

Bewegte Luft zum Leuchten bringen – eine preiswerte funktionale Modell-Windkraftanlage bauen

Von Roland Hirsch

Im Kernlehrplan von Nordrhein-Westfalen für die Gesamtschule Sekundarstufe I ist Energieversorgung und -einsparung als eines der fachspezifischen Inhaltsfelder ausgewiesen. In vielen anderen Bundesländern gibt es vergleichbare Ansätze. Interessant ist allerdings auch, dass in einer Studie des BMBF gezeigt wird, dass sich das Thema Energieversorgung nicht nur auf Schulbücher für das Fach Technik beschränkt, sondern auch in anderen Fächern zu finden ist [Bönkost et al. 1997]. Im Buch für das Fach Englisch findet sich ein Abschnitt, in dem regenerative und nicht regenerative Energien an drei Beispielen erläutert werden. Als Vertreter der regenerativen Energieerzeuger wird die Windkraftanlage als umweltfreundlich herausgestellt, mit der aber im Vergleich zu Wärmekraftwerken nur geringe Energiemengen erzeugt werden können. Der Vergleich zwischen regenerativer und nicht regenerativer Energie wird auch in Form einer Diskussion von Vor- und Nachteilen geführt.

Die Auseinandersetzung mit dem Thema Energie ist somit nicht nur auf das Fach Technik beschränkt, sondern findet sich sowohl in anderen Fächern als auch in der gesellschaftlichen Diskussion. Die Problematik bei dem Vergleich der verschiedenen Energieerzeugungsarten ist jedoch, dass Schüler und Schülerinnen zwar die Vor- und Nachteile nennen können. Die unmittelbare Erfahrung jedoch fehlt. Diese Lücke wurde exemplarisch an einer Windkraftanlage geschlossen. Studierende im Studiengang Technik für Haupt-, Real- und Gesamtschule sowie Förderschule haben in einer Lehrveranstaltung im SS 2016 den Unterricht geplant, der dann in einer Klasse der Gesamtschule in einer Doppelstunde durchgeführt wurde.

Der Ansatz, der im Rahmen der Lehrveranstaltung verfolgt wurde, bestand darin, dass sich die Studierenden

einerseits mit den Vor- und Nachteilen sowie Folgen verschiedener Möglichkeiten zur Energieerzeugung auseinandersetzen und andererseits ein grundlegendes Verständnis für die

prinzipielle Funktionsweise derartiger Anlagen entwickeln. Als Beispiel wurde eine Windkraftanlage zur Stromerzeugung gewählt. Für die didaktische Zielsetzung musste ein geeignetes Modell für eine Windkraftanlage entwickelt werden. Auf dem Markt existieren einige Modelle, die als Funktionsmodell für Windräder bezeichnet werden. Diese Modelle weisen aber nahezu alle mehr oder weniger große Schwächen auf (Abb. 1).

Allgemein betrachtet kann ein Modell als verkleinerte oder vereinfachte Abbildung der Wirklichkeit aufgefasst werden [Kircher et al. 2015, S. 8 ff.]. Modelle sollen einen Sachverhalt erklären oder verdeutlichen. Hierbei kann die Funktion oder aber auch die Gestaltung als Schwerpunkt gesetzt werden.

Bei den meisten Modellen wird die Gestalt einer Windkraftanlage abgebildet. Dies lässt sich bereits mit einfachen Mitteln bewerkstelligen. Ein schultaugliches Beispiel dazu hat Heiner Prüser entwickelt. Als Material wird Papier bzw. Karton verwendet. Die Verarbeitung ist einfach und die Kosten sind relativ gering (Abb. 2).

Im Bereich der Funktion sind die Probleme der handelsüblichen Modelle vielfältiger. Bei der Verkleinerung lassen sich die meisten Bauelemente nicht maßstäblich reduzieren. Dies gilt



Abbildung 1: Modell einer Windkraftanlage, die durch eine Solarzelle angetrieben wird.



Abbildung 2: Windkraftanlage aus Karton. [Prüser, H.]

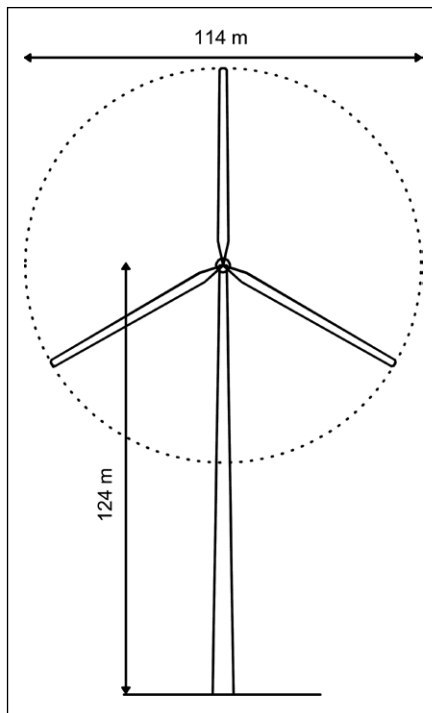


Abbildung 3: Abmessungen der Windkraftanlage Enercon E-112.

sowohl für die Abmessungen als auch für Masse und Gewicht (Abb. 3).

An den Daten der Windkraftanlage Enercon E-112 lässt sich das gut zeigen. Der Turm hat eine Höhe von 124 m, die Rotorblätter sind knapp 60 m lang und die Rotornabe hat ein Gewicht von 8000 kg bei einem Durchmesser von 4 m [Werner et al. 2005] [Portal für Windkraftanlagen und Modelle 2016]. Eine maßstäbliche Verkleinerung um den Faktor 1:1000 würde zwar die Gesamtabmessungen auf schultaugliche Maße bringen, jedoch wäre die Rotornabe mit 4 mm Durchmesser und einem Gewicht von 0,008 g nicht realisierbar. (Verkleinerung in der 3. Potenz, da sich Gewicht maßstäblich wie Volumen reduziert.) Wenn also das Funktionsverhalten einer Windkraftanlage für die Entwicklung eines geeigneten Modells im Vordergrund stehen soll, müssen weitreichende Kompromisse eingegangen werden. Diese sollten jedoch das Grundprinzip der Windkraftanlage weiterhin richtig abbilden: Grundsätzlich besteht die Energieumwandlung einer Windkraftanlage aus folgenden Schritten:

1. Die Strömungsenergie des Windes wird über Rotoren in eine Drehbewegung umgewandelt.

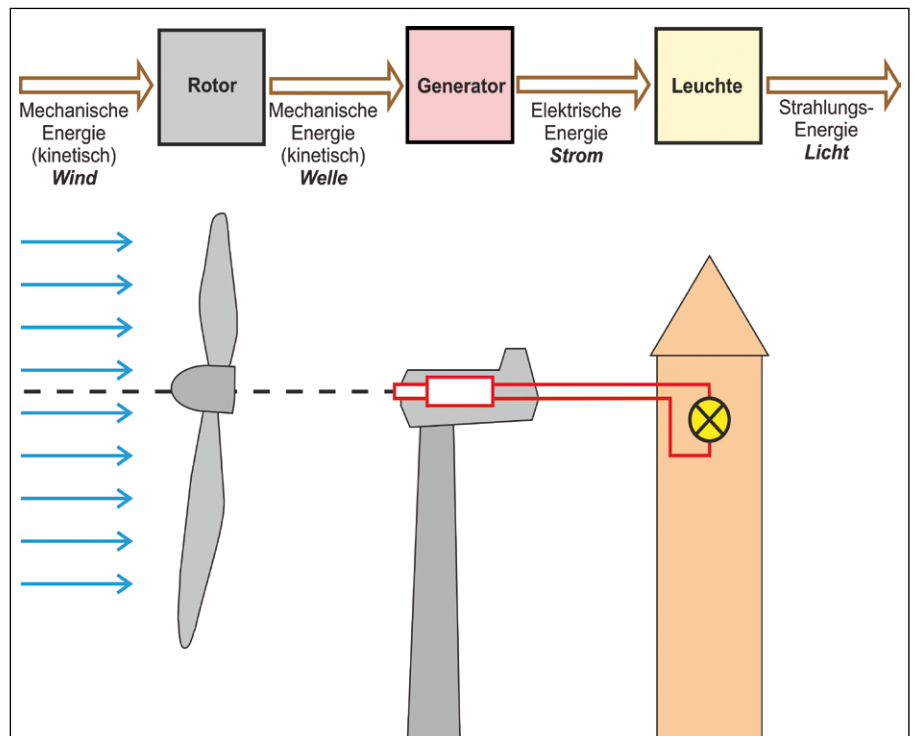


Abbildung 4: Energieumwandlungskette an einer Windkraftanlage.

- Die Rotoren treiben die Generatorwelle an, die dann im Generator elektrische Energie produziert.
- Die elektrische Energie wird über Leitungen zum Energieverbraucher weitergeleitet und vor Ort z. B. in Licht umgewandelt (Abb. 4).

Als Gegenbeispiele seien an dieser Stelle die Bausätze namhafter Lehrmittelhersteller genannt, die die Rotoren über eine Solarzelle antreiben und damit die Windkraftanlage zu einer Windmaschine werden lassen. Der Betrieb des Windrotors als Ventilator entspricht nicht der grundsätzlichen Funktionsweise einer Windkraftanlage und kann somit Fehlvorstellungen bei den Schülerinnen und Schülern auslösen.

Im Gegensatz zur Realität sind bei der Umsetzung des dargestellten Funktionsprinzips einige Einschränkungen zu berücksichtigen:

Die Rotorblätter werden in der Realität möglichst groß gebaut, damit die Erntefläche entsprechend wächst und die Energie des Windes besser ausgenutzt wird. Im Modell dagegen wird der Wind durch separate Gebläse und Ventilatoren oder auch durch kräftiges Pusten des Anwenders erzeugt. Die sich dadurch einstellende Windströmung weist somit eine relativ kleine Querschnittsfläche auf. Für ei-

ne erfolgreiche Auslegung sollte sich die Rotorlänge an diesem Sachverhalt orientieren und daher eher kleiner dimensioniert werden.

Die Erzeugung von elektrischer Energie in Windkraftanlagen benötigt als zentrales Bauteil den Generator. Deswegen ist die Funktionsweise dadurch geprägt, dass hier ein Wechsel zwischen Magnetfeld und elektrischem Leiter stattfindet. Die erzeugte Spannung ist umso höher, je schneller dieser Wechsel vollzogen wird. Da die Rotation der Rotornabe für das Erzeugen einer Spannung zu langsam ist, wurde dies in der ingenieurtechnischen Praxis durch ein Getriebe zwischen Rotornabe und Generator realisiert, welches die Drehzahl der Welle vergrößert. In den letzten Jahren hat sich die getriebe-lose Ausführung in der Anwendung auf dem Markt etabliert. Der Vorteil ist der Wegfall des mechanischen Getriebes und damit von mechanischen Reibungsverlusten, ein Nachteil jedoch ist das zurzeit noch höhere Gewicht des dafür nötigen Generators. Die Generatoren werden mittlerweile als Vielpolläufer ausgeführt, welches quasi als „elektrische Getriebeübersetzung“ aufgefasst werden kann [Erich, H. S. 334 ff.].

Genau wie in der realen Anlage stellt die anwendungsgerechte Ausführung

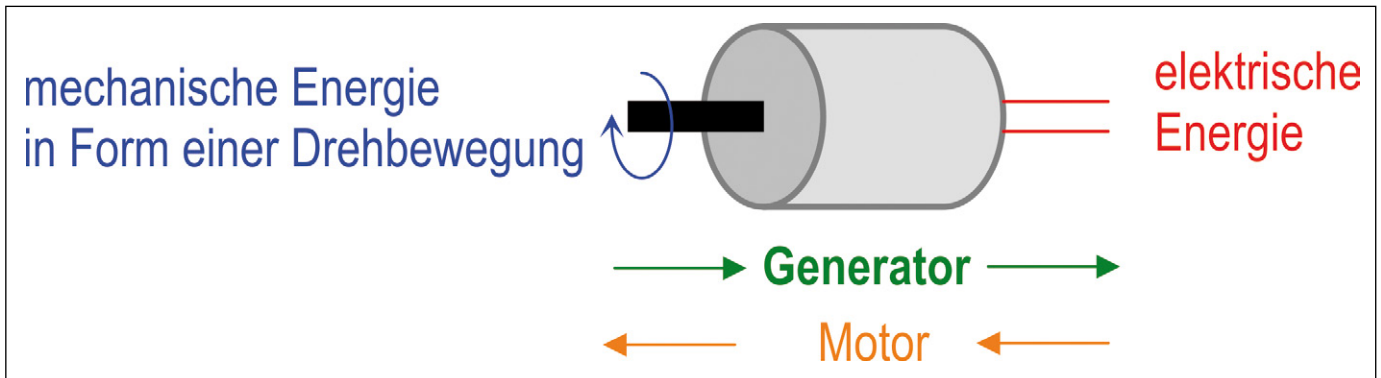


Abbildung 5: Ein- und Ausgangsgrößen des Systems elektrische Maschine.

des Generators in der Umsetzung als Funktionsmodell die zentrale Herausforderung dar. Hierfür soll auf einen Zusammenhang aus der Elektrotechnik verwiesen werden: Der Aufbau von Motoren und Generatoren ist gleich. Entscheidend für die jeweilige Funktion ist die Richtung des Energieflusses, mit der die elektrische Maschine betrieben wird. Motoren erhalten elektrische Energie und produzieren mechanische, Generatoren kehren dieses Prinzip um. Grundsätzlich lässt sich daher jeder Motor auch als Generator betreiben (Abb. 5).

Motoren haben einen Stator (fester Teil) und einen Rotor (drehender beweglicher Teil). Im Stator befinden sich Permanentmagnete, die das Magnetfeld erzeugen. Im Magnetfeld rotiert nun eine Spule. Beim konventionellen Gleichstrommotor ist die Spule um einen Eisenkern gewickelt. Dies führt jedoch zu einem sogenannten Rastmoment und macht sich dadurch bemerkbar, dass bei langsamer Drehung bei bestimmten Stellungen (hier horizontal) mehr Kraft benötigt wird,

um darüber weiterdrehen zu können. Würde der Eisenkern weggelassen werden, dann würde das Rastmoment verschwinden, der Wirkungsgrad der elektrischen Maschine jedoch signifikant sinken.

Eine weitere Bauart ist der Gleichstrommotor mit eisenloser Wicklung, auch Glockenankermotor genannt. Der Rotor besteht lediglich aus einer Spule und besitzt deshalb keinen Rastmoment. Der Wirkungsgrad ist im Vergleich zu konventionellen Gleichstrommotoren höher (Abb. 6).

Für die Verwendung eines kleinen Motors in einer Modell-Windkraftanlage kommen jedoch nur wenige Motortypen in Betracht. Es sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

1. Bei einer geringen Drehzahl der Rotorbewegung muss eine so hohe Spannung erzeugt werden, damit eine LED zum Leuchten gebracht werden kann.
2. Die Welle muss mit geringer Kraft in Bewegung versetzt werden können.

3. Die Kosten müssen schultauglich sein.

Option 1 Getriebemotoren mit konventionellen Gleichstrommotoren:

Der Motor, der nun als Generator verwendet wird, benötigt zur Spannungserzeugung nach den allgemeinen Gesetzmäßigkeiten eine hohe Drehzahl. Da aber die Rotordrehzahl recht gering ist, kann hier ein Getriebe die Übersetzung von langsam zu schnell bieten. Handelsübliche Getriebemotoren haben in der Regel einen Motor mit einem mehrstufigen Getriebe und könnten diese Anforderung erfüllen. Sie scheiden jedoch in der Praxis aus, weil für den Antrieb eine vergleichsweise große Kraft benötigt wird. Getriebemotoren mit einem einstufigen Getriebe sind im Handel nicht erhältlich, können allerdings selbst gefertigt werden. Die Grenze liegt erfahrungsgemäß bei einer Übersetzung von ca. 1:10, da die Größe der Zahnräder bei kleinen Anlagen nicht beliebig groß sein darf. Zudem muss die Fertigung präzise erfolgen, weil das Getriebe sehr leichtläufig sein muss. Eine Übersetzung von 1:10 reicht jedoch bei den meisten Motoren nicht aus, um eine ausreichende Spannung für das Leuchten der LEDs zu erzeugen.

Option 2 Gleichstrommotoren mit eisenloser Wicklung:

Die einzige Sorte an Motoren, die leichtläufig sind, einen hohen Wirkungsgrad haben und kein Rastmoment besitzen, sind die eisenlosen Glockenankermotoren. Diese sind für den

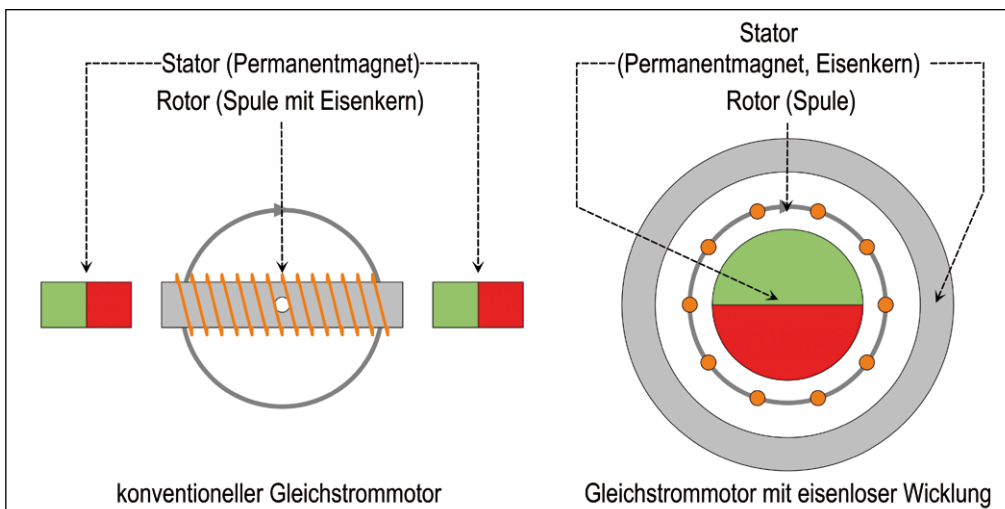


Abbildung 6: Typen von Gleichstrommotoren.