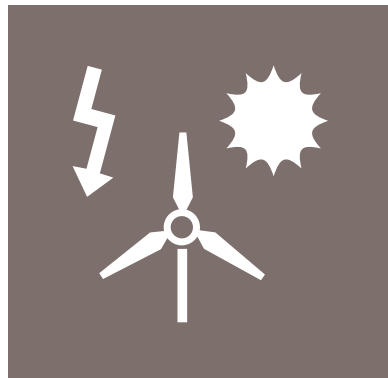
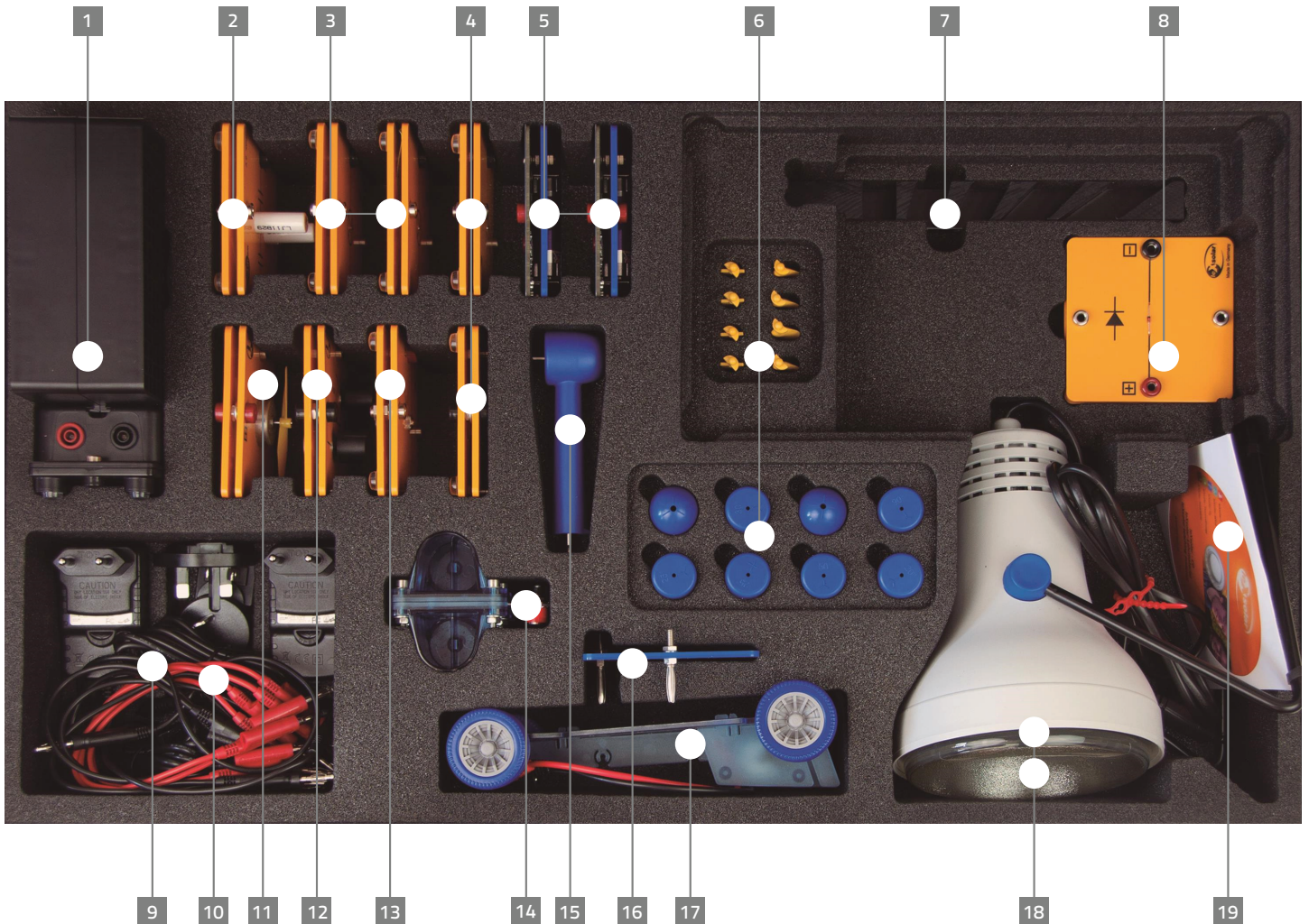


# leXsolar-SmartGrid Ready-to-go



Anleitungsheft

Layout diagram leXsolar-SmartGrid Ready-to-go  
 Item-No.1605  
 Bestückungsplan leXsolar-SmartGrid Ready-to-go  
 Art.-Nr.1605

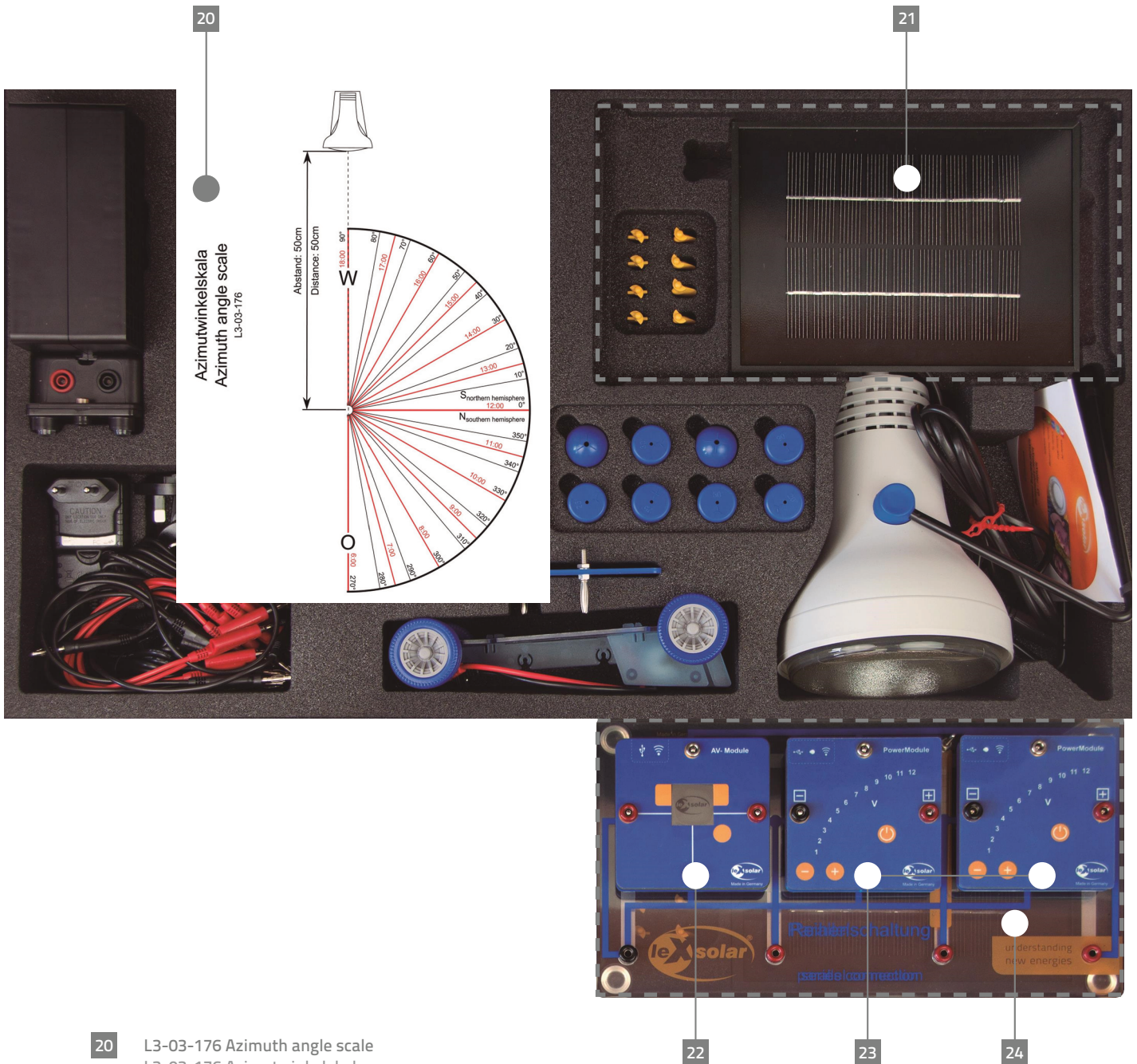


- |  |  |  |
|--|--|--|
| <p><b>1</b> 1400-19 leXsolar-Wind machine<br/>1400-19 leXsolar-Winderzeuger</p> <p><b>2</b> 1600-02 Capacitor module 5.0F/5.4V<br/>1600-02 Kondensatormodul 5.0F/5.4V</p> <p><b>3</b> 2x1100-26 Light bulb module<br/>2x1100-26 Glühlampenmodul</p> <p><b>4</b> 2x1600-01 Power grid module<br/>2x1600-01 Stromnetzmodul</p> | <p><b>5</b> 2x9100-04 SmartMeter<br/>2x9100-04 SmartMeter</p> <p><b>6</b> 1400-12 leXsolar-Wind rotor set<br/>(8 blades, 6 hubs, 2 capes)<br/>1400-12 leXsolar-Windrotoren<br/>(8 Flügel, 6 Naben, 2 Kapen)</p> <p><b>7</b> 1118-17 Base for solar panel<br/>1118-17 Standfuß Solarmodul</p> <p><b>8</b> 1100-21 Diode module<br/>1100-21 Diodenmodul</p> <p><b>9</b> 3xL2-06-014 Test leads black 50 cm<br/>3xL2-06-015 Test leads red 50 cm<br/>3xL2-06-014 Messleitung schw. 50 cm<br/>3xL2-06-015 Messleitung rot 50 cm</p> <p><b>10</b> 4xL2-06-012 Test leads black 25 cm<br/>7xL2-06-013 Test leads red 25 cm<br/>4xL2-06-012 Messleitung schw. 25 cm<br/>7xL2-06-013 Messleitung rot 25 cm</p> <p><b>11</b> 1100-27 Motor module<br/>1100-27 Motor module<br/>L2-02-017 Yellow propeller<br/>L2-02-017 Luftschraube (Propeller) gelb</p> | <p><b>12</b> 1100-23 Potentiometer module<br/>1100-23 Potentiometermodul</p> <p><b>13</b> 1400-22 Wind turbine module with <b>15</b><br/>1400-22 Windturbinenmodul mit <b>15</b></p> <p><b>14</b> L2-06-067 Reversible Fuel cell Pro<br/>L2-06-067 Reversible Brennstoffzelle Pro</p> <p><b>15</b> Wind turbine with <b>13</b><br/>Windturbine mit <b>13</b></p> <p><b>16</b> Battery adapter for <b>17</b><br/>Akku-Adapter für <b>17</b></p> <p><b>17</b> 1801-02 Electric model car with <b>16</b><br/>1801-02 Elektro-Modellfahrzeug mit <b>16</b></p> <p><b>18</b> L2-04-116 Illuminant 120W<br/>L2-04-116 Leuchtmittel 120W</p> <p><b>18</b> L2-04-080 Lamp housing<br/>L2-04-080 Lampengehäuse</p> <p><b>19</b> L3-03-016 leXsolar-CD<br/>L3-03-016 leXsolar-CD</p> |
|--|--|--|

Version number  
 Versionsnummer

L3-03-169\_04.03.2015

Layout diagram leXsolar-SmartGrid Ready-to-go  
 Item-No.1605  
 Bestückungsplan leXsolar-SmartGrid Ready-to-go  
 Art.-Nr.1605



- 20** L3-03-176 Azimuth angle scale  
L3-03-176 Azimutwinkelskala
- 21** 1100-53 Solar panel 5.22 V, 380 mA  
1100-53 Solarmodul 5.22 V, 380 mA
- 22** 9100-03 AV-Module  
9100-03 AV-Modul
- 23** 2x9100-05 PowerModule  
2x9100-05 PowerModul
- 24** 1100-19 leXsolar-Base unit  
1100-19 leXsolar-Grundeinheit groß

# leXsolar - SmartGrid Ready-to-go

## Inhaltsverzeichnis

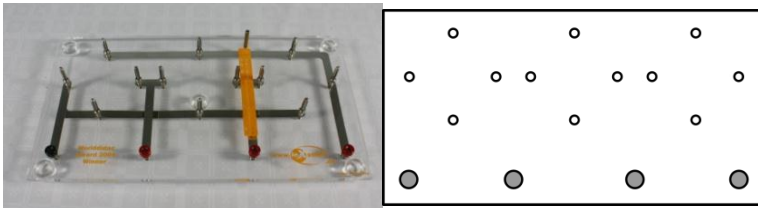
|  |           |
|--|-----------|
| Bezeichnung und Handhabung der Experimentiergeräte.....  | 2         |
| <b>1. Grundlagenversuche zur Photovoltaik.....</b>   | <b>13</b> |
| 1.1 U-I-Kennlinie des Solarmoduls.....   | 13        |
| 1.2 Die I-U Kennlinie des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke.....  | 16        |
| 1.3 Die I-U Kennlinie des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Temperatur.....  | 19        |
| <b>2. Grundlagenversuche zur Windkraft.....</b>  | <b>22</b> |
| 2.1 Abhängigkeit der Leistung von der Form der Flügel und dem Anstellwinkel.....   | 22        |
| 2.2 Abhängigkeit der Leistung von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren.....   | 25        |
| 2.3 Abhängigkeit der Leistung von der Windrichtung.....  | 28        |
| <b>3. Grundlagenversuche zu Energiespeichersystemen.....</b>   | <b>31</b> |
| 3.1 U-I-Kennlinie eines Elektrolyseurs.....  | 31        |
| 3.2 Verhalten der Spannung und Stromstärke während des Ladevorgangs eines Elektrolyseurs.....  | 34        |
| 3.3 I-U-Kennlinie einer Brennstoffzelle.....   | 36        |
| 3.4 Verhalten der Spannung und Stromstärke während des Entladevorgangs einer Brennstoffzelle.....                                      | 39        |
| 3.5 t-U- und t-I-Kennlinie eines Kondensators beim Aufladen.....   | 41        |
| 3.6 t-U- und t-I-Kennlinie eines Kondensators beim Entladen.....   | 44        |
| 3.7 Betrieb des Elektroautos mit dem Kondensator und der Brennstoffzelle.....  | 48        |
| <b>4.1 Die Leistungsschwankungen einer Photovoltaikanlage.....</b>   | <b>50</b> |
| 4.2 Die Leistungsschwankungen einer Windkraftanlage.....   | 54        |
| 4.3 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk.....   | 59        |
| 4.4 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk und eine Photovoltaikanlage.....   | 63        |
| 4.5 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk, eine Photovoltaikanlage und einen Energiespeicher (Kondensator).....                | 68        |
| 4.6 Spannungsverhalten in einem herkömmlichen Strahlennetz.....  | 72        |
| 4.7 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage.....   | 76        |
| 4.8 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage in Abhängigkeit vom Verbrauch.....                                 | 80        |
| 4.9 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage in Abhängigkeit von der Länge des Leiters.....                     | 82        |
| 4.10 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und einer intelligenten Ortsnetzstation.....                      | 85        |
| 4.11 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und Energiespeicher (reversible Brennstoffzelle/ E-Mobility)..... | 89        |
| 4.12 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und Lastmanagement.....   | 93        |
| 4.13 Leiterseilmonitoring.....   | 96        |
| 4.14 Szenarienversuch.....   | 99        |
| Weiterführende Literatur.....  | 103       |

## Bezeichnung und Handhabung der Experimentiergeräte

### leXsolar-Smart Grid Ready-to-go

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

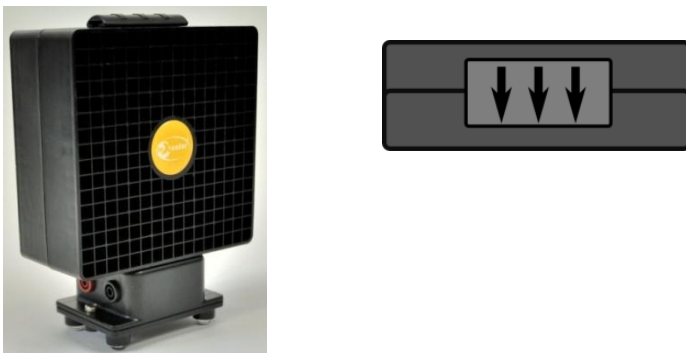
#### Grundeinheit 1100-19



Die Grundeinheit ist eine Steckplatine auf der bis zu 3 Module in Reihe oder parallel zueinander geschaltet werden können. Der Strom fließt über die an der Unterseite angebrachten Leitungen. Um die Komponenten auf der Grundeinheit mit anderen zu verbinden, befinden sich am unteren Ende 4 Anschlüsse.

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

#### Winderzeuger 1400-19



Der Winderzeuger dient zur kontrollierten Steuerung des Windes für das Experimentieren mit der Windturbine. Für die Experimente wird der Winderzeuger mit dem PowerModul (Spannungsquelle) verbunden. Hierzu muss der negative (positive) Pol des PowerModuls mit dem schwarzen (roten) Anschluss verbunden werden. Zur Inbetriebnahme befindet sich auf der den Anschlüssen gegenüber liegenden Seite ein separater An/Aus-Schalter. Die Windrichtung ist durch die Pfeile auf der Oberseite des Winderzeugers markiert. Der Betrieb des Winderzeugers ist nur mit dem mitgelieferten PowerModul oder einer stabilisierten Gleichspannung zulässig, andernfalls erlischt die Garantie.

Technische Daten:

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

## Windrotoren 1400-12



Aus den Bestandteilen können Rotoren mit 2, 3 oder 4 Rotorblättern mit einem flachen Profil oder einem optimierten Profil zusammengesetzt werden. Der 4-fach Nabeneinsatz ist in einem Anstellwinkel von  $25^\circ$  und der 3-fach Einsatz in den Anstellwinkeln  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $50^\circ$  und  $90^\circ$  vorhanden. Zum Einsetzen der Rotorblätter sollte folgendermaßen vorgegangen werden:



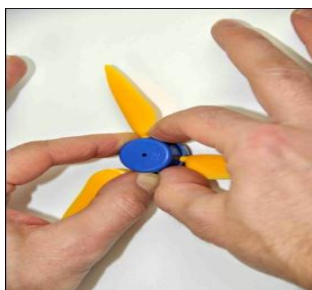
Zuerst wird eine Nabe mit dem gewünschten Anstellwinkel und der Flügelzahl ausgewählt (die Naben sind auf der Rückseite entsprechend beschriftet). Der Zweiflügel- und Vierflügel-Rotor kann mithilfe der Nabe mit 4 Einsätzen aufgebaut werden.



Danach werden die Rotorflügel eingesetzt. Beim Einsetzen der Flügel ist darauf zu achten, dass diese mit der abgerundeten Seite nach oben in den Einsatz gelegt werden.

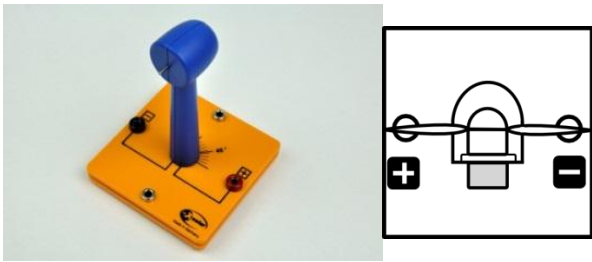


Nach dem Einsetzen der Flügel wird die Nabenkappe aufgesetzt und leicht festgedrückt.



Zum Wechseln der Rotorblätter befindet sich eine kleine Nase am Kopf der Nabe. Wenn die Nabe auf einer festen Unterlage leicht aufgedrückt wird (siehe Foto), löst sich der Kopf und die Flügel können ausgetauscht werden.

## leXsolar-Windturbinenmodul 1400-22

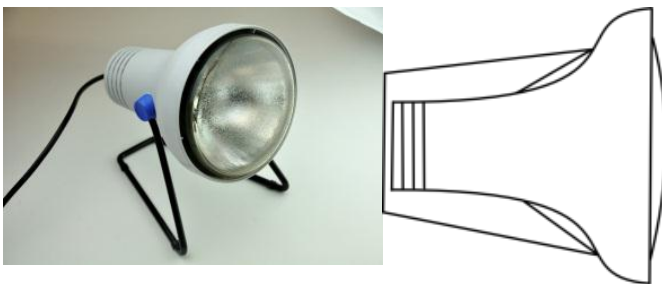


Zunächst muss die blaue Windturbine auf die entsprechende Modulplatte gesteckt werden. Auf die Generatorwelle wird dann ein Windrotor befestigt, um eine kleine Windkraftanlage zu erhalten. Der Rotor sollte dabei nicht das Gehäuse der Turbine berühren, da er sich durch die Reibung deutlich schwerer drehen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

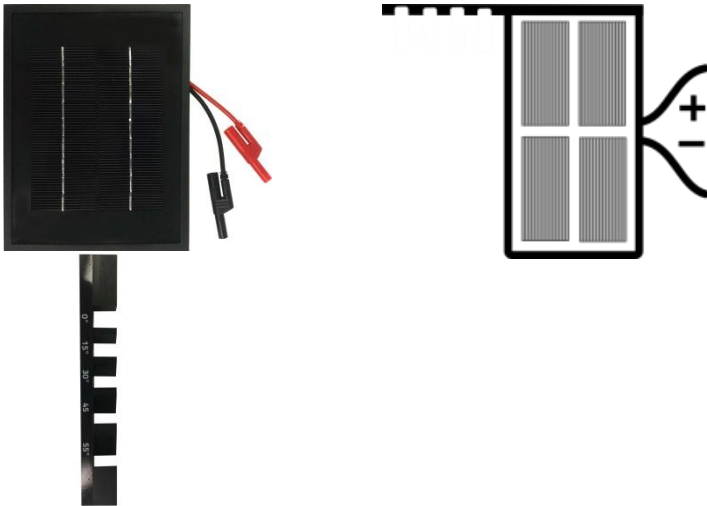
Der Generator erzeugt eine Gleichspannung, deren Polung auf der Modulplatte erkennbar ist. Des Weiteren ist auf die Modulplatte eine Winkelskala aufgedruckt, mit der die Turbine in einem bestimmten Winkel in den Wind gedreht werden kann.

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

## Lampengehäuse (L2-04-080) mit Leuchtmittel 120W (L2-04-116)



## Solarmodul 5,22V, 380mA (1100-04) mit Standfuß (1118-17)



Zwischen den Solarmodulen und der Lampe muss bei allen Experimenten ein Abstand von 50 cm eingehalten werden. Das Solarmodul erwärmt sich durch die Beleuchtung und kann bei Unterschreitung des Abstandes dauerhaften Schaden nehmen. Die Lampe darf nur für die Dauer des Experimentes eingeschaltet sein und darf niemals auf andere Personen gerichtet werden. Aufgrund der Erhitzung muss die Lampe nach dem Ausschalten zunächst abkühlen, bevor sie angefasst und in die Schaumstoffeinlage zurückgelegt werden darf.

Während des Experimentierens sollten keine Gegenstände oder Personen im bzw. in der Nähe des Strahlengangs der Lampe stehen. Hierdurch kann es zu Reflexionen kommen, die die Experimentierergebnisse verfälschen.

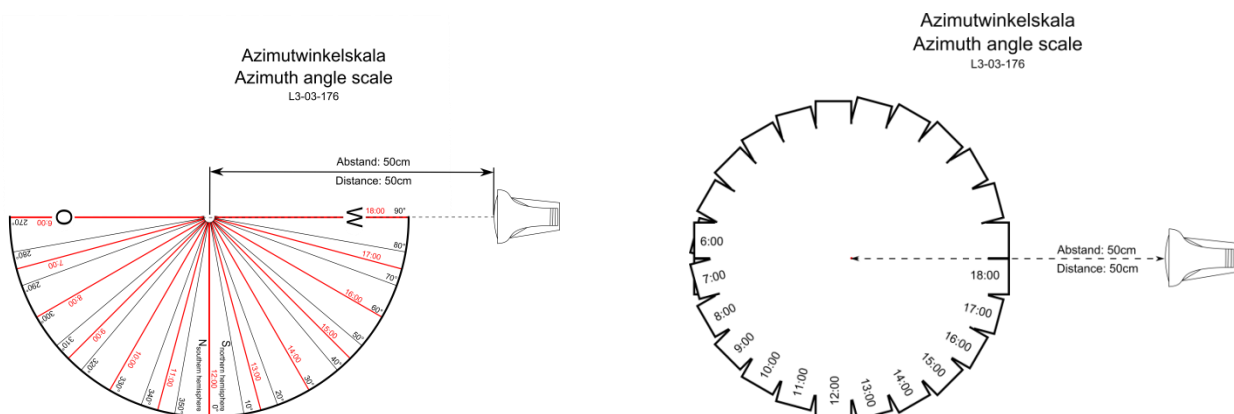
### Technische Daten:

Lampe: 120 W PAR-Lampe

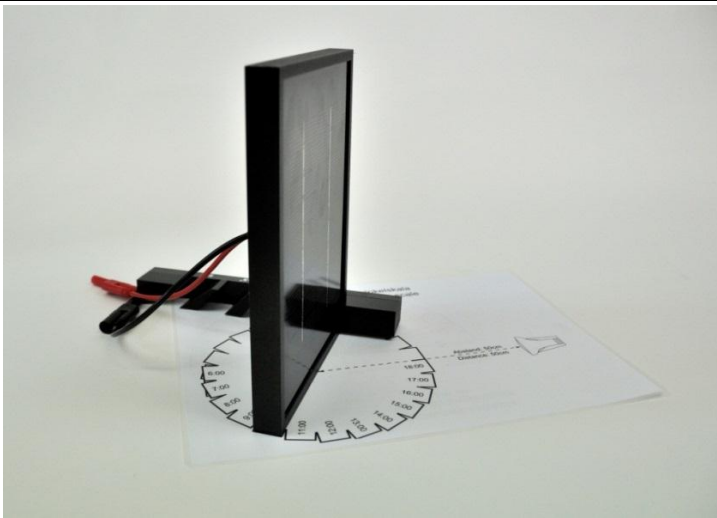
Solarmodul:

- 4,5 V Leerlaufspannung
- 840 mA Kurzschlussstrom
- 3,75 Wp Spitzenleistung

## Azimutwinkelskala L3-03-176

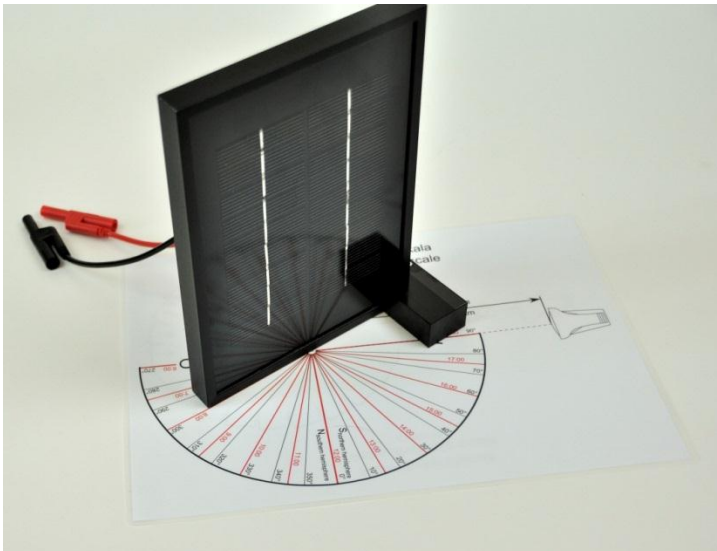






Solarmodul in 10Uhr-Stellung

Mit der Azimutwinkelskala kann der Azimutwinkel zwischen Solarmodul und Lampe eingestellt werden. Auf einer Seite befinden sich in einem Kreis angeordnete Rechtecke, in denen jeweils eine Uhrzeit angegeben ist. Wird das Solarmodul auf ein bestimmtes Rechteck gestellt, ist der Azimutwinkel für die ausgesuchte Uhrzeit eingestellt. In der nebenstehenden Abbildung ist das Solarmodul auf der 10Uhr-Stellung positioniert.

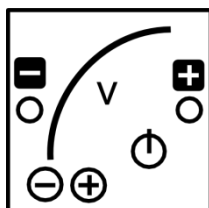


Solarmodul in 8Uhr-Stellung

Die zweite Seite der Azimutwinkelskala dient zur genaueren Einstellung von bestimmten Azimutwinkeln. Der Winkel ist dann eingestellt, wenn sich das Solarmodul mit der vorderen Kante hinter der entsprechenden Linie befindet. In der nebenstehenden Abbildung ist das Solarmodul mit dieser Azimutwinkelskala in der 300°-Stellung. Bei beiden Skalen ist die Einstrahlrichtung der Lampe eingezeichnet, die unbedingt einzuhalten ist. Der Abstand von der Lampe bis zum Mittelpunkt der Skala muss 50 cm betragen. Die Mitte des Solarmoduls muss sich immer am Mittelpunkt der Azimutwinkelskala befinden.

**Hinweis:** Die Azimutwinkelskala gibt **nicht** die Abweichung der Solaranlage von Süden an, sondern den Azimutwinkel der Sonne im **astronomischen Sinn!** In den Experimenten wird die Solaranlage immer als optimal nach Süden ausgerichtet betrachtet. Der hier verwendete Azimutwinkel ist also **nicht** der in der Solartechnik verwendete Fachbegriff, wo 0° eine nach Süden, -90° eine nach Osten und +90° eine nach Westen ausgerichtete Solaranlage beschreibt.

## PowerModul 9100-05

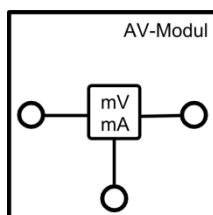


Das PowerModul ist ein kompaktes und intuitiv zu bedienendes Stromversorgungsgerät für Experimente. Zum Betrieb muss zunächst das beiliegende Steckernetzteil in die Steckdose gesteckt und mit der Eingangsbuchse oben rechts am PowerModul verbunden werden. Die Spannung wird mit der „+“- und „-“ - Taste ausgewählt und durch die LEDs angezeigt. Ist die gewünschte Spannung eingestellt, wird mit dem Einschalt-Button die Spannung an die Ausgangsbuchsen angelegt. Die Spannung liegt an, solange der Einschalt-Button rot leuchtet. Bei Kurzschluss oder Strömen  $>2$  A schaltet das PowerModul die Spannung ab. In den Smart Grid Versuchen wird das PowerModul einerseits zur Spannungsversorgung, z.B. des Winderzeugers oder des Elektrolyseurs eingesetzt, andererseits simuliert es ein Kraftwerk oder eine Trafostation.

### Technische Daten:

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

## AV-Modul 9100-03



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

Mit der Taste rechts oben kann zwischen den 3 Modi Spannungsmessung, Stromstärkemessung und kombinierte Spannungs- und Stromstärkemessung gewechselt werden. Der Messmodus und der Anschluss der Kabel an das Modul werden durch die Schaltsymbole im Display angezeigt. Im Modus der Spannungsmessung ist zu beachten, dass kein Strom zur rechten Buchse fließt. Im kombinierten Modus kann die Spannung sowohl über die rechte als auch die linke Buchse gemessen werden. Der Einfluss des Innenwiderstands der

Stromstärkemessung wird intern kompensiert. Der Messwert ist vorzeichenbehaftet. Liegt der positive Pol an einer der roten und der negative Pol an der schwarzen Buchse an, ergibt die Spannungsmessung ein positives Ergebnis. Fließt der Strom von der linken zur rechten Buchse ist die angezeigte Stromstärke positiv.

