

# WINDTRAINER

*junior*



**Experimente zur Windenergie**

Anleitungen

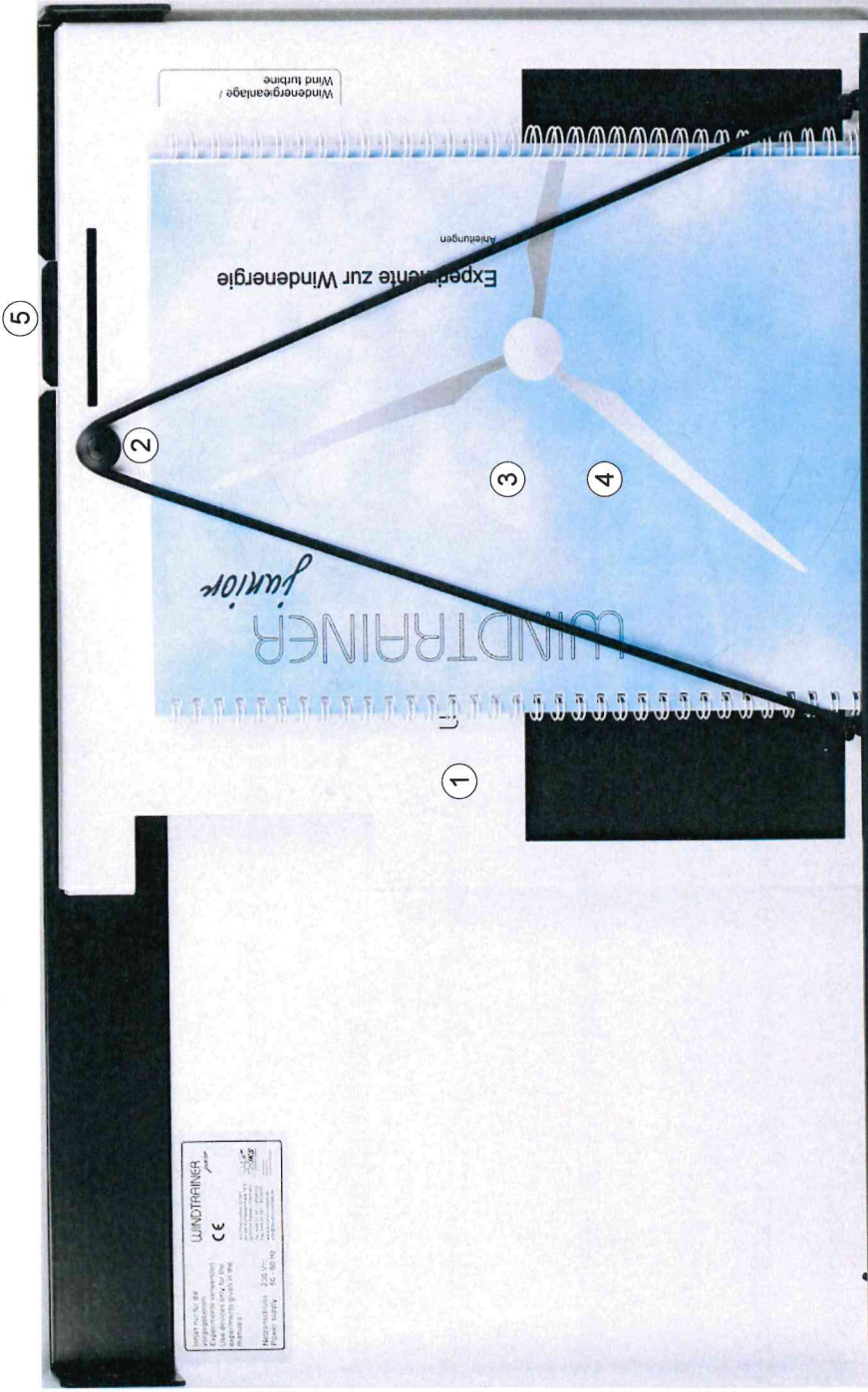
## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhalt und Anordnung im Koffer</b> .....	1
<b>Vorstellung der einzelnen Komponenten</b> .....	2
<b>Aufbau des Systems</b> .....	9
<b>Bestimmungsgemäße Verwendung / Sicherheitshinweise</b> .....	11
<b>Experimente zur Windenergie</b>	
<b>Experiment 1</b> Messung der Windgeschwindigkeit der Windmaschine in Abhängigkeit von der Potentiometerstellung .....	12
<b>Experiment 2</b> Messung der Ausgangsleistung einer Windenergieanlage in Abhängigkeit von der Flügelspannung .....	13
<b>Experiment 3</b> Messung der Ausgangsleistung einer Windenergieanlage in Abhängigkeit von der Flügelanzahl .....	14
<b>Experiment 4</b> Messung der Ausgangsleistung einer Windenergieanlage in Abhängigkeit von der Flügelstellung .....	16
<b>Experiment 5</b> Messung der Strom-Spannungs-Kennlinie einer Windenergieanlage bei konstanter Drehzahl .....	17
<b>Experiment 6</b> Messung der Strom-Spannungs-Kennlinie am Auftriebs- und Widerstandsläufer bei konstanter Windgeschwindigkeit .....	18
<b>Experiment 7</b> Messung der Ausgangsleistung einer Windenergieanlage in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit .....	20

<b>Experiment 8</b>	Messung der Ausgangsleistung am Savonius-Generator mit und ohne Spalt.....	21
<b>Experiment 9</b>	Messung der Strom-Spannungs-Kennlinie am Savonius-Generator bei konstanter Windgeschwindigkeit.....	22
<b>Experiment 10</b>	Laden eines GoldCap-Kondensators/Akkumulators mit einer Windenergieanlage.....	23
<b>Experiment 11</b>	Entladen eines GoldCap-Kondensators/Akkumulators.....	24
<b>Experiment 12</b>	Aufbau eines Inselnetzes .....	25

<b>Schaltsymbole und Begriffe</b> .....	26
---	----

## Inhalt und Anordnung im Koffer



① Grundplatte

② Halteknopf für Gummischnur  
(Heffixierung)

③ Anleitungen

④ Lösungen

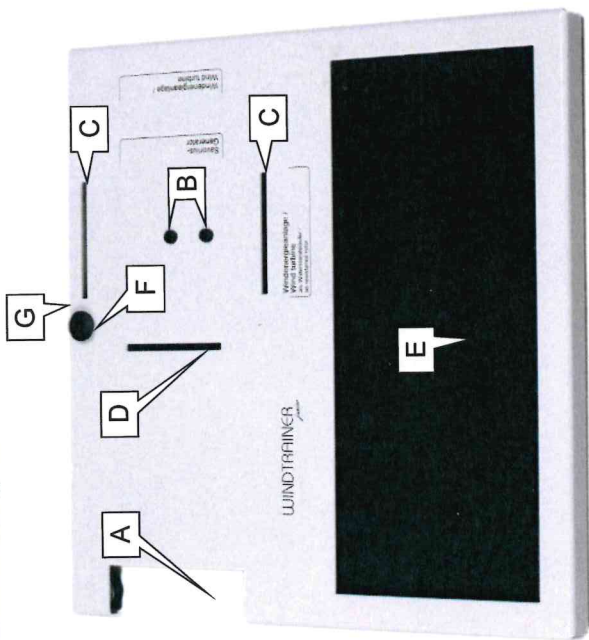
⑤ Aufhängung für Grundplatte



- ⑥ Windmaschine
- ⑦ Multimeter (1x unten)
- ⑧ Windblende
- ⑨ Schutzhaube
- ⑩ Windenergieanlage axial
- ⑪ 8 Flügel, 4x gerade, 4x gewölbt
- ⑫ Schraubendreher (unten)
- ⑬ Messkabel, 4x rot, 4x blau
- ⑭ Steckernetzteil (DC Kabel unter Speicher)
- ⑮ Speicher
- ⑯ Last 1 (Verbrauchermodul)
- ⑰ Last 2
- ⑱ Savonius-Generator mit Einsteck-Blende (unten)
- ⑲ Savonius-Generator-Unterteil

Schaumstoffpolster zum Abdecken der Komponenten (im Kofferdeckel, ohne Bild)

## Vorstellung der einzelnen Komponenten



### Grundplatte ①

Dient zur Aufnahme der Windenergieanlage ⑩, des Savonius-Generators ⑱ + ⑲, der Schutzhaube ⑨, der Windblende ⑧ und zur Ablage der Experimentiermodule und Messgeräte.

- A Aussparung zum Einsetzen der Windmaschine ⑥
- B Stifte zum Positionieren der Windenergieanlage ⑩ und des Savonius-Generators ⑱ + ⑲
- C Positionierungsschlitze für die Schutzhaube ⑨
- D Positionierungsschlitz für die Windblende ⑧
- E Ablage für Experimentiermodule und Messgeräte
- F Halteknopf für Gummischnur zur Fixierung der Hefte im Kofferdeckel
- G Schlitz zur Aufhängung der Grundplatte im Kofferdeckel

### Anleitungen ③

Beschreibung der Experimente.

### Lösungen ④

Hintergrundinformationen und Lösungen.



## Windmaschine ⑥

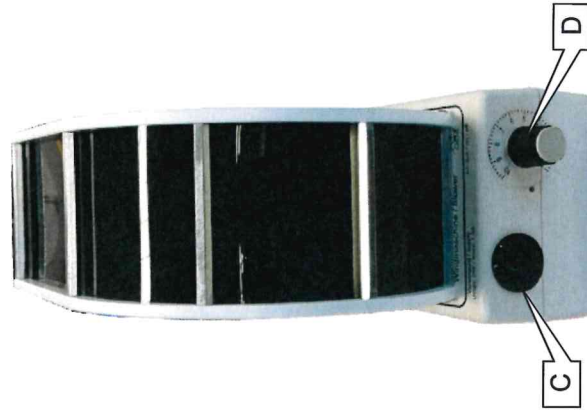
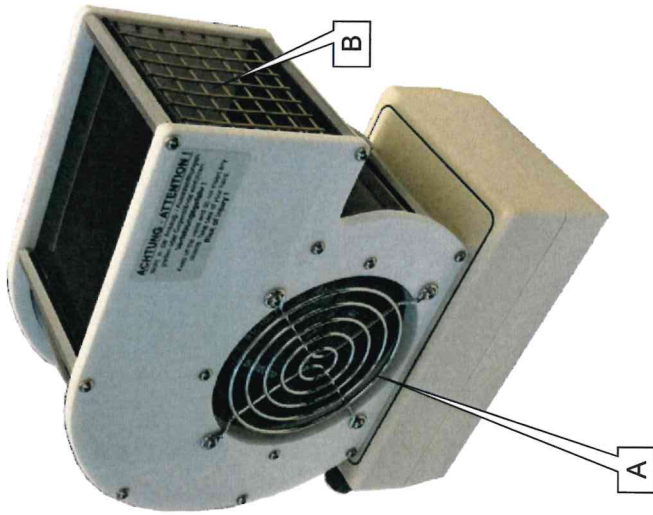
Die Windmaschine besteht aus dem Standgehäuse mit integrierter Drehzahlregelung, Anschlussbuchse zur Stromversorgung, Windgeschwindigkeitsregler und dem Gebläse.

- A Luftansaugöffnung
- B Luftauslassöffnung

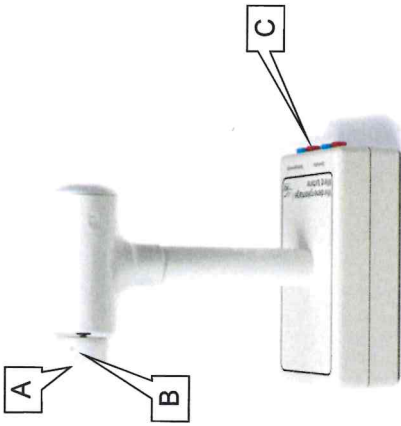


**ACHTUNG:**  
Nicht in den Luftansaug- / Auslassbereich greifen  
oder Gegenstände dort einführen. Insbesondere  
auf Haare im Ansaugbereich achten!

- C Stromversorgungsanschlussstecker für Umax: 12 V  
Imax: 1,8 A DC vom Steckernetzteil
- D Ein-Aus Schalter (Stellung: Aus = Linksdrehung bis  
Anschlag) und Windgeschwindigkeitsregelung =  
Rechtsdrehung Skala 1-10)



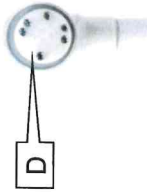
## Vorstellung der einzelnen Komponenten



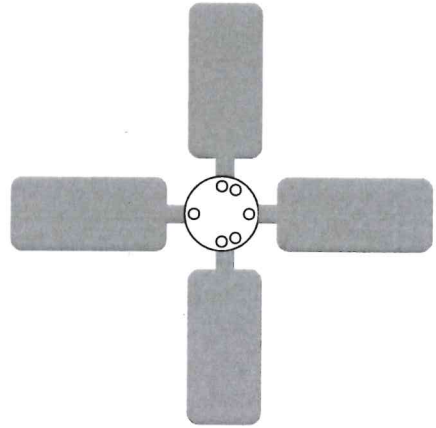
### Windenergieanlage axial ⑩ zur Messung der Windgeschwindigkeit

Die Windenergieanlage axial besteht aus einem Gleichstromgenerator, auf dessen Welle eine Nabe zur Aufnahme der Flügel angebracht ist, und einem Tachogenerator zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit. Die Nabe wird mit vier Flügeln gerade im Winkel von  $45^\circ$  bestückt.

- A Flügelnabe
- B Aufnahmebohrungen für Flügel
- C Anschlussbuchsen Tachogenerator
- D Stiftschraube

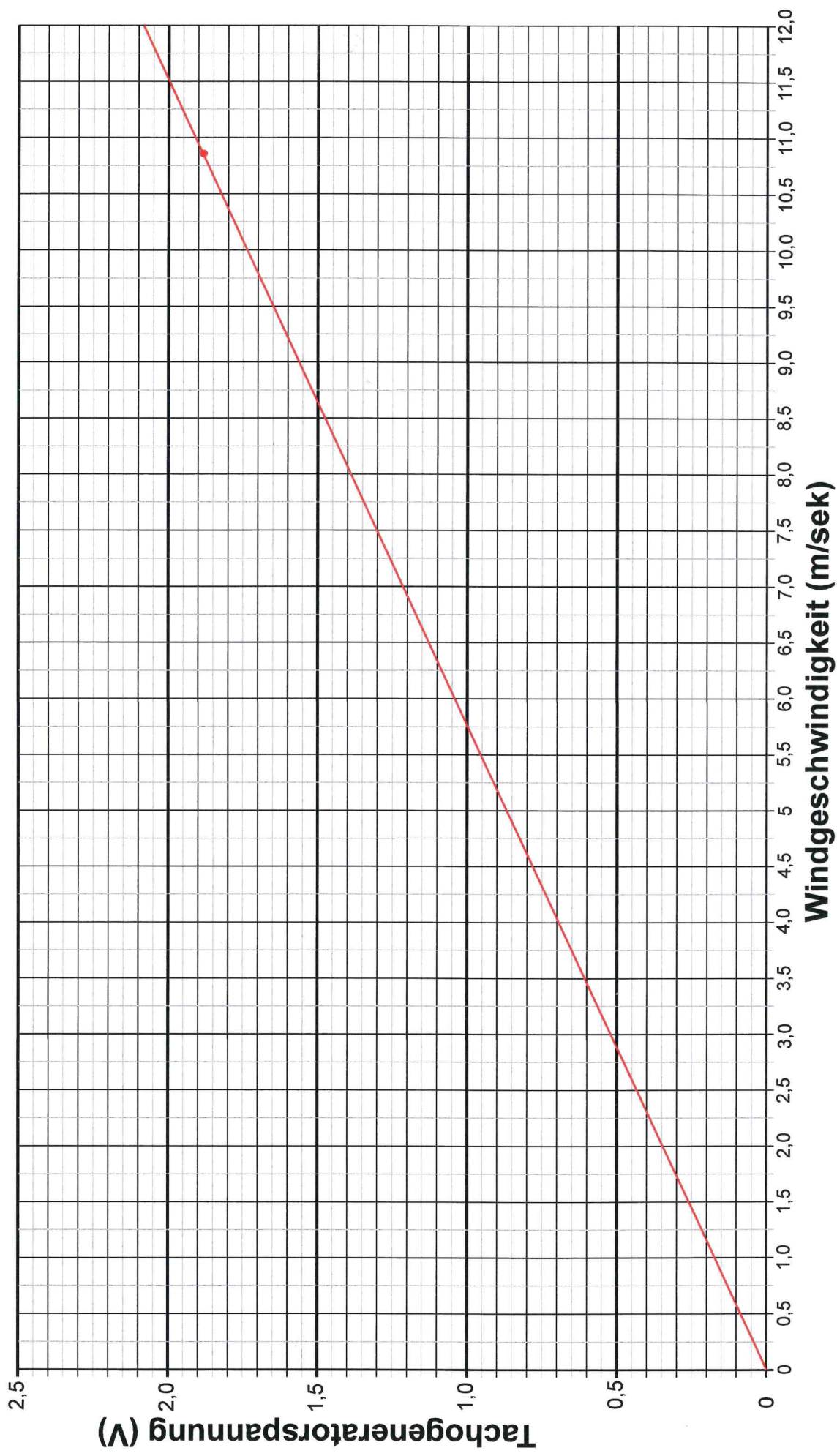


**ACHTUNG:**  
Nicht in die Flügel greifen oder Gegenstände dort einführen.  
Insbesondere auf Haare achten!





## Windgeschwindigkeit / Tachogeneratorspannung



## Vorstellung der einzelnen Komponenten

### Windblende ⑧

Zur Verwendung der Windenergieanlage als Widerstandsläufer. Die Blende wird in den Schlitz **D** der Grundplatte **①** mit dem Magnet Richtung Windmaschine eingesetzt und mit dem Magnet fixiert.



## Multimeter 7



**Achtung: Multimeter nur für die, in dieser Anleitung beschriebenen Experimente verwenden!**

- A** Anzeigefeld (4-stellig, 7 Segmente, Ziffernhöhe 16 mm)
  - B** Funktions- und Messbereichswahlschalter
- In der Stellung: OFF ist das Gerät ausgeschaltet. Bei Nichtgebrauch in diese Position zur Batterieschonung schalten.

