



Arbeiten mit Windkraft

Von TryEngineering - www.tryengineering.org



Klicken Sie hier, um Ihr Feedback zu dieser Unterrichtseinheit abzugeben.

Im Mittelpunkt dieser Lektion

In dieser Lektion geht es darum, wie im großen und kleinen Maßstab Windkraft (Windenergie) erzeugt werden kann. Die einzelnen Schülerteams planen und bauen aus Alltagsprodukten eine funktionsfähige Windmühle und lernen etwas über Anemometer (Windmesser) und Standorttests. Die Windmühlen der Schüler und Schülerinnen müssen dem von einem Ventilator oder Fön in einem Abstand von 60 cm erzeugten Wind mittlerer Stärke standhalten und sich drehen und dabei einen kleinen Gegenstand anheben können. Die Schüler und Schülerinnen beurteilen die Wirksamkeit ihrer Windmühle und der Windmühlen der anderen Teams und tragen der Klasse ihre Ergebnisse vor.

Zusammenfassung dieser Lektion

In der Aktivität „Arbeiten mit Windkraft“ wird der zunehmende Einsatz von Windkraft für die Erzeugung oder Verstärkung von Energie für Betriebe und Wohnhäuser in aller Welt untersucht. Die Schüler und Schülerinnen arbeiten in „Ingenieurteams“ an Konstruktion und Bau ihrer eigenen Windmühle aus Gegenständen des täglichen Gebrauchs, die sie selbst auswählen und unter Rückgriff auf ein festgesetztes Budget kaufen. Sie testen ihre Windmühle, werten ihre Ergebnisse aus und tragen der Klasse ihre Überlegungen vor.

Altersstufen

8-18.

Ziele

- ✦ Die Schüler und Schülerinnen sollen etwas über Windkraft und Windturbinen lernen.
- ✦ Die Schüler und Schülerinnen sollen etwas über Konstruktionstechniken lernen.
- ✦ Die Schüler und Schülerinnen sollen lernen, wie die Konstruktionstechnik zur Lösung gesellschaftlicher Probleme beitragen kann.
- ✦ Die Schüler und Schülerinnen sollen etwas über Teamarbeit und Problemlösungen lernen.



Erwartete Ergebnisse zum Vorteil der Lernenden

Als Ergebnis dieser Aktivität sollten die Schüler und Schülerinnen ein Verständnis der folgenden Konzepte entwickeln:

- ✦ Windkraft
- ✦ Wechselwirkungen zwischen Technologien und gesellschaftlichen Fragen
- ✦ Konstruktionsdesign
- ✦ Teamarbeit

Aktivitäten dieser Lektion

Die Schüler und Schülerinnen untersuchen, inwieweit Technologie die Welt positiv beeinflussen kann, indem sie etwas über Windkraft und die Ausrüstungen lernen, die für Standorttests und die Umwandlung von Wind in Energie verwendet werden. Sie erkunden die der Nutzung der Windkraft zugrunde liegende Technologie, informieren sich über Standortstudien und entwickeln in Teamarbeit eine Windmühle aus alltäglichen Gegenständen. Sie testen ihre Windmühlen, werten ihre eigenen Designs und die anderer Schüler aus und tragen der Klasse ihre Ergebnisse vor.

Ressourcen/Materialien

- ✦ Ressourcendokumente für Lehrer (liegen bei)
- ✦ Ressourcenblatt für Schüler (liegt bei)
- ✦ Schülerarbeitsblatt (liegt bei)

Abstimmung auf Lehrpläne

Siehe das beiliegende Lehrplan-Abstimmungsblatt.

Weiterführende Websites

- ✦ TryEngineering (www.tryengineering.org)
- ✦ National Renewable Energy Laboratory - Windforschung (www.nrel.gov/wind); in englischer Sprache
- ✦ Initiative „Wind Powering America“ (www.windpoweringamerica.gov)
- ✦ European Wind Energy Association (www.ewea.org)
- ✦ Dänischer Verband der Windindustrie (www.windpower.org)
- ✦ Global Wind Energy Council (www.gwec.net)
- ✦ Global Wind Day (www.globalwindday.org)
- ✦ National Science Education Standards (www.nsta.org/standards); in englischer Sprache
- ✦ ITEA Standards for Technological Literacy (www.iteaconnect.org/TAA)



Literaturempfehlungen

- ✦ Wind Power: Renewable Energy for Home, Farm, and Business (ISBN: 1931498148)
- ✦ Wind Energy Basics: A Guide to Small and Micro Wind Systems (ISBN: 1890132071)
- ✦ The Homeowner's Guide to Renewable Energy (ISBN: 086571536X)

Optionale Schreibaktivität

- ✦ Schreibe einen Aufsatz darüber, ob es eine gute Idee wäre, eine Windfarm mitten in deiner Heimatstadt zu bauen, auch wenn diese die örtliche Region mit Energie versorgen würde. Wie wäre es mit einer Windfarm entlang der Themse in London oder gleich neben einem Urlaubsresort am Strand?

