



Station 1a: Messungen an der Fotovoltaikanlage des Ratsgymnasiums

1a

- Starte die Datei „Sunny Data“. Bei angeschlossenem Modul zur Erfassung der Daten werden die aktuell erreichten elektrischen Größen angezeigt.

Aufgabe 1: Fülle die Lücken aus.

Die Fotovoltaikanlage wandelt die *Sonnenenergie* in *elektrische* Energie um. Solarzellen können aber nur Gleichstrom erzeugen.

Die erzeugte Spannung wird mit einem so genannten Wechselrichter in eine sinusförmige Wechselspannung umgewandelt, damit die elektrische Energie ins Netz eingespeist werden kann.

Erzeugte Gleichspannung: $U = 160 \text{ V}$

Erzeugter Gleichstrom: $I = 4,3 \text{ A}$

Erzeugte Leistung: $P = 688 \text{ W}$

Erzeugte Wechselspannung: $U = 225 \text{ V}$

Erzeugter Wechselstrom: $I = 3,06 \text{ A}$

Erzeugte Leistung: $P = 688 \text{ W}$

Das sind ca. *69%* der maximal erzeugten Leistung in Höhe von 1000 W.

Ursachen der relativ geringen Leistung:

– *Bewölkung, Luftverschmutzung*

– *Die Einstrahlung erfolgt nicht senkrecht (ungünstige Jahres- und/oder Tageszeit)*

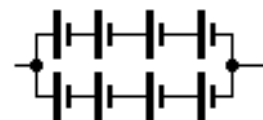
Die Stromstärke „vor“ dem Wechselrichter ist größer als „hinter“ ihm, weil

die Wechselspannung größer als die von den Solarmodulen erzeugte Gleichspannung ist, die Wechselstromleistung aber genauso groß wie die Gleichstromleistung (es gilt $I = P/U$)

- Fotovoltaikanlagen bestehen aus Solarmodulen. Zu einem Solarmodul werden zunächst Solarzellen in Reihe geschaltet, um eine große Spannung erzeugen zu können. Damit die Leitung groß genug ist, müssen mehrere in Reihe geschaltete Zellen parallel geschaltet werden. Dadurch wird die Stromstärke vervielfacht.

Aufgabe 2: In der Abbildung erzeugt *eine* Solarzelle maximal die Spannung 0,5V und die Stromstärke 1 A. Mit der Schaltung kann daher die Spannung $U = 2 \text{ V}$, die Stromstärke

$I = 2 \text{ A}$ und die elektrische Leistung $P = 4 \text{ W}$ erzeugt werden.



Bei der Anlage des Ratsgymnasiums werden unter günstigen Bedingungen die Spannung 168V und die Stromstärke 6A. erreicht. Dazu müssen (mindestens) *336* Solarzellen in Reihe und 6 dieser Reihenschaltungen parallel geschaltet werden.

Aufgabe 3: Die Fotovoltaikanlage des Ratsgymnasiums besteht aus Solarmodulen mit der Gesamtfläche $A = 11 \text{ m}^2$. Bei optimalen Wetterverhältnissen beträgt die genutzte elektrische Leistung bis zu 1000 Watt, die pro Sekunde genutzte Energie 1000 Joule.

Die Leistungsdichte der Sonnenstrahlung beträgt außerhalb der Atmosphäre 1368 W/m^2 , am Boden

je nach Luftverschmutzung etc. ca. $600 - 800 \text{ W/m}^2$. Berechne aus den Angaben den Wirkungsgrad η der Solarzellen (Quotient aus Nutzenergie und zugeführter Energie).

