



## Schulbiologiezentrum Hannover

Vinnhorster Weg 2, 30419 Hannover

Tel: 0511-168-47665/7

Fax: 0511-168-47352

Email : schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de

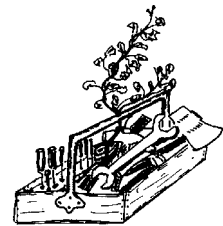
Hannover

### Unterrichtsprojekte Natur und Technik

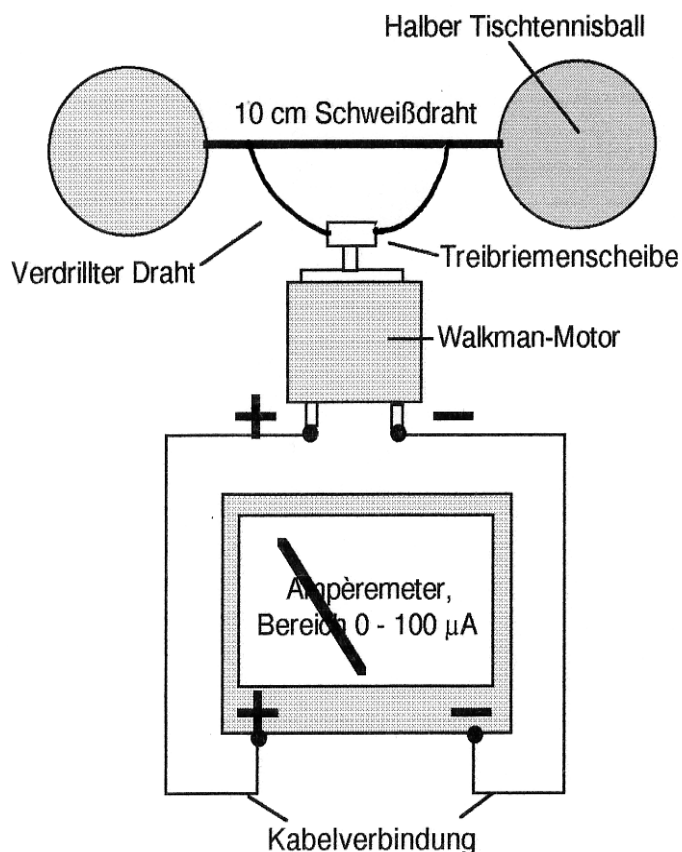
## 19.7

Zum Selbstbau

für Arbeitsgemeinschaften und Projektwochen:



### Ein Windmessgerät aus einfachen Materialien selbst gebaut Windgeschwindigkeit und nutzbare Energie des Winde



Windenergie ist eine saubere und regenerative, d.h. erneuerbare Energiequelle. Treibhauseffekte durch CO<sub>2</sub>-Emission, Ozon durch NO<sub>x</sub>-Ausstoß, radioaktive Belastung durch Atomkraftwerke - diese schwerwiegenden Begleiterscheinungen unserer Energiefressenden Zivilisation spielen bei der Gewinnung von Windenergie keine Rolle.

Wind ist die in Luftbewegung umgewandelte Kraft der Sonne, der Druckausgleich zwischen unterschiedlich erwärmten Zonen unseres Planeten. Sonnenenergie ist über Millionen, wenn nicht Milliarden Jahre hinweg gerechnet unerschöpflich und dabei ökologisch neutral.

Windgeneratoren zum Selbstbau haben wir in den Arbeitshilfen **19.1** und **19.4** vorgestellt, der in unserem „Energiegarten“ aufgestellte 72 Watt Rotor ist in AH **19.5** beschrieben.

Welche Kraft steckt im Wind? Entscheidend ist natürlich die Windgeschwindigkeit. Aus ihr lässt sich die Energie bestimmen, die potentiell auf eine Fläche auftrifft. Ein Teil dieser Energie ist zur Stromgewinnung einsetzbar.

Die Geschwindigkeit des Windes kann man mit einem zwei- oder vierteiligen Schalenanemometer messen, das sich verhältnismäßig leicht (ab etwa 6. Klasse) und billig selbst herstellen lässt.

### Benötigt werden:

- 1 oder 2 Tischtennisbälle (je nachdem, ob ein zwei- oder vierschaliges Gerät gebaut wird)
- 1 oder 2mal ca. 10 cm Schweißdraht (oder ein ähnlicher lötbarer Metallstab)
- 2mal ca. 5 cm lötfähiger Metalldraht (Durchmesser 1 mm)
- 1 Gleichstrom-Kleinmotor, z.B. aus einem Walkman
- 1 Mikro-Ampèremeter, Kabel

### So wird es gemacht:

Die Tischtennisbälle werden mit einer Laubsäge oder einem sehr scharfen Messer (Teppichschneider) in je zwei Halbschalen zerlegt. Diese werden vorsichtig je zweimal so durchbohrt, dass sich der Metallstab durchschieben lässt (mit Klebstoff fixieren!).