Arbeiten mit Windkraft



Für Lehrer: Abstimmung auf Lehrpläne

Hinweis: Alle Unterrichtspläne dieser Serie sind mit den vom National Research Council veröffentlichten und von der National Science Teachers Association unterstützten *National Science Education Standards* (Lernziele in den Naturwissenschaften) und darüber hinaus mit den *Standards for Technological Literacy* (Standards für technische Bildung) der International Technology Education Association oder den *Principles and Standards for School Mathematics* (Grundsätze und Standards für den Mathematikunterricht) des National Council of Teachers of Mathematics abgestimmt.

◆ National Science Education Standards Kindergarten bis 4. Klasse (4-9 Jahre)

INHALTSSTANDARD A: Wissenschaft als Erkundung

Als Ergebnis dieser Aktivitäten sollten die Schüler und Schülerinnen Folgendes entwickeln:

- ✦ Zur Durchführung einer wissenschaftlichen Erkundung notwendige Fähigkeiten

INHALTSSTANDARD B: Naturwissenschaft

Als Ergebnis dieser Aktivitäten sollten die Schüler und Schülerinnen ein Verständnis des Folgenden entwickeln:

- ✦ Position und Bewegung von Gegenständen

INHALTSSTANDARD E: Wissenschaft und Technologie

Als Ergebnis dieser Aktivitäten sollten die Schüler und Schülerinnen Folgendes entwickeln:

- ✦ Fähigkeiten zu technologischen Designs

INHALTSSTANDARD F: Wissenschaft in persönlichen und sozialen Perspektiven

Als Ergebnis dieser Aktivitäten sollten die Schüler und Schülerinnen ein Verständnis des Folgenden entwickeln:

- ✦ Einsatz von Wissenschaft und Technologie zur Lösung örtlicher Herausforderungen

INHALTSSTANDARD G: Geschichte und Wesen der Wissenschaft

Als Ergebnis dieser Aktivitäten sollten die Schüler und Schülerinnen ein Verständnis des Folgenden entwickeln:

- ✦ Wissenschaft als menschliches Bestreben

◆ National Science Education Standards 5. bis 8. Klasse (10-14 Jahre)

INHALTSSTANDARD A: Wissenschaft als Erkundung

Als Ergebnis dieser Aktivitäten sollten die Schüler und Schülerinnen Folgendes entwickeln:

- ✦ Zur Durchführung einer wissenschaftlichen Erkundung notwendige Fähigkeiten

INHALTSSTANDARD B: Naturwissenschaft

Als Ergebnis ihrer Aktivitäten sollten die Schüler und Schülerinnen ein Verständnis des Folgenden entwickeln:

- ✦ Bewegungen und Kräfte
- ✦ Energieübertragung



Für Lehrer: Abstimmung auf Lehrpläne (Fortsetzung)

INHALTSSTANDARD E: Wissenschaft und Technologie

Als Ergebnis von Aktivitäten in den Klassenstufen 5-8 sollten alle Schüler und Schülerinnen Folgendes entwickeln:

- ✦ Fähigkeiten zu technologischen Designs

INHALTSSTANDARD F: Wissenschaft in persönlichen und sozialen Perspektiven

Als Ergebnis dieser Aktivitäten sollten die Schüler und Schülerinnen ein Verständnis des Folgenden entwickeln:

- ✦ Wissenschaft und Technologie in der Gesellschaft

◆ National Science Education Standards 9. bis 12. Klasse (14-18 Jahre)

INHALTSSTANDARD A: Wissenschaft als Erkundung

Als Ergebnis dieser Aktivitäten sollten die Schüler und Schülerinnen Folgendes entwickeln:

- ✦ Zur Durchführung einer wissenschaftlichen Erkundung notwendige Fähigkeiten

INHALTSSTANDARD B: Naturwissenschaft

Als Ergebnis ihrer Aktivitäten sollten die Schüler und Schülerinnen ein Verständnis des Folgenden entwickeln:

- ✦ Bewegungen und Kräfte
- ✦ Wechselwirkung zwischen Energie und Materie

INHALTSSTANDARD E: Wissenschaft und Technologie

Als Ergebnis dieser Aktivitäten sollten die Schüler und Schülerinnen Folgendes entwickeln:

- ✦ Fähigkeiten zu technologischen Designs

INHALTSSTANDARD F: Wissenschaft in persönlichen und sozialen Perspektiven

Als Ergebnis dieser Aktivitäten sollten die Schüler und Schülerinnen ein Verständnis des Folgenden entwickeln:

- ✦ Rohstoffquellen
- ✦ Wissenschaft und Technologie angesichts örtlicher, nationaler und globaler Herausforderungen

INHALTSSTANDARD G: Geschichte und Wesen der Wissenschaft

Als Ergebnis dieser Aktivitäten sollten die Schüler und Schülerinnen ein Verständnis des Folgenden entwickeln:

- ✦ Historische Perspektiven

Arbeiten mit Windkraft



Für Lehrer: Abstimmung auf Lehrpläne (Fortsetzung)

◆Standards für technische Bildung – alle Altersstufen

Wesen der Technologie

- ✦ Standard 2: Die Schüler und Schülerinnen müssen ein Verständnis der Kernkonzepte der Technologie entwickeln.
- ✦ Standard 3: Die Schüler und Schülerinnen müssen ein Verständnis der Beziehungen innerhalb verschiedener Technologien und der Verbindungen zwischen Technologie und anderen Studiengebieten entwickeln.

