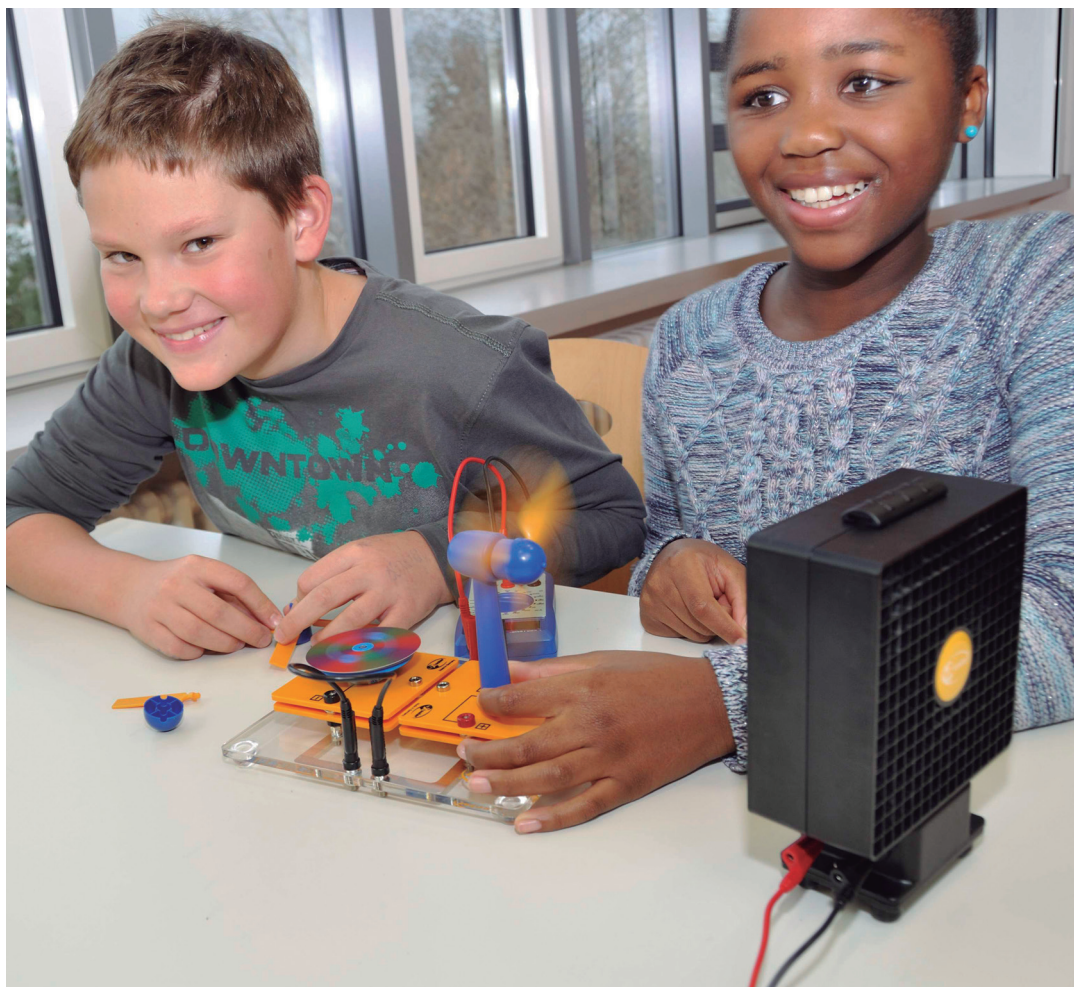


leXsolar-Wind Ready-to-go



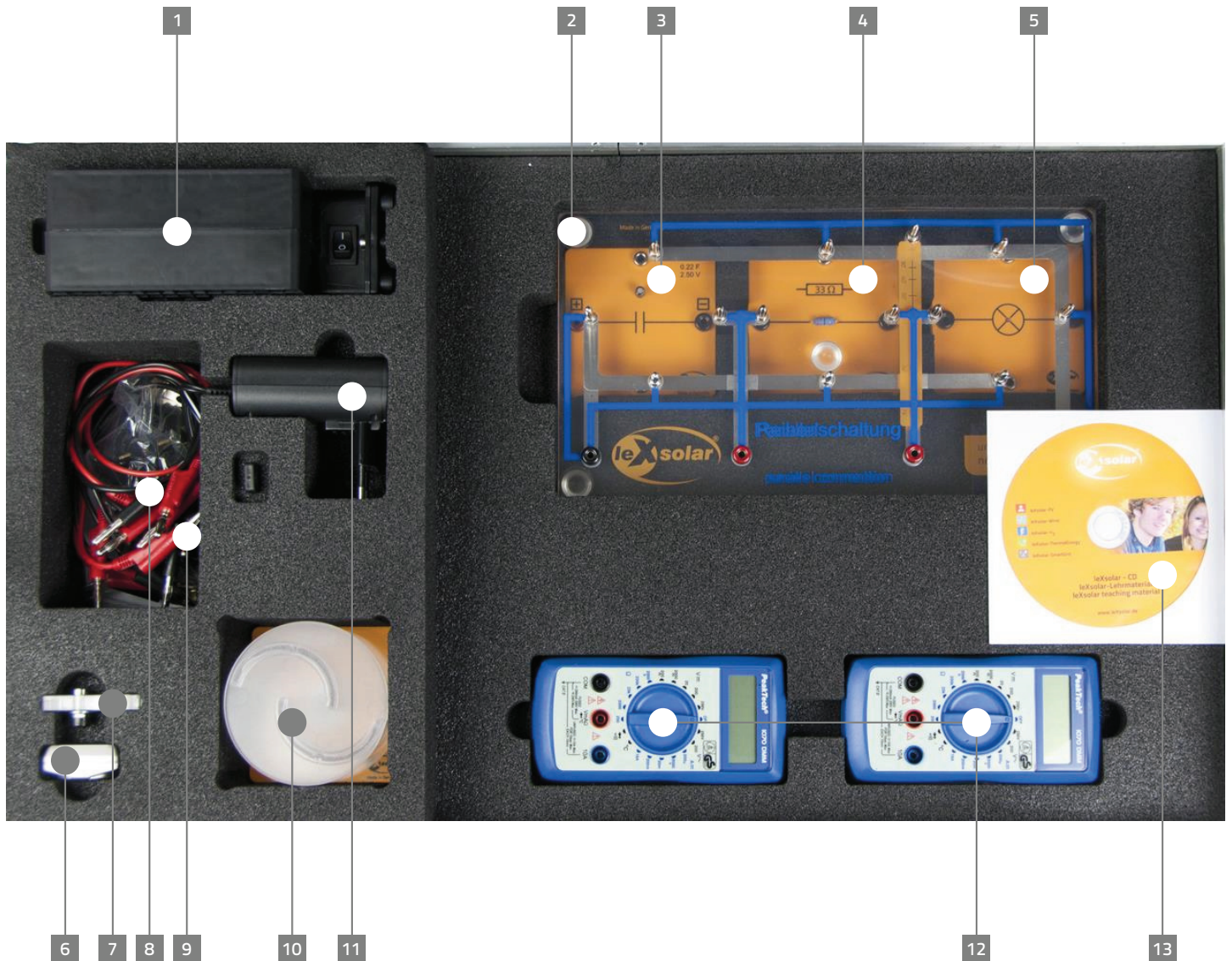
Anleitungsheft

Layout diagram leXsolar-Wind Ready-to-go 2.0

Item-No.1405

Bestückungsplan leXsolar-Wind Ready-to-go 2.0

Art.-Nr.1405



Version number
Versionsnummer

L3-03-133_24.09.2014

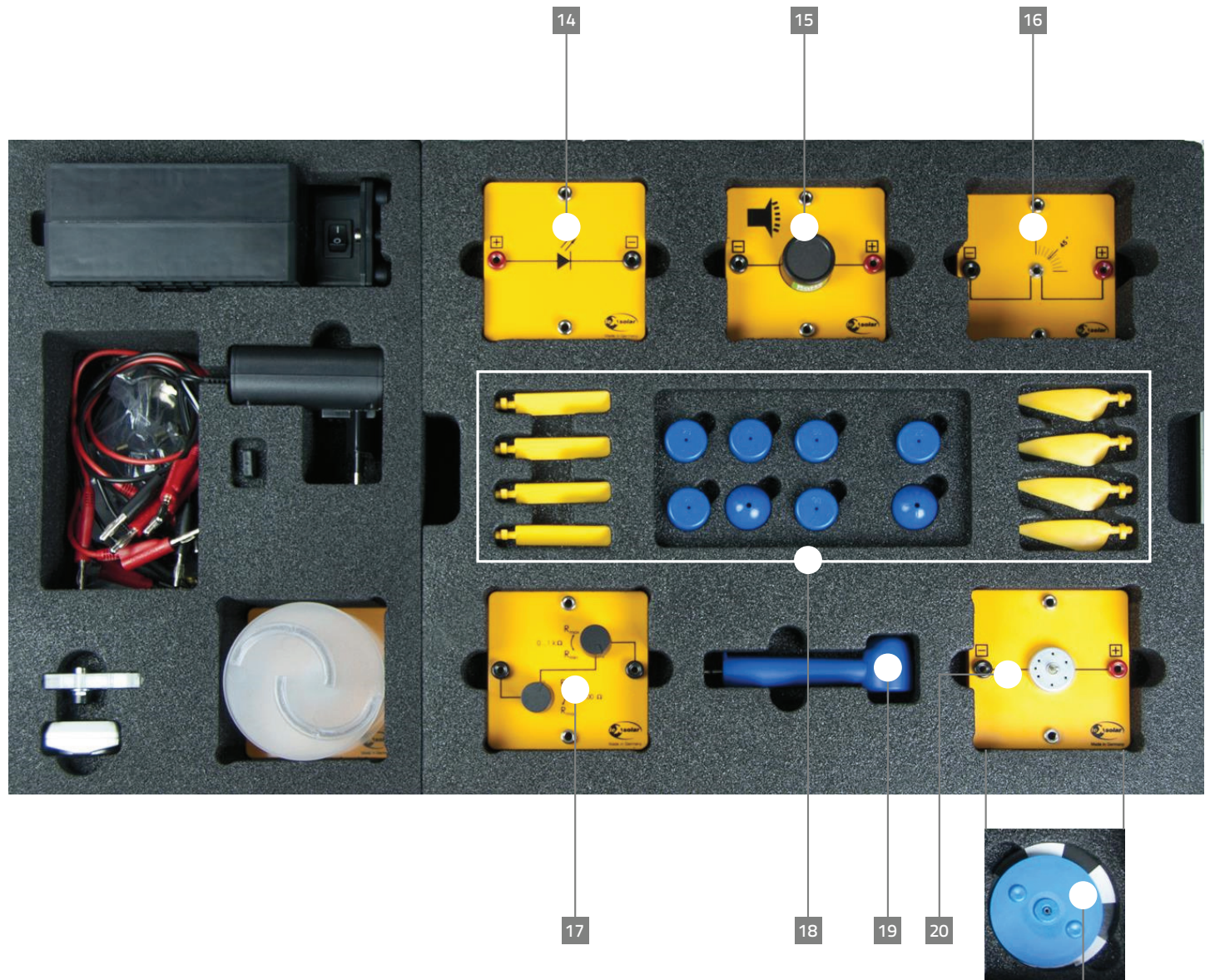
- | | |
|--|--|
| <p>1 1400-19 leXsolar Wind machine
1400-19 leXsolar Windzeuger</p> <p>2 1100-19 leXsolar-Base unit
1100-19 leXsolar-Grundeinheit groß</p> <p>3 1400-07 Capacitor module 220 mF, 2.5V
1400-07 Kondensatormodul 220 mF, 2.5 V</p> <p>4 1100-22 Resistor module
1100-22 Widerstandsmodul</p> <p>5 1100-26 Light bulb module
1100-26 Glühlampenmodul</p> <p>6 L2-06-027 Anemometer
L2-06-027 Windgeschwindigkeitsmesser</p> <p>7 1400-16 Stator for anemometer
1400-16 Windmesser-Ständer</p> | <p>8 2xL2-06-012/013 Test lead black/red 25 cm
2xL2-06-012/013 Messleitung schw./rot 25 cm</p> <p>9 L2-06-014/015 Test lead black/red 50 cm
L2-06-014/015 Messleitung schw./rot 50 cm</p> <p>10 1400-01 Savonius rotor module
1400-01 Savoniusrotormodul</p> <p>11 2105-00 Power supply
2105-00 Stromversorgungsgerät</p> <p>12 2xL2-06-011 Digital multimeter
2xL2-06-011 Digitalmultimeter</p> <p>13 L3-03-016 leXsolar-CD
L3-03-016 leXsolar-CD</p> |
|--|--|

Layout diagram leXsolar-Wind Ready-to-go 2.0

Item-No.1405

Bestückungsplan leXsolar-Wind Ready-to-go 2.0

Art.-Nr.1405



- 14** 1400-08 LED-module 2mA, red
1400-08 LED-Modul 2 mA, rot
- 15** 1100-25 Buzzer module
1100-25 Hupenmodul
- 16** 1400-22 Wind turbine module with **19**
1400-22 Windturbinenmodul mit **19**
- 17** 1100-23 Potentiometer module
1100-23 Potentiometermodul
- 18** 1400-12 leXsolar-Wind rotor set
(8 blades, 6 hubs, 2 caps)
1400-12 leXsolar-Windrotoren
(8 Flügel, 6 Naben, 2 Kappen)

- 19** Wind turbine with **16**
Windturbine mit **16**
- 20** 1100-27 Motor module without gear
1100-27 Motormodul ohne Getriebe
- 21** 1100-28 Color discs with mount Set 1
1100-28 Farbscheiben Set 1

leXsolar-Wind Ready-to-go

Schülerheft

Inhalt

Allgemeine Hinweise

1	Bezeichnungen der Bauteile	5
2	Hinweise zur Handhabung	8
3	Diagramme zu den Experimenten	9

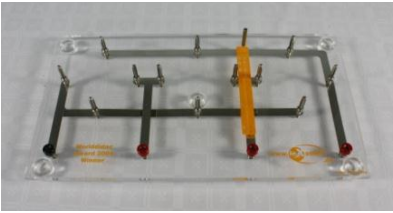
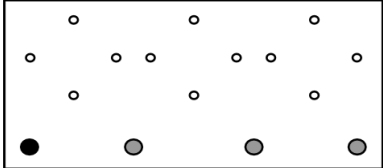

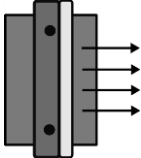

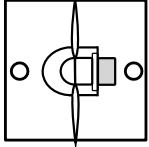

Experimente


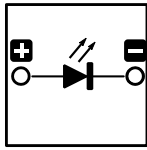

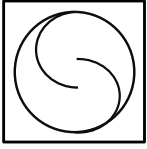

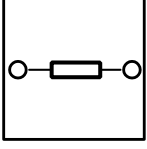

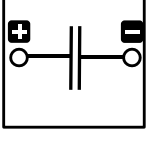

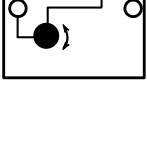

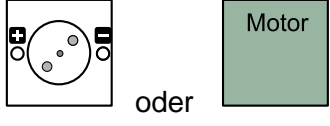

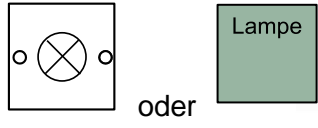
1.2	<i>Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (Spannungsmessung)</i>	12
1.3	<i>Abstandsabhängigkeit der Windgeschwindigkeit (Leistungsmessung)</i>	14
2.1	<i>Anlaufgeschwindigkeit an einer Windkraftanlage</i>	16
2.2	<i>Vergleich der Anlaufgeschwindigkeit zwischen Savonius- und Dreiblattrotor</i>	18
3.1	<i>Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten eines Verbrauchers</i>	20
3.2	<i>Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten verschiedener Verbraucher</i>	22
4.	<i>Untersuchung der Windgeschwindigkeit hinter dem Rotor</i>	24
5.1	<i>Energiebilanz an einer Windkraftanlage</i>	26
5.2	<i>Berechnung des Wirkungsgrades einer Windkraftanlage</i>	28
6.	<i>Speicherung elektrischer Energie</i>	30
7.1	<i>Energieumwandlungen an einer Windkraftanlage</i>	32
7.2	<i>Untersuchungen an Farbscheiben mithilfe einer Windkraftanlage</i>	33
8.1	<i>Vergleich zwischen Savonius- und Dreiblattrotor (phänomenologisch)</i>	35
8.2	<i>Vergleich zwischen Savonius- und Dreiblattrotor (Spannungsmessung)</i>	37
8.3	<i>Vergleich zwischen Savonius- und Dreiblattrotor (Leistungsmessung)</i>	39
9.1	<i>Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblattrotoren (phänomenologisch)</i>	42
9.2	<i>Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblattrotoren (Spannungsmessung)</i>	44
9.3	<i>Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblattrotoren (Leistungsmessung)</i>	46
9.3	<i>Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblattrotoren (Leistungsmessung)</i>	47
10.	<i>Kennlinien einer Windkraftanlage</i>	48
11.1	<i>Einfluss der Windrichtung (phänomenologisch)</i>	50
11.2	<i>Einfluss der Windrichtung (Spannungsmessung)</i>	51


