

Experiment zur Bestimmung der Leistung und des Wirkungsgrades einer Windenergieanlage

Einführung

Windenergieanlagen nutzen die Energie des Windes zur Stromerzeugung. Die kinematische Energie des Windes, welche von den Rotorblättern eingefangen wird, wird in mechanische Rotationsenergie umgewandelt und durch den Generator wiederum in elektrische Energie umgewandelt.

Der Wirkungsgrad eines Windrades, der als Leistungsbeiwert c_P genannt wird, ist das Verhältnis aus genutzter und zugeführter Leistung: $c_P = \frac{P_{Rotor}}{P_{Wind}}$; c_P kann maximal den Wert 0,593 nehmen.

Beim Gesamtwirkungsgrad η einer Windenergieanlage wird die abgegebene elektrische Leistung als genutzte Energie eingesetzt:

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_{Wind}} = \frac{c_P \cdot P_{el}}{P_{Rotor}} = c_P \cdot \eta_1$$

Leistungsmessungen an Windenergieanlagen

Um Leistungsbeiwert c_P zu bestimmen braucht man aufwändige Experimentieranlage zur Messung der Windgeschwindigkeit. Dazu gehört Windkanal, Prandtl-Staurohr und Schrägrohrmanometer. Daher werden wir nur eine qualitative Einschätzung des Leistungsbeiwerts in Abhängigkeit von den Stufen eines Gebläses (eines Ventilators). Die mechanische Leistung des Rotors wird aus dem Drehmoment M und Kreisfrequenz ω errechnet:

$$P_{Rotor} = M \cdot \omega = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot f$$

Die abgegebene elektrische Leistung P_{el} ergibt sich aus dem Produkt von elektrischer Stromstärke I und Spannung U , die am unter Last laufenden Generator gemessen wird.

$$P_{el} = U \cdot I$$

Benötigte Geräte:

130-Gleichstrom-Motor, Propeller, Amperemeter, Voltmeter, Potentiometer, Hall-Sensor, zwei Neodym-Magneten und Arduino Uno

Einführung in das Messverfahren

Wenn kein elektrischer Verbraucher an den Generator angeschlossen ist, kann kein Strom fließen, und dem Generator keine Leistung entnommen wird.

Wenn der Generator kurzgeschlossen wird, induziert er einen sehr großen Strom. Ein hohes Generatormoment bewirkt. Der Rotor wird gestoppt. Zwischen diesen Extremen liegt der übliche Betriebszustand bei dem der Generator an einen regelbaren elektrischen Verbraucher angeschlossen ist und so eine steuerbare Stromproduktion stattfindet.

Zur Bestimmung der mechanischen Leistung des Rotors werden zwei sehr kleine Neodym-Magneten an einem Flügel des Rotors befestigt. Ein Hall-Sensor misst automatisiert die

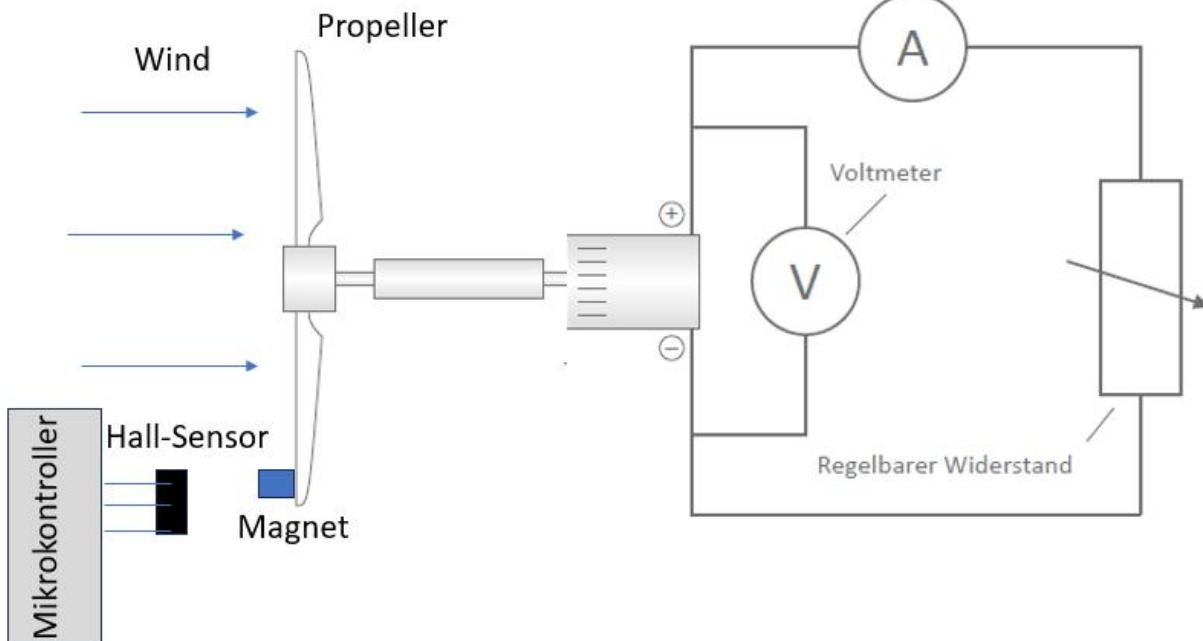


Abb.1: Schaltplan eines Windrades mit Generator zur Bestimmung der elektrischen Leistung

Periode T der Drehbewegung des Propellers mithilfe eines Programm-Codes am Arduino Uno. Die Frequenz $f = 1/T$ wird in die Formel der Leistung des Rotors eingesetzt.