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

#### Technische Daten:

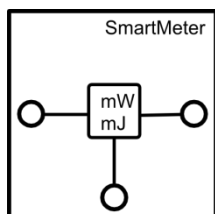
Spannungsmessung:

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

Strommessung:

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

#### **SmartMeter 9100-04**



Das SmartMeter ist ein Leistungsmessgerät und Energiezähler mit Schalterfunktion. In den SmartGrid Versuchen fungiert es als „Stromzähler“.

Das SmartMeter misst immer Stromstärke und Spannung zwischen den Buchsen am Modul, so wie der aufgedruckte Schaltplan es zeigt. Aus den gemessenen Werten werden die Leistung und die durchflossene Energiemenge ab einem bestimmten Zeitpunkt berechnet und beide Werte im Display angezeigt. Der Energiezähler kann jederzeit durch Drücken der „E=0“-Taste auf 0 zurückgesetzt werden.

Mit der „Schaltertaste“ kann jederzeit der Stromfluss unterbrochen werden. Für die Messung gelten die Polaritätsdefinitionen, die durch die Buchsenfarben dargestellt werden (rot ist der Plus- und schwarz der Minuspol). Es werden daher auch negative Leistungen gemessen, die dann zur Reduktion der gezählten Energie führen.

Maximale Stromstärke und Spannungswerte sowie entsprechende Fehlermeldungen und alle Angaben zur Batterieanzeige und zum Batteriewechsel entsprechen denen des AV-Moduls.

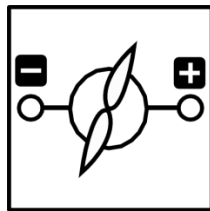
#### Technische Daten:

Strom- und Spannungsmessung entspricht dem AV-Modul

Leistungsmessung 0-12 W

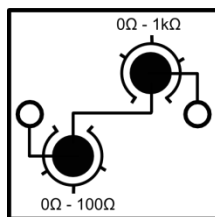
Energiezählung 0-200 mWh

### Motormodul (1100-27) mit gelben Propeller (L2-02-017)



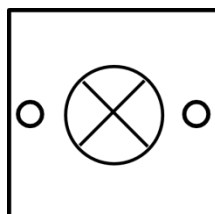
Das Motormodul fungiert als Verbraucher in den SmartGrid-Versuchen.

### Potentiometermodul 1100-23



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

### Glühlampenmodul 1100-26



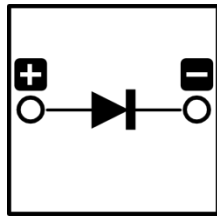
Das Glühlampenmodul fungiert als Verbraucher in den Smart Grid Versuchen.

#### Technische Daten:

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

Absicherung über Spannungsbegrenzung (6V)

## Diodenmodul 1100-21



Das Diodenmodul dient in den SmartGrid-Versuchen dazu, einen Rückstrom zur Windturbine zu verhindern, wodurch der Generator als Motor fungieren würde.

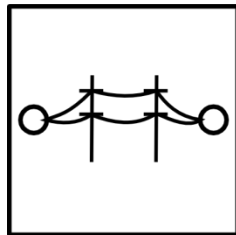
### Technische Daten:

Schottkydiode

$U_{\text{fluss}} = 0,33 \text{ V}$

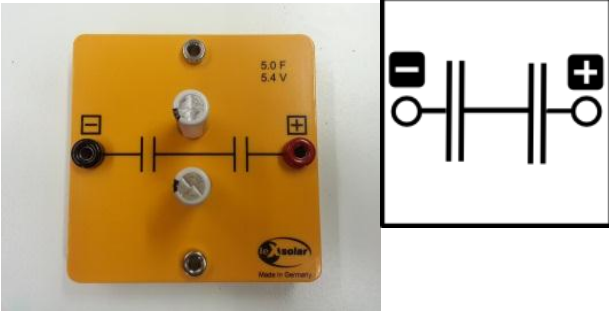
Maximaler Strom: 200 mA (500 mA Peak <1 s)

## Stromnetzmodul 1600-01



Das Stromnetzmodul dient zur Simulation einer Stromleitung.

## Kondensatormodul 1600-02



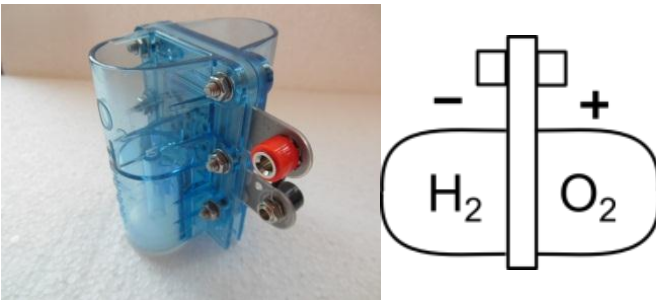
Das Kondensatormodul besteht aus zwei in Reihe geschalteten Kondensatoren. Die maximale Spannung des Kondensatormoduls beträgt 5,4 V. Zum Aufladen sollte keine höhere Spannung als 5 V angelegt werden. Zum Entladen kann der Kondensator kurzgeschlossen werden, da Sicherungen im Modul eine zu hohe Stromstärke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

### Technische Daten:

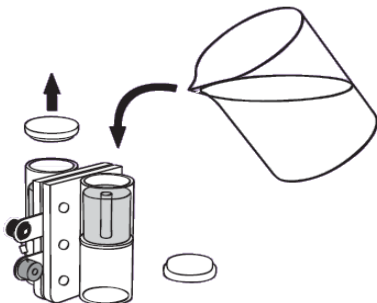
Kapazität: 5 F

Spannung: 5,4 V

## Reversible Brennstoffzelle L2-06-067



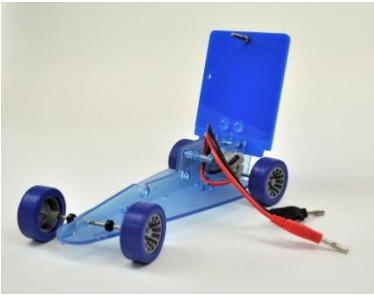
Die reversible Brennstoffzelle besteht aus einem Elektrolyseur und einer Brennstoffzelle. Zum Befüllen der reversiblen Brennstoffzelle sollte folgendermaßen vorgegangen werden:



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

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

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



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

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



1.1 U-I-Kennlinie des Solarmoduls

Aufgabe

Nimm die U-I-Kennlinie des Solarmoduls auf.

Aufbau



Geräte

- Lampe
- Solarmodul
- AV-Modul
- Potentiometer
- Kabel

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Stelle das Potentiometer auf den maximalen Widerstand. Stelle das Solarmodul senkrecht zur Tischplatte und frontal zur Lampe in einem Abstand von 50cm auf, sodass es vollständig beschienen werden kann. Die Lampe soll parallel zur Tischplatte ausgerichtet werden.
2. Versichere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannung am Solarmodul in einer Parallelschaltung gemessen wird.
3. Schalte die Lampe ein und verändere den Widerstand am Potentiometer. Verringere zunächst den 1kΩ-Drehwiderstand und danach den 100Ω-Widerstand. Miss zu jeder Spannung die Stromstärke. Um sinnvolle Messwerte zu erhalten, solltest du einen Messwert immer dann aufnehmen, wenn sich die Stromstärke um etwa 20mA erhöht oder sich die Spannung um etwa 0,5V gegenüber dem vorherigen Messwert verringert hat. Versuche nicht, bestimmte vorgegebene Werte für Spannung oder Stromstärke einzustellen, da dies die Regelgenauigkeit des Potentiometers nicht zulässt.
4. Berechne die Leistung des Solarmoduls für jeden Messpunkt.

Messwerte

|         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| U in V  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I in mA |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| P in mW |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| U in V  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I in mA |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| P in mW |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

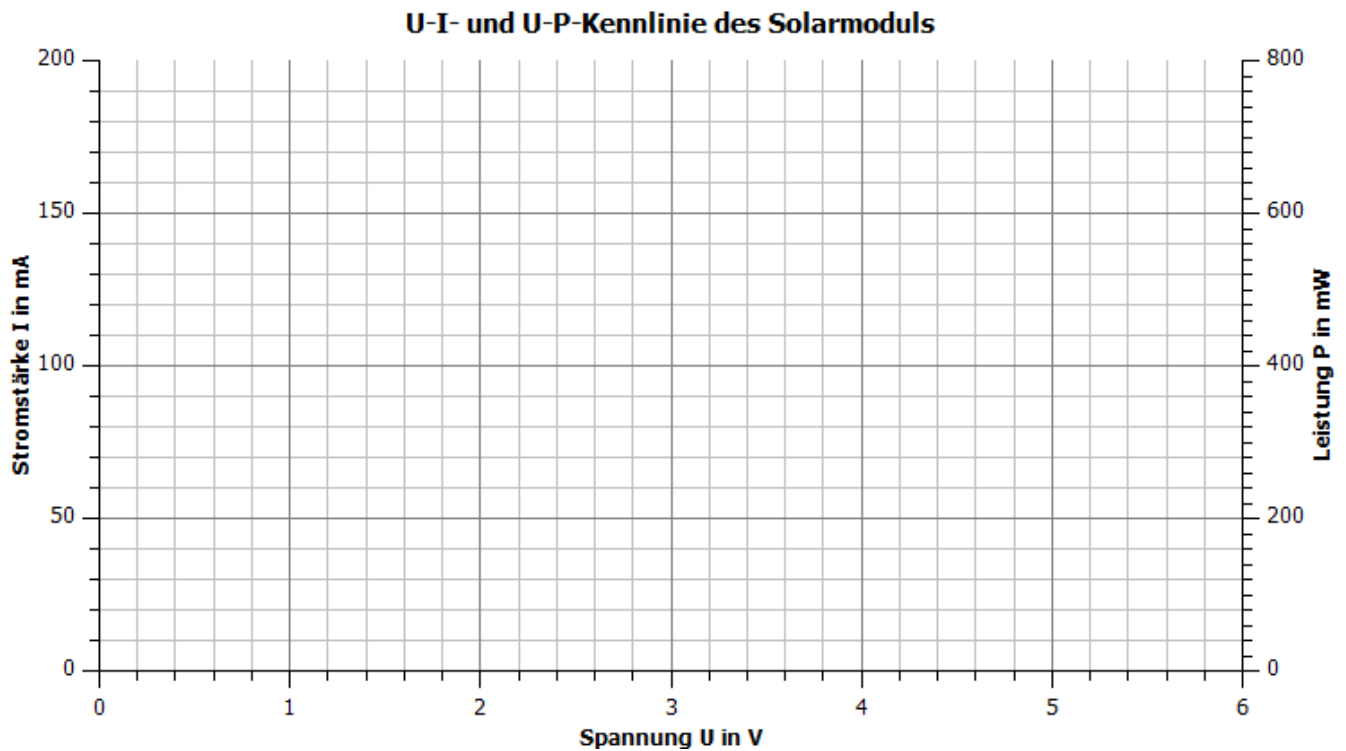




## 1.1 U-I-Kennlinie des Solarmoduls

### Auswertung

1. Trage deine Messwerte in das U-I- und das U-P-Diagramm und zeichne den zugehörigen Graphen.



2. Beschreibe den Verlauf des Graphen

---



---



---



---

3. Zeichne in dein Diagramm die U-I-Kennlinie eines  $10\Omega$ - und  $100\Omega$ -Widerstands. Erläutere die Bedeutung der Schnittpunkte der Solarmodul-Kennlinie mit den jeweiligen Widerstandskennlinien.

---



---



---



---



## 1.1 U-I-Kennlinie des Solarmoduls

4. Bewerte die Spannung und die Leistungsabgabe des Solarmoduls in Hinblick auf das Anschließen eines Verbrauchers.

---

---

---

---

5. Berechne den Widerstand, an dem das Solarmodul die größte Leistung abgibt.

---

---

---

---

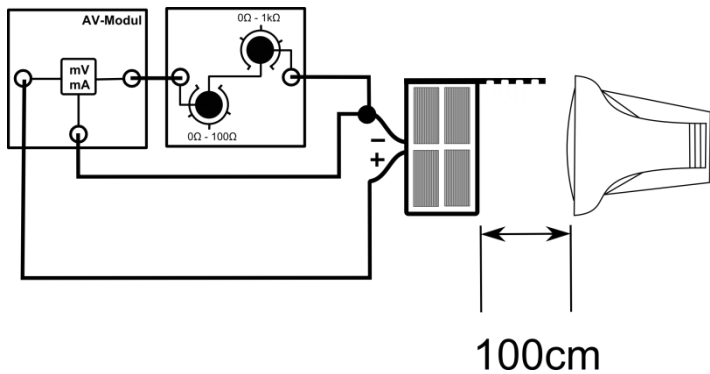


## 1.2 Die I-U Kennlinie des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke

### Aufgabe

Nimm die I-U-Kennlinie unter einer geringen Beleuchtungsstärke als in Experiment 1.1 auf.

### Aufbau



### Geräte

- Lampe
- Azimutwinkelskala
- Solarmodul
- AV-Modul
- Potentiometer
- Kabel

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Stelle das Potentiometer auf den maximalen Widerstand. Stelle das Solarmodul senkrecht zur Tischplatte und frontal zur Lampe in einem Abstand von 100 cm auf, sodass es vollständig beschienen werden kann. Die Lampe soll parallel zur Tischplatte ausgerichtet werden.
2. Versichere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannung am Solarmodul in einer Parallelschaltung gemessen wird.
3. Schalte die Lampe ein und verändere den Widerstand am Potentiometer. Verringere zunächst den 1kΩ-Drehwiderstand und danach den 100Ω-Widerstand. Miss zu jeder Spannung die Stromstärke. Um sinnvolle Messwerte zu erhalten, solltest du einen Messwert immer dann aufnehmen, wenn sich die Stromstärke um etwa 20mA erhöht oder sich die Spannung um etwa 0,5V gegenüber dem vorherigen Messwert verringert hat. Versuche nicht, bestimmte vorgegebene Werte für Spannung oder Stromstärke einzustellen, da dies die Regelgenauigkeit des Potentiometers nicht zulässt.
4. Berechne die Leistung des Solarmoduls für jeden Messpunkt.

### Messwerte

|         |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|
| U in V  |  |  |  |  |  |  |  |
| I in mA |  |  |  |  |  |  |  |
| P in mW |  |  |  |  |  |  |  |

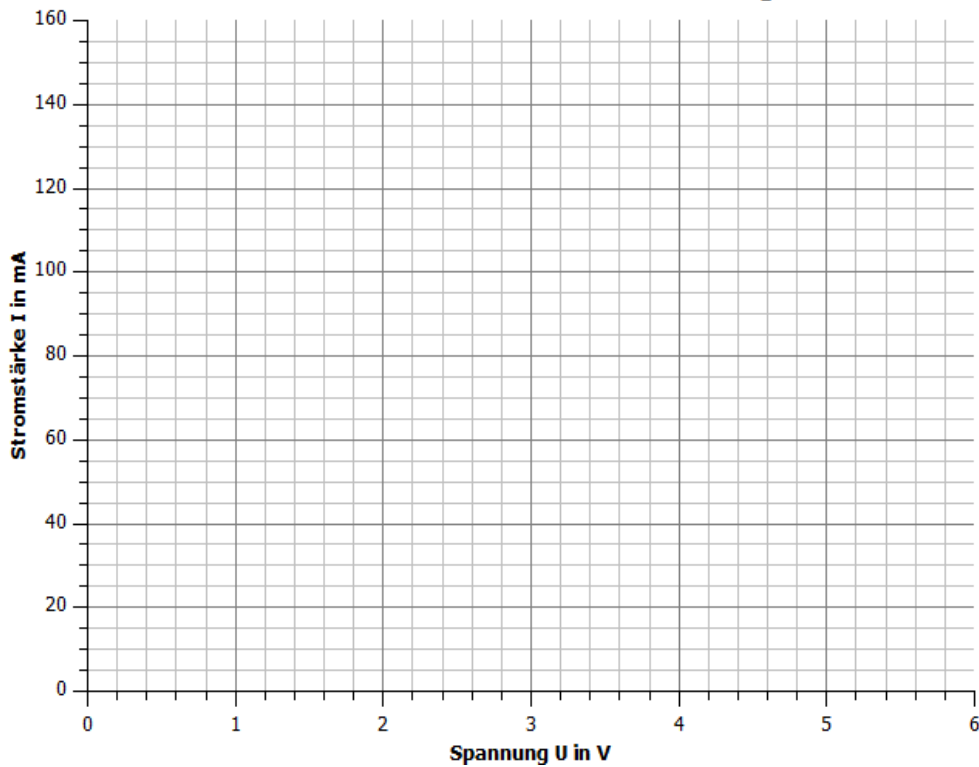
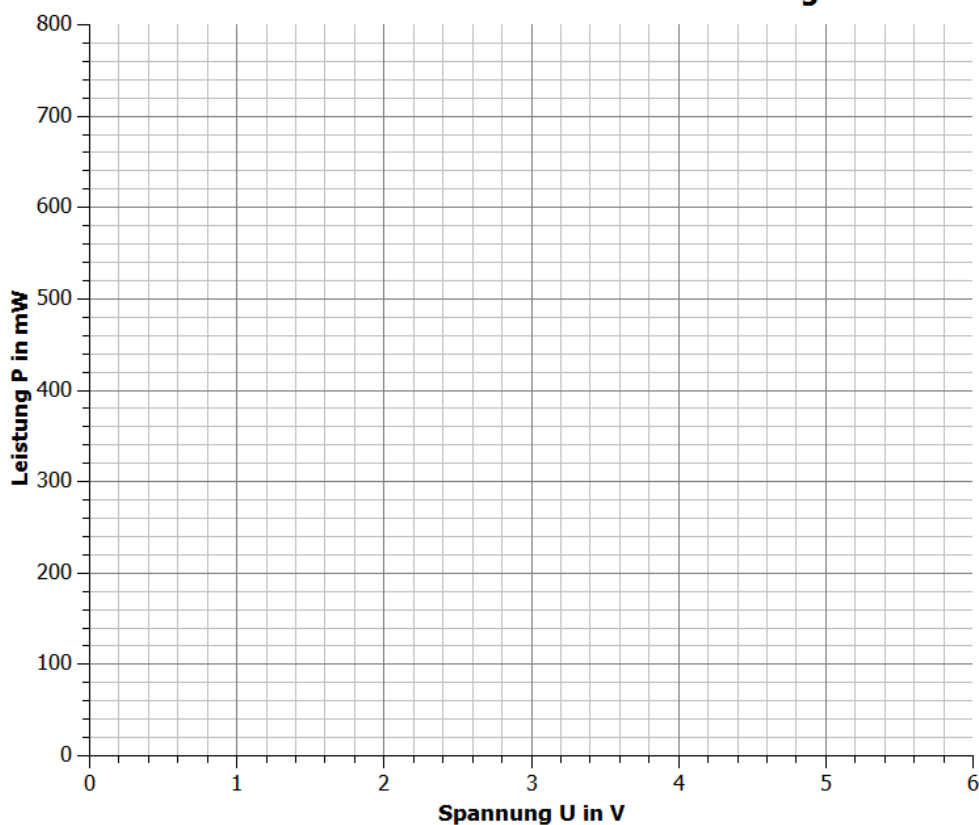
|         |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|
| U in V  |  |  |  |  |  |  |  |
| I in mA |  |  |  |  |  |  |  |
| P in mW |  |  |  |  |  |  |  |



## 1.2 Die I-U Kennlinie des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke

## Auswertung

1. Trage deine Messwerte in das U-I-Diagramm und U-P-Diagramm ein. Ergänze das Diagramm mit deinen Messwerten aus Experiment 1.1.

**U-I-Kennlinie bei verschiedenen Beleuchtungsstärken****U-P-Kennlinie bei verschiedenen Beleuchtungsstärken**



## 1.2 Die I-U Kennlinie des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke

2. Vergleiche die U-I- und U-P-Kennlinien bei unterschiedlichen Beleuchtungsstärken.

---

---

---

---

---

---

---

3. Zeichne in dein U-I-Diagramm die U-I-Kennlinie eines  $10\ \Omega$  und eines  $100\ \Omega$  Widerstands. Erläutere die Spannung, Stromstärke, sowie Leistung des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke und dem Widerstand.

---

---

---

---

---

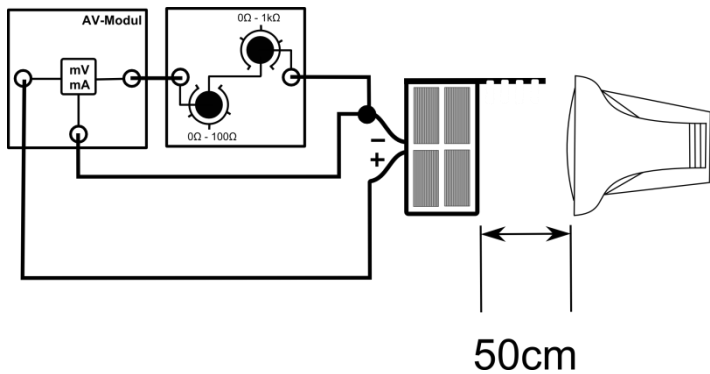


## 1.3 Die I-U Kennlinie des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Temperatur

### Aufgabe

Nimm die I-U-Kennlinie unter einer höheren Temperatur auf.

### Aufbau



### Geräte

- Lampe
- Solarmodul
- AV-Modul
- Potentiometer
- Kabel

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Stelle das Potentiometer auf den maximalen Widerstand und stelle das Solarmodul frontal zur Lampe in einem Abstand von 50 cm auf. Die Lampe sollte parallel zur Tischplatte ausgerichtet sein. Bescheine die Lampe 10min oder falls dieses Experiment direkt nach Experiment 1.1 durchgeführt wird, weitere 5min. Die Temperatur liegt nun etwa bei 50°C.
2. Versichere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannung am Solarmodul in einer Parallelschaltung gemessen wird.
3. Verändere den Widerstand am Potentiometer um verschiedene Spannungen am Solarmodul zu erzeugen. Verringere zunächst den 1kΩ-Drehwiderstand. Miss zu jeder Spannung die Stromstärke. Nimm die Messwerte entsprechend der Vorgehensweise in Experiment 1.1 auf.
4. Berechne für jede Spannung und Stromstärke die Leistung.

### Messwerte

|         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| U in V  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I in mA |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| P in mW |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| U in V  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I in mA |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| P in mW |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

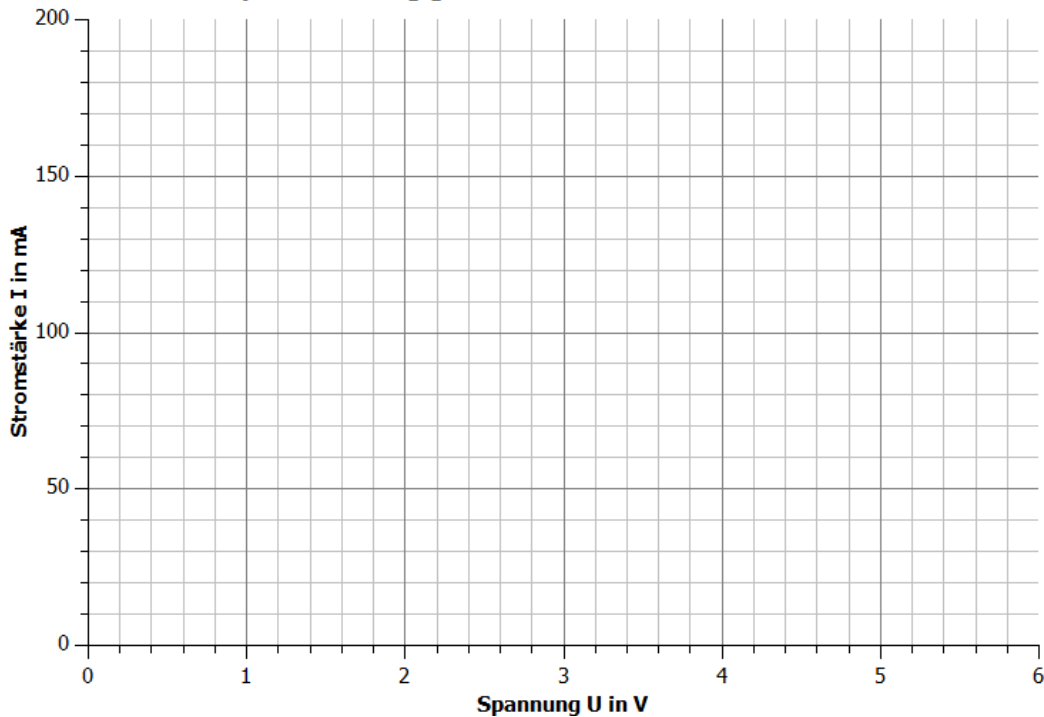


## 1.3 Die I-U Kennlinie des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Temperatur

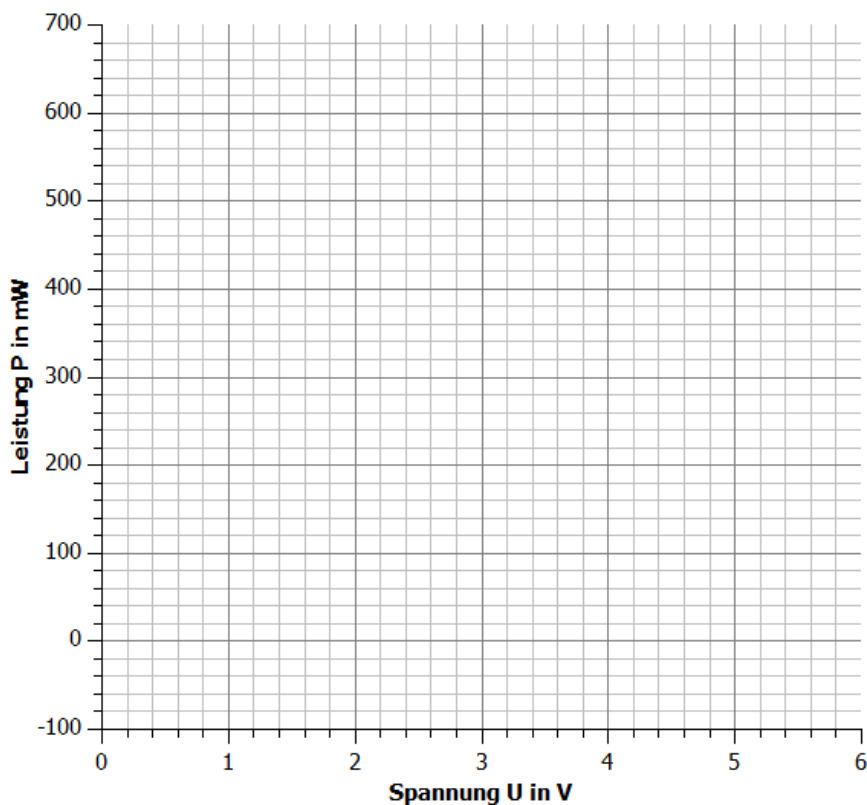
### Auswertung

1. Trage deine Messwerte in das U-I- und U-P- Diagramm. Ergänze deine Messwerte mit den Ergebnissen aus dem Experiment 1.1.

**Temperaturabhängigkeit der I-U-Kennlinie eines Solarmoduls**



**Temperaturabhängigkeit der U-P-Kennlinie eines Solarmoduls**





## 1.3 Die I-U Kennlinie des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Temperatur

2. Vergleiche die U-I-Kennlinien und die U-P-Graphen bei unterschiedlichen Temperaturen.

---

---

---

---

---

---

---

3. Zeichne in dein die U-I-Kennlinie eines  $10\ \Omega$ - und  $100\ \Omega$ -Widerstands. Erläutere den Einfluss der Temperatur auf den MPP und die Leistungsabgabe an einen Widerstand.

---

---

---

---

---





## 2.1 Abhängigkeit der Leistung von der Form der Flügel und dem Anstellwinkel

## Aufgabe

Miss die Spannung und die Stromstärke für verschiedene Anstellwinkel und Rotorblatttypen.

## Vorbemerkung

Falls es zu einer Schwingbewegung des Rotors kommt, sollte er kurzzeitig vom Widerstand getrennt und nach der Stabilisierung wieder angeschlossen werden.

## Aufbau

## Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeuger
- Windgenerator
- Optimiertes und flaches Flügelprofil
- 3-Blatt-Rotor mit 20°, 25° 30° 50° und 90°
- AV-Modul
- Powermodul 12V
- Potentiometermodul
- Kabel

## Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Baue einen Rotor mit 3 Flügeln und einem Anstellwinkel der Blätter von  $\alpha = 20^\circ$  auf und stecke ihn auf den Windgenerator. Stelle das Potentiometer auf  $40\Omega$ .
3. Versichere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannung am Potentiometer in einer Parallelschaltung gemessen wird.
4. Schalte den Winderzeuger mit einer Spannung von 12V ein und miss die Spannung und die Stromstärke am Potentiometermodul. Erfasse die Messwerte in der Tabelle.
5. Wiederhole die Messung für alle anderen angegebenen Rotorblattanstellwinkel und das flache Profil.
6. Berechne aus den Messwerten die Leistung des Windgenerators.



## 2.1 Abhängigkeit der Leistung von der Form der Flügel und dem Anstellwinkel

### Messwerte

optimiertes Profil:

| $\alpha / ^\circ$ | 20 | 25 | 30 | 50 | 90 |
|-------------------|----|----|----|----|----|
| U in V            |    |    |    |    |    |
| I in mA           |    |    |    |    |    |
| P in mW           |    |    |    |    |    |

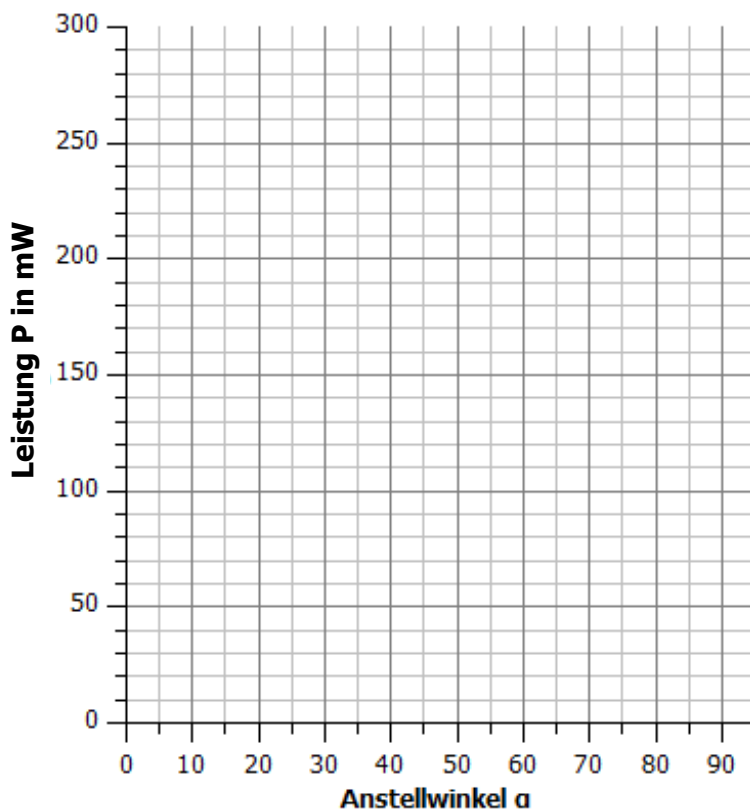
flaches Profil:

| $\alpha / ^\circ$ | 20 | 25 | 30 | 50 | 90 |
|-------------------|----|----|----|----|----|
| U in V            |    |    |    |    |    |
| I in mA           |    |    |    |    |    |
| P in mW           |    |    |    |    |    |

### Auswertung

- Trage die berechnete Leistung in Abhängigkeit vom Anstellwinkel  $\alpha$  jeweils für das optimierte und das flache Profil ab.

