

# Naturwissenschaften und Technik

## Materialien Woher kommt die Energie für Bewegung? (Windkraft)



Reinhard Brandt, Landesinstitut  
Hamburg, Februar 2007

## Einleitung

### Der Savonius Rotor

Die Bauanleitung beschreibt den Bau des Modells eines Savonius Rotors. Der Typ dieser Windturbine wurde 1922 von dem finnischen Schiffsingenieur Savonius entwickelt. Seine Idee war es, zwei offene Halbzylinder an einer senkrechten Achse zu befestigen. Sie ist einfach zu bauen und dreht sich unabhängig von der Windrichtung. Allerdings ist ein Savonius Rotor nicht ganz so effektiv wie eine Windturbine mit horizontaler Achse. Der Grund dafür liegt in der Aerodynamik. Die modernen Windturbinen haben Rotorblätter, die wie die Flügel von Flugzeugen geformt sind. Sie erzeugen deshalb einen Auftrieb, der sie dreht. Man spricht hier von Auftriebsläufern. Der Savonius Rotor ist ein Widerstandsläufer. Damit er sich überhaupt dreht, muss die eine Hälfte des Rotors einen geringeren Luftwiderstand haben als die andere. Dies ist der Fall, weil die eine Rotorhälfte nach außen, die andere nach innen gewölbt ist. Die nach innen gewölbte Hälfte fängt praktisch den Wind ein, die andere leitet ihn vorbei.

### Der Stromgenerator

Die Windturbine erzeugt Elektrizität mit Hilfe einer sehr einfachen Anordnung. Sie funktioniert ähnlich wie ein Fahrraddynamo nach dem Induktionsprinzip. Die Windturbine dreht dabei eine kreisförmige Scheibe, auf der vier starke Dauermagnete befestigt sind. Die Magnete bewegen sich über vier Kupferspulen hinweg, in denen sie eine Spannung induzieren. Die Kupferspulen sind in Reihe geschaltet, die Spannungen addieren sich also. Die Höhe der Spannung ist von der Drehgeschwindigkeit des Rotors abhängig.

Technische Windgeneratoren erzeugen meistens einen Wechselstrom. Dieser muss in der Regel aber noch so umgeformt werden, dass er in das Stromnetz eingespeist oder auch gespeichert werden kann. Manchmal lädt man mit dem Windstrom Akkus. Dafür muss der Wechselstrom vorher gleichgerichtet werden. Für diesen Zweck gibt es elektronische Baugruppen, die eine oder mehrere Dioden enthalten. Dioden sind elektrische Ventile, die aus Wechselstrom Gleichstrom formen können.

In großtechnischen Windkraftanlagen wird häufig der Wechselstrom zuerst gleichgerichtet und dann einem sogenannten Wechselrichter zugeführt. Wechselrichter formen aus dem Gleichstrom wieder einen Wechselstrom. Dieser Umweg ist nötig, um die Frequenz des Windstroms an das Stromnetz (50 Hz) anzugleichen. Für die Übertragung des Stromes mit Hilfe von Hochspannungstransformatoren wird ebenfalls Wechselstrom benötigt.

### Sicherheitshinweise

- Die Bauanleitung ist so angelegt, dass die Windturbine sowohl in einer Werkstatt, aber auch im Klassenraum gebaut werden kann. Einige Teile werden mit einem Cutter ausgeschnitten, dabei besteht Verletzungsgefahr. Zum Schutz der Tischflächen muss natürlich eine feste Arbeitsunterlage verwendet werden.
- Für die Klebeverbindungen können Heißkleber, Weißleim und Alleskleber verwendet werden. Bei Heißkleber muss Hautkontakt vermieden werden, sonst besteht Verbrennungsgefahr.
- Die Magnete sind sogenannte Powermagnete. Sie sollten nicht in die Nähe von Computern, Handys, Kreditkarten und anderen Speichermedien gebracht werden, weil sie deren Informationen löschen können.

## Werkzeug und Geräte für eine Arbeitsgruppe

- Lineal
- Schere
- Schraubendreher
- Zirkel
- Cutter
- Bleistift, Anspitzer
- Nagel, 10cm
- Körner
- Isolierband
- Schleifpapier, z.B. 150er
- Voltmeter oder analoges Multimeter
- eventuell Heißklebepistole

