hohen Stromfluss verhindern.

Zum schnellen Aufladen kann der Kondensator direkt an eine Spannungsquelle (z. B. Powermodul) angeschlossen werden. Die eingestellte Spannung kann bei 0,5 V beginnen und alle 10 s um 0,5 V erhöht werden. In der Endspannung sollte der Kondensator circa 30 s lang aufgeladen werden.

#### Technische Daten:

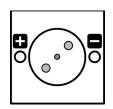
- → Kapazität: 5 F
- → Ladespannung: 5,4 Volt













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

Das Motormodul dient als Verbraucher. Es beinhaltet einen Gleichstrommotor, der sich in beide Richtungen drehen kann. Um anzulaufen benötigt er eine Mindestspannung von 0,35 Volt.

Über die blaue Plastikscheibe, können auf dem Motormodul Farbscheiben befestigt werden. Die Farbkombinationen sind: Rot-Grün-Blau, Rot-Blau, Rot-Grün, Grün-Blau, Farbtonscheibe, Rot-Weiß, Relief, Stroboskopscheibe.

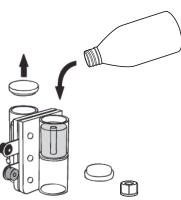


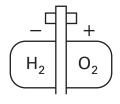


#### Hupenmodul 1100-25

Hinweis: Das Hupenmodul erzeugt ab einer Spannung von 0,7 Volt einen Dauerton. Polung beachten!





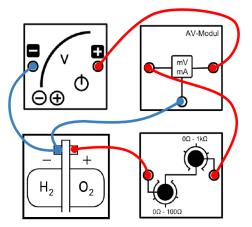


## Reversible Brennstoffzelle L2-06-067 mit destilliertem Wasser (100ml) 1800-15

Die reversible Brennstoffzelle besteht aus einem Elektrolyseur und einer Brennstoffzelle. Zum Befüllen vor der Elektrolyse muss folgendermaßen vorgegangen werden:

- Drehe die Zelle so um, dass die Seite mit den Röhrchen oben liegt (siehe Zeichnung oben). Stelle sie auf (Papier)tücher, die Wasser aufsaugen können.
- 2. Fülle beide Zylinder so lange mit destilliertem Wasser, bis ein wenig davon durch das Röhrchen abläuft. (Hinweis: kein normales Wasser nehmen)
- 3. Verschließe die beiden Zylinder mit den Plastikdeckeln, es sollen höchstens noch kleine Luftblasen zu sehen sein. Drehe das ganze Teil um. Die wassergefüllte Seite muss jetzt unten liegen.

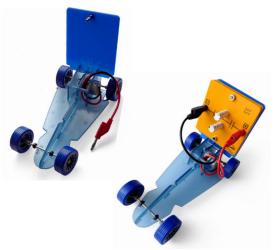
Achtung: Zum Aufladen der Brennstoffzelle dürfen nie mehr als 2,5 Volt Spannung angeschlossen sein. Das Powermodul liefert jedoch bis zu 12 Volt und muss daher richtig eingestellt sein. Andernfalls kann es passieren, dass mehr als 200 Milliampére (mA) Strom hindurchfließt, was die Brennstoffzelle schnell funktionsunfähig machen kann. Schaltplan: siehe nächste Seite



## Herstellung von Wasserstoff mit der reversiblen Brennstoffzelle – Achtung: unbedingt Anleitung beachten

Das Laden der Brennstoffzelle, also die Wasserstoffproduktion mittels Elektrolyse, muss über das Potentiometer und das AV-Messmodul geregelt werden. Nur das Powermodul zu benutzen reicht nicht. Auch die Handkurbel darf nicht verwendet werden.

- Schließe nun alle Kabel, wie abgebildet an. Achtung: Strom noch nicht anschalten. Zum Aufladen der Brennstoffzelle dürfen nicht mehr als 200 mA fließen, da sie sonst kaputtgehen kann. Das erreicht man mit der gezeigten Schaltung und Kontrolle am AV-Messgerät (AV-Modul).
- 2. Stelle das Powermodul auf 2,5 Volt ein, lasse es aber noch ausgeschaltet. Stelle das Potentiometer (Poti) zuerst auf Maximum (1100 Ohm =1,1 k $\Omega$ ).
- 3. Schalte dann das Powermodul ein und lies die Werte für Spannung (V) und Stromstärke (A) am AV-Modul (im AV-Modus) ab. Regle am Potentiometer zuerst am k $\Omega$ -Knopf, dann am anderen Knopf vorsichtig nach unten bis ca. 2 V Ladestrom und 200 mA erreicht sind. Am Anfang sieht man nur geringe Änderungen bei der Stromstärke aber ab ca. 25 Ohm geht es sehr schnell. Die Gasbildung sollte nun sichtbar werden. Im Behälter H2 entsteht doppelt so viel Gas wie im Behälter O2.
- 4. Achte darauf, das Powermodul rechtzeitig abzuschalten und die Kabel zu lösen, sonst verschwindet dein Wasserstoff wieder. Die Zelle darf auch nicht "trockenlaufen".
- 5. Jetzt kann die Zelle im Brennstoffzellmodus Verbraucher, z. B. das Auto mit Strom versorgen.



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

Das Elektro-Modellfahrzeug kann mit der reversible Brennstoffzelle oder dem Kondensatormodul betrieben werden. Die reversible Brennstoffzelle kann direkt auf das Fahrzeug gesteckt werden. Das Kondensatormodul kann mit der blauen Adapterplatte (siehe Foto) am 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. Der Wasserstrahl wird mit Hilfe des Wasserschlauchs auf die Turbinenschaufeln gelenkt. Der transparente Spritzschutz schirmt den Generator vor Feuchtigkeit ab.

Da dieses Modul im Testlauf einen recht großen Anlaufwiderstand hatte, empfiehlt sich ein weiterer Spritzschutz, besonders für alle elektrischen Teile in der Umgebung.



## Handgeneratormodul 1602-02 und Zubehör

Der Handgenerator liefert schnell hohe Spannungen. Daher darf er für empfindliche Module nicht eingesetzt werden. Dazu gehören die Brennstoffzelle und der Kondensator. Er eignet sich gut für das Windrad, die Beleuchtungsmodule, die Hupe oder das Motormodul.

## Erneuerbare Energien

Ganz klar: Strom kommt aus der Steckdose – und was passiert vorher?

Für euch ist es bestimmt selbstverständlich, dass erneuerbare Energien die beste Option für die Zukunft sind. Etwa die Hälfte der Bruttostromerzeugung in Bayern stammt schon aus erneuerbaren Energien!

Mit den Experimenten dieser Energiekiste könnt ihr ausprobieren, wie Solarzellen, Windenergieanlagen und Brennstoffzellen wirklich funktionieren.

Was euch das bringt? Ihr könnt mitreden und selber fachsimpeln, wie wir in Zukunft Strom erzeugen wollen. Denn: Technik macht Spaß, wenn man ein bisschen etwas davon versteht. Und wer weiß, vielleicht investiert ihr ja mal in eine neue Bürgerenergieanlage, arbeitet in diesem Bereich oder fahrt eines Tages ein supereffizientes Brennstoffzellen-Auto?















## Basics Gleichstrom

Strom fließt, wenn Ladungsträger sich bewegen. Ladungsträger sind geladene Teilchen, z. B. Elektronen (e-), Protonen (H+), Ionen (geladene Atome wie Chlorid (Cl-) bzw. geladene Moleküle wie das Hydroxid-Ion (OH-)).

Die Bewegung der Ladungsträger wird durch eine Potenzialdifferenz (= Spannung in der Einheit Volt) oder durch Magnetfelder induziert. Strom fließt dann im geschlossenen Stromkreis von einem zum anderen der beiden Pole. Die Pole sind in der Elektrik und Elektronik meist Anschlussstellen für Bauteile wie elektrische Verbraucher (Glühlampe, Motor etc.), Leiterkabel, Batterie usw. Ist der Stromkreis geöffnet oder liegt ein (nahezu) unendlich hoher Widerstand zwischen den Polen, wie es durch Ausschalten über einen Schalter der Fall ist, fließt kein Strom.

Die Benennung der Pole ist historisch bedingt und in den Naturwissenschaften (Physik, Chemie, Biologie) genau andersherum als in der Technik. Technisch fließt Strom vom Pluspol zum Minuspol entlang des Potenzialgefälles. Das spielt bei Gleichstrom v. a. dann eine Rolle, wenn Dioden angeschlossen werden oder eine Drehrichtung, z. B. eines Gleichstrom-Motors wichtig ist.

Der Zusammenhang zwischen Spannung (U in Volt V), Stromstärke (I in Ampére A) und Widerstand (R in Ohm  $\Omega$ ) definiert sich so:

U = R \* I

Der Zusammenhang zur Leistung (P in Watt W) lautet:

P = U \* I

Zum Beispiel erzeugt eine beleuchtete Solarzelle Strom, der mit einem Messgerät erfasst werden kann. Daraus ergibt sich die (momentane) Leistung der Solarzelle (siehe Experiment 3.1). Steigt oder sinkt die Beleuchtungsstärke, verändert sich die Leistung bis auf Null oder bis zur Maximalleistung der Zelle (=Nennleistung in Watt $_{\rm peak}$   $W_{\rm p}$ ).

## Thema 1 - Elektrische Verbraucher

Etwa drei Viertel des Stroms zuhause verbrauchen Haushaltsgeräte, Kommunikation und Unterhaltung sowie die Beleuchtung. Den eigenen Stromverbrauch zu kennen und zu wissen wie man z. B. den Verbrauch eines Kühlschranks messen kann, ist Voraussetzung für sinnvolles Energiesparen.

Denn es gilt: jede Kilowattstunde, die wir nicht verbrauchen, muss gar nicht erst hergestellt werden. Das ist der beste Klima- und Umweltschutz und nützt auch dem eigenen Geldbeutel.











## Aufgabe

Lerne unterschiedliche Verbraucher kennen und baue elektrische Schaltkreise auf.

Experiment 1: Elektrische Schaltkreise aufbauen

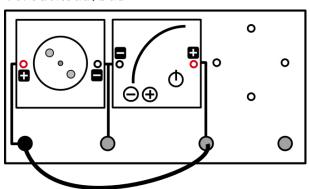
Als Verbraucher werden im Allgemeinen Geräte bezeichnet, die elektrische Energie in andere Energieformen umwandeln.

Beispiele: Bei Hupe und Motor Umwandlung von elektrischer Energie in Bewegungsenergie, bei einer Lampe in Licht und Wärme oder bei einer Herdplatte in Wärme.

## Durchführung

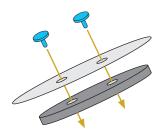
- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue die Schaltung wie oben abgebildet zuerst mit dem Motormodul auf und stelle auf dem Powermodul 1 Volt ein (noch ohne anzuschalten). Achte auf die richtige Polung (+ und -) der Anschlüsse. Schalte das Powermodul ein. Notiere deine Beobachtungen.
- 3. *Erhöhe* nun die Spannung wie in der Tabelle auf der nächsten Seite angegeben.
- 4. Wiederhole das Experiment mit der Hupe, der Glühlampe und dem LED-Modul. Trage alle Beobachtungen in die Tabelle ein. Achte dabei nicht nur auf das, was du siehst und hörst, sondern berühre auch LED und Glühlampe nach einiger Zeit. Was bemerkst du?

#### Versuchsaufbau



### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Motormodul mit beliebiger Farbscheibe
- → Powermodul mit Netzteil
- → Glühlampenmodul
- → LED-Modul
- → Hupenmodul (Polung beachten)
- → 3 Kabel



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

## Experiment 1: Elektrische Schaltkreise aufbauen

## Tabelle Beobachtungen



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

Auswertung:	Fülle den Lückentext aus	ļ

	und	sind Verbrauche	r. Sie wandeln
, die das Powern	nodul liefert, in a	ndere Energieformen um:	Hupe und Motor wandeln die
elektrische Energie in	oder	Bewegungs-	um. Geräusche, die wir wahr-
nehmen, sind auch Bewegung	gen, nämlich Sch	wingungen der Luft. LED	und Glühlampe wandeln die
elektrische Energie in	u	ım, die Glühlampe zusätzli	ch noch in
	. Die \	Verbraucher "verbrauchen	" also nicht die elektrische Ener-
gie sondern wandeln sie in ar	ndere	um.	





_										_									
_	240	-	_	 _	140	Ь	_	10	_	Е	100		_	240	$\sim$		_	100	į.
_	г	п	$\vdash$	 $\leftarrow$	г	[]	н	г	$\leftarrow$		. [	п	Н.	г	( 1	н	$\leftarrow$	ш	ı

## Thema 2 - Optische Täuschungen

# info

## Anmerkungen

Eine hohe Umgebungshelligkeit sorgt über das PV-Modul für eine schnelle Drehung des Motors und somit bei den meisten Experimenten für eine deutliche optische Täuschung. Scheint keine Sonne und ist keine ausreichende Zimmerbeleuchtung gegeben, kann man den Motor mit dem Powermodul (0,5-1,0 Volt) und dem Potentiometer (Reihenschaltung) drehen lassen.

Das Phänomen der Benham-Scheiben (Experiment 2.4) ist bis heute nicht eindeutig erklärbar.

Die Räumlichkeit entsteht nicht nur durch binokulares Sehen (mit zwei Augen), sondern auch durch die monokular wirkende, sogenannte Bewegungsparalaxe. Der Effekt der Bewegungsparalaxe kann beispielsweise bei Zug- oder Autobahnfahrten be-

obachtet werden. Weit entfernte Objekte bewegen sich scheinbar langsamer als Bäume neben der Fahrstrecke. In Experiment 2.5 wird dieser Effekt über die Konstruktion der Scheibe gezeigt. Durch die unterschiedlichen Relativbewegungen der einzelnen Kreise der Scheibe entsteht ein räumlicher Eindruck.







