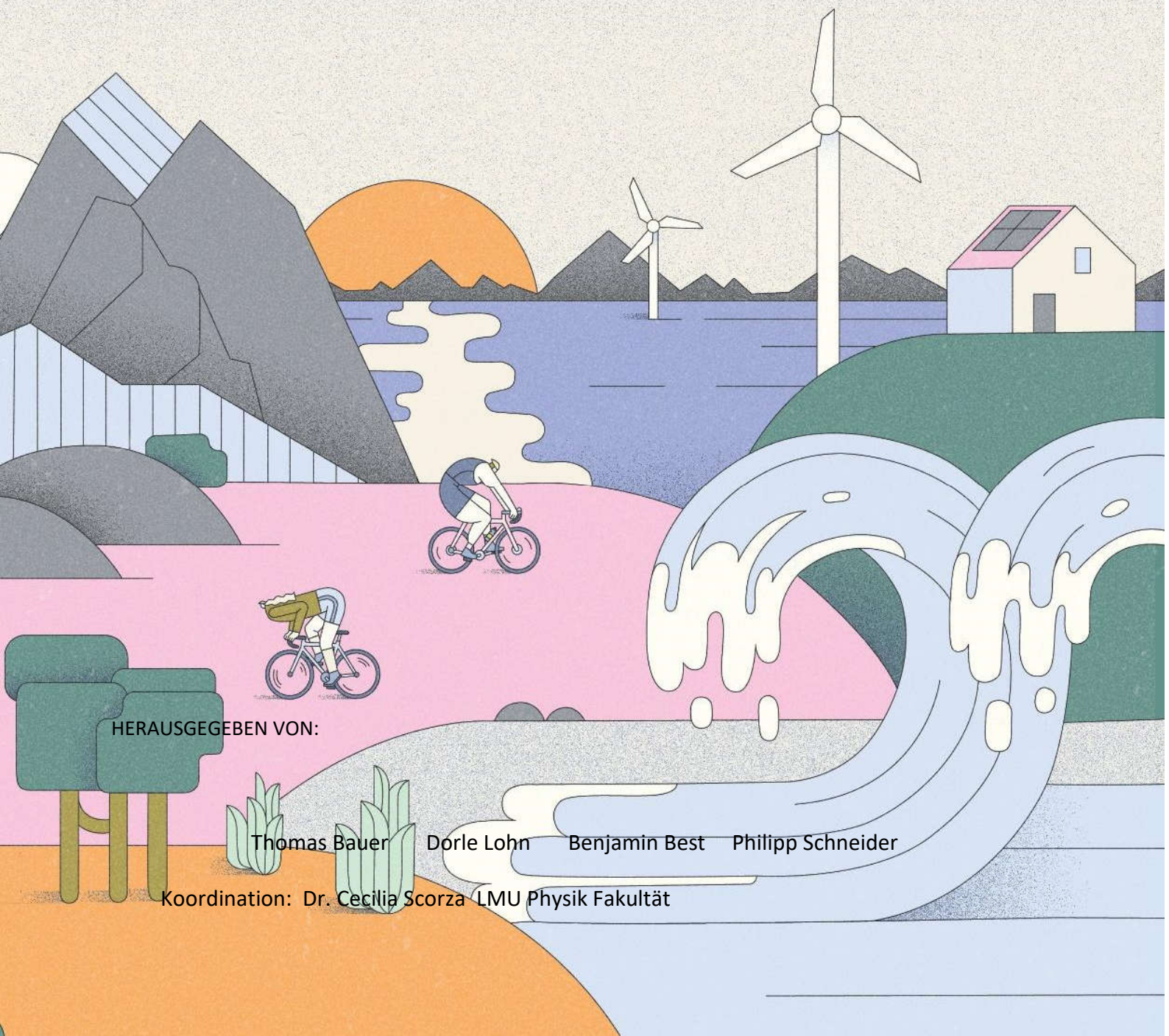
Erneuerbare Energien
zum Verstehen und Mitreden

Unterrichtsmaterialien für die Gymnasialstufe



HERAUSGEGEBEN VON:

Thomas Bauer Dorle Lohn Benjamin Best Philipp Schneider

Koordination: Dr. Cecilia Scorza LMU Physik Fakultät

Klimawandel
verstehen und handeln

Erneuerbare Energien

zum Verstehen und Mitreden

Unterrichtsmaterialien für die Gymnasialstufe

ACHTUNG

Dies ist eine Vorversion, die für eine erste Testphase des Projekts in Umlauf gebracht wird. Das bedeutet insbesondere, dass noch kleinere Fehler auftreten können.

Da aber der Klimawandel keine Verzögerung zulässt und eine schnelle Verbreitung notwendig ist, haben wir uns entschlossen, schon vor den finalen Tests die erste Version hochzuladen, in der Hoffnung, mehr Kollegen und Kolleginnen zu erreichen.

Wir freuen uns über Kollegen und Kolleginnen, die das Material ausprobieren und über Feedback und Erfahrungsberichte an uns. Das Material wird weiterentwickelt und dann auch in einer finalen Version von dieser Projektgruppe der LMU veröffentlicht.

Die Autoren

Thomas Bauer, Dorle Lohn, Benjamin Best und Philipp Schneider

kontakt@klimawandel-schule.de

Inhalt

Vorwort 6

Lehrplanbezug der Arbeitsmaterialien 8

1. Energie verstehen 9

Everybody's Darling: Die Energie 10

Energieeinheiten oder „Wer ist Robert"? 15

Energieverbrauch- Energieflussdiagramme in Deutschland 18

Leitfaden: Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien 23

Hinweise zum Kapitel und zum Vorgehen 32

2. Wasserkraft 33

Energiegewinnung mit einem Wasserkraftwerk 34

Energiegewinnung mit einem Wasserkraftwerk (geführte Version) 35

Lösungen 37

Abschätzung der maximalen Energieerzeugung an Wasserkraft 39

Hilfekarten und Lösung 40

Weitere Hinweise, Projektideen zur Wasserkraft 40

3. Windenergie 42

Wind Of Change oder The Answer Is Blowing In The Wind 44

Wind Of Change oder The Answer Is Blowing In The Wind (vereinfachte Version) 49

Grundlagen einer Windkraftanlage (WKA) 52

Windausbau- wie schaffen wir das ? 55

Weitere Hinweise, Projektideen zur Windkraft 60

4. Bioenergie 61

Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (Wirkungsgrad) 61

Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (verfügbare Holzmasse) 61

5. Solarenergie 61

Abschätzung des Beitrags der Solarenergie 61

Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte 61

6. Geothermie und Wärmepumpen 61

Grundprinzipien von Wärmepumpen 61

Funktionsweise der Wärmepumpe 61

Geothermie und Wärmepumpen – Potential 61

7. Sonstige Energiequellen 61

Wellenenergie 61

Gezeitenenergie 61

Kernfusion und Kernkraftwerke 61
8. Faktencheck 61

Vorwort

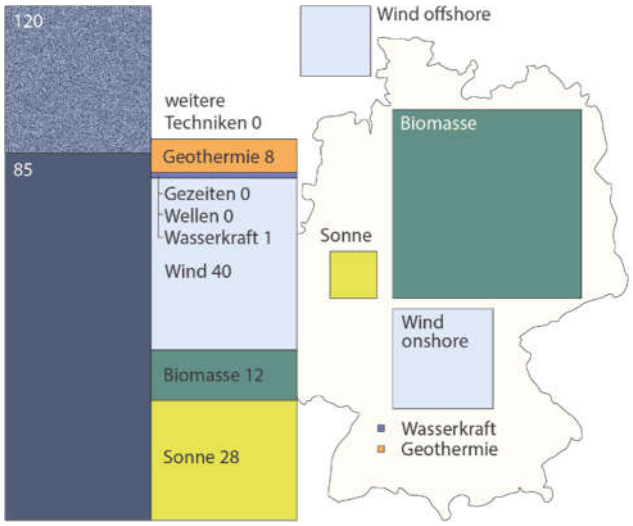
„2,4ct pro kWh soll der Gaspreis in Zukunft steigen“,

„Wir müssen unseren Energiebedarf um 30% reduzieren“,…

Schlagzeilen wie diese schmücken nahezu täglich die Zeitungen, ohne dass die Mehrheit ein Gefühl dafür hat, welchen gewaltigen Energiebedarf wir haben und wie man diesen anschaulich begreifbar machen kann.

In dem Buch „Erneuerbare Energien- zum Verstehen und Mitreden“ von Christian Holler, Joachim Gaukel, Harald Lesch und Florian Lesch gelingt es anhand der Einheit kWh/(Tag und Person) den Energiebedarf mit greifbaren Zahlen zu verdeutlichen. Anschließend wird die Frage aufgeworfen, ob wir es in Zukunft schaffen, unseren jetzigen Energiebedarf durch erneuerbare Energien zu decken.