## Materialliste

Menge	Bezeichnung	Beschaffungshinweis
1	Grundplatte, 20 x 20 cm, 12 – 20 mm dick, Spanplatte, Tischlerplatte, Sperrholz o. Ä..	Baumarkt, Holzabfälle
4	Magnetspulen	Fa. Traudl Riess
4	Scheibenmagnete Neodym, ca. 2 cm Durchmesser	<a href="http://www.powermagneteshop.de">www.powermagneteshop.de</a>
2	Rundholz, 12 mm Durchmesser, 30 cm lang	Baumarkt
1	Rundholz, 8 mm Durchmesser, 30 cm lang	Baumarkt, Werklehmittel
1	Brett als Halterung für den Rotor, ca. 20 x 3,5 x 1 cm, Sperrholz	Baumarkt, Holzabfälle
1	Leuchtdiode 5mm	Werklehmittel, Elektronikshop (z. B. Conrad)
4	Unterlegscheiben aus Eisen, 2 cm Durchmesser	Baumarkt
1	Holzschraube, Kreuzschlitz, 8mm, 30 – 40 mm lang	Baumarkt
1	dicke Pappe, Karton oder Wellpappe, 20 x 60 cm alternativ: dünnes Sperrholz (2 mm)	Papierabfall, Baumarkt
1	dicker Zeichenkarton, ein Stück DIN A4	Bürobedarf, Werklehmittel
1	kleine Tube Weißleim	Baumarkt
1	Tube Alleskleber	Baumarkt
1	Lüsterklemme, 2fach für LED	Baumarkt
1	kleine Holzschraube 2,5 mm x 30 mm	Baumarkt

## Baubeschreibung

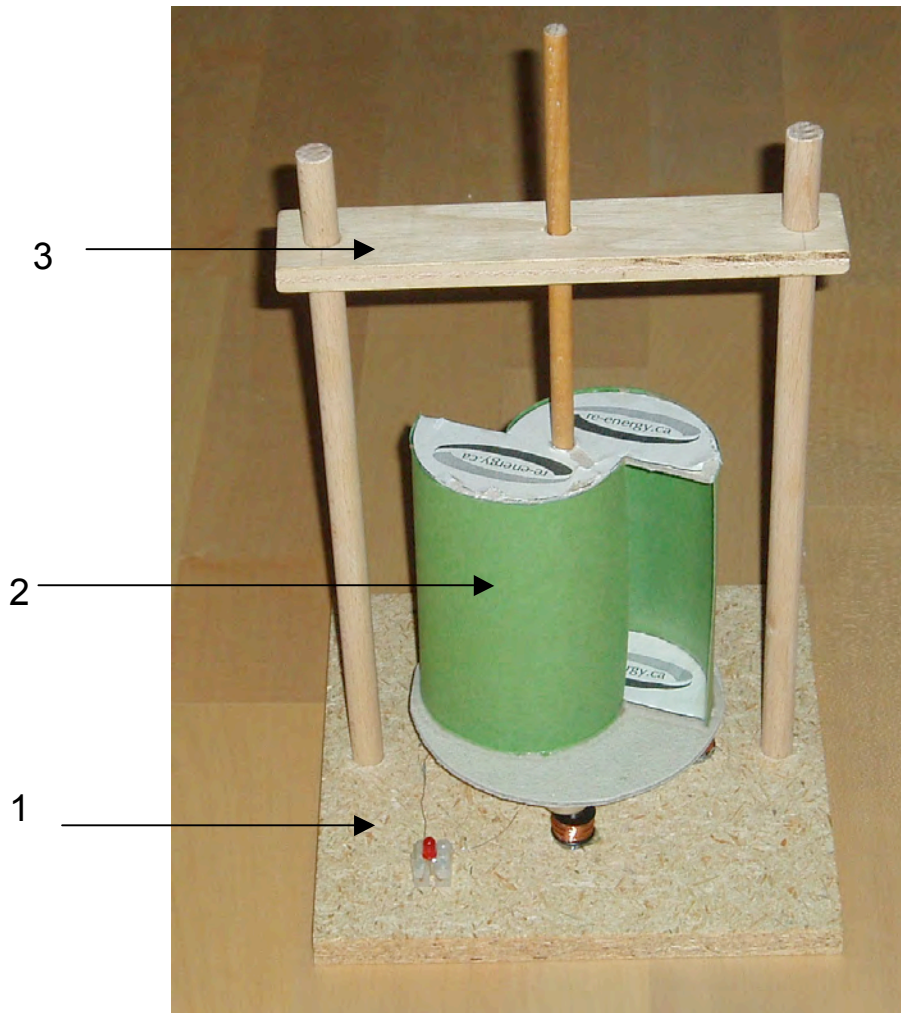


Abbildung 1: Fertiges Modell der Windkraftanlage

Die Windkraftanlage besteht aus drei Baugruppen:

1. Grundplatte mit dem Stator und der Leuchtdiode
2. Rotor mit vier Dauermagneten
3. Rotorhalterung

## Grundplatte und Stator

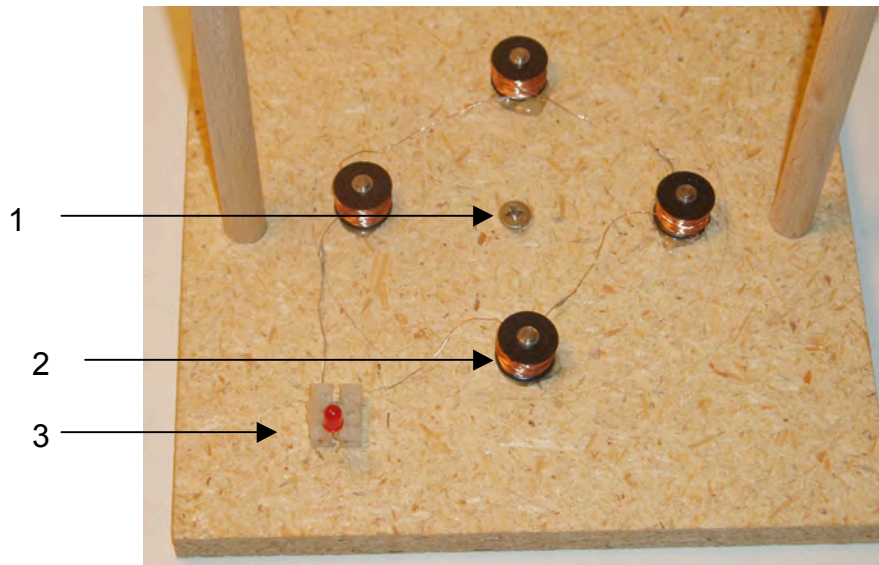


Abbildung 2: Grundplatte mit Stator, LED und Lager für den Rotor  
Kreuzschlitzschraube (1), Magnetspule (2), LED (3)

Für die Grundplatte werden benötigt:

- ein quadratisches Holzbrett 20 x 20 cm, 1 – 2 cm dick
- vier Magnetspulen
- eine LED 5mm
- eine Lüsterklemme 2fach
- kleine Holzschraube zur Befestigung der Lüsterklemme
- Kreuzschlitzschraube, 6 – 8 mm, 30 – 40 mm lang
- Alleskleber
- Lötcolben oder Lötstation für Elektronikarbeiten, etwas Lötzinn
- Holzbohrer 6 mm und 12 mm
- drei einzelne Lüsterklemmen (siehe Hinweis im Text)

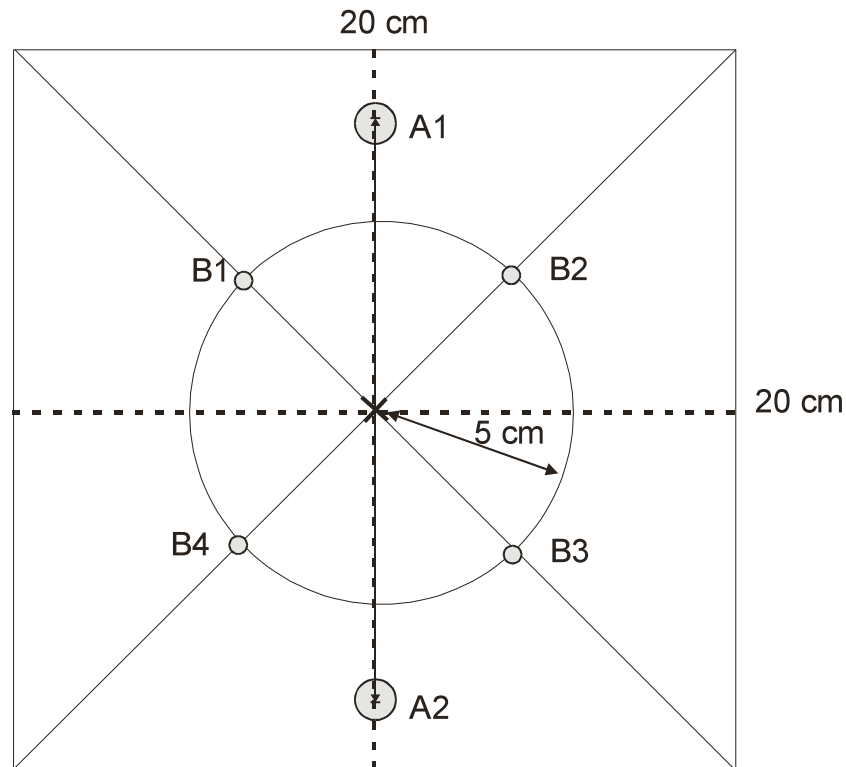


Abbildung 3: Einteilung der Grundplatte

### Arbeitsschritte

Die Einteilung der Grundplatte, die Positionen für die Magnetspulen und der Rundhölzer für die Rotorhalterung kann man aus der Abbildung 3 entnehmen.