## Experiment 2.1: Der Grundaufbau für Farbscheibenexperimente



## Aufgabe

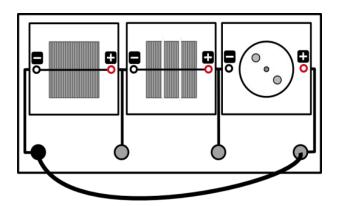
Vorbereitung für Experiment 2.2



## Durchführung

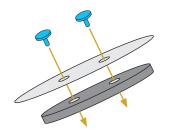
- 1. Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf.
- 3. Stecke anschließend die Rotationsscheibe auf den Motor. Gehalten wird die Pappscheibe durch zwei farbige Kunststoffpins.-

### Versuchsaufbau



## Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß
- → Solarmodul 0,5 V
- → Solarmodul 1,5 V
- → Motormodul
- → abgebildete Farbscheibe rot-weiß
- → 1 Kabel



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

## Experiment 2.2: Farbeigenschaften

## Benötigte Geräte

- → Versuchsaufbau aus Experiment 2.1
- → Farbscheibe rot-weiß

## Durchführung

 Halte den Versuchsaufbau ins Licht, so dass sich die Scheibe dreht. Halte deine Hand so über die Scheibe, dass eine Hälfte davon im Schatten liegt. Die Ergebnisse helfen dir, Farbsysteme besser zu verstehen.



#### 2. Beobachte:

Farbton: Welche Farbe zeigt die drehende 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





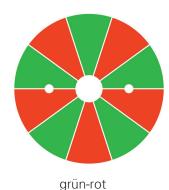


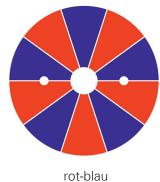






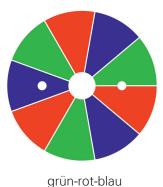






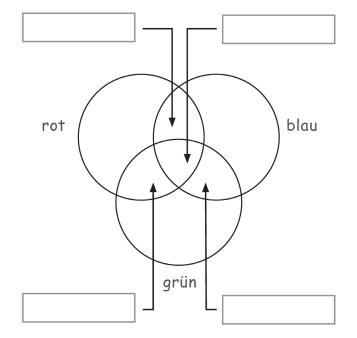
Experiment 2.3: Die additive Farbmischung





## Durchführung

- 1. Wenn die Scheibe still steht, haben die Kreisstücke der verschiedenen Scheiben unterschiedliche Farben.
- 2. Lasse die Farbscheibe schnell drehen, damit sich die Farben optisch vermischen. Male in der Zeichnung rechts die einzelnen Bereiche
- 3. Fange mit den reinen Farben rot, grün und blau
- 4. Male danach mit Hilfe deiner Beobachtungen an den Farbscheiben die vier Mischbereiche aus. Beschrifte die markierten Bereiche.
- 5. Wechsle zur nächsten Farbscheibe.



## Experiment 2.4: Optische Täuschungen mit der Benham-Scheibe

## Benötigte Geräte

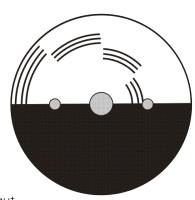
- → Versuchsaufbau aus Experiment 2.1
- → Farbscheibe schwarz-weiß

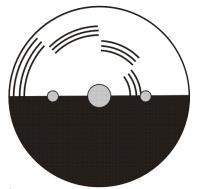
## Durchführung

Lösung

- 1. Notiere deine Beobachtungen.
- 2. Tausche dich mit deinen Mitschülerinnen und Mitschülern darüber aus, was sie sehen.

Hinweis: Nicht alle Menschen können den Effekt gleich gut sehen.











## Experiment 2.5: Optische Täuschungen mit der Relief-Scheibe



## Benötigte Geräte

- → Versuchsaufbau aus Experiment 2.1
- → Farbscheibe schwarz-weiß
- → evtl. Potentiometermodul



## Durchführung

- 1. Baue den Versuch auf wie bei Experiment 2.1. beschrieben.
- 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 oder schalte das Potentiometermodul in Reihe und erhöhe den Widerstand.



Lösung			

## Thema 3 - Sonnenenergie

Die Sonne ist das Zentralgestirn unseres Sonnensystems und Ursprung allen Lebens. Ihre Entfernung zur Erde beträgt rund 150 Millionen Kilometer – das entspricht ungefähr 300.000-mal der Strecke München-Berlin. Trotz dieser riesigen Entfernung erreicht unvorstellbar viel Energie die Erde, denn die Sonne liefert hiervon in einer halben Stunde mehr, als alle Menschen zusammen in einem Jahr verbrauchen. Bayern zählt zu den von der Sonne verwöhnten Gebieten Deutschlands und verfügt über sehr günstige Voraussetzungen zur Nutzung von Sonnenenergie (Solarenergie).

Photovoltaik nutzt die Solarenergie zur Erzeugung von elektrischem Strom. Eine Photovoltaikanlage (PV-Anlage) kann das Sonnenlicht in Gleichstrom verwandeln und ihn direkt für geeignete Geräte verwenden oder in Batterien speichern. Der Gleichstrom kann aber auch – über einen sogenannten Wechselrichter – in Wechselstrom umgewandelt und z. B. ins Stromnetz eingespeist werden.

Nähere Informationen gibt es im Energie-Atlas Bayern:

www.energieatlas.bayern.de/thema\_sonne.html

Die folgenden Versuche arbeiten ausschließlich mit Gleichstrom.









## 3.1: Die Solarzellenleistung

## Anmerkungen



Bei diesem Experiment wird die Leistung einer Solarzelle aus der Kurzschlussstromstärke und der Leerlaufspannung berechnet. Diese Leistung entspricht nicht wirklich der Maximalleistung der Solarzelle. Sie wird jedoch verwendet, da die Ermittlung der Maximalleistung ohne technische Hilfsmittel zu aufwändig ist. Im Rahmen dieses Experiments führt der Vergleich dieser fiktiven Leistungen zum gleichen Ergebnis, wie der Vergleich der Maximalleistungen.

## Experiment 3.1: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der beleuchteten Fläche





## Aufgabe

Lerne die Eigenschaften von Solarzellen kennen und bestimme die Leistung einer Solarzelle.

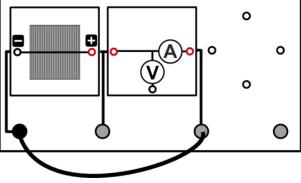
## Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Solarzelle 0,5 V
- → AV-Modul
- → Solarzellenabdeckungen (4 schwarze Kunststoffplättchen)
- → 1 Kabel

## Durchführung

- 1. Informiere dich zuerst über die Handhabung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, aber noch ohne das Kabel, auf.
- 3. Erfasse alle folgenden Messwerte in der Tabelle unten.
- 4. Miss zuerst die Leerlaufspannung U, der Solarzelle ohne Abdeckung. Nutze dazu das AV-Modul im Spannungsmodus.
- 5. Miss anschließend die Kurzschlussstromstärke I<sub>K</sub>. Stecke dazu das abgebildete Kabel auf der-Grundeinheit ein und verwende das AV-Modul im Stromstärke-Modus.
- 6. Wiederhole beide Messungen mit der Solarzelle, wenn sie zu 1/4, zu 1/2, zu 3/4 und vollständig mit den Abdeckplättchen zugedeckt ist. (Das Licht sollte während der Versuche gleich

Versuchsaufbau



- stark bleiben. (Nutze ggf. eine Lampe oder das Beleuchtungsmodul statt der Sonne.)
- Berechne aus den Messwerten jeweils die Leistung P und trage deine Werte wieder in die Tabelle ein.
- 8. Stelle die Ergebnisse in den Diagrammen dar. (x-Achse: Abdeckungsgrad (0, 1/4, 1/2, 1); y-Achse: P, I sowie U)
- 9. Beschreibe den Zusammenhang zwischen Spannung und beleuchteter Fläche, Stromstärke und Fläche sowie Leistung und Fläche.
- 10. Erkläre das Verhalten der Leerlaufspannung bei gleichbleibendem Lichteinfall. Wie verhält sich die Kurzschlussstromstärke in Abhängigkeit vom Grad der Abdeckung und warum?

#### Messwerte

	Solarzelle abgedeckt zu										
	ohne Abdeckung	1/4	1/2	3/4	ganz abgedeckt						
U <sub>L</sub> [mV]											
I <sub>K</sub> [mA]											
$P = U_L \cdot I_K [mW]$											



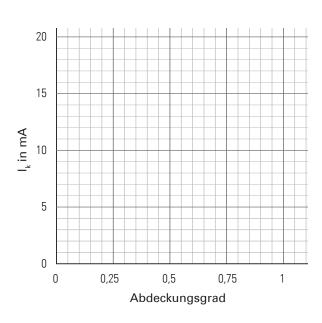
# Experiment 3.1: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der beleuchteten Fläche



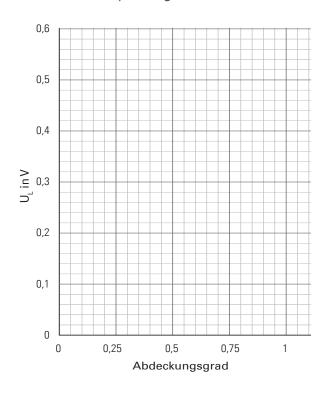
## Diagramme



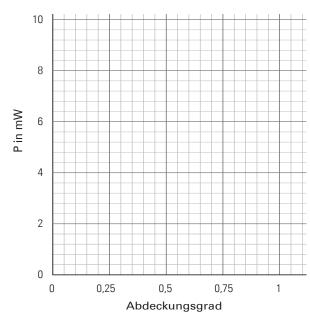
#### Stromstärke



## Leerlaufspannung







# Experiment 3.1: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der beleuchteten Fläche

info/





Auswertun	9
-----------	---

Aufgabe 9: Beschreibe kurz den Zusammenhang zwischen

Spannung und Fläche:			
Stromstärke und Fläche:			
Leistung und Fläche:			
I × a			
Lösung			
Aufgabe 10:			

_											_								
⊢	r	n	Δ	11	Δ	r	h	2	r	Δ	Ε	n	Δ	r	$\cap$	Т		n	١
_			$\circ$	ч	U	٠.	$\sim$	ч		$\circ$	_		$\circ$	٠.	м		$^{\circ}$		ı

# 3.2: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts

# info





## Anmerkungen

Der quantitative Versuchsteil kann nicht im vollen Sonnenlicht durchgeführt werden, da die hohe Intensität und die starken Reflexionen nur eine schwache Cosinusabhängigkeit zeigen.

Für die Versuchsteile mit dem Schattenstab sollte eine Lichtquelle mit geringer Streuung benutzt werden, um den Schatten deutlich sehen zu können. Bei der Besprechung der Ergebnisse kann man erwähnen, dass große Solaranlagen manchmal mit einer Mechanik ausgestattet sind, die die Solarzellen der Sonne nachführen.

Durch Nachführung wird die Energiebilanz eines PV-Moduls erheblich verbessert. Allein durch tägliche Nachführung kann circa 20 % mehr Energie erzeugt werden. Der Energieaufwand für die nötigen Motoren beträgt nur circa 0,2 % der gesamten erzeugten Energie des Systems.





# Aufgabe

Untersuche das Verhalten des Motors in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel.

vom Einfallswinkel des Lichts (qualitativ)

Hinweis: Nutze ggf. eine künstliche Lichtquelle, wenn die Sonneneinstrahlung nicht ausreicht.

## Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß
- → Solarmodul 1,5 V
- → Motormodul mit beliebiger Farbscheibe
- → 1 Kabel

## Durchführung

Bei diesem Versuch kommt der Schattenstab zum Einsatz. Dieser befindet sich oben rechts auf der Grundeinheit (siehe Pfeil in der obersten 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 Stab wirft, auf die Winkelskala fällt. Den aktuellen Neigungswinkel kann man dann am Ende des Schattens ablesen.

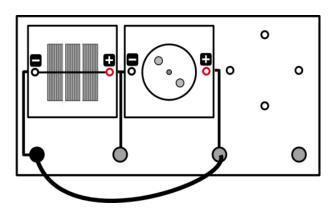
- 1. Informiere dich zuerst über die Handhabung der Geräte. Mache dich mit der Funktion des Schattenstabs vertraut.
- 2. Baue aus Solarmodul und Motormodul, wie abgebildet, eine Reihenschaltung auf. Halte die Grundeinheit mit der Vorderseite zur Lichtquelle. Dabei soll der Schattenstab zuerst mal keinen Schatten werfen - das Licht soll also senkrecht auf die Solarzelle fallen (oberste Skizze).

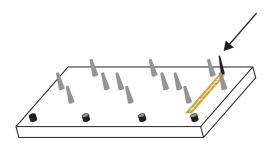
Kippe dann die Grundeinheit so, dass sie nicht mehr direkt in Richtung der Lichtquelle zeigt. Jetzt wird vom Schattenstab ein Schatten geworfen (unterste Skizze).

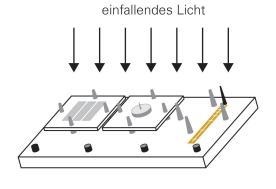
Hinweis: In den Skizzen rechts sind die Verbindungskabel und die Drehscheibe auf dem Motormodul nicht eingezeichnet.

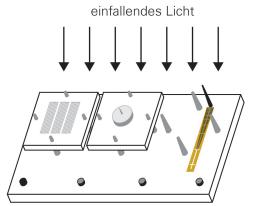
### Versuchsaufbau

Experiment 3.2.1: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung









# Experiment 3.2.1: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (qualitativ)

# info

# Beobachtung

1. Beschreibe die Abhängigkeit zwischen Einfallswinkel des Lichts und Drehgeschwindigkeit des Motors.

# Auswertung

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

Antworten		
Aufgabe 1:		
Aufgabe 2:		



# Experiment 3.2.2: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (quantitativ)



## Aufgabe



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

Hinweis: Es wird eine Cosinus-Berechnung durchgeführt.

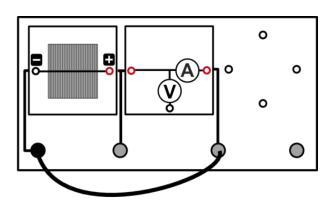
## Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß
- → Solarmodul, 0,5 V
- → AV-Modul
- → 1 Kabel

## Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte
- 2. Baue die Schaltung wie abgebildet, aber noch ohne das Kabel, auf.
- 3. *Trage* die folgenden gemessenen Werte jeweils in die Tabelle unten *ein*.
- 4. Halte dafür die Grundeinheit mit dem Solarmodul in Richtung Sonne (oder einer anderen geeigneten Lichtquelle). Finde eine Position, die einen scharf umrissenen Schatten des Schattenstabes entstehen lässt.
- Richte die Grundeinheit so zu der Lichtquelle aus, dass der Einfallswinkel (α) zwischen Grundplatte und einfallendem Licht möglichst genau 0 Grad beträgt, der Schattenstab also keinen Schatten wirft.
- 6. Miss so an der Solarzelle zunächst die Leer-

### Versuchsaufbau



laufspannung  $U_L$ . *Nutze* dazu das AV-Modul im Spannungsmodus.