Vor dem Umschalten der Messbereiche Messkabel herausziehen!  
Bei offenem Messeingang bzw. bei Berühren des Messeingangs mit der Hand kann es zu undefinierten Anzeigen kommen. Dies ist keine Betriebsstörung, sondern eine Reaktion des empfindlichen Messeingangs auf vorhandene Störspannungen.

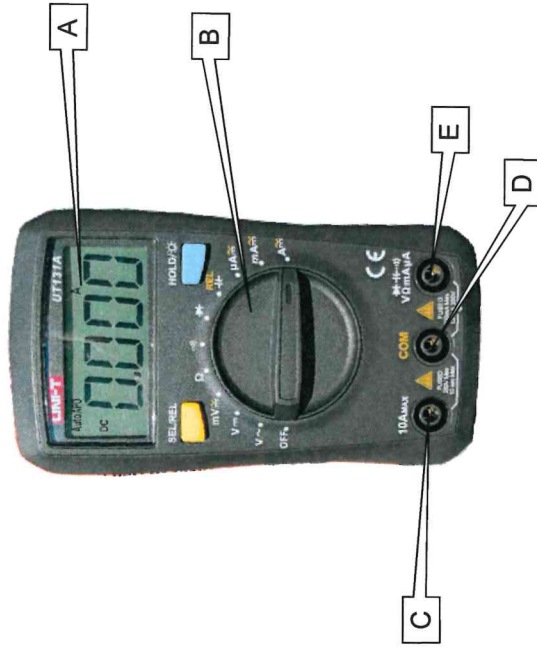
Gewünschten Messbereich wählen:

Es werden die Schalterstellungen/Messbereiche beschrieben, die bei den Experimenten verwendet werden.


Das Messgerät verfügt über eine Auto Power-off Funktion.

Zur Batterieschonung schaltet sich das Gerät 15 Minuten nach der letzten Bedienung ab. Durch drücken einer beliebigen Taste können Sie es wieder einschalten.

<b>V <math>\overline{=}</math> (DC)</b>	Gleichspannungsmessung automatische Messbereichswahl	Anschlussbuchsen <b>D</b> und <b>E</b> bis 2,000 Volt, Auflösung 1 mV ( $\pm 0,5\%$ +2 Digit) über 2,000 V, Auflösung 10 mV ( $\pm 0,7\%$ +3 Digit)
<b>A <math>\overline{=}</math> (DC)</b>	Gleichstrommessung automatische Messbereichswahl	Anschlussbuchsen <b>D</b> und <b>C</b> bis 2,000 Ampere, Auflösung 1 mA ( $\pm 1,2\%$ +5 Digit) über 2,000 A, Auflösung 10 mA ( $\pm 1,2\%$ +5 Digit) Sicherung 10 A flink
<b>C</b>	2 mm Anschlussbuchse +	10 A max.
<b>D</b>	2 mm Anschlussbuchse -	COM (Masse) für alle Messbereiche
<b>E</b>	2 mm Anschlussbuchse +	V $\Omega$ mA $\mu$ A



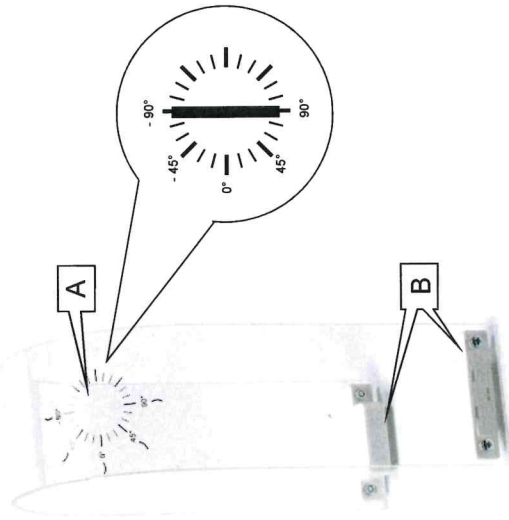
### Batteriewechsel

Bei erschöpfter Batterie erscheint in Display ein Batteriesymbol   
Messkabelanschlüsse trennen, Gerät ausschalten (Pos. OFF)  
Lösen der rückseitigen Befestigungsschraube des Batteriefachs dann Batteriefachdeckel vorsichtig abheben.  
Entfernen Sie die Batterien aus dem Batteriefach.  
Nur auslaufsichere Batterien 2 x LR3 (1,5V) AAA verwenden und polrichtig in das Batteriefach einlegen.  
Gehäuse in umgekehrter Reihenfolge wieder zusammenbauen.

### Sicherungswechsel

Messkabelanschlüsse trennen, und Gerät ausschalten (Pos. OFF)  
Lösen der rückseitigen Befestigungsschrauben dann Gehäuseunterschale vorsichtig abheben und defekte Sicherung ersetzen.  
Ausschließlich Sicherungen folgendes Typs verwenden:  
F1: 200 mA 250 V flink (F) Form 5 x 20 mm  
F2: 10 A 250 V flink (F) Form 5 x 20 mm  
Gehäuse in umgekehrter Reihenfolge wieder zusammenbauen.

## Vorstellung der einzelnen Komponenten



### Schutzhaube 9

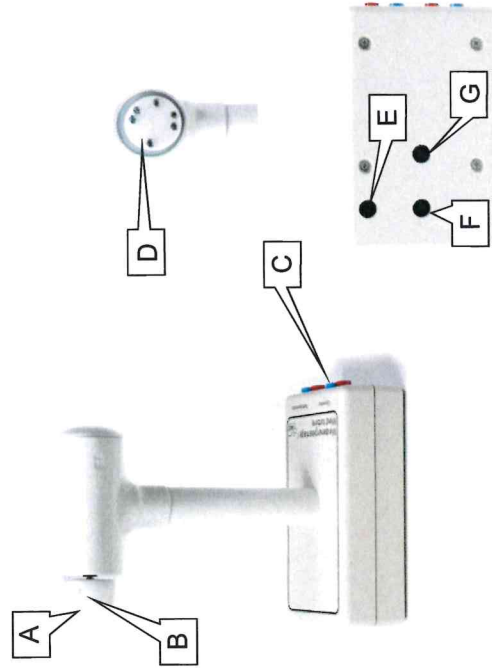
Zum Schutz vor den sich bewegenden Flügeln und zum Schutz vor Flügeln, die sich bei evtl. unsachgemäßer Arretierung mit hoher Geschwindigkeit von der Nabe lösen können.

Zusätzlich dient die Schutzhaube als Hilfe zur Einstellung der Anstellwinkel der Flügel.

Die Schutzhaube wird mit den unteren Enden in die Schlitze C der Grundplatte 1 eingesetzt und durch die Magneten B gehalten. Die Skala A befindet sich Richtung Ablage E der Grundplatte 1.

Gegebenenfalls bei eingesetztem geraden Flügel in der Stellung 90° die Schutzhaube längs der Schlitze C in der Grundplatte 1 verschieben, bis sich die 90°-Markierung mit dem Flügel deckt (Einsetzen der Flügel siehe Seite 5).

- A Gradskala zur Einstellung der Anstellwinkel der Flügel
- B Haltemagneten



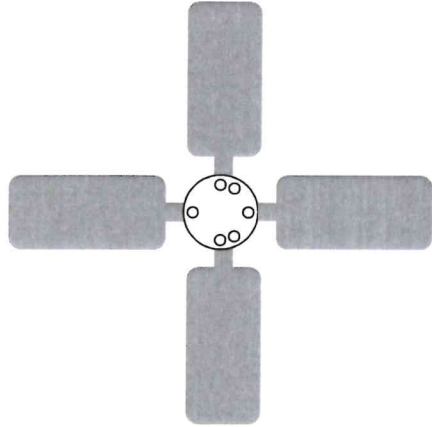
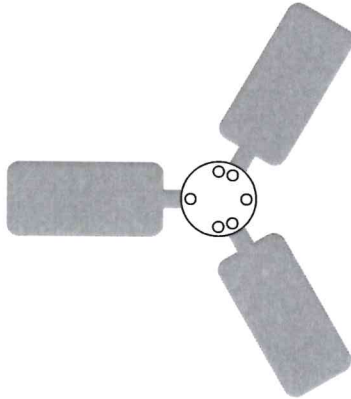
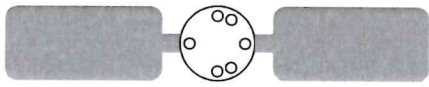
### Windenergieanlage axial 10

Die Windenergieanlage axial besteht aus einem Gleichstromgenerator, auf dessen Welle eine Nabe zur Aufnahme der Flügel angebracht ist, und einem Tachogenerator zur Bestimmung der Drehzahl. Die Nabe ist für die Aufnahme von zwei, drei und vier Flügeln geeignet.

- A Flügelnahe
- B Aufnahmebohrungen für Flügel
- C Anschlussbuchsen Generator und Tachogenerator
- D Stiftschraube
- E - G Bohrungen auf der Unterseite der Windenergieanlage zum Aufsetzen auf die Positionierstifte B der Grundplatte 1



**ACHTUNG:**  
Nicht in die Flügel greifen oder Gegenstände dort einführen.  
Insbesondere auf Haare achten!



## Windenergieanlage axial ⑩

Montage der Flügel

### Achtung! Feinmechanisches Gerät - bitte vorsichtig arbeiten!

Flügel gerade oder gewölbt in vorgegebener Anordnung nacheinander in die äußeren Bohrungen **B** der Flügelnabe **A** bis zum Anschlag einstecken und mittels Gradskala **A** der Schutzhaube **9** in gewünschtem Winkel ausrichten.

Mit dem Innensechskantschraubendreher **12** die Stiftschrauben **D** leicht anziehen, so dass sich der Flügel nicht von allein verdreht oder gar herausgeschleudert wird.

Bei den gewölbten Flügeln ist darauf zu achten, dass die Wölbung mit den Symbolen auf der Skala übereinstimmt (gleichsinnig), es sei denn, es ist im entsprechenden Experiment, ausdrücklich der andere Fall (gegenseinig) gewünscht.

Aufbau auf der Grundplatte **1**

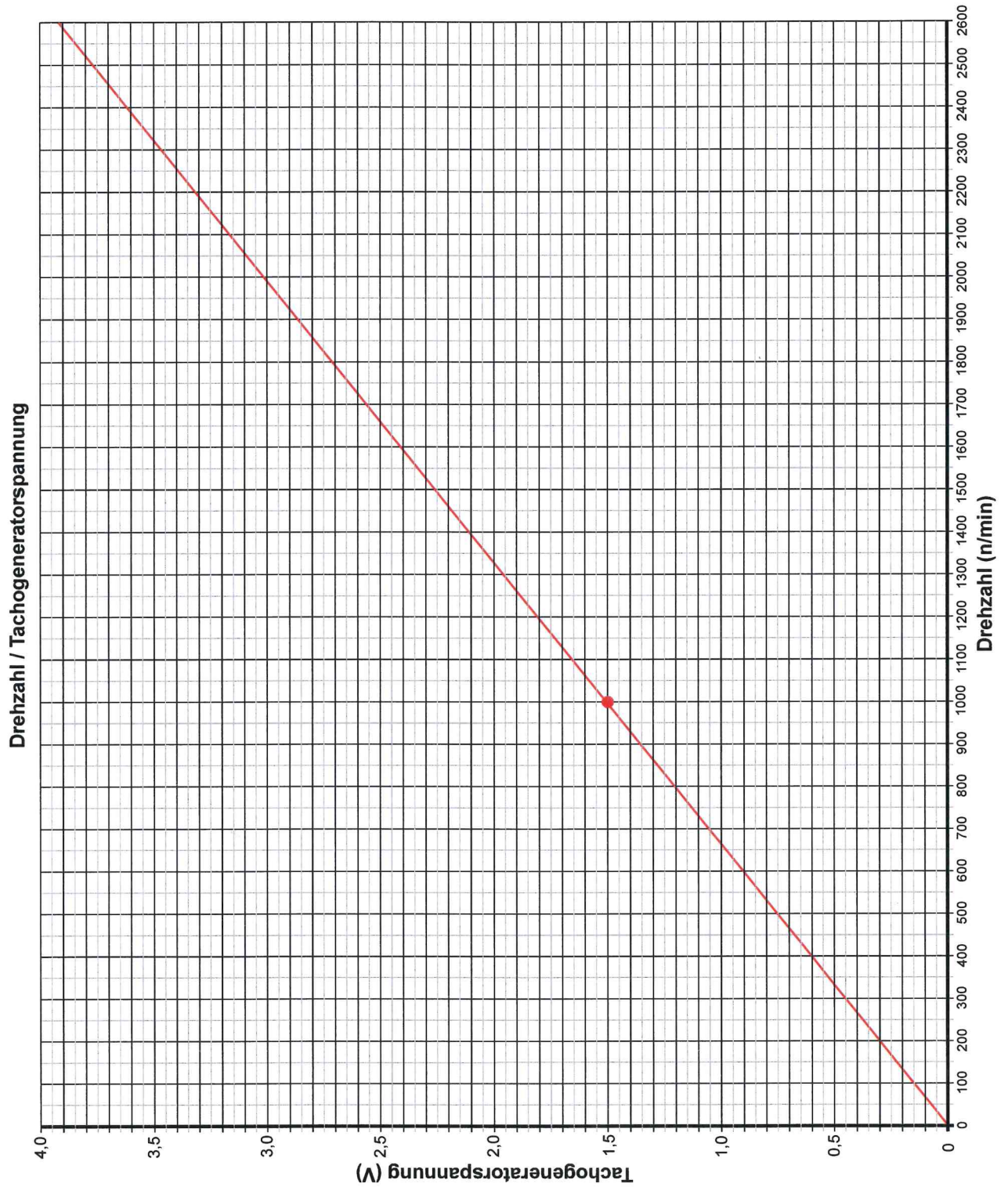
- a) zum Betrieb als Auftriebsläufer ist die Windenergieanlage so auszurichten, dass die Nabe **A** der Windenergieanlage **10** Richtung Gebläseeinheit **6** zeigt.  
Die Positionierstifte **B** der Grundplatte **1** sitzen dabei in den Bohrungen **D** und **E** in dem Fuß der Windenergieanlage **10**. Zur Orientierung beim Aufsetzen dient der Aufdruck Windenergieanlage auf der Grundplatte **1**.  
Zum Betrieb wird die Schutzhaube **9** auf die Grundplatte **1** aufgesetzt und ggf. ausgerichtet.
- b) zum Betrieb als Widerstandsläufer ist die Windenergieanlage so auszurichten, dass die Nabe **A** der Windenergieanlage **10** im Vergleich zu a) um 90° nach rechts gedreht ist.  
Die Positionierstifte der Grundplatte **1** sitzen dabei in den Bohrungen **E** und **F** in dem Fuß der Windenergieanlage **10**. Zur Orientierung beim Aufsetzen dient der Aufdruck Windenergieanlage als Widerstandsläufer auf der Grundplatte **1**.  
Zum Betrieb wird die Windblende **8** zwischen Windmaschine **6** und Windenergieanlage **10** in den Positionierungsschlitz **D** der Grundplatte **1** gestellt.

Technische Daten:

Nennspannung:	9 V
Anschlusswiderstand:	6 Ohm
Generatorspannungskonstante:	1,4 mV / min <sup>-1</sup>
Stromkonstante:	75 mA / mNm
max Wirkungsgrad:	84%
Tachogeneratorspannung:	1,5 V / 1000 min <sup>-1</sup>

Die Drehzahl kann aus der Tachospaltung errechnet oder aus dem nachfolgenden Drehzahl-Tachospaltung-Diagramm ermittelt werden.

## Vorstellung der einzelnen Komponenten





4 x

4 x

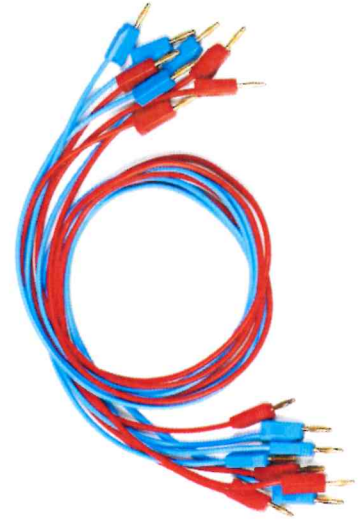
**Flügel 11**

4 Stück gerade, 4 Stück gewölbt. Zum Einbau in die Nabe A der Windenergieanlage 10.



**Schraubendreher 12**

Sechskant-Kugelpf-Dreher 2mm, zum Drehen der Stiftschrauben C in der Nabe A der Windenergieanlage 10 und der Stiftschraube B im Savonius-Rotor 18.



**Messkabel 13**

4 Stück rot, 4 Stück blau, hochflexible Verbindungsleitungen mit 2 mm Steckern und Abgriffbuchsen. Kontaktflächen vergoldet.



**Maximal zulässige Betriebsspannung 25 V Wechselstrom, 60 V Gleichstrom!**  
**Maximal zulässiger Strom 10A**  
 Die Messkabel nur für Messaufgaben in Verbindung mit dem Windtrainer Junior benutzen.