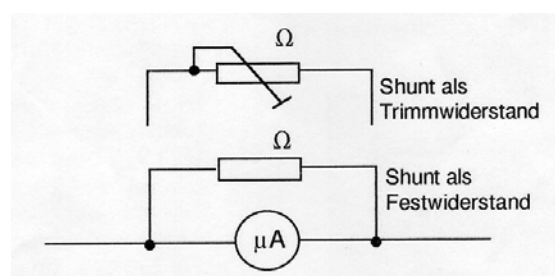
Der ausgebaute Walkman-Motor besitzt eine kleine Treibriemenscheibe. Zwei etwa 5 cm lange, kräftige und lötfähige (vorher prüfen!) Metalldrähte werden parallel genommen, um die Riemenscheibe gelegt und an den beiden Enden gleichzeitig gegeneinander verdrillt. Die beiden Drähte müssen die Riemenscheibe fest umschließen. Dann werden die Windungen mit Lötzinn fixiert, die Enden hochgebogen und mit dem Träger der Tischtennisballhälften verlötet. Die Anschlüsse des Motors verbinden wir mit dem Messgerät. Dabei ist auf die richtige Polung zu achten, sonst schlägt das Messwerk zur verkehrten Richtung aus (sollte das passieren, nur die Anschlüsse ändern!).

Der Motor sollte in eine bündig abschließende Röhre gesetzt werden, die als Handgriff verwendet werden kann.

Bläst der Wind in die Halbschalen des Windmessgerätes hinein, so dreht sich die Welle des Motors, welche dabei einen geringen Strom erzeugt. Am angeschlossenen Messgerät erscheint eine Stromstärke, die in direkt proportionalem Verhältnis zur Windgeschwindigkeit steht. Die Skala des Messgeräts lässt sich mit Hilfe eines kommerziellen Schalen-Anemometers eichen. Ein solches Gerät kann im Schulbiologiezentrum Hannover entliehen werden (Leih-Katalog Nr. 1.6.22).

Die Schutzhaube des Ampere- oder Voltmeters wird vorsichtig mit einem Schraubenzieher abgewinkelt. Auf die Skala wird ein passendes Stück weißes Papier oder Klebefolie geklebt und darauf eine neue Skala geschrieben.

Sollte der Zeiger zu weit ausschlagen, ist entweder ein Gerät mit einem größeren Messbereich zu verwenden oder - und das ist die einfachere Lösung - es wird ein Teil des Stroms am Messgerät vorbeigeleitet. Dies geschieht durch einen parallel geschalteten Widerstand ("Shunt"). Dazu wird ein passender Kohleschicht-Widerstand (Bastelkiste oder aus alten Platinen auslöten!) oder - besser - ein einstellbarer Trimmwiderstand einfach über die Anschlüsse des Messgeräts gelötet. Der Widerstandswert hängt vom Walkman-Motor und vom Messwerk ab und muss durch Ausprobieren ermittelt werden.



### Die Beaufortskala der Windstärken

Die international gebräuchliche Skala, benannt nach dem englischen Admiral Sir Francis Beaufort, umfasst heutzutage 17 Stufen. Zu empfehlen ist, mit Schülern die Auswirkungen des Windes zu beobachten und anhand der Skala die Windgeschwindigkeit abzuschätzen. Dabei sollte die dritte Spalte der unten abgedruckten Tabelle um eigene Beobachtungen erweitert werden.

Um ein Gefühl für die Geschwindigkeit zu bekommen, sollten bestimmte Strecken mit der Stoppuhr in der Hand abgelaufen werden. Die Schüler können dann ihre Geschwindigkeit in Metern/Sekunde berechnen. Der beim Laufen entgegenkommende scheinbare Gegenwind gibt einen subjektiven Wertmaßstab für das spätere Einschätzen der Windgeschwindigkeit nach eigenem Gefühl.

Da die Einheit km/h populärer und für Schüler vorstellbarer ist als m/s sollten die Werte umgerechnet werden.