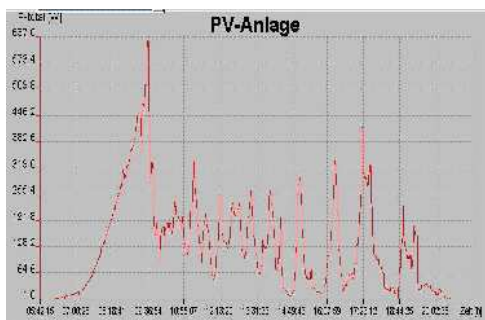
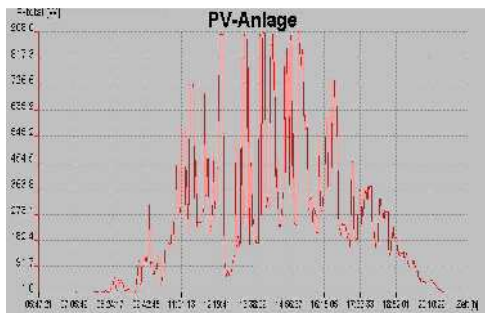
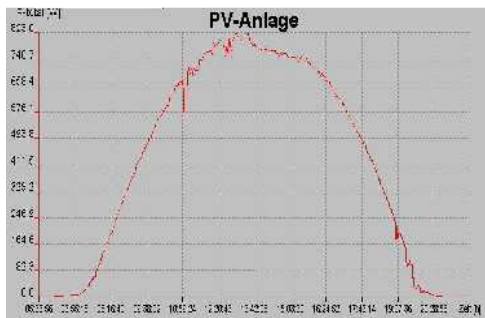
$$\eta = \frac{1000 \text{ J}}{800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 11 \text{ m}^2} = 11,3\% \quad \text{bzw.} \quad \eta = \frac{1000 \text{ J}}{600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 11 \text{ m}^2} = 15,2\%, \text{ d.h. } \eta \text{ liegt}$$

zwischen 11% und 15 %.

- Die Abbildungen zeigen den zeitlichen Verlauf der elektrischen Leistung an verschiedenen Tagen.

Aufgabe 4: Beschreibe und deute jeweils den Verlauf.

1a



Zu Abb. 1 gehört ein sehr sonniger Tag mit durchgehend klarem Himmel (vermutlich im späten Frühling, da die Maximalleistung noch deutlich unter 1000 W liegt).

Zu Abb. 2 gehört ein Sommertag mit größerer Maximalleistung als in Abb. 1, aber es schieben sich den ganzen Tag immer wieder Wolken vor die Solarmodule.

Zu Abb. 3 gehört ein weniger schöner Tag, an dem die Sonne vormittags bis 9.37 Uhr die Module bestrahlt, anschließend aber nur selten und weniger intensiv (oder unter ungünstigem Winkel) zwischen den Wolken hindurchstrahlt.



Station 1b: Abhängigkeit der Kurzschlussstromstärke vom Einfallswinkel des Lichts

1b

- Schließe die beiden Solarzellen mit dem Kurzschlussstecker in Reihe und stecke die Platte in den Klemmhalter.
- Schließe das Digitalmultimeter direkt an die Solarzellen an (Messbereich zunächst 2 A=; Anschlüsse A und COM). Sie sind dann über das Messgerät kurzgeschlossen (der Innenwiderstand des Multimeters ist bei Messungen der Stromstärke extrem klein).
- Stelle den Halter zunächst **so** auf die Winkelskala, dass der Halogenscheinwerfer die Solarzellen senkrecht bestrahlt. Der Einfallswinkel beträgt dann 0° .
- Die Kurzschlussstromstärke ist ein Maß für die umgewandelte Energie. Miss sie bei den in der Tabelle angegebenen Winkeln und trage sie ein.
- Rechne die Kurzschlussströme in Prozent um. Die maximale Kurzschlussstromstärke soll 100% betragen.