Ein Ansatz, der auch leicht im Physikunterricht der Mittelstufe umgesetzt werden kann und es ermöglicht, aktuelle Fragestellungen rund um die Zukunft der Energie anschaulich zu vermitteln. Wege der Umsetzung aufzuzeigen, ist Ziel dieser Handreichung.



In verschiedenen Kapiteln werden nacheinander die regenerativen Energiequellen Sonne, Biomasse, Wind, Wasser, Geothermie sowie weiter Energiequellen wie Wellenkraftwerke und auch Kernenergie thematisiert. Dabei wird zunächst in groben Zügen erklärt, woher die jeweilige Energie kommt und durch welche Technologien diese genutzt werden kann. Anschließend wird auf sehr gut nachvollziehbare Art und Weise das jeweilige maximal in Deutschland erzeugbare Potential ermittelt und mit dem jetzigen End- bzw. Primärenergiebedarf verglichen.

Man stellt dabei fest, dass Deutschland unbedingt Windenergie und Sonnenenergie benötigen, da die anderen Energiequellen hierzulande nicht das Potential haben, den Energiebedarf zu decken. Aber auch, dass selbst wenn man das Potential von Sonne und Wind ausgenutzt werden, immer noch eine Energielücke entsteht, die wir nicht mit erneuerbaren Energien innerhalb des Landes schließen können.

Die logischen Folgerungen daraus sind, dass wir international zusammenarbeiten müssen, sehr schnell alle Arten erneuerbare Energien ausbauen müssen und vor allem Energie sparen müssen.

Da der Klimawandel und die damit verbundene Energiewende für die Generation der Schüler die größte Herausforderung ist, ist es unerlässlich, dass die im Buch erlangten Folgerungen den SchülerInnen vermittelt werden, ja noch wichtiger, die SchülerInnen die Situation verstehen und somit bereit sind zu Handeln und notwendige Veränderungen mitzutragen.

Ziel der hier bereitgestellten Unterrichtsmaterialien ist es, diese Folgerungen den SchülerInnen zu vermitteln und gleichzeitig anhand interessanter und gesellschaftlich relevanter Themen physikalische Inhalte und Kompetenzen, wie sie in den Lehrplänen eingefordert werden, zu unterrichten.

Das bedeutet, dass die Unterrichtsmaterialien so gedacht sind, dass man im Wesentlichen keine zusätzliche Zeit einplanen muss, sondern dass man das, was man gemäß Lehrplan unterrichten muss, anhand dieser Themen unterrichtet und so zwei Ziele gleichzeitig erreicht.

Zum Beispiel kann man zum Themenfeld „Höhenenergie“ anstelle der Höhenenergie eines Turmspringers das Potential der Wasserkraft berechnen.

Die Unterrichtsmaterialien werden bewusst in Formaten z.B. „docx“ bereitgestellt, so dass die Lehrkraft wählen kann, was sie benötigt und die Materialien nach ihren Anforderungen, der Klassensituation und sonstigen Anforderungen anpassen kann.

Die Materialien stützen sich, wenn nicht anders angegeben, auf folgende Bücher. Vor jedem Kapitel sind die entsprechenden Seiten in den Büchern aufgeführt.

Christian Holler, Joachim Gaukel (2019): Erneuerbare Energien ohne heiße Luft, UIT Cambridge Ltd, Cambridge

Christian Holler, Joachim Gaukel, Harald Lesch, Florian Lesch (2021): Erneuerbare Energien zum Verstehen und Mitreden, C.Bertelsmann, München

Lehrplanbezug der Arbeitsmaterialien

In folgender Tabelle ist aufgezeigt, zu welchem Lehrplankapitel die einzelnen Unterrichtsmaterialien zugeordnet werden können.

Arbeitsblatt	Kapitel	Lehrplanbereich
Energie Begriffe	Energie	Energie Begriff und Energieumwandlungen
Energieeinheiten	Energie	Energie Begriff und Energieumwandlungen
Energieverbrauch	Energie	Energie Begriff und Energieumwandlungen
Energie, Leistung und Größenordnungen- Bewertung von Informationen	Energie	Energie und Leistung, Begriffe und Größenordnungen
Energiegewinnung mit einem Wasserwerk	Wasserkraft	Höhenenergie
Abschätzung der max. Energieerzeugung an Wasserkraft	Wasserkraft	Höhenenergie
Wind of change oder the answer is blowing in the wind	Windenergie	kinetische Energie
Grundlagen einer Windkraftanlage	Windenergie	kinetische Energie
Windausbau- wie schaffen wir das?	Windenergie	Maßnahmen zur Einhaltung aktueller Klimaschutzziele auf gesellschaftlicher Ebene und Relevanz
Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende	Bioenergie	Wirkungsgrad
Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende über verfügbares Material	Bioenergie	Maßnahmen zur Einhaltung aktueller Klimaschutzziele auf gesellschaftlicher Ebene und Relevanz
Photovoltaik Potential	Solarenergie	elektrische Energie, Wirkungsgrad
Leistung und Volatität	Solarenergie	elektrische Energie, Leistung
Grundprinzipien der Wärmepumpe	Geothermie	Änderung der inneren Energie durch Arbeit und Wärme, Druck und Temperatur
Funktionsweise der Wärmepumpe	Geothermie	Anwendung von innerer Energie, Druck
Potential	Geothermie	Anwendung von Temperatur, innerer Energie
Wellenenergie	Sonstige Energiequellen	Leistung, Wirkungsgrad
Gezeitenenergie	Sonstige Energiequellen	Höhenenergie
Bedarf und Potential Vergleich und Konsequenzen	Faktencheck	
Deutschlandkarte mit Panini Bild	Faktencheck	

1. Energie verstehen

Verschiedene Energieformen, die Energieumwandlungen und den Energieerhaltungssatz bespricht man schon immer im Physikunterricht. Häufig betrachtet man die Energieformen an Beispielen wie einem Trampolinspringer oder einer Achterbahn. Da aber die Energiewende und die zukünftige Energieversorgung eine der größten Aufgaben unserer Zeit sind, bietet es sich an, bei der Einführung zum Thema Energie Beispiele aus diesen Themenfeldern zu betrachten. Den SchülerInnen wird so die Relevanz des Themas Energie für ihr Leben bewusst und sie erkennen, wie ihr Lebensstandard von Energie abhängt.

Um ein Gefühl für den Energieverbrauch zu bekommen, wird der durchschnittliche Energieverbrauch pro Tag und Person mit der erzeugten Energie von Fahrradfahrern verglichen.

In den Büchern:

S. 12-31

S. 2-26

Los geht's:

Durch folgende Unterrichtsmaterialien kann man das Thema „Energie" einführen. Die Schüler lernen so anhand gesellschaftlich relevanter Problemfelder die Arten der Energie kennen und erkennen, dass Energieformen ineinander umgewandelt werden können. Zudem werden von Beginn an Joule und kWh als Einheiten der Energie eingeführt, um quantitative Aussagen machen zu können und die SchülerInnen an das Einheitenumrechnen zu gewöhnen. Zum Schluss wird anhand von textbasierten Quellen der Energieverbrauch in Deutschland thematisiert.

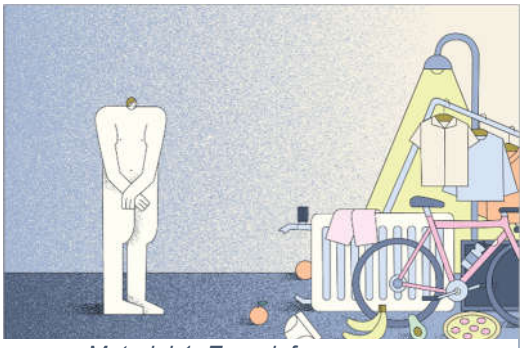
Im Laufe des Jahres sollen nach und nach das Potential der verschiedenen erneuerbaren Quellen abgeschätzt werden und mit dem Energiebedarf verglichen werden.

Als Motivation hierzu wird ein Arbeitsblatt ausgeteilt, das als Leitfaden durch das Themengebiet dient und durchgehen ergänzt werden soll.

