Windenergie Education HUB

Einführung

Willkommen in der Welt der Windenergie!

In den Nachrichten hört Walter viel über den Klimawandel. Er möchte nicht nur zuschauen, sondern aktiv helfen. Deshalb sucht er nach einer Energiequelle, die nicht ausgeht und die Luft sauber hält. Stell dir vor, man könnte die Kraft des Windes nutzen, um sauberen Strom zu erzeugen – genau das macht die Windenergie möglich. Sie ist eine erneuerbare und umweltfreundliche Energiequelle. Windturbinen wandeln die Bewegung der Luft direkt in Strom um.
In diesem Arbeitsbuch begleitest du Walter auf der Suche nach einer nachhaltigen Energiequelle. Du wirst du herausfinden, wie Windenergie funktioniert und warum sie so wichtig für uns und unsere Zukunft ist.

Warum sollte man sich mit Windenergie auseinandersetzen?

Weltweit stehen wir vor großen Herausforderungen wie dem Klimawandel und der begrenzten Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe.
Deshalb werden erneuerbare Energien – besonders die Windenergie – immer wichtiger. Wenn wir uns mit Windenergie beschäftigen, verstehen wir besser, wie wir unseren CO_2-Ausstoß verringern und umweltfreundlicher leben können. Wer die Windenergie versteht, kann besser beurteilen, wie nachhaltige Energieversorgung funktioniert.

Was wirst du lernen?

In diesem Arbeitsbuch lernst du die Grundlagen der Windenergie und die Technik dahinter kennen. Dabei beschäftigen wir uns unter anderem mit folgenden Themen:

- **Grundlagen der Windenergie:** Du lernst, warum der Wind an verschiedenen Orten unterschiedlich stark weht und wie sich das auf die Stromerzeugung auswirkt.
- **Arbeiten mit Zahlen:** Du erfährst, wie die Windgeschwindigkeit gemessen wird und welche Faktoren sie beeinflussen.
- **Praktische Beispiele:** Du baust eigene Tragflächen und untersuchst, wie ihre Form den Auftrieb und die Leistung beeinflusst.

Am Ende wirst du sogar deine eigene Windturbine bauen und Messungen, Berechnungen, Experimente und vieles mehr durchführen.

Das Arbeitsbuch:

Dieses Arbeitsbuch ist praxisnah und interaktiv aufgebaut. Jedes Kapitel enthält kurze Erklärungen, Experimente und Übungen, die dir helfen, Windenergie Schritt für Schritt zu verstehen.

Du findest darin:

- **Lernziele:** Klare Ziele für jedes Kapitel
- **Wichtige Begriffe:** Zentrale Fachbegriffe rund um die Windenergie
- **Praktische Übungen:** Experimente zum Ausprobieren
- **Wiederholungen:** Fragen zum Wiederholen und Vertiefen
- **Projektideen:** Anregungen, um tiefer ins Thema einzusteigen

Mach dich bereit, loszulegen!

Am Ende des Arbeitsbuchs hast du ein gutes Grundverständnis von Windenergie und weißt, welche Rolle sie für eine nachhaltige Zukunft spielt.
Du lernst, Energiefragen kritisch zu betrachten und eigene Ideen und Projekte umzusetzen.
Gemeinsam entdecken wir, wie die Kraft des Windes genutzt werden kann, um unsere Zukunft umweltfreundlicher zu gestalten.

Inhaltsverzeichnis

Begriffe im Bereich der Windenergie 5

Warum Wind wichtig für uns ist 7

Kapitel 1 — Grundlagen des Windes

1. Einführung in die Windenergie 10
2. Windreiche Orte 14
3. Globaler Windatlas 17
4. Windkraft und Konflikte 20

Kapitel 2 — Windgeschwindigkeit messen und verstehen

1. Eine Papierwindrose basteln 24
2. Windgeschwindigkeit messen 27
3. Wind kann Arbeit verrichten 30

Teste dein Wissen! 33

Kapitel 3 — Tragflächen

1. Eine Tragfläche bauen 35
2. Strömung sichtbar machen 40

Kapitel 4 — Experimente mit Windturbinen

1. Die Leistung von Windturbinen messen 46
2. Ein Multimeter bedienen 47
3. Änderung der Windrichtung 49
4. Das Windset verwenden 50
5. Anstellwinkel 54
6. Verwendung einer Heckflosse 55

Teste dein Wissen! 58

7. Änderung des Rotorblattwinkels 59
8. Änderung der Rotorblattlänge 62
9. Änderung der Rotorblattanzahl 65
10. Wake-Effekt (Windpark-Effekt) 69

Teste dein Wissen! 73

Zeit für ein Spiel 77

Begriffe

Du kannst diesen Abschnitt überfliegen oder überspringen, wenn du diese Begriffe bereits kennst.

Durchschnittliche Leistungsdichte: Gibt an, wie viel (Wind)energie pro Quadratmeter zur Verfügung steht. Je höher der Wert (W/m^2), desto mehr Strom kann erzeugt werden.

Anstellwinkel: Der Winkel zwischen Rotorblatt und Wind. Wird er verändert, kann mehr oder weniger Energie aufgenommen werden.

Bernoulli-Prinzip: Schneller strömende Luft hat einen geringeren Druck als langsame Luft. Dadurch entsteht ein Druckunterschied an den Rotorblättern, der sie in Bewegung setzt.

Luftwiderstand: Der Widerstand, den die Luft den Rotorblättern entgegensetzt. Weniger Widerstand bedeutet, dass die Turbine effizienter arbeitet.

Energie: Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten oder Veränderungen zu bewirken. Sie kann in vielen Formen auftreten – zum Beispiel als Wärme, Licht, Bewegung oder Strom.

Getriebe: Ein mechanisches Bauteil, das die Drehzahl der Rotorblätter erhöht, damit sie zum Generator passt.

Generator: Wandelt die mechanische Energie der drehenden Rotorblätter in elektrische Energie um.

MPP (maximum power point): Der Betriebszustand, bei dem eine Turbine bei gegebener Windgeschwindigkeit und Rotorblattstellung die maximale Leistung erzeugt.

Offshore-Windturbine: Eine Windturbine auf dem Meer, die starke und gleichmäßige Winde zur Stromerzeugung nutzt.

Onshore-Windturbine: Eine Windturbine auf dem Land, oft in offenen Ebenen oder Gebirgsregionen. Sie wandelt Wind in Strom um und speist diesen ins Stromnetz ein.

Leistung: Leistung beschreibt, wie viel Energie in einer bestimmten Zeit erzeugt oder verbraucht wird. Bei Windturbinen meint man damit die Strommenge, die aus Wind umgewandelt wird. Die Einheit dafür ist Watt (W).

Leistungsdichte: Die Menge an erzeugter Leistung pro Flächen- oder Raumeinheit. Sie wird oft genutzt, um die Effizienz von Systemen zu vergleichen.

Windgeschwindigkeit: Die Geschwindigkeit, mit der sich die Luft bewegt. Höhere Windgeschwindigkeiten ermöglichen eine größere Stromerzeugung.

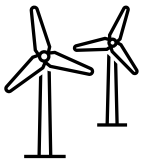
Spannung: Spannung ist wie der „Druck" in einem Stromkreis. Sie gibt an, wie stark der Strom durch die Leitungen „gedrückt" wird. Die Einheit ist Volt (V).

Wind: Wind ist bewegte Luft in der Atmosphäre. Er entsteht, weil sich die Luft an verschiedenen Orten unterschiedlich stark erwärmt und dadurch in Bewegung gerät.

Windenergie: Windenergie ist die Energie, die in der Bewegung der Luft steckt. Windturbinen nutzen diese Energie und wandeln sie in elektrischen Strom um.

Arbeit: In der Physik spricht man von Arbeit, wenn eine Kraft einen Körper über eine bestimmte Strecke bewegt. Bei Windturbinen übt der Wind Kraft auf die Rotorblätter aus, sodass sie sich drehen und den Generator antreiben.

Warum Wind wichtig für uns ist



Kommen wir nun zu Windkraftanlagen. Sie nutzen die Energie des Windes, um Strom zu erzeugen. Dabei fangen Windturbinen die Bewegungsenergie des Windes ein und wandeln sie in elektrische Energie um.

Warum ist Windkraft von Bedeutung?

Windkraft ist wichtig für uns, weil sie sauberen und erneuerbaren Strom liefert. Viele Länder weltweit verfügen über günstige Windbedingungen. In Ländern wie Ghana, Dänemark oder Indien sorgen starke und gleichmäßige Winde dafür, dass weniger fossile Brennstoffe benötigt werden und nachhaltigere Energiesysteme entstehen. Die Nutzung von Windenergie kann in verschiedenen Teilen der Welt also zu einer umweltfreundlicheren Zukunft beitragen.

Welche Vorteile hat Windenergie?

- **Erneuerbare Energiequelle:** Wind ist eine kostenlose, ständig verfügbare Ressource und damit eine nachhaltige Energiequelle.
- **Umweltfreundlich:** Bei der Stromerzeugung entstehen keine Abgase oder Schadstoffe.
- **Geringe Betriebskosten:** Nach dem Bau benötigen Windturbinen wenig Wartung, und der Wind selbst kostet nichts.
- **Energieunabhängigkeit:** Regionen können ihren eigenen Strom erzeugen und sind weniger auf externe Energiequellen angewiesen.
- **Vielseitige Einsatzmöglichkeiten:** Windturbinen gibt es als große Windparks oder als kleine Anlagen für einzelne Häuser oder Betriebe.

Wie geht’s weiter?

In den nächsten Kapiteln lernst du, was Energie und Windenergie genau sind und wie aus bewegter Luft Strom entsteht. Du erfährst außerdem, wie die Windgeschwindigkeit gemessen wird und warum sie so wichtig ist. In den praktischen Aufgaben baust du ein eigenes Rotorblatt und sogar eine kleine Windturbine. Mit Experimenten und einfachen Erklärungen entdeckst du, wie Windkraft funktioniert und welches Potenzial in ihr steckt.

Mach dich bereit – jetzt beginnt deine Reise in die Welt der Windenergie!

Windenergie Education HUB

Kapitel 1

Grundlagen des Windes

Grundlagen des Windes

Energie, Windenergie und der Windatlas

In diesem Kapitel werden wir uns mit folgenden Themen beschäftigen:

- Energie und ihre verschiedenen Formen
- Erneuerbare und nicht erneuerbare Energiequellen
- Eigenschaften des Windes
- Windenergie
- Windreiche Orte
- Nutzung des Windatlasses
- Unterschiedliche Sichtweisen auf die Nutzung von Windenergie

Walters Lernziele

In diesem Kapitel wirst du:

- **Die Grundlagen der Windenergie verstehen:** Du lernst, wie Wind zur Stromerzeugung genutzt wird.
- **Erneuerbare und nicht erneuerbare Energiequellen unterscheiden:** Du kannst verschiedene Energiequellen richtig einordnen und vergleichen.
- **Wichtige Einflussfaktoren kennenlernen:** Du erfährst, wie Windgeschwindigkeit, Höhe, Standort und Umweltbedingungen die Energieproduktion beeinflussen.
- **Verschiedene Standorte vergleichen:** Du untersuchst, warum sich Berge, Ebenen, Küsten und Offshore-Gebiete unterschiedlich gut für Windkraft eignen.
- **Den Mechanismus des Windes verstehen:** Du lernst, warum es auf dem Meer besonders konstante und starke Winde gibt.
- **Offshore-Windenergie kennenlernen:** Du erfährst, welche Vorteile Windkraftanlagen auf dem Meer haben.
- **Den Windatlas verstehen:** Du verstehst, wie der Windatlas hilft, das Windpotenzial einer Region einzuschätzen.
- **Windenergie praktisch bewerten :** Du lernst, Windenergie aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten und einzuordnen.

Das ist eine lange Liste, aber damit werden wir eine gute Basis haben, Windturbinen verstehen zu können. Und damit können wir viel saubere Energie gewinnen.

1. Einführung in die Windenergie

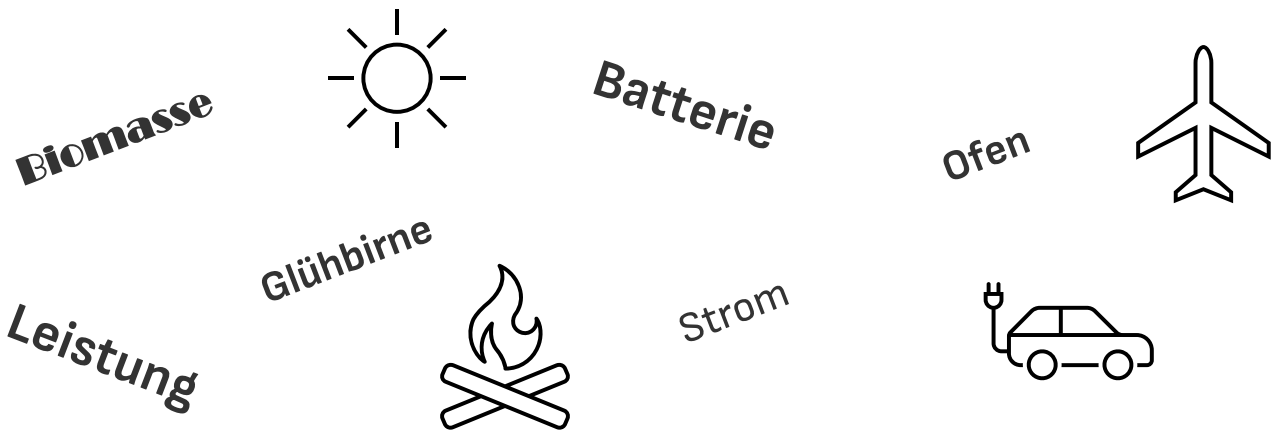
Übung

Aufgabe 1: Energie-Wortkette

1) Bildet zwei Gruppen.
2) Eine Person beginnt und nennt – passend zum ersten Buchstaben ihres Nachnamens – ein Wort zum Thema Energie, zum Beispiel eine Energiequelle, ein Gerät oder einen Fachbegriff.
3) Beispiele:
    - M: Mikrowelle
    - S: Solarpanel
    - T: Turbine
4) Danach geht es reihum weiter. Der letzte Buchstabe des genannten Wortes ist jeweils der Anfangsbuchstabe des nächsten Begriffs.
5) Das Spiel endet, wenn niemand mehr ein neues Wort findet.

Seid kreativ!

Bei Bedarf kannst du dir die Energiewort-Wolke zur Inspiration anschauen:



Auf einen Blick: Energie

✓ **Energie ist das, was Dinge in Bewegung setzt und Veränderungen möglich macht.**

- Sie beschreibt die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten – also zum Beispiel etwas zu bewegen, anzutreiben oder zu verändern.
- So liefert die Energie aus unserer Nahrung dem Körper die Kraft, um zu laufen, zu springen oder zu spielen.

✓ **Energie gibt es in zwei Hauptformen:**

- Kinetische Energie: Energie von bewegten Dingen (z.B. ein Fahrrad, das einen Hügel hinunterfährt).
- Potenzielle Energie: Gespeicherte Energie (z.B. ein Fahrrad, das oben auf einem Hügel steht).