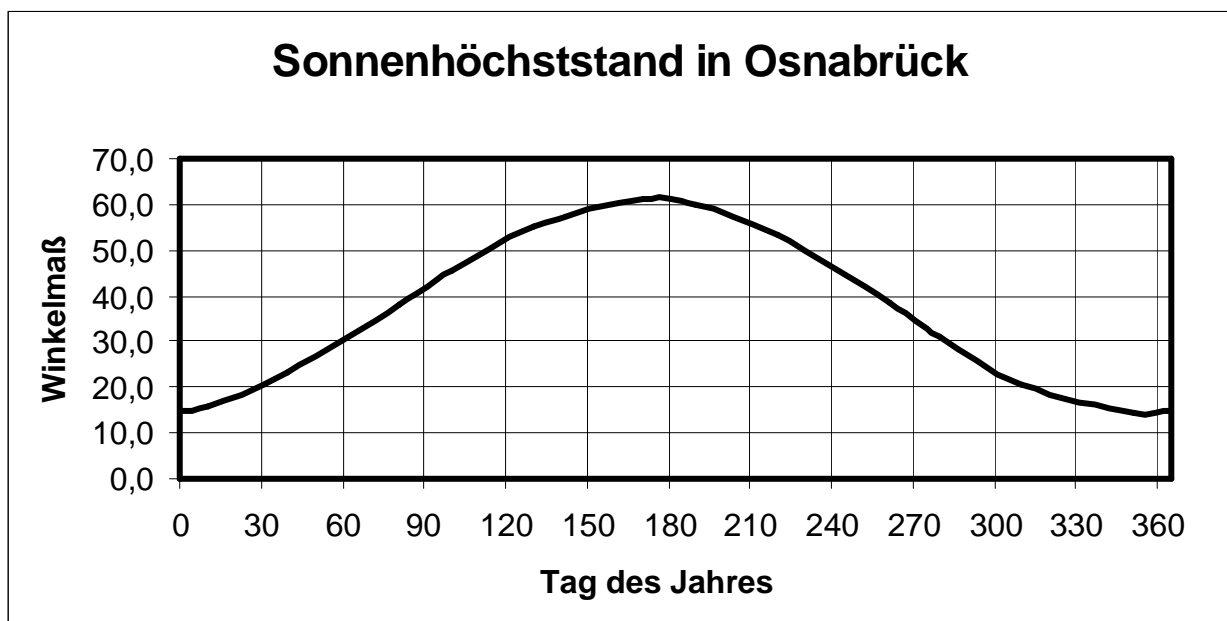
Aufgabe 1: Stelle die Prozentsätze über dem Winkelmaß graphisch dar.

Winkelmaß α	0°	15°	30°	45°	60°	75°
I in mA	23,0	21,0	17,5	12,3	6,5	2,4
I in %	100	91	76	53	28	10

- Die Abbildung stellt dar, wie hoch die Sonne über Osnabrück an den 365 Tagen des Jahres maximal steht. Dazu wurde der Winkel zwischen den Sonnenstrahlen und der Horizontalen gemessen.

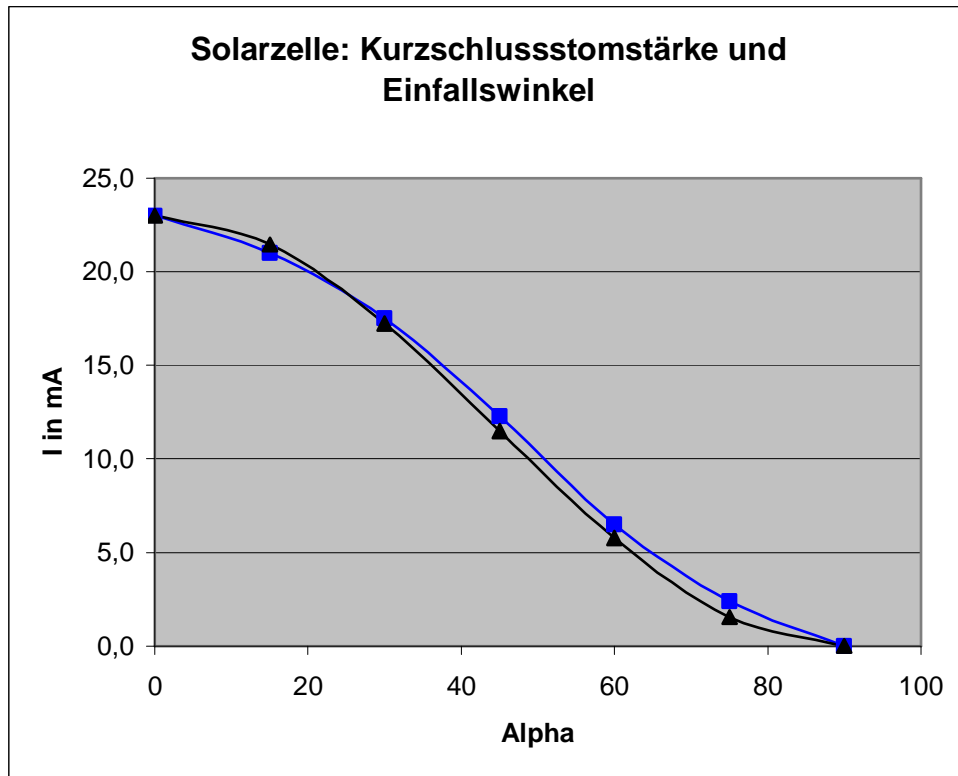
Aufgabe 2: Unter welchem Winkel zur Horizontalen (geschätzt) würdest du Solarzellen anbringen? Begründe die Antwort ausführlich, argumentiere auch mit den aufgenommenen Messwerten!