## Vorstellung der einzelnen Komponenten

### Steckernetzteil <sup>14</sup>

Zum Anschluss an den Stromversorgungsanschlussstecker C der Windmaschine <sup>6</sup>. Die Anschlussbuchse A des Netzkabels hat eine Ausparung, die mit einer Nase im Anschlussstecker C der Windmaschine <sup>6</sup> fluchten muss. 100-240V 50-60 Hz



### Speichermodul <sup>15</sup>

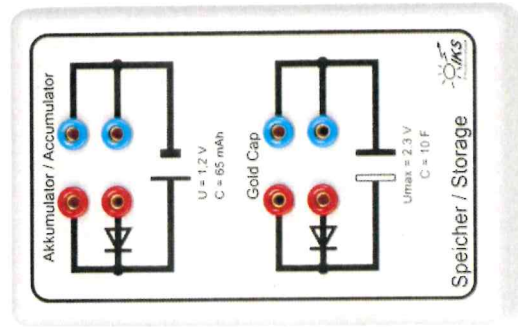
Nickel-Metall-Hybrid-Akkumulator:

Spannung: 1,2 V Gleichstrom  
Energie: 65 mAh  
Ladestrom: max. 6,5 mA / 10 h  
Ladeschlussspannung: ca 1,4 V  
Oberer Anschluss: direkte Verbindung  
Unterer Anschluss: über Sperrdiode, Spannungsabfall ca 0,7 V

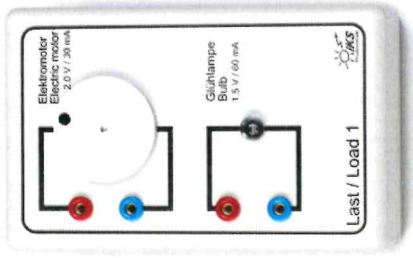
**GoldCap:**

Kondensator mit hoher Speicherefähigkeit:

Kapazität: ca. 10 F  
Ladespannung: max. 2,3 V Gleichstrom  
Oberer Anschluss: direkte Verbindung  
Unterer Anschluss: über Sperrdiode, Spannungsabfall ca 0,7 V







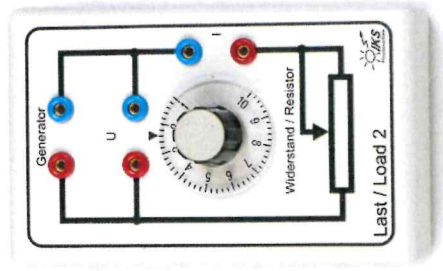
**Last 1** ⑩

Elektromotor:

Betriebsspannung: max. 2,0 V Gleichstrom  
 Leerlaufstrom: ca. 15 mA

Glühlampe:

Betriebsspannung: max. 1,5 V Gleichstrom  
 Stromaufnahme: ca. 70 mA



**Last 2** ⑪

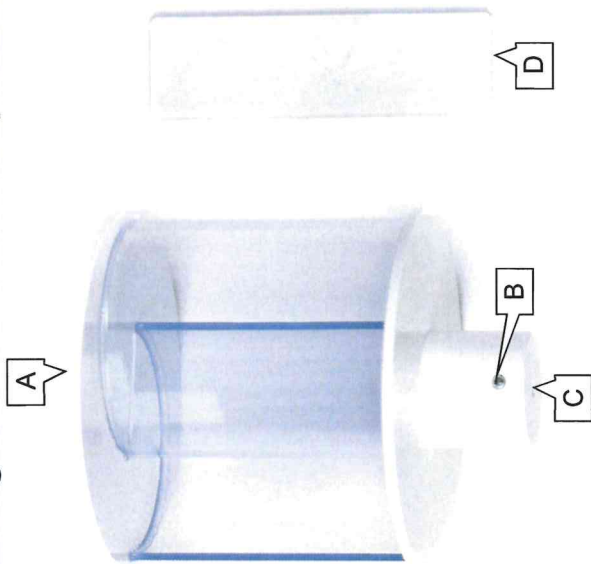
Zur Belastung der Windenergieanlage axial ⑩ und des Savoniusrotor-Generators ⑱ + ⑲ mit dem Lastwiderstand und Messung der Spannung und des Stromes.

Kennwerte Lastwiderstand:

Widerstand: 100 Ω  
 Betriebsspannung: max. 3,5 V  
 Belastbarkeit: max. 2 W  
 Feineinstellung: (10-Gang)

- A Anschluss Windenergieanlage
- B Anschluss Multimeter zur Spannungsmessung
- C Anschluss Multimeter zur Strommessung
- D Drehknopf, Rechtsdrehung erhöht den Widerstand

## Vorstellung der einzelnen Komponenten



### Savonius-Generator 18 mit Einsteckblende

Bei dem Savonius-Generator handelt es sich um eine vertikale Windenergieanlage. Der Rotor wird mit der Bohrung C an der Unterseite auf die Achse A des Savonius-Generator-Unterteils 19 bis zum Anschlag aufgesetzt und die Stiftschraube B mit dem Schraubendreher 12 leicht angezogen.

Um den Effekt des Spaltes zwischen den Halbschalen zu verdeutlichen, lässt sich dieser durch Einsetzen der Sperrplatte verschließen. Dazu wird die Sperrplatte D von oben in den Schlitz A geschoben.

- A Schlitz zum Einführen der Sperrplatte D.
  - B Stiftschraube zur Fixierung des Rotors auf der Achse A des Savonius-Generator-Unterteils 19
  - C Bohrung zur Aufnahme der Achse A des Savonius-Generator-Unterteils 19
  - D Sperrplatte zum Verschließen des Spaltes zwischen den Halbschalen des Rotors. Die Sperrplatte wird in den Schlitz A des Rotors eingeführt.
- Gehäuse empfindlich für Schlagbeanspruchung.

### ACHTUNG:



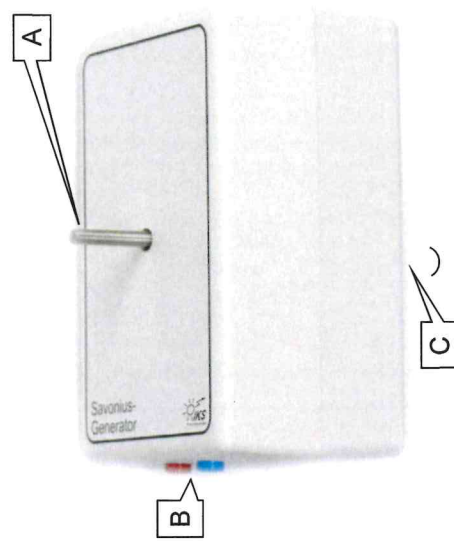
**Nicht in den Rotor greifen oder Gegenstände dort einführen. Insbesondere auf Haare achten!**

### Savonius-Generator-Unterteil 19

In dem Unterteil befindet sich der Generator und ein Getriebe. Da der Savonius-Generator ein Langsamläufer ist, wird mit dem Getriebe eine Drehzahlanpassung erreicht.

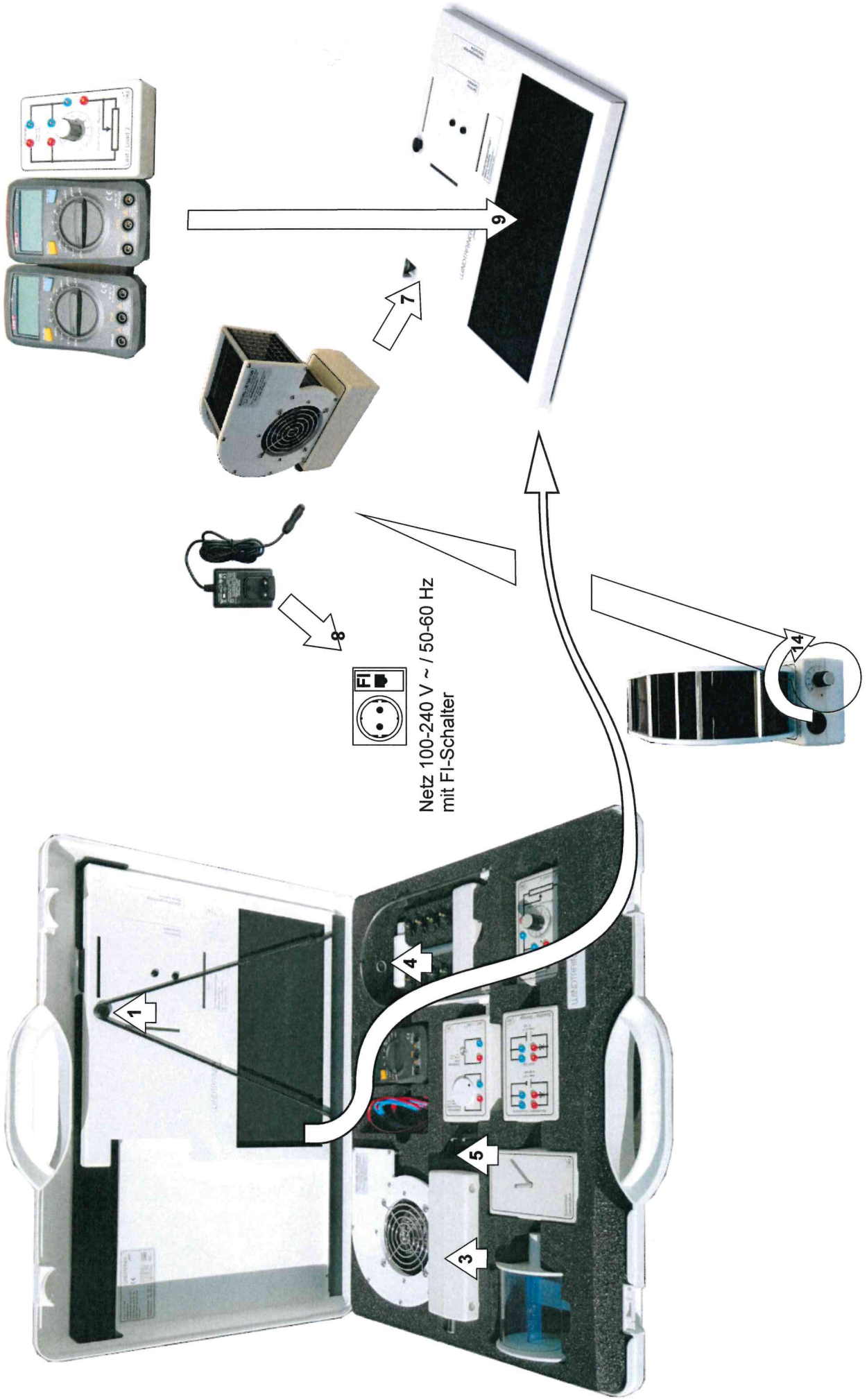
Zum Betrieb wird der Savonius-Generator 18 wie oben beschrieben auf die Achse montiert. Das Unterteil wird mit den Bohrungen C auf der Unterseite des Gehäuses auf die Positionierstifte B der Grundplatte 1 gesetzt. Der Aufdruck: Savonius-Generator auf der Grundplatte 1 erleichtert die Positionierung.

Die Buchsen B zeigen dabei zum rechten Rand der Grundplatte 1.



- A Achse
- B Anschlussbuchsen Generator
- C Bohrung zur Aufnahme der Positionierstifte B der Grundplatte 1

# Aufbau des Systems



## Aufbau

- 1 Gummischnur aushängen und Hefte herausnehmen.
- 2 Grundplatte anheben, herausnehmen und aufstellen. Rechts von der Grundplatte dürfen sich keine Hindernisse befinden, die den Luftstrom behindern könnten.
- 3,4,5 Windmaschine, Windenergieanlage und Steckernetzteil entnehmen.
- 6 DC Kabel so in die Windmaschine stecken, dass die Aussparung der Buchse mit der Nase des Steckers fluchtet.
- 7 Die Windmaschine in die Aussparung der Grundplatte stellen.
- 8 Steckernetzteil an Steckdose mit FI-Schalter anschließen.
- 9 Die in den Anleitungen angegebenen Module und Multi-Meter in der Ablage der Grundplatte anordnen.

### Aufbau

- 10 Flügel entsprechend der Anleitung in die Nabe der Windenergieanlage einstecken und mit dem Schraubendreher die Stiftschrauben leicht anziehen, so dass die Flügel gesichert sind, sich aber noch bewegen lassen.
- 11 Die Windenergieanlage mit den unteren Bohrungen auf die Positionsstifte (**Windenergieanlage**) der Grundplatte stellen.
- 12 Schutzhaube in die Positionierschlitze der Grundplatte einführen, so dass die Magnete anliegen. Flügel auf 90° stellen und Position der Schutzhaube ggf. korrigieren. Flügel auf angegebenen Winkel einstellen, die Stiftschrauben mit dem Schraubendreher vorsichtig anziehen.
- 13 Aufbau nach Anleitung mit Messkabeln verbinden.
- 14 Windmaschine am Drehknopf durch Rechtsdrehung einschalten, Windgeschwindigkeitsregelung von 1-10 Skalenteilen.

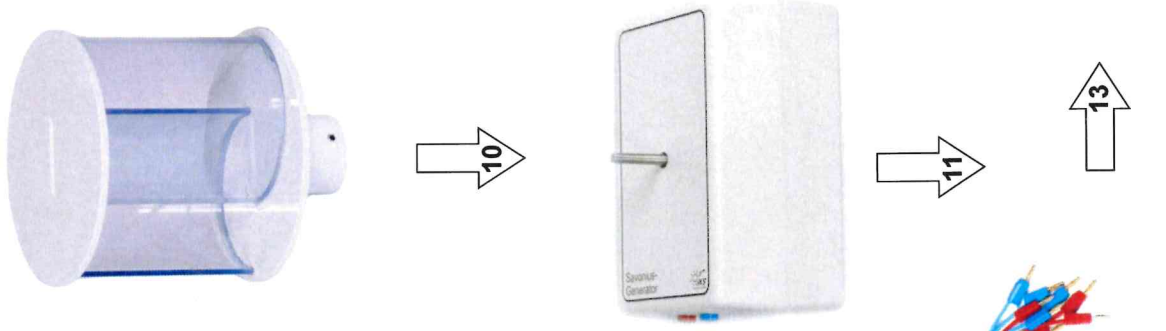


# Aufbau des Systems

Aufbau C



Aufbau D



## Aufbau C

10/C Flügel entsprechend der Anleitung in die Nabe der Windenergieanlage einstecken und mit dem Schraubendreher die Stiftschrauben leicht anziehen, so dass die Flügel gesichert sind, sich aber noch bewegen lassen. Die Windenergieanlage vorübergehend mit den unteren Bohrungen auf die Positionsstifte (**Windenergieanlage**) der Grundplatte stellen. Schutzhaube vorübergehend in die Positionierschlitz der Grundplatte einführen, so dass die Magnete anliegen. Flügel auf 0° stellen. Die Stiftschrauben mit dem Schraubendreher vorsichtig anziehen. Die Schutzhaube wieder entfernen.

11/C Die Windenergieanlage nach Abbildung mit den unteren Bohrungen auf die Positionierstifte der Grundplatte stellen (siehe Aufdruck auf der Grundplatte: Windenergieanlage als Widerstandsläufer).

12/C Windblende in den Positionierschlitz der Grundplatte einführen, so dass der Magnet anliegt.

13 Aufbau nach Anleitung mit Messkabeln verbinden.

14 Windmaschine am Drehknopf durch Rechtsdrehung einschalten, Windgeschwindigkeitsregelung von 1-10.

## Aufbau D

10 D Die Achse des Unterbaues bis zum Anschlag in die Bohrung an der Unterseite des Rotors einschieben. Die Stiftschraube mit dem Schraubendreher vorsichtig anziehen.

11 D Den Savonius-Generator nach Abbildung mit den unteren Bohrungen auf die Positionierstifte der Grundplatte stellen (siehe Aufdruck auf der Grundplatte: Savonius-Generator).

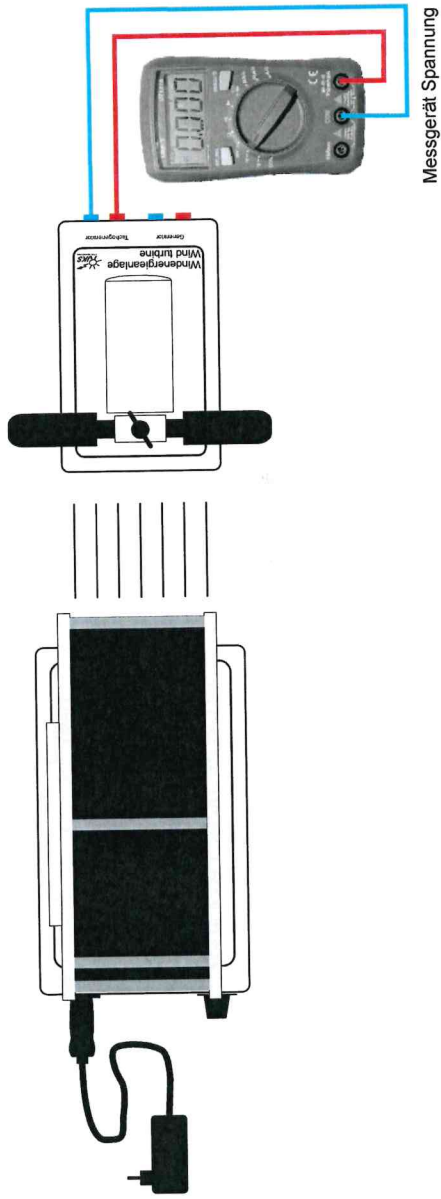
13 Aufbau nach Anleitung mit Messkabeln verbinden.

14 Windmaschine am Drehknopf durch Rechtsdrehung einschalten, Windgeschwindigkeitsregelung von 1-10.

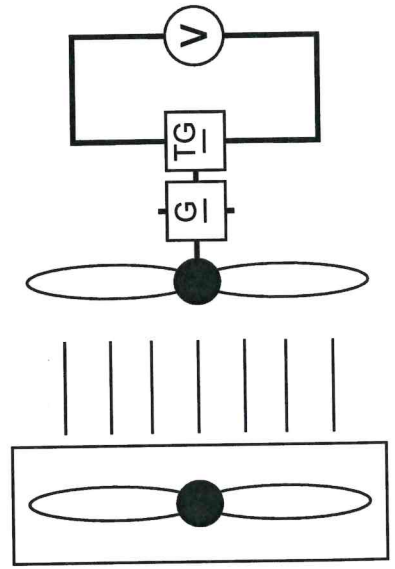
# Experiment 1

## Messung der Windgeschwindigkeit der Windmaschine in Abhängigkeit von der Potentiometerstellung

### Aufbau



### Schaltplan



### Information

Die Einteilung am Einstellknopf der Drehzahlsteuerung der Windmaschine ist willkürlich und wird in Skalenteilen (Skt) angegeben.

Als Voraussetzung für die folgenden Experimente soll in diesem Versuch der Zusammenhang zwischen Skaleneinteilung und Windgeschwindigkeit mittels des Tachogenerators ermittelt werden.

### Aufgabe

Bauen Sie das Experiment entsprechend der oben gezeigten Darstellung auf. Bitte die Einstellungen möglichst exakt vornehmen! Dies ist wichtig für exakte Messergebnisse.

Zur Messung der Windgeschwindigkeit wird der Tachogenerator der Windenergieanlage verwendet.

Der Bereichswahlschalter des Multimeters Spannung ist auf die Position **V  $\overline{\text{---}}$  (DC)** einzustellen.

Führen Sie die Messung in Schritten von ganzen Skalenteilen durch. **Hierbei bitte warten, bis sich die Messwerte eingependelt haben.** Schreiben Sie dann die Messwerte in die Tabelle.

Ermitteln Sie dann die Windgeschwindigkeit mit Hilfe des Windgeschwindigkeit zu Tachogeneratorspannung Diagramms (siehe Seite 3 unten) und tragen die Werte aus dem Diagramm in die Tabelle ein.