Technologie und Gesellschaft

- ✦ Standard 4: Die Schüler und Schülerinnen müssen ein Verständnis der kulturellen, sozialen, wirtschaftlichen und politischen Auswirkungen von Technologie entwickeln.
- ✦ Standard 5: Die Schüler und Schülerinnen müssen ein Verständnis des Einflusses von Technologie auf die Umwelt entwickeln.

Design

- ✦ Standard 9: Die Schüler und Schülerinnen müssen ein Verständnis von Konstruktionsdesigns entwickeln.
- ✦ Standard 10: Die Schüler und Schülerinnen müssen ein Verständnis der Funktion der Fehlersuche, der Forschung und Entwicklung, von Erfindungen und Innovationen und der Experimentierung bei der Problemlösung entwickeln.

Fähigkeiten für eine technologische Welt

- ✦ Standard 11: Die Schüler und Schülerinnen müssen die Fähigkeit zur Anwendung des Designprozesses entwickeln.
- ✦ Standard 13: Die Schüler und Schülerinnen müssen Fähigkeiten zur Beurteilung der Auswirkungen von Produkten und Systemen entwickeln.

Die geplante Welt

- ✦ Standard 16: Die Schüler und Schülerinnen müssen ein Verständnis von Energie- und Antriebstechnologien sowie die Fähigkeit zu deren Auswahl und Nutzung entwickeln.
- ✦ Standard 20: Die Schüler und Schülerinnen müssen ein Verständnis von Konstruktionstechnologien sowie die Fähigkeit zu deren Auswahl und Nutzung entwickeln.

Arbeiten mit Windkraft



Für Lehrer: Ressourcen für Lehrer

◆ Ziel dieser Lektion

Die Schüler und Schülerinnen untersuchen, inwieweit Technologie die Welt positiv beeinflussen kann, indem sie etwas über Windkraft und die Ausrüstungen lernen, die für Standorttests und die Umwandlung von Wind in Energie verwendet werden. Sie erkunden die der Nutzung der Windkraft zugrunde liegende Technologie, informieren sich über Standortstudien und entwickeln in Teamarbeit eine Windmühle aus alltäglichen Gegenständen. Sie testen ihre Windmühlen, werten ihre eigenen Designs und die anderer Schüler aus und tragen der Klasse ihre Ergebnisse vor.

◆ Lektionsvorgaben

- ✦ Die Schüler und Schülerinnen sollen etwas über Windkraft und Windturbinen lernen.
- ✦ Die Schüler und Schülerinnen sollen etwas über Konstruktionstechniken lernen.
- ✦ Die Schüler und Schülerinnen sollen lernen, wie die Konstruktionstechnik zur Lösung gesellschaftlicher Probleme beitragen kann.
- ✦ Die Schüler und Schülerinnen sollen etwas über Teamarbeit und Problemlösungen lernen.

◆ Materialien

- ✦ Ressourcenblätter für Schüler
- ✦ Schülerarbeitsblätter
- ✦ Fön oder Ventilator; ein kleiner Gegenstand für jedes Team, der mit Windkraft angehoben werden muss (Vorschläge: Spielzeugauto, Joghurtbecher mit ein paar Münzen, Teebeutel, Batterie, Bleistift)
- ✦ Ein Materialsatz pro Schülergruppe: Holzstab, Holzlöffel, kleine Holzstücke (Balsaholz), biegsamer Draht, Schnur, Heftklammern, Gummibänder, Zahnstocher, Alufolie, Klebeband, Dübel, Klebstoff, Papier, Kartonpapier, Frischhaltefolie oder sonstige zur Verfügung stehende Materialien.

◆ Verfahren

1. Zeigen Sie den Schülern die verschiedenen Informationsblätter für Schüler. Diese können in der Klasse gelesen oder im Voraus als Hausaufgabe zum Lesen aufgegeben werden.
2. Bilden Sie Gruppen aus 2 bis 3 Schülern und stellen Sie jeder Gruppe einen Materialsatz zur Verfügung.
3. Erklären Sie den Schülern und Schülerinnen, dass sie aus Gegenständen des täglichen Gebrauchs ihre eigene funktionstüchtige Windmühle konstruieren müssen, und dass diese eine Minute lang einem von einem auf mittlerer Stufe laufenden Ventilator erzeugten Luftströmung standhalten und gleichzeitig eine Schnur aufwickeln muss, um einen kleinen Gegenstand (z. B. einen Teebeutel) hochzuheben. (Hinweis: Als Zusatzaufgabe können Sie die Schüler auffordern, die Fähigkeit der Windmühle zum Anheben schwererer Lasten, z. B. Münzen oder Unterlegscheiben, zu testen.)
4. Die Schüler und Schülerinnen erhalten ein „Budget“, mit dem sie die von Ihnen erhältlichen Materialien kaufen können. Weisen Sie jedem Gegenstand einen Preis zu, der zur Folge haben soll, dass jedes Team durchschnittlich mindestens 30 Materialteile einkaufen kann.