- Stecke jetzt das Kabel, wie abgebildet, auf der Grundeinheit ein und verwende das AV-Modul im Stromstärke-Modus. Miss die Kurzschlussstromstärke I<sub>K</sub>.
- Verändere den Winkel α jeweils nach den Werten der Tabelle und wiederhole deine Messungen. Achte darauf, dass sich der Abstand zwischen Lichtquelle und Grundeinheit nicht ändert.
- Berechne den Cosinus der Einfallswinkel und die (fiktive) Leistung aus Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung.
- 10. Zeichne die Werte in das P( $\cos \alpha$ )- und ein I<sub>K</sub> ( $\cos \alpha$ )-Diagramm ein.
- Beschreibe die Abhängigkeit der Stromstärke bzw. der Leistung vom Einfallswinkel.
- **12.** *Erkläre* diese Abhängigkeit geometrisch unter der Voraussetzung dass *l* ~ *A*, dass also der Strom proportional mit der Fläche anwächst.

## Messergebnisse

α	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	75°	90°
COS α										
$U_L[V]$										
$I_K$ [mA]										
zu berechnende Werte										
$P[mW] = U_L \cdot I_K$										

Hinweis: Die Messwerte können, je nach Beleuchtung, variieren.

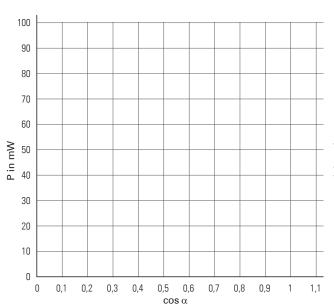
# Experiment 3.2.2: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (quantitativ)

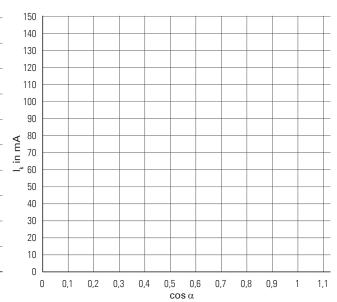
# info





# Diagramme





# Lösungen

Αп	fo	ıa	h	e	-1	1

## Aufgabe 12:







# 3.3: Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung: Kennwerte einer Solarzelle

## Anmerkung

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 aufwendig ist. Im Rahmen dieses Experiments führt der Vergleich der fiktiven Leistungen zum gleichen Ergebnis wie der Vergleich der Maximalleistungen.

Die Beleuchtungsstärke darf dabei nicht über die Spannung an den Lampen geändert werden, da sich hierdurch das Spektrum ändert und es zu Messfehlern kommen kann. Das Beleuchtungsmodul sollte außerdem nicht zu lange auf der Solarzelle stehen, da ein Temperaturanstieg der Solarzelle die Messwerte verfälscht.

Die (Leerlauf)spannung wird parallel gemessen. Das ist auf der Grundeinheit dann der Fall, wenn ohne das Kabel gemessen wird.

"Stromstärke wird Kurzschlussstromstärke" bedeutet, dass außer dem Kabel kein Verbraucher geschaltet ist.

# Experiment 3.3: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Beleuchtungsstärke

## Aufgabe

Bestimme die Leistung einer Solarzelle bei unterschiedlich starker Beleuchtung.

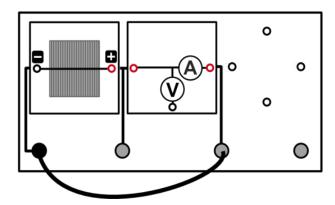
### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Beleuchtungsmodul
- → Solarzelle 0,5 V
- → AV-Modul
- → Powermodul mit Netzteil
- → 3 Kabel

## Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue die Schaltung wie abgebildet, aber noch ohne das Kabel auf.
- 3. Schalte das Beleuchtungsmodul über das Powermodul bei einer Spannung von 9 Volt mit einer der vier Lampen ein. Hinweis: Die anderen drei Lämpchen müssen durch vorsichtiges Herausdrehen ausgeschaltet werden.
- 4. Miss an der Solarzelle zunächst die Leerlaufspannung U<sub>L</sub>. Nutze dazu das AV-Modul im Spannungsmodus. Trage die gemessenen Werte jeweils in die Tabelle ein.
- 5. Stecke jetzt das Kabel ein und verwende das

### Versuchsaufbau



- AV-Modul im Stromstärke-Modus.  $\mathit{Miss}$  die Kurzschlussstromstärke  $I_K$ .
- 6. Wiederhole die Messungen mit 2, 3 und 4 Lämpchen (durch Eindrehen).
- 7. Errechne die Leistung des Solarmoduls für jede Lampenzahl (Beleuchtungsstärke) und trage deine Werte in die Tabelle ein.
- 8. Zeichne das n-P-Diagramm (n = Anzahl der Lämpchen).

# Experiment 3.3: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Beleuchtungsstärke

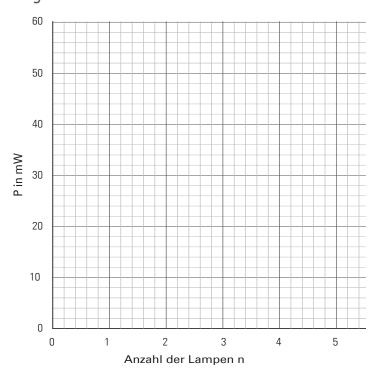


	Beleuchtung mit						
	0 Lampen	1 Lampe	2 Lampen	3 Lampen	4 Lampen		
$U_L$ [V]							
$I_K[mA]$							
$P=U_L\cdot I_K$ [mW]							





# Diagramm



# Auswertung

Benenne nun den Zusammenhang zwischen Mod	lulleistung und Beleuchtungsstärke:
Je höher die Beleuchtungsstärke, desto	ist die Leistung. Der Zusammenhang zwischen
Beleuchtungsstärke und Leistung ist	

# Experiment 3.4.1: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Last

# info



# Aufgabe

Bestimme die Leistung eines Solarmoduls bei unterschiedlichen Verbrauchern.

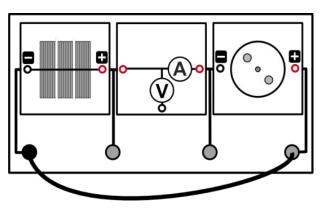
## Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß
- → Solarmodul 1,5 Volt
- → AV-Modul
- → Hupenmodul
- → Motormodul (mit beliebiger Scheibe)
- → Beleuchtungsmodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → 3 Kabel

## Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue die Schaltung wie abgebildet, auf.
- 3. Verbinde das Powermodul mit dem Beleuchtungsmodul und stelle eine Spannung von 9 Volt ein. Schließe das Powermodul an das Beleuchtungsmodul an und sorge dafür, dass alle Birnchen brennen. Stelle das Beleuchtungsmodul auf das Solarmodul. (Nutze die Sonne statt des Beleuchtungsmoduls, wenn sie für alle Versuchsteile gleich stark scheint, also keine Wolken davor ziehen und der Einstrahlwinkel gleich bleibt.)
- 4. *Miss* sowohl die Stromstärke I als auch die Spannung U. *Verwende* dazu das AV-Modul im Stromstärke-Spannungsmodus. *Trage* die gemessenen Werte in die Tabelle *ein*.
- 5. Entferne das Motormodul und stecke stattdessen das Hupenmodul auf. Wiederhole die Messung.
- 6. Berechne jeweils die Leistung P der Solarzelle und den Widerstand R des Verbrauchers und trage die Ergebnisse in die Tabelle ein.
- 7. Vergleiche die Leistung der Solarzelle bei den verschiedenen Verbrauchern. Ziehe Rückschlüsse auf den Zusammenhang zwischen Widerstand und Leistung.

# Versuchsaufbau



## Messergebnisse

	Motormodul	Нире
<i>U</i> [V]		
/[mA]		
P=U·I [mW]		
$R=U/I[\Omega]$		

Erneuerbare Energien



# Experiment 3.4.1: Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Last





Lösung		
Aufgabe 7:		

# Experiment 3.4.2: Die I-U-Kennlinie und der Füllfaktor einer Solarzelle

# info

# Versuchsaufbau





# Aufgabe

Nimm die I-U-Kennlinie der Solarzelle auf.

## Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß
- → Solarzelle 0,5 Volt
- → AV-Modul
- → Potentiometermodul (Poti)
- → Beleuchtungsmodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → 3 Kabel

## Aufgaben

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf.
- 3. *Erfasse* alle folgenden Messwerte in einer Tabelle.
- 4. Schließe das Beleuchtungsmodul an das Powermodul an und stelle 5 Volt ein. Achte darauf, dass alle vier Glühlampen leuchten. Stelle den höchsten Widerstand am Poti ein (1 k $\Omega$  + 100  $\Omega$  >= 1100  $\Omega$ ). Stelle das Beleuchtungsmodul auf die Solarzelle.
- 5. Verwende das AV-Modul zum Messen im Stromstärke-Spannungsmodus.  $\emph{Miss}$  damit für verschiedene Spannungen jeweils die Stromstärke.  $\emph{Drehe}$  zur Spannungsänderung den Widerstand am Poti (nicht am Powermodul) vorsichtig herunter: zunächst den 1 k $\Omega$ -Widerstand, danach den 100  $\Omega$ -Widerstand.
- 6. *Miss* ohne Poti ebenfalls die Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke der Solarzelle.
- 7. Zeichne das I-U-Diagramm der Solarzelle ein (Skala links).
- 8. *Berechne* zu jedem Messpunkt die jeweilige Leistung der Solarzelle und *trage* deine Werte

- in die Tabelle *ein. Zeichne* in dasselbe Diagramm die U-P-Kennlinie (Skala rechts).
- 9. Beschreibe die entstehenden Kurven.
- 10. Zeichne in das Diagramm die I-U-Kennlinie eines 10  $\Omega$  und 100  $\Omega$ -Widerstands, indem du für 10  $\Omega$  eine gerade Linie mit den Messpunkten A (0/0) und B (0,2/20) und für 100  $\Omega$  eine Linie durch C (0/0) und D (0,5/5) ziehst. Erläutere die Bedeutung der Schnittpunkte der Solarmodul-Kennlinie mit den jeweiligen Widerstandskennlinien.
- 11. Ziehe Schlussfolgerungen bezüglich der Leistung einer Solarzelle.
- 12. 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.
- 13. *Berechne* näherungsweise den Wirkungsgrad der Solarzelle, wenn diese am MPP arbeitet.

Hinweis: Die Kurzschlussstromstärke dieses Solarmoduls (0,5 Volt) beträgt bei einer Bestrahlungsleistung von 1000  $\frac{W}{m^2}$  etwa 840 mA. Das steht auch auf der Rückseite des Solarmoduls.

# Messergebnisse

<i>U</i> [V]	0,47	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,11	0
/[mA]										
<i>P=U·I</i> [mW]										

Hinweis: Die Messwerte können je nach Beleuchtung variieren.

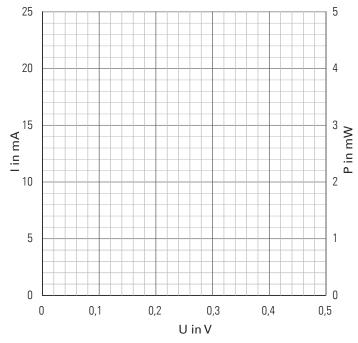


# Experiment 3.4.2: Die I-U-Kennlinie und der Füllfaktor einer Solarzelle



Diagramm





Lösungen	U in V
Aufgabe 9:	
Aufgabe 10:	
Aufgabe 11:	

# Experiment 3.4.2: Die I-U-Kennlinie und der Füllfaktor einer Solarzelle

# info



Berechnung des Füllfaktors

$$FF = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{U_{Leer} \cdot I_{Kurz}}$$

## Aufgabe 13:

Berechnung des Wirkungsgrades

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

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







# Experiment 3.4.3: Die I-U-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke



# Aufgabe

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

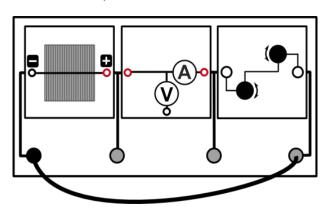
## Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß
- → Solarzelle 0,5 Volt
- → AV-Modul
- → Potentiometermodul (Poti)
- → Beleuchtungsmodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → 3 Kabel

## Durchführung

- 1. Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf. Verwende das AV-Modul zum Messen im Stromstärke-Spannungsmodus.
- 3. Schließe das Beleuchtungsmodul an das Powermodul an und stelle 5 Volt ein. Achte darauf, dass zu Anfang nur 1 Glühlampe leuchtet. (Dazu schraubst du die anderen eine Umdrehung heraus, dann leuchten sie nicht mehr).
- 4. Stelle den höchsten Widerstand am Potentiometer ein (1 k $\Omega$  + 100  $\Omega$  >= 1100  $\Omega$ ).
- 5. Stelle das Beleuchtungsmodul auf die Solar-
- 6. Stelle mit dem Poti die Spannungen aus der Tabelle ein und lese die Spannung und die Stromstärke der Solarzelle am AV-Modul ab.
- 7. Wiederhole die Messung für 2, 3 und 4 Lam-

### Versuchsaufbau



pen.

- 8. Berechne jeweils die Leistung zu den verschiedenen Messpunkten.
- 9. Zeichne das I-U-Diagramm der Solarzelle für alle 4 Beleuchtungsvarianten.
- 10. Berechne zu jedem Messpunkt die jeweilige Leistung der Solarzelle und trage deine Werte in die Tabelle ein. Zeichne in das Diagramm die U-P-Kennlinie für alle 4 Beleuchtungsvarianten.
- 11. Vergleiche die I-U-Kennlinien untereinander und erkläre die unterschiedlichen Kurven.
- 12. Vergleiche die Lage des Punktes maximaler Leistung (Maximum Power Point - MPP) im U-P-Diagramm.



# Experiment 3.4.3: Die I-U-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke

# info



# Messergebnisse

Mit einer Glü	ihlampe:										
<i>U</i> [V]											
/ [mA]											
<i>P=U·I</i> [mW]											
Mit zwei Glühlampen:											
<i>U</i> [V]											
/ [mA]											
<i>P=U·I</i> [mW]											
Mit drei Glühlampen:											
<i>U</i> [V]											
/[mA]											
<i>P=U-I</i> [mW]											
Mit vier Glüh	nlampen:										
<i>U</i> [V]											
/ [mA]											
<i>P=U·I</i> [mW]											

Hinweis: Die Messwerte können je nach Beleuchtung variieren.