Erstellen Sie dann mit den Daten ein Diagramm und legen Sie durch die Messpunkte eine Ausgleichskurve.

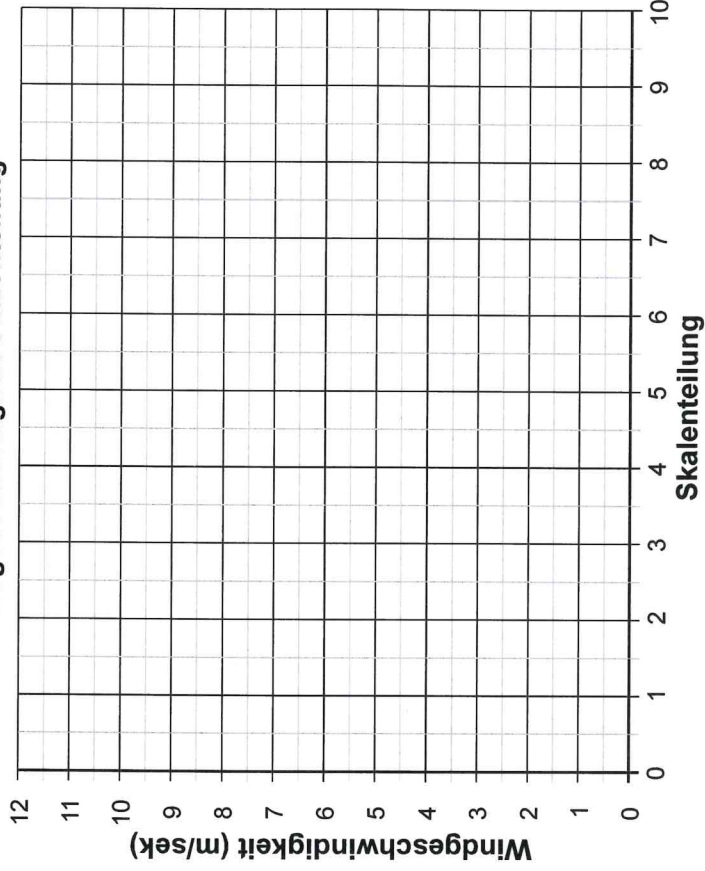
**Benutzen Sie das Diagramm in den folgenden Experimenten zur Ermittlung der Windgeschwindigkeit aus der Skalenteilung des Potentiometers.**

Einstellungen:

Windenergieanlagenprinzip: Auftrieb  
Flügelanzahl: 4  
Flügelform: eben  
Einstellwinkel: 45°  
Skalenteilung: 0 - 10

Skalenteilung	Tachogeneratorspannung (V)	Windgeschwindigkeit (m/sek) aus Tabelle
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

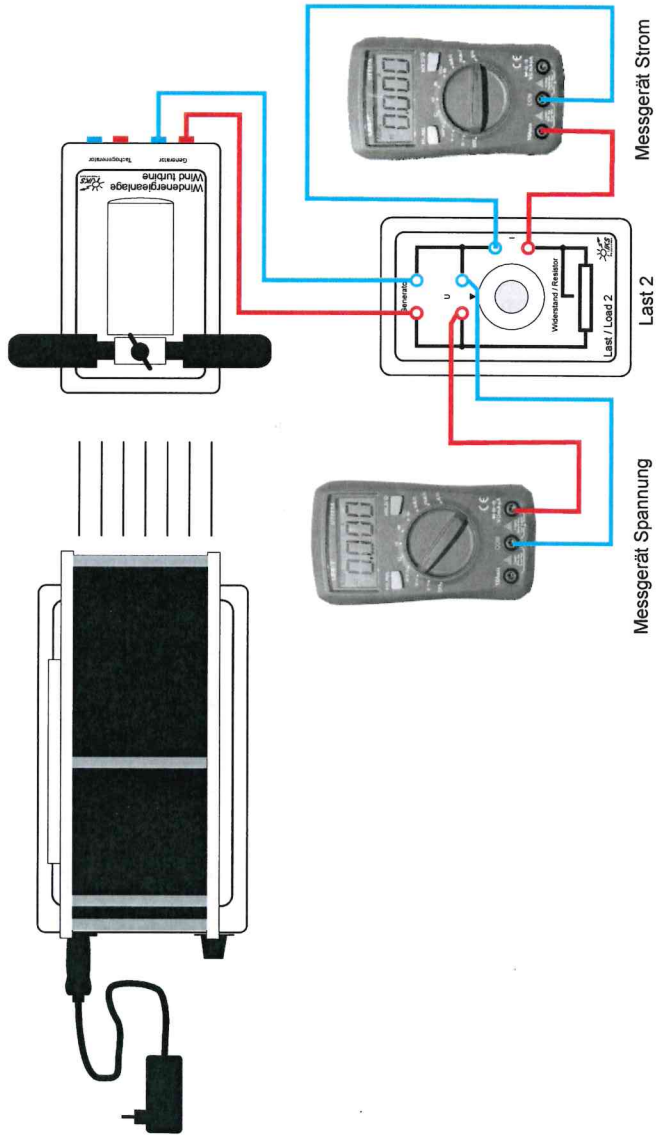
Windgeschwindigkeit/Skalenteilung



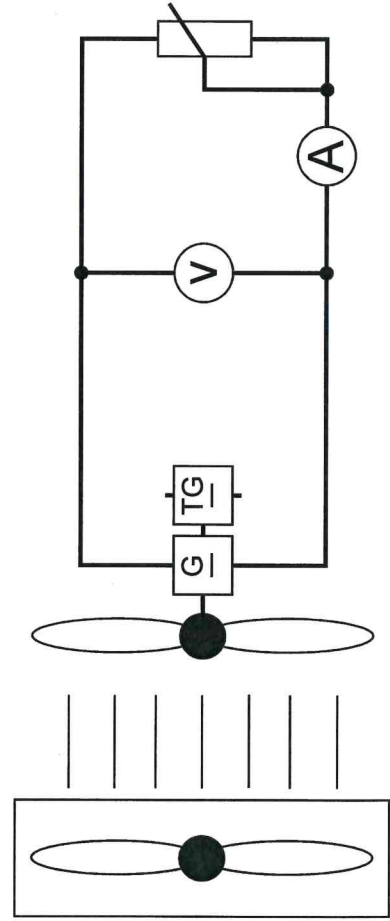
# Messung der Ausgangsleistung einer Windenergieanlage in Abhängigkeit von der Flügelform

## Experiment 2

### Aufbau



### Schaltplan





## Information

Im Laufe der Entwicklung der Windkraftanlagen wurden verschiedene Flügelformen für den Konverter verwendet.

Dieses Experiment dient dazu, den Einfluss der Flügelform auf das Betriebsverhalten zu ermitteln.

## Aufgabe

Bauen Sie das Experiment entsprechend der oben gezeigten Darstellung auf.  
Verwenden Sie einen Auftriebsläufer mit zwei Flügeln.

Der Bereichswahlschalter des Multimeters Spannung ist auf die Position **V** (DC) einzustellen, der des Multimeters Strom auf die Position **A** (DC).  
Für die Belastung wird der Widerstand der **Last 2** (mit dem Multimeter im  $\Omega$  Bereich) auf einen Wert von **50  $\Omega$**  eingestellt.

Es werden insgesamt drei Messungen mit zwei Flügelformen durchgeführt.

Montieren Sie zunächst die ebenen Flügel mit einem Einstellwinkel von **60°**. Stellen Sie am Potentiometer der Windmaschine eine Windgeschwindigkeit von **8 m/s** ein. Benutzen Sie dazu das Diagramm aus **Experiment 2**.

Messen Sie die Spannung und die Stromstärke der Windenergieanlage und berechnen Sie die Leistung.

Führen Sie die gleiche Messung mit den gewölbten Flügeln durch. Die Wölbung soll dabei mit den auf der Winkelrose der Schutzhaube angegebenen Symbolen übereinstimmen (normal).

Zuletzt wird die Messung wiederholt, wobei einer der gewölbten Flügel um **180°** gedreht wird - so, dass die Wölbung entgegengesetzt zu den angegebenen Symbolen ist (gegenseitig).

Alle Messungen werden in einer Tabelle festgehalten. Die Leistung  $P$  errechnet sich aus dem Produkt aus Spannung und Stromstärke.

## Einstellungen:

Windenergieanlagenprinzip: Auftrieb  
Flügelanzahl: 2  
Flügelform: eben / gewölbt  
Einstellwinkel: 60°  
Windgeschwindigkeit: 8 m/s  
Lastwiderstand: 50  $\Omega$

	1. Flügel	2. Flügel	U (V)	I (mA)	P (mW)
ebener Flügel	/	/			
gewölbter Flügel (normal)	)	)			
gewölbter Flügel (gegenseitig)	)	(			

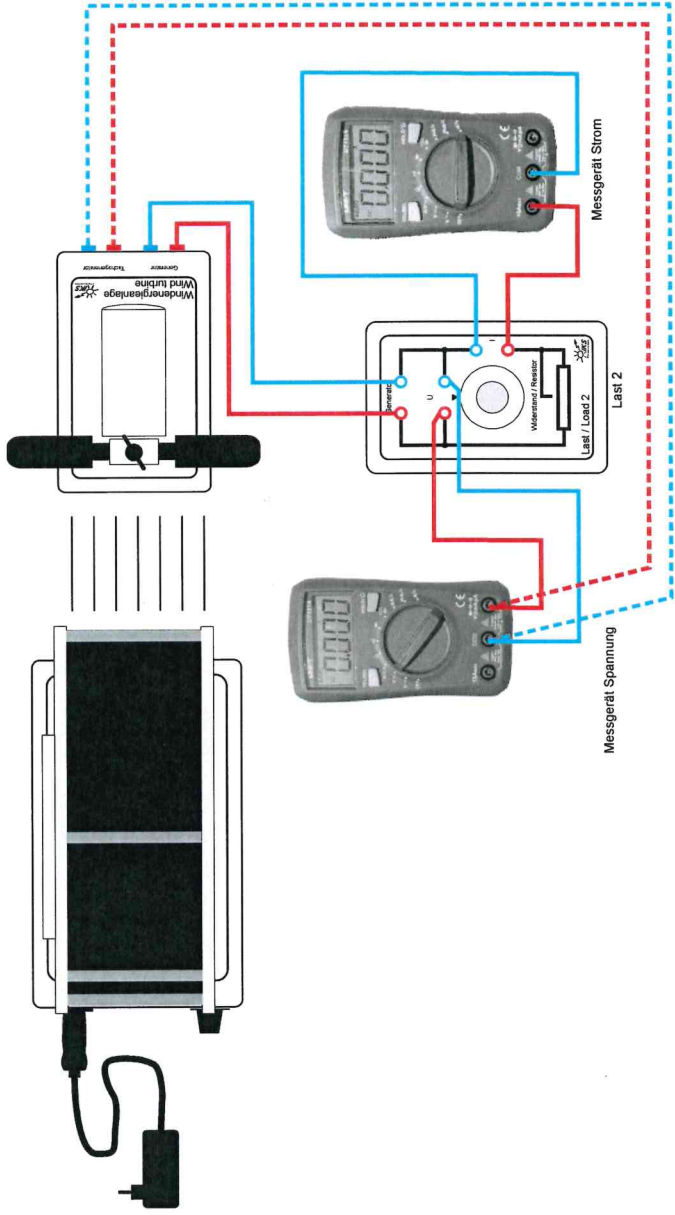
1. Vergleichen Sie die erste und die zweite Messung. Bei welcher Flügelform wird eine höhere Leistung erreicht? Begründung?

.....  
.....  
.....  
.....

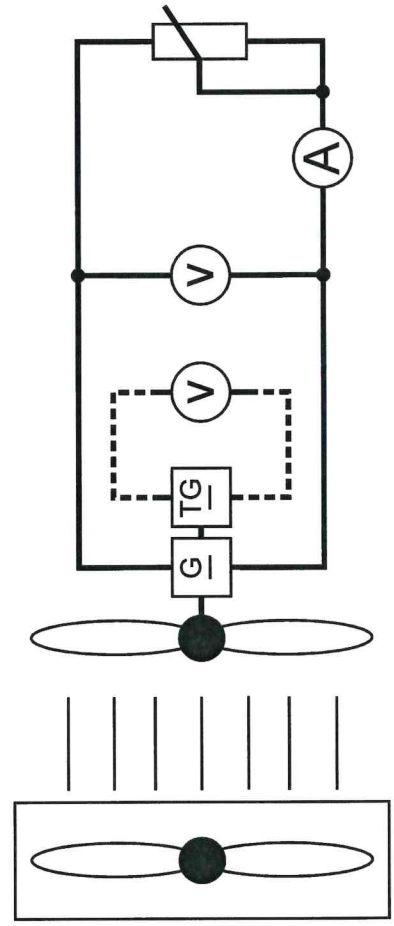
2. Vergleichen Sie die dritte Messung mit den beiden vorangegangenen Messungen. Begründen Sie das Ergebnis.

.....  
.....  
.....  
.....

Aufbau



Schaltplan



## Information

Bei der Beobachtung verschiedener Windenergieanlagen fällt auf, dass sie sich abgesehen von der Größe und Bauart auch durch die Anzahl der verwendeten Flügel unterscheiden. In diesem Experiment soll untersucht werden, ob es eine optimale Flügelanzahl gibt.

## Aufgabe

Für jede Flügelanzahl (zwei, drei und vier) wird eine Messreihe durchgeführt. Achten Sie darauf, dass bei allen Messreihen Windgeschwindigkeit, Flügelform und Einstellwinkel beibehalten werden.

Den Drehknopf vom Verbraucher (**Last 2**) ganz nach links drehen (kleinster Widerstand).

Mit dem Drehknopf den ersten Wert in der Tabelle einstellen und den fehlenden Stromwert eintragen.

Nun den nächsten vorgegebenen Wert einstellen und den fehlenden Wert in die Tabelle eintragen. Fortfahren, bis alle Werte eingetragen sind.

Warten Sie bitte vor dem Eintragen bis sich die Messwerte nicht mehr ändern!

Zur Messung der Tachogeneratorspannung werden die Anschlusskabel des Multimeters Spannung kurzzeitig vom Messmodul in den Tachospannungsausgang der Windenergieanlage gesteckt.

Der Bereichswahlschalter des Multimeters Spannung ist auf die Position **V<sub>DC</sub>** (DC) einzustellen, der des Multimeters Strom auf die Position **A<sub>DC</sub>** (DC).

Berechnen Sie die jeweils abgegebene Leistung. Ermitteln Sie weiterhin die Rotordrehzahlen mit Hilfe des Drehzahl-Tachogeneratorspannungs-Diagramms (siehe Seite 5). Stellen Sie für jede Flügelanzahl die Abhängigkeit der Leistung von der Drehzahl in einem gemeinsamen Diagramm dar. Zeichnen Sie die drei Ausgleichskurven ein.

Einstellungen:

Windenergieanlagenprinzip: Auftrieb  
 Flügelanzahl: 2 / 3 / 4  
 Flügelform: gewölbt  
 Einstellwinkel: 75°  
 Windgeschwindigkeit: 6 m/s  
 Lastwiderstand: angepasst eingestellt

### 2 Flügel

U (V)	I (mA)	P (mW) 2 Flügel	U Tachog. (V)	Drehz. (n/min)
0,01				
0,31				
0,93				
	54			
	46			
	28			
	18			

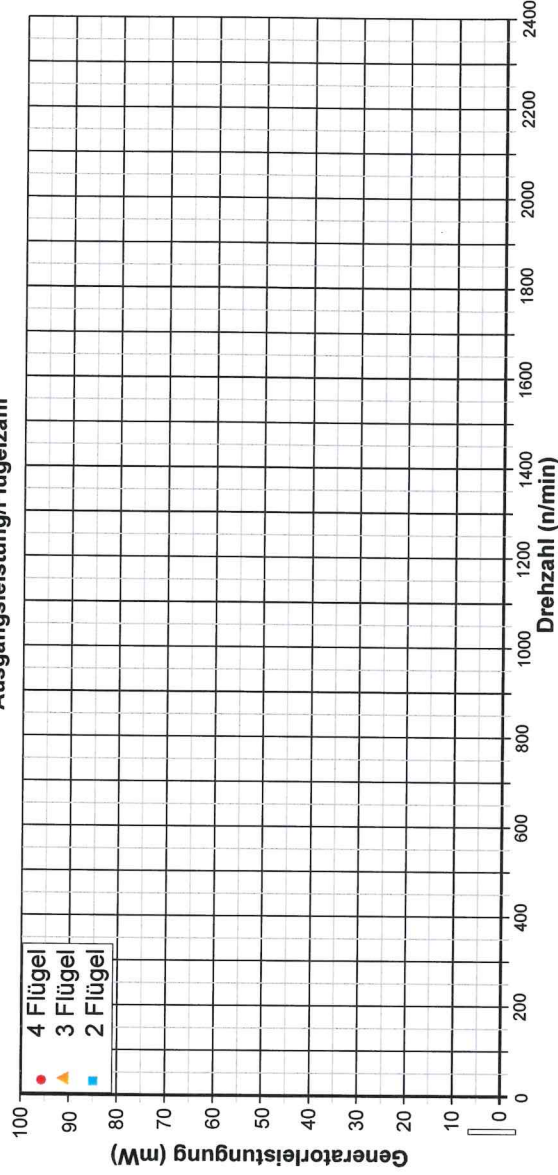
### 3 Flügel

U (V)	I (mA)	P (mW) 3 Flügel	U Tachog. (V)	Drehz. (n/min)
0,13				
0,88				
1,10				
	50			
	44			
	25			
	16			

### 4 Flügel

U (V)	I (mA)	P (mW) 4 Flügel	U Tachog. (V)	Drehz. (n/min)
0,02				
0,67				
0,98				
	72			
	44			
	25			
	15			

Ausgangsleistung/Flügelzahl



weiter auf nächster Seite →

## Experiment 3

### Messung der Ausgangsleistung einer Windenergieanlage in Abhängigkeit von der Flügelanzahl

1. Ermitteln Sie für 3 und 4 Flügel, bei welcher Drehzahl die höchste Leistung erreicht wird:

Flügelanzahl	Drehzahl für $P_{\max}$ in (n/min)	$P_{\max}$ in (mW)
2		
4		

2. Welchen Zusammenhang zwischen Flügelanzahl (2 und 4) und optimaler Drehzahl kann man daraus ableiten?

.....

.....

