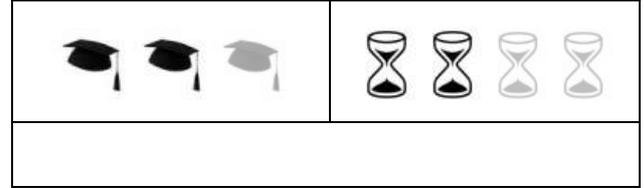


Schlüsselworte

Windenergie, Kennlinie, Spannung, Stromstärke, Leistung, Widerstand, Innenwiderstand, Anpassung



Prinzip

Die Strom-Spannungs-Kennlinie eines Windgenerators (Windrades) beschreibt das Verhalten bei Belastung, z. B. beim Anschluss verschiedener Glühlampen. Eine Glühlampe lässt sich optimal vom Windgenerator betreiben, wenn Widerstand und Nennspannung zum Maximum der Leistungskurve passen.

Zur Aufnahme der Kennlinie wird eine Widerstandsdekade an den Windgenerator angeschlossen. Sie besitzt 12 Schalterstellungen, mit verschiedenen Widerständen (auch Kurzschluss und offen), deren Werte so ausgewählt wurden, dass der Verlauf der Kennlinie gut dargestellt werden kann. Mit Hilfe der Cobra4 Sensor-Unit Energy werden Spannung, Stromstärke und Leistung gemessen.

Material

*2 Anschlussbaustein, DB	09401-10	1 Netzgerät, universal	13500-93
1 Widerstandsdekade, DB	09420-00	**1 Cobra4 Wireless Manager	12600-00
*1 Gebläse, 12 V	05750-00	**2 Cobra4 Wireless-Link	12601-00
*1 Generator mit 3 mm Achse	05751-01	**1 Cobra4 Sensor-Unit Energy	12656-00
*1 Rotor, 2 Stück	05752-01	**1 Halter für Cobra4, magnetisch	02161-10
*2 Klemmhalter mit 2 Spannstellen	02151-08	**1 Software measure für Cobra4	14550-61
*1 Maßstab, magn.	02153-00	1 Verbindungsleitung, 250 mm, gelb	07360-02
*1 Gleiter für Stativbank	02151-09	1 Verbindungsleitung, 250 mm, blau	07360-04
*2 Stativstange, Edelstahl, l = 500 mm	02032-00	1 Verbindungsleitung, 500 mm, rot	07361-01
*1 Muffe auf Träger für Demo-Tafel	02164-00	1 Verbindungsleitung, 500 mm, blau	07361-04
		1 Verbindungsleitung, 750 mm, rot	07362-01
		1 Verbindungsleitung, 750 mm, blau	07362-04
Zusätzlich wird benötigt			
1 Demo Physik Hafttafel mit Gestell	02150-00		