1. Zeichne die Diagonalen und die Mittelsenkrechten ein. Du erhältst die Mitte der Grundplatte. Zeichne mit dem Zirkel einen Kreis mit einem Radius von 5cm um die Mitte des Brettes.
2. Der Kreis schneidet die Diagonalen in den Punkten B1, B2, B3 und B4. Markiere diese Punkte mit einem Körner und bohre mit einem Holzbohrer von 6mm ca. 5 mm tiefe Löcher.
3. Setze die vier Magnetspulen mit ihren Eisenkernen in die Bohrlöcher und klebe sie mit Alleskleber gut fest.
4. Bohre mit einem Holzbohrer von 12 mm die Löcher A1 und A2 für die Rundhölzer. Der Abstand der Bohrlöcher beträgt 16 cm, d.h. sie liegen jeweils 8 cm von der Brettmitte entfernt. Die Bohrlochmitte markiert man vor dem Bohren ebenfalls mit einem Körner. Die Rundhölzer werden jetzt noch nicht eingesetzt.
5. Verbinde die vier Magnetspulen. Dazu werden sie in Reihe geschaltet. Die Spulen haben einen kurzen und einen langen Anschlussdraht. Die Drahtenden müssen blank und verzinkt sein, damit man sie einwandfrei löten kann. Der Draht hat oft noch eine dünne Lackschicht. Die Lackschicht muss entfernt werden, weil sie isoliert. Am einfachsten geht dies mit etwas Sandpapier. Verbinde danach immer einen kurzen Anschlussdraht mit dem langen Anschlussdraht der nächsten Magnetspule usw. (Die Drahtenden aneinander halten und verdrehen). Am Ende bleiben ein kurzer und ein langer Anschlussdraht übrig. Die verdrehten Verbindungen werden verlötet. Die beiden freien Kabelenden werden in einer 2fach Lüsterklemme festgeklemmt.(Abbildung 4)

**Hinweis:** Wenn die Verbindungen nicht gelötet werden sollen, benötigt man zusätzlich drei einzelne Lüsterklemmen, in die man die Anschlussdrähte einklemmt.



6. Die Leuchtdiode wird in der 2fach Lüsterklemme festgeschraubt. Dazu werden die beiden Anschlussdrähte rechtwinklig abgewinkelt.
7. Die Kreuzschlitzschraube wird in die Brettmitte eingeschraubt. Das geht leichter, wenn man das Brett an der Stelle mit einem Körner vorkörnt. Die Schraube sollte etwa 2cm aus dem Brett herausgucken. Sie dient als Drehlager für die Spitze der Rotorachse.

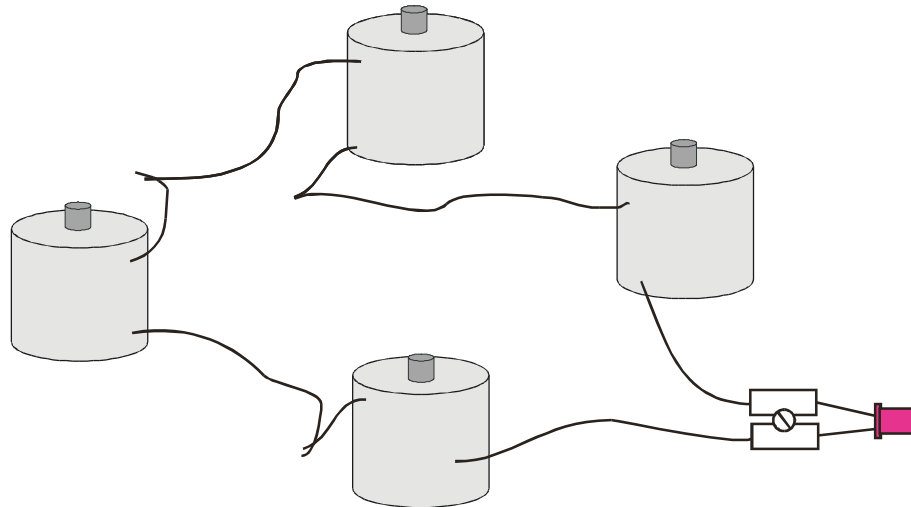


Abbildung 4: Anordnung der Magnetspulen und der LED

## Rotor

Für den Rotor werden benötigt:

- 4 Scheibenmagnete,  $d = 20 \text{ mm}$ ,  $h = 4 \text{ mm}$
- 4 Unterlegscheiben aus Eisen,  $d = 20 \text{ mm}$
- Rundholz,  $l = 30 \text{ cm}$ ,  $d = 8 \text{ mm}$
- Scheibe aus dicker Pappe oder dünnem Sperrholz ( $2 \text{ mm}$ ),  $d = 12 \text{ cm}$
- dicke Pappe oder dünnes Sperrholz ( $2 \text{ mm}$ ), ca.  $10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ , für die Bodenflächen des Rotors
- stabiler Zeichenkarton für die Seitenflächen des Rotors, ca. 1 Blatt DIN A4
- Schablone für die Bodenfläche
- Kompass
- Schere, Cutter, Anspitzer, Holzbohrer  $8 \text{ mm}$ , Alleskleber

### Arbeitsschritte

1. Zeichne mit dem Zirkel einen Kreis (Radius  $6 \text{ cm}$ ) auf dicke Pappe und schneide ihn aus,
2. Zeichne um den Kreismittelpunkt  $M$  einen weiteren Kreis (Radius  $5 \text{ cm}$ ). Zeichne zwei Durchmesser ein, so dass du Viertelkreise erhältst. Die Durchmesser schneiden den Innenkreis an vier Punkten. ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ ) Klebe hier die Unterlegscheiben fest. (Abbildung 5)

3. Setze die vier Scheibenmagnete auf die Unterlegscheiben. Bei allen Scheibenmagneten muss immer der selbe Pol oben liegen. Überprüfe die Polung mit einem Kompass und markiere die Pole, am besten mit einem Farbpunkt..

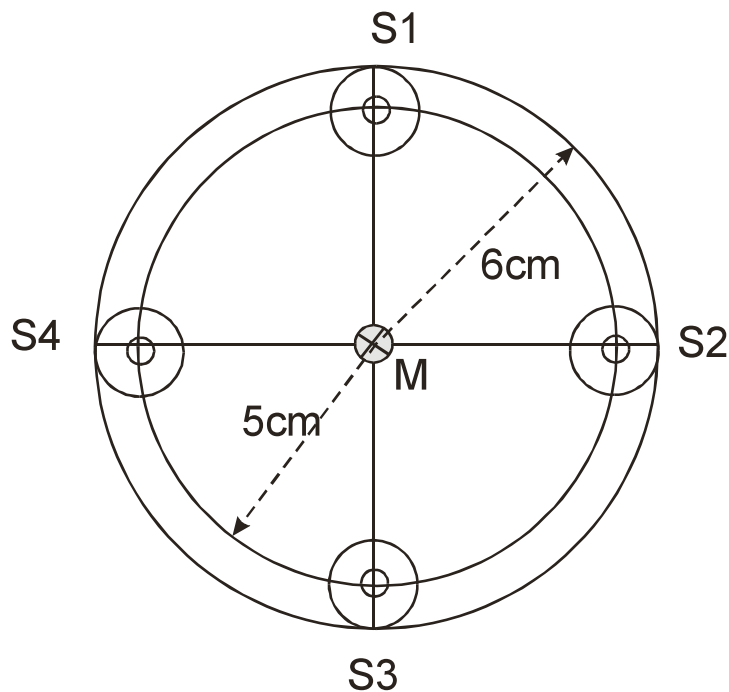
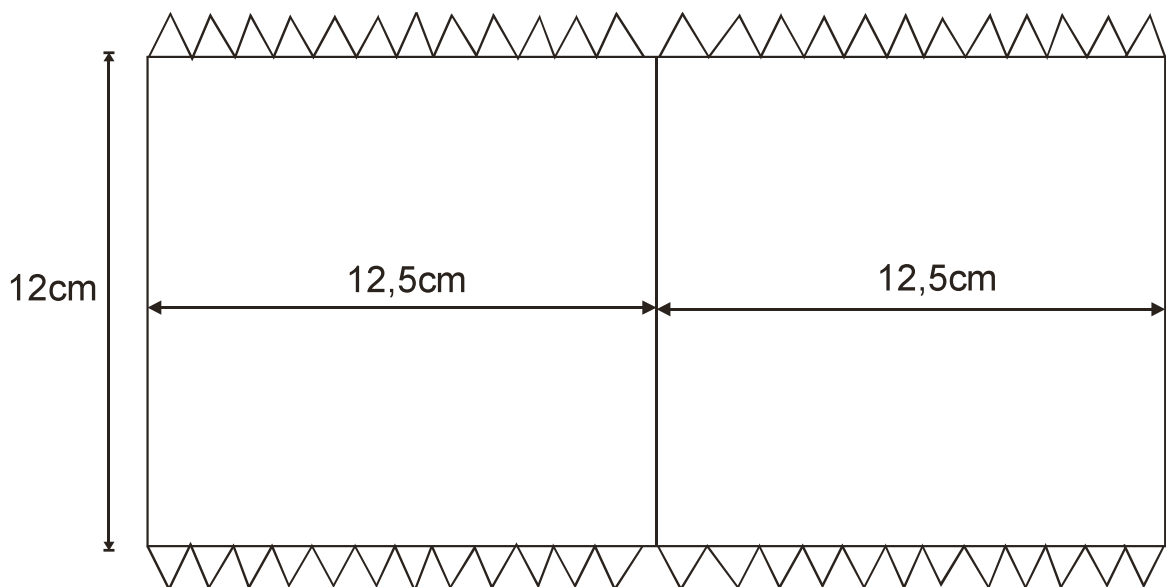