3. Geben Sie an, bei welcher Flügelanzahl die größte Ausgangsleistung gemessen wurde: .....

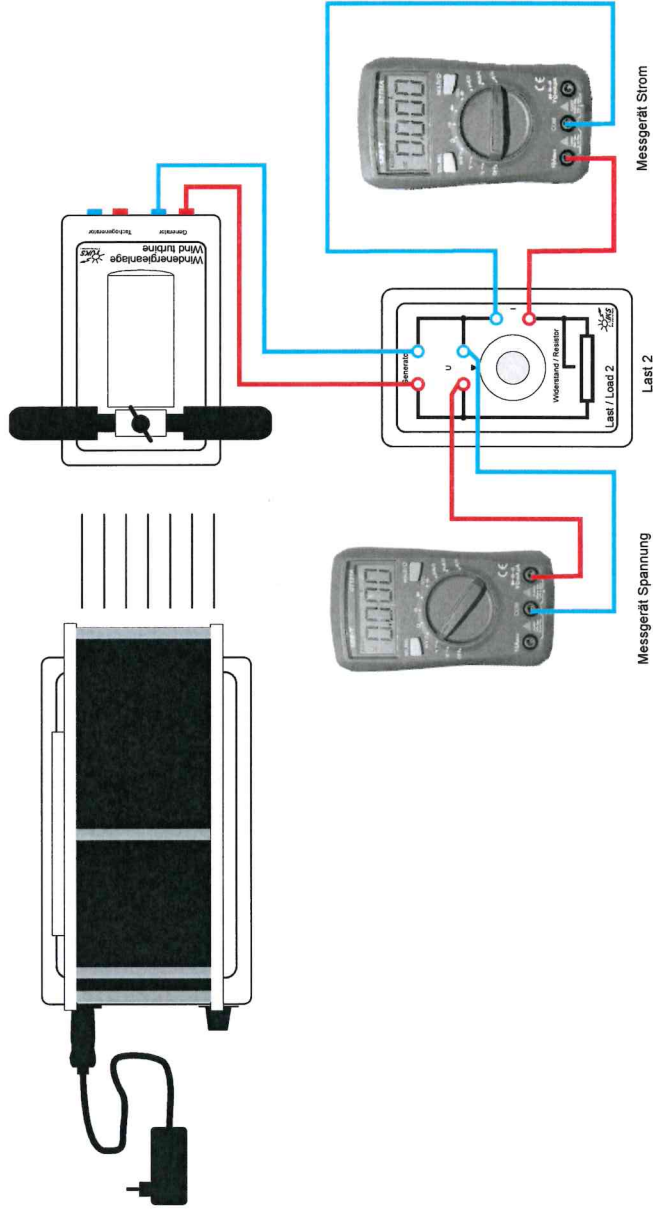
4. Erklären Sie das Zustandekommen der Ergebnisse der Aufgaben 2 und 3:

.....

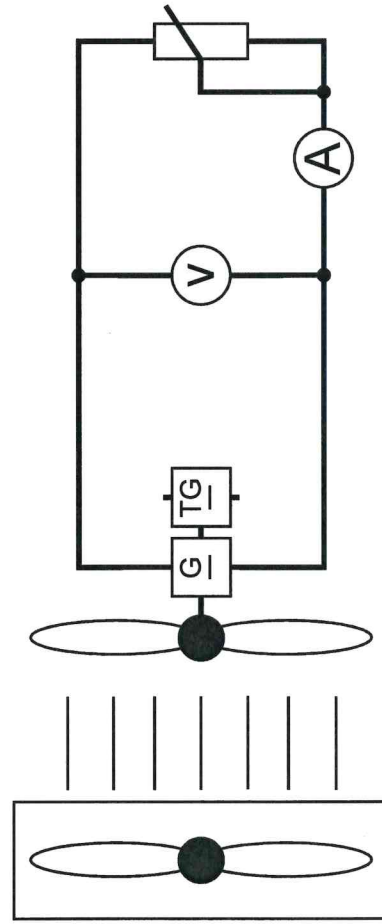
.....

.....

Aufbau



Schaltplan



### Information

Eine Windenergieanlage sollte möglichst immer mit bestem Wirkungsgrad arbeiten, d.h. die maximal mögliche mechanische Leistung aus dem Wind entnehmen und in elektrische Leistung umwandeln.

Die Leistung hängt von verschiedenen Faktoren ab. Auf die Faktoren: Windgeschwindigkeit und Belastung durch den Verbraucher hat die Windenergieanlage keinen Einfluss. Moderne Windenergieanlagen sind jedoch in der Lage, die Flügelstellung zu variieren, um die Ausgangsleistung zu optimieren.

Die Abhängigkeit der Ausgangsleistung von der Flügelstellung soll in diesem Experiment untersucht werden.

### Aufgabe

Bauen Sie den Versuch entsprechend der obigen Darstellung auf.

Für die Belastung wird der Widerstand der **Last 2** (mit dem Multimeter im  $\Omega$  Bereich) auf einen Wert von **50  $\Omega$**  eingestellt.

Messen Sie die Stromstärke und die Spannung bei unterschiedlichen Einstellwinkeln für zwei verschiedene Windgeschwindigkeiten.

Der Bereichswahlschalter des Multimeters Spannung ist auf die Position **V** (**DC**) einzustellen, der des Multimeters Strom auf die Position **A** (**DC**).

Stellen Sie die Abhängigkeit der Ausgangsleistung vom Einstellwinkel für beide Windgeschwindigkeiten in einem gemeinsamen Diagramm dar.

Einstellungen:

Windenergieanlagenprinzip: **Auftrieb**

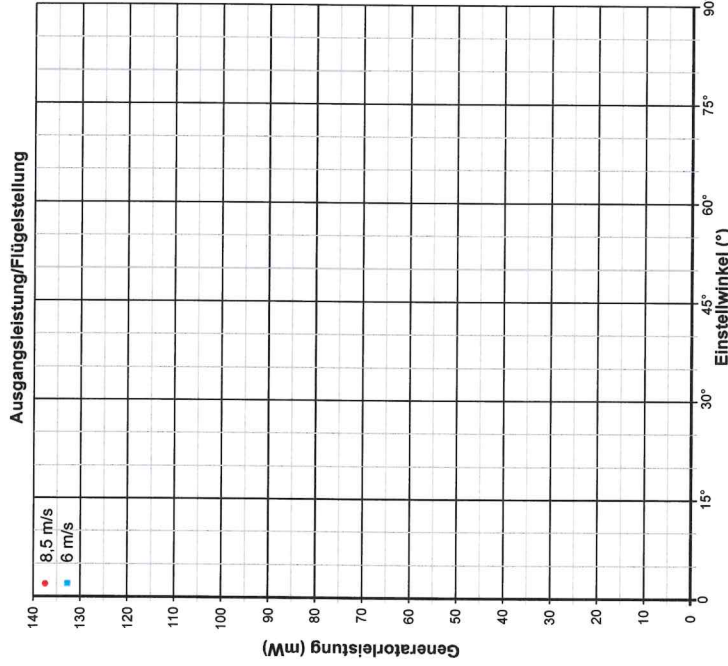
Flügelanzahl: **3**  
eben

Flügelform: **0-90° in 15°-Schritten**

Windgeschwindigkeit: **6 m/s und 8,5 m/s**

Lastwiderstand: **50  $\Omega$**

Einstellwinkel	Windgeschwindigkeit (m/sek)					
	6 m/sek		8,5 m/sek			
	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)
0°						
15°						
30°						
45°						
60°						
75°						
90°						



- Wie groß ist jeweils der optimale Einstellwinkel bei der Windgeschwindigkeit **6 m/s**: .....  
Windgeschwindigkeit **8,5 m/s**: .....
- Welcher Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Einstellwinkel vermuten Sie? .....

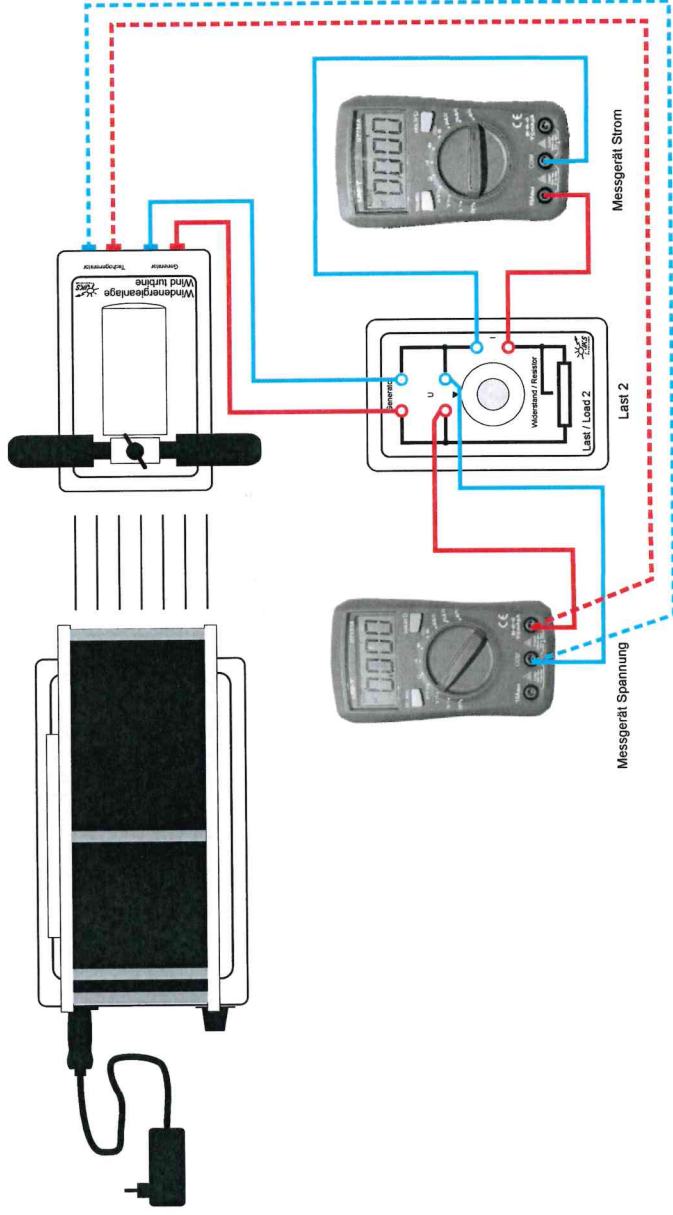
- Überlegen Sie, ob eine Windkraftanlage mit fester Rotorblattstellung optimal arbeiten kann. Begründung? .....

- Schlussfolgern Sie, welche technischen Anforderungen deshalb an moderne Windkraftanlagen gestellt werden. ....

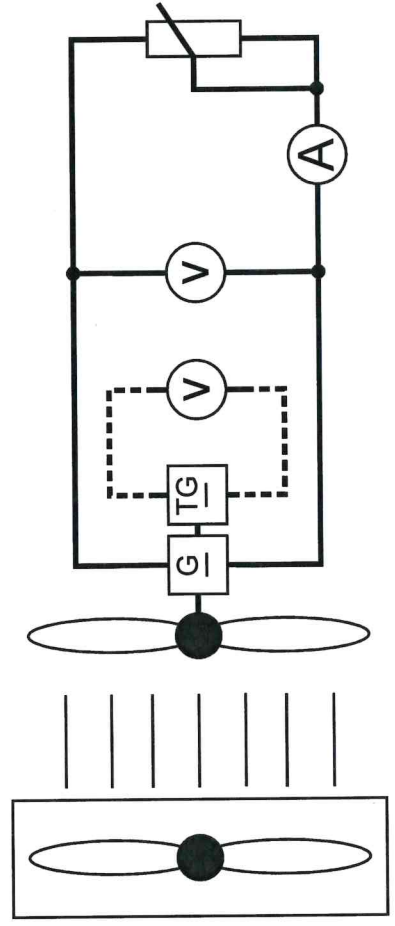
# Experiment 5

## Messung der Strom-Spannungs-Kennlinie einer Windenergieanlage bei konstanter Drehzahl

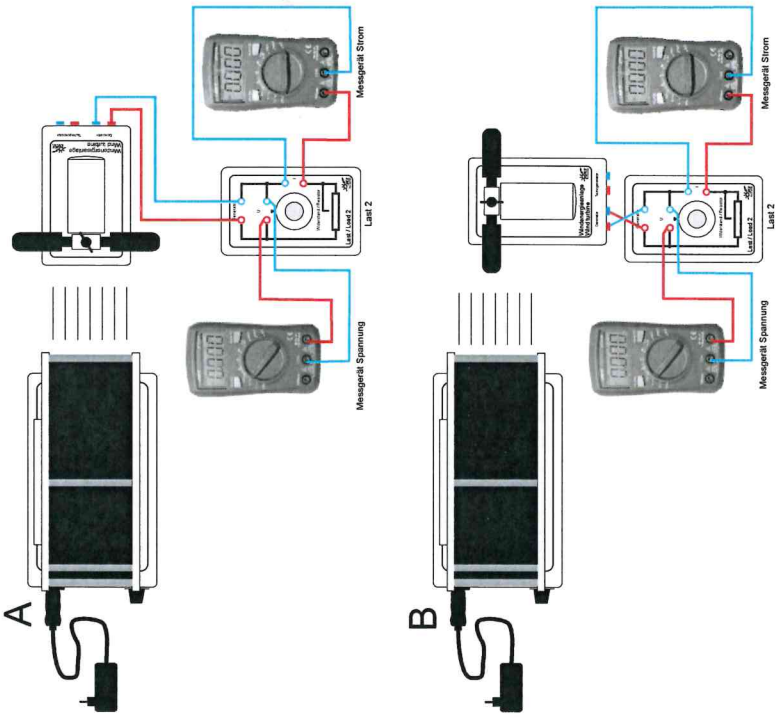
### Aufbau



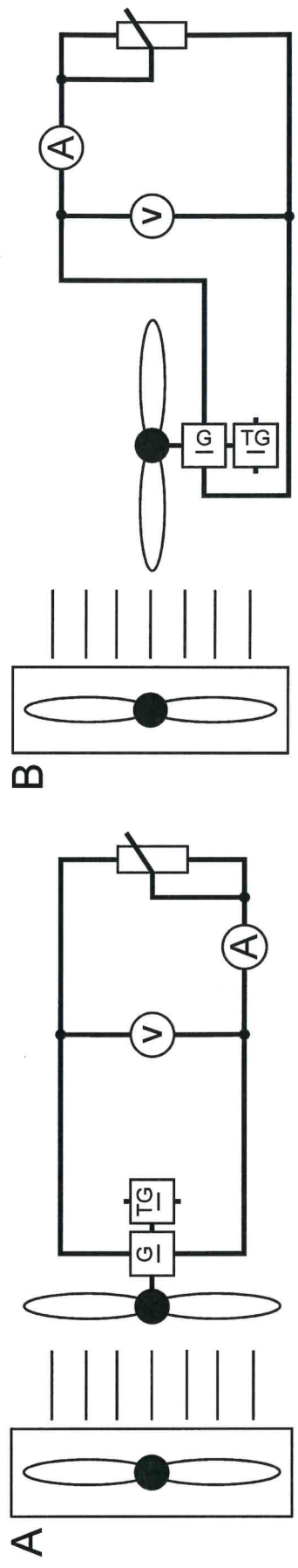
### Schaltplan



Aufbau



Schaltplan





### Information

Um das Verhalten einer Windenergieanlage als Spannungsquelle zu verstehen, ist es notwendig, die Betriebskennlinie der Quelle zu ermitteln und mit den Kennlinien anderer Spannungsquellen zu vergleichen.

Die hier gemessene Kennlinie ist die des Gleichstromgenerators in der Windenergieanlage, die für eine bestimmte Drehzahl des Generators ermittelt wird.

### Aufgabe

Bauen Sie das Experiment entsprechend der oben gezeigten Darstellung auf. Es werden jeweils die Spannung und die Stromstärke bei verschiedenen Belastungen gemessen. Der Bereichsschalter des Voltmeters ist auf die Position  $V \overline{\overline{=}} (DC)$  einzustellen, der des Amperemeters auf die Position  $A \overline{\overline{=}} (DC)$ . Für die Drehzahlmessung werden die Anschlusskabel des Voltmeters von der **Last 2** in den Ausgang des Tachogenerators umgesteckt. Die Drehzahl ergibt sich mit Verwendung des Drehzahl-Tachogeneratorspannung-Diagramms (siehe S. 5).

Die Drehzahl ist für jede Belastung konstant zu halten. Den Drehknopf vom Verbraucher (**Last 2**) ganz nach links drehen (kleinster Widerstand). Mit Hilfe der Windmaschine wird nun die gewünschte Drehzahl von  $1000 \text{ min}^{-1}$  eingestellt (Tachogeneratorspannung  $1,5 \text{ V}$  entspricht  $1000 \text{ min}^{-1}$ ).

Mit dem Drehknopf den ersten vorgegebenen Wert in der Tabelle einstellen und den fehlenden Stromwert eintragen. Nun den nächsten vorgegebenen Wert einstellen. Dies hat eine Änderung der Drehzahl zur Folge.

Durch Verminderung der Windgeschwindigkeit wird die Drehzahl wieder auf den vorgegebenen Wert gebracht und danach den fehlenden Wert in die Tabelle eintragen. Fortfahren, bis alle Werte eingetragen sind.

Für die Einstellung Leerlauf entfernen Sie bitte das Pluskabel des Amperemeters von der **Last 2**.

Einstellungen:

Windenergieanlagenprinzip: Auftrieb

Flügelzahl: 4

Flügelform: gewölbt

Einstellwinkel:  $60^\circ$

Windgeschwindigkeit: angepasst geregelt

Lastwiderstand: angepasst eingestellt

Tachogeneratorspannung:  $1,5 \text{ V}$  entspricht  $1000 \text{ min}^{-1}$

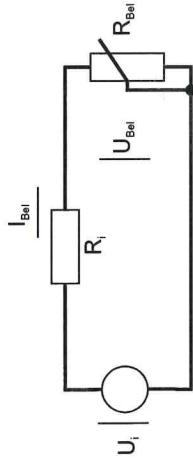
U (V)	I (mA)	P (mW)
0,04		
0,49		
0,64	35	
	20	
	13	
	0	
Leerlauf		

1. Tragen Sie die bei den verschiedenen Belastungen gemessenen Spannungen und Stromstärken in die Messtabelle ein. Berechnen Sie die abgegebene Leistung.