#### Abhängigkeit der Leistung vom Anstellwinkel für verschiedene Profile





## 2.1 Abhängigkeit der Leistung von der Form der Flügel und dem Anstellwinkel

2. Beschreibe den Zusammenhang zwischen Profilform, Anstellwinkel und Leistung der leXsolar-Windkraftanlage.

---

---

---

---

---

3. Erläutere die Ursachen für die Leistungsunterschiede.

---

---

---

---

---

4. Erläutere die Bedeutung des Anstellwinkels für die Verwendung in realen Windkraftanlagen.

---

---

---

---

## 2.2 Abhängigkeit der Leistung von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren

### Aufgabe

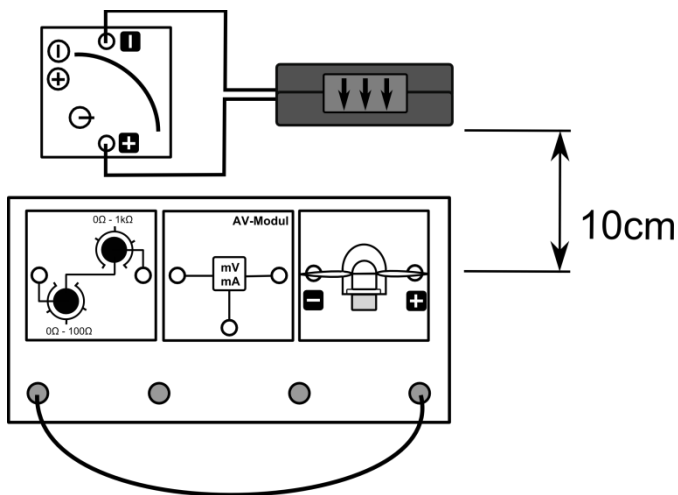
Miss die Spannung und die Stromstärke für 2-, 3- und 4-Blattrotoren.

### Vorbemerkung

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

Falls es zu einer Schwingbewegung des Rotors kommt, sollte er kurzzeitig vom Widerstand getrennt werden (entfernen des Kabels) und nach der Stabilisierung wieder angeschlossen werden.

### Aufbau



### Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeuger
- Windgenerator
- Optimiertes Flügelprofil 25° 2-, 3-, 4-Flügler
- AV-Modul
- Powermodul
- Potentiometer
- Kabel

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Stecke den Zweiblattrotor auf den Windgenerator, stelle einen Abstand von 10 cm zwischen Rotor und Winderzeuger ein. Stelle das Potentiometermodul auf 40Ω.
2. Versichere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannung am Potentiometer in einer Parallelschaltung gemessen wird.
3. Schließe die in der Tabelle vorgegebenen Spannungen an den Winderzeuger an. Beginne mit der höchsten. Miss die vom Windgenerator erzeugte Spannung und Stromstärke am Potentiometermodul für die weiteren Spannungen am Winderzeuger. Trage deine Werte in die Tabelle ein.
4. Wiederhole deine Messung mit dem Dreiblatt- und dem Vierblattrotor.



## 2.2 Abhängigkeit der Leistung von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren

## Messwerte

Zweiblattrotor:

|                       |     |     |     |     |     |    |     |    |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|
| $U_{\text{POW}}$ in V | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10 | 11  | 12 |
| $v$ in m/s            | 3,4 | 4,3 | 5,1 | 5,8 | 6,4 | 7  | 7,5 | 8  |
| U in V                |     |     |     |     |     |    |     |    |
| I in mA               |     |     |     |     |     |    |     |    |
| P in mW               |     |     |     |     |     |    |     |    |

Dreiblattrotor:

|                       |     |     |     |     |     |    |     |    |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|
| $U_{\text{POW}}$ in V | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10 | 11  | 12 |
| $v$ in m/s            | 3,4 | 4,3 | 5,1 | 5,8 | 6,4 | 7  | 7,5 | 8  |
| U in V                |     |     |     |     |     |    |     |    |
| I in mA               |     |     |     |     |     |    |     |    |
| P in mW               |     |     |     |     |     |    |     |    |

Vierblattrotor:

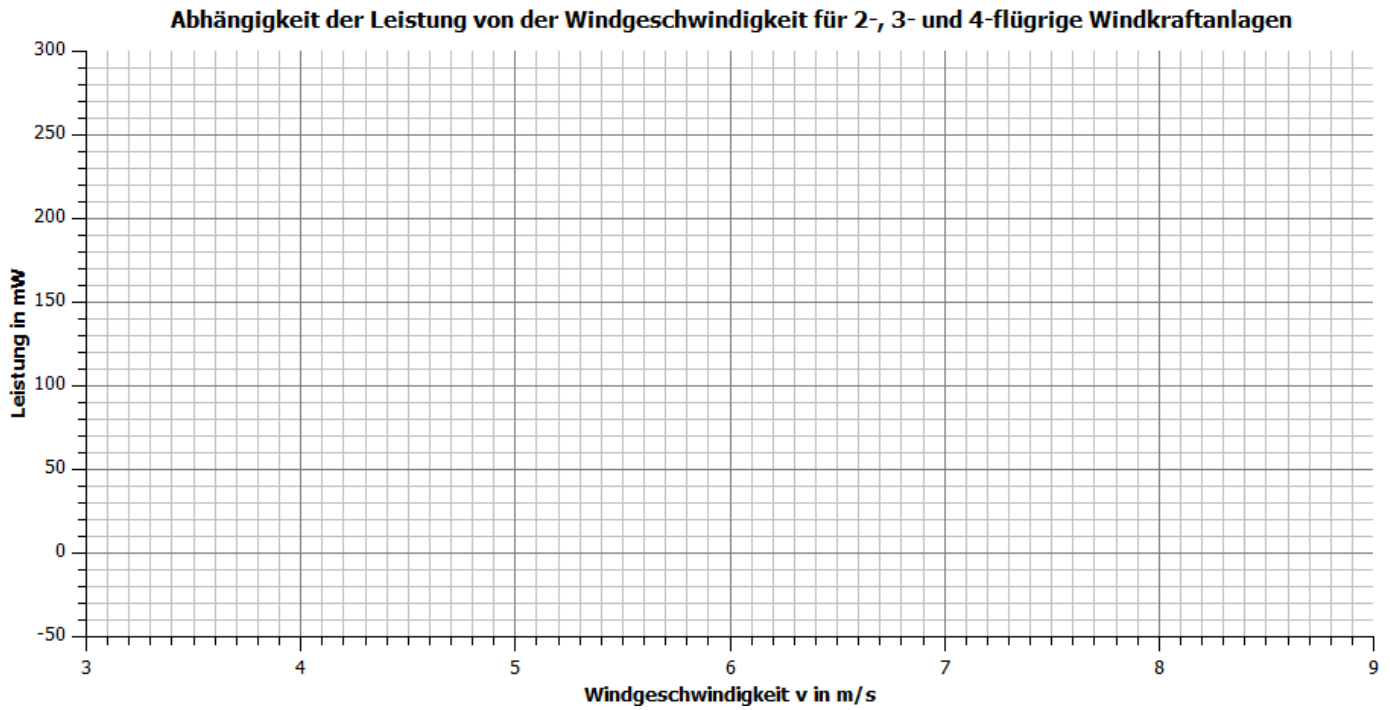
|                       |     |     |     |     |     |    |     |    |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|
| $U_{\text{POW}}$ in V | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10 | 11  | 12 |
| $v$ in m/s            | 3,4 | 4,3 | 5,1 | 5,8 | 6,4 | 7  | 7,5 | 8  |
| U in V                |     |     |     |     |     |    |     |    |
| I in mA               |     |     |     |     |     |    |     |    |
| P in mW               |     |     |     |     |     |    |     |    |



## 2.2 Abhängigkeit der Leistung von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren

### Auswertung

1. Trage deine Messwerte in das Windgeschwindigkeit-Leistung-Diagramm ein.



2. Beschreibe den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Flügel, der Windgeschwindigkeit und der Leistung der leXsolar-Windkraftanlage.

---



---



---



---



---



---

3. Erläutere, weshalb in der Realität 3-flügelige Windkraftanlagen den beiden anderen Typen bevorzugt werden

---



---



---



---



---



---

## 2.3 Abhängigkeit der Leistung von der Windrichtung

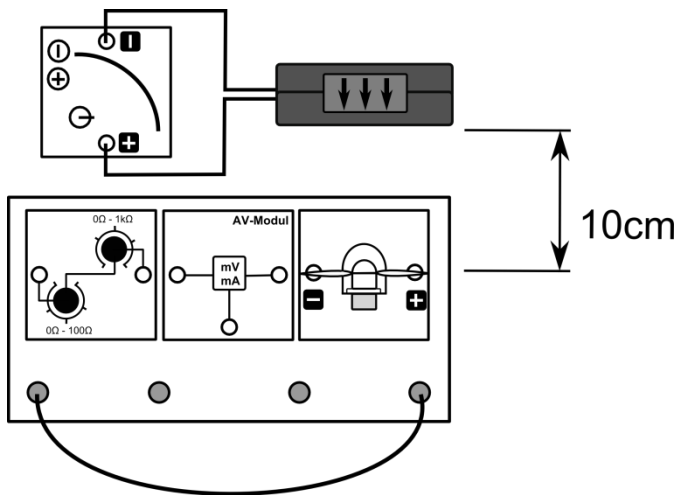
### Aufgabe

Miss die Spannung und die Stromstärke für verschiedene Windrichtungen.

### Vorbemerkung

Die Windkraftanlage darf während der Versuche aufgrund von Verletzungsgefahren nicht angefasst werden.

### Aufbau



### Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeuger
- Windgenerator
- Optimiertes Flügelprofil 25° 4-Flügler
- AV-Modul
- Powermodul
- Potentiometer
- Kabel

### Durchführung

1. Stelle die Windkraftanlage im Abstand von 10cm zum Winderzeuger und richte sie zu Beginn mit einem Drehwinkel von  $0^\circ$  zum Winderzeuger aus. Stelle das Potentiometermodul auf  $40\Omega$ .
2. Versichere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannung am Generator in einer Parallelschaltung gemessen wird.
3. Schalte den Winderzeuger über das Stromversorgungsgerät bei einer Spannung von 12V ein und miss die Spannung und die Stromstärke am Generator. Trage deine Messwerte in die Tabelle ein und schalte die Stromversorgung wieder ab.
4. Drehen nun den Windgenerator um  $10^\circ$ . Wiederhole die Messung mit den entsprechenden Winkeleinstellungen und trage sämtliche Messwerte in die Tabelle ein.
5. Berechne die Leistung zu jeder Spannung und Stromstärke.

### Messwerte

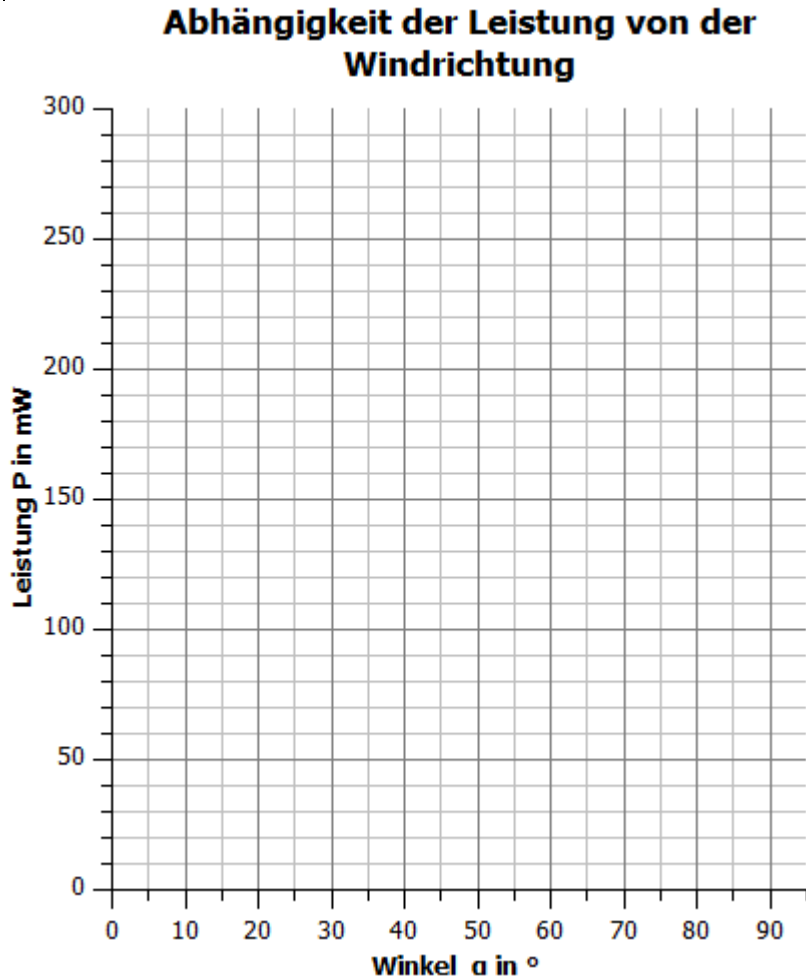
| $\alpha$ in $^\circ$ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|----------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| U in V               |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| I in mA              |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| P in mW              |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |



## 2.3 Abhängigkeit der Leistung von der Windrichtung

### Auswertung

1. Trage die Messwertpaare in die Diagramme ein.



2. Beschreibe den Zusammenhang zwischen Leistung und Winkel der leXsolar-Windkraftanlage.

---

---

---

---

---

---

---

3. Erläutere Konsequenzen, die in der Realität gezogen wurden, um die Leistung zu maximieren.

---

---

---

---

---





## 2.3 Abhängigkeit der Leistung von der Windrichtung

4. Erläutere, ob die Leistung unabhängig davon ist, ob der Wind von vorne oder hinten weht. Informiere dich über weitere Vor- und Nachteile von Luv- (Wind weht von vorne) und Leeläufern (Wind weht von hinten)

---

---

---

---

---

---

---



## 3.1 U-I-Kennlinie eines Elektrolyseurs

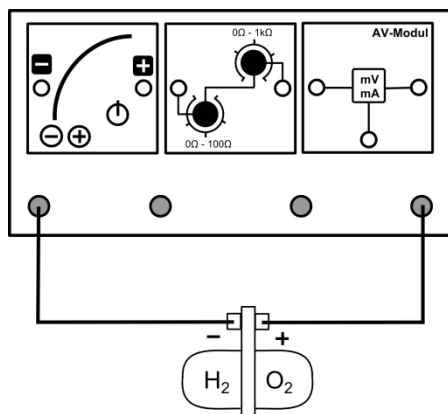
## Aufgabe

Nimm die U-I-Kennlinie des Elektrolyseurs in der reversiblen Brennstoffzelle auf.

## Vorbemerkung

Die reversible Brennstoffzelle besteht aus einem Elektrolyseur und einer Brennstoffzelle. Beim Aufladen wandelt der Elektrolyseur unter Zufuhr von elektrischer Energie Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff um. Die Brennstoffzelle betreibt den umgekehrten Prozess und kann damit eine elektrische Leistung bereitstellen.

## Aufbau



## Geräte

- Grundeinheit
- PowerModul
- AV-Modul
- Reversible Brennstoffzelle
- Potentiometermodul
- Kabel

## Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Fülle die reversible Brennstoffzelle entsprechend der Anleitung in der Beschreibung der Einzelteile mit destilliertem Wasser.
2. Versichere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannung über der reversiblen Brennstoffzelle in einer Parallelschaltung gemessen wird.
3. Stelle die Spannung am PowerModul auf 0,5V und das Potentiometer auf den niedrigsten Widerstand. Miss die Spannung und die Stromstärke, wenn sich die Werte nicht mehr ändern. Erhöhe die Spannung am PowerModul in 0,5V-Schritten und wiederhole die Messung. Erhöhe die Spannung solange schrittweise, bis der Elektrolyseur erstmals dauerhaft Energie aufnimmt.
4. Behalten die PowerModulspannung bei und erhöhe den Widerstand des Potentiometers auf 100Ω, sodass die Spannung an der reversiblen Brennstoffzelle wieder sinkt. Verringere den Widerstand wieder schrittweise, sodass die Spannung am Elektrolyseur in 0,01V-Schritten steigt. Notiere dir für jeden Schritt die Spannung und die Stromstärke. Beende die Messung, sobald die Stromstärke innerhalb des Potentiometermoduls 150mA erreicht. (Hinweis: Um die Spannung optimal einzustellen, ist es manchmal hilfreich die Spannung um 0,5V am PowerModul zu erhöhen. Beim Wechsel sollte der Widerstand mindestens 20Ω betragen, da sonst zu hohe Stromstärken auftreten können).
5. Berechne aus den Messwerten die aufgenommene Leistung des Elektrolyseurs.



## 3.1 U-I-Kennlinie eines Elektrolyseurs

## Messwerte

|         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| U in V  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I in mA |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| P in mW |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| U in V  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I in mA |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| P in mW |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| U in V  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I in mA |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| P in mW |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



## 3.1 U-I-Kennlinie eines Elektrolyseurs

### Auswertung

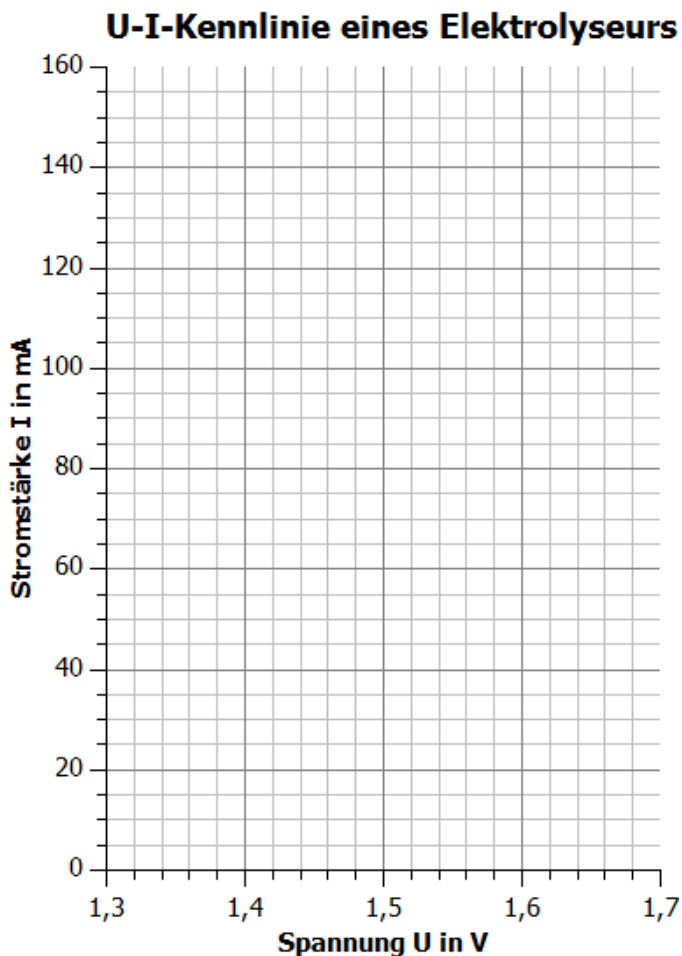
1. Benenne Messunsicherheiten während des Experiments.

---



---

2. Trage deine Messwerte im Intervall [1,3V ; 1,7V] in das U-I-Diagramm ein.



3. Beschreibe den Zusammenhang zwischen angelegter Spannung und Stromstärke eines Elektrolyseurs.

---



---



---

4. Interpretiere die Messwerte in Bezug auf die Bedeutung des Aufladeverhaltens. (Hinweis: Der Elektrolyseur stellt bei größeren Leistungen mehr Wasserstoff und Sauerstoff pro Zeiteinheit her).

---



---



---



---



## 3.2 Verhalten der Spannung und Stromstärke während des Ladevorgangs eines Elektrolyseurs

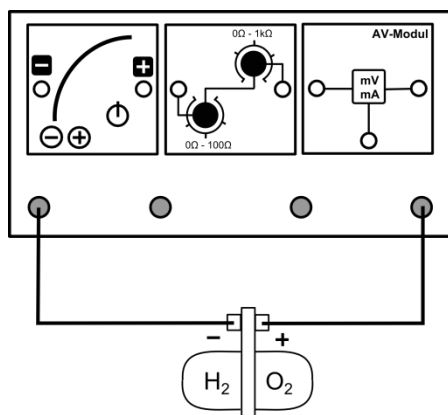
### Aufgabe

Nimm den zeitlichen Verlauf der Spannung und der Stromstärke eines Elektrolyseurs auf.

### Vorbemerkungen

Die Füllwiderstandsanzeige besitzt eine große Ausdehnung, Die Anzeige ist erreicht, wenn der Abstand der oberen und der unteren Wasserlinie zur Mitte der Markierung gleich ist.

### Aufbau



### Geräte

- Grundeinheit
- PowerModul
- AV-Modul
- Reversible Brennstoffzelle
- Potentiometermodul
- Kabel
- Uhr

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Fülle die reversible Brennstoffzelle entsprechend den Anweisungen in der Einzelteilbeschreibung destilliertem Wasser. Stelle das PowerModul auf 2V und das Potentiometer auf den niedrigsten Widerstand.
2. Versichere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannung über der reversiblen Brennstoffzelle in einer Parallelschaltung gemessen wird.
3. Schalte das PowerModul ein. Beobachte die Spannung und die Stromstärke während des gesamten Versuchs. Miss die beiden Größen zu den gegebenen Zeitpunkten bis 5ml Wasserstoff hergestellt wurden. Notiere die Dauer des Versuchs.

### Messwerte

|         |    |    |    |     |     |     |     |     |     |
|---------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| t in s  | 10 | 30 | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 420 |
| U in V  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |
| I in mA |    |    |    |     |     |     |     |     |     |

Zeit bis 5 ml Wasserstoff hergestellt wurden:



## 3.2 Verhalten der Spannung und Stromstärke während des Ladevorgangs eines Elektrolyseurs

### Auswertung

1. Beschreibe das Verhalten von Spannung und Stromstärke während des Versuchs.

---

---

---

---

2. Beschreibe das Verhalten des Elektrolyseurs als Verbraucher.

---

---

---

---

3. Bestimme die maximale Energiemenge, die der Elektrolyseur in Form von Wasserstoff speichern kann (der Elektrolyseur hat einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 80 %).

---

---

---

---

---

---

---

---



### 3.3 I-U-Kennlinie einer Brennstoffzelle

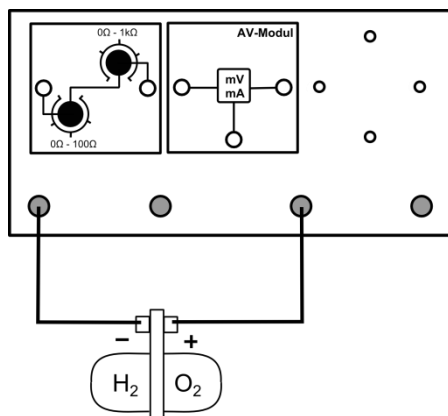
#### Aufgabe

Nimm die I-U-Kennlinie einer Brennstoffzelle auf.

#### Vorbemerkungen

Führe den Versuch zügig durch, damit du mit einer Tankfülle möglichst viele Messwerte aufnehmen kannst.

#### Aufbau



#### Geräte

- Grundeinheit
- AV-Modul
- Reversible Brennstoffzelle
- Potentiometermodul
- Kabel

#### Durchführung

1. Betreibe die reversible Brennstoffzelle zunächst im Elektrolyseurbetrieb (siehe Versuchsaufbau 3.1 und 3.2) und erzeuge mindestens 5ml Wasserstoff. Baue den Versuch anschließend entsprechend der Versuchsanordnung auf. Stelle das Potentiometermodul auf den maximalen Widerstand.
2. Versichere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannung über der reversiblen Brennstoffzelle in einer Parallelschaltung gemessen wird.
3. Miss für verschiedene Stromstärken die Spannung der Brennstoffzelle. Drehe zunächst den 1kΩ Widerstand am Potentiometer auf 0Ω und danach den 100Ω-Widerstand, um bestimmte Stromstärken einzustellen. Die Schrittweite sollte bei mindestens bei 10mA liegen. Versuche nicht, bestimmte vorgegebene Stromstärkewerte einzustellen, da die Regelgenauigkeit des Potentiometers dies nicht zulässt. Führe die Messung bis zu einer maximalen Stromstärke von 150mA durch.
4. Berechne die Leistung der Brennstoffzelle für die einzelnen Messwerte.



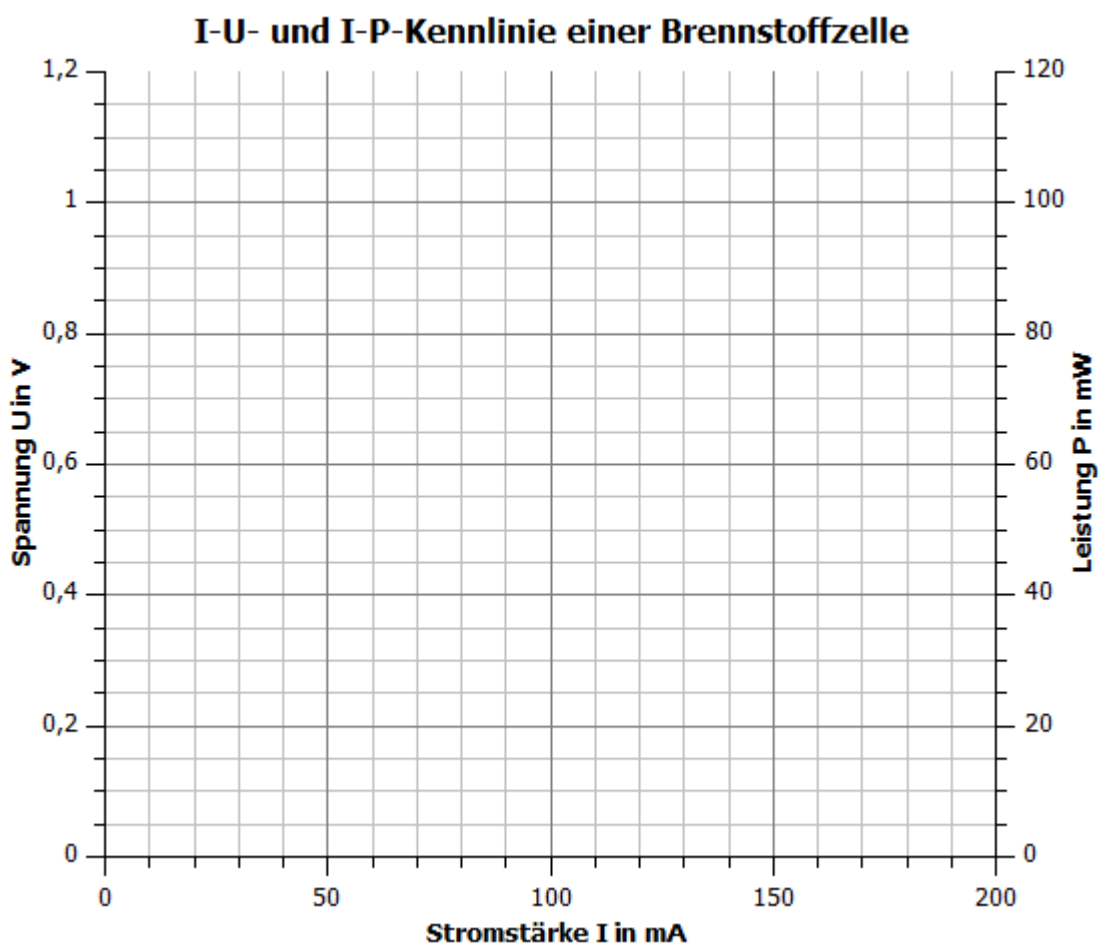
### 3.3 I-U-Kennlinie einer Brennstoffzelle

#### Messwerte

|         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| I in mA |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| U in V  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| P in mW |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

#### Auswertung

1. Trage deine Messwerte in das I-U- und das I-P-Diagramm ein.



2. Beschreibe den Verlauf der Messpunkte

---



---



---



---





### 3.3 I-U-Kennlinie einer Brennstoffzelle

3. Benenne Konsequenzen für die Nutzung einer einfachen Brennstoffzelle als Energieerzeuger.

---

---

---

---

## 3.4 Verhalten der Spannung und Stromstärke während des Entladevorgangs einer Brennstoffzelle

### Aufgabe

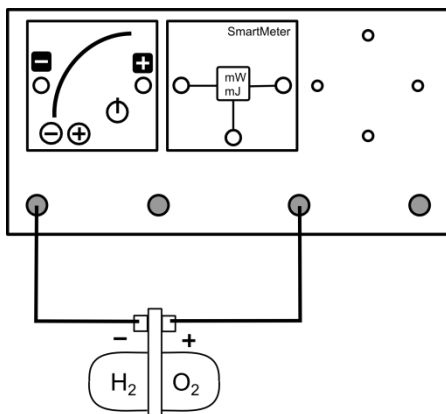
Nimm die t-U und t-I-Kennlinie einer Brennstoffzelle auf.

### Geräte

- Grundeinheit
- PowerModul
- SmartMeter
- AV-Modul
- Reversible Brennstoffzelle
- Potentiometermodul  $20\ \Omega$
- Kabel

### Aufbau

#### Aufladen



#### Entladen



### Durchführung

1. Baue den Versuch zum Aufladen der reversiblen Brennstoffzelle entsprechend der Versuchsaufbaus auf. Stelle das PowerModul auf 1,5V. Setze die Energieanzeige am Smartmeter auf 0Ws zurück.
2. Versichere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannungsmessung des SmartMeters an der reversiblen Brennstoffzelle in einer Parallelschaltung erfolgt.
3. Schalte das PowerModul ein und erzeuge 5ml Wasserstoff. Öffne den Schalter am Smartmeter und schalte das PowerModul aus. Halte den Messwert der zugeführten Energie fest.
4. Baue den Versuch zum Entladen entsprechend der Versuchsanordnung auf. Drehe das Potentiometer auf einen Widerstand von  $20\ \Omega$ . Stelle die Energieanzeige auf dem SmartMeter wieder auf null.
5. SchlieÙe den Schalter am SmartMeter, starte die Zeitmessung und miss für 3 Minuten die Stromstärke und die Spannung der Brennstoffzelle zu den gegebenen Zeitpunkten. Halte deine Messwerte in der Tabelle fest.