Arbeiten mit Windkraft



Für Lehrer:

Ressourcen für Lehrer (Fortsetzung)

5. Die Schüler und Schülerinnen kommen in ihren Gruppen zusammen und entwickeln einen Plan für ihre Windmühle. Sie einigen sich auf die benötigten Materialien, schreiben ihren Plan auf bzw. fertigen eine Planzeichnung an und tragen diesen Plan dann der Klasse vor.
6. Danach setzen die Schülergruppen ihren Plan um. Die Schülerteams können Materialien austauschen oder zusätzliche Materialien von ihrem Lehrer anfordern; außerdem dürfen sie uneingeschränkt Materialien mit anderen Teams austauschen, um ihre optimale Teileliste zusammenzustellen. Sie müssen die „Kosten“ ihrer Konstruktionen ermitteln; diese werden bei der Beurteilung des effizientesten Designs ebenfalls berücksichtigt.
7. Als Nächstes testen die Teams ihre Windmühlen mit dem aufgestellten Ventilator oder Fön. (Hinweis: Vielleicht sollten Sie den Ventilator schon in der Bauphase verfügbar machen, damit die Schüler ihre Windmühle gleich jetzt testen können und nicht bis zum Test in der Klasse warten müssen.)
8. Abschließend füllen die Teams ein Auswertungsarbeitsblatt aus und tragen der Klasse ihre Ergebnisse vor.

◆ Benötigte Zeit

Zwei bis drei 45-Minuten-Sitzungen.

Arbeiten mit Windkraft



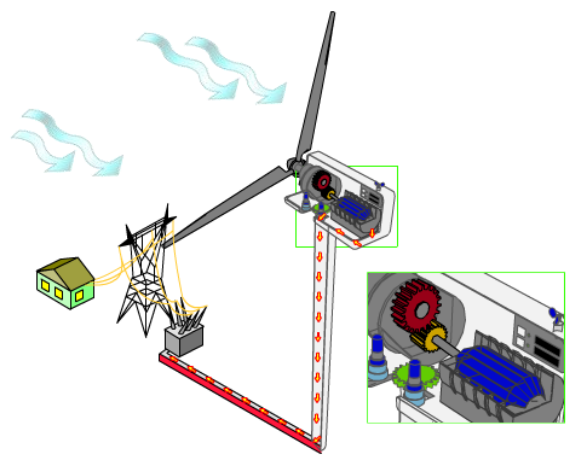
Ressource für Schüler: Was ist Windkraft?

Wind ist eine Form der Solarenergie. Wind wird von einer ungleichmäßigen Erwärmung der Atmosphäre durch die Sonne, die Unregelmäßigkeiten der Erdoberfläche und die Erdrotation verursacht. Windströmungsmuster ändern sich mit dem Terrain der Erde, Gewässern und Vegetation. Menschen nutzen diese Windströmung bzw. Bewegungsenergie für viele Zwecke, so etwa zum Segeln, um Drachen steigen zu lassen, aber auch zum Erzeugen von Elektrizität. Der Begriff „Windkraft“ beschreibt den Prozess der Nutzung des Windes zur Erzeugung von mechanischer Energie oder Elektrizität. Windturbinen wandeln die kinetische Energie im Wind in mechanische Energie um. Mechanische Energie kann für bestimmte Aufgaben genutzt werden (z. B. zum Mahlen von Getreide oder zum Pumpen von Wasser), oder ein Generator kann diese mechanische Energie in Elektrizität umwandeln.



◆ Funktionsweise von Windturbinen

Die Arbeitsweise einer Windturbine ist das Gegenteil des Funktionsprinzips eines Gebläses oder Ventilators. Anstatt Elektrizität zur Erzeugung von Wind zu verwenden, wie dies bei Ventilatoren der Fall ist, nutzen Windturbinen den Wind zur Erzeugung von Elektrizität. Der Wind dreht die Schaufeln, die eine mit einem Generator verbundene Welle drehen, wodurch Elektrizität erzeugt wird. Windturbinen sind wie Windmühlen normalerweise an einem Turm montiert, um möglichst viel Energie aufzunehmen. Windturbinen arbeiten nach einem einfachen Prinzip. Die dem Wind innewohnende Energie dreht zwei oder drei propellerähnliche Blätter bzw. Schaufeln um einen Rotor. Der Rotor ist mit der Hauptwelle verbunden, die einen Generator antreibt, der Elektrizität erzeugt. Windturbinen sind an einem Turm montiert, um möglichst viel Energie aufzunehmen. In einer Höhe von 30 m über dem Boden und höher können sie schnellere, weniger turbulente Luftströmungen nutzen. Ein Rotorblatt verhält sich ganz ähnlich wie die Tragfläche eines Flugzeugs. Wenn der Wind bläst, bildet sich auf der Leeseite (der dem Wind abgewandten Seite) des Blattes eine Niederdrucktasche. Diese Niederdruck-Lufttasche zieht das Blatt auf sich zu und verursacht damit ein Drehen des Rotors. Dies wird als Auftrieb bezeichnet. Tatsächlich ist die Kraft des Auftriebs viel stärker als die vom Wind auf die Vorderseite des Blattes ausgeübte Kraft, der sog. Luftwiderstand. Die Kombination aus Auftrieb und Luftwiderstand bewirkt ein propellerartiges Drehen des Rotors; die sich drehende Welle dreht ihrerseits einen Generator, der Elektrizität erzeugt. Windturbinen können zur Erzeugung von Strom für ein einziges Haus oder Gebäude verwendet werden; sie können aber auch an ein Versorgungsnetz (siehe Abbildung rechts) angeschlossen werden, um eine breitere Verteilung der Elektrizität zu ermöglichen.