✓ **Daneben gibt es noch andere Energieformen, wie z.B.:**

- Wärmeenergie, etwa von der Sonne oder einem Feuer,
- Elektrische Energie, die wir aus Steckdosen oder Batterien kennen.

Energie ist das, was alles antreibt – auch meine Windmission. Sie kann gespeichert oder in Bewegung sein. Und egal ob Wärme, Elektrizität oder Wind: Ohne Energie geht gar nichts. Lass uns herausfinden, wie wir sie sauber nutzen können!

Aufgabe 2: Erneuerbare und nicht erneuerbare Energiequellen

1) Bildet Gruppen mit 2–4 Personen.
2) Schaut euch die Bilder auf der nächsten Seite an und entscheidet, welche erneuerbare Energiequellen zeigen und welche nicht erneuerbare (konventionelle) Energiequellen darstellen. Setzt jeweils ein Häkchen in die passende Box.
3) Überlegt dabei: Kennt ihr die Namen aller dargestellten Energiequellen?
4) Versucht es zuerst alleine und besprecht eure Ergebnisse anschließend in der Gruppe.

☐ Erneuerbar
☒ Nicht erneuerbar
Name: Kohle

☒ Erneuerbar
☐ Nicht erneuerbar
Name: Wind

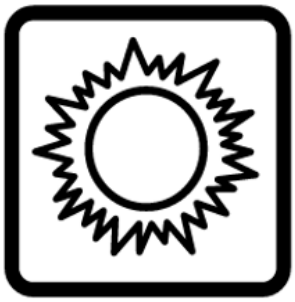
☐ Erneuerbar
☒ Nicht erneuerbar
Name: Uran

☒ Erneuerbar
☐ Nicht erneuerbar
Name: Biomasse

☐ Erneuerbar
☒ Nicht erneuerbar
Name: Gas

☒ Erneuerbar
☐ Nicht erneuerbar
Name: Geothermie

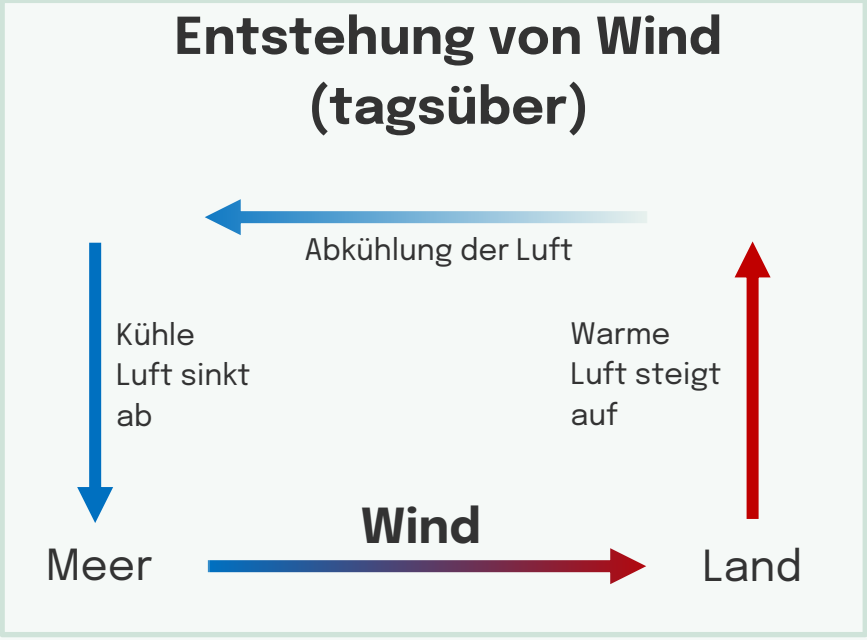
☒ Erneuerbar
☐ Nicht erneuerbar
Name: Wasserkraft



☒ Erneuerbar
☐ Nicht erneuerbar
Name: Solar

Auf einen Blick: Wind und Windenergie

- ✓ Wind ist bewegte Luft in der Atmosphäre.
- ✓ Windenergie ist die Energie, die in dieser Luftbewegung steckt. Sie zählt zu den erneuerbaren Energiequellen, da Wind immer wieder neu entsteht.
- ✓ Windenergie kann in Strom umgewandelt werden, allerdings nur, wenn ausreichend Wind weht.
- ✓ Wind entsteht meist dadurch, dass sich die Luft an verschiedenen Orten unterschiedlich stark erwärmt. Ursache dafür ist die Sonneneinstrahlung. Da sich Land schneller erwärmt als Wasser, kommt es zu Luftbewegungen, die wir als Wind wahrnehmen.



2. Windreiche Orte

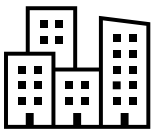
Übung

Aufgabe 1: Windstärke an verschiedenen Orten

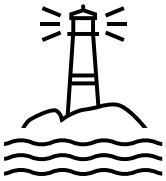
Orte mit häufigem und starkem Wind eignen sich besonders gut für die Energieerzeugung. An Orten mit wenig Wind ist die Stromerzeugung durch Windkraft dagegen weniger sinnvoll.

Verbinde die folgenden Orte jeweils mit der passenden Box. Handelt es sich um einen windigen oder eher windstillen Ort?

Hochgelegene Gebiete

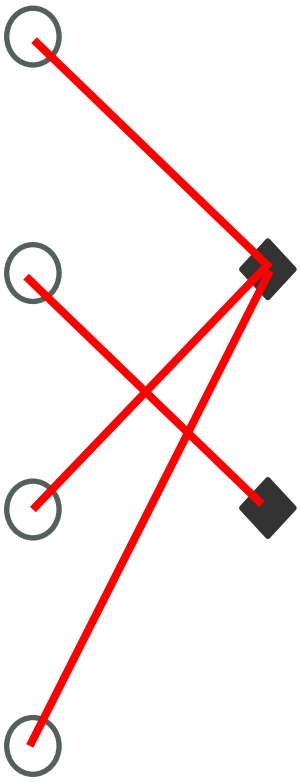


Geschlossene und tiefliegende Gebiete



Küstengebiete (Ozeane, Meere)

Offene Flächen



GUTE STANDORTE (sehr windig)

SCHLECHTE STANDORTE (kaum Wind)

Aufgabe 2: Bewertung von Windstandorten

Wähle einen Ort aus Aufgabe 1 und erkläre, warum er gut oder schlecht für die Nutzung von Windenergie geeignet ist.
Hinweise: Achte auf Windstärke, offene Flächen, Höhe und Hindernisse wie Gebäude oder Bäume.

Ein guter Windstandort zeichnet sich in der Regel durch gleichmäßige und gut vorhersagbare Windverhältnisse aus, die von Faktoren wie der Nähe zu Gewässern oder flachem, offenem Gelände beeinflusst werden. Solche Gebiete ermöglichen einen stetigen Luftstrom und sind daher besonders gut für die Nutzung von Windenergie oder für Windsportarten geeignet. Die Beständigkeit des Windes ist dabei entscheidend für eine zuverlässige Nutzung, di sie sicherstellt, dass der Wind effektiv genutzt werden kann.

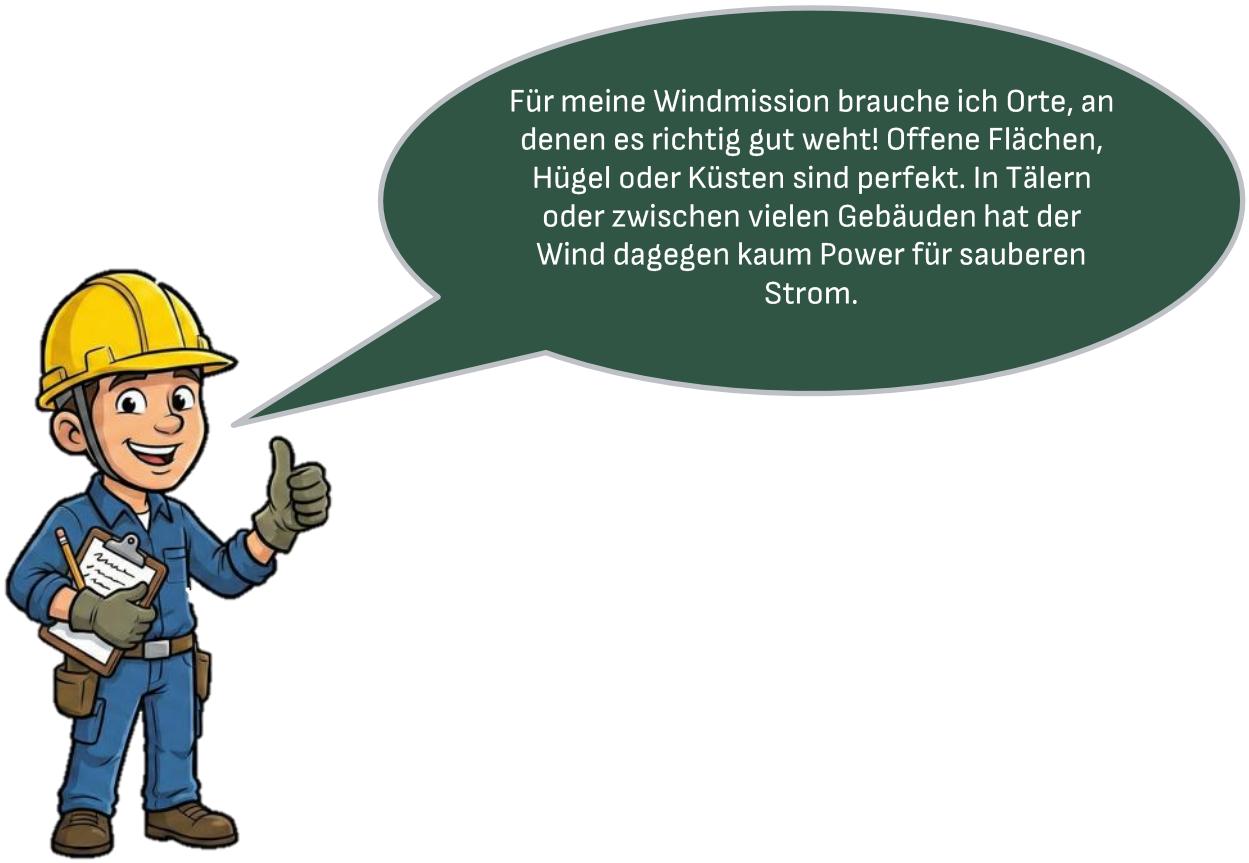
Schlechte Windstandorte hingegen sind häufig durch unregelmäßige und böige Winde gekennzeichnet, die durch Hindernisse wie Berge oder hohe Gebäude entstehen. Diese Störungen führen zu turbulenten Luftbewegungen, wodurch der Wind Schwerer vorhersehbar ist und weniger effizient für Aktivitäten oder zur Energieerzeugung genutzt werden kann.

Auf einen Blick: Geeignete Standorte

✓ Gebiete mit viel und regelmäßigem Wind eignen sich besonders gut für die Stromerzeugung mit Windturbinen.

- **Gut geeignete Standorte** für die Nutzung von Windenergie sind offene und windreiche Gebiete.
  Beispiele: Hochlagen, freie Felder oder Küstenregionen.

- **Weniger geeignete Standorte** für die Nutzung von Windenergie sind Gebiete mit wenig oder unregelmäßigem Wind.
  Beispiele: Täler, Städte oder Gebiete mit vielen Bäumen oder Gebäuden.



3. Globaler Windatlas

Übung

Aufgabe 1: Winddaten-Website

1) Teilt die Klasse in Gruppen von 4–5 Personen auf.
2) Öffnet die untenstehende Webseite (oder nutzt den QR-Code).
3) Wählt links “Countries And Regions” aus und sucht zwei Länder, die sich in Klima und Standort stark unterscheiden — z.B. Ghana und Deutschland — sowie ein weiteres Land eurer Wahl.
4) Stellt sicher, dass auf der rechten Seite die Höhe auf 100m eingestellt ist.
5) Vergleicht dann die Länder nach ihrer durchschnittlichen Leistungsdichte (W/m²) und Windgeschwindigkeit (m/s).

https://globalwindatlas.info/en/

Land	Leistungsdichte (W/m²)	Windgeschwindigkeit (m/s)
Ghana	184	5,7
Deutschland	595	8,45
Weiteres Land		

Aufgabe 2: Zahlen interpretieren

Interpretiert euren Vergleich von Ghana und Deutschland aus Aufgabe 1.
Was sagt euch das über das Potenzial jedes Landes zur Nutzung von Windenergie?

Deutschland hat eine höhere Leistungsdichte als Ghana, was bedeutet, dass dort mehr Windenergie erzeugt werden kann.

Außerdem weist Deutschland höhere Windgeschwindigkeiten auf, was die Energieausbeute zusätzlich erhöht.

Fazit: Deutschland ist aufgrund dieser günstigen Bedingungen besser für die Nutzung von Windenergie geeignet.

Aber: Dies ist nur ein Vergleich. Ghana hat dennoch ein großes Potenzial zur Erzeugung von Windenergie!

Auf einen Blick: Windbedingungen

- ✓ **Das Potenzial zur Nutzung von Windenergie ist weltweit unterschiedlich:** In manchen Regionen weht der Wind stark und häufig, in anderen dagegen nur schwach und selten.
- ✓ **Grundsätzlich gilt**: Je höher die Windgeschwindigkeit und die Leistungsdichte sind, desto besser eignen sich die Bedingungen zur Stromerzeugung mit Windkraft.

4. Windkraft und Konflikte

Übung

Aufgabe 1: Rollenspiel zur Windkraft

1) Teilt die Klasse in Gruppen von 4–5 Personen auf.
2) Jede Gruppe übernimmt die Rolle einer Person, die von einem Windkraftprojekt betroffen ist:
    - **Landwirt/in:** Besorgt über Landnutzung und Lärm durch die Turbinen.
    - **Regierungsvertreter/in:** Setzt sich für den Ausbau erneuerbarer Energien ein.
    - **Ingenieur/in:** Erklärt, wie Windturbinen funktionieren, und spricht über technische Herausforderungen.
    - **Schüler/in:** Interessiert sich dafür, wie Windkraft Arbeitsplätze, Umwelt und zukünftige Chancen beeinflusst.
    - **Umweltschützer/in (optional):** Engagiert sich für saubere Energie und den Schutz der Natur.

Szenario:
„In der Nähe eines Küstendorfes ist ein neuer Windpark geplant. Er soll Strom für die umliegenden Städte liefern, könnte aber auch Auswirkungen auf die lokale Gemeinschaft und die Umwelt haben."

3) Schreibt die Argumente für eure Rolle auf und besprecht sie anschließend in der Gruppe.

