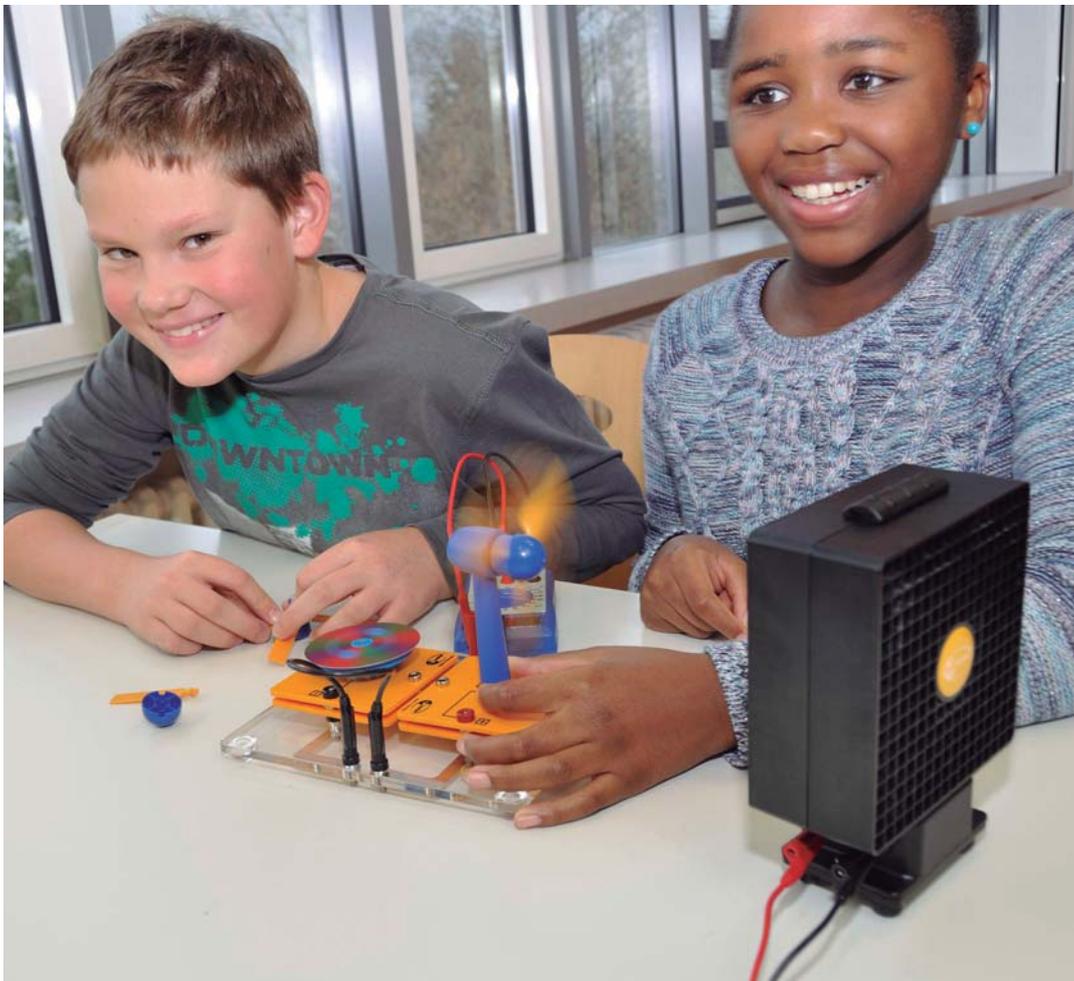


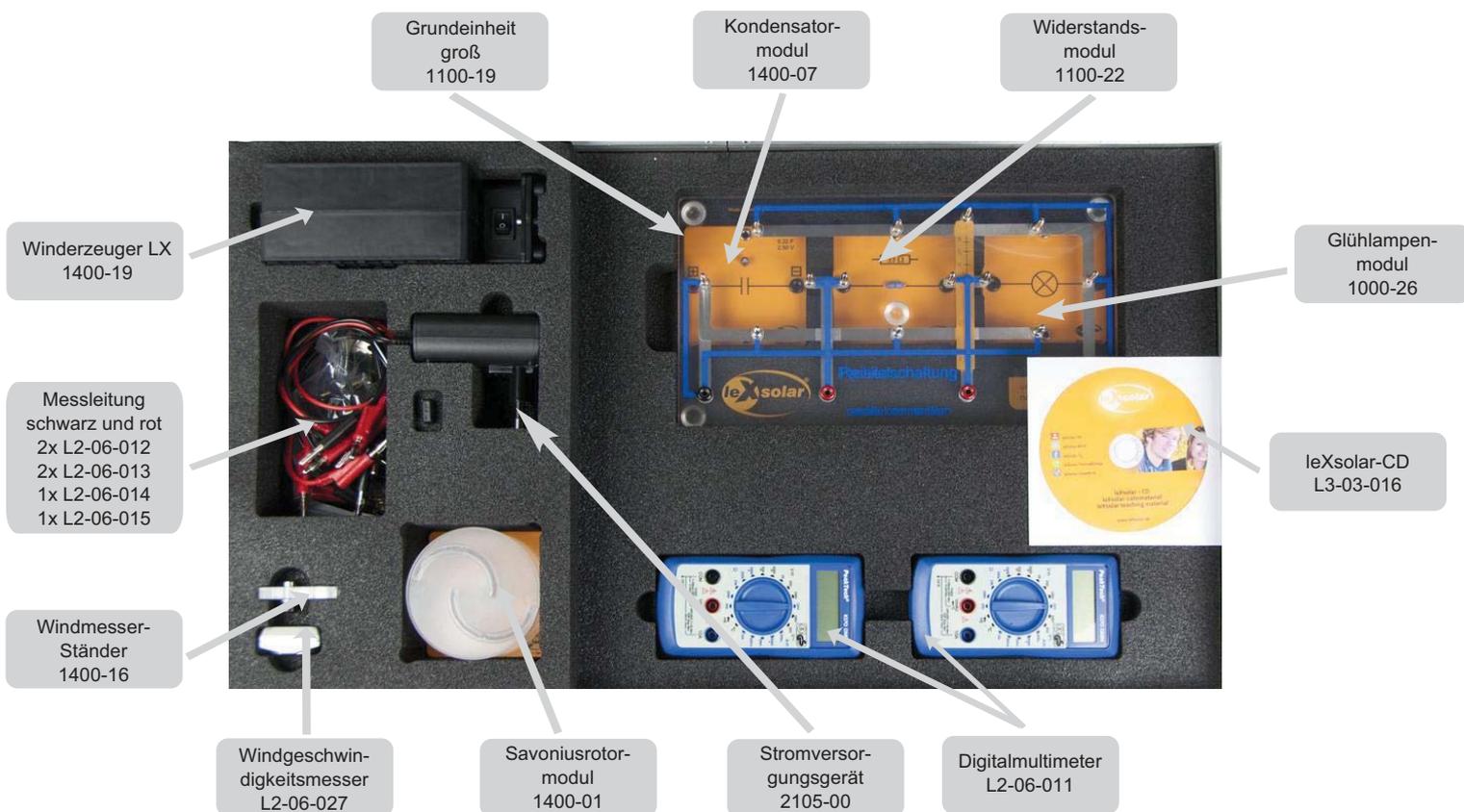
# leXsolar-Wind Ready-to-go



Lehrerheft

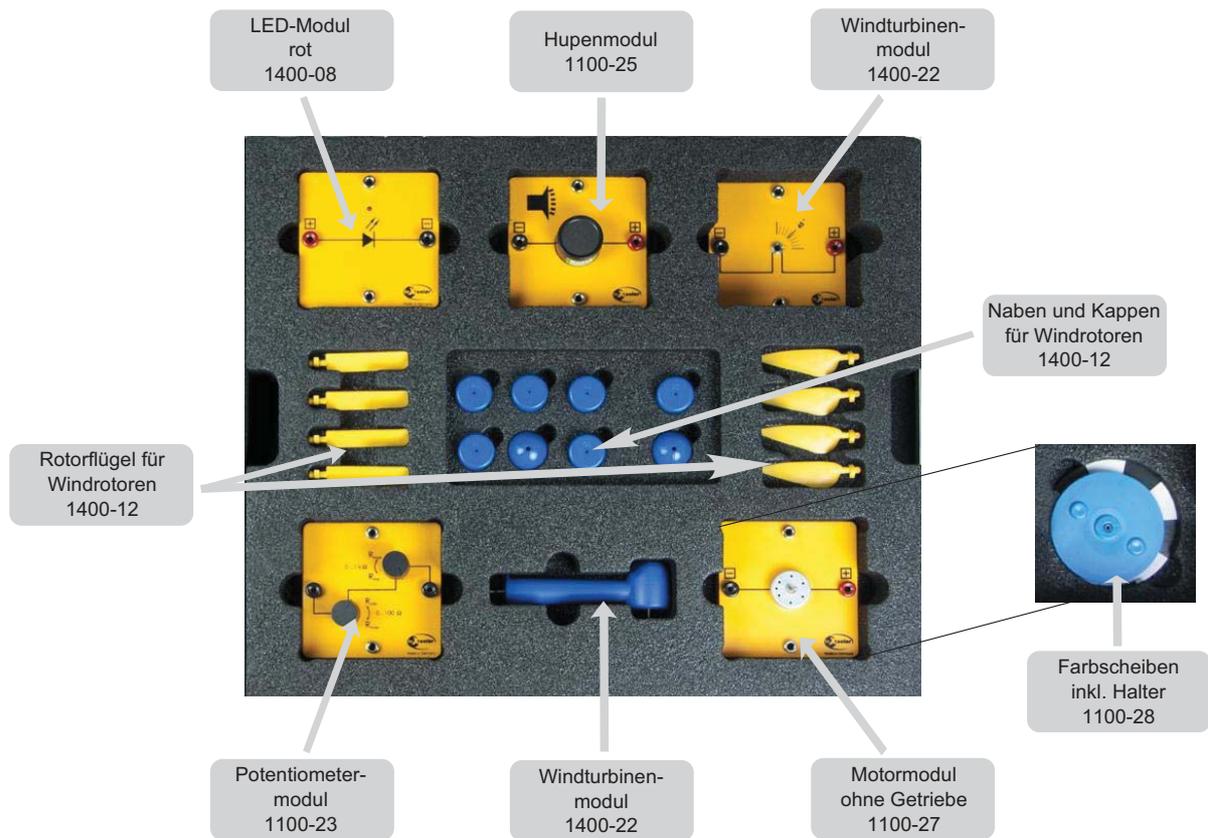
# Bestückungsplan leXsolar-Wind Ready-to-go

Art.-Nr.1405



# Bestückungsplan leXsolar-Wind Ready-to-go

Art.-Nr.1405



# Inhalt

<b>I. Wissenschaftliche Grundlagen</b> .....	<b>6</b>
1 <i>Wie entsteht Wind?</i> .....	6
1.1 <i>Globale Betrachtung von Winderscheinungen</i> .....	6
1.2 <i>Einflüsse auf lokale Windverhältnisse</i> .....	7
2 <i>Windenergie im Wandel der Zeiten</i> .....	8
2.1 <i>Die Anfänge der Windenergienutzung – Rotoren mit vertikaler Drehachse</i> .....	8
2.2 <i>Erste Windkraftanlagen in Europa</i> .....	9
2.3 <i>Windenergieerzeugung ab 1900</i> .....	10
3 <i>Physikalisch-Technische Grundlagen der Windenergienutzung</i> .....	11
3.1 <i>Überblick über Strömungsmechanik</i> .....	11
3.2 <i>Arten verschiedener Windkraftanlagen</i> .....	12
3.3 <i>Physikalische Betrachtungen zur Windkraftanlage</i> .....	15
3.3.1 <i>Leistung und Wirkungsgrad des Windrotors</i> .....	16
3.3.2 <i>Auftrieb am Rotorblatt</i> .....	20
3.4 <i>Getriebe- und Generatortechnik</i> .....	23
3.5 <i>Leistungsbegrenzung am Windrotor</i> .....	25
4 <i>Fakten zur Windkraftnutzung</i> .....	27
<b>II. Handhabung der Experimentiergeräte leXsolar-Wind</b> .....	<b>29</b>
1 <i>Bezeichnungen der Bauteile</i> .....	29
2 <i>Hinweise zur Handhabung</i> .....	32
2.1 <i>Messung der Windgeschwindigkeit (Erweiterung Windgeschwindigkeitsmesser):</i> .....	32
2.2 <i>Einsetzen und Wechseln der Rotorblätter</i> .....	32
3 <i>Diagramme zu den Experimenten</i> .....	33
3.1 <i>Windgeschwindigkeit bei konstanter Spannung am Winderzeuger</i> .....	33
3.2 <i>Windgeschwindigkeit bei konstantem Abstand vom Winderzeuger</i> .....	33
3.3 <i>Dichte der Luft (abhängig von der Raumtemperatur)</i> .....	34
<b>III. Musterlösungen der Experimente</b> .....	<b>35</b>
<i>Experiment 1.1</i> .....	37
<i>Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (phänomenologisch)</i> .....	37
<i>Experiment 1.2</i> .....	39
<i>Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (Spannungsmessung)</i> .....	39
<i>Experiment 1.3</i> .....	42
<i>Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (Leistungsmessung)</i> .....	42
<i>Experiment 2.1</i> .....	46
<i>Anlaufwindgeschwindigkeit an einer Windkraftanlage</i> .....	46
<i>Experiment 2.2</i> .....	49
<i>Vergleich der Anlaufwindgeschwindigkeit zwischen Savonius- und Dreiblattrotor</i> .....	49
<i>Experiment 3.1</i> .....	52
<i>Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten eines Verbrauchers</i> .....	52
<i>Experiment 3.2</i> .....	55

<i>Veränderung der Generatorspannung durch Zuschalten verschiedener Verbraucher</i> .....	55
Experiment 4 .....	58
<i>Untersuchung der Windgeschwindigkeit hinter dem Rotor</i> .....	58
Experiment 5.1 .....	61
<i>Energiebilanz an einer Windkraftanlage</i> .....	61
Experiment 5.2 .....	64
<i>Berechnung des Wirkungsgrades einer Windkraftanlage</i> .....	64
Experiment 6 .....	67
<i>Speicherung elektrischer Energie</i> .....	67
Experiment 7.1 .....	71
<i>Energieumwandlungen an einer Windkraftanlage</i> .....	71
Experiment 7.2 .....	73
<i>Untersuchungen an Farbscheiben mithilfe einer Windkraftanlage</i> .....	73
Experiment 8.1 .....	77
<i>Vergleich von Savoniusrotor und Dreiblattrotor (phänomenologisch)</i> .....	77
Experiment 8.2 .....	80
<i>Vergleich von Savoniusrotor und Dreiblattrotor (Spannungsmessung)</i> .....	80
Experiment 8.3 .....	83
<i>Vergleich von Savoniusrotor und Dreiblattrotor (Leistungsmessung)</i> .....	83
Experiment 9.1 .....	87
<i>Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren (phänomenologisch)</i> .....	87
Experiment 9.2 .....	90
<i>Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren (Spannungsmessung)</i> .....	90
Experiment 9.3 .....	94
<i>Vergleich von Zwei-, Drei- und Vierblattrotoren (Leistungsmessung)</i> .....	94
Experiment 10 .....	98
<i>Kennlinien einer Windkraftanlage</i> .....	98
Experiment 11.1 .....	102
<i>Einfluss der Windrichtung (phänomenologisch)</i> .....	102
Experiment 11.2 .....	104
<i>Einfluss der Windrichtung (Spannungsmessung)</i> .....	104
Experiment 11.3 .....	107
<i>Einfluss der Windrichtung (Leistungsmessung)</i> .....	107
Experiment 12.1 .....	110
<i>Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (phänomenologisch)</i> .....	110
Experiment 12.2 .....	112
<i>Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (Spannungsmessung)</i> .....	112
Experiment 12.3 .....	115
<i>Einfluss des Anstellwinkels der Rotorblätter (Leistungsmessung)</i> .....	115
Experiment 12.4 .....	119
<i>Anlaufgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Anstellwinkel</i> .....	119
Experiment 13.1 .....	124
<i>Einfluss der Flügelform (phänomenologisch)</i> .....	124
Experiment 13.2 .....	126

<i>Einfluss der Flügelform (Spannungsmessung)</i> .....	126
<i>Experiment 13.3</i> .....	128
<i>Einfluss der Flügelform (Leistungsmessung)</i> .....	128
<b>IV. Literaturverzeichnis</b> .....	<b>131</b>

---

# I. Wissenschaftliche Grundlagen

Grundlage für die Untersuchungen am Windrotor sind wesentliche Kenntnisse zu Aufbau und Funktionsprinzip von Windkraftanlagen. Dabei spielt auch die historische Entwicklung dieser Anlagen eine bedeutende Rolle. In diesem Kapitel stehen Aufbau, Funktionsweise von und physikalische Vorgänge an Windkraftanlagen, die Entwicklung der Windenergie in Deutschland und weltweit, sowie geographische Aspekte von Wind im Mittelpunkt. Zu Beginn wird die Windentstehung näher erläutert.

## 1 Wie entsteht Wind?

Die Nutzung von Wind als Energiequelle macht eine Untersuchung von Ursachen der Windentstehung notwendig. Wie entsteht Wind? Welche Erscheinungen nehmen auf den Verlauf und die Stärke des Windes Einfluss? In welchen Gebieten sind die Windgeschwindigkeiten besonders hoch? Wo können Windkraftanlagen effektiv eingesetzt werden? Solche und ähnliche Fragen sollen im nächsten Abschnitt beantwortet werden.

### 1.1 Globale Betrachtung von Winderscheinungen

Die komplexen Windphänomene sollen hier nur stark vereinfacht skizziert werden. Ursprung sämtlicher Winderscheinungen ist die Sonne, da sie die Luftmassen in der Atmosphäre erwärmt. Verschiedene Bereiche der Erde werden unterschiedlich stark erwärmt, was zum Beispiel von der Erdumlaufbahn, der Neigung der Erdachse, aber auch von der Beschaffenheit der beleuchteten Fläche (Meer oder Kontinent) oder der Luftfeuchtigkeit in einzelnen Gebieten abhängt. Es entstehen also Bereiche unterschiedlicher Temperatur. Eine solche Wärmeverteilung für die Erde ist zum Beispiel in Abbildung 1-1 dargestellt.

Durch die unterschiedlichen Temperaturen ändert sich der Luftdruck lokal und es entstehen Gebiete hohen und niedrigen Druckes<sup>1</sup>. Der Druckunterschied wird durch eine Bewegung der Luftmassen vom Ort des höheren zum Ort geringeren Druckes ausgeglichen. Diese Luftbewegung zwischen einem Hoch- und einem Tiefdruckgebiet nennt man Wind.

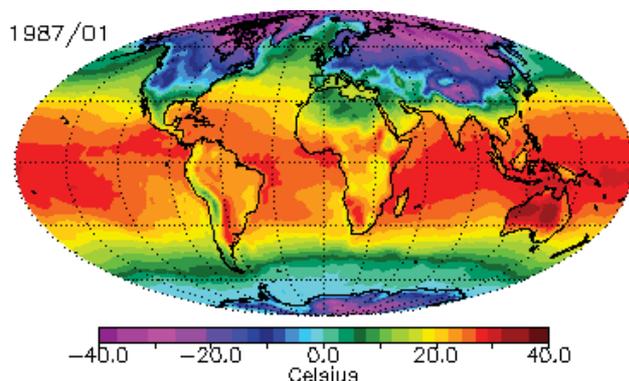


Abbildung 1-1 Temperaturverteilung der Erde (Januar 1987)

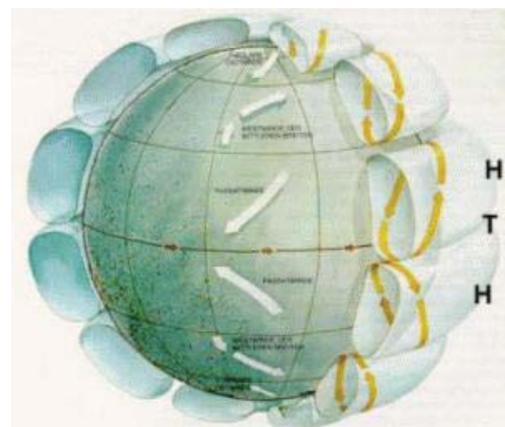


Abbildung 1-2 Globale Luftströmungen

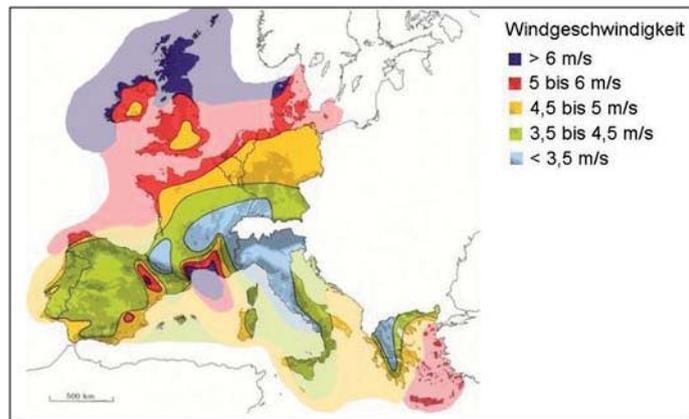
<sup>1</sup> Die genaue Entstehung von Hoch- und Tiefdruckgebieten ist in „Meteorologie und Klimatologie“ nachzulesen (Malberg, 2007).

Eine wichtige globale Windbewegung führt von einem Hoch über dem Äquator (warme Gebiete) zu einem Tief über den Polen (kühlere Gebiete). Wegen der Rotationsbewegung der Erde verlaufen diese Winde allerdings nicht geradlinig vom Äquator zum Nord- oder Südpol. Sie werden abgelenkt, auf der nördlichen Halbkugel in Richtung Osten und südlich in Richtung Westen. Dies führt zum bekannten Jetstream. Ursache des Verlaufs dieser Luftbewegung ist der sogenannte Coriolis-Effekt<sup>2</sup>.

Er bewirkt aber nicht nur die Bewegung des Jetstreams an sich, sondern er erzeugt bei den in ein Tiefdruckgebiet einströmenden Luftmassen auch lokale Wirbelwinde, sogenannte Zyklone und Antizyklone, die dazu führen, dass die Windrichtung sich von Zeit zu Zeit ändert. Diese Unbeständigkeit ist für die Planung von Windkraftanlagen von Bedeutung. Allerdings nehmen nicht nur die globalen Luftmassenbewegungen, wie sie hier beschrieben wurden Einfluss auf die Windgeschwindigkeit und damit den Betrieb solcher Anlagen, sondern auch regionale Gegebenheiten am Standort einer Windkraftanlage.

## 1.2 Einflüsse auf lokale Windverhältnisse

Es spielen für die Untersuchung der Windverhältnisse regionale Eigenschaften eine wesentliche Rolle. Je nach Bodenbeschaffenheit, der Nähe des Standortes zu Bebauungsflächen, einem Gebirgszug oder zur Meeresküste variiert die Windgeschwindigkeit. Betrachtet man die Übersichtskarte Europas (siehe Abbildung 1-3)<sup>3</sup>, so wird deutlich, dass in den Küstenregionen, über den Meeren und in Hochgebirgen hohe Windgeschwindigkeiten vorherrschend sind. Die Errichtung von Windkraftanlagen ist also nicht überall lukrativ. Auf Meeresflächen erreicht die durchschnittliche Windgeschwindigkeit ausreichend große Werte. Aber auch auf dem Festland, zum Beispiel in Mittelgebirgen oder auf freien Landflächen ist sie ausreichend groß, sodass die Windenergienutzung lohnenswert ist.



**Abbildung 1-3 Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten in Europa**

Eine Windkraftanlage arbeitet bei einer Windgeschwindigkeit von 8 m/s bis 10 m/s am effektivsten, startet aber bereits bei circa 4 m/s. Die Nutzung ist also bereits bei geringen Windgeschwindigkeiten möglich, auch wenn dabei nicht die volle Leistung und damit auch nicht der maximale Wirkungsgrad der Anlage erreicht werden kann. In einigen Bereichen Europas ist die Stromerzeugung durch Windenergie also sinnvoll nutzbar, ein kontinuierlicher Betrieb ist allerdings in den wenigsten Gebieten möglich, da die Windgeschwindigkeiten am konkreten Standort teilweise sehr stark variieren können<sup>4</sup> (Bundesverband Windenergie e.V.). Wenn

<sup>2</sup> Diese Erscheinung soll hier nicht näher erläutert werden. Genaue Abläufe sind nachzulesen in „Meteorologie und Klimatologie“. (Malberg, 2007)

<sup>3</sup> Es handelt sich um durchschnittliche Windgeschwindigkeiten. Es werden lokale Faktoren, allerdings nicht die Nähe zu Bebauungsflächen und andere kleingliedrige regionale Unterschiede in der Darstellung berücksichtigt.

<sup>4</sup> In Abbildung 1-3 sind Durchschnittsgeschwindigkeiten gegeben, das heißt im mit  $v = 5$  m/s bezeichneten Gebiet können zeitweise Windstille (0 m/s) oder starker Wind (12 m/s) auftreten.

man die historische Entwicklung betrachtet, wird deutlich, dass die Windkraftnutzung dennoch für die Menschen von Bedeutung war und ist.

## 2 Windenergie im Wandel der Zeiten

Die Nutzung von Wind als Energiequelle ist keine Erfindung der Neuzeit. Schon vor circa 3000 Jahren wurden einfache Windräder gebaut um sich fortzubewegen, Körner zu mahlen oder andere mechanische Arbeiten zu verrichten. In Europa entwickelte man allerdings erst im Mittelalter Windmühlen und nutzte den Wind als Energiequelle aus. Diese Mühlen wurden mit einigen Unterbrechungen bis hin zu den heutigen modernen Windkraftanlagen weiterentwickelt. Welche Völker sich als erste mit der Nutzung des Windes auseinandersetzten und wie sich die verschiedenen Anlagen seither verändert haben, soll nun genauer beschrieben werden.

### 2.1 Die Anfänge der Windenergienutzung – Rotoren mit vertikaler Drehachse

Die erste Nutzung des Windes als Energiequelle liegt schon sehr weit zurück. Schon einige Jahrhunderte vor Christus konnten die Menschen die Energie des Windes für ihre Arbeiten einsetzen. Die ersten Windräder wurden nach Vermutung der Historiker im Orient circa 1700 v.Chr. erbaut. Sie bestanden aus geflochtenen Matten, die durch den Wind bewegt wurden und so eine Drehbewegung erzeugten, mit der schließlich Mahlsteine im unteren Bereich der Mühle bewegt werden konnten (Abbildung 2-1). Allerdings konnte mit diesem Bautyp nur eine Energienutzung erfolgen, wenn der Wind aus einer bestimmten Richtung blies. Um diesem Problem zu entgehen, entwickelte man in China schon ungefähr um 1000 nach Christus Windräder mit umklappenden Flügeln, die unabhängig von der Richtung des Windes arbeiteten.

Bei all diesen Formen einfacher Windräder spielten der Luftwiderstand und die daraus resultierende Kraft für die Windnutzung die entscheidende Rolle. Wegen der damit verbundenen sehr großen Reibung durch die Luft war die erzeugte Leistung allerdings relativ gering.

Windkraftanlagen, die eine vertikale Drehachse besitzen, haben nach Entwicklung der ersten Bockwindmühlen in Europa viele Jahrhunderte später an Bedeutung verloren, da mit den neuen Windmühlen bessere Wirkungsgrade erzielt werden konnten. Dennoch wurden einige

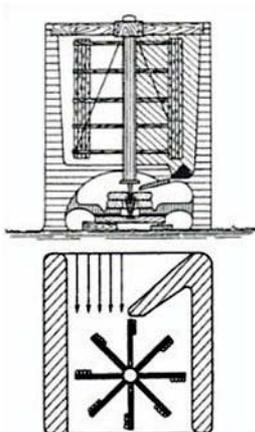


Abbildung 2-1 Persische Windmühle

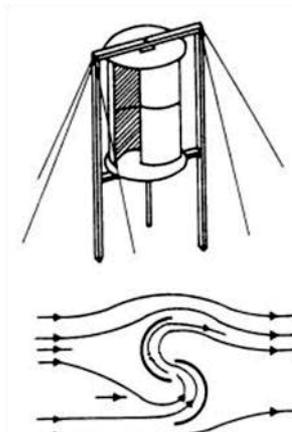


Abbildung 2-2 Savonius-Rotor

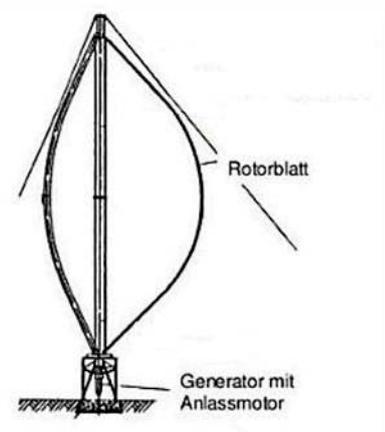


Abbildung 2-3 Darrieus-Rotor

Formen von Vertikalachsen-Windrädern weiterentwickelt. Im Jahre 1924 entwickelte der Finne Sigurd Savonius einen Rotor mit vertikaler Drehachse, der schließlich auch Savoniusrotor genannte wurde (Abbildung 2-2). Dieser arbeitet nach ähnlichen Prinzipien, wie die bis dahin erfundenen Anlagen, unterscheidet sich aber zu den persischen Windrädern, die nur eine bei fester Windrichtung die Energie des Windes nutzen können. Der Savoniusrotor ermöglicht Energieerzeugung unabhängig von der Richtung des Windes. Im Jahre 1929 entwickelte man eine etwas komplexere Form eines solchen Windrades und machte sich zusätzlich zum Widerstand auch den Auftrieb am Windrad zunutze. Der entstandene Rotor wurde nach seinem Erfinder Darrieus benannt (siehe Abbildung 2-3). Aufgrund des immer noch relativ schlechten Wirkungsgrades sind diese Formen von Rotoren heute allerdings weniger von Bedeutung.

## 2.2 Erste Windkraftanlagen in Europa

Als erste Windkraftanlagen in Europa entwickelten sich im 13. und 14. Jahrhundert die sogenannten Bockwindmühlen (siehe Abbildung 2-4). Diese hatten bereits eine horizontale Antriebsachse und verbreiteten sich schnell in England, Frankreich, Deutschland, Polen und etwas später auch in Russland. Bockwindmühlen sind drehbar gelagert (durch den sogenannten Bock mit Zapfen) und konnten so dem Wind nachgeführt werden. Im 17. und 18. Jahrhundert entwickelte man in den Niederlanden die Holländerwindmühle (Abbildung 2-5), die auf einem ähnlichen Prinzip beruht, bei der allerdings der Hauptkörper fest steht und sich lediglich die Turmspitze, meist ein Holzaufbau, mit dem Windrad drehen kann. Dies war besonders für den Antrieb von Maschinen innerhalb der Mühle wichtig, denn diese sollten schließlich auch bei drehendem Wind kontinuierlich weiterarbeiten. Durch das Drehen der Turmspitze mussten sie außerdem nicht mehr gemeinsam mit der Mühle bewegt werden, sondern konnten fest im Inneren der Mühle eingebaut werden.

In Amerika entwickelte sich im 19. Jahrhundert noch eine weitere Form der Windmühle, das sogenannte „Westermill“. Es besteht aus einem Gitterturm, an dem eine Flügelrosette aus 20 Blechschaufeln angebracht ist (Abbildung 2-6). Man nutzte diese Anlagen, um Brauchwasser für Lokomotiven oder Trinkwasser an die Erdoberfläche zu pumpen. Bei dieser Form der Windkraftanlage wird die Windrichtungsnachführung bereits automatisch durchgeführt, sodass dieses System nahezu unverändert in einigen Bereichen Amerikas und Australiens noch heute eingesetzt wird.



**Abbildung 2-4**  
Bockwindmühle



**Abbildung 2-5**  
Holländerwindmühle



**Abbildung 2-6**  
Westermill

## Experiment 1.1

### **Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (phänomenologisch)**

---

#### Inhalte des Experimentes:

Es wird die Geschwindigkeit der Luft verändert, indem die Spannung am Windgenerator variiert wird. An den Windgenerator ist das Leuchtdiodenmodul angeschlossen. Die Schüler sollen nun (qualitativ) untersuchen, welche Auswirkung die Änderung der Windgeschwindigkeit auf die Helligkeit der Diode hat. Dabei wird die Helligkeit in Abhängigkeit der Spannung am Winderzeuger untersucht und die Ergebnisse werden von den Schülern durch Ausmalen der entsprechenden Kästchenanzahl notiert. Im Anschluss an die experimentellen Untersuchungen vervollständigen die Schüler den Lückentext als Auswertung des Experimentes.

#### Erklärung der Ergebnisse

Bei großer Spannung am Winderzeuger (12V) kann eine hohe Windgeschwindigkeit gemessen werden. Verringert man die Spannung, so nimmt auch die Geschwindigkeit ab. Die Windturbine dreht sich bei größerer Windgeschwindigkeit schneller und der Generator erzeugt eine größere elektrische Spannung. In Folge dessen leuchtet die Leuchtdiode heller. Mit abnehmender Spannung am Winderzeuger ist also die Helligkeit der Leuchtdiode geringer, was aus der unterschiedlichen Windgeschwindigkeit am Flügelrad resultiert.

#### Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele

Das Experiment eignet sich besonders für den Anfangsunterricht in Physik bzw. für naturwissenschaftliche Grundlagenfächer in **den Klassenstufen 5 und 6**. Die Schüler erhalten einen Einblick in die Physik der Windenergie und lernen den Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Windenergienutzung spielerisch kennen. Das Experiment könnte als **Einführung in einen Themenkomplex** wie z.B. „Erneuerbare Energien“ oder „Energieversorgung“ dienen. Durch den einfachen Versuchsaufbau kann es ebenfalls eingesetzt werden, um den Schülern **erste Kenntnisse im physikalischen Experimentieren** zu vermitteln.

#### Hinweise zur Durchführung des Experimentes:

- Beim Ausmalen der Kästchen sollen die Balken wie Skalen betrachtet werden. Leuchtet die Leuchtdiode gar nicht, so wird kein Kästchen ausgemalt, leuchtet sie nur schwach, so werden die untersten zwei Kästchen ausgemalt, usw. Darauf sollten die Schüler gegebenenfalls noch genauer hingewiesen werden.

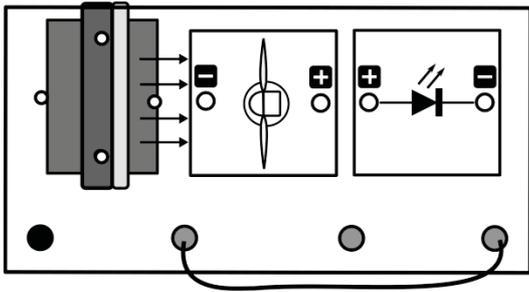


# 1.1 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf eine Windturbine (phänomenologisch)

## Aufgabe

Untersuche die Helligkeit einer Leuchtdiode, die durch einen Windgenerator betrieben wird.

## Aufbau



## Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeuger mit Stromversorgung (variabel)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- LED-Modul
- Kabel

## Vorbemerkung

Bei diesem Experiment kannst du untersuchen, wie sich der vom Windgenerator erzeugte Strom ändert, wenn die Windgeschwindigkeit verändert wird. Die Variation der Windgeschwindigkeit erfolgt durch Änderung der Spannung am Winderzeuger.

## Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Verändere die Spannung am Winderzeuger mithilfe einer variablen Spannungsquelle. Beginne bei 6V.
3. Beobachte, wie sich die Helligkeit der Leuchtdiode verändert und trage deine Beobachtungen in die Tabelle ein. Male dazu die entsprechende Anzahl an Feldern aus.

## Auswertung

Spannung am Winderzeuger	6V	7,5V	9V	12V	Beispiel
Die Leuchtdiode leuchtet...	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; background-color: #cccccc; background-image: linear-gradient(to top, transparent 49%, #cccccc 49%, #cccccc 51%, transparent 51%);"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; background-color: #cccccc; background-image: linear-gradient(to top, transparent 49%, #cccccc 49%, #cccccc 51%, transparent 51%);"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; background-color: #cccccc; background-image: linear-gradient(to top, transparent 49%, #cccccc 49%, #cccccc 51%, transparent 51%);"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; background-color: #cccccc; background-image: linear-gradient(to top, transparent 49%, #cccccc 49%, #cccccc 51%, transparent 51%);"></div> hell <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; background-color: #cccccc; background-image: linear-gradient(to top, transparent 49%, #cccccc 49%, #cccccc 51%, transparent 51%);"></div> schwach <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; background-color: #cccccc; background-image: linear-gradient(to top, transparent 49%, #cccccc 49%, #cccccc 51%, transparent 51%);"></div> gar nicht

Vervollständige nun den angegebenen Text:

Bei größerer Spannung am Winderzeuger leuchtet die Leuchtdiode **heller**.

Je **größer** die Windgeschwindigkeit ist, desto heller leuchtet auch die LED.

## Experiment 7.1

### Energieumwandlungen an einer Windkraftanlage

---

#### Inhalte des Experimentes:

Bei diesem Experiment untersuchen die Schüler spielerisch die Energieerzeugung und -umwandlung an einer Windkraftanlage. Es werden eine Hupe und eine Glühlampe mithilfe einer Windkraftanlage betrieben. Die Schüler beschreiben ihre Beobachtungen und füllen zur Auswertung einen Lückentext aus.

#### Erklärung der Ergebnisse

Die Windkraftanlage wandelt die kinetische Energie der Luftströmung in elektrische Energie um, mit der schließlich elektrische Geräte betrieben werden. Man nutzt in diesem Experiment eine Hupe und eine Glühlampe.

#### Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele

Dieses Experiment eignet sich für den Einsatz in den **Klassenstufen 5 bis 7** im Anfangsunterricht in Physik oder in naturwissenschaftlichen Grundlagenfächern. Der Einsatz als Anfangsexperiment ist zu empfehlen. Die Schüler erlernen oder üben das **Vorgehen beim physikalischen Experimentieren** und das **Führen eines einfachen Protokolls**. Das Thema der Windenergienutzung wird den Schülern spielerisch vermittelt. Führt man das Experiment in Klasse 7 durch, kann man außerdem noch darüber sprechen, welche **Energieumformungen** im Experiment ablaufen.

#### Hinweise zur Durchführung des Experimentes

- Die Glühlampe sollte erst dann in den Versuchsaufbau eingesteckt werden, wenn der Winderzeuger bereits gestartet ist. Es ist sonst möglich, dass der Winderzeuger nicht startet und so die Glühlampe nicht leuchtet.

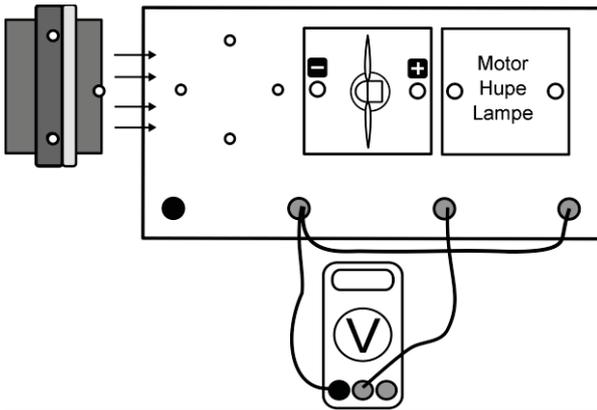


## 7.1 Energieumwandlungen an einer Windkraftanlage

### Aufgabe

Nutze eine Windkraftanlage um eine Glühlampe zum Leuchten zu bringen und eine Hupe zu betreiben.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (12 V)
- Windgeneratormodul
- 3-Flügler 25° (Flügel: optimiertes Profil)
- Glühlampenmodul
- Hupenmodul
- Kabel

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung mit der Hupe auf (auf Polarität achten!).
2. Stelle den Winderzeuger auf 12V ein und schalte die Stromversorgung an.
3. Tausche anschließend die Hupe durch die Glühlampe aus. Notiere deine Beobachtung.

### Beobachtung

Die Windkraftanlage kann das Hupenmodul zum Hupen bringen.

Die Glühlampe leuchtet, wenn sie an den Windgenerator angeschlossen

wird. Die Helligkeit der Glühlampe nimmt aber nach dem Einstecken ab und der

Windrotor wird langsamer.

### Auswertung

Vervollständige den folgenden Text.

Wind ist **Bewegung** von Luftmassen. Luft besteht aus Teilchen. Die Luftteilchen besitzen Bewegungs**energie**. Sie strömen an den **Rotorblättern** der Windkraftanlage vorbei. Der Windrotor entnimmt dem Wind Energie und wandelt diese in eine **Dreh- (oder Rotations-)**bewegung um. Am **Generator** wird dadurch eine Spannung erzeugt. Diese bewirkt, dass die Glühlampe **leuchtet** und **die Hupe** ein Geräusch erzeugt.

## Experiment 13.1

### Einfluss der Flügelform (phänomenologisch)

---

#### Inhalte des Experimentes:

Es soll die Abhängigkeit der Leistung einer Windkraftanlage von der Form der Rotorflügel untersucht werden. Dazu soll die Leuchtdiode zunächst mithilfe eines Rotors mit optimierten Flügeln zum Leuchten gebracht werden. Danach sollen die Schüler den gleichen Versuch mit dem flachen Flügelprofil wiederholen. Es soll der qualitative Unterschied der beiden Flügelformen anhand der Helligkeit der Diode festgestellt werden und die Flügelform anschließend genauer beschrieben werden. Dem Schüler sollte zumindest ein Beispiel einfallen, wo das flache Profil zum Einsatz kommt.

#### Erklärung der Ergebnisse

Beim optimierten Profil leuchtet die LED heller. Das optimierte Profil ähnelt vom Aufbau her einem Flugzeugflügel, worin auch die Begründung liegt, dass dieser Flügel geeigneter ist für reale Windkraftanlagen. Durch das aerodynamisch optimierte Profil können Auftriebseffekte genutzt werden, die zu einer besseren Leistungsentnahme des Rotorflügels aus der Luft führen. Genaueres kann im Kapitel 3.3.2 nachgelesen werden.

#### Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und didaktische Ziele

Dieses Experiment eignet sich für den Einsatz in den **Klassenstufen 5 und 6** des Anfangsunterrichtes in Physik oder naturwissenschaftlichen Grundlagenfächern. Es ist für das Durchführen **erster Experimente im Unterricht** geeignet, da der Aufbau sehr übersichtlich ist. Den Schülern wird spielerisch die Abhängigkeit der Leistung einer Windkraftanlage von der Flügelform nahe gebracht.

#### Hinweise zur Durchführung des Experimentes

- Der Versuch ist statt mit einer Leuchtdiode auch mithilfe des Glühlampenmoduls durchführbar. Allerdings sollte die Glühlampe erst eingesetzt werden, wenn der Rotor sich bereits zu drehen beginnt. Es ist sonst möglich, dass die Windkraftanlage nicht startet.
- Der Austausch der Rotorblätter darf nur bei ausgeschaltetem Winderzeuger durchgeführt werden, da sonst Verletzungsgefahr besteht.

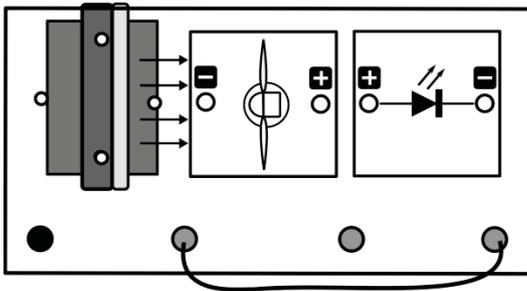


## 13.1 Einfluss der Flügelform (phänomenologisch)

### Aufgabe

Untersuche die Helligkeit einer Leuchtdiode bei unterschiedlicher Form der Rotorblätter.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- Winderzeugermodul mit Stromversorgung (9V)
- Windgeneratormodul (drei Rotorblätter, 25°, optimiertes Profil und flaches Profil)
- LED-Modul
- Kabel

### Durchführung

1. Baue die Versuchsanordnung wie oben dargestellt auf.
2. Stecke den Dreiblattrotor mit dem optimierten Profil auf den Windgenerator und schalte den Winderzeuger ein. Beobachte die Helligkeit der Leuchtdiode.
3. Wiederhole deine Messung mit dem Dreiblattrotor mit flachem Profil. Hinweise zum Wechsel der Rotorblätter findest du auf Seite 32.
4. Notiere deine Beobachtungen.

### Auswertung

1. Bei welcher Flügelform leuchtet die LED heller?
2. Untersuche die Flügelform beider Rotorflügel genauer. Welche Unterschiede kannst du feststellen?
3. Kennst du Beispiele, wo das flache Profil zum Einsatz kommt?

1.

Beim optimierten Profil

2.

Beim optimierten Profil laufen die Flügel vorn spitz zu und sind breiter am Ansatz (unsymmetrischer Aufbau, ähnlich wie Flugzeugflügel). Sie sind außerdem leicht in sich selbst verdreht. Die flachen Flügel sind rechteckig und überall gleich dick.

3.

Windmühle

leXsolar GmbH  
Strehleener Straße 12-14  
01069 Dresden / Germany

Telefon: +49 (0) 351 - 47 96 56 0  
Fax: +49 (0) 351 - 47 96 56 - 111  
E-Mail: [info@lexsolar.de](mailto:info@lexsolar.de)  
Web: [www.lexsolar.de](http://www.lexsolar.de)