

EE -
SCHULE

UNTERRICHTSEINHEIT

Wind- und Sonnenenergie
an Schulen und Bildungseinrichtungen



Dieses Projekt wurde finanziell vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Die Förderer übernehmen keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung der Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen der Förderer übereinstimmen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

IMPRESSUM

Zusammenstellung, Redaktion, Layout:

Dr. Dino Laufer, Ulrike Koch, Philipp Reetz

Alle Rechte vorbehalten.

1. Auflage, Berlin 2016

Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V.

Fachgebiet Klimaschutz & Umweltbildung

Greifswalder Str. 4,

10405 Berlin

Tel 030/428 49 93-0

Fax 030/428 00 485

dino.laufer@ufu.de

ulrike.koch@ufu.de

www.ufu.de

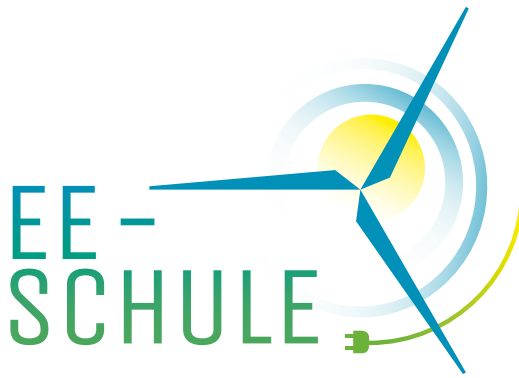


INHALTSVERZEICHNIS

1. EINFÜHRUNG	04
2. UNTERRICHTSEINHEIT 1 GRUNDLEGENDE FUNKTIONSPRINZIPIEN VON WINDKRAFT UND PHOTOVOLTAIK.....	06
3. UNTERRICHTSEINHEIT 2 KLEINWINDENERGIEANLAGEN ALS BEISPIEL FÜR EINE DEZENTRALE EE NUTZUNG - NUTZUNGSVARIANTEN UND EINBETTUNG IN EIN „KOMBIKRAFTWERK“ BZW. „SMART GRID“ ...	08
4. UNTERRICHTSEINHEIT 3 EINSATZ VON EXPERIMENTEN UND EXPERIMENTIERSETS SOWIE PÄDAGOGISCHE NUTZUNG VON EXISTENTEN KLEINWINDENERGIEANLAGEN UND SOLARANLAGEN	10
5. UNTERRICHTSEINHEIT 4 GESELLSCHAFTLICHE HERAUSFORDERUNGEN UND CHANCEN DER ENERGIEWENDE.....	16
6. ARBEITSBLÄTTER	18
7. LITERATURQUELLEN UND WEITERE LITERATURHINWEISE.....	39



1 EINFÜHRUNG



Mit dem Projekt „EE Schule – Evaluation solarer Schulprojekte und Machbarkeitsstudie Windenergie an Bildungseinrichtungen“ wird beispielhaft aufgezeigt, wie Inhalte der Energiewende im schulischen und außerschulischen Bildungsbereich aufgegriffen werden können. Nachdem im Rahmen der Vorläuferprojekte Solarsupport und Erneuerbare Energien sichtbar machen 1 + 2 vorrangig das Thema Solarenergie an Bildungseinrichtungen behandelt wurde, wendet sich das Projekt EE Schule nun dem Themenfeld Windkraft zu. Dabei wird die Windkraft nicht isoliert behandelt, sondern in den Kontext der Herausforderungen der Energiewende (z. B. Aspekte des Netzausbaus und der Akzeptanz betreffend) gestellt. Diese Herausforderungen können unseres Erachtens nur interdisziplinär bewältigt werden und sind damit eine Aufgabe für verschiedene Disziplinen. Dementsprechend wird Wert darauf gelegt, neben Unterrichtsvorschlägen für naturwissenschaftliche Fächer, auch Angebote für sozial- und geisteswissenschaftliche Fächer zu unterbreiten.

Energieträger wie Sonne, Wind, Wasser, Erdwärme oder Bioenergie stehen als Energieträger in nahezu unbegrenzter Menge zur Verfügung. Im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern ist die Nutzung von Erneuerbaren Energien (EE) klimafreundlich sowie umwelt- und ressourcenschonend. Die Bundesregierung hat sich deshalb das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2050 den Anteil der Erneuerbaren Energien am gesamten Bruttoendenergieverbrauch von rund 11 Prozent im Jahr 2010 auf 60 Prozent im Jahr 2050 zu steigern. Der Einsatz Erneuerbarer Energien soll maßgeblich dazu beitragen, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 Prozent und bis 2050 um mindestens 80 Prozent zu senken. [1] Diese Ziele werden sich in großem Maße auf die Energieversorgungsstrukturen auswirken. So müssen insbesondere verschiedene Erneuerbare Energiequellen und dezentrale Kraftwärmekopplungseinheiten integriert werden. Dabei entstehen neue Netzstrukturen aber auch ein Bedarf nach neuen Energiespeichern. Während diese politischen und wirtschaftlichen Anstrengungen häufig in den Kontexten Klimaschutz, Unabhängigkeit von Energieimporten, Versorgungssicherheit und Stärkung der heimischen Wirtschaft schon länger diskutiert werden, nimmt – nicht zuletzt durch zunehmende Widerstände gegen Windparks oder andere EE Anlagen auf lokaler Ebene – die Bedeutung der sozialen Aspekte wie Akzeptanz und Beteiligung in ihrer Wichtigkeit zu. Nach einer repräsentativen Umfrage von TNS Emnid im Auftrag der Agentur für Erneuerbare Energien im Jahr 2015 findet die Energiewende in der deutschen Bevölkerung allerdings eine sehr hohe Zustimmung. 93 Prozent der Befragten halten den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland für wichtig und für 68 Prozent ist auch der Bau von Erneuerbaren Energien am eigenen Wohnort vertretbar. Selbst wenn die Befragten bereits Windenergieanlagen in ihrem Wohnumfeld haben, liegt die Zustimmungsrate bei 72 Prozent [2].



Dennoch trifft der Um- bzw. Ausbau der Energieversorgungsstrukturen auf lokaler Ebene in Form von neuen Windrädern, Solarparks, Biogasanlagen, Hochspannungsmasten oder Pumpspeicherkraftwerken auch auf sichtbare Widerstände, denn für die dort lebenden Menschen ist „grüner Strom“ mit konkreten Einschränkungen (z. B. in Form der Veränderung des Landschaftsbildes oder hinsichtlich befürchteter Wertverluste des Eigentums) verbunden. Oftmals gibt es zudem erhebliche Vorbehalte seitens des Umweltschutzes, da von dieser Seite starke Beeinträchtigungen für die Habitate von Flora und Fauna befürchtet werden. Somit stehen sich in den Konflikten um Windkraftanlagen und Hochspannungsmasten nicht selten Klimaschützer und Naturschützer gegenüber. [3]

Für diese Themenkomplexe bieten wir Ihnen in dieser Broschüre ein Unterrichtskonzept für vier Doppelstunden an, das sich am Konzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) orientiert und Menschen zu zukunftsfähigem Denken und Handeln befähigen will. Jeder und jedem Einzelnen soll es ermöglicht werden, die Auswirkungen des eigenen Handelns auf die Welt verstehen und verantwortungsvolle Entscheidungen treffen zu können.

Nach einer ersten Beschäftigung mit den grundlegenden Funktionsprinzipien von Windkraft und Photovoltaik sowie mit Kleinwindenergieanlagen werden für Schulen und Bildungseinrichtungen Möglichkeiten des pädagogischen Einsatzes von Experimenten oder Experimentiersets aufgezeigt. Zudem werden beispielhaft pädagogische Nutzungsangebote für an Schulen und Bildungseinrichtungen bestehenden Kleinwindenergie- oder Solaranlagen dargestellt.

Aus technischer Sicht ist die Weiterentwicklung eines sogenannten Smart-Grid und die Möglichkeit der Speicherung von Energie die treibende Kraft dezentrale erneuerbare Energie auf regionaler, nationaler und in Zukunft auch kontinentaler Ebene zu etablieren. Die hier vorgestellten Unterrichtsvorschläge beziehen sich in diesem Zusammenhang auf die Windenergie.

Für den sozial- und geisteswissenschaftlichen Unterricht gibt es Unterrichtsvorschläge, in denen sowohl die möglichen Folgen als auch die Strategien der Akzeptanzherstellung der dezentralen EE-Wandlung thematisiert werden.

UNTERRICHTSEINHEITEN IN DER ÜBERSICHT:

Unterrichtseinheit 1	Grundlegende Funktionsprinzipien von Windkraft und Photovoltaik
Unterrichtseinheit 2	Kleinwindenergieanlagen als Beispiel für eine dezentrale EE-Nutzung: Nutzungsvarianten und Einbettung in ein „Smart Grid“
Unterrichtseinheit 3	Einsatz von Experimenten und Experimentiersets sowie pädagogische Nutzung von existierenden Kleinwindenergieanlagen und Solaranlagen
Unterrichtseinheit 4	Gesellschaftliche Chancen und Herausforderung der Energiewende



2 UNTERRICHTSEINHEIT 1

GRUNDLEGENDE FUNKTIONSPRINZIPIEN VON WINDKRAFT UND PHOTOVOLTAIK



Allgemeine Erläuterung: In dieser Unterrichtseinheit geht es um einen Einstieg in die grundlegenden Funktionsprinzipien der Windkraft und der Photovoltaik (PV). Die Schülerinnen und Schüler (SuS) sollen zunächst verstehen, welche Bestandteile das Sonnenlicht hat, wie Wind entsteht und welche Verbindungen es zwischen der Sonnen- und der Windenergie gibt. In Arbeitsgruppen erarbeiten sich die SuS dann mittels des aufgeführten Arbeitsmaterials selbständig die grundsätzlichen Funktionsweisen von Windkraft- und Photovoltaikanlagen und vermitteln sich dies gegenseitig in einer abschließenden Präsentationsphase.



Lernkompetenz: SuS entwickeln ein grundlegendes Verständnis der Funktionsprinzipien Windkraft und PV. Sie nutzen spielerische Möglichkeiten der Informationsvermittlung und trainieren ihre Fähigkeit, Lerninhalte selber zu erarbeiten und sich diese mit anschaulichen Mitteln gegenseitig zu präsentieren.

Dauer	Beschreibung	Material und Medien
15 min.	1. Einführungseinheit zum Thema Wind: Entstehung, globale Zirkulation, lokale Windsysteme, Kennenlernen von Windstärken über die Beaufortskala	Internet und Projektor, Film aus der Reihe Planet Schule: [4] http://bit.ly/1oR9ePI (bis min. 7:08) Beaufortskala: [5] http://bit.ly/1rcS0Nn
10 min	Wind messen und mit der Beaufortskala abgleichen: SuS nutzen ein Windmessgerät und messen verschiedene Windstärken, z. B. indem sie in das Gerät pusten, mit dem Gerät laufen. Die Ergebnisse werden untereinander und mit der Beaufortskala abgeglichen.	Eine Anleitung für diese Einheit findet sich auf Seite 26 unter dem Download: [6] http://bit.ly/1PF0aTA
10 min.	Geschichte der Windkraft sowie Veranschaulichung unterschiedlicher Nutzungen der kinetischen Energie – von Pumpenmühlen bis zur Stromwandlung.	Internet und Projektor Film von Fischer Green IT: [7] http://bit.ly/1LWDGgB (6:23 min.)
15 min.	2. Einführungseinheit zum Thema Solarenergie bzw. Photovoltaik: Erläuterung woraus Sonnenlicht besteht, wie sich Photonen bewegen und wie Solarstrom erzeugt wird.	DVD und Player Auszüge aus Film: DVD „S 6 Solarenergie - Spezial“, Bibliothek der Sachgeschichten: [8] http://bit.ly/1V7iQmH Arbeitsblätter und Informationen für Lehrerinnen und Lehrer finden sich unter dem „Schulpaket Solarsupport Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe“, Klassen 7–10 des UfU aus dem Jahr 2011: [9] http://bit.ly/1V7ovsZ