### 3.4 Verhalten der Spannung und Stromstärke während des Entladevorgangs der Brennstoffzelle

6. Nimm das Potentiometer aus dem Stromkreis, indem du das linke Kabel in den rechten Steckplatz steckst und wartest bis die Brennstoffzelle keine Energie mehr abgibt. Notiere die Gesamtenergie, die von der Brennstoffzelle abgegeben wurde.

#### Messwerte

Die zugeführte Energie beträgt:  $E_{in} =$

|         |    |    |    |     |     |
|---------|----|----|----|-----|-----|
| t in s  | 10 | 30 | 60 | 120 | 180 |
| I in mA |    |    |    |     |     |
| U in V  |    |    |    |     |     |

Die abgegebene Energie beträgt:  $E_{ab} =$

#### Auswertung

1. Beschreibe den Verlauf der Messpunkte.

---



---



---



---

2. Benenne Konsequenzen für den dauerhaften Betrieb von Verbrauchern mit Brennstoffzellen.

---



---



---



---

3. Berechne den Gesamtwirkungsgrad der reversiblen Brennstoffzelle und den Wirkungsgrad der Brennstoffzelle allein (der Wirkungsgrad des Elektrolyseurs beträgt 80 %).

---



---



---



---

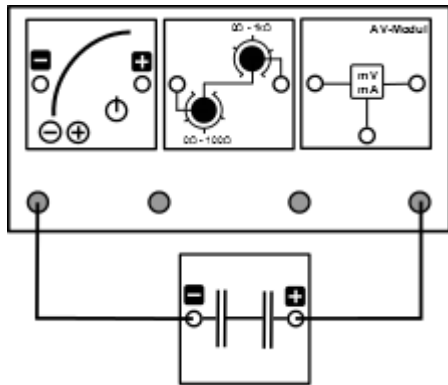


## 3.5 t-U- und t-I-Kennlinie eines Kondensators beim Aufladen

### Aufgabe

Nimm die t-U- und die t-I-Kennlinie eines 5,4V-5F-Doppelschichtkondensators während des Ladevorgangs auf.

### Aufbau



### Geräte

- Grundeinheit
- PowerModul
- AV-Modul
- Potentiometer
- Kondensatormodul
- Uhr
- Kabel

### Durchführung

1. Entlade den Kondensator vor dem Versuch in dem du ihn kurzschließt. Die Spannung im Kondensator sollte weniger als 0,15V betragen.
2. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Stelle das Potentiometer auf einen Widerstand von  $40\Omega$  und das Powermodul auf 5,5V.
3. Versichere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannung über dem Kondensator in einer Parallelschaltung gemessen wird.
4. Schalte das Powermodul ein und beginne mit der Zeitmessung. Miss zu den gegebenen Zeitpunkten die Spannung am Kondensator und die Stromstärke, die in ihn hineinfließt.

### Messwerte

| t in s        | 5 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 |
|---------------|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| U in V        |   |    |    |    |     |     |     |     |
| I in mA       |   |    |    |    |     |     |     |     |
| R in $\Omega$ |   |    |    |    |     |     |     |     |

| t in s        | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 | 390 | 420 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| U in V        |     |     |     |     |     |     |     |
| I in mA       |     |     |     |     |     |     |     |
| R in $\Omega$ |     |     |     |     |     |     |     |

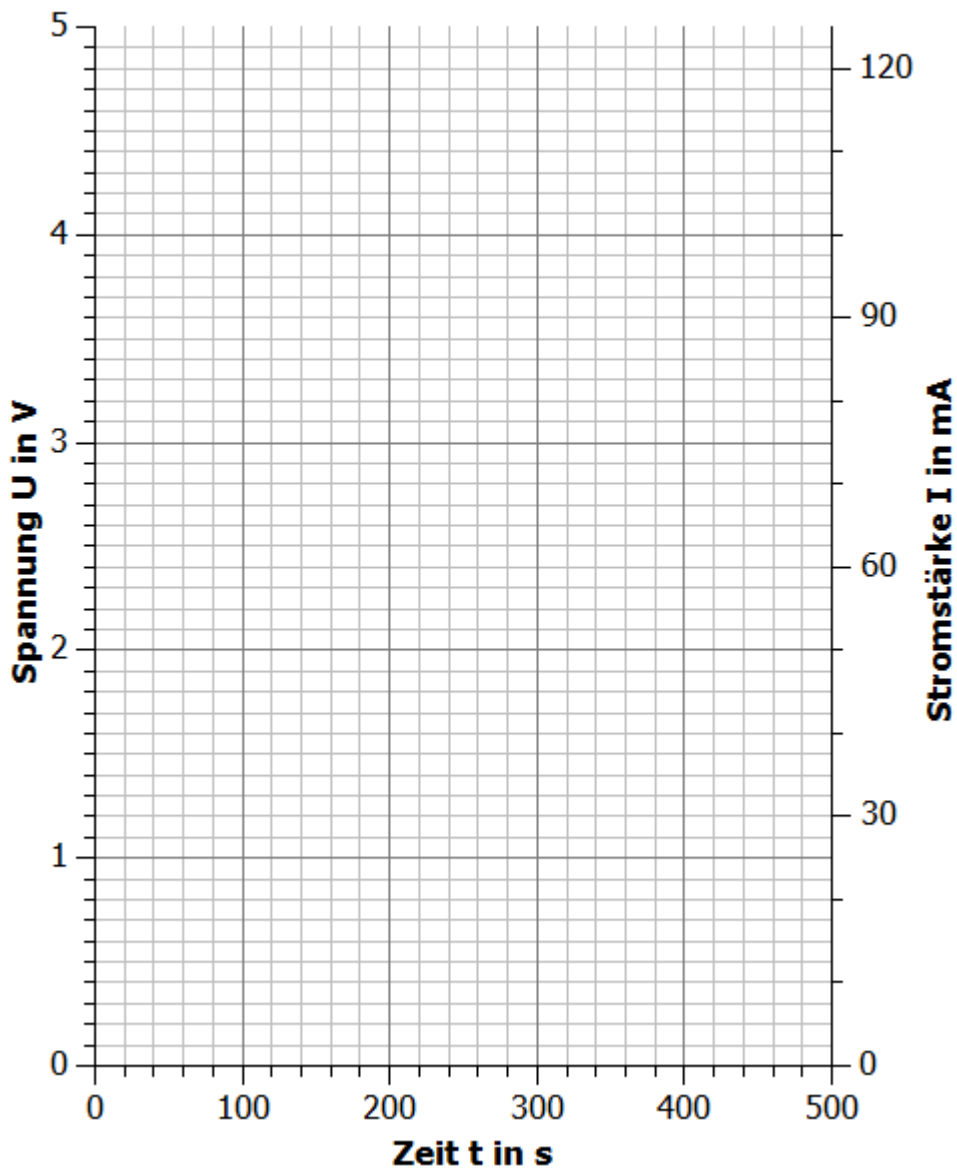


## 3.5 t-U- und t-I-Kennlinie eines Kondensators beim Aufladen

## Auswertung

1. Trage deine Messwerte in das t-U- und das t-I-Diagramm ein.

### t-U- und t-I-Kennlinie eines Kondensators



x



### 3.5 t-U- und t-I-Kennlinie eines Kondensators beim Aufladen

2. Beschreibe den Verlauf des Zeit-Spannungs- und des Zeit-Stromstärke-Graphen. Erkläre diesen Verlauf und vermute und begründe, welchen Werten sich die Spannung und die Stromstärke immer weiter annähern.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3. Berechne zu den verschiedenen Zeitpunkten den Widerstand des Kondensators. Beschreibe anhand der Widerstandswerte das Verhalten eines Kondensators als Verbraucher, wenn er sich ohne Vorwiderstand in einen Stromkreis befindet.

---

---

---

---

---

---

---

---

4. Vergleiche dieses Verhalten mit dem eines Elektrolyseurs. Nutze hierzu deiner Messwerte aus Experiment 3.2.

---

---

---

---



## 3.6 t-U- und t-I-Kennlinie eines Kondensators beim Entladen

### Aufgabe

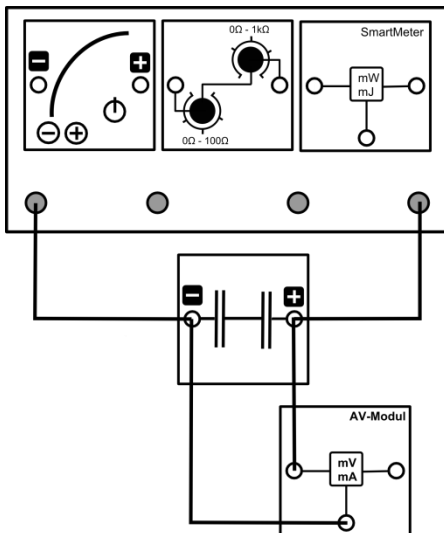
Nimm die t-U- und die t-I-Kennlinie eines 5,4V-5F-Doppelschichtkondensators während des Entladevorgangs auf.

### Geräte

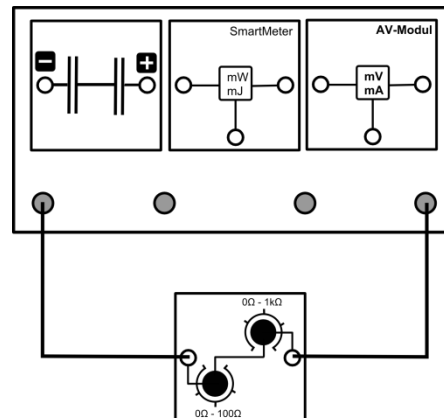
- Grundeinheit
- PowerModul
- AV-Modul
- SmartMeter
- Potentiometer
- Kondensatormodul
- Uhr
- Kabel

### Aufbau

#### Aufladen



#### Entladen





### 3.6 t-U- und t-I-Kennlinie eines Kondensators beim Entladen

#### Durchführung

1. Baue zum Aufladen den Versuch entsprechend der Versuchsanleitung auf. Stelle das Potentiometer auf einen Widerstand von  $40\Omega$  und das PowerModul auf eine Spannung von 5,5V.
2. Schalte das PowerModul ein und lade den Kondensator auf eine Spannung von 4V. Trenne die Kabel vom Kondensator sobald die Spannung von 4V erreicht ist. Halte den Messwert der eingespeisten Energie fest.
3. Baue zum Entladen den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. SchlieÙe noch nicht das Kabel an die Grundeinheit an. Setze den Energiewert am SmartMeter wieder auf 0Ws.
4. Versichere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannungsmessung des SmartMeters an dem Kondensator in einer Parallelschaltung erfolgt.
5. SchlieÙe nun das Kabel an die Grundeinheit an und beginne mit der Zeitmessung. Miss zu den gegebenen Zeitpunkten die Spannung am Kondensator und die Stromstärke, die er abgibt. Halte die abgegebene Energie des Kondensators fest.

#### Messwerte

Die zugeführte Energie beträgt  $E_{in} =$

|         |   |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |
|---------|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| t in s  | 5 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |
| U in V  |   |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |
| I in mA |   |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |
| P in mW |   |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |

|         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| t in s  | 330 | 360 | 390 | 420 | 450 | 480 | 510 | 540 | 570 | 600 |
| U in V  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| I in mA |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| P in mW |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Die abgegebene Energie beträgt  $E_{ab} =$



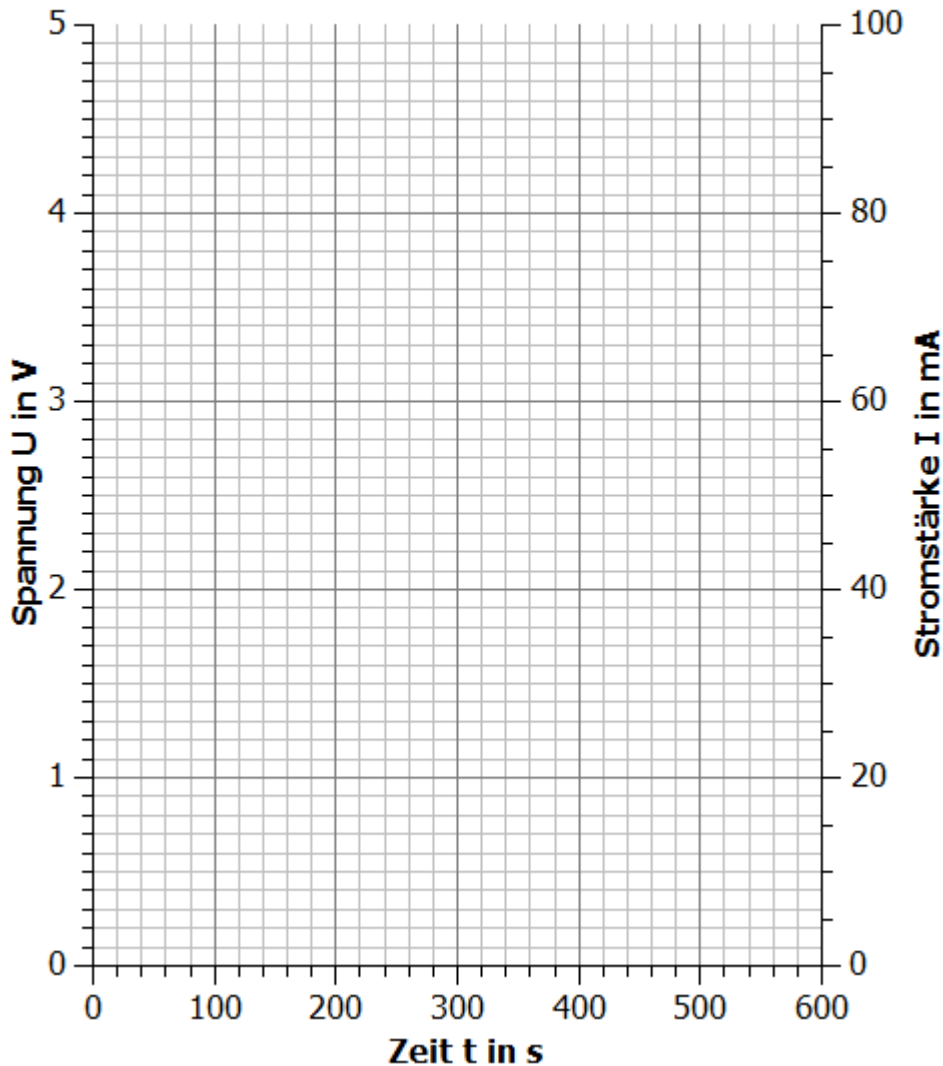


## 3.6 t-U- und t-I-Kennlinie eines Kondensators beim Entladen

## Auswertung

1. Trage deine Messwerte in das t-U- und das t-I-Diagramm ein.

### t-U- und t-I-Kennlinie eines Kondensators beim Entladen



2. Beschreibe den Verlauf des Zeit-Spannungs- und des Zeit-Stromstärke-Graphen. Erkläre diesen Verlauf und vermute und begründe, welchen Werten sich die Spannung und die Stromstärke immer weiter annähern.

---



---



---



---



---



### 3.6 t-U- und t-I-Kennlinie eines Kondensators beim Entladen

3. Berechne die Leistung des Kondensators zu den verschiedenen Zeitpunkten. Vergleiche das Leistungsverhalten des Kondensators mit dem der Brennstoffzelle mit Hilfe deiner Messergebnisse aus Experiment 3.2 und 3.4.

---



---



---

4. Berechne den Wirkungsgrad des Kondensators und vergleiche ihn mit der reversiblen Brennstoffzelle. Erkläre dein Ergebnis.

---



---



---



---

5. Um Speichersystemen miteinander zu vergleichen, wird die Energiedichte genutzt. Die Energiedichte ist die pro Volumen oder Masse speicherbare Energie des Speichermediums. Berechne die Energiedichte des Wasserstoffs in der reversiblen Brennstoffzelle und des Kondensators bezüglich des Volumens und der Masse. Für die einzelnen Energiespeicher gelten folgende Werte:

Ein Kondensatorzylinder:  $r = 1\text{cm}$ ,  $h = 2,5\text{cm}$ ,  $m = 3\text{g}$

Reversible Brennstoffzelle:  $\rho_{\text{Wasserstoff}} = 0,09 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$

Nutze ebenfalls deine Ergebnisse aus Experiment 3.2

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

6. Bewerte deine Ergebnisse.

---



---



---



---

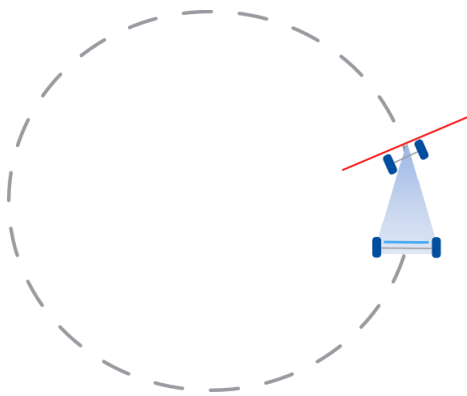


### 3.7 Betrieb des Elektroautos mit dem Kondensator und der Brennstoffzelle

#### Aufgabe

Beobachte das Fahrverhalten des Autos.

#### Aufbau



#### Geräte

- Elektroauto mit Modulplatte
- PowerModul
- Kondensatormodul
- Reversible Brennstoffzelle
- Kabel
- Uhr

#### Durchführung

1. Zum Aufladen werden der Kondensator und die Brennstoffzelle direkt an das PowerModul angeschlossen.
2. Lade den Kondensator bis zu einer Spannung von 3 V auf. Erhöhe dazu alle 10 s die Spannung am Powermodul um 0,5 V und verbleibe für 30 s bei einer Spannung von 3 V.
3. Lade die reversible Brennstoffzelle bei einer Spannung von 2 V so lange auf, bis Wasserstoff aus dem Tank entweicht.
4. Miss die Zeit, die das Auto mit dem Kondensator und der reversiblen Brennstoffzelle für 2, (4, 6, 8, 10, ...) Runden benötigt.
5. Berechne die Zeit  $\Delta t$  für die vergangenen 2 Runden.

#### Messwerte

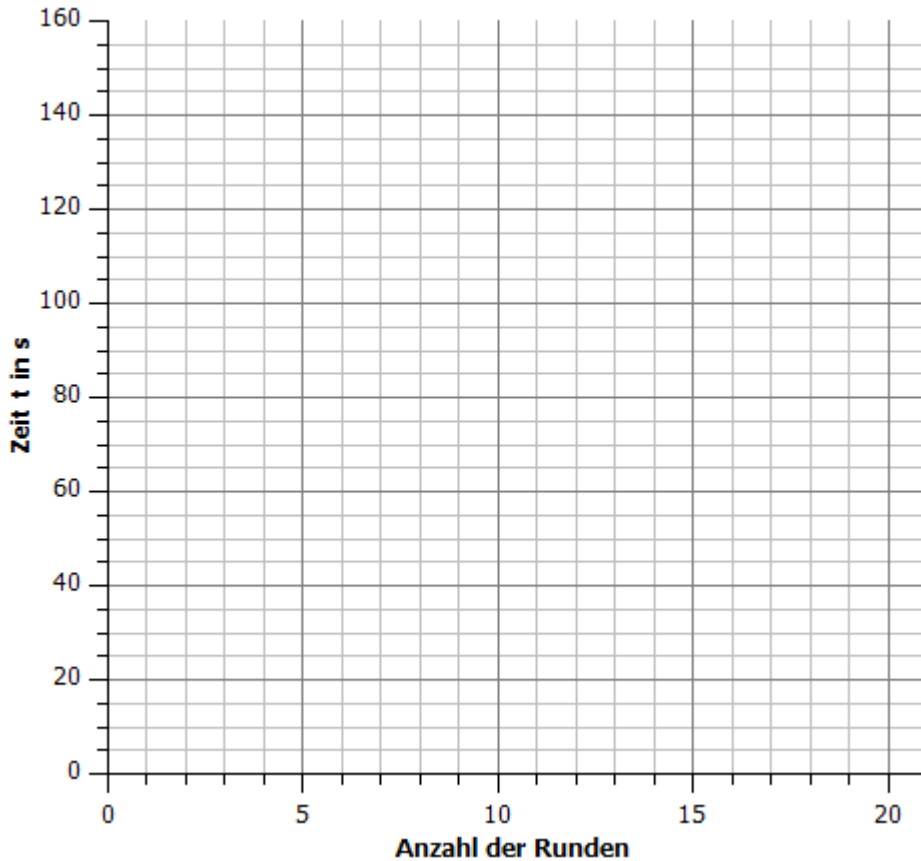
| Anzahl der Runden                        | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
|--|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| $t_{\text{Kondensator}}$ in s            |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| $\Delta t_{\text{Kondensator}}$ in s     |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| $t_{\text{Brennstoffzelle}}$ in s        |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| $\Delta t_{\text{Brennstoffzelle}}$ in s |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |



## 3.7 Betrieb des Elektroautos mit dem Kondensator und der Brennstoffzelle

## Auswertung

1. Trage deine Messwerte in das Anzahl der Runden-Zeit-Diagramm ein.



2. Beschreibe die Bewegung der Fahrzeuge mit Hilfe deiner Beobachtungen und des Diagramms.

---

---

---

---

---

---

---

---

3. Ziehe Rückschlüsse auf die Eigenschaften der Spannung, die der Kondensatoren und die Brennstoffzellen an den Motor anlegen.

---

---

---

---



## 4.1 Die Leistungsschwankungen einer Photovoltaikanlage

### Aufgabe

Nimm die Leistungskurve einer Photovoltaikanlage (des Solarmoduls) im Laufe eines simulierten Tages auf.

### Vorbemerkung

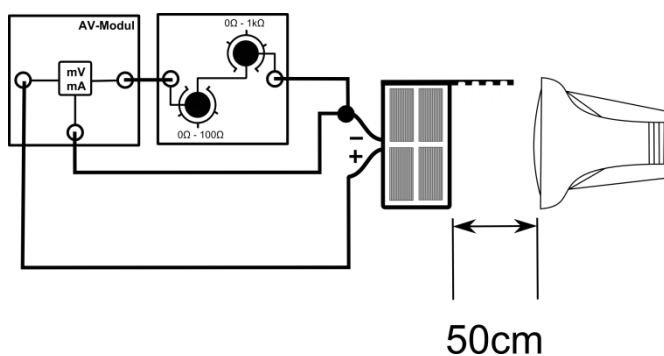
In der Simulation steht das Solarmodul stellvertretend für eine Photovoltaikanlage und die Lampe für die Sonne. In der Realität bewegt sich die Sonne am Himmel und verändert beständig ihren Einstrahlwinkel zur PV-Anlage. In dieser Simulation wird nicht die Lampe (Sonne) bewegt, sondern stattdessen das Solarmodul auf der Azimutwinkelskala gedreht. Hierdurch wird eine größere Genauigkeit in der Messung erreicht.

Achte darauf, dass du während des Versuchs nicht in der Nähe des Strahlengangs der Lampe stehst. Durch Abschattung und Reflexion kann es zu falschen Messwerten kommen.

### Geräte

- Lampe (Sonne)
- Solarmodul mit Standfuß  $0^\circ$  (Photovoltaikanlage)
- AV-Modul
- Potentiometermodul  $40\Omega$  (Verbraucher)
- Kabel
- Azimutwinkelskala

### Aufbau





## 4.1 Die Leistungsschwankungen einer Photovoltaikanlage

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Stecke das Solarmodul in einem Winkel von  $0^\circ$  in den Standfuß und stelle es in einem Winkel von  $270^\circ$  auf die Azimutwinkelskala. Stelle die Lampe in einem Abstand von 50cm zur Winkelscheibe auf und lass die Lampe parallel zum Boden scheinen. Stelle auf dem Potentiometer einen Widerstand von  $40\Omega$  ein.
2. Vergewissere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannungsmessung des AV-Moduls parallel zum Solarmodul erfolgt.
3. Miss die Spannung und die Stromstärke für die verschiedenen vorgegebenen Azimutwinkel.
4. Berechne aus der Spannung und der Stromstärke die Leistung des Solarmoduls.

### Messwerte

|                      |      |      |      |      |       |       |       |
|----------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| $\alpha$ in $^\circ$ | 270  | 285  | 300  | 315  | 330   | 345   | 0     |
| Uhrzeit              | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 |
| U in V               |      |      |      |      |       |       |       |
| I in mA              |      |      |      |      |       |       |       |
| P in mW              |      |      |      |      |       |       |       |

|                      |       |       |       |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\alpha$ in $^\circ$ | 15    | 30    | 45    | 60    | 75    | 90    |
| Uhrzeit              | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 |
| U in V               |       |       |       |       |       |       |
| I in mA              |       |       |       |       |       |       |
| P in mW              |       |       |       |       |       |       |

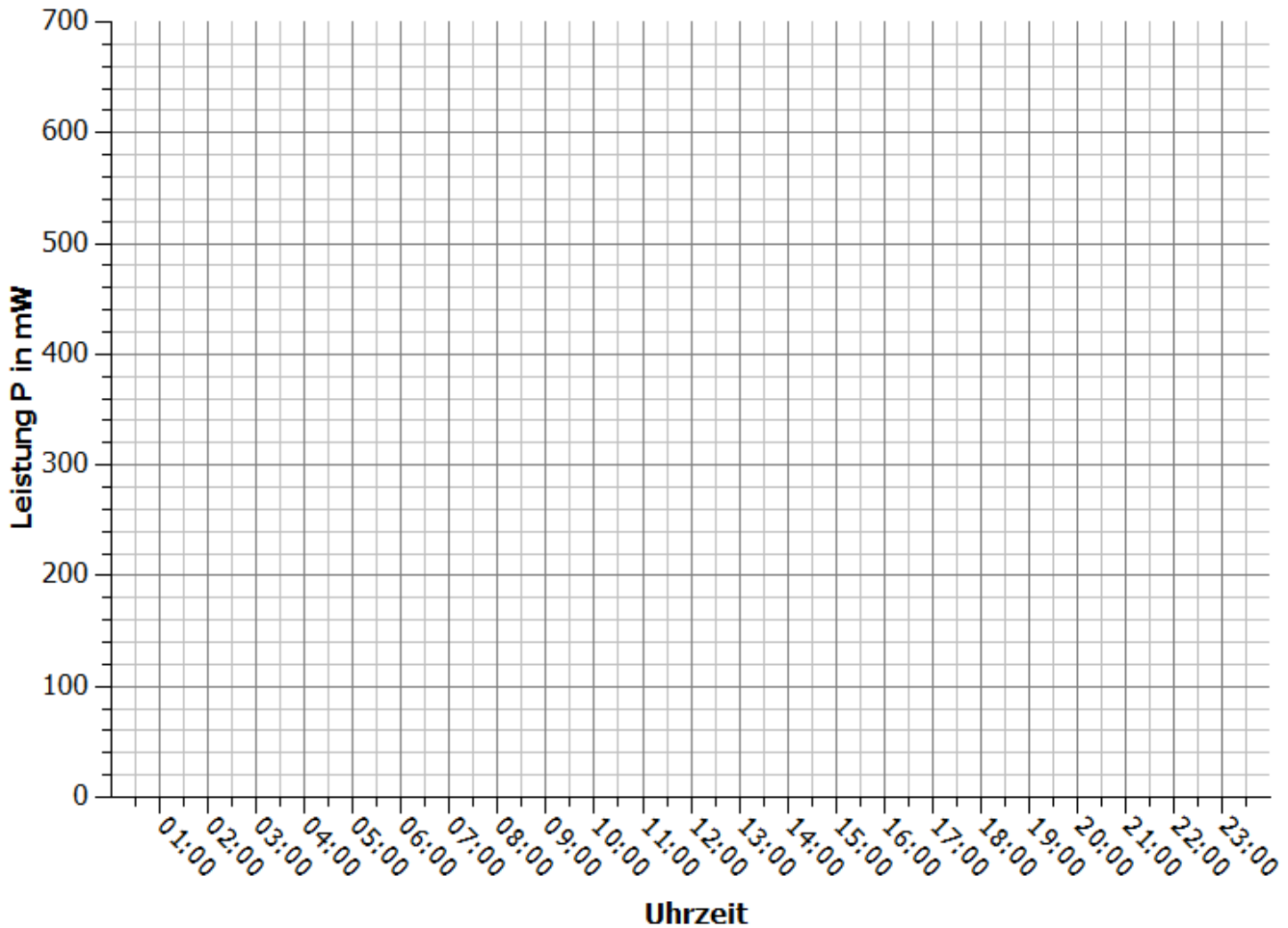


## 4.1 Die Leistungsschwankungen einer Photovoltaikanlage

### Auswertung

1. a) Trage deine Messpunkte in das Uhrzeit-Leistungs-Diagramm ein.
- b) Beschreibe den Verlauf der Messpunkte. Gehe dabei auch auf Zeitpunkte ein, in denen die Lampe unter dem gleichen Winkel auf die Solarzelle scheint.
- c) Erläutere, wie sich die Leistung in den Zeiten von 0 bis 6 Uhr und 18 bis 24 Uhr verhält.

**Leistung des Solarmoduls zu verschiedenen Uhrzeiten**




---



---



---



---



---



---



---



---



## 4.1 Die Leistungsschwankungen einer Photovoltaikanlage

4. Benenne Faktoren, die in der Realität die Leistung von Photovoltaikanlagen beeinflussen.

---

---

---

---

5. Bewerte die Zuverlässigkeit und die Vorhersagbarkeit der Leistungserzeugung einer Photovoltaikmoduls. Ziehe dabei auch einen Vergleich zu fossilen Kraftwerken.

---

---

---

---

---

---

---

---





## 4.2 Leistungsschwankungen einer Windkraftanlage

### Aufgabe

Nimm die Leistungskurve einer Windkraftanlage (des Windgenerators) in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit auf.

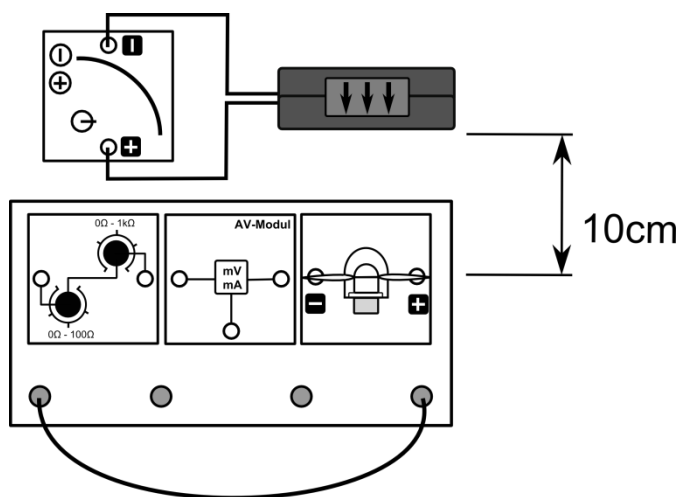
### Vorbemerkungen

Im Gegensatz zu realen Windkraftanlagen gibt die leXsolar-Windkraftanlage anstelle von Wechselstrom einen Gleichstrom ab, da der Generator ein Gleichstromgenerator ist.

Halte aufgrund von Verletzungsgefahren und der Verfälschung von Messwerten keine Gegenstände in der Nähe der Windturbine.