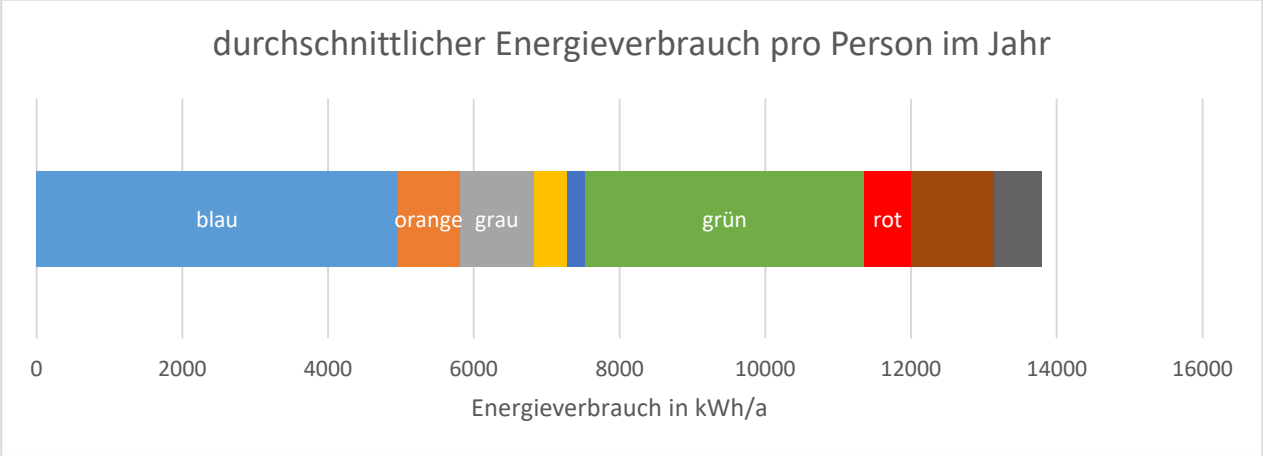
- Einführung Energie und Energieformen (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Einheiten der Energie (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Energieverbrauch in Deutschland und Energieflussdiagramm (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Leitfaden des Jahres
- Energie, Leistung und Größenordnungen- Bewertung von Informationen (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung

Everybody's Darling: Die Energie

1) Beschreibe Situationen im Alltag, in denen Energie eine Rolle spielt! Benenne außerdem die zughörige Energieform! Nimm hierzu Material 1 bei Bedarf zur Hilfe!
2) In Material 2 ist der durchschnittliche Energieverbrauch pro Kopf und Jahr dargestellt.
   a) Ordne die einzelnen Anteile (blau, orange, rot und grün) den verschiedenen Bereichen zu! Trage dazu die Farben in der Tabelle (Material 3) ein.
   b) Ergänze dann die untenstehende Tabelle, indem du jeweils eine bereitgestellte Energieform, den jeweiligen Energieträger, eine benötigte Energieform und ein Beispiel für genutzte Maschine ergänzt. Teilweise gibt es verschiedene Möglichkeiten.
   c) Überlege Dir, in welchen Bereichen man noch Energie benötigt! Zu welchen Bereichen gehören die nicht zugeordneten Farben? Vergleiche mit der Lösung bzw. frage deinen Lehrer!



Material 1 Energieformen



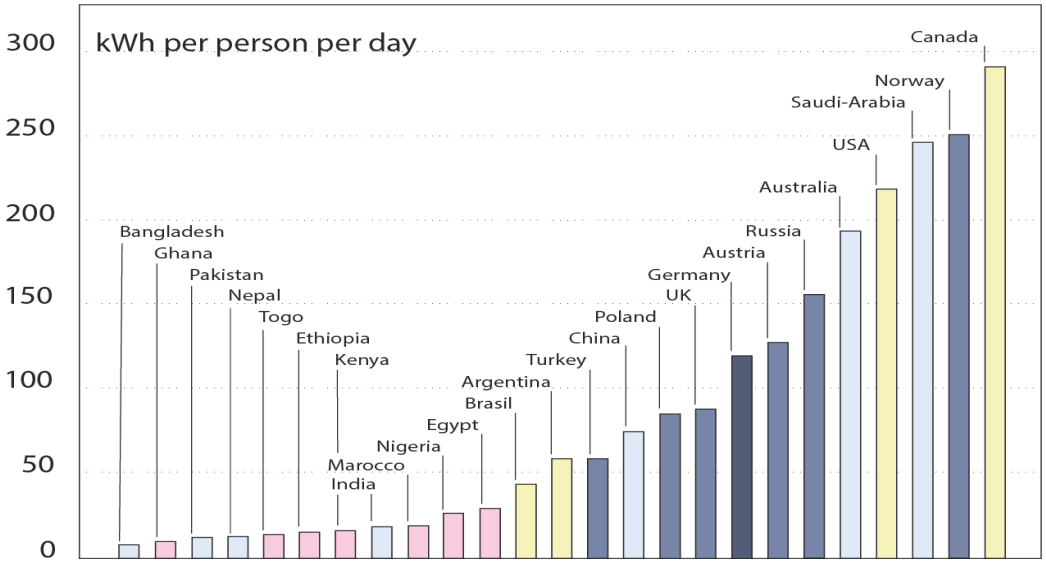
Material 2 Energieverbrauch pro Person im Jahr [1]

Farbe in der Graphik	Bereiche	Bereitgestellte Energieform	Energieträger	Maschine	Nutzbare Energieform
	Heizen				
	Alltagsfahrten (Mobilität)				
	Urlaubsfahrten (Mobilität)				
grau	Kochen, Kühlen	Elektrische Energie	Strom	Herd, Kühlschrank	Wärmeenergie
	Warmwasser				

Material 3 Tabelle

[1] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_primaerenergieverbrauch_2022-06-03.pdf, S.101-125

3) Im Material 4 ist der Energieverbrauch pro Person und Tag von vielen Ländern dargestellt. Finde Deutschland und formuliere in einem Satz wie du Deutschland im internationalen Vergleich bewertest! Überlege dir, warum hinsichtlich der Verfügbarkeit von Energie der sehr hohe Energieverbrauch für Ländern wie Norwegen oder Saudi-Arabien ein kleineres Problem als für Deutschland ist!



M 4 Energieverbrauch pro Kopf im Vergleich

4) Von 2008 bis 2019 ist der Energiebedarf für Klimakälte um 40% angestiegen[2].
Überlege Dir die benötigte Energieform und die dafür genutzten Maschinen. Gib Gründe an, warum dieser Trend sich wahrscheinlich fortsetzen wird!
Kennst du Maßnahmen, die Städte und Gemeinden oder unsere Schule nutzen, um das Aufheizen von Gebäuden zu reduzieren?
5) Auch der Mensch kann als „Maschine“ gesehen werden. Identifiziere die bereitgestellte und nutzbare Energieform.
6) Beschreibe, was dein Körper und technische Geräte mit der zugeführten Energie machen und folgere daraus eine generelle Eigenschaft von Energie!

[2] https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-entwicklungen-und-trends-in-deutschland-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=16, S.11

Lösung und Hinweise zum Arbeitsblatt Energie

Diese Aufgaben können als Einstieg zum Thema „Energie“ genutzt werden.

Lösungen

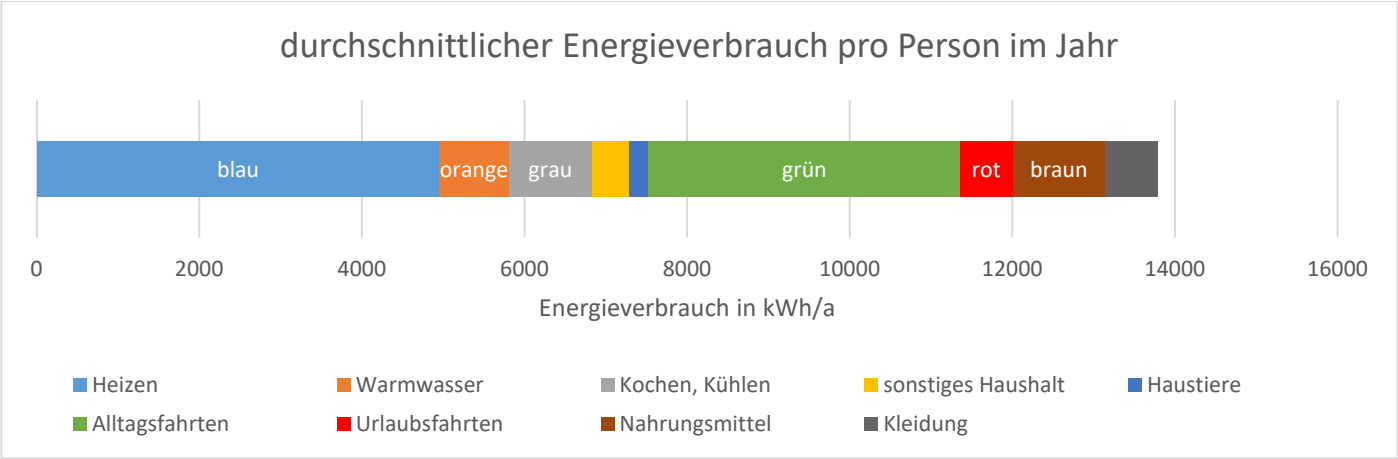
1) Zum Beispiel: Lichtenergie, Energie durch Nahrung, Energie zum Sport machen, Energie zum Heizen, Energie um Kleidung herzustellen…
   Hier bietet sich eine generelle Diskussion über Energie und Energieformen an.
   Bewegungsenergie/kinetische Energie
   Chemische Energie: Energie in Nahrung, in Benzin…
   Wärmenergie, Lichtenergie

   Hier bietet sich eine generelle Diskussion über Energie und Energieformen an.
   Bezug zum Buch: S.12-14

2)
   a)

Farbe in der Graphik	Bereiche	Bereitgestellte Energieform	Energieträger	Maschine	Nutzbare Energieform
blau	Heizen	Chemische Energie	Gas	Gastherme	Wärmeenergie
grün	Alltagsfahrten (Mobilität)	Chemische Energie	Benzin	Motor, Auto	Kinetische Energie
rot	Urlaubsfahrten (Mobilität)	Chemische Energie	Benzin	Motor, Auto, Flugzeug	Kinetische Energie
grau	Kochen, Kühlen	Elektrische Energie	Strom	Herd, Kühlschrank	Wärmeenergie
orange	Warmwasser	Chemische Energie	Gas, Öl	Gastherme, Ölheizung	Wärmeenergie

Sinn der Aufgabe ist, zum einen Energieformen zu benennen und zu erkennen, dass Energie ineinander umgewandelt werden kann und diese Lernziele zu erreichen. Gleichzeitig bietet diese Aufgabe eine Möglichkeit, dass den Schülern bewusst wird, wofür wir Energie benötigen und wie groß die entsprechenden Anteile sind.