Abbildung 5: Einteilung der Grundplatte des Rotors

4. Bohre ein Loch (8 mm) für die Rotorachse genau durch die Mitte M der Scheibe.
5. Klebe die Schablone für die Bodenteile des Rotors auf dicke Pappe. Schneide die beiden Teile mit einer Schere oder einem Cutter aus. Arbeite hier sehr sorgfältig. Bohre ein Loch für die Rotorachse (8 mm) durch beide Bodenteile.
6. Die Seitenteile für die beiden Halbzylinder werden aus dickem Zeichenkarton hergestellt. Zeichne ein Rechteck von 25 x 12 cm auf den Karton. An die beiden Längsseiten kommt zusätzlich eine Klebekante von 1 cm. (Abbildung 6)





7. Schneide die Seitenteile aus! Die Klebekante wird wie auf der Abbildung eingeschnitten und mit der Schere etwas eingeritzt, damit sie umgeknickt werden kann. Rolle die Seitenteile zu einem Zylinder auf! Dadurch werden sie schon etwas gewölbt und lassen sich leichter mit den Endteilen verkleben.
8. Klebe die Seitenteile mithilfe der Klebekanten an ein Endteil, so dass die beiden Halbzylinder des Rotors entstehen. Das andere Endteil wird eingeklebt, wenn die erste Verklebung trocken ist.
9. Wenn der Klebstoff trocken ist, kannst du die beiden Halbzylinder des Rotors auf die Grundplatte für die Magnete kleben.
10. Spitze das Rundholz der Rotorachse mit einem Bleistiftanspitzer an einem Ende an. Schiebe es vorsichtig durch die Bohrungen des Rotors und durch die Grundplatte. Die Spitze sollte ca. 3 – 4 cm aus der Grundplatte herausragen. Klebe die Achse noch nicht fest!