Aufgabe 3: Wie kann man es erreichen, dass eine Fotovoltaikanlage die Sonnenenergie optimal nutzt?



Zusatzaufgabe: Nach der Theorie ist $I(\alpha) = I(0^\circ) \cdot [\cos(\alpha)]^2$. Vergleiche Theorie und Messreihe.

Diagramm zu Aufgabe 1 und Zusatzaufgabe



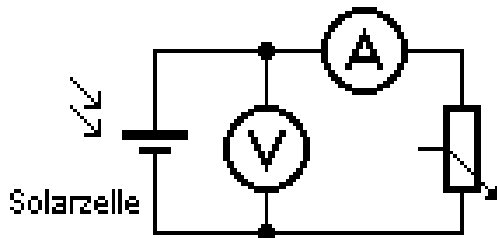
Aufgabe 2: Optimal sind ca. 38° , da die maximale Abweichung der Strahlungsrichtung von der Senkrechten 23° beträgt und die Anlage optimal genutzt wird.

Aufgabe 3: Eine automatische Regelung, durch die die Solarzellen immer senkrecht zur Sonnenstrahlung gedreht wird, führt zu einer optimalen Nutzung.



Station 1c: Kennlinien von Solarzellen

- Schließe die beiden Solarzellen mit dem Kurzschlussstecker in Reihe und stecke die Platte in den Klemmhalter.
- Schalte Solarzelle, regelbaren Widerstand und Amperemeter in Reihe (Digitalmultimeter, Anschlüsse COM und A, Messbereich zunächst 2A=).
- Schließe das Voltmeter parallel zur Solarzelle ((Digitalmultimeter, Anschlüsse COM und V/ Ω , Messbereich zunächst 2A=).
- Stecke die Platte mit den Solarzellen in einen Klemmhalter und stelle sie **so** im Abstand von ca. 30 cm vor den Halogenscheinwerfer, dass sie senkrecht bestrahlt wird.
Abstand und Ausrichtung dürfen während der Aufnahme der Messreihe nicht verändert werden!
- Variiere nun den Widerstand und miss jeweils Spannung und Stromstärke. Schließe für die letzte Messung den Widerstand kurz.



Wähle die Widerstände 150 Ω , 100 Ω , 80 Ω , 60 Ω , 40 Ω , 30 Ω , 20 Ω , 10 Ω , 5 Ω und 0 Ω !

Aufgabe 1: Berechne die erzeugte elektrische Leistung ($P = U \cdot I$) und den Widerstand ($R = U/I$). Beachte, dass zum angeschlossenen Widerstand der „Innenwiderstand“ der Solarzelle hinzukommt, so dass der Gesamtwiderstand *berechnet* werden muss.