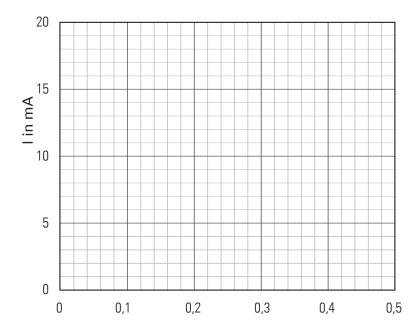


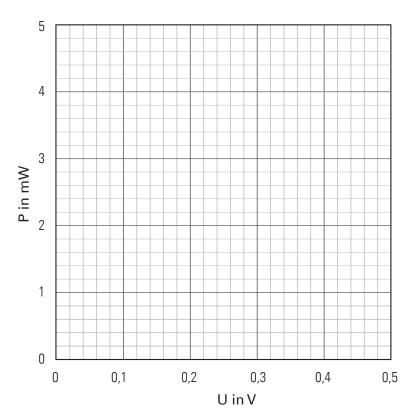
# Experiment 3.4.3: Die I-U-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke



# Diagramme







# Experiment 3.4.3: Die I-U-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke



Aufgabe 10:
Aufgabe 11:

# Thema 4 - Windenergie

Seit Jahrhunderten nutzen wir den Wind: Früher war er unmittelbar für das Wirtschaftsleben wichtig und trieb Windmühlen und Handelsschiffe an. Im 20. Jahrhundert nutzen wir ihn dann vor allem in der Freizeit, z. B. zum Segeln, Surfen und Fliegen. Jetzt besinnen wir uns wieder darauf, die Kraft des Windes für unsere Lebensgrundlagen einzusetzen: bei der Stromerzeugung mit Windrädern (Windenergieanlagen - WEAs).

Eine WEA erzeugt innerhalb von weniger als einem Jahr so viel Energie, wie zur Produktion der Anlage benötigt wird (inkl. Transport und Errichtung). Das nennt man energetische Amortisation. Ab dann arbeitet sie klimaneutral.

Der Rotor – das ist die Nabe mit den daran befestigten Rotorblättern – wird bei modernen Anlagen durch das Auftriebsprinzip in Bewegung versetzt. Das heißt, der Wind erzeugt - ähnlich wie bei einem Flugzeug - einen Auftrieb (hier als Vortrieb), wenn er an den Rotorblättern vorbeiströmt. Damit

setzt er den Rotor in Gang. Diese Bewegungsenergie des Rotors wird – manchmal mit, manchmal ohne Getriebe – an den Generator übertragen, der die Bewegungsenergie dann in elektrische Energie umwandelt.

Getriebe, Generator sowie Regel-, Steuerungs- und Überwachungstechnik sind i. A. in der Maschinengondel untergebracht. Die Maschinengondel ist drehbar auf dem Turm gelagert, sodass der Rotor in den Wind gedreht werden kann und die Windenergie optimal ausgenutzt wird. Auch die einzelnen Rotorblätter sind beweglich. Wenn weniger Strom gebraucht wird, können sie aus dem Wind gedreht werden, der Rotor steht dann still. Das ist wichtig um die Spannung im Stromnetz konstant zu halten (Versorgungsqualität).

Nähere Informationen zu Windenergie gibt es im Energie-Atlas Bayern:

www.energieatlas.bayern.de/thema\_wind.html







_										_	-								
_	100	-	_	 _	140	Ь	_	10	_	Е	100	-	_	100	$\sim$		_	100	
_	г	11	$\leftarrow$	 $\leftarrow$	г	[]	н	г	$\leftarrow$		٠,	1	$\leftarrow$	г	( 1	н	$\leftarrow$	ш	ı

# 4.1: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine

# info

# Anmerkungen

- → Wenn beim Aufbau des Versuchs der Mehrflügler zu nah an das Windturbinenmodul gedrückt wird, reiben die Plastikteile aufeinander, was den Versuch verfälscht. Etwa 2 mm Abstand einstellen.
- → Beim Messen der Spannung sollte darauf geachtet werden, dass die Messwerte erst dann abgelesen werden, wenn sich der Wert nicht mehr ändert.





# Experiment 4.1.1: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (qualitativ)



# Aufgabe

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

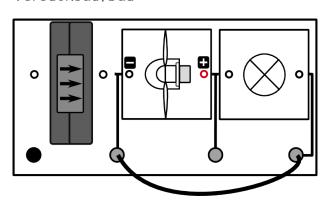
Bei diesem Experiment kannst du feststellen, wie sich der vom Windgenerator erzeugte Strom ändert, wenn die Windgeschwindigkeit verändert wird. Die Variation der Windgeschwindigkeit erfolgt durch Änderung der Spannung am Winderzeugermodul. Möglicherweise brauchst du mehrere Versuche, um dein Messergebnis sichern zu können.

Hinweis: Beachte die Verletzungsgefahr! Berühre den laufenden Rotor nicht. Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

## Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch auf, wie abgebildet.
- 3. Beginne mit 12 Volt. Verändere dann mithilfe des Powermoduls die Spannung am Winderzeugermodul wie in der Tabelle angegeben.
- 4. Beobachte, wie sich die Helligkeit der Glühlampe dabei verändert und trage deine Beobachtungen in die Tabelle ein.

### Versuchsaufbau



## Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → Windturbinenmodul mit 3-Flügler 30°, Flügel: optimiertes Profil
- → Glühlampenmodul
- → 3 Kabel

## Tabelle

Spannung am	Rotor	Die Glühlampe leuchtet						
Winderzeug- ermodul U [V]	dreht sich	hell	schwach	gar nicht				
12								
10								
8								
6								
4								

### Auswertung

V	ervol	Istar	ndige	nun	den	ange	ege	ber	nen	lext:
---	-------	-------	-------	-----	-----	------	-----	-----	-----	-------

Bei größerer Spannung am Winderzeuger ist die Windgeschwindigkeit

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

# Experiment 4.1.2: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (quantitativ)

# info







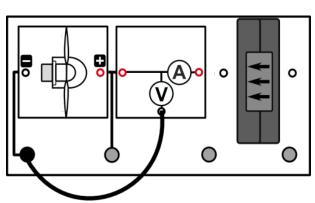
# Aufgabe

*Untersuche* die Spannung am Generator, wenn die Windgeschwindigkeit des Winderzeugers verändert wird.

Hinweis: Beachte die Verletzungsgefahr! Berühre den laufenden Rotor nicht. Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

## Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf.
- 3. [Nimm das Windturbinenmodul noch einmal ab.
- Verändere jetzt die Windgeschwindigkeit durch Variation der Spannung des Powermoduls U<sub>Pow</sub> (Werte, siehe Tabelle).
- Miss mit dem Anemometer jeweils die Windgeschwindigkeit v an der Position, die vorher die Nabe des Windturbinenmoduls innehatte. Setze dann das Windturbinenmodul wieder ein.
- Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus.
   Miss die Spannung an der Windturbine U<sub>gen</sub>
   jeweils für verschiedene [Windgeschwindigkeiten] Powermodulspannungen U<sub>Pow</sub> und trage
   deine Werte in die Tabelle ein.
- 7. Übertrage die Tabellenwerte in das vorgegebene Diagramm.



 Beschreibe den Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit und der Spannung U<sub>gen</sub> an der Windturbine.

## Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → Windturbinenmodul mit 3-Flügler 30°, Flügel: optimiertes Profil
- → AV-Modul
- → 3 Kabel
- → Anemometer (nicht in der Energiekiste enthalten, ggf. Versuchsteil innerhalb der Klammern [] weglassen)

## Messergebnisse

U <sub>Pow</sub> [V]			
v [m/s]			
U <sub>gen</sub> [V]			

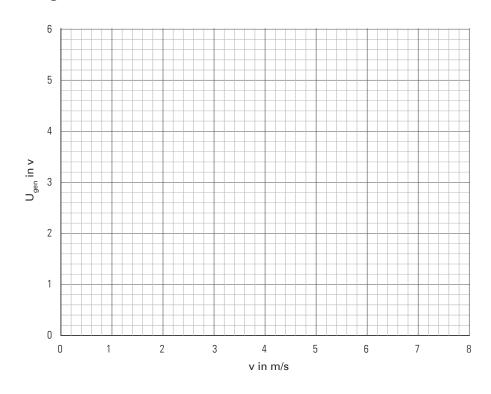


# Experiment 4.1.2: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (quantitativ)



# Diagramm





# Beobachtungen

Aufgabe 6:			

Erneuerbare Energ	AIL	n
ETHICACIDATE EHELY	110	





# 1

# Experiment 4.2: Anlaufgeschwindigkeit einer Windenergieanlage

# Aufgabe

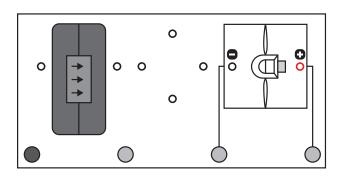
*Untersuche*, wie groß die Windgeschwindigkeit sein muss, damit die Windenergieanlage starten kann.

Hinweis: Beachte die Verletzungsgefahr! Berühre den laufenden Rotor nicht. Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

## Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte
- 2. Baue den Versuch auf, wie abgebildet.
- 3. Stelle verschiedene Spannungen U am Powermodul ein und beobachte die Windenergieanlage. Notiere die niedrigste Spannung des Powermoduls, bei der die Windenergieanlage anfängt zu rotieren. Notiere die größte Powermodul-Spannung bei der die Windenergieanlage noch nicht startet.
- 4. Ermittle den Windgeschwindigkeitsbereich, in dem die Startgeschwindigkeit der Windenergieanlage liegt und notiere ihn. Entnimm dazu den Wert für die Windgeschwindigkeit dem abgebildeten Diagramm. Du erhältst den Bereich für die Startgeschwindigkeit der Windenergieanlage. Dieser gilt allerdings nur für die gewählten Rotoreigenschaften. Die Spannung U gibt

### Versuchsaufbau



die Spannung am Powermodul an. Die x-Achse zeigt die Spannung am Powermodul; d ist der Rotordurchmesser unserer Versuchsanlage.

## Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → Windturbinenmodul mit 3-Flügler 30°, Flügel: optimiertes Profil
- → 2 Kabel

Erklärung: Die Trägheit der Masse, die Reibung und das magnetisches Feld im Generator verhindern bei zu geringer Windgeschwindigkeit das Anlaufen der Windenergieanlage.

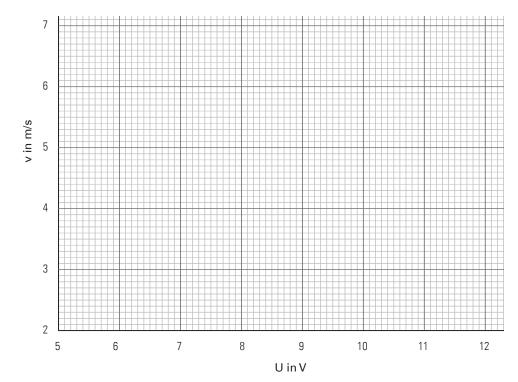


Abb.: Windgeschwindigkeiten bei unterschiedlichen Spannungen des Powermoduls

# Experiment 4.2: Anlaufgeschwindigkeit einer Windenergieanlage

# info

## Messergebnisse

Größte Powermodul-Spannung bei der die Windenergieanlage noch nicht startet:

Kleinste Powermodul-Spannung bei der die Windenergieanlage startet:

Die Anlaufwindgeschwindigkeit liegt im Bereich:

## Auswertung

- 1. Ziehe aus deinen Erkenntnissen Schlussfolgerungen für den Betrieb realer Windenergieanlagen.
- 2. *Informiere dich*, z. B. im Internet über die Startgeschwindigkeiten realer Windenergieanlagen und *vergleiche* diese mit deinen ermittelten Werten. *Erkläre* die Unterschiede.
- 3. In der unten angegebenen Karte sind durchschnittliche Windgeschwindigkeiten in Bayern in 140 m Höhe dargestellt. *Begründe* anhand dieser Darstellung, wo in Bayern Windenergieanlagen möglicherweise gebaut werden können. Was sind das für Regionen? Wovon hängt die Entscheidung für eine Anlage noch ab? *Besuche* die unter "Quelle" angegebene Webseite. *Schau* dort *nach*, wie die Verhältnisse bei dir zuhause sind. *Suche* dazu im Suchfeld über der Karte nach deinem Heimatort.

Hinweis: Für eine realistische Voraussage der Windverhältnisse vor Ort ist immer eine Standortmessung nötig, da Windgeschwindigkeiten regional stark abweichen können. Die Windgeschwindigkeit nimmt meist mit der Höhe zu und schwankt sowohl jahreszeitlich als auch im Tagesverlauf.

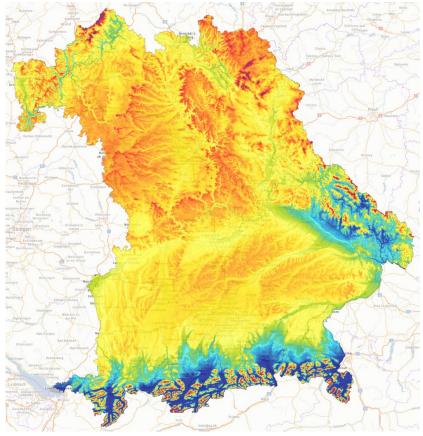


Abb.: Mittlere Windgeschwindigkeiten in 140 Metern Höhe über Grund als Mittelwert von 2001 bis 2020 in einer Auflösung von 10 x 10 m (Datenquellen und -aufbereitung, siehe Energie-Atlas Bayern)

Quelle: Energie-Atlas Bayern – Kartenteil – Windenergie – Potenzial – Mittlere Windgeschwindigkeit in 140 m Höhe



7.5 7.3 7.1 6.9 6.7 6.5 6.3 6.1 5.9 5.7 5.5 5.3 5.1 4.9 4.7 4.5 4.3 4.1 3.9 3.7 3.5







# Experiment 4.2: Anlaufgeschwindigkeit einer Windenergieanlage

Lösungen	
Aufgabe 1:	
Aufgabe 2:	
:	
Aufgabe 3:	
Autgabe 0.	
<del></del>	

	Frnei	uerbare	Fne	raien
_	LILLE	Jeinaie	LIIC	rgien







# 4.3: Änderung der Generatorspannung durch Zuschalten von Verbrauchern

## Anmerkung

Wird ein Generator ohne Belastung, d. h. ohne angeschlossenen Verbraucher (also im Leerlauf) betrieben, so liefert er die sogenannte Leerlaufspannung. Der anliegende elektrische Widerstand am Generator kann als unendlich groß betrachtet werden. Es fließt dabei (nahezu) kein Strom. Wird ein Widerstand (ein Verbraucher wie z. B. das Motormodul) an den Generator angeschlossen, nimmt der Gesamtwiderstand am Generator ab. Es fließt Strom durch Widerstand und Generator. Dieser Stromfluss führt zur Selbstinduktion in den Spulen des Generators.