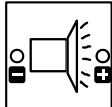



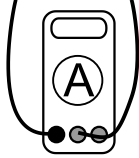

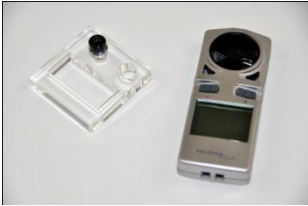

11.3 Einfluss der Windrichtung (Leistungsmessung).....	53
12.1 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (phänomenologisch)	55
12.2 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (Spannungsmessung).....	56
12.3 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (Leistungsmessung)	58
12.4 Anlaufgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Anstellwinkel der Rotorblätter	60
13.1 Einfluss der Flügelform (phänomenologisch).....	63
13.2 Einfluss der Flügelform (Spannungsmessung)	64
13.3 Einfluss der Flügelform (Leistungsmessung)	65

Handhabung der Experimentiergeräte leXsolar-Wind

1 Bezeichnungen der Bauteile

Grundausrüstung von leXsolar-Wind		
Bauteil	Bezeichnung	Symbol im Versuchsaufbau
	Grundeinheit	
	Winderzeuger universal	
	Windgenerator auf Modulplatte	
	Naben (Dreifach-Einsatz, Vierfach-Einsatz, Winkel: 20°, 25°, 30°, 50°, 90°) + Rotorflügel (4x optimiertes Profil, 4x flaches Profil)	

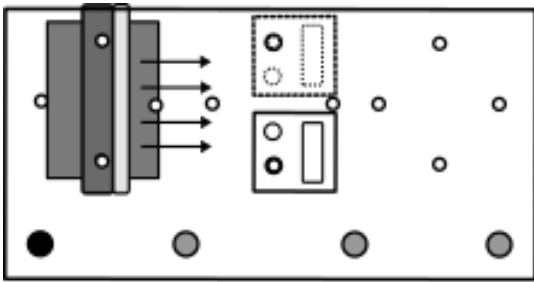
	<p>LED-Modul (Leuchtdiode)</p>	
	<p>Savoniusrotor (mit Generatormodul)</p>	
	<p>Widerstandsmodul $R = 33 \Omega$</p>	
	<p>Kondensatormodul $C = 220 \text{ mF}$</p>	
	<p>Potentiometermodul $R = 0 \Omega \dots 1,1 \text{ k}\Omega$</p>	
	<p>Motormodul (mit Drehschreibe und Farbscheiben)</p>	
	<p>Glühlampenmodul</p>	

	<p>Hupenmodul</p>	 oder 
	<p>Digitalmessgerät mit Messleitungen</p>	 
	<p>Stromversorgungsgerät 3-12 V, 24 W</p>	
	<p>Windstärkemessgerät mit Halterung</p>	

2 Hinweise zur Handhabung

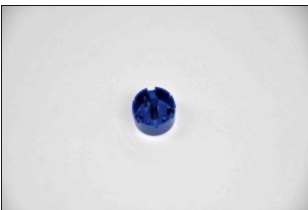
Bei der Durchführung der Experimente mit leXsolar-Wind sind einige Hinweise zum Umgang mit Geräten und Bauteilen zu beachten.

2.1. Messung der Windgeschwindigkeit (Erweiterung Windgeschwindigkeitsmesser):



Um die Windgeschwindigkeit an der Stelle der Windturbine möglichst genau zu messen, wird die Modulplatte mit Windturbine von der Grundplatte entfernt. Anschließend wird der Halter für das Windstärkemessgerät wie abgebildet aufgesteckt. Für eine genauere Messung kann der Durchschnittswert zwischen linkem und rechtem Steckplatz gebildet werden.

2.2. Einsetzen und Wechseln der Rotorblätter



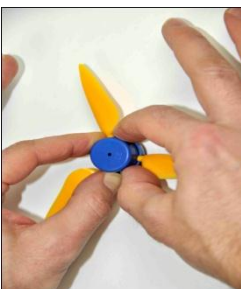
Zuerst wird eine Nabe mit dem gewünschten Anstellwinkel und der Flügelzahl ausgewählt (die Naben sind auf der Rückseite entsprechend beschriftet). Der Zweiflügel- und Vierflügel-Rotor kann mithilfe der Nabe mit 4 Einsätzen aufgebaut werden



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.

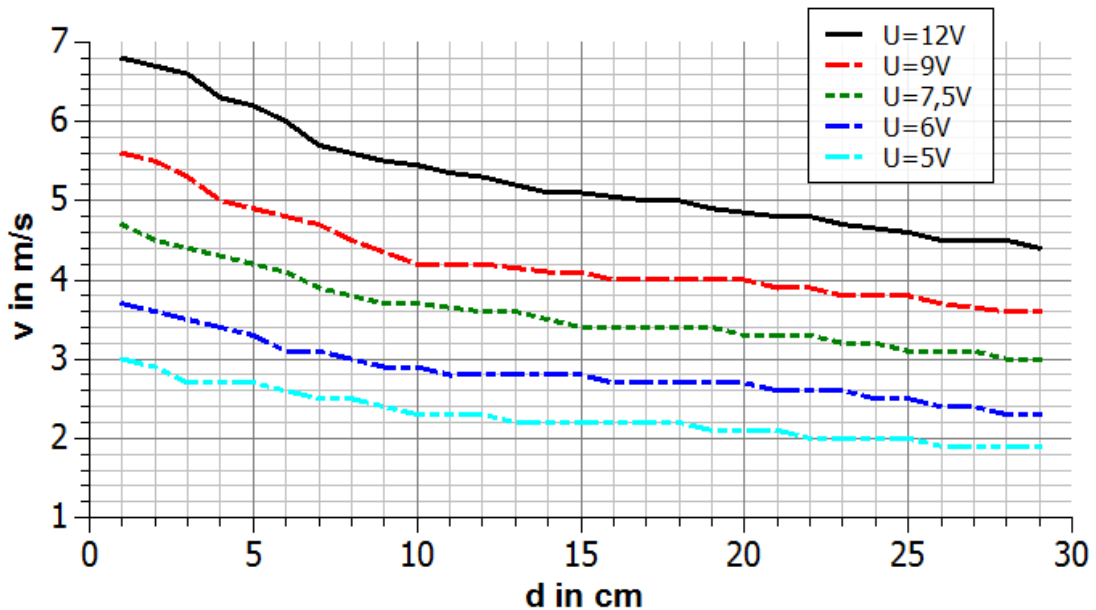


Zum Wechseln der Rotorblätter befindet sich eine kleine Nase am Kopf der Nabe. Wenn die Nabe auf einer festen Unterlage leicht aufgedrückt wird (siehe Foto), löst sich der Kopf und die Flügel können ausgetauscht werden.

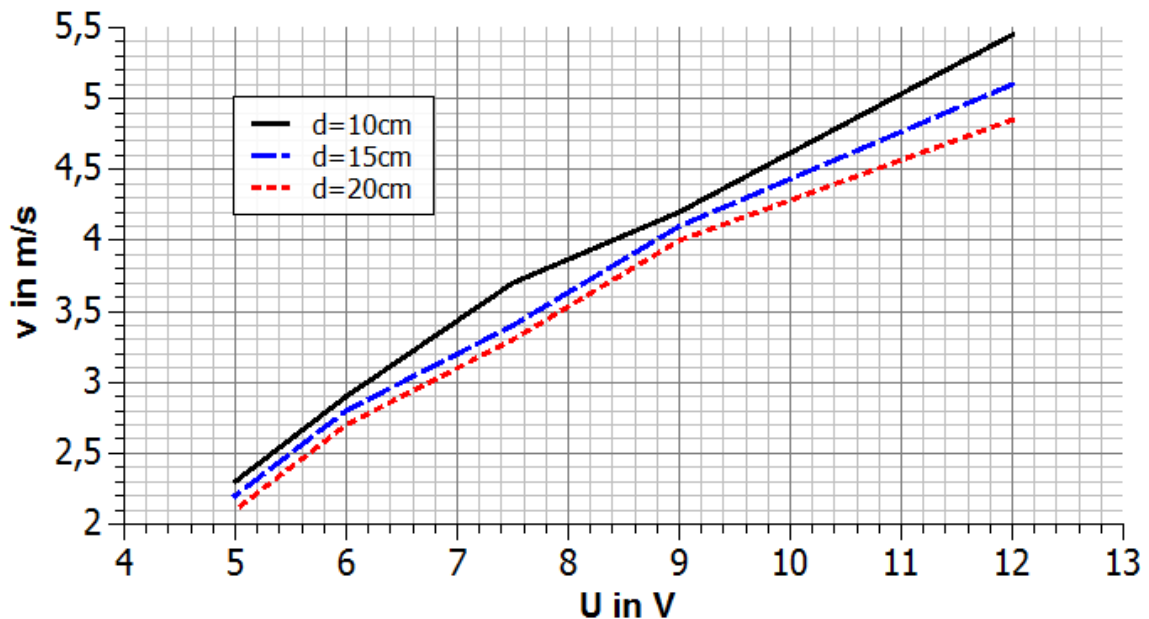
3 Diagramme zu den Experimenten

Im Folgenden werden die benötigten Diagramme gegeben, um für einzelne Experimente die Windgeschwindigkeit ermitteln zu können, falls die Erweiterung Windgeschwindigkeitsmesser nicht vorhanden ist.

3.1. Windgeschwindigkeit bei konstanter Spannung am Winderzeuger

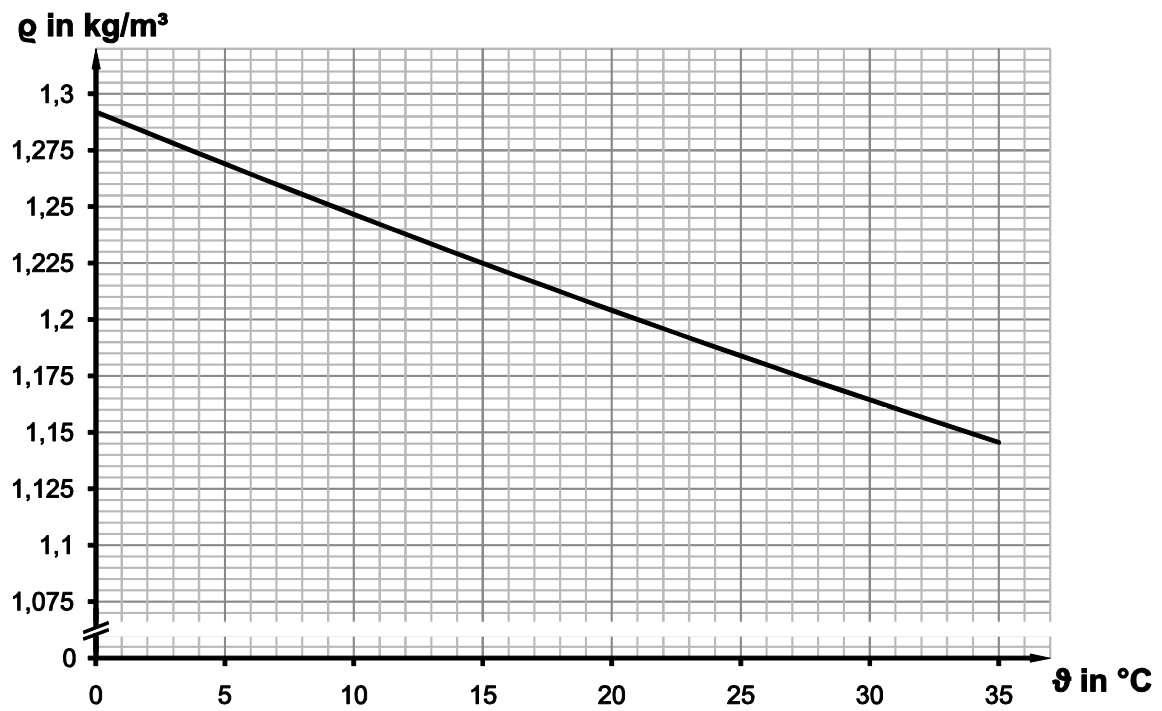


3.2. Windgeschwindigkeit bei konstantem Abstand vom Winderzeuger





3.3. Dichte der Luft (abhängig von der Raumtemperatur)



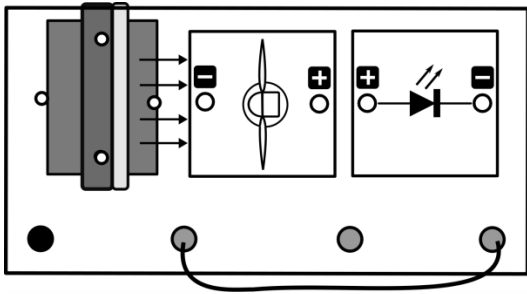


1.1 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (phänomenologisch)

Aufgabe

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

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeuger mit Stromversorgung (variabel)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- LED-Modul
- Kabel

Vorbemerkung

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

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Verändere die Spannung am Winderzeuger mithilfe einer variablen Spannungsquelle. Beginne bei 6V.
3. Beobachte, wie sich die Helligkeit der Leuchtdiode verändert und trage deine Beobachtungen in die Tabelle ein. Male dazu die entsprechende Anzahl an Feldern aus.

Auswertung

Spannung am Winderzeuger	6V	7,5V	9V	12V	Beispiel
Die Leuchtdiode leuchtet...	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin-right: 5px; background-color: #cccccc;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; margin-right: 5px; background-color: #808080;"></div> <div style="margin-left: 10px;"> <p>hell</p> <p>schwach</p> <p>gar nicht</p> </div> </div>

Vervollständige nun den angegebenen Text:

Bei größerer Spannung am Winderzeuger leuchtet die Leuchtdiode _____

Je _____ die Windgeschwindigkeit ist, desto heller leuchtet auch die LED.



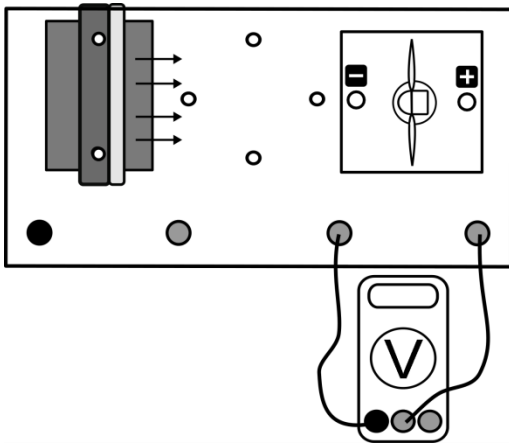
1.2 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (Spannungsmessung)

Aufgabe

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

Aufbau

Benötigte Geräte



- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung
- Windturbinenmodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- Kabel
- Spannungsmessgerät

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Verändere die Windgeschwindigkeit durch Variation der Netzteilspannung U_{netz} am Winderzeuger. Was kannst du am Spannungsmessgerät beobachten? Notiere deine Beobachtungen.
3. Miss nun die Spannung an der Windturbine U_{gen} für verschiedene Windgeschwindigkeiten und trage deine Werte in die Tabelle ein.
4. Die Werte für die Geschwindigkeit kannst du mit dem Windstärkemessgerät bestimmen oder aus dem entsprechenden Diagramm (siehe Seite 9) ablesen. Hinweise zur Messung der Windgeschwindigkeit findest du auf Seite 8.