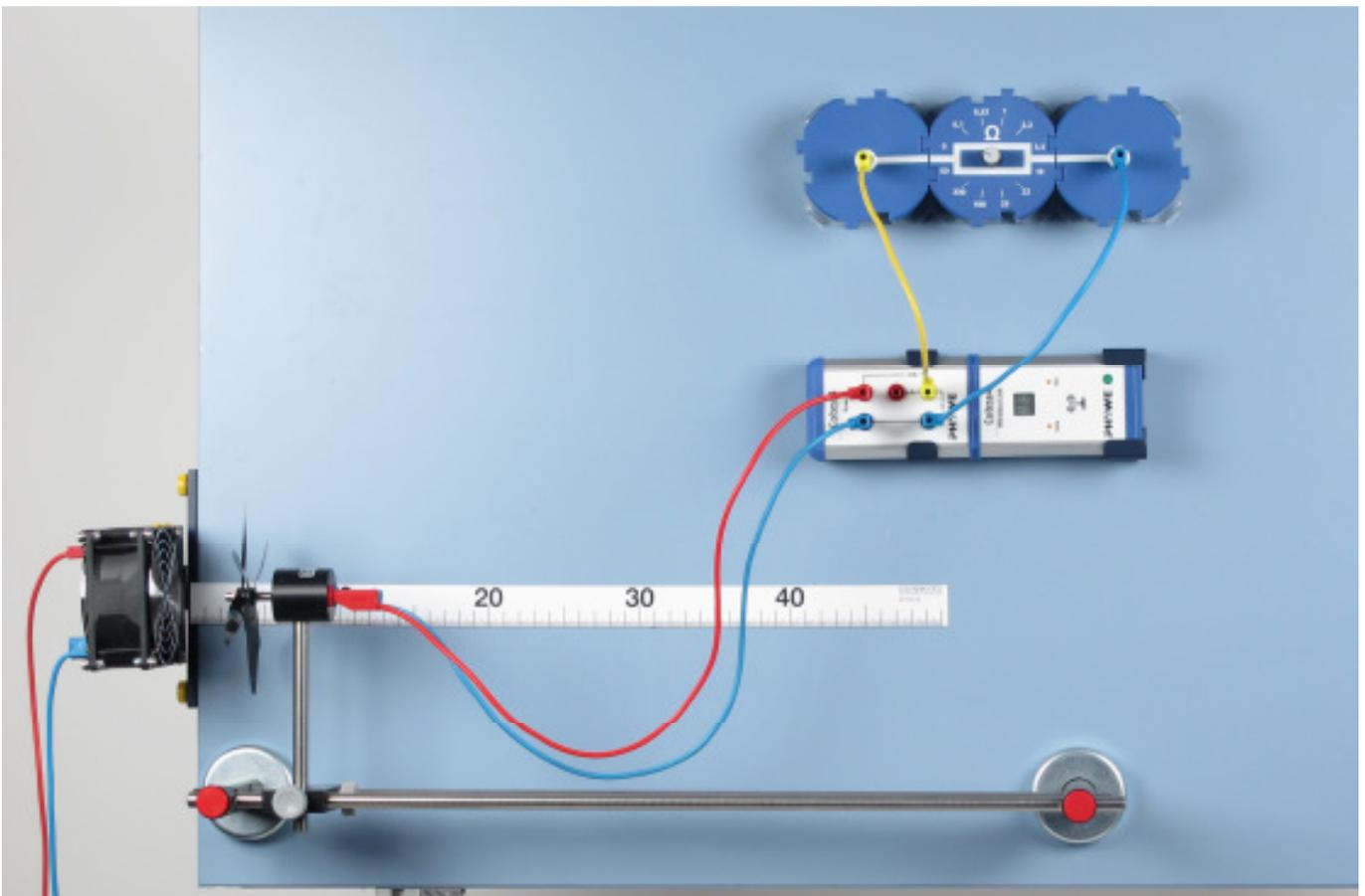


Abb. 1: Aufbau

1 PC, USB-Schnittstelle, XP, Vista, Win7

* In Set ENT 1 enthalten

09492-88

** In Cobra4 Ergänzungsset enthalten

12608-88

Hinweis

Werden Spannung und Stromstärke in einem Stromkreis gleichzeitig gemessen, dann kann die Anordnung von Voltmeter und Amperemeter im Stromkreis für die Genauigkeit der Messung wichtig sein. Wenn bei der Aufnahme einer Strom-Spannungs-Kennlinie die Spannung nicht direkt an der Spannungsquelle gemessen wird, sollte der Innenwiderstand des Amperemeters klein sein.

Die Cobra4 Sensor-Unit Energy besitzt 2 Strom-Messbereiche:

A-Messbereiche mit $32\text{ m}\Omega$ Innenwiderstand und **mA** mit $2\ \Omega$ Innenwiderstand.

Bei der Auswahl des Messbereiches kommt in diesem Versuch noch ein zweiter Gesichtspunkt dazu. Die gewählten Messbereiche für Strom und Spannung (Volt für den Windgenerator) bestimmen die Auflösung („Messgenauigkeit“) bei der Leistungsmessung. Wegen der geringen Leistung bei sehr kleinen und großen Lastwiderständen wird der **mA**-Messbereich mit der besseren Auflösung für die Leistung gewählt.