Arbeiten mit Windkraft



Ressource für Schüler: Was ist Windkraft? (Fortsetzung)

Sowohl die Windgeschwindigkeit als auch die Höhe der Blätter tragen zur Menge der erzeugten Energie bei. Mithilfe eines interaktiven Spiels auf der Website des dänischen Verbands der Windindustrie (www.windpower.org/en/knowledge/wind_with_miller.html) könnt ihr euch mit diesem Konzept besser vertraut machen.

Quelle: Einige der Informationen und Bilder auf dieser Seite stammen vom US-Energieministerium, der National Oceanic and Atmospheric Administration und dem National Renewable Energy Laboratory.

Arbeiten mit Windkraft



Ressource für Schüler: Tests zur Bestimmung der Eignung geplanter Standorte für Windkraftanlagen

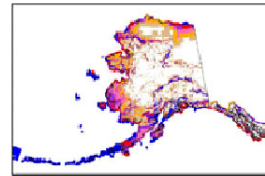
Nicht alle Standorte eignen sich für die Entwicklung von Windkraft. Sie müssen einer Bewertung unterzogen werden, damit festgestellt werden kann, ob die Kosten der Installation einer Windturbine durch den Wert der mit der Zeit erzeugten Energie wahrscheinlich ausgeglichen wird.

Einer der ersten Schritte bei der Entwicklung eines Windkraftprojekts ist die Beurteilung der Windressourcen des betreffenden Gebiets und die Schätzung der verfügbaren Energie. Um der Windkraftindustrie bei der Feststellung von für die weitere Entwicklung am besten geeigneten Standorten zu helfen, arbeitet das Windkraftprogramm der USA (Wind Energy Program) mit dem National Renewable Energy Laboratory (NREL) und anderen Organisationen

zusammen, misst und beschreibt Windressourcen in einer Höhe von 50 bis 100 m über dem Erdboden und stellt diese kartografisch dar. Auf Ortsebene arbeiten Stadtverwaltungen und Vertragsunternehmen mit Hausbesitzern zusammen, um die Kosten und wahrscheinlichen finanziellen Vorteile der Installation von Windturbinen zu bestimmen. Häufig besteht der erste Schritt in der vorübergehenden Anbringung eines Windmessers (Anemometer), um damit mehrere Monate oder ein ganzes Jahr lang die Windströmungen in einem landwirtschaftlichen Betrieb oder an einem Haus zu messen.

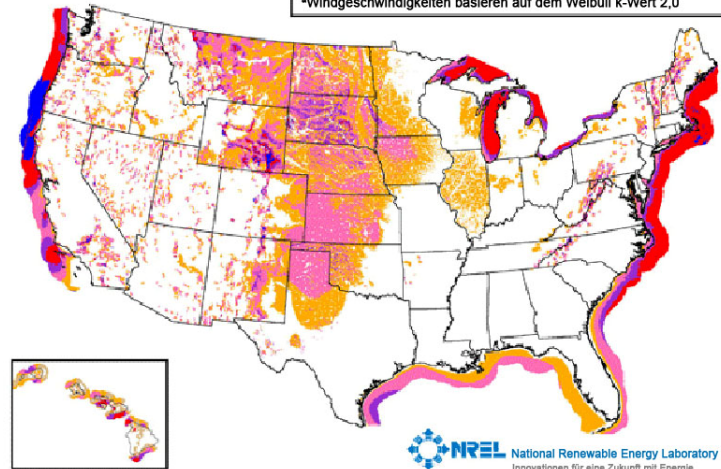
◆ Gebrauch von Anemometern zur Prüfung des Windenergiepotenzials

Ein Anemometer ist ein Gerät zum Messen der Windgeschwindigkeit. Viele Länder und Organisationen bieten Anemometerleihprogramme, damit Unternehmen oder Einzelpersonen die Windverhältnisse an ihrem jeweiligen Standort beurteilen und feststellen können, ob dort genügend Windkraft erzeugt werden kann. Ein Anemometer kann an diesen Teststandorten über einen langen Zeitraum hinweg Windgeschwindigkeitsdaten in 10-Minuten-Intervallen messen.