Landwirt/in: Besorgt über den Verlust von Land und den Lärm durch Windtrubinen:

- **Landverlust:** „Wenn Windturbinen auf meinem Land gebaut werden, könnte ich wertvolle Ackerflächen verlieren, die ich für den Anbau von Feldfrüchten und zur Versorgung meiner Familie brauche."
- **Lärmbelastung:** „Der Lärm der Turbinen könnte meinen Alltag stören, meine Tiere beunruhigen und meinen Schlaf sowie meine Konzentration beeinträchtigen.
- **Auswirkungen auf das Vieh:** „Der Lärm und die ständige Bewegung der Turbinen könnten Stress für mein Vieh verursachen und dadurch Gesundheit und Leistungsfähigkeit beeinträchtigen."
- **Veränderung des Landschaftsbildes**: „Große Windräder verändern das Aussehen der Landschaft, was sich negativ auf den Tourismus und die Schönheit unserer Umwelt auswirken könnte."
- **Regierungsvertreter/in: Fokus auf den Ausbau erneuerbarer Energien zur Unterstützung der Zukunft Ghanas**
- **Erneuerbare Energie:** „Windenergie ist eine saubere, erneuerbare Energiequelle. Sie hilft uns, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen wie Öl und Gas zu verringern, die der Umwelt schaden."
- **Wirtschaftliches Wachstum:** „Investitionen in Windenergie können Arbeitsplätze im Bereich der erneuerbaren Energien schaffen, die lokale Wirtschaft stärken und Ghana beim Übergang zu einer grünen Wirtschaft unterstützen."

Das Ziel ist, die Vor- und Nachteile der Windkraft zu diskutieren und dabei alle Sichtweisen einzubeziehen.

- **Energieunabhängigkeit:** „Windenergie kann helfen, weniger abhängig von importierten Brennstoffen zu werden. Dadurch werden wir energieunabhängiger und sichern unsere Energiezukunft."
- Umweltvorteile: „Windenergie verursacht keine schädlichen Emissionen. Das ist besonders wichtig im Kampf gegen den Klimawandel und zur Verbesserung der Luftqualität.

Ingenieur/in: Erklärt die Funktionsweise von Windturbinen und technische Herausforderungen

- **Funktion von Windturbinen**: „Windturbinen wandeln die kinetische Energie des Windes mithilfe von Rotorblättern, die sich bei Wind drehen, in elektrische Energie um. Diese Bewegung treibt einen Generator an, der Strom erzeugt."
- **Effizienz:** „Moderne Windturbinen sind sehr effizient. Dank neuer Technologien können sie Windenergie bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und Wetterbedingungen nutzen."
- **Herausforderungen**: „Obwohl Windturbinen effektiv sind, sind sie auf gleichmäßigen Wind angewiesen. Es kann Zeiten geben, in denen nicht genung Wind vorhanden ist, um Strom zu erzeugen. Außerdem sind die Installation und Wartung oft teuer."
- **Umweltaspekte:** „Windturbinen müssen an Standorten mit guten Windverhältnissen gebaut werden. Gleichzeitig müssen wir darauf achten, lokale Ökosysteme und Wildtieren nicht zu stören."

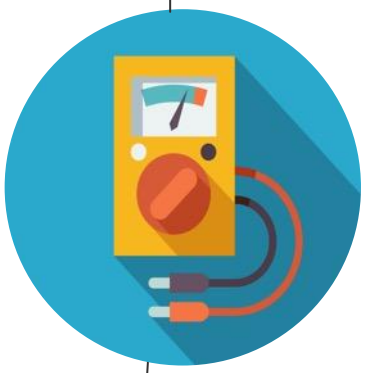
Schüler/in: Neugierig auf Auswirkungen auf Jobs, Umwelt und Zukunftschancen

- **Schaffung von Arbeitsplätzen:** „Windenergieprojekte können viele neue Arbeitsplätze schaffen, zum Beispiel beim Bau von Windturbinen, bei der Wartung oder in der Energieproduktion. Das kann jungen Menschen helfen, stabile Arbeit zu finden."
- **Zukunftschancen:** „Durch den Ausbau der Windenergie könnte man eine führende Rolle im Beriech erneuerbare Energien übernehmen und neue Chancen für Innovation und technologische Entwicklung eröffnen."
- **Umweltauswirkungen:** „Windenergie ist sauber und verschmutzt die Luft nicht. Das ist besonders wichtig, da wir unsere Emissionen reduzieren müssen, um den Klimawandel zu bekämpfen."
- **Nachhaltiges Wachstum:** „Windenergie kann eine langfristige, nachhaltige Lösung für den Energiebedarf bieten und zukünftigen Generationen ein sauberes und grüneres Land ermöglichen."

Umweltschützer/in: Setzt sich für saubere Energie im Kampf gegen den Klimawandel ein

- **Reduzierung von CO2 – Emissionen:** „Windenergie ist eine saubere Energiequelle, die kein schädliches Kohlendioxid oder andere Schadstoffe freisetzt. Sie ist daher entscheidend für den Kampf gegen den Klimawandel und zur Verringerung des CO2 – Fußabdrucks."
- **Nachhaltige Energiequelle:** „Im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen ist Wind eine erneuerbare Ressource, die niemals aufgebraucht wird. Sie sichert eine stabile und nachhaltige Energiezukungt für den Planeten."
- **Schutz der Biodiversität:** „Die Nutzung von Windenergie hilft, Ökosysteme vor Schäden durch Bergbau oder Öl- und Gasförderung zu schützen und lokale Tier- und Pflanzenarten sowie ihre Lebensräume zu erhalten."
- **Globale Vorreiterrolle im Klimaschutz:** „Durch den Ausbau der Windenergie kann man für andere Länder eine Vorbildfunktion einnehmen und zeigen, dass man eine führende Rolle im Kampf gegen den Klimawandel mit erneuerbaren Energien übernehmen kann."

Windkraft ist super für sauberen Strom – aber nicht für alle gleich. Manche freuen sich über Jobs und Energie, andere sorgen sich um Natur oder ihre Umgebung. Für meine Mission heißt das: Gute Lösungen entstehen nur, wenn wir alle Sichtweisen fair abwägen.



Windenergie Education HUB

Kapitel 2

Windgeschwindigkeit messen und verstehen

Windgeschwindigkeit messen und verstehen

Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit, Kraft und Stromerzeugung

In diesem Kapitel beschäftigen wir uns mit folgenden Themen:

- Messen der Windgeschwindigkeit
- Arbeit, die der Wind verrichtet
- Grundlagen von Windturbinen
- Einfluss der Windbedingungen auf die Energieerzeugung

Walters Lernziele

In diesem Kapitel wirst du:

- **Verstehen, warum die Windgeschwindigkeit wichtig ist:** Du lernst, warum sie entscheidend für die Stromerzeugung ist und wie sie die Effizienz von Windturbinen beeinflusst.
- **Ein einfaches Anemometer bauen und verwenden:** Du erfährst, wie ein Anemometer funktioniert, und misst Windgeschwindigkeiten in verschiedenen Umgebungen.
- **Lernen, wie Wind Arbeit verrichtet:** Durch Experimente verstehst du, wie Wind Kraft überträgt und welche Faktoren dabei eine Rolle spielen.
- **Auswirkungen von Turbulenzen und Stürmen kennenlernen:** Du untersuchst, wie Hindernisse, Verwirbelungen und Wetterbedingungen den Wind und die Energieerzeugung beeinflussen.
- **Die Rolle von Turbinen und Getrieben verstehen:** Du lernst, wie Windturbinen Windenergie in Strom umwandeln und warum Getriebe dabei wichtig sind.

Bei diesen Zielen fühle ich mich wie ein Ingenieur! Damit können wir bestimmt Windturbinen deutlich besser verstehen.

Optional

1. Eine Papierwindrose basteln

Experiment

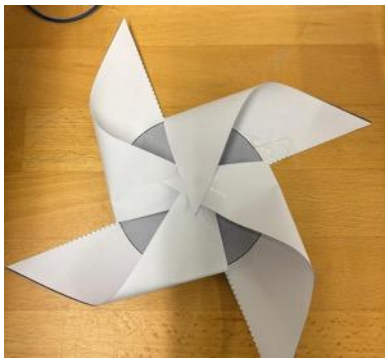
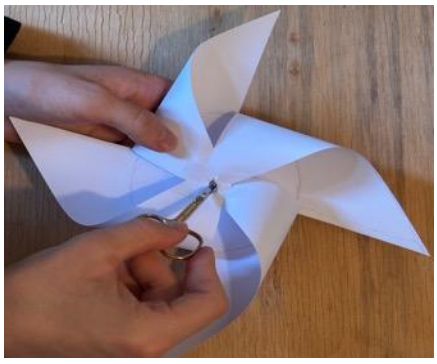
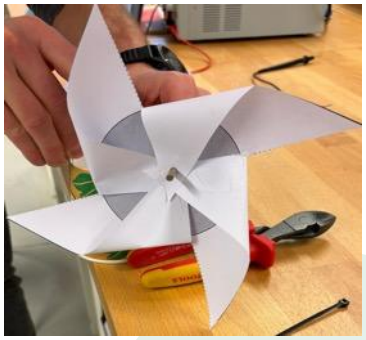
8. – 10. Klasse | 15 min. Dauer | 3er Gruppe

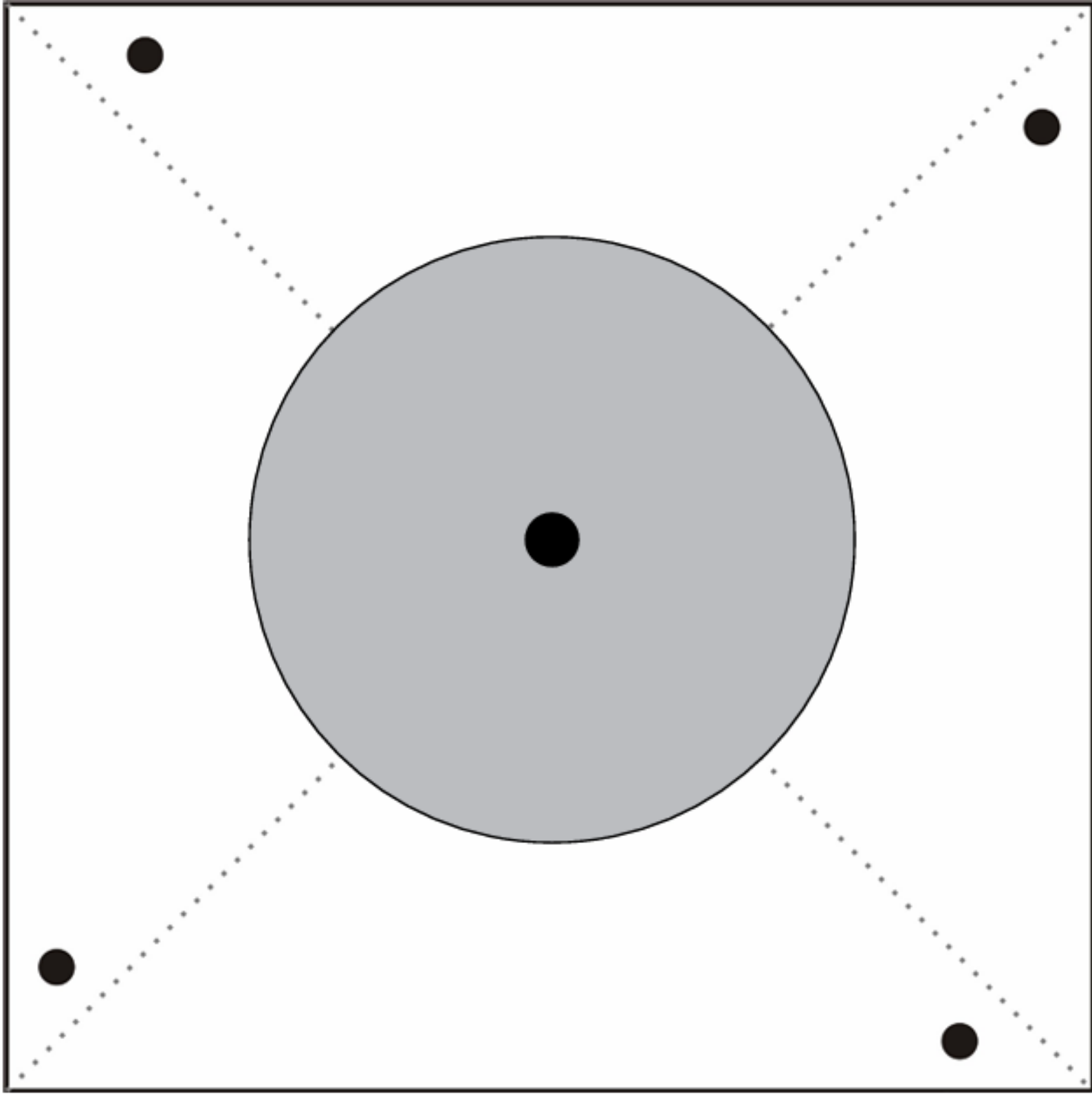
Benötigtes Material ☑

- ☐ (Nagel-)Schere
- ☐ Papierbecher
- ☐ 2 Büroklammern
- ☐ Klebeband/Tesa
- ☐ Dünner, langer Holzstab (Alternative: Langer Bleistift)

Durchführung:

1) Schneide das Quadrat auf der nächsten Seite aus.
2) Schneide entlang der gestrichelten Linien diagonal bis zum Kreis. Den Kreis selbst **nicht ausschneiden**.
3) Falte die Ecken nacheinander zur Mitte, sodass alle Spitzen genau übereinanderliegen (siehe Bild 1 und 2).
4) Befestige die Ecken in der Mitte mit einem Stück Klebeband.
5) Stich mit einer Schere vorsichtig ein kleines Loch durch das Klebeband in der Mitte der Windrose. Stecke anschließend den Holzstab hindurch (siehe Bild 3 und 4).
6) Drehe den Pappbecher um und befestige auf zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils eine Büroklammer. Am besten biegst du sie leicht auf und stichst sie in den Becher.
7) Stecke den Holzstab durch die Büroklammern und durch das Loch in der Windrose, sodass sich die Windrose frei drehen kann (siehe Bild 5).



Optional

2. Windgeschwindigkeit messen

Experiment

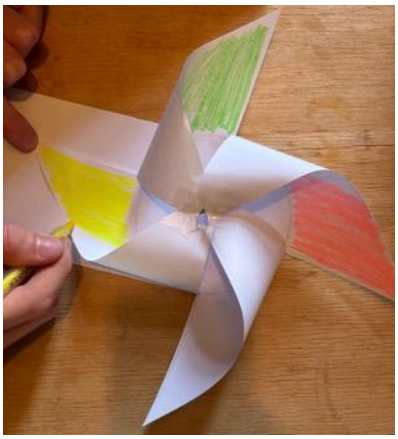
8. – 10. Klasse | 10 min. Dauer | 3er Gruppe

Benötigtes Material ☑

- ☐ Papierwindrose (vom vorherigen Experiment)
- ☐ Stoppuhr
- ☐ Textmarker (Bonus: verschiedene Farben)
- ☐ Ventilator

Durchführung:

1) Nimm deine Windrose und male jeden Fächer mit einer anderen Farbe an (siehe Bild 1).
2) Lege die bemalte Windrose, die am Becher befestigt ist (siehe Seite 23), auf eine flache und stabile Oberfläche, sodass sie sich frei drehen kann. Alternativ kannst du sie auch in der Hand halten.
3) Stelle einen Ventilator in etwa 1,5 m Abstand vor die Windrose auf.
4) Schalte den Ventilator auf die niedrigste Stufe. Konzentriere dich auf eine Farbe und zähle mit einer Stoppuhr, wie viele vollständige Umdrehungen die Windrose in einer Minute macht. Trage das Ergebnis in die Ergebnistabelle ein.
5) Wiederhole Schritt 4 mit höheren Ventilatorstufen und trage auch diese Ergebnisse in die Tabelle ein.