2. Stellen Sie die Messwertpaare in einem U/I Diagramm dar. Zeichnen Sie den vermuteten Verlauf der Kennlinie ein.

3. Zeichnen Sie in das gleiche Diagramm den Leistungsverlauf in Abhängigkeit von der Spannung ein. Kennzeichnen Sie auf der Kennlinie den Punkt der größten Leistungsabgabe.

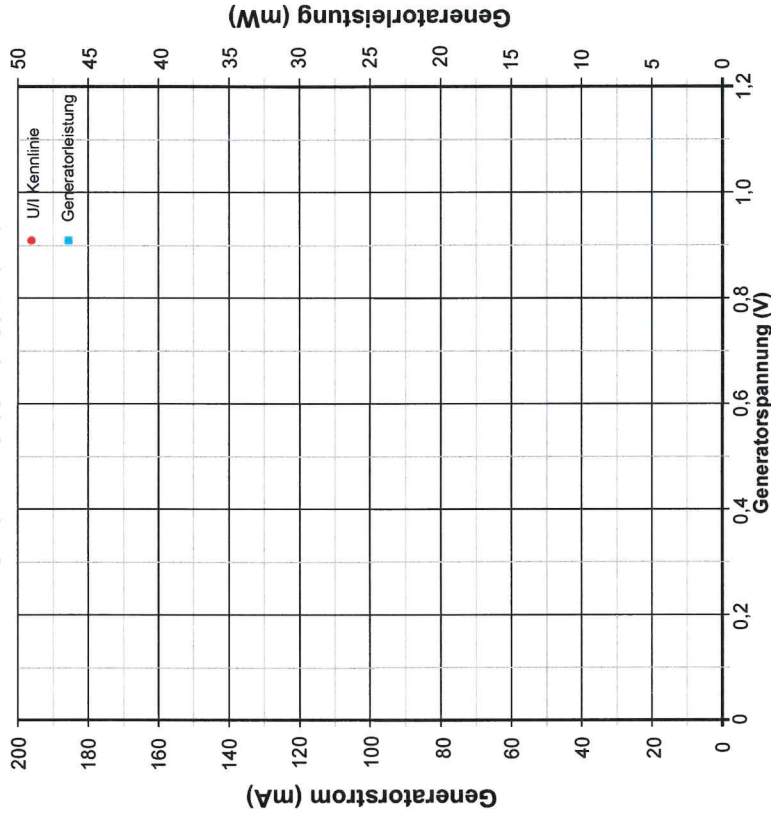
4. Wie sieht das vereinfachte Ersatzschaltbild eines Gleichstromgenerators aus?



5. Die maximale Leistungsabgabe erfolgt, wenn der Belastungswiderstand die gleiche Größe wie der Innenwiderstand des Generators besitzt. Wie groß ist der Innenwiderstand des verwendeten Gleichstromgenerators?

$$R_i = \text{---} = \Omega$$

I/U Kennlinie bei konst. Drehzahl



## Information

Im Experiment 6 wurde die Kennlinie des Gleichstromgenerators ermittelt, wobei die Drehzahl konstant zu halten war. Im normalen Betrieb hat die Belastung einer Windenergieanlage jedoch auch Einfluss auf die Drehzahl des Rotors. Welche Auswirkungen sich daraus auf das Betriebsverhalten ergeben, soll mit diesem Experiment untersucht werden. Es werden der Auftriebs- und der Widerstandsläufer untersucht.

## Aufgabe

Bauen Sie das Experiment entsprechend der oben gezeigten Darstellung auf.

**A:** Die Windenergieanlage wird als Auftriebsläufer betrieben. Der Bereichswahlschalter des Multimeters Spannung ist auf die Position  $V_{DC}$  (DC) einzustellen, der des Multimeters Strom auf die Position  $A_{DC}$  (DC).

Stellen Sie mit der Windmaschine eine Windgeschwindigkeit von 8,5 m/s ein. Diese Windgeschwindigkeit wird während des gesamten Experiments nicht verändert.

Den Drehknopf vom Verbraucher (**Last 2**) ganz nach links drehen (kleinster Widerstand). Mit dem Drehknopf den ersten vorgegebenen Wert der Tabelle einstellen und den fehlenden Stromwert eintragen. Nun den nächsten vorgegebenen Wert einstellen und den fehlenden Wert in die Tabelle eintragen. Fortfahren, bis alle Werte eingetragen sind. Berechnen Sie die abgegebenen Leistungen. Einen zu sätzlichen Messpunkt erhält man für den Leerlauf (Stromstärke gleich Null). Dazu werden die Verbindungsleitungen des Multimeter Strom aus der **Last 2** entfernt.

**B:** Stellen Sie die Flügel auf  $0^\circ$  ein. Dann wird die Schutzhaube entfernt und die Windblende aufgesetzt. Wiederholen Sie sämtliche Messungen nach Anleitung (**A**) mit der zum Widerstandsläufer um  $90^\circ$  nach rechts gedreht, in die Position Widerstandsläufer, umgesetzten Windenergieanlage.

Durch die geänderte Drehrichtung der Windenergieanlage müssen die Anschlusskabel vertauscht werden.

Einstellungen:

Windenergieanlagenprinzip:	Auftriebsläufer	Widerstandsläufer
Flügelzahl:	4	4
Flügelform:	eben	eben
Einstellwinkel:	$45^\circ$	$0^\circ$
Windgeschwindigkeit:	8,5 m/s	8,5 m/s
Lastwiderstand:	angepasst (nach Tabelle)	angepasst (nach Tabelle)

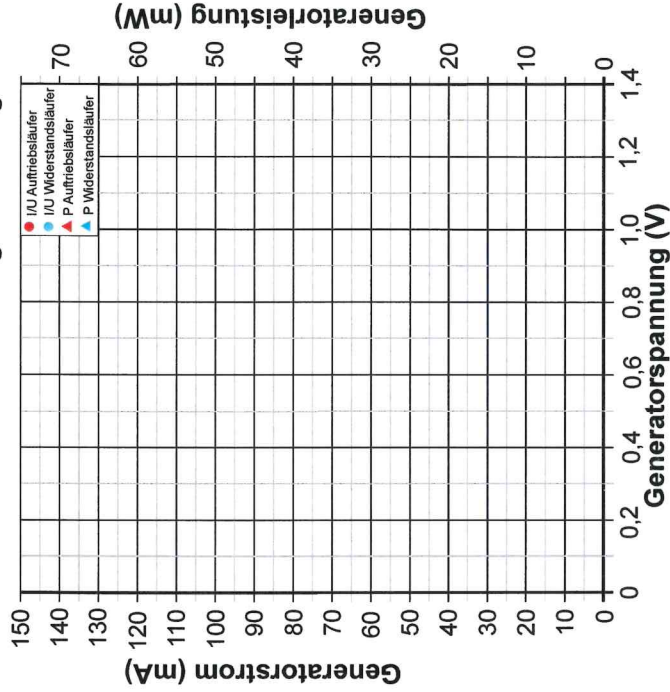
Auftriebsläufer		
U (V)	I (mA)	P (mW)
0,03		
0,72		
0,92		
	25	
	17	
	11	
	0	
Leerlauf		

Widerstandsläufer		
U (V)	I (mA)	P (mW)
0,10		
0,37		
0,45		
	12	
	8	
	5	
	0	
Leerlauf		

1. Zeichnen Sie die Strom- Spannungs- und Leistungskurven für jeden Windenergieanlagentyp in das Diagramm ein.

2. Kennzeichnen Sie im Diagramm jeweils die Stelle der Kennlinie, in dem die größte Leistung auftritt.

## I/U Kennlinie bei konst. Windgeschwindigkeit



weiter auf nächster Seite \_\_\_\_\_

3. Welcher Windenergieanlagentyp liefert die größte Leistung und warum?

Typ:

.....

Begründung:

.....

.....

.....

4. Während der Messungen hat sich die Drehzahl der Windenergieanlage verändert. Ergänzen Sie Ihre Beobachtung:

Je größer ....., desto höher die Drehzahl. (Wählen Sie je einen der Begriffe: Stromstärke, Lastwiderstand)

Je kleiner ....., desto höher die Drehzahl.

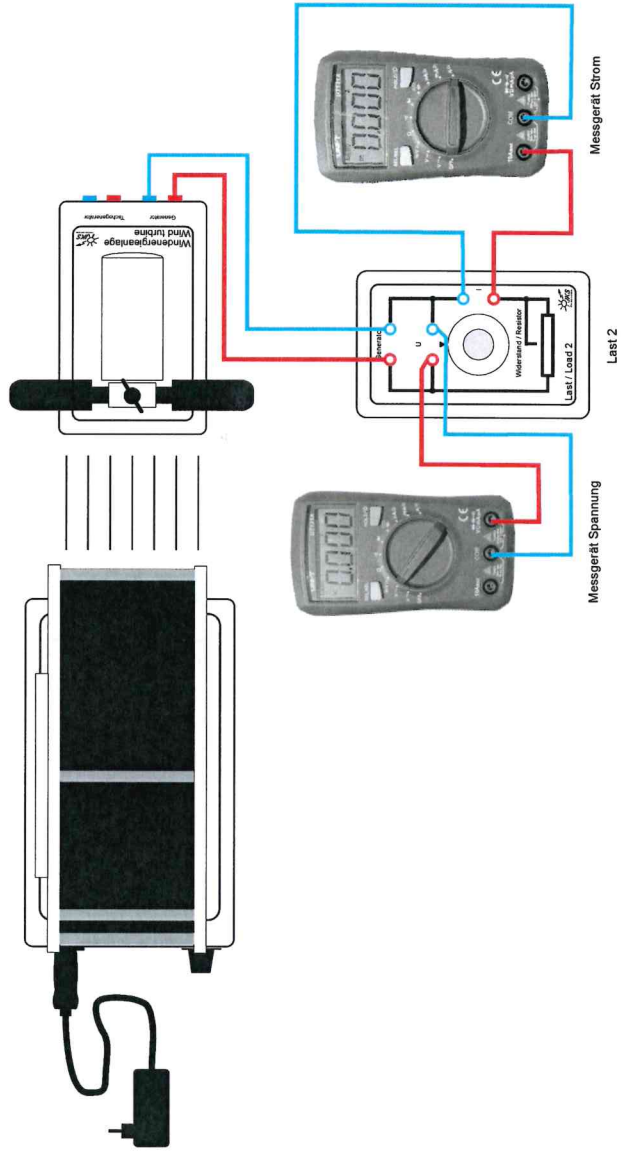
5. Vergleichen Sie den Kurvenverlauf des Auftriebsläufers mit der Kennlinie aus Versuch 6. Welchen Unterschied erkennen Sie? Woran könnte das liegen?

.....

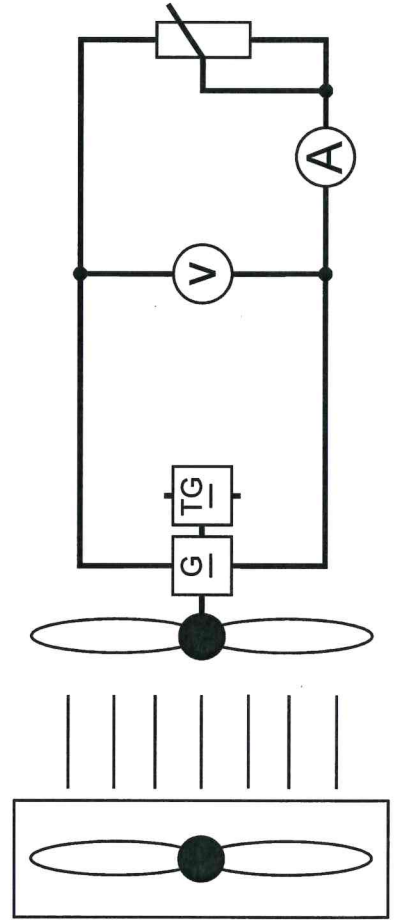
.....

.....

Aufbau



Schaltplan



### Information

Die Höhe der Windgeschwindigkeit ist für den Ertrag einer Windenergieanlage von entscheidender Bedeutung. In diesem Experiment soll die Ausgangsleistung einer Windenergieanlage in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit näher untersucht werden.

### Aufgabe

Bauen Sie das Experiment entsprechend der oben gezeigten Darstellung auf.

Der Bereichswahlschalter des Multimeters Spannung ist auf die Position **V<sub>DC</sub> (DC)** einzustellen, der des Multimeters Strom auf die Position **A<sub>DC</sub> (DC)**.

Für die Belastung wird der Widerstand der **Last 2** (mit dem Multimeter im  $\Omega$  Bereich) auf einen Wert von **40  $\Omega$**  eingestellt.

Die Windgeschwindigkeit wird variiert, indem der Drehknopf der Windmaschine zwischen 0 und 10 im Abstand von einem Skalenteil eingestellt wird. Die Windgeschwindigkeit für jede Einstellung ergibt sich aus dem Diagramm, welches im Experiment 2 ermittelt wurde.

Tragen Sie die jeweils gemessenen Spannungen und Stromstärken in die Messtabelle ein. Berechnen Sie die abgegebenen Leistungen.

Einstellungen:

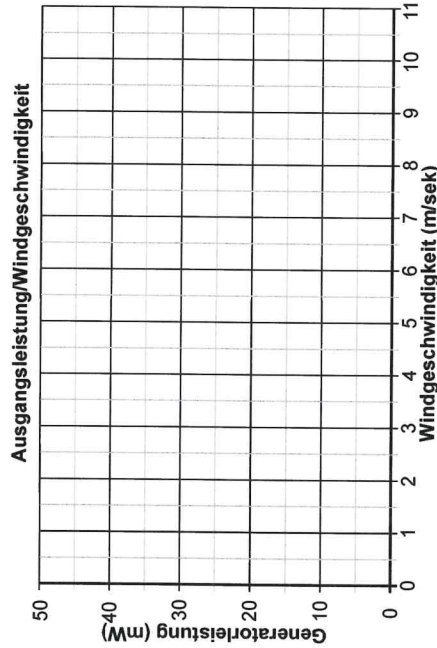
Windenergieanlagenprinzip: Auftrieb  
Flügelzahl: 3

Flügelform: eben  
Einstellwinkel: 45°

Windgeschwindigkeit: 0-10 Skalenteile in einem Skalenteilungsschritt

Lastwiderstand: 40  $\Omega$

Skalenteilung	Windgeschwindigkeit (m/sek)	Spannung (V)	Strom (mA)	Leistung (mW)
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				



$v_1$ in m/sek	$v_2$ in m/sek	$v_2 / v_1$
5	10	2
$P_1$ in mW	$P_2$ in mW	$P_2 / P_1$

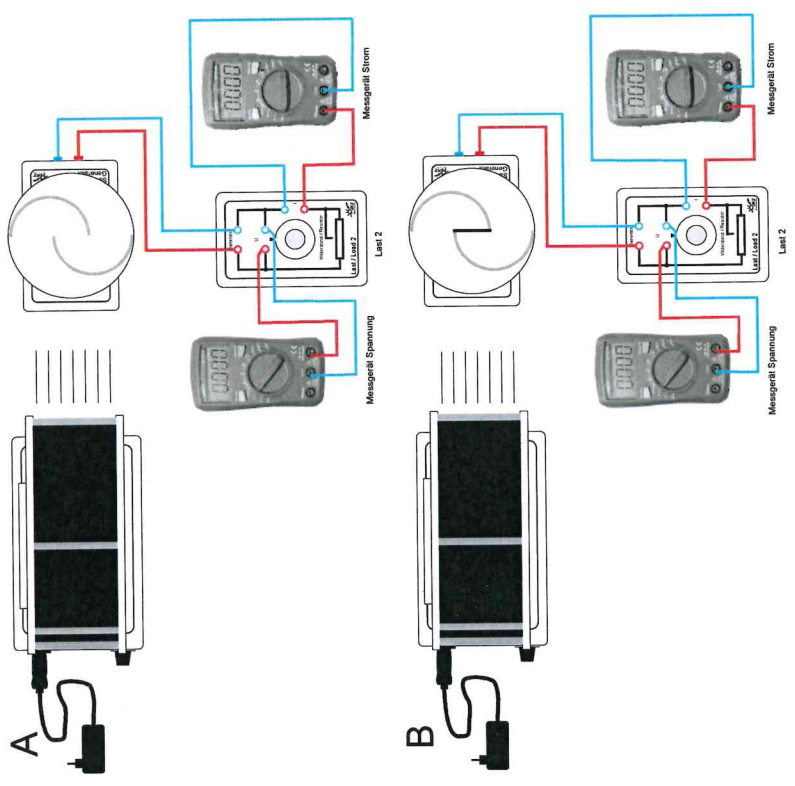
1. Tragen Sie die Messergebnisse in das Diagramm ein.
2. Zeichnen Sie eine Ausgleichskurve für die Messpunkte im Diagramm ein.
3. Die Leistung des anströmenden Windes wächst mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit ( $P_{\text{wind}}$  ist proportional  $v^3$ ). Eine Verdoppelung der Windgeschwindigkeit bedeutet deshalb die ..... -fache Windleistung.
4. Ergänzen Sie die Tabellen durch Werte aus der Diagrammkurve. Berechnen Sie jeweils das Verhältnis von  $v_2 / v_1$  und  $P_2 / P_1$  und tragen Sie die Werte ebenfalls ein.

5. Wächst die gemessene Ausgangsleistung der Windenergieanlage auch mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit? Nennen Sie Gründe für die Abweichung:

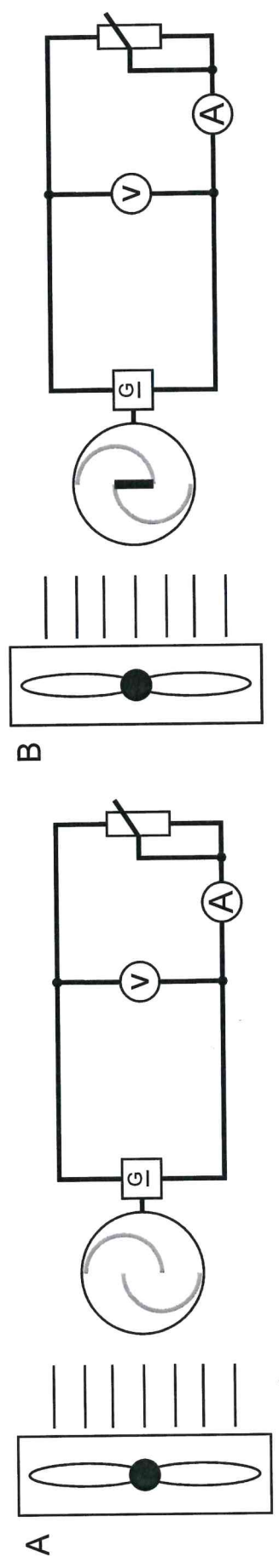
6. Welche Bedeutung besitzen die Höhe der Windgeschwindigkeit und deren Schwankungen für den Ertrag einer Windenergieanlage?