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

Aufgabe 2: Stelle die Stromstärke I über der von der Solarzelle erzeugten Spannung U dar. Die Abbildung stellt die **Ausgangskennlinie** dar.

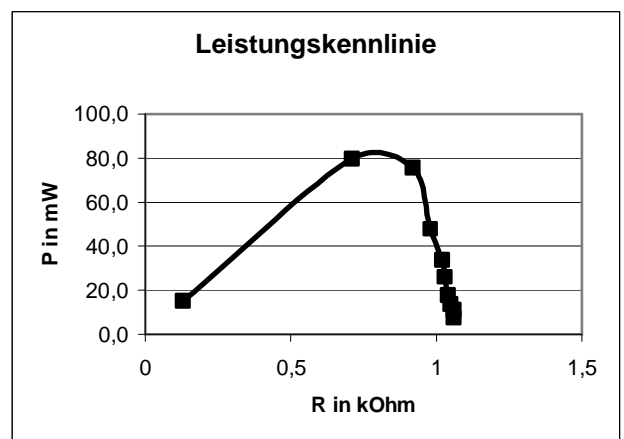
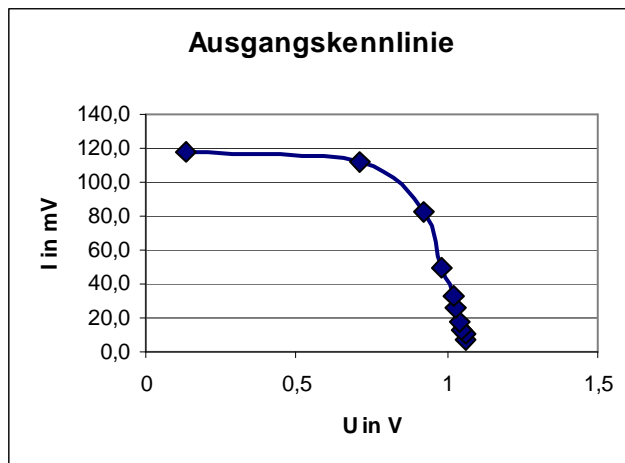
Aufgabe 3: Wähle drei verschiedene Punkte der Ausgangskennlinie und zeichne (dünn) Parallelen zu den Achsen durch sie hindurch. Du erhältst drei Rechtecke, deren Flächeninhalte jeweils die elektrische Leistung $P = U \cdot I$ darstellen. Was stellst du beim Betrachten der Rechteckflächen fest?

Aufgabe 4: Stelle die Leistung P über der Spannung U graphisch dar. Die Abbildung stellt die **Leistungskennlinie** dar. Wie groß ist der Widerstand, bei dem die Solarzelle optimal Sonnenenergie in elektrische Energie umwandelt?

Zusatzaufgabe: Schließe statt des Widerstands einen Motor an die Solarzelle an und bremse ihn mit der Hand. Beobachte die Messgeräte. Beschreibe und erkläre ihr Verhalten. (Tipp: Lenz'sche Regel!)

U in V	I in mA	R in kOhm	P in mW
1,06	7,0	0,151	7,4
1,06	10,5	0,101	11,1
1,05	13,1	0,080	13,8
1,04	17,3	0,060	18,0
1,03	25,4	0,041	26,2
1,02	33,2	0,031	33,9
0,98	48,9	0,020	47,9
0,92	82,1	0,011	75,5
0,71	112,3	0,006	79,7
0,13	117,6	0,001	15,3

1c



Zu 3. und 4.: Die Rechteckflächen $U \cdot I$, d.h. die Leistungen sind unterschiedlich groß.

Die maximale Leistung haben die Solarzellen, wenn der angeschlossene Widerstand ca. 5Ω beträgt.

(Auch für z.B. Fahrraddynamos gilt, dass bei zunehmender Belastung die Stromstärke steigt, aber das Treten so schwer wird, dass man langsamer tritt und die Spannung sinkt. Ähnlich verhalten sich auch Batterien. Es gibt jeweils eine optimale Belastung.)