Übung

Aufgabe 1: Fülle die Tabelle aus

Windgeschwindigkeit	Umdrehungen pro Minute	Beobachtung
Niedrig		
Mittel		
Hoch		

Aufgabe 2: Windgeschwindigkeit und Drehbewegung

Wie hängt die Windgeschwindigkeit mit der Anzahl der Umdrehungen zusammen?

Die Geschwindigkeit ist direkt proportional zur Anzahl der Umdrehungen.

Stärkerer Wind sorgt dafür, dass sich das Windrad schneller dreht, was zu einer höheren Anzahl an Umdrehungen pro Minute führt.

Aufgabe 3: Maximale Drehzahl

Bei welcher Windgeschwindigkeit hat sich die Windrose am schnellsten gedreht? Woran könnte das liegen?

Die Windrose drehte sich am schnellsten, als die Windgeschwindigkeit am höchsten war. Das liegt daran, dass höhere Windgschwindigkeiten mehr (kinetische) Energie auf die Windrose übertragen, wodurch sie sich schneller drehen kann.

Auf einen Blick: Windgeschwindigkeit

- ✓ **Anemometer** sind Messgeräte zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit. Sie werden genutzt, um geeignete Standorte für Windkraftanlagen zu finden.
- ✓ **Die Windgeschwindigkeit** wird durch Standort, Höhe, Hindernisse, Turbulenzen und Umgebungsbedingungen beeinflusst.
- ✓ Grundsätzlich gilt: **Je stärker der Wind, desto größer ist das Energiepotenzial.** Offene Flächen oder höher gelegene Gebiete eignen sich besonders gut für Windenergieprojekte.

Optional

3. Wind kann Arbeit verrichten

Experiment

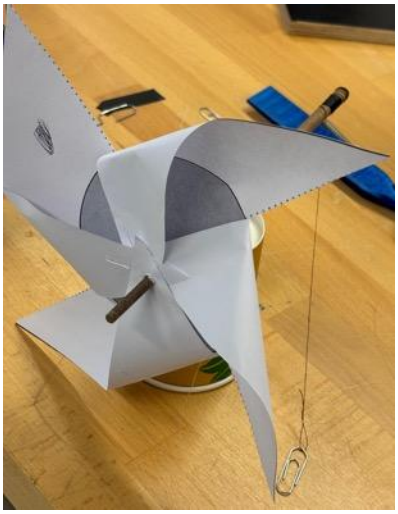
8. – 10. Klasse | 10 min. Dauer | 3er Gruppe

Benötigtes Material ☑

- ☐ Papierwindrose (aus vorherigem Experiment)
- ☐ 30 cm dünner Faden
- ☐ Klebeband
- ☐ Ventilator
- ☐ Stoppuhr
- ☐ Büroklammer

Durchführung:

1) Befestige ein Ende des Fadens am Holzstab der Windrose. Mache am anderen Ende eine Schlaufe und befestige daran mit Klebeband eine Büroklammer.
2) Lege die Windrose auf eine ebene, stabile Fläche, zum Beispiel auf einen Tisch, sodass sie sich frei drehen kann (siehe Abbildung auf Seite 25).
3) Stelle einen Ventilator in etwa 1,5 m Abstand auf. Schalte ihn auf die niedrigste Stufe und miss, wie lange es dauert, bis sich die Büroklammer anhebt.
4) Wiederhole den Versuch mit höheren Ventilatorstufen und trage deine Ergebnisse in die Beobachtungstabelle ein.



Aufgabe 1: Fülle die Tabelle aus

Windgeschwindigkeit	Zeit, bis sich Büroklammer hebt	Beobachtungen
Niedrig	10s	
Mittel	7s	
Hoch	5s	

Übung

Aufgabe 2: Anheben bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten

Welchen Einfluss hat die Windgeschwindigkeit (niedrig, mittel, hoch) darauf, wie schnell die Büroklammer angehoben wird?

Höhere Windgeschwindigkeiten liefern mehr Energie für die Windrose, sodass sie Gewichte schneller anheben kann. Bei niedrigen Windgeschwindigkeiten ist die Hebegeschwindigkeit geringer, da weniger Energie auf die Windrose übertragen wird.

Aufgabe 3: Test mit verschiedenen Lasten

Wie beeinflusst das Gewicht der Last (Büroklammer), wie gut die Windrose die Last bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten anheben kann?

Bei niedrigen Windgeschwindigkeiten hat die Windrose Schwierigkeiten, schwerere Lasten anzuheben, da nicht genügend Energie vorhanden ist, um die Gravitationskraft zu überwinden. Bei höheren Windgeschwindigkeiten ermöglicht die zusätzliche Energie, dass die Windrose schwerere Lasten deutlich effektiver anheben kann.

Aufgabe 4: Bezug zur Realität

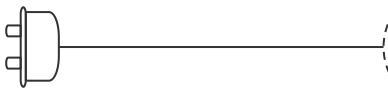
Was zeigen dir die Ergebnisse dieses Experiments über echte Windkraftanlagen?

Dieses Experiment zeigt, wie Windturbinen Windenergie nutzen, um Arbeit zu verrichten, zum Beispiel um elektrische Energie zu erzeugen. Die Geschwindigkeit der Stromerzeugung in Windturbinen hängt ebenfalls von der Windgeschwindigkeit und der Belastung der Turbine ab. Ist die Belastung zu hoch oder die Windgeschwindigkeit zu niedrig, erzeugen Windturbinen weniger effizient Strom.

Reflexionsfrage: Windgeschwindigkeit messen und verstehen

Wind ist nicht immer gleich stark. Kann eine moderne Gesellschaft sich auf so eine wechselhafte Energiequelle verlassen? Wie sollte man mit solchen Schwankungen umgehen?

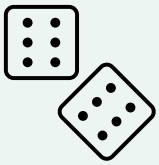
Der Wind ist eine erneuerbare Energiequelle, steht aber nicht konstant zur Verfügung. Da die Windgeschwindigkeit schwankt, schwankt auch die Stromerzeugung von Windkraftanlagen. Eine moderne Gesellschaft kann sich deshalb nicht ausschließlich auf Windenergie verlassen. Um eine sichere und stabile Energieversorgung zu gewährleisten, müssen verschiedene erneuerbare Energiequellen miteinander kombiniert werden. Zusätzlich spielen Stromspeicher eine wichtige Rolle, da sie überschüssige Energie bei starkem Wind aufnehmen und bei wenig Wind wieder abgeben können. Nur durch diese Kombination lassen sich die natürlichen Schwankungen des Windes ausgleichen.



Auf einen Blick: Windarbeit

- ✓ Wind kann **mechanische Arbeit** verrichten.
- ✓ **Unterschiedliche Windbedingungen** beeinflussen, wie gut Windkraftanlagen arbeiten können.
- ✓ **Mehr Gewicht erfordert mehr Kraft, um angehoben zu werden.**
- ✓ Echte Windräder sind so konstruiert, dass sie unter gegebenen Windbedingungen möglichst effizient arbeiten.

Teste dein Wissen!



Aufgabe 1: Fülle die Lücken aus

- Ein Generator wandelt _____ (mechanische/thermische/chemische) Energie in elektrische Energie um.
- Windturbinen drehen sich von Natur aus _____ (schnell/langsam/moderat), aber Generatoren benötigen eine _____ (niedrigere/höhere/konstante) Drehzahl, um Strom zu erzeugen.
- Das _____ (Rotor/Getriebe/Stator) in einer Windkraftanlage erhöht die Drehzahl der Welle, damit sie zum Generator passt.
- Durch das Drehen eines Generators wird _____ (kinetische/Wärme-/Lichtenergie) in elektrische Energie umgewandelt.
- Getriebe funktionieren, indem sie _____ und _____ (Kraft und Masse/Geschwindigkeit und Drehmoment/Richtung und Drehung) im System anpassen.

Aufgabe 2: Bewerte und korrigiere die folgenden Aussagen

Gib an, ob die Aussagen richtig oder falsch sind. Korrigiere, wenn nötig.

- Windturbinen drehen sich von Natur aus sehr schnell und können deshalb direkt an Generatoren angeschlossen werden.
  Falsch. Korrektur: Windturbinen drehen sich von Natur aus langsam, damit wird eine Getriebe benötigt um sie an einen Gnerator anzuschließen.

- Ein Generator nutzt elektrische Energie, um mechanische Energie zu erzeugen.

  Falsch. Korrektur: Ein Generator nutzt mechanische Energie um elektrische Energie zu erzeugen.

- Der Rotor ist der stationäre Teil eines Generators.

  Falsch. Korrektur: Der Rotor ist der rotierende Teil eine Generators, während der Stator stationär ist.

- Getriebe werden in Windkraftanlagen eingesetzt, um Drehzahl und Drehmoment anzupassen.

  Richtig.

- In Windkraftanlagen wird zuerst die Bewegungsenergie des Windes in mechanische Energie und anschließend in elektrische Energie umgewandelt.

  Richtig.

Aufgabe 3: Begriffe zuordnen

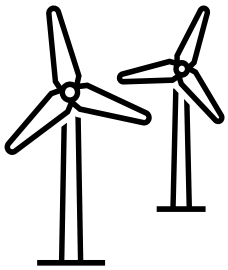
Ordne die Begriffe aus **Spalte A** den passenden Definitionen oder Funktionen in **Spalte B** zu.

Spalte A	Spalte B
1. Getriebe (b)	a. Wandelt mechanische Energie in elektrische Energie um.
2. Generator (a)	b. Passt Drehzahl und Drehmoment an die Anforderungen des Systems an.
3. Kinetische Energie (c)	c. Energie von bewegten Dingen, z.B. Wind
4. Rotor (d)	d. Der rotierende Teil eines Generators.
5. Elektromagnetische Induktion (e)	e. Vorgang, bei dem durch Bewegung in einem Magnetfeld elektrischer Strom entsteht

Windenergie Education HUB

Kapitel 3

Tragflächen



Tragflächen
Tragflächen und Bernoulli Prinzip

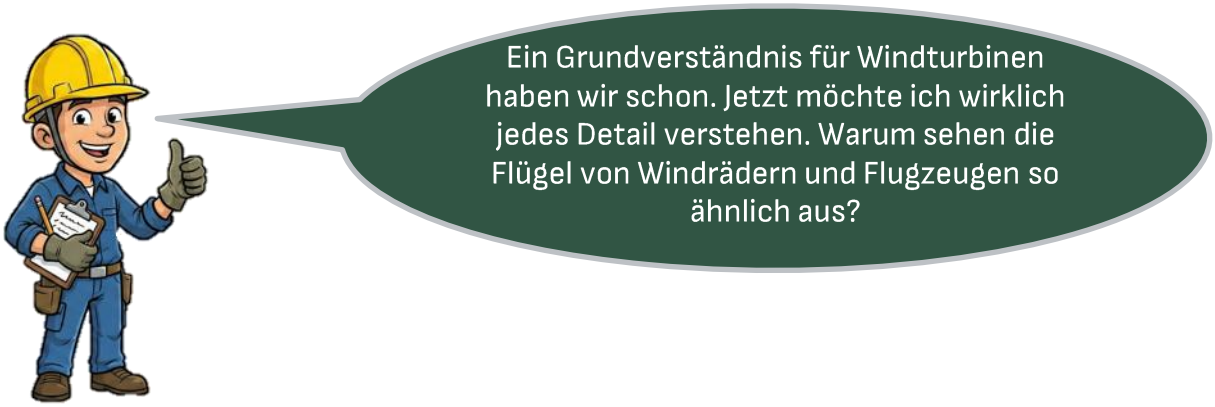
In diesem Kapitel werden wir uns mit folgenden Themen beschäftigen:

- Aufbau und Form von Tragflächen
- Wie Wind Auftrieb erzeugt
- Die Bedeutung der Flügelform
- Das Bernoulli-Prinzip
- Faktoren, die die Leistung von Windkraftanlagen beeinflussen

Walters Lernziele

In diesem Kapitel wirst du:

- **Die Grundlagen des Luftstroms und des Auftriebs verstehen:** Du lernst, wie Luftströmung und Druckunterschiede Auftrieb erzeugen.
- **Das Bernoulli-Prinzip anwenden:** Du verstehst, warum dieses Prinzip sowohl Flugzeuge als auch Windturbinen antreibt.
- **Ein einfaches Experiment durchführen:** Du beobachtest bei einem Papierexperiment, wie durch Luftbewegung Auftrieb entsteht.
- **Die Bedeutung der Flügelform erkennen:** Du erfährst, warum die Form von Tragflächen entscheidend für eine effiziente Nutzung der Windenergie ist.
- **Einflussfaktoren auf die Leistung untersuchen:** Du lernst, wie Windgeschwindigkeit, Luftdichte und Flügelwinkel die Leistung von Windkraftanlagen beeinflussen.