Beobachtung

Messwerte

U_{netz} in V					
v in m/s					
U_{gen} in V					

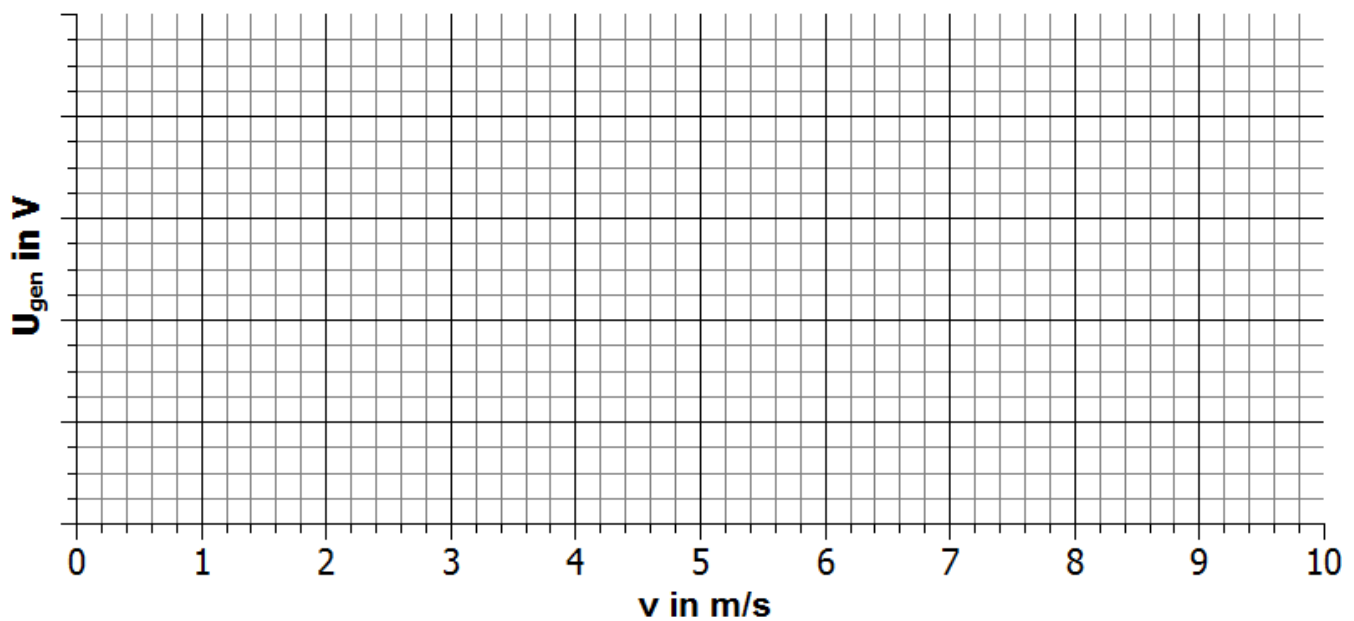


1.2 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (Spannungsmessung)

Auswertung

1. Trage deine Messwerte in das vorgegebene Diagramm ein.
2. Beschreibe, wie sich die Spannung U_{gen} an der Windturbine ändert, wenn die Netzspannung am Winderzeuger verändert wird. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Windgeschwindigkeit und der Spannung U_{gen} an der Windturbine?

1.



2.

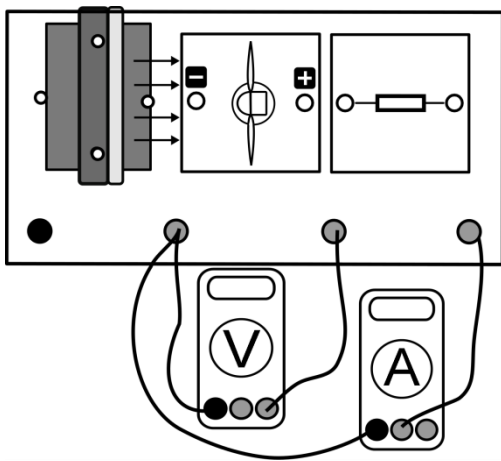


1.3 Abstandsabhängigkeit der Windgeschwindigkeit (Leistungsmessung)

Aufgabe

Untersuche die Leistung, die der Windgenerator liefert, wenn er durch einen festen Widerstand belastet wird.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- Widerstandsmodul
- Kabel
- Spannungsmessgerät
- Strommessgerät

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Miss in verschiedenen Abständen zum Winderzeuger jeweils Spannung und Stromstärke am Windgenerator und trage deine Messwerte in die Tabelle ein.

Messwerte

d in cm	5	10	15	20	25
v in m/s					
U in V					
I in mA					
P in mW					

Die Werte für die Geschwindigkeit kannst du mit dem Windstärkemessgerät bestimmen oder aus dem entsprechenden Diagramm (siehe Seite 9) ablesen.



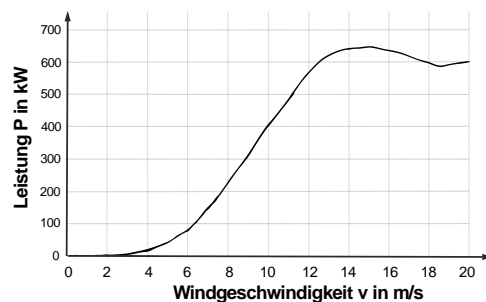
1.3 Abstandsabhängigkeit der Windgeschwindigkeit (Leistungsmessung)

Auswertung

1. Berechne für die entsprechenden Abstände die jeweilige elektrische Leistung. Trage die Wertepaare anschließend in die zugehörigen Diagramme ein.
2. Beschreibe den Zusammenhang zwischen Leistung und Windgeschwindigkeit am Windgenerator.
3. Welche Schlussfolgerungen können daraus für den Betrieb realer Windkraftanlagen gezogen werden?

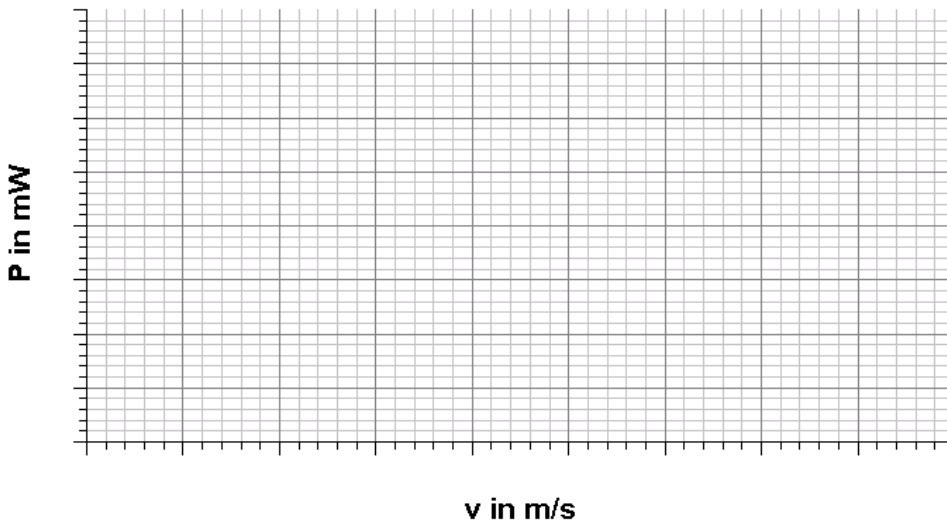
Zusatz:

Bei realen Windkraftanlagen, deren Rotorblätter fest an der Nabe befestigt sind, existiert der folgende Zusammenhang zwischen Leistung und Windgeschwindigkeit des Rotors.



Kannst du erklären, wieso die Leistung bei sehr hoher Windgeschwindigkeit wieder abnimmt?

1.



2.

3.

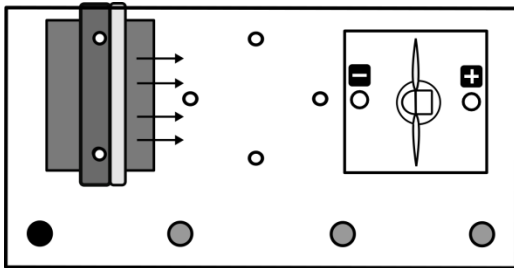


2.1 Anlaufgeschwindigkeit an einer Windkraftanlage

Aufgabe

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

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul Stromversorgung
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)

Vorbemerkung

Eine Windkraftanlage beginnt erst ab einer genügend großen Windgeschwindigkeit sich zu drehen. Man nennt sie Anlaufwindgeschwindigkeit. Mithilfe dieses Experimentes kannst du untersuchen, wie groß die Anlaufgeschwindigkeit bei diesem Modell einer Windkraftanlage ist.

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Stelle verschiedene Spannungen U am Stromversorgungsgerät ein und beobachte die Windkraftanlage. Notiere deine Beobachtungen in der angegebenen Tabelle.
3. Ermittle die Windgeschwindigkeit, bei der die Windkraftanlage gerade so startet und notiere deinen Wert. (Entnimm den Wert dem entsprechenden Diagramm (siehe Seite 9) oder folge Schritt 4, wenn dir ein Windstärkemessgerät zur Verfügung steht)
4. Schalte den Winderzeuger ab, entferne den Windgenerator und starte den Winderzeuger wieder. Miss nun die Windgeschwindigkeit mithilfe des Windstärkemessgerätes im entsprechenden Abstand (Hinweise zur Durchführung siehe Seite 8).

Beobachtungen

→ Anlaufwindgeschwindigkeit:

Die Windkraftanlage...

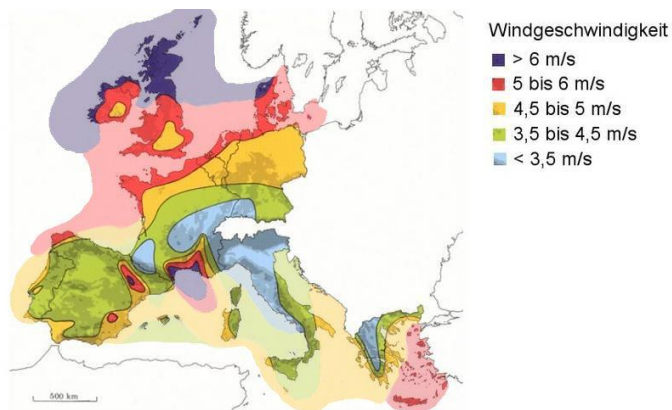
U_{netz} in V	...startet	...startet nicht
3		
4,5		
6		
7,5		
9		
12		



2.1 Anlaufgeschwindigkeit an einer Windkraftanlage

Auswertung

1. Welche Schlussfolgerungen kannst du aus diesen Erkenntnissen für den Betrieb von Windkraftanlagen ziehen?
2. Informiere dich über die Startgeschwindigkeiten realer Windkraftanlagen und vergleiche diese mit deinen ermittelten Werten. Kannst du Unterschiede erklären?
3. In der angegebenen Karte sind durchschnittliche Windgeschwindigkeiten in Europa dargestellt.



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

Begründe anhand dieser Darstellung, in welchen Gebieten Windkraftanlagen effizient einsetzbar sind. Wo ist die Nutzung von Windenergie weniger gewinnbringend?

Lösungen zu den Aufgaben

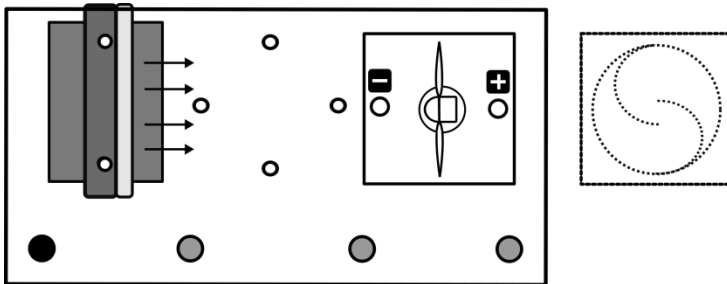


2.2 Vergleich der Anlaufgeschwindigkeit zwischen Savonius- und Dreiblattrotor

Aufgabe

Untersuche die Anlaufwindgeschwindigkeit eines Savoniusrotors und vergleiche sie mit der eines Dreiblattrotors.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25°(Flügel: optimiertes Profil)
- Savoniusrotor mit Generatormodul

Vorbemerkung

Eine Windkraftanlage beginnt sich erst ab einer genügend großen Windgeschwindigkeit zu drehen. Man nennt sie Anlaufwindgeschwindigkeit. Mithilfe dieses Experimentes kannst du untersuchen, wie groß diese Geschwindigkeit bei verschiedenen Arten von Windrotoren ist.

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung mit dem Dreiblattrotor auf.
2. Stelle verschiedene Spannungen U am Stromversorgungsgerät ein und beobachte die Windkraftanlage. Notiere deine Beobachtungen in der angegebenen Tabelle.
3. Entnimm den Dreiblattrotor und setze nun den Savoniusrotor an die gleiche Stelle wie vorher die Windturbine in den Versuchsaufbau ein und führe die gleiche Untersuchung noch einmal durch. Notiere ebenfalls deine Beobachtungen.
4. Ermittle die Windgeschwindigkeiten, bei denen die beiden Windrotoren gerade so starten und notiere die entsprechenden Werte. (Entnimm den Wert dem entsprechenden Diagramm (siehe Seite 9) oder folge Schritt 5, wenn dir ein Windstärkemessgerät zur Verfügung steht)
5. Schalte den Winderzeuger ab, entferne den Windgenerator und starte den Winderzeuger wieder. Miss nun die Windgeschwindigkeit mithilfe des Windstärkemessgerätes im entsprechenden Abstand (Hinweise zur Durchführung siehe Seite 8).



2.2 Vergleich der Anlaufgeschwindigkeit zwischen Savonius- und Dreiblattrotor

Beobachtungen

U in V	Der Dreiblattrotor...		Der Savoniusrotor...	
	...startet.	...startet nicht.	...startet	...startet nicht
3				
4,5				
6				
7,5				
9				
12				
v_A				

v_A ... Anlaufwindgeschwindigkeit

Auswertung

1. Vergleiche die beiden experimentell ermittelten Werte für die Anlaufgeschwindigkeit miteinander. Welcher der beiden Rotoren startet schon bei geringerer Windgeschwindigkeit?
2. Überlege dir, welcher Windrotor für den Betrieb in Gebieten mit hoher, niedriger oder stark wechselnder Windgeschwindigkeit besser geeignet ist und begründe deine Entscheidung.
3. Wenn du zu Hause eine Windkraftanlage bauen würdest, welchen Windrotor würdest du nutzen? Begründe deine Entscheidung.

1.

2.

3.

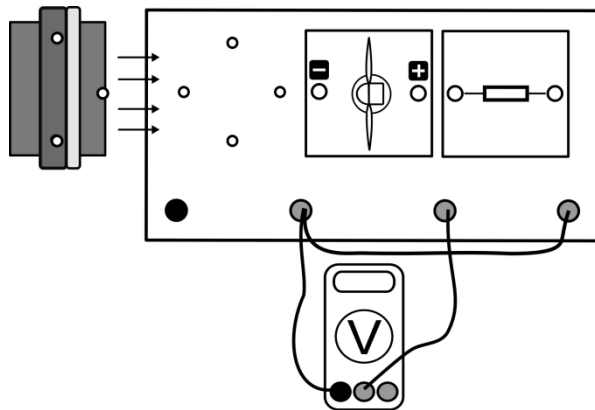


3.1 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten eines Verbrauchers

Aufgabe

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

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- Widerstandsmodul
- Kabel
- Spannungsmessgerät

Durchführung

1. Baue den Versuchsaufbau vorerst ohne das Widerstandsmodul auf.
2. Stelle am Stromversorgungsgerät eine Spannung von 12V ein und starte den Winderzeuger. Miss die Generatorspannung ohne angeschlossenen Widerstand (U_{Leerlauf}).
3. Stecke nun den Widerstand an den vorgesehenen Steckplatz und notiere deine Beobachtung. Miss anschließend die Spannung, die mit geschlossenem Widerstand (U_{Last}) entsteht.