Zusatzaufgabe: Wenn der Motor sich schnell dreht, wird in seiner Spule eine große Spannung U_{ind} induziert, die der von außen angelegten Spannung U_0 entgegengesetzt gerichtet ist. $U_{ges} = U_0 - U_{ind}$ ist dann sehr klein und die Stromstärke $I = U_{ges}/R$ ebenfalls.

Bei mechanischer Belastung des Motors dreht er sich langsamer, U_{ind} wird kleiner, U_{ges} größer und I ebenfalls (der Motor „widersetzt“ sich der Belastung)!

Benzinmotoren verhalten sich anders!



Station 1d: Messung der Solarkonstanten

1d

- Außerhalb der Erdatmosphäre wird jede Fläche $A = 1 \text{ m}^2$, die senkrecht zur Sonnenstrahlung steht, in der Zeit $t = 1 \text{ s}$ von der Energie $W = 1368 \text{ J}$ durchsetzt.
- Die Strahlungsleistung beträgt also $P = W/t = 1368 \text{ W}$, die Leistungsdichte $S = P/A = 1368 \text{ W/m}^2$. Dieser Wert heißt **Solarkonstante**.
- (Eine anspruchsvolle, aber nachvollziehbare Herleitung des angegebenen Wertes findest du unter <http://www.schulphysik.de/java/physlet/planck/stefan.html>.)
- Der Einfluss der Atmosphäre führt zu einem deutlich kleineren Wert, der von dir gemessen werden soll.

- Halte den Aluminiumzylinder $t = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$ lang in die Sonne (senkrecht zur Sonnenstrahlung) und miss die Temperaturerhöhung.

$$\Delta T = 2,1 \text{ K.}$$

- Miss die Masse des Zylinders.

$$m = 120 \text{ g}$$

•

- Miss den Radius der geschwärzten Zylinderfläche.

$$r = 0,02 \text{ m}$$

- Berechne die Kreisfläche.

$$A = \pi \cdot r^2 = 0,00126 \text{ m}^2$$

- Berechne mit der Gleichung $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ (dabei ist $c = 0,9 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$ die spezifische Wärmekapazität von Aluminium) die vom Zylinder in 5 Minuten aufgenommene Wärme.

$$Q = 226,8 \text{ J}$$

- Berechne aus den Ergebnissen die Leistungsdichte der Sonnenstrahlung.

$$S = Q/(A \cdot t) = 600 \text{ W/m}^2$$

- Vergleiche den Wert mit der Solarkonstanten und gib Gründe für die Abweichung an.

$600 / 1368 \cdot 100\% = 44\%$ (Absorption durch die Atmosphäre, Abstrahlung von Wärme des Zylinders an die Umgebung)

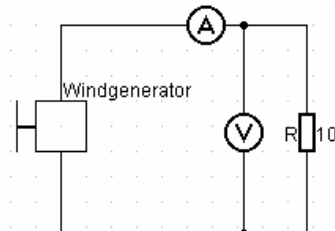


Station 2a: Elektrische Energie aus dem Wind

- Eine so genannte Windkraftanlage wandelt die Energie der bewegten Luft (Wind) in elektrische Energie um.
- An dieser Lernstation soll der Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit v und der elektrischen Leistung P untersucht werden.

Versuchsaufbau:

- Baue die abgebildete Schaltung auf (Amperemeter: Messbereich zunächst 2A=, Anschlüsse COM und A; Voltmeter: Messbereich 20V=, Anschlüsse COM und V/ Ω).
- Wähle als Abstand a zwischen dem Fön und dem „Windgenerator“ $a=25\text{cm}$.
- Stelle mit dem Drehregler die maximale Windgeschwindigkeit v ein.
- Miss die vom Generator erzeugte Spannung U und die Stromstärke I .
- Miss die Windgeschwindigkeit v mit dem Windgeschwindigkeitsmessgerät (Anemometer).
- Rechne sie in die Einheit m/s um (v in km/h : 3,6 ergibt v in m/s).
- Wiederhole den Versuch mit 3 oder 4 anderen Windgeschwindigkeiten zwischen 15 km/h und 30 km/h.