Messung der Ausgangsleistung am Savonius-Rotor mit und ohne Spalt

Aufbau



Schaltplan



### Information

Savonius-Generatoren werden sowohl mit als auch ohne Luftspalt zwischen den Halbschalen gebaut. Im folgenden Experiment soll untersucht werden, welchen Einfluss der Luftspalt auf die Leistungsfähigkeit des Generators hat.

### Aufgabe

Bauen Sie das Experiment entsprechend der oben gezeigten Darstellung auf. Stellen Sie die größtmögliche Windgeschwindigkeit ein.

Für die Belastung wird der Widerstand der **Last 2** (mit dem Multimeter im  $\Omega$  Bereich) auf einen Wert von **50  $\Omega$**  eingestellt.

Der Bereichswahlschalter des Multimeters Spannung ist auf die Position **V  $\overline{\text{DC}}$  (DC)** einzustellen, der des Multimeters Strom auf die Position **A  $\overline{\text{DC}}$  (DC)**.

Messen Sie nun für die gleiche Windgeschwindigkeit und den gleichen Belastungswiderstand die Ausgangsspannung und die Ausgangsstromstärke des Generators bei **A**: offenem und **B**: geschlossenem Luftspalt.

Achten Sie beim Schließen des Luftspaltes darauf, dass die Sperrplatte die Nut trifft, die zwischen den Halbschalen angebracht ist.

Tragen Sie die Werte in die Tabelle ein und berechnen Sie jeweils die Ausgangsleistung.

Geben Sie dem Savonius-Generator ausreichend Zeit, damit sich stabile Messwerte einstellen.

Einstellungen:

Windgeschwindigkeit: 8 m/s

Betrieb Savonius-Generator: **A**: offener Luftspalt  
**B**: geschlossener Luftspalt

Lastwiderstand: 50  $\Omega$

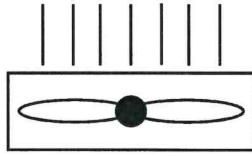
	Generatorspannung (V)	Generatorstrom (mA)	Generatorleistung (mW)
offener Luftspalt			
geschlossener Luftspalt			

1. Vergleichen Sie die Ausgangsleistung bei offenem und geschlossenem Luftspalt (gleich, kleiner, grösser):

$P_{\text{offen}}$  ist.....Wie  $P_{\text{geschlossen}}$

2. Zeichnen Sie dazu in die beiden Skizzen die Linien für den Luftstrom und die resultierenden Kräfte bei offenem und geschlossenem Luftspalt ein. Erklären Sie dieses Verhalten.

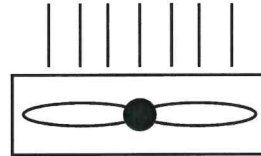
Erklärung:



A:



.....  
.....  
.....  
.....  
.....



B:



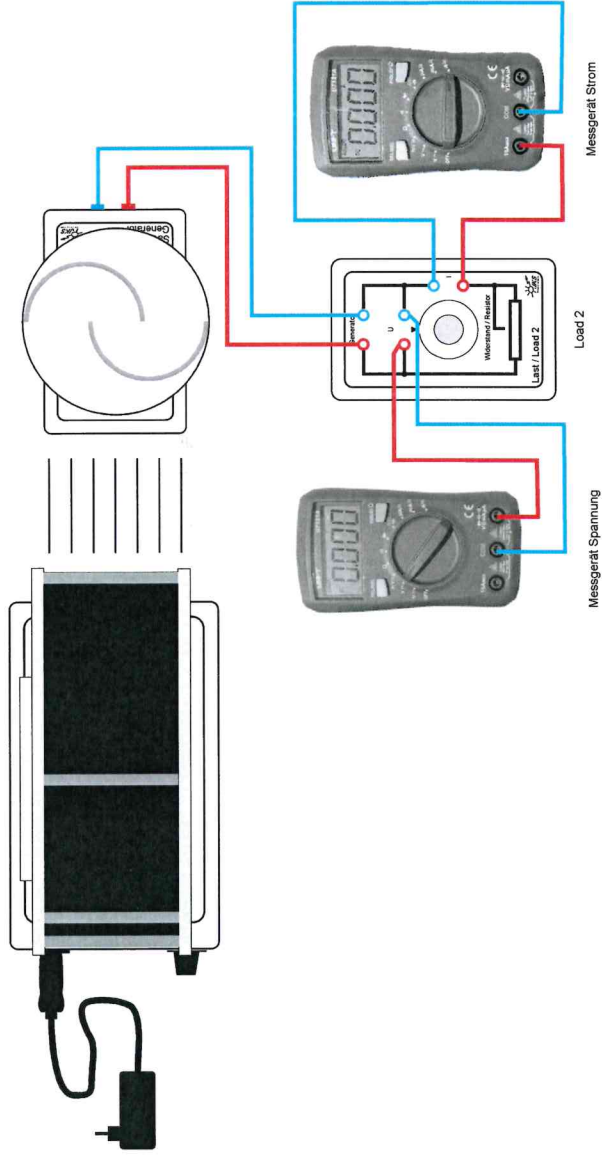
Erklärung:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

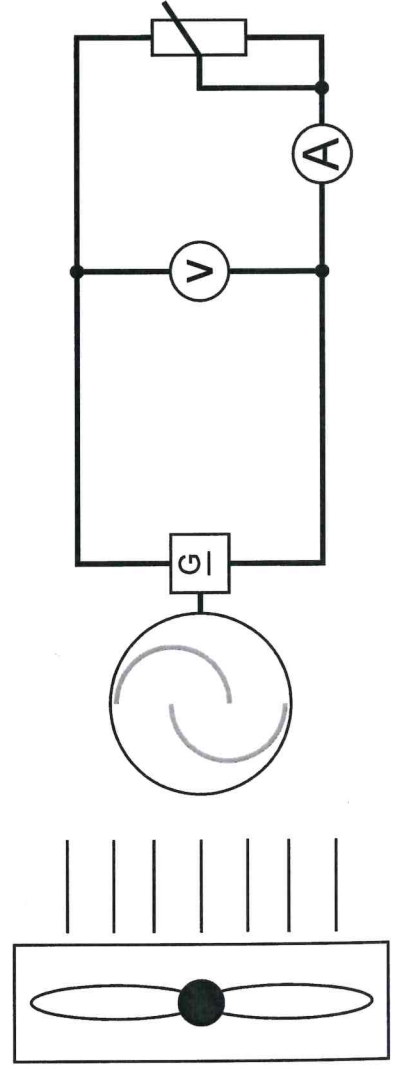
# Messung der Strom-Spannungs-Kennlinie am Savonius-Rotor bei konstanter Windgeschwindigkeit

## Experiment 9

### Aufbau



### Schaltplan





### Information

Wie in Experiment 7 für den Auftriebs- und Widerstandsläufer soll hier das Betriebsverhalten des Savonius-Generators bei konstanter Windgeschwindigkeit und variablem Belastungswiderstand untersucht werden.

### Aufgabe

Bauen Sie das Experiment entsprechend der oben gezeigten Darstellung auf.  
 Der Bereichswahlschalter des Multimeters Spannung ist auf die Position **V** (DC) einzustellen, der des Multimeters Strom auf die Position **A** (DC).  
 Bitte beachten Sie, dass der Savonius-Generator mit offenem Luftspalt betrieben wird.

Den Drehknopf vom Verbraucher (**Last 2**) ganz nach links drehen (kleinster Widerstand).  
 Mit dem Drehknopf den ersten vorgegebenen Wert in der Tabelle einstellen und den fehlenden Strom- oder Spannungswert eintragen.

Nun den nächsten vorgegebenen Wert einstellen und den fehlenden Wert in die Tabelle eintragen. Fortfahren, bis alle Werte eingetragen sind.

Einen zusätzlichen Messpunkt erhält man für Leerlauf (Strom gleich Null). Dazu wird das Stromstärkemessgerät aus den Buchsen der **Last 2** entfernt. Berechnen Sie anschließend die Leistungen und tragen die Werte ebenfalls in die Tabelle ein.

Geben Sie dem Savonius-Rotor ausreichend Zeit, damit sich stabile Messwerte einstellen.

Einstellungen:

Windgeschwindigkeit: 9,5 m/s

Betrieb Savonius-Generator: ohne Sperrplatte (offener Luftspalt)

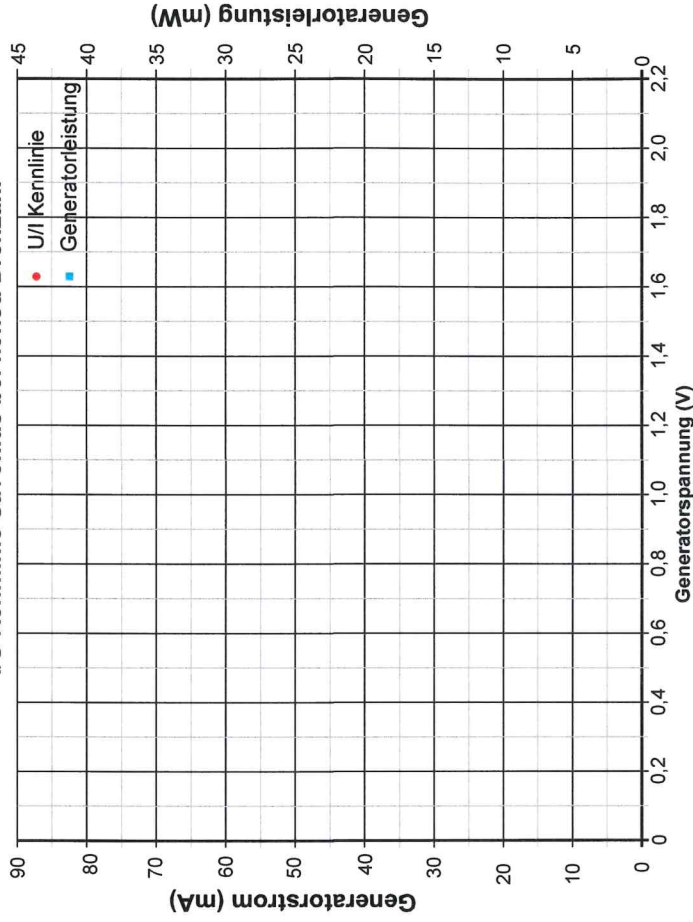
Lastwiderstand: angepasst eingestellt

**Falls die Diagrammskalierung nicht ausreicht, können Sie das Experiment mit etwas verminderter Windgeschwindigkeit (z.B. 8 m/s) durchführen.**

U (V)	I (mA)	P (mW)
0,10		
0,44		
0,80		
1,00		
1,10		
	30	
	25	
	20	
	18	
	16	
	15	
Leerlauf	0	

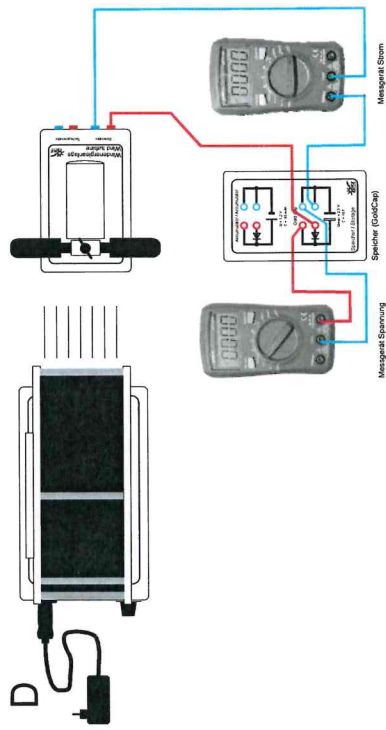
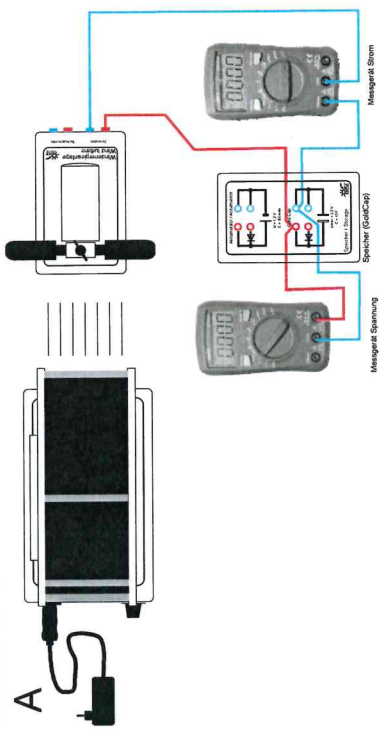
- Übertragen Sie die Messpunkte für U und I in das Diagramm und zeichnen durch die Messpunkte eine Ausgleichskurve.
- Zeichnen Sie in das gleiche Diagramm den Leistungsverlauf in Abhängigkeit von der Spannung ein.
- Welchen Vorteil besitzt der Savonius-Generator im Vergleich zu Widerstands- und Auftriebsläufer, wenn sich die Windrichtung ändert?  
 .....  
 .....  
 .....

I/U Kennlinie Savonius bei konst. Drehzahl

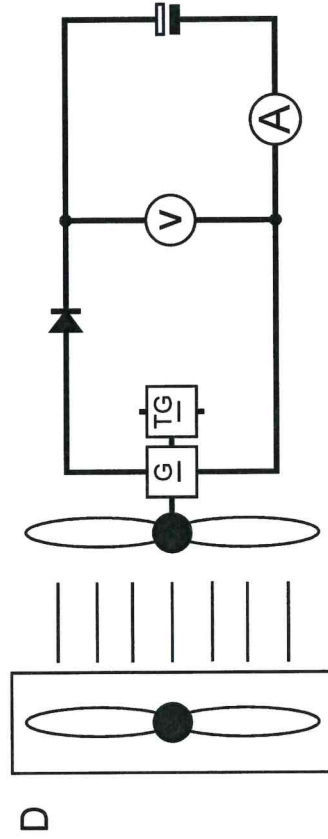
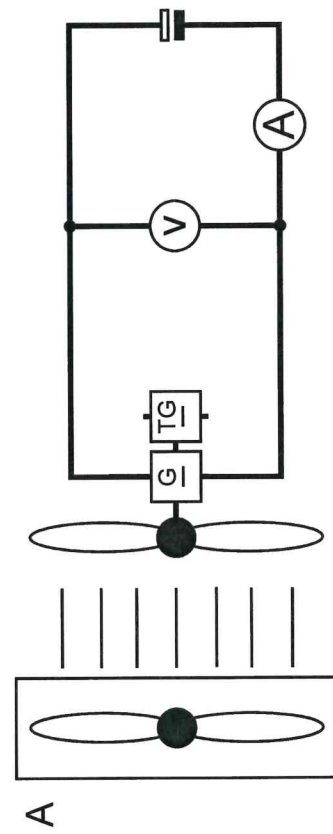


## Laden eines GoldCap-Kondensators/Akkumulators mit einer Windenergieanlage

### Aufbau



### Schaltplan



**Information**

Wenn eine Windenergieanlage im Inselbetrieb Verbraucher versorgen soll, wird wegen des unbeständigen Windangebotes und des schwankenden Strombedarfs ein Zwischenspeicher für die elektrische Energie benötigt. Im folgenden Experiment wird für diese Aufgabe ein Akkumulator oder für Verbraucher mit sehr geringem Energiebedarf auch ein GoldCap-Kondensator verwendet.

**Aufgabe**

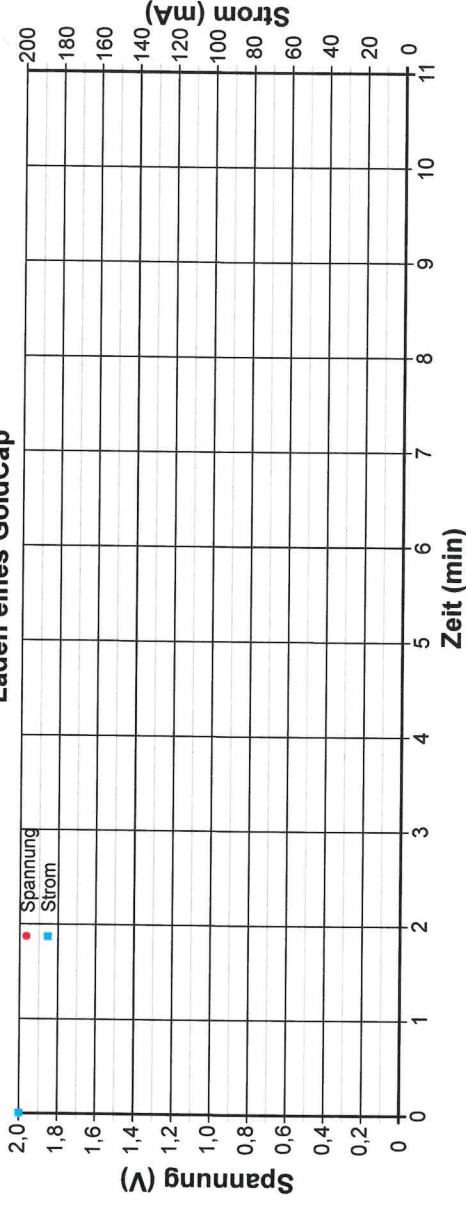
- A:** Die Windenergieanlage an die beiden oberen Buchsen des GoldCap über ein Multimeter als Strommesser anschließen. Bereichswahlschalter auf Position **A --- (DC)**. Das andere Multimeter als Spannungswahlschalter Position **V --- (DC)**. Windgeschwindigkeit auf **10 m/s** einstellen. Sicherstellen, dass der GoldCap entladen ist (mit Glühlampe). Den GoldCap aufladen, bis nur noch ein sehr kleiner Strom (ca. 5-8 mA) fließt. Welche Spannung liegt jetzt am GoldCap?
- B:** Die Windmaschine ausschalten (Windstille). Beobachten Sie den Strommesser, was tritt ein?
- C:** Nun durch zusätzliches Anschließen der Glühlampe als Verbraucher (**Last 1**) an die oberen Anschlüsse des GoldCap, diesen vollständig entladen (Spannung > **0,1 V**) und dann die Glühlampe wieder abklemmen.
- D:** Stecken Sie die Leitungen der Windenergieanlage nun in die beiden unteren Buchsen des GoldCap. (**mit Diode**) Das Voltmeter bleibt an den oberen Buchsen. Den GoldCap aufladen, bis nur noch ein sehr kleiner Strom (ca. 5-8 mA) fließt.
- E:** Wiederholen Sie Experiment **B**. Beobachten Sie das Amperemeter. Was tritt ein? Welche Spannung liegt jetzt am GoldCap? Welche Aufgabe hat die Diode im Stromkreis?
- F:** GoldCap wieder vollständig entladen (s. **C**), GoldCap aufladen, die Spannung und den Strom zu den Zeitintervallen in die Tabelle eintragen. Werte anschließend in das Diagramm übertragen und die zusammengehörenden Messpunkte verbinden. Welche Erkenntnisse lassen sich aus dem Diagramm ableiten?