Der Drehmoment M wird dem Diagramm zur Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie entnommen:

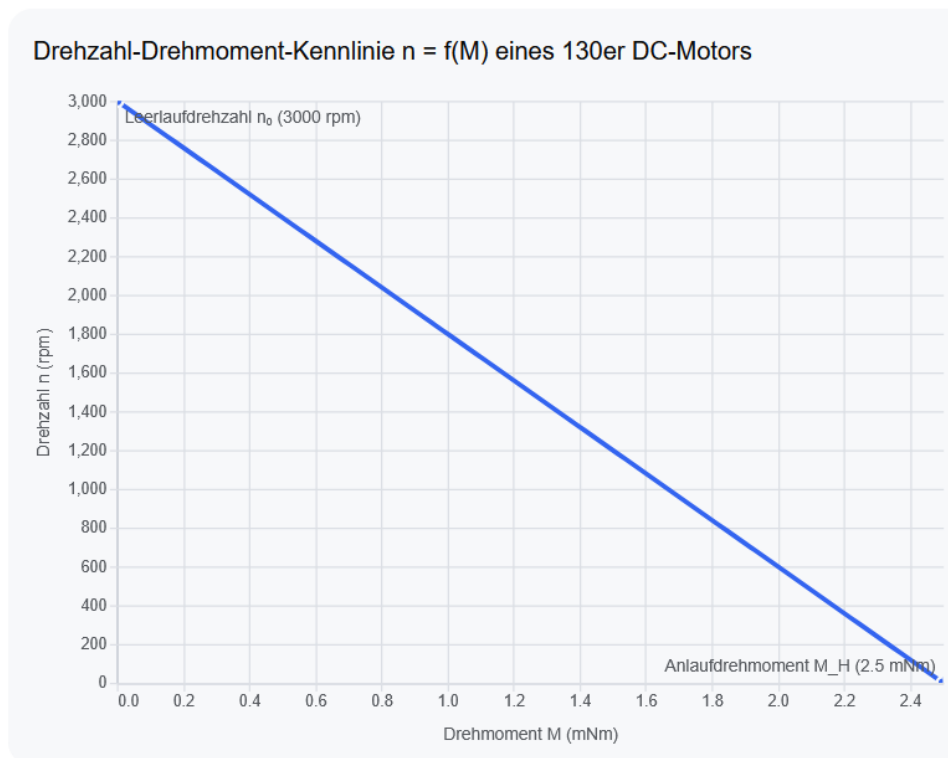


Abb2.: Die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie eines 130-Gleichstrom-Motors bei 3V
(Datenblatt des 130-Gleichstrom-Motors)

Die Abb.2 zeigt, dass wenn das abgeforderte Drehmoment steigt, sinkt die Drehzahl in Umdrehungen pro Minute proportional ab. Die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie startet links oben bei der maximalen *Leerlaufdrehzahl* (n_0) und fällt linear ab, bis sie rechts unten beim *Blockierdrehmoment* (M_H) den Nullpunkt der Drehzahl erreicht.

Die Drehzahl n in rpm lässt sich aus der Frequenz f bestimmen:

$$n = f \cdot 60$$

Eine Möglichkeit, das Drehmoment zu bestimmen ist über die Gleichung der linearen Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie $n(M)$:

$$n(M) = -\frac{n_0}{M_S} \cdot M + n_0$$

$$n(M) = -\frac{3000}{2,5} \cdot M + 3000$$

Diese Formel wird nach dem Drehmoment M umgestellt:

$$M = 2,5 - 2,5 \cdot \frac{n}{3000}$$

Das Ergebnis entspricht dem Drehmoment M in g·cm. Eine Umrechnung in mN·m ist notwendig:

$$1 \text{ g} \cdot \text{cm} \approx 0,0981 \text{ mN} \cdot \text{m}$$

Durchführung

- Bauen Sie den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Dabei wird das Amperemeter in Reihen mit dem Potentiometer und mit der Windenergieanlage angeschlossen.
- Das Voltmeter wird in Parallel am Potentiometer gelegt.
- Stellen Sie einen Abstand von 20cm zwischen dem Ventilator und Windrad ein.
- Der Hall-Sensor wird an den Arduino angeschlossen, indem man die Stromversorgung (VCC an 3.3V und GND an Masse) sowie die Signalleitung an den Pin 7 verbindet.
- Das .ino-Programm zur Messung der Periode einer Drehung der Neodym-Magneten wird ausgeführt.
- Die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie in der Abb.2 wird verwendet um Drehmoment M des Rotors bei der gemessenen Frequenz zu bestimmen.
- Stellen Sie sinnvolle Werte des Widerstandes des Potentiometers und lesen Sie die Stromstärke I am Amperemeter und die Spannung U am Voltmeter ab.
- Berechnen Sie die elektrische Leistung P_{el} .
- Tragen Sie die Messwerte in die folgende Tabelle ein.
- Vergrößern Sie den Abstand auf 30cm und führen Sie dieselben Messungen durch. Tragen Sie Messwerte in eine ähnliche Tabelle ein.
- Berechnen Sie den Wirkungsgrad des Systems Rotor-Generator für verschiedene Windgeschwindigkeiten, Windrichtungen und Rotorblätter.

Messdaten

Gebläse auf 1.Stufe;

I in mA	U in mV	P _{el} in mW	T in ms	f in s ⁻¹	M in mN·m	P _{mec} in mW	η ₁

Gebläse auf 2.Stufe;

I in mA	U in mV	P _{el} in mW	T in ms	f in s ⁻¹	M in mN·m	P _{mec} in mW	η ₁

Interpretieren Sie die Messdaten. Welche Zusammenhänge haben Sie entdeckt.