Beobachtungen

Messwerte

$U_{\text{Leerlauf}} =$

$U_{\text{Last}} =$

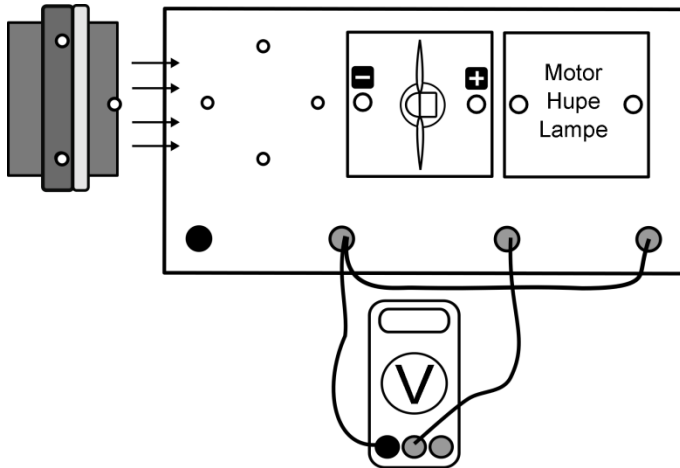


3.2 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten verschiedener Verbraucher

Aufgabe

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

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25°(Flügel: optimiertes Profil)
- Hupe
- Motormodul (mit Drehscheibe)
- Glühlampenmodul
- Kabel
- Spannungsmessgerät

Durchführung

1. Baue den Versuchsaufbau vorerst ohne ein Hupe-, Motor- oder Lampenmodul auf.
2. Stelle am Stromversorgungsgerät eine Spannung von 12V ein und starte den Winderzeuger.
3. Miss die Spannung am Generator, wenn kein Modul angeschlossen ist (U_{Leerlauf})
4. Stecke nun nacheinander Hupe, Motor mit Drehscheibe und Glühlampe an den vorgesehenen Steckplatz, notiere deine Beobachtungen und die jeweilige Spannung, die am Generator erzeugt wird.

Beobachtungen

Messwerte

$$U_{\text{Leerlauf}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$U_{\text{Motor}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$U_{\text{Hupe}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$U_{\text{Glühlampe}} = \underline{\hspace{2cm}}$$



3.2 Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten verschiedener Verbraucher

Auswertung

1. Welches Bauteil führt zur größten Änderung der Spannung am Generator, welches zur geringsten?
2. Erkläre das beobachtete Verhalten der Spannungen.
3. Welche Schlussfolgerungen kannst du daraus für die Widerstände der einzelnen Geräte ziehen? Vergleiche sie untereinander ($>$, $<$, $=$).

1.

2.

3.

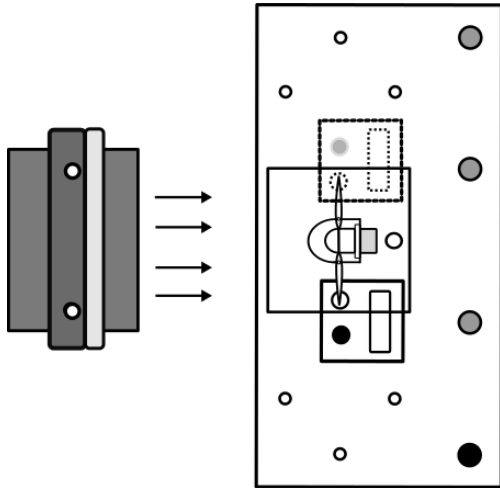


4. Untersuchung der Windgeschwindigkeit hinter dem Rotor

Aufgabe

Untersuche mithilfe des Windstärkemessgerätes die Windgeschwindigkeit hinter einem Windgenerator.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25°(Flügel: optimiertes Profil)
- Windstärkemessgerät mit Halter

Durchführung

1. Baue zunächst die Versuchsanordnung wie oben abgebildet auf. Die Grundeinheit ist bei diesem Versuch um 90° gedreht. Miss die Windgeschwindigkeit links und rechts vom Windgenerator, ohne den Windgenerator einzusetzen (v_{ohne}).
2. Wiederhole die Messung mit eingesetztem Windgenerator (v_{mit}). Das Windmessgerät sollte sich dabei hinter dem Windgenerator befinden.

Messwerte

	V_{ohne} in m/s	V_{mit} in m/s
links		
rechts		
\bar{v}		



4. Untersuchung der Windgeschwindigkeit hinter dem Rotor

Auswertung

1. Berechne die mittlere Windgeschwindigkeit (arithmetisches Mittel der beiden Messwerte links und rechts) und berechne das Verhältnis der Windgeschwindigkeiten mit und ohne Windkraftanlage (siehe Tabelle).
2. Nenne eine Ursache für die Reduzierung der Windgeschwindigkeit durch die Windkraftanlage.
3. Albert Betz hat in den 1920er Jahren berechnen können, dass eine Windkraftanlage, die ideal arbeitet (d.h. die aus dem Wind die maximal mögliche Energie umwandelt), die Windgeschwindigkeit auf ein Drittel abbremsen kann.
Schätze ein, wie gut deine kleine Windkraftanlage diesem Wert nahe kommt oder wie weit sie davon entfernt ist.
Nenne auch mögliche Gründe dafür.

Zusatz: Erkläre mithilfe deiner Untersuchungen, warum in großen Windparks ein Mindestabstand zwischen den einzelnen Windkraftanlagen notwendig ist, um Leistungseinbußen zu vermeiden.

2.

3.

Zusatz:

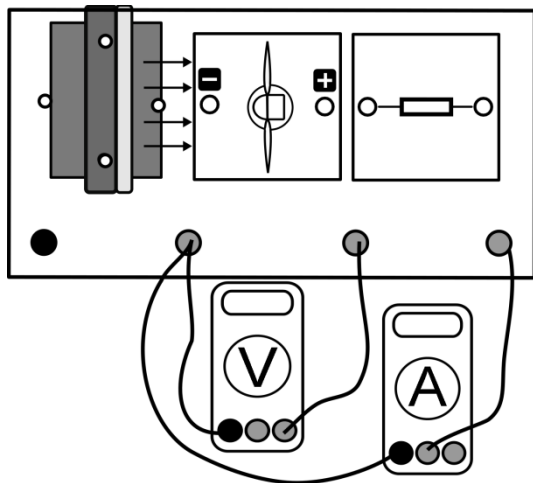


5.1 Energiebilanz an einer Windkraftanlage

Aufgabe

Untersuche experimentell die Energiebilanz der Windkraftanlage, wenn diese durch einen festen Widerstand belastet wird.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- Widerstandsmodul
- Kabel
- Spannungsmessgerät
- Strommessgerät

Vorbemerkung

Die Energiebilanz stellt einen Vergleich der kinetischen Energie der Luft (Windenergie) vor dem Rotor zur davon durch die Windkraftanlage genutzten Energie dar. Dazu wird der Quotient aus der durch die Windkraftanlage tatsächlich umgesetzten Leistung und der Leistung des Windes vor dem Rotor betrachtet. Wir nennen diesen Quotienten Leistungsbeiwert ε .

$$\varepsilon = \frac{P_N}{P_{Wind}}$$

Diese Größe macht eine Aussage darüber, wie viel Energie des Windes die Windkraftanlage tatsächlich in elektrische Energie umwandeln kann. Damit ist ε vergleichbar mit dem Wirkungsgrad einer Windkraftanlage, der in der Windenergietechnik aber anders definiert wird.

Durchführung

1. Baue den Versuch wie oben dargestellt auf, zunächst jedoch ohne Windgenerator. Stelle am Stromversorgungsgerät eine Spannung von 9V ein.
2. Nimm zuerst die Windgeschwindigkeit mit dem Windstärkemessgerät auf (ohne Windgenerator) oder ermittle den entsprechenden Wert aus dem gegebenen Diagramm (siehe Seite 9).
3. Füge anschließend den Windgenerator hinzu und miss den entsprechenden Spannungs- und Stromstärkewert.
4. Miss außerdem die Temperatur im Zimmer und den Durchmesser d des Rotors am Windgenerator, mit dem du die Angriffsfläche A berechnen kannst.

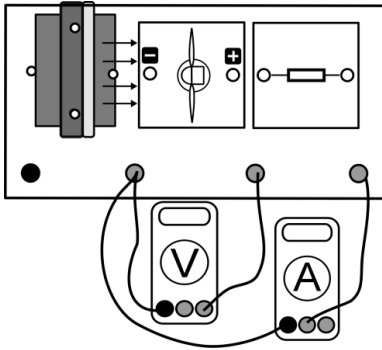


5.2 Berechnung des Wirkungsgrades einer Windkraftanlage

Aufgabe

Ermittle experimentell den Wirkungsgrad der Windkraftanlage, wenn diese durch einen festen Widerstand belastet wird.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- Widerstandsmodul
- Kabel
- Spannungsmessgerät
- Strommessgerät

Vorbemerkung

Die Energie des Windes kann durch eine Windkraftanlage nicht vollständig genutzt werden. Der Physiker Albert Betz berechnete den maximalen Leistungswert, den eine Windkraftanlage erreichen kann. Man nennt ihn Betz'schen Idealwert $P_{id,Betz}$. Er hängt von der Leistung des Windes ab und kann mit

$$P_{id,Betz} = c_{p,Betz} \cdot P_{Wind}$$

berechnet werden. Dabei ist $c_{p,Betz} = 0,593$ der Betz'sche Leistungsbeiwert, der für alle Windkraftanlagen gleich groß ist. Die Energie des Windes hängt wiederum von Windgeschwindigkeit, Rotorfläche und Dichte der Luft ab und kann durch folgende Gleichung berechnet werden:

$$P_{Wind} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_{Wind}^3$$

Aus der Idealleistung und der experimentell bestimmten Nutzleistung kann nun der Wirkungsgrad der Windkraftanlage η bestimmt werden.

$$\eta = \frac{P_N}{P_{id,Betz}}$$

Durchführung

1. Baue den Versuch wie oben dargestellt auf, zunächst jedoch ohne Windgenerator. Stelle am Stromversorgungsgerät eine Spannung von 9V ein.
2. Nimm zuerst die Windgeschwindigkeit mit dem Windstärkemessgerät auf (ohne Windgenerator) oder ermittle den entsprechenden Wert aus dem gegebenen Diagramm (siehe Seite 9).
3. Füge anschließend den Windgenerator hinzu und miss den entsprechenden Spannungs- und Stromstärkewert.
4. Miss außerdem die Temperatur im Zimmer und den Durchmesser d des Rotors am Windgenerator, mit dem du die Angriffsfläche A berechnen kannst.

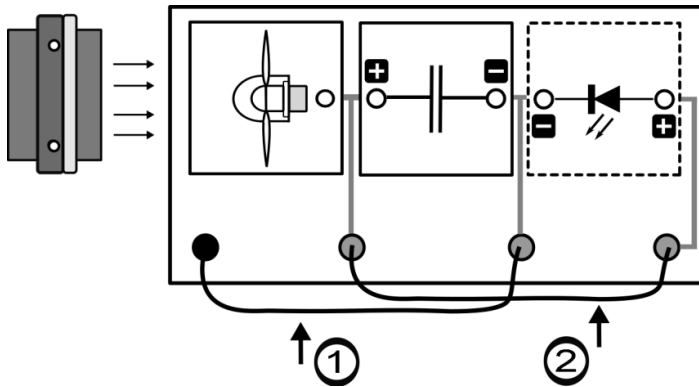


6. Speicherung elektrischer Energie

Aufgabe

Beobachte die Speicherung von elektrischer Energie durch einen Kondensator am Modell einer Windkraftanlage.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (9 V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25°(Flügel: optimiertes Profil)
- Kondensatormodul
- LED-Modul
- Kabel

Vorbemerkung

ACHTUNG! Beachte die Polaritäten beim Aufbau des Versuchs. (Minus an Minus und Plus an Plus)
Bei Versuchsbeginn ist die Diode noch dem Aufbau entnommen. Kabel 1 und Kabel 2 sind in den entsprechenden Buchsen angesteckt.

Durchführung

1. Baue den Versuch wie in der Versuchsanordnung vorgegeben auf, vorerst jedoch ohne LED.
2. Stelle die Stromversorgung auf 9V ein und starte den Winderzeuger. Der Kondensator wird aufgeladen, sobald sich der Windgenerator dreht.
3. Lade den Kondensator ungefähr eine Minute lang auf. Entferne danach das Kabel 1 von der Grundeinheit.
4. Schalte erst jetzt den Winderzeuger ab.
5. Stecke anschließend das LED-Modul auf die Grundeinheit und beobachte die Leuchtdiode.

Auswertung

1. Erkläre den Vorgang der Energiespeicherung, wie er bei diesem Experiment abläuft. Nenne auch alle Energieumwandlungen, die im Experiment ablaufen.
2. Nenne Beispiele, bei denen im Alltag Speicherung von Energie eine Rolle spielt. Durch welches elektrische Bauteil außer einem Kondensator kann Energie gespeichert werden?
3. Überlege dir, warum die Speicherung von elektrischer Energie, die durch Windkraftanlagen erzeugt wurde, besonders wichtig ist. Wo wären solche Speicher in Verbindung mit Windenergienutzung sinnvoll einsetzbar?



6. Speicherung elektrischer Energie

Auswertung

1.

2.

3.

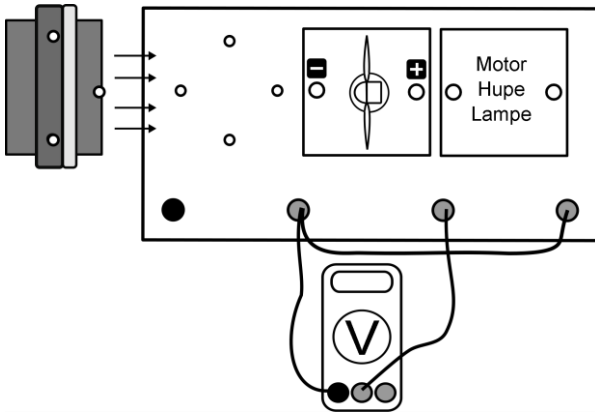


7.1 Energieumwandlungen an einer Windkraftanlage

Aufgabe

Nutze eine Windkraftanlage um eine Glühlampe zum Leuchten zu bringen und eine Hupe zu betreiben.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (12 V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- Glühlampenmodul
- Hupenmodul
- Kabel

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung mit der Hupe auf (auf Polarität achten!).
2. Stelle den Winderzeuger auf 12V ein und schalte die Stromversorgung an.
3. Tausche anschließend die Hupe durch die Glühlampe aus. Notiere deine Beobachtung.

Beobachtung

Auswertung

Vervollständige den folgenden Text.

Wind ist _____ von Luftmassen. Luft besteht aus Teilchen. Die Luftteilchen besitzen Bewegungs_____. Sie strömen an den _____ der Windkraftanlage vorbei. Der Windrotor entnimmt dem Wind Energie und wandelt diese in eine _____bewegung um.

Am _____ wird dadurch eine Spannung erzeugt. Diese bewirkt, dass die Glühlampe _____ und _____ ein Geräusch erzeugt.

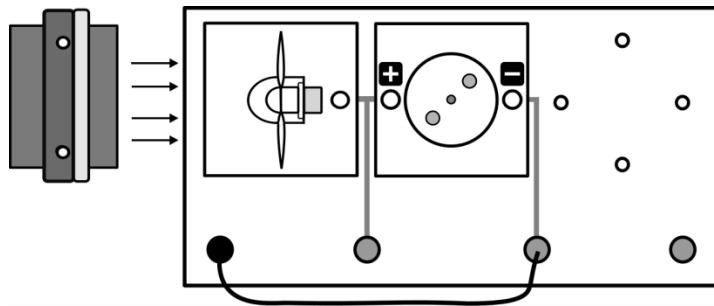


7.2 Untersuchungen an Farbscheiben mithilfe einer Windkraftanlage

Aufgabe

Nutze einen Windgenerator, um die Farbmischung mithilfe von Farbscheiben zu beobachten.