Wind-klasse	Potenzial als Energiequelle	Windenergiedichte bei 50 m W/m ²	Windgeschwindigkeit ^a bei 50 m m/s	Windgeschwindigkeit ^a bei 50 m mph
3	Mäßig	300 - 400	6.4 - 7.0	14.3 - 15.7
4	Gut	400 - 500	7.0 - 7.5	15.7 - 16.8
5	Hervorragend	500 - 800	7.5 - 8.0	16.8 - 17.9
6	Ausgezeichnet	800 - 800	8.0 - 8.8	17.9 - 19.7
7	Überragend	800 - 1600	8.8 - 11.1	19.7 - 24.8

*Windgeschwindigkeiten basieren auf dem Weibull k-Wert 2,0



Arbeiten mit Windkraft



Ressource für Schüler: Tests zur Bestimmung der Eignung geplanter Standorte für Windkraftanlagen (Fortsetzung)

◆ Global Wind Day!

Es gibt sogar einen „Welttag des Windes“ (Global Wind Day) – am 15. Juni jedes Jahres –, der weltweit das Bewusstsein für Windkraft schärfen soll. An diesem Tag werden gleichzeitig Tausende öffentlicher Veranstaltungen abgehalten. Näheres dazu findet ihr im Internet unter www.globalwindday.org.

Quelle: Einige der Informationen und Bilder auf dieser Seite wurden vom US-Energieministerium und dem National Renewable Energy Laboratory zur Verfügung gestellt.

Arbeiten mit Windkraft



Ressource für Schüler: Blattoptionen

◆ Blattdesign

Blätter bzw. Schaufeln gibt es in vielen verschiedenen Formen und Größen, und am optimalen Design wird noch heute geforscht. Tatsächlich hängt es von der jeweiligen Anwendung oder davon ab, wo und wie das Blatt verwendet wird. Konstrukteure lassen sich von der sog. Schnelllaufzahl leiten, die den Wirkungsgrad bestimmt. Dieser Wert beschreibt das Verhältnis zwischen der Windgeschwindigkeit und der Geschwindigkeit der Blattspitze. 3-Blatt-Turbinen mit hohem Wirkungsgrad haben eine Schnelllaufzahl von 6 bis 7.

◆ Wie viele Blätter?

Die meisten Windturbinen arbeiten mit zwei oder drei Blättern. Aus einschlägigen Forschungen geht hervor, dass eine Erhöhung der Blattzahl auch einen höheren aerodynamischen Wirkungsgrad zur Folge hat. Mit jedem zusätzlichen Blatt fällt diese Steigerung des Wirkungsgrades jedoch dramatisch kleiner aus. So kann die Erhöhung der Blattzahl von einem auf zwei Blätter eine Erhöhung des aerodynamischen Wirkungsgrads um sechs Prozent bewirken, während die Hinzufügung eines dritten Blattes nur eine Wirkungsgradzunahme um drei Prozent mit sich bringt. Natürlich spielen auch die Kosten eine gewichtige Rolle. Jedes zusätzliche Blatt in einem Design erhöht die Kosten des Endprodukts, weshalb Ingenieure bei der Auswahl eines für eine bestimmte Anwendung am besten geeigneten Designs sowohl den erhöhten Wirkungsgrad als auch die höheren Produktionskosten berücksichtigen müssen. Außerdem ist das Design auch eine Frage der Ästhetik. Ein kleines Design mit zwei oder drei Blättern eignet sich vielleicht für ein Wohngebiet am besten, weil die meisten Hausbesitzer nur so viel Windkraft erzeugen wollen, wie sie sie zur Energieversorgung ihres eigenen Hauses brauchen, und weil sie sich wahrscheinlich eine leisere Option wünschen. Ein riesiges 12-Blatt-Design dagegen würde zum Einen auf ihrem Hausdach nicht besonders schön aussehen und zum Anderen vielleicht mehr Energie erzeugen, als sie brauchen – und auch mehr Lärm! Rechts seht ihr NASA-Ingenieure beim Testen einer Ein-Blatt-Rotorkonfiguration. (Foto vom NASA Glenn Research Center)



◆ Materialien

Die ersten Windmühlen waren aus Holz gebaut und hatten Leinwandsegel, deren Qualität mit der Zeit abnahm und die in Stand gehalten werden mussten, die aber auch die Materialien waren, die zu der Zeit problemlos erhältlich waren. Ältere, mechanische Turbinenschaufeln wurden aus schwerem Stahl gefertigt, während moderne Blätter aus Glasfaser und anderen synthetischen Materialien bestehen, die die gewünschte Festigkeit bei einem geringeren Gewicht bieten. Leichtere Baumaterialien ermöglichen die Herstellung größerer Blätter, die bei Anwendungen, bei denen es weniger auf Größe und

Arbeiten mit Windkraft



Ressource für Schüler: Blattoptionen (Fortsetzung)

Platzbedarf ankommt, mehr Wind aufnehmen können. Außerdem verarbeiten Hersteller epoxidbasierte Verbundmaterialien, die eventuell Fertigungsvorteile gegenüber anderen Werkstoffen bieten, weil dieser Prozess die Umwelt weniger beeinträchtigt und glattere Oberflächenausführungen zur Folge haben kann. Darüber hinaus wurde erkannt, dass Kohlenstofffasern eine kostengünstige Methode bieten, die eine weitere Gewichtsreduzierung und einen verbesserten Steifheitsgrad ermöglicht. Kleinere Blätter können aus Leichtmetallen wie Aluminium hergestellt werden.