Im Versuch wird die Windgeschwindigkeit zur besseren Nachstellung der Realität schrittweise verringert. Bei einer schrittweise Steigerung der Windgeschwindigkeit kommt es zu Messfehlern, da der Rotor bei niedrigen Windgeschwindigkeiten in Schwingungen gerät und dieser Effekt seine Leistung reduziert.

### Aufbau



### Geräte

- Grundeinheit
- Winderzeuger
- Windgenerator
- Optimiertes Flügelprofil 25° 3-Flügler
- AV-Modul
- PowerModul
- Potentiometer 40Ω (Verbraucher)
- Kabel

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Stelle den Winderzeuger im Abstand von 10cm zur Grundeinheit auf. Drehe die Windkraftanlage frontal zur Windturbine. Stelle das Potentiometer auf einen Widerstand von 40Ω ein. Achte darauf, dass der positive Pol des Powermoduls mit dem roten Anschluss des Winderzeugers verbunden ist und dass der Schalter am Winderzeuger eingeschaltet ist.
2. Vergewissere dich, dass der Stromstärkemesser des AV-Moduls und das Potentiometermodul in Reihe und der Spannungsmesser des AV-Moduls parallel zum Windgenerator geschaltet sind.
3. Schalte den Winderzeuger bei einer Spannung von 12V ein und miss die Spannung und die Stromstärke der Windkraftanlage. Verringere die Spannung am Winderzeuger entsprechend der vorgegebenen Werte in der Messwerttabelle und wiederhole die Messung.
4. Berechne für alle Messpunkte die Leistung der Windkraftanlage.



## 4.2 Leistungsschwankungen einer Windkraftanlage

## Messwerte

|                             |    |     |      |    |     |     |     |     |
|-----------------------------|----|-----|------|----|-----|-----|-----|-----|
| $U_{Wind}$ in V             | 12 | 11  | 10,5 | 10 | 9,5 | 9   | 8,5 | 8   |
| $v_{Wind}$ in $\frac{m}{s}$ | 8  | 7,5 | 7,3  | 7  | 6,8 | 6,4 | 6,1 | 5,8 |
| U in V                      |    |     |      |    |     |     |     |     |
| I in mA                     |    |     |      |    |     |     |     |     |
| P in mW                     |    |     |      |    |     |     |     |     |

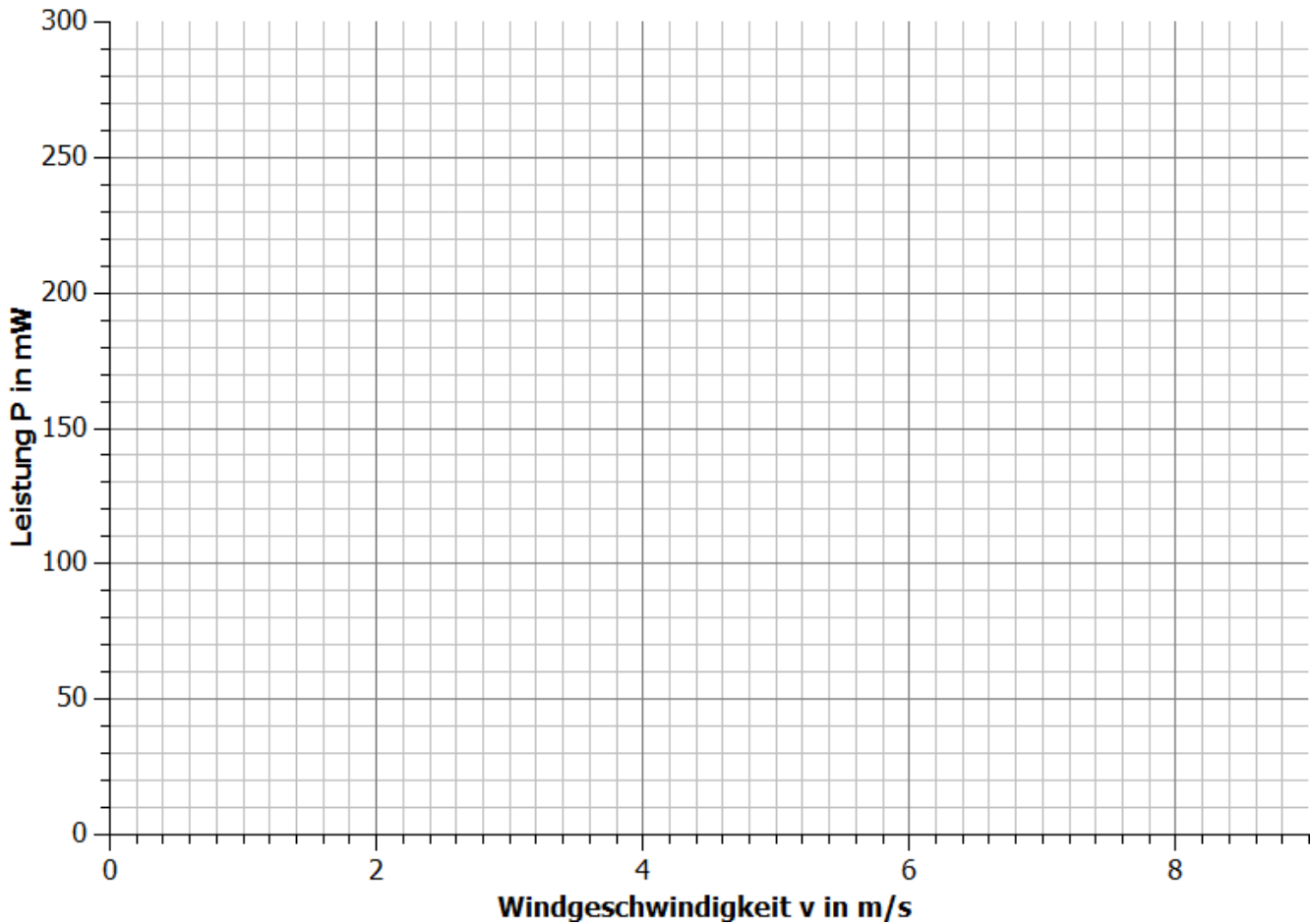
|                             |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $U_{Wind}$ in V             | 7,5 | 7   | 6,5 | 6   | 5,5 | 5   | 4,5 |
| $v_{Wind}$ in $\frac{m}{s}$ | 5,4 | 5,1 | 4,7 | 4,3 | 3,8 | 3,4 | 3   |
| U in V                      |     |     |     |     |     |     |     |
| I in mA                     |     |     |     |     |     |     |     |
| P in mW                     |     |     |     |     |     |     |     |



## 4.2 Leistungsschwankungen einer Windkraftanlage

## Auswertung

1. a) Trage deine Messpunkte in das Windgeschwindigkeit-Leistung-Diagramm ein.
- b) Beschreibe den Verlauf der Messpunkte und schlussfolgere Erkenntnisse über das Verhalten realer Windkraftanlagen.
- c) Vermute und Begründe, wie sich die Leistung bei höheren Windstärken verhalten würde.

**Abhängigkeit der Leistung von der Windgeschwindigkeit**

b)

---

---

---

---

c)

---

---

---



## 4.2 Leistungsschwankungen einer Windkraftanlage

2. Erläutere mit Hilfe deiner Messwerte die physikalischen Vorgänge während des Experiments.

---



---



---



---

3. Benenne weitere Einflussfaktoren auf die Leistung der Windkraftanlage.

---



---



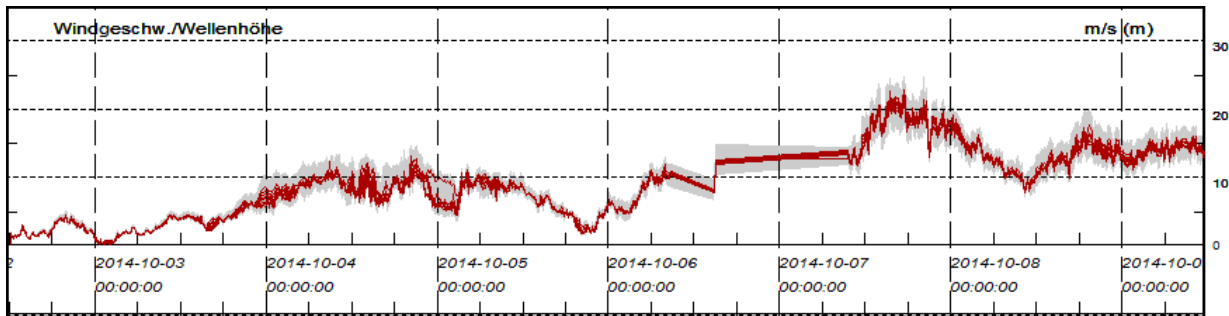
---



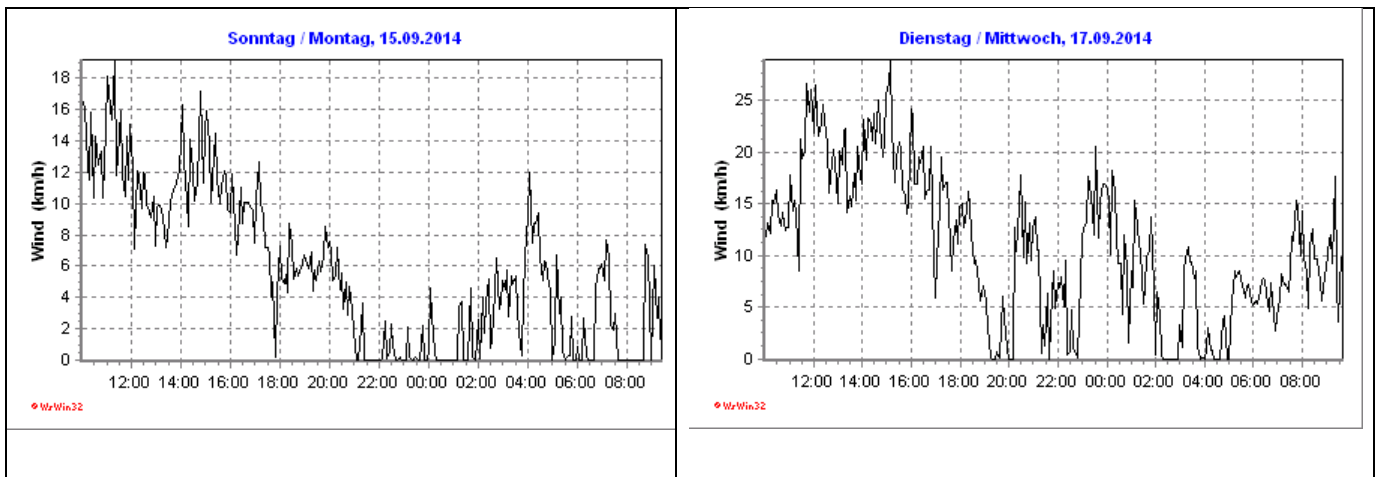
---

4. In den untenstehenden Grafiken siehst du die Windgeschwindigkeit an verschiedenen Tagen von Wetterstationen in Deutschland.

- a) Vergleiche den Verlauf der beiden Orte untereinander.
- b) Bewerte mit Hilfe deiner Messwerte und anhand der Diagramme die Zuverlässigkeit der Leistungsabgabe von Windkraftanlagen. Ziehe dabei auch einen Vergleich zu den Photovoltaikanlagen.



Forschungsmesstation FINO 1 (Nordsee)



Weißbach (Sachsen, 380-470 über NN)



## 4.2 Leistungsschwankungen einer Windkraftanlage

a)

---

---

---

---

---

---

---

---

b)

---

---

---

---

---

---

---

---

5. Die benötigte Leistung zu einem gegebenen Tageszeitpunkt ist an zwei aufeinanderfolgenden Werktagen ungefähr gleich groß. Windkraft- und Photovoltaikanlagen erreichen aufgrund äußerer Bedingungen nicht jeden Tag dieselben Leistungen zu einem Zeitpunkt. Benenne Möglichkeiten, um die Leistungsdifferenzen zu beheben.

---

---

---

---

---

---

---

---



## 4.3 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk

### Aufgabe

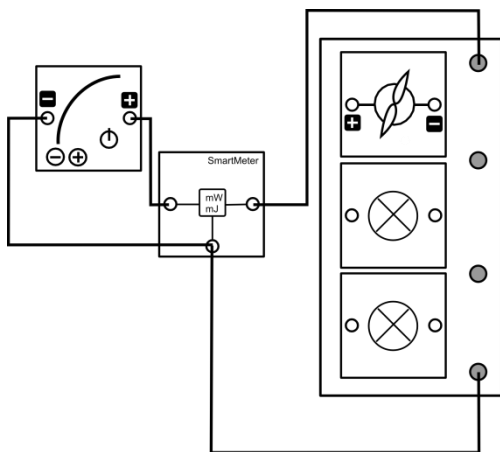
Miss die Leistungsabgabe des Kraftwerks (Powermodul) und den Energieverbrauch eines Gebäudes (Grundeinheit mit Glühlampen und Motor als Verbraucher) während eines simulierten Tages.

### Vorbemerkungen

Das Experiment simuliert den Fall, dass ein Gebäude durch ein Kraftwerk versorgt wird. Das Stromnetz ist dabei nicht mit einem anderen verbunden. Die Verbraucher im Firmengebäude einer Wäscherei werden durch die 2 Glühlampen und den Motor repräsentiert. Die 2 Glühlampen stellen den Verbrauch durch Bildschirme dar und der Motor den Verbrauch der Waschmaschinen. Das Powermodul repräsentiert ein konventionelles Kraftwerk, das an das Gebäude eine Nennspannung von 3V anlegt (In der Realität 230V).

Im Experiment muss das Motormodul schnell von der Grundeinheit abgenommen und aufgesteckt werden. Übe das Auf- und Abnehmen, bevor du den Versuchst durchführst, um bessere Messergebnisse zu bekommen.

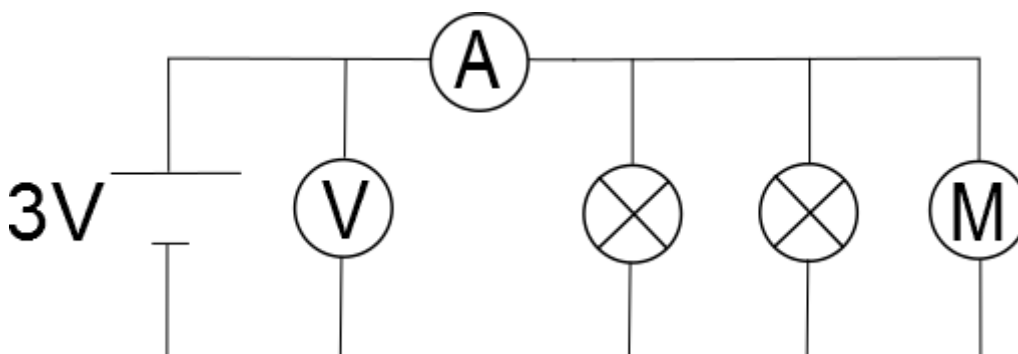
### Aufbau



### Geräte

- Grundeinheit
- SmartMeter
- Powermodul 3V (Kraftwerk)
- 2 Glühlampenmodule (Bildschirme)
- Motormodul (Waschmaschinen)
- Kabel
- Uhr

### Schaltskizze





## 4.3 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Stelle die Energieanzeige am SmartMeter auf 0Ws. Stelle am ausgeschalteten Powermodul eine Spannung von 3V ein.
2. Lies die weiteren Durchführungsschritte und teilt die Aufgaben zunächst untereinander auf.
3. Während des Experiments wird die Zeit von 6.00 Uhr bis 18.00 Uhr simuliert. Es wird angenommen, dass 10s im Experiment einer Stunde des Tages entsprechen. Während des Tages/ des Experiments soll folgender Verbrauchsplan eingehalten werden:
  - Die Bildschirme laufen von 6.00 Uhr bis 18.00 Uhr.
  - Die Waschmaschinen sind von 6.00 Uhr bis 8.30Uhr und von 16.30 Uhr bis 18.00 Uhr in Betrieb.
4. Schalte nun das Powermodul ein und miss alle 10s die Leistung und die bis dahin eingespeiste Energie, die vom Powermodul abgegeben wurde. Trage deine Messwerte in die Tabelle ein. Stecke zum Zu- und Abschalten der Waschmaschine das Motormodul zum richtigen Zeitpunkt auf die Grundeinheit bzw. ziehe es wieder ab.

### Messwerte

|                           |      |      |       |       |        |        |        |
|---------------------------|------|------|-------|-------|--------|--------|--------|
| $t_{\text{Versuch}}$ in s | 0    | 10   | 20    | 30    | 40     | 50     | 60     |
| Uhrzeit                   | 6Uhr | 7Uhr | 8 Uhr | 9 Uhr | 10 Uhr | 11 Uhr | 12 Uhr |
| $P_{\text{Power}}$ in mW  |      |      |       |       |        |        |        |
| $E_{\text{Power}}$ in Ws  |      |      |       |       |        |        |        |

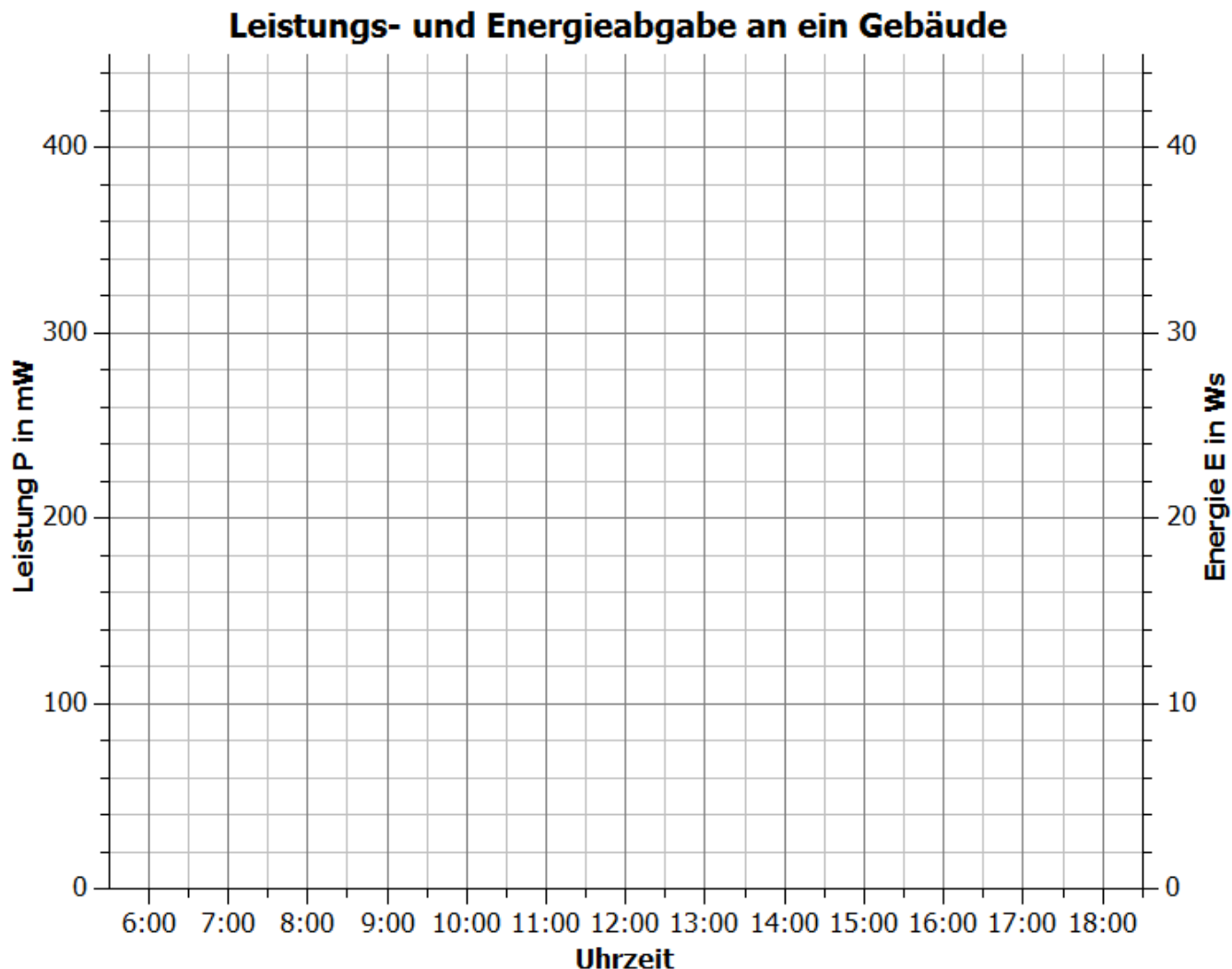
|                           |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $t_{\text{Versuch}}$ in s | 70     | 80     | 90     | 100    | 110    | 120    |
| Uhrzeit                   | 13 Uhr | 14 Uhr | 15 Uhr | 16 Uhr | 17 Uhr | 18 Uhr |
| $P_{\text{Power}}$ in mW  |        |        |        |        |        |        |
| $E_{\text{Power}}$ in Ws  |        |        |        |        |        |        |



### 4.3 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk

#### Auswertung

1. Trage die Leistung und Energie für die verschiedenen Zeitpunkte in das Diagramm ein.



2. Beschreibe und erläutere den Zusammenhang zwischen dem Ablauf des Experiments und dem Verlauf der Leistungs- und der Energiemesspunkte. Nutze zur Erläuterung auch den Zusammenhang zwischen Leistung und Energie.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





### 4.3 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk

- Verbinde die Messpunkte entsprechend dem Verlauf des Experiments.
- Beschreibe den Zusammenhang zwischen benötigter Energie und Energieverbrauch zu einem Zeitpunkt innerhalb des Experiments. Erläutere diesen Zusammenhang, wenn das Powermodul (Spannungsquelle) sich wie ein reales Kraftwerk (Leistungsquelle) verhalten würde.

---



---



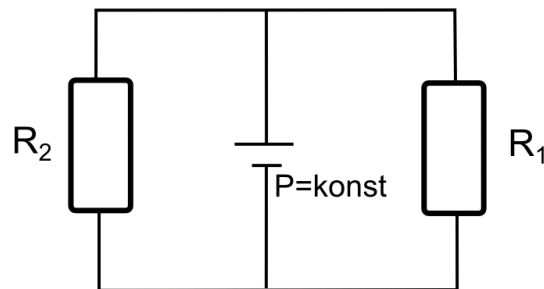
---



---

- In der Realität beobachten Netzbetreiber die Spannung an wichtigen Stromnetzpunkten um eine Über- oder Unterversorgung zu erkennen. Je nach Spannungswert drosseln oder steigern sie die Leistung von Kraftwerken. Die Leistung großer Kraftwerke kann jedoch nur sehr langsam angepasst werden.

Begründe mit Hilfe des nachfolgenden Stromnetzes, weshalb es bei einer Überversorgung (Unterversorgung) zu einer Spannung oberhalb (unterhalb) der Nennspannung kommt. Der Stromkreis besteht aus einem Kraftwerk mit konstanter Leistungsabgabe und 2 Widerständen als Verbraucher. Gehe zunächst davon aus, dass die beiden Verbraucher optimal versorgt werden. Erläutere dann das Verhalten der Spannung sobald ein Verbraucher entfernt oder ein weiterer hinzugefügt wird.




---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



## 4.4 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk und eine Photovoltaikanlage

### Aufgabe

Miss die Leistungen des Kraftwerks (des Powermoduls) und der Photovoltaikanlage (des Solarmoduls) und die Energie des Kraftwerks, die sie im Laufe eines simulierten Tages an das Gebäude abgeben.

### Vorbemerkungen

Das Experiment simuliert gegenüber Experiment 4.3 den Fall, dass ein Unternehmen sein Firmengebäude mit einer eigenen Solaranlage ausgestattet hat, um die Stromkosten zu verringern. Die Verbraucher in dem Firmengebäude einer Wäscherei werden durch die 2 Glühlampen und den Motor repräsentiert. Die 2 Glühlampen stellen den Verbrauch durch Bildschirme dar, der Motor dagegen den Verbrauch der Waschmaschinen.

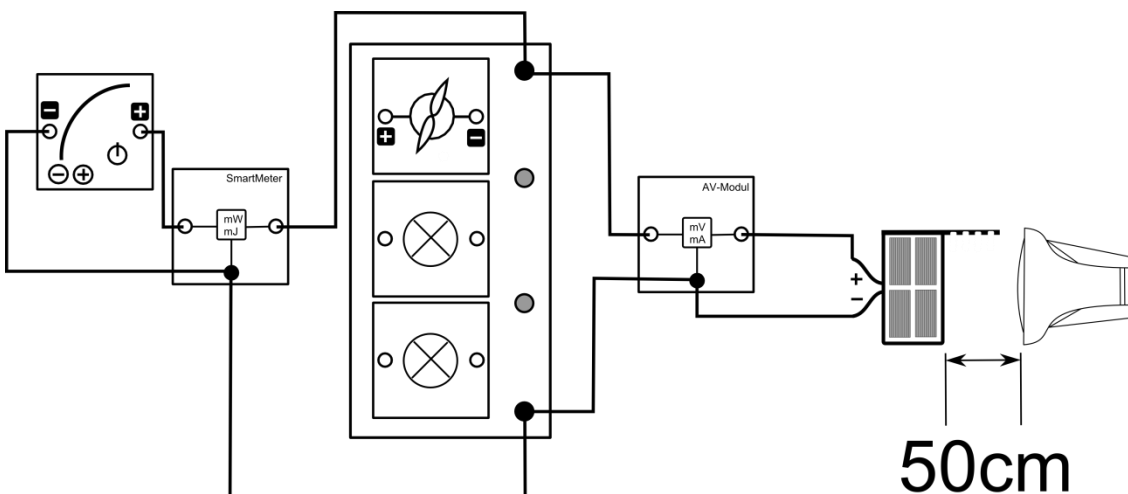
Im Experiment muss das Motormodul schnell von der Grundeinheit abgenommen und aufgesteckt werden. Übe das Auf- und Abnehmen, bevor du den Versuchst durchführst, um bessere Messergebnisse zu bekommen.

Stehe hinter dem Solarmodul, da Reflektionen die Beleuchtungsstärke am Solarmodul verändern.

### Geräte

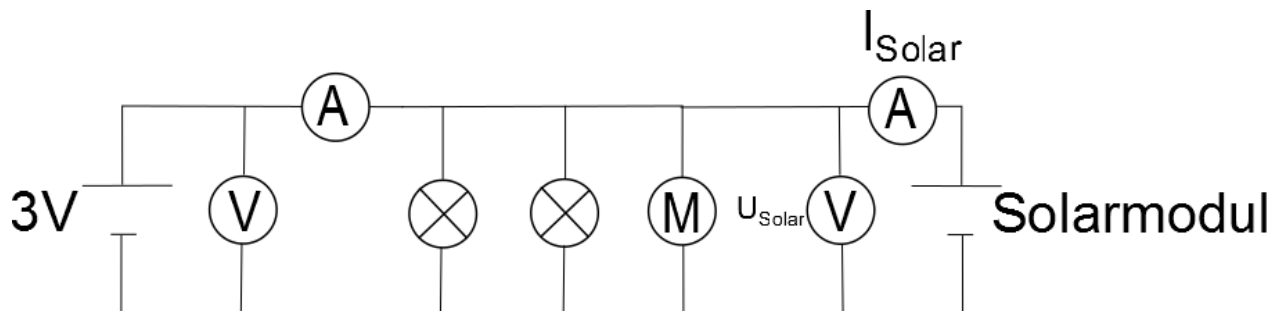
- Grundeinheit
- Powermodul 3V (Kraftwerk)
- AV-Modul
- SmartMeter
- Solarmodul (Photovoltaikanlage)
- Lampe (Sonne)
- 2 Glühlampenmodule (Bildschirme)
- Motormodul (Waschmaschinen)
- Kabel
- Uhr
- Azimutwinkelskala

### Aufbau



## 4.4 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk und eine Photovoltaikanlage

## Schaltskizze



## Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Stelle das Solarmodul senkrecht zur Tischebene in der 6.00 Uhr-Stellung zur Lampe. Richte den Strahlengang der Lampe waagrecht aus. Stelle das Powermodul auf eine Spannung von 3V. Stelle die Energieanzeige des Smartmeters auf E=0Ws.
2. Lies die weiteren Durchführungsschritte des Versuchs und teile auf, wer welche Aufgaben während des Versuchs übernimmt.
3. Schalte die Lampe ein. Starte die Zeitmessung und schalte das PowerModul zeitgleich ein. Um einen Tagesablauf zu simulieren, drehst du das Solarmodul folgendermaßen:

| Position  | Zeitdauer, die das Solarmodul in dieser Position stehen soll | Simulierte Uhrzeit |
|-----------|--|--------------------|
| 6.00 Uhr  | 5s   | 6:00 - 6:30        |
| 7.00 Uhr  | 10s  | 6:30 - 7:30        |
| 8.00 Uhr  | 10s  | 7:30 - 8:30        |
| ...       | ...  |                    |
| 17.00 Uhr | 10s  | 16:30 - 17:30      |
| 18.00 Uhr | 5s   | 17:30 - 18:00      |

Miss die Stromstärke und die Spannung des Solarmoduls sowie die Leistung und die Energie, die das Powermodul zu den verschiedenen Tageszeiten an die Verbraucher abgibt. Die Messwerte sollen nach 0s (6Uhr), 10s (7Uhr), 20s (8Uhr),..., 120s (18Uhr) aufgenommen werden. Befolge während des Versuchs folgenden Verbrauchsplan:

- Die Bildschirme laufen von 6Uhr bis 18Uhr.
  - Die Wäscherei ist von 6 bis 8.30Uhr und von 16.30Uhr bis 18Uhr in Betrieb.
4. Berechne Leistung des Solarmoduls und addiere die Leistung beider Anlagen, um die Gesamtleistung zu bestimmen.