Aufbau



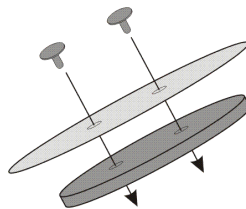
Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (12 V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- Motormodul mit Drehscheibe und Farbscheiben
- Kabel

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf und lege eine Farbscheibe auf den Motor. Befestige die Farbscheibe mit den blauen Clips nach folgender Anleitung:

Auf den Motor wird nun die Rotationsscheibe gesteckt. Bei den folgenden Experimenten wird dann jeweils nur eine andere Pappscheibe auf die Rotationsscheibe aufgesteckt. Gehalten wird die Pappscheibe durch zwei farbige Kunststoffclips.



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

2. Stelle den Winderzeuger auf 12V ein und schalte die Stromversorgung an. Beobachte die sich drehende Farbscheibe.
3. Schalte die Stromversorgung ab, wechsle die Farbscheiben und führe den Versuch erneut durch.
4. Notiere deine Beobachtungen. Male dazu das Feld in der entsprechenden Farbe aus, die bei der Drehung entsteht und schreibe den Namen der Farbe auf.



7.2 Untersuchungen an Farbscheiben mithilfe einer Windkraftanlage

Beobachtung

Scheibe grün-rot:



Scheibe rot-blau:



Scheibe grün-blau:

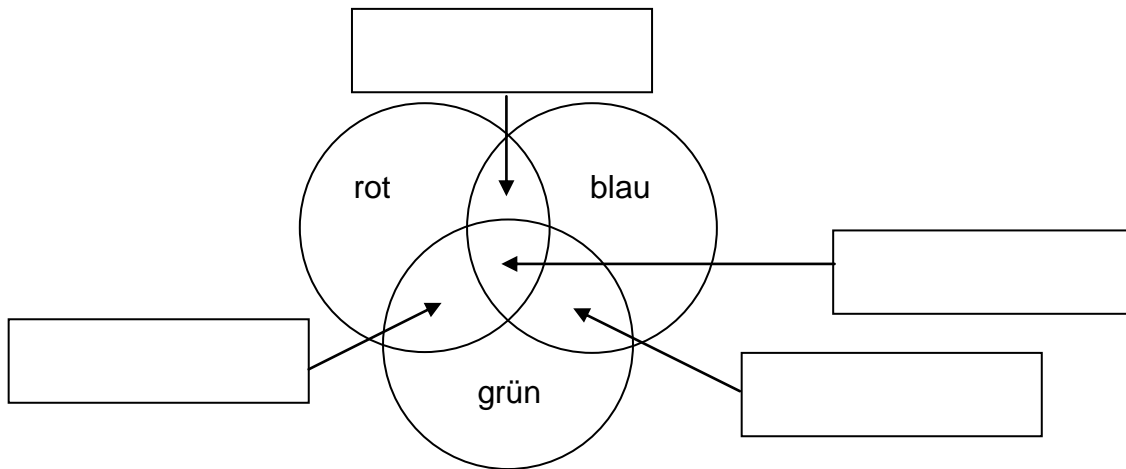


Scheibe grün-rot-blau:



Auswertung

Male nun mithilfe deiner Beobachtung die Zeichnung zur Farbmischung aus. Kennzeichne auch die einzelnen Farbbereiche.



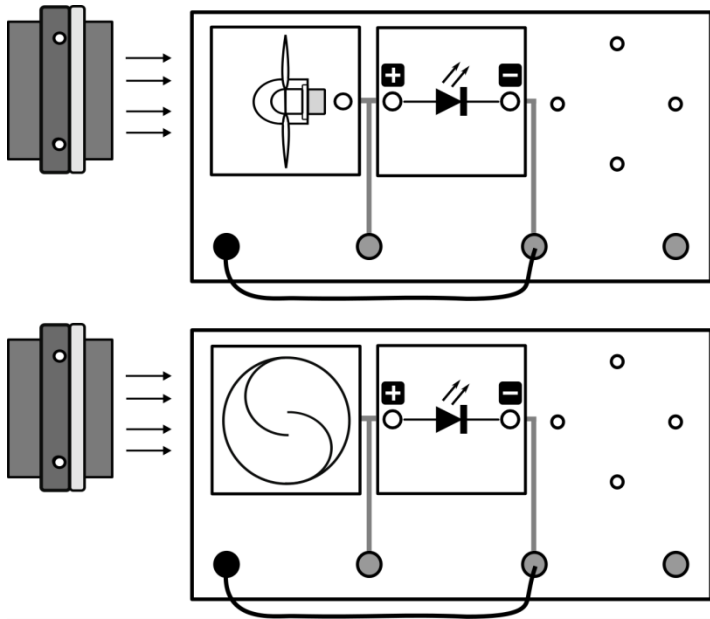


8.1 Vergleich zwischen Savonius- und Dreiblattrotor (phänomenologisch)

Aufgabe

Vergleiche einen Savoniusrotor mit einem Dreiblattrotor, indem du die Helligkeit einer Leuchtdiode untersuchst, die zum Leuchten gebracht wird.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (12V)
- Savoniusrotor mit Generatormodul
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- LED-Modul
- Kabel

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Verwende zuerst den Dreiblatt-Rotor.
2. Schalte die Stromversorgung ein und beobachte die Leuchtdiode.
3. Schalte die Stromversorgung wieder aus und entnimm das Modul des Dreiblatt-Rotors. Setze nun den Savoniusrotor an die gleiche Position.
4. Starte den Winderzeuger und notiere deine Beobachtungen, indem du den Lückentext ausfüllst.

Beobachtung

Der Savoniusrotor dreht sich _____ als der Dreiblattrotor.

Die Leuchtdiode leuchtet _____, wenn der Savoniusrotor verwendet wird.



8.1 Vergleich zwischen Savonius- und Dreiblattrotor (phänomenologisch)

Auswertung

Untersuche den Savoniusrotor genauer. Welche Unterschiede im Aufbau kannst du zwischen den verschiedenen Rotoren feststellen? Fertige dir auch eine Skizze der beiden Rotoren an

Antwort:

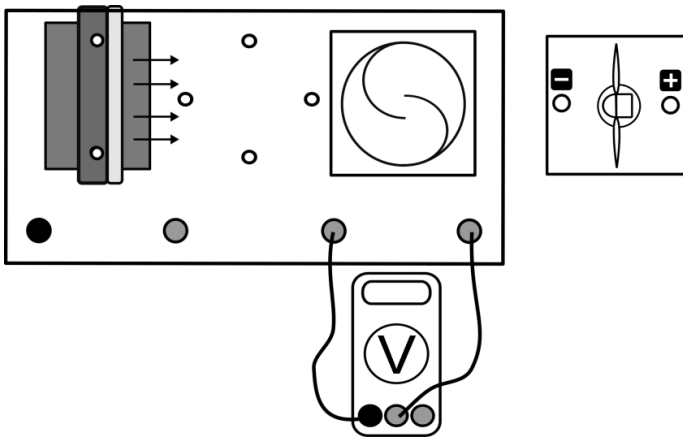


8.2 Vergleich zwischen Savonius- und Dreiblattrotor (Spannungsmessung)

Aufgabe

Vergleiche einen Savoniusrotor mit einem Dreiblattrotor, indem du die erzeugte Spannung untersuchst.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (12V)
- Savoniusrotor mit Generatormodul
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25°(Flügel: optimiertes Profil)
- Kabel
- Spannungsmessgerät

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Verwende zunächst den Savoniusrotor.
2. Schalte die Stromversorgung ein und miss die Spannung U_{Savonius} , die der Savoniusrotor liefert.
3. Schalte die Stromversorgung wieder aus, entnimm das Savoniusrotormodul und setze den Dreiblattrotor an die gleiche Position ein. Miss nun die Spannung $U_{\text{3-Blatt}}$.
4. Notiere deine Messwerte und weitere Beobachtungen.

Beobachtung

Messwerte

$U_{\text{Savonius}} =$

$U_{\text{3-Blatt}} =$



8.2 Vergleich zwischen Savonius- und Dreiblattrotor (Spannungsmessung)

Auswertung

1. Untersuche den Rotor genauer. Versuche anschließend, das Funktionsprinzip des Savoniusrotors zu erklären. Fertige dir eine Skizze an.
2. Wie groß ist die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Rotorarten bei diesem Modell? Kannst du den Unterschied erklären? Notiere deine Vermutungen.

1. Skizze:

2.

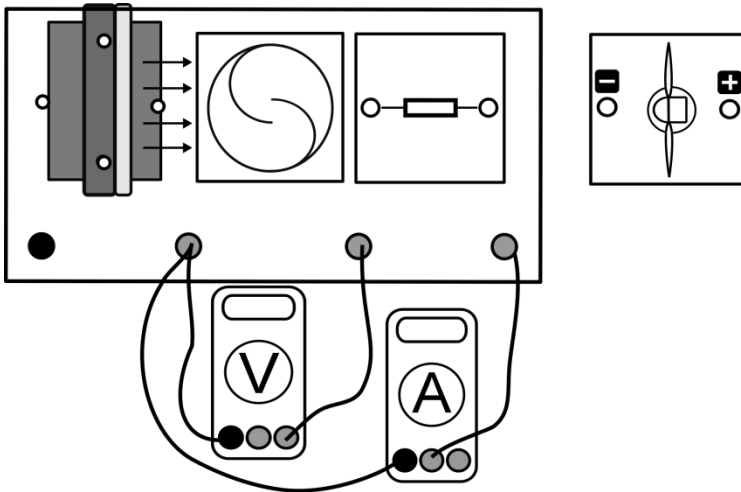


8.3 Vergleich zwischen Savonius- und Dreiblattrotor (Leistungsmessung)

Aufgabe

Vergleiche die Leistung eines Windgenerators, der durch einen Savoniusrotor angetrieben wird, mit der Leistung eines Dreiblattrotors in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit
- Stromversorgung (9V)
- Savoniusrotor mit Generatormodul
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- Widerstandsmodul
- Kabel
- Spannungsmessgerät
- Strommessgerät

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Verwende zunächst den Savoniusrotor.
2. Schalte die Stromversorgung ein und miss die Spannung und Stromstärke für verschiedene Windgeschwindigkeiten, die der Savoniusrotor liefert. Variiere die Windgeschwindigkeit, indem du die Spannung U_{netz} am Winderzeuger änderst.
3. Schalte die Stromversorgung wieder aus, entnimm das Savoniusrotormodul und setze den Dreiblattrotor an die gleiche Position ein.
4. Führe nun die Untersuchung mit dem Dreiblattrotor für die entsprechenden Windgeschwindigkeiten durch und notiere deine Messwerte sowie weitere Beobachtungen.

Beobachtung



8.3 Vergleich zwischen Savonius-Dreiblattrotor (Leistungsleistung)

Messwerte

Savoniusrotor					3-Blatt-Rotor				
U_{netz} in V	v in m/s	U_S in V	I_S in mA	P_S in mW	U_{netz} in V	v in m/s	U_3 in V	I_3 in mA	P_3 in mW

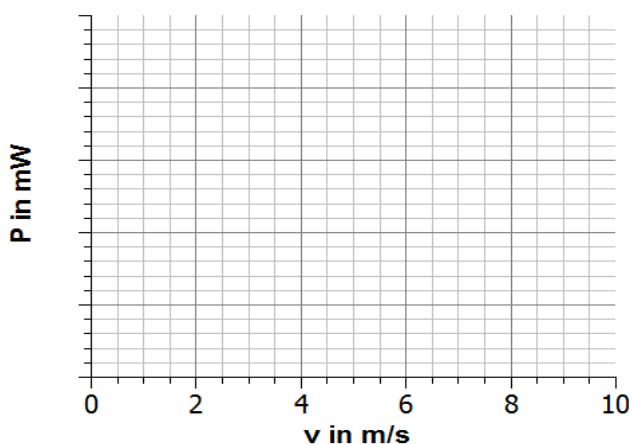
Die Werte für die Geschwindigkeit kannst du mit dem Windstärkemessgerät bestimmen oder aus dem entsprechenden Diagramm (siehe Seite 9) ablesen.

Auswertung

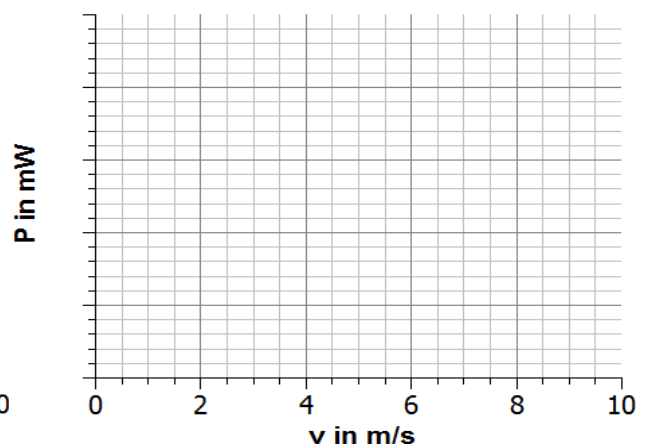
- Berechne die Leistung für die entsprechenden Abstände und trage deine Werte in die gegebenen Diagramme ein.
- Vergleiche die beiden Rotoren. Betrachte dabei folgende Aspekte:
 - äußeres Erscheinungsbild
 - Drehachse
 - Drehgeschwindigkeit
 - Anlaufgeschwindigkeit
 - Nennleistung
 - Funktionsprinzip
- Nenne mögliche Gründe, warum Savoniusrotoren kaum zur Energiegewinnung genutzt werden. Gibt es Gebiete oder Landschaften, an denen sie dennoch sinnvoll einzusetzen sind?

Diagramme

1. **Savonius rotor:**



Dreiblatt-Rotor:





8.3 Vergleich von Savonius- und Dreiblattrotor (Leistungsmessung)

Auswertung

2.

	Savoniusrotor	Dreiblattrotor
äußeres Erscheinungsbild		
Drehachse		
Drehgeschwindigkeit		
Nennleistung		
Funktionsprinzip		

3.

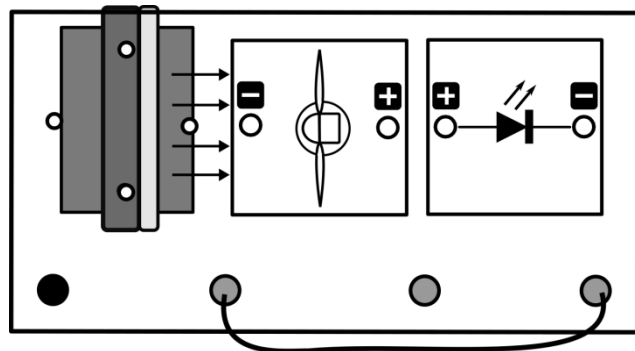


9.1 Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblattrotoren (phänomenologisch)

Aufgabe

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

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (9 V)
- Windgeneratormodul (mit zwei, drei und vier Rotorblättern, optimiertes Profil, 25°)
- LED-Modul
- Kabel

Durchführung

1. Baue den Versuch nach obiger Anordnung auf.
2. Setze den 2-Blatt-Rotor an den Windgenerator und schalte den Winderzeuger (Erregerspannung 9V) ein. Beobachte die Leuchtdiode. Verwende für den 2-Blatt-Rotor die 4-Blatt-Nabe.
3. Wechsle nun die Rotorflügel und stecke nacheinander den Drei- und den Vierblattrotor an den Windgenerator und beobachte ebenfalls die Leuchtdiode. Verwende die 3-Blatt-Nabe für den 3-Blatt-Rotor. Hinweise zum Wechsel der Rotorblätter findest du auf Seite 8.
4. Notiere deine Beobachtungen und setze dazu in die jeweiligen Felder der Tabelle ein Kreuz.

Beobachtung

Die Leuchtdiode leuchtet...

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



9.1 Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblattrotoren (phänomenologisch)

Auswertung

Wie verändert sich die Helligkeit der Leuchtdiode, wenn sie durch unterschiedliche Rotoren betrieben wird? Beschreibe deine Ergebnisse.