Nach den Lenz'schen Regeln ist die dadurch induzierte Spannung der Ursache ihrer Entstehung entgegen gerichtet und verringert die Generatorspannung. Der Generator wird also durch den abnehmenden Widerstand abgebremst. Es ergibt sich eine Spannungsdifferenz zwischen der Leerlauf- und der Belastungssituation mit einem Verbraucher.

# Experiment 4.3: Änderung der Generatorspannung durch Zuschalten eines Verbrauchers

## Aufgabe

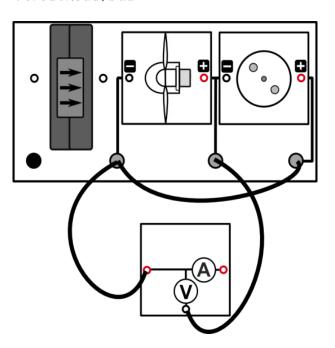
*Untersuche*, wie sich die erzeugte Generatorspannung ändert, wenn an den Generator ein Verbraucher (Widerstand) angeschlossen wird.

## Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul mit Powermodul
- → Windturbinenmodul mit 3-Flügler 30°, Flügel: optimiertes Profil
- → Motormodul mit beliebiger Farbscheibe
- → AV-Modul
- → 5 Kabel

Hinweise: Statt des Motormoduls kann das Hupen- bzw. Glühlampenmodul als Verbraucher angeschlossen werden., s. a. Versuch 4.4. *Beachte* die Verletzungsgefahr: *Berühre* nicht den laufenden Rotor. *Benutze* den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Versuchsaufbau



# Experiment 4.3: Änderung der Generatorspannung durch Zuschalten von Verbrauchern

# info





# Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch erst ohne Widerstandsmodule (Motor-, Hupen- bzw. Glühlampen-Modul) auf.
- Stelle am Powermodul eine Spannung von 12 Volt ein und starte das Winderzeugermodul. Miss die Generatorspannung ohne Verbraucher im Leerlauf (Ulegrauf). Verwende dafür das AV-Mo
- dul im Spannungsmodus.
- 4. Stoppe den Windgenerator und stecke das Motormodul wie abgebildet an den vorgesehenen Steckplatz. Starte den Winderzeuger wieder. Notiere deine Beobachtungen. Miss anschließend die Spannung U<sub>Last</sub>.
- 5. Notiere deine Beobachtungen.

in Leerlauf (O <sub>Leerlauf</sub> ). Verwende datui das AV-IVIO-
Beobachtungen
Messergebnisse
$U_{Leerlauf} = $ $U_{Last} = $
Auswertung
<ol> <li>Berechne die Differenz zwischen der Leerlaufspannung und der Spannung unter Last durch Anschluss des Motors.</li> <li>Erkläre, warum sich die Spannung einer Spannungsquelle (hier der Windgenerator) ändert, wenn an diese ein Verbraucher angeschlossen wird.</li> </ol>
Lösungen
Aufgabe 1: $\Delta U = U_{Leerlauf} - U_{Last} =$
Aufgabe 2:

_											_							
⊢	r	n		11		r	h	а	r		Ε	n		r	$\cap$	ï		n
_			$\sim$	ч	$^{\circ}$		$\sim$	ч		$^{\circ}$	_		$^{\circ}$		ч		$^{\circ}$	

# 4.4: Änderung der Generatorspannung

## Anmerkungen

Im Leerlauf liefert ein Generator maximale Spannung und der angeschlossene Widerstand ist nahezu unendlich groß. Es fließt kein Strom durch den Generator. Wird einer der vier Verbraucher angeschlossen, so wird der Widerstand verringert und es fließt ein Strom durch Verbraucher und Generator. Aufgrund des fließenden Stromes kommt es durch Selbstinduktion in den Spulen des Generators zu einem Abbremsen und damit zur Verringerung der Generatorspannung. Je größer der angeschlossene Widerstand, desto kleiner ist die Spannungsdifferenz und auch der fließende Strom.

Der Generator wird bei größerem Lastwiderstand weniger stark abgebremst als bei geringem Lastwiderstand.

Dabei ist zu beachten, dass der Widerstand der Bauelemente nicht konstant ist. Bei der Glühlampe ist er beim ersten Einstecken geringer und vergrößert sich, wenn die Glühlampe warm wird. Die SuS sollten auf solche Fehlerquellen hingewiesen werden.









# Experiment 4.4: Änderung der Generatorspannung durch Zuschalten unterschiedlicher Verbraucher



# Aufgabe

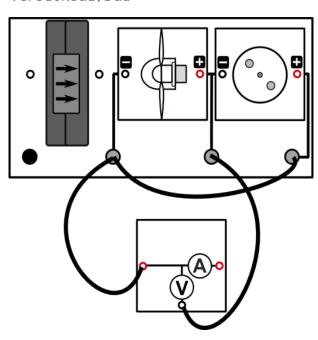
Untersuche, wie sich die Spannung ändert, wenn an den Generator unterschiedliche Verbraucher angeschlossen werden.

Hinweis: Beachte die Verletzungsgefahr: Berühre nicht den laufenden Rotor. Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

## Durchführung

- 1. Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte. Baue den Versuchsaufbau vorerst ohne Verbrauchermodul auf.
- 2. Stelle am Powermodul eine Spannung von 12 Volt ein und starte das Winderzeugermodul.
- 3. Miss die Spannung am Generator, wenn kein Modul angeschlossen ist (U<sub>Leerlauf</sub>). Verwende dafür das AV-Modul im Spannungsmodus.
- 4. Schalte das Powermodul jetzt vorübergehend wieder aus. Platziere das Hupenmodul auf der Grundeinheit. Schalte das Powermiodul wieder ein. Notiere deine Beobachtungen und die jeweilige Spannung, die am Generator erzeugt wird. Benutze im Anschluss die anderen Module auf die gleiche Weise. Achte beim Hupenmodul und beim LED-Modul auf die richtige Polung zwischen Windgenerator und Gerät (Plus an Plus, Minus an Minus).

### Versuchsaufbau



Hinweis: Beim Aufstecken des Hupenmoduls und des LED-Moduls muss auf die richtige Polung geachtet werden.

### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → Windturbinenmodul mit 3-Flügler 30°, Flügel: optimiertes Profil
- → Hupenmodul
- → LED-Modul
- → Motormodul (mit beliebiger Farbscheibe)
- → Glühlampenmodul
- → AV-Modul
- → 3-5 Kabel



## Experiment 4.4: Änderung der Generatorspannung durch Zuschalten unterschiedlicher Verbraucher







### Beobachtungen

### Messergebnisse

$$U_{Leerlauf} =$$
  $U_{Motor} =$ 

$$U_{Hupe}$$
 = \_\_\_\_\_  $U_{Gl\ddot{u}hlampe}$  = \_\_\_\_\_

$$U_{LED} =$$

### Auswertung

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

### Lösungen

#### Aufgabe 1:

$\Delta U_{Hupe} = \Delta U_{LED} =$	$\Delta U_{Motor} =$	$\Delta U_{Gl\ddot{u}hlampe} =$
--------------------------------------	----------------------	---------------------------------

u <mark>fgabe 2:</mark> Kleinste Änderung:	Größte Änderung:	
--	------------------	--



# Experiment 4.4: Änderung der Generatorspannung durch Zuschalten unterschiedlicher Verbraucher



Aufgabe 4:			



⊢rı	വല	erh	are	-ne	rgien
	100	OID	ui c		191011



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



### Anmerkung



Der Zweiblattrotor lässt die Glühlampe gar nicht aufleuchten. Drei- und Vierblattrotor bewirken eine starke Helligkeit der Glühlampe. Das liegt der stärkeren Auftriebskraft bei einem Rotor mit größerer Flügelanzahl, denn die Auftriebskraft wirkt an jedem einzelnen Rotorblatt und verstärkt die Drehbewegung. Die Kräfte addieren sich, je mehr Rotorblätter am Windgenerator befestigt sind. Dieser Zusammenhang gilt allerdings nicht für beliebig viele Rotorblätter, da bei zunehmender Anzahl auch der Luftwiderstand größer wird, der die Drehbewegung wieder abbremst.

Für zwei, drei und vier Rotorblätter ist dieser Zusammenhang noch gegeben.

Außerdem verteilen sich die Kräfte, die bei der Drehbewegung auf die Rotorblätter wirken, besser, wenn drei Rotorblätter beteiligt sind. Beim Vierblattrotor treten beim Vorbeidrehen jedes Rotorblatts am Turm durch Verwirbelungen Kräfte an diesem und auch an dem gegenüberliegenden Flügel auf. Bei Dreiblattrotoren wird diese Kraft auf die beiden anderen Flügel verteilt. Dadurch ist der Materialverschleiß geringer.

### Experiment 4.5.1: Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren (qualitativ)

### Aufgabe

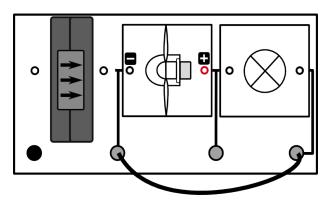
*Untersuche* die Helligkeit des Glühlampenmoduls, wenn dieses durch einen Windgenerator mit zwei, drei oder vier Rotorblättern betrieben wird.

Hinweis: Beachte die Verletzungsgefahr: *Berühre* nicht den laufenden Rotor. *Benutze* den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → Windturbinenmodul mit 2, 3 und 4 Rotorblättern, 25°, Flügel: optimiertes Profil
- → Glühlampenmodul
- → 3 Kabel

#### Versuchsaufbau



### Experiment 4.5.1: Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren (qualitativ)

## info



### Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf. Verwende für den 2-Blatt-Rotor die 4-Blatt-Nabe.
- 3. Setze den 2-Blatt-Rotor an den Windgenerator und schalte das Winderzeugermodul mit einer Powermodulspannung von 7,5 Volt ein. Beobachte die Glühlampe. Notiere deine Beobachtungen und setze dazu in die jeweiligen Felder der Tabelle ein Kreuz. Wenn 7,5 Volt nicht reichen steigere bis auf 12 Volt.

Wechsle nun die Rotorflügel und stecke nacheinander den Drei- und den Vierblattrotor an den Windgenerator und beobachte jedes Mal die Glühlampe. Verwende die 3-Blatt-Nabe für den 3-Blatt-Rotor.

### Messergebnisse

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

### Auswertung

- **5.** *Beschreibe*, wie sich die Helligkeit der Glühlampe verändert, wenn sie mit unterschiedlichen Rotoren betrieben wird.
- 6. In Deutschland kommen für Windenergieanlagen hauptsächlich Dreiblattrotoren zum Einsatz. *Versuche* eine mögliche Erklärung zu finden.

Lösungen			
Lösungen Aufgabe 5:			
Aufgabe 6:			

_														
⊢	r	n	Δ	11		rh	2	rΔ	H-1	n	Δ	ra	IA	n
_	١.		C	ч	$\cup$		а	re			C	19	10	

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

## info/

### Anmerkung

Der Zweiblattrotor erzeugt die geringste Leistung am Generator. Drei- und Vierblattrotor erreichen nahezu gleich große Leistungswerte, wobei der Dreiblattrotor vor allem bei höheren Windgeschwindigkeiten geringfügig besser ist. Grund dafür ist einerseits die verstärkte Auftriebskraft bei einem Rotor mit größerer Flügelzahl und andererseits ein günstiger Widerstand für den Generator beim Betrieb mit drei Rotorblättern. An jedem einzelnen Rotorblatt wirkt die Auftriebskraft, welche die Drehbewegung des Rotors verstärkt. Die Kräfte addieren sich, je mehr Rotorblätter vorhanden sind. Der Zusammenhang gilt aber nicht für beliebig viele Rotorblätter, da mit zunehmender

Anzahl auch der Luftwiderstand größer und die erzeugte Drehbewegung abgebremst wird. Für zwei, drei und vier Rotorblätter ist der Zusammenhang allerdings noch gegeben.

Am Zweiblattrotor wirkt also die geringste Auftriebskraft, er bewirkt somit auch die langsamste Drehung und erzeugt die geringste Leistung. Der Dreiblattrotor erzeugt eine größere Leistung. Am Dreiblattrotor wird eine gleichgroße oder geringfügig größere Spannung erzeugt als bei einem Vierblattrotor, was vor allem aus der Windgeschwindigkeit am Rotor folgt und der günstigeren Lage auf der I-U-Kennlinie.





rotoren (quantitativ)





## Aufgabe

Untersuche die Leistung des Windgenerators bei unterschiedlicher Anzahl von Rotorblättern.

Hinweise: Beachte die Verletzungsgefahr: Berühre nicht den laufenden Rotor. Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

Die Rotoren brauchen unterschiedlich viel Zeit, bis sie eine konstante Umdrehungsgeschwindigkeit erreichen und damit eine konstante Spannung erzeugen. Die Messwerte sollten erst notiert werden, wenn sie sich nicht mehr ändern.

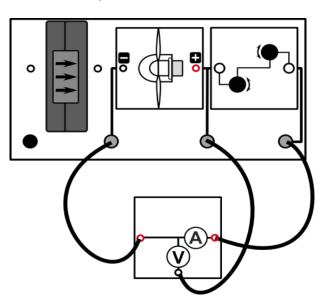
Messwerte (Volt oder Milliampére) können hier negativ sein. Das hängt mit der Verschaltung zusammen. Verwende den Betrag des Wertes.

### Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf.
- 3. Stelle das Potentiometer auf einen Widerstand von 100 Ohm ein.
- 4. Stecke den Zweiblattrotor auf den Windgenerator und schalte das Winderzeugermodul bei einer Powermodulspannung von 12 Volt ein.
- Miss die erzeugte Spannung und Stromstärke an der Windturbine. Verwende dafür das AV-Modul im Stromstärke-Spannungsmodus.
- 6. Verändere die Spannung am Powermodul, wie in der Tabelle angegeben, und wiederhole die Messung für die anderen Spannungswerte.
- Wiederhole die Messungen für den Drei- und Vierblattrotor.