Der Innenwiderstand ist in diesem Fall ausreichend.

Das Gebläse darf maximal mit einer Spannung von 12 V betrieben werden, da sonst der Motor zerstört werden könnte.

Vorsicht beim Umgang mit dem Generator. Das Hineinfassen in die sich drehenden Rotorblätter ist zu vermeiden.

Aufbau

- Auf der rechten Tafelhälfte nach Abb. 1 den Stromkreis mit der Widerstandsdekade aufbauen und an den Ausgang der Cobra4 Sensor-Unit Energy anschließen.
- An der linken Seite der Tafel die Muffe auf Träger sorgfältig festschrauben und darin das Gebläse halten.
- Das Gebläse so ausrichten, dass es einen waagerechten Windstrahl entlang der unteren Hälfte der Tafel erzeugt.
- Gebläse mit dem Gleichspannungsausgang des Netzgerätes verbinden.
- Das Netzgerät ist ausgeschaltet.
- Für das Windrad eine „Stativbank“ aufbauen:
Die beiden Klemmhalter auf den Tisch stellen, den Gleiter auf die beiden Stativstangen schieben und die Stangen durch die beiden Bohrungen in den Klemmhaltern führen.
- Die Stativbank an die Tafel setzen (Abb. 1) und waagrecht ausrichten.
- Die 6 Rotorblätter am Windgenerator befestigen.
- Den Windgenerator in die Bohrung des Gleiters setzen.
- Der Abstand zwischen Windgenerator und Gebläse soll 5 cm betragen (Abb. 2).
- Gegebenenfalls den Abstand des Gebläses zur Tafel korrigieren und die Höhe des Generators durch Verschieben im Gleiter einstellen.
- Den Generator über die Cobra4 Sensor-Unit Energy mit der Widerstandsdekade verbinden (Abb. 1).
- Darauf achten, dass das rote Kabel vom Generator mit der **mA**-Buchse der Cobra4 Sensor-Unit Energy verbunden wird.

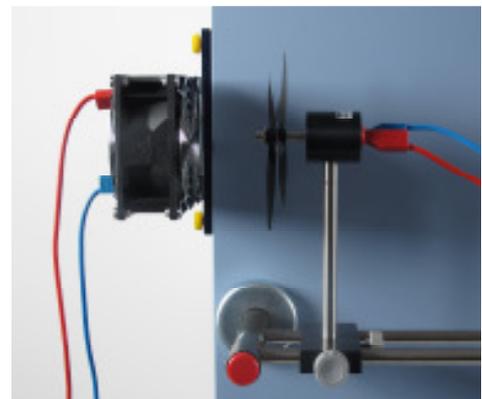


Abb. 2: Aufbau Gebläse und Windrad

Durchführung

- PC und Windows starten.
- Cobra4 Wireless Manager in die USB-Schnittstelle des PC stecken.
- Softwarepaket measure am PC starten.
- Cobra4 Wireless-Link mit der Cobra4 Sensor-Unit verbinden. Nach dem Einschalten wird die Sensor-Unit automatisch erkannt und dem Cobra4 Wireless-Link wird eine ID-Nummer zugewiesen, die im Display sichtbar ist. Die Kommunikation zwischen dem Cobra4 Wireless Manager und dem Cobra4 Wireless-Link wird durch die LED Data angezeigt.
- Cobra4 Wireless-Link mit angesteckter Cobra4 Sensor-Unit Energy einschalten. Die Sensor-Unit und die elektrischen Größen U , I , P und W werden als Messkanäle angezeigt.
- Experiment laden (Experiment > Experiment öffnen > ...). Es werden nun alle benötigten Voreinstellungen zur Messwertaufnahme geöffnet (Abb. 3).
- Stellknopf der Widerstandsdekade auf Position 0Ω drehen (Kurzschluss).
- Netzgerät einschalten und Spannung auf 12 V stellen
- Messwertaufnahme in measure starten ●.
- Einzelmessung durchführen ▶▶.
- In den weiteren Schalterstellungen bis einschließlich ∞ weitere Einzelmessungen nacheinander durchführen, dabei jeweils vorher mind. 5 s warten ▶▶.
- Messwertaufnahme in measure beenden ■.
- Alle Messungen in das measure Hauptprogramm übertragen.
- Stellknopf der Widerstandsdekade auf Position 0Ω drehen (Kurzschluss).
- Windrad auf einen Abstand von 15 cm einstellen und Messung wiederholen.