Optional

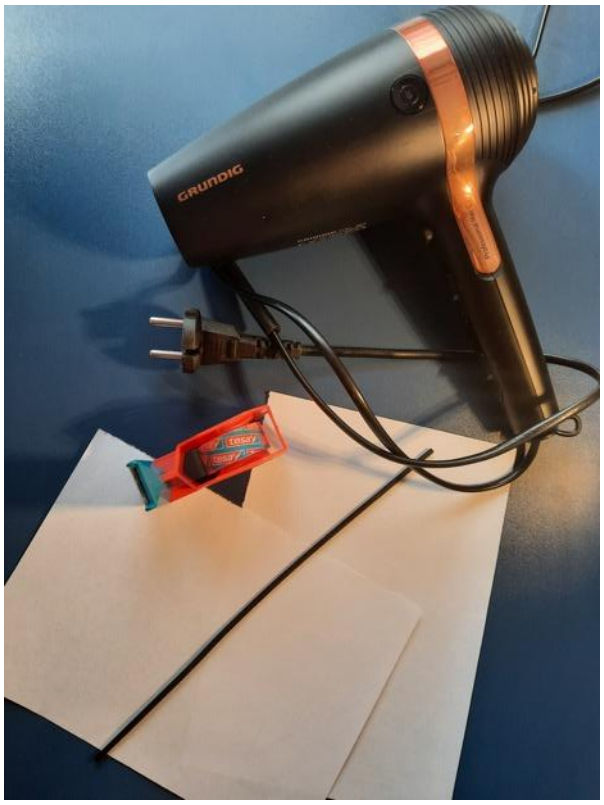
1. Eine Tragfläche bauen

Experiment

8. – 11. Klasse | 10 min. Dauer | 3-5er Gruppe

Benötigtes Material ☑

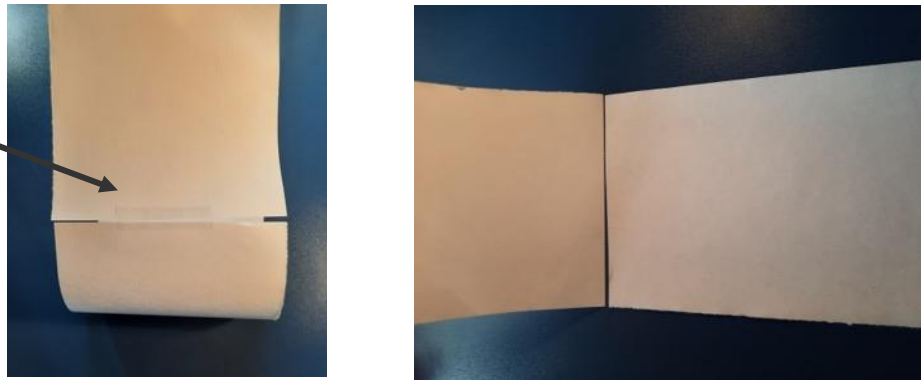
- ☐ Schmaler Holzstab
- ☐ Klebeband
- ☐ 1x Blatt Papier DIN A4 (oder 2x DIN A5)
- ☐ Föhn



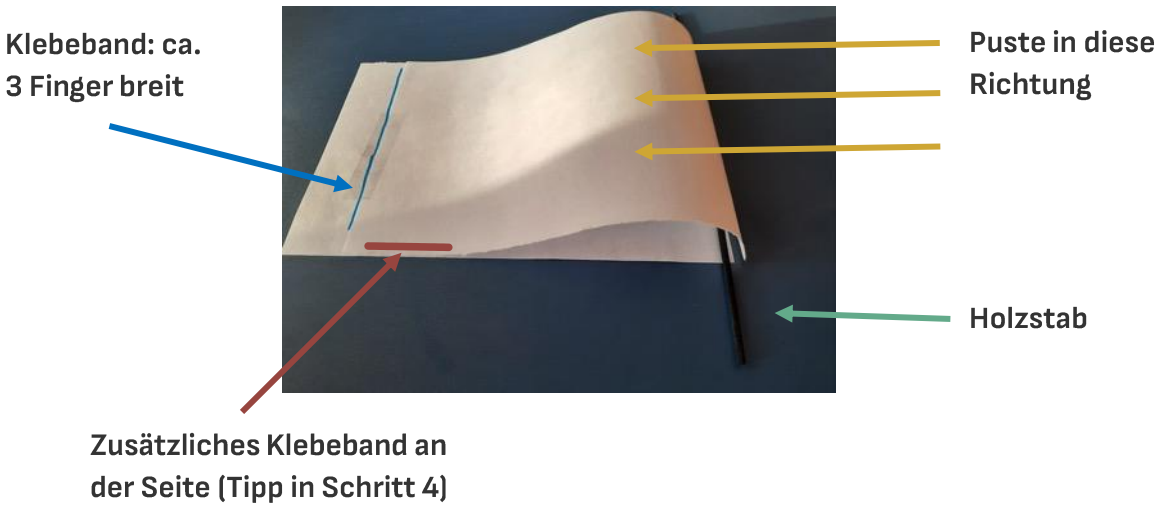
Folge diesen Schritten, um das Experiment durchzuführen:

1) Schneide das DIN A4 Blatt in der Mitte der langen Seite durch.
2) Lege die beiden Blätter so übereinander, dass sie sich gut überlappen.
3) Klebe sie an einer der kurzen Seiten mit Klebeband zusammen, sodass sie sich wie ein Buch öffnen lassen (siehe Bild 1 und 2).
4) Hebe das obere Blatt leicht an und klebe es etwas weiter zur Mitte des unteren Blattes fest (etwa drei Fingerbreit, siehe Bild 3). (TIPP: Du kannst zusätzlich ein Stück Klebeband an der Längsseite anbringen, um die Öffnung flacher zu machen.)
5) Prüfe: Das obere Blatt sollte gebogen sein, das untere möglichst flach bleiben.
6) Schiebe den Holzstab durch die Öffnung und lege ihn an die Seite mit der stärkeren Biegung. (TIPP: Du kannst auch den Holzstab festkleben, siehe Foto.)

Für Schritte 1 & 2:



Für die folgenden Schritte:



Zeit für das Experiment:
Halte die Enden des Holzstabs mit beiden Händen fest und puste über die Oberfläche. Alternativ kannst du auch einen Föhn benutzen.

Übung

Aufgabe 1: Beobachtungen

Was beobachtest du, wenn du den Holzstab mit beiden Händen festhältst und über die Oberfläche pustest?

Aus diesem Experiment solltet ihr beobachten, dass sich das Tragflächenmodell anhebt, wenn ihr über die Oberseite pustet. Wenn niemand darauf pustet, sinkt die Tragfläche wieder nach unten.

Aufgabe 2: Gründe erklären

Warum kommt es zu diesen Beobachtungen? Erkläre deine Vermutung.

Der Grund dafür ist die besondere Form der Tragfläche. Durch diese Form strömt die Luft über die Oberseite schneller als über die Unterseite. Dabei sinkt der Druck auf der Oberseite, da die Luft weniger Zeit und Möglichkeiten hat, auf die Oberfläche zu drücken.

→ Das bedeutet: Auf der Oberseite herrscht ein niedriger Druck, auf der Unterseite ein höherer Druck. Da höherer Druck immer in Richtung des niedrigeren Drucks wirkt, wird die Tragfläche nach oben gedrückt.

Aufgabe 3: Die beste Flügelform bestimmen

Welche Flügelform erscheint dir nach deinen Beobachtungen am besten geeignet? Begründe deine Antwort.

Die Form der Rotorblätter bzw. der Papierstreifen sollte das Profil einer tropfenförmigen Tragfläche nachahmen. Diese Form ermöglicht es der Luft, gleichmäßig über die Oberfläche zu strömen. Dabei entsteht auf einer Seite des Rotorblatts Auftrieb und auf der anderen Seite Luftwiderstand, was dazu führt, dass sich die Turbine dreht.

Aufgabe 4: Einflussfaktoren auf die Turbinenleistung

Welche Faktoren könnten die Leistung von Windkraftanlagen beeinflussen?

Windgeschwindigkeit, Größe der Rotorblätter, Form der Rotorblätter, Höhe, Windbeständigkeit und Maschinenteile

Optional

2. Strömung sichtbar machen

Experiment

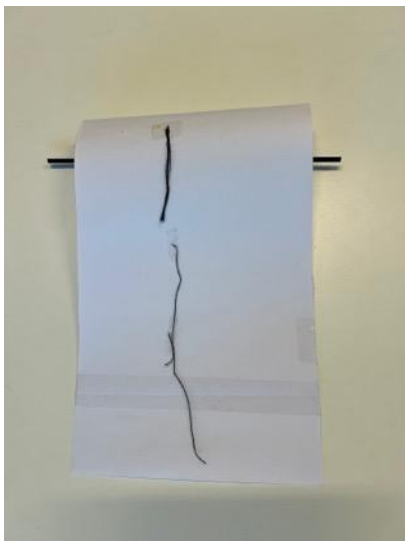
8. – 11. Klasse | 10 min. Dauer | 3-5er Gruppe

Benötigtes Material ☑

- ☐ Papier-Tragflächen (vom vorherigen Experiment)
- ☐ Klebeband
- ☐ Faden oder dünnes Garn (ca. 5 cm lang, Empfehlung: Stopfgarn)
- ☐ Föhn

Durchführung:

1) Klebe zwei bis drei kurze Fäden auf die Oberseite (gewölbte Seite) des Papierflügels.
2) Halte den Flügel in den Luftstrom des Föhns (In die Mitte, auf die Oberseite gerichtet, Abstand ca. 10cm, siehe Bild 2).
3) Bewege den Flügel zur Seite, während der Föhn in derselben Position bleibt.
4) Notiere deine Beobachtungen auf der nächsten Seite



Übung

Aufgabe 1: Beobachtungen

Was beobachtest du an den Fäden, wenn du den Holzstab mit beiden Händen festhältst und über die Oberfläche pustest?

Die Fäden sollten sich nahe an der Oberfläche des Flügels befinden, und wenn sich der Flügel hebt, sollten die Fäden gerade in Windrichtung verlaufen. Wenn sich der Flügel nicht hebt, sollten sich die Fäden chaotisch bewegen.

Aufgabe 2: Gründe erklären

Der Flügel hebt sich nur an, wenn die Fäden glatt an dem Flügel anliegen. Warum kommt es zu diesen Beobachtungen? Erkläre deine Vermutung.

- Dies zeigt die Strömungsablösung. Die Luft kann der Krümmung nicht mehr folgen, es bilden sich Wirbel und der Auftrieb bricht zusammen. Aus diesem Grund muss bei starkem Wind der Anstellwinkel angepasst werden, um das System zu schützen oder zu zerstören.
- Laminare Strömung: Wenn der Flügel richtig zum Föhn ausgerichtet ist, hebt er sich wie im ersten Experiment. In diesem Fall sollten die Fäden glatt auf dem Papier aufliegen (siehe Bild 3).
- Strömungsablösung: Da der Föhn im dritten Schritt die Luft mehr zu den Seiten hin bläst, werden die Fäden seitlich abgelenkt und flattern. Gleichzeitig sinkt der Flügel. Die Luft kann der Krümmung des Flügels nicht mehr folgen, es bilden sich Wirbel und der Auftrieb bricht zusammen. Aus diesem Grund muss bei Windkraftanlagen der Anstellwinkel angepasst werden.

→ Nur bei laminarer Strömung kann der Flügel Auftrieb erzeugen. Wird die Strömung zu turbulent, verliert der Flügel an Auftrieb. In diesem Fall kann die Windkraftanlage die Windenergie nicht effizient in elektrische Energie umwandeln.

Reflexionsfrage: Tragflächen

Im Unterricht habt ihr gelernt, dass Tragflächen durch ihre Form gezielt Luftströmungen beeinflussen und dadurch Auftrieb, Leistung und Sicherheit steuern. Gleichzeitig zeigen kleine Designänderungen große Auswirkungen. Sollten Ingenieur/innen in sicherheitsrelevanter Technik eher bewährte Designs nutzen oder gezielt neue, riskantere Formen testen? Nennt Vor- und Nachteile für bewährte Designs, sowie für neue Ideen? Und wer trägt die Verantwortung, wenn Innovation scheitert?

Bewährte Designs

Vorteile: Hohe Vorhersagbarkeit, bewährte Sicherheitsbilanz und schnellere behördliche Genehmigung.
Nachteile: Begrenzt den Fortschritt in Bezug auf Effizienz und Nachhaltigkeit; wird irgendwann obsolet.

Innovative Designs

Vorteile: Potenzial für Durchbrüche bei Kraftstoffverbrauch, Auftrieb und Leistung.
Nachteile: Höheres Risiko „unbekannter Unbekannter", massive Forschungs- und Entwicklungskosten und Potenzial für katastrophale Ausfälle, wenn Simulationen eine Variable übersehen.

Wer ist für Ausfälle verantwortlich?

Die Verantwortung wird in der Regel innerhalb einer Hierarchie geteilt:
Ingenieure: Für die technische Integrität und die genaue Kommunikation von Risiken.
Management: Für die „Sicherheitskultur" und die Entscheidung, ob Fristen Vorrang vor zusätzlichen Tests haben.
Aufsichtsbehörden: Für die Strenge (oder mangelnde Strenge) des Zertifizierungsprozesses.
Das Unternehmen: Für die rechtlichen und finanziellen Folgen der Produktleistung.

Auf einen Blick: Tragflächen

✓ **Tragflächen haben meist eine gewölbte Oberseite und eine flachere Unterseite.**

- Strömt Luft darüber hinweg, entsteht auf der Oberseite ein geringerer Druck als auf der Unterseite. Dieser Druckunterschied erzeugt Auftrieb.
- So wird deutlich, wie Wind Rotorblätter in Bewegung setzen und so Energie erzeugen kann.

✓ **Die Leistung von Windkraftanlagen wird von mehreren Faktoren beeinflusst.**

- Wichtige Faktoren: Windgeschwindigkeit und -richtung, Größe und Form der Rotorblätter, Höhe der Anlage, Luftwiderstand und Effizienz der mechanischen Teile.

✓ **Strömungsverhalten**

- **Laminare Strömung**: Wenn ihr den Flügel richtig zum Föhn orientiert, hebt sich wie im ersten Versuch der Flügel. In diesem Fall sollten die Fäden glatt am Papier anliegen (siehe Bild 3).
- **Strömungsabriss**: Weil der Föhn im dritten Schritt die Luft zur zu den Seiten pustet, werden die Fäden zur Seite geneigt werden und flattern. Gleichzeitig wird der Flügel sich senken. Die Luft kann der Krümmung des Flügels nicht mehr folgen, es entstehen Wirbel, und der Auftrieb bricht zusammen. Das ist der Grund, warum der Pitch-Winkel bei Windrädern angepasst werden muss.

→ Nur bei laminarer Strömung kann sich der Flügel heben. Ist die Strömung zu turbulent, verliert der Flügel Auftrieb. Dann kann die Windturbine Windenergie nicht effizient in elektrische Energie umwandeln.

Auftrieb entsteht, wenn oben weniger Druck ist als unten – so heben Tragflächen ab! Damit Windräder gut laufen, müssen Wind, Form und Winkel stimmen. Glatte Strömung bringt Power, zu viel Wirbel nimmt den Auftrieb weg.

Windenergie Education HUB

Kapitel 4

Experimente mit einem Windrad

Experimente mit einem Windrad
Tragflächendesign und Leistung

In diesem Kapitel beschäftigen wir uns mit folgenden Themen:

- Windrichtung und Ausrichtung der Turbine
- Anstellwinkel der Rotorblätter
- Funktion der Heckflosse
- Auswirkung wechselnder Windrichtungen
- Einfluss von Blattsteigung und Blattlänge
- Einfluss der Anzahl der Rotorblätter
- Maximaler Leistungspunkt (MPP)

Walters Lernziele

In diesem Kapitel wirst du:

- **Die Bedeutung der Windrichtung verstehen:** Du lernst, wie die Ausrichtung einer Windkraftanlage und der Anstellwinkel der Rotorblätter die Leistung beeinflussen.
- **Die Rolle der Heckflosse erklären:** Du erfährst, wie die Heckflosse die Turbine automatisch im Wind ausrichtet.
- **Die Blattverstellung beschreiben:** Du lernst, wie der Winkel der Rotorblätter zum Wind die Leistung der Windkraftanlage beeinflusst.
- **Die Rotorblattlänge untersuchen:** Du lernst, warum längere Blätter mehr Wind einfangen, aber auch Nachteile haben können.
- **Den Einfluss des Blattgewichts verstehen:** Du erfährst, warum schwere Rotorblätter mehr Wind zum Anlaufen brauchen und wie sich das auf den Betrieb auswirkt.
- **Die Bedeutung der Blattanzahl begreifen:** Du lernst, warum Windkraftanlagen meist drei Rotorblätter haben.
- **Grenzen von Einblattkonstruktionen erkennen:** Du erfährst, warum ein einzelnes Blatt zu Unwucht und höherer Belastung führen kann.
- **Den maximalen Leistungspunkt (MPP) verstehen:** Du erfährst, unter welchen Bedingungen eine Windkraftanlage am effizientesten arbeitet.