v in km/h	15,1	20,2	24,8	29,9	v in km/h
v in m/s	4,2	5,6	6,9	8,3	v in m/s
U in V	0,12	0,21	0,37	0,46	U in V
I in mA	1,2	21,0	37,0	46,0	I in mA
P in mW	1,44	4,4	13,7	21,2	P in mW

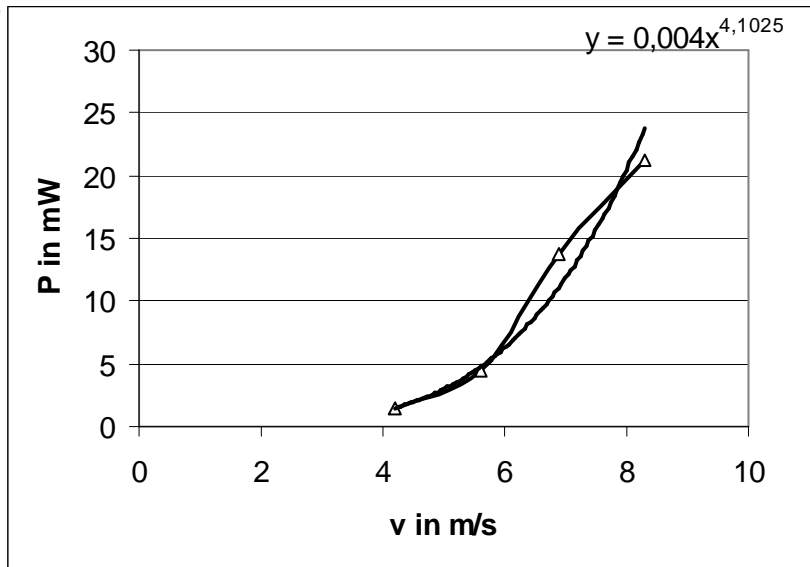
Aufgaben:

1. Trage die Ergebnisse der Messung in das Diagramm auf der folgenden Seite ein.

2. Erläutere an Hand deiner Ergebnisse, warum sich Windenergieanlagen nur für Orte eignen, an denen die mittlere Windgeschwindigkeit v einen Mindestwert überschreitet.
3. Ermittle mit Hilfe deines Taschenrechners eine Ausgleichskurve, die zu den Messwerten passt.
4. Üblicherweise stellt man fest, dass P proportional zu v^3 ist. Vergleiche diesen Zusammenhang mit deinem Ergebnis von Aufgabe 4.

2a

Zu 1.:



Zu 2.: Bei zu geringen Windgeschwindigkeiten wird entweder gar keine oder eine zu geringe elektrische Leistung erzeugt. Die Anlage würde sich nicht rentieren.

Zu 3.: $P = 0,004mW \cdot v^{4,1}$

Zu 4.: Der Exponent ist zu groß. Außerdem sieht man beim Vergleich der Messkurve mit der Ausgleichskurve, dass teilweise große Abweichungen vorliegen.

Ursache der Abweichungen ist vor allem die ungenaue Messung der Windgeschwindigkeit.

Hilfestellung:

So kann man mit dem Taschenrechner TI83 eine Ausgleichskurve zeichnen und die Funktionsgleichung erhalten:

1. Gib die Werte von v und P in die Listen **L1** und **L2** ein.
2. Die Messwerte lassen sich mit **STAT PLOT** graphisch darstellen. Dazu muss aber das Fenster (**WINDOW**) passend eingestellt sein.
3. Mit **STAT CALC A (PwrReg)** kann man nun die Ausgleichskurve bestimmen lassen, indem man nach Auswahl von PwrReg folgendes eingibt bzw. auswählt:
L1, L2, VARS Y-VARS FUNCTION Y1 und zum Abschluss die **ENTER**-Taste drückt.
4. In der Graphik wird die Ausgleichskurve nun eingezeichnet und in Y1 ist der zugehörige Funktionsterm gespeichert.