30 min.	SuS bilden vier Arbeitsgruppen (zwei zur Einheit Windkraft und zwei zur Einheit Photovoltaik) und bearbeiten mit zuvor zusammengestellten Arbeitsmaterialien die folgenden Themenschwerpunkte:	
	<p>Arbeitsgruppe 1: Aufbau Windkraftanlagen SuS machen sich mit dem Aufbau bzw. den Komponenten von Windkraftanlagen vertraut und erläutern den Unterschied von Luv und Leeläufern</p>	<p>Internet und Projektor Material aus dem UfU onlinekurs: [10] http://bit.ly/1QNxDfx Windenergieseite der Schüler AG des Rechenberg Gymnasiums Göppingen: [11] http://bit.ly/1tvKlvF Bundesverband Windenergie: [12] Luv/Leeläufer http://bit.ly/1QtoUTV Bildmaterial von BINE Informationsdienst, Themeninformation Windenergie: [13] http://bit.ly/24D6y8Z Arbeitsblatt 1: Aufbau und Bestandteile einer Windkraftanlage</p>
	<p>Arbeitsgruppe 2: Leistungsfluss Windkraftanlagen Der Leistungsfluss inklusive der aerodynamischen Verluste (Tipp, Profil, Drall) wird verdeutlicht und ein Energieflussbild mit Verlustfaktoren erstellt.</p>	Arbeitsblatt 2: Energiefluss mit Verlusten
	<p>Arbeitsgruppe 3: Solarenergie: Wie funktioniert die Stromwandlung in einer Silizium Solarzelle? Die SuS machen sich den Prozess der Stromwandlung in einer Solarzelle bewusst und spielen den Vorgang vereinfacht nach. Diese Übung eignet sich für Klassen bzw. Gruppen, die gerne spielen. Ist dies nicht gegeben, so können alternativ die SuS mithilfe einer Folie beschreiben, wie Solarstrom erzeugt wird. Sie benutzen dabei die entsprechenden Fachbegriffe und greifen auf ihre Kenntnisse zu elektrischem Strom zurück.</p>	<p>Siehe BINE Informationsdienst Themeninformation Photovoltaik: [14] http://bit.ly/1XisYZZ sowie Skizzen- bzw. Folienvorlage aus dem „Schulpaket Solarsupport“ unter Folie 1–04 Solarstrom auf Seite 13. Siehe: [15] http://bit.ly/1V7ovsZ Die Darstellung der spielerischen Umsetzung der Stromwandlung in einer Solarzelle findet sich im Arbeitsblatt 4.</p>
	<p>Arbeitsgruppe 4: Komponenten einer Solaranlage: Die SuS machen sich mit den Bestandteilen einer Solaranlage und deren Funktionen vertraut: Dazu gehören Solarmodule, Leitungen, Gestell und Ausrichtung, Wechselrichter, Transformator, Akkumulator, Stromzähler und Display. Zur Ergebnissicherung stellen die SuS den Aufbau einer Photovoltaikanlage anhand einer Grafik dar.</p>	<p>Folie 1–01 Komponenten einer PV Anlage aus dem „Schulpaket Solarsupport“ auf Seite 11 + 12: [16] http://bit.ly/1V7ovsZ</p>
10 min.	Präsentation der Arbeitsgruppen	Karteikarten, Papier, Filzstifte, Eddings, Plakate, Tafel



3 UNTERRICHTSEINHEIT 2

KLEINWINDENERGIEANLAGEN ALS BEISPIEL FÜR EINE DEZENTRALE EE NUTZUNG – NUTZUNGSVARIANTEN UND EINBETTUNG IN EIN „KOMBIKRAFTWERK“ BZW. „SMART GRID“



Allgemeine Erläuterung: In dieser Unterrichtseinheit geht es um eine Vertiefung des Themenfelds Kleinwindenergieanlagen und um Aspekte ihrer Einbettung in ein dezentrales und auf erneuerbaren Energien basierendes Energiesystem. Nach einem Einstieg in die Merkmale der Kleinwindenergieanlagen und einer Gegenüberstellung von Groß- und Kleinwindenergieanlagen geht es in der Arbeitsgruppenphase um die Möglichkeiten der Einbindung unterschiedlicher erneuerbarer Energieträger in ein dezentrales Energiesystem. Hierzu beschäftigen sich die SuS mit Fragen der Speicherung und den Elementen eines „Smart Grid“.



Lernkompetenz: SuS lernen die besonderen Funktionsbedingungen von Kleinwindenergieanlagen kennen. Sie erarbeiten sich Wissen über die Möglichkeiten der Einbindung verschiedener fluktuierender erneuerbarer Energien in ein Gesamtenergiesystem und erhalten Einblick in die Funktionsmechanismen von „Smart Grids“ oder „virtuellen Kraftwerken“. SuS erlernen die Fähigkeit Lerninhalte selber zu erarbeiten und als Lehrende für andere aufzubereiten bzw. zu vermitteln.

Dauer	Beschreibung	Material und Medien
15 min.	1. Einführungseinheit zum Thema Kleinwindenergieanlage: Merkmale und Anlagentypen, Leistungen, klassische Standorte, Höhe und Kosten.	Rechner mit Internetanschluss, Projektor und Lautsprecher. Film zum Einstieg: „Kleinwindenergieanlagen am Flughafen Köln/Bonn“ der Energieagentur NRW: [17] http://bit.ly/1L6nuyu Eine Zusammenfassung zu den zentralen Merkmalen von Kleinwindenergieanlagen findet sich im Recherchebericht „Kleinwindenergieanlagen, die Genehmigungslage in Deutschland und deren Einsatz an Bildungseinrichtungen“ unter: [18] http://bit.ly/1UusKOB
30 min.	SuS beschäftigen sich in Arbeitsgruppen mit verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten und Aspekten von Kleinwindenergieanlagen	
	Arbeitsgruppe 1: Nutzungsmöglichkeiten von Kleinwindenergieanlagen	Siehe Broschüre „Fakten zur Nutzung der Windenergie im Kleinen“ des Landkreises Steinfurt: [19] http://bit.ly/28PjG2K Seite 6 und 7. Fragen hierzu finden sich im Arbeitsblatt 5.



	Arbeitsgruppe 2: Wirtschaftlichkeit von Kleinwindenergieanlagen	Siehe Fazit der Studie von Jan Liersch aus dem Jahr 2010 unter dem Titel „Wirtschaftlichkeit und Vergütung von Kleinwindenergieanlagen“: [20] http://bit.ly/1TlBOn1 Seite 15 und 16. Fragen hierzu finden sich im Arbeitsblatt 6.
	Arbeitsgruppe 3: Geeignete Standortbedingungen für Kleinwindenergieanlagen	Siehe Broschüre „Fakten zur Nutzung der Windenergie im Kleinen“: [21] http://bit.ly/28PjG2K Seite 8 und 9. Fragen hierzu finden sich im Arbeitsblatt 7 und Arbeitsblatt 3.
15 min.	Gegenseitige Vorstellung der Ergebnisse	Mittels Skizzen, Bildern, Karteikarten
30 min.	Einstieg in das Themenfeld „Regenerative Kombikraftwerke“: Simulation einer kompletten Stromversorgung durch erneuerbare Energien. Ergänzung durch die Einbeziehung der „Stromnutzer“ in Form eines „Smart Grids“. Auswahl von Filmen mit anschließender Diskussion. Rückbindung an das Thema dezentraler Energieversorgung mittels Kleinwindenergieanlagen	Film: Kombikraftwerk 1+2: [22], [23] http://bit.ly/1sGcy26 http://bit.ly/204Ip74 Film: Smart Grid 1+2: [24], [25] http://bit.ly/1nQOK8J http://bit.ly/1oRivqI Leitfragen für die Diskussion finden sich im Arbeitsblatt 8.
	Vertiefung durch eine Hausarbeit/Projektarbeit in drei Arbeitsgruppen, durch die sich SuS mit einzelnen Aspekten aus dem Bereich der „Regenerativen Kombikraftwerke“ und des „Smart Grids“ beschäftigen.	
	Arbeitsgruppe 1: Online Spiel zu einem virtuellen Kraftwerk: Wie sieht ein Hybridsystem, bestehend aus verschiedenen erneuerbaren Energiequellen aus und welche Herausforderungen verbinden sich damit?	Virtuelles Kraftwerksspiel von „Next-Kraftwerke“: [26] http://bit.ly/1Q4dKH4 Fragen hierzu finden sich unter dem Arbeitsblatt 9.
	Arbeitsgruppe 2: Smart Grid: Was sind die einzelnen Elemente eines Smart Grid? Welche Herausforderungen sind mit der intelligenten Steuerung von Stromnetzen verbunden?	Lehreronline Angebot zu Smart Grids: [27] http://bit.ly/1U7E6Jh mit integriertem Arbeits- bzw. Aufgabenblatt
	Arbeitsgruppe 3: Lastverschiebung im Privathaushalt. Wie kann ich meinen eigenen Stromverbrauch so verändern, dass es nicht zu den klassischen „Lastspitzen“ kommt?	Angebot aus „Energie macht Schule“ des Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft (BDEW): [28] http://bit.ly/1UefCiq mit integriertem und interaktiven Arbeitsblatt zur Lastverschiebung im Privathaushalt

4 UNTERRICHTSEINHEIT 3

EINSATZ VON EXPERIMENTEN UND EXPERIMENTIER-SETS SOWIE PÄDAGOGISCHE NUTZUNG VON EXISTENTEN KLEINWINDENERGIEANLAGEN UND SOLARANLAGEN



Allgemeine Erläuterung: Diese Unterrichtseinheit beinhaltet „praktische“ bzw. experimentelle Aufgaben aus dem Themenspektrum der Kleinwindenergieanlagen bzw. Solaranlagen. Hierfür werden Angebote für Schulen und Bildungseinrichtungen unterbreitet, die entweder bereits über eine Windkraft- bzw. PV Anlage verfügen oder ein Interesse haben, durch Experimentiersets bzw. Experimentierkoffer die Umsetzung von experimentellen Aufgaben an Modellen zu ermöglichen.



Lernkompetenz: SuS erlernen notwendige Arbeitsweisen für den experimentellen Bereich. Sie ermitteln elektrische Größen messtechnisch und rechnerisch, dokumentieren und bewerten diese.



WINDKRAFTEXPERIMENTE MITTELS EINES WINDKANALS UND ENTSPRECHEND DER UNTERRICHTSEINHEIT WINDENERGIE DES BUNDESVERBANDS WINDENERGIE UND DES UNABHÄNGIGEN INSTITUTS FÜR UMWELTFRAGEN

Dauer	Beschreibung	Material und Medien
20 min.	<p>Einführung in den Leistungsbeiwert sowie in das Widerstands- versus Auftriebsprinzip. Verdeutlichung des Widerstandsprinzips durch einen kleinen Film zu einer persischen Windmühle.</p> <p>Die nachfolgend dargelegten Experimente können mit einem Windkanal durchgeführt werden, dessen Konstruktion in der unter Material angegebenen Unterrichtseinheit entwickelt wurde und der sich aus Standardbauteilen aufbauen lässt. Eine Bauanleitung und eine Materialliste befindet sich im Anhang dieser Unterrichtseinheit im Kapitel D (Seiten 43–50)</p>	<p>Bundesverband Windenergie und UfU 2013: Unterrichtseinheit Physik Windenergie - Messung der Leistung und Bestimmung der Wirkungsgrade von Windenergieanlagen, Berlin: [29] http://bit.ly/1Ta8cuR Seiten 3 bis 5.</p> <p>Kurzer Film zu einer persischen Windmühle im Betrieb: [30] http://bit.ly/28N1aus</p>
20 min.	<p>Experimentierphase 1: Erster aerodynamischer Versuch: Messung der Auftriebs- und Widerstandskraft. Die Versuche verdeutlichen die an den Tragflächen auftretenden Kräfte. Die Messungen finden nicht an Rotoren sondern an fixierten Windkraftflügeln statt.</p>	<p>Die detaillierte Beschreibung des Versuchs befindet sich unter Abschnitt 2.2 auf der Seite 8. Die dazugehörigen Arbeitsblätter finden sich unter Kapitel A auf den Seiten 29–31. [31] http://bit.ly/1Ta8cuR</p>
20 min.	<p>Grundlagen der Windkraft: Erläuterungen zum Themenfeld Leistung im Wind</p>	<p>Die Erläuterung befindet sich in der Unterrichtseinheit unter Kapitel 3, Abschnitt 3.1 auf den Seiten 9–11. Zudem gibt es ein dazugehöriges Arbeitsblatt auf der Seite 33. [32] http://bit.ly/1Ta8cuR</p>
30 min.	<p>Experimentierphase 2: Zweiter aerodynamischer Versuch: Messung der mechanischen Größen „Windgeschwindigkeit“, „Drehmoment“ und „Drehzahl“</p>	<p>Die Erläuterung zu diesem Experiment ist unter dem Kapitel 3, Abschnitt 3.3 auf den Seiten 11–15 zu finden. Dazu lässt sich das dazugehörige Arbeitsblatt auf den Seiten 36 und 37 nutzen. [33] http://bit.ly/1Ta8cuR</p>



WINDKRAFTEXPERIMENTE MIT EXPERIMENTIERSETS

Dauer	Beschreibung	Material und Medien
20 min.	Einführung in die Experimentiersets und Messgeräte	<p>z. B. leXsolar Windkraftkoffer siehe: [34] http://bit.ly/28Mc4gU</p> <p>oder Lemo-Solar: [35] http://bit.ly/28MRMGb</p> <p>Nutzung von Schülerinnen- und Schülerlaboren bzw. weiterer Firmen zu diesem Thema unter: [36] http://bit.ly/28McR1f</p>
50 min.	<p>Durchführung von Experimenten in Arbeitsgruppen zur Leistungskennlinie mit sich verändernden Parametern:</p> <p>AG Flügelprofil: Unterschiedliche Formen der Rotorblätter + Savoniusrotor</p> <p>AG Flügelanzahl: Spannung in Abhängigkeit der Flügelanzahl</p> <p>AG Anstellwinkel: Spannung in Abhängigkeit des Anstellwinkels</p> <p>In allen Experimenten werden unterschiedliche Windgeschwindigkeiten und Drehzahlen gemessen.</p>	<p>Im Rahmen des Projekts „MINT- Energiebox“ der Baden-Württemberg Stiftung steht für den Experimentierkasten „leXsolar Wind“ eine ausführliche Lehrerhandreichung des Instituts für Zukunftsstudien und Technologiebewertung „Solare Zukunft“ ab Seite 71 zur Verfügung: [37] http://bit.ly/28Pe1wo</p> <p>Ergänzende Informationen finden sich unter der Seite der World Wind Energy Association unter: [38] http://bit.ly/1z8wgza</p>
20 min.	Austausch über die Experimente und Darstellung des Erkenntnisgewinns	



BESTEHENDE WINDKRAFTANLAGEN AN SCHULEN UND BILDUNGSEINRICHTUNGEN ANALYSIEREN

Dauer	Beschreibung	Material und Medien
15 min	Lehrkraft erläutert den Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit bzw. Leistung des Windangebotes und der daraus umsetzbaren Leistung. Zentral ist hierbei die Erkenntnis, dass die Windgeschwindigkeit in dritter Potenz in die Leistung eingeht. Dies beinhaltet, dass diese einen überproportionalen Einfluss auf den Ertrag hat.	Grundlagenkapitel in R. Gasch und J. Twele 2005: Windkraftanlagen – Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb oder Bundesverband Windenergie und UfU 2013: Unterrichtseinheit Physik Windenergie - Messung der Leistung und Bestimmung der Wirkungsgrade von Windenergieanlagen, Berlin: [39] http://bit.ly/1Ta8cuR Seite 9
15 min	Tafelbild/Beispielkurven für die vergleichende Betrachtung von Windleistung und KWEA Leistung. Berechnung, welche Stromerträge (z. B. an einem durchschnittlichen Tag (= durchschnittliche Windgeschwindigkeit) erwirtschaftet werden können. Im Rahmen der Sek 2 kann auch der Leistungsbeiwert thematisiert werden.	Bundesverband Windenergie (Hrsg.) 2010: Wirtschaftlichkeit und Vergütung von Kleinwindenergieanlagen (Autor Jan Liersch), siehe: [40] http://bit.ly/1TIBOn1
30 min.	Besichtigung der schuleigenen Windkraftanlage durch die SuS mit dem Lehrer/der Lehrerin. Analyse die sichtbaren Komponenten und Erläuterung der Funktionen. Erklärung der angeschlossenen Messgeräte für die Windgeschwindigkeit und den Strom/ Spannung. Einführung in die Aufnahme und das Auslesen von Messwerten sowie die Berechnung der Leistung	Energiezähler, Windmesssystem, KWEA, Arbeitsblatt Leistungsmessung KWEA, befindet sich unter Arbeitsmaterialien Unterrichtseinheiten auf der Homepage des Projekts EE Schule unter: [41] http://bit.ly/1KjKMdq
15 min.	Erarbeitung einer Leistungskurve der KWEA durch die SuS. Pro Minute wird ein Messwertepaar (Windgeschwindigkeit und Leistungsabgabe der KWEA) in eine Tabelle eingetragen. Die Messwerte lassen sich im Anschluss in ein Diagramm übertragen, das nach Windgeschwindigkeiten geordnet wird. Hierfür kann ein vorbereitetes Arbeitsblatt (siehe Spalte Material und Medien) genutzt werden oder die SuS erstellen selbst ihre eigenen Vorlagen, mittels eines Tabellenkalkulationsprogramms.	Das Arbeitsblatt Aufnahme_Leistungsdaten_KWEA ist erhältlich unter Arbeitsmaterialien_Unterrichtseinheiten auf der Homepage von EE Schule unter dem oben genannten Link. [41]
15 min.	Zum Abschluss werden von der Lehrerin/ dem Lehrer nochmals beispielhaft Leistungskurven aus dem Arbeitsblatt Beispiele_Leistungskurven_KWEA gezeigt und mit den SuS diskutiert.	Das Arbeitsblatt Aufnahme_Leistungsdaten_KWEA ist auf der Homepage des Projekts EE Schule abrufbar unter dem oben genannten Link. [41]



SOLAREXPERIMENTE MIT KLEINEN SOLARMODULEN

Dauer	Beschreibung	Material und Medien
20 min	<p>Einführung in die Themenstellung „Wie funktioniert eine Photovoltaikanlage?“</p> <p>inkl. ergänzender Darstellung der Funktionsweise durch einen Kurzfilm</p>	<p>Beamer, Laptop und Internetverbindung</p> <p>Nutzung des Unterrichtsmaterials des UfU unter dem Titel „Schulpaket Solarsupport – Materialien für Schulen und Bildungseinrichtungen zum Thema Photovoltaik“ für die Sekundarstufe, Klassen 7–10. Abschnitt „Informationen für Lehrerinnen und Lehrer zum Thema „Wie funktioniert eine Photovoltaikanlage“ auf den Seiten 16–18. [42] http://bit.ly/1V7ovsZ</p> <p>Video, siehe: [43] http://bit.ly/28OY9fD</p>
30 min.	<p>Experimentierphase 1:</p> <p>Konstruktion kleiner Solarmodelle, die nach einer kurzen Einführung durch jeweils 2 SuS angeschlossen bzw. zusammengeschaltet und mit verschiedenen elektronischen Verbrauchern (Solarmotor, Leuchtdioden, Summer) versehen werden. Mit einem Multimeter bzw. Spannungsmesser lassen sich verschiedene Messungen vornehmen. Im Anschluss an die Experimentierphase werden die Erfahrungen und Beobachtungen gemeinsam besprochen.</p>	<p>Anleitungen bzw. Arbeitsblätter zu den Experimenten gibt es als Download unter: [44] http://bit.ly/1PF0aTA auf den Seiten 3–11.</p> <p>Modellbausätze sind erhältlich (ohne Anspruch auf Vollständigkeit), z. B. bei Edunikum: [45] http://bit.ly/28ONwc3</p> <p>Sunside: [46] http://bit.ly/28OWlSt</p> <p>Lemo-Solar: [47] http://bit.ly/28LYzzQ</p> <p>Inprosolar: [48] http://bit.ly/28PxT2C</p> <p>Solarc: [49] http://bit.ly/28N6DkW</p> <p>conrad electronic: [50] http://bit.ly/28OQqhh</p> <p>lexsolar: [51] http://bit.ly/28Mc4gU</p> <p>Solexpert: [52] http://bit.ly/28ORb9R</p>
30 min.	<p>Experimentierphase 2:</p> <p>Verwendung von „Solarbruch“ zum Löten von Solarzellen. Nach einer kurzen Einführung in die Aufgabenstellung und die Erläuterung von Sicherheitsmaßnahmen, werden sowohl einzelne Solarzellen als auch Solarzellen „in Reihe“ gelötet und mit einem kleinen Elektromotor verbunden.</p> <p>Die SuS reflektieren im Anschluss die unterschiedlichen Leistungen der angeschlossenen kleinen Elektromotoren (im Fall der einzelnen Solarzellen und im Fall der „Reihenverschaltung“) und ziehen daraus Rückschlüsse für größere PV-Anlagen.</p>	<p>Solarzellen oder Solarbruch, Solarmotoren (z. B. 0,3 V; 15 mA), Leuchtdioden, Kabel, LötKolben und Lötzinn. Solarfirmen stellen für pädagogische Projekte oft kleine Mengen von Solarbruch kostenfrei zur Verfügung.</p> <p>Die Anleitungen für das Löten von Solarzellen, sowie die Angaben zum dafür erforderlichen Material finden sich auf den Seiten unter 14 und 15 als Download unter: [53] http://bit.ly/1PF0aTA</p>
10 min.	<p>Ergebnissicherung und Zusammenfassung zur Frage, wie eine Solaranlage funktioniert.</p>	
	<p>Vertiefung durch eine Hausarbeit zum Thema „Berechnung der Leistung einer Photovoltaikanlage“</p>	<p>Die Aufgabenstellung befindet sich unter dem oben aufgeführten Link auf den Seiten 16 und 17. [54]</p>



BESTEHENDE SOLARANLAGEN AN SCHULEN UND BILDUNGSEINRICHTUNGEN ANALYSIEREN

Dauer	Beschreibung	Material und Medien
15 min	Einführung in die Solaranlage auf dem Schuldach. Erläuterung der Hintergründe zur Anschaffung bzw. zur Installation und zum Betriebsmodell. Unterscheidung zwischen monokristallinen und polykristallinen Solarzellen	Nutzung des UfU Informationsmaterials „Solarsupport – Ein Leitfaden“: [55] http://bit.ly/1JYFUX Seiten 8 und 9
35 min	Besichtigung der schuleigenen Photovoltaikanlage durch die SuS mit dem Lehrer/der Lehrerin. Analyse die sichtbaren Komponenten und Erläuterung der Funktionen. Während oder nach dem Solarrundgang füllen die SuS ein Arbeitsblatt aus. Zur Ergebnissicherung verdeutlichen die SuS den Aufbau einer Photovoltaikanlage anhand einer Grafik.	Nutzung des Arbeitsblatts und der Folie 1–01 des „Schulpaket Solarsupport“ auf Seite 11 und 12: [56] http://bit.ly/1V7ovsZ
20 min.	Errechnung des Jahresertrags: Im Internet können die SuS mithilfe eines PV Rechners herausfinden, wie hoch der durchschnittliche Jahresertrag einer Photovoltaikanlage in ihrer Region ist. Sie können eine Vergrößerung der Solarfläche simulieren und herausfinden, um wie viel die Erträge steigen. Sie tragen die Daten der Schulsolaranlage ein und vergleichen sie mit den tatsächlichen Erträgen.	Internet- und Computerzugang Ein Solarrechner der Energie Agentur NRW befindet sich unter: [57] http://bit.ly/28MYDhl
20 min.	SuS überprüfen mittels einer Abfrage über den Klimaschutzschulenatlas, ob und in welcher Form die Solaranlage in dem Klimaschutzschulenatlas verzeichnet ist. Falls dies nicht der Fall ist, kümmern sie sich um eine Registrierung. Zudem suchen sie nach Schulen in ihrer Umgebung, um mögliche Partnerschaften bzw. Kontakt zu ermöglichen.	Internet- und Computerzugang Klimaschutzschulenatlas: [58] http://bit.ly/28QKHWT



5 UNTERRICHTSEINHEIT 4

GESELLSCHAFTLICHE HERAUSFORDERUNGEN UND CHANCEN DER ENERGIEWENDE



Allgemeine Erläuterung: Mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien und der Energiewende sind erhebliche gesellschaftliche Herausforderungen verbunden, denn durch die Dezentralität der Energiewandlung sind tendenziell mehr Menschen und Naturregionen von den Begleiterscheinungen betroffen, als dies in einem durch zentrale Energiewandlungsanlagen dominierenden System der Fall war. Zudem bedarf es für den weiteren Aufbau von Kombikraftwerken und eines Smart Grids des Ausbaus von Stromleitungen. Dies führt teilweise zu großen Widerständen vor Ort. Andererseits beinhaltet ein dezentrales und auf Erneuerbaren Energien basierendes System aber auch neue Möglichkeiten der Teilhabe, z. B. durch Bürgerenergieanlagen. Gleichzeitig gibt es auch auf Seiten des Natur- und Umweltschutzes widerstreitende Interessen, wenn einerseits EE Anlagen einen Beitrag zur Reduktion der klimaverändernden Treibhausgase und damit einen Beitrag zur Umwelt leisten und andererseits derartige Anlagen auch mit Naturschutzinteressen (z. B. Windparks in der Nähe von Vogelschutzgebieten oder Förderung der landwirtschaftlichen Monokultur durch Biogasanlagen) kollidieren. Somit sind Verfahren der Beteiligung und der Teilhabe von wesentlicher Bedeutung, um eine Akzeptanz für EE-Anlagen und insbesondere Windkraftanlagen zu erzielen. Hierfür bedarf es einer Beteiligung der Bevölkerung und Strategien der Teilhabe im Vorfeld von geplanten Anlagen. In dieser Unterrichtseinheit sollen SuS sich sowohl mit den Chancen und Herausforderungen der Energiewende als auch Aspekten der Beteiligung beschäftigen und diese gegeneinander abwägen



Lernkompetenz: SuS lernen mehr über die Hintergründe der Energiewende und beschäftigen sich mit dem „Für“ und „Wider“, um durch die Abwägung von Argumenten zu einer eigenen Meinung zu gelangen. Sie erlernen die Fähigkeit Lerninhalte selber zu erarbeiten und als Lehrende für andere aufzubereiten bzw. zu vermitteln.

Dauer	Beschreibung	Material und Medien
20 min.	Einstieg in die Thematik Energiewende mittels eines Films und anschließender Diskussion	Film aus der Reihe „WissensWerte“ von /e-politik.de/: [59] http://bit.ly/28N0dQg Erkenntnisleitende Fragestellungen finden sich im Arbeitsblatt 10.
30 min.	SuS beschäftigen sich in Arbeitsgruppen mit dem Hintergrund und den Bestandteilen bzw. Maßnahmen der Energiewende	
	Arbeitsgruppe 1: Maßnahmen der Energiewende: Was genau plant die Bundesregierung und wie ist der derzeitige Stand?	Informationsseite der Bundesregierung zur Energiewende unter: [60] http://bit.ly/1sBFt82
	Arbeitsgruppe 2: Wie funktioniert das EEG?	Energielexikon der Bundesnetzagentur: [61] http://bit.ly/28ZbDCz oder [62] http://bit.ly/28Tvwvdn



	<p>Arbeitsgruppe 3: Welche Kritiken gibt es an der Energiewende?</p>	<p>Kritik des Bundesrechnungshofes an der Umsetzung der Energiewende: [63] http://bit.ly/28NfJja oder Auszüge aus dem Bericht des Magazins Panorama: [64] http://bit.ly/1kdYUPq Die erkenntnisleitenden Fragestellungen finden sich im Arbeitsblatt 11.</p>
20 min.	Gegenseitige Vorstellung der Ergebnisse und anschließende Diskussion	Mittels Skizzen, Bildern, Karteikarten
20 min.	Überleitung zum Themenfeld Widerstand, Beteiligung und Akzeptanz durch Kurzfilme mit anschließender Diskussion	<p>Thematisierung durch 3 Kurzfilme zum Thema Widerstand und Beteiligung:</p> <p>1. Kurzfilm zum Widerstand der Gemeinde Pfaffenreuth (2:28): [65] http://bit.ly/28PhkWv Film am Ende der Website</p> <p>2. Film der Agentur für Erneuerbare Energien für den Bereich der Planung (2:28 min): [66] http://bit.ly/1WIdqy9</p> <p>3. Film der Agentur für Erneuerbare Energien für den Bereich der „Direktvermarktung“ (2:34 min): [67] http://bit.ly/1Zcerh6 Die Diskussionsfragen finden sich im Arbeitsblatt</p>
	Vertiefung durch eine Hausarbeit/Projektarbeit in drei Arbeitsgruppen, durch die sich SuS intensiver mit einzelnen Aspekten des Themenfelds „Partizipation“ und „Beteiligung“ beschäftigen können:	
	<p>Arbeitsgruppe 1: Sichtung des Beteiligungsleitfadens Windenergie von BUND und NABU Mögliche Fragen hierzu: Welche Beteiligungsmöglichkeiten haben Verbände? Welche Beteiligungsverfahren gibt es?</p>	<p>Beteiligungsleitfaden Windenergie des BUND und NABU Baden-Württemberg: [68] http://bit.ly/1T16AEH</p>
	<p>Arbeitsgruppe 2: Sichtung der Studie des Instituts für ZukunftsEnergieSysteme (IZESgGmbH) zu den Nutzeffekten von Bürgerenergie. Mögliche Frage hierzu: Welche zentralen Effekte werden genannt und wie beurteilen Sie diese?</p>	<p>Nutzeffekte von Bürgerenergie: Eine wissenschaftliche Qualifizierung und Quantifizierung der Nutzeffekte der Bürgerenergie und ihrer möglichen Bedeutung für die Energiewende: [69] http://bit.ly/1ruxYPI</p>
	<p>Arbeitsgruppe 3: Sichtung der Studie der Leuphana Universität Lüneburg: Zum Stand von Energiegenossenschaften in Deutschland. Mögliche Fragen hierzu: Wie beurteilen Sie die Dynamik der Gründungen und welche Veränderungen haben sich in den vergangenen Jahren bis 2014 ergeben? Worauf führen Sie das zurück?</p>	<p>Jakob R. Müller, Lars Holstenkamp 2015: Zum Stand von Energiegenossenschaften in Deutschland Aktualisierter Überblick über Zahlen und Entwicklungen zum 31.12.2014: [70] http://bit.ly/23oRYi5</p>

EE-SCHULE
ARBEITSBLÄTTER



ARBEITSBLATT 1

AUFBAU UND BESTANDTEILE EINER WINDKRAFTANLAGE



Welche Bauteile gehören zu einer Windkraftanlage?
Ordne die Begriffe den entsprechenden Zahlen in der Grafik zu.

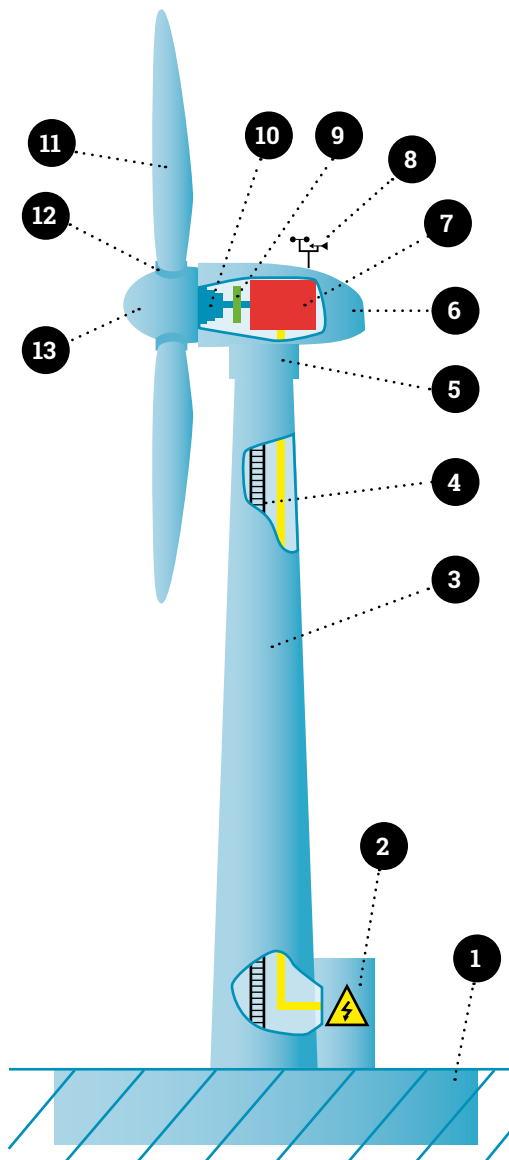


Abbildung 1: Aufbau einer Windkraftanlage.
Auf Basis der Quelle: Arne Nordmann (Wikipedia)

Nr.	Bauteil
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	

- | | | | |
|-------------------|------------------|--------------------|--------------|
| • Rotornabe | • Generator | • Bremse | • Turm |
| • Netzanschluss | • Windrichtungs- | • Blattverstellung | • Gondel |
| • Messinstrumente | nachführung | • Fundament | • Rotorblatt |
| • Aufstieg | • Getriebe | | |

BESTANDTEILE EINER WINDKRAFTANLAGE

TURM

Höhere Türme steigern generell die Energiewandlungskapazität der Anlage, weil die Windgeschwindigkeit in der Höhe zunimmt. Zu großen Anlagen nimmt man auch einen großen Turm. Man muss aber auf die Kosten achten, da ein 10 m Turm ca. 15.000 EUR kostet. Ein 50 m Turm wiegt etwa 40 Tonnen, bei 60 m sind es schon 80 Tonnen. Man verwendet bei den meisten Windkraftanlagen konische Stahlrohtürme, das bedeutet der Durchmesser steigt zum Boden hin. Diese werden in 20 m bis 30 m Stücken zum Aufstellungsort transportiert. Dort werden sie dann mit dem Betonfundament verschraubt. Andere Möglichkeiten sind Gittertürme oder abgespannte Masten, da diese aber nicht sehr stabil sind, werden sie kaum noch benutzt. Außerdem hat man bei den Stahlrohtürmen den Vorteil, dass man einfacherer und sicherer Wartungsarbeiten durchführen kann.

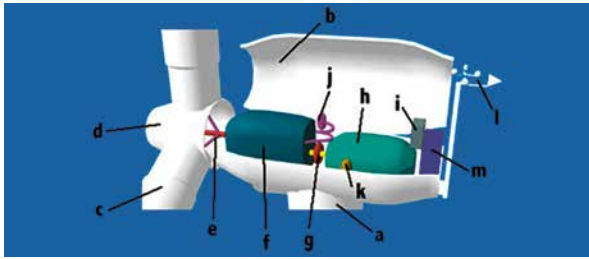


Abbildung 2: Übersicht der Komponenten einer Windkraftanlage.

Quelle: Danish Wind Industry Association

GONDEL

Die Gondel, also das Gehäuse, beinhaltet die wichtigsten Teile einer Windkraftanlage wie Getriebe und Generator. Das Wartungspersonal kann vom Turm aus in die Gondel einsteigen.

ROTORBLÄTTER

Die Rotorblätter nehmen die Windenergie auf. Die Bewegung wird auf die Nabe übertragen. Moderne Rotorblätter von großen Windkraftanlagen werden aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) hergestellt, z. B. aus glasfaserverstärktem Polyester oder Epoxid. Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung von Kohlefaser oder Aramid (Kevlar), gewöhnlich ist das aber für große Anlagen unwirtschaftlich. Auf

dem Bild sieht man eine Anlage mit einem Rotordurchmesser von 64 m.



Abbildung 3: Darstellung von Rotorblättern für die Windenergienutzung Quelle: dapd nachrichtenagentur

ROTORNABE

In der Rotornabe sind die Rotorblätter befestigt. Die Rotornabe ist mit der langsam laufenden Antriebswelle des Getriebes verbunden.

LANGSAM LAUFENDE ANTRIEBSWELLE

Die langsam laufende Antriebswelle der Windkraftanlage verbindet die Nabe mit dem Getriebe. Bei einer 600 kW-Anlage dreht sich der Rotor relativ langsam, mit ca. 19 bis 30 Umdrehungen pro Minute (U/min). Die Welle beinhaltet Hydraulikleitungen, welche die aerodynamischen Bremsen versorgen.

GETRIEBE

Das Getriebe liegt zwischen langsamer Antriebswelle und schneller Abtriebswelle. Hier wird die relativ niedrige Drehzahl der langsam laufenden Antriebswelle in eine höhere umgesetzt, damit der Generator eine höhere Leistung erzielen kann. Das Übersetzungsverhältnis beträgt rund 1:50.

SCHNELL LAUFENDE ABTRIEBSWELLE

Die schnell laufende Abtriebswelle rotiert mit ungefähr 1500 U/min und treibt den elektrischen Generator an. Sie ist mit einer mechanischen Scheibenbremse für Notbremsungen ausgerüstet. Diese Bremse wird benutzt, wenn die aerodynamische Bremse versagt oder wenn die Anlage repariert wird.

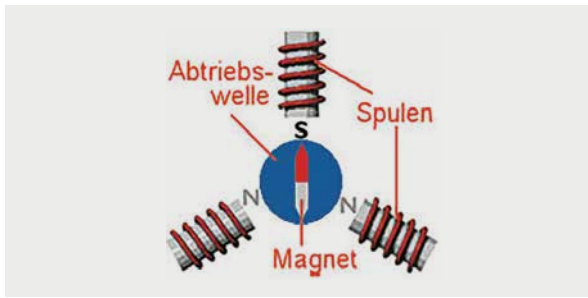


Abbildung 4: Komponenten für die Erzeugung elektrischer Energie in einem Generator. Quelle: Danish Wind Industry Association

GENERATOR

Der Generator verwandelt mechanische Energie in elektrische Energie. Generatoren für Windkraftanlagen sind im Vergleich zu herkömmlichen Kraftwerksgeneratoren im Netzverband etwas ungewöhnlich, da sie mit der schwankenden mechanischen Leistung, also dem Drehmoment des Rotors arbeiten müssen. Die schnelllaufende Abtriebswelle ist im Generator mit Magneten bestückt. Im Stator (der silberfarbenen Einheit) sind Spulen kreisförmig verteilt. Wenn man die Zahl der Magneten verdoppelt, kann man erreichen, dass das Magnetfeld mit der halben Geschwindigkeit rotiert, die Drehzahl des Generators kann also niedriger sein. Im Generator kann dann durch Induktion eine Spannung erzeugt werden. Diese Spannung wird anschließend mit einem Transformator, der sich im Turm oder in der Nähe der Anlage befindet, auf 10000 V bis 30000 V hochtransformiert werden. Die Transformation hat den Vorteil, dass die gleiche Leistung mit einem geringeren Strom erzeugt werden kann und so die Netzeinspeisung vereinfacht wird. Es gibt Anlagen mit einer Frequenz von 50 Hz, für die meisten elektrischen Netze der Welt, oder mit 60 Hz für den amerikanischen Raum.

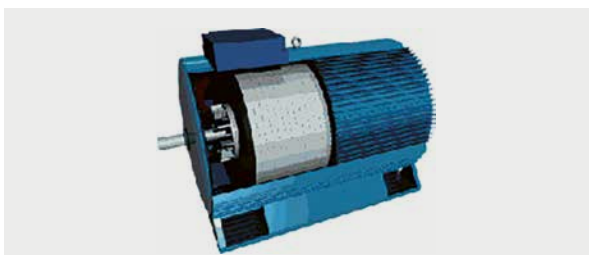


Abbildung 5: Darstellung eines Generators. Quelle: Danish Wind Industry Association (www.windpower.org)

ELEKTRONISCHER REGLER

Der elektronische Regler beinhaltet einen Computer, der ständig das Verhalten der Anlage überprüft und die Windnachführung steuert. Im Fall eines Problems (z. B. Überhitzung des Getriebes oder des Generators) stoppt er die Anlage automatisch und informiert via Telefonverbindung den Computer des Betreibers.

HYDRAULIKSYSTEM

Das Hydrauliksystem wird benötigt, um die aerodynamischen Bremsen wieder freizugeben.

WINDNACHFÜHRUNG

Die Einrichtung für die Windnachführung verwendet einen Elektromotor, um die Gondel mit dem Rotor immer richtig in den Wind zu drehen. Dieser Drehkranz, links im Bild, sitzt zwischen Gondel und Turm und wird vom Elektromotor angetrieben.

ANEMOMETER UND WINDFAHNE

Das Anemometer und die Windfahne werden zur Messung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung eingesetzt. Der elektronische Regler verwendet die elektrischen Signale des Anemometers dazu, um die Anlage einzuschalten. Bei einer Geschwindigkeit von mehr als 25 m/s wird die Anlage automatisch abgeschaltet, um Schäden zu vermeiden.

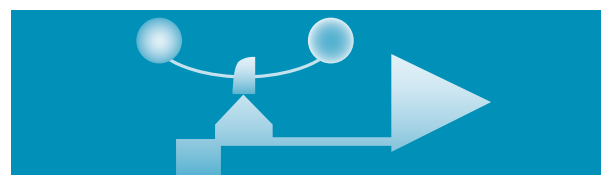


Abbildung 7: Darstellung Anemometer (links) und Windfahne (rechts). Auf Basis der Quelle: Danish Wind Industry Association

ARBEITSBLATT 2

LEISTUNGSFLUSS UND VERLUSTE DER WINDENERGIEUMWANDLUNG



Beschreiben Sie die im Bild (Abbildung 8) dargestellte Verlustkette bei der Umwandlung von im Wind enthaltenen kinetischen Energie bis zu der ins Netz gespeisten elektrischen Energie. Überlegen sie sich wie diese Verluste hervorgerufen werden. Die aerodynamischen Verluste werden nachfolgend beschrieben.

LEISTUNGSFLUSS DER WINDENERGIEANLAGE

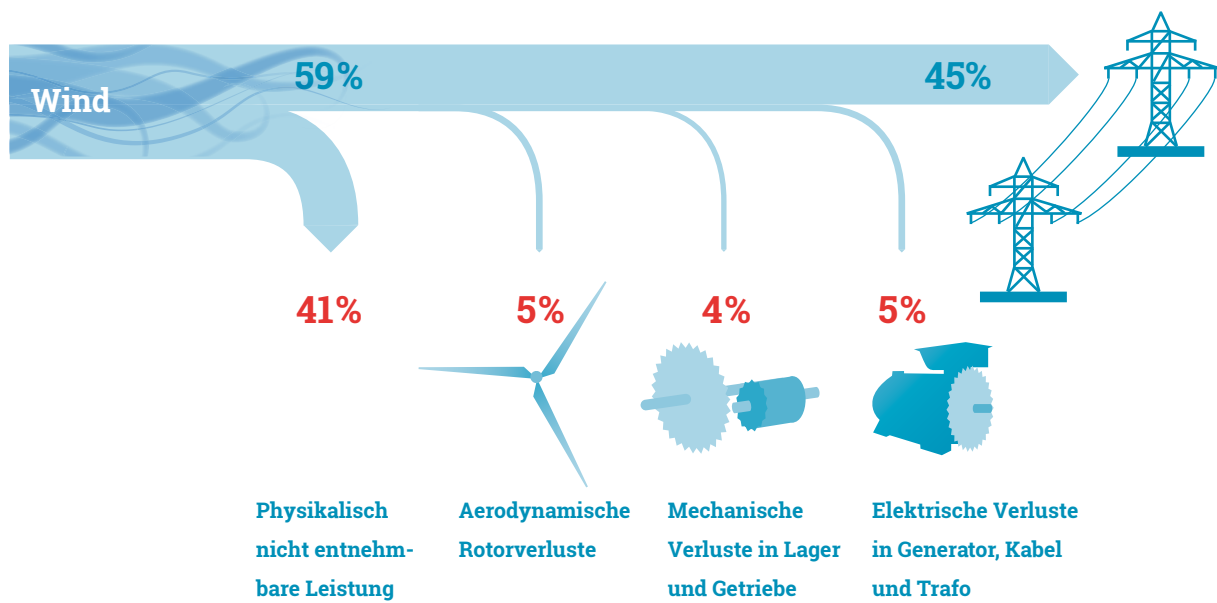


Abbildung 8: Darstellung der Verlustmechanismen bei der Energieumwandlung eines Windrads.

Auf Basis der Quelle: Bundesverband WindEnergie e.V.: Energieumwandlung.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Abbildung 9: Tipverlust an einer Flugzeugtragfläche.
Quelle: NASA Langley Research Center



Abbildung 10: Strömungsfilm an einem Rotorblattprofil mit Abriss.
Quelle: DLR- Archiv Göttingen



Abbildung 11: Drallverlust an einem WKA.
Quelle: Risoe National Laboratory Denmark

TIPVERLUSTE

Entlang des Rotorblatts herrscht aufgrund der Luftströmung an der Unterseite ein Überdruck und an der Oberseite ein Unterdruck (Auftriebsprinzip). Am Blattende gleicht sich der Druckunterschied zwischen Unter- (hoher Druck) und Oberseite (niedriger Druck) aufgrund des Zusammenstoßens der Luftmassen aus. Dadurch entsteht eine Verwirbelung, die auch Turbulenz genannt wird (Abbildung 9).

PROFILVERLUSTE

Das Profil der Flügel erzeugt je nach Güte Verwirbelungen und Strömungsabrissse. Diese sind Abhängig von der Stellung der Flügel zum Wind und der Materialeigenschaft (Abbildung 10). Die entscheidenden Parameter für die Güte des Profils sind der Auftriebs- und der Widerstandsbeiwert. Der Quotient aus beidem wird Gleitzahl genannt. Für ein Profil bedeutet die Gleitzahl die ungestörte Strömung um das Rotorblatt und je höher der Auftriebsbeiwert ist, desto höher fallen die Gleitzahl und dadurch die Qualität des Profils aus.

DRALLVERLUSTE

Die anströmende Luft versetzt die Rotorblätter in Bewegung, welche sich dann senkrecht zur Strömungsrichtung drehen. Diese Rotationsbewegung wirkt als eine Kraft in Umfangrichtung und lenkt die Strömung um, sodass diese nicht mehr „gradlinig“ sondern schraubenlinienförmig verläuft (Abbildung 11). Dies wirkt sich auf die Leistung und zusätzlich auf nachstehende Windkraftwerke aus.

ARBEITSBLATT 3

STRÖMUNGSVERHALTEN

Das Strömungsverhalten der Luft ist ein wichtiger Parameter für die Windkraft. Standorte für die Errichtung von Windkraftanlagen müssen einer umfangreichen Messkampagne unterzogen werden. Hierbei spielt das Strömungsverhalten eine wichtige Rolle für die Energiegewinnung und der Sicherheit der Anlage.

Die Strömung verändert sich mit der Höhe (Abbildung 12). Am Erdboden existiert eine Grenzschicht, die die Luftströmung beeinflusst und somit Turbulenzen verursacht. Ab einer bestimmten Höhe wird die Strömung gleichmäßig oder auch laminar genannt. Dieser Wind wird als Geostrophischer Wind bezeichnet und stellt den gewünschten Wind zur Energiegewinnung dar. Die Höhe ab der der Wind laminar wird, hängt von den Verhältnissen auf dem Erdboden ab. Hierbei geht es nicht darum welche Art Erdboden vorliegt, sondern wie das Gelände beschaffen ist.

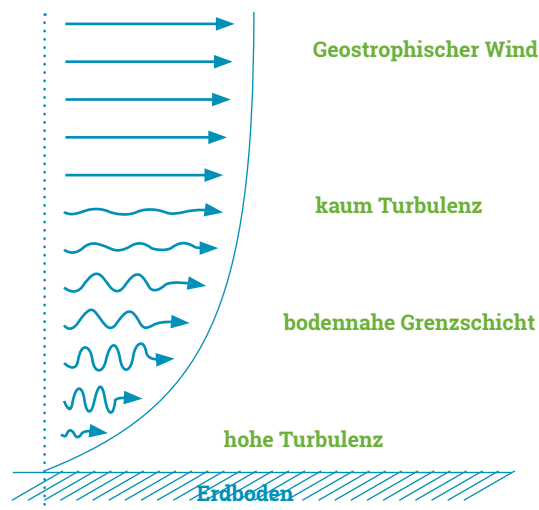


Abbildung 12: Strömungsverhalten der Luft in Abhängigkeit zum Abstand vom Erdboden. Auf Basis der Quelle: Robert Gasch, Jochen Twele: Windkraftanlagen – Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb. 8. Auflage. S. 127. 2012

In Abbildung 13 werden **verschiedene Geländetypen und ihre Rauigkeitslängen** dargestellt. Die Rauigkeitslänge ist ein Maß für die Oberflächenbeschaffenheit und gibt den Einfluss des Geländeprofiles auf die Höhe an. Eine hohe Rauigkeitslänge beeinflusst das Höhenprofil sehr stark, wie in diesem Fall die Stadt, wobei eine geringe Länge nur sehr wenig Einfluss hat.

Geländetyp	z_0 in m
Ruhige Wasserflächen	0,0001–0,001
Ackerland	0,03
Heide mit wenigen Büschen und Bäumen	0,1
Wald	0,3–1,6
Vorort, flache Bebauung	1,5
Stadtkerne	2

Abbildung 13: Rauigkeitslängen von Geländetypen.

Auf Basis der Quelle: Robert Gasch, Jochen Twele: Windkraftanlagen – Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb. 8. Auflage. S. 130. 2012

Den Einfluss auf die **Windgeschwindigkeit** zeigt Abbildung 14. Im Wald gebiet müssen vergleichsweise deutlich größere Höhen erreicht werden, damit hohe Windgeschwindigkeiten erreicht werden können, die grundlegend für die Energiegewinnung durch Windkraftanlagen sind. Daher werden vorzugsweise Windparks auf großen freien Rasenfläche, Küstenregionen oder auf dem Meer errichtet.

Die Windnutzung in der Stadt unterliegt daher schwierigen Verhältnissen. Hierzu kommen zu eher niedrigen Windgeschwindigkeiten noch die großen Turbulenzen. Jeder Gegenstand beeinflusst die Strömung vom Wind in Abhängigkeit der Beschaffenheit und Form den Wind unterschiedlich stark. Dadurch können Verwirbelungen und Schräganströmungen entstehen.

Abbildung 15 zeigt die **Strömungsänderung** an einem Gelände oder einem Haus. Zu sehen ist, dass die Strömung nach oben gedrückt wird und diese würde eine starke Schräganströmung für das Windrad bedeuten. Dadurch entstehen Kräfte, die die Windkraftanlage beanspruchen und möglicherweise beschädigen können.

Abbildung 16 zeigt die **Strömungsabriss** an einem Hindernis oder einer Hauswand. Die Turbulenzen nehmen mit steigender Entfernung ab, auch aus diesem Grund werden in Windparks die Anlagen nicht direkt hintereinander gebaut.

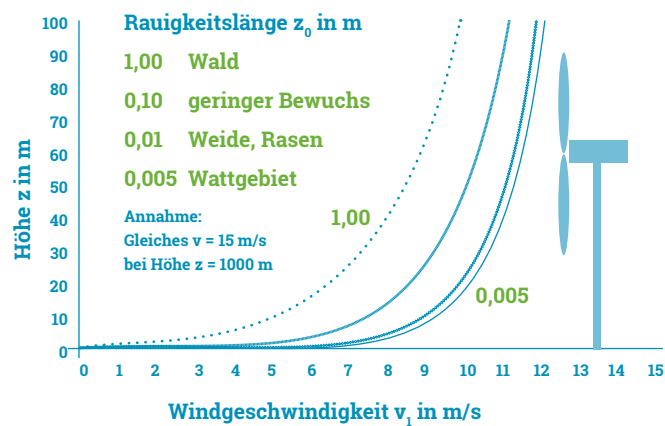


Abbildung 14: Einfluss der Rauigkeit auf die Windgeschwindigkeit.

Auf Basis der Quelle: Robert Gasch, Jochen Twele: Windkraftanlagen – Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb. 8. Auflage. S. 131. 2012

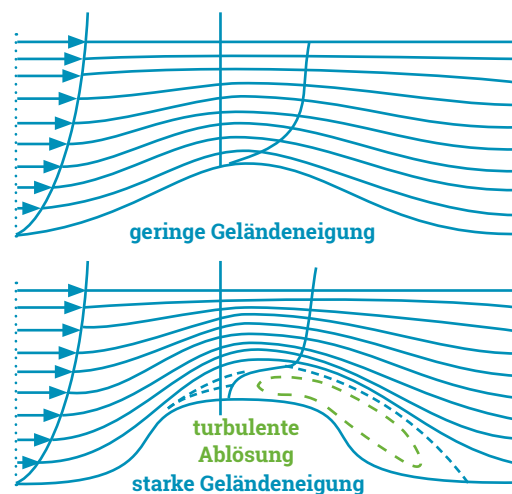


Abbildung 15: Strömungsablösung am Gelände.

Auf Basis der Quelle: Robert Gasch, Jochen Twele: Windkraftanlagen – Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb. 8. Auflage. S. 135. 2012

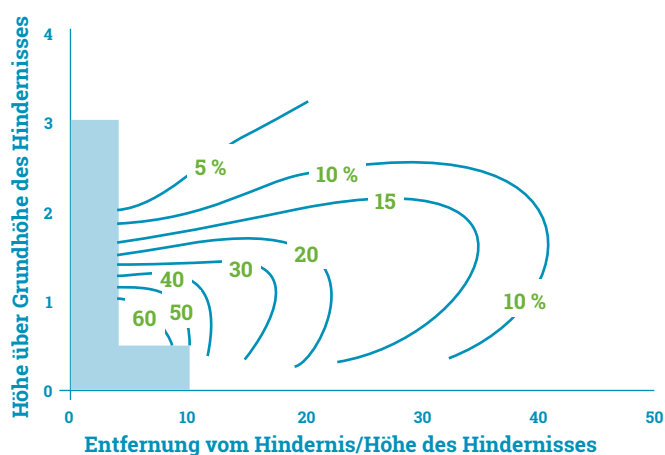


Abbildung 16: Strömungsablösung an Hindernissen.

Auf Basis der Quelle: Robert Gasch, Jochen Twele: Windkraftanlagen – Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb. 8. Auflage. S. 135. 2012

ARBEITSBLATT 4

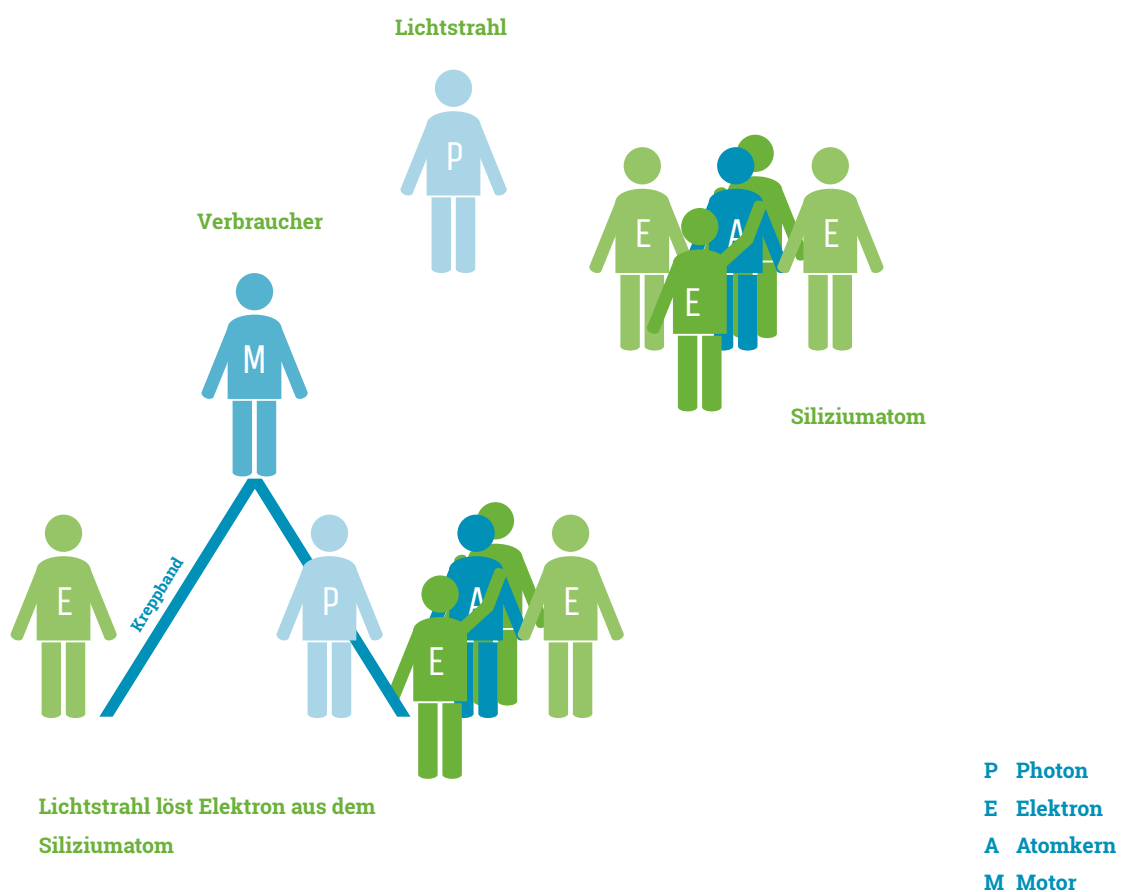
ANLEITUNG FÜR DIE SPIELERISCHE DARSTELLUNG DER STROMWANDLUNG IN EINER SOLARZELLE

Zwei Schülerinnen oder Schüler stellen die **Lichtstrahlen (Photonen)** dar, zehn weitere – die von den übrigen Arbeitsgruppen zum Zeitpunkt der Darstellung hinzu gebeten werden – bilden zwei **Siliziumatome (Atomkern + 4 Elektronen)**.

Die Elektronen halten sich am Atomkern fest und können nur durch ein Photon vom Kern getrennt werden. Nach der Loslösung vom Kern sind die Elektronen bestrebt, wieder an ihren Platz zurückzukehren. Dies können sie aber nur über den indirekten Weg durch die **Stromleitung** und den **Verbraucher** (z.B. Motor). Die Stromleitung kann durch Kreppland auf dem Boden dargestellt werden und der Motor durch eine Person, die von den Elektronen gedreht wird.

Jede im Spiel teilnehmende Person erhält eine gut sichtbare „Beschilderung“ ihrer Funktion (Photon, Atomkern, Elektronen, Motor etc.), sodass für die Beobachter erkennbar wird, was genau die jeweilige Spielteilnehmerin bzw. der jeweilige Spielteilnehmer repräsentieren.

Die das Spiel beobachtenden Schülerinnen und Schüler interpretieren im Anschluss das Gesehene.



ARBEITSBLATT 5

FRAGEN ZU DEN NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN VON KLEINWINDENERGIEANLAGEN



Grundlage: Broschüre „Fakten zur Nutzung der Windenergie im Kleinen“ des Landkreises Steinfurt

Welche vier Nutzungsmöglichkeiten werden in der Broschüre auf den Seiten 6 und 7 benannt?

.....

.....

.....

.....

Welche Bestandteile werden für eine Einspeisung in das Hausnetz benötigt und warum werden diese Bestandteile benötigt?

.....

.....

.....

.....

Welcher Bestandteil ist im Fall der Selbstversorgung im Inselsystem von großer Bedeutung? Welche Herausforderung ist mit diesem Teil der Anlage verbunden?

.....

.....

.....

.....

Normalerweise gilt das Heizen mit Strom als wenig sinnvoll. Warum ist das so und worin besteht der Unterschied im Fall des Heizens mit Windstrom?

.....

.....

.....

.....

ARBEITSBLATT 6

FRAGEN ZUR WIRTSCHAFTLICHKEIT VON KLEINWINDENERGIEANLAGEN



Grundlage: Jan Liersch (2010): Wirtschaftlichkeit und Vergütung von Kleinwindenergieanlagen des Bundesverbands Windenergie

Zu welchem Fazit kommt Jan Liersch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von Kleinwindenergieanlagen (KWEA)?

.....

.....

.....

.....

Unter welchen Bedingungen kann nach Aussage des Autors der Studie ein wirtschaftlicher Betrieb von KWEA gelingen?

.....

.....

.....

.....

Welche Hemmnisse sieht er für die weitere Verbreitung von KWEA?

.....

.....

.....

.....

Welches Thema sollte im Zusammenhang mit KWEA auch betrachtet werden und warum?

.....

.....

.....

.....

ARBEITSBLATT 7

FRAGEN ZU DEN RAHMENBEDINGUNGEN VON KLEINWINDENERGIEANLAGEN



Grundlage: Kreis Steinfurt (2015):
„Fakten zur Nutzung der Windenergie im Kleinen“

Was ist generell beim Bau einer Kleinwindenergieanlage zu beachten?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Wo darf eine Kleinwindenergieanlage gebaut werden?

.....

.....

.....

Welche einzelnen Schritte sind zu beachten? Bitte nennen Sie diese Schritte in der entsprechenden Reihenfolge.

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Bitte überprüfen Sie die Windverhältnisse an Ihrem Standort mittels des Windfinders unter <https://de.windfinder.com/> und beurteilen Sie diesen Standort hinsichtlich der möglichen Wirtschaftlichkeit einer KWEA.

ARBEITSBLATT 8

LEITFRAGEN FÜR DIE FILMSEQUENZEN ZUM THEMENFELD „REGENERATIVE KOMBIKRAFTWERKE UND SMART GRIDS“

KOMBIKRAFTWERK 1+2

Welche erneuerbare Energieformen werden zusammenschaltet und welche Probleme beinhalten einige dieser Quellen?

.....

.....

.....

.....

.....

Wie sieht die Lösung dieses Problems aus und welche Rollen übernehmen die einzelnen EE-Technologien?

.....

.....

.....

.....

.....



Stellen Sie einen möglichen Stromverlauf mit den einzelnen erzeugten Energien dar.
(Verbrauchslinie, Erzeugerlinien und Speicherlinie)

Welche technischen Vorgaben müssen eingehalten werden, damit das Stromnetz funktioniert?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Durch welche Dienstleistungen werden diese Vorgaben eingehalten? Erklären Sie kurz deren Funktionsweise und wie die EE-Technologien die dazugehörigen konventionellen Kraftwerkserzeuger ersetzen:

a.

.....

.....

.....

b.

.....

.....

.....

c.

.....

.....

.....

d.

.....

.....

.....

SMART GRIDS TEIL 1 BIS MIN. 5:04

Wie funktioniert die Gleichstromtechnik und wozu wird diese eingesetzt?

.....

.....

.....

.....

Welche Vorteile bzw. Nachteile bietet diese gegenüber der Wechselstromtechnik?

.....

.....

.....

.....

SMART GRID TEIL 2 VON MIN. 3:45

Wie funktioniert das urbane Smart Grid? Welches sind die zentralen Komponenten?

.....

.....

.....

.....

Halten Sie den notwendigen Austausch von Verbrauchsinformationen für bedenklich? Begründen Sie.

.....

.....

.....

.....

Wie sehe ein mögliches Super Grid aus? Benennen Sie die einzelnen Energiequellen und deren Herkunft.

.....

.....

.....

.....

ARBEITSBLATT 9

FRAGEN ZU DEN ERKENNTNISSEN AUS DEM KRAFTWERKSSPIEL „NEXT KRAFTWERKE“



Grundlage: Virtuelles Kraftwerksspiel
von „Next Kraftwerke“

Was ist die konkrete Aufgabenstellung des Spiels?

.....

.....

.....

.....

.....

Was haben Sie im Spiel umgesetzt und wie ist Ihnen das gelungen?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Welche Schlussfolgerungen ziehen Sie aus dem Spiel?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ARBEITSBLATT 10

FRAGEN ZUR ENERGIEWENDE



Grundlage: Film aus der Reihe „WissensWerte“ von /e-politik.de/zum Thema „Energiewende“

Welche zentralen Elemente der Energiewende werden in dem Film dargestellt?

.....

.....

.....

Wie wird die Notwendigkeit der Energiewende begründet?

.....

.....

.....

Wo sieht der Film die Erfolge?

.....

.....

Welche Hindernisse werden benannt?

.....

.....

Zu welchem Schluss kommt der Film?

.....

.....

Teilen Sie diese Einschätzung?

.....

.....

.....

.....

ARBEITSBLATT 11

FOLGEN UND AUSSICHTEN DER ENERGIEWENDE



Grundlage: Film des Panorama Magazins unter dem Titel: „Energiewende: Größenwahn statt Megaplan“ vom 21.06.2012. Bitte sehen Sie sich die nachfolgend aufgeführten Sequenzen an und beantworten Sie die dazugehörigen Fragen:

MIN. 2:13 – 4:30 OFFSHORE-WINDPARKS

Bennen Sie die Ausbauprobleme der Offshore Windparks und schätzen Sie deren Rolle für die Energiewende ein.

.....

.....

.....

.....

.....

MIN. 6:00 – 9:35 STROMNETZ

Inwiefern hat sich die Arbeit für den Stromnetzbetreiber durch die Energiewende verändert und wie wirkt sich diese auf die Industrie aus?

.....

.....

.....

.....

.....

MIN. 9:35 – 13:47 BIOGAS

Welche Auswirkungen hätte eine 10-fache Biogasleistung in Deutschland?

.....

.....

.....

.....

.....

MIN. 13:47 – 16:00 WASSERKRAFT

Ist der Ausbau von Laufwasserkraftwerken in Deutschland sinnvoll und wie sehen die Auswirkungen aus?
Welche Maßnahmen könnten die Umweltverträglichkeit verbessern?

.....

.....

.....

.....

MIN. 16:00 – 19:30 SPEICHERUNG

Welche zwei Speichertechnologien werden vorgestellt und worin liegt der momentane Unterschied in den Einsatzmöglichkeiten? Wie sehen die Zukunftsaussichten dieser beiden Technologien aus?

.....

.....

.....

.....

.....

MIN. 25:00 – 28:08 KONVENTIONELLE KRAFTWERKE

Wie wirkt sich die Energiewende auf die konventionellen Kraftwerke aus?

.....

.....

.....

.....

Stimmen Sie den Prognosen von Herrn Becker und Herrn Töpfer zu und welche Möglichkeiten sehen Sie, um die Energiewende zu unterstützen?

.....

.....

.....

.....

WEITERE GRUNDSÄTZLICHE FRAGEN ZUR ENERGIEWENDE



Grundlagen: Film des Panorama Magazins unter dem Titel: „Energiewende: Größenwahn statt Megaplan“ vom 21.06.2012 und Kritik des Bundesrechnungshofes an der Energiewende:

Worin besteht die hauptsächliche Kritik des Bundesrechnungshofes?

.....

.....

Wie sinnvoll sind Offshore Windparks?

.....

.....

Wie sieht es mit einem konkreten Masterplan (bzw. Umsetzungsplan) aus?

.....

Wie ist das Management der Energiewende zu bewerten?

.....

.....

.....

.....

.....

Welche Herausforderungen gibt es bei der Stromnetzeinspeisung und bei der Stromnachfrage?

.....

.....

.....

.....

Wie sieht es mit der Auslastung der Netze aus?

.....

.....

.....

Welche Folgen hat ein Spannungsabfall?

.....

.....

.....

Welche Folgen hat die intensive Biogasnutzung?

.....

.....

.....

Wo liegen die Probleme im Bereich der Wasserkraft?

.....

.....

.....

Wie sieht es mit der Entwicklung von Speichertechnologien (z. B. Strom zu Gas und den Potenzialen von Pumpspeicherkraftwerken) aus?

.....

.....

.....

Warum ist der Erfolg der Energiewende in Deutschland so wichtig?

.....

.....

.....

.....

Worin ähnelt sich die Kritik vom Bundesrechnungshof und dem Magazin „Panorama“?

.....

.....

7 LITERATURQUELLEN UND WEITERE LITERATURHINWEISE

Anmerkung: Die Literaturangaben sind nicht (wie sonst üblich) in alphabetischer Reihenfolge, sondern in der Reihenfolge ihrer Nennung in den Unterrichtseinheiten aufgeführt.

- [1] Die Bundesregierung (2016): **Energiewende: Was sind die Kernpunkte/Ziele der Energiepolitik der Bundesregierung?** Berlin. Siehe Internetlink: https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/Fragen-Antworten/1_Allgemeines/1_warum/_node.html#doc605764bodyText2 [Zugriff am 23.06.2016]
- [2] Agentur für Erneuerbare Energien (2016): **Akzeptanzumfrage 2015: Die deutsche Bevölkerung will mehr Erneuerbare Energien.** Berlin. Siehe Internetlink: <https://www.unendlich-viel-energie.de/themen/akzeptanz-erneuerbarer/akzeptanz-umfrage/akzeptanzumfrage-erneuerbare-2015> [Zugriff am 23.06.2016]
- [3] Dr. René Zimmer, Sarah Kloke, Max Gaedtke (2012): **Der Streit um die Uckermarkleitung – Eine Diskursanalyse.** UfU Paper 3/12, Berlin, S. 40. Siehe Internetlink: <http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Ressourcenschutz/Publikationen/Streit%20um%20die%20Uckermarkleitung.pdf> [Zugriff am 23.06.2016]
- [4] Südwestrundfunk, Westdeutscher Rundfunk, planet schule (2016): **Sendetermine – Ganz schön windig.** Stuttgart. Siehe Internetlink: <http://www.planet-schule.de/sf/php/sendungen.php?sendung=6559> [Zugriff am 23.06.2016]
- [5] Bodensee-News (2016): **Beaufort-Skala.** Göttingen. Siehe Internetlink: <http://www.bodensee-news.ch/wind.html> [Zugriff am 23.06.2016]
- [6] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2016): **Skripte und Material zu den Fachseminaren, Experimente mit EE, Experimentieranleitungen Sekundarstufe.** Berlin, S. 26. Siehe Internetlink: http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Lehrerbildung%20EE/3%20Experimentieranleitungen_Sekundarstufe_Feb.2013.pdf [Zugriff am 23.06.2016]
- [7] Fischer GreenTec (2014): **Die Geschichte der Windenergie (Erklärvideo).** Siehe Internetlink: <https://www.youtube.com/watch?v=wxWjusO7b7U> [Zugriff am 23.06.2016]
- [8] Bibliothek der Sachgeschichten, FLASH Filmstudio GmbH (2016): **Solarenergie – Spezial (DVD).** Köln. Siehe Internetlink: <http://www.bibliothek-der-sachgeschichten.de/catalogsearch/result?q=solarenergie&x=0&y=0> [Zugriff am 23.06.2016]
- [9] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2011): **Schulpaket Solarsupport. Materialien für Schulen und Bildungseinrichtungen zum Thema Photovoltaik.** Berlin. Siehe Internetlink: http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Solarsupport/Solarsupport_SEK_1105_final.pdf [Zugriff am 23.06.2016]
- [10] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2016): **Windenergie.** Berlin. Siehe Internetlink: http://ufu.moodle-kurse.de/pluginfile.php/78/mod_resource/content/1/Wind_20120828_start.htm [Zugriff am 23.06.2016]
- [11] Das windenergie-rgd Team (2010): **Konstruktiver Aufbau einer Windkraftanlage.** Siehe Internetlink: <http://windenergie-rgd.jimdo.com/aufbau-einer-wka/> [Zugriff am 23.06.2016]
- [12] Bundesverband WindEnergie e.V. (2016): **Technik – Funktionsweise – Horizontalachser/Luv- und Leeläufer.** Berlin. Siehe Internetlink: <https://www.wind-energie.de/infocenter/technik/funktionsweise/leelaeufer> [Zugriff am 23.06.2016]
- [13] BINE Informationsdienst (2016): **Windenergie.** Bonn. Siehe Internetlink: <http://www.bine.info/publikationen/publikation/windenergie/> [Zugriff am 23.06.2016]
- [14] BINE Informationsdienst (2016): **Vom Halbleiter zur Solarzelle.** Siehe Internetlink: <http://www.bine.info/publikationen/themeninfos/publikation/photovoltaik-innovationen/vom-halbleiter-zur-solarzelle/> [Zugriff am 23.06.2016]
- [15] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2011): **Schulpaket Solarsupport. Materialien für Schulen und Bildungseinrichtungen zum Thema Photovoltaik.** Berlin, S. 13, F. 1 – 04. Siehe Internetlink: http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Solarsupport/Solarsupport_SEK_1105_final.pdf [Zugriff am 23.06.2016]



- [16] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2011): **Schulpaket Solarsupport. Materialien für Schulen und Bildungseinrichtungen zum Thema Photovoltaik**. Berlin, S. 11 – 12, F. 1 – 01.
Siehe Internetlink: http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Solarsupport/Solarsupport_SEK_1105_final.pdf [Zugriff am 23.06.2016]
- [17] EnergieAgenturNRW (2013): **Kleinwindkraftanlagen für Gewerbebetriebe und Landwirte**. Düsseldorf.
Siehe Internetlink: <https://www.youtube.com/watch?v=sdBonRBv19I> [Zugriff am 23.06.2016]
- [18] Reiner Lemoine Institut (2016): **Kleinwindenergieanlagen, die Genehmigungslage in Deutschland und deren Einsatz an Bildungseinrichtungen**. Berlin.
Siehe Internetlink: <http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/EE-Schule/Recherchebericht.pdf> [Zugriff am 23.06.2016]
- [19] Kreis Steinfurt, der Landrat, Amt für Klimaschutz und Nachhaltigkeit, Servicestelle Windenergie (2015): **Kleinwindanlagen – Fakten zur Nutzung von Windenergie im Kleinen**. Steinfurt, S. 6–7.
Siehe Internetlink: <http://docplayer.org/12342095-Kleinwindanlagen-fakten-zur-nutzung-von-windenergie-im-kleinen.html> [Zugriff am 23.06.2016]
- [20] Bundesverband WindEnergie e.V. (2010): **Wirtschaftlichkeit und Vergütung von Kleinwindenergieanlagen**. Berlin, S. 15–16.
Siehe Internetlink: https://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/wirtschaftlichkeit-und-vergutung-von-kleinwindenergieanlagen/bwe_kwea_studie_liersch_final_2.pdf [Zugriff am 23.06.2016]
- [21] Kreis Steinfurt, der Landrat, Amt für Klimaschutz und Nachhaltigkeit, Servicestelle Windenergie (2015): **Kleinwindanlagen – Fakten zur Nutzung von Windenergie im Kleinen**. Steinfurt, S. 8–9.
Siehe Internetlink: <http://docplayer.org/12342095-Kleinwindanlagen-fakten-zur-nutzung-von-windenergie-im-kleinen.html> [Zugriff am 23.06.2016]
- [22] Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik (2016): **Kombikraftwerk 2 – Das Projekt**. Berlin.
Siehe Internetlink: <http://www.kombikraftwerk.de/kombikraftwerk-1/das-projekt.html> [Zugriff am 23.06.2016]
- [23] Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik (2016): **Kombikraftwerk 2 – Projektinformationen Kombikraftwerk2**. Berlin.
Siehe Internetlink: <http://www.kombikraftwerk.de/kombikraftwerk-2/projektinformationen-kombikraftwerk2.html> [Zugriff am 23.06.2016]
- [24] Österreichischer Rundfunk, Stiftung öffentlichen Rechts (2010): **Smart Grid Teil 1**. Wien.
Siehe Internetlink: <https://www.youtube.com/watch?v=V0hp5Aru3XI> [Zugriff am 23.06.2016]
- [25] Österreichischer Rundfunk, Stiftung öffentlichen Rechts (2010): **Smart Grid Teil 2**. Wien.
Siehe Internetlink: <https://www.youtube.com/watch?v=IQmyb05qA9k> [Zugriff am 23.06.2016]
- [26] Next Kraftwerke GmbH (2016): **Virtuelles Kraftwerk – Nextfrequenz**. Köln.
Siehe Internetlink: <https://www.next-kraftwerke.de/virtuelles-kraftwerk-spiel/> [Zugriff am 23.06.2016]
- [27] Eduversum GmbH, Portal Lehrer-Online, Antje Schmidt (2010): **Smart Grids – Intelligente Stromnetze**. Wiesbaden.
Siehe Internetlink: <http://www.lehrer-online.de/smart-grids.php> [Zugriff am 23.06.2016]
- [28] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2016): **Interaktives Arbeitsblatt Lastverschiebung im Privathaushalt**. Berlin.
Siehe Internetlink: <http://www.energie-macht-schule.de/node/749> [Zugriff am 23.06.2016]
- [29] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2013): **Windenergie – Messung der Leistung und Bestimmung der Wirkungsgrade von Windenergieanlagen**. 2. erweiterte Auflage, Berlin, S. 3–5.
Siehe Internetlink: <https://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/unterrichtseinheit-physik-physikbroschuere.pdf> [Zugriff am 23.06.2016]
- [30] Sirous Nikooei (2008): **The world's oldest windmills in Iran. still working! part 2**.
Siehe Internetlink: <https://www.youtube.com/watch?v=lhjww8FBsZk> [Zugriff am 23.06.2016]
- [31] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2013): **Windenergie – Messung der Leistung und Bestimmung der Wirkungsgrade von Windenergieanlagen**. 2. erweiterte Auflage, Berlin, S. 8, 29–31.
Siehe Internetlink: <https://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/unterrichtseinheit-physik-physikbroschuere.pdf> [Zugriff am 23.06.2016]
- [32] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2013): **Windenergie – Messung der Leistung und Bestimmung der Wirkungsgrade von Windenergieanlagen**. 2. erweiterte Auflage, Berlin, S. 9–11, 33.
Siehe Internetlink: <https://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/unterrichtseinheit-physik-physikbroschuere.pdf> [Zugriff am 23.06.2016]



- [33] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2013): **Windenergie – Messung der Leistung und Bestimmung der Wirkungsgrade von Windenergieanlagen**. 2. erweiterte Auflage, Berlin, S. 11–15, 36–37.
Siehe Internetlink: <https://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/unterrichtseinheit-physik/physikbroschuere.pdf> [Zugriff am 23.06.2016]
- [34] leXsolar GmbH (2016): **Shop – Schule: Grundschule bis Sekundarstufe II: Technische Ausbildung: Berufsschule – Fachhochschule – Universität**. Dresden.
Siehe Internetlink: <http://www.lexsolar.de/index.php?site=shop&ansicht=2> [Zugriff am 23.06.2016]
- [35] LEMO-SOLAR GmbH (2016): **Experimentierkoffer**. Ilsfeld.
Siehe Internetlink: <http://www.lemo-solar.de/shop/experimentierkoffer.php> [Zugriff am 23.06.2016]
- [36] ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (2016): **Unterrichtsmaterialien zu erneuerbaren Energietechniken**. Berlin.
Siehe Internetlink: <http://www.fvee.de/bildmaterial/personen-veranstaltungen/unterrichtsmaterialien-zu-erneuerbaren-energietechniken/> [Zugriff am 23.06.2016]
- [37] Solare Zukunft e.V. (2016): **MINT-EnergieBox – Handreichung für Lehrkräfte – Unterrichtsmaterial für Klasse 7 bis 10 (Sekundarstufe)**. Freiburg, S. 71.
Siehe Internetlink: https://elearning.izt.de/pluginfile.php/1590/mod_page/content/1/Materialien/Handreichung_fuer_Lehrkraefte.pdf [Zugriff am 23.06.2016]
- [38] WWEA World Wind Energy Association (2016): **Rotor und Rotorblätter – ein Überblick**. Bonn.
Siehe Internetlink: http://www.wwindea.org/technology/ch01/de/1_2_1_2.html [Zugriff am 23.06.2016]
- [39] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2013): **Windenergie – Messung der Leistung und Bestimmung der Wirkungsgrade von Windenergieanlagen**. 2. erweiterte Auflage, Berlin, S. 9.
Siehe Internetlink: <https://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/unterrichtseinheit-physik/physikbroschuere.pdf> [Zugriff am 23.06.2016]
- [40] Bundesverband Windenergie e.V. (2010): **Wirtschaftlichkeit und Vergütung von Kleinwindenergieanlagen**. Berlin.
Siehe Internetlink: https://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/wirtschaftlichkeit-und-vergutung-von-kleinwindenergieanlagen/bwe_kwea_studie_liersch_final_2.pdf [Zugriff am 23.06.2016]
- [41] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2016): **„EE-Schule“ – Evaluation solarer Schulprojekte und Machbarkeitsstudie Windenergie an Bildungseinrichtungen – Arbeitsmaterialien, Unterrichtseinheiten**. Berlin.
Siehe Internetlink: <http://www.ufu.de/de/projekte/ee-schule-evaluation-solarer-schulprojekte-und-machbarkeitsstudie-windenergie-an-bildungseinrichtungen.html> [Zugriff am 23.06.2016]
- [42] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2011): **Schulpaket Solarsupport. Materialien für Schulen und Bildungseinrichtungen zum Thema Photovoltaik**. Berlin, S. 16–18.
Siehe Internetlink: http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Solarsupport/Solarsupport_SEK_1105_final.pdf [Zugriff am 23.06.2016]
- [43] Erhard Hörner (2015): **Solarzelle – einfach erklärt**.
Siehe Internetlink: <https://www.youtube.com/watch?v=qMzTIXZeERc> [Zugriff am 23.06.2016]
- [44] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2016): **Lehrerbildung EE – Experimente für die Sekundarstufen Klasse 7 bis 10**. Berlin, S. 3–11.
Siehe Internetlink: http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Lehrerbildung%20EE/3%20Experimentieranleitungen_Sekundarstufe_Feb.2013.pdf [Zugriff am 23.06.2016]
- [45] Andreas Tillmann (2016): **Solar Assistent NEW GENERATION II**. Dornstadt.
Siehe Internetlink: <https://www.edunikum.de/experimentieren/schulexperimentierk-sten/solar-assistent-new-generation-ii/a-5396/> [Zugriff am 23.06.2016]
- [46] SunInside (2015): **Energiebildung**. Freiburg.
Siehe Internetlink: <http://suninside.de/index.php?route=product/category&path=34> [Zugriff am 23.06.2016]
- [47] LEMO-SOLAR GmbH (2016): **Solarbausätze**. Stuttgart.
Siehe Internetlink: <http://www.lemo-solar.de/shop/solarbausaeetze.php> [Zugriff am 23.06.2016]
- [48] Georg Huber, INPRO SOLAR (2016): **Produkte – Zubehör**. Eurasburg.
Siehe Internetlink: <http://www.inprosolar.com/produkte/zubehoer/> [Zugriff am 23.06.2016]
- [49] SOLARC Innovative Solarprodukte GmbH (2016): **Produkte**. Berlin.
Siehe Internetlink: <http://www.solarc.de/cms/pages/de/produkte.php> [Zugriff am 23.06.2016]



- [50] Conrad Electronic SE (2016): **Klassensatz Basic I-Set mit Schraubanschluss Sol Expert**. Hirschau.
Siehe Internetlink: <https://www.conrad.de/de/klassensatz-basic-i-set-mit-schraubanschluss-sol-expert-1209066.html>
[Zugriff am 23.06.2016]
- [51] leXsolar GmbH (2016): **Shop – Schule: Grundschule bis Sekundarstufe II: Technische Ausbildung: Berufsschule – Fachhochschule – Universität**. Dresden.
Siehe Internetlink: <http://www.lexsolar.de/index.php?site=shop&ansicht=2>
- [52] SOL-EXPERT-group (2016): **Klassensatz Solarantrieb basic – mit Lötanschluss**. Baintdt.
Siehe Internetlink: <http://www.sol-expert-group.de/Material-fuer-Schulen/Klassensaetze/Klassensatz-Solarantrieb-basic-mit-Loetanschluss::1000.html> [Zugriff am 23.06.2016]
- [53] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2016): **Lehrerbildung EE – Experimente für die Sekundarstufen Klasse 7 bis 10**. Berlin, S. 14 – 15.
Siehe Internetlink: http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Lehrerbildung%20EE/3%20Experimentieranleitungen_Sekundarstufe_Feb.2013.pdf [Zugriff am 23.06.2016]
- [54] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2016): **Lehrerbildung EE – Experimente für die Sekundarstufen Klasse 7 bis 10**. Berlin, S. 16–17.
Siehe Internetlink: http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Lehrerbildung%20EE/3%20Experimentieranleitungen_Sekundarstufe_Feb.2013.pdf [Zugriff am 23.06.2016]
- [55] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2012): **Solarsupport – Ein Leitfaden**. Solaranlagen auf die Schulen. Berlin, S. 8–9, 1. Auflage.
Siehe Internetlink: http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Solarsupport/Ufu_SolarS.pdf
[Zugriff am 23.06.2016]
- [56] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2011): **Schulpaket Solarsupport**. Materialien für Schulen und Bildungseinrichtungen zum Thema Photovoltaik. Berlin, S. 11–12.
Siehe Internetlink: http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/Solarsupport/Solarsupport_SEK_1105_final.pdf [Zugriff am 23.06.2016]
- [57] EnergieAgenturNRW (2016): **Photovoltaik-Anlagen an Wohngebäuden**. Düsseldorf.
Siehe Internetlink: <http://www.energiertools.ea-nrw.de/tools/solarrechner/default.asp?site=ea> [Zugriff am 23.06.2016]
- [58] Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. (2016): **Klimaschutz in Schulen und Bildungseinrichtungen**. Berlin.
Siehe Internetlink: <https://www.klimaschutzschulenatlas.de/> [Zugriff am 23.06.2016]
- [59] /e-politik.de/e. V., Jan Künzl (2012): **WissensWerte: Energiewende**. München.
Siehe Internetlink: <http://e-politik.de/artikel/2012/wissenswerte-energiewende/> [Zugriff am 23.06.2016]
- [60] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2016): **Energiewende – Energie erzeugen**. Berlin.
Siehe Internetlink: <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatistischeSeiten/Breg/Energiekonzept/0-Buehne/ma%3C%9Fnahmen-im-ueberblick.html;jsessionid=6B5993A9DD57659CC285DE0F789AB4FB.s1t2> [Zugriff am 23.06.2016]
- [61] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2016): **Energielexikon – EEG-Umlage**. Bonn. Siehe Internetlink: http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1431/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Verbraucher/Energielexikon/energielexikon-node.html [Zugriff am 23.06.2016]
- [62] Bundesverband WindEnergie e.V. (2016): **Wie das EEG funktioniert**. Berlin.
Siehe Internetlink: <https://www.wind-energie.de/themen/eeg/wie-das-eeg-funktioniert> [Zugriff am 23.06.2016]
- [63] EurActiv.de (2014): **„Unkoordiniert, uneinheitlich und teilweise redundant“ – Bundesrechnungshof kritisiert Energiewende**. Berlin.
Siehe Internetlink: <http://www.euractiv.de/section/energie-und-umwelt/news/unkoordiniert-uneinheitlich-und-teilweise-redundant-bundesrechnungshof-kritisiert-energiewende/> [Zugriff am 23.06.2016]
- [64] Norddeutscher Rundfunk, Panorama (2012): **Energiewende: Größenwahn statt Megaplan**. Hamburg.
Siehe Internetlink: http://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/panorama_die_reporter/panorama4117.html
[Zugriff am 23.06.2016]
- [65] Oberpfalz TV Nord GmbH & Co. Studiobetriebs KG (2010): **Pfaffenreuth: Windkraftgegner machen mobil**. Amberg.
Siehe Internetlink: <http://hammerholz-ohne-windkraft.de/tl/Videos.htm> [Zugriff am 23.06.2016]
- [66] Agentur für Erneuerbare Energien unter Trägerschaft des Vereins Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (2016): **Windkraft gemeinsam planen**. Berlin.
Siehe Internetlink: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/filme-animationen/windkraft-gemeinsam-planen> [Zugriff am 23.06.2016]



- [67] Agentur für Erneuerbare Energien unter Trägerschaft des Vereins Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (2016): **Direktvermarktung von Windenergie**. Berlin.
Siehe Internetlink: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/filme-animationen/direktvermarktung-von-windenergie> [Zugriff am 23.06.2016]
- [68] Naturschutzbund Deutschland (NABU), Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Landesverband Baden-Württemberg e.V. (2014): **Beteiligungsleitfaden Windenergie – Hinweise zu Beteiligungsmöglichkeiten von Verbänden in Verfahren zur Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen**. Stuttgart. 2. Auflage.
Siehe Internetlink: https://www.bund-bawue.de/fileadmin/bawue/pdf_datenbank/PDF_zu_Themen_und_Projekte/klima_und_energie/dialogforum/Beteiligungsleitfaden_Windenergie_NABU_BUND_2014.pdf [Zugriff am 23.06.2016]
- [69] Institut für ZukunftsEnergieSysteme (2015): **Nutzeneffekte von Bürgerenergie – Eine wissenschaftliche Qualifizierung und Quantifizierung der Nutzeneffekte der Bürgerenergie und ihrer möglichen Bedeutung für die Energiewende**. Saarbrücken. Siehe Internetlink: https://www.buendnis-buergerenergie.de/fileadmin/user_upload/Studie_Nutzeneffekte_von_Buergerenergie_17092015.pdf [Zugriff am 23.06.2016]
- [70] Professur für Finanzierung und Finanzwirtschaft der Leuphana Universität Lüneburg, Institut für Bank-, Finanz- und Rechnungswesen (IBFR) (2015): **Zum Stand von Energiegenossenschaften in Deutschland Aktualisierter Überblick über Zahlen und Entwicklungen zum 31.12.2014**. Lüneburg. Siehe Internetlink: https://www.buendnis-buergerenergie.de/fileadmin/user_upload/downloads/Studien/Studie_Zum_Stand_von_Energiegenossenschaften_in_Deutschland_Leuphana.pdf [Zugriff am 23.06.2016]