Ingenieure werden noch auf Jahre hinaus auf diesem Gebiet tätig sein, um das Optimum in puncto Form, Gewicht und Werkstoffe zu finden, sodass Energie so effizient wie möglich erzeugt werden kann.

Arbeiten mit Windkraft



Ressource für Schüler: Blattinnovationen und Tests

◆ Welche Form ist die beste?

Turbinenblätter werden in vielen verschiedenen Formen hergestellt, und manchmal entscheidet die Anwendung, welche Form sich am besten eignet. So verspricht zum Beispiel das Design eines Windturbinenblattes, das von Forschern am Institut Sandia National Laboratories in Partnerschaft mit der Firma Knight & Carver in San Diego, Kalifornien, entwickelt wurde, einen besseren Wirkungsgrad als die heute üblichen Konstruktionen. Dieses Design sollte die Energiekosten von Windturbinen an Standorten mit niedrigen Windgeschwindigkeiten erheblich senken. Das Blatt mit dem Namen STAR (für *Sweep Twist Adaptive Rotor*) hat eine sanft geschwungene Spitze (*Sweep*), die im Gegensatz zur überwiegenden Mehrheit der heute verwendeten Blätter speziell für Regionen mit niedrigen Windgeschwindigkeiten wie dem mittleren Westen der USA konzipiert wurde. (Siehe Prototyp rechts.) Die Regionen, für die diese Entwicklung bestimmt ist, verzeichnen eine in einer Höhe von 10 m gemessene jährliche Durchschnittswindgeschwindigkeit von 5,8 m/s. Standorte dieser Art gibt es in den Vereinigten Staaten schon jetzt in Hülle und Fülle, und sie würden die verfügbare Landfläche, die zur Erzeugung von Windkraft wirtschaftlich erschlossen werden kann, um das 20-fache vergrößern. Mit einer Länge von 21,7 m ist dieses Design fast drei Meter länger als die Blätter, die es ersetzen soll – und weist statt der herkömmlichen linearen Form eine Krümmung zur Hinterkante hin auf, sodass das Blatt auf turbulente Windstöße auf eine Weise reagieren kann, die seine Ermüdungsbelastung reduziert. Es wird aus Glasfaser und Epoxidharz hergestellt.



◆ Forschung und Erprobung

Vor Aufnahme der Produktion eines neuen Blattmodells wird auf einem Prüfstand ein Prototyp getestet (siehe das vom Blatthersteller LM Glasfiber zur Verfügung gestellte Bild rechts). Das Blatt wird während des Tests einer Belastung ausgesetzt, die einem Betrieb über 20 Jahre hinweg entspricht. LM Glasfiber ist ein gutes Beispiel für einen „Komponentenherstellers“ – also für einen Betrieb, der kein Komplettprodukt anfertigt, sondern sich auf eine spezifische Komponente konzentriert, in diesem Fall auf Turbinenblätter. LM Glasfiber hat seit 1978 über 120.000 Windturbinenblätter gebaut, d. h. mehr als jedes dritte aller heute in der



Arbeiten mit Windkraft



Ressource für Schüler: Blattinnovationen und Tests (Fortsetzung)

ganzen Welt im Einsatz befindlichen Blätter. Eines der Ziele des Unternehmens besteht in der Entwicklung neuer Technologien, die den Wirkungsgrad von Windturbinen verbessern und die Nutzungsdauer sowohl der Turbinen als auch ihrer Blätter verlängern. Das Unternehmen verweist darauf, dass „die Entwicklung neuer Arten von Blättern auf konkreten Entscheidungen bezüglich Design, Werkstoffen und Prozessen beruht. Jede Modifizierung eines einzigen Parameters beeinflusst auch die anderen.“ Wenn das Unternehmen folglich eine neue Form testet, muss es möglicherweise auch einen Werkstoff ändern.

Arbeiten mit Windkraft



Schülerarbeitsblatt: Konstruiere deine eigene Windmühle

Ihr arbeitet in einem Ingenieurteam, dem die Aufgabe gestellt wurde, mit Gegenständen des täglichen Gebrauchs seine eigene Windmühle zu konstruieren. Eure Windmühle muss mindestens eine Minute lang dem von einem Ventilator erzeugten Wind standhalten und gleichzeitig eine Schnur oder einen Draht aufwickeln, um einen leichten Gegenstand, z. B. einen Teebeutel, hochzuziehen. Ihr arbeitet mit einem vorgegebenen Budget und müsst von eurem Lehrer Materialien „kaufen“, mit denen ihr dann euer Design entwickelt. Ihr dürft Materialien zurückgeben und auch mit den anderen Teams austauschen, müsst aber feststellen, wie viel euch eure Windmühle „kosten“ wird. Das billigste Design, das die Anforderungen der Aufgabe erfüllt, ist auch das effizienteste Design! Eure Windmühle kann vertikal (von einem Tisch nach oben zeigen) oder horizontal sein (über die Tischkante hinausragen).