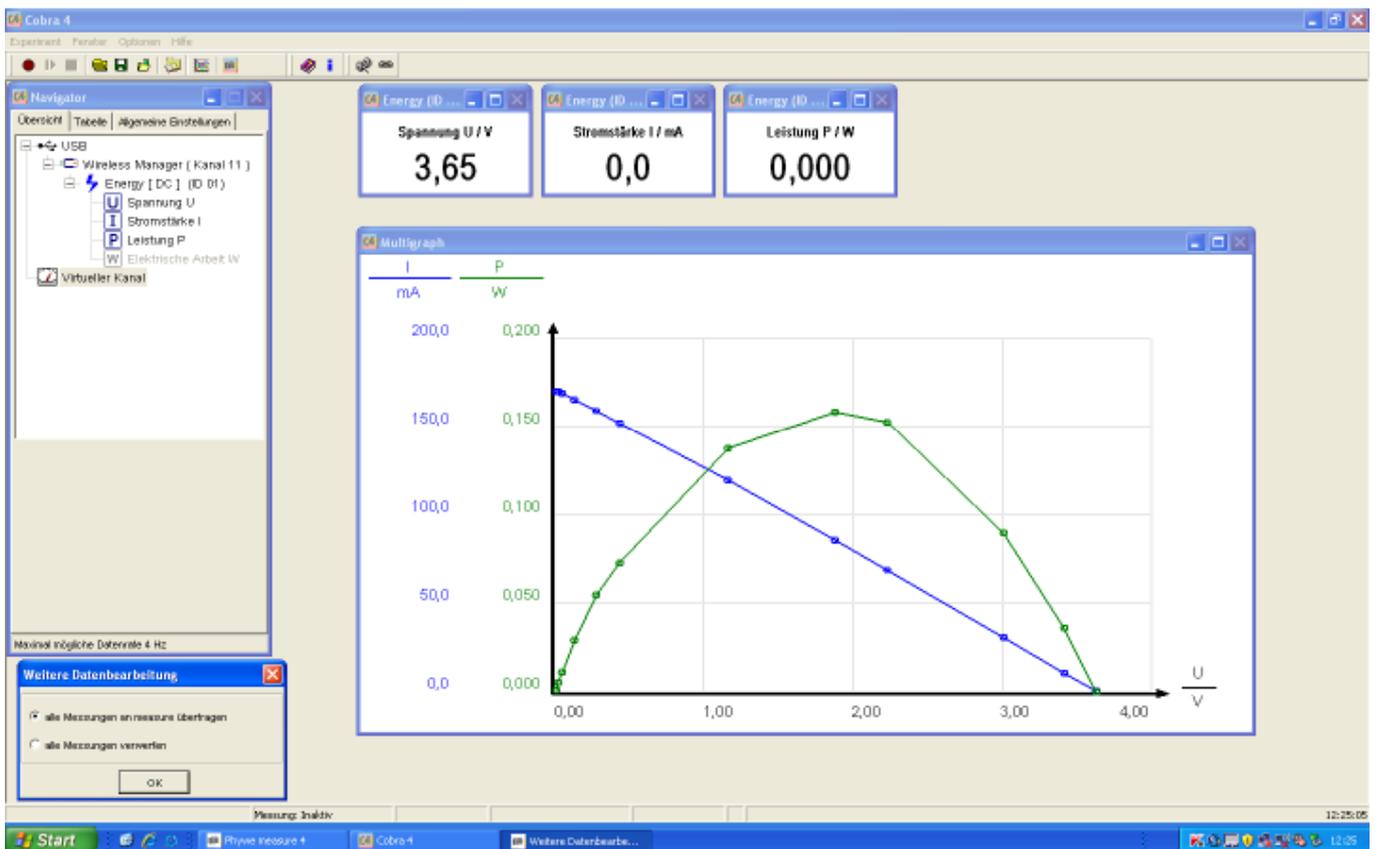


Abb. 3: Messwerterfassung bei einem Abstand von 5 cm

- Stellknopf der Widerstandsdekade auf Position 0Ω drehen (Kurzschluss).
- Netzgerät ausschalten.

Beobachtung

Die beiden gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinien des Windgenerators zeigen jeweils einen charakteristischen Verlauf: Die Stromstärke ist bei einer Spannung von 0 V maximal (etwa 170 mA bzw. 120 mA) und fällt linear ab auf 0 mA .

Die Leistungskurve verläuft symmetrisch, beginnt bei kleinen Widerständen mit 0 mW , zeigt ein deutliches Maximum (etwa 160 mW bzw. 100 mW) und fällt wieder auf 0 mW .

Auswertung

Nach der Übertragung der Messwerte in das measure Hauptprogramm wird die Auswertung im „Multi-graph-Diagramm durchgeführt, in dem Stromstärke I und Leistung P über der Spannung U dargestellt sind.

Durch Anklicken der Symbole „I“ und „P“ mit der rechten Maustaste kann auf der linken Seite des Diagramms die skalierte Achse für die Leistung P gezeichnet werden und auf der rechten Seite die skalierte Achse für die Stromstärke I .

Aus der Leistungskennlinie einer Spannungsquelle lässt sich ihr Innenwiderstand R_i bestimmen, er ist so groß wie der äußere Widerstand im Maximum der Kurve.

Liegt ein Messwert direkt auf dem Maximum der Leistungskennlinie, dann lässt sich der Widerstand direkt aus der Schalterstellung ablesen.