Jetzt haben wir so viel Theorie Wissen, jetzt möchte ich die Effekte mit meinen eigenen Augen sehen!

1. Die Leistung von Windturbinen messen

Um die von einer Windkraftanlage erzeugte Leistung zu untersuchen, verwenden wir in den Experimenten ein Multimeter. Dieses Messgerät ist einfach zu bedienen und kann elektrische Größen wie Spannung, Stromstärke und Widerstand messen.
In unseren Versuchen nutzen wir vor allem die Spannung, um Rückschlüsse auf die erzeugte Leistung zu ziehen.

Was ist Leistung?

Leistung beschreibt, wie viel Energie in einer bestimmten Zeit erzeugt oder verbraucht wird.
Bei Windkraftanlagen ist damit die elektrische Energie gemeint, die entsteht, wenn Wind in Strom umgewandelt wird.

Wie messen wir Leistung?

Windkraftanlagen erzeugen elektrischen Strom. Um ihre Leistung zu beurteilen, wird diese normalerweise in der Einheit Watt (W) gemessen.
In unseren Experimenten verwenden wir jedoch die gemessene Spannung, um die Leistung zu vergleichen und abzuschätzen.

Was ist Spannung?

Spannung kann man sich wie den „Druck" in einem Stromkreis vorstellen. Sie gibt an, wie stark der Strom durch die Leitungen angetrieben wird.

- Eine höhere Spannung bedeutet, dass mehr elektrische Energie übertragen wird.
- Eine niedrigere Spannung bedeutet, dass weniger Energie übertragen wird.

Warum ist die Spannung ein guter Indikator für die Leistung?

Bei Windkraftanlagen hängen Spannung und Leistung eng zusammen.

- Je größer die Leistung der Windkraftanlage, desto höher ist meist auch die Spannung.
- Wie beim Wasser: Mehr Druck kann mehr Durchfluss ermöglichen. Genauso kann eine höhere Spannung ein Hinweis darauf sein, dass die Windkraftanlage mehr Leistung abgibt.

Zusammenfassung

Die Spannung ist ein hilfreicher Messwert, um die Leistungsabgabe einer Windkraftanlage zu vergleichen. Sie zeigt, wie viel elektrische Energie zu einem bestimmten Zeitpunkt erzeugt wird.

2. Ein Multimeter bedienen

Was ist ein Multimeter?

✓ Ein Multimeter ist ein Messgerät, mit dem man elektrische Größen wie Spannung, Stromstärke und Widerstand messen kann.

Warum messen wir die Spannung?

✓ Die gemessene Spannung dient als Vergleichswert für die Leistung der Windkraftanlage.

Teile eines Multimeters

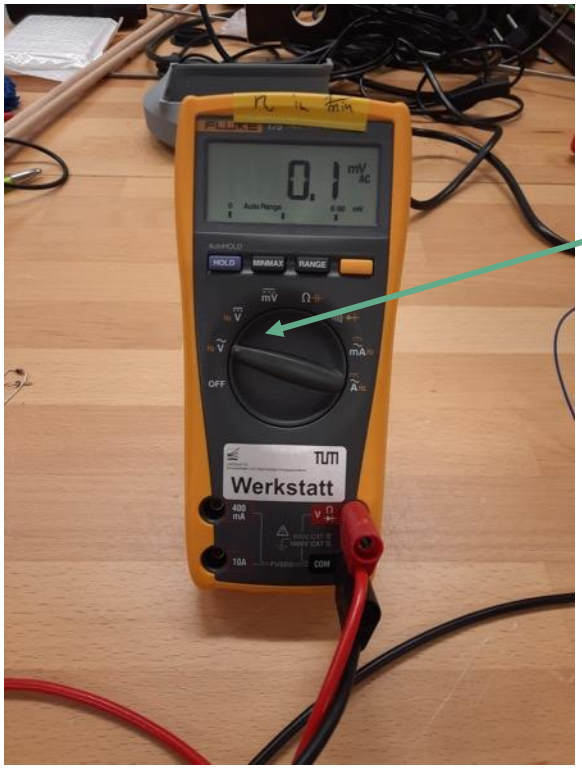
1) **Display:** Zeigt die Messergebnisse an.
2) **Wahlschalter:** Dient zur Auswahl der Messgröße.
3) **Messfühler:** Zwei Kabel mit Metallspitzen
   A. Rot: Für den positiven Anschluss
   B. Schwarz: Für den negativen Anschluss
4) **Anschlüsse:** Buchsen für die Messleitungen:
   A. COM: Gemeinsamer Anschluss, immer für den schwarzen Messfühler.
   B. VΩmA: Für den roten Messfühler bei der Messung von Spannung, Widerstand oder kleinen Strömen.
   C. 10A: Für den roten Messfühler zur Messung großer Stromstärken.

Wichtige Schritte zur Nutzung des Multimeters

1) **Multimeter einschalten:** Drehe den Drehschalter aus der Aus-Position.
2) **Messart auswählen:** Spannung (V):
   - Gerade Linie = Gleichspannung
   - Wellenlinie = Wechselspannung

Zusätzliche Information:

- Stromstärke (A): Wird in Milliampere (mA) oder Ampere (A) gemessen – in unseren Experimenten meist nur mA!
- Widerstand (Ω): Um den Widerstand zu messen, drehe den Drehschalter auf das Symbol „Ω".



Stelle das Multimeter auf AC

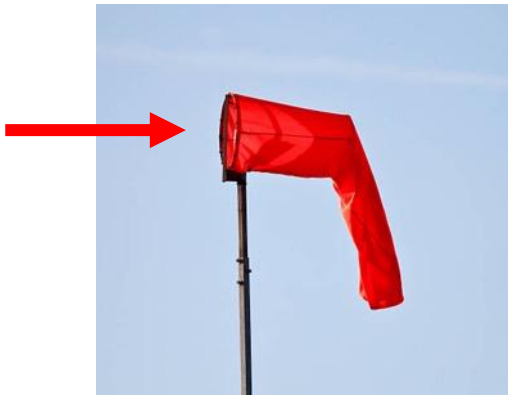
Stecke die Kabel so ein

3. Änderung der Windrichtung

Übung

Aufgabe 1: Finde die richtige Windrichtung

Sieh dir die Bilder an und zeichne Pfeile ein, die zeigen, aus welcher Richtung der Wind kommt. Wähle die Richtung so, dass sich die Objekte möglichst gut bewegen!



Aufgabe 2: Gemeinsamkeiten finden

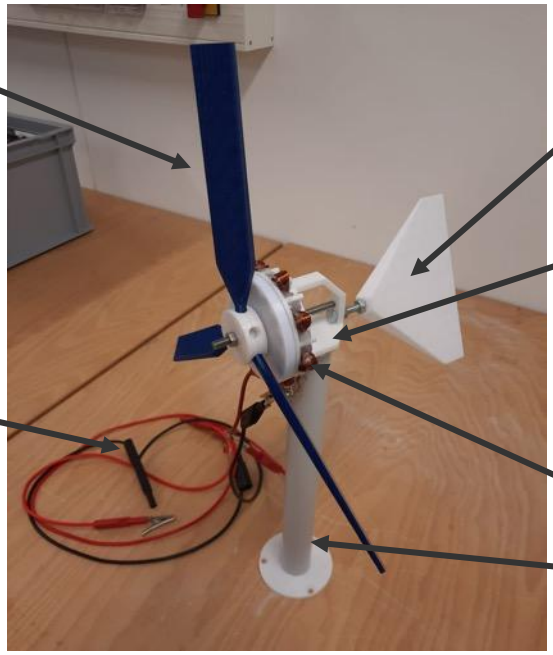
Was haben alle Bilder gemeinsam?

Alle Objekte bewegen sich am besten, wenn der Wind direkt auf sie trifft, da so die größte Kraft übertragen wird.

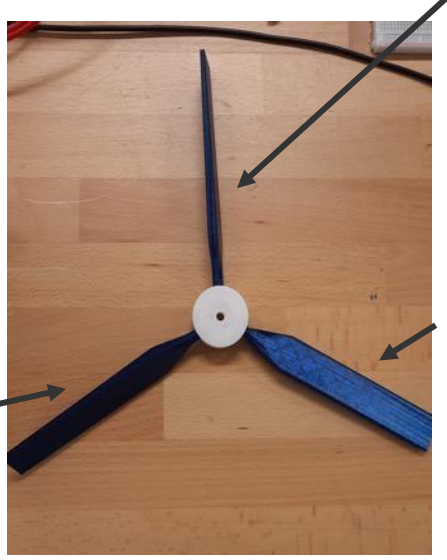
Vergleiche deine Antworten anschließend in einer Gruppe von 3–4 Personen.

4. Das Windset verwenden

Es wird Zeit, dass du praktische Erfahrungen mit unserem Windset sammelst! Der Bausatz zeigt vereinfacht, wie eine echte Windkraftanlage funktioniert, und hilft dir dabei, ihre Bauteile und ihre Wirkungsweise kennenzulernen.
Das folgende Bild zeigt die einzelnen Teile der Windkraftanlage und wie sie zusammengebaut sind. Schau es dir in Ruhe an, bevor du beginnst.
Wenn du unsicher bist oder Fragen hast, wende dich an deine Lehrkraft.



Der Winkel der Rotorblätter lässt sich verstellen. Sofern nicht anders angegeben, verwenden wir für unsere Experimente die flache Stellung der Blätter.



Optional

Experiment

9. – 11. Klasse | 15 min. Dauer | Ganze Klasse

Benötigtes Material ☑

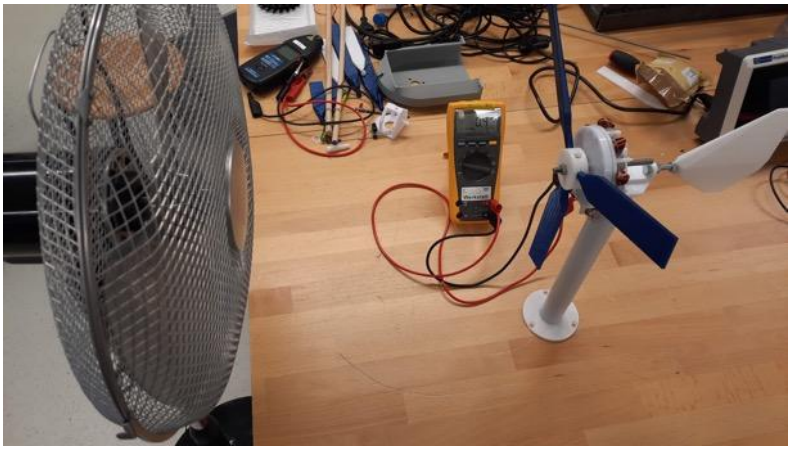
- ☐ Windset mit 3 Rotorblättern, mittlere Größe
- ☐ Ventilator
- ☐ Multimeter

Folge den Anweisungen zur Durchführung des Experiments

1) Stelle das Windset vor den Ventilator. Achte darauf, dass der Abstand während des Experiments gleich bleibt.
2) Befestige drei Rotorblätter (mittlere Größe) am Windset.
3) Befestige anschließend die Gondel mit einer Schraube. Der Blattwinkel soll flach eingestellt sein.
4) Miss mit dem Multimeter die Spannung bei niedriger, mittlerer und hoher Ventilatorstufe für folgende Ausrichtungen. Gib dem Windrad zu Beginn der Messung einen kurzen Stoß, damit es leichter anlaufen kann.
    1) Frontal
    2) Seitlich gedreht (45°)
    3) Seitlich gedreht(90°)
5) Sieh dir auf der nächsten Seite die Abbildungen der verschiedenen Winkel an.
6) Trage deine Messergebnisse in die Beobachtungstabelle ein.

Sieh dir auf der nächsten Seite die Abbildungen der verschiedenen Winkel an.

Frontal



Seitlich gedreht (45°)

Seitlich gedreht (90°)

Übung

Aufgabe 3: Trage deine Messergebnisse in die Tabelle ein

Ausrichtung zur Windrichtung	Windstärke	Spannung in mV (Wechselstrom)
Frontal	Niedrig	480
Frontal	Mittel	770
Frontal	Hoch	1200
Seitlich gedreht (45°)	Niedrig	160
Seitlich gedreht (45°)	Mittel	250
Seitlich gedreht (45°)	Hoch	410
Seitlich gedreht (90°)	Niedrig	0
Seitlich gedreht (90°)	Mittel	0
Seitlich gedreht (90°)	Hoch	0

Aufgabe 4: Beobachtungen

Was hast du bei den Messungen beobachtet?
Was sagen die Ergebnisse über den Einfluss von Windrichtung und Windstärke aus?

Die Messungen zeigen, dass die erzeugte Spannung stark von der Ausrichtung der Windturbine zur Windrichtung und von der Windstärke abhängt. Bei frontaler Ausrichtung zur Windrichtung steigt die Spannung mit zunehmender Windstärke deutlich an. Hier wird die größte Kraft auf die Rotorblätter übertragen, sodass sich die Windturbine schnell dreht und die höchste Spannung erzeugt.

Wird die Windturbine seitlich zur Windrichtung gedreht, sinkt die erzeugte Spannung deutlich. Bei einer Drehung um 45° erreicht nur noch ein Teil des Windes die Rotorblätter, wodurch weniger Energie übertragen wird. Bei einer Drehung um 90° ist nahezu keine Spannung messbar, da der Wind kaum noch wirksam auf die Rotorblätter trifft. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass sowohl eine möglichst frontale Ausrichtung als auch eine hohe Windstärke entscheidend für eine effiziente Stromerzeugung sind.

5. Anstellwinkel

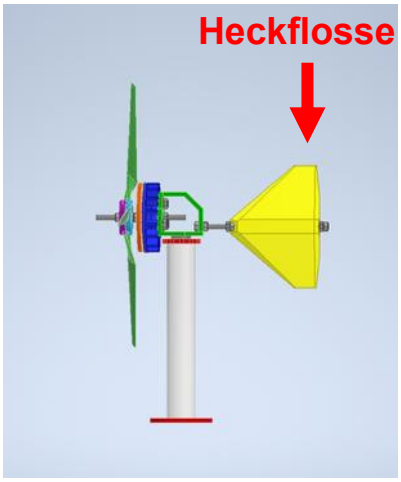
Übung

Aufgabe: Arbeite gemeinsam mit einem Partner

Eine Windturbine muss immer in den Wind ausgerichtet sein. Da sich die Windrichtung im Laufe des Tages ändern kann, muss sich die Windturbine entsprechend mitdrehen.