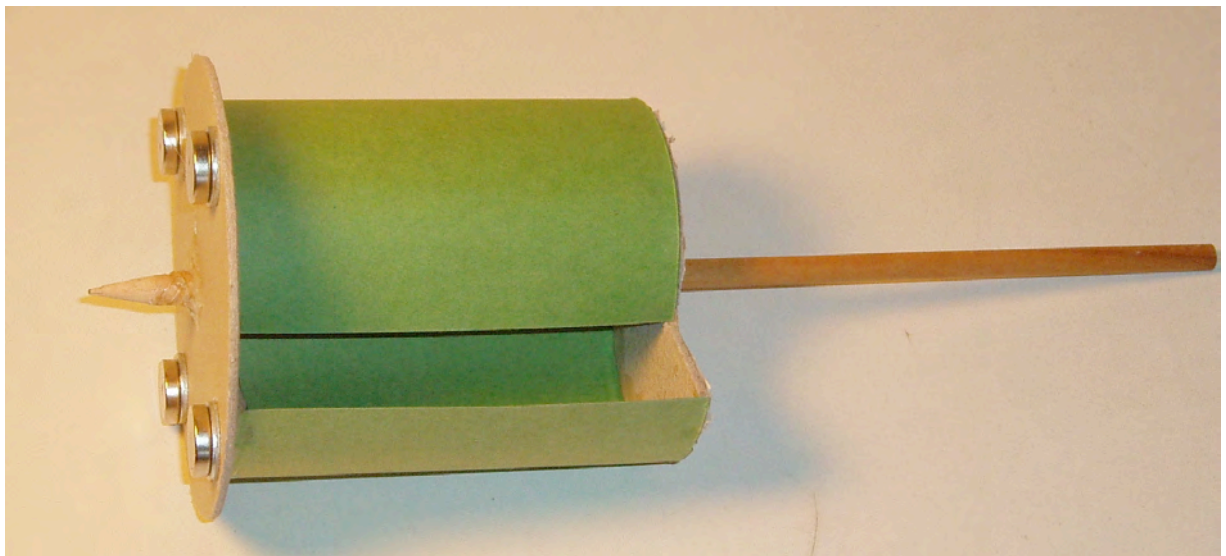


Abbildung 7: Seitenansicht des Rotors mit aufgesetzten Magneten

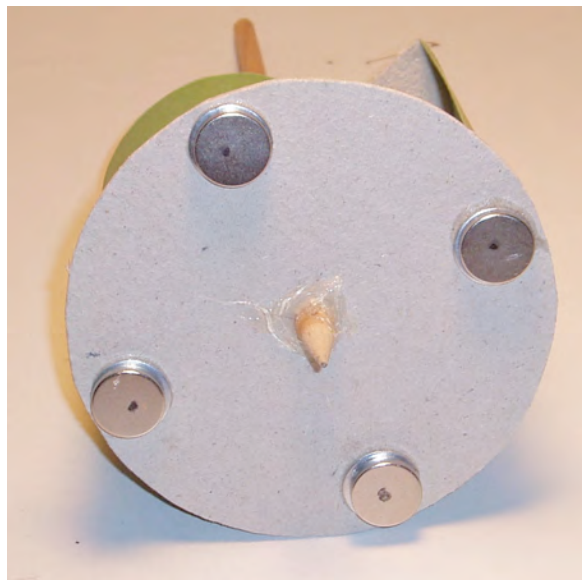


Abbildung 8: Bodenansicht des Rotors

### **Ergänzende Hinweise zum Rotor**

Die Klebearbeiten zum Rotor sind nicht ganz einfach, man braucht etwas Geduld und Geschick. Manchmal ist es leichter, wenn man den Rotor aus einer fertigen Verpackung herstellt. Süßigkeiten oder Fertigkaffee werden häufig in solchen Verpackungen angeboten. Sie sind meistens aus Kunststoff oder dicker Pappe, so dass sie sich leicht mit einer Schere aufschneiden lassen.

Die Dose auf der Abbildung hat eine Höhe von 13 cm und einen Durchmesser von 8 cm. Den Boden kann man heraustrennen und dann die Seitenwände so auftrennen, dass zwei gleiche Halbzylinder entstehen. In diesem Fall passen die Halbzylinder zu der Schablone für die Endteile.



Abbildung 9: Rotor aus einer Verpackung für Lakritz

## Rotorhalterung

Für die Rotorhalterung werden benötigt:

- zwei Rundhölzer, 30 cm, 12 mm Durchmesser
- ein Sperrholzbrett, 20 x 3,5 x 1 cm
- Holzbohrer 8,5 mm und 12 mm

### Arbeitsschritte

1. Zeichne auf dem Brett die Lage der Bohrlöcher an. Die Rotorachse geht durch die Brettmitte. Die seitlichen Rundhölzer haben auf der Grundplatte einen Abstand von 16 cm. Sie sind also jeweils 8 cm von der Mitte entfernt. Die Maße gelten immer bis zur Mitte des Bohrloches!
2. Bohre die Führung für die Rotorachse mit 8,5 mm, die beiden anderen Löcher mit 12 mm. Weil sich die Achse in der Rotorhalterung leicht drehen muss, wird der Durchmesser für diese Bohrung etwas größer als der Durchmesser der Achse gewählt. Die Abbildung 9 zeigt die fertige Halterung.