## 4.4 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk und eine Photovoltaikanlage

## Messwerte

| $t_{\text{Versuch}}$ in s | 0        | 10       | 20       | 30       | 40        | 50        | 60        |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Uhrzeit                   | 6.00 Uhr | 7.00 Uhr | 8.00 Uhr | 9.00 Uhr | 10.00 Uhr | 11.00 Uhr | 12.00 Uhr |
| $U_{\text{Solar}}$ in V   |          |          |          |          |           |           |           |
| $I_{\text{Solar}}$ in mA  |          |          |          |          |           |           |           |
| $P_{\text{Solar}}$ in mW  |          |          |          |          |           |           |           |
| $P_{\text{PoW}}$ in mW    |          |          |          |          |           |           |           |
| $E_{\text{PoW}}$ in Ws    |          |          |          |          |           |           |           |
| $P_{\text{ges}}$ in mW    |          |          |          |          |           |           |           |

| $t_{\text{Versuch}}$ in s | 70        | 80        | 90        | 100       | 110       | 120       |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Uhrzeit                   | 13.00 Uhr | 14.00 Uhr | 15.00 Uhr | 16.00 Uhr | 17.00 Uhr | 18.00 Uhr |
| $U_{\text{Solar}}$ in V   |           |           |           |           |           |           |
| $I_{\text{Solar}}$ in mA  |           |           |           |           |           |           |
| $P_{\text{Solar}}$ in mW  |           |           |           |           |           |           |
| $P_{\text{PoW}}$ in mW    |           |           |           |           |           |           |
| $E_{\text{PoW}}$ in Ws    |           |           |           |           |           |           |
| $P_{\text{ges}}$ in mW    |           |           |           |           |           |           |

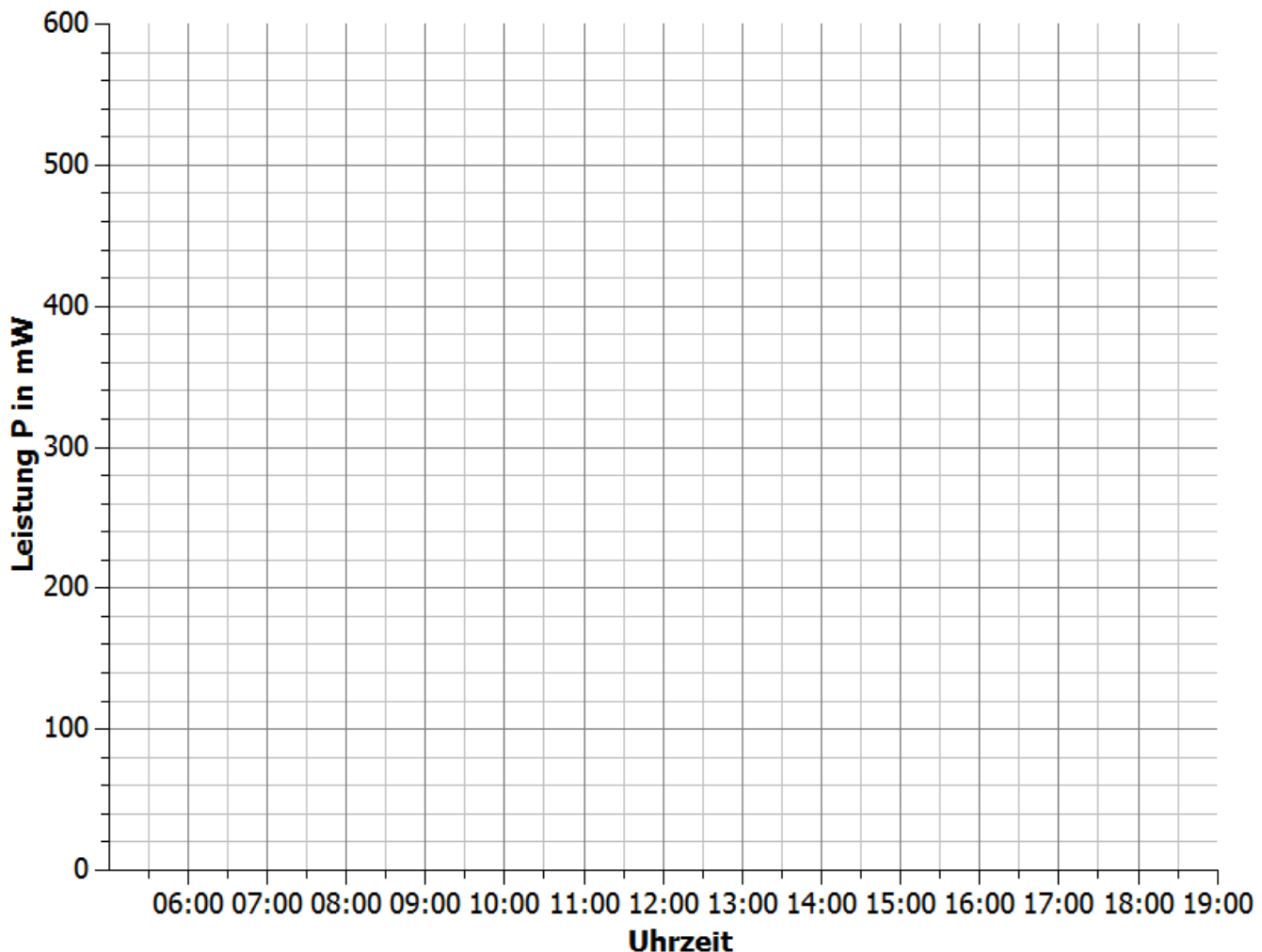


## 4.4 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk und eine Photovoltaikanlage

### Auswertung

1. Trage deine Messwerte zur Leistung des Solarmoduls, des Powermoduls und die Gesamtleistung in das Uhrzeit-Leistungs-Diagramm ein. Skizziere die zugehörigen Graphen entsprechend dem Versuchsablauf. Beachte, dass sich der Verbrauch verändert hat. Ergänze den Leistungsgraphen für die optimale Versorgung aus Experiment 4.3.

### Leistungsabgabe eines Kraftwerks und eines Solarmoduls an ein Gebäude



2. Beschreibe mit Hilfe deiner Messwerte die physikalischen Vorgänge während des Versuchs.

---



---



---



---



## 4.4 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk und eine Photovoltaikanlage

3. Beschreibe und bewerte die Versorgung des Gebäudes durch die Photovoltaikanlage und das Kraftwerk. Gehe dabei darauf ein, inwieweit sich die Installation der Photovoltaikanlage zur Energieeinsparung lohnt (siehe Experiment 4.3) und wie sinnvoll es wäre, auf eine vollständige Versorgung durch die Photovoltaikanlage zu setzen.

---

---

---

---

---

---

---

---

4. Benenne Möglichkeiten die Energieabgabe durch das Kraftwerk weiter zu verringern und die Versorgung zu verbessern bzw. Überspannungen zu vermeiden.

---

---

---

---

---



## 4.5 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk, eine Photovoltaikanlage und einen Energiespeicher

### Aufgabe

Miss die Leistung, die von der Photovoltaikanlage (dem Solarmodul) und einem Speicher (dem Kondensator) und die Energie, die von einem Kraftwerk (das PowerModul) im Laufe eines simulierten Tages an das Gebäude abgegeben werden.

### Vorbemerkungen

Das Experiment simuliert den Fall, dass ein Unternehmen sein Firmengebäude mit einer erneuerbaren Energiequelle und einem Energiespeicher versorgen lässt. Der Energiespeicher ist zu Beginn des Tages vom Vortag noch zum Teil geladen.

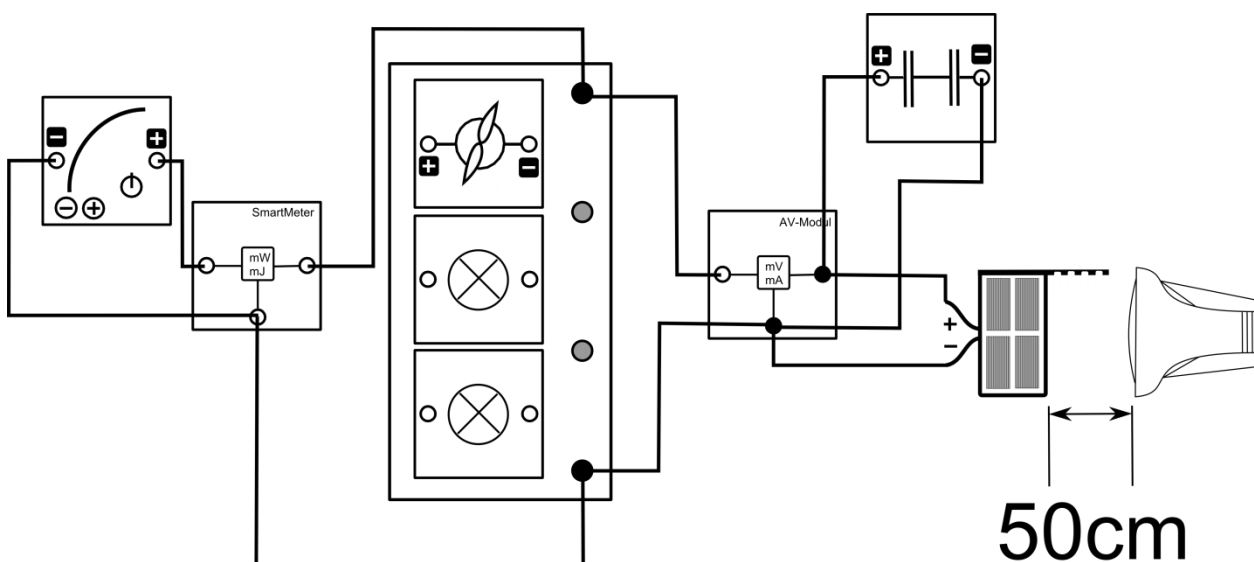
Im Experiment muss das Motormodul schnell von der Grundeinheit abgenommen und aufgesteckt werden. Übe das Auf- und Abnehmen, bevor du den Versuch durchführst, um bessere Messergebnisse zu bekommen.

Stehe hinter dem Solarmodul, da Reflektionen die Beleuchtungsstärke am Solarmodul verändern.

### Geräte

- Grundeinheit
- SmartMeter
- AV-Modul
- PowerModul 3V (Kraftwerk)
- Solarmodul (Photovoltaikanlage)
- Lampe (Sonne)
- 2 Glühlampenmodule (Bildschirme)
- Motormodul (Waschmaschinen)
- Kondensatormodul (Speichermedium)
- Kabel
- Stoppuhr
- Azimutwinkelskala
- Auto

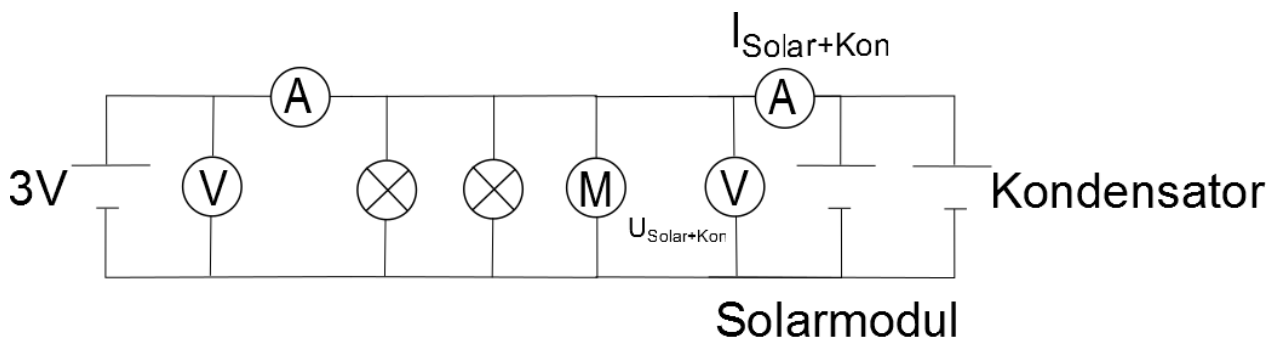
### Aufbau





## 4.5 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk, eine Photovoltaikanlage und einen Energiespeicher

### Schaltskizze



### Durchführung

1. Lade den Kondensator zur Vorbereitung bis auf eine Spannung von 3V auf, aber schließe ihn noch nicht an
2. Baue den Versuch entsprechend des Versuchsaufbaus auf. Stelle das Solarmodul senkrecht zur Tischebene und in 6Uhr-Stellung zur Lampe auf. Richte den Strahlengang der Lampe parallel zur Tischebene aus. Stelle die Energiemessung des Smartmeters auf null. Stelle die Spannung des Powermoduls auf 3V ein.
3. Lies die weitere Durchführung des Versuchs und teile auf, wer welche Aufgaben während des Versuchs übernimmt.
4. Während des Experiments simulieren wir die Zeit von 6.00 Uhr bis 18.00 Uhr, indem wir annehmen, dass 10s im Experiment einer Stunde des Tages entsprechen. Während des Tages/ des Experiments soll folgender Verbrauchsplan eingehalten werden:
  - Die Bildschirme laufen von 6.00 Uhr bis 18.00 Uhr.
  - Die Waschmaschinen sind von 6.00 Uhr bis 8.30Uhr und von 16.30 Uhr bis 18.00 Uhr in Betrieb.
5. Beginne den Versuch in dem du folgende Handlungen gleichzeitig durchführst: Schließe den Kondensator an, schalte das Powermodul ein und beginne mit der Zeitmessung.
6. Miss während des Versuchs die Spannung und die Stromstärke am Solarmodul mit Kondensator und die vom Powermodul abgegebene Energie. Trage alle Werte in die Tabelle ein.
7. Berechne die Leistungsabgabe der Solaranlage und des Kondensators an das Gebäude zu den verschiedenen Tageszeiten.

### Experimentier- und Auswertungshinweise

| Uhrzeit                      | 6 Uhr | 7 Uhr | 8 Uhr | 9 Uhr | 10 Uhr | 11 Uhr | 12 Uhr |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| $t_{\text{Versuch}}$ in s    | 0     | 10    | 20    | 30    | 40     | 50     | 60     |
| $U_{\text{Solar+Kon}}$ in V  |       |       |       |       |        |        |        |
| $I_{\text{Solar+Kon}}$ in mA |       |       |       |       |        |        |        |
| $P_{\text{Solar+Kon}}$ in mW |       |       |       |       |        |        |        |
| $E_{\text{Pow}}$ in Ws       |       |       |       |       |        |        |        |





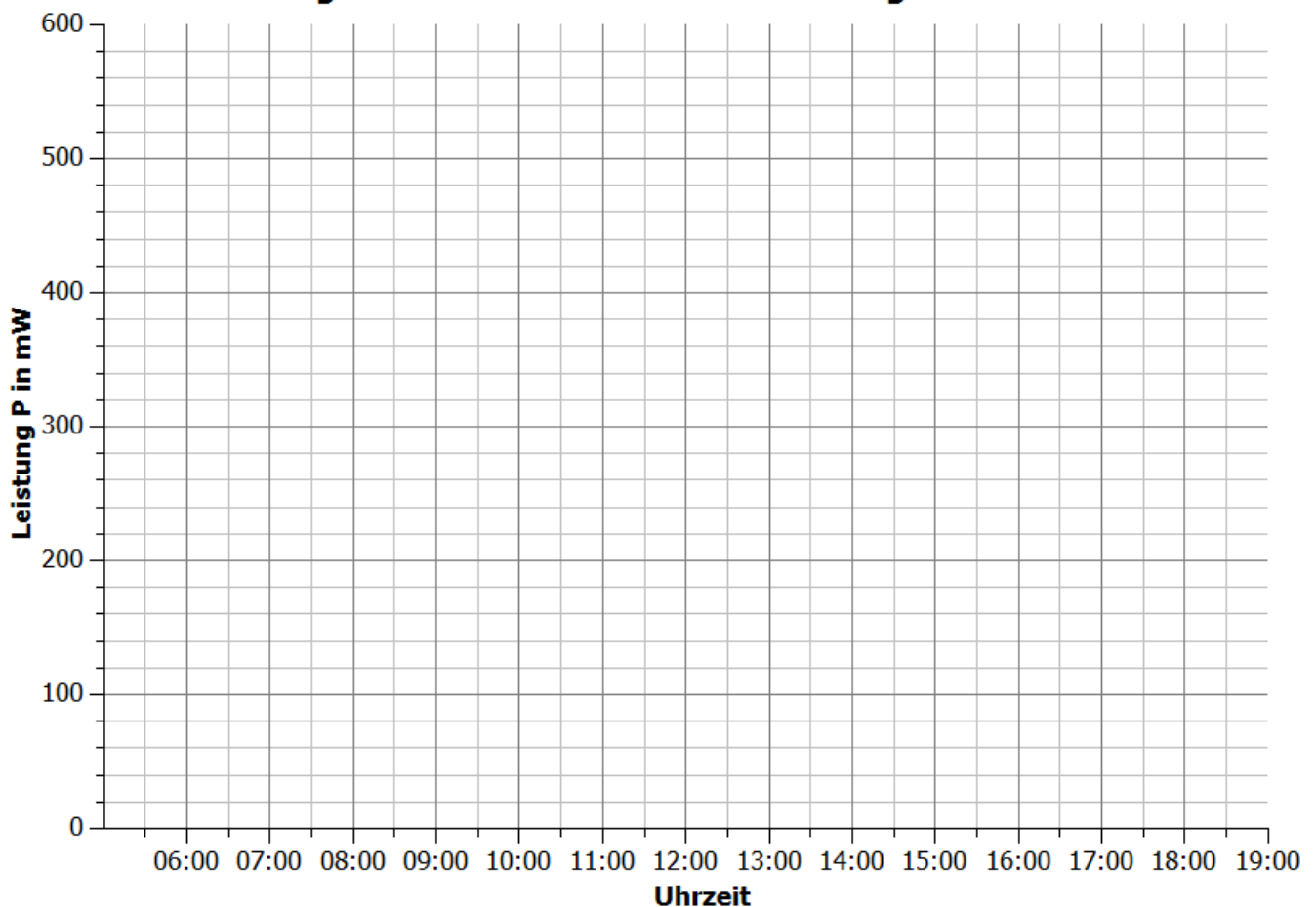
## 4.5 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk, eine Photovoltaikanlage und einen Energiespeicher

| Uhrzeit                      | 13 Uhr | 14 Uhr | 15 Uhr | 16 Uhr | 17 Uhr | 18 Uhr |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $t_{\text{Versuch}}$ in s    | 70     | 80     | 90     | 100    | 110    | 120    |
| $U_{\text{Solar+Kon}}$ in V  |        |        |        |        |        |        |
| $I_{\text{Solar+Kon}}$ in mA |        |        |        |        |        |        |
| $P_{\text{Solar+Kon}}$ in mW |        |        |        |        |        |        |
| $E_{\text{Pow}}$ in Ws       |        |        |        |        |        |        |

### Auswertung

- Trage deine Messpunkte über die Leistung des Solarmoduls mit Speichermedium in das Diagramm ein. Ergänze das Diagramm mit den Messpunkten zur Leistung der Solaranlage aus Experiment 4.4 und der benötigten Leistung aus Experiment 4.3.

#### Leistungsverhalten einer Photovoltaikanlage mit Kondensator





## 4.5 Versorgung eines Gebäudes durch ein Kraftwerk, eine Photovoltaikanlage und einen Energiespeicher

2. Vergleiche den Verlauf der Leistung des Solarmoduls mit und ohne Kondensator. Erkläre den Verlauf der Messpunkte.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3. Bewerte den Einsatz des Kondensators in Bezug auf die Veränderung des Leistungsverhalten der Solaranlage und der Einsparung von Energiekosten gegenüber Experiment 4.4.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4. Schließe den Kondensator an das Auto an und beschreibe die Energieabgabe eines Kondensators.

---

---

---

---

## 4.6 Spannungsverhalten in einem herkömmlichen Strahlennetz

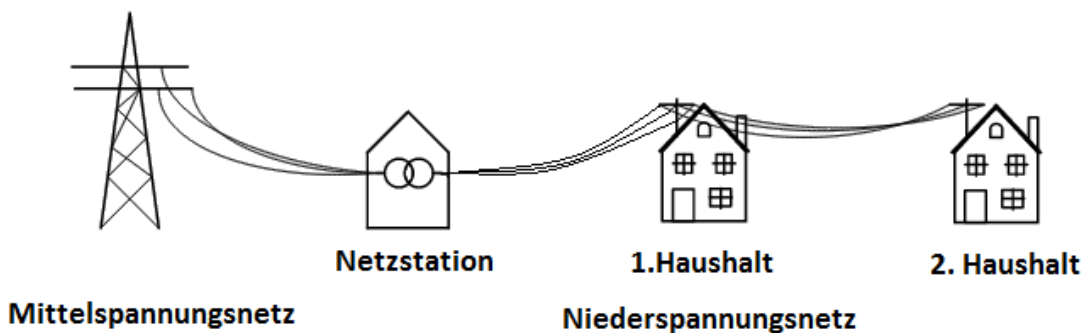
### Aufgabe

Miss die Spannung in einem Strahlennetz mit 2 Wohnhäusern (Glühlampen), das von einem Transformator (Powermodul) versorgt wird.

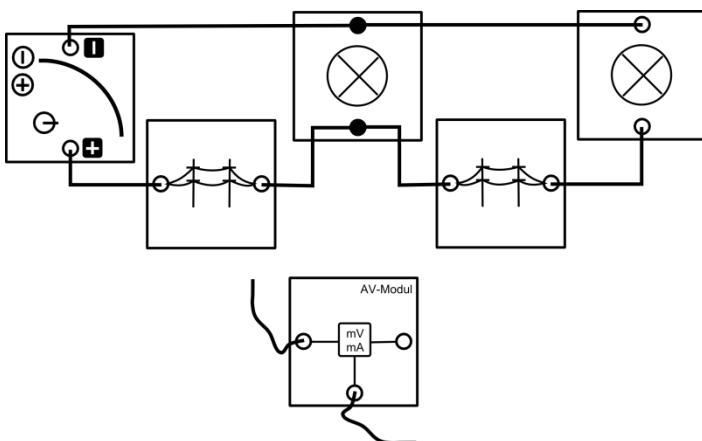
### Vorbemerkung

In diesem Experiment wird das Verhalten der Spannung in einem Ortsnetzgebiet untersucht. Einige Ortsnetzgebiete in Deutschland sind strangförmig aufgebaut. Am Anfang des Stranges befindet sich ein Transformator, der die Spannung des Mittelspannungsnetzes auf das Niveau des Niederspannungsnetzes heruntertransformiert. In diesem Experiment dient das Powermodul als Transformator, der eine Spannung an den Strang anlegt. In der Realität beträgt die Nennspannung 230V. Für die Simulation liegt die Nennspannung bei 3V.

### Realsituation



### Aufbau



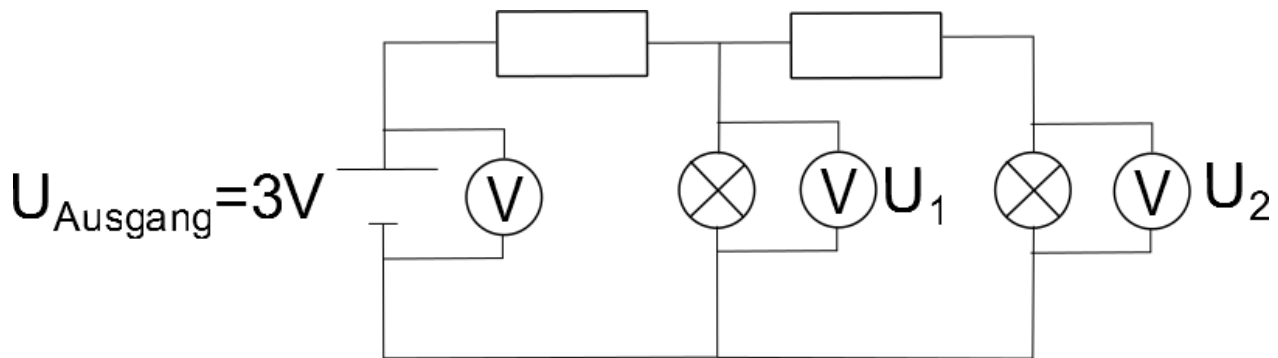
### Geräte

- Grundeinheit
- PowerModul (Transformator)
- AV-Modul mit 2 Kabeln
- 2 Stromnetzmodule (Stromleitungen)
- 2 Lampenmodule (Haushalt 1 und 2)
- Kabel



## 4.6 Spannungsverhalten in einem herkömmlichen Strahlennetz

## Schaltskizze



## Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend des Versuchsaufbaus auf
2. Miss die angelegte Ausgangsspannung  $U_{\text{Ausgang}}$  am Powermodul, die Spannung  $U_1$  am Haushalt 1 und die Spannung  $U_2$  am Haushalt 2.

## Messwerte

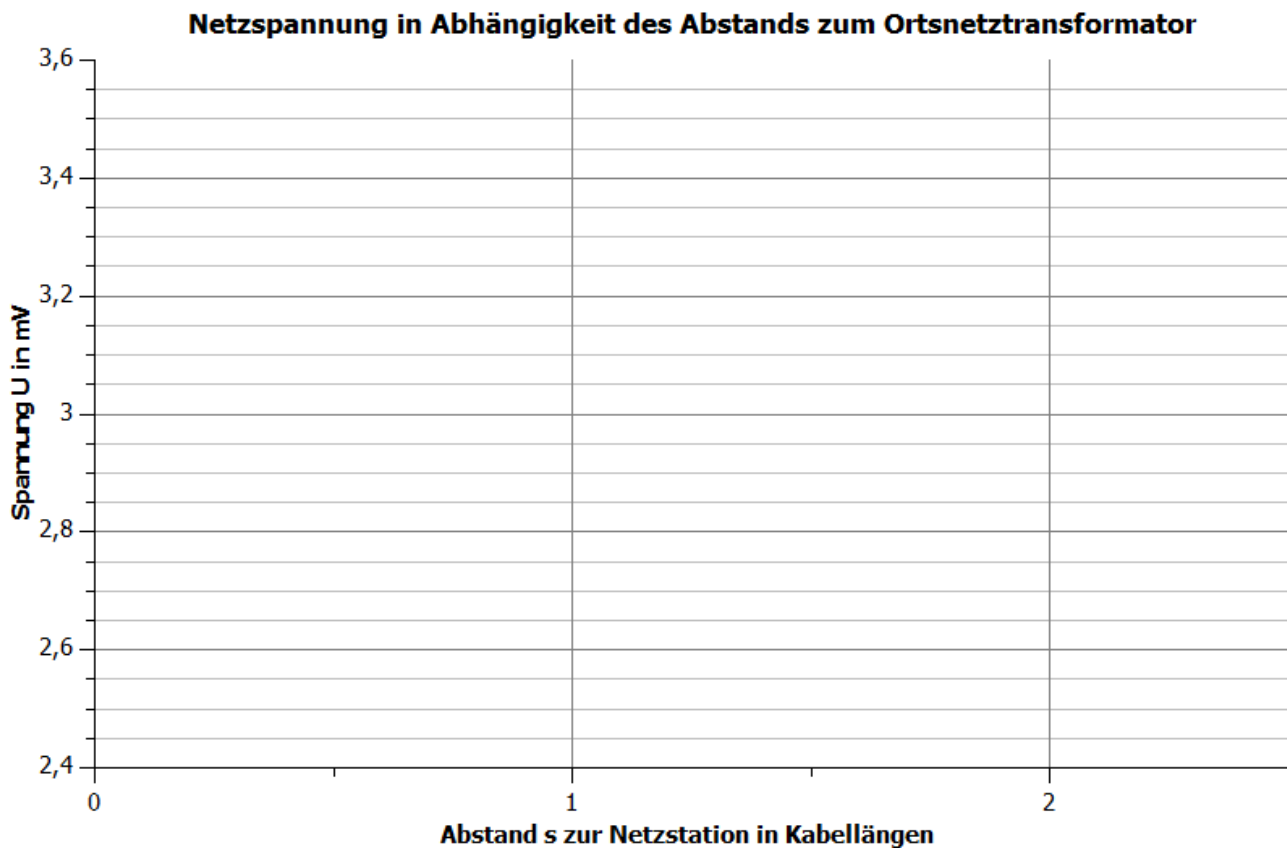
|                           |  |
|---------------------------|--|
| $U_{\text{Ausgang}}$ in V |  |
| $U_1$ in V                |  |
| $U_2$ in V                |  |



## 4.6 Spannungsverhalten in einem herkömmlichen Strahlennetz

### Auswertung

- Trage deine Messwerte in das Abstand-Spannung-Diagramm. Ein Abstand entspricht einem Stromnetzmodul. Schreibe zu den Messpunkten um welchen Haushalt es sich handelt.



- Vergleiche die drei Spannungswerte miteinander und erkläre die Werte.

---



---



---



---



---

- Erläutere die Bedeutung deiner Experimentierergebnisse für die Realität.

---



---



---

- In der Realität ist dieses Verhalten ebenfalls beobachtbar, wobei die Spannung an einem Haushalt maximal um 10 % von der Nennspannung 230 V abweichen darf. Zeichne mit einer waagerechten Linie die obere und die untere Grenze des erlaubten Spannungsbereichs für die Nennspannung von 3 V in das Diagramm ein. Bewerte ob deine Werte im erlaubten Bereich liegen.

---



---



---



## 4.6 Spannungsverhalten in einem herkömmlichen Strahlennetz

5. Erläutere Lösungsmöglichkeiten, um die Abweichungen von der Nennspannung für alle Verbraucher möglichst gering zu halten und überprüfe sie soweit wie möglich experimentell.

---

---

---

---

---

---

---



## 4.7 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage

### Aufgabe

Miss die Spannungen an zwei Haushalten in einem Strahlennetz für verschiedene Tageszeiten, die von einem Transformator (Powermodul) und einer Photovoltaikanlage (Solarmodul) versorgt werden.

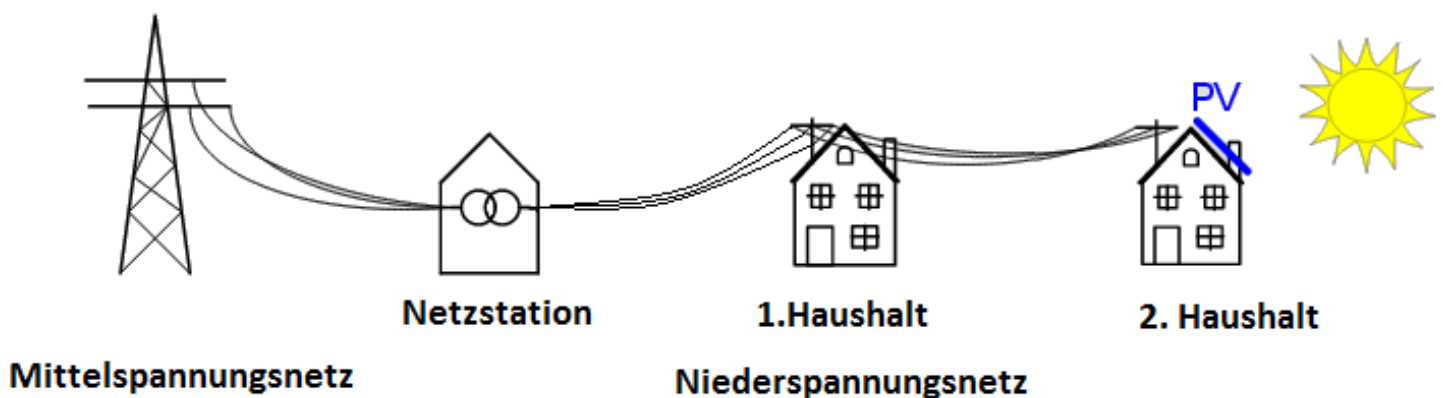
### Vorbemerkung

Bei diesem Experiment hat sich der Besitzer des Haushaltes am Ende des Strangs eine Photovoltaikanlage an seinem Haus installiert. Durch den Betrieb der Photovoltaikanlage musste er sich einen intelligenten Stromzähler (Smart Meter) dazu kaufen, der angibt, ob er Leistung aus dem Netz bezieht oder nicht. Dies erkennt man an dem Vorzeichen der Leistung.

Um die Spannung an jedem Haus bei  $3V \pm 10\%$  zu halten wurde der Transformator so eingestellt, dass er eine Nennspannung von  $3,5V$  einspeist (so wie in Experiment 4.6 bereits realisiert).

Stehe hinter dem Solarmodul, da Reflektionen die Beleuchtungsstärke am Solarmodul verändern.