Wie kann sich eine Windturbine automatisch in die Windrichtung drehen?

1) Betrachte die Bilder unten und überlege, welches Bauteil dabei eine Rolle spielen könnte..
2) Tauscht euch mit eurem Nachbarn aus und besprecht eure Ideen.



3) Notiere deine Antworten.

Damit sich eine Windkraftanlage automatisch in die Windrichtung ausrichten kann, wird eine Heckflosse (Tail Fin) angebracht. Die Heckflosse wirkt wie ein Segel und wird vom Wind angeströmt. Wenn der Wind aus einer anderen Richtung kommt, entsteht ein Drehmoment, das die Windturbine so dreht, bis Rotor und Windrichtung wieder übereinstimmen. Dadurch richtet sich die Windkraftanlage selbstständig in den Wind aus, ohne dass sie von außen gesteuert werden muss. Auf diese Weise kann die Turbine auch bei wechselnder Windrichtung effizient arbeiten.

Optional

6. Verwendung einer Heckflosse

Experiment

9. – 11. Klasse | 10 min. Dauer | Ganze Klasse

Benötigtes Material ☑

- ☐ Windset mit 3 Rotorblättern (mittlere Größe)
- ☐ Ventilator

Durchführung:

1) Stelle das Windset vor den Ventilator. Achte darauf, dass die Position während des Experiments gleich bleibt, damit die Ergebnisse nicht durch unterschiedliche Abstände beeinflusst werden. Befestige die drei Rotorblätter (mittlere Größe) am Windset.
2) Positioniere das Windset in einem 45-Grad-Winkel zum Ventilator. Der Wind sollte flach auf die Rotorblätter treffen. Befestige die Gondel mit einer Schraube!
3) Miss die Spannung mit dem Multimeter bei hoher Ventilatorgeschwindigkeit.
4) Was beobachtest du? Notiere deine Antworten auf der nächsten Seite.
5) Schalte den Ventilator aus und befestige die Heckflosse am Windset.
6) Schalte den Ventilator wieder ein und miss die Spannung erneut bei hoher Ventilatorgeschwindigkeit.
7) Was beobachtest du? Notiere deine Antworten auf der nächsten Seite.

Verwendung der Heckflosse

Übung

Aufgabe 1: Fülle die Tabelle aus

Trage deine Messergebnisse in die Tabelle ein.

	Spannung in mV (Wechselstrom)
Mit Heckflosse	
Ohne Heckflosse	

Aufgabe 2: Verwendung der Heckflosse

Warum ist eine funktionierende Heckflosse wichtig?

Die Heckflosse ermöglicht es der Windkraftanlage, sich direkt in Windrichtung zu drehen. Ohne eine funktionierende Flosse (horizontal) bewegt sich die Windkraftanlage zufällig von der Windquelle weg.

Aufgabe 3: Was denkst du?

Warum kann sich die Turbine mithilfe der Heckflosse in den Wind drehen?

Die Turbine bewegt sich, um den Luftwiderstand an der Heckflosse zu verringern. Der geringste Luftwiderstand an der Heckflossebesteht, wenn die Turbine direkt dem Wind ausgesetzt ist.

Auf einen Blick: Leistung von Windturbinen

- ✓ **Die Windrichtung beeinflusst, wie viel Strom eine Windturbine erzeugen kann.**
  - Deshalb ist der richtige Anstellwinkel besonders wichtig.

- ✓ **Das Design der Turbine enthält Bauteile, die dabei helfen, sie in den Wind auszurichten.**
  - Eine funktionierende Heckflosse ermöglicht es der Turbine, sich an Änderungen der Windrichtung anzupassen und beeinflusst so die Effizienz.

Teste dein Wissen!

Aufgabe 1: Lückentext

Fülle die Lücken aus

- Der _____ (direkte/seitliche) Wind übt mehr Kraft auf das Windrad aus.
- Um die Windturbine in den Wind zu drehen, befestigen wir ein(e)_____ (Heckflosse/Rotorblatt).
- Die/Der _____ (Turbine/Gondel) dreht sich, um sich in Windrichtung auszurichten.
- Die Gondel richtet sich in den Wind aus, um den _____ (Luftstrom/Widerstand) an der Heckflosse zu verringern.
- Der_____ (Luftdruck/Anstellwinkel) beeinflusst, wie effizient die Turbine den Wind nutzt.
- _____ (Direkter/Seitlicher) Wind übt mehr Kraft auf die Windturbine aus.

Aufgabe 2: Kreuze die richtigen Antworten an

Sind die folgenden Aussagen richtig oder falsch? Kreuze die passenden Kästchen an.

- Direkter Wind übt mehr Kraft auf die Windturbine aus als seitlicher Wind.
  - [X] Wahr
  - [ ] Falsch
- Die Heckflosse wird befestigt, damit sich die Windturbine in den Wind ausrichtet.
  - [ ] Wahr
  - [X] Falsch
- Die Gondel dreht sich, um den seitlichen Luftwiderstand an der Heckflosse zu verringern.
  - [X] Wahr
  - [ ] Falsch
- Eine Windturbine erzeugt die meiste Energie, wenn sie direkt in den Wind ausgerichtet ist.
  - [ ] Wahr
  - [X] Falsch
- Die Heckflosse hilft der Windturbine, auf Änderungen der Windrichtung zu reagieren.
  - [X] Wahr
  - [ ] Falsch

7. Änderung des Rotorblattwinkels

Experiment

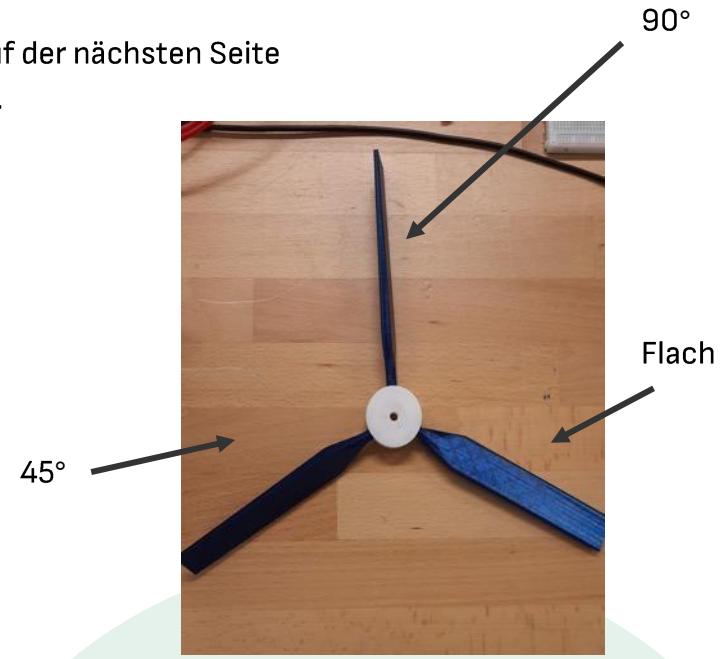
9. – 11. Klasse | 10 min. Dauer | Ganze Klasse

Benötigtes Material ☑

- ☐ Windset mit 3 Rotorblättern (mittlere Größe)
- ☐ Ventilator
- ☐ Multimeter

Durchführung:

1) Stelle das Windset vor den Ventilator. Achte darauf, dass die Position während des gesamten Experiments gleich bleibt, damit die Ergebnisse nicht durch unterschiedliche Abstände zum Ventilator beeinflusst werden. Befestige die drei Rotorblätter (mittlere Größe) am Windset.
2) Befestige die Gondel mit einer Schraube. Du kannst verschiedene Bohrungen verwenden, um unterschiedliche Rotorblattwinkel einzustellen (siehe Abbildung).
3) Stelle den Ventilator auf eine feste Windgeschwindigkeit ein und halte diese während des gesamten Experiments konstant.
4) Miss die Spannung mit dem Multimeter für die folgenden Rotorblattwinkel:
   - 90°
   - 45°
   - Flach
5) Trage deine Messergebnisse auf der nächsten Seite in die Beobachtungstabelle ein.

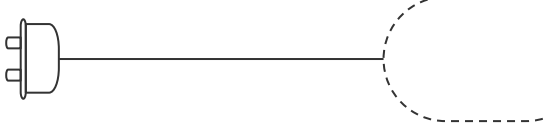


Übung

Aufgabe 1: Fülle die Tabelle aus

Trage deine Messergebnisse in die Tabelle ein.

Rotorblattwinkel	Spannung in mV (Wechselstrom)
90°	
45°	
Flach	



Auf einen Blick: Rotorblattwinkel

- ✓ Die Einstellung des Rotorblattwinkels beeinflusst, wie stark der Wind auf die Blätter wirkt.
- ✓ Mit dem passenden Rotorblattwinkel kann mehr Energie gewonnen werden.
- ✓ Ein flach eingestelltes Rotorblatt arbeitet am effizientesten.

Der Winkel der Rotorblätter ist super wichtig: Je flacher sie stehen, desto besser kann mein Windrad Energie einfangen. So holt meine Mission das Maximum aus dem Wind!

Optional

8. Änderung der Rotorblattlänge

Experiment

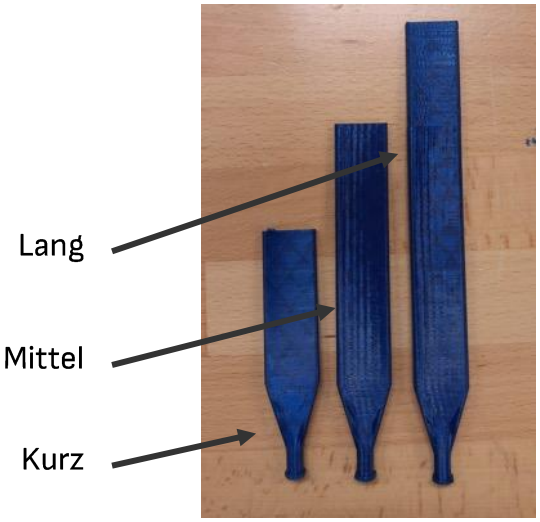
9. – 11. Klasse | 10 min. Dauer | Ganze Klasse

Benötigtes Material ☑

- ☐ Windset mit 3 Rotorblättern
- ☐ Ventilator
- ☐ Multimeter

Durchführung:

1) Stelle das Windset vor den Ventilator. Achte darauf, dass die Position während des gesamten Experiments gleich bleibt, damit die Ergebnisse nicht durch unterschiedliche Abstände zum Ventilator beeinflusst werden. Befestige zuerst die kurzen Rotorblätter am Windset.
2) Befestige die Gondel mit einer Schraube. Du kannst verschiedene Bohrungen verwenden. Der Rotorblattwinkel sollte flach eingestellt sein.
3) Stelle den Ventilator auf eine feste Windgeschwindigkeit ein und halte diese während des gesamten Experiments konstant.
4) Miss die Spannung mit dem Multimeter. Wiederhole die Messung mit mittleren und langen Rotorblättern.
5) Trage deine Messergebnisse in die Beobachtungstabelle ein.



Übung

Aufgabe 1: Fülle die Tabelle aus

Trage deine Messergebnisse in die Tabelle ein.

Rotorblattlänge	Spannung in mV (Wechselstrom)
Kurzes Rotorblatt	
Mittleres Rotorblatt	
Langes Rotorblatt	

Aufgabe 2: Beobachtung

Was hast du beobachtet?
Wie beeinflusst die Länge der Rotorblätter die Drehgeschwindigkeit des Windsets?

Kurze Rotorblätter liefern eine geringe Spannung, da sie nur wenig kinetische Energie aus dem Wind aufnehmen. Mittlere Rotorblätter zeigen die beste Kombination aus aufgenommener Windfläche und Drehgeschwindigkeit und erzeugen daher die höchste Spannung. Sehr lange Rotorblätter haben zwar eine größere Fläche, drehen sich jedoch aufgrund höherer Masse und größeren Luftwiderstands langsamer, sodass die Spannung nicht weiter zunimmt oder sogar sinkt. Daher gilt: Längere Rotorblätter führen nicht automatisch zu einer höheren Spannung.

Auf einen Blick: Rotorblattlänge

- ✓ Die Länge der Rotorblätter beeinflusst direkt, wie viel Wind von der Windturbine erfasst wird.
- ✓ Längere Rotorblätter erfassen mehr Wind, sind jedoch auch schwerer und belasten die Turbine stärker.

9. Änderung der Rotorblattanzahl

Experiment

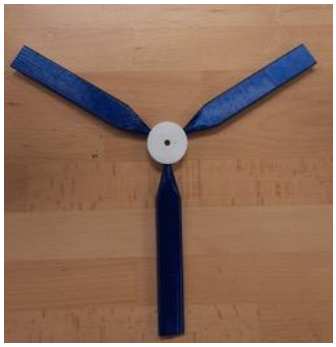
9. – 11. Klasse | 10 min. Dauer | Ganze Klasse

Material, das du für das Experiment brauchst ☑

- ☐ Windset mit 2, 3 und 6 Rotorblättern (mittlere Größe)
- ☐ Ventilator
- ☐ Multimeter

Durchführung:

1) Stelle das Windset vor den Ventilator. Achte darauf, dass die Position während des gesamten Experiments gleich bleibt, damit die Ergebnisse nicht durch unterschiedliche Abstände zum Ventilator beeinflusst werden.
2) Befestige die Gondel mit einer Schraube. Du kannst verschiedene Löcher verwenden. Der Rotorblattwinkel sollte flach eingestellt sein.
3) Stelle den Ventilator auf eine feste Windgeschwindigkeit ein und halte diese während des gesamten Experiments konstant.
4) Miss die Spannung mit dem Multimeter für unterschiedliche Anzahlen an Rotorblättern:
   - Zwei Rotorblätter
   - Drei Rotorblätter
   - Sechs Rotorblätter
5) Schau dir die Abbildungen auf der nächsten Seite an und vergleiche sie mit deinem Windset.
6) Trage deine Messergebnisse in die Beobachtungstabelle ein.



Übung

Aufgabe 1: Fülle die Tabelle aus

Trage deine Messergebnisse in die Tabelle ein.

Anzahl der Rotorblätter	Spannung in mV (Wechselstrom)
2 Rotorblätter	
3 Rotorblätter	
6 Rotorblätter	

Aufgabe 2: Beobachtung

Welche Unterschiede stellst du bei der Spannungsausgabe zwischen den verschiedenen Rotorblatt-Konfigurationen fest?

Die Anzahl der Flügel hat direkten Einfluss auf die Fähigkeit der Turbine, Spannung zu erzeugen. Bei weniger Flügeln erzeugt die Turbine weniger Spannung. Eine höhere Anzahl von Flügeln (z. B. 6-Flügel-Konfiguration) erhöht im Allgemeinen die Spannungsabgabe und Stabilität, kann jedoch Widerstand erzeugen, insbesondere bei hohen Windgeschwindigkeiten.

Übung

Aufgabe 3: Stabilitätsprüfung

Wie verändert sich die Stabilität der Windturbine mit steigender Rotorblattanzahl?

