



EE -
SCHULE

HANDBUCH

Empfehlungen zur Nutzung und
Einbindung der Windenergie und anderer
erneuerbarer Energieträger 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, Maik Birnbach, 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



EINFÜHRENDE ERKLÄRUNG FÜR DEN AUFBAU DES HANDBUCHS

Das Handbuch gliedert sich in drei Themengebiete. Der erste Teil beginnt mit einer Einleitung und der Darstellung der Hintergründe dieses Handbuchs, der zweite Teil stellt die Unterrichtseinheiten dar und im letzten Teil werden zusätzliche externe Bildungsmaterialien und Exkursionsorte aufgezeigt. Die Unterrichtseinheiten unterteilen sich je nach Schwierigkeitsgrad. Hierbei wird zwischen einführend, weiterführend und vertiefend unterschieden.

Die einführenden Einheiten sind mit einem blauen Kreis markiert und vermitteln die naturwissenschaftlichen und technischen Grundlagen der Windenergie, wie z. B. die Entstehung von Wind oder den Aufbau von Windanlagen. Aufbauend darauf können weiterführende Einheiten, markiert mit einem roten Kreis, eingesetzt werden. Diese beschreiben anknüpfende technische Zusammenhänge, wie z. B. die Berechnung von Energie im Wind und die Erstellung von Leistungsdiagrammen für Windkraftanlagen. Hier beginnt auch der Einstieg in die für sozial- und/oder politikwissenschaftlichen Fächer nutzbaren Unterrichtseinheiten, z. B. in Form einer Auseinandersetzung mit der Energiewende und der kritischen Beschäftigung mit problematischen Themen der Windenergie. Vertiefende Themen, die sich z. B. mit der Bewertung von Windstandorten oder der videobasierten Untersuchung von Schwingungen beschäftigen, sind mit einem schwarzen Kreis gekennzeichnet.

Folgende Graphik veranschaulicht die Einteilung:



HINWEIS:

Bitte haben Sie Verständnis dafür, dass mehrzeilige Internetlinks nicht direkt vom Text aus abgerufen werden können. Sie werden in diesem Fall in der Regel Fehlermeldungen bzw. "not found" Hinweise bekommen. **Im Fall der mehrzeiligen Internetlinks müssen Sie diese kopieren und in ein neues Browserfenster einfügen.**

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG & PROJEKTVORSTELLUNG	7
2	INTEGRATION UND AKZEPTANZSTEIGERUNG VON EE AN ÖFFENTLICHEN GEBÄUDEN WIE BILDUNGSEINRICHTUNGEN UND SCHULEN	8
3	HINTERGRÜNDE UND VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE ANSCHAFFUNG VON KLEINWINDENERGIEANLAGEN AN BILDUNGSEINRICHTUNGEN	9
4	STRUKTUR DER PÄDAGOGISCHE EINBINDUNG	19
5	SACHPERSPEKTIVE	27

5.1	UNTERRICHTSEINHEITEN BZW. PÄDAGOGISCHE KONZEPTE ZUR HINFÜHRUNG ZUM THEMA	28
-----	--	----

	5.1.1 ENERGIE: DEFINITION, ENERGIEFORMEN, UMWANDLUNG, ENERGIEWIRTSCHAFT, EE-TECHNOLOGIEN (SEK I)	29
---	--	----

	5.1.2 WINDENERGIE: KOMPONENTEN, ENERGETISCHER FLUSS, VERLUSTE (SEK I)	31
---	---	----

5.2	UNTERRICHTSEINHEITEN BZW. PÄDAGOGISCHE KONZEPTE ZUR ERARBEITUNG DER GRUNDLAGEN VON KLEINWINDENERGIEANLAGEN	33
-----	--	----

	5.2.1 GRUNDLAGEN KWEA UND KWEA IM SYSTEM: KENNENLERNEN DER DEFINITION UND VARIANTEN VON KLEINWINDENERGIEANLAGEN (SEK I)	34
---	---	----

	5.2.2 WIEVIEL ENERGIE STECKT IM WIND: WINDMESSUNG/-BEOBACHTUNG (SEK II)	36
---	---	----

	5.2.3 FLATTERBANDVERSUCH – WO IST DER BESTE STANDORT FÜR EINE KWEA? (SEK I)	40
---	---	----

	5.2.4 ENERGIEWANDLUNG MIT KWEA, LEISTUNGSMESSUNG (SEK II)	41
---	---	----

5.3	UNTERRICHTSEINHEITEN BZW. PÄDAGOGISCHE KONZEPTE ZUR NUTZUNG VON BESTEHENDEN KLEINWINDENERGIEANLAGEN	43
-----	---	----

 	5.3.1 ENERGIEWANDLUNG MIT KWEA, LEISTUNGSMESSUNG (SEK II)	44
---	---	----

 	5.3.2 KENNENLERNEN DER EIGENEN KWEA UND EINBINDUNG VON KWEA IN SYSTEMEN (SEK I)	47
---	---	----

 	5.3.3 TECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN UND UNERWÜNSCHTE EFFEKTE (SEK II)	49
---	--	----

5.4	UNTERRICHTSEINHEIT ZUR BETRACHTUNG VON GESAMTSYSTEMEN	58
	5.4.1 WIE WIRKEN DIE PV-ANLAGE, DIE KWEA UND UNSER VERBRAUCH ZUSAMMEN? (SEK II)	59
	5.4.2 NACHHALTIGKEIT VON KWEA (SEK II)	62
5.5	UNTERRICHTSEINHEIT ZUR BETRACHTUNG DER ENERGIEWENDE MIT DEM FOKUS AUF DAS STROMNETZ	64
	5.5.1 STROMNETZ: EINSPEISUNG VON ENERGIE, STRUKTUR DES DEUTSCHEN STROM- NETZES, BESTANDTEILE, HERAUSFORDERUNGEN IM RAHMEN DER ENERGIEWENDE (SEK II)	65
6	HUMAN-SOZIALE PERSPEKTIVE	67
 	6.1 GESAMTSTRATEGIE DER ENERGIEWENDE (SEK II)	69
	6.2 TECHNIKSOZIOLOGIE UND UMSETZUNG SOZIALWISSENSCHAFTLICHEN ARBEITENS (SEK II)	71
	6.3 PLANSPIEL WINDKRAFTKONFLIKT (SEK II)	73
7	SINN- UND WERTEPERSPEKTIVE	75
	7.1 BETEILIGUNG BEIM BAU UND BETRIEB VON WINDKRAFTANLAGEN (SEK II)	77
	7.2 ENDE DES FOSSILEN ENERGIEZEITALTERS UND GROSSE TRANSFORMATION (SEK II)	79
	7.3 „DIE GROSSE TRANSFORMATION“ UND BEISPIELE FÜR „PIONIERE DES WANDELS“ (SEK II)	81
	7.4 CO ₂ HANDEL; EFFIZIENZ- ODER SUFFIZIENZSTRATEGIEN – WAS IST DER RICHTIGE WEG? (SEK II)	83
	7.5 ENERGIE- UND KLIMAGERECHTIGKEIT (SEK II)	85

8	EIGENE UNTERRICHTS- BZW. PROJEKTVORSCHLÄGE	87
9	EINSETZBARE METHODEN UND WEITERES LERN- UND INFORMATIONSMATERIAL	89
<hr/>		
9.1	EINSETZBARE METHODEN	91
<hr/>		
9.2	LERNMATERIALIEN	92
<hr/>		
9.3	MÖGLICHE EXKURSIONEN UND AUSSERSCHULISCHE LERNANGEBOTE FÜR DIE REGION BERLIN BRANDENBURG	95
<hr/>		
9.4	LITERATURVERZEICHNIS	99
<hr/>		

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Veranschaulichung einer horizontalachsigen und vertikalachsigen KWEA	12
Abbildung 2: Horizontalachser der Firma Ampair	15
Abbildung 3: JPT-100 im Anwendungsbeispiel als Batterielader, zur Versorgung von elektrischen Verbrauchern	16
Abbildung 4: VK 50 Amperius.....	17
Abbildung 5: Schematischer Ablauf eines KWEA-Projektes	18

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Zusammenfassung der Vor- und Nachteile von vertikalen und horizontalen KWEA	14
Tabelle 2: Pro und Contra von horizontalen und vertikalen KWEA bei der Einbindung in den Unterricht.....	14
Tabelle 3: Technische Angaben zur Ampair 100 x 0,9.....	15
Tabelle 4: Technische Angaben zur JPT-100	16
Tabelle 5: Technische Angaben VK 50 – Amperius	17
Tabelle 6: Immissionsrichtwerte	54

1 EINLEITUNG & PROJEKTVORSTELLUNG

Mit dem vorliegenden Handbuch erhalten Sie Vorschläge und Empfehlungen zur Nutzung und zur pädagogischen Einbindung verschiedenster Themen rund um die Erneuerbaren Energien und die Energiewende.

Die Empfehlungen umfassen einerseits Angebote, wie Bildungseinrichtungen die bereits an ihren Institutionen vorhandenen EE Anlagen in ihren Unterricht oder in ihre pädagogischen Aktivitäten einbinden können. Andererseits werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie derartige Technologien auch neu implementiert und für den Unterricht und pädagogische Projekte nutzbar gemacht werden können.

Nachdem im Kontext der Projekte „Erneuerbare Energien sichtbar machen 1 + 2“ insbesondere die Nutzung von Solaranlagen im Vordergrund stand, geht es im vorliegenden Handbuch in erster Linie um die Nutzung der Windenergie und um den Einsatz von Kleinwindenergieanlagen an Bildungseinrichtungen.

Ihre Bildungseinrichtung muss nicht über eine eigene Windenergieanlage verfügen, um sich mit dem Themen Wind und Erneuerbare Energien befassen zu können. Mittels von Modellen und Experimentierangeboten oder durch außerschulische Lernorte und Besichtigungsmöglichkeiten können die Themen pädagogisch aufgegriffen und bearbeitet werden. Weiterhin soll durch dieses Handbuch deutlich werden, dass diese Themen nicht nur etwas für den naturwissenschaftlichen Unterricht sind, sondern auch spannende Fragestellungen für den sozialwissenschaftlichen bzw. politikwissenschaftlichen Unterricht beinhalten.

Das Handbuch wurde differenziert nach unterschiedlichen Alters- bzw. Schulstufen (Grundschule, Sekundarstufe 1 und 2, Berufsschulen) und enthält Vorschläge zur Unterrichtsgestaltung, inkl. der Unterrichtsmaterialien in Form von im Internet verfügbaren Filmen bzw. Kurzvideos, Hintergrundinformationen und im Unterricht direkt einsetzbaren Medien, sowie Arbeitsblättern. Darüber hinaus greift es durch die Aufnahme von außerschulischen Lernangeboten und Besichtigungsmöglichkeiten die Dynamik der EE Entwicklung exemplarisch in der Region Berlin Brandenburg auf.

Die Gestaltung erfolgte bewusst nicht in Form einer Broschüre. Sie können das Handbuch entweder komplett oder auch nur zu einzelnen Themenfeldern nutzen bzw. ausdrucken. Wir empfehlen das Abheften in einem Ordner, den Sie auch um eigene Projektvorschläge und Anmerkungen ergänzen und somit immer wieder aktualisieren können.

Viel Spaß bei der Nutzung wünscht Ihnen das Autorenteam des UfU!



2 INTEGRATION UND AKZEPTANZSTEIGERUNG VON EE AN ÖFFENTLICHEN GEBÄUDEN WIE BILDUNGSEINRICHTUNGEN UND SCHULEN

Generell haben Gebäude der öffentlichen Hand eine Vorbildfunktion zu erfüllen. Mit der Novelle des EE Wärme Gesetzes wurde seitens der Bundesregierung bereits zum 1. Mai 2011 entschieden, dass öffentliche Gebäude eine Vorbildfunktion übernehmen sollen. Nicht nur für neue, sondern auch für bestehende öffentliche Gebäude gilt eine Pflicht zur anteiligen Nutzung erneuerbarer Energien, und diese Verpflichtung umfasst sogar durch die öffentliche Hand angemietete Gebäude¹. Mit dem Marktanreizprogramm der Nationalen Klimaschutzinitiative bzw. im Marktanreizprogramm 2015, KfW Teil, Programm Erneuerbare Energien Premium² werden dementsprechend Kommunen berücksichtigt, wenn sie in öffentlichen Gebäuden die Wärmeversorgung auf EE umstellen, da die anteilige Deckung des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien zunächst zu höheren Investitionskosten führt.

Gebäude von Bildungseinrichtungen bzw. Schulgebäude spielen hinsichtlich ihrer Vorbildfunktion eine besondere Rolle, denn in ihnen werden nachfolgende Generationen gebildet und auf die Zukunft vorbereitet. Die Präsenz und Sichtbarkeit sowohl von Erneuerbaren Energien als auch energieeffizienten Technologien (z. B. LED Beleuchtungen oder besonders gedämmte Gebäude) kann zu einem größeren Selbstverständnis bei Schülerinnen und Schülern im Umgang mit derartigen Technologien führen, wenn hierfür auch eine schulinterne Öffentlichkeitsarbeit (z. B. durch Plakate, Hinweistafeln oder durch Visualisierungsanlagen) betrieben wird. Die Erfahrungen des Unabhängigen Instituts für Umweltfragen zeigen aber, dass dies häufig nicht erfolgt bzw. Bildungseinrichtungen und Schulen derartige Technologien auf ihren Internetseiten nicht darstellen bzw. „promoten“. Letztlich waren die Aktivitäten rund um die Projektvorhaben „Solarsupport“ und „Erneuerbare Energien sichtbar machen 1 & 2“ und insbesondere die Sichtbarmachung der Solarertragsdaten von Bildungseinrichtungen auf dem Klimaschutzschulenas (<https://www.klimaschutzschulenas.de/>) eine Reaktion auf diesen Sachverhalt.

Ideal ist es daher, bereits vorhandene EE Technologien an Bildungseinrichtungen für die pädagogische Arbeit zu nutzen. Derartige Aktivitäten tragen erfahrungsgemäß zu einer besseren Profilbildung der Einrichtungen bei und können auch für eine schulexterne und regionale Öffentlichkeitsarbeit gut genutzt werden. Wichtig ist es, darüber zu berichten und derartige Aktivitäten nicht nur „im stillen Kämmerlein“ umzusetzen.

Dementsprechend möchten wir Sie mit den nachfolgenden Angeboten dazu ermuntern, EE Projekte praktisch umzusetzen.

Hinsichtlich der Überlegungen für die Anschaffung von Solarenergieanlagen an Bildungseinrichtungen verweisen wir auf die Materialien aus dem Projekt „Solarsupport für Schulen“, die unter dem Titel „Solarsupport – Ein Leitfaden“ unter <http://www.ufu.de/de/solarsupport/leitfaden.html> verfügbar sind.

1 Siehe: <http://www.udo-leuschner.de/energie-chronik/110202.htm>, abgerufen am 31.03.2016

2 Siehe: <http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/foerderung-im-marktanreiz-programm-2015-kfw.html>, abgerufen am 31.03.2016



3

EE-SCHULE

HINTERGRÜNDE UND
VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE
ANSCHAFFUNG VON KLEINWINDENERGIEANLAGEN
AN BILDUNGSEINRICHTUNGEN





3 HINTERGRÜNDE UND VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE ANSCHAFFUNG VON KLEINWIND-ENERGIEANLAGEN AN BILDUNGSEINRICHTUNGEN

KLEINWIND IM ÜBERBLICK

In diesem Kapitel werden die technischen Aspekte behandelt, die im Vorfeld eines schuleigenen Kleinwind-Projektes hinsichtlich der technischen Planung berücksichtigt werden müssen. Dieses Kapitel basiert zum Großteil auf den Ergebnissen des Leitfadens „Empfehlungen zum Einsatz von Kleinwindanlagen im urbanen Raum“ der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) in Berlin vom Januar 2013³ [1].

ANSPRECHPARTNER UND ZUSTÄNDIGE BEHÖRDEN

Im Vorfeld muss jedem Interessierten bewusst sein, dass die Installation von Kleinwindenergieanlagen ein komplexer Prozess ist. Hierzu gehören die durchaus herausfordernden Elemente der Planung, der Auswahl des Standortes, der Genehmigung, der Aufstellung und des Betriebs der Anlage. Dies kann ohne technischen und genehmigungsrechtlichen Hintergrund schnell überfordernd sein. Deshalb wird empfohlen, im Vorfeld fachkundige Hilfe bzw. Informationen von verschiedenen Ansprechpartnern und Institutionen sowie zahlreichen Medien einzuholen.

Für die Wahl der Anlage können die bereits etablierten Organisationen angesprochen bzw. die einschlägigen Foren und Handlungsempfehlungen genutzt werden:

Hierzu gehören u. a.:

- **Bundesverband WindEnergie e. V. (BWE):** Der Verband veröffentlicht informative Beiträge zum Thema auf der Internetpräsenz und in Form von Studien.
- **Kleinwindanlagen.de:** Die Webseite bietet einen guten Überblick über den Kleinwindmarkt, u. a. durch Kurzportraits verschiedener Anlagen. Ein Forum bietet die Möglichkeit des Austausches zwischen Betreibern, Interessierten und dem Besitzer der Webseite selbst.
- **Bundesverband Kleinwind e. V. (BVKW):** Der Verband verfügt über Expertise im Bereich Kleinwind und leistet politische Arbeit zur Etablierung von KWEA.
- **Vertriebsfirmen:** Diese haben in der Regel Anlagen von mehr als nur einem Hersteller im Angebot und können eine differenzierte Einschätzung über die Eignung einer Kleinwindenergieanlage an einem Standort geben.
- **„Ein Leitfaden – Empfehlungen zum Einsatz kleiner Windenergieanlagen im urbanen Raum“ der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin:** Der Leitfaden gibt einen umfangreichen Überblick über die Kleinwindtechnologie sowie über das Genehmigungsverfahren im Land Berlin.

³ Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) 2013: „Empfehlungen zum Einsatz kleiner Windenergieanlagen im urbanen Raum – Ein Leitfaden,“ Berlin.



EIN KURZER LEITFADEN FÜR DIE ANSCHAFFUNG EINER KWEA

Der hier vorgestellte Leitfaden stammt aus der Machbarkeitsstudie „Nutzung von Kleinwindenergieanlagen an Bildungseinrichtungen“ vom Reiner Lemoine Institut. Dieser befasst sich mit der technischen und organisatorischen Einbindung von KWEA, welche nicht im vollen Umfang in diesem Handbuch aufgeführt werden.

Für die Einbindung einer Kleinwindenergieanlage in den pädagogischen Kontext einer Schule müssen folgende Aspekte von der Schulleitung und dem weiteren in die Anschaffung der KWEA involvierten Personenkreis mitbedacht werden:

- Finanzieller Aufwand,
- Geeigneter Standort auf dem Gelände,
- Gesicherte Betreuung bzw. Zuständigkeit, d.h. ein vorhandenes Konzept zur Einbindung in den pädagogischen Kontext,
- Erreichbarkeit der Kleinwindenergieanlage für die Einbindung in den Unterricht, sowie
- Einbettung der Kleinwindenergieanlage in eine „Messumgebung“.

Das Ergebnis der Recherchen und des Austausches mit verantwortlichen Lehrkräften für ihre KWEA an verschiedenen Schulen hat ergeben, dass vor allem KWEA im unteren Leistungsbereich für den schulischen Kontext geeignet sind.

Bei der Auswahl der richtigen Anlage für den Unterricht sind weiterhin folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Gute Veranschaulichung des grundlegenden Aufbaus einer Windenergieanlage,
- Ausführliche Dokumentation der Technik und Bedienung sowohl der KWEA als auch des Wechselrichters (sofern vorhanden) seitens des Herstellers,
- KWEA in Kombination mit PV zur Veranschaulichung der Synergie,
- KWEA mit wenigen 100 W zur direkten Speisung von kleineren Verbrauchern wie Lampen oder Leuchten.

Bei der Auswahl stellt sich die Frage, ob Vertikal- oder Horizontalachsenanlagen ggf. besser geeignet sind. Diese Frage kann nicht eindeutig beantwortet werden, da es von den Vorstellungen bzw. dem Konzept der verantwortlichen Lehrerinnen und Lehrer abhängt, welche technischen Aspekte damit hervorgehoben werden sollen.

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen diese beiden unterschiedlichen Typen:



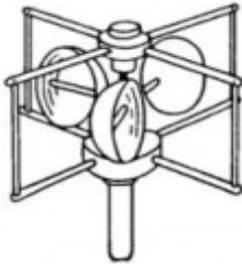
Abbildung 1: Veranschaulichung einer horizontalachsigen (links) und vertikalachsigen (rechts) KWEA



VOR- UND NACHTEILE DER VERTIKAL- UND HORIZONTALACHSIGEN KWEA

Diese beiden KWEA Typen haben sowohl hinsichtlich ihrer technischen Konstruktionen als auch bezüglich ihrer Eignungen zum Einsatz in Projekten oder im Unterricht unterschiedliche Vor- und Nachteile, die im Anschluss erläutert werden:

KWEA MIT VERTIKALER ROTORACHSAUSRICHTUNG



Vorteile: KWEA mit vertikal ausgerichteter Rotorachse sind aufgrund ihrer Robustheit gegenüber hohen Turbulenzen (Windrichtungsänderungen) besonders für dicht besiedelte Gebiete geeignet, in denen nur selten von einer gleichförmigen Anströmung auszugehen ist. Anlagen dieses Bautyps erreichen meist nur geringe Blattspitzengeschwindigkeiten, wodurch die Schallemissionen gering bleiben. Vertikale KWEA erfordern keine Windnachführung, sodass die direkte Nutzung der Energie auch bei schnellen und häufigen Wechseln der Anströmungsrichtung und Geschwindigkeit möglich ist.



Nachteile: Sie sind naturgemäß schwerer ausgeführt als Horizontalachser der gleichen Leistungsklasse, was i.d.R. mit höheren Preisen verbunden ist. Energetisch gesehen sind sie ineffizienter in der Umwandlung von kinetischer in elektrische Energie als Horizontalachser bei gleicher überstrichener Rotorfläche.

KWEA MIT HORIZONTALER ROTORACHSAUSRICHTUNG



Vorteile: Sie stellen den Großteil der am Markt befindlichen KWEA dar. Meistens verwenden die Hersteller (wie bei großen WEA) 3 Rotorblätter. Es gibt aber auch Bauformen mit zwei, vier oder fünf Rotorblättern. Sie haben eine kompakte Bauweise und sind effizienter als Vertikalachser. Außerdem ist das Betriebsverhalten der Anlagen deutlicher ruhiger, als das der vertikalen KWEA, da weniger strömungstechnische Störungen induziert werden.



Nachteile: Sie benötigen eine **Windnachführung** und reagieren, wenn passiv geführt (z. B. mit Windfahne), empfindlich auf schnell wechselnde Windrichtungen. Dadurch werden zusätzliche Schwingungen in die Tragstruktur eingeleitet. Dieser Effekt wird in dicht besiedeltem Gebiet mit hoher Umgebungsbebauung bzw. anderen Hindernissen verstärkt, weshalb horizontale KWEA im Stadtgebiet eher ungeeignet sind. Ihre recht hohen Schallemissionswerte überschreiten überdies oft die geltenden Grenzwerte (nach TA Lärm) und erschweren aufgrund genehmigungsrechtlicher Belange somit zusätzlich den Einsatz im bewohnten Gebiet.



Hier nochmals zwei kurze tabellarische Zusammenfassungen zur Übersicht zu den technischen Vor- und Nachteilen (Tabelle 2) und ihren Eignungen

Eigenschaften	Vertikale KWEA	Horizontale KWEA
Effizienz	mäßig	hoch
Windnachführung	nicht notwendig	verschiedene Konzepte
Toleranz/Schräganströmung	hoch	niedrig
Schallemissionen	gering	meist höher
Gewicht	vergleichsweise hoch	vergleichsweise niedrig
Kosten	vergleichsweise hoch	vergleichsweise niedrig

Tabelle 1: Zusammenfassung der Vor- und Nachteile von vertikalen und horizontalen KWEA

	Horizontale KWEA	Vertikale KWEA
Repräsentanz der Windenergie	Hoher Wiedererkennungswert, allein schon mit einem dreiblättrigen Rotor	Wird in der Öffentlichkeit gelegentlich als Kunst verstanden
Bauliche Struktur	Beide Varianten verfügen über Rotor, Generator, Sicherungssysteme, Turm/Mast, Fundament/Anbindung KWEA reagieren aufgrund ihrer geringen Trägheit sehr gut auf Windgeschwindigkeitsänderungen	
Vergleichbarkeit zur WEA	Selten aktive Regelungssysteme in Verwendung: passive Windnachführung, passive Rotorblattverstellung > geringere Komplexität	Keine Windrichtungsnachführung, Einfluss von Turbulenzen und Schräganströmung nicht vergleichbar mit WEA
Eigenheiten	Teils erhöhte Geräuschemissionen Unruhiges Betriebsverhalten durch passive Windrichtungsnachführung	Teils erhöhte Schwingungsprobleme Optik Energieerzeugung gering Kommt mit turbulenten Windverhältnissen klar

Tabelle 2: Pro und Contra von horizontalen und vertikalen KWEA bei der Einbindung in den Unterricht

Im Folgenden werden nun einige KWEA vorgestellt, die aufgrund ihrer Leistungsklasse und der vergleichsweise geringen Investitionskosten für die Aufstellung an Schulen geeignet sind. Die Erfahrungen der befragten Lehrkräfte haben gezeigt, dass kleine horizontale KWEA priorisiert werden sollten, da diese:

- aufgrund ihrer Größe vergleichsweise geringen Genehmigungsaufwand erfordern,
- ihr Betrieb sich als zuverlässig herausgestellt hat und
- der Wiedererkennungswert für die Schüler höher ist.

Nichtsdestotrotz wird für mögliche Beispielanlagen zur pädagogischen Nutzung auch eine vertikale KWEA aufgeführt, um einen allgemeinen Überblick zu geben.