Beaufort-Grad	Bezeichnung	Auswirkungen des Windes im Binnenland	Wind m/s
0	still	Windstille, Rauch steigt gerade empor	0,0 – 0,2
1	leiser Zug	Windrichtung angezeigt nur durch Zug des Rauches, aber nicht durch Windfahne	0,3 – 1,5
2	leichte Brise	Wind am Gesicht fühlbar, Blätter säuseln, Windfahne bewegt sich	1,6 – 3,3
3	schwache Brise	Blätter und dünne Zweige bewegen sich, Wind streckt einen Wimpel	3,4 – 5,4
4	mäßige Brise	hebt Staub und loses Papier, bewegt Zweige und dünnere Äste	5,5 – 7,9
5	frische Brise	kleinere Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumköpfe auf Seen	8,0 – 10,7
6	starker Wind	starke Äste in Bewegung, Pfeifen in Freilandleitungen, Regenschirme schwierig zu benutzen	10,8 – 13,8
7	steifer Wind	ganze Bäume in Bewegung, fühlbare Hemmung beim Gehen gegen den Wind	13,9 – 17,1
8	stürmischer Wind	bricht Zweige von den Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien	17,2 – 20,7
9	Sturm	kleinere Schäden an Häusern (Rauchhauben und Dachziegel werden abgeworfen)	20,8 – 24,4
10	schwerer Sturm	entwurzelt Bäume, bedeutende Schäden an Häusern	24,5 – 28,4
11	orkanartiger Sturm	verbreitete Sturmschäden (sehr selten im Binnenland)	28,5 – 32,6
12	Orkan	schwerste Verwüstungen	32,7 – 36,9
13			37,0 – 41,4
14			41,5 – 46,1
15			46,2 – 50,9
16			51,0 – 56,0
17			>56,0

aus Knaur's Universalexikon in 15 Bänden

### Die Energie des Windes

Die theoretische Windleistung errechnet sich nach der Formel

$$P_{th} = 1,22 \text{ kg/m}^2 * A * v^3$$

wobei **1,22 kg/m<sup>2</sup>** das Luftgewicht (also die Masse) pro Kubikmeter bei "normalem" Luftdruck und "normaler" Temperatur ist.

**A** ist die senkrecht zum Wind stehende und von ihm durchströmte Fläche in Quadratmetern und **v** die Windgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde (m/s).

Als unmittelbares Ergebnis erkennen wir, dass die theoretische Windleistung mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit ansteigt. Bei 5 m/sec Windgeschwindigkeit ergeben sich rechnerisch 76 W auf den Quadratmeter angeströmter Fläche, bei einer Geschwindigkeit von 20 m/sec sind es bereits 4880 W.

Als Faustregel gilt: 10% mehr Wind ergibt 33% mehr Windleistung.

Anhand der Beaufortskala und den gemessenen Werten kann die theoretische Windleistung errechnet werden.

Zu erkennen ist aber auch, dass die Leistung bei einer Vergrößerung der angeströmten Fläche nur mit der 2. Potenz steigt. Diese Erkenntnis ist wichtig bei der Beurteilung der Frage, ob ein kleinerer oder größerer Windflügel gebaut werden soll. Es bringt rein rechnerisch mehr, ein kleineres Windrad besser in den Wind zu bringen als ein großes in eine Schwachwindzone.

### Leistungen im Vergleich:

Ein schwer körperlich arbeitender Mensch leistet ca. 100 Watt, also ein zehntel Kilowatt (kW). In einer Stunde vermag er 100 Wattstunden (Wh) zu leisten. Eine Kilowattstunde (kWh) ist also die Energiemenge, die zehn schwer körperlich arbeitende Menschen in einer Stunde zu erzeugen vermögen. Jeder dieser Arbeiter müsste in einer Stunde 7200 kg (also 144 Zentner) fünf Meter hoch schaffen. Auf die hier betrachtete Energie des Windes bezogen bedeutet das, dass hier fast 49 solcher Arbeiter benötigt werden um die Leistung zu erzeugen, die bei 20 m/sec Windgeschwindigkeit eine Stunde lang auf einem einzigen Quadratmeter liegen. Könnte man die gesamte Windenergie der Erde nutzen, wären unsere Energieprobleme um ein Vieltausendfaches gelöst!

Hier bieten sich sicherlich eine ganze Reihe von weiteren Rechenaufgaben an!

### Welcher Energieanteil lässt sich nutzen?

Ein noch so gut dimensionierter Windrotor wird aber dem Wind nur einen Teil seiner Energie entnehmen können. Einmal können die sich drehenden Rotorblätter nicht zur gleichen Zeit den gesamten Kreisquerschnitt erfassen. Zum anderen muss, damit sich der Rotor drehen

kann, er nicht nur vom Wind angeströmt werden, sondern ein Teil (etwa ein Drittel) des Windes muss auch von ihm wegströmen. (Aerodynamik s. AH 19.2). Schließlich entstehen Reibungsverluste durch die Lagerung und Verluste im Generator, durch die ein Teil der Windenergie nicht in elektrische, sondern in Wärme umgewandelt wird (Wirkungsgrad eines Generators im Höchsthalle 85%). Weitere Verluste entstehen durch lange Leitungen zu den Verbrauchern, die man aber durch dezentrale Energieerzeugung gering halten kann.

Mit dem 72 Watt Windgenerator im Schulbiologiezentrum ließe sich experimentell herausfinden, in welchem Verhältnis die theoretische Windleistung und die tatsächlich gemessene elektrische zueinander stehen (s. **AH 19.5**).



Ingo Mennerich, Februar 1994

Leicht veränderte Neuauflage Februar 2005