Mit zunehmender Anzahl der Rotorblätter verbessert sich die Stabilität, da die Windkraft gleichmäßiger auf mehr Rotorblätter verteilt wird. Allerdings verursachen zusätzliche Rotorblätter auch Luftwiderstand und Turbulenzen, die die Drehzahl und den Gesamtwirkungsgrad verringern können.

Aufgabe 4: Vor- und Nachteile

Welche Vor- und Nachteile hat der Einsatz von Windturbinen mit einer höheren Anzahl an Rotorblättern in realen Windparks?

Vorteile: Mehr Rotorblätter sorgen für höhere Stabilität, insbesondere bei schwachen Windverhältnissen. Höhere Spannungsabgabe aufgrund verbesserter Windenergieausbeute. Zuverlässigere Leistung über einen größeren Windgeschwindigkeitsbereich.
Nachteile: Höherer Widerstand beim Anlaufen und Drehen aufgrund erhöhter Trägheit. Geringere Effizienz bei sehr starken Windverhältnissen. Höhere Materialkosten und technische Herausforderungen.

Auf einen Blick: Änderung der Rotorblattanzahl

- ✓ **Die Anzahl der Rotorblätter beeinflusst mehrere Eigenschaften der Windturbine, z. B.:**
  - Die Drehzahl,
  - die Laufruhe,
  - den Luftwiderstand und die Spannungsausgabe
- ✓ **Eine höhere Anzahl an Rotorblättern erhöht die Laufruhe, kann aber die Effizienz verringern**
- ✓ Drei Rotorblätter stellen in der Praxis meist den besten Kompromiss dar.

Optional

10. Wake-Effekt (Windpark-Effekt)

Experiment

9. – 11. Klasse | 10 min. Dauer | Ganze Klasse

Benötigtes Material ☑

- ☐ Papierwindrose (vom vorherigen Experiment)
- ☐ Multimeter
- ☐ Windset
- ☐ Ventilator

Durchführung:

1. Baue den Versuchsaufbau wie im vorherigen Experiment auf. Stelle den Ventilator auf die höchste Stufe und verbinde das Multimeter mit dem Windrad.
2. Schalte den Ventilator ein und beobachte das Windrad. Es sollte sich schnell drehen. Notiere die gemessene Spannung.
3. Halte nun die Papierwindrose mit der Hand vor das Windrad, sodass sie im Luftstrom zwischen Ventilator und Windrad steht.
4. Beobachte, wie sich die Drehgeschwindigkeit des Windrads verändert. Miss erneut die Spannung und notiere den Wert
5. Erhöhe den Abstand zwischen der Papierwindrose und dem Windrad. Vergleiche jeweils die Drehgeschwindigkeit und die gemessene Spannung.

Übung

Aufgabe 1: Fülle die Tabelle aus

Trage deine Messergebnisse in die Tabelle ein.

Aufbau	Abstand	Spannung in mV (Wechselstrom)
Nur Windset	Kurz	
Windset + Windrose	Kurz	
Windset + Windrose	Lang	

Aufgabe 2: Beobachtung

Welche Unterschiede stellst du bei der Spannungsausgabe zwischen den verschiedenen Versuchsaufbauten fest?

Die Spannung der Windturbine ist deutlich geringer, wenn sich die Windrose zwischen dem Ventilator und der Windturbine befindet. In diesem Fall erreicht weniger Windenergie die Turbine, da die Windrose dem Luftstrom bereits kinetische Energie entzieht. Außerdem wird der Wind hinter der Windrose ungleichmäßig und turbulenter, wodurch sich die Drehbewegung der Windturbine verlangsamt. Befindet sich die Windturbine weiter entfernt, verstärkt sich dieser Effekt zusätzlich, da sich der Luftstrom weiter ausbreitet und an Energie verliert. Dadurch sinkt die erzeugte Spannung im Vergleich zu einem direkten, ungestörten Luftstrom.

Die Physik dahinter:

Die erste Turbine entzieht dem Wind kinetische Energie und erzeugt hinter sich Verwirbelungen (Turbulenzen). Das nennt man den **Wake-Effekt** (Nachlauf). Er erklärt, warum in Windparks (Onshore/Offshore) große Abstände zwischen den Anlagen notwendig sind, damit sie effizient arbeiten.

Übung

Reflexionsfrage: Experimente mit Windturbinen

Wenn Ihr eine Windturbine nur auf Basis eurer Experimente bewerten würdet: Welche Informationen fehlen euch noch, um eine verantwortungsvolle Entscheidung für den realen Einsatz zu treffen? Warum reichen Laborexperimente allein nicht aus?

Laborversuche mit Windturbinen eignen sich gut, um grundlegende physikalische Zusammenhänge wie den Einfluss der Windgeschwindigkeit auf Drehzahl und Leistung zu untersuchen. Für eine realistische Bewertung von Windenergieanlagen reichen sie jedoch nicht aus. In der Realität ist der Wind nicht gleichmäßig, sondern durch Turbulenzen und Richtungsänderungen geprägt. Zudem beeinflussen sich Windturbinen in Windparks gegenseitig durch den Wake-Effekt: Nachfolgende Anlagen befinden sich im Windschatten, wodurch die Windgeschwindigkeit sinkt und Turbulenzen zunehmen. Diese Effekte lassen sich im Labor nur vereinfacht darstellen. Deshalb sind neben Experimenten auch Messungen im Gelände und Simulationen notwendig, um den tatsächlichen Einsatz von Windkraftanlagen zuverlässig zu planen.

Finale Reflexionsfrage

Beim Ausbau von Windenergie treffen viele Interessen aufeinander: günstiger Strom, Klimaschutz, Naturschutz und die Wünsche der Menschen vor Ort. Wer sollte am Ende entscheiden, was gebaut wird- Politiker, Firmen, Wissenschaftler oder die Bevölkerung - und warum gerade diese?

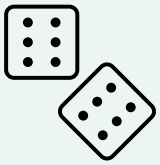
Beim Ausbau von Windenergie treffen verschiedene Interessen aufeinander: Günstiger Strom und Klimaschutz sprechen für Windkraftanlagen, während Anwohner häufig Sorgen wegen Lärm, Landschaftsbild oder Schattenwurf haben. Unternehmen möchten Windräder möglichst effizient aufstellen, müssen dabei aber auch politische Vorgaben und die Akzeptanz der Bevölkerung berücksichtigen. Hinzu kommen technische Aspekte wie der Wake-Effekt, der beeinflusst, wie nah Windräder zueinander stehen dürfen. Letztlich müssen Entscheidungen getroffen werden, die ökologische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Interessen abwägen, da keine Lösung alle Beteiligten gleichermaßen zufriedenstellt.

Auf einen Blick: Wake-Effekt

- ✓ **Stehen Windturbinen zu nah aneinander senkt dies die Leistung.**
  - Es ist nicht genug Windenergie für das hintere Windrad verfügbar.
- ✓ **Windturbinen dürfen nicht direkt voreinander im Wind stehen.**
- ✓ Dies ist insbesondere wichtig für das Design von Windparks, in denen viele Windturbinen relativ nah beieinander stehen.

Wenn Windräder zu nah stehen, nimmt das hintere zu wenig Wind mit. Für meine Mission heißt das: In Windparks müssen genug Abstände bleiben, damit alle Turbinen volle Power bekommen!

Teste dein Wissen!



Aufgabe 1: Lückentext

Fülle die Lücken aus

- Die Richtung des Windes hat _____ (keinen/einen) Einfluss auf die generierte Strommenge.
- Damit die Windturbine in den Wind zeigt, befestigen wir ein(e) _____ (Heckflosse/Rotorblatt).
- Der Anstellwinkel des Rotorblatts ist optimal, wenn es _____ (geneigt/flach) eingestellt ist.
- Je _____ (kürzer/länger) das Rotorblatt, desto mehr Energie kann die Windturbine aufnehmen.
- Sind die Rotorblätter sehr schwer, kann die Leistung _____ (sinken/steigen).
- Um eine gute Leistung und eine ausgewogene Windturbine zu erreichen, sollte die Anzahl der Rotorblätter _____ (eins/zwei/drei/sechs) sein.

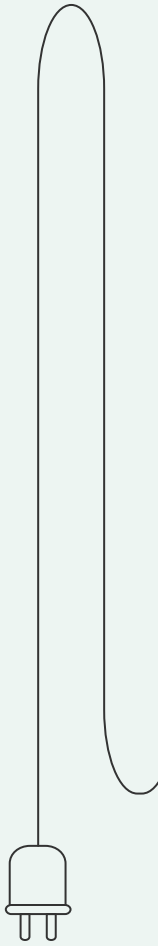
Aufgabe 2: Erinnere dich!

Schreibe mindestens drei Dinge auf, die du gelernt hast und dir merken möchtest!

Aufgabe 3: Lückentext

Fülle die Lücken.

- Der Maximum Power Point (MPP) ist der Punkt, an dem eine Windturbine unter gegebenen Windbedingungen die _____ (niedrigste/höchste/moderate) Leistung erzeugt.
- Um die Energieausbeute zu optimieren, sollte der Rotorblattwinkel an die Windgeschwindigkeit_____ (angepasst/fixiert) werden.
- Die Heckflosse hilft der Turbine, sich für maximale Effizienz_____ (auf den Wind zuzudrehen/vom Wind wegzudrehen).
- Windturbinen verwenden_____ (Sensoren/Batterien/Magnete), um Windbedingungen zu erfassen und den Betrieb am MPP auszurichten.
- Eine Erhöhung der Rotordrehzahl über den MPP hinaus führt zu _____ (optimaler Leistung/Energieverlust/erhöhter Effizienz).



Aufgabe 4: Bewerte und korrigiere die Aussagen

Sind die folgenden Aussagen richtig oder falsch? Korrigiere sie, falls sie falsch sind.

1. Der MPP sorgt dafür, dass eine Windturbine unter allen Bedingungen mit maximaler Effizienz arbeitet.

Falsch. Korrektur: MPP optimiert die Energiegewinnung, aber die Effizienz kann je nach Windverhältnissen variieren.

2. Die Rotorblattwinkel-Regelung ist nicht notwendig, um den MPP zu halten.
Falsch. Korrektur: Die Rotorblattwinkel-Regelung passt den Winkel der Blätter an, um die Energiegewinnung zu optimieren und den MPP aufrechtzuerhalten.

3. Offshore-Windparks verwenden fortschrittliche Steuersysteme, um den MPP in Echtzeit zu optimieren.

Richtig.

4. Windturbinen passen sich ohne Steuerungs- oder Sensorsysteme selbstständig an den MPP an.

Falsch. Korrektur: Windkraftanlagen benötigen Sensoren und Steuerungssysteme, um den MPP effizient aufrechtzuerhalten.

5. Dynamische Windbedingungen beeinflussen den Maximum Power Point nicht.

Falsch. Korrektur: Dynamische Windbedingungen beeinflussen den MPP, sodass für eine optimale Leistung ständige Anpassungen erforderlich sind.

Aufgabe 5: Begriffe zuordnen

Ordne die Begriffe aus Spalte A den passenden Definitionen oder Funktionen in Spalte B zu.

Spalte A	Spalte B
1. MPP (c)	a. Richtet die Turbine in die Windrichtung aus.
2. Gierregelung (a)	b. Passt die Rotorblattwinkel an, um die Energieausbeute zu optimieren.
3. Rotorblattwinkel-Regelung (b)	c. Beschreibt den Betriebspunkt mit der höchstmöglichen Leistung.
4. Sensoren (d)	d. Erfassen Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Rotordrehzahl.
5. Windgeschwindigkeits-schwankungen (e)	e. Beeinflussen die Effizienz der Turbine und die Energieproduktion.

Gut gemacht.
Walter sagt Danke.

Du hast es geschafft.
Was kannst du von heute mitnehmen?

Windenergie ist keine perfekte Lösung.
Sie erfordert Rücksicht auf Natur & Menschen.
Doch sie ist sauber, erneuerbar & ein wichtiger Baustein der Energiewende.

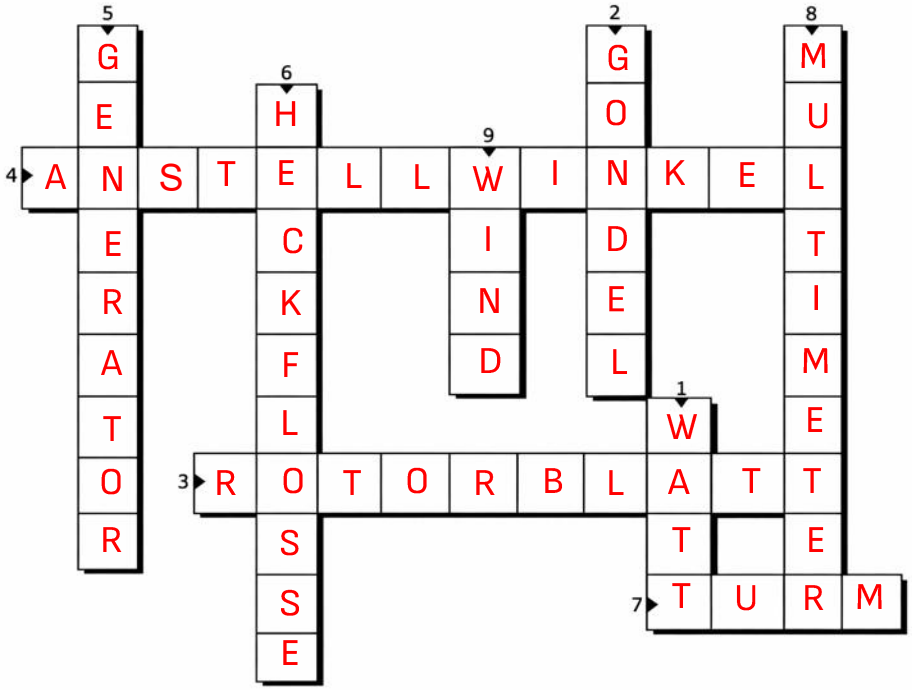
Du kannst stolz auf dich sein!
Für heute haben wir unseren Teil getan.

Zeit für ein Spiel

Herzlichen Glückwunsch!

Du hast den Kurs zur Windenergie abgeschlossen. Dabei hast du gelernt, wie Windturbinen funktionieren und wie Wind in elektrische Energie umgewandelt wird.

Jetzt kannst du dein Wissen auf spielerische Weise testen – mit einem **Windenergie-Kreuzworträtsel**.
Finde die richtigen Begriffe rund um die Windenergie und überprüfe, wie viel du dir gemerkt hast. Viel Spaß dabei!



Waagerecht:

3. Teil der Turbine, das die Energie des Windes aufnimmt
4. Winkel zwischen Rotorblatt und Windrichtung
7. Tragender Mast der Windturbine

Senkrecht

1. Einheit der Leistung
2. Gehäuse oben auf dem Turm, schützt u.a. den Generator
5. Wandelt Bewegung in elektrische Energie um
6. Ermöglicht die Ausrichtung der Turbine in Windrichtung
8. Gerät zur Messung von Spannung
9. Bewegte Luft

Gut gemacht!

Designed by Slidesgo und Freepik