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

Zusatz:

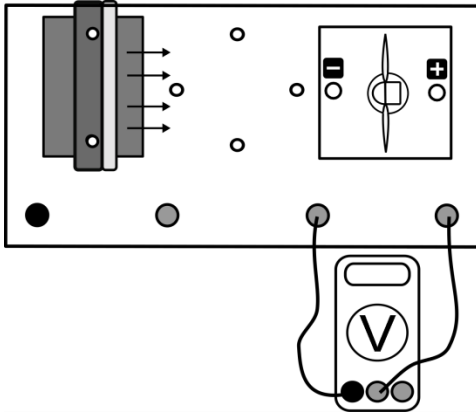


9.2 Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblattrotoren (Spannungsmessung)

Aufgabe

Untersuche die Spannung am Windgenerator bei unterschiedlicher Anzahl von Rotorblättern.

Aufbau



Benötigte Geräte

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

Vorbemerkung

Die einzelnen Rotoren brauchen unterschiedlich viel Zeit, bis sie eine konstante Umfangsgeschwindigkeit und damit eine konstante Spannung erzeugen. Die Spannung sollte erst notiert werden, wenn sich der Messwert nicht mehr ändert.

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Stecke den Zweiblattrotor auf den Windgenerator, verwende für den 2-Blatt-Rotor die 4-Blatt-Nabe. Miss die erzeugte Spannung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Variiere die Windgeschwindigkeit, indem du die Spannung U_{netz} am Winderzeuger änderst. Trage alle Werte in die vorgesehenen Felder ein. Schalte anschließend den Winderzeuger wieder aus.
3. Wiederhole deine Messung mit dem Drei- und Vierblattrotor. Trage alle Werte in die vorgesehenen Felder ein. Verwende die 3-Blatt-Nabe für den 3-Blatt-Rotor.
4. Wiederhole die Messung auch mit dem 1-Blatt-Rotor. (Hinweis: die Messwerte sind nicht vergleichbar, da für den Einblattrotor mindestens ein Anstellwinkel von 30° verwendet werden muss.)

Messwerte

U_{netz}	v in m/s	U_2 in V	U_3 in V	U_4 in V

Die Werte für die Geschwindigkeit kannst du mit dem Windstärkemessgerät bestimmen oder aus dem entsprechenden Diagramm (siehe Seite 9) ablesen.

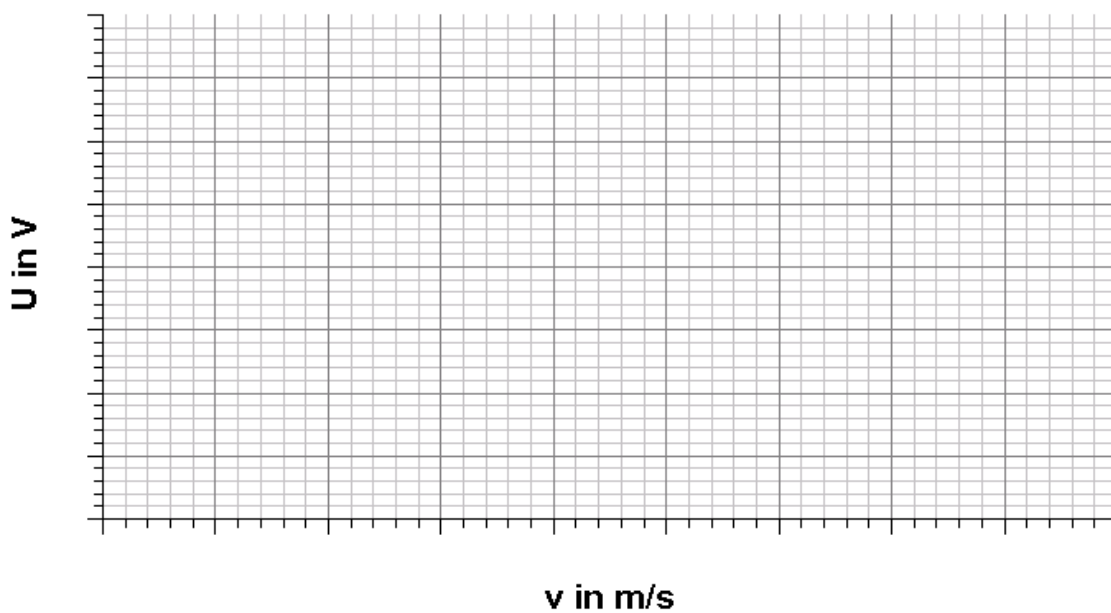


9.2 Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblattrotoren (Spannungsmessung)

Auswertung

1. Trage deine Messwerte in die entsprechenden Diagramme ein.
2. Mit welcher Anzahl an Rotorblättern kann die größte Spannung erzeugt werden, welche erzeugt die geringste? Welcher Zusammenhang zwischen der Anzahl der Rotorblätter und der erzeugten Spannung lässt sich vermuten?
3. Für unterschiedliche Windgeschwindigkeiten verändert sich auch die am Windgenerator erzeugte Spannung. Erkläre mithilfe deiner Ergebnisse warum bevorzugt Dreiblattrotoren und nicht Ein-, Zwei- oder Vierblattrotoren zur Energieerzeugung eingesetzt werden.

1.



2.

3.

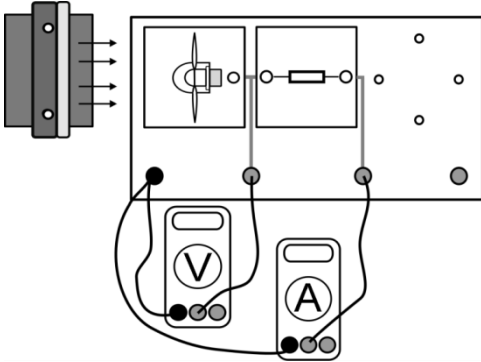


9.3 Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblattrotoren (Leistungsmessung)

Aufgabe

Untersuche die Leistung des Windgenerators bei unterschiedlicher Anzahl von Rotorblättern.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (12 V)
- Windgeneratormodul (mit zwei, drei und vier Rotorblättern, optimiertes Profil, 25°)
- Widerstandsmodul
- Kabel
- Spannungsmessgerät
- Strommessgerät

Vorbemerkung

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

Durchführung

1. Stecke den Zweiblattrotor auf den Windgenerator, stelle einen Abstand von 5 cm zwischen Rotor und Winderzeuger ein und schalte den Winderzeuger ein.
2. Miss die erzeugte Spannung und Stromstärke am Widerstandsmodul für unterschiedliche Abstände (5, 10, 15, 20, 25cm) und trage deine Werte in die Tabelle ein.
3. Wiederhole deine Messung mit dem Dreiblatt- und dem Vierblattrotor

Messwerte

Zweiblattrotor:

d in cm	5	10	15	20	25
v in m/s					
U in V					
I in mA					
P in mW					

Dreiblattrotor:

d in cm	5	10	15	20	25
v in m/s					
U in V					
I in mA					
P in mW					



9.3 Vergleich von Zwei-, Drei und Vierblattrotoren (Leistungsmessung)

Messwerte

Vierblattrotor:

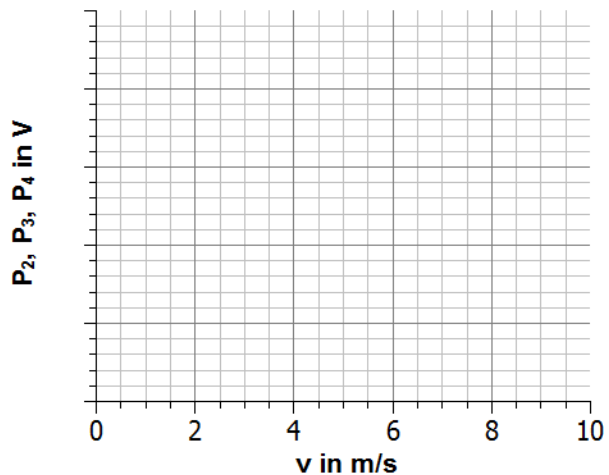
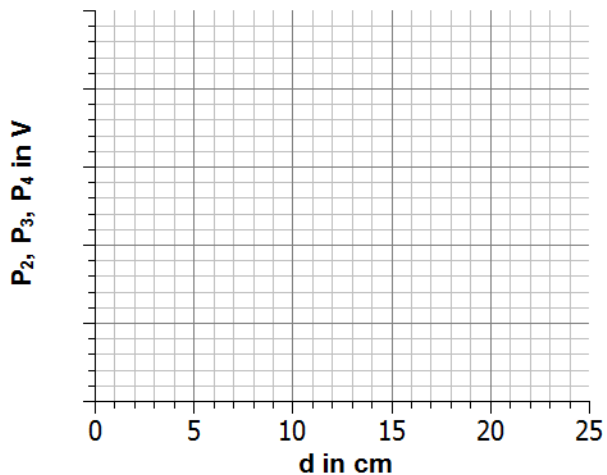
d in cm	5	10	15	20	25
v in m/s					
U in V					
I in mA					
P in mW					

Die Werte für die Geschwindigkeit kannst du mit dem Windstärkemessgerät bestimmen oder aus dem entsprechenden Diagramm (siehe Seite 9) ablesen.

Auswertung

1. Trage deine Messwerte in die entsprechenden Diagramme ein.
2. Mit welcher Anzahl an Rotorblättern kann die größte Leistung erzeugt werden, welche erzeugt die geringste? Welcher Zusammenhang zwischen der Anzahl der Rotorblätter und der erzeugten Leistung lässt sich vermuten?

1.



2.

2.

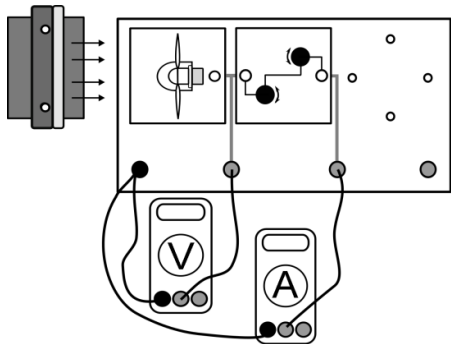


10. Kennlinien einer Windkraftanlage

Aufgabe

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

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (12 V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- Potentiometermodul
- Kabel
- Spannungsmessgerät
- Strommessgerät

Vorbemerkung

Bevor mit der Messung begonnen wird, muss das Potentiometermodul auf den größtmöglichen Widerstandswert eingestellt werden.

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Stelle mithilfe des Potentiometermoduls verschiedene Spannungswerte ein und miss die jeweilige Stromstärke. Dazu wird zunächst das 1kΩ-Poti und danach das 100Ω-Poti bis zum Maximum gedreht. Verringere die Spannung in Schritten von je ca. 0,2V und trage deine Messwerte in die Tabelle ein. Warte nach jeder neuen Einstellung des Potentiometers bis Spannung und Stromstärke konstant sind!

Messwerte

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

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

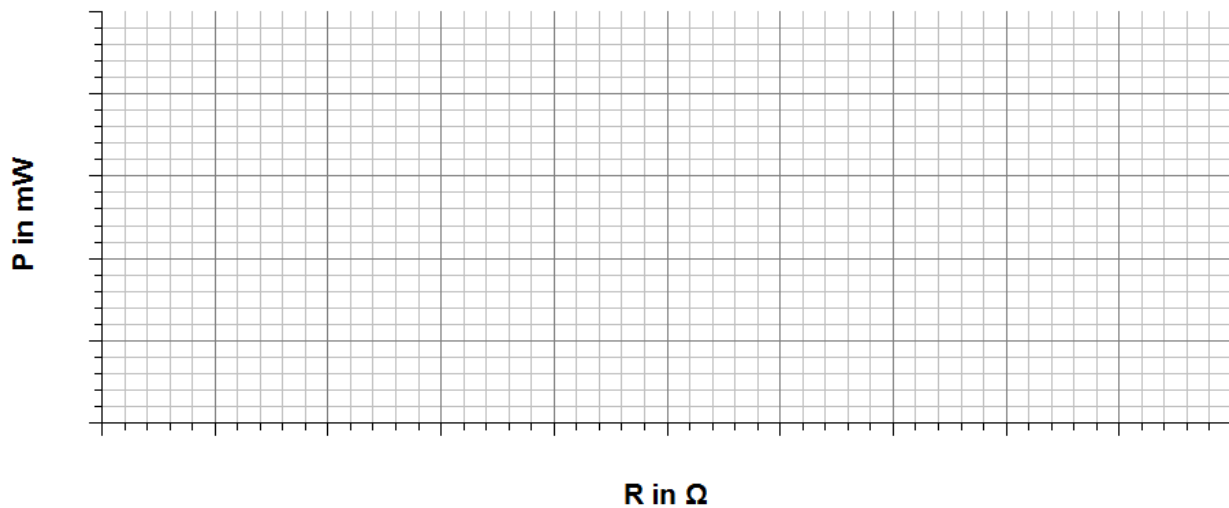
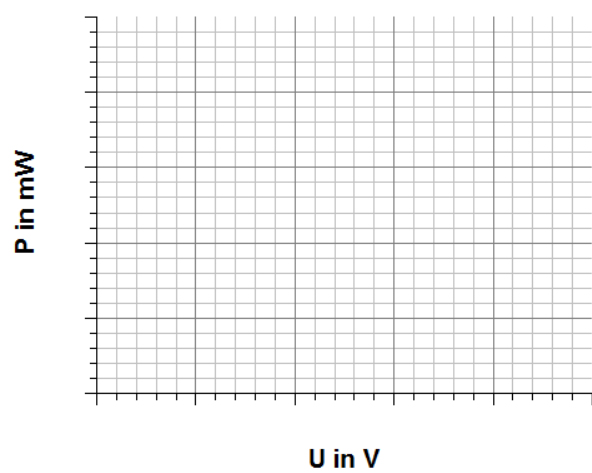
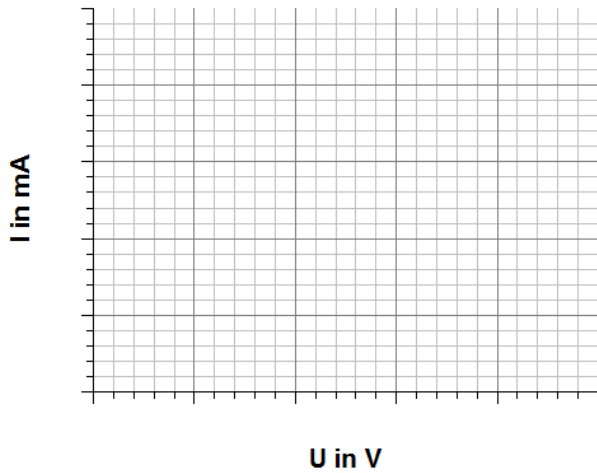


10. Kennlinien einer Windkraftanlage

Auswertung

1. Trage deine Messwertpaare in die entsprechenden Diagramme ein.
2. Bestimme aus dem Diagramm den Spannungswert, bei dem die Leistung der Windkraftanlage am größten ist. Wie groß ist der Lastwiderstand, bei dem die maximale Leistung am Generator erreicht wird?
3. Welche Konsequenz ergibt sich aus diesen Ergebnissen für den Betrieb realer Windkraftanlagen?
4. Die maximale Leistung einer Windkraftanlage hängt also vom Lastwiderstand am Generator ab. Nenne mögliche Effekte oder physikalische Größen, die ebenfalls einen Einfluss auf die Leistung einer Windkraftanlage haben könnten.

1.