### Realsituation

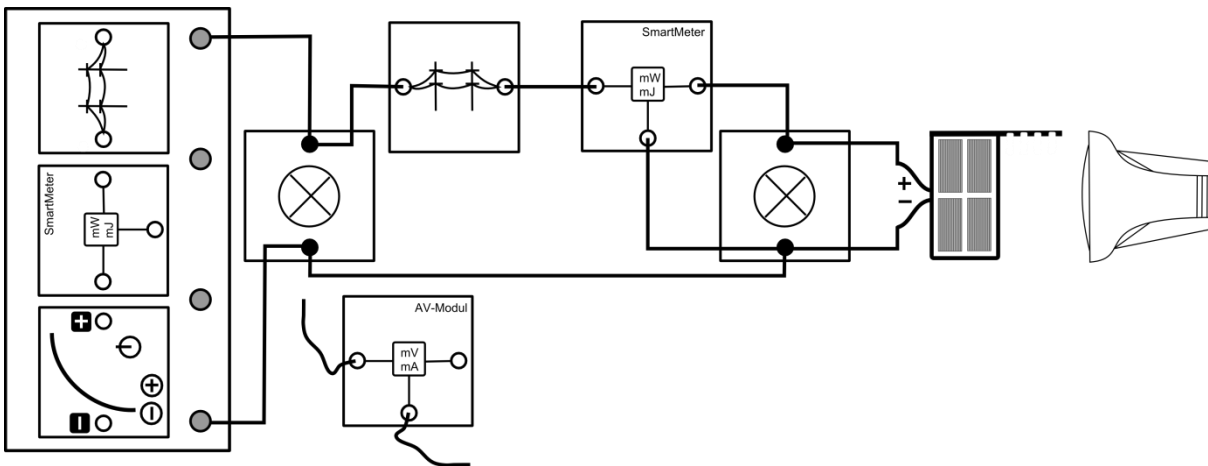


### Geräte

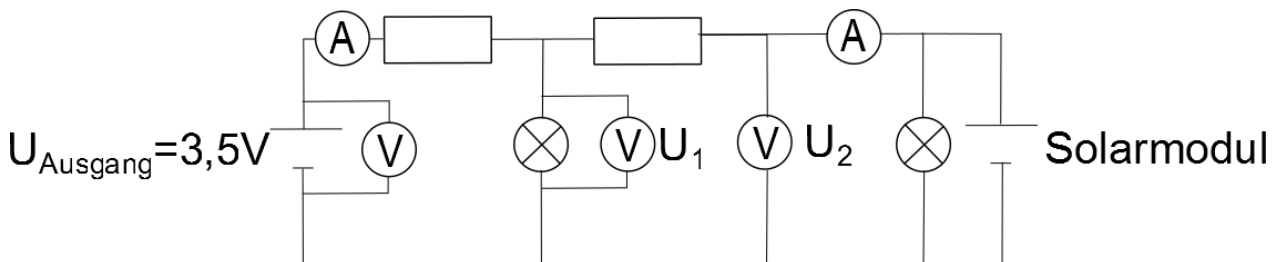
- Grundeinheit
- PowerModul 3,5V (Transformator)
- 2 SmartMeter
- AV-Modul mit 2 Kabeln
- 2 Stromnetzmodule (Stromleitungen)
- 2 Glühlampenmodule (Haushalt 1 und 2)
- Solarmodul (Photovoltaikanlage bei Haus 2)
- Lampe (Sonne)
- Azimutwinkelskala
- Kabel

## 4.7 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage

## Aufbau



## Schaltskizze



## Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend des Versuchsaufbaus auf. Achte auf die richtige Polung des PowerModuls und des Solarmoduls.
2. Stelle das Solarmodul senkrecht zur Tischebene und in 6:00Uhr-Stellung zur Lampe. Stelle die Lampe in 50cm Entfernung auf und richte den Strahlengang parallel zur Tischebene.
3. Schalte die Lampe und das PowerModul ein. Miss die Leistung des Powermoduls, die Leistung beim Haushalt 2 und die Spannung an beiden Haushalten. Achte besonders auf das Vorzeichen der Leistung am Haushalt 2.
4. Drehe das Solarmodul in die weiteren Uhrzeit-Stellungen und wiederhole die Aufnahme der 4 Messwerte.

## Messwerte

| Uhrzeit                  | 6:00 Uhr | 7:00 Uhr | 8:00 Uhr | 9:00 Uhr | 10:00 Uhr | 11:00 Uhr | 12:00 Uhr |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $P_{\text{POWER}}$ in mW |          |          |          |          |           |           |           |
| $P_{\text{Haus2}}$ in mW |          |          |          |          |           |           |           |
| $U_1$ in V               |          |          |          |          |           |           |           |
| $U_2$ in V               |          |          |          |          |           |           |           |

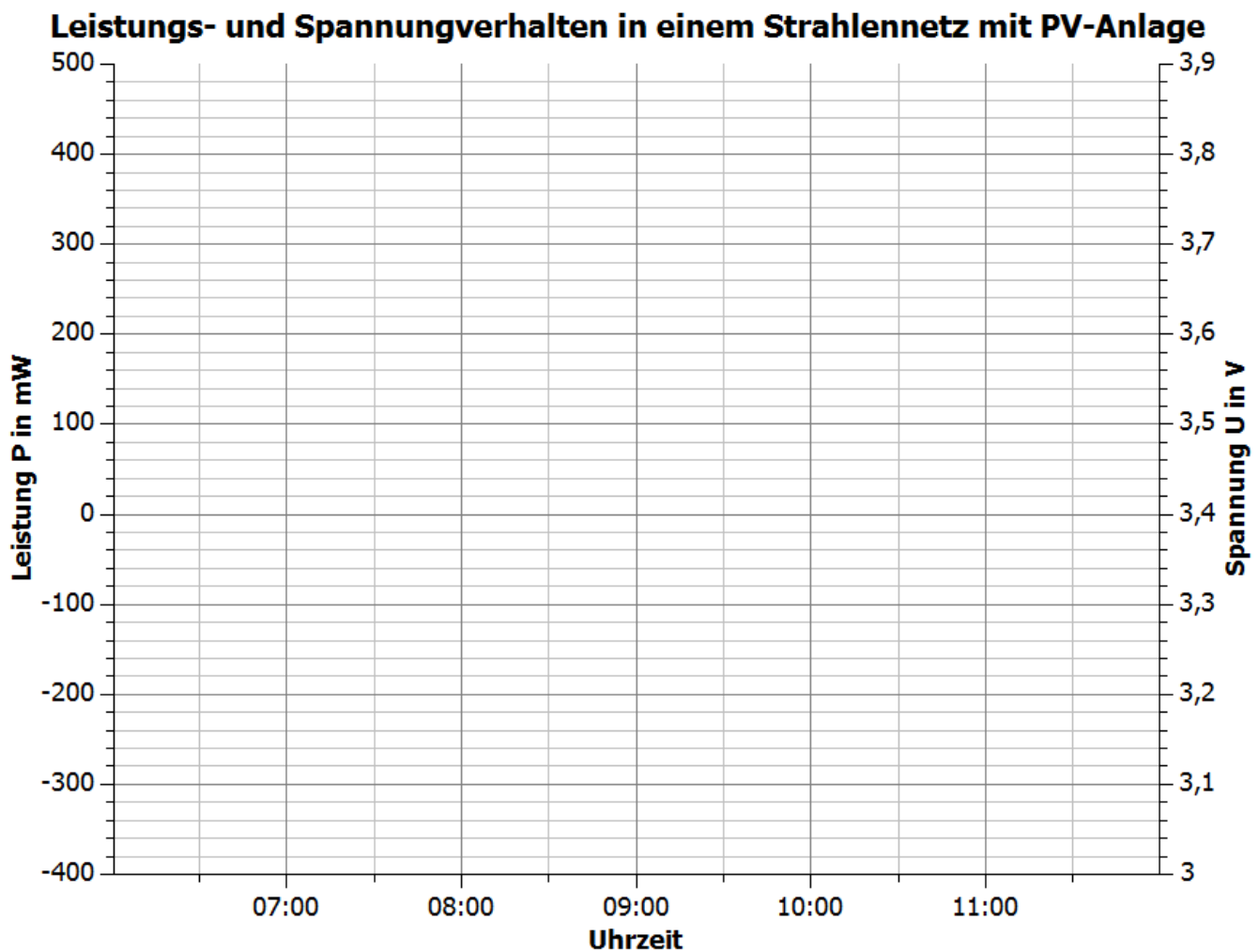




## 4.7 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage

### Auswertung

1. Trage deine Messpunkte in das Uhrzeit-Leistung- und das Uhrzeit-Spannung-Diagramm ein. Skizziere die Graphen.



2. Beschreibe und erkläre anhand deiner Messwerte die physikalischen Vorgänge innerhalb des Versuchs mit steigender Bestrahlung des Solarmoduls.

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



## 4.7 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage

3. Erläutere die Bedeutung deiner Messergebnisse für die Realität. Vermute und begründe, was in der Realität passieren müsste, sobald die Leistung des Transformators null ist, aber die Leistung des Solarmoduls weiter steigt.

---

---

---

---

---

---

---

4. Vergleiche die Spannungswerte mit den Ergebnissen aus dem Experiment 4.6. Beachte hierbei auch die Abweichung von der Nennspannung von 3V bei den verschiedenen Beleuchtungswinkeln.

---

---

---

---

---

---

---



## 4.8 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage in Abhängigkeit vom Verbrauch

### Aufgabe

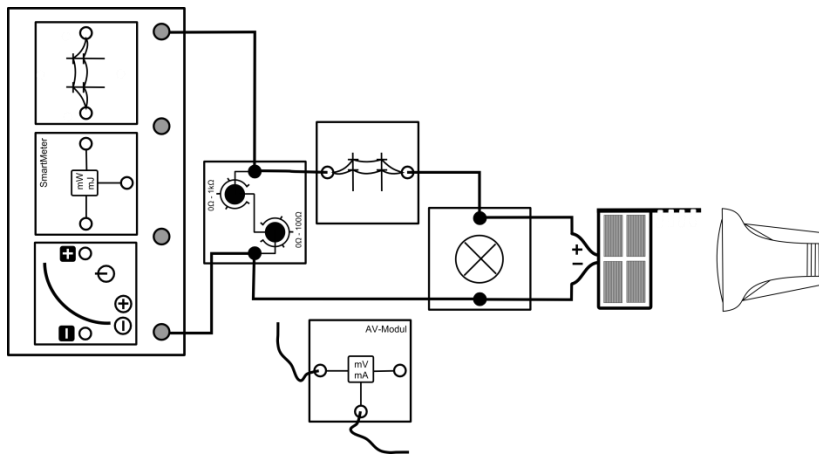
Miss die Spannung an den zwei Haushalten (Potentiometermodul und Glühlampenmodul) innerhalb eines Strahlennetzes in Abhängigkeit vom Verbrauch des vorderen Haushalts (Potentiometermodul).

### Vorbemerkung

Der Verbrauch im vorderen Haushalt wird durch einen regelbaren Widerstand verändert. Legen wir an einen Widerstand eine konstante Spannung an, so wird nach dem Ohm'schen Gesetz die durch ihn fließende Stromstärke umso geringer, je größer dieser Widerstand ist. Das bedeutet, mit größer werdendem Widerstand verbraucht der Haushalt weniger Leistung.

Das SmartMeter dient zur Kontrolle, dass immer eine Leistung zwischen 0mW und 665mW abgegeben wird. Andernfalls entsprechen die physikalischen Vorgänge nicht der Realität. Stehe hinter dem Solarmodul, da Reflektionen die Beleuchtungsstärke am Solarmodul verändern.

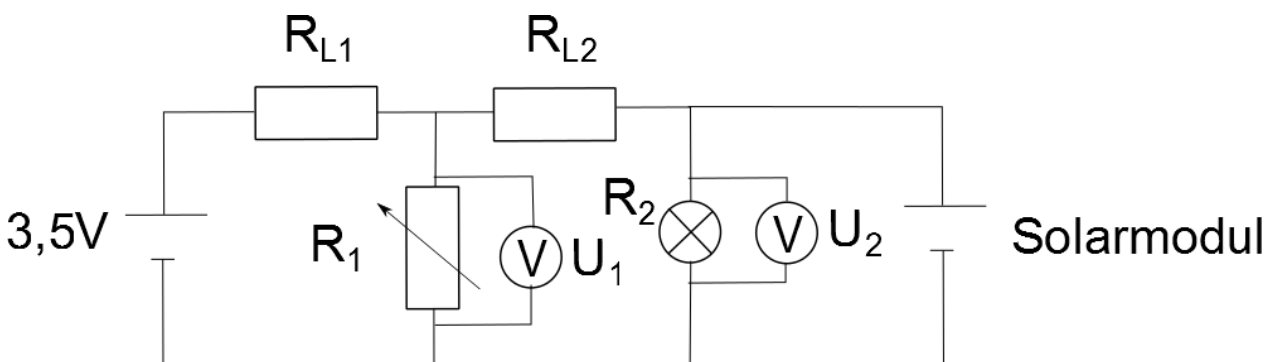
### Aufbau



### Geräte

- Grundeinheit
- Powermodul 3,5V (Transformator)
- SmartMeter
- AV-Modul
- Potentiometermodul (Haushalt 1)
- 2 Stromnetzmodul
- Glühlampenmodul (Haushalt 2)
- Solarmodul (Photovoltaikanlage)
- Lampe (Sonne)
- Kabel

### Schaltskizze



### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend des Versuchsaufbaus auf. Stelle das Solarmodul senkrecht zur Tischebene und frontal in einem Abstand von 50cm zur Lampe. Richte den Strahlengang der Lampe parallel zur Tischebene aus. Stelle das Powermodul auf eine Nennspannung von 3,5V ein. Stelle das Potentiometer auf 20Ω.



## 4.8 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage in Abhängigkeit vom Verbrauch

- Schalte das PowerModul und die Lampe ein. Miss die Spannung zunächst am Potentiometermodul (Haushalt 1,  $U_1$ ) und dann am Glühlampenmodul (Haushalt 2,  $U_2$ ).
- Erhöhe den Widerstand auf  $40\Omega$  und beobachte das Verhalten der Spannung am Glühlampenmodul. Miss die Spannung noch einmal am Potentiometer- und am Glühlampenmodul bei  $40\Omega$ . Notiere deine Beobachtung und die Messwerte.

### Messwerte

|               |    |    |
|---------------|----|----|
| R in $\Omega$ | 20 | 40 |
| $U_1$ in V    |    |    |
| $U_2$ in V    |    |    |

Beobachtung:

### Auswertung

- Beschreibe deine Messergebnisse.

---



---

- Schlussfolgere aus deinen Messwerten den Zusammenhang zwischen dem Verbrauch an Haushalt 1 und der Spannung über den Haushalten.

---



---

- Erkläre die Veränderung der Spannung aufgrund der Veränderung des Widerstands innerhalb des Experiments.

---



---



---



---

- In der Realität arbeitet die Photovoltaikanlage immer bei maximaler Leistung und ist eine Leistungsquelle. Die Spannung verändert sich demzufolge nicht, weil sich der Arbeitspunkt auf der U-I-Kennlinie verschiebt. Erkläre die Physikalischen Vorgänge im Experiment unter der Annahme, dass sie eine Leistungsquelle ist und dass die Leitungen Ohm'sche Widerstände sind.

---



---



---



---



---



---



## 4.9 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage in Abhängigkeit von der Länge des Leiters

### Aufgabe

Miss die Spannung an 2 Haushalten (Glühlampenmodule) in einem Strahlennetz in Abhängigkeit vom Abstand zum Transformator (Powermodul).

### Vorbemerkung

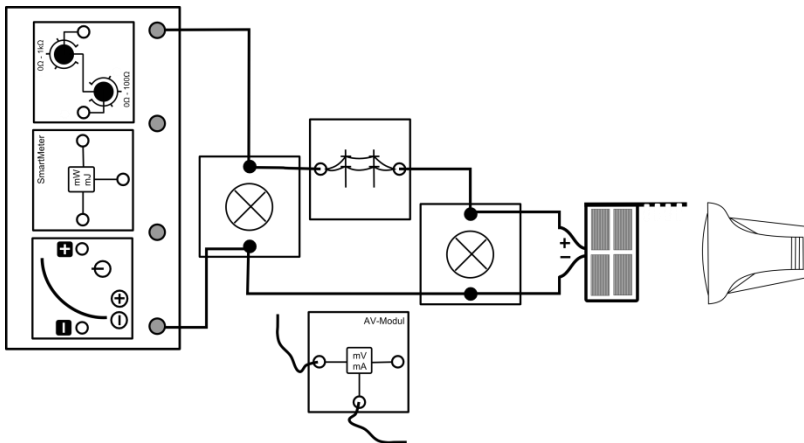
Der Widerstand eines metallischen Leiters ist proportional zu dessen Länge. Die Länge des elektrischen Leiters zwischen Solarmodul und Transformator wird im Versuch durch einen regelbaren Widerstand dargestellt.

Bedenke, dass die am Transformator eingestellte Spannung von dem Widerstand des Leiters abhängt. Ansonsten könnte der erlaubte Spannungsbereich ohne Leistungseinspeisung der Photovoltaikanlage an den Haushalten nicht eingehalten werden.

Das Smart Meter dient zur Kontrolle, dass keine Stromstärke größer als 190mA durch das Potentiometer fließt. Überschlage mithilfe des Leistungswerts die aktuelle Stromstärke und schalte gegebenenfalls das Powermodul sofort wieder ab. Andernfalls kann das Potentiometer dauerhaft beschädigt werden.

Stehe hinter dem Solarmodul, da Reflektionen die Beleuchtungsstärke am Solarmodul verändern.

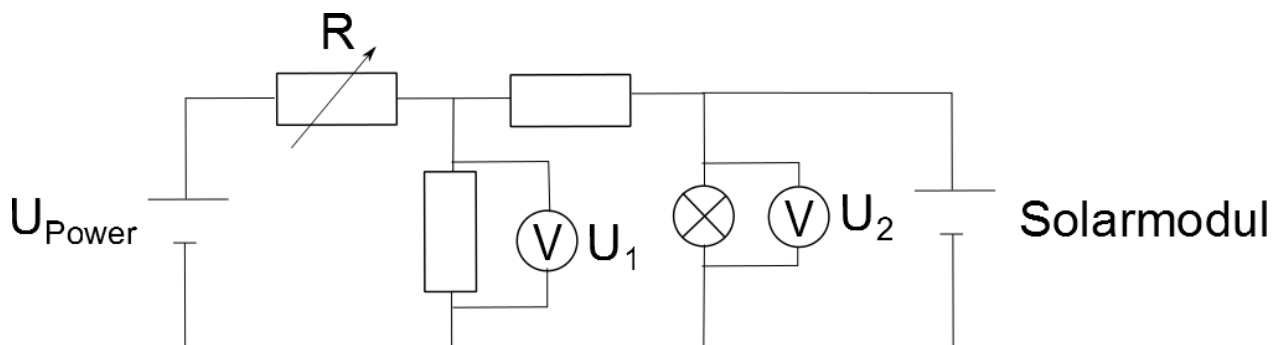
### Aufbau



### Geräte

- Grundeinheit
- Powermodul (Transformator)
- AV-Modul mit Kabeln
- SmartMeter
- Potentiometermodul (Stromleitung zwischen Haushalt 1 und Transformator)
- Stromnetzmodul (Stromleitung zwischen den Haushalten)
- 2 Glühlampenmodule (Haushalt 1 und 2)
- Solarmodul (Photovoltaikanlage)
- Lampe (Sonne)
- Kabel

### Schaltskizze





## 4.9 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage in Abhängigkeit von der Länge des Leiters

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend des Versuchsaufbaus auf. Das Solarmodul soll im Abstand von 50cm zur Lampe stehen. Stelle das Solarmodul frontal zur Lampe und senkrecht zur Tischebene. Der Strahlengang der Lampe soll parallel zur Tischebene verlaufen.
2. Stelle das Potentiometer auf den minimalen Widerstand und schalte das Powermodul ein. Finde die passende Spannung am PowerModul, bei der beide Glühlampenmodule (Haushalt 1 und 2) die geringste Abweichung von der Nennspannung 3V aufweisen. Notiere die Werte in der Messwerttabelle. Schalte die Lampe ein und miss die Spannung an beiden Verbrauchern noch einmal.
3. Schalte die Lampe wieder aus und wiederhole Schritt 2 für einen Widerstand von  $20\Omega$  und  $40\Omega$ .

### Messwerte

| R in $\Omega$           | Minimaler Widerstand<br>( $2\Omega$ - $5\Omega$ ) |                    | 20                  |                    | 40                  |                    |
|-------------------------|---|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|                         | Ohne<br>Beleuchtung                               | Mit<br>Beleuchtung | Ohne<br>Beleuchtung | Mit<br>Beleuchtung | Ohne<br>Beleuchtung | Mit<br>Beleuchtung |
| $U_{\text{Power}}$ in V |   |                    |                     |                    |                     |                    |
| $U_1$ in V              |   |                    |                     |                    |                     |                    |
| $U_2$ in V              |   |                    |                     |                    |                     |                    |

### Auswertung

1. Beschreibe deine Messwerte.

---



---



---

2. Erkläre deine Messergebnisse.

---



---



---



---



---

3. Erläutere die Bedeutung deiner Messergebnisse für die Realität.

---



---



---



## 4.9 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage in Abhängigkeit von der Länge des Leiters

4. Schlussfolgere aus den Experimenten 4.7 bis 4.9 unter welchen Voraussetzungen große Spannungen durch eine PV-Anlage in einem Strahlennetz entstehen.

---

---

---

---

5. Vermute und begründe, in welchen Regionen es zu solchen Extremsituationen kommen kann.

---

---

---

---

---

6. Erläutere anhand der physikalischen Ursachen reale Lösungsmöglichkeiten, um dieses Problem zu beheben.

---

---

---

---

---

---

---

---

## 4.10 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und einer intelligenten Ortsnetzstation

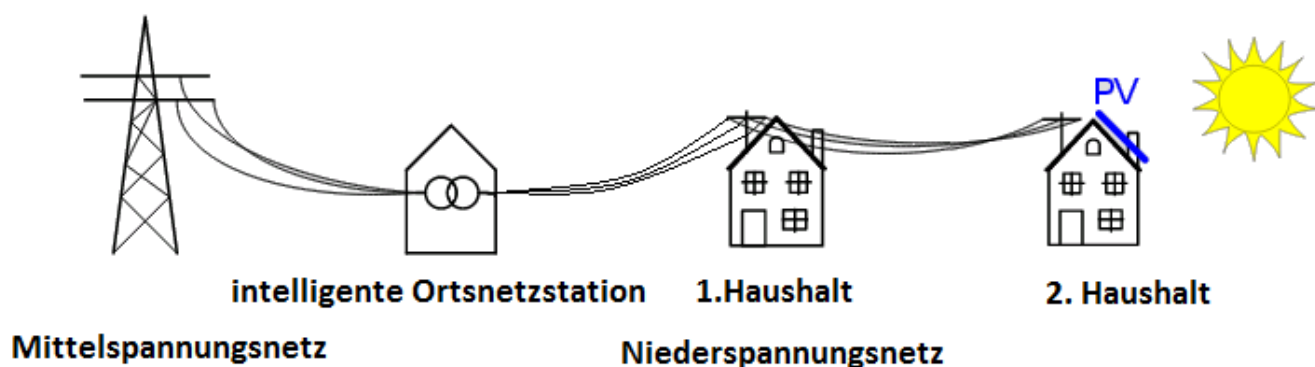
### Aufgabe

Miss zu verschiedenen Uhrzeiten die Spannung in einem Netzstrang mit 2 Haushalten (Glühlampenmodule), das von einem intelligenten Ortsnetztransformator (PowerModul) und einer Photovoltaikanlage (Solarmodul) versorgt wird zu verschiedenen Uhrzeit.

### Vorbemerkung

Bei diesem Experiment wurde zur Verbindung der Mittelspannungs- mit der Niederspannungsebene eine intelligente Ortsnetzstation installiert. Diese Station besteht aus einem Transformator, der im Gegensatz zu herkömmlichen Transformatoren sein Windungsverhältnis verändern und so eine andere Spannung an das Strahlennetz anlegen kann. In der Simulation ist die intelligente Ortsnetzstation das PowerModul, an dem man nun während des Versuchs die Spannung ändert. Das Smart Meter dient zur Kontrolle, dass immer eine Leistung zwischen 0mW und 665mW abgegeben wird. Andernfalls entsprechen die physikalischen Vorgänge nicht der Realität. Achte darauf nicht zwischen Solarmodul und Lampe zu stehen, da es sonst aufgrund von Reflexionen zu einer Verfälschung der Messwerte kommt.

### Realsituation



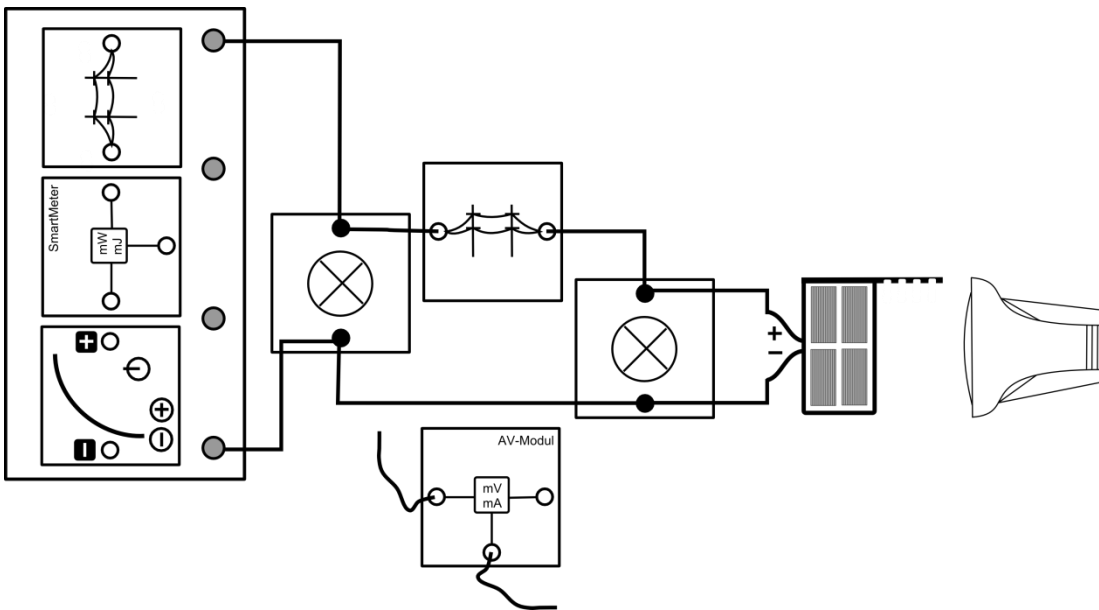
### Geräte

- Grundeinheit
- PowerModul (intelligente Ortsnetzstation)
- SmartMeter
- AV-Modul mit 2 Kabeln
- 2 Stromnetzmodule (Stromleitungen zwischen den Haushalten)
- 2 Lampenmodule (Haushalt 1 und 2)
- Solarmodul (Photovoltaikanlage)
- Lampe (Sonne)
- Azimutwinkelskala
- Kabel

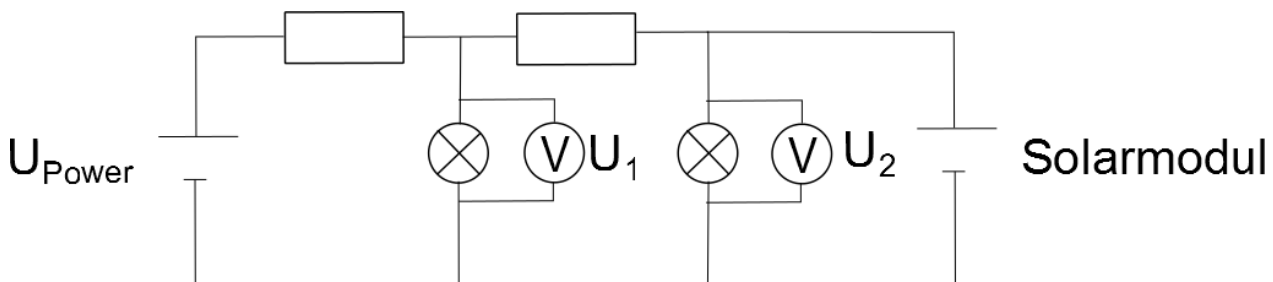


## 4.10 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und einer intelligenten Ortsnetzstation

### Aufbau



### Schaltskizze



### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend des Versuchsaufbaus auf. Achte auf die Polung des PowerModuls und des Solarmoduls. Stelle das Solarmodul senkrecht zur Tischebene und in 6:00 Uhr-Stellung zur Lampe. Stelle die Lampe in 50cm Entfernung auf und richte den Strahlengang parallel zur Tischebene aus. Stelle das Powermodul auf eine Spannung von 3V.
2. Schalte die Lampe und das PowerModul ein. Miss die Spannung an beiden Glühlampenmodulen (Haushalt 1 und 2). Setze die Spannung am PowerModul auf 3,5V und miss noch einmal die Spannung über beiden Glühlampenmodule (Haushalt 1 und 2).
3. Drehe das Solarmodul in die weiteren Uhrzeit-Stellungen und wiederhole die Aufnahme der Messwerte für die zwei Spannungen am PowerModul.