BEISPIELANLAGEN

Im Folgenden werden einige Kleinwindenergieanlagen vorgestellt, die für den Einsatz an Schulen in Frage kommen. Sie zeichnen sich durch kleine Rotoren, geringe Nennleistung und geringe Nabenhöhen aus. Dies hat den Vorteil eines reduzierten Genehmigungsprozesses sowie einer vergleichsweise einfachen Handhabung während des Betriebs. Weitere Anlagen sind entsprechenden Marktübersichten und Internetseiten zu entnehmen:

- Catalogue of European Urban Wind Turbine Manufacturers des WINEUR-Projekts
- Catalogue of Small Wind Turbines des Nordic Folkecenter for Renewable Energy
- BWE-Marktübersicht Spezial Kleinwindenergieanlagen vom Bundesverband WindEnergie e. V.
- www.kleinwindanlagen.de

AMPAIR 100 X 0,9

Die Anlage kommt von der Firma Ampair aus Großbritannien. Hierbei handelt es sich um einen **Luvläufer** mit Windfahne. Der Rotor befindet sich demnach vor dem Turm. Die Windnachführung erfolgt passiv mit einer Windfahne (siehe Abbildung 2). Die Anlage verfügt über einen Permanentmagnetgenerator, der bei Kleinwindenergieanlagen am häufigsten verwendet wird. Des Weiteren verfügt die Anlage aus Sicherheitsgründen über einen elektrischen Überdrehzahlschutz, d.h. die Anlage wird bei zu hohen Drehzahlen gedrosselt. Die KWEA wird häufig mit einem PV-Modul kombiniert und wird z. B. auf Yachten oder in anderen Off-Grid-Bereichen angewendet.



Abbildung 2:
Horizontalachser der Firma
Ampair

Kenngrößen

Nennleistung	100 W
Rotordurchmesser	0,93 m
Blattanzahl	6
Einschaltwindgeschwindigkeit	3,5 m/s
Nennwindgeschwindigkeit	15 m/s
Nabenhöhe	12,5 m
Überlebenswindgeschwindigkeit	> 60 m/s
Preis	777 €

Tabelle 3: Technische Angaben zur Ampair 100 x 0,9



JETPRO

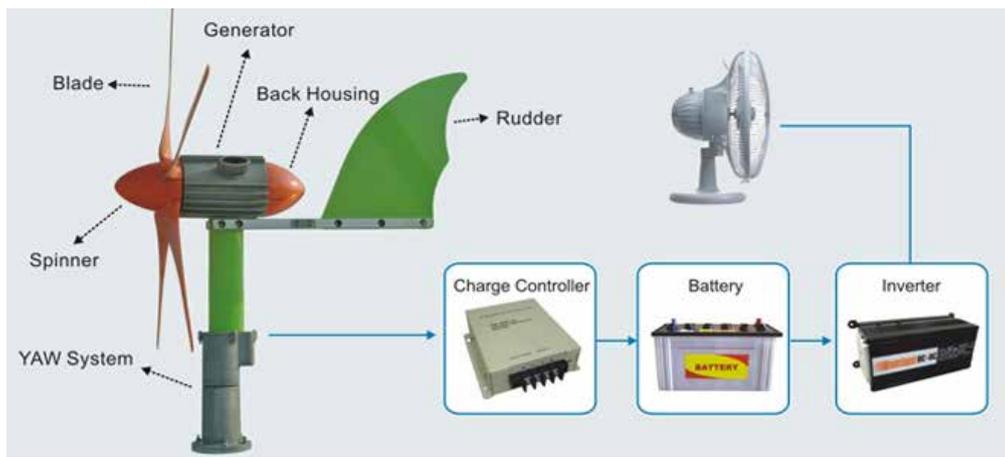


Abbildung 3: JPT-100 im Anwendungsbeispiel als Batterielader, zur Versorgung von elektrischen Verbrauchern

Die Anlage stammt vom Hersteller **Jetpro Technology** aus Taiwan. Bei der JPT-100 handelt es sich um die KWEA, die auf dem Dach des Brandis-Gymnasiums in Sachsen (Kooperationsschule im Projekt) angebracht wurde (vgl. Abbildung 3). Die Anlage verfügt ebenfalls über einen Permanentmagnetgenerator und kann, wie es in Brandis auch der Fall ist, mit einem PV-Modul kombiniert und als Hybridanlage genutzt werden. Zusätzlich wird eine Batterie mit entsprechender Laderegulung hinzugefügt, um die z. B. tagsüber gewonnene elektrische Energie abends oder nachts für Beleuchtungszwecke zu nutzen.

Kenngrößen

Nennleistung	100 W
Rotordurchmesser	0,68 m
Blattanzahl	5
Einschaltwindgeschwindigkeit	3 m/s
Nennwindgeschwindigkeit	12 m/s
Nabenhöhe	Variabel
Abschaltgeschwindigkeit	20 m/s
Preis (in Kombination mit 100 W PV, siehe Abbildung 3 [Interview mit John Deere Vertriebler])	2.800,- €

Tabelle 4: Technische Angaben zur JPT-100



VK 50 – AMPERIUS



Abbildung 4: VK 50 Amperius

Die Anlage ist vom Hersteller **KD Stahl- und Maschinenbau GmbH** aus Deutschland. Dessen Sortiment beinhaltet Amperius Anlagen mit vertikaler Rotorachsausrichtung verschiedener Größen (vgl. Abbildung 4). Sie verfügen über integrierte Sicherheitscontroller mit Drehzahlüberwachung. Eine selbstständige Leistungsbegrenzung bei Starkwind fungiert als Schutzsystem. Die KWEA sind mit Permanentmagnetgeneratoren ausgestattet und haben Nennleistungen von 200 W bis 5 kW .

Kenngrößen

Nennleistung	860 W
Rotordurchmesser	1,90 m
Blattanzahl	3
Einschaltwindgeschwindigkeit	2,5 m/s
Max. Leistung	1100 Watt bei 13 m/s
Masthöhe	9 m/ 18 m
Abschaltgeschwindigkeit	16 m/s
Preis (für Bruttokunden)	4.150,- €

Tabelle 5: Technische Angaben VK 50 – Amperius



Der Erfolg eines Kleinwindprojektes hängt auch von einem guten Überblick über sämtliche Aspekte und chronologischen Schritte zur Umsetzung des Gesamtprojektes ab. Dies ist wichtig sowohl für die Aufstellung der Kleinwindenergieanlage als auch für ihren sinnvollen Einsatz im Unterricht und für einen nachhaltigen Betrieb. Die folgende Abbildung verdeutlicht die wichtigsten Punkte hinsichtlich ihres chronologischen Ablaufs. Auch wenn Abweichungen auftreten können, eignet sich diese Ablaufdarstellung für eine erste grundlegende Orientierung.

SCHEMATISCHER ABLAUF EINES KWEA-PROJEKTS AN EINER SCHULE

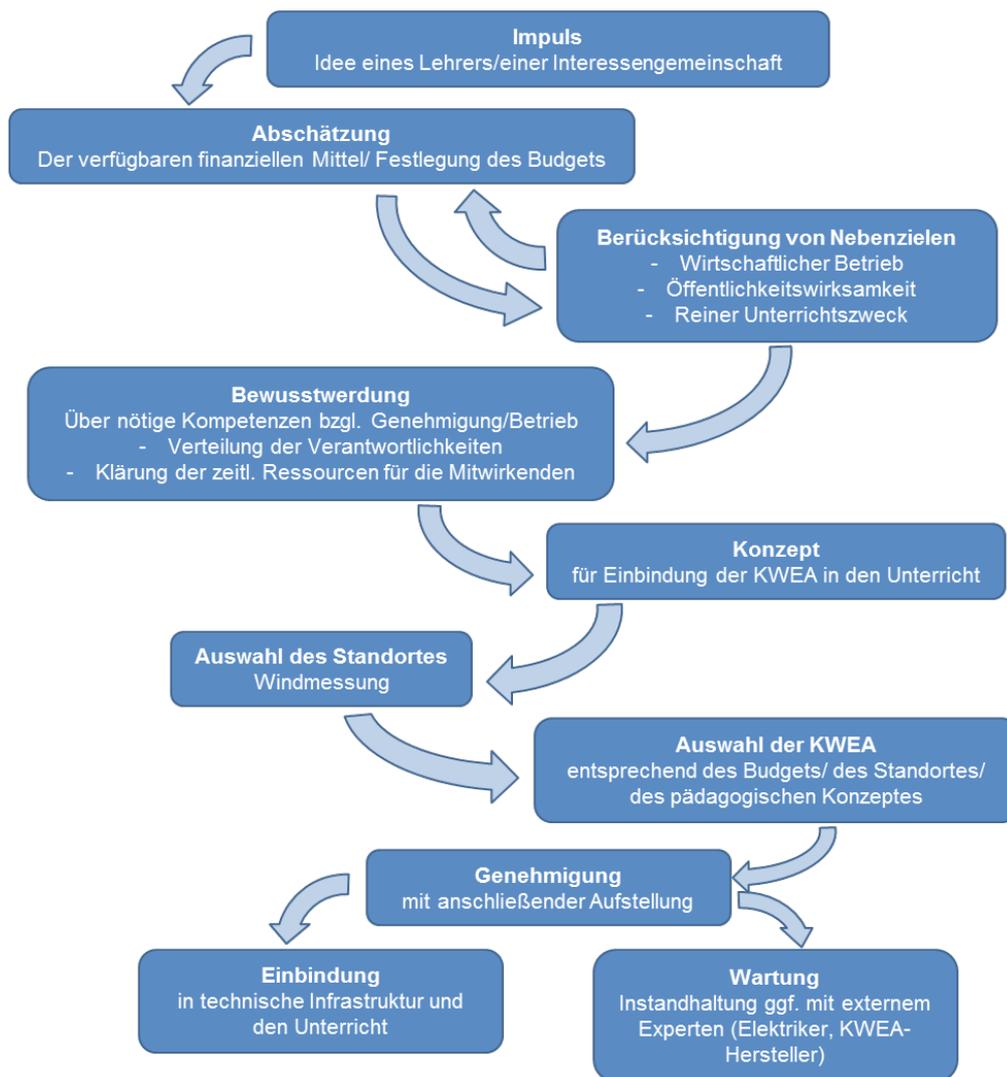


Abbildung 5: Schematischer Ablauf eines KWEA-Projektes (für Vollständigkeit wird nicht garantiert)

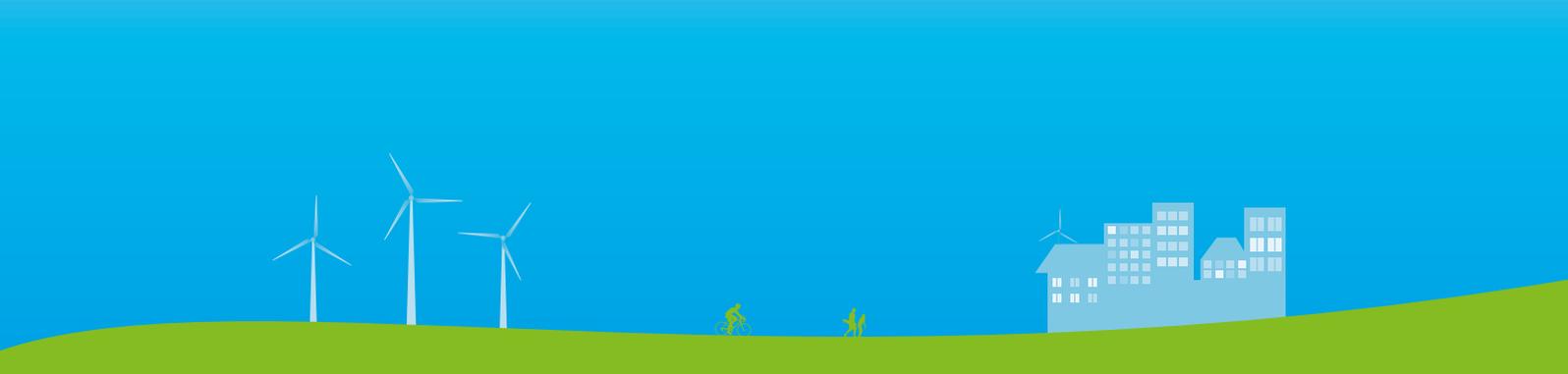


4

EE-SCHULE

STRUKTUR DER
PÄDAGOGISCHEN
EINBINDUNG





4 STRUKTUR DER PÄDAGOGISCHEN EINBINDUNG

Die Schwerpunkte dieser Unterrichtseinheiten liegen auf der **mehrperspektivischen** Einbindung von Windenergie und erneuerbaren Technologien in den Unterricht⁴ und sind geeignet für Klassenstufen der Sek 1 und Sek 2. Entsprechend des mehrperspektivischen Ansatzes in der Technikdidaktik bzw. im Technikunterricht unterscheiden wir dabei in die **Sachperspektive** (mögliche Fächer: Physik, Chemie, Wirtschaft Arbeit Technik, Naturwissenschaften, Natur und Technik), in eine **human-soziale Perspektive** (mögliche Fächer: Wirtschaft Arbeit Technik, Politische Bildung, LER – Lebensgestaltung, Ethik, Religion, Wirtschaft und Recht, Umwelt und Umweltschutz, Berufsorientierung) und in eine **Sinn- und Wertperspektive** (Fächer: Politische Bildung, Ethik, Umwelt).

Hierin spiegelt sich die Überzeugung wider, dass für einen Unterricht, der „Transformationswissen“ vermitteln möchte, (1) **Systemwissen** d. h. Kenntnisse darüber, wie Technik, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft im Rahmen unseres Energiesystems zusammenspielen, notwendig sind. Weiterhin bedarf es (2) **Zielwissen**, also Vorstellungen über das konkrete Ziel einer gesellschaftlichen Transformation (z. B. 100 Prozent Erneuerbare Energien, „Mix“ verschiedener regenerativer Energien, notwendiges Energieeinsparvolumen bis 2050) und (3) **Transformationswissen**, also Wissen darüber, wie Veränderungen herbeigeführt werden können, indem konkrete Prozesse auf lokaler Ebene aufgezeigt bzw. diskutiert werden.⁵

Diese Form des Unterrichts lässt sich gut in den Fächer Physik, Elektrotechnik, Umwelttechnik, Naturwissenschaften, aber auch in der Sozialkunde, in der Ethik, für die Berufsvorbereitung und in den Politikwissenschaften einsetzen.

Die Themen der einzelnen Einheiten werden hinsichtlich der naturwissenschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Grundlagen und Probleme mit einem allgemeinen oder spezifischen Text erläutert. Zudem werden unterstützende Materialien in Form von Videos, Informationsmaterial und Onlinetools angegeben.

Wir beginnen zunächst mit der Sachperspektive pädagogischer Vorschlägen rund um die Einbindung von Windkraftanlagen, die tendenziell eher für weiterführende oder berufsbildende Schulen geeignet sind. Im Fokus stehen dabei verschiedene Aspekte einer Kleinwindenergieanlage, die den Betrieb, die Emissionen, den Standort, sowie die Energieerzeugung betreffen. Für die Vermittlung der Themen wird jeweils mit einer Beschreibung zu den Unterrichtsvorschlägen, mit einem kurzen Einblick in das wichtigste Hintergrundwissen begonnen. Außerdem werden Videovorschläge zur Veranschaulichung der Problematik gemacht, die den Schülerinnen und Schülern (nachfolgend mit SuS abgekürzt) präsentiert werden können. Es muss in diesem Rahmen erwähnt werden,

4 Vgl. Bienhaus, W. (2008): Technikdidaktik – der **mehrperspektivische** Ansatz, München.

5 Vgl. Schneidewind, U.; Singer-Brodowski, M. (2013) Transformative Wissenschaft: Klimawandel im deutschen Wissenschafts- und Hochschulsystem, Marburg



dass das hier angebotene Theoriewissen einen ersten groben Einblick gibt. Für eine intensivere Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Thema wird aus diesem Grunde weiterführende Literatur empfohlen.

Folgende Literatur eignet sich für einen ersten inhaltlichen Zugang zum Thema:

- Amme und Benesch et al.(2013): Empfehlungen zum Einsatz kleiner Windenergieanlagen im urbanen Raum - Ein Leitfaden, Verfügbar unter:
http://kleinwind.htw-berlin.de/website/fileadmin/data/Download/Kleinwind_Handlungsempfehlungen_HTW-Berlin.pdf
- Robert Gasch, Jochen Twele (Hrsg.) (2011): Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb, 7.Aufl. Wiesbaden.
- Reiner Lemoine Institut gGmbH (2015), „Kleinwindenergieanlagen, die Genehmigungslage in Deutschland und deren Einsatz an Bildungseinrichtungen,“
<http://www.ufu.de/de/projekte/ee-schule-evaluation-solarer-schulprojekte-und-machbarkeitsstudie-windenergie-an-bildungseinrichtungen.html>

Vor dem Einstieg in die spezifischen Aspekte von kleinen Windkraftanlagen empfiehlt es sich, mit den SuS noch einmal das Verständnis der drei Größen Energie, Leistung und Wirkungsgrad zu wiederholen. Je nach Möglichkeiten vor Ort und je nach Wissensstand der SuS sollten die Unterrichtsvorschläge nach eigenem Ermessen der Lehrkräfte angepasst und zusammengelegt werden.

Im Anschluss an diese Einheit gibt es Unterrichtsbeispiele, für die nicht unbedingt eine Windkraftanlage an der Schule notwendig ist.

Darüber hinaus werden explizit auch Möglichkeiten der pädagogischen Nutzung des Themas für sozial- und geisteswissenschaftliche Fächer wie z. B. Politikwissenschaft bzw. Politische Bildung, Sozialwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften sowie für den Bereich Wirtschaft-Arbeit-Technik vorgestellt.

Ergänzend verweisen wir auch auf die Zusammenstellung weiterer bereits erprobter Unterrichtskonzepte, die unter dem Titel „Erneuerbare Energien in der Schule – Windenergie und die Rolle der Erneuerbaren Energien in der Energiewende“ von uns zusammengefasst wurden.

Sowohl diese Zusammenstellung als auch alle Arbeitsblätter zu den Unterrichtsvorschlägen in diesem Handbuch sind auf unserer Projekthomepage unter dem Link <http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/EE-Schule/Unterrichtsmaterial%20EE%20Schule.pdf> zu finden. Darüber hinaus haben wir in den jeweiligen Unterrichtsvorschlägen einen Link eingefügt, der Sie direkt zu dem passenden Arbeitsblatt führt.

Zum Abschluss dieses Handbuch haben wir exemplarisch eine Liste mit außerschulischen Lerneinrichtungen für die Regionen Berlin Brandenburg und Sachsen zusammengestellt, die von Schulen und Bildungseinrichtung besucht werden können.



EINTEILUNG DER UNTERRICHTSEINHEITEN

Wie einführend beschrieben, wurden die Unterrichtseinheiten je nach Schwierigkeitsgrad unterschieden. Hierbei wird zwischen einführend (blau), weiterführend (rot) und vertiefend (schwarz) differenziert.

RAHMENLEHRPLANEINBINDUNG

Die detaillierte Rahmenlehrplaneinbindung, die der Beschreibung der jeweiligen Unterrichtsmodule vorangestellt wird, bezieht sich auf die Lehrpläne für Berlin (BE) und Brandenburg (BB). Hierbei werden die Module in Sek I (7/8, 9/10, 7/10) und Sek II (11/12) unterteilt.

Die Lehrpläne befinden sich unter <https://www.berlin.de/sen/bildung/unterricht/fach-rahmenlehrplaene/rahmenlehrplaene/> für Berlin und <http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/unterricht/rahmenlehrplaene/> für Berlin und Brandenburg.

Für alle anderen Bundesländer haben wir nachfolgend eine exemplarische Übersicht gestaltet, die es Ihnen ermöglicht eine Lehrplanverortung der jeweiligen Themen selbst vorzunehmen.



Jahrgangstufe 7/10

Jahrgangstufe 11/12

Naturwissenschaften

(Physik, Chemie, Informatik, Biologie, Wirtschaft-Arbeit-Technik [WAT], Elektrotechnik, Erneuerbare Energien, Umwelttechnik)

Rohstoffe: Fossile und regenerative Energieträger

Wind: Windenergie, Ertragsprognose, erzeugte Leistung, Wirkungsgrad, Verluste, Datenauswertung

Mechanik: Luftströmung, Luftauftrieb, Schwingungen, Schall

Elektrizitätslehre: Elektrische Bauteile (Transformator, Generator, Umrichter), Stromnetz, Elektromobilität, Smart Grid

Wetterkunde und Standortfaktoren

Nachhaltigkeit: Lebenszyklusanalyse (Herstellung, Recycling, Nutzung)

Umwelt: Klima, Treibhausgase, CO₂-Fußabdruck

Informatik: Nutzen von Tabellenkalkulationsprogrammen und Videoprogrammen

Energie: Umwandlung, Transport, Thermodynamische Hauptsätze

Experimentieren und Dokumentieren

Elektrizitätslehre: Stromkreislauf, Schaltungen

Arbeitstechniken: Karten, Bild- und Sachquellen, Internetnutzung, Schaubilder und Diagramme, Präsentationen mit Software, Referate

Speicher: Batterietechnik

Energiesysteme: Photovoltaik, Geothermie, Windkraft

Aufbau und Bestandteile einer Windkraftanlage

Informatik: Nutzen von Tabellenkalkulationsprogrammen und Videoprogrammen

Experimentieren und Dokumentieren

Arbeitstechniken: Karten, Bild- und Sachquellen, Internetnutzung, Schaubilder und Diagramme, Präsentationen mit Software, Referate



Jahrgangstufe 7/10

Jahrgangstufe 11/12

Geographie

Rohstoffe: Ressourcenvorkommen

Raumstruktur: Urbane Raumplanung und Entwicklung

Klimawandel, Wetterkunde und Standortfaktoren

Windenergie in Entwicklungsländern

Nachhaltige Entwicklung auf lokaler und globaler Ebene

Arbeitstechniken: Karten, Bild- und Sachquellen, Internetnutzung, Schaubilder und Diagramme, Präsentationen mit Software, Referate

Arbeitstechniken: Karten, Bild- und Sachquellen, Internetnutzung, Schaubilder und Diagramme, Präsentationen mit Software, Referate

**Sozialkunde
(Wirtschaftswissenschaft, Wirtschaft-Arbeit-Technik [WAT], Politikwissenschaft, Sozialwissenschaft, Ethik (Philosophie), Lebensgestaltung-Ethik-Religion [LER])**

Eigene Zukunft: Berufs- und Lebenswegplanung

Ökonomie: Wirtschaftsformen, Funktionsweise (Preisbildung), Instrumente (Staatliche und unternehmerische Eingriffe)

Nachhaltig Wirtschaften: Energieträger, Energiebereitstellung, Einsparpotenziale

Unternehmerisches Handeln: Planungsspiel eines Windparks, gesellschaftliche Verantwortung, Bürgerbeteiligung, Berücksichtigung ökologischer Faktoren

Mensch und Umwelt: Umweltbelastungen, Umweltschutz

Soziale Marktwirtschaft: Wirtschaftspolitik, Umweltpolitik, Nachhaltigkeit

Arbeitstechniken: Karten, Bild- und Sachquellen, Internetnutzung, Schaubilder und Diagramme, Präsentationen mit Software, Referate

Wirtschaft, Gesellschaft, Politik im internationalen System: Bewältigung der Folgen der Globalisierung, Ressourcenverteilung

Arbeitstechniken: Karten, Bild- und Sachquellen, Internetnutzung, Schaubilder und Diagramme, Präsentationen mit Software, Referate, Planungs- und Rollenspiele, Interviewtechniken



Jahrgangstufe 7/10

Jahrgangstufe 11/12

Mathematik

Grundrechenarten: Gleichungen lösen, Potenzrechnung

Grundrechenarten: Differenzieren, Trigonometrische Additionstheoreme

Physikalische Größen kennen und umrechnen

Physikalische Größen kennen und umrechnen

Daten erfassen, auswerten und bewerten

Daten erfassen, auswerten und bewerten

Deutsch

Texte verfassen

Rollenspiele

Recherchetechniken

Recherchetechniken

Präsentationsformen

Präsentationsformen

Mediennutzung

Mediennutzung

Fachbegriffe

Fachbegriffe

Interviewtechniken



5.

EE-SCHULE SACHPERSPEKTIVE



5.1 UNTERRICHTSEINHEITEN BZW. PÄDAGOGISCHE KONZEPTE ZUR HINFÜHRUNG ZUM THEMA

5.2 UNTERRICHTSEINHEITEN BZW. PÄDAGOGISCHE KONZEPTE ZUR ERARBEITUNG DER GRUNDLAGEN VON KLEINWIND-ENERGIEANLAGEN

5.3 UNTERRICHTSEINHEITEN BZW. PÄDAGOGISCHE KONZEPTE ZUR NUTZUNG VON BESTEHENDEN KLEINWINDENERGIEANLAGEN

5.4 UNTERRICHTSEINHEIT ZUR BETRACHTUNG VON GESAMTSYSTEMEN

5.5 UNTERRICHTSEINHEIT ZUR BETRACHTUNG DER ENERGIEWENDE MIT DEM FOKUS AUF DAS STROMNETZ



5 SACHPERSPEKTIVE

Die Sachperspektive fokussiert auf die **physikalischen und technischen Aspekte** der erneuerbaren Energien bzw. der Windenergie. Schülerinnen und Schülern sollen sich in diesem Kontext den technischen Sachverstand für Windenergie aneignen, um später weiterführende Probleme aus den Bereichen der Integration und Umwelt auch aus technischer Sicht verstehen und bewerten zu können. Hierbei werden die naturgesetzlichen Voraussetzungen der energetischen Umwandlung, die Funktionsabläufe sowie die technischen Konstruktionen der Windenergieanlagen bzw. Kleinwindenergieanlagen behandelt.

5.1 UNTERRICHTSEINHEITEN BZW. PÄDAGOGISCHE KONZEPTE ZUR HINFÜHRUNG ZUM THEMA



5.1.1 ENERGIE: DEFINITION, ENERGIEFORMEN, UMWANDLUNG, ENERGIEWIRTSCHAFT, EE- TECHNOLOGIEN (SEK I)

1

Rahmenplaneinbindung: Chemie (BE) (7-8 > W4, P3, 7-10 > WP5); Physik (BE) (7-8 > P3, P7, 7-10 > WP5, 3.11); WAT (BE) (7-10 > WP7); Geographie (BE/BB) (9-10 > 3.5, 4.2-3)

i

Allgemein: Der abstrakte Begriff Energie ist ohne weitere Kenntnisse über die physikalischen Eigenschaften nur schwer zu begreifen. Um die Abläufe von energietechnischen Prozessen zu verstehen, ist ein grundlegendes Verständnis notwendig. Dieses Verständnis beginnt bereits bei der Definition von Energie, die durch Energieformen, dem Prinzip der Erhaltung, den Umwandlungsketten, thermodynamischen Hauptsätzen und der physikalischen Einheit bestimmt wird. Energiewirtschaftliche Einteilungen der Energie in Primär-, End- und Nutzenergie und das Wissen über die Entstehung und die Endlichkeit von fossiler Energie sowie Kenntnisse über erneuerbare Energietechnologien bilden eine gute Basis, um sich weiterführend mit energietechnischen Aspekten auseinandersetzen zu können.