Weitere Informationen:

a) Sonstige Energie im Haushalt beinhaltet: Energie für Waschen und Trocknen, für Medien, für Beleuchtung und für Sauna.
b) Energie für Nahrungsmittel beinhaltet die Energie, die für die Erzeugung notwendig ist, wie z.B. Treibstoff, Dünger usw.
c) In der Grafik ist der durchschnittliche Energieverbrauch pro Person dargestellt. Der Energieverbrauch schwankt extrem stark je nach Einkommen und sozialem Milieu. So ist der Energieverbrauch für Einkommen unter 1000 Euro bei $11574\ kWh/a$, der für Einkommen über 3000 Euro bei $19\ 853\ kWh/a$, also fast doppelt so hoch. Bei Urlaubsreisen erstreckt sich der Energieverbrauch von $411\,\frac{kWh}{a}$ bis $2540\,\frac{kWh}{a}$ je nach Einkommen. [3] Man könnte diesen Sachverhalt zu weiteren Diskussionen nutzen.

3) Deutscher Energieverbrauch pro Kopf ist sehr hoch. Länder mit sehr hohem Energieverbrauch haben ein sehr hohes Pro-Kopf-Einkommen oder auch sehr große Vorkommen von Energiequellen wie Öl/Gas/Wasserkraft.

4)

Bereiche	Bereitgestellte Energieform	Energieträger	Maschine
Kühlen	Elektrische Energie	Strom	Klimaanlage

3 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_primaerenergieverbrauch_2022-06-03.pdf, S.101-125

Der Anteil wird steigen, da wegen des Klimawandels Hitzeperioden steigen werden. Möglichkeiten, um dem entgegenzuwirken wären zum Beispiel zusätzliche Beschattungen wie Markisen zu bauen, mehr zu begrünen oder Wasserflächen anzubauen

5)

Bereiche	Bereitgestellte Energieform	Energieträger	Maschine	Nutzbare Energieform
Mensch	Chemische Energie	Nahrung	Mensch	Kinetische Energie, Wärmeenergie

Hinweis:

Diese Frage bietet auch einen Einstieg über den täglichen Energiebedarf (Mann ca. 3000 kcal) zu reden und bietet Anschluss an fächerübergreifende Projekte.

6) Die Energie wird umgewandelt.

Energieeinheiten oder „Wer ist Robert“?

„Das Kernkraftwerk Emsland produziert jährlich $11\ Milliarden\ kWh$.

„Ein Wasserkraftwerk produziert am Tag $1 \cdot 10^{15} J$.“

„Meine Mama sagt, unsere Solaranlage produziert $30 kWh$ am Tag.“

„Ein Kohlekraftwerk in Hamburg liefert $11{,}5\ TWh$ im Jahr.“

1) Wir wollen diese Energien vergleichen.

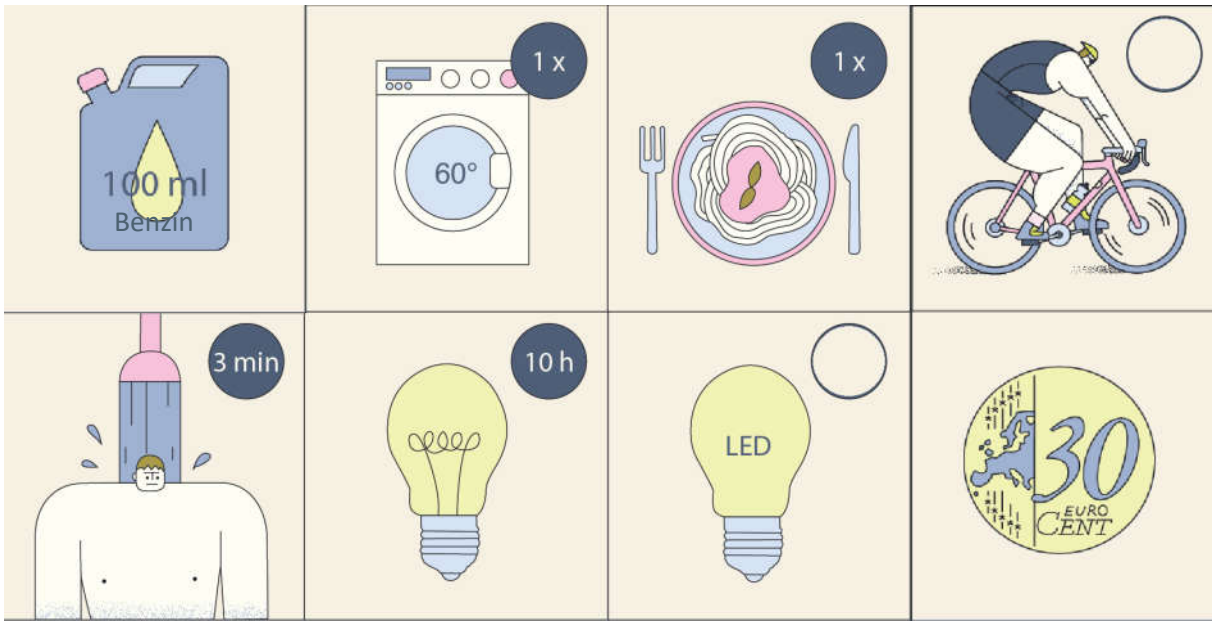
   Überlege dir, wieso dies ohne Taschenrechner mit diesen Angaben nicht möglich ist. Notiere dazu zwei Aspekte.

2) Entscheide, welche der folgenden Aussagen stimmt. Verwende dazu die Daten aus Aufgabe 1.

- Das Kohlekraftwerk liefert viel mehr Energie als das Atomkraftwerk.
- Das Atomkraftwerk liefert viel mehr Energie als das Kohlekraftwerk.

3) Als Grundeinheit für Energiemengen bietet sich $1kWh$ an.

a) Entscheide, welche der Bilder dieser Energiemenge entsprechen.



Das ist Robert: [Olympic Cyclist Vs. Toaster: Can He Power It?]

b) Überlege dir mit Hilfe des Videos, wie viele Roberts treten müssten, um eine $1\ kWh$ zu erzeugen.

c) Eine $100W$ Glühbiren kann ersetzt werden durch eine LED, die pro Stunde $13W$ braucht. Ergänze die Dauer, wie lange eine LED-Birne mit $1\ kWh$ leuchten kann.

d) Ein untrainierter Radfahrer kann in einer Stunde ungefähr $0{,}1kWh$ erzeugen. Trage ein, wie lange der abgebildete Radfahrer treten müsste, um $1kWh$ Energie zu erzeugen.

4) In der Physik ist die übliche Einheit J (Joule). Es gilt dabei:

$$1kWh = 3\,600\,000J$$

Berechne die Energie, die benötigt wird, um 6 Minuten zu duschen.

Suche einen Vorteil, den Stromverbrauch im Haushalt in kWh anzugeben.

"Dieses Foto" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß CC BY

Lösungen:

Aufgabe 1:

- Es sind unterschiedliche Einheiten
- Die Größenordnungen sind in unterschiedlichen Zeitangaben angegeben

Aufgabe 2:

Keine der Aussagen:

Kohlekraftwerk: $11\ Milliarden\ kWh = 11 \cdot 10^9 kWh$

Atomkraftwerk: $11{,}5\ TWh = 11{,}5 \cdot 10^{12} Wh = 11{,}5 \cdot 10^9 kWh$

Aufgabe 3:

a) Alle dieser Bilder.
b) Ca. 50 Roberts bräuchte man, da im Video Robert $0{,}021 kWh$ erzeugt (bei Minute 2:28).
c) Damit kann eine LED $90h$ leuchten. Das Buch spricht von $60h$, jedoch gehen wir hier von modernen LEDs aus.
d) 10h

Aufgabe 4:

- Die Zahlen wirken handlicher und Kilo ist ein bekannter Vorfaktor.
- Ab der Einheit für Leistung können weitere Vorteile erschlossen werden.
- Auf Haushaltsgeräten steht die Einheit W.