## 4.10 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und einer intelligenten Ortsnetzstation

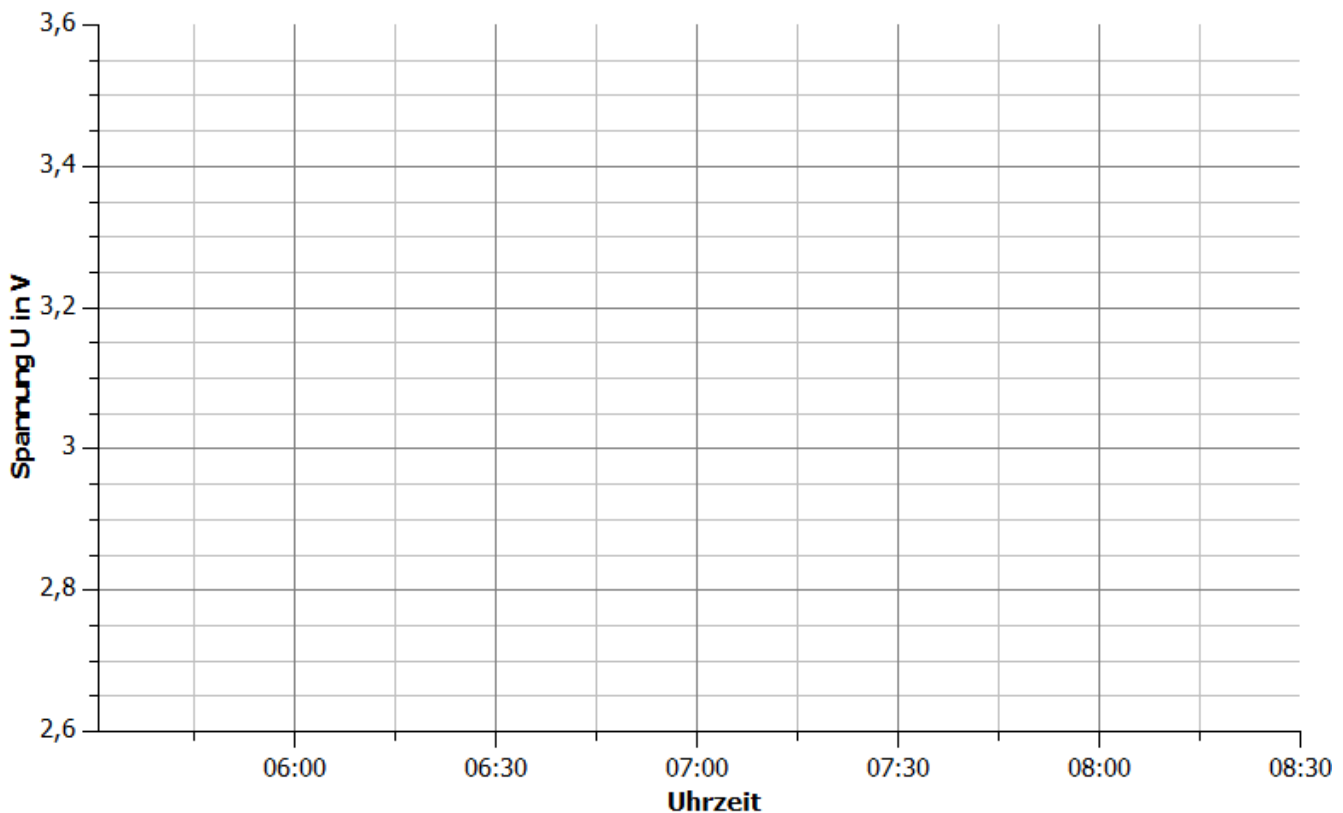
### Messwerte

| Uhrzeit                 | 6:00Uhr |  | 7:00Uhr |  | 8:00Uhr |  |
|-------------------------|---------|--|---------|--|---------|--|
| $U_{\text{Power}}$ in V |         |  |         |  |         |  |
| $U_1$ in V              |         |  |         |  |         |  |
| $U_2$ in V              |         |  |         |  |         |  |

### Auswertung

1. Trage deine Messpunkte zu den verschiedenen Haushalten und Transformatorstationsspannungen in das Uhrzeit-Spannung-Diagramm ein.

#### Spannungsverhalten in einem Strahlennetz in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke einer PV-Anlage und der Netzspannung an der Transformatorstation



2. Beschreibe deine Messwerte.

---



---



---



---



## 4.10 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und einer intelligenten Ortsnetzstation

3. Erkläre, weshalb Spannung an den beiden Glühlampenmodulen sinkt, wenn die Spannung am PowerModul gesenkt wird.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4. Bewerte den Einsatz einer Ortsnetzstation zur Steuerung der Spannung an Haushalten im Laufe eines Tages mit Hilfe deiner Messwerte.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

5. Erläutere die Informationen, die die Station zur Steuerung benötigt.

---

---

---

## 4.11 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und Energiespeicher (reversible Brennstoffzelle/ E-Mobility)

### Aufgabe

Miss das Verhalten der Spannung am Ende eines Strahlennetzes in Abhängigkeit von dem Vorwiderstand vor einer reversiblen Brennstoffzelle.

### Vorbemerkungen

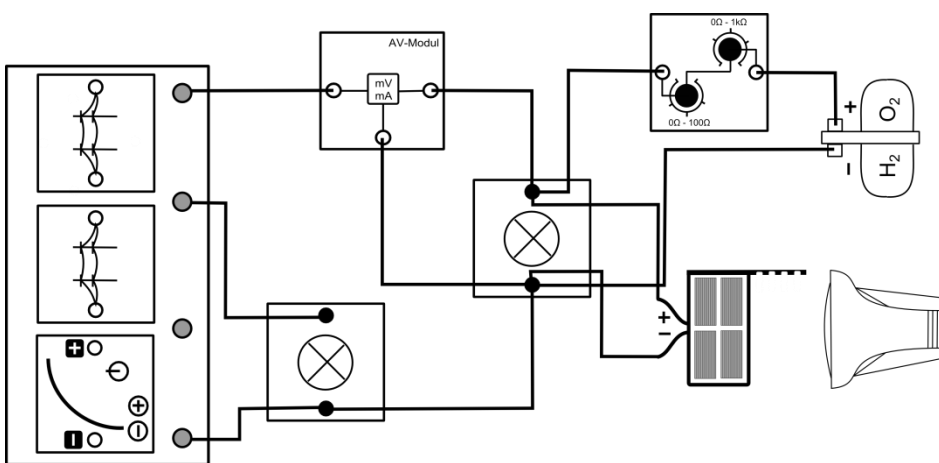
In dieser Simulation befindet sich am 2. Haushalt ein Energiespeicher in Form einer reversiblen Brennstoffzelle, die zu Beginn des Experiments nicht aufgeladen ist. Das Experiment soll eine Situation wiedergeben, in der das Solarmodul über einen längeren Zeitraum unter hoher Sonneneinstrahlung beschienen wird.

Stehe hinter dem Solarmodul, da Reflektionen die Beleuchtungsstärke am Solarmodul verändern.

### Geräte

- Grundeinheit
- Powermodul 3,5V (Transformator)
- Solarmodul mit Standfuß (Photovoltaikanlage)
- Lampe (Sonne)
- AV-Modul
- 2 Glühlampenmodule (Haushalt 1 und 2)
- 2 Stromnetzmodule (Stromleitungen zwischen den Haushalten und dem Transformator)
- Potentiometermodul
- Reversible Brennstoffzelle (privates Speichermedium)
- Kabel
- Auto

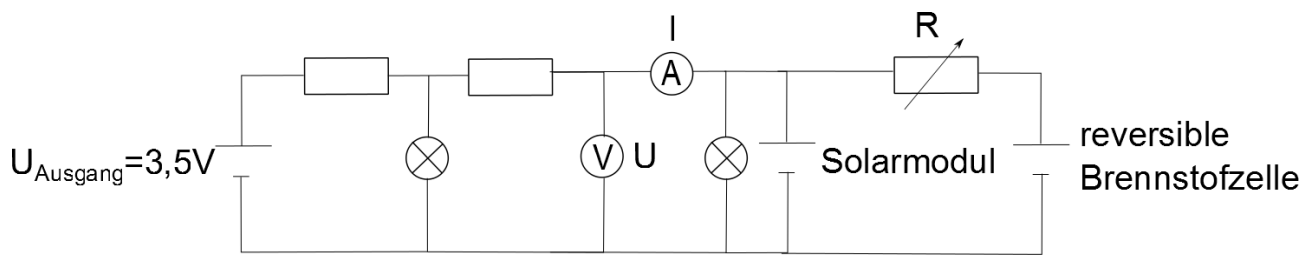
### Aufbau





## 4.11 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und Energiespeicher (reversible Brennstoffzelle/ E-Mobility)

### Schaltskizze



### Durchführung

1. Bereite die Brennstoffzelle für den Betrieb vor (Siehe Kapitel 2).
2. Baue den Versuch bis auf die reversible Brennstoffzelle mit dem Potentiometermodul entsprechend der Versuchsanleitung auf. Stelle das Solarmodul in einem Abstand von 50cm frontal zur Lampe und senkrecht zur Tischebene. Der Strahlengang der Lampe sollte parallel zur Tischebene verlaufen. Das PowerModul soll auf eine Spannung von 3,5V eingestellt werden. Drehe das Potentiometermodul auf den maximalen Widerstand.
3. Schalte das PowerModul ein und nimm die Spannung und die Stromstärke des rechten Glühlampenmoduls auf.
4. Schalte nun die Lampe ein und nimm noch einmal die beiden Messwerte auf.
5. SchlieÙe die reversible Brennstoffzelle mit dem Potentiometermodul bei 1,1k $\Omega$  an und miss wieder die Spannung und die Stromstärke am rechten Glühlampenmodul. Wiederhole die Messung für die vorgegebenen Widerstände.
6. Lade die Brennstoffzelle noch mindestens 3min weiter.

### Messwerte

Spannung bevor das Solarmodul beschienen wird: \_\_\_\_\_

Stromstärke bevor das Solarmodul beschienen wird: \_\_\_\_\_

Spannung bei beschienenem Solarmodul, aber kurz bevor der Kondensator Energie aufnimmt:

Stromstärke bei beschienenem Solarmodul, aber kurz bevor der Kondensator Energie aufnimmt:

\_\_\_\_\_

|               |      |     |    |    |    |    |
|---------------|------|-----|----|----|----|----|
| R in $\Omega$ | 1100 | 100 | 80 | 60 | 40 | 20 |
| U in V        |      |     |    |    |    |    |
| I in mA       |      |     |    |    |    |    |

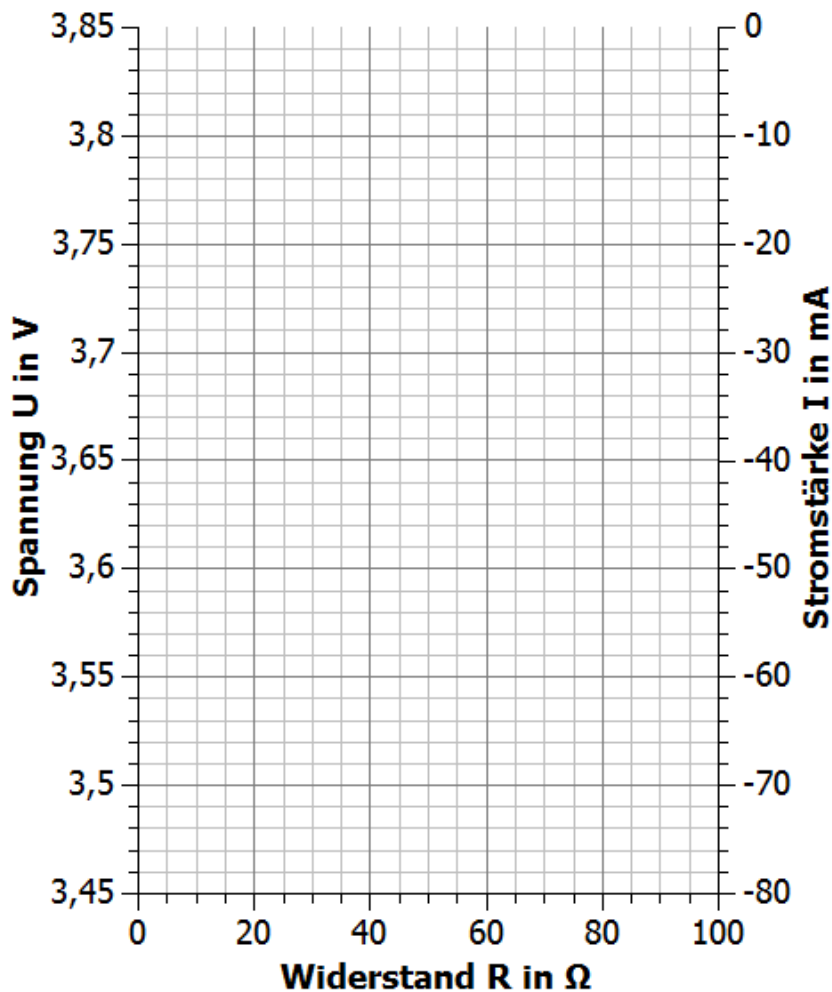


## 4.11 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und Energiespeicher (reversible Brennstoffzelle/ E-Mobility)

### Auswertung

1. Trage deine Messwerte aus der Tabelle in das R-U- und das R-I-Diagramm ein

### Spannungs- und Stromstärkeverlauf beim Anschließen einer reversiblen Brennstoffzelle in Abhängigkeit von einem Vorwiderstand



2. Beschreibe und erkläre die Messwerte für die verschiedenen Widerstände.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## 4.11 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und Energiespeicher (reversible Brennstoffzelle/ E-Mobility)

3. Bewerte anhand deiner Messwerte, ob sich Speichermedien zur Einhaltung der erlaubten Spannungswerte eignen und ob Speichermedien nur durch regenerative Enerquellen gespeist werden können. SchlieÙe anhand deiner Messwerte auch auf die Spannung am vorderen Haushalt.

---

---

---

---

---

4. Benenne mögliche Speichermedien im Haus.

---

---

5. Stecke die reversible Brennstoffzelle auf das Auto und verbinde den Automotor mit ihr. Beschreibe das Verhalten des Elektroautos und ziehe Rückschlüsse auf die Spannung und die Leistungsabgabe der Brennstoffzelle.

---

---

---

---

## 4.12 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und Lastmanagement

### Aufgabe

Messen Sie die Spannungen an beiden Haushalten (Glühlampenmodul und Potentiometermodul) bei einem veränderten Verbrauch im hinteren Haushalt (Potentiometermodul) in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage (Solarmodul).

### Vorbemerkungen

Der Verbrauch im hinteren Haushalt wird durch einen regelbaren Widerstand verändert. Legen wir an einen Widerstand eine konstante Spannung an, so wird nach dem Ohm'schen Gesetz die durch ihn fließende Stromstärke umso geringer, je größer dieser Widerstand ist. Das bedeutet, mit größer werdendem Widerstand verbraucht der Haushalt weniger Leistung.

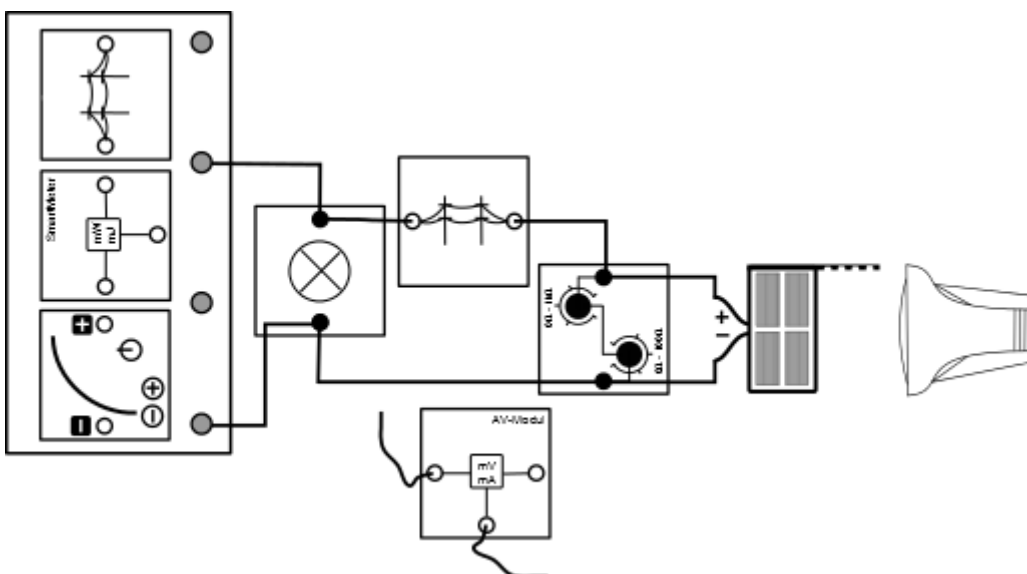
Das SmartMeter dient zur Kontrolle, dass immer eine Leistung zwischen 0mW und 665mW abgegeben wird. Andernfalls entsprechen die physikalischen Vorgänge nicht der Realität.

Stehe hinter dem Solarmodul, da Reflektionen die Beleuchtungsstärke am Solarmodul verändern.

### Geräte

- Grundeinheit
- Powermodul 3,5V (Transformator)
- Solarmodul mit Standfuß (Photovoltaikanlage)
- Lampe (Sonne)
- AV-Modul
- SmartMeter
- Glühlampenmodul (Haushalte 1)
- 2 Stromnetzmodule (Stromleitungen)
- Potentiometermodul (Haushalt 2)
- Kabel

### Aufbau

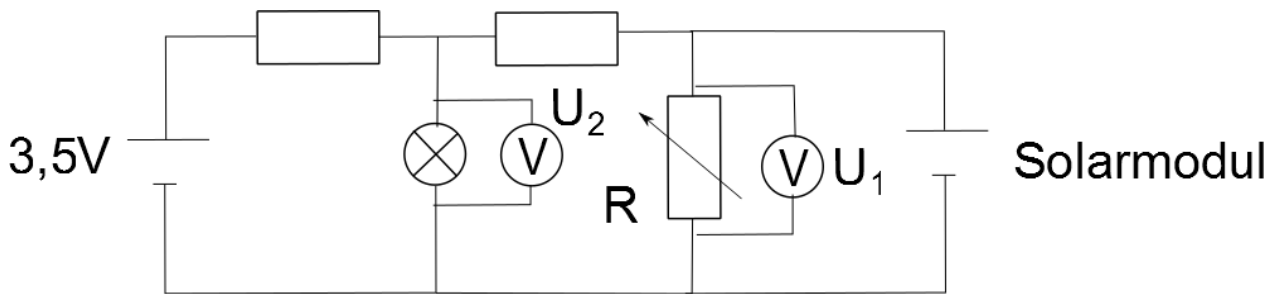






## 4.12 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und Lastmanagement

### Schaltskizze



### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanleitung auf. Stelle das Solarmodul in einem Abstand von 50cm frontal zur Lampe und senkrecht zur Tischebene. Der Strahlengang der Lampe sollte parallel zur Tischebene verlaufen. Das PowerModul soll auf eine Spannung von 3,5V eingestellt werden. Drehe das Potentiometermodul auf einen Widerstand von  $60\Omega$ .
2. Schalte das PowerModul und die Lampe ein. Miss die Spannung an der Glühlampe und am Potentiometermodul.  
Verringere den Widerstand auf  $40\Omega$  und  $20\Omega$  und miss die Spannung erneut.

### Messwerte

|               |    |    |
|---------------|----|----|
| R in $\Omega$ | 20 | 40 |
| $U_2$ in V    |    |    |
| $I_2$ in mA   |    |    |

### Auswertung

1. Beschreibe deine Messergebnisse.

---



---



---



---

2. Erkläre die physikalischen Vorgänge innerhalb des Experiments.

---



---



---



---



## 4.12 Spannungsverhalten in einem Strahlennetz mit Photovoltaikanlage und Lastmanagement

3. Erläutere die Bedeutung deiner Messwerte für die Realität.

---

---

---

4. In einem Smart Grid wird versucht dich über die Energiekosten zu einem höheren oder geringeren Verbrauch anzuregen, um die Spannungswerte einzuhalten. Benenne und erläutere Geräte in deinem Haushalt, die du flexibel an- oder abschalten würdest, beziehungsweise die flexibel energieintensiver laufen, um dann kurzzeitig weniger Energie zu verbrauchen.

---

---

---

---

---

---

---

---

5. Positioniere dich dazu, inwieweit Netzbetreiber über bestimmte Geräte in deinem Haushalt die Kontrolle haben dürfen, um die Versorgungssicherheit aufrecht zu halten.



## 4.13 Leiterseilmonitoring

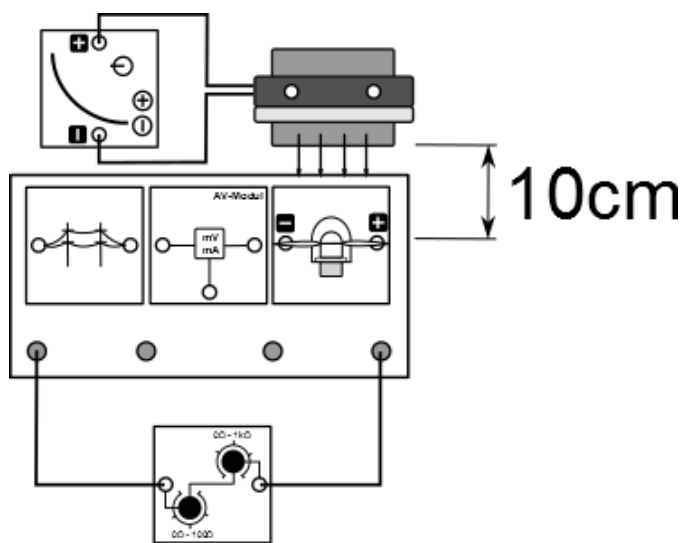
### Aufgabe

Miss die Spannung und die Stromstärke an und in einer Stromnetzleitung (Stromnetzmodul).

### Vorbemerkungen

Das Experiment simuliert eine Hochspannungsleitung, durch die große Energiemengen fließen. Achte darauf keine Gegenstände in der Nähe des Windturbinenrotors zu halten, da es sonst zu Verletzungen und falschen Messwerten kommen kann.

### Aufbau



### Geräte

- Grundeinheit
- Powermodul
- Winderzeuger
- Windgenerator (Windpark)
- Optimiertes Flügelprofil 25° 3-Flügler
- AV-Modul
- Stromnetzmodul (Hochspannungsleitung)
- Potentiometermodul (Versorgungszentrum)
- Kabel
- Stoppuhr

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Platziere den Winderzeuger im Abstand von 10cm zu den Flügeln und stelle die Flügel frontal in den Wind. Stelle das Potentiometer auf den minimalen Widerstand, um einen hohen Strombedarf zu simulieren.
2. Versichere dich, dass alle Komponenten in Reihe geschaltet sind und die Spannungsmessung parallel zum Stromnetzmodul erfolgt.
3. Schalte das Powermodul bei einer Spannung von 6V ein. Miss die Spannung und die Stromstärke am Stromnetzmodul nach 30s und nach 60s. Erhöhe die Spannung um 1V.
4. Wiederhole diesen Schritt solange, bis du die Spannung am Powermodul 12V erreicht.
5. Berechne den Widerstand des Stromnetzmoduls und die Leistung, die im Stromnetzmodul verbraucht wird.



## 4.13 Leiterseilmonitoring

## Messwerte

| $U_{\text{Power}}$ in V            | 6   |      | 7   |      | 8   |      | 9   |      |
|------------------------------------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| $v_{\text{wind}}$ in $\frac{m}{s}$ | 4,3 |      | 5,1 |      | 5,8 |      | 6,4 |      |
|                                    | 30s | 1min | 30s | 1min | 30s | 1min | 30s | 1min |
| $U_{\text{Netz}}$ in mV            |     |      |     |      |     |      |     |      |
| $I_{\text{Netz}}$ in mA            |     |      |     |      |     |      |     |      |
| P in mW                            |     |      |     |      |     |      |     |      |
| R in $\Omega$                      |     |      |     |      |     |      |     |      |

| $U_{\text{Power}}$ in V            | 10  |      | 11  |      | 12  |      |
|------------------------------------|-----|------|-----|------|-----|------|
| $v_{\text{wind}}$ in $\frac{m}{s}$ | 7   |      | 7,5 |      | 8   |      |
|                                    | 30s | 1min | 30s | 1min | 30s | 1min |
| $U_{\text{Netz}}$ in mV            |     |      |     |      |     |      |
| $I_{\text{Netz}}$ in mA            |     |      |     |      |     |      |
| P in mW                            |     |      |     |      |     |      |
| R in $\Omega$                      |     |      |     |      |     |      |

## Auswertung

- Beschreibe und Begründe das Verhalten der Widerstandswerte des Leiters mit Hilfe deiner Messwerte.

---



---



---



---



---



---



---



---



## 4.13 Leiterseilmonitoring

2. Überprüfe deine Begründung: Stelle am Powermodul eine Spannung von 12V ein und simuliere einen starken Verbrauch, indem du das Potentiometer aus dem Stromkreis herausnimmst. Hierdurch wird die Stromstärke maximal. Beobachte das Verhalten von Stromstärke und Spannung über dem Stromnetzmodul. Berühre nach ca. 2min das isolierte Stück am Stromnetzmodul und beobachte die Spannung und die Stromstärke weiter. Notiere deine Beobachtungen.

---

---

---

---

---

---

---

---

3. Bisher wurde die Temperatur von Stromtrassen nicht überwacht. Es gibt gesetzliche Vorgaben, die aus Sicherheitsgründen nur eine Maximaltemperatur von 80°C erlauben. Diese Temperatur wird dann erreicht, wenn bestimmte Extremwetterlagen vorliegen und die Leitung vollausgelastet wird. Da diese Extremwetterlagen aber selten auftreten und die Grenzwerte der Stromstärke trotzdem eingehalten werden müssen, werden die Übertragungsleitungen bisher weit unterhalb der möglichen Kapazität genutzt. Um den Aufwand des Netzausbau einzuschränken und die bestehenden Netze besser auszulasten, soll das Smart Grid nun die Temperatur überwachen.

- a. Benenne und erläutere neben dem Stromfluss weitere Faktoren, die die Leiterseiltemperatur erhöhen oder erniedrigen können.

---

---

---

---

---

- b. Benenne Auswirkungen der Temperaturerhöhung, die eine gefahrenfreien Nutzung beeinträchtigen.

---

---

---

---

---

## 4.14 Szenarienversuch: Smart Grid

### Aufgabe

Notiere deine Beobachtungen für die verschiedenen Durchführungsszenarien.

### Vorbemerkungen

Das Experiment ist Nachstellung eines vereinfachten Aufbaus eines Smart Grids mit den wichtigsten Komponenten: konventionelles Kraftwerk, regenerative Kraftwerke und ein Speichermedium. Die Energieverbraucher befinden sich auf der Grundeinheit und stehen simultan für Haushalte. An sie sind der dezentrale Speicher und die Photovoltaikanlage direkt angeschlossen, da sie sich beide Komponenten in der Realität in unmittelbarer Nähe befinden. Über Stromleitungen sind mit den Verbrauchern zusätzlich ein Kraftwerk und eine Windkraftanlage verbunden. Sie sind in der Realität häufig in größerer Entfernung zu finden.

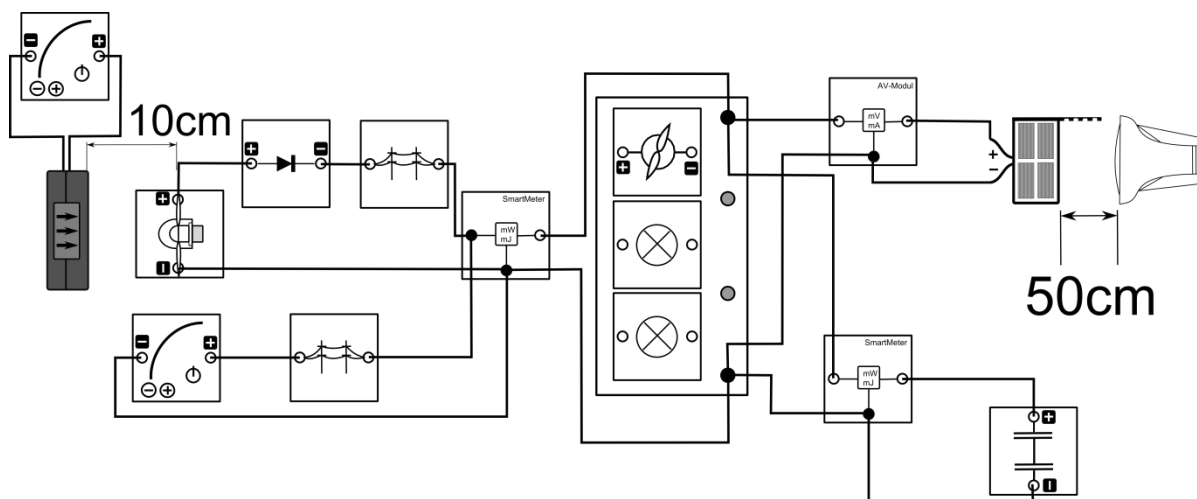
Die Nennspannung liegt bei 3V, wobei eine Abweichung von 10% erlaubt ist.

Achte darauf keine Gegenstände in der Nähe des Windturbinenrotors zu halten, da es sonst zu Verletzungen und falschen Messwerten kommen kann.

### Geräte

- Solarmodul (Photovoltaikanlage)
- Lampe (Sonne)
- Windgenerator mit 3-blättrigem Rotor und einem Anstellwinkel von 25° (Windkraftanlage)
- Winderzeuger mit Powermodul
- Powermodul 3,5V (Kraftwerk)
- Kondensator (dezentraler Speicher)
- 2 Glühlampenmodule (Verbraucher)
- Motormodul (Verbraucher)
- 2 Stromnetzmodule (Stromleitungen)
- 2 SmartMeter
- AV-Modul
- Diode
- Kabel
- Grundeinheit

### Aufbau





## 4.14 Szenarienversuch: Smart Grid

### Durchführung

1. Lade den Kondensator bis zu einer Spannung von 3V auf.
2. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Platziere den Winderzeuger im Abstand von 10cm zu den Flügeln und stelle die Flügel frontal in den Wind. Stelle das Solarmodul im Abstand von 50cm zur Lampe auf und richte den Strahlengang der Lampe direkt auf das Solarmodul und parallel zur Tischebene. Schließe den Kondensator noch nicht an und stecke das Motormodul noch nicht auf die Grundeinheit.
3. Führe nun die Szenarien nacheinander durch. Beobachte für jedes Szenario die Spannung an der Grundeinheit, die Leistungseinspeisung durch das Powermodul und den Windgenerator und den Leistungsfluss am Kondensator. Notiere deine Beobachtungen.
4. Szenario 1 (Die Versorgung durch das Kraftwerk): Schalte das Powermodul mit einer Spannung von 3,5V ein und schließe den Kondensator an.
5. Szenario 2 (Der Wind weht stark): Stelle das Powermodul am Winderzeuger auf 12V und schalte dieses sowie den Winderzeuger ein.
6. Szenario 3 (Die Sonne kommt hinter den Wolken hervor): Schalte die Lampe ein.
7. Szenario 4 (Das Kraftwerk fällt aus): Schalte das Powermodul im Stromkreis ab.
8. Szenario 5 (Der Wind flacht ab) Schalte das Powermodul am Winderzeuger ab.
9. Szenario 6: (Der Verbrauch nimmt zu): Stecke das Motormodul auf die Grundeinheit.
10. Szenario 7: (Die Sonne scheint nicht mehr): Schalte die Lampe aus. (Beginne mit Szenario 8 sobald die Spannung unter 2,5V liegt)
11. Szenario 8: (Das Kraftwerk ist wieder aktiv): Schalte das Powermodul im Stromkreis wieder an.

### Beobachtungen

Szenario 1:

Szenario 2:

Szenario 3:

Szenario 4:

Szenario 5:



## 4.14 Szenarienversuch: Smart Grid

Szenario 6:

---



---

Szenario 7:

---



---

Szenario 8:

---



---

## Auswertung

1. Beschreibe mit Hilfe deiner Beobachtungen die Vorgänge in der Realität während der jeweiligen Szenarien.

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---





## 4.14 Szenarienversuch: Smart Grid

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Weiterführende Literatur

- Buchholz, Bernd Michael; Styczynski Zbigniew: Smart Grids, Grundlagen und Technologien der elektrischen Netze der Zukunft. Berlin. VDE Verlag 2014
- Quaschnig, Volker: Regenerative Energiesysteme. Technologie – Berechnung – Simulation. München. Hanser Verlag 2009
- Pathmaperuma, Daniel; Schippl, Jens (2011): ITA-Monitoring “Intelligente Stromnetze”. URL: <http://www.itas.kit.edu/pub/v/2011/epp/pasc11-pre01.pdf> - Download vom 27.11.2014.



leXsolar GmbH  
Strehleener Straße 12-14  
01069 Dresden / Germany

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