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

3. _____

4. _____

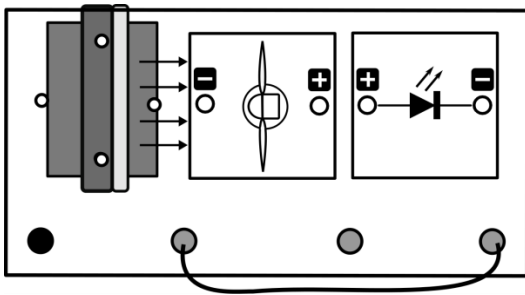


11.1 Einfluss der Windrichtung (phänomenologisch)

Aufgabe

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

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (9V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- LED-Modul
- Kabel

Durchführung

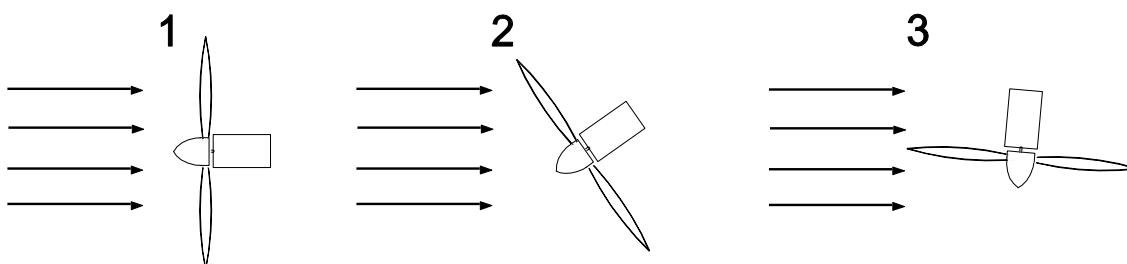
1. Baue den Versuch nach obiger Versuchsanordnung auf. Hinweise dazu findest du auf Seite 8.
2. Schalte den Winderzeuger mit einer eingestellten Spannung von 9V ein.
3. Drehe den Windgenerator vorsichtig nach rechts und links und beobachte die Leuchtdiode. Notiere deine Beobachtungen.

ACHTUNG! Beim Verdrehen des Windgenerators nicht in die Rotorblätter fassen – **Verletzungsgefahr!** –

Beobachtung

Auswertung

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



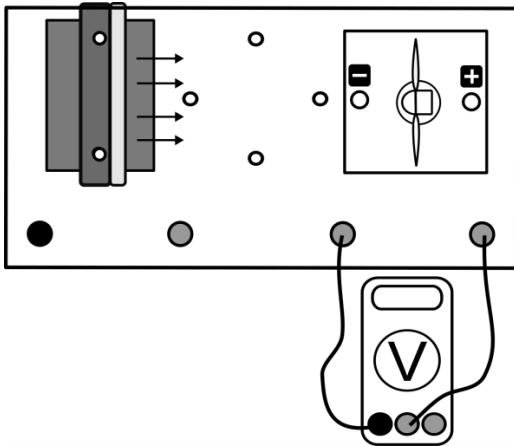


11.2 Einfluss der Windrichtung (Spannungsmessung)

Aufgabe

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

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (12 V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- Kabel
- Spannungsmessgerät

Vorbemerkung

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

Durchführung

1. Stelle den Drehwinkel zu Beginn auf 0° ein.
2. Schalte des Stromversorgungsgerät ein und miss die entsprechende Spannung am Generator. Trage deinen Messwert in die Tabelle ein und schalte gegebenenfalls die Stromversorgung wieder ab.
3. Verdrehe nun den Windgenerator vorsichtig um 10° . Wiederhole deine Messungen mit den entsprechenden Winkeleinstellungen und trage sämtliche Messwerte in die Tabelle ein.

Messwerte

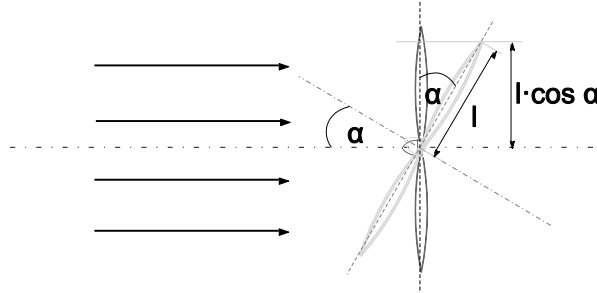
α in $^\circ$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\cos \alpha$										
U in V										



11.2 Einfluss der Windrichtung (Spannungsmessung)

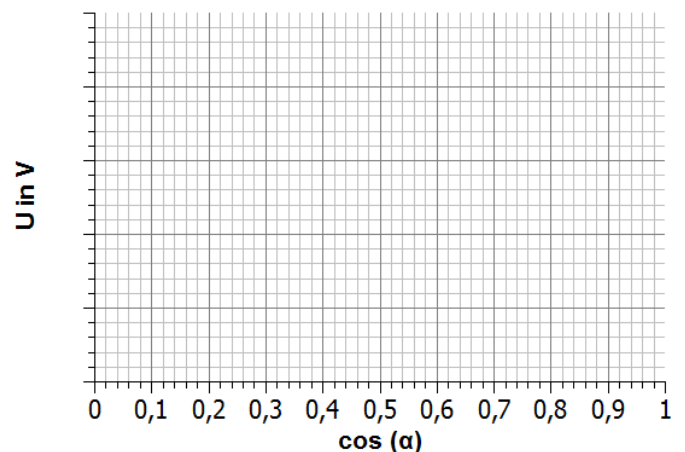
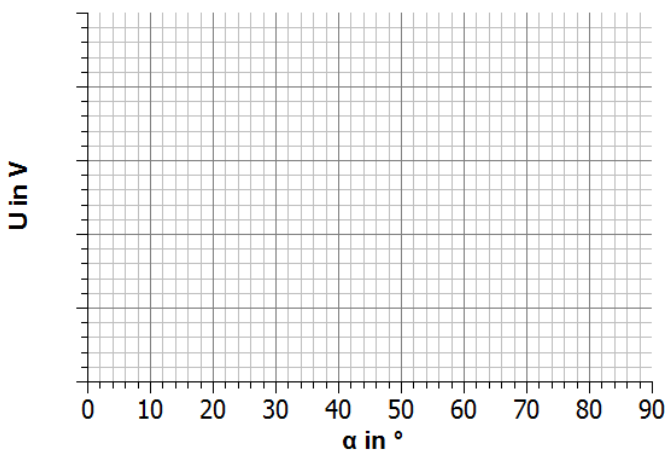
Auswertung

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



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

1.



2.

3.

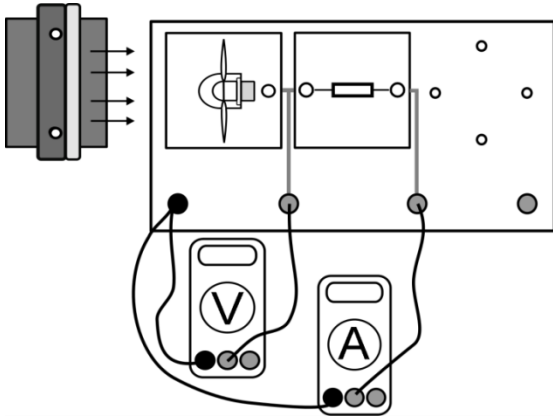


11.3 Einfluss der Windrichtung (Leistungsmessung)

Aufgabe

Untersuche die Leistung des Windrotors, wenn der Wind aus unterschiedlichen Richtungen auf den Windgenerator trifft.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (12 V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25°(Flügel: optimiertes Profil)
- Widerstandsmodul
- Kabel
- Spannungsmessgerät
- Strommessgerät

Vorbemerkung

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

Durchführung

1. Stelle den Drehwinkel zu Beginn auf 0° ein.
2. Schalte des Stromversorgungsgerät ein und miss Spannung und Stromstärke am Generator. Trage deinen Messwert in die Tabelle ein und schalte gegebenenfalls die Stromversorgung wieder ab.
3. Verdrehe nun den Windgenerator vorsichtig um 10° . Wiederhole deine Messungen mit den entsprechenden Winkeleinstellungen und trage sämtliche Messwerte in die Tabelle ein.

Messwerte

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

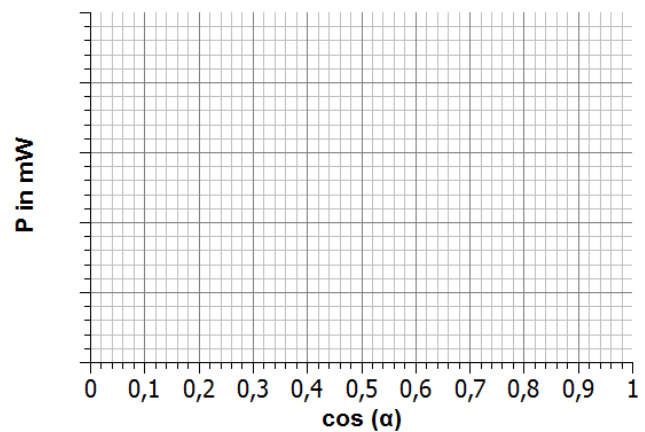
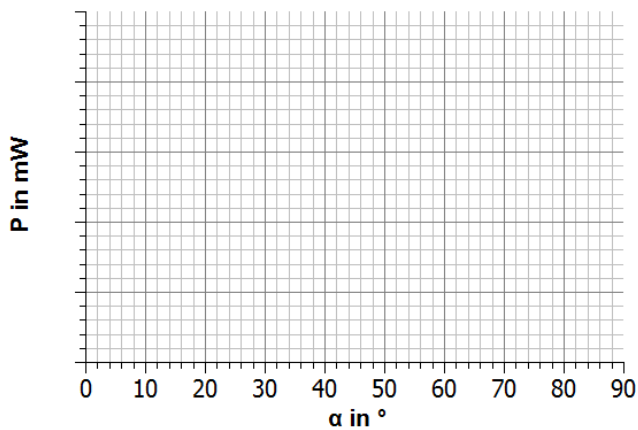


11.3 Einfluss der Windrichtung (Leistungsmessung)

Auswertung

1. Trage die Messwertpaare in die Diagramme ein.
2. Die Größe $\cos \alpha$ ist proportional zu einer bestimmten Fläche der gedrehten Windkraftanlage. Wie könnte man diese Fläche nennen? Beschreibe die Abhängigkeit der Spannung vom Drehwinkel und der genannten Fläche. Fertige dir dazu eine Skizze an.
3. An realen Windkraftanlagen ist es von großer Bedeutung immer die größtmögliche Leistung zu erzeugen. Wie kann man erreichen, dass eine Windkraftanlage immer die maximale Leistung erzeugt? Überlege dir eine Möglichkeit der technischen Umsetzung, wie eine solche Anlage immer optimal zum Wind ausgerichtet sein kann und beschreibe deine Überlegung. Informiere dich dazu über den Aufbau realer Windkraftanlagen

1.



2.

3.



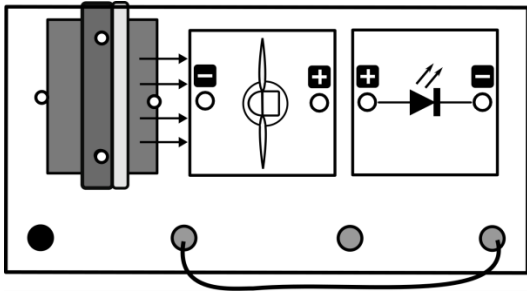
12.1 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (phänomenologisch)

Aufgabe

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

Aufbau

Benötigte Geräte



- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (9V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler (alle Winkel, optimiertes Profil)
- LED-Modul
- 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.
3. Schalte den Winderzeuger ein und beobachte die Helligkeit der Leuchtdiode. Schiebe den Rotor ggf. an, falls er nicht von allein anläuft. Trage anschließend deine Beobachtungen in die Tabelle ein. Male dazu die entsprechende Anzahl an Feldern aus.
4. Wiederhole die Messung für alle anderen Rotorblattanstellwinkel.
5. Zusatz: Führe die gleiche Messung mit den Flügeln mit flachem Profil durch!

Auswertung

Anstellwinkel	20°	25°	30°	50°	90°	Beispiel	
Die Leuchtdiode leuchtet...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Die Leuchtdiode leuchtet...	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Vervollständige nun den angegebenen Text:

Bei größerem Anstellwinkel leuchtet die Leuchtdiode _____. Am stärksten leuchtet die LED bei einem Winkel von _____.

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

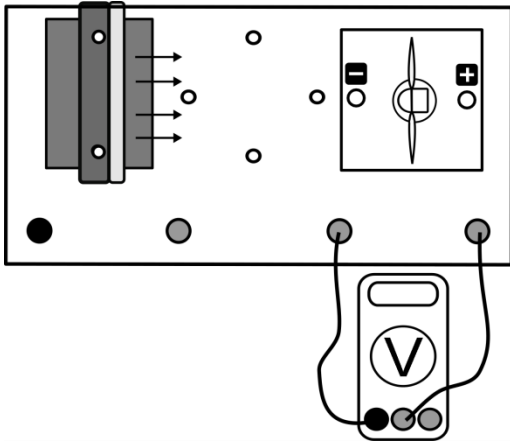


12.2 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (Spannungsmessung)

Aufgabe

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

Aufbau



Benötigte Geräte

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

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.
3. Schalte den Winderzeuger ein und miss die Spannung am Windgenerator. Schiebe den Rotor ggf. an, falls er nicht von allein anläuft. Erfasse die Messwerte in einer Tabelle.
4. Wiederhole die Messung für alle anderen Rotorblattanstellwinkel.

Messwerte

$\alpha / ^\circ$	20	25	30	50	90
U in V					

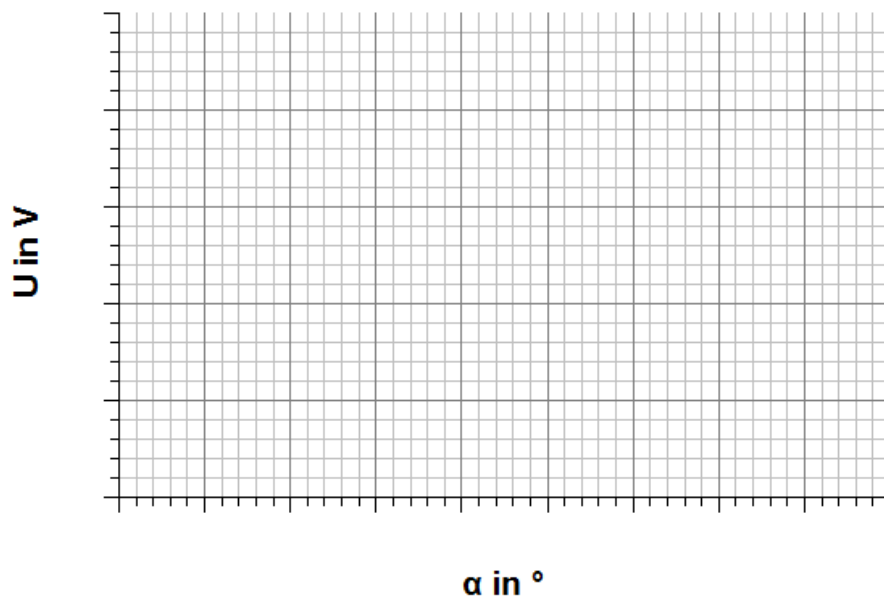


12.2 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (Spannungsmessung)

Auswertung

1. Trage die Spannung U über dem Anstellwinkel α ab. Falls du auch die flachen Profile verwendest, kennzeichne die Kurve in einer anderen Farbe.
2. Beschreibe den Zusammenhang zwischen Spannung und Anstellwinkel der Rotorblätter.
3. Welchen Verlauf des Graphen erwartest du für Winkel kleiner 20° ?

1.



2.

3.

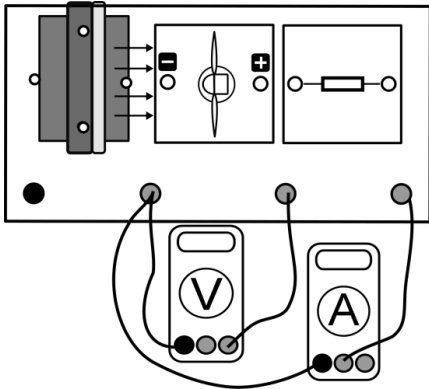


12.3 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (Leistungsmessung)

Aufgabe

Untersuche den Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter gegenüber der Rotorebene auf die Leistung des Windgenerators.