### Versuchsaufbau

Experiment 4.5.2: Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblatt-



8. *Trage* deine Werte in die Tabelle ein und *berechne* jeweils die Leistung der Windenergieanlage.

### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → Windturbinenmodul mit 2, 3 und 4 Rotorblättern 25°, Flügel: optimiertes Profil,
- → Potentiometermodul (Poti)
- → AV-Modul
- → 5 Kabel

### Messergebnisse

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

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

## Experiment 4.5.2: Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren (quantitativ)

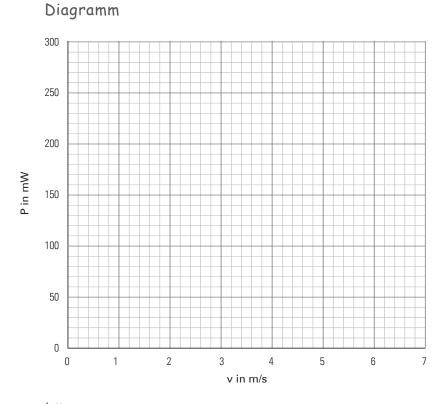


Vierblattrot	or				
U [V]	5	6	7,5	9	12
v [m/s]	2,9	3,6	4,6	5,3	6,7
U [V]					
I [mA]					
P [mW]					

### 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.





### Lösungen

Aufgabe 2:

Aufgabe 3:







_										_	-								
_	240	-	_	 _	140	Ь	_	10	_	Е	100	-	_	240	$\sim$		_	100	
_	г	11	$\leftarrow$	 $\leftarrow$	г	[]	н	г	$\leftarrow$		٠,	1	$\leftarrow$	г	( 1	н	$\leftarrow$	ш	ı

### 4.6: Kennlinie einer Windenergieanlage

### Anmerkungen

Die Stromstärke-Spannungskennlinie (I-U-Kennlinie) zeigt, bei welchem Spannungswert die größte Stromstärke (Maximum) erreicht wird oder wie groß die Stromstärke bei einer bestimmten Spannung ist.

Mit dem größten Widerstand fließt der geringste Strom, es wird dabei aber die größte Spannung erzeugt. Verringert man den Widerstand, steigt die Stromstärke.

Aufgrund der Selbstinduktion innerhalb des Generators steigt die induzierte Spannung, die aufgrund der Lenz´schen Regel der durch die Rotation verursachten Spannung entgegenwirkt. Infolgedessen verringert sich die Gesamtspannung. Da die induzierte Spannung proportional zur Stromstärke ist, hat die I-U-Kennlinie die Form einer Geraden  $(U_{\rm ges} = U_{\rm Leerlauf} - U_{\rm ind})$ .

Aus der Darstellung von Leistung (P= U\*I) in Abhängigkeit der Spannung (U) kann ein Leistungsmaximum bei einer bestimmten erzeugten Spannung festgestellt werden. Dieses Maximum wird durch Einstellen des Potentiometers (= regelbarer Widerstand) auf einen bestimmten Wert erreicht. Aus dem Diagramm mit dargestellter Leistung in Abhängigkeit des Widerstandes R (R=U/I) lässt sich ein sogenannter Widerstandswert für den Generator bestimmen, bei dem die Leistung der Anlage (hier Windenergieanlage) maximal ist. Für reale Windenergieanlagen mit Gleichstromgenerator kann aus diesen Erkenntnissen geschlussfolgert werden, dass für den Betrieb mit maximaler Leistung ein bestimmter fester Widerstand angeschlossen werden muss. Dieser entspricht dabei gerade dem inneren Widerstand des Spulenkörpers im Generator.













# Experiment 4.6: Kennlinie einer Windenergieanlage mit Gleichstromgenerator

### Aufgabe

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

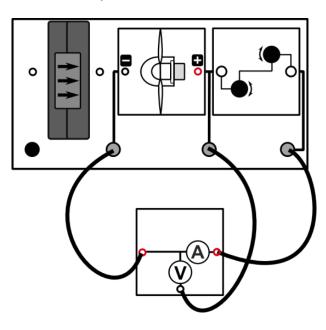
Hinweise: Beachte die Verletzungsgefahr: *Berühre* nicht den laufenden Rotor. *Benutze* den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

Messwerte (Volt oder Milliampére) können hier negativ sein. Das hängt mit der Verschaltung zusammen. Verwende den Betrag des Wertes.

### Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte
- Baue den Versuch, wie abgebildet, auf. Verwende das AV-Modul im Strom-Spannungsmodus
- 3. Stelle mithilfe des Potentiometermoduls (Poti) verschiedene Spannungswerte ein und miss die jeweilige Stromstärke. Dazu wird zunächst das 1-Kilo-Ohm-Potentiometer und dann langsam das 100-Kilo-Ohm-Potentiometer bis zum Maximum gedreht.
- 4. Verringere die Spannung in Schritten von je ca. 0,2 Volt und trage deine Messwerte in die Tabelle ein. Warte nach jeder neuen Einstellung des Potentiometers bis Spannung und Stromstärke konstant sind. Miss außerdem Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke ohne das Potentiometer.

### Versuchsaufbau

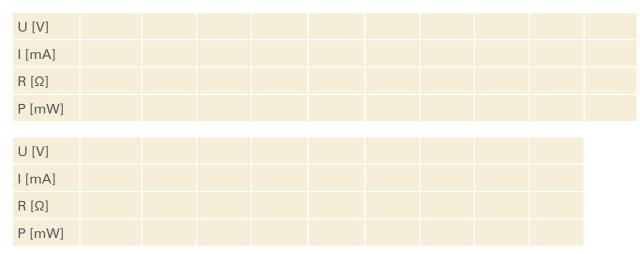


### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → Windturbinenmodul mit 3-Flügler 30°, Rotorblätter: optimiertes Profil
- → Potentiometermodul (Poti)
- → AV-Modul
- → 5 Kabel

## Experiment 4.6: Kennlinie einer Windenergieanlage mit Gleichstromgenerator

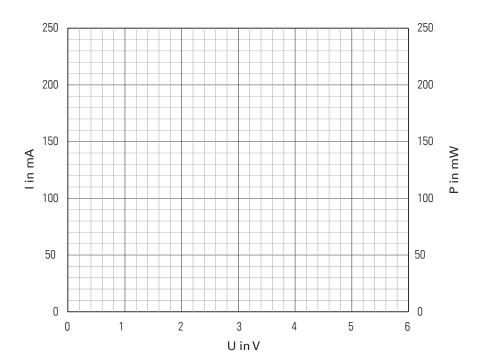




### Auswertung

- 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 Windenergieanlage 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 Windenergieanlagen mit Gleichstromgenerator ergeben.
- 6. Die maximale Leistung einer Windenergieanlage hängt also vom Lastwiderstand am Generator ab. Nenne mögliche Effekte oder physikalische Größen, die ebenfalls einen Einfluss auf die Leistung einer Windenergieanlage haben könnten.

### Diagramm







## Experiment 4.6: Kennlinie einer Windenergieanlage mit Gleichstromgenerator



Lösungen
Aufashe 2

Aufgabe 2:  $U_{max} =$ 

n <sub>max</sub> =
--------------------

Au	fga	be	3

Aufgabe 3:			
Aufgabe 4:			
Aufgabe 5:			

Erneuerbare	Energien
-------------	----------



### 4.7.1: Einfluss der Windrichtung (qualitativ)



### Anmerkung



Wird die Windenergieanlage nicht senkrecht durch den Wind angeströmt, so verringert sich die Angriffsfläche. Durch die verkleinerte Fläche und die andere Strömungsrichtung verändert sich auch die resultierende Kraftwirkung auf die Anlage. Mit zunehmendem Drehwinkel verringert sich die Drehbewegung des Flügelrades und damit auch die Leistung der Windenergieanlage.

### Experiment 4.7.1: Einfluss der Windrichtung (qualitativ)

### Aufgabe

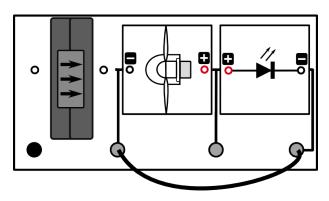
Untersuche, wie sich die Helligkeit einer Leuchtdiode ändert, wenn die Richtung des Windes auf den Windgenerator verändert wird.

Hinweis: Zum Verdrehen des Rotors muss das Winderzeugermodul abgeschaltet werden. Beachte die Verletzungsgefahr: Berühre nicht den laufenden Rotor. Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

- 1. Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf.
- 3. Schalte das Winderzeugermodul mit einer voreingestellten Powermodul-Spannung von 6 Volt ein.
- 4. 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 das Winderzeugermodul schlagen.

### Versuchsaufbau



### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → Windturbinenmodul mit 3-Flügler 30° Flügel: optimiertes Profil
- → LED-Modul
- → 1-3 Kabel

Hinweis: Der Versuch ist auch mit dem Glühlampenmodul durchführbar. In diesem Fall muss die Spannung am Powermodul höher eingestellt sein (9 Volt).

## Experiment 4.7.1: Einfluss der Windrichtung (qualitativ)

<u> </u>		3 1	
Beobachtungen			
Aufgabe 4:			
Auswertung			
5: In den Abbildungen unten sind Windenergieanlag stellt. Die Pfeile kennzeichnen die Richtung des I die größte Leistung erzeugen, welche die gering die Leistung sinkt.	_uftstromes (Windric	htung). Welche d	ler Anlagen kann
_ösung			
Aufgabe 5:			
	_		
4	2	•	
1 /	2	3	
		<b>→</b> _	







_					_		
-r	ne	HA	rha	re	-ne	2ra	ien
_	110	$\alpha \circ$	100		_ , , ,	<i>э</i> 1 Ч	1011

### Experiment 4.7.2: Einfluss der Windrichtung (quantitativ)

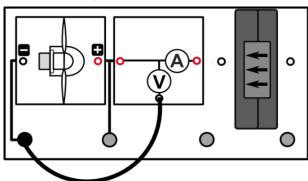
### Aufgabe

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

### Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte. Beachte die Verletzungsgefahr: Berühre nicht den laufenden Rotor. Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.
- 2. Stelle den Drehwinkel zu Beginn auf 0° ein. Nutze das AV-Modul im Spannungsmodus.
- 3. Schalte das Powermodul ein und miss die Spannung am Generator. Trage deinen Messwert in die Tabelle ein und schalte das Powermodul wieder ab.
- Verdrehe nun den Windgenerator vorsichtig um 10°. Wiederhole deine Messungen mit allen Winkeleinstellungen der Tabelle und trage die Messwerte ein.

#### Versuchsaufbau



### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → Windturbinenmodul mit 3-Flügler 30°, Flügel: optimiertes Profil
- → AV-Modul
- → 3 Kabel

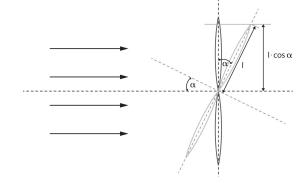
Hinweis: Zum Verdrehen des Rotors muss das Winderzeugermodul abgeschaltet werden. Beachte die Verletzungsgefahr: *Berühre* nicht den laufenden Rotor. *Benutze* den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Messergebnisse

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

#### Auswertung

- 5. Berechne den Cosinus zu den Winkeln. Trage die Werte dann in die entsprechenden Diagramme ein.
- 6. Die Größe cos α 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 α dargestellt wird.



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



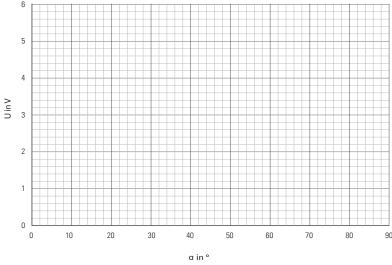


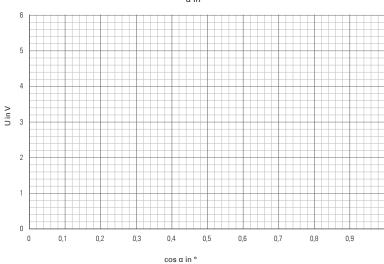




## Experiment 4.7.2: Einfluss der Windrichtung (quantitativ)

### Diagramme





### Lösungen

Aufgabe 6:

Aufgabe 7:

⊢rı	വല	erh	are	-ne	rgien
	100	OID	ui c		191011



# 4.8.1: Der Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (qualitativ)



### Anmerkung



Je nach Windgeschwindigkeit ergibt sich ein optimaler Anstellwinkel aus der aerodynamischen Bauform der Flügel. Bei hohen Anstellwinkeln kommt es zum sogenannten Strömungsabriss an den Rotorflügeln, der zu einer starken Verringerung der Leistung am Windgenerator führt.

Die Glühlampe leuchtet am hellsten bei einem Anstellwinkel von 25°. Ab einem Winkel von 50° leuchtet sie gar nicht mehr. Bei 90° Anstellwinkel ist es kaum noch möglich, den Rotor überhaupt zum Drehen zu bringen.

## Experiment 4.8.1: Der Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (qualitativ)

## info





### Aufgabe

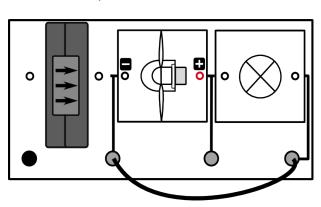
*Untersuche* den Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter gegenüber der Rotorebene auf die Helligkeit einer Glühlampe.

Hinweis: Beachte die Verletzungsgefahr: *Berühre* nicht den laufenden Rotor. *Benutze* den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf.
- 3. Baue einen Rotor mit 3 Flügeln und einem Anstellwinkel der Blätter von 20° zusammen und stecke ihn auf den Windgenerator.
- 4. Schalte das Winderzeugermodul bei einer voreingestellten Powermodul-Spannung von 9 Volt 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.
- 5. Wiederhole die Messung für alle anderen Rotorblattanstellwinkel.
- 6. Zusatz: *Führe* die gleiche Messung mit den Flügeln mit flachem Profil durch.