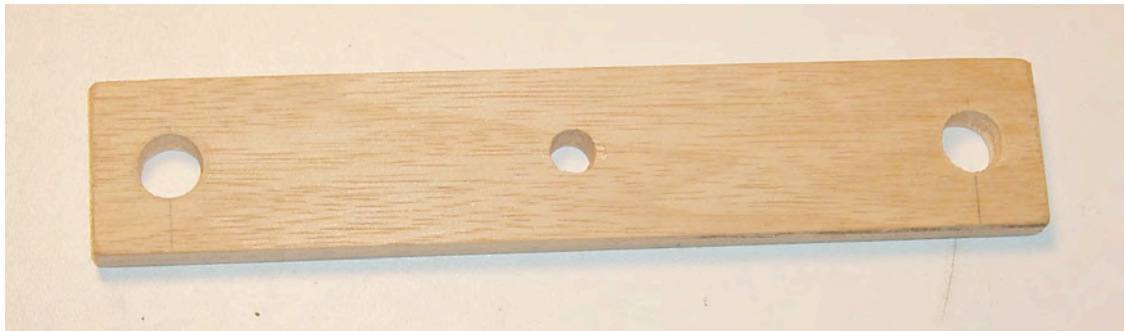


Abbildung 10: Rotorhalterung mit allen Bohrungen

3. Jetzt kann die Rotorhalterung montiert und der Rotor eingesetzt werden! Für diesen Schritt werden die Scheibenmagnete noch nicht benötigt. Zuerst setzt man die beiden dicken Rundhölzer in die Bohrungen der Grundplatte und leimt sie fest. Manchmal sitzen sie schon ohne Leim fest in der Bohrung. Dann wird der Rotor mit der Spitze auf die Kreuzschlitzschraube gesetzt und senkrecht ausgerichtet. Schiebe jetzt das Brett über die Achse und die beiden Rundstäbe, bis es waagrecht ist und der Rotor sich leicht drehen lässt. (Vergleiche mit Abbildung 1)

**Hinweis:** Das Brett der Rotorhalterung wird nicht festgeleimt. Wenn es nach unten rutscht, weil z. B. die Bohrungen zu groß geworden sind, wickelt man einfach einen Klebestreifen in der richtigen Höhe um die Rundhölzer, um dies zu verhindern.

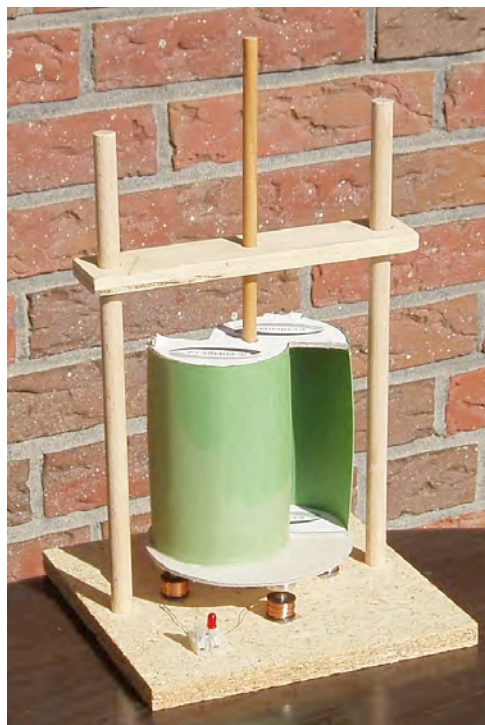
## Funktionstest

Für den Funktionstest werden benötigt:

- vier Scheibenmagnete
- ein Spannungsmesser für Wechselstrom (Zeigerinstrument)
- zwei Messkabel mit Krokodilklemmen
- ein Föhn oder ein Luftstromerzeuger aus der Physiksammlung

### Arbeitsschritte

1. Setze die Scheibenmagnete auf die Bodenplatte des Rotors. Achtung! Die Scheibenmagnete haben eine sehr große Magnetkraft, mit der sie die Eisenkerne der Magnetspulen anziehen. Weil der Rotor noch lose auf der Achse sitzt, rutscht er deshalb bei einem bestimmten Abstand – z. B. 1 cm – nach unten und haftet auf den Magnetspulen. Auch die Magnete können sich von den Unterlegscheiben ablösen und dann an den Spulenkernen haften. Vergrößere den Abstand wieder, bis dies nicht mehr passiert!
2. Klebe die Achse mit Weißleim im Rotor fest. Den richtigen Abstand der Magnete zu den Spulen kannst du dann immer noch verändern. Du kannst z. B. die Schraube weiter in die Bodenplatte hineindrehen, oder auch etwas weiter herausdrehen. Je dichter die Magnete an den Spulen vorbeibewegt werden, desto größer ist die Spannung, die dabei erzeugt wird!
3. Wenn der Leim ausgehärtet ist, kannst du das Modell wieder zusammenbauen. Richte den Föhn auf den Rotor und versetze ihn in Drehung. Bei einer bestimmten Drehgeschwindigkeit beginnt die LED zu leuchten. Hinweis: Bei einer sehr hohen Drehgeschwindigkeit besteht die Gefahr, dass wegen der Fliehkraft die Magnete vom Rotor abrutschen!
4. Miss die Wechselspannung, die der Generator erzeugt. Entferne dazu die LED und schließe dafür das Spannungsmessgerät mithilfe der Messkabel an.





### Schablone für die Endteile des Rotors zum Aufkleben auf Pappe oder Sperrholz

An der markierten Stelle muss ein Loch für die Rotorachse gebohrt werden. Der Durchmesser der Bohrung richtet sich nach dem Durchmesser der Achse.