Einstellungen:

Windenergieanlagenprinzip: Auftrieb  
 Flügelszahl: 4  
 Flügelform: gewölbt  
 Einstellwinkel: 60°  
 Windgeschwindigkeit: 10 m/s

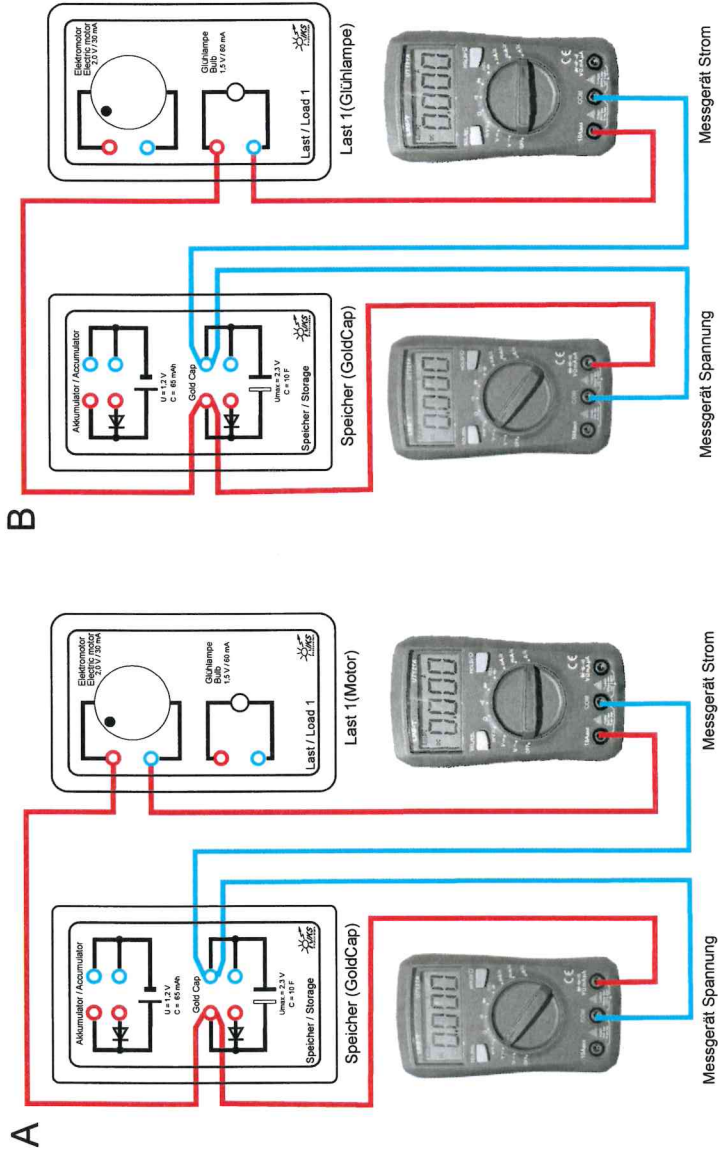
Zeit (min)	Spannung (V)	Strom (mA)
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

**Laden eines GoldCap**

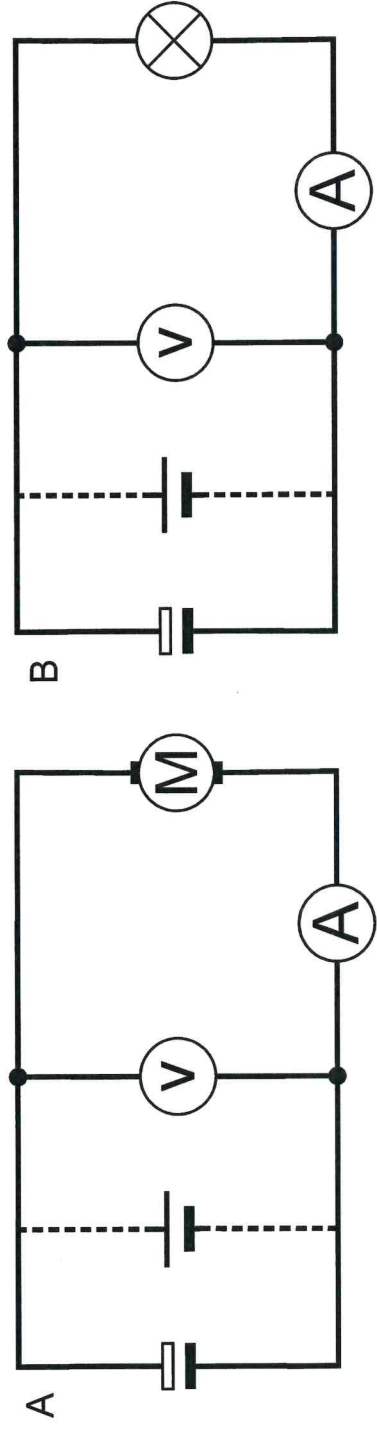


- A:** .....
- B:** .....
- E:** .....
- F:** .....

Aufbau



Schaltplan



### Information

Wie verhält sich ein GoldCap-Kondensator bei Belastung mit einem Verbraucher?

### Aufgabe

Laden Sie zunächst den GoldCap wie in Experiment 10, Seite 23, beschrieben (über Diode).

**A:** Bauen Sie dann das Experiment entsprechend der oben links gezeigten Darstellung auf.  
Den Elektromotor als Last über ein Multimeter als Amperemeter, Bereichswahlschalter auf Position **A**  $\overline{\text{---}}$  (DC), an die oberen Buchsen des GoldCap anschließen. **Die-Plus-Verbindung zum Elektromotor noch nicht herstellen.**

Das andere Multimeter als Voltmeter, Bereichswahlschalter Position **V**  $\overline{\text{---}}$  (DC) wie dargestellt an den GoldCap anschließen.

Den GoldCap mit dem Elektromotor entladen (**Plus-Leitung einstecken**). Beobachten Sie während des Entladevorganges die Spannung und den Strom. Tragen Sie zu den vorgegebenen Zeitintervallen die Werte in die Tabelle 1 ein.

**B:** Laden Sie erneut den GoldCap wie in Experiment 10, Seite 23, beschrieben (über Diode).  
Wiederholen Sie die vorigen Anweisungen von Experiment (A:), jedoch verwenden Sie als Last diesmal die Glühlampe nach der obigen rechten Darstellung.  
Tragen Sie die Werte in Tabelle 2 ein.  
Werte anschließend in das Diagramm eintragen und die zusammengehörenden Messpunkte verbinden.

**C:** Welche Erkenntnisse lassen sich aus den Diagrammen ableiten?

**D:** Für welche Anwendung ist der untersuchte Speicher geeignet?

Tabelle 1: Elektromotor als Last

Zeit (min)	Spannung (V)	Strom (mA)
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Entladen eines GoldCap mit Elektromotor

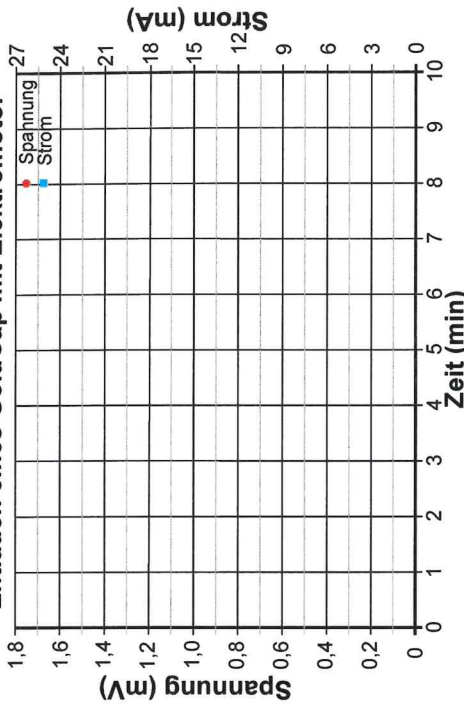
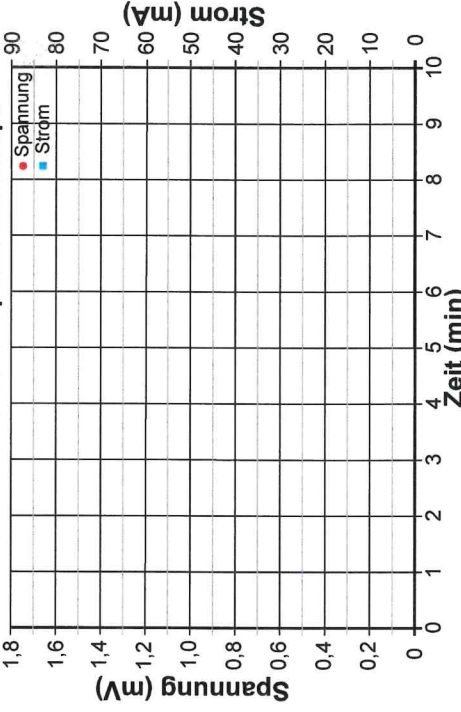


Tabelle 2: Glühlampe als Last

Zeit (min)	Spannung (V)	Strom (mA)
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Entladen eines GoldCap mit Glühlampe



C: .....

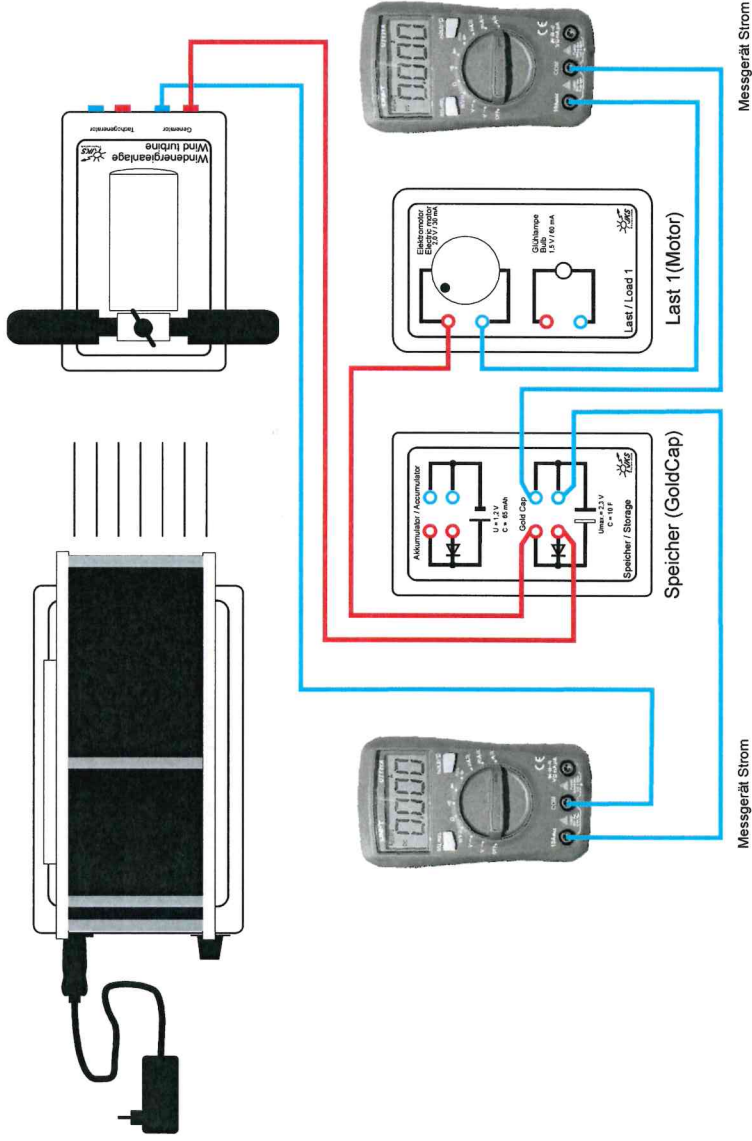
.....

.....

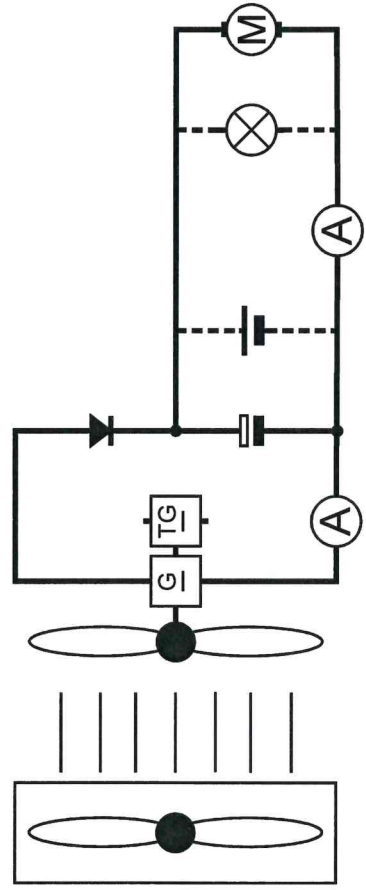
.....

D: .....

Aufbau



Schaltplan



## Information

Wird eine Windenergieanlage mit einem Energiespeicher und einem Verbraucher zusammengeschaltet, hat man ein Inselnetz in der einfachsten Form.

Je nach Windstärke, Ladezustand des Speichers und Betrieb des Verbrauchers ergeben sich unterschiedliche Stromflüsse und Stromstärken in dem System.

## Aufgabe

Das auf der obigen Seite abgebildete Schema und der Schaltplan zeigen ein solches Inselnetz.

Führen Sie folgende Experimente durch und zeichnen Sie in die nebenstehenden Schaltpläne die Stromflussrichtungen mit Pfeilen ein (Einstellungen wie Experiment 10):

**A:** Die Windenergieanlage wird über die beiden unteren Buchsen an den GoldCap über ein Multimeter als Amperemeter, Bereichswahlschalter auf Position **A** (DC), in den Stromkreis angeschlossen. Einstellungen des Windenergieanlage siehe Experiment 10. GoldCap aufladen, bis kein Strom mehr fließt.

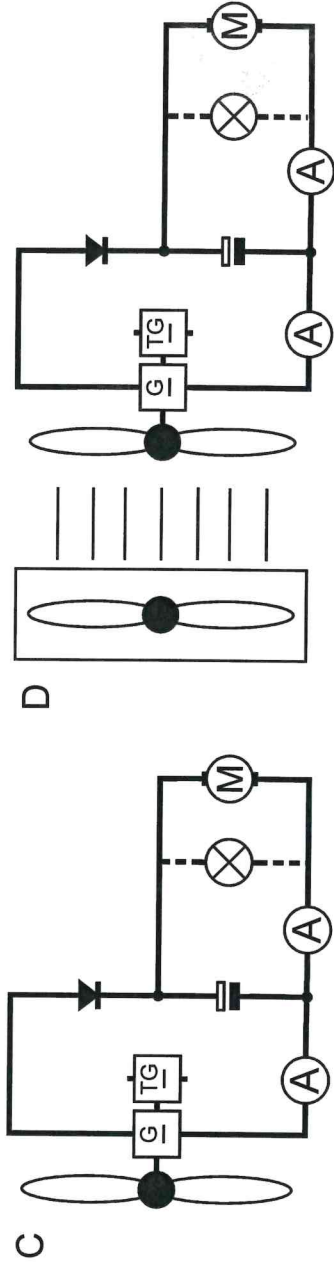
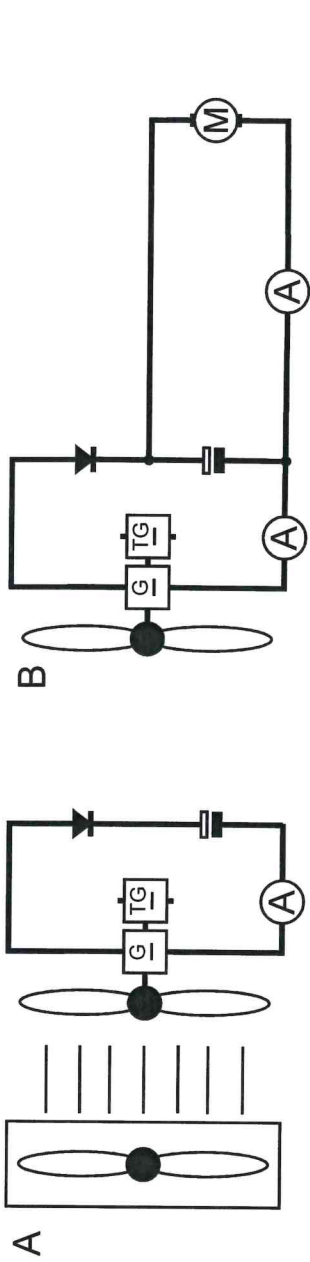
**B:** Bauen Sie das Experiment entsprechend dem Schaltplan **B** auf. Den Elektromotor mit dem zweiten Multimeter als Amperemeter, Bereichswahlschalter Position **A** (DC), im Stromkreis an die oberen Buchsen des GoldCap anschließen.

Die Windmaschine ist ausgeschaltet (Windstille). Den Elektromotor ca. 3 Minuten laufen lassen. Was ist zu beobachten?

**C:** Schalten Sie nun die Glühlampe als zusätzliche Last parallel zum Elektromotor, bis der GoldCap vollkommen entladen ist (Schaltplan **C**). Beobachten Sie die Amperemeter. Was geschieht?

**D:** Schalten Sie nun die Windmaschine wieder ein, (Schaltplan **D**). Beobachten Sie die Amperemeter. Was geschieht?

**E:** Welche Bedingungen müssen die einzelnen Komponenten für die optimale Funktion eines Inselnetzes erfüllen?



B:

C:

D:

E: