

Forschungsmappe

Name:

Klasse:

Datum:

Schülerlabor am Institut für Technische Physik am KIT

Hallo liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer am Schülerlabor am Institut für Technische Physik (ITEP) am Karlsruher Institut für Technologie.

In deinen Händen hältst du deine eigene Forschungsmappe, die dich auf dem Weg durch verschiedene Stationen begleiten wird. Sie beinhaltet unterschiedlichste Aufgaben und Experimente rund um das Thema Windenergie.

Dabei wirst du lernen, wie sich die Windenergie und ihre Nutzung durch den Menschen durch die Geschichte ziehen, welche Entwicklungen Windkraftanlagen seit jeher gemacht haben und aus welchen Komponenten eine moderne Windkraftanlage besteht. Außerdem wirst du erarbeiten, wie eine Windkraftanlage überhaupt funktioniert. Und damit der praktische Teil nicht zu kurz kommt, wirst du zwei Experimente durchführen. Das eine behandelt die Rotoranzahl und die Rotorstellung und das andere befasst sich mit der Leistung und der dazugehörigen Kennlinie einer solchen Anlage.

Bitte trage alle deine gesammelten Ergebnisse in deine Mappe ein, sodass du daheim und in Zukunft immer schnell auf alle wichtigen Informationen zu diesem Thema zugreifen kannst.

Und nun wünschen wir dir viel Spaß und viel Erfolg beim Bearbeiten der Stationen!



1. Schülervorlagen

a. Station „Rotoranzahl und -stellung“

30 min

Die Optimierung von Windkraftanlagen spielt eine große Rolle um einen möglichst großen Wirkungsgrad zu erreichen. Dabei können verschiedene Einflussgrößen beachtet und verändert werden.

Im Gegensatz zu den üblichen Windkraftanlagen in Deutschland sind in dem Clean-Energy-Trainer glatte Rotorblätter, wie sie bei Windkraftanlagen in Amerika oder Australien noch heute zum Einsatz kommen.

Versuchsprotokoll

Name:**Datum:**

Fragestellung:

Eure Aufgabe ist es nun, die Energieausbeute der Windkraftanlage zu maximieren. Mögliche Veränderungen können vorgenommen werden in der **Anzahl der Rotorblätter**, **Neigungswinkel der Rotorblätter**, **Windrichtung**.

Entwickelt eine Theorie wie die einzelnen Größen Einfluss auf die Leistung nehmen.

Versuchsaufbau:

Nachfolgend ist eine Zeichnung des Experiments abgebildet, aus der du die zu verwendenden Materialien erkennen und diese richtig aufbauen kannst.



Versuchsbeschreibung:

Eure Aufgabe ist es nun, die Energieausbeute der Windkraftanlage zu maximieren. Mögliche Veränderungen können vorgenommen werden in der **Anzahl der Rotorblätter**, **Neigungswinkel der Rotorblätter**, **Windrichtung**.

Versuchsdurchführung:

Zu Beginn muss die Software gestartet und der Reiter WINDGENERATOR ausgewählt werden. Danach solltest du unter Funktion auf HANDBETRIEB schalten und die Messung starten. Der Ventilator steht etwa 50 cm vom Windgenerator entfernt.



Versuchsbeobachtung:

	Anzahl der Rotorblätter	Neigungswinkel	Windrichtung	Leistung
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Der Neigungswinkel der Rotorblätter beschreibt den Winkel zwischen den Rotorflächen und der Rotationsebene zwischen 0 und 90 Grad. Die Windrichtung wird ebenfalls zwischen 90 Grad (direkt) und 0 Grad (seitlicher Wind) angegeben.

Versuchsauswertung:

Versuche nun deine Versuchsbeobachtungen, im Hinblick auf die Fragestellung, zu deuten und die Ergebnisse zu interpretieren, um dann deine eigene Schlussfolgerung auf den Strich formulieren zu können. Es ist auch immer erwähnenswert, wenn es kein eindeutiges Ergebnis gibt, was in der Forschung häufig der Fall ist. Dann muss eine mögliche Begründung gesucht und aufgeschrieben werden, um das Experiment weiterzuentwickeln.

[illegible]

Zusatzaufgabe

An der Station findet ihr neben dem Experimentierbausatz eine Deutschlandkarte mit verschiedenen markierten und nummerierten Bereichen. Teilt die Bereiche gemeinsam untereinander auf und überlegt euch, für welche von euren Bereichen eine Windkraftanlage bzw. ein Windpark in Frage kommen würde.

Zusätzlich findet ihr auf der nächsten Seite eine verkleinerte Karte, die ihr mit nach Hause nehmen könnt.

Mein gewähltes Gebiet:

Gewähltes Gebiet meines Partners:

Gründe für einen Windpark:

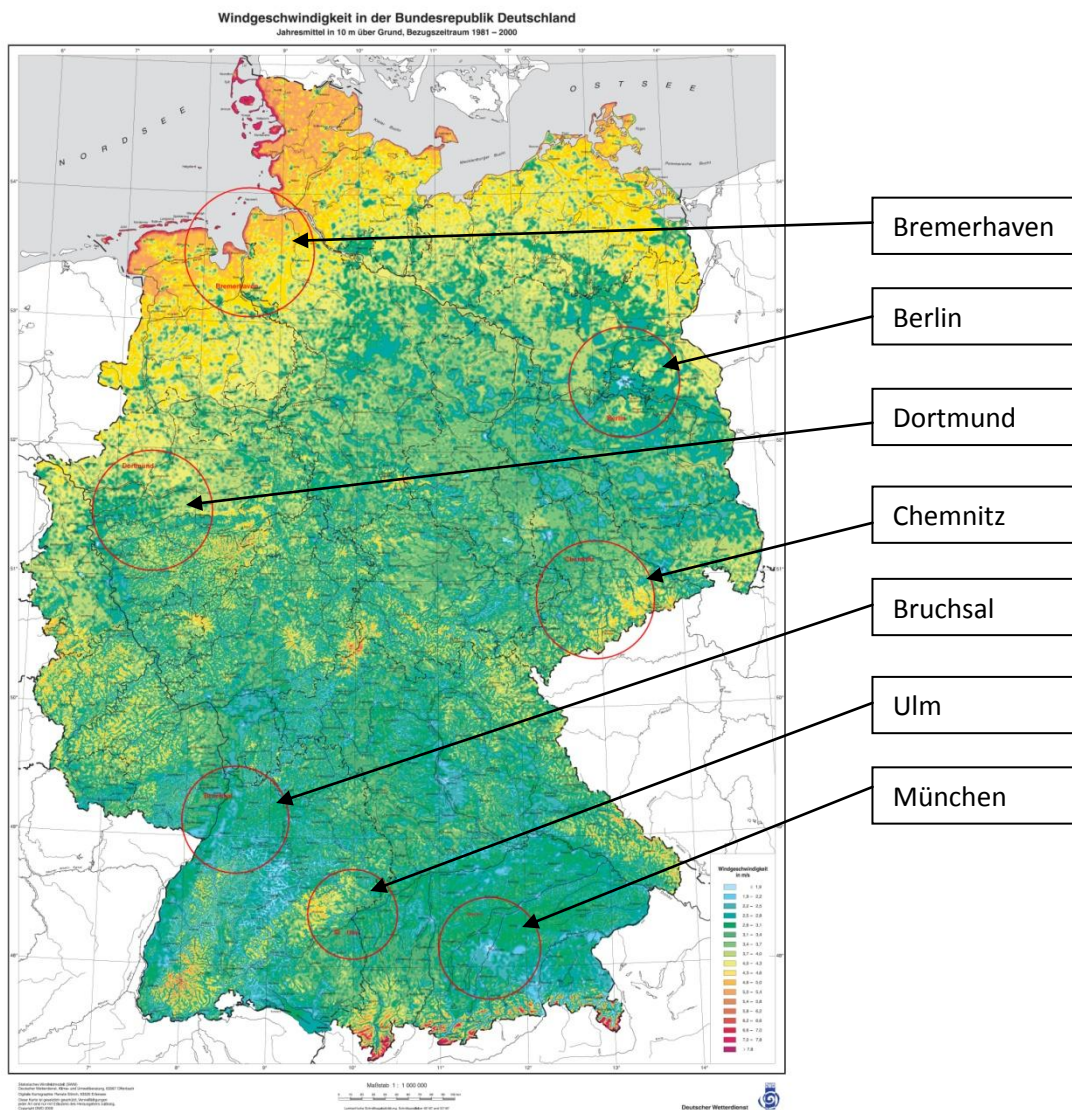
Meine Argumente	Argumente meines Partners

Gründe gegen einen Windpark:

Meine Argumente	Argumente meines Partners

Diskutiert nun gemeinsam in welchem von euren Bereichen sich Windkraftanlagen besonders eignen.



Windkarte

b. Station „Leistung und Kennlinien“**30 min**

Grundsätzlich wird die Bewegungsenergie des Windes zur Produktion von Strom genutzt. Eine Windkraftanlage liefert ihre Leistung, indem sie die Kraft des Windes in ein Drehmoment an den Rotorblättern umwandelt. Diese wird wiederum von einem Generator in elektrische Energie umgewandelt. Um jedoch die Wirtschaftlichkeit einer Anlage abschätzen zu können, muss die Leistung berechnet werden, welche von der Windstärke, der Anzahl der Rotorblätter und deren Neigungswinkel, sowie der Windrichtung und dem Wirkungsgrad der Windkraftanlage abhängt.

Zunächst wird die Leistung des Windes berechnet, diese wird dann mit dem Wirkungsgrad der Anlage multipliziert. **Versucht die durcheinandergeratenen Formeln dem passenden Abschnitt zu zuordnen, damit ihr mit dem Experiment loslegen könnt. Aber Achtung, ein Kärtchen wurde ausversehen vom Wind weggeweht und ihr müsst die Formel ersetzen.**

Die Leistung entspricht der Energie
Pro Zeiteinheit.

Die allgemeine Formel zur Bestimmung
der Windenergie lautet:

Die Luftmasse m ist gleich der Luftdichte ρ
multipliziert mit dem Volumen V der Luft.

Der Volumenstrom leitet sich ab, aus der
Fläche des Rotors und der Windgeschwin-
digkeit v .

Die Fläche A eines Kreises wird mit dem
Radius r , wie folgt berechnet:

Aufgelöst ergibt sich daher für die Leistung
des Windes die folgende Formel:

Nicht die gesamte Energie des Windes wird von einer Windkraftanlage umgewandelt. Der Wirkungsgrad von ca. 59 % kann niemals überschritten werden. Daher muss die Leistung des Windes mit dem maximal möglichen Wirkungsgrad multipliziert werden.

Hinweis: Der maximale Wirkungsgrad wird von gewöhnlichen Windkraftanlagen nicht erreicht. Üblich sind Wirkungsgrade von z.B. 40 %



Versuchsprotokoll**Name:****Datum:****Fragestellung:**

Versuche mit Hilfe eines Experimentes die Leistung einer Windkraftanlage zu berechnen, sowie den Bereich der maximalen Leistung aus der resultierenden Kennlinie abzulesen und mit den daraus folgenden Bedingungen die optimale Lage/Position eines Windrades zu bestimmen.

Versuchsaufbau:

Nachfolgend ist eine Zeichnung des Experiments abgebildet, aus der du die zu verwendenden Materialien erkennen und diese richtig aufbauen kannst.

**Versuchsbeschreibung:**

Um die maximale Leistung zu erhalten kannst du eine unterschiedliche Anzahl von Rotorblättern verwenden, sowie deren Neigungswinkel verstellen. Auch der Windgenerator darf verstellt und für den Ventilator verschiedene Stufen gewählt werden.

Versuchsdurchführung:

Zu Beginn muss die Software gestartet und der Reiter WINDGENERATOR ausgewählt werden. Danach solltest du unter Funktion auf AUTOMATIKBETRIEB schalten und die Messung starten. Danach auf LEISTUNGSGRAPH klicken, um die Kennlinie zu erzeugen.

Versuchsbeobachtung:

In diesem Abschnitt kannst du deine jeweiligen Einstellung notieren und auf die ausgedruckte Kennlinie die entsprechende Nummer, zur besseren Zuordnung schreiben.

	Anzahl der Rotorblätter	Neigungswinkel	Ventilatorstufe	Position Windgenerator
1				
2				
3				
4				
...



Versuchsauswertung:

Versuche nun deine Versuchsbeobachtungen, im Hinblick auf die Fragestellung, zu deuten und die Ergebnisse zu interpretieren, um dann deine eigene Schlussfolgerung auf den Strich formulieren zu können. Es ist auch immer erwähnenswert, wenn es kein eindeutiges Ergebnis gibt, was in der Forschung häufig der Fall ist. Dann muss eine mögliche Begründung gesucht und aufgeschrieben werden, um das Experiment weiterzuentwickeln.

[illegible]

c. Station „Geschichte, Komponenten, Rotorblätterttypen und Funktionsweise einer Windkraftanlage“ 30 min

Aufgabenblatt Komponenten einer Windkraftanlage

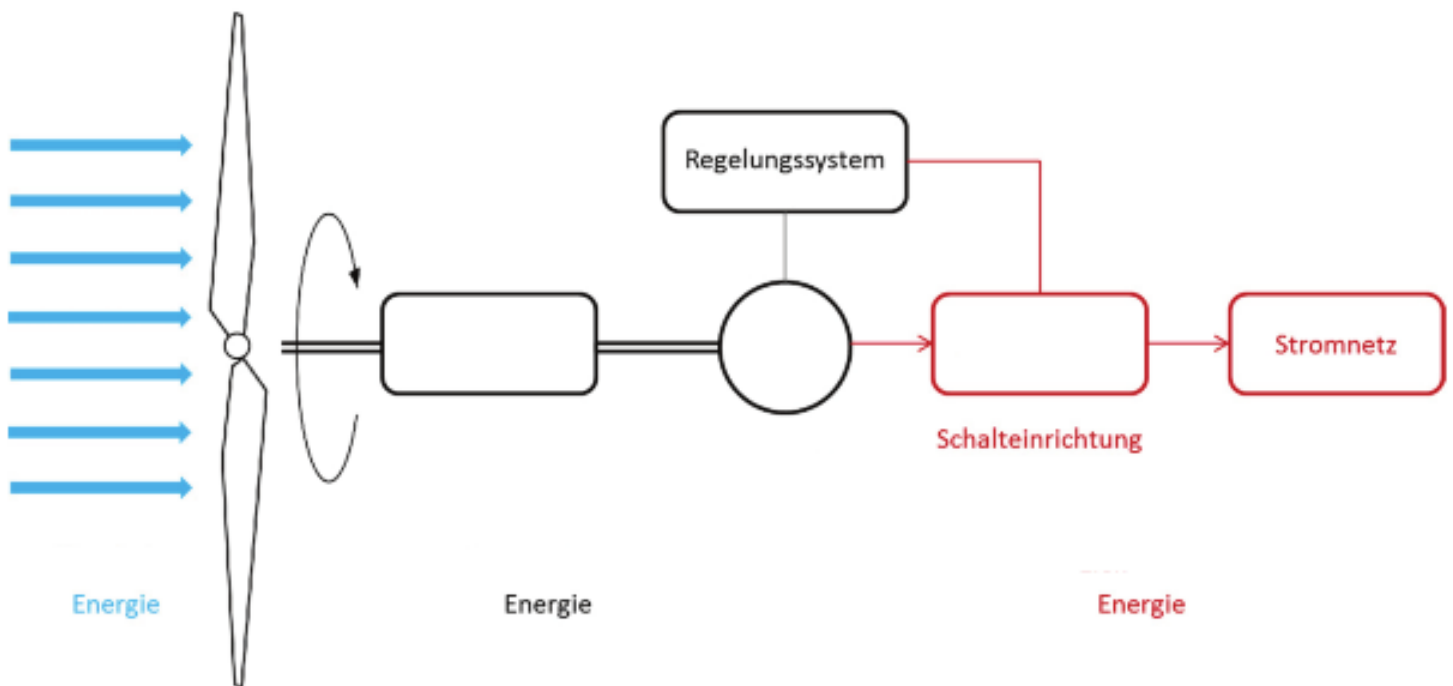
Im Folgenden ist eine gewöhnliche Windkraftanlage dargestellt. Bilde zunächst aus dem „Buchstabensalat“ die richtigen Wörter und beschrifte dann das Bild. Hinweis: Der erste und der letzte Buchstabe des Wortes stimmen bereits!

1. Smhalstat
2. Gedonl
3. Misstrnuemsten
4. Rtorolabtt
5. Nbae
6. Rtorobatltervsetllnug
7. Gtreibee / Kpplunug
8. Bmrese
9. Gretanoer
10. Fanduemnt
11. Afutseig
12. Nazteshclsuns
13. Nchfürhanug
(der Windrichtung)



Aufgabenblatt Funktionsweise einer Windkraftanlage

1. Schaut euch folgende zwei Videos aufmerksam an:
<https://www.youtube.com/watch?v=3X6cujCgRrk>
<https://www.youtube.com/watch?v=VE4K36kneJE>
2. Vervollständigt nun das vorgegebene Schema mit Hilfe der Erkenntnisse aus den Videoclips. Es fehlen noch 3 Komponenten und die unterschiedlichen Energieformen!



3. Jeder von euch bekommt nun 3 Fragekärtchen. Es wird abwechselnd eine Frage gestellt und der jeweils andere soll dann die Frage verständlich und mündlich dem anderen beantworten.

1. Wofür wird das Getriebe benötigt?	2. Wofür wird eine Bremse bei einer Windkraftanlage gebraucht?
3. Wie heißt das Messinstrument außen an der Gondel und was misst es?	4. Welche Aufgabe hat der Generator?
5. Wozu ist der Transformator notwendig?	6. Für wie viele Menschen reicht der produzierte Strom, wenn ein Generator ca. 2500 kW erzeugt? Wie viele Personen können in etwa mit Strom versorgt werden, wenn eine Einzelanlage 3-4 MW liefert?



4. Notiert jetzt gemeinsam kurz und knapp die Antworten der 6 Fragen.

1.) Wofür wird das Getriebe benötigt?

2.) Wofür wird eine Bremse bei einer Windkraftanlage gebraucht?

3.) Wie heißt das Messinstrument außen an der Gondel und was misst es?

4.) Welche Aufgabe hat der Generator?

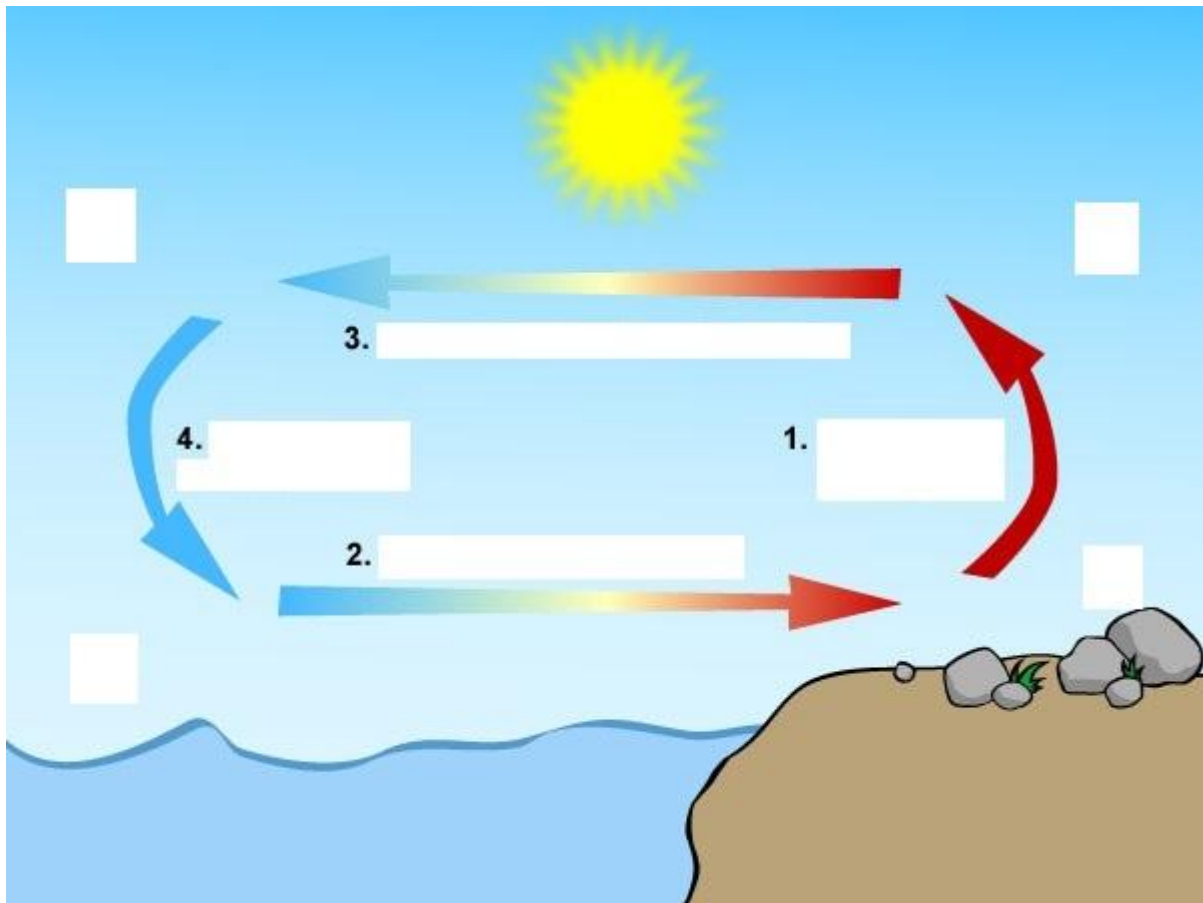
5.) Wozu ist der Transformator notwendig?

6.) Für wie viele Menschen reicht der produzierte Strom, wenn ein Generator ca. 2500 kW erzeugt? Wie viele Personen können in etwa mit Strom versorgt werden, wenn eine Einzelanlage 3-4 MW liefert?



d. Station „Geschichte und Rotorblatttypen“**30 min****Aufgabenblatt Geschichte/Allgemeines und Rotorblätterttypen****Geschichte/Allgemeines**

1. Wie entsteht Wind? Leitet aus dem folgenden Schaubild ab, wie der Wind entsteht und wo sich jeweils Hochdruck- und Tiefdruckgebiete befinden und notiert euch eure Lösung in 3-4 Sätzen.



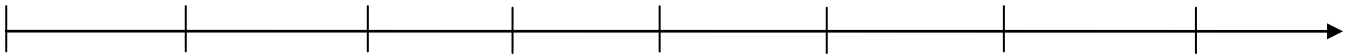


2. Die Luft versucht immer Druckunterschiede auszugleichen. Dadurch gerät sie in eine Art Druck-Kreislauf (siehe Schaubild). An welchen Stellen wäre es demnach sinnvoll, Windkraftanlagen zu positionieren?

3. Schaue dir folgendes Video an:

<https://www.youtube.com/watch?v=wxWjusO7b7U>

Fertige einen Zeitstrahl an, in dem alle wichtigen Meilensteine der Windenergienutzung aufgeführt sind.



4. Führe nun mit deinem Partner ein kleines Rollenspiel durch, indem ihr folgende Rollen annimmt: Einer von euch wurde im Zuge der Energiewende damit beauftragt, in unmittelbarer Nähe des Wohnorts der anderen Person eine Windkraftanlage zu bauen (Angenommen, dass es dort auch sinnvoll ist, eine zu errichten). Das bedeutet, Rolle A ist die des Energiewendeingenieurs und Rolle B die des Bewohners, in dessen direkter Umgebung eine Anlage gebaut werden soll. Diskutiert nun in euren Rollen Vorteile (Rolle A) und Nachteile (Rolle B) für oder gegen den Bau der geplanten Windkraftanlage!



5. Notiert euch abschließend die Vor- und Nachteile, die in eurer Diskussion verwendet wurden.

Vorteile	Nachteile

...

...



Rotorblättertypen

Die nächste Aufgabe kannst du mit deinem Partner durch ein Puzzle-Spiel lösen.

Anleitung: Zu jedem Bild eines Rotorblatttyps gehören drei Eigenschaftskarten. Ordne die Eigenschaftskarten den Rotorblättypen zu und notiere deine Ergebnisse.

Savonius-Rotor



Holländer-Windmühle





Dreiblatt-Rotor



Heidelberg-Rotor



Western-Rotor





Einblatt-Rotor



<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

Zweiblatt-Rotor



<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

Darrieus-Rotor



<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>



2. Tutorvorlagen

Dieses Kapitel wird nicht in die Forschungsmappe der Schüler geheftet, sondern wird nur an die Tutoren ausgegeben.

a. Informationen

Im Folgenden finden Sie Anregungen und Anweisungen, die Sie während der Stationenarbeit beachten sollten, um einen reibungslosen Verlauf mit zu gestalten.

Außerdem haben Sie zu jeder Station eine Musterlösung, auf die Sie zurückgreifen können. Die SuS sollen in erster Linie selbstständig und in ihren Zweierteams arbeiten, das heißt, Sie greifen dann ein, wenn es in Ihrem Ermessen notwendig ist. Auch dazu sind nachfolgend Tipps aufgelistet.

i. Einführung

Zu Beginn des Schülerlabors sind alle Schülerinnen und Schüler versammelt. Bei dieser Gelegenheit sollen Sie zunächst allesamt begrüßen und Ihre Freude ausdrücken, dass Sie zusammen mit den (zahlreichen) SuS zusammenarbeiten können.

Sie können anschließend einige Worte zum Institut sagen und damit übergehend zu den einzelnen Stationen kurze Erläuterungen abgeben. Ein wichtiger und unabdingbarer Bestandteil ist die Verkündung der Sicherheitsmaßnahmen sowie der Hausordnung. Bei Missachtung dieser kann es zum Ausschluss des Schülerlabors kommen und weitere Konsequenzen nach sich ziehen.

Die Einteilung der Zweierteams kann auf verschiedene Arten passieren, die jeweils gewisse Vor- und Nachteile mit sich bringen. Lassen Sie die SuS die Teams eigenständig wählen, so arbeiten wohl wie sonst auch dieselben Partner miteinander. Das kann Vorteile bei der Gruppenatmosphäre und bei der Bearbeitung der Aufgaben bedeuten, aber auch evtl. Nachlässigkeit und Unkonzentriertheit. Bestimmen Sie die Gruppen, d.h. machen Sie die Gruppen inhomogen, kann das zunächst zu Spannungen und Demotivation führen, andererseits aber auch neue Möglichkeiten und Erfahrungen für die SuS zulassen. Eine weitere Möglichkeit, die zugleich auch die Stimmung auflockern kann, ist ein Losverfahren. Wie Sie sich auch entscheiden mögen, sollten Sie die Auswirkungen beachten.

Gehen Sie außerdem kurz auf Ihre Rolle als Tutor ein.

Ansonsten wünschen Sie allen Teilnehmern einen erfolgreichen Tag und viel Spaß bei der Bearbeitung der Aufgaben.



ii. Station „Rotoranzahl und –stellung“

Wichtig an dieser Station ist das selbstständige Erarbeiten des Versuchs durch die einzelnen Gruppen. Eingreifen sollte der Tutor nur bei offensichtlichen Schwierigkeiten, zum Beispiel bei dem Aufbau des Versuchsaufbaus, dem Einstellen der Software oder dem Messen der Versuchsergebnisse.

Das Ergebnis des ersten Versuchs sollte lauten „**Möglichst viele Rotorblätter im gleichen Winkel angeordnet liefern die höchste Leistung.** (Der am besten geeignete Winkel sollte in Vorversuchen durch die Tutoren ermittelt werden, das war im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.) **Der Wind sollte dabei direkt von vorne kommen.**

Kommen die Schüler unerwartet früh zu dem Ergebnis, sollen sie vom Tutor angeleitet werden dennoch weitere Möglichkeiten zu testen.

Die in der Tabelle vorgesehenen 8 Zeilen sind nur ein Richtwert, die Tabelle kann beliebig erweitert werden um weitere Versuche durchzuführen.

Die Windkarte (extra Dokument) liegt an der Station. Es ist den Schülern frei überlassen welche der markierten Bereiche sie auswählen. Dementsprechend können auch die Argumente voneinander abweichen. Kommt es dabei zu Schwierigkeiten, bietet es sich für den Tutor an auf andere, nicht beachtete Bereiche hinzuweisen und diese miteinander zu vergleichen.



iii. Station „Leistung und Kennlinien“

Sollte eine Gruppe wieder willens sein vor Ablauf der Bearbeitungszeit fertig zu sein, so können Sie als Tutor, die Schüler verdeckt eine bestimmte Anzahl an Aufgaben aus den nachfolgenden Fragekatalog ziehen lassen.



Wie kann die maximale Leistung eines Windrades erzeugt werden?	Warum werden Windkraftanlagen in Küstennähe gebaut?
Wie lässt sich die maximale Leistung des Windgenerators bestimmen?	Wie sieht die Leistungs-Spannungskennlinie auf Stufe 3 im Gegensatz zu Stufe 1 aus?
Wovon hängt die kinetische Energie des Windes ab?	Von welchen drei Faktoren hängt die Energiemenge ab, die der Wind auf den Rotor überträgt?

Lösung:

Wie kann die maximale Leistung eines Windrades erzeugt werden?

- Die Anzahl der Rotorblätter möglichst hoch wählen und den Neigungswinkel, Abstand und Ausrichtung des Ventilators optimieren.

Warum werden Windkraftanlagen in Küstennähe gebaut?

- Am meisten Wind weht in den Küstengebieten und in den Hochlagen der Mittelgebirge.

Wie lässt sich die maximale Leistung des Windgenerators bestimmen?

- Die maximale Leistung ist das Maximum der Kennlinie.

Wie sieht die Leistungs-Spannungskennlinie auf Stufe 3 im Gegensatz zu Stufe 1 aus?

- Der Anstieg der Leistung dauert etwas länger und verschiebt sich dadurch nach rechts. Auch das Maximum verändert sich.

Wovon hängt die kinetische Energie des Windes ab?

- Sie hängt von der Masse und der Geschwindigkeit des bewegten Körpers ab.

Von welchen drei Faktoren hängt die Energiemenge ab, die der Wind auf den Rotor beträgt?

- Die Windgeschwindigkeit (Ventilator), die Neigung der Rotorblätter und die Windrichtung sind wichtige Faktoren.



iv. Stationen „Geschichte, Komponenten, Funktionsweise und Rotorblatttypen“

Die SuS sollen im Wesentlichen die Aufgaben selbstständig oder im Zweierteam lösen. In Ausnahmefällen können sich die SuS auch mit anderen Teams unterhalten und über die Stationen diskutieren, allerdings nicht voneinander die Lösungen abschreiben, da sonst der Sinn des konstruktivistischen Arbeitens verloren geht.

Als Tutor haben Sie verschiedene Funktionen zu erfüllen:

- Sie sind erster Ansprechpartner bei Unklarheiten und Missverständnissen. Sollte eine Aufgabe innerhalb einer Station unverständlich sein, sollten Sie Anstöße in die richtige Richtung geben.
- Weiterhin sind Sie Initiator, wenn Sie bemerken, dass eine Gruppe nicht wie gewünscht arbeitet oder zu keinem Ergebnis kommt. Anzeichen hierfür können Unruhe, Untätigkeit oder erhebliches Fehlverständnis sein. In diesen Fällen sollten Sie die Ursache klären und eingreifen. Sie sollten situationsbedingt handeln und die SuS wieder motivieren oder für die Aufgabe sensibilisieren. Umgekehrt ist es natürlich auch möglich, dass einige SuS schneller als erwartet mit der Aufgabe fertig werden. Dabei sind Sie angehalten etwaige Diskussionen oder Rollenspiele zu initiieren oder Fragen aus obigem Fragepool zu stellen.
- Außerdem fungieren Sie und die anderen Tutoren als Aufsichtspersonen. Dies bedeutet, dass Sie darauf achten sollen, dass alle Sicherheitsmaßnahmen – sofern diese in der Einleitung besprochen wurden – eingehalten werden. Sie sind daher mitverantwortlich, wenn sich die SuS nicht vorschriftsgemäß verhalten und Sie dies nicht versuchen zu unterbinden.

Ihnen steht zu jeder Zeit ein Laptop zur Verfügung, um ebenfalls weitere Informationen zu beschaffen oder um geeignete Quellen für die SuS ausfindig zu machen. Sollten die Jugendlichen Fragen stellen, die Sie auf Anhieb nicht beantworten können, so verlagern Sie diese Frage zur abschließenden Besprechung, sodass im Plenum darüber evtl. diskutiert werden kann. Bis dahin können Sie die Antwort gegebenenfalls im Internet finden.

Gehen Sie mit Ihren Tutorvorlagen verantwortungsvoll um, sodass Sie zum einen stets für die Stationen vorbereitet sind und zum anderen, dass die SuS keinen Einblick darin haben, um Lösungen abzuschreiben.



v. Ergebnisbesprechung

In der Ergebnisbesprechung am Ende des Schülerlabortages treffen sich wieder alle Gruppen und Tutoren zusammen wie bei der Einführung.

Hierbei sollen die Ergebnisse nicht im Einzelnen besprochen werden, sondern es soll die Möglichkeit gegeben werden, um über die Stationen zu diskutieren und eventuelle Unklarheiten im Plenum zu besprechen. Es sollte der Grundsatz gelten: Ergebnisse sind keineswegs nur Inhalte, die während den Stationen erarbeitet wurden, sondern vielmehr jegliche Erkenntnisse, die der Tag bewirkt hat. Mit der Ergebnissicherung sollen die SuS dazu bewegt werden, erarbeitete Ergebnisse zu verstehen und diese (womöglich auch zeitversetzt) selbstständig zur Anwendung zu bringen.

Auch jetzt können Sie als Tutor eingreifen und ergänzende Fragen stellen oder Anregungen einbringen, falls es träge laufen sollte. Nutzen Sie außerdem die Möglichkeit, um auf Rückmeldungen der Teilnehmenden einzugehen.



b. Musterlösungen

i. Station „Rotoranzahl und –stellung“

Zusatzaufgabe Windkarte:

Im Folgenden werden beispielhafte Argumente aufgelistet. Diese können sowohl zur Kontrolle, als auch zur Anregung der Gruppe genutzt werden.

Bremerhaven:

Vorteile	Nachteile
Hohe Windgeschwindigkeiten	Geringe Verbraucherzahlen, lange Transportwege
Geringe Bevölkerungsdichte (viel Freifläche)	

Berlin:

Vorteile	Nachteile
Hohe Bevölkerungsdichte, hohe Verbraucherzahlen	Nur mittlere bis geringe Windgeschwindigkeiten
Zum Teil Stellen mit geeigneten Windgeschwindigkeiten	

Dortmund:

Vorteile	Nachteile
Hohe Verbraucherzahlen	Geringe Windgeschwindigkeiten
	Hohe Bevölkerungsdichte

Chemnitz:

Vorteile	Nachteile
Mittlere Windgeschwindigkeiten im Grenzgebiet	Geringe Windgeschwindigkeiten im Großteil des Gebietes
Geringe Verbraucherzahl	

Bruchsal:

Vorteile	Nachteile
Viel Industrie, hohe Verbraucherzahlen	Kaum Wind

Ulm:

Vorteile	Nachteile
Hohe Windgeschwindigkeiten im Mittelgebirge	Geringe Windgeschwindigkeiten fast im gesamten Gebiet
Geringe Bevölkerungsdichte	Geringe Verbraucherzahl

München:

Vorteile	Nachteile
Hohe Verbraucherzahl	Sehr geringe Windgeschwindigkeiten
Geringe Bevölkerungsdichte	



ii. Station „Leistung und Kennlinien“

Grundsätzlich wird die Bewegungsenergie des Windes zur Produktion von Strom genutzt. Eine Windkraftanlage liefert ihre Leistung, indem sie die Kraft des Windes in ein Drehmoment an den Rotorblättern umwandelt. Diese wird wiederum von einem Generator in elektrische Energie umgewandelt. Um jedoch die Wirtschaftlichkeit einer Anlage abschätzen zu können, muss die Leistung berechnet werden, welche von der Windstärke, der Anzahl der Rotorblätter und deren Neigungswinkel, sowie der Windrichtung und dem Wirkungsgrad der Windkraftanlage abhängt.

Zunächst wird die Leistung des Windes berechnet, diese wird dann mit dem Wirkungsgrad der Anlage multipliziert. **Versucht die durcheinandergeratenen Formeln dem passenden Abschnitt zu zuordnen, damit ihr mit dem Experiment loslegen könnt. Aber Achtung, ein Kärtchen wurde ausversehen vom Wind weggeweht und ihr müsst die Formel ersetzen.**

Die Leistung entspricht der Energie Pro Zeiteinheit.

$$P = \frac{E}{t}$$

Die allgemeine Formel zur Bestimmung der Windenergie lautet:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Die Luftmasse m ist gleich der Luftdichte ρ multipliziert mit dem Volumen V der Luft.

$$m = \rho \cdot V$$

Der Volumenstrom leitet sich ab, aus der Fläche des Rotors und der Windgeschwindigkeit v .

$$V = A \cdot v$$

Die Fläche A eines Kreises wird mit dem Radius r , wie folgt berechnet:

$$A = \pi \cdot r^2$$

Aufgelöst ergibt sich daher für die Leistung des Windes die folgende Formel:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v^3$$

Nicht die gesamte Energie des Windes wird von einer Windkraftanlage umgewandelt. Der Wirkungsgrad von ca. 59 % kann niemals überschritten werden. Daher muss die Leistung des Windes mit dem maximal möglichen Wirkungsgrad multipliziert werden.

Hinweis: Der maximale Wirkungsgrad wird von gewöhnlichen Windkraftanlagen nicht erreicht. Üblich sind Wirkungsgrade von z.B. 40 %



Versuchsprotokoll**Name:****Datum:****Fragestellung:**

Versuche mit Hilfe eines Experimentes die Leistung einer Windkraftanlage zu berechnen, sowie den Bereich der maximalen Leistung aus der resultierenden Kennlinie abzulesen und mit den daraus folgenden Bedingungen die optimale Lage/Position eines Windrades zu bestimmen.

Versuchsaufbau:

Nachfolgend ist eine Zeichnung des Experiments abgebildet, aus der du die zu verwendenden Materialien erkennen und diese richtig aufbauen kannst.

**Versuchsbeschreibung:**

Um die maximale Leistung zu erhalten kannst du eine unterschiedliche Anzahl von Rotorblättern verwenden, sowie deren Neigungswinkel verstellen. Auch der Windgenerator darf verstellt und für den Ventilator verschiedene Stufen gewählt werden.

Versuchsdurchführung:

Zu Beginn muss die Software gestartet und der Reiter WINDGENERATOR ausgewählt werden. Danach solltest du unter Funktion auf AUTOMATIKBETRIEB schalten und die Messung starten. Danach auf LEISTUNGSGRAPH klicken, um die Kennlinie zu erzeugen.

Versuchsbeobachtung:

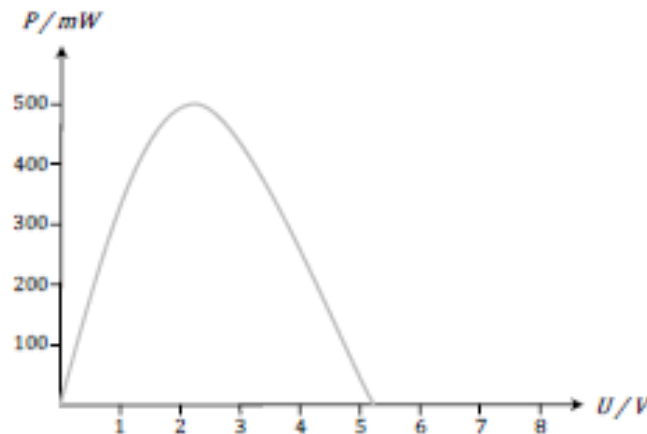
In diesem Abschnitt kannst du deine jeweiligen Einstellung notieren und auf die ausgedruckte Kennlinie die entsprechende Nummer, zur besseren Zuordnung schreiben.

	Anzahl der Rotorblätter	Neigungswinkel	Ventilatorstufe	Position Windgenerator
1				
2				
3				
4				



Versuchsauswertung:

Versuche nun deine Versuchsbeobachtungen, im Hinblick auf die Fragestellung, zu deuten und die Ergebnisse zu interpretieren, um dann deine eigene Schlussfolgerung auf den Strich formulieren zu können. Es ist auch immer erwähnenswert, wenn es kein eindeutiges Ergebnis gibt, was in der Forschung häufig der Fall ist. Dann muss eine mögliche Begründung gesucht und aufgeschrieben werden, um das Experiment weiterzuentwickeln.

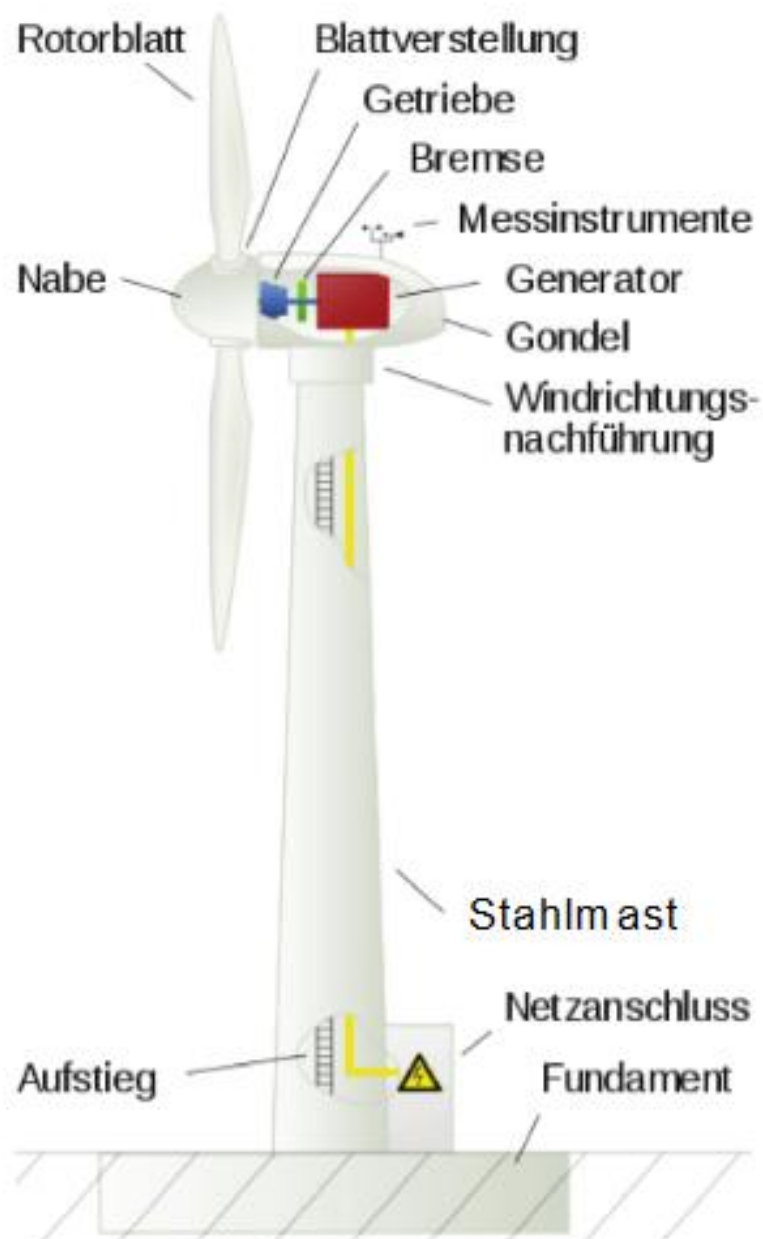
Lösung:

- Die Anzahl der Rotorblätter muss möglichst hoch gewählt werden.
- Der Windgenerator und der Neigungswinkel der Rotorblätter müssen so eingestellt werden, dass die Leerlaufspannung möglichst hoch ist.



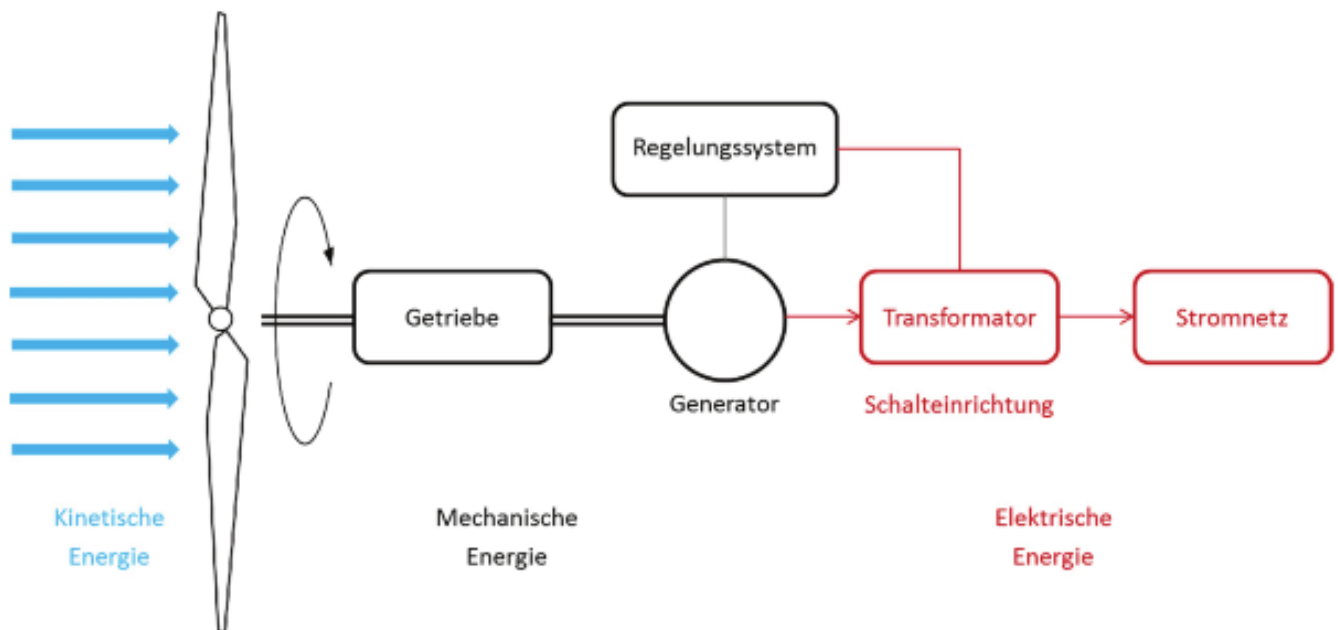
iii. Station 3

Musterlösung Arbeitsblatt: Komponenten einer Windkraftanlage



Musterlösung Aufgabenblatt: Funktionsweise einer Windkraftanlage

- Zu 1.: Die SuS können selbstverständlich auch andere Videos zur Bearbeitung ansehen.
- Zu 2.: Ebenso richtig ist es, für die kinetische Energie den Begriff Bewegungsenergie zu verwenden. Sollten die SuS länger Probleme beim Ausfüllen des Schemas haben, können Sie als Tutor nochmals auf die Videos verweisen oder Beispiele für die Energieformen mit den SuS erörtern.



- Zu 3.: Die SuS bekommen jeweils 3 Kärtchen mit Fragen zu der Funktionsweise einer Windkraftanlage. Diese stellen und beantworten sie sich abwechselnd mündlich.
- Zu 4.: Nun sollen die Schüler nochmal gemeinsam eine kurze und knappe Antwort formulieren und als Ergebnis schriftlich in ihrer Mappe notieren. Bei der letzten Frage dürfen sie sich natürlich einer Nebenrechnung bedienen.



Lösungen

1.) Wofür wird das Getriebe benötigt?

Langsame Geschwindigkeit des Rotors wird umgesetzt in eine höhere Geschwindigkeit für den Generator.

2.) Wofür wird eine Bremse bei einer Windkraftanlage gebraucht?

Wenn der Rotor zu schnell dreht (durch hohe Windenergie), dann findet die Bremse Anwendung. Ggf. wird die Anlage auch abgeschaltet.

3.) Wie heißt das Messinstrument außen an der Gondel und was misst es?

Das Messinstrument heißt Anemometer und misst die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung.

4.) Welche Aufgabe hat der Generator?

Der Generator wandelt wiederum die mechanische Energie in elektrische Energie um.

5.) Wozu ist der Transformator notwendig?

Der Transformator sorgt dafür, dass wir eine höhere Spannung bekommen, um die Energie ins Stromnetz einspeisen zu können.

6.) Für wie viele Menschen reicht der produzierte Strom, wenn ein Generator ca. 2500 kW erzeugt? Wie viele Personen können in etwa mit Strom versorgt werden, wenn eine Einzelanlage 3-4 MW liefert?

Die erzeugte Energie ($2500 \text{ kW} = 2,5 \text{ MW}$) reicht für ca. 2000 Menschen. Dementsprechend können durch eine Einzelanlage, die 3-4 MW liefert, 2400-3200 Personen mit Strom versorgt werden.



Musterlösung Arbeitsblatt: Geschichte und Rotorblatttypen

1. Die Hochdruckgebiete befinden sich nach 1. und nach 4., dementsprechend befinden sich die Tiefdruckgebiete nach Punkt 3 und nach Punkt 2.

Der Motor ist wieder einmal die Sonne. Je nachdem, welche Art Landschaft sich auf dem Boden befindet, wird die Luft mehr oder weniger stark von der Sonne erwärmt. Die warme Luft steigt auf, und oben in der Atmosphäre entsteht ein Luftüberschuss. Das ist ein Hochdruckgebiet. Dafür fehlt die Luft unten am Boden, es entsteht ein Tiefdruckgebiet. Doch die Luft aus der Höhe bleibt nicht immer dort, sie kühlt sich ab und „fällt“ wieder zurück auf die Erdoberfläche. Wo sie sich dort sammelt, entsteht ein Hochdruckgebiet am Boden. Wir haben also ein Hochdruckgebiet und ein Tiefdruckgebiet am Boden. Jetzt beginnt sich die Luft vom Hochdruck- zum Tiefdruckgebiet zu bewegen – es weht Wind. Je größer der Druckunterschied, desto stärker der Wind.



2. Nach 1. ist es sinnvoll entweder Offshore-Windparks zu errichten, also Windkraftanlagen, die im Küstenvorfeld der Meere errichtet werden. Oder Nearshore-Windparks, die in Küstennähe errichtet werden. Eine andere Möglichkeit sind Onshore-Bauten, die im Binnenland – bevorzugt in Gebirgsnähe, entstehen.



3. Die SuS sollen einen Zeitstrahl zur Geschichte des Windrades erstellen. Folgende Meilensteine sollten dabei auftreten:

Meilensteine	Art der Nutzung/Was ist passiert, was wurde gemacht?
Altertum	Schiffssegel
700 v. Chr.	Chinesisches Windrad -> mechan. Arbeit (Vertikalläufer)
Mittelalter, 12. Jhd.	Windmühlen in ganz Europa, Flügelkreuze mit Tüchern bespannt
19. Jhd.	9000 Windmühlen in Holland, Getreide mahlen, gesägt, gehämmert, Wasser gepumpt
1887	Windenergie umwandeln in elektrische Energie, also Stromerzeugung, hier noch für Eigengebrauch
Industrialisierung	Kohle löst Windmühlen zur Energiegewinnung ab -> Windmühlen sterben Ende 19. Anfang 20. Jhd. aus
1970er	Ölkrise, zu starke Abhängigkeit fossiler Rohstoffe -> Nachdenken über erneuerbare Energien
Mitte 1990	Ausbau der Windenergie in Deutschland
2013	Mehr als 200.000 Anlagen weltweit

Die SuS müssen nicht alle einzelnen Meilensteine herausfinden. Als Tutor sollten Sie dann eingreifen, wenn die SuS zu lange brauchen; sie sollen sich auf das Wesentliche aus dem Video konzentrieren.

4. Die SuS sollen in eine rege Diskussion verfallen und dabei ihre Standpunkte in ihren jeweiligen Rollen vertreten. Als Tutor können Sie folgende Anstöße geben:
- Evtl. Rollentausch
 - Denkanstöße zu Vor- oder Nachteilen
 - Evtl. Internetrecherche und gleichzeitiges Vorbereiten für die Diskussion



5. Die SuS müssen natürlich nicht auf alle Vor- und Nachteile kommen. Als Tutor können Sie mit gezielten Fragen wie z.B. „Warum subventioniert der Staat die Windenergiebranche so stark?“ oder „Inwiefern könnte sogar zu viel Wind nachteilhaft sein?“ eine Diskussion anregen.

Vorteile	Nachteile
Ab 200 m wird Lautstärke des Windrades überdeckt	Wind lässt sich nicht speichern, er muss also direkt umgewandelt werden
Windenergie ist energiesparen	Schwer vorhersehbar, wann und wo viel Wind weht
Wind ist nicht erschöpflich, solange die Sonne scheint	Zerstörung schöner Landschaftsbilder
Windenergie ist kostengünstig	Bei zu starkem Wind müssen die Windkraftträder abgeschaltet werden
Windkraftanlagen erzeugen keine schädlichen Abgase	Offshore-Konstruktionen sind aufwendig und teuer
Verzicht auf Importe	Geräuschpegel/Anlage könnte Tiere und evtl. Menschen stören



Musterlösung Arbeitsblatt: Rotorblatttypen

Savonius-Rotor:



Vertikale Drehachse

Von einem Schiffsoffizier 1925 erfunden

Leistungsbeiwert ca. 28%

Zwei angebrachte, waagrechte Kreisscheiben mit mind. 2 halbkreisförmige gebogene Schaufeln

Hohes Drehmoment bei relativ niedriger Drehzahl

Unabhängig von Windrichtung

Einsatz bei extrem niedrigen Windgeschw.

Hohe Toleranz gegen Turbulenzen

Holländer-Windmühle:



Energieleitung mittels einer Königswelle

Achteckiger bis zwölfekiger hölzerner Bau auf solidem Fundament

Flügel sind über Flügelwelle bis hin zur senkrecht laufenden Königswelle eine Einheit und über Getrieberäder verbunden

Energie muss direkt von der drehenden Welle auf angeschlossene Maschinen verteilt werden

Dreiblatt-Rotor:



Aerodynamisch am leichtesten beherrschbar

Geringer Windschatteneffekt, Massenverteilung am Rotor günstig

Stabiles Laufverhalten

Geringe Geräuschbelastung

Horizontale Drehachse

Höhere Rotorblattfläche

Niedrigere Anlaufgeschwindigkeit, gut in Niedrigwindgebieten



Heidelberg-Rotor:



Tragflügel nicht gebogen, sondern gerade

Vertikale Drehachse

Größere dem Wind entgegengesetzte Fläche

Höhere Leistung als bei gebogenen Rotorblättern

Western-Rotor:



Auf Gittermast montiertes, vielflügeliges Windrad

30-150 Rotorblätter

Wirkungsgrad bis zu 30 %

Vollständige Metallfertigung

Drehbewegung durch Kurbelwelle in Hubbewegung umgesetzt

Einblatt-Rotor:



Horizontale Drehachse

Höchste Schnelllaufzahlen

Schlankeres Blatt

Eigengewicht des Rotors niedriger

Erhöhte Geräuschbelastung

Benötigen Gegengewicht auf der anderen Seite der Nabe



Zweiblatt-Rotor:



Horizontale Drehachse

Rotor senkrecht auf Antriebswelle montiert

Auch erhöhte Schallentwicklung

Rotor muss schwenkbar sein, damit zu starke Stöße auf Anlage zu verhindern

Materialaufwand geringer als bei Dreiblatt-Rotor

Darrieus-Rotor:



Vertikale Drehachse

Flügel auf Kreisbahn um Rotationsachse

Blätter wie Sprungseil geformt

Im achsnahen Bereich nimmt Fahrtwind ab

Nicht optimal vom Wind umströmt

Wirkungsgrad max. bei 37 %



3. Quellenangaben

Die Forschungsmappe enthält im Wesentlichen selbst erstelltes Material. Anregungen, Fragestellungen und Abbildungen wurden vor allem von den Unterlagen von Heliocentrics (Clean Energy Trainer), von GrAt – Gruppe Angepasste Technologie mit ihrer Open-Content-Lernplattform e-genius und kiknet – Wo Schule und Wirtschaft sich treffen, entnommen.

a. Abbildungsverzeichnis

Manche Abbildungen kommen doppelt vor, daher werden hier nur die unveränderten Originale, die zumeist bei den Musterlösungen für den Tutor abgebildet sind, aufgeführt:

Abbildung S. 23: Versuchsaufbau (Quelle: Clean Energy Trainer – Experimentieranleitung, S. 29)

Abbildung S. 24: Leistungs-Spannungs-Kennlinie (Quelle: Clean Energy Trainer – Experimentieranleitung, S.41)

Abbildung S. 25: Komponenten einer Windkraftanlage (Quelle: GrAT, e-genius Open-Content-Lernplattform Seite 11)

Abbildung S. 26: Funktionsweise einer Windkraftanlage (Quelle: GrAT, e-genius Open-Content-Lernplattform Seite 9)

Abbildung S. 28: Windentstehung (Quelle:

Abbildung S. 31: Savonius-Rotor (Quelle: kiknet, Wo Schule und Wirtschaft sich treffen, S. 37)

Abbildung S.31. Holländer-Mühle (Quelle: http://www.getmore-online.de/data/media/27/IMG_0286.JPG)

Abbildung S. 31: Dreiblatt-Rotor (Quelle: <http://www.energie-investment.org/bilder/gebraucht-windkraftanlage-kaufen-8.jpg>)

Abbildung S. 32: Heidelberg-Rotor (Quelle: http://www.klein-windkraftanlagen.com/wp-content/uploads/2011/12/ropatec_h-rotor_vertikale-windkraftanlage_20kw.jpg)

Abbildung S. 32: Western-Rotor (Quelle: <http://www.heiner-doerner-windenergie.de/win9.gif>)

Abbildung S. 32: Einblatt-Rotor (Quelle: <http://www.windsofchange.dk/Eur-turb/Monopteros.png>)

Abbildung S. 33: Zweiblatt-Rotor (Quelle: http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_fotos_ok/windenergie/1346_vergnet_rotor.jpg)

Abbildung S. 33: Darrieus-Rotor (Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Darrieus-Rotor_Ennabeuren-3256.jpg)