◆ Planungsphase

Trefft euch im Team und diskutiert über das Problem, das gelöst werden muss. Einigt euch dann auf ein Design für eure Windmühle und entwickelt diese. Ihr müsst euch entscheiden, mit welchen Materialien ihr arbeiten wollt. Denkt daran, dass euer Design stabil genug sein muss, um den von einem Ventilator oder Fön erzeugten Wind standzuhalten, und dass sich sein Fundament nicht bewegen darf. Es muss also sicher auf einem Tisch oder Regal befestigt werden. Zeichnet euren Entwurf unten im dafür vorgesehenen Feld und gebt eine Beschreibung und die Zahl der Teile an, die ihr zu verwenden beabsichtigt. Zeigt euer Design der Klasse. Ihr könnt den Plan eures Teams auf der Basis des Feedbacks aus der Klasse abändern.

Benötigte Materialien und Budget:

Arbeiten mit Windkraft



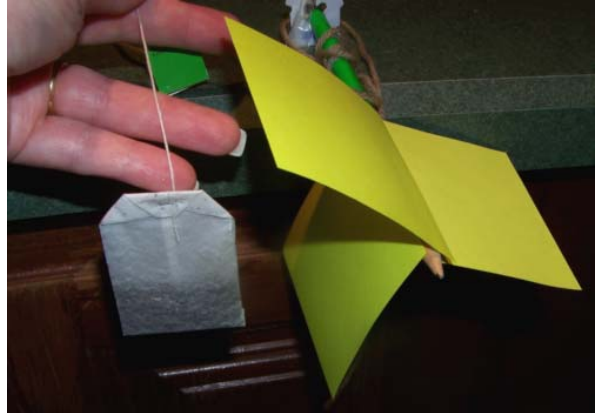
Schülerarbeitsblatt: Konstruiere deine eigene Windmühle (Fortsetzung)

◆ Bauphase

Baut eure Windmühle. Ihr könnt beim Bauen beschließen, dass ihr zusätzliche Materialien benötigt oder dass sich etwas an eurem Design ändern muss. Das ist völlig in Ordnung – macht einfach eine neue Zeichnung und überarbeitet eure Materialliste und euer Budget.

◆ Testphase

Jedes Team testet seine Windmühle mithilfe eines im Klassenzimmer aufgestellten Ventilators oder Föns. Jede Windmühle wird aus einer Entfernung von einem Meter bei der gleichen Windgeschwindigkeit getestet (mittlere Stufe). Ihr müsst sicherstellen, dass eure Windmühle bei der eingestellten Geschwindigkeit eine Minute lang laufen und dabei einen leichten Gegenstand mit einer Schnur hochheben kann. Achtet auf alle Fälle auch auf die Tests der anderen Teams und beobachtet, wie deren verschiedene Designs funktionieren.



◆ Auswertungsphase

Wertet die Ergebnisse eures Teams aus, füllt das Auswertungsarbeitsblatt aus und tragt der Klasse eure Resultate vor.

Auf diesem Arbeitsblatt könnt ihr die Ergebnisse eures Teams bei der Lektion „Arbeiten mit Windkraft“ bewerten:

1. Ist es euch gelungen, eine Windmühle zu bauen, die eine Minute lang in Betrieb war und dabei einen Gegenstand anhub? Wenn nicht: Warum ist euer Plan gescheitert?
2. Habt ihr während der Bauphase beschlossen, euer ursprüngliches Design zu ändern oder zusätzliche Materialien anzufordern? Warum?
3. Habt ihr eure Baumaterialien mit anderen Teams ausgetauscht? Wie ist das für euch gelaufen?
4. Wenn Ihr euch andere Materialien hätten besorgen können, als ihr erhalten habt, was hätte euer Team dann angefordert? Warum?

Arbeiten mit Windkraft



Schülerarbeitsblatt: Konstruiere deine eigene Windmühle (Fortsetzung)

5. Glaubt ihr, dass echte Ingenieure ihre Originalpläne während der Herstellung von Systemen oder Produkten anpassen müssen? Warum könnte dies nötig sein?

6. Wenn ihr noch einmal von Vorne anfangen könntet, wie würdet ihr euren Designplan dann ändern? Warum?

7. Wie hat sich das „effizienteste“ Design (das Design mit den niedrigsten Kosten bzw. dem kleinsten Budget) von eurem Design unterschieden?

8. Glaubt ihr, dass ihr dieses Projekt allein (ohne Hilfe des Teams) hättet fertig stellen können? Erläutert eure Antwort.

9. Welche Nachteile besitzt eine Windturbine als zuverlässige Energiequelle? Welche Technologien gibt es, die diese Nachteile ausgleichen könnten?

10. Welche Vorteile sind mit der Windmühle als einer Quelle erneuerbarer Energie verbunden?