Aufbau



Benötigte Geräte

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

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.
3. Schalte den Winderzeuger ein und miss Spannung und Stromstärke am Widerstandsmodul. Schiebe den Rotor ggf. an, falls er nicht von allein anläuft. Erfasse die Messwerte in einer Tabelle.
4. Wiederhole die Messung für alle anderen Rotorblattanstellwinkel.
5. Führe die gleiche Messung mit den Flügeln mit flachem Profil durch!
6. Berechne jeweils die Leistung des Windgenerators.

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					

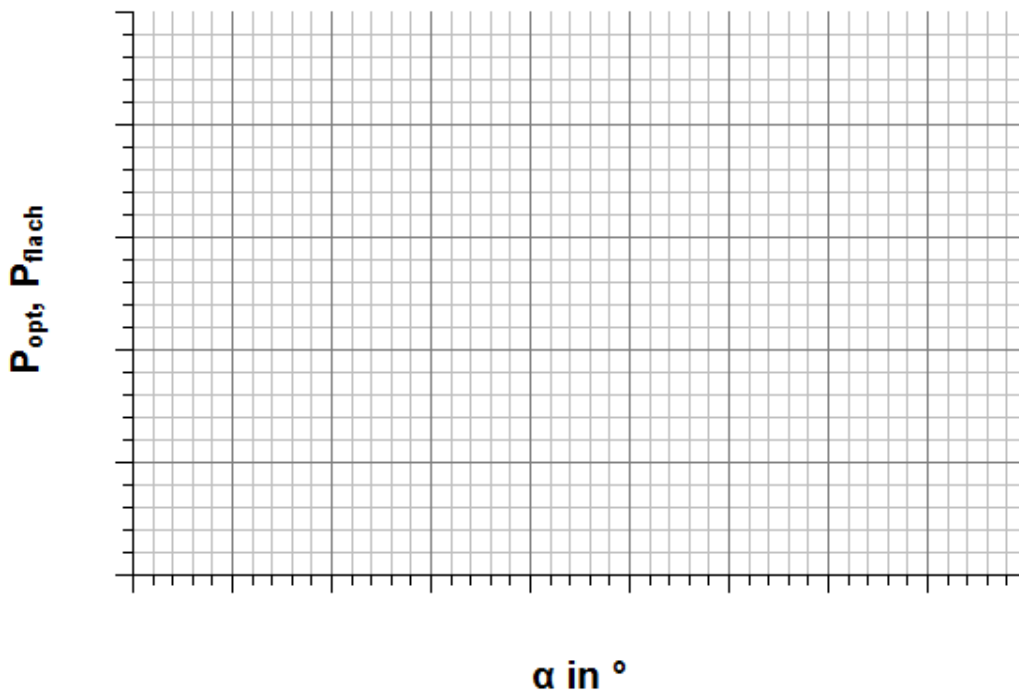


12.3 Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (Leistungsmessung)

Auswertung

1. Trage die Leistung P über dem Anstellwinkel α jeweils für das optimierte und das flache Profil ab.
2. Beschreibe den Zusammenhang zwischen Leistung und Anstellwinkel der Rotorblätter. Welchen Einfluss könnte dieser Effekt auf den Betrieb realer Windkraftanlagen haben?
3. Welchen Einfluss hat die Flügelform?

1.



2.

3.

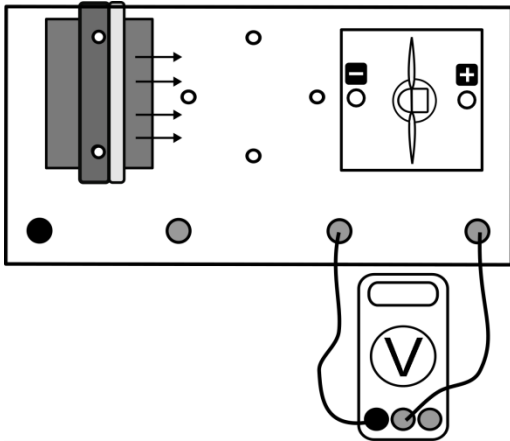


12.4 Anlaufgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Anstellwinkel der Rotorblätter

Aufgabe

Untersuche den Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter gegenüber der Rotorebene auf die Anlaufgeschwindigkeit einer Windkraftanlage.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (5...12V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler (alle Winkel, optimiertes Profil)
- Kabel
- Spannungsmessgerät

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.
3. Schalte den Winderzeuger mit einer Versorgungsspannung von 12V ein und miss die Spannung am Windgenerator. Schiebe den Rotor ggf. an, falls er nicht von allein anläuft.
4. Wiederhole die Messung mit verschiedenen Versorgungsspannungen am Winderzeuger (12V, 9V, 7,5V, 6V, 5V). Trage deine Messwerte in die Tabelle ein
5. Wiederhole die Messung für alle anderen Rotorblattanstellwinkel.
6. Bestimme für alle Anstellwinkel jeweils die Anlaufgeschwindigkeit der Windkraftanlage.

Messwerte

Die Werte für die Geschwindigkeit kannst du mit dem Windstärkemessgerät bestimmen oder aus dem entsprechenden Diagramm (siehe Seite 9) ablesen.

Anstellwinkel 20° :

v in m/s									
U_{gen} in V									

Anlaufgeschwindigkeit $v_a =$



12.4 Anlaufgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Anstellwinkel der Rotorblätter

Messwerte

Anstellwinkel 25°:

v in m/s									
U_{gen} in V									

Anlaufgeschwindigkeit $v_a =$

Anstellwinkel 30°:

v in m/s									
U_{gen} in V									

Anlaufgeschwindigkeit $v_a =$

Anstellwinkel 50°:

v in m/s									
U_{gen} in V									

Anlaufgeschwindigkeit $v_a =$ **Anstellwinkel 90°:**

v in m/s									
U_{gen} in V									

Anlaufgeschwindigkeit $v_a =$

Auswertung

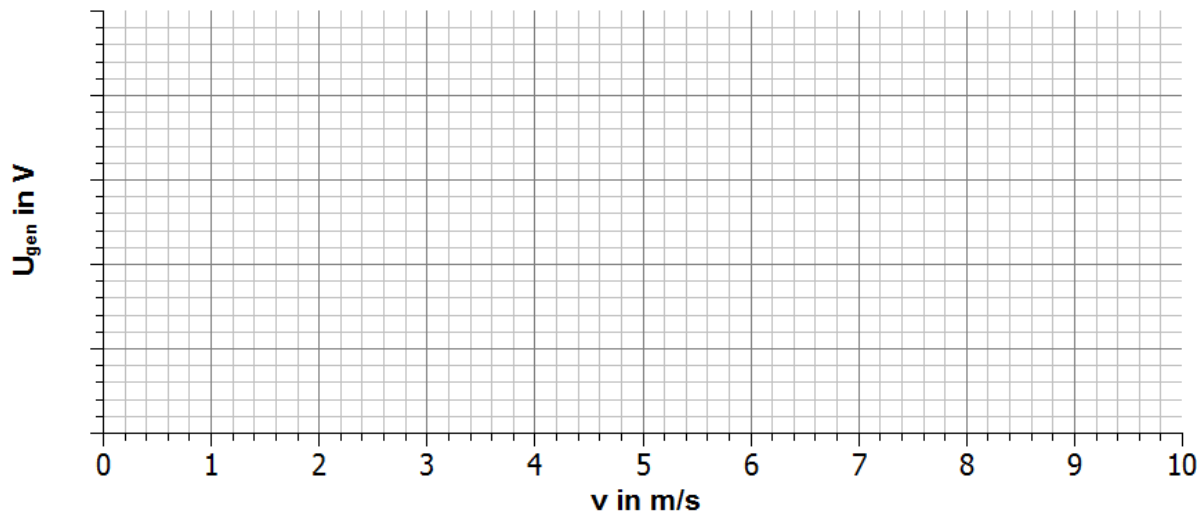
1. Trage die Spannung am Windgenerator über der Windgeschwindigkeit für die verschiedenen Anstellwinkel im Diagramm ein. Beschreibe den Zusammenhang zwischen der Spannung am Windgenerator und der Windgeschwindigkeit.
2. Welchen Einfluss hat der Anstellwinkel auf die maximale Spannung am Generator und die Anlaufgeschwindigkeit?
3. Wie könnte dieser Effekt bei der Realisierung realer Windkraftanlagen genutzt werden, zum Beispiel, um Beschädigungen bei Sturm vorzubeugen?



12.4 Anlaufgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Anstellwinkel der Rotorblätter

Auswertung

1.



2.

3.

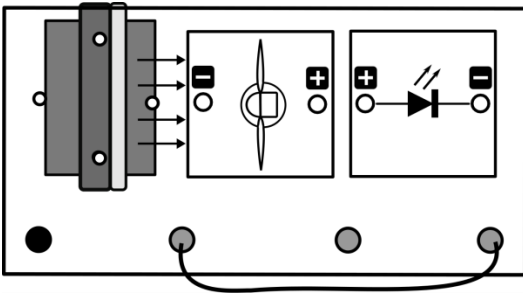


13.1 Einfluss der Flügelform (phänomenologisch)

Aufgabe

Untersuche die Helligkeit einer Leuchtdiode bei unterschiedlicher Form der Rotorblätter.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (9V)
- Windgeneratormodul (drei Rotorblätter, 25°, optimiertes Profil und flaches Profil)
- LED-Modul
- Kabel

Durchführung

1. Baue die Versuchsanordnung wie oben dargestellt auf.
2. Stecke den Dreiblattrotor mit dem optimierten Profil auf den Windgenerator und schalte den Winderzeuger ein. Beobachte die Helligkeit der Leuchtdiode.
3. Wiederhole deine Messung mit dem Dreiblattrotor mit flachem Profil. Hinweise zum Wechsel der Rotorblätter findest du auf Seite 8.
4. Notiere deine Beobachtungen.

Auswertung

1. Bei welcher Flügelform leuchtet die LED heller?
2. Untersuche die Flügelform beider Rotorflügel genauer. Welche Unterschiede kannst du feststellen?
3. Kennst du Beispiele, wo das flache Profil zum Einsatz kommt?

1.

2.

3.

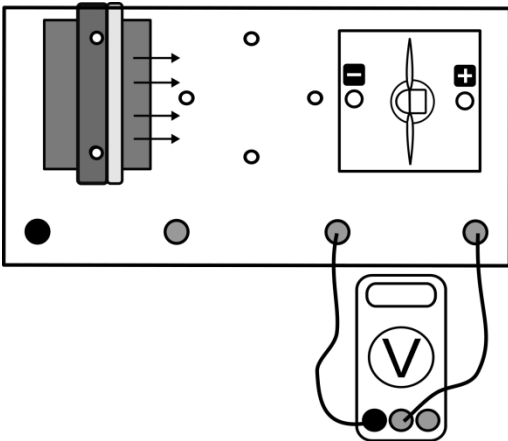


13.2 Einfluss der Flügelform (Spannungsmessung)

Aufgabe

Untersuche die Spannung am Generator bei unterschiedlicher Form der Rotorblätter.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (9V)
- Windgeneratormodul (drei Rotorblätter, 25°, optimiertes Profil und flaches Profil)
- Kabel
- Spannungsmessgerät

Durchführung

1. Stecke den Dreiblattrotor mit dem optimierten Profil auf den Windgenerator und schalte den Winderzeuger ein. Miss die am Generator erzeugte Spannung.
2. Wiederhole deine Messung mit dem Dreiblattrotor mit flachem Profil.

Messwerte

$U_{\text{opt}} =$

$U_{\text{flach}} =$

Auswertung

1. Mit welchem Profil können höhere Spannungen erzeugt werden?
2. Stelle eine Vermutung auf: Welchen Einfluss hat die Flügelform auf die erzeugte Leistung einer Windkraftanlage?

1.

2.

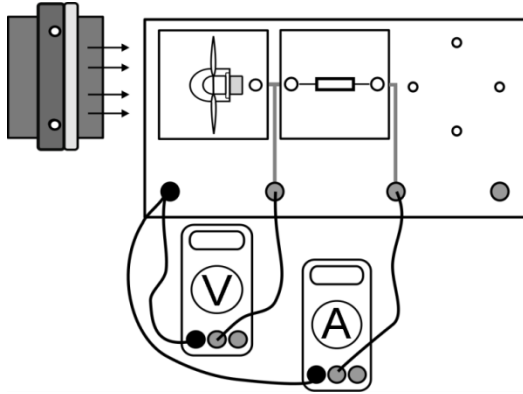


13.3 Einfluss der Flügelform (Leistungsmessung)

Aufgabe

Untersuche die Leistung eines Windgenerators bei unterschiedlicher Form der Rotorblätter.

Aufbau



Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (9V)
- Windgeneratormodul (drei Rotorblätter, 25°, optimiertes Profil und flaches Profil)
- Widerstandsmodul
- Kabel
- Spannungsmessgerät
- Strommessgerät

Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Stecke den Dreiblattrotor mit dem optimierten Profil auf den Windgenerator, stelle einen Abstand von 25cm zwischen Rotor und Winderzeuger ein und schalte den Winderzeuger ein.
3. Miss in verschiedenen Abständen zum Winderzeuger jeweils Spannung und Stromstärke am Windgenerator. Trage deine Messwerte in die Tabelle ein.
4. Wiederhole die Messung mit dem Dreiblattrotor mit flachem Profil.

Messwerte

Optimiertes Profil:

d in cm	5	10	15	20	25
v in m/s					
U in V					
I in mA					
P in mW					

Flaches Profil:

d in cm	5	10	15	20	25
v in m/s					
U in V					
I in mA					
P in mW					

Die Werte für die Geschwindigkeit kannst du mit dem Windstärkemessgerät bestimmen oder aus dem entsprechenden Diagramm (siehe Seite 9) ablesen.

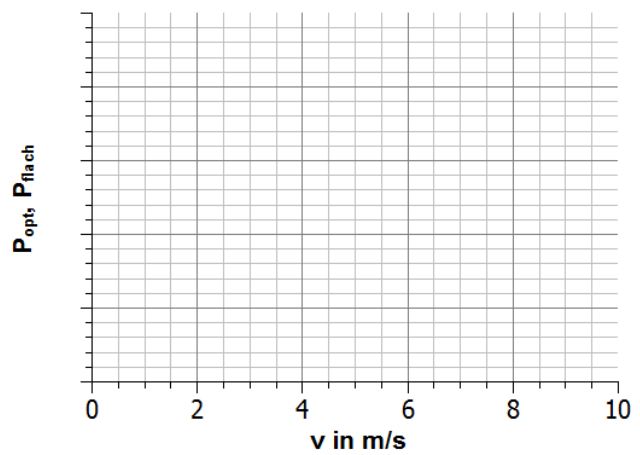
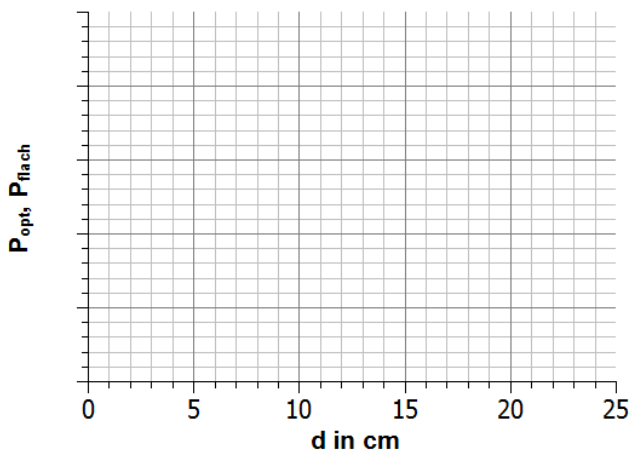


13.3 Einfluss der Flügelform (Leistungsmessung)

Auswertung

1. Trage deine Messwerte in die entsprechenden Diagramme ein.
2. Mit welchem Profil lassen sich höhere Leistungen erzeugen?
3. Welcher physikalische Effekt könnte für das Verhalten des optimierten Flügels verantwortlich sein? Vergleiche den Flügel mit einer Flugzeugtragfläche.
4. Welches Profil wird daher bei realen Windkraftanlagen eingesetzt? Begründe deine Entscheidung.

1.

2. P_{opt} P_{flach}

3.

4.

leXsolar GmbH
Strehleener Straße 12-14
01069 Dresden / Germany

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