Im allgemeinen Fall wird aus der Leistungskennlinie mit Hilfe der Funktion „Regression“  und zwei Regressionsgraden das Maximum der Leistung bestimmt, um an dieser Stelle die Spannung U abzulesen (Abb. 5). Anschließend wird zu dieser Spannung mit Hilfe der Strom-Spannungs-Kennlinie und der Funktion „Vermessen“  die dazugehörige Stromstärke I abgelesen und der Innenwiderstand R_i näher-



Abb. 4: Messwerterfassung bei einem Abstand von 15 cm

rungsweise berechnet.

$$R_i = U / I$$

An der Stelle des Maximums werden folgende Werte für Spannung U und Stromstärke I abgelesen:

Messung 1 (5 cm Abstand)

$$P = 159 \text{ mW}, U = 1,89 \text{ V}, I = 86 \text{ mA}, \quad R_i = 22 \Omega$$

Entsprechend:

Messung 2 (15 cm Abstand)

$$P = 100 \text{ mW}, U = 1,64 \text{ V}, I = 58 \text{ mA}, \quad R_i = 28 \Omega$$

Bei kleinerer Windgeschwindigkeit nehmen maximale Spannung, Stromstärke und Leistung des Windgenerators ab, der Innenwiderstand R_i wird etwas größer.

Anwendung

Strom-Spannungs-Kennlinien beschreiben das Verhalten von Generatoren bei Belastung. Die Leistung sinkt bei kleinerer Windgeschwindigkeit, der charakteristische Verlauf bleibt aber erhalten.

Mit dem Windgenerator können z. B. kleine Motoren oder verschiedene Glühlämpchen betrieben werden. Mit Hilfe der Strom-Spannungs-Kennlinie kann abgeschätzt werden wie groß die Leistung des angeschlossenen Verbrauchers sein wird, also ob oder wie hell ein Glühlämpchen leuchten wird.