*

Lernziele und Kompetenzen: Grundlegendes Verständnis des Begriffs Energie. Schülerinnen und Schüler verbessern ihre Fähigkeit, Lerninhalte selber zu erarbeiten und präsentieren sich diese mit anschaulichen Mitteln gegenseitig.

▶

Auswahl an Videos:

- Kleiner Einstieg mit einem Film aus Wissenschaft im Dialog: „Was ist Energie?“
<https://www.youtube.com/watch?v=2qFLhKayuyQ> [1]

Medienauswahl:

- Broschüre „Was ist Energie?“ aus dem BINE Informationsdienst (2016):
http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Basis_Energie/Basis_Energie_Nr._15/Basis_15_internetx.pdf [Zugriff am 04.08.2016]
- Lernsequenzen – Unterrichtsmaterialien des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft zum Thema Energie/Sekundarstufe 1 (Autoren: Prof. Dr. Joachim Grewe und Eckhard Schulz) zum Thema Energie (2016):
<http://www.energie-macht-schule.de/> [Zugriff am 04.08.2016]
- Informationsmaterial zu einzelnen EE Technologien ist verfügbar unter dem BINE Informationsdienst (2016):
<http://www.bine.info/publikationen/basisenergie/> [Zugriff am 04.08.2016]



Dauer	Beschreibung	Material
15 min.	Einstieg in das Thema mit einer kleinen Umfrage mittels einer Soziometrie (Erläuterung in Kapitel 4.3) zum Thema „Was ist Energie?“ Ergänzung durch einen kleinen Film aus der Reihe „Wissenschaft im Dialog“	Siehe vorstehenden Link zum Film [1]
30 min.	Schülerinnen und Schüler bilden vier Arbeitsgruppen und bearbeiten mit zuvor zusammengestellten Arbeitsmaterialien die folgenden Themenschwerpunkte:	
	1. Was ist Energie? (Definition, Erhaltung, Hauptsätze, Einheit)	Informationsmaterial: http://bit.ly/2f4v2Yb
	2. Umwandlung (Energieform, Entwertung, Entropie/Exergie)	Informationsmaterial: http://bit.ly/1Qtln84 Entropie/Exergie: http://bit.ly/1LAoSCE
	3. Energiewirtschaft (Primär-, Sekundär-, End- und Nutzenergie, „Energieverbrauch der Sektoren“, Definition Wirkungsgrad)	Informationsmaterial: http://bit.ly/1Qtln84
	4. Fossile Energieträger (Formen, Entstehung, Reserven, „Verbrauch“)	Informationsmaterial: http://bit.ly/1Qtln84 Jens Eggert: Fossile und erneuerbare Energien: Ressourcen – Umwelt – Technik. Kapitel II. Persen. 1. Auflage. 2008.
10 min.	Präsentationsvorbereitung	Karteikarten, Papier, Filzstifte, Eddings, Plakate, Tafel
20 min.	Präsentation der Gruppen (ca. 5 min. pro Gruppe)	
10 min.	Klärung offener Fragen und Feedback	
5 min.	Die vier Arbeitsgruppen erhalten Material zu EE-Technologien und recherchieren hierzu in Form einer Hausaufgabe mit anschließendem Vortrag. Beispiele für zu recherchierende Themen: 1. Solarenergie 2. Bioenergie 3. Wasserkraft 4. Geothermie Die Themenschwerpunkte hierbei beinhalten a. Entstehung b. Nutzung c. Einbindung in das bestehende Energieversorgungssystem	



5.1.2 WINDENERGIE: KOMPONENTEN, ENERGETISCHER FLUSS, VERLUSTE (SEK I)

1

Rahmenplaneinbindung: Geschichte (BE) (7-8 > 5); Physik (BE) (7-8 > P1, P3, W1, W3, 9-10 > P2, W2, 7-10 > WP1, WP5, 3.4, 3.9, 3.11);



Allgemein: Im Rahmen der unterrichtlichen Vermittlung des Themas Windenergie sind neben den physikalischen Grundlagen der technische Aufbau und der Weg vom Wind ins Stromnetz wichtig. Hierbei spielt besonders das „Innenleben“ der Turmgondel eine entscheidende Rolle. Der Wirkungsgrad wird durch den maximalen Betz'schen Leistungsbeiwert von ca. 59% begrenzt. Dieser betrachtet die maximale Menge an Energie, die dem Wind entnommen werden kann, bevor dieser zu stark abgebremst wird. Jedoch werden in diesem Kontext die Verluste und Wirkungsgrade der mechanischen und elektrischen Komponenten, die zwischen dem Wind und dem Stromnetz liegen, nicht berücksichtigt, obwohl diese einen wesentlichen Einfluss auf den Wirkungsgrad haben.



Lernziele und Kompetenzen: Veranschaulichung des globalen Windsystems in seiner Entstehung und deren Auswirkungen, technischer Aufbau einer WEA, Ausführungsvarianten, Energieflussbild. Schülerinnen und Schüler verbessern ihre Fähigkeit Lerninhalte selber zu erarbeiten und diese dann mit geeigneten Mitteln zu präsentieren.



Medienauswahl

- Website einer Schüler AG des Rechberg-Gymnasiums Donzdorf zum Thema Windkraft (2016):
<http://windenergie-rgd.jimdo.com/> [Zugriff am 04.08.2016]
- Online Learning Tool des UfU zum Thema Windkraft (2016):
http://ufu.moodle-kurse.de/pluginfile.php/78/mod_resource/content/1/Wind_20120828_start.htm [Zugriff am 04.08.2016]
- BINE-Informationdienst Energieforschung für die Praxis zum Thema Windenergie (2016):
www.bine.info/publikationen/publikation/windenergie/ [Zugriff am 04.08.2016]
- Informationen des Bundesverband WindEnergie zum Thema Kleinwind (2016):
<https://www.wind-energie.de/themen/kleinwind> [Zugriff am 04.08.2016]



Dauer	Beschreibung	Material
15 min.	Einheit zum Thema Wind: Entstehung, globale Zirkulation, lokale Windsysteme, Kennenlernen von Windstärken über die Beaufortskala	Film: http://bit.ly/1oR9ePI (bis min. 7:08) Beaufortskala http://www.bodensee-news.ch/wind.html
15 min.	Geschichte der Windkraft sowie Veranschaulichung unterschiedlicher Nutzungen der kinetischen Energie – von Pumpenmühlen bis zur Stromwandlung.	Film: http://bit.ly/1LWDGgB (bis min. 6:23)
30 min.	Schülerinnen und Schüler bilden drei Arbeitsgruppen und bearbeiten mit zuvor zusammengestellten Arbeitsmaterialien die folgenden Themenschwerpunkte:	
	1. Aufbau (Komponenten, Luv/Leeläufer)	Aufbau http://bit.ly/1QNxDfx http://bit.ly/1tvKlvF Luv/Leeläufer http://bit.ly/1QtoUTV Bildmaterial von BINE: http://bit.ly/24D6y8Z Arbeitsblatt 1: Aufbau einer Windkraftanlage, Seite 19 unter http://bit.ly/2ek4Jfd
	2. Parameter (Leistungsbeiwert, Schnelllaufzahl (Langsamläufer/ Schnellläufer, Veränderung durch Blattanzahl), Auftriebs- und Momentenbeiwert (Gleitzahl)	Parameter: http://bit.ly/1VQwND6 Bildmaterial von BINE: http://bit.ly/24D6y8Z Arbeitsblatt: Auftriebs- und Widerstandsprinzip Arbeitsblatt: Betz und Leistungsentnahme http://bit.ly/1KjKMdg
	3. Leistungsfluss (Aerodynamische Verluste (Tip, Profil, Drall), Energieflussbild mit Verlustfaktoren	Arbeitsblatt 2: Leistungsfluss und Verluste der Windenergieumwandlung, Seite 22 unter http://bit.ly/2ek4Jfd
10 min.	Präsentationsvorbereitung	Karteikarten, Papier, Filzstifte, Eddings, Plakate, Tafel
20 min.	Präsentation der Gruppen	



5.2 UNTERRICHTSEINHEITEN BZW. PÄDAGOGISCHE KONZEPTE ZUR ERARBEITUNG DER GRUNDLAGEN VON KLEINWINDENERGIEANLAGEN

EINE KWEA IST FÜR DIESE UE NICHT ERFORDERLICH

Die Schwerpunkte dieser Einheiten liegen auf der **sachperspektivischen** Einbindung von Kleinwindanlagen in den Unterricht und sind geeignet für Klassen der Grundschule/Sek 1 (5.–8. Klassenstufe) und Sek 1 + 2 (9.–12. Klassenstufe). Zur Einbindung in den Unterricht sind die Fächer Physik, Elektrotechnik, EE, Umwelttechnik und Naturwissenschaften vorteilhaft.

Die Themen der einzelnen Einheiten werden mit einem allgemeinen oder spezifischen Text hinsichtlich der naturwissenschaftlichen Grundlagen und möglicher Probleme erläutert. Zudem werden unterstützende Materialien in Form von Videos und Online-tools angegeben. Das zusätzliche Unterrichtsmaterial, das in der Spalte Material genannt wird, findet sich in Form von Arbeitsblättern, Exceltabellen und Foliensätzen auf der UfU Projektseite zu „EE Schule“ unter

<http://www.ufu.de/de/projekte/ee-schule-evaluation-solarer-schulprojekte-und-machbarkeitsstudie-windenergie-an-bildungseinrichtungen.html>

Im Kontext der Materialhinweise werden Arbeitsblätter mit AB und Foliensätze mit FS abgekürzt.

Für eine bessere Übersicht werden zunächst die Unterrichtseinheiten für die Grundschule bzw. Sek 1 erklärt und im Anschluss die Einheiten für die Sek 1 + 2. Die Unterscheidung basiert auf dem Schwierigkeitsgrad der technischen Grundlagen und Auswertungen.



5.2.1 GRUNDLAGEN KWEA UND KWEA IM SYSTEM: KENNENLERNEN DER DEFINITION UND VARIANTEN VON KLEINWINDENERGIEANLAGEN (SEK I)

3

Rahmenplaneinbindung: Physik (BE) (7-10 > WP5); WAT (BE) (7-10 > WP7);
Geeignet für folgende Fächer: Physik, EE, Umwelttechnik, Geographie, Wirtschaft-Arbeit-Technik

1

Allgemein: Kleinwindenergieanlagen (KWEA) dienen in der Regel der gewerblichen oder haushaltsbezogenen Deckung des Strombedarfs oder der Einspeisung in das Stromnetz, mit entsprechender Vergütung. Da die Anlagen nicht zwangsläufig auf freiem Gelände und nicht mit der größtmöglichen Leistung installiert werden, existieren Varianten, die an den Strombedarf und an die Windverhältnisse am jeweiligen Standort angepasst sind. Daher unterscheiden sich einige KWEA in ihrer Bauform und hinsichtlich ihrer Leistungsklassen.

Es gibt keine feste Definition für KWEA. Der Bundesverband Windenergie hat eine leistungsorientierte Einordnung der Anlagen vorgenommen und aus verschiedenen Regelungen können weitere Einordnungen abgeleitet werden (siehe AB Definitionen_KWEA). Die gängigen KWEA sind horizontal ausgelegt, d.h. die Rotorebene dreht sich um die horizontale Achse. Es existieren auch Varianten, die sich um die vertikale Achse drehen. Diese sind im Allgemeinen robuster und weniger windanfällig, weisen jedoch einen geringeren Wirkungsgrad auf als die horizontalen Anlagen. Bauform und Leistungen unterscheiden sich von Fall zu Fall. Entscheidend für die Wahl der jeweiligen KWEA sind der Standort, die Nutzung, die Sicherheit, der Ertrag und die Kosten der Anlage.

*

Lernziele und Kompetenzen: SuS lernen Definitionen und Varianten von Kleinwindenergieanlagen mit ihren Vor- und Nachteilen kennen. Sie erkennen, dass das Abwägen und Abschätzen von geeigneten KWEA für unterschiedliche Standorte und Nutzungsbedingungen von vielen Faktoren abhängt.

▶

Videovorschlag zur Einführung:

- Kleinwindenergieanlagen MDR Einfach genial 29.05.2012
<https://www.youtube.com/watch?v=xYxQ8fsyL4U>

Stichworte zum Film:

Kleinwindanlagen
 Horizontalanlage
 Notwendige Leistung für einen Haushalt
 Wechselrichter
 Baugenehmigung
 Windhöufigkeit von Standorten



Weiterführende Links/Internetseiten

- Broschüre „Kleinwindanlagen: Fakten zur Nutzung von Windenergie im Kleinen“ des Kreises Steinfurt (gute, kurze, einfache (teilweise sehr vereinfachte) Lektüre zur Einführung) (2015): <http://docplayer.org/12342095-Kleinwindanlagen-fakten-zur-nutzung-von-windenergie-im-kleinen.html> [Zugriff am 04.08.2016]
- Informationen des Bundesverband WindEnergie (BWE) zum Thema Kleinwind (2016): <https://www.wind-energie.de/themen/kleinwind> [Zugriff am 04.08.2016]
- Informationen des Kleinwindkraft-Portals zum Thema Kleinwindenergieanlagen (2016): <http://www.klein-windkraftanlagen.com/> [Zugriff am 04.08.2016]
- Informationen des BINE Informationsdienstes (2016): <http://www.bine.info/publikationen/publikation/windenergie/> [Zugriff am 04.08.2016]
- Eine sehr informative und kritische Auseinandersetzung mit dem Einsatz und den Möglichkeiten von Kleinwindenergieanlagen auf einer Unternehmenshomepage (2007): <http://www.oeko-energie.de/produkte/windkraft/> [Zugriff am 04.08.2016]

Dauer	Methoden/Aktivitäten	Material
5 min.	Zum Einstieg wird der Film „Kleinwindenergieanlagen am Flughafen Köln/Bonn“ gezeigt.	Der Film ist zu finden auf: http://bit.ly/2er6SVS
5 min.	In der Diskussion zum Film sollten einige der oben zum Film genannten Stichpunkte fallen. Weitere offene Fragen können aufgeschrieben und ggf. als „Recherchehausaufgabe“ an Arbeitsgruppen verteilt werden.	Fakten zu Kleinwindanlagen http://bit.ly/28PjG2K
10 min.	Stichpunkte zur Kleinwindenergieanlage (KWEA) werden aufgegriffen und an der Tafel werden zudem Kriterien zur Charakterisierung von KWEA gesammelt. Im Anschluss lassen sich die Vorschläge zur Einordnung ansehen und vergleichen.	AB_Definitionen_KWEA http://bit.ly/1KjKMdq
20 min.	Welche Arten von KWEA kennen die SuS? Die SuS beschreiben zunächst die Anlagen und bestimmen anhand der Bilder aus dem FS „Erkennen_Vertikal_Horizontal“ die verschiedenen Anlagentypen (Fragen hierzu: Welchen Anlagentyp seht ihr/sehen sie? Ist dieser horizontal oder vertikal?). Mit Hilfe der Lehrkraft diskutieren die SuS, welche Vor- und Nachteile die jeweiligen Anlagentypen haben könnten.	FS_Erkennen_Vertikal_Horizontal Tabelle 1 dieser Veröffentlichung zu Vor- und Nachteilen (bzw. Tab_pro_contra_vertikal_horizontal) http://bit.ly/1KjKMdq
5 min.	Offene Fragen werden festgehalten und können als Hausaufgabe zum Recherchieren mitgegeben werden.	



5.2.2 WIEVIEL ENERGIE STECKT IM WIND: WINDMESSUNG/-BEOBACHTUNG (SEK II)

ERSTELLUNG EINES HISTOGRAMMS

3

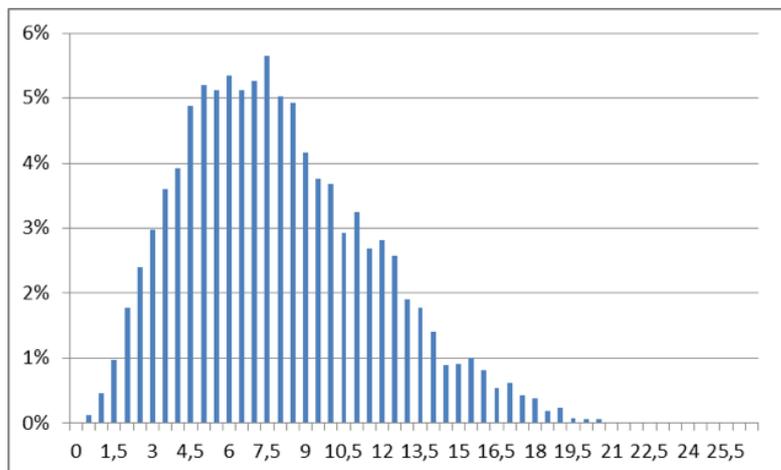
Rahmenplaneinbindung: Geographie (BE) (11-12 > 4.2); Physik (BE) (7-8 > W3, 7-10 > WP1, WP6); Informatik (BE) (7-10 > ITG 2);

Geeignet für folgende Fächer: Geografie, Erdkunde, Physik, EE, Umwelttechnik, Informatik

i

Allgemein: Die Messung der Windgeschwindigkeit und -richtung sind für die Beurteilung eines potentiellen Standortes für Windenergieanlagen unerlässlich. Die Windverhältnisse sind dabei nicht nur abhängig vom regionalen Windaufkommen, sondern auch von der lokalen Orographie. Bereits kleinere Hügel, Büsche und Baumgruppen sind maßgebliche Hindernisse für die Windanströmung von Kleinwindenergieanlagen mit vergleichsweise geringen Nabenhöhen. Für eine aussagekräftige Einschätzung des Windstandortes ist die Windmessung eines gesamten Kalenderjahres notwendig. Da das Windaufkommen innerhalb eines Jahres saisonalen Schwankungen unterliegt, kann eine Messung z. B. in den Wintermonaten leicht zu einer Überschätzung des Potentials am Standort führen.

Eine erste Bewertung der Windverhältnisse am Standort erfolgt über die Mittlere Windgeschwindigkeit. Diese gibt an, wie stark die Windgeschwindigkeiten durchschnittlich innerhalb eines bestimmten Zeitraums waren. Für die genaue Ertragsprognose ist jedoch eine Bestimmung der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten notwendig. Diese wird in sogenannten „Histogrammen“ abgebildet. Dazu wird die Häufigkeit des Auftretens der Windgeschwindigkeiten an dem ausgewählten Standort aufgenommen. Die gewählten Windgeschwindigkeitsintervalle (sogenannte BINs), denen die Häufigkeiten zugeordnet werden, werden i.d.R. im Bereich 0,5 bis 1m/s gewählt. Alle Werte innerhalb dieses Bins werden zusammengefasst. Zur Bewertung des Standortes kann aus der Häufigkeitsverteilung dann die Energiemenge berechnet werden, welche in den jeweiligen Windgeschwindigkeitsbereichen zur Verfügung steht.



7 Histogramm – Häufigkeitsverteilung auftretender Windgeschwindigkeiten



Für die Erstellung eines Histogramms stehen in dem Ordner „Auswertung_Standorte_in_Excel“ zwei Tabellendateien zur Verfügung. Die Masterdatei (Auswertung_Windmessung_SuS_master) enthält bereits alle Formeln und die Messwerte der DWD-Homepage (Deutscher Wetterdienst) sind bereits integriert. Aus dieser Datei können Teile gelöscht werden, um gezielt Fertigkeiten in einem Tabellenkalkulationsprogramm zu üben (Zellen referenzieren; Zeilen kopieren, Formeln umsetzen, CSV Dateien importieren). Alternativ kann die „SuS-Tabelle“ (Auswertung_Windmessung_SuS) gewählt werden. In dieser Datei ist nur das Gerüst (mit Grafiken) vorhanden und die SuS müssen alle Formeln noch eintragen und Messwerte importieren. In dieser Exceltabelle werden die Vorgehensschritte erläutert und im Arbeitsblatt AB_Arbeitshinweise_Formeln sind die notwendigen Formeln aufgeführt, sowie auch die Felder, in die sie einzutragen sind. In der Oberstufe können die SuS die Formeln aus der zugehörigen Norm (IEC 61400-12) selbst heraus suchen und in die Tabelle übertragen.

In den vorbereiteten Tabellen kann ebenfalls die Schrittweite der BINs variiert und die Auswirkung auf die bereits vorbereiteten Diagramme beobachtet werden.

Für die Übung wurden von der Seite des DWD die Daten von 4 Standorten heruntergeladen, die als CSV-Dateien in dem Arbeitsordner liegen. Liegen eigene Messdaten vor, so können diese eingefügt werden.



Lernziele und Kompetenzen: Auswertung von Windvorkommen an verschiedenen Standorten; Umgang mit Exceltabellen: Zellen kopieren; Formeln eintragen und kopieren, Importieren von CSV Dateien, Bewusstsein für Fluktuation der Einspeisung.

Im Speziellen: Windmessung kann mit verschiedenen Windsensoren durchgeführt werden. Dabei muss bewusst sein, dass auch diese einen Einfluss auf das Ergebnis haben. Schalenkreuzanemometer sind mechanische drehende Teile, die mit einer gewissen Trägheit auf Windgeschwindigkeitsänderungen reagieren. Gleiches gilt für die Windfahne im Hinblick auf die Windrichtung. Dies ist ein generelles Problem von Messverfahren, bei denen in das zu vermessende Medium eingegriffen wird. Ultraschallanemometer sind sehr hochwertige Alternativen, die allerdings ebenfalls die Windströmung beeinflussen, da hier die Luft die kleinen Sensorköpfe umströmt, d.h. ihnen ausweicht. Dennoch sind diese Messgeräte sehr gut, da sie die Windgeschwindigkeitsanteile richtungsabhängig darstellen können. Ein Schalenkreuzanemometer misst hingegen nur die horizontale Komponente. (AB_Anemometer_Windfahne)

Die Windmessung kann mit den SuS exemplarisch über einen kurzen Zeitraum durchgeführt werden. Besteht die Möglichkeit die Windmessung über mehrere Tage/Wochen fortzusetzen, kann die Auswertung mit einer repräsentativeren Datenmenge durchgeführt werden. Ziel der Auswertung ist die Erstellung eines Histogramms.

Ergänzend kann dies als richtungsabhängige Darstellung in einer Windrose geschehen. Die Tools, z. B. basierend auf EXCEL oder CALC, sollten vor der UE entsprechend des Kenntnisstands der SuS vorbereitet sein, damit die Auswertung der Messzeitreihen zügig umgesetzt werden kann.





Weitere Links/Internetseiten:

- Tool für Ertragsprognose des Fraunhofer Instituts (2016):
<http://windmonitor.de/>
http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/img/SWT_Yield_Estimator_De.xls
[Zugriff am 04.08.2016]
- Internetseite mit Vorhersagen und Messwerte von Standorten der WindFinder.com GmbH & Co. KG (2016):
<http://www.windfinder.com/> [Zugriff am 04.08.2016]
- Internetseite für langjährige Messreihen vom Deutschen Wetterdienst (2016):
<https://werdis.dwd.de/> [Zugriff am 04.08.2016]
- Tool für Windauswertung von AWS Truepower, Inc. (2016):
<https://www.windographer.com/> [Zugriff am 04.08.2016]

Dauer	Beschreibung	Material
10 min.	Erklärung zur Unterscheidung der mittleren Windgeschwindigkeit und der Darstellung der Windgeschwindigkeitsverteilung als Histogramm. Vorstellung verschiedener Messgeräte zur Erfassung der Windgeschwindigkeit.	AB_Anemometer_Windfahne FS Auswertung Windmessung http://bit.ly/1KjKMdq
25 min.	Erstellung eines Histogramms: Die Auswertung der Messdaten können mit vorbereiteter EXCEL-Tabelle vorgenommen werden. Liegen keine (langjährige) Messwerte der eigenen Anlage vor, können dazu die CSV-Dateien (Messwerte verschiedener Standorte) entsprechend den vorgegebenen Schritten (im AB Auswertung_Windmessung_SuS) aus dem Internet heruntergeladen, in das vorbereitete Excelsheet eingelesen und ausgewertet werden. Die sich ergebenden typischen Kurvenverläufe der Windgeschwindigkeitsverteilung lassen sich in den Diagrammen ablesen und diskutieren. Mit Hilfe der vorbereiteten Exceltabellen können wahlweise große Eigenleistungen der SuS in Excel erbracht werden oder aus dem Master schon Kalkulationen in den Zellen übernommen werden. Dies sollte von der Lehrkraft an das Niveau der SuS angepasst werden.	Dateiordner: Auswertung_Standorte_Excel AB_Arbeitshinweise_Formeln Computer, Tabellenkalkulationsprogramm http://bit.ly/1KjKMdq
10 min.	Windgeschwindigkeiten werden in einer Windrose richtungsabhängig dargestellt (Handskizze).	Dateiordner: Auswertung_Standorte_Excel AB_Anemometer_Windfahne http://bit.ly/1KjKMdq





Auswahl an Videos:

- Videos zu Tragflügeln im Windkanal von pesfan94 (2011) und Tintschl Best AG (2013):
<https://www.youtube.com/watch?v=HZL29QY97yU> [Zugriff am 04.08.2016]
https://www.youtube.com/watch?v=cSN2zztj_GQ [Zugriff am 04.08.2016]
- Visualisierung der Stromlinien in einem der NASA veröffentlicht von Jeff Quitney (2013):
https://www.youtube.com/watch?v=q_eMQvDoDWk [Zugriff am 04.08.2016]
- Erläuterung der Windmessung mit E-Chalk Jörn Loviscach (2014):
https://www.youtube.com/watch?0v=_KqgOgRwjqE [Zugriff am 04.08.2016]



5.2.3 FLATTERBANDVERSUCH – WO IST DER BESTE STANDORT FÜR EINE KWEA? (SEK I)

1

Rahmenplaneinbindung: Physik (BE) (7-10 > WP1, WP6)

*

Lernziele und Kompetenzen: Verdeutlichung des Einflusses von Hindernissen auf die Windströmung bzw. lokalen Windverhältnisse, Geeignet für die Ergänzung der Unterrichtseinheit zur Entstehung von Wind (u. a. Hochdruck-, Tiefdruckgebiete)

Im Speziellen: Häuserkanten, Büsche oder auch Dachkanten haben maßgeblichen Einfluss auf die lokalen Windverhältnisse. Die Hindernisse führen zu einer Verwirbelung in der Anströmung. Durch diese turbulente Anströmung kann der Ertrag einer KWEA gemindert werden. Noch gravierender ist jedoch die Mehrbelastung der Anlagenstruktur. Durch die häufig wechselnden Windgeschwindigkeiten und -richtungen werden die Rotorblätter ungleichförmig angeströmt, was zu Schwingungen führen kann, die sich dann auf das gesamte Turm-Gondel-System übertragen. Diese Verwirbelungen können bereits durch den Einsatz einfachster Mittel visualisiert werden. In diesem Versuch wird eine Absperrband an einen langen Stab gebunden und in die Luft gehalten. Bei laminarer ungestörter Anströmung, zieht sich das Band gerade und straff im Wind, bei turbulenter Anströmung wird das Band eher unruhig ggf. in großen/kleinen Kurven im Wind flattern (z. B. mitten auf dem Sportplatz und an einer Gebäudeecke).

Dauer	Beschreibung	Material
10 min.	LehrerIn führt in laminare und turbulente Windströmungen in der Luft und in den Einfluss von Hindernissen auf die Luftströmung ein.	Ggf. Video AB_Turbulenzen_durch_Hindernisse http://bit.ly/1KjKMdq
30 min.	SuS überlegen, wo turbulente und laminare Strömungen vorliegen. Danach gehen sie (gemeinsam mit Lehrkraft) auf den Schulhof, das Dach etc. und überprüfen mit Hilfe eines Flutterbands am Stab, wie sich die Strömung an den verschiedenen Stellen darstellt. Einzelne SuS haben dabei den Auftrag eine Skizze des Schulgeländes zu machen und darauf die Ergebnisse einzutragen	Flutterband (ca. 2m) Lange Stange Wind
5 min.	Zurück im Klassenraum wird anhand der Karte diskutiert, wo sinnvolle Plätze für eine KWEA sein könnten.	



5.2.4 ENERGIEWANDLUNG MIT KWEA, LEISTUNGSMESSUNG (SEK II)

2

Rahmenplaneinbindung: Physik (BE) (7-8 > P1, W1, 9-10 > P1, P2, 7-10 > WP1, WP5, 11-12 > 4.2); Informatik (BE) (7-10 > ITG2)

Geeignet für folgende Fächer: Physik, EE, Umwelttechnik, Elektrotechnik, Informatik

1

Allgemein: Moderne Windenergieanlagen dienen in den meisten Fällen der Erzeugung elektrischer Energie. Zwei wichtige Grundlagen sind dafür zu verstehen: Wieviel Energie steckt im Wind und wieviel davon kann in elektrische Energie gewandelt werden?

Die Wandlung von Windenergie in Strom geschieht, indem der Rotor der KWEA durch erhöhtes Windaufkommen in Drehung versetzt wird und dabei ein Generator angetrieben wird. Dieser besteht aus dem Rotor mit durch Magnete hervorgerufenem magnetischem Gleichfeld. Durch die Drehung des Feldes wird in den Wicklungen des Stators (d. h. des feststehenden und unbeweglichen Teils des Generators) elektrische Spannung induziert und damit elektrische Energie erzeugt (siehe AB Teile des Generators). Dieser Zusammenhang kann auf verschiedene Weise demonstriert werden. Einerseits durch die direkte Messung der Leistung der KWEA, andererseits aber auch durch den Anschluss einer elektrischen Last wie z. B. einer Lampe, die zu leuchten beginnt, sobald die KWEA aufgrund der Drehbewegung Strom erzeugt.

*

Lernziele und Kompetenzen: Bewertung der Leistungsfähigkeit der KWEA; Grundgleichung der Energie, Zusammenhang Energie-Leistung; Fluktuation von Einspeisung aus Erneuerbaren Energien. Diese Inhalte können sowohl in Unterrichtseinheiten zum Prinzip eines Dynamos (magnetische Felder, Generator) als auch zum Umgang mit Messgeräten und Messdaten eingebettet werden.

Im Speziellen: Dieser Versuch kann unternommen werden, um einen groben Einblick in die Fluktuation der Leistungsbereitstellung von Windenergieanlagen zu bekommen. Da der Wind nie dauerhaft mit der gleichen Windgeschwindigkeit weht, ist die Leistungsbereitstellung von WEA nie konstant. Der Versuch kann auch längerfristig durchgeführt werden, um die Leistung bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten aufzuzeichnen und durch die Häufung der Messwerte bei gleicher Windgeschwindigkeit eine validere Einschätzung der Leistungskurve zu erreichen.

In jedem Fall erfordern die praktischen Versuche bereits eine Einbindung der KWEA, bei der die Windgeschwindigkeit und ggf. die -richtung aufgezeichnet werden. Können keine eigenen Daten aufgenommen werden, lassen sich Datenreihen des DWD⁶ nutzen.

6 <https://werdis.dwd.de/>



Dauer	Beschreibung	Material
15 min.	Lehrkraft erläutert den Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Leistung des Windangebotes und der daraus umsetzbaren Leistung. Wichtig ist die Erkenntnis, dass die Windgeschwindigkeit in dritter Potenz in die Leistung eingeht, was heißt, dass sie einen überproportionalen Einfluss auf den Ertrag hat. Das Prinzip des Dynamos wird erklärt und mit Rotor und Generator einer KWEA verglichen	Grundlagenkapitel in: Windkraftanlagen – Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb von R. Gasch und J. Twele oder http://bit.ly/2b4OO0l FS-Teile eines Generators http://bit.ly/1KjKMdq
20 min.	Alle SuS suchen sich aus den Beispielen der Leistungskurven eine Anlage aus und ergänzen in der Spalte zwischen der Windgeschwindigkeit und der Spalte mit der zugehörigen Leistung der KWEA die Leistung des Windes. In einer weiteren Spalte errechnen sie die Anteile der von der KWEA zur Verfügung gestellten Leistung gegenüber der Leistung des Windes (in %) und erstellen dazu ein Diagramm (P-KWEA/P-Wind über Windgeschwindigkeit). Weiterhin wird für eine durchschnittliche Windgeschwindigkeit errechnet, welcher Ertrag an einem Tag erwirtschaftet werden kann (bei 24 h mit gleichbleibender Windgeschwindigkeit).	AB: Beispiele_Leistungskurven_KWEA http://bit.ly/1KjKMdq
10 min.	Beispielhaft werden 3 Auswertungen/Diagramme durch die SuS vorgestellt. Ergänzend lassen sich die Verluste der Anlagen noch (z. B. mit Hilfe der Abbildung des BWE) lokalisieren. (Stichworte: Effektivität, Wirkungsgrad, Leistungsbeiwert)	FS Energiefluss_WKA_BWE http://bit.ly/1KjKMdq



5.3 UNTERRICHTSEINHEITEN BZW. PÄDAGOGISCHE KONZEPTE ZUR NUTZUNG VON BESTEHENDEN KLEINWINDENERGIEANLAGEN

EINIGE TEILE DER UNTERRICHTSEINHEIT KÖNNEN AUCH OHNE EINE EIGENE KWEA DURCHFÜHRT WERDEN. DIE BEREICHE, FÜR DIE EINE EIGENE ANLAGE ERFORDERLICH IST, WERDEN GESONDERT AUFGEFÜHRT.



5.3.1 ENERGIEWANDLUNG MIT KWEA, LEISTUNGSMESSUNG (SEK II)

2

3

Rahmenlehrplaneinbindung: Physik (BE) (7-8 > P1, W1, P8, 9-10 > P1, P2, 7-10 > WP1, WP5, 11-12 > 4.2); Informatik (BE) (7-10 > ITG2)

Geeignet für folgende Fächer: Physik, EE, Umwelttechnik, Elektrotechnik, Informatik

1

Allgemein: Moderne Windenergieanlagen dienen in den meisten Fällen der Erzeugung elektrischer Energie. Zwei wichtige Grundlagen sind dafür zu verstehen: Wieviel Energie steckt im Wind und wieviel davon kann in elektrische Energie gewandelt werden? Die Wandlung von Windenergie in Strom geschieht, indem der Rotor der KWEA durch erhöhtes Windaufkommen in Drehung versetzt wird und dabei ein Generator angetrieben wird. Dieser besteht aus dem Rotor mit durch Magnete hervorgerufenem magnetischem Gleichfeld. Durch die Drehung des Feldes wird in den Wicklungen des Stators (d. h. des feststehenden und unbeweglichen Teils des Generators) elektrische Spannung induziert und damit elektrische Energie erzeugt (siehe AB Teile des Generators). Dieser Zusammenhang kann auf verschiedene Weise demonstriert werden. Einerseits durch die direkte Messung der Leistung der KWEA, andererseits aber auch durch den Anschluss einer elektrischen Last wie z. B. einer Lampe, die zu leuchten beginnt, sobald die KWEA aufgrund der Drehbewegung Strom erzeugt.

*

Lernziele und Kompetenzen: Bewertung der Leistungsfähigkeit der KWEA; Grundgleichung der Energie, Zusammenhang Energie-Leistung; Fluktuation von Einspeisung aus Erneuerbaren Energien. Diese Inhalte können sowohl in Unterrichtseinheiten zum Prinzip eines Dynamos (magnetische Felder, Generator) als auch zum Umgang mit Messgeräten und Messdaten eingebettet werden.

Im Speziellen: Dieser Versuch kann unternommen werden, um einen groben Einblick in die Fluktuation der Leistungsbereitstellung von Windenergieanlagen zu bekommen. Da der Wind nie dauerhaft mit der gleichen Windgeschwindigkeit weht, ist die Leistungsbereitstellung von WEA nie konstant. Der Versuch kann auch längerfristig durchgeführt werden, um die Leistung bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten aufzuzeichnen und durch die Häufung der Messwerte bei gleicher Windgeschwindigkeit eine validere Einschätzung der Leistungskurve zu erreichen.

Die praktischen Versuche erfordern bereits eine Einbindung der KWEA, bei der die Windgeschwindigkeit und ggf. die -richtung aufgezeichnet werden. Können aber keine eigenen Daten aufgenommen werden, lassen sich die Datenreihen des DWD⁷ nutzen.

⁷ <https://werdis.dwd.de/>



Dauer	Beschreibung	Material
15 min.	Lehrkraft erläutert den Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Leistung des Windangebotes und der daraus umsetzbaren Leistung. Wichtig ist die Erkenntnis, dass die Windgeschwindigkeit in dritter Potenz in die Leistung eingeht, was heißt, dass sie einen überproportionalen Einfluss auf den Ertrag hat. Das Prinzip des Dynamos wird erklärt und mit Rotor und Generator einer KWEA verglichen.	Grundlagenkapitel in: Windkraftanlagen – Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb von R. Gasch und J. Twele oder http://bit.ly/2b4OO0l FS-Teile eines Generators (Link für Arbeitsblätter)
20 min.	Alle SuS suchen sich aus den Beispielen der Leistungskurven eine Anlage aus und ergänzen in der Spalte zwischen der Windgeschwindigkeit und der Spalte mit der zugehörigen Leistung der KWEA die Leistung des Windes. In einer weiteren Spalte errechnen sie die Anteile der von der KWEA zur Verfügung gestellten Leistung gegenüber der Leistung des Windes (in %) und erstellen dazu ein Diagramm (P-KWEA/P-Wind über Windgeschwindigkeit). Weiterhin wird für eine durchschnittliche Windgeschwindigkeit errechnet, welcher Ertrag an einem Tag erwirtschaftet werden kann (bei 24 h mit gleichbleibender Windgeschwindigkeit).	AB: Beispiele_ Leistungskurven_KWEA http://bit.ly/1KjKMdq
10 min.	Beispielhaft werden 3 Auswertungen/ Diagramme durch die SuS vorgestellt. Ergänzend lassen sich die Verluste der Anlagen noch (z. B. mit Hilfe der Abbildung des BWE) lokalisieren. (Stichworte: Effektivität, Wirkungsgrad, Leistungsbeiwert)	FS Energiefluss_WKA_BWE http://bit.ly/1KjKMdq
	Praxis: Mit eigener KWEA	
10 min.	LehrerIn erläutert den SuS den Aufbau der Anlage und der angeschlossenen Messgeräte für Windgeschwindigkeit und Strom/Spannung sowie die Aufnahme und das Auslesen von Messwerten und die Berechnung der Leistung.	Energiezähler Windmesssystem KWEA FS Leistungsmessung_KWEA http://bit.ly/1KjKMdq



25 min.	Erzeugung einer Leistungskurve der KWEA: Je Minute wird ein Messwertepaar (Windgeschwindigkeit und Leistungsabgabe der KWEA) in eine Tabelle eingetragen. Die Messwerte werden dann in ein Diagramm übertragen (geordnet nach Windgeschwindigkeiten). Dafür kann das vorbereitete Arbeitsblatt genutzt werden. Alternativ erlernen die SuS den Umgang mit elektronischen Kalkulationstabellen, erstellen ihre eigenen Vorlagen, tragen die Messwerte dort ein und erstellen Diagramme.	AB Aufnahme_Leistungsdaten_KWEA oder in elektronischer Kalkulationstabelle (Excel; Calc; ...) http://bit.ly/1KjKMdq
10 min.	Die SuS präsentieren ihre Ergebnisse und erläutern welche Schwierigkeiten sie im Rahmen der Umsetzung der Aufgabe hatten. An einem normalen Tag wird i.d.R. nur ein sehr kleiner Windgeschwindigkeitsbereich abgedeckt. Beispielhaft können nochmal die Leistungskurven aus AB Beispiele_Leistungskurven_KWEA gezeigt werden. Ergänzend kann auch eine typähnliche Anlage herausgesucht und verglichen werden.	
1-7 Tage oder länger	Besteht die Möglichkeit die Daten automatisch aufzunehmen, können auch Werte von längeren Zeiträumen aufgenommen und ausgewertet werden. (Dabei kann je nach Ausgabe des Messgerätes erlernt werden, wie sich verschiedene Dateiformate umwandeln lassen (z. B. wie sich CSV-Dateien in Excel einlesen lassen).	Daten von eigener KWEA



5.3.2 KENNENLERNEN DER EIGENEN KWEA UND EINBINDUNG VON KWEA IN SYSTEMEN (SEK I)



Rahmenplaneinbindung: Chemie (BE) (9-10 > W2); Physik (BE) (7-8 > W8, 9-10 > P2, P7, W2, 7-10 > WP5, 11-12 > 4.2); WAT (BE) (7-10 > WP7)

Geeignet für folgende Fächer: Physik, EE, Elektrotechnik, Umwelttechnik



Allgemein: KWEA bestehen aus den Basiskomponenten Rotor (+Gondel), Turm (Mast) und Befestigung/Fundament (siehe AB Aufbau_einer_WEA). Der Einsatz von KWEA findet sowohl an abgelegenen Orten als auch im urbanen Bereich statt. Die häufigsten Nutzungsvarianten sind der Inselbetrieb (autark), der Netzparallelbetrieb (Eigenverbrauch und Einspeisung) und Hybridsysteme (Wind im Verbund mit anderen Energiesystemen). Weiterhin sind Windpumpsysteme (i.d.R. mechanisch, aber auch elektrisch) noch ein häufiges Einsatzgebiet.

Unter den obigen Links zur Seite des BWE und zum Kleinwindkraft-Portal sind Beschreibungen zu den Systemen zu finden. Dabei ist zu beachten, dass KWEA in der Regel Gleichstrom liefern. Ein Generator wandelt zunächst Wechselstrom, dieser wird aber bei den meisten KWEA intern direkt in Gleichstrom gewandelt. Die meisten KWEA werden mit integriertem Gleichrichter geliefert. Nur sehr wenige sind als Wechselstromanlagen am Markt.



Lernziele und Kompetenzen: SuS kennen die wesentlichen Komponenten einer Windkraftanlage und verschiedene Systeme, in die sie eingebunden werden können. Falls vorhanden, machen sie sich mit der schuleigenen KWEA bekannt. In die folgende Unterrichtseinheit können z. B. auch Übungen zur Darstellung von Schaltkreisen und zu Symbolen von Komponenten (Lampen, Pumpen, Wechselrichter) einfließen.



Dauer	Methoden/Aktivitäten	Material
	Praxis: Mit eigener KWEA	
20 min.	Besichtigung der eigenen oder einer nahegelegenen KWEA (oder WEA). Benennung der Komponenten (Rotor, Gondel, Mast, Befestigung/Fundament. Klärung wozu die Energie eingesetzt wird und wie die Anlage eingebunden ist. Diskussion über weitere Möglichkeiten der KWEA Einbindung.	FS_Aufbau_einer_WEA http://bit.ly/1KjKMdq
15 min.	Zurück im Unterrichtsraum: Gruppen zu je 4 SuS erhalten ein „Komponenten-Puzzle“, das je nach möglichem Schwierigkeitsgrad angeboten wird: 1. Nur die Teile für das jeweilige System 2. Alle vorhandenen Teile und ein System, das SuS mit den Puzzleteilen abbilden sollen. Dies umfasst: 1. Inselbetrieb (Eigenverbrauch) 2. Netzparallelbetrieb (Eigenverbrauch und Einspeisung) 3. Hybridsysteme (Verbunden mit anderen Technologien) 4. Windpumpensysteme (Fördern von Wasser) Dabei muss jedes System mind. einmal vergeben werden. Die Bestandteile werden aufgeklebt und mit „Leitungen“ verbunden.	Kopiervorlage_Komponenten Lehrerinfo_Systeme http://bit.ly/1KjKMdq
10 min.	Jedes System wird von einer Gruppe vorgestellt und von weiteren Gruppen, die das gleiche System bearbeitet haben, kommentiert/ergänzt.	



5.3.3 TECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN UND UNERWÜNSCHTE EFFEKTE (SEK II)



Rahmenplaneinbindung: Physik (BE) (9-10 > P6, W8); WAT (BE) (7-10 > WP7); Naturwissenschaften (BE/BB) (7-10 > 3.5); Informatik (BE) (7-10 > ITG 2)

Geeignet für folgende Fächer: Physik, EE, Umwelttechnik



Lernziele und Kompetenzen: Kritische Bewertung von Technologien; Beschäftigung mit unerwünschten Nebeneffekten von (K)WEA

Im Speziellen: Nicht alle Menschen freuen sich über die Windkraft. In diesem Zusammenhang spielen sowohl technische und ästhetische Aspekte, als auch störende Emissionen eine Rolle. In diesem Kapitel wird auf drei wesentliche Effekte abgehoben, die auch für die Kleinwindkraft wichtig sind. Beispielhaft sind hier die Störung der Umgebung durch Schwingungen, Geräusche und Schattenwurf zu nennen.

Gerade KWEA, die in unmittelbarer Nähe zu Häusern oder sogar auf Häusern aufgestellt werden, müssen gezielt daraufhin untersucht werden, ob unerwünschte Effekte auftreten (können).

Zeit	Methoden/Aktivitäten	Material
15 min.	SuS sammeln Argumente, die aus ihrer Sicht gegen die Windkraft sprechen. Dabei werden Aspekte gesucht, die auch für die Kleinwindkraft gültig sein könnten. Die Lehrkraft hält das an der Tafel fest und hilft dabei, die drei Herausforderungen: Schallbelastung, Schwingungsbelastungen und visuell störende Effekte herauszuarbeiten.	
45 min.	In 3 Gruppen mit werden diese Themen genauer betrachtet und nachstehende Versuche vorbereitet und durchgeführt. Je zwei Gruppenmitglieder erstellen begleitend zu dem Versuch ca. drei Präsentationsfolien für die Präsentation der Kleingruppenarbeit für die gesamte Gruppe.	
30 min.	Zu jedem Versuch trägt eine Gruppe vor. Hierfür sind ca. 5 min für die Einführung in das Thema und 5 min für die Herangehensweise und das Versuchsprotokoll anhand der Präsentationsfolien einzukalkulieren.	



2

BETRIEBSSCHWINGUNGEN UND UMGANG DAMIT (GRUPPE 1)



Lernziele und Kompetenzen: Verständnis für die Auswirkung von betriebsbedingten Schwingungen, für Eigenfrequenzen und Eigenfrequenzprobleme



Allgemein: Bei Dachmontagen stellt die Übertragung der Schwingungen der Anlage auf das Gebäude ein spezielles Problemfeld dar. Das System aus KWEA und tragender Struktur besitzt in Abhängigkeit der Einzelkomponenten und deren Verbindung eine Vielzahl von Eigenfrequenzen. Liegen diese im anregenden Frequenzspektrum (abhängig vom Betriebsdrehzahlbereich), kommt es zu verstärkten Schwingungen im Betrieb der Anlage, die bereits mit der Hand gespürt (am Mast bzw. Verstrebungen) oder aber auch optisch wahrgenommen werden können (z. B. durch Auslenkungen des Turmkopfes/Gondel).

Diese Schwingungen, hervorgerufen durch Massenunwuchten am Rotor (ungleiche Verteilung der Massen an den Rotorblättern um die Rotorachse) oder aerodynamische Unwuchten (durch unterschiedliche Rotorblattverstellwinkel/Anstellwinkel der Rotorblätter zum Wind oder auch turbulentes Windfeld), führen zu erhöhten Belastungen für die Anlage, wodurch ihre Lebensdauer verringert wird. Schäden an Lagern, Fundament o.a. können bereits kurzfristig auftreten.

Hinzu kommt die Weiterleitung der Schwingungen auf die Umgebung. Bei freier Aufstellung stellt dies noch kein großes Problem dar, auch wenn das Fundament durch Rissbildung geschädigt werden kann. Bei Aufstellung auf dem Dach bedeuten Schwingungsübertragungen eine mechanische Belastung der Gebäudestruktur und ggf. sogar eine akustische Störung, sodass mit den Gebäudeschwingungen auch eine Geräuschbildung einhergehen kann.

Weitere Schwingungsursachen bestehen z. B. in Blatt-Turm-Interaktionen, beim Generator (Polumschaltungen und evtl. Unwuchten) sowie im Fall einer „hektischen“ passiven Windrichtungsnachführung.

Im Speziellen: Massebehaftete Körper haben eine Eigenfrequenz, die von der Masse und der Geometrie (Trägheit) abhängt. Demnach haben auch alle Komponenten an einer KWEA eine Eigenfrequenz. Dies betrifft sowohl die Komponenten im Einzelnen wie auch das Turm-Gondel-System als Ganzes. Da die Energiegewinnung an KWEA durch die Drehbewegung des Rotors ermöglicht wird, zeichnet sich das Betriebsverhalten von KWEA durch die bereits erwähnten Schwingungen aus, die wiederum durch ein Vielfaches der Rotordrehzahl charakterisiert sind. Massenunwuchten wirken mit der Drehfrequenz des Rotors, eine Blatt-Turm-Interaktion bei einem dreiblättrigen Horizontalachser wirkt mit dem dreifachen der Rotordrehzahl usw. Nun können diese betriebsbedingten Schwingungen auch im Bereich der Eigenfrequenzen der Komponenten liegen, wodurch diese Schwingungen angeregt werden.

Die Anregung von Eigenfrequenzen ist ein sogenannter Resonanzfall, in dem die Komponente in extreme Schwingungen versetzt werden kann bzw. sehr hohe Belastungen



auftreten. Um dies zu vermeiden, werden Dämpfer und Tilger eingesetzt, die das System so verändern, dass deren Eigenfrequenzen einfach „verschoben“ bzw. abgedämpft (z. B. Stoßdämpfer) werden. An KWEA geschieht dies z. B. am Turmkopf oder Turmfuß durch Gummidämpfer oder durch die abgestimmte Konstruktion des Turmes. Eine Veränderung der Höhe des Turmes führt zu Veränderung der Geometrie des Turmes und das wiederum hat Einfluss auf die Trägheit des Turm-Gondel-Systems und führt zur Verschiebungen der Eigenfrequenz.



Weiterführende Links/Internetseiten:

- Schwingungen bei Windkraftanlagen – allgemein, Eigenformen bereitgestellt von der Beuth Hochschule für Technik Berlin (2016):
<http://prof.beuth-hochschule.de/fileadmin/user/resnik/Diplomarbeiten/Voll/Schwingungen.htm> [Letzter Zugriff: 15.03.2016]
- Messung niederfrequenter Schwingungen von der Bielefelder Verlag GmbH & Co. KG Richard Kaselowsky (2016):
<http://www.sonnewindwaerme.de/fachaufsatz-windenergie/kunst-niederfrequente-schwingungen-messen> [Letzter Zugriff: 15.03.2016]
- Windkraftanlagen, Turm, Dynamik (2016):
http://www.cae-wiki.info/wikiplus/index.php/Windkraftanlagen-Turm_Dynamik
Letzter Zugriff: 15.03.2016
- Informationen zu der Lastreduktion für Windenergieanlagen von der fos4X GmbH (2016):
<http://www.fos4x.de/de/lastreduktion-für-windenergieanlagen>
[Letzter Zugriff: 15.03.2016]
- R. Gasch und J. Twele: Windkraftanlagen, S.284 und folgende sowie S.295 und folgende, Vieweg+Teubner, 6.Auflage, 2010

Weiterführende Links/Internetseiten zu Eigenfrequenz:

- Informationen zu Eigenfrequenzen schwingender Saiten durch das e-learning Portal der Universität Frankfurt (2016):
https://elearning.physik.uni-frankfurt.de/data/FB13-PhysikOnline/lm_data/lm_282/auto/kap13/cd374.htm [Letzter Zugriff: 15.03.2016]

Equipment: Die Versuche können unterstützt werden durch Messtechnik, die ggf. bereits als Laborinventar vorhanden ist, so z. B. Beschleunigungssensoren in Kombination auch mit einem Drehzahlsensor und einem Windmessgerät. Da dies ein sehr kostenintensives Equipment ist, beinhalten die hier gewählten Versuchsbeschreibungen eine einfache Ausstattung.





Auswahl an Videos:

- Video zu den KWEA Betriebsschwingungen an Windfahne aufgrund von Unwuchten o.a. von Broadcastbuddy2 (2011): <https://www.youtube.com/watch?v=b4wVPmpIFfA> [Zugriff am 04.08.2016]
- Video zu der WEA-Abschaltung und Ausschwingen von Lockheed125 (2013): https://www.youtube.com/watch?v=1di-G_ezzYs [Zugriff am 04.08.2016]
- Video zu Turmschwingungen an KWEA von BunnFarms (2011): <https://www.youtube.com/watch?v=H4GXjpMgHFE> [Zugriff am 04.08.2016]
- Video zu Schwingungen und Geräuschemissionen von Auf-Dach-KWEA von Huck Hucki (2013): <https://www.youtube.com/watch?v=qJf8gkyAkFo> [Zugriff am 04.08.2016]

Zeit	Methoden/Aktivitäten	Material
15 min.	Praxis: Mit eigener KWEA SuS erarbeiten Ursachen und Folgen für Schwingungen an (Klein-)Windenergieanlagen. Dafür nutzen sie das Arbeitsblatt und die jeweils vorhandene weiterführende Literatur, bzw. sehen sich einzelne der dort genannten erklärenden Videos an.	AB_Schwingungen http://bit.ly/1KjKMdq Ggf. Video
10 min.	LehrerIn geht mit SuS zur KWEA (die möglicherweise Vibrationen aufweist und), die sich im Betrieb befindet. SuS spüren durch Handauflegen bzw. akustische Wahrnehmung die Schwingungen, die durch die KWEA verursacht werden. SuS untersuchen zudem die KWEA auf schwingungsfähige Komponenten (Rotorblätter, Turm-Gondel-System, Abspannungen/Verstrebungen, Beschwerungen am Boden). SuS überlegen, welche Maßnahmen für Veränderung der Eigenfrequenzen durchgeführt werden können.	Wind, KWEA
10 min.	Sollte die KWEA mit Verstrebungen versehen sein, so können diese mit Spanngurten versteift werden (Erhöhung der Eigenfrequenz). Fall die KWEA mit einem gedämpften Turmkopf ausgestattet ist, kann dieser mit Holzkeilen und Spanngurt ggf. versteift werden.	Spanngurte, Leiter, Holzkeile Bild Versteifung KWEA
10 min.	Vor und nach einem solchen Eingriff bzw. lassen sich die Schwingungen durch „Handauflegen“ bzw. durch eine messtechnische Untersuchung (falls das Equipment dazu in der Schule vorhanden ist) überprüfen.	Wind





VIDEOBASIERTE UNTERSUCHUNG DER SCHWINGUNGEN (ALTERNATIVE GRUPPE 1)



Lernziele und Kompetenzen: siehe auch 6.3.2, zusätzlich Ausbildung von Kompetenz hinsichtlich bildlicher Auswertung

Im Speziellen: Schwingungsfähige Systeme bewegen sich. Windenergieanlagen, so massiv sie auch erscheinen, können sich demnach aufgrund von Schwingungsanregung bewegen, wie dies bereits unter 4.1 dargelegt wurde. Diese Schwingungen lassen sich optisch und akustisch wahrnehmen.

Die optische Auswertung kann durch eine Kamera und entsprechende Auswertesoftware unterstützt werden.



Weiterführende Links/Internetseiten:

- Video zu Installations- und Bedienhinweise zu Icarus – Kostenloses Motion Tracking von Tutorials and More (2011):
<https://www.youtube.com/watch?v=tg0GunPe1yg> [Letzter Zugriff: 15.03.2016]
- Download und Tutorials für Icarus von Colin Levy (2016):
<http://www.colinlevy.com/tuts/IcarusTutorials/Icarus.php> [Letzter Zugriff: 15.03.2016]

Dauer	Beschreibung	Material
15 min.	Praxis: Mit eigener KWEA SuS erarbeiten Ursachen und Folgen für Schwingungen an (Klein-)Windenergieanlagen. Dafür nutzen sie das Arbeitsblatt und die jeweils vorhandene weiterführende Literatur, bzw. sehen sich einzelne der dort genannten erklärenden Videos an.	AB_Schwingungen http://bit.ly/1KjKMdq Links Ggf. Video
5 min.	An die KWEA wird ein Referenzobjekt angebracht, das mit einer Kamera von unten erfasst werden kann, z. B. Winkel mit langem horizontalem Schenkel.	Leiter Referenzobjekt an der KWEA (Regalwinkel o. ä.) Bild Ausleger an KWEA
5 min.	Kamera wird neben den Turm gestellt und nach oben auf das Referenzobjekt ausgerichtet.	Kamera mit Videofunktion Stativ
15 min.	Nach der Inbetriebnahme der Anlage werden betriebsbedingte Schwingungen aufgezeichnet	KWEA Wind
5 min.	Nach einer kurzen Überprüfung, inwieweit verwertbare Aufnahmen bzw. Videos aufgezeichnet wurden, erhält die Arbeitsgruppe die Hausaufgabe, die Schwingungen entweder mit einem einfachen Videoprogramm oder mit einem Tracking-Programm (z. B. ICARUS) zu untersuchen.	Computer



GERÄUSCHWAHRNEHMUNG UND SCHALLMESSUNG AN KWEA (GRUPPE 2)

2

Geeignet für folgende Fächer: Physik, EE, Umwelttechnik, Soziales usw.

i

Allgemein: Windenergieanlagen stehen oft in der Kritik, weil sie aufgrund von Geräuschemissionen die Wohnqualität umliegender bewohnter Gebiete senken. Kleinwindenergieanlagen kämpfen mit dem gleichen Problem, was sich allerdings bei der Aufstellung im Stadtgebiet als noch gravierender als im ländlichen Kontext darstellt. Schall entsteht an der Anlage vor allem durch die Blattspitzenablösung, d.h. die Strömung löst sich vom Rotorblatt.

Der Effekt der Blattspitzenablösung kann nachempfunden werden, wenn man einen Stock durch die Luft wedelt. Weiterhin können auch die Generatoren Geräusche verursachen.

Aus emissionsschutzrechtlichen Gründen dürfen die Schallimmissionen am Ort des Beobachters bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten. Dies kann durch eine entsprechende Auslegung der Anlage, im speziellen des Rotors, bewirkt werden.

Die nachfolgende Tabelle benennt diese Grenzwerte:

Gebiet	Tags	Nachts
Industriegebiete	70 dBA	70 dBA
Gewerbegebiete	65 dBA	50 dBA
Kern-, Dorf- und Mischgebiete	60 dBA	45 dBA
Allgemeine Wohngebiete	55 dBA	40 dBA
Reine Wohngebiete	50 dBA	35 dBA
Kurgebiete, Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45 dBA	35 dBA

Tabelle 6: Immissionsrichtwerte

▶

Auswahl an Videos:

- Video zu Schwingungen und Geräuschemissionen von Auf-Dach-KWEA von Huck Hucki (2013): <https://www.youtube.com/watch?v=qJf8gkyAkFo> [Zugriff am 04.08.2016]
- Video zu Visualisierung von Schallemissionen an WEA von CAssoc1 (2011): <https://www.youtube.com/watch?v=6lxt9KeEoSA> [Zugriff am 04.08.2016]

Weiterführende Links/Internetseiten:

- Informationen durch das Seminar zur Messung der Schallemission von Windenergieanlagen von Dipl.-Ing. Lorenz Wiedemann (2014): http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlug/abt1/v-referate/2014/06_2014/8_wea-schall_2014-05-13.pdf [Letzter Zugriff: 15.03.2016]





Lernziele und Kompetenzen: Wahrnehmung der Geräuschemissionen von KWEA, sowie deren Richtungsabhängigkeit.

Dauer	Beschreibung	Material
	Praxis: Mit eigener KWEA	
15 min.	SuS erarbeiten Ursachen und Folgen von Schallemissionen von (K)WEA. Dafür nutzen sie das Arbeitsblatt und die jeweils vorhandene weiterführende Literatur; bzw. sehen sich einzelne der dort genannten erklärenden Videos an.	AB Schall http://bit.ly/1KjKMdq Ggf. Video
10 min.	SuS nehmen Geräuschemissionen der produzierenden KWEA ohne Messtechnik wahr, indem sie um die Anlage herumgehen und sich von ihr entfernen, um den Einfluss von Windrichtung und Entfernung auf die Schallemissionen zu beobachten. Die KWEA kann ein- und ausgeschaltet werden, um den Unterschied bei den Schallemissionen deutlich zu machen.	Wind KWEA
10 min.	SuS überlegen, wo sich geeignete Messstandorte für eine Schallmessung finden und charakterisieren diese (Entfernung, Ausrichtung auch bzgl. Windrichtung). Die Standorte können auf eine Übersichtskarte eingetragen werden.	Maßband Karte (z. B. googlemaps)
10 min	Auseinandersetzung mit Grenzwerten	

Im Speziellen: Eine beispielhafte Schallmessung an definierten Positionen im Umkreis der Anlage wird unter dem Abschnitt „Praktikum“ beschrieben. Dies ist vom Schwierigkeitsgrad her eher in der Sek II oder in der Berufsbildung einzuordnen. Die Schallmessung erfordert den Einsatz eines Mikrofons, das im günstigsten Fall bereits Bestandteil des Laborinventares ist, da es recht kostspielig ist (ca. 3.000,- €).



SCHATTENWURF/DISKOEFFEKT ERFASSEN (GRUPPE 3)

2

Geeignet für folgende Fächer: Physik, EE, Umwelttechnik, Sachkunde, PW

i

Allgemein: Der Schattenwurf von Windenergieanlagen ist ein kritisches Thema, der häufig die Wahrnehmung von Windkraftanlagen in der Gesellschaft prägt. Aus diesem Grund müssen WEA wie auch KWEA dort aufgebaut werden, wo sie durch ihre Emissionen am wenigsten auffallen bzw. die Anwohner stören. Wie für Geräuschemissionen gibt es auch für den Schattenwurf Grenzwerte, die bezogen auf das Tages- wie auch das Jahresaufkommen des Schattens an einem schutzwürdigen Immissionsort nicht überschritten werden dürfen. Dies sind 30 Minuten am Tag und 30 Stunden im Jahr.

Folgende Effekte sind bei der Beurteilung des störenden optischen Einflusses von Windenergieanlagen zu berücksichtigen:

- **Lichtblitze (Disco-Effekte)** sind periodische Reflexionen des Sonnenlichtes an den Rotorblättern.
- **Kern- Bzw. Halbschatten** ist vom Immissionsort aus betrachtet die vollständige oder nicht vollständige Verdeckung der Sonne durch das Rotorblatt.
- **Periodischer Schattenwurf** ist die wiederkehrende Verschattung des direkten Sonnenlichtes durch die Rotorblätter einer Windenergieanlage.

Als Folge einer Überschreitung der Grenzwerte kann dem Betreiber die Vorgabe gemacht werden, die WEA zu gewissen Zeiten im Jahr abzuschalten, sodass der dynamische Schatten vermieden wird.

▶

Auswahl von Medien:

- Video zum Schattenwurf einer KWEA in ein Wohnzimmer von VAWT1 (2011):
<https://www.youtube.com/watch?v=-TjDKZeYRRQ> [Zugriff am 04.08.2016]
- Informationen zur Schattenwurfberechnung – Energieatlas Bayern vom Bayrischen Landesamt für Umwelt (2016):
<https://www.energieatlas.bayern.de/file/pdf/1099/Erl%C3%A4uterungen%20zur%20Schattensimulation%20von%20Windkraftanlagen.pdf> [Zugriff am 04.08.2016]

*

Lernziele und Kompetenzen: Nachbildung des Schattenwurfs auf dem Schulgelände und Bewusstsein für saisonale Veränderung des Schattenwurfs



Dauer	Beschreibung	Material
20 min.	SuS erarbeiten die Ursachen und Folgen von Schatten und Reflexionen von (K)WEA. Dafür nutzen sie das Arbeitsblatt und die jeweils vorhandene weiterführende Literatur, bzw. sie sehen sich einzelne der dort genannten erklärenden Videos an	AB Schatten http://bit.ly/1KjKMdq
5 min.	LehrerIn beschreibt anhand der PDF des Energieatlas (link siehe oben) das Ziel der Aufgabe, den Schattenwurf auf dem Schulgelände nachzuvollziehen, um einen geeigneten Standort für KWEA zu finden bzw. den aktuellen Standort der KWEA zu bewerten	Energieatlas Bayern
tagesbegleitend	SuS zeichnen alle 30 min. den Schattenwurf der eigenen KWEA mit Kreide auf. Die Punkte können in eine Karte des Schulgeländes eingetragen werden, sodass ein Schattenkarte entsteht	Sonne Kreide Karte
15 min.	Diskussion der Ergebnisse und Bewertung möglicher Standorte hinsichtlich der benannten Grenzwerte	



5.4 UNTERRICHTSEINHEIT ZUR BETRACHTUNG VON GESAMTSYSTEMEN

EIGENE KWEA IST FÜR DIESE UNTERRICHTSEINHEITEN NICHT ZWINGEND ERFORDERLICH.



5.4.1 WIE WIRKEN DIE PV-ANLAGE, DIE KWEA UND UNSER VERBRAUCH ZUSAMMEN? (SEK II)

3

Rahmenplaneinbindung: Geographie (BE) (9-10 > 4.2 – 3, 3.5); Informatik (BE) (7-10 > ITG 2); Physik (BE) (7-8 > W2, 9-10 > P7, 7-10 > WP5); WAT (BE) (7-10 > WP7)
Geeignet für folgende Fächer: IT, Physik, EE, Umwelttechnik

1

Allgemein: Ein „Kraftwerkspark“, der komplett auf Erneuerbaren Energien beruht, muss es zukünftig schaffen, den Bedarf an Strom bedarfsgerecht zur Verfügung zu stellen. Unser Verbrauch unterliegt periodischen Schwankungen, u. a. bedingt durch Tag und Nacht, Arbeitswochen und Wochenenden, verschiedene Jahreszeiten. Dieser Bedarf wird geteilt in eine Grundlast und in eine Spitzenlast. Die Grundlast ist der Strombedarf, der fast immer benötigt wird und die Spitzenlast beinhaltet den sich ändernden Teil des Bedarfs. Bei einer Versorgung mit Strom aus fossilen Kraftwerken, werden diese entsprechend der Last in Grundlastkraftwerke und Spitzenlastkraftwerke eingeteilt. Grundlastkraftwerke (z. B. Kernkraftwerke und Kohlekraftwerke) „laufen“ quasi immer. Die Spitzenlastkraftwerke werden zur Abdeckung der Lastspitzen jeweils hinzugeschaltet. Bei einer Umstellung der Versorgung auf Erneuerbare Energien wird eine ganz andere Kraftwerksstrategie notwendig. Neben der Vorhersage des Stromverbrauchs, ist nun auch eine Vorhersage des Stromangebotes aus Erneuerbaren Energien notwendig. Die Kraftwerke werden nun in fluktuierende (oder auch „nicht regelbare“) und in „Residuallast“ Kraftwerke (z. B. Biomasseanlagen) eingeteilt. Letztere müssen in der Lage sein, die Last zur Verfügung zu stellen, die nicht durch die „nicht regelbaren Kraftwerke“ (z. B. Windkraftanlagen und Sonne) zur Verfügung gestellt werden kann.

*

Lernziele und Kompetenzen: Bewusstsein für Fluktuation der Einspeisung aus Erneuerbaren Energien, Kennenlernen von Flexibilitätsoptionen; Kennen und Umwandeln von CSV-Dateien, Erstellen von Diagrammen, Kopieren und Formatieren von Zellen (Zellenformate Datum und Zeit)

▶

Weiterführende Links/Internetseiten:

- Nachvollziehen des Stromverbrauchs und der „Stromerzeugung“ aus Erneuerbaren Energien (aufgeschlüsselt nach Solarenergie, Windkraft, Laufwasserkraft und Bioenergie), inklusive konventioneller Kraftwerke von Agora Energiewende (2016): <https://www.agora-energiewende.de/de/themen/-agothem-/Produkt/produkt/76/Agorameter/> [Zugriff am 04.08.2016]
- Übersicht zur Leistungsaufnahme und zum Energiebedarf von Haushaltsgeräten von Andreas Morawietz (2009): http://www.energie-bewusstsein.de/index.php?page=thema_energie&p2=geraete_leistungen [Zugriff am 04.08.2016]



Dauer	Beschreibung	Material
Vorbereitung	Die SuS erhielten im Vorfeld die Aufgabenstellung, dass sie zu diesem Unterrichtsblock die Leistungsangaben möglichst aller von ihnen regelmäßig benutzten Haushaltsgeräte mitbringen. Hierfür steht ein Arbeitsblatt zur Erfassung zur Verfügung. Zusätzlich können – falls in der Schule vorhanden – Messgeräte verliehen werden, um z. B. Leistungen von Kühlschränken, Computern, Bildschirmen etc. aufzunehmen.	AB_ein_Tag_bei_mir_zu_Hause http://bit.ly/1KjKMdq
10 min.	Einstieg mit einer Diskussion zur These „Wir können uns zu 100% mit Kraft aus Sonne und Wind mit Energie versorgen – es ist genug da!“ Die Diskussion kann mit den folgenden Fragen eingeleitet werden: „Schaffen wir das? Wer hat Bedenken? Welcher Art sind diese Bedenken?“ Das Bild zu den Größenordnungen der Ressourcen kann dazu an die Wand projiziert werden. Ergänzend erhalten die SuS das Arbeitsblatt Zusammenspiel von Sonne und Wind.	AB_vorhandene_Ressourcen http://bit.ly/1KjKMdq AB_Zusammenspiel_Sonne_Wind http://bit.ly/1KjKMdq
20 min.	Die SuS bekommen stündliche „Einspeisezeitreihen“ für die Windstromerzeugung und PV-Stromerzeugung im CSV Format (je 8760 Werte). (Zeitreihe_PV_Wind_Einspeisung_1MWp.CSV). Sie lesen die Datei in ein Tabellenkalkulationsprogramm (z. B. Excel oder Calc) ein und ergänzen die Tabelle um Spalten für den Tag und die Uhrzeit, die sie mittels Formeln eintragen sollen. Sie erzeugen je ein Kurven-Diagramm für eine frei gewählte Woche zu jeder Jahreszeit, in dem die Wind und PV-Einspeisung zu sehen ist	Zeitreihe_PV_Wind_Einspeisung_1MWp.csv http://bit.ly/1KjKMdq Excel Computer



15 min.	<p>Gemeinsam werden im Anschluss die auftretenden Diskrepanzen zwischen Stromnachfrage und -angebot diskutiert. Der Schwerpunkt der Diskussion liegt dabei auf der unterschiedlichen „Erzeugung“ und der Fragestellung, wie zu bestimmten Zeiten der Bedarf gedeckt werden kann (z. B. durch Speicher oder geringeren Verbrauch). Weiterhin kann über grundsätzliche Aspekte des Bedarfs bzw. der Stromnachfrage gesprochen werden: Mögliche Fragen: „Wann ist sie sehr hoch bzw. wann sehr niedrig?“ „Warum ist das so?“ „Wie lässt sich das ändern?“. Die Lehrkraft gibt Einführung darin, wie die fluktuierende Nachfrage mit fossilen Kraftwerken gedeckt wurde und wie sich dies mit steigendem Anteil Erneuerbarer Energien nun ändert.</p>	<p>AB Der Bedarf http://bit.ly/1KjKMdq Agorameter von Agora Energie- wende http://bit.ly/1SX0mUm</p>
10 min.	<p>Einführung und Diskussion zu Bedarfen von Haushaltsgeräten und übliche Haushaltsgrößen von PV- und KWEA-Anlagen</p>	<p>Links zu Verbrauchsinformationen</p>
25 min.	<p>Anhand des eigenen Haushaltes an einem beliebigen Tag des Jahres soll nun eine stündliche Energiebilanz erstellt werden, indem Bedarf und Erzeugung einberechnet werden. Im Arbeitsblatt bzw. in der Tabelle „ein_Tag_bei_mir_zu_Hause“ wird dafür für jede Stunde des Tages errechnet, wie hoch der Bedarf ist.</p> <p>Aus der Einspeisetabelle der vorangegangenen Aufgabe wird ein Tagesverlauf PV und Wind ausgewählt und auf die Erzeugung einer Haushaltsanlage runterskaliert, Entsprechend der Anweisungen in der Tabelle wird eine stündliche Bilanz erstellt und in einem Diagramm dargestellt. Das Diagramm visualisiert Zeiten für eine mögliche Speicherbeladung und Zeiten des Speicherbedarfes.</p>	<p>AB_ein_Tag_bei_mir_zu_Hause http://bit.ly/1KjKMdq</p>
10 min.	<p>In einer abschließenden Diskussion werden die Unterschiede durch den Verbrauch und die Unterschiede durch die Wahl unterschiedlicher Tage diskutiert.</p>	



5.4.2 NACHHALTIGKEIT VON KWEA (SEK II)

3

Rahmenplaneinbindung: WAT (BE) (7-8 > P2, P8, 7-10 > WP5); Wirtschaftswissenschaft (BE) (11-12 > 4.1)

Geeignet für folgende Fächer: Umweltbildung, Wirtschaft-Arbeit-Technik, Sozialwissenschaften

*

Lernziele und Kompetenzen: Ganzheitliche und kritische Betrachtung von KWEA, energetische Amortisation, Nachhaltigkeit

Kleinwindenergieanlagen haben aufgrund ihrer Größendifferenz zu Windenergieanlagen der Megawattklasse Effizienz- und Kostennachteile. Auch in ihrer energetischen Amortisation und ihrer Treibhausgasbilanz stehen sie etwas schlechter da. In der Vergangenheit wurde von großen Windenergieanlagenherstellern in einigen Ökobilanzen bewiesen, dass sich große WEA innerhalb weniger Monaten energetisch amortisieren können. Das heißt die WEA erzeugen in bereits kurzer Zeit mehr Energie, als in die Produktion, den Betrieb und die Entsorgung der Anlage hineingegeben wurde bzw. werden wird. Da KWEA eine geringere Effizienz gegenüber großen WEA aufweisen, stellt sich die Frage, ob sich KWEA in ihrer Lebenszeit energetisch amortisieren können. Darüber hinaus stellt sich auch die Frage nach den CO₂-Emissionen je Kilowattstunde Strom aus KWEA. Um dies zu ermitteln, muss bekannt sein, welche Materialien in einer KWEA verbaut sind, wo sie herkommen, wie sie hergestellt wurden und wie weit sie transportiert werden mussten. Wenn ein großer zusätzlicher Materialaufwand betrieben werden muss, um die KWEA zu errichten (evtl. für zusätzlich benötigte Teile, wie z. B. eine Halterung oder ein Fundament), muss dies ebenfalls in die Analyse einbezogen und betrachtet werden. Am Ende der Nutzungszeit der Anlage steht deren Entsorgung an. All dies wird z. B. in einer sogenannten „Lebenszyklusanalyse“ („life cycle analysis“ = LCA) untersucht. Es gibt aber auch ähnliche Ansätze mit anderem Namen, wie z. B. die „Ökobilanz“, der „ökologische Fußabdruck“ (auch „ökologischer Rucksack“ genannt) oder weniger umfassend der „kumulierte Energieaufwand (KEA)“. Für alle Analysen bedarf es einer großen Menge an Basisdaten, die teilweise öffentlich verfügbar sind. Zum Teil werden diese Daten auch kommerziell vertrieben und teilweise sind sie leider gar nicht verfügbar.

▶

Weiterführende Literatur/Links:

- Felix Lederle (2015): Untersuchung von ökonomischen und ökologischen Kennwerten für Kleinwindenergieanlagen; Masterarbeit an der HTW Berlin und am Reiner Lemoine Institut; auf Anfrage erhältlich
Felix Lederle bewertet in seiner Arbeit zehn KWEA im Leistungsbereich von 0,4-100 kWp aus wirtschaftlicher und energetischer Sicht sowie bezüglich ihrer CO₂-Emissionen.
- Hochschule Osnabrück und Naturstrom (2015): Studie zur Nachhaltigkeit von großen WEA an verschiedenen Standorten
<http://www.energiezukunft.eu/wind/forschung/nachhaltigkeit-von-windkraftanlagen-gn103188/> [Zugriff am 04.08.2016]
- Umwelt Bundesamt (Relaunch 2015): Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme: <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php> [Zugriff am 04.08.2016]



- Schweizerische Eidgenossenschaft (2015): Ökobilanzierung von Schweizer Windenergie <https://www.zhaw.ch/storage/lfsfm/institute-zentren/iunr/oekobilanzierung/eymann-2015-lca-windenergie-bfe.pdf> [Zugriff am 04.08.2016]

Dauer	Beschreibung	Material
5 min.	Kurze Einführung der Lehrkraft zu Kriterien der Nachhaltigkeit bei Energieanlagen	
20 min	SuS recherchieren in Gruppen zu ca. 4 Personen folgende Begriffe und erstellen eine Erklärungsfolie bzw. ein erklärendes Poster: ökologischer Rucksack, graue Energie, Lebenszyklusanalyse, kumulierter Energieaufwand, Ökobilanz, CO ₂ -Emissionen (inkl. „Vorketten“, CO ₂ -Äquivalenten, Treibhausgasemissionen)	Smartphones oder Computer, Internet, Poster oder elektronische Präsentation
20 min.	SuS präsentieren ihre Begriffe	
	Praxis: Mit eigener KWEA	
10 min.	Lehrkraft entwickelt gemeinsam mit SuS eine Übersicht zu den Schritten des „Lebenswegs“ einer KWEA	FS_Nachhaltigkeit_von_KWEA http://bit.ly/1KjKMdq
15 min.	SuS untersuchen die eigene KWEA im Hinblick auf die eingesetzten Materialien und erstellen dazu eine Übersichtstabelle. Nicht sichtbare Materialien müssen anhand vergleichbarer Anlagen abgeschätzt werden und Gewichte müssen, sofern nicht mit einer Waage zu erfassen, über Volumen und Dichte abgeschätzt werden.	KWEA Evtl. Waage AB-Massenbilanzen http://bit.ly/1KjKMdq
10 min.	Recherche von Basisdaten zur Umweltbilanzierung der gefundenen Materialien unter Nutzung der prozessorientierten Basisdaten für Umweltmanagementsysteme des UBA und Recherche von Ergebnissen von Ökobilanzen o.ä. von KWEA	Computer/Smartphone Internet FS_Nachhaltigkeit_von_KWEA http://bit.ly/1KjKMdq
10 min.	Zusammentragen aller Ergebnisse in ein Poster/eine Präsentation	



5.5 UNTERRICHTEINHEIT ZUR BETRACHTUNG DER ENERGIEWENDE MIT DEM FOKUS AUF DAS STROMNETZ



5.5.1 STROMNETZ: EINSPEISUNG VON ENERGIE, STRUKTUR DES DEUTSCHEN STROMNETZES, BESTANDTEILE, HERAUSFORDERUNGEN IM RAHMEN DER ENERGIEWENDE (SEK II)

2

Rahmenplaneinbindung: Chemie (9-10 > W2); Chemie (BB) (11-12 > 4.2, 4.6); Physik (BE) (7-8 > P8, W8, 9-10 > P1, P2, P7, W2, 7-10 > WP5, 11-12 > Z2, 4.2); WAT (BE) (7-10 > WP7)

1

Allgemein: Die Energieumwandlung von Energie durch Kohle, Gas, Atom, Wind, Wasser und Sonne ist ein immer größer werdendes Thema. Die Endlichkeit der fossilen Ressourcen (insbesondere Erdöl und Erdgas betreffend) und die Verschmutzung der Umwelt sowie die Treibhausgase (u. a. durch Kohle) sind hier die wesentlichen Argumente. Hinsichtlich der Energiewende und der Umstellung auf erneuerbare Energien geht es zunehmend auch um Fragen der Verteilung (mittels des Stromnetzes) und um die Speicherung des durch regenerative Energiequellen gewandelten Stroms. Erneuerbare Energien sind standortabhängig, wodurch in einigen Regionen viel (im Bereich der Windkraft insbesondere im Norden Deutschlands) und in anderen weniger „erzeugt“ werden kann. Gleichzeitig befindet sich die energieintensive Industrie meist im Süden und damit nicht in den Regionen mit vielen erneuerbaren Energiequellen. Dementsprechend müssen Stromnetze neu gebaut oder ausgebaut werden. Darüber hinaus sind regenerative Energien wetterbedingt erheblichen Schwankungen unterworfen, indem z. B. mehr Strom gewandelt als verbraucht wird. Hierfür werden Speicher benötigt, die aber für größere Mengen im Stromsektor technisch noch nicht ausgereift sind. Der Weg des Stroms von der Einspeisung zum Verbraucher und möglichen Speichern ist somit eine große Herausforderung für die Energiewende.

*

Lernziele und Kompetenzen: Kennenlernen der Grundstruktur des deutschen Stromnetzes und Verständnis, wie Strom in das Netz eingespeist wird. Entwicklung eines Bewusstseins zu den Herausforderungen der Energiewende in diesem Bereich. Schülerinnen und Schüler verbessern ihre Fähigkeit Lerninhalte selber zu erarbeiten und diese dann mit geeigneten Mitteln zu präsentieren.

▶

Auswahl an Videos:

- Einfache Erläuterung der Stiftung Neue Verantwortung zu den notwendigen Veränderungen des Stromnetzes im Zuge der Energiewende (Trickfilm) (2012):
<https://www.youtube.com/watch?v=iyvAwd4p6ds> [Zugriff am 04.08.2016]
- Kombikraftwerk 2 – Stabiler Strom aus erneuerbaren Energien. Ergebnisse des Forschungsprojekts „Kombikraftwerk 2“ (2016):
<http://www.kombikraftwerk.de/start.html> [Zugriff am 04.08.2016]
- Detaillierte Beschreibung der notwendigen Systemdienstleistungen für eine stabile Stromversorgung der Agentur für erneuerbare Energien
<https://www.youtube.com/watch?v=szJQ5Pf9Aus> [Zugriff am 04.08.2016]



Medienauswahl:

- Grundsätzliche Informationen zu Stromnetzen und Systemdienstleistungen finden sich auf der Seite des Stromnetzbetreibers „50hertz“ (2016):
<http://www.50hertz.com/de/50Hertz> [Zugriff am 04.08.2016]

Dauer	Beschreibung	Material
15 min.	Zum Einstieg eignet sich ein Film zum Themenfeld „Smart Grid“. Im Anschluss erläutert die Lehrkraft mittels einer Tafelarbeit mit Abbildungen folgende Aspekte: Wie wird Strom eingespeist? Welche Funktionen erfüllen folgende Komponenten: <ul style="list-style-type: none"> • Quelle (Fossil, Regenerativ) • Generator • Umrichter • Transformator • Stromtrasse? 	Film: Smart Grids – Einfach erklärt: http://bit.ly/1U7E2sZ Informationen und interaktive Graphiken auf der Homepage von 50 Hertz http://bit.ly/23DJ0zy Infomaterial: http://bit.ly/1WWFrjD
10 min.	Die Schülerinnen und Schüler benutzen die interaktiven Graphiken zur Planung der Stromtrasse auf der Website von 50 Hertz.	interaktive Graphiken auf der Homepage von 50 Hertz http://bit.ly/23DJ0zy
20 min.	Tafelarbeit mit Abbildungen: Wie ist das deutsche Stromnetz aufgebaut? <ul style="list-style-type: none"> • Verbundnetz • Übertragungsnetz-betreiber • Regelleistung 	Infomaterial: Richard Marenbach, Dieter Nelles, Christian Tuttas: Elektrische Energietechnik Grundlagen, Energieversorgung, Antriebe und Leistungselektronik. S. 267 Kapitel 7.2.2 Lehrbuch. Springer. 2. Auflage. 2013 Infomaterial: Regelleistung und Regelleistung auf: http://bit.ly/24DoHUH Infomaterial: Das Stromnetz in Deutschland Kapitel 2. http://bit.ly/1RJXesX
45 min.	Die Schülerinnen und Schüler recherchieren verschiedene Speichertechnologien anhand des Internets und ausgeteiltem Informationsmaterials und präsentieren sich diese gegenseitig. Themen sind: Elektrische Speicher (mechanisch, elektrisch, elektrochemisch) Thermische Speicher (latent, sensibel, thermochemisch)	Informationsmaterial: Elektromobilität als Verbraucher und Speicher. Kapitel 6. http://bit.ly/1LB3tQv Infomaterial: Viktor Wesselak, Thomas Schabbach, Thomas Link, Joachim Fischer: Regenerative Energietechnik. S. 670 Kapitel 10.1. Lehrbuch. Springer. 2. Auflage. 2013



6

EE-SCHULE

HUMAN-SOZIALE PERSPEKTIVE



6.1 GESAMTSTRATEGIE DER ENERGIEWENDE (SEK II)

6.2 TECHNIKSOCIOLOGIE UND UMSETZUNG SOZIALWISSENSCHAFTLICHEN ARBEITENS (SEK II)

6.3 PLANSPIEL WINDKRAFTKONFLIKT (SEK II)



6 HUMAN-SOZIALE PERSPEKTIVE

Im Bereich der human-sozialen Perspektive liegt der Fokus auf menschlichen Handlungen und Einstellungsmustern, die sich mit der Technikentwicklung und Techniknutzung verbinden lassen. Dem liegt das Verständnis zugrunde, dass die Technik „Ergebnis menschlicher Handlungen ist, die ihrerseits nicht losgelöst von gesellschaftlichen Prozessen zu sehen ist“⁸. Technische Bildung wird mit dieser Herangehensweise als Teil einer gesellschaftswissenschaftlichen Bildung gesehen und eignet sich besonders für sozial- oder politikwissenschaftliche bzw. für berufsbildende Fächer.

8 Bienhaus, Wolf (2009): Acht Thesen für einen guten Technikunterricht. Ein Anforderungsprofil. In: *tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht* 34 (131), S. 5.



6.1 GESAMTSTRATEGIE DER ENERGIEWENDE (SEK II)

2

3

Rahmenplaneinbindung: Politikwissenschaften (BE) (11-12 > 4.2 T7); Sozialwissenschaft (BE) (11-12 > 4.2 B); Politische Bildung (BB/BE) (7-10 > 3.2); Wirtschaftswissenschaften (BE) (11-12 > 4.1)

Geeignet für folgende Fächer: Sozialkunde, Ethik, Wirtschaft-Arbeit-Technik, Geschichte

1

Allgemein: Schülerinnen und Schüler sollen sich mit den Hintergründen und Notwendigkeiten der Energiewende auseinandersetzen können bzw. einen Eindruck bekommen, welche Bestandteile in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen. Hierbei ist wichtig zu verstehen, dass es noch keinen „Masterplan“ bzw. eine „Blaupause“ für einen solchen Transformationsprozess gibt, sondern dass es hier auch zu „try and error“ Prozessen kommen kann. Wichtig ist ein Verständnis dafür, dass einzelne Fehlentwicklungen nicht das ganze Vorhaben in Frage stellen, sondern dass es immer wieder eines Abwägungsprozesses bedarf.

*

Lernziele und Kompetenzen: Entwicklung eines Verständnisses für die Komplexität der Gesamtstrategie der Energiewende und Auseinandersetzung mit den Kritikpunkten z. B. seitens der Zivilgesellschaft oder verschiedener gesellschaftlicher Akteure. Entwicklung eines fundierten und durch Argumente begründeten eigenen Standpunkts

▶

Video:

- Kurzer Film zu den Bestandteilen und Herausforderungen der Energiewende von der Plattform e-politik.de aus der Reihe WissensWerte“ siehe <http://e-politik.de/artikel/2012/wissenswerte-energiewende/> [Zugriff am 04.08.2016]

Medienauswahl:

- Überblick über die Maßnahmen zur Energiewende aus Sicht der Bundesregierung (2016): https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/_node.html [Zugriff am 04.08.2016]
- Darstellung der Gesamtstrategie der Energiewende des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (2016): <https://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiewende/gesamtstrategie.html> [Zugriff am 04.08.2016]
- Monitoring zum Stand der Energiewende (2016): <https://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiewende/monitoring-prozess.html> [Zugriff am 04.08.2016]



Dauer	Beschreibung	Material
15 min.	Einstieg in die Thematik mit einem kurzen Film zum Thema „Energiewende“ aus der Reihe „WissensWerte“	http://bit.ly/28N0dQq
40 min.	Schülerinnen und Schüler bilden drei Arbeitsgruppen und bearbeiten mit zuvor zusammengestellten Arbeitsmaterialien die folgenden Themenschwerpunkte:	
	Arbeitsgruppe I: Welche Gesamtstrategie bzw. welche Bestandteile benennt das zuständige Ministerium für Wirtschaft und Energie?	http://bit.ly/1PSLfus
	Arbeitsgruppe II Wie bewertet die Expertenkommission den Fortschritt der Energiewende (Stand 2013)?	http://bit.ly/2aL5U4n
	Arbeitsgruppe III Welche Kritiken äußern Medien und zivilgesellschaftliche Akteure an der Energiewende Bericht des Panorama Magazins des NDR aus 2012 und Erörterung: Was ist die hauptsächliche Kritik an der Umsetzung der EW. Was hat sich seit 2012 getan? Gilt die Kritik noch?	http://bit.ly/1kdYUPq
30 min.	Präsentation der Ergebnisse	Hilfsmittel: Karteikarten, Papier, Filzstifte, Eddings, Plakate, Tafel
5 min.	Zusammenfassung	
	Ergänzung bzw. Vertiefung	
20 min.	Auseinandersetzung mit den Positionen weiterer Akteure (z. B. NGO Germanwatch)	http://bit.ly/2aVhUmT
10 min.	Schülerinnen und Schüler sollen eigene Kritikpunkte unter folgenden Gesichtspunkten formulieren: Wie bewerten sie selbst die Planung und den Stand der Energiewende? Wo sehen sie positive und wo negative Entwicklungen? Welche Argumente überwiegen aus ihrer Sicht?	
15 min.	Schülerinnen und Schüler nehmen Stellung und diskutieren ihre Kritikpunkte	



6.2 TECHNIKSOZIOLOGIE UND UMSETZUNG SOZIALWISSENSCHAFTLICHEN ARBEITENS (SEK II)

3

Rahmenplaneinbindung: Geschichte (BE) (7-8 > 5); Philosophie (BE) (9-10 > 4.2)
Geeignet für folgende Fächer: Sozialkunde, Ethik, Wirtschaft-Arbeit-Technik, Geschichte

i

Allgemein: Schülerinnen und Schüler lernen neue Perspektiven im Hinblick auf die Entwicklung und den Umgang mit Technik kennen. Durch die Beschäftigung mit der Techniksoziologie entwickeln sie ein Verständnis dafür, dass soziale Prozesse mit der Erzeugung und Nutzung von **Technik verbunden sind**, in welchem Verhältnis **Technik** und Gesellschaft stehen und welche (u. a. soziale) Folgewirkungen mit der Entwicklung und Nutzung von **Technik verbunden sein können**.

Lernziele und Kompetenzen: Verständnis dafür, dass Technik nicht nur ein Artefakt darstellt, sondern auch einen sozialen Prozess beinhaltet und durch das Zusammenwirken von sozialen und technischen Faktoren zustande kommt. Schülerinnen und Schüler lernen sowohl sozialwissenschaftliche Arbeitsweisen als auch interdisziplinäre Herangehensweisen kennen und wenden diese an. Sie erhalten Einblicke in Bereiche der empirischen Sozialforschung, die sie auch im Rahmen von eigenen Recherchen (z. B. Interviews) bzw. Abschlussarbeiten einsetzen können.

▶

Video:

- Konkretes Beispiel für das Aufgreifen bzw. Entwickeln einer Technologie in einem konkreten sozialen Kontext: William Kamkwamba: Der Junge, der den Wind einfing: Eine afrikanische Heldengeschichte“ (2009):
<https://www.youtube.com/watch?v=xtGWWe9gYDk> [Zugriff am 04.08.2016]
- Von Fischer Green Tec eine Geschichte der Windenergie (Video in Trickfilmformat) (2014): <https://www.youtube.com/watch?v=wxWjusO7b7U> [Zugriff am 04.08.2016]

Medienauswahl:

- Einführender Text: Rammert, W. (2006): Technik, Handeln und Sozialstruktur: Eine Einführung in die Soziologie der Technik. Berlin: Technical University Technology Studies, Working Papers, TUTS-WP-3-2006.
https://www.ts.tu-berlin.de/fileadmin/fg226/TUTS/TUTS_WP_3_2006.pdf
 [Zugriff am 04.08.2016]
- Zeit online Artikel von Manfred Kriener vom 02.02.2012 „Die Kraft aus der Luft“:
<http://www.zeit.de/2012/06/Windkraft> [Zugriff am 04.08.2016]
- Konstellationsanalyse „Innovationsbiographie der Windkraft“ (2007):
https://www.tu-berlin.de/ztg/menue/projekte_und_kompetenzen/konstellationsanalyse/v-menue/beispiele/analyse_von_steuerung_in_entwicklungsprozessen/innovationsbiografie_der_windenergie/
 [Zugriff am 04.08.2016]
- Methoden der empirischen Sozialforschung von Prof. Dr. Karl Lenz der TU Dresden zum Themenkomplex Qualitative Sozialforschung. Folien zur Vorlesung (2007):
https://tu-dresden.de/gsw/phil/iso/mes/ressourcen/dateien/prof/lehre/unterlagen_ringvorlesung/qm_1.pdf?lang=de [Zugriff am 04.08.2016]

Dauer	Beschreibung	Material
25 min.	<p>Zum Einstieg eignet sich ein Film, der ein konkretes Beispiel für einen sozialen Kontext aufzeigt, in dem Technik entsteht. Hieran lässt sich eine erste Diskussion anschließen.</p> <p>Eine intensivere und eher theoriegeleitete Beschäftigung ermöglicht ein Text von Prof. Dr. Werner Rammert zum Thema: „Technik, Handeln und Sozialstruktur: Eine Einführung in die Soziologie der Technik“</p>	<p>Video: „William Kamkwamba: Der Junge, der den Wind einfing: Eine afrikanische Heldengeschichte“ http://bit.ly/2ao0N7x</p> <p>Einführung in die Soziologie der Technik: http://bit.ly/2ao0N7x</p>
40 min.	<p>Nach einem kurzen „Trickfilm“ zur Windkraft, erhalten Arbeitsgruppen Texte mit erkenntnisleitenden Fragen, die zu einer Diskussion über das Zusammenwirken von technischen Faktoren, um ein erwünschtes soziales Ergebnis zu erreichen, führen sollen:</p>	<p>Video: Die Geschichte der Windenergie http://bit.ly/2ao0N7x</p>
	<p>1. „Die Kraft aus der Luft“ Zeit Online Artikel vom 02.02.2012</p> <p>Mögliche Fragen hierzu: Welches sind die im Artikel beschriebenen wesentlichen sozialen Einflussfaktoren für die Entwicklung von Windenergieanlagen? Teilen Sie diese?</p>	<p>Zeit Online Artikel unter: http://bit.ly/2axpB2H</p>
	<p>2. „Innovationsbiographie der Windkraft“ im Rahmen einer Konstellationsanalyse: Schülerinnen und Schüler interpretieren die Schaubilder der Entwicklungsphasen. Mögliche Frage hierzu: Finden Sie die Schaubilder schlüssig und das Konzept für eine interdisziplinäre Arbeit sinnvoll?</p>	<p>Hintergründe zur Innovationsbiographie unter: http://bit.ly/1Tlu3dK</p>
	<p>3. Interviewtechniken anwenden: Wie stehen die SuS selbst zur Entwicklung der Windenergie? Umsetzung gegenseitiger Interviews, inklusive der Entwicklung von Fragen und der Aufzeichnung von Antworten.</p> <p>Hierbei werden Beispiele für ein Leitfadeninterview und eines für ein „erzählgenerierendes“ Interview aufgezeigt.</p>	<p>Übersicht zu Interviewtechniken http://bit.ly/1SY91EX</p>
5 min.	Präsentationsvorbereitung	Karteikarten, Papier, Filzstifte, Eddings, Plakate, Tafel
20 min.	Präsentation	



6.3 PLANSPIEL WINDKRAFTKONFLIKT (SEK II)

2

Rahmenplaneinbindung: Wirtschaftswissenschaften (11-12 > 4.1(BE), 11-12 > 4.2.1-4 (BB)); WAT (BE) (9-10 > P8, 7-10 > WP4, WP7, WP8); Naturwissenschaften (BE/BB) (7-10 > 3.5)

Geeignet für folgende Fächer: Sozialkunde, Ethik, Wirtschaft-Arbeit-Technik, Geschichte

i

Allgemein: Planspiele eignen sich gut für einen argumentativen Rollenwechsel und das Hineinversetzen in die Argumentation unterschiedlicher Akteure im Kontext eines Konfliktes oder im Fall gegensätzlicher Interessen. Dies ist häufig im Fall der Errichtung von Windkraftanlagen oder Windparks gegeben, weswegen sich besonders dieses Themenfeld für die Durchführung eines Planspiels eignet. Wir greifen hier auf ein Planspiel zurück, das vom Wissenschaftsladen Bonn entwickelt wurde und unter <http://www.wilabonn.de/themen/bildung/planspiele.html> verfügbar ist.

*

Lernziele und Kompetenzen: Schülerinnen und Schüler lernen verschiedene Positionen u. Argumente für und gegen die Errichtung von Windparks kennen und versetzen sich in die Lage unterschiedlicher Akteure. Sie lernen sachlich zu begründen, auf andere Argumente einzugehen und reflektieren sich sowie andere hinsichtlich ihres Auftretens.



Dauer	Beschreibung	Material
10 min.	Durchführung des Planspiels „Windkraftkonflikt“ des Wissenschaftsladens Bonn. Aufteilung des Kurses mit Hilfe der Rollenlose in Gruppen bzw. Einzelpersonen. Diese erhalten jeweils eine Spielmappe mit den für die jeweilige Rolle relevanten Materialien.	Planspiel: http://bit.ly/1LRrTzM
30 min.	Alle Gruppen erhalten den fiktiven Zeitungsartikel „Neue Skyline am Rhein“, der im Rahmen des Planspiels zur Verfügung gestellt wird. Anschließend gibt es für jede Gruppe, ihrer Rolle entsprechend, Material, mit dem sie sich auf die Diskussionsrunde vorbereiten.	
40 min.	Die verschiedenen Akteure werden in Form einer Gruppe vertreten und unterscheiden sich in Diskutierende und Beobachtende. Ein Wechsel im Verlauf des Planspiels ist sinnvoll. Die Beobachter/innen sitzen hinter ihren Partner/innen. Nun beginnt das eigentliche Spiel. Die Leitung der Bürgerversammlung übernimmt die Rolle der Moderatorin/ des Moderators. Sie/Er eröffnet die Sitzung und fordert auf, den an der Sitzung Teilnehmenden die Argumente vorzutragen. Haben alle Gruppen ihre Position vorgestellt, beginnt die freie Diskussion. Dabei versucht der Moderator zwischen den Gruppen zu vermitteln. Er sorgt dafür, dass am Ende der 40 Minuten ein Lösungsvorschlag präsentiert wird, über den abgestimmt werden kann.	
10 min.	Abschließend wird das Planspiel mit Hilfe des entsprechenden Arbeitsbogens (M12) ausgewertet und die Selbsteinschätzung durchgeführt, die Beobachter geben ihren Partnern mit Hilfe ihrer Notizen eine Rückmeldung.	



7

EE-SCHULE

SINN- UND WERTEPERSPEKTIVE



7.1 BETEILIGUNG BEIM BAU UND BETRIEB VON WINDKRAFT-ANLAGEN (SEK II)

7.2 ENDE DES FOSSILEN ENERGIEZEITALTERS UND GROSSE TRANSFORMATION (SEK II)

7.3 „DIE GROSSE TRANSFORMATION“ UND BEISPIELE FÜR „PIONIERS DES WANDELS“ (SEK II)

7.4 CO₂ HANDEL; EFFIZIENZ- ODER SUFFIZIENZSTRATEGIEN – WAS IST DER RICHTIGE WEG? (SEK II)

7.5 ENERGIE- UND KLIMAGERECHTIGKEIT (SEK II)



7 SINN- UND WERTEPERSPEKTIVE

Die Sinn- und Wertperspektive reicht über das Themenfeld Windkraft und Kleinwindenergieanlagen hinaus und soll Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit bieten, sich mit den Gründen für die Energiewende auseinanderzusetzen und darüber hinaus mit Beteiligungs- und Teilhabeaspekten befassen zu können. Weiterhin geht es um die Reflektion der Herausforderungen und Auswirkungen einer auf Wachstum ausgerichteten Weltwirtschaftsgesellschaft (z. B. in Form des Klimawandels, der Ressourcenverknappung und der Migrationsentwicklungen). Letztlich soll durch die Unterrichtsvorschläge deutlich werden, dass die Energiewende ein Teilbereich der „großen Transformation“ ist und auch in weiteren Feldern eine Umsteuerung in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung notwendig ist.



7.1 BETEILIGUNG BEIM BAU UND BETRIEB VON WINDKRAFTANLAGEN (SEK II)

2

Rahmenlehrplaneinbindung: Wirtschaftswissenschaften (11-12 > 4.1(BE), 11-12 > 4.2.1-4 (BB)); WAT (BE) (9-10 > P8, 7-10 > WP4, WP7, WP8); Geographie (BE) (9-10 > 4.2 3, 11-12 > 4.2);
Geeignet für folgende Fächer: Sozialkunde, Ethik, Wirtschaft-Arbeit-Technik, Geschichte

i

Allgemein: Verfahren der Beteiligung und der Teilhabe sind von wesentlicher Bedeutung, um eine Akzeptanz für Windkraftanlagen zu erzielen. Besonders auf der lokalen Ebene bedarf es daher einer Beteiligung der Bevölkerung und Strategien der Teilhabe im Vorfeld von geplanten Anlagen. Erfolgt dies nicht, so sind häufig Widerstände und Ablehnungen gegen neue WKA beobachtbar.

*

Lernziele und Kompetenzen: Schülerinnen und Schüler lernen zunächst grundsätzliche Aspekte von Akzeptanz- und Beteiligungsstrategien kennen. Sie erhalten Informationen zur Unterscheidung von formellen und informellen Beteiligungsverfahren und bekommen Einblicke in konkrete Teilhabebeispiele.

▶

Videos:

- Kurzfilme mit Beispielen der Beteiligung auf dem YouTube-Kanal der Agentur für Erneuerbare Energien (2016):
<https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/filme-animationen>
 [Zugriff am 08.08.2016]

Medienauswahl:

- Artikel von Frau Dr. Petra Schweizer Ries zum Thema "Akzeptanz- und Partizipationsforschung zu Energiehaltung" aus dem Themenheft des Forschungsverbund Erneuerbare Energien zum Thema „Transformationsforschung für ein nachhaltiges Energiesystem“ vom 01.07.2011:
http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2011-2/th2011_07_01.pdf
 [Zugriff am 08.08.2016]
- Beteiligungsleitfaden Windenergie des BUND und NABU (2014):
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 08.08.2016]
- Studie des Instituts für ZukunftsEnergieSysteme zu den Nutzeneffekten von Bürgerenergie:
http://www.buendnis-buergerenergie.de/fileadmin/user_upload/Studie_Nutzeffekte_von_Buergerenergie_17092015.pdf [Zugriff am 08.08.2016]
- Studie der Leuphana Universität Lüneburg zum Stand der Energiegenossenschaften in Deutschland (2015):
https://www.buendnis-buergerenergie.de/fileadmin/user_upload/downloads/Studien/Studie_Zum_Stand_von_Energiegenossenschaften_in_Deutschland_Leuphana.pdf [Zugriff am 08.08.2016]



- Bericht des Magazins „Panorama“ zum Thema „Neodym in Windkraftanlagen“ unter dem Titel „Das schmutzige Geheimnis sauberer Windräder“ vom 28.04.2011:
<http://daserste.ndr.de/panorama/archiv/2011/windkraft189.html>
[Zugriff am 08.08.2016]

Dauer	Beschreibung	Material
20 min.	Einführung in die grundsätzlichen Aspekte von Akzeptanz und Beteiligung, mittels des Artikels „Akzeptanz- und Partizipationsforschung zu Energienachhaltigkeit“ von Frau Prof. Dr. Petra Schweizer-Ries im FVEE Themenheft 2011	http://bit.ly/1SMePTb
10 min.	2 Kurzfilme zu Beispielen: Gemeinsame Planung von Windkraft im Odenwaldkreis in Hessen und Direktvermarktung von Windenergie	Film 1: http://bit.ly/1WIdqy9 Film 2: http://bit.ly/1Zcerh6
30 min.	Arbeitsgruppenphase zu Akzeptanz und möglichen Akzeptanzproblemen:	
	AG Sichtung des Beteiligungsleitfadens Windenergie. Mögliche Fragen hierzu: Welche Beteiligungsmöglichkeiten haben Verbände? Welche Beteiligungsverfahren gibt es?	Beteiligungsleitfaden Windenergie des BUND und NABU: http://bit.ly/1T16AEH
	AG Sichtung der Studie des Instituts für ZukunftsEnergieSysteme zu den Nutzeffekten von Bürgerenergie. Mögliche Fragen hierzu: Welche zentralen Effekte werden genannt und wie beurteilen Sie diese?	http://bit.ly/1ruxYPi
	AG 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?	http://bit.ly/23oRYi5
	AG Kritische Auseinandersetzung mit der Windkraft: Neodym in Windkraftanlagen. Mögliche Fragen hierzu: Welche Folgen könnte ein dauerhafter Einsatz für die gesellschaftliche Akzeptanz haben. Wie beurteilen Sie diesen Sachverhalt?	http://bit.ly/1MUPELv
20 min.	Präsentationen der Arbeitsgruppen zu ihren Erkenntnissen	



7.2 ENDE DES FOSSILEN ENERGIEZEITALTERS UND GROSSE TRANSFORMATION (SEK II)

2

Rahmenlehrplaneinbindung: Geographie (BE) (9-10 > 4.2.3); Geographie (BB/BE) (9-10 > 3.5); Geschichte (BE) (7-8 > 5)

Geeignet für folgende Fächer: Sozialkunde, Ethik, Wirtschaft-Arbeit-Technik, Geschichte



Allgemein: Das fossile Energiezeitalter neigt sich dem Ende zu. Nun sind Herausforderungen zu meistern, um die notwendige „große Transformation“ (WBGU) bewältigen und unsere Lebens- und Wirtschaftsweise innerhalb der „planetarischen Leitplanken“ organisieren zu können.



Lernziele und Kompetenzen: Schülerinnen und Schüler erschließen sich, wie technische Erfindungen und insbesondere die fossilen Energieträger die industrielle Revolution vorangetrieben haben. Sie erkennen die Bedeutung dieser Energieträger für unsere Zeitepoche, aber auch die Grenzen dieses Wachstumsmodells. Neben dem vorangegangenen „Systemwissen“ über bestehende Strukturen und Prozesse, lernen sie im Kontext der Beschäftigung mit der großen Transformation auch „Zielwissen“, d. h. Wissen über die Ziele künftig anzustrebender Entwicklungen und Szenarien kennen.



Videos:

- Trickfilm „300 Jahre fossile Energie in 300 Sekunden“ des „Post Carbon Instituts“ unter (2011):
https://www.youtube.com/watch?v=np_65ymgOfE [Zugriff am 08.08.2016]
- Trickfilm „Macht Mensch – Das Konzept planetarischer Leitplanken“ des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) unter (2016):
<http://www.wbgu.de/audio-video/videos-wbgu/video-leitplanken/> [Zugriff am 08.08.2016]
- Film: Interview mit dem WBGU Vorsitzenden Prof. Dr. Dirk Messner über die neuen Ziele für nachhaltige Entwicklung (2016):
<http://www.wbgu.de/audio-video/videos-wbgu/video-messner/> [Zugriff am 08.08.2016]

Medienauswahl:

- Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation, Hauptgutachten 2011, 4-seitige Kurzdarstellung einzelner Themen (factsheets) unter (2011):
<http://www.wbgu.de/hauptgutachten/hg-2011-transformation/> [Zugriff am 08.08.2016]



Dauer	Beschreibung	Material
10 min.	<p>Schülerinnen und Schüler sehen sich den Trickfilm „300 Jahre fossile Energie in 300 Sekunden“ des „Post Carbon Instituts“ an.</p> <p>Vorab erhalten sie folgende erkenntnisleitende Fragestellungen:</p> <p>Welche Zeitepochen werden angesprochen?</p> <p>Welche Auswirkungen hatten einige der genannten technischen Erfindungen auf die weitere gesellschaftliche Entwicklung?</p> <p>Warum treten Grenzen des Wachstums auf?</p> <p>Was ist mit Resilienz gemeint?</p> <p>Welche Einflussmöglichkeiten habt ihr/haben Sie selbst?</p>	<p>Der Trickfilm ist verfügbar unter</p> <p>http://bit.ly/1Px25i6</p>
15 min.	<p>Im Anschluss des Films werden die Fragen mit allen Schülerinnen und Schüler diskutiert.</p>	
40 min.	<p>Interview mit WBGU Vorsitzenden und Beschäftigung mit den (vierseitigen) „factsheets“ des WBGU Hauptgutachtens in 5 Arbeitsgruppen.</p> <p>Gegenseitige Präsentation der „Essentials“.</p> <p>Arbeitsgruppen festlegen</p>	<p>Interview mit Prof. Dr. Dirk Messner:</p> <p>http://bit.ly/1QOVmOi</p> <p>1. Große Transformation:</p> <p>http://bit.ly/1oa9S7x</p>
25 min.	Präsentationen	



7.3 „DIE GROSSE TRANSFORMATION“ UND BEISPIELE FÜR „PIONIERE DES WANDELS“ (SEK II)

3

Rahmenplaneinbindung: WAT (BE) (9-10 > P8, 7-10 > WP4, WP7, WP8); Geschichte (BE) (7-8 > 5); Politische Bildung (BB/BE) (7-10 > 3.2)

Geeignet für folgende Fächer: Sozialkunde, Ethik, Wirtschaft-Arbeit-Technik, Geschichte



Allgemein: Für eine transformative Bildung bedarf es neben des „Zielwissens“ auch „Transformationswissen“, d. h. Wissen darüber, wie wir vom derzeitigen Zustand in den erwünschten „Soll-Zustand“ kommen können. Hierfür ist es wichtig, sich mit ersten Beispielen der Veränderung zu befassen und zu diskutieren, inwieweit derartige Aktivitäten eine Vorbild- bzw. „Pionierfunktion“ haben könnten.



Lernziele und Kompetenzen: Schülerinnen und Schüler lernen neue Initiativen und konkrete praktische Umsetzungsbeispiele kennen, die sich auf einen ersten (lokalen) Weg zu einer Transformation gemacht haben. Sie lernen die Transformationsnotwendigkeiten und -anforderungen sowie mögliche Alternativen und deren Bedeutung kennen. Sie werden aufgefordert ein eigenes Werturteil abzugeben und argumentativ zu vertreten.



Videos:

- Information des „Transition Netzwerks“ mit vielfältigen Beispielen und Filmen unter (2010):
<http://www.transition-initiativen.de/> [Zugriff am 08.08.2016]
- Solidarische Landwirtschaft und Transition Town auf arte vom 16.11.2015:
<http://future.artetv.de/permakultur-landwirtschaft-der-zukunft/solidarische-landwirtschaft-und-transition-towns> [Zugriff am 08.08.2016]

Medienauswahl:

- Informationen zur Lokalen Agenda Berlin unter (2016):
<http://www.berlin21.net/content/aufgaben-und-ziele> [Zugriff am 08.08.2016]
- Homepage der „degrowth Bewegung“ unter (2016):
<http://www.degrowth.de/de/was-ist-degrowth/> [Zugriff am 08.08.2016]
- Informationen zu den „Pionieren des Wandels“ unter (2013):
<https://transformationszeitung.wordpress.com/2013/10/15/pioniere-des-wandels/> [Zugriff am 08.08.2016]



Dauer	Beschreibung	Material
15 min.	Zum Einstieg wird der Film von arte zum Thema „Was sind Transition Towns?“ gezeigt.	http://bit.ly/ljVTt7w
40 min.	Im Anschluss erfolgt eine Recherche in vier Arbeitsgruppen zu den unterschiedlichen Hintergründen:	
	1. Was steckt hinter den Transition Town Bewegungen?	1. http://bit.ly/2bK8upe
	2. Was steckt von hinter den Lokalen Agenda 21 Initiativen?	2. http://bit.ly/1kvgm28
	3. Was verbirgt sich hinter der „de-growth“ Bewegung?	3. http://bit.ly/1Xhneyn
	Was hat das mit „Change Agents/ „Pionieren des Wandels“ zu tun?	4. http://bit.ly/1X8tTfL
15 min.	Jede Gruppe sammelt Stichpunkte, um die Inhalte vorzustellen und in einem Statement die eigene Sichtweise auf das Thema abzugeben	Präsentationsmaterial wie Karteikarten, Stifte, kreatives Material
20 min.	Gegenseitige Präsentation und gemeinsame Diskussion	



7.4 CO₂ HANDEL; EFFIZIENZ- ODER SUFFIZIENZ-STRATEGIEN – WAS IST DER RICHTIGE WEG? (SEK II)

3

Rahmenplaneinbindung: Politikwissenschaften (BE) (11-12 > 4.2 T7); WAT (BE) (7-10 > WP4, WP8); Sozialwissenschaft (BE) (11-12 > 4.4 B)

Geeignet für folgende Fächer: Sozialkunde, Ethik, Wirtschaft-Arbeit-Technik, Geschichte

1

Allgemein: Um die Frage, welches nun die richtigen Schritte in Richtung eines Ausstiegs aus dem fossilen Energiezeitalter und eines Einstiegs in ein auf erneuerbaren Energien basierendes Zeitalter sind, findet derzeit eine größere gesellschaftliche Debatte statt. Hierbei prallen beispielsweise die Meinungen der Vertreterinnen und Vertreter des Wegs einer Modifikation des bestehenden Systems (z. B. durch eine CO₂ Besteuerung oder eines CO₂ Zertifikatehandels) auf diejenigen, die eine grundsätzliche Veränderung unseres Konsum- und Wirtschaftsmodells (z. B. durch Abkehr vom ständigen Wachstumsprinzip) fordern, aufeinander.

*

Lernziele und Kompetenzen: Schülerinnen und Schüler lernen unterschiedliche Strategien kennen, um dem Klimawandel zu begegnen. Sie erhalten die Gelegenheit sich intensiver mit den Inhalten zweier unterschiedlicher Strategien zu beschäftigen: CO₂ Handel und De-growth oder Postwachstumsstrategien. Sie erlernen durch argumentative Abwägungsprozesse zu einem eigenen Werturteil zu kommen und dieses auch zu vertreten.

Dauer	Beschreibung	Material
30 min.	Beschäftigung mit dem grundsätzlichen Prinzip des CO ₂ Handels mit einem kl. Film zum Einstieg Im Anschluss erfolgt die Erarbeitung und Präsentation des Themas in Arbeitsgruppen:	Film ist erhältlich über die Bundeszentrale für politische Bildung unter http://bit.ly/1jyypEv
	Grundprinzipien des CO ₂ Handels und CO ₂ Handel im Kontext des Kyoto Protokolls	Stellungnahme der Bundesregierung unter http://bit.ly/1RlMG0d
	Bewertung des derzeitigen Stands des Emissionshandels	Stellungnahme der Bundesregierung unter http://bit.ly/1RlMG0d
	Effizienzstrategien und „Rebound-Effekt“	Information des Umweltbundesamts http://bit.ly/2eFjo1M



	Suffizienzstrategien und „Post-Wachstumsgesellschaft“	Lexikon der Nachhaltigkeit zu Suffizienz: http://bit.ly/1GnFi5y Homepage der degrowth Bewegung http://bit.ly/1Xhneyn
5 min.	Präsentationsvorbereitung	Karteikarten, Papier, Filzstifte, Eddings, Plakate, Tafel
25 min.	Präsentation	
30 min.	Sammlung der Argumente aus einem Streitgespräch bzgl. ökologischer Wachstumsstrategien oder der „Befreiung vom Überfluss“: Eine Gruppe sammelt die Argumente von Niko Peach und eine Gruppe konzentriert sich auf die Argumentation von Rolf Fuchs Nach einer Vorstellung der jeweiligen Argumente, beschäftigen sich die Schülerinnen und Schüler in Einzelarbeit nochmals mit den verschiedenen Argumenten und entwickeln ein eigenes Werturteil, das sie den Anderen vorstellen.	Chat des Streitgesprächs: http://bit.ly/1MRQBUP



7.5 ENERGIE- UND KLIMAGERECHTIGKEIT (SEK II)

2

Rahmenplaneinbindung: Sozialwissenschaft (BE) (11-12 > 4.4 B); Geographie (BE) (9-10 > 4.2 3); Philosophie (BE) (11-12 > 4.1); Geographie (BB/BE) (9-10 > 3.5)

Geeignet für folgende Fächer: Sozialkunde, Ethik, Wirtschaft-Arbeit-Technik, Geschichte

i

Allgemein: Viele Schülerinnen und Schüler überschätzen häufig die Rolle Deutschlands im Kontext des Klimaschutzes und des ressourcenschonenden Wirtschaftens. Dabei gehen sie davon aus, dass Deutschland sehr aktiv und international vorbildlich im Bereich des Klimaschutzes ist, dass sie selbst keinen allzu großen Anteil am Treibhauseffekt haben und nun besonders Länder wie China und Indien aufgefordert sind, ihre Anstrengungen im Bereich des Klimaschutzes zu verstärken. Dementsprechend ist es wichtig, zunächst Faktenwissen zur weltweiten Position Deutschlands bezüglich des CO₂ Ausstoßes insgesamt und des durchschnittlichen CO₂ Ausstoßes pro Person zu vermitteln. Hieran kann sich gut eine Diskussion darüber anschließen, inwieweit dies „gerecht“ ist bzw. was ein gerechter weltweiter Maßstab sein könnte. Durch den Einsatz eines CO₂ Rechners kann jede Schülerin und jeder Schüler seinen eigenen Beitrag zum Klimawandel ausrechnen und ihn in Form des Pro-Kopf-Ausstoßes auch international vergleichen. Lernziele und Kompetenzen: Schülerinnen und Schüler eignen sich Wissen über die Verteilung der Bevölkerung und das Bruttoinlandsprodukt, den Energieverbrauch und individuellen CO₂ Ausstoß auf verschiedenen Kontinenten an, sie diskutieren über einen „gerechten“ Maßstab des CO₂ Ausstoßes und reflektieren ihren eigenen Lebensstils bzw. die eigene Verantwortlichkeiten in einem globalen Kontext. Durch die Beschäftigung mit Klimazeugen erfahren sie, dass bereits heute Menschen in sehr existenzieller Weise vom Klimawandel betroffen sind.

▶

Videos:

- Einführung zum Thema Klimawandel aus der Reihe Wissenswerte (2012):
<http://e-politik.de/artikel/2012/wissenswertes-klimawandel/> [Zugriff am 08.08.2016]
- Oxfam: Aus Leben wird Überleben – Klimazeugen berichten (2016):
<https://www.oxfam.de/ueber-uns/aktuelles/leben-ueberleben-klimazeugen-berichten> [Zugriff am 08.08.2016]

Medienauswahl:

- Arbeitsmaterial mit „Weltspiel“ vom WWF und UfU: Wann kippt das Klima? (2011):
<http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/WWF/Wann%20kippt%20das%20Klima-1.pdf> [Zugriff am 08.08.2016]
- Infostelle Klimagerechtigkeit (2016):
<https://www.klimagerechtigkeit.de/> [Zugriff am 08.08.2016]
- Informationen zum „Ranking“ der globalen CO₂ Emittenten:
<http://www.globalcarbonatlas.org/?q=en/content/welcome-carbon-atlas> [Zugriff am 08.08.2016]
- CO₂ Rechner von KlimAktiv (2016):
http://klimaktiv.co2-rechner.de/de_DE/ [Zugriff am 08.08.2016]



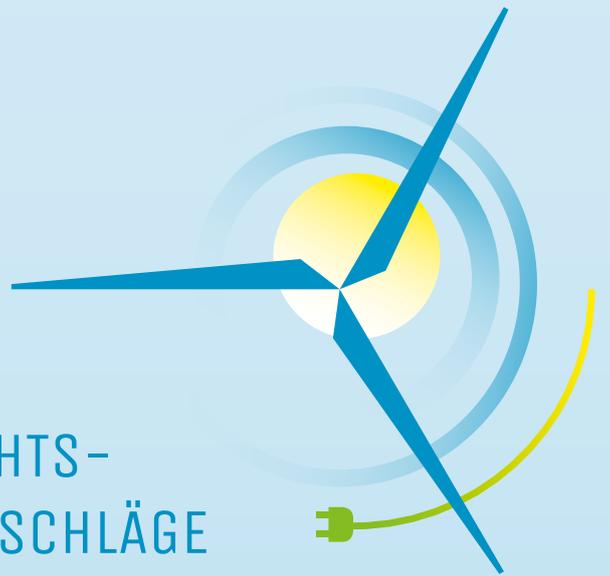
Dauer	Beschreibung	Material
15 min.	<p>Einstieg mit einem kurzen Film zum Thema Klimawandel aus der Reihe Wissenswerte mit anschließender Diskussion. Mögliche erkenntnisleitende Fragen im Vorfeld:</p> <p>Was macht den natürlichen Treibhauseffekt aus?</p> <p>Was beinhaltet demgegenüber der anthropogene (vom Menschen erzeugte) Treibhauseffekt?</p> <p>Welche Klimagase sind besonders relevant?</p> <p>Welche Folgen hat der Klimawandel für unterschiedliche Länder bzw. Regionen (Bitte zwei Beispiele nennen)?</p> <p>Warum die Einigung auf ein „2 Grad Ziel“? Welche Hoffnungen sind damit verbunden?</p> <p>Was hat das Thema Klimawandel mit Gerechtigkeit zu tun?</p>	<p>http://bit.ly/1OFZgv2</p>
30 min.	<p>Lehrkraft diskutiert mit den Schülerinnen und Schülern mittels des Materials „Wann kippt das Klima?“ von WWF und UfU die weltweite Bevölkerungsverteilung und deren Anteil an den jeweiligen Treibhausgasemissionen.</p>	<p>Das Arbeitsmaterial findet sich unter:</p> <p>http://bit.ly/1GnA5ug</p>
30 min.	<p>Schülerinnen und Schüler beschäftigen sich mit den Auswirkungen des Klimawandels und erhalten Steckbriefe zu Klimazeugen, die sie sich gegenseitig vorstellen</p>	<p>Methodenmappe Klimagerechtigkeit S. 16 bis 24</p> <p>http://bit.ly/1QWpLlk</p>
15 min.	<p>Nutzung eines CO₂ Rechners, um Klarheit über den eigenen CO₂ Ausstoß bzw. Beitrag zum Treibhauseffekt zu bekommen. Vorab erhalten Schülerinnen und Schüler den Auftrag, die Energiekosten in ihrem Haushalt (Heizung, Strom, Mobilität) zu recherchieren.</p>	<p>CO₂ Onlinerechner</p> <p>http://bit.ly/2dHlu3h</p>



8

EE-SCHULE

EIGENE UNTERRICHTS-
BZW. PROJEKTVORSCHLÄGE





9

EE-SCHULE

EINSETZBARE METHODEN UND WEITERES LERN- UND INFORMATIONSMATERIAL



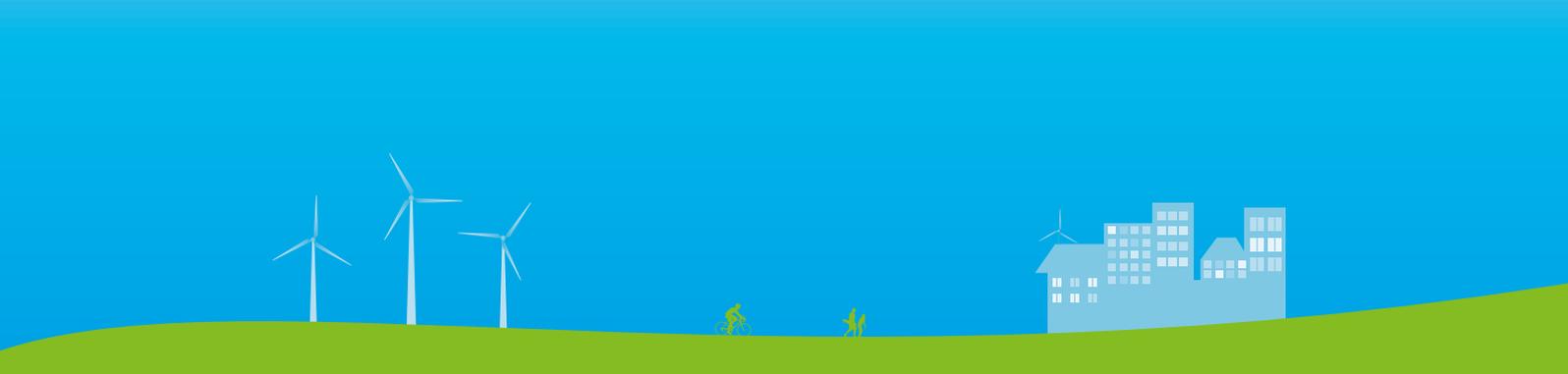
9.1 EINSETZBARE METHODEN

9.2 LERNMATERIALIEN

9.3 MÖGLICHE EXKURSIONEN UND AUSSERSCHULISCHE
LERNANGEBOTE FÜR DIE REGION BERLIN BRANDENBURG

9.4 LITERATURVERZEICHNIS





9.1 EINSETZBARE METHODEN

SOZIOMETRIE BZW. MEINUNGSSTRAHL

Eine Soziometrie eignet sich für den Einstieg ins Thema Erneuerbare Energien. Für die Durchführung wird ein Fragenkatalog benötigt. Die Fragen sollen eine Beziehung zwischen dem Befragten und dem Thema herstellen. Diese können lauten: „Ist das Thema Energie für dich von besonderer Relevanz?“. Die Antworten sollten dabei nicht ausschließlich mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet werden, sondern einen Spiegel für die eigene Einstellung sein. Hierbei hilft die Einordnung in eine Skala von „wenig“ bis „viel“ oder „gut“ bis „schlecht“. Die Einordnung kann dabei verbal (auf einer fiktiven Linie) oder graphisch geschehen. Mit Hilfe einer Soziometrie können sich Lehrkräfte und auch die Schülerinnen und Schüler selbst einen Eindruck zu den persönlichen Einstellungen, dem aktuellen Wissenstand und dem generellen Interesse ein Bild von der Gesamtgruppe machen. Die Lehrkräfte können dadurch die Ziele der Unterrichtseinheiten genauer definieren und die Schülerinnen und Schüler im wahrsten Sinne des Wortes „dort abholen, wo sie stehen“.

METHODENPOOL DER UNIVERSITÄT KÖLN:

Eine Aufführung verschiedener Methoden würde den Rahmen dieses Handbuchs erheblich „sprengen“. Daher empfehlen wir den Methodenpool der Universität Köln. Auf dieser Internetseite wird differenziert nach einem methodischen und systemischen Methodenpool eine Fülle von Methoden mit Erläuterungen zur Verfügung gestellt. Mehr unter: <http://methodenpool.uni-koeln.de/uebersicht.html>

WEITERHIN GIBT ES EINE EMPFEHLENSWERTE ARBEITSHILFE FÜR MULTIPLIKATORINNEN UND MULTIPLIKATOREN UNTER DEM TITEL:

Toolbox des Projekts „Klasse-Klima – heißkalt erwischt“ unter <https://klasse-klima.de/>



9.2 LERNMATERIALIEN

Eine detaillierte Auflistung von Lern- und Informationsmaterialien für den Unterricht befindet sich auf <http://www.ufu.de/de/bildung/bildungsmaterialien.html>

Die folgende Liste enthält Planspiele, Arbeitsblätter, berufsbildende und themenspezifische Lehrmaterialien, welche in die Anforderungen der einzelnen Klassenstufen eingeteilt sind.

Vieler der hier aufgelisteten Vorschlägen befinden sich auf:

<http://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/planspiele-komplexe-zusammenhaenge-aktiv-verstehen-lernen-sek/>.

GRUNDSCHULE PLANSPIELE

Ressource / Wasser

- Wasser-Weltspiel vom BMUB
<http://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/spielanleitung-wasser-weltspiel-gs/>
- Wem gehört die Luft? Vom BMUB
<http://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/simulationsspiel-wem-gehört-die-luft/>

SEK I PLANSPIELE

Energie:

- Energie, Klimaschutz und Verbraucher von RWE
<http://www.energie-planspiel.de/online.html>
- TroCO2lor von myclimate - The Climate Protection Partnership, UCS Ulrich Creative Simulations und dem Ökozentrum Langenbruck
<http://trico2lor.ch/index.php>
- Energiewende vor Ort vom Bayerischem Landesamt für Umwelt
http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_124_energiewende_rollenspiel.pdf
- Wie plant man eine „Stromautobahn“? vom BMUB
<http://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/rollenspiel-wie-plant-man-eine-stromautobahn-sek/>
- Planung einer Freileitung und Lehrvideos von 50Herz
<http://www.50hertz.com/de/Medien/Interaktive-Grafiken>



Mobilität & Energie:

- Autofrei für alle! Vom BMUB
<http://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/rollenspielmaterialien-autofrei-fuer-alle-sek/>
- Arbeitsblatt zu „Smart Grid – Intelligente Stromnetze“ mit Onlineapplikation von lehrer-online
<http://www.lehrer-online.de/smart-grids.php>

Ressourcen:

- Forderungen für eine nachhaltige Entwicklung vom BMUB
<http://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/rollenspiel-forderungen-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung-sek/>
- Folgen einer Ölverschmutzung vom BMUB
<http://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/rollenspiel-folgen-einer-oelverschmutzung/>
- Das Fischerei-Spiel -> Endlichkeit von Ressourcen vom BMUB
<http://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/rollenspiel-das-fischereispiel-sek/>
- Wer investiert in den Klimaschutz? vom BMUB
<http://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/simulationsspiel-wer-investiert-in-klimaschutz/>

Berufsbildung:

- Rollenspiel: „GreenTec“ bietet neue Berufe und Produkte
<http://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/rollenspiel-greentec-bietet-neue-berufe-und-produkte-sek/>

SEK II + BERUFSSCHULE PLANSPIELE (SIEHE AUCH SEK 1)

Energie:

- Photovoltaik im Wongaland
<http://www.dalphy.de/dateien/wongaland.pdf>
- Energie, Klimaschutz und Verbraucher von RWE
<http://www.energie-planspiel.de/online.html>
- Grünes Gold, Planspiel zum Thema Agroenergie vom Klima-Bündnis der europäischen Städte mit indigenen Völkern der Regenwälder / Alianza del Clima e. V. und der Bundeszentrale für politische Bildung
<http://energybridges.eu/gruenesgold.html>, http://www.bpb.de/lernen/formate/planspiele/65586/planspiele-detailseite?planspiel_id=217
- Energie- und Klimapolitik der EU vom Institut für prospektive Analysen e. V.
<http://www.eu-planspiele.de/>, http://www.bpb.de/lernen/formate/planspiele/65586/planspiele-detailseite?planspiel_id=246



ARBEITSBLÄTTER:

Alle Arbeitsblätter sind online über

<http://www.ufu.de/de/projekte/ee-schule-evaluation-solarer-schulprojekte-und-machbarkeitsstudie-windenergie-an-bildungseinrichtungen.html>

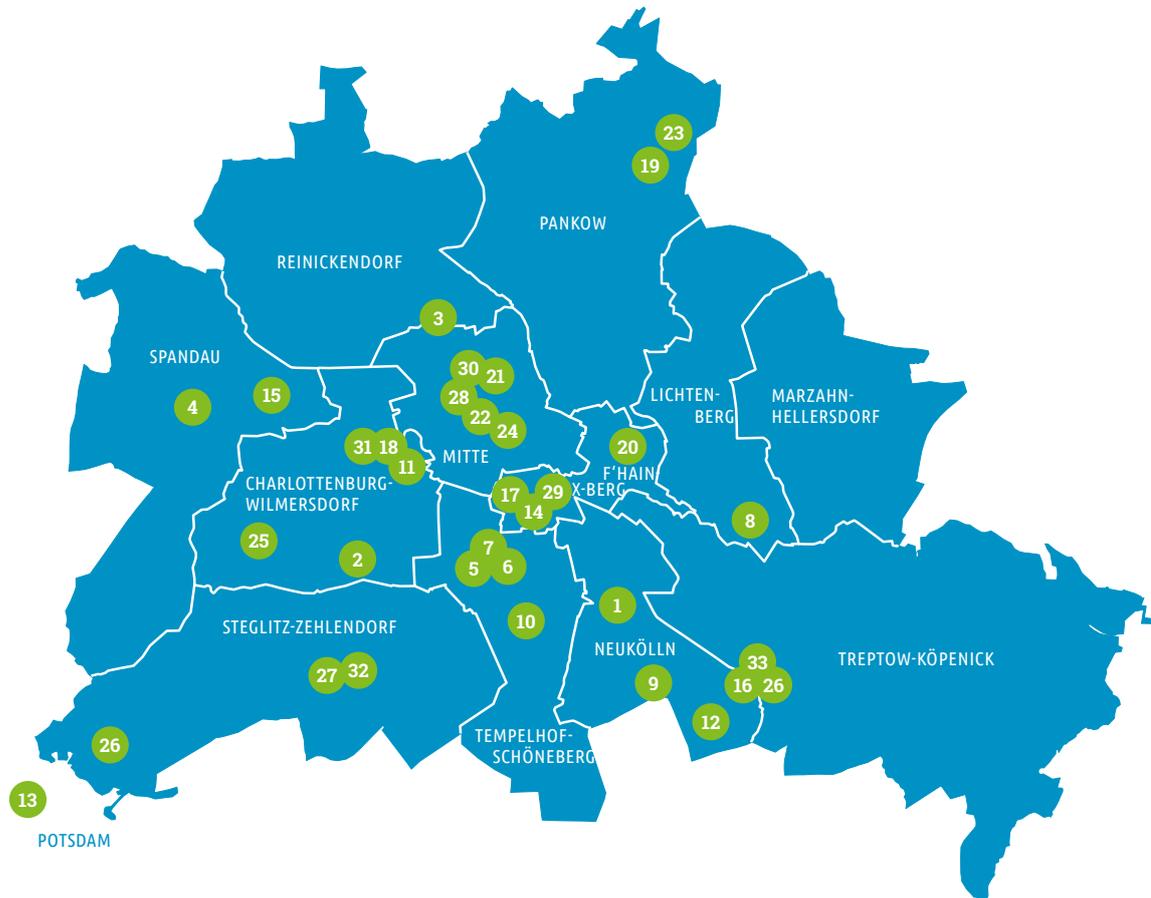
verfügbar.

Weitere Arbeitsblätter befinden sich in der Broschüre „Unterrichtseinheit – Wind- und Sonnenenergie an Schulen und Bildungseinrichtungen“ ab Seite 19 unter

http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/EE-Schule/UfU_EESchule_UE_1609_V5_web.pdf



9.3 MÖGLICHE EXKURSIONEN UND AUSSERSCHULISCHE LERNANGEBOTE FÜR DIE REGION BERLIN BRANDENBURG



Karte Berlin: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berlin_location_map_simplified.svg © Michael Bueker

PHOTOVOLTAIK, SOLARWÄRMUNG/ SONNENKOLLEKTOR, WETTER- STATION

- 1 August-Heyn-Gartenarbeits-
schule Neukölln
Fritz-Reuter-Allee 121
12359 Berlin Neukölln
www.ahgasn.de
- 2 Gartenarbeitsschule Ilse Demme
Dillenburger Str. 57
14199 Berlin
Charlottenburg-Wilmersdorf
www.gartenarbeitsschule.de

- 3 Schul-Umwelt-Zentrum Mitte/
Gartenarbeitsschule Wedding
Scharnweberstr. 159
13405 Berlin Mitte
www.suz-mitte.de

PHOTOVOLTAIK, SONNEN- KOLLEKTOR, WETTERSTATION

- 4 Schul-Umwelt-Zentrum
Spandau/Gartenarbeitsschule
„An der Kappe“
Borkzeile 34
13583 Berlin Spandau
www.suz-spandau.de



PHOTOVOLTAIK

- 5 **Gartenarbeitsschule & Freilandlabor Tempelhof-Schöneberg**
Sachsendamm 34/35
10829 Berlin Tempelhof

KWEA

- 6 **Bhf. Südkreuz**
Bahnhof Berlin Südkreuz
10829 Berlin Schöneberg

- 7 **Euref Campus**
EUREF-Campus 1–25
10829 Berlin Schöneberg
eurefcampus.de

- 8 **HTW Berlin**
Treskowallee 8
10318 Berlin Lichtenberg
htw-berlin.de

- 9 **OSZ Lise Meitner**
Rudower Str. 184
12351 Berlin Neukölln
osz-lise-meitner.eu

- 10 **ufaFabrik**
Viktoriastraße 10–18
12105 Berlin Tempelhof
ufafabrik.de

- 11 **TU Berlin**
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin Charlottenburg
www.tu-berlin.de

WINDKANAL

- s.11 **TU Berlin**
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin Charlottenburg
www.tu-berlin.de

AUSSTELLUNGEN, FÜHRUNGEN & WORKSHOPS

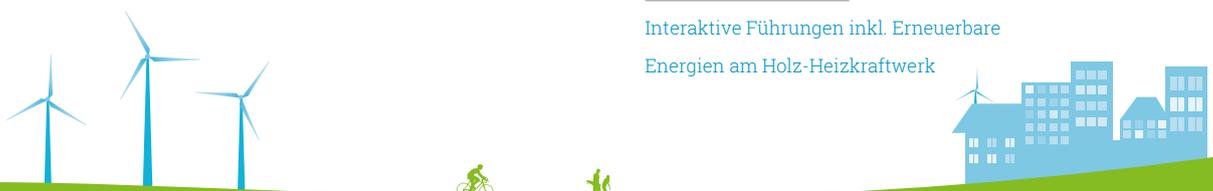
- 12 **Besuchszentrum HKW Lichterfelde**
Ostpreußendamm 61
12207 Berlin Lichterfelde
corporate.vattenfall.de/uber-uns/geschäftsfelder/erzeugung/bauprojekte/lichterfelde/
Führung durch das Heizkraftwerk Lichterfelde

- 13 **Brisant MINT (Uni Potsdam)**
Am Neuen Palais 10
14469 Potsdam
www.uni-potsdam.de/brisant
Mint Berufsorientierung
(Workshops, Wanderausstellung, Parcours)

- 14 **Deutsches Technikmuseum**
Trebbiner Straße 9
10963 Berlin Kreuzberg
www.sdtb.de
z. B. Erkundung der Bockwindmühle – Ein echter Müller erklärt seinen Beruf und die Funktionsweise der Mühle; Führung „Dampf und Energie“

- 15 **Energiepark (OSZ Bautechnik 1)**
Nonnendammallee 140–143
13599 Berlin Spandau
<http://www.stiftung-naturschutz.de/unsere-projekte/gruene-lernorte-in-berlin/gruene-lernorte-nach-kategorie/detailansicht/?id=10>
Veranschaulichung vieler EE's

- 16 **RWE Info Center**
Köpenicker Straße 32
12355 Berlin Neukölln
<http://www.rwe.com/web/cms/de/1437178/rwe-energiedienstleistungen/veranstaltungen/erfolgte-veranstaltungen/infocenter-berlin/>
Interaktive Führungen inkl. Erneuerbare Energien am Holz-Heizkraftwerk



- 17** **Science Center Spektrum**
Möckernstraße 26
10963 Berlin Kreuzberg
www.sdtb.de/index.php?id=116
Experimente zum Anfassen, z. B. Wärme,
Mechanik, Bewegung

PROJEKTTAGE & WORKSHOPS

- 18** **dEin Labor (TU Berlin, E- und Informationstechnik)**
Marchstraße. 23
10587 Berlin Charlottenburg
www.dein-labor.tu-berlin.de/
individuelle Workshops (z. B. virtuelles Kraftwerk, Windrad-Dynamo)
- 19** **Energiezentrum Pankow – Lernwerkstatt für Energie**
Achillesstraße 79
13125 Berlin Pankow
<http://ezp.rhos.de/informationen/>
Projektstage zu Energie, Ausbildung von Energiedetektiven, Weiterbildung für Schüler/-innen und Lehrkräfte
- 20** **Erdsaugkraft – Fliegschwung**
Straße der Pariser Kommune 37a
10243 Berlin Friedrichshain
www.erdsaugkraft-fliegschwung.de
Verbindung von Kunst + Technik
- 21** **FEZ**
Reinickendorfer Straße 34
13347 Berlin Mitte
<http://lernen-im-fez.fez-berlin.de/startseite/>
Projekte & Workshops (z. B. im Bereich NAWI, Bildung für nachhaltige Entwicklung)
- 22** **GASAG (Energie macht Schule)**
Henriette-Herz-Platz 4
10178 Berlin Mitte
www.gasag.de/Privatkunden/Services/Kundenzentrum/Schulkontakt/Seiten/default.aspx
Projektstage/Info-Veranstaltung zu Erdgas

- 23** **Gläsernes Labor**
Robert-Rössle-Str. 10
13125 Berlin Buch
<http://www.glaesernes-labor.de/naturwissenschaften.shtml>
Projekttag z. B. zu Erneuerbare Energien

- 24** **HU Berlin Schülerportal**
Unter den Linden 6
10117 Berlin Mitte
<http://www.hu-berlin.de/de/schule/>

- 25** **Ökowerk Berlin e. V.**
Teufelsseechaussee 22
14193 Berlin
Charlottenburg-Wilmersdorf
<http://www.oekowerk.de/>
Projektstage z. B. Energie

- 26** **Schülerlabor „Blick in die Materie“ (Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie)**
Hahn-Meitner-Platz 1
14109 Berlin Wannsee
Albert-Einstein-Str. 15
12489 Berlin Adlershof
<http://www.helmholtz-berlin.de/angebote/schuelerlabor/>
Projektstage (z. B. Solarenergie)

- 27** **Schüleruni FU Berlin**
Innestr. 22
14195 Berlin Dahlem
<http://www.fu-berlin.de/sites/schueleruni/index.html>
2x pro Jahr, Workshops im Bereich Bildung für nachhaltige Entwicklung

- s.11** **TU Berlin Schülerportal**
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin Charlottenburg
<https://www.schulportal.tu-berlin.de/menue/home/>
Projektstage, Workshops, uvm.



- 28** **Vattenfall – Schule und Jugend**
 Chausseestr. 23
 10115 Berlin Mitte
<http://corporate.vattenfall.de/uber-uns/engagement-regionales/berlin/schule-und-jugend/>
 Projektstage (z. B. im Heizkraftwerk, in der Schule)

REISEN

- 29** **Jugend-Forschungsschiff**
 Skalitzer Straße 45
 10997 Berlin Kreuzberg
<http://www.jugendforschungsschiff.com/>
 Forschungsreise (1- und mehrtägig) zu Energie & EE's, u.a.

LABOR & EXPERIMENTE

- 30** **Forum Nawi**
 Exkursionen und Experimente
 Reinickendorfer Straße 34
 13347 Berlin Wedding
<http://www.forum-nawi.de>
- 31** **LABgirls**
 Marchstr. 6
 10587 Berlin Charlottenburg
<http://www.schulportal.tu-berlin.de/menue/angebote/schuelerlabore/labgirls/>
 Wöchentliches Experimentierangebot für Schülerinnen (Physik)
- s.9** **Lise Lab (OSZ Lise Meitner)**
 Rudower Str. 184
 12351 Berlin Neukölln
<http://osz-lise-meitner.eu/fuer-externe/lise-labs-schuelerlabore/>
 Laborexperimente (z.B Solartechnik)

- 32** **NATLAB (FU Berlin)**
 Fabeckstraße 34–36
 14195 Berlin Dahlem
http://www.bcp.fu-berlin.de/natlab/ueber_uns/kontakt/index.html
 Mitmach- und Experimentierlabor der FU Berlin für NAWI, Bio, Chemie

- 33** **Unilab Adlershof**
 Brook-Taylor-Straße 1
 12489 Berlin Adlershof
<http://www.unilab-adlershof.de/angebot>
 Experimente, z. B. zu Strom & Wärme

Sammlung von Schülerlaboren
<http://www.schuelerlabor-atlas.de/home>



9.4 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Wissenschaft im Dialog gGmbH (2010): „Was ist Energie?“. Berlin. Siehe Internetlink: <https://www.youtube.com/watch?v=2qFLhKayuyQ> [Zugriff am 04.08.2016]
- [2] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2016): Lernsequenzen – Unterrichtsmaterialien zum Thema Energie/Sekundarstufe 1: Energie. Berlin. S.25. Siehe Internetlink: http://www.energie-macht-schule.de/sites/default/files/image/LQ_1_eBook/flash.html#/24/ [Zugriff am 04.08.2016]
- [3] BINE Informationsdienst (2016): Was ist Energie? Bonn. Siehe Internetlink: <http://www.bine.info/publikationen/basisenergie/publikation/was-ist-energie/energie-und-ordnung/> [Zugriff am 04.08.2016]
- [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 04.08.2016]
- [5] Bodensee-News (2016): Beaufort - Skala. Göttingen. Siehe Internetlink: <http://www.bodensee-news.ch/wind.html> [Zugriff am 04.08.2016]
- [6] Fischer GreenTec (2014): Die Geschichte der Windenergie (Erklärvideo). Siehe Internetlink: <https://www.youtube.com/watch?v=wxWjusO7b7U> [Zugriff am 23.06.2016]
- [7] 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 04.08.2016]
- [8] Das windenergie-rgd Team (2010): Physik der Windenergie. Siehe Internetlink: <http://windenergie-rgd.jimdo.com/physik-der-windenergie/> [Zugriff am 04.08.2016]
- [9] 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 04.08.2016]
- [10] BINE Informationsdienst (2016): Windenergie. Bonn. Siehe Internetlink: <http://www.bine.info/publikationen/publikation/windenergie/> [Zugriff am 04.08.2016]
- [11] Mitteldeutscher Rundfunk (2012): Einfach genial - Kleinwindenergieanlage. Siehe Internetlink: <https://www.youtube.com/watch?v=xYxQ8fsyL4U> [Zugriff am 04.08.2016]
- [12] 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 04.08.2016]
- [13] Prof. Dr. Dieter Freude, Universität Leipzig, Fakultät für Physik und Geowissenschaften (2016): Physik der Windturbine. Leipzig. Siehe Internetlink: <http://www.energie-grundlagen.de/15.html> [Zugriff am 04.08.2016]
- [14] Agora Energiewende (2016): Agorameter. Berlin. Siehe Internetlink: <https://www.agora-energiewende.de/de/themen/-agothem-/Produkt/produkt/76/Agorameter/> [Zugriff am 04.08.2016]
- [15] Österreichischer Rundfunk, Stiftung öffentlichen Rechts (2010): Smart Grid Teil 1. Wien. Siehe Internetlink: <https://www.youtube.com/watch?v=V0hp5Aru3XI> [Zugriff am 04.08.2016]
- [16] 50Hertz Transmission GmbH (2016): Graphiken und Bilder. Berlin. Siehe Internetlink: <http://www.50hertz.com/de/> [Zugriff am 04.08.2016]
- [17] 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 04.08.2016]
- [18] 50Hertz Transmission GmbH (2016): Interaktive Graphiken. Berlin. Siehe Internetlink: <http://www.50hertz.com/de/Medien/Interaktive-Grafiken> [Zugriff am 04.08.2016]
- [19] Next Kraftwerke GmbH (2016): Was ist Regelenergie? Köln. Siehe Internetlink: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/regelenergie> [Zugriff am 04.08.2016]



- [20] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2016): Lernsequenzen – Unterrichtsmaterialien zum Thema Energie/Sekundarstufe 1: Das Stromnetz in Deutschland. Berlin. Siehe Internetlink: http://www.energie-macht-schule.de/sites/default/files/image/LQ_4_eBook/flash.html#/1/ [Zugriff am 04.08.2016]
- [21] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2016): Lernsequenzen – Unterrichtsmaterialien zum Thema Energie/Sekundarstufe 1: Elektromobilität. Berlin. S.22 – 23. Siehe Internetlink: http://www.energie-macht-schule.de/sites/default/files/image/LQ_11pdf_eBook/flash.html#/4/ [Zugriff am 04.08.2016]
- [22] /e-politik.de/ e. V., Jan Künzl (2012): WissensWerte: Energiewende. München. Siehe Internetlink: <http://e-politik.de/artikel/2012/wissenswert-energiewende/> [Zugriff am 04.08.2016]
- [23] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016): Die nächste Phase der Energiewende kann beginnen! Berlin. Siehe Internetlink: <https://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiewende/gesamtstrategie.html> [Zugriff am 04.08.2016]
- [24] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016): Monitoring der Energiewende. Berlin. Siehe Internetlink: <https://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiewende/monitoring-prozess.html> [Zugriff am 04.08.2016]
- [25] 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]
- [26] Germanwatch-Büro Berlin, Global Climate Forum e.V.: Hindernisse für die Energiewende. Berlin. Siehe Internetlink: <https://germanwatch.org/de/download/9555.pdf> [Zugriff am 04.08.2016]
- [27] Sativa Cyborg, Moving Windmills Project (2013): Repost William Kamkwamba - Moving Windmills. Siehe Internetlink: <https://www.youtube.com/watch?v=xtGWWe9gYDk> [Zugriff am 04.08.2016]
- [28] Werner Rammert, Technische Universität Berlin (2006): Technik, Handeln und Sozialstruktur: Eine Einführung in die Soziologie der Technik. Berlin. Siehe Internetlink: https://www.ts.tu-berlin.de/fileadmin/fg226/TUTS/TUTS_WP_3_2006.pdf [Zugriff am 04.08.2016]
- [29] ZEIT ONLINE GmbH, Manfred Kriener (2012): Die Kraft aus der Luft. Hamburg. Siehe Internetlink: <http://www.zeit.de/2012/06/Windkraft> [Zugriff am 04.08.2016]
- [30] Bruns, Elke; Köppel, Johann; Ohlhorst, Dörte; Schön, Susanne, Technische Universität Berlin: Die Innovationsbiographie der Windenergie – Absichten und Wirkungen von Steuerungsimpulsen. Berlin. Siehe Internetlink: https://www.tu-berlin.de/ztg/menue/projekte_und_kompetenzen/konstellationsanalyse/v-menue/beispiele/analyse_von_steuerung_in_entwicklungsprozessen/innovationsbiografie_der_windenergie/ [Zugriff am 04.08.2016]
- [31] Prof. Dr. Karl Lenz, Technische Universität Dresden: Methoden der empirischen Sozialforschung. Dresden. Siehe Internetlink: https://tu-dresden.de/gsw/phil/iso/mes/ressourcen/dateien/prof/lehre/unterlagen/ringvorlesung/qm_1.pdf?lang=de [Zugriff am 04.08.2016]
- [32] Wissenschaftsladen Bonn e. V.: Planspiele – Windkraftkonflikt. Bonn. Siehe Internetlink: <http://www.wilabonn.de/themen/bildung/planspiele.html> [Zugriff am 04.08.2016]
- [33] Prof. Dr. Petra Schweizer-Ries: Akzeptanz- und Partizipationsforschung zu Energienachhaltigkeit. Berlin. Siehe Internetlink: http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2011-2/th2011_07_01.pdf [Zugriff am 08.08.2016]
- [34] 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 08.08.2016]
- [35] 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 08.08.2016]
- [36] 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_datensbank/PDF_zu_Themen_und_Projekte/klima_und_energie/dialogforum/Beteiligungsleitfaden_Windenergie_NABU_BUND_2014.pdf [Zugriff am 08.08.2016]



- [37] Institut für ZukunftsEnergieSysteme (2015): Nutzeffekte von Bürgerenergie – Eine wissenschaftliche Qualifizierung und Quantifizierung der Nutzeffekte der Bürgerenergie und ihrer möglichen Bedeutung für die Energiewende. Saarbrücken. Siehe Internetlink: https://www.buendnis-buergerenergie.de/fileadmin/user_upload/Studie_Nutzeffekte_von_Buergerenergie_17092015.pdf [Zugriff am 08.08.2016]
- [38] 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 08.08.2016]
- [39] Norddeutscher Rundfunk (2016): Das schmutzige Geheimnis sauberer Windräder. Hamburg. Siehe Internetlink: <http://daserste.ndr.de/panorama/archiv/2011/windkraft189.html> [Zugriff am 08.08.2016]
- [40] Post carbon institute (2011): 300 Jahre fossile Energie in 300 Sekunden. USA. Siehe Internetlink: https://www.youtube.com/watch?v=np_65ymgOfE [Zugriff am 08.08.2016]
- [41] Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI): WBGU-Vorsitzender Dirk Messner über die neuen Ziele für nachhaltige Entwicklung. Berlin. Siehe Internetlink: <http://www.wbgu.de/videos/videos-wbgu/video-messner/> [Zugriff am 08.08.2016]
- [42] Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI): Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Berlin. Siehe Internetlink: <http://www.wbgu.de/hauptgutachten/hg-2011-transformation/> [Zugriff am 08.08.2016]
- [43] Transition Netzwerk e. V. (2010): Was sind Transition (Town) Initiativen?. Witzenhausen. Siehe Internetlink: <http://www.transition-initiativen.de/> [Zugriff am 08.08.2016]
- [44] ARTE G.E.I.E. (2015): Solidarische Landwirtschaft und Transition Towns. Straßburg. Siehe Internetlink: <http://future.arte.tv/de/permakultur-landwirtschaft-der-zukunft/solidarische-landwirtschaft-und-transition-towns> [Zugriff am 08.08.2016]
- [45] Berlin e. V. (2016): Berliner Lokalen Agenda 21. Berlin. Siehe Internetlink: <http://www.berlin21.net/content/aufgaben-und-ziele> [Zugriff am 08.08.2016]
- [46] Degrowth-Webportal (2016): Was ist degrowth?. Leipzig. Siehe Internetlink: <http://www.degrowth.de/de/was-ist-degrowth/> [Zugriff am 08.08.2016]
- [47] Wordpress (2016): Pioniere des Wandels. Siehe Internetlink: <https://transformationszeitung.wordpress.com/2013/10/15/pioniere-des-wandels/> [Zugriff am 08.08.2016]
- [48] Bundeszentrale für politische Bildung (2014): Wie funktioniert der CO₂-Handel?. Bonn. Siehe Internetlink: <http://www.bpb.de/mediathek/179356/wie-funktioniert-der-co2-handel> [Zugriff am 08.08.2016]
- [49] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2015): Reform des Emissionshandels drängt. Berlin. Siehe Internetlink: <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2015/04/2015-04-09-emissionshandel-klima.html> [Zugriff am 08.08.2016]
- [50] Aachener Stiftung Kathy Beys (2015): Suffizienz. Aachen. Siehe Internetlink: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/suffizienz_2034.htm [Zugriff am 08.08.2016]
- [51] WachstumsMythos (2016): Streigespräch zwischen Niko Paech und Ralf Fücks. Siehe Internetlink: <http://wachstumsmythos.de/?p=566> [Zugriff am 08.08.2016]
- [52] /e-politik.de/ e. V., Jan Künzl (2012): WissensWerte: Klimawandel. München. Siehe Internetlink: <http://e-politik.de/artikel/2012/wissenswerte-klimawandel/> [Zugriff am 08.08.2016]
- [53] WWF Deutschland (2011): Wann kippt das Klima?. Berlin. Siehe Internetlink: <http://www.ufu.de/media/content/files/Fachgebiete/Klimaschutz/WWF/Wann%20kippt%20das%20Klima-1.pdf> [Zugriff am 08.08.2016]
- [54] Infostelle Klimagerechtigkeit Zentrum für Mission und Ökumene – Nordkirche weltweit (2015): Methodenmappe zum Thema Klimagerechtigkeit. Hamburg. Siehe Internetlink: https://www.klimagerechtigkeit.de/fileadmin/user_upload/baukaesten/Baukasten_Infostelle_Klimagerechtigkeit/4_Material_Links/Bildungsmaterialien/Klimagerechtigkeit.pdf [Zugriff am 08.08.2016]
- [55] KlimAktiv (2016): CO₂ Rechner. Tübingen. Siehe Internetlink: http://klimaktiv.co2-rechner.de/de_DE/ [Zugriff am 08.08.2016]
- [56] Umweltbundesamt (2014): Rebound-Effekte. Dessau. Siehe Internetlink: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/oekonomische-rechtliche-aspekte-der-rebound-effekte> [Zugriff am 08.08.2016]





EE-SCHULE