Energieverbrauch- Energieflussdiagramme in Deutschland

Wir haben bereits gelernt, dass wir für nahezu alles, was wir machen, Energie verbrauchen. Wir wissen, dass wir fossile Energieträger vermeiden sollten. Deshalb stellt sich die Frage:

Könnten wir unseren heutigen Energiebedarf allein mit erneuerbaren Quellen decke?

Wie hoch ist aber unser Energieverbrauch?

1)

a) Lies dir die Textauszüge aus Zeitungen durch und markiere die verschiedenen Begriffe für Energie! [4]

„Die für Energie zuständigen EU-Minister verabredeten, dass bis Ende des Jahrzehnts 40 Prozent der Primärenergie in der EU aus erneuerbaren Quellen kommen müssen – statt wie bisher vorgesehen 32 Prozent. Gleichzeitig soll der Endenergieverbrauch bis 2030 verbindlich um 36 Prozent reduziert werden.“

1

„Fast die Hälfte der Stromproduktion kam in den ersten sechs Monaten aus erneuerbaren Energien. Vor allem die Wind- und Solaranlagen produzierten mehr Energie. Insgesamt wurde weniger Strom verbraucht.

2

[Den Energiehaltungssatz kennt jeder Schüler]. Wer das verinnerlicht hat, kann beim Laden eines Elektrofahrzeugs ins Grübeln kommen. Die Anzeige der Ladesäule weist eine höhere Anzahl an Kilowattstunden aus, als sich aus den Bordcomputerangaben zu Reichweite und Durchschnitts-Stromverbrauch errechnen lässt.(…) Haben die Hersteller die Verbrauchsanzeigen geschönt?

3

b) Warum sind bei Textauszug 1 und Textauszug 2 unterschiedliche Prozentzahlen für den Anteil erneuerbarer Energien angegeben? Diskutiere und begründe deine Antwort.

c) Nimm begründet zur Frage von Textauszug 3 Stellung!

[4] https:/ /www.spiegel.de/wirtschaft/erneuerbare-energien-eu-laender-einigen-sich-auf-schnelleren-ausbau-a-5789fcc1-8f16-4845-97db-7bf2cc32fcdd,
https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/motor/elektroauto-und-akku-bisschen-energieverlust-beim-laden-16691739.html
https://meta.tagesschau.de/id/167295/oekostromanteil-im-ersten-halbjahr-deutlich-gestiegen

2) Wir haben gerade die Begriffe Primärenergie und Endenergie kennengelernt. Bei Aufgaben c) kam eine weitere Energieform vor. Damit wir die Frage beantworten können, wie viel Energie wir in Deutschland verbrauchen, müssen wir klären, von welcher Energie wir sprechen. Ergänze dazu die Tabelle mit den folgenden Begriffen: Heizenergie, Kohle, Gas, Sonnenstrom, Strom im Stromnetz, Windstrom, Uran, Benzin, digitale Nutzung, Nutzenergie, Erdgas

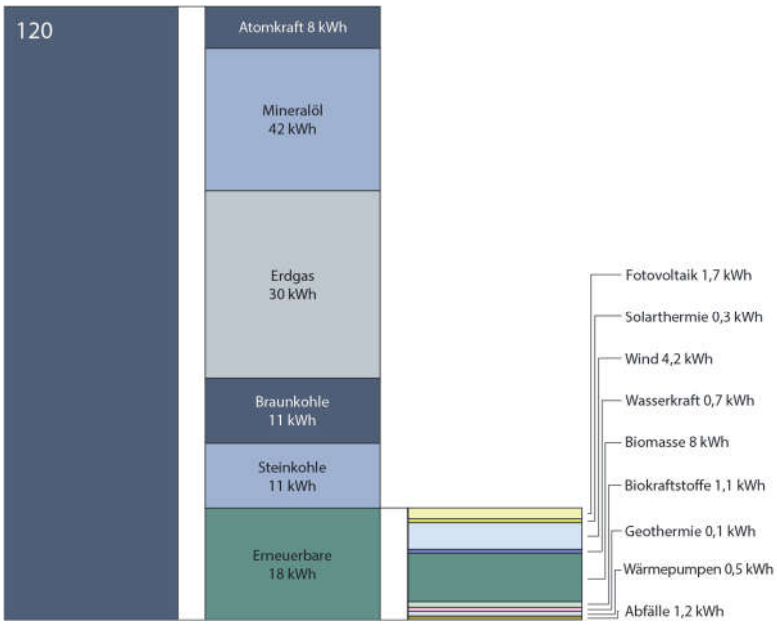
Primärenergie	
Endenergie	
	Bewegungsenergie des Autos

3) Erstelle aus den Erkenntnissen der vorherigen Aufgabe ein Energieflussdiagramm über den Energiefluss in Deutschland! Überlege dir dazu, warum welche Verluste auftreten.

4) In Deutschland war der Primärenergieverbrauch in den letzten Jahren in etwa $13\,000\ PJ$, der Endenergieverbrauch bei ca. $9000\ PJ$. [5]
   a) Berechne jeweils den Primärenergieverbrauch und den Endenergieverbrauch in der Einheit kWh!
   b) Berechne dann, wie viel Primärenergie und Endenergie jeder Deutsche im Durschnitt pro Tag verbraucht! Bestimme, wie viele Radfahrer somit jeden Tag für uns treten müssen!
   c) Ein sportlicher Mann sollte ca. $10\,000\ kJ$ pro Tag essen. Ermittle, wie viel Prozent der gesamten genutzten Energie die Nahrung ausmacht.

5) Betrachte Material 1 und streiche alle Energieformen, die nach dem Kernausstieg wegfallen. Streiche dann alle, die wegfallen, wenn wir alle Energieformen streichen, die wegfallen, wenn wir auf fossile Energieträger verzichten.

   Beurteile dein Ergebnis und folgere daraus Erkenntnisse für die Zukunft.



Material 1 Primärenergieverbrauch in Deutschland

[5] https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-entwicklungen-und-trends-in-deutschland-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=16, S.10

Lösung und Hinweise zum Arbeitsblatt Energieeinheiten

1)

a) Markierte Begriffe: Primärenergie, Endenergie, Strom, erneuerbare Energie

b) Die Anteile beziehen sich auf unterschiedliche Arten der Energie. Beim Strom ist der Anteil erneuerbarer Energien 50%, bei der Primärenergie aber geringer. Dort soll der Anteil erst erhöht werden.

c) Nein, die Hersteller haben nicht beschönigt. Der Energieerhaltungssatz gilt zwar, aber nicht die gesamte Energie, die gespeichert wird, kann auch genutzt werden. Das liegt daran, dass bei der Umwandlung von der Energie, die getankt wird (der Endenergie) nur ein Teil in Nutzenergie also Bewegung umgewandelt werden kann. Ein Teil der Endenergie geht in Form von Reibung und Wärme verloren.

Hinweise:

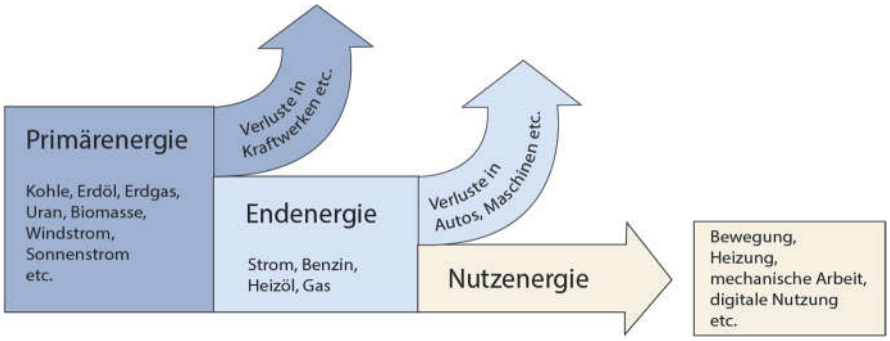
- Ziel dieser Aufgabe ist es zum einen, die Begriffe zu klären, zum anderen

2)

Heizenergie, Kohle, Gas, Sonnenstrom, Strom im Stromnetz, Windstrom, Uran, Benzin, digitale Nutzung, Nutzenergie

Primärenergie	Kohle, Erdgas, Uran, Sonnenstrom, Windstrom
Endenergie	Gas, Strom im Netz, Benzin
Nutzenergie	Bewegungsenergie des Autos, Heizenergie, digitale Nutzung

3)



4) In Deutschland war der Primärenergieverbrauch in den letzten Jahren in etwa $13\,000\ PJ$, der Endenergieverbrauch bei ca. $9000\ PJ$. [6]

d) Berechne jeweils den Primärenergieverbrauch und den Endenergieverbrauch in der Einheit kWh!