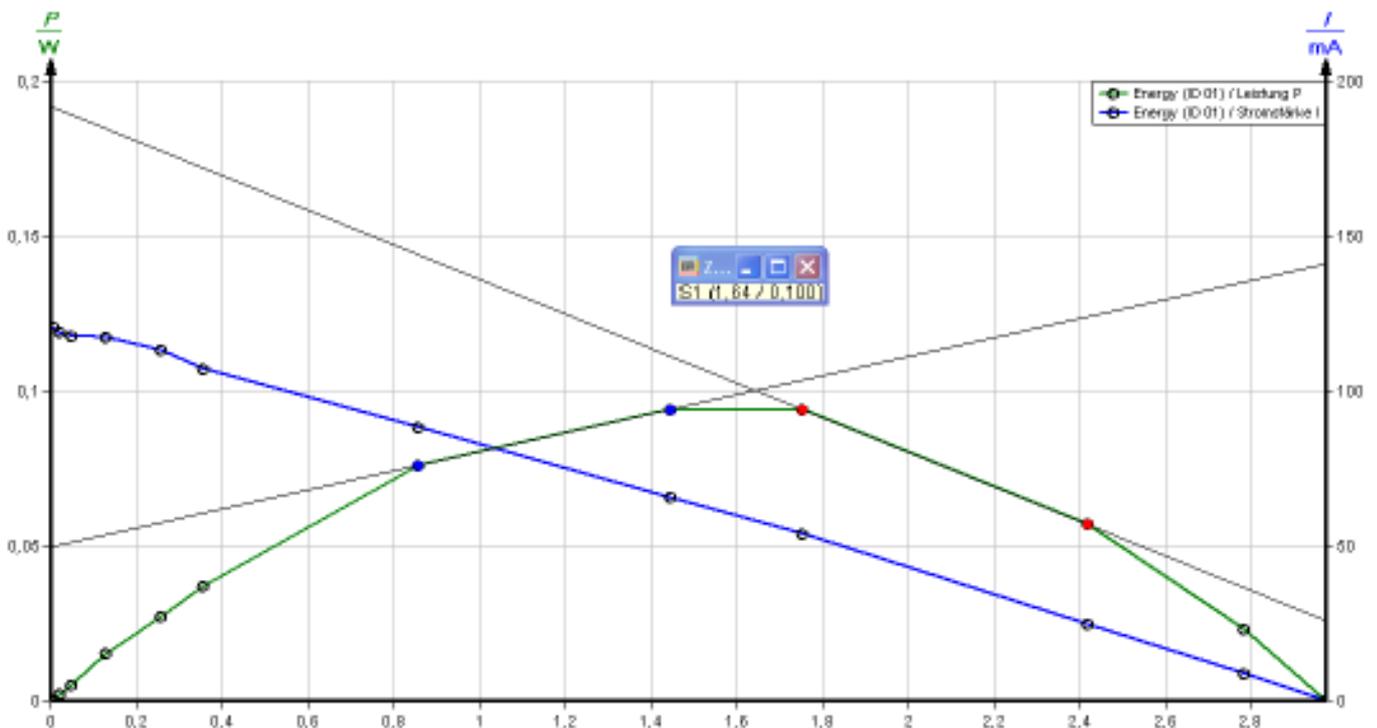


Abb. 5: Kennlinien bei einem Abstand des Windgenerators von 15 cm

Hinweise

Korrespondenz Schülerversuche TESS EN

5.8 Strom-Spannungs-Kennlinie eines Windrades (P9515800)

Für die Durchführung des Versuches ohne PC werden die in der Materialliste (Seite 1) aufgeführten und mit (**) gekennzeichneten Artikel durch Folgende ersetzt:

Versuch P9505563

1	Cobra4 Mobile-Link	12620-00
1	Cobra4 Display-Connect, Set aus Sender und Empfänger	12623-88
1	Halter für Handmessgeräte	02161-00
1	Digitale Großanzeige	07157-93
1	Cobra4 Sensor-Unit Energy	12656-00

Versuch P9505500

1	Arbeits- und Leistungsmessgerät	13715-93
---	---------------------------------	----------