### Versuchsaufbau



### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → Windturbinenmodul mit 3-Flügler, alle Winkel, Flügel: optimiertes Profil
- → Glühlampenmodul
- → 3 Kabel

### Auswertung

Anstellwinkel	20°	25°	30°	50°	90°	Beispiel
						hell
Die Glühlampe leuchtet						schwach
						gar nicht

#### Aufgabe 7:

Bei größerem Anstellwinkel leuchtet die Glühlampe _	. Am stärksten leuchtet die
Glühlampe bei einem Winkel von	
Zusatz: Mit dem flachen Profil beobachtet man,	

### 4.8.2: Der Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (quantitativ)

### Anmerkung

Im Experiment wird die größte Spannung bei einem Anstellwinkel von 25° erreicht. Mit größerem Abstand zu diesem Winkel sinkt die Spannung rapide. Bei größeren Winkeln kommt es zum sogenannten Strömungsabriss, wodurch sich der Auftrieb an den Rotorflügel stark verringert. Dieser Effekt wird bei realen Windenergieanlagen ausgenutzt, um Beschädigungen an der Windenergieanlage vorzubeugen, zum Beispiel bei Sturm oder

sehr hohen Windgeschwindigkeiten. Bei kleinen Winkeln ist die Angriffsfläche zu gering. Durch den verringerten Auftrieb ändert sich die Leistungsaufnahme des Rotorblattes, was sich im Versuch in einer kleineren Drehzahl und damit verringerter Spannung zeigt.



### Experiment 4.8.2: Der Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (quantitativ)

### Aufgabe

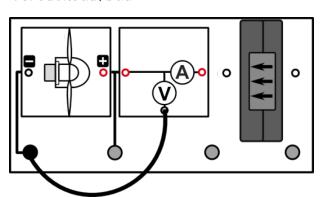
Untersuche den Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter gegenüber der Rotorebene und der Profilform auf die Spannung am Windgeneratormo-

Hinweis: Beachte die Verletzungsgefahr: Berühre nicht den laufenden Rotor. Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

- 1. Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf.
- 3. Baue einen Rotor mit 3 Flügeln mit optimiertem Profil und einem Anstellwinkel der Blätter von 20° auf und stecke ihn auf den Windgenerator.
- 4. Schalte das Winderzeugermodul bei einer voreingestellten Powermodul-Spannung von 12 Volt ein und miss die Spannung am Windgenerator. Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus. Erfasse die Messwerte in einer Tabelle.
- 5. Wiederhole die Messung für alle anderen Rotorblattanstellwinkel und für das flache Profil. Beim Messen der Spannung sollte darauf geachtet werden, dass die Messwerte erst dann abgelesen werden, wenn sich der angezeigte Wert nicht mehr ändert.

#### Versuchsaufbau



### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → Windturbinenmodul mit 3-Flügler, alle Winkel, Flügel: optimiertes und flaches Profil
- → AV-Modul
- → 3 Kabel







# Experiment 4.8.2: Der Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (quantitativ)



### Messergebnisse

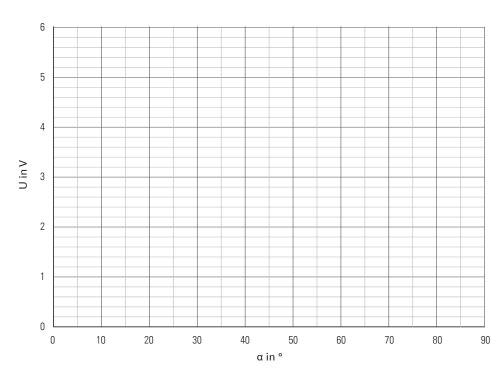


Anstellwinkel	20°	25°	30°	50°	90°
U <sub>optimiert</sub> [V]					
U <sub>flach</sub> [V]					

### Auswertung

- 1. Trage die Spannung U über dem Anstellwinkel  $\alpha$  ein.
- 2. Beschreibe den Zusammenhang zwischen Spannung und Anstellwinkel der Rotorblätter.
- 3. *Vermute* und *begründe* welchen Verlauf die Graphen für kleinere Anstellwinkel als 20° annehmen werden.

### Diagramm



# Experiment 4.8.2: Der Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (quantitativ)

info/





Lösungen		
Aufgabe 2:		
Aufgabe 3:		

## Experiment 4.9.1: Einfluss der Flügelform (qualitativ)



### Aufgabe

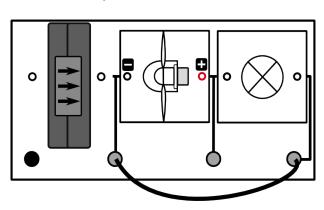
Untersuche die Helligkeit einer Leuchtdiode bei unterschiedlicher Form der Rotorblätter.

Hinweis: Beachte die Verletzungsgefahr: Berühre nicht den laufenden Rotor. Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

- 1. Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf.
- 3. Stecke den Dreiblattrotor mit dem optimierten Profil auf den Windgenerator und schalte das Winderzeugermodul bei einer voreingestellten Powermodul-Spannung von 12 Volt ein. Beobachte die Helligkeit der Leuchtdiode.
- 4. Wiederhole deine Messung mit dem Dreiblattrotor mit flachem Profil.
- 5. Notiere deine Beobachtungen

#### Versuchsaufbau



### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → Windturbinenmodul mit 3-Flügler, 25°, Flügel: optimiertes Profil und flaches Profil
- → LED-Modul oder Glühlampenmodul
- → 3 Kabel

Anmerkung: Beim aerodynamisch optimierten Profil leuchtet die LED heller. Dieses Profil ähnelt vom Aufbau her einem Flugzeugflügel. Durch das Profil können, zusätzlich zum Winddruck, Auftriebseffekte genutzt werden, die zu einer besseren Leistungsentnahme aus dem Wind führen.

### 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.

### Lösungen

Aufgabe 1:			
Aufgabe 2:			
Aufgahe 3:			







_											_							
⊢	r	n		ш		r	h	а	r		Ε	n		r	a	п		n
_			$\sim$	ч	$\sim$		$\sim$	u		$\sim$			$\sim$		ч		$\sim$	

## Experiment 4.9.2: Einfluss der Flügelform (quantitativ)

## info



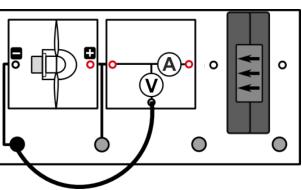
*Untersuche* die Spannung am Generator bei unterschiedlicher Form der Rotorblätter.

Hinweis: Beachte die Verletzungsgefahr: *Berühre* nicht den laufenden Rotor. *Benutze* den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.

### Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte. Beachte die Verletzungsgefahr: Berühre nicht den laufenden Rotor. Benutze den Fingerschutz für das Windturbinenmodul.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf.
- 3. Stecke den Dreiblattrotor mit dem optimierten Profil auf den Windgenerator und schalte das Winderzeugermodul bei einer voreingestellten Powermodul-Spannung von 9 Volt ein. Miss die am Generator erzeugte Spannung. Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus.
- 4. Wiederhole deine Messung mit dem Dreiblattrotor mit flachem Profil.

## Versuchsaufbau



### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Winderzeugermodul
- → Powermodul mit Netzteil
- → Windturbinenmodul mit 3-Flügler, 25°, Flügel: optimiertes Profil und flaches Profil
- → AV-Modul
- → 3 Kabel

Anmerkung: Beim optimierten Profil ist die Spannung am Generator deutlich höher. Das optimierte Profil ähnelt vom Aufbau her einem Flugzeugflügel. Durch das aerodynamisch optimierte Profil können Auftriebseffekte genutzt werden, die zu einer besseren Leistungsentnahme des Rotorflügels aus der Luft und damit höheren Spannungswerten führen.

Beim Messen der Spannung sollte darauf geachtet werden, dass die Messwerte erst dann abgelesen werden, wenn sich der angezeigte Wert nicht mehr ändert.

Messergebnisse $U_{opt} = $ $U_{flach} = $	
--	--

### Auswertung

- 1. Benenne, mit welchem Profil höhere Spannungen erzeugt werden können?
- 2. *Erkläre* den Einfluss der Flügelform auf die erzeugte Leistung einer Windenergieanlage. Was bewirkt die Flügelform?

-1	Lċ	: ~		10	_	_	10
-	_(	)5	ш	rı	u	L	гı

Aufgabe 5:			
Aufgabe 6:			





_											_								
⊢	r	n		11		r	h	а	r		Ε	n		r	$\cap$	ï		n	١
_			$\sim$	ч	$\sim$		$\sim$	ч		$^{\circ}$	_		$^{\circ}$		ч		$^{\circ}$		ı

### Thema 5 - Wasserkraft

Wasserkraftnutzung hat eine jahrtausendealte Tradition. Schon in der Antike und im Mittelalter wurde die Kraft des Wassers als Antrieb für Maschinen genutzt, z. B. bei Getreidemühlen, Säge- und Hammerwerken. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts setzte die Stromerzeugung durch Wasserkraft mittels Turbinen ein. Bis ungefähr 1925 konnte der Strombedarf in Bayern fast ausschließlich mit Wasserkraft gedeckt werden.

In Bayern sind rund 4.200 Wasserkraftanlagen in Betrieb. Etwa 95 % davon zählen zu den Kleinwasserkraftanlagen mit unter 1 MW Leistung. Diese erzeugen mit rund 1.000 GWh pro Jahr weniger als 9 % des Wasserkraftstroms in Bayern. Den Hauptanteil des bayerischen Wasserkraftstroms liefern große Wasserkraftanlagen.

Die größten Anlagen mit mehr als 10 MW (ca. 1,4 % der Anlagen) erbringen dabei rund zwei Drittel der Jahresarbeit (Strom). Sie liegen überwiegend an den alpinen Donauzuflüssen Iller, Lech (mit Wertach), Isar und Inn sowie an der Donau und am Main.

Es gibt grundsätzlich drei verschiedene Typen von Wasserkraftanlagen:

- → Laufwasserkraftwerke
- → Speicherkraftwerke
- → Pumpspeicherkraftwerke

Nähere Informationen zur Wasserkraft gibt es im Energie-Atlas Bayern:

www.energieatlas.bayern.de/thema\_wasser.html







_										_									
_	240	-	_	 _	140	Ь	_	10	_	Е	100		_	240	$\sim$		_	100	ı.
_	г	11	$\vdash$	 $\leftarrow$	г	[]	н	г	$\leftarrow$		. [	п	Н.	г	( 1	н	$\leftarrow$	ш	ı

## Experiment 5.1.1: Wasser als Energiequelle (qualitativ)

## info

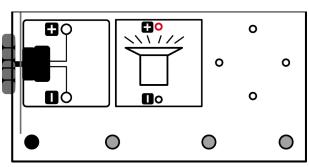
### Aufgabe

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

### Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf. Achte dabei auf die Polung der Verbindung.
- 3. Stelle eine mit Wasser gefüllte Schüssel auf einen höher gelegenen Standpunkt, eine andere, leere Schüssel auf einen niedrigeren Standpunkt.
- 4. Halte das Wasserradmodul über die untere Schüssel.
- Sauge das Wasser im Schlauch an oder lege ihn komplett ins Wasser und halte den Finger auf ein Ende. Achtung: Das andere Ende des Schlauches muss immer im Wasser bleiben.
- 6. Richte den Schlauch so aus, dass das Wasser möglichst nur auf das Wasserrad spritzt und nimm dann den Finger vom Schlauchende.
- 7. Falls die Fallhöhe zu niedrig ist, kann es sein, dass du das Wasserrad "anstupsen" musst.
- 8. Notiere deine Beobachtungen.

### Versuchsaufbau



### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Wasserradmodul
- → Hupenmodul
- → 1 Kabel
- → 1 Schlauch

#### Zusätzlich benötigt:

- → 2 große Schüsseln oder wasserdichte Kisten
- → Wasser
- → Tisch/Stuhl/anderer höherer Standort

### Beobachtungen

### Auswertung

9. Welche Energieumwandlung findet statt?

### Lösung

Aufgabe 9:









### Aufgabe

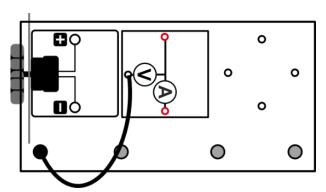
*Ermittle* die Leerlaufspannung des Wasserrads und gib die Fallhöhe an!

### Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf. Achte dabei auf die Polung der Verbindung. Verwende das AV-Modul im Spannungsmodus.
- 3. Stelle eine mit Wasser gefüllte Schüssel auf einen höher gelegenen Standpunkt, eine andere, leere Schüssel auf einen niedrigeren Standpunkt.
- 4. Halte das Wasserradmodul über die untere Schüssel. Sauge das Wasser im Schlauch an oder lege ihn komplett ins Wasser und halte den Finger auf ein Ende.
  - Achtung: Das andere Ende des Schlauches muss immer im Wasser bleiben.
- 5. Richte den Schlauch so aus, dass das Wasser möglichst nur auf das Wasserrad spritzt und nimm dann den Finger vom Schlauchende. Falls die Fallhöhe zu niedrig ist, kann es sein, dass du das Wasserrad "anstupsen" musst.
- 6. Miss die Spannung am Generator.

### Versuchsaufbau

Experiment 5.1.2: Wasser als Energiequelle (quantitativ)



### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Wasserradmodul
- → AV-Modul
- → 1 Kabel
- → 1 Schlauch

#### Zusätzlich benötigt:

- → 2 große Schüsseln oder wasserdichte Kisten
- → Wasser
- → Tisch/Stuhl/anderer höherer Standort
- → Lineal/Maßband

#### Auswertung

Erneuerbare	Energien





### Experiment 5.2.1: Abhängigkeit von der Fallhöhe (qualitativ)

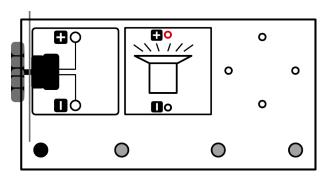
#### Aufgabe

*Untersuche*, inwieweit die Fallhöhe die Lautstärke der Hupe beeinträchtigt!

#### Durchführung

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

#### Versuchsaufbau



#### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Wasserradmodul
- → Hupenmodul
- → 1 Kabel
- → 1 Schlauch

#### Zusätzlich benötigt:

- → 2 große Schüsseln oder wasserdichte Kisten
- → Wasser
- → Tisch/Stuhl/anderer höherer Standort

#### Lösungen

Aufgabe /:			
-			

### Experiment 5.2.2: Abhängigkeit von der Fallhöhe (quantitativ)

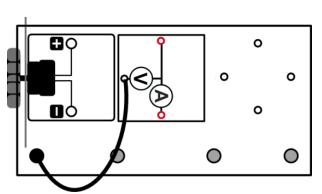
#### Aufgabe

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

#### Durchführung

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

#### Versuchsaufbau



#### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Wasserradmodul
- → AV-Modul
- → 1 Kabel
- → 1 Schlauch

#### Zusätzlich benötigt:

- → 2 große Schüsseln oder wasserdichte Kisten
- → Wasser
- → Tisch/Stuhl/anderer höherer Standort
- → Lineal/Maßband

#### Messergebnisse

h [cm]			
U [V]			











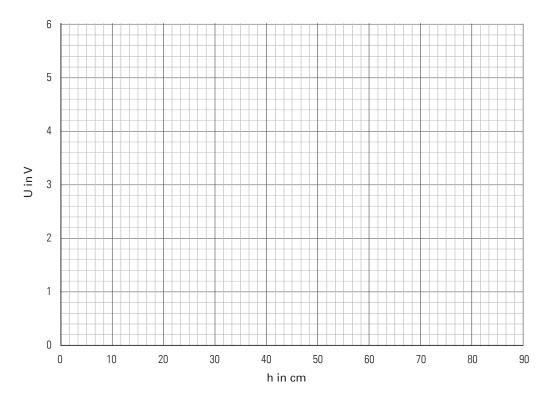


### Experiment 5.2.2: Abhängigkeit von der Fallhöhe (quantitativ)

#### Auswertung

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

#### Diagramm



#### Lösung

Aufgabe 2:			

### Thema 6 - Brennstoffzelle und Elektrolyseur

# info

#### Reversible Brennstoffzelle

Ein Elektrolyseur zersetzt mithilfe von Strom Wasser in seine zwei Bestandteile Wasserstoff  $H_2$  und Sauerstoff  $O_2$ . Eine Brennstoffzelle macht daraus wieder Strom.

Je nach Brennstoffzellentyp können auch andere Brennstoffe eingesetzt werden, beispielsweise Ethanol, Methanol oder Erdgas.

Eine reversible Brennstoffzelle vereint beide Prozesse in einem Gerät.

Elektrolyseur:  $H_2O$  + Energie (Strom/Wärme)  $\rightarrow$   $H_2$  +  $O_2$ Brennstoffzelle:  $H_2$  +  $O_2$   $\rightarrow$   $H_2O$  + Energie (Strom/Wärme)

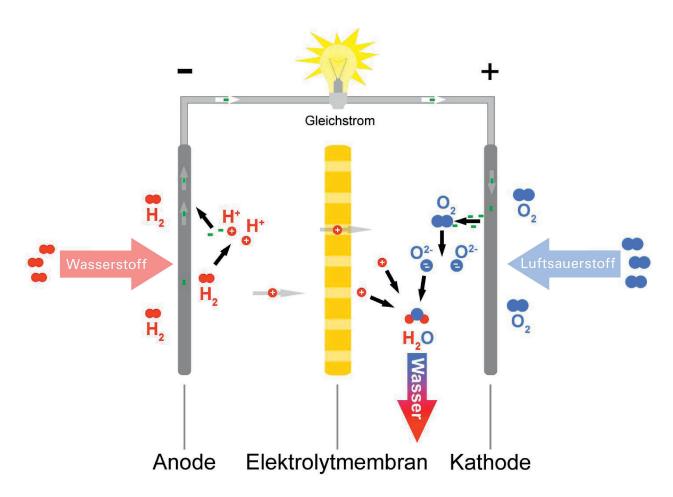


Abb.: Funktionsprinzip Brennstoffzelle (technische Darstellung – verändert) Quelle: Wikipedia, gemeinfrei  $\Phi$ 

Weitere Informationen gibt es beispielsweise bei Planet Wissen:

www.planet-wissen.de/technik/energie/brennstoffzelle/index.html

Für speziell Interessierte:

https://www.ich.ovgu.de/ich\_media/Physikalische+Chemie/Praktikumsanleitungen/Brennstoffzelle.pdf









### Aufgabe

Lerne die Funktionsweise eines Elektrolyseurs kennen.

Experiment 6.1: Was macht ein Elektrolyseur?

#### Vorbemerkungen

Die in der Energiekiste enthaltene Brennstoffzelle ist eine sogenannte reversible Brennstoffzelle d. h. sie kann sowohl als Brennstoffzelle als auch als Elektrolyseur betrieben werden.

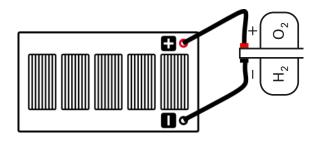
Diesen Versuch führt man am besten im direkten Sonnenlicht aus, da so die erreichbare Stromstärke und damit die Rate der Gasproduktion deutlich höher ist als bei Beleuchtung mit einer Lampe.

Wenn das Sonnenlicht nicht ausreicht kann eine Lampe verwendet werden. Wenn keine Methode der Beleuchtung besteht, kann die Brennstoffzelle nach Anleitung an das Powermodul angeschlossen werden. Achtung: unbedingt die Anleitung auf der Seite 16 und Seite 17 beachten. sonst geht die Zelle möglicherweise kaputt.

#### Durchführung

- 1. Informiere dich zuerst über die Bedienung der
- 2. Baue das Brennstoffzellenmodul auf. Achte darauf, dass der rote Anschluss der Brennstoffzelle mit dem roten Anschluss des Solarmoduls verbunden ist.
- 3. Beleuchte nun das Solarmodul mit direktem Sonnenlicht oder einer Lampe und beobachte das Röhrchen an der oberen Öffnung der "O<sub>2</sub>"-Seite der Brennstoffzelle. Notiere deine Beobachtungen.
- 4. Beschatte nun das Solarmodul mit deiner Hand. Notiere deine Beobachtungen.

#### Versuchsaufbau



#### Benötigte Geräte

- → Solarmodul (2,5 V)
- → Brennstoffzelle mit Verschlussstopfen
- → destilliertes Wasser



### Experiment 6.1: Was macht ein Elektrolyseur?

	7





### Auswertung

Lösung

Aufgabe 4:

- 5. Was kannst du über die Gase in den unteren Behältern aussagen?
- 6. Was macht die reversible Brennstoffzelle, wenn sie als Elektrolyseur betrieben wird? Welche Energieumwandlung findet statt?
- 7. Erkläre deine Beobachtungen aus den Aufgaben 5 und 6.
- 8. In der reversiblen Brennstoffzelle, betrieben als Elektrolyseur, wird Wasser (chemisches Zeichen:  $H_2O$ ) in die zwei Gase Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) zersetzt. Kannst du damit deine Beobachtung erklären? Versuche, eine Reaktionsgleichung aufzustellen.
- 9. Wie k\u00f6nntest du nachweisen, dass in dem mit "H2" beschrifteten Beh\u00e4lter wirklich Wasserstoff und in dem mit "O2" beschrifteten Beh\u00e4lter Sauerstoff ist?

Losungen			
Aufgabe 5:			
Aufgabe 6:			
Aurgabe 0.			
Aufgabe 7:			

Erneuerbare Energien \_\_\_\_\_







Aufgabe 8:			

Aufgabe 9:

H<sub>2</sub>: \_\_\_\_\_

O<sub>2</sub>:

### Experiment 6.2: Was macht eine Brennstoffzelle?

#### Aufgabe

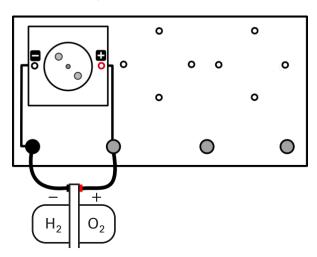
Lerne die Funktionsweise einer Brennstoffzelle kennen.

Hinweis: unbedingt die Anleitung auf der Seite 16 und der Seite 17 beachten. sonst geht die Zelle möglicherweise kaputt.

#### Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- 2. 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, siehe Experiment 6.1. Auf der "H<sub>2</sub>"-Seite sollte die 10 ml-Markierung erreicht sein.
- 3. Stecke nun als Verbraucher das Motor- oder das LED-Modul auf die Grundeinheit und schließe die Brennstoffzelle, wie abgebildet, an. Achte auf die Polung (Rot zu Rot, Schwarz zu Schwarz)."Was passiert mit den Gasen in den Vorratsbehältern? Notiere deine Beobachtungen.

#### Versuchsaufbau



#### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein (mit 2 Kurzschlusssteckern)
- → Brennstoffzellenmodul mit Verschlussstopfen
- → Motormodul und/oder
- → LED-Modul
- → 2 Kabel

#### Beobachtungen

Aufgabe 3:









## 7

### Auswertung



4. Was macht eine Brennstoffzelle? Welche Energieumwandlung findet statt?

Experiment 6.2: Was macht eine Brennstoffzelle?

5. In Experiment 6.1 "Was macht ein Elektrolyseur?" hattest 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?

Lösungen		
Aufgabe 4:		
Aufgabe 5:		

### Experiment 6.3: Die Kennlinie eines Elektrolyseurs

### Aufgabe

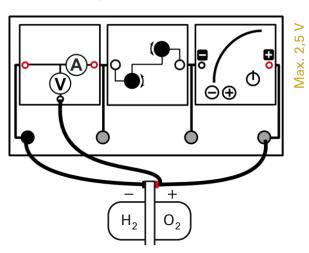
*Verwende* die reversible Brennstoffzelle als Elektrolyseur und *nimm* die zugehörige Kennlinie *auf*.

Hinweis: Maximal 2,5 Volt am Powermodul einstellen, siehe auch Anleitung Seite 16 und 17

#### Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte.
- Achte beim Versuchsaufbau darauf, dass der Stromkreis vor Beginn der Messung geöffnet ist (z. B. durch Entfernen eines Kabels), damit das Experiment nicht ohne die Aufnahme der Messwerte beginnt. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben.
- 3. Befülle die Brennstoffzelle wie auf Seite 16 erklärt.
- **4.** Baue den Versuch, wie abgebildet, auf. Achte auf die Polung der Anschlüsse.
- 5. Stelle zunächst am Poti den maximalen Widerstand ein (1100 Ohm) und miss den Strom I und die Spannung U.
- 6. Verringere nun in mehreren Schritten den Widerstand am Potentiometer und miss jeweils Strom und Spannung. Trage die Werte in die Tabelle ein.

#### Versuchsaufbau



#### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß
- → Brennstoffzellenmodul
- → Potentiometermodul (Poti)
- → Powermodul mit Netzteil
- → AV-Modul
- → 5 Kabel







#### Messwerte

U [V]				
I [mA]				
U [V]				
I [mA]				



## Experiment 6.3: Die Kennlinie eines Elektrolyseurs

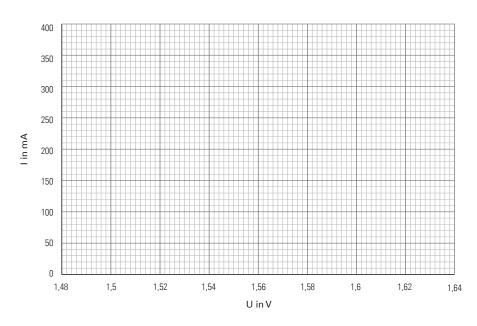


### Auswertung

- 7. Trage deine Werte in das Diagramm ein.
- 8. Interpretiere die U-I Kennlinie des Elektrolyseurs.



#### Diagramm



#### Lösung

#### Aufgabe 8:

### Experiment 6.4: Die Kennlinie einer Brennstoffzelle

#### Aufgabe

Ermittle die I-U-Kennlinie einer Brennstoffzelle.

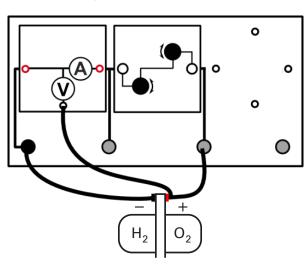
#### Vorbemerkung

Bevor du mit den Versuch startest, musst du mit der reversiblen Brennstoffzelle circa 10 ml Wasserstoff produzieren. Die Handhabung findest du unter "Handhabung der Einzelteile" ab 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 circa 20 Sekunden bei 10 Ohm entladen werden muss. Die für das Experiment notwendige Leerlaufspannung liegt zwischen 0,8 Volt – 0,9 Volt.

#### Durchführung

- Informiere dich zuerst über die Bedienung der Geräte. Die Brennstoffzelle kann bei Überspannung kaputt gehen.
- 2. Baue den Versuch, wie abgebildet, auf. Stecke das Poti noch nicht auf. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben.
- Miss zunächst die Leerlaufspannung der Brennstoffzelle U<sub>0</sub> und trage deine Messwerte in die Tabelle ein. Noch ist der Widerstand sozusagen unendlich groß.
- Stecke das Potentiometer auf und stelle den maximalen Widerstand ein (1100 Ohm). Miss anschließend die Spannung U und den Strom I.
- Verringere nun in mehreren Schritten den Widerstand am Poti um 10 Ohm und miss jeweils den Strom I und die Spannung U an der Brennstoffzelle.
- 6. *Trage* deine Werte in die Tabelle ein. *Verwende* jeweils den Betrag des Messergebnisses, falls dieses negativ ist.

#### Versuchsaufbau



#### Benötigte Geräte

- → Grundeinheit groß oder Grundeinheit klein mit 2 Kurzschlusssteckern
- → Brennstoffzellenmodul
- → Potentiometermodul (Poti)
- → AV-Modul
- → 3 Kabel

#### Auswertung

- 7. Stelle deine Messwerte im Diagramm dar.
- 8. Beschreibe den Verlauf der I-U-Kennlinie.
- 9. *Erläutere*, welcher Bereich der Kennlinie für den Betrieb eines Verbrauchers genutzt werden sollte.
- **10.** *Erkläre*, weshalb die Spannung mit steigender Stromstärke absinkt.

#### Messergebnisse

U [V]							
I [mA]							
U [V]							
I [mA]							









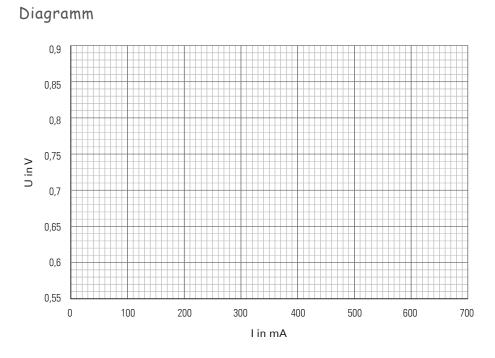
## Experiment 6.4: Die Kennlinie einer Brennstoffzelle











### Lösungen

Aufgabe 7:			
Aufgabe 8:			

Experiment 6.4: Die Kennlinie einer Brennstoffzelle					