e) Berechne dann, wie viel Primärenergie und Endenergie jeder Deutsche im Durschnitt pro Tag verbraucht? Bestimme, wie viele Radfahrer somit jeden Tag für uns treten müssen!

a) $13\,000 \cdot 10^{15} J = 13\,000 \cdot 10^{15} \cdot 2{,}7 \cdot 10^{-7} kWh = 3{,}51 \cdot 10^{12} kWh$

[6] https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-entwicklungen-und-trends-in-deutschland-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=16, S.10

$$9000\ PJ = 9000 \cdot 10^{15} \cdot 2{,}7 \cdot 10^{-7} kWh = 2{,}43 \cdot 10^{12} kWh$$

b) $3{,}51 \cdot 10^{12} kWh : 365 : 80\ 000\ 000 = 120\ kWh$

$$2{,}43 \cdot 10^{12} kWh : 365 : 80\ 000\ 000 = 83\ kWh$$

120 Fahrradfahrer pro Tag bzw. 83 pro Tag

c) $10\ 000\ kJ = 10\ 000 \cdot 10^{3} \cdot 2{,}7 \cdot 10^{-7} kWh = 2{,}7\ kWh$

$$\frac{120}{2{,}7} = 44{,}4$$

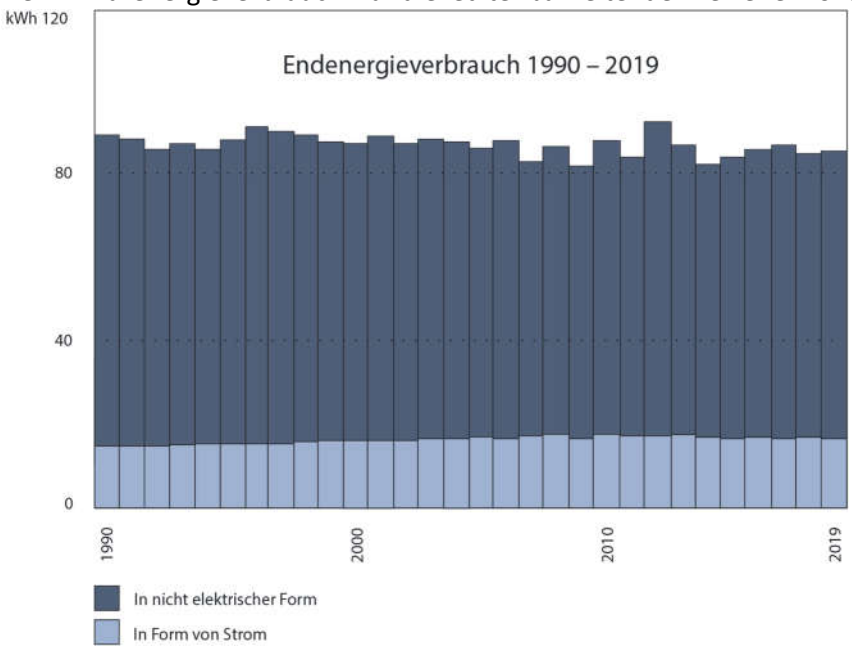
Primärenergie ist 44,4 mal mehr als die Energie, die wir an Nahrung zu uns nehmen.

$$\frac{2{,}7}{2{,}7 + 120} = 2{,}2\ \%$$

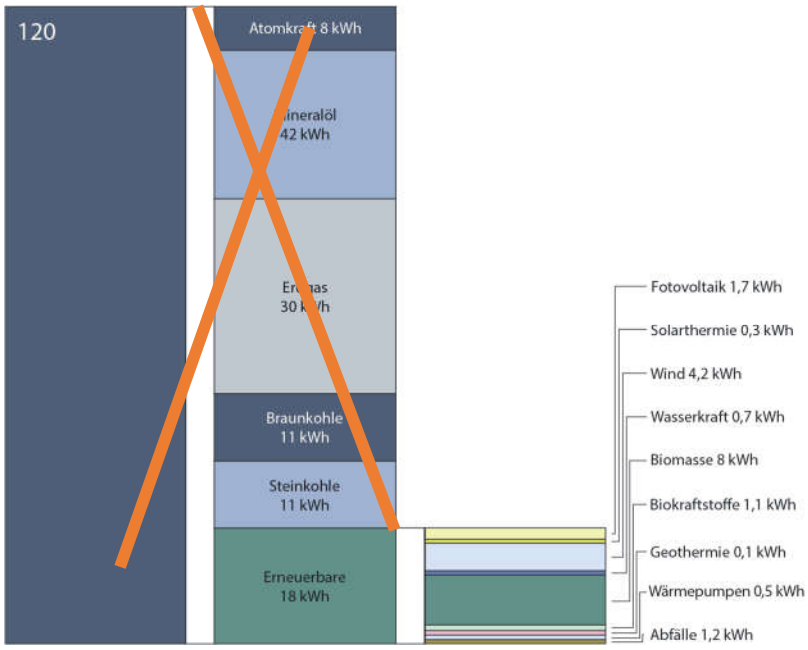
Nur 2,2% der gesamten genutzten Energie benötigen wir als Nahrung.

Hinweis:

- Die aktuellen Daten findet man auf der Seite des Wirtschaftsministeriums unter Publikationen: https://www.bmwk.de/SiteGlobals/BMWI/Forms/Listen/Publikationen/Publikationen_Formular.html?input_=178168&gtp=181404_list%253D2&resourceId=180482&cl2Categories_LeadKeyword.GROUP=1&cl2Categories_LeadKeyword=energie&selectSort.GROUP=1&selectTimePeriod.GROUP=1&cl2Categories_Typ.GROUP=1&pageLocale=de
- Der Primärenergieverbrauch war die letzten Jahre tendenziell eher konstant.



5)



Bisher nur ca. 15% Erneuerbare Energien. Folgerung: Wir müssen dringend die erneuerbaren Energien ausbauen und den Primärenergiebedarf senken.

Leitfaden: Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien

Im Unterrichtsverlauf wirst du mehrere regenerative Energiequellen kennenlernen. Jede Energiequelle kann einen Beitrag dazu leisten, dass der Energiebedarf Deutschlands prinzipiell zu 100% durch erneuerbare Energien gedeckt wird, die auf dem Staatsgebiet Deutschlands (Land- und Seeflächen) erzeugt werden.

Ergänze das Arbeitsblatt während der Unterrichtsstunden und trage die benötigten Flächen in der vereinfachten Deutschlandkarte ein (Rückseite), in dem du eine passende Anzahl an Kästchen ausmalst sowie den Beitrag jeder Energie zur **„Energiebilanz der Zukunft“** auf der Rückseite einträgst.

1. **Der Energiebedarf Deutschlands heute** *(s. Energieverbrauch und Energieflussdiagramme)*
   a. Ergänze die Größe des heutigen Primärenergiebedarfs pro Person und Tag (s. Rückseite).
   b. Stelle die bisherige Aufteilung dieser Energie auf die unterschiedlichen Energieformen dar, indem du sie mit verschiedenen Farben im Balkendiagramm einträgst
2. **Mögliche Beiträge erneuerbarer Energien in der Zukunft**

   Trage den im Unterricht erarbeiteten möglichen Beitrag der einzelnen erneuerbaren Energien zum Energiebedarf Deutschlands sowie die benötigte Fläche in km² ein (auf 1000 km² runden).

   a. **Solarenergie** *(s. Abschätzung Potential Solarenergie)*

   mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

   benötigte Fläche: _____ km²

   b. **Wasserkraft** *(s. Abschätzung maximale Energieerzeugung aus Wasserkraft)*

   mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

   benötigte Fläche: _____ km²

   c. **Windenergie** *(s. Wind of change)*

   Berechne die für einen Windpark benötigte Fläche (20.000 Windräder offshore / 40.000 offshore), wenn alle Windräder mit 160m Durchmesser modernisiert werden und den 5-fachene Rotorabstand zueinander einhalten. (Tipp: Mit Rotordurchmesser in km rechnen)

   mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

   benötigte Fläche: _____ km² (onshore)

   _____ km² (offshore)

   d. **Biomasse** *(s. Abschätzung Potential aus Biomasse)*

   mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

   benötigte Fläche: _____ km²

   e. **Geothermie** *(s. Geothermie und Wärmepumpen-Potential)*

   mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

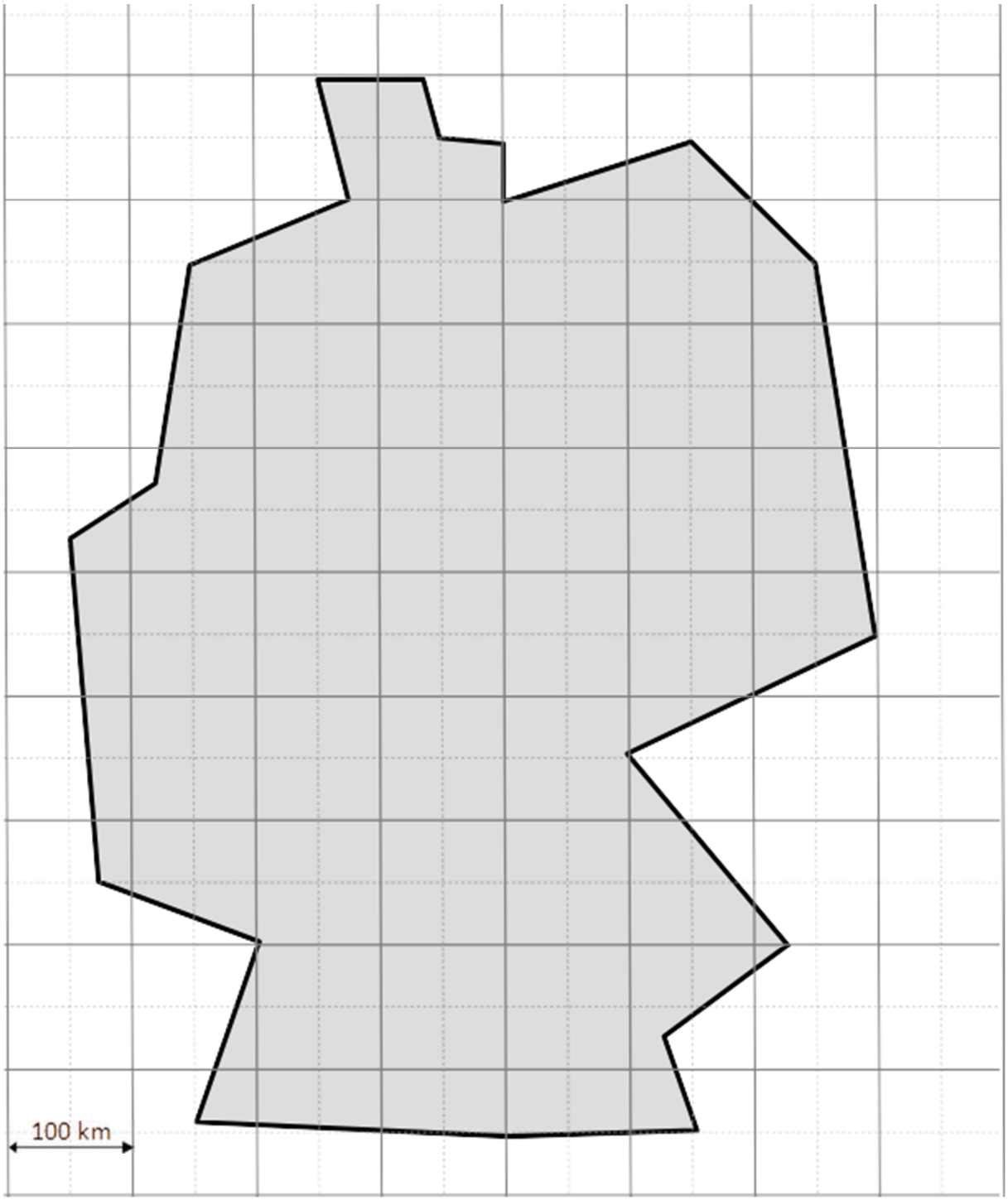
   benötigte Fläche: _____ km²

   f. **Weitere Energieformen (optional)**

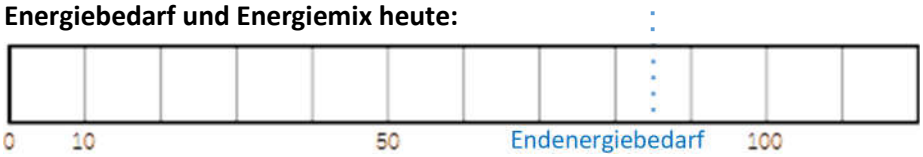
   a) Recherchiere welche weiteren Formen an erneuerbarer Energie es gibt und gib Gründe an, wieso diese keinen <u>nennenswerten Beitrag</u> zur Energiewende liefern.

   b) Recherchiere ob Kernfusion eine realistische Energiequelle zur Lösung der Energiekrise innerhalb der nächsten 10-20 Jahre darstellt.

großes Rasterfeld: Kantenlänge 100km / Fläche 10.00 km² kleines Rasterfeld:50km/2500 km²

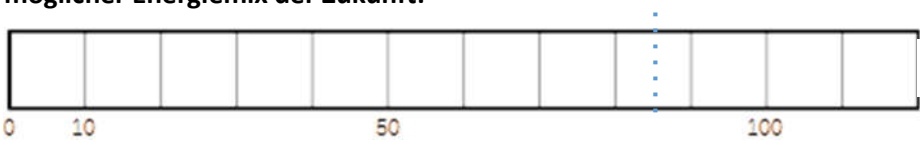


Energiebedarf und Energiemix heute:



_____ kWh pro Person und Tag

möglicher Energiemix der Zukunft:



_____ kWh pro Person und Tag

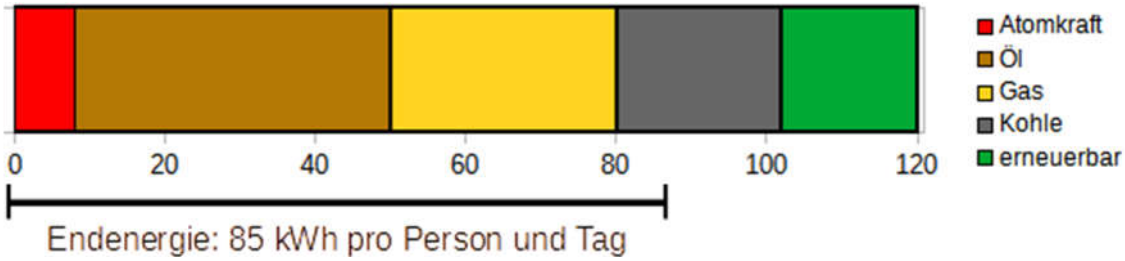
Lösung

ACHTUNG: Ausdruck in 100% Größe, sonst Verzerrung der Maßstäbe!

1. **Der Energiebedarf Deutschlands heute**

   1cm entspricht 10 kWh pro Person und Tag

   Primärenergiebedarf Deutschland: 120 kWh pro Person und Tag



2. **Erneuerbare Energien**

   a. **Solarenergie**

   mögliche Endenergie: ***28 kWh*** *pro Person und Tag*

   benötigte Fläche: ***5.000 km²***

   b. **Windenergie**

   mögliche Endenergie: ***40*** *kWh pro Person und Tag*

   benötigte Fläche: ***26.000 km² onshore / 13.000 km² offshore***

   5facher Rotordurchmesser (160m) Abstand, 40.000 Windräder onshore, 20.000 offshore

   onshore $(0{,}16\text{km} \cdot 5)^2 \cdot 40.000 = 25.600\ \text{km}^2$, offshore analog 12.800 km²

   c. **Wasserkraft**

   mögliche Endenergie: ***1 kWh*** *pro Person und Tag*

   benötigte Fläche: vernachlässigbar, da nur Fließgewässer (1 kleines Kästchen)

   3500 km² nach statistischem Bundesamt (www.destatis.de)

   d. **Biomasse** *(Abschätzung per Wirkungsgrad / Abschätzung per Waldfläche)*

   mögliche Endenergie: ***12 kWh / 9,2 kWh*** *pro Person und Tag*

   benötigte Fläche: ***95.000 km² / 107.000 km²***

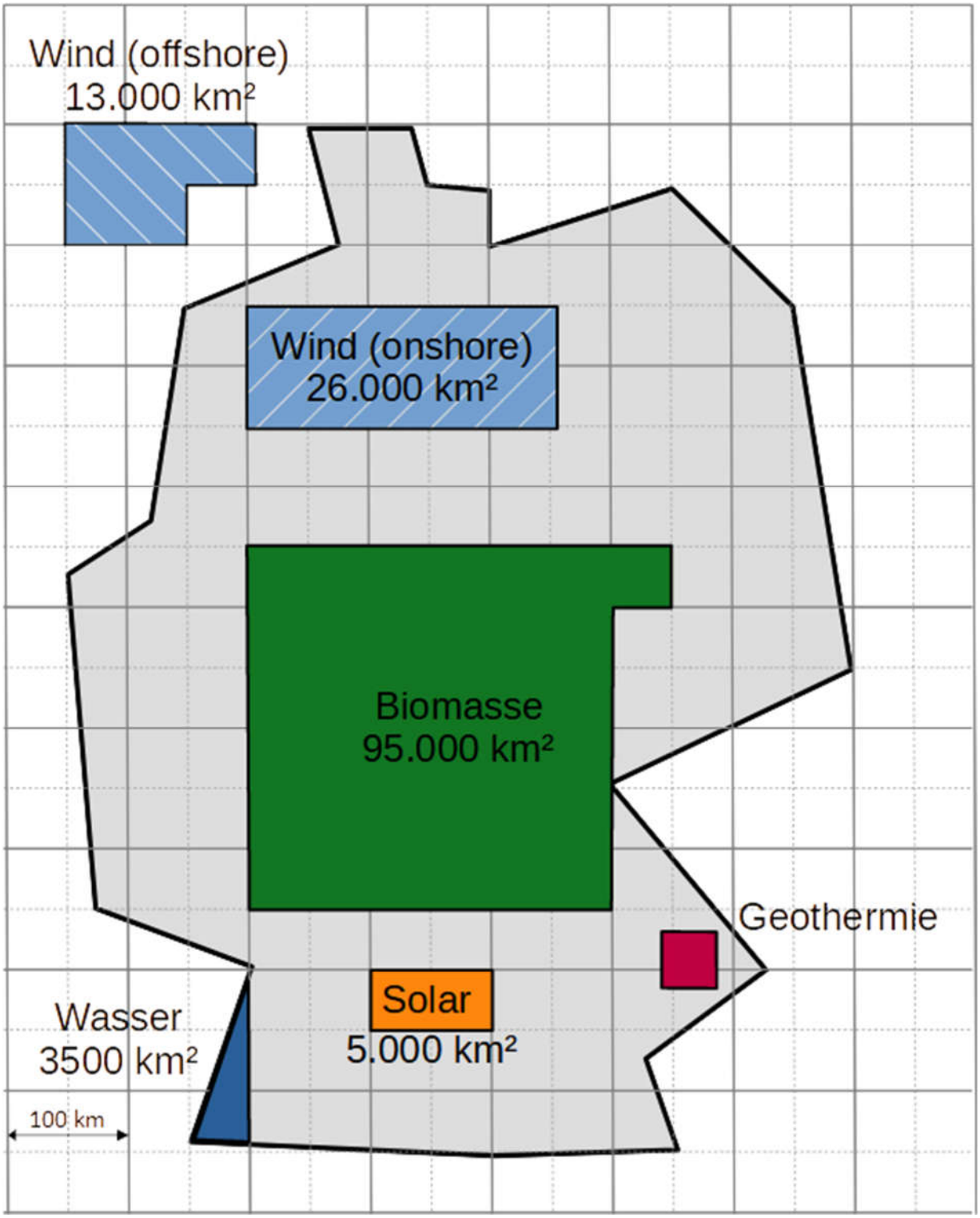
   50% der Waldfläche = $0{,}5 \cdot 0{,}33 \cdot 357.000\ \text{km}^2 = 58.905\ \text{km}^2$

   20% der LNF = $0{,}2 \cdot 0{,}5 \cdot 357.000\ \text{km}^2 = 35.700\ \text{km}^2$

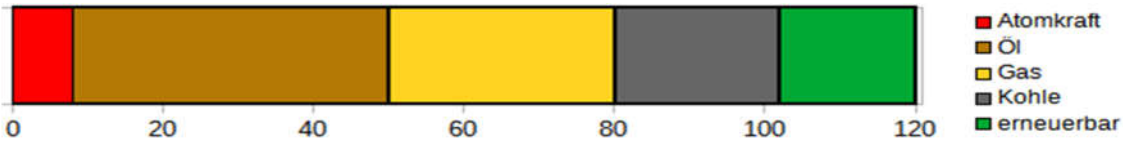
   e. **Geothermie**

   mögliche Endenergie: ***8 kWh*** *pro Person opf und Tag*

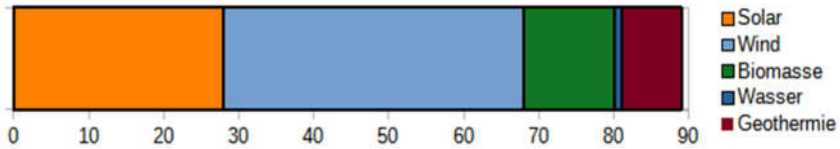
   benötigte Fläche: vernachlässigbar (1 kleines Kästchen)

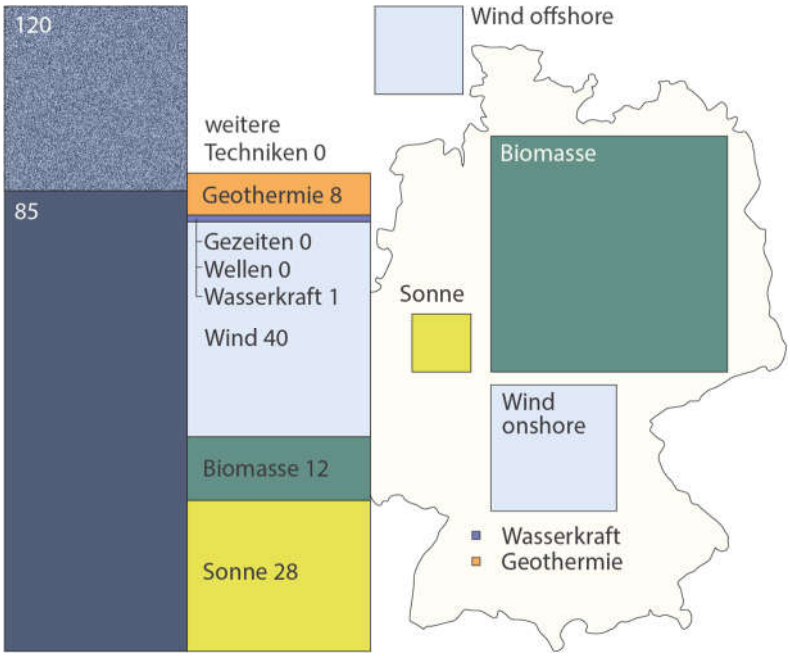


Energiebedarf Deutschland heute:



möglicher Energiemix der Zukunft:





Darstellung der Beiträge der erneuerbaren Energien

Lösung f (s. Buch 88-105, 155-158)

Wellenkraftwerke: geringes Potential (1-2 kWh pro Person und Tag), zu hoher technischer Aufwand, massivste Eingriffe in Ökosystem Meer, Folgen kaum abschätzbar

Gezeitenkraftwerke: hoher Tidenhub nötig, daher geringe Anzahl an geeigneten Standorten, insgesamt geringes Potential (lokal evtl. ausreichend), gravierender Eingriff in Ökosystem Flussdelta

Kernfusion: bisher nur Versuchsreaktoren, positive Energiebilanz der Fusion (nicht des Gesamtsystems) bisher nur knapp erreicht, kein Dauerbetrieb möglich, marktreife Reaktoren noch in weiter Ferne, Bauzeit Großkraftwerke selbst dann mehrere Jahre bis Jahrzehnte

Hinweise und Ausblicke

Die Beiträge von Sonnenenergie sowie Windenergie im Rahmen der Energiewende sind prinzipiell skalierbar, d.h. man kann ihre Anteile auch durch die SchülerInnen variieren lassen und somit einen verschiedenen „Mix der erneuerbaren Energieträger“ herstellen. Auch die Biomasse lässt sich so „skalieren“, wobei hier auf die gewählte Abschätzung zu achten ist.

Dies bietet auch einen sehr guten Anknüpfpunkt, um die grobe physikalische Abschätzung auf ein höheres Niveau zu heben, in dem man auf die Eigenheiten der Energieträger abzielt, insbesondere im Hinblick auf Erzeugung und Verbrauch von elektrischer Energie sowie der Unterscheidung zwischen Grundlast und Regelenergie im Stromnetz. Letzteres ist neben der Bereitstellung von Kohlenstoffbasierten Edukten für die chemische Industrie zur Legitimation des Biomasseanteils (v.a. S.62-73) nötig.

Weitere Möglichkeiten auch zur fächerübergreifenden Diskussion bieten das europäische Verbundnetz, Ausbau der Stromtrassen z.B. nach Norwegen sowie Konzepte zur internationalen Zusammenarbeit, die derzeit teilweise bereits vereinbart sind. Auch die im Rahmen der Energiewende oft missverstandene Rolle des Wasserstoffs als Energieträger sowie seiner Bedeutung kann eingegangen werden.

Energie, Leistung und Größenordnungen- Bewertung von Informationen

1) Bei einem Werbefilm eines Energieunternehmens zum Thema „Energie“ werden folgende Informationen geliefert:

   „Sonne, abgestrahlte Energie 1,5 Trillionen kWh im Jahr, 6000°C auf der Oberfläche. In 40 Minuten liefert die Sonne so viel Energie, wie die Weltbevölkerung in einem Jahr benötigt.

   Bei einem Gewitter gibt es Spannungen bis 100 Mio Volt. Die Blitzgeschwindigkeit beträgt 100 000 Kilometer pro Sekunde. Mit der elektrischen Energie könnte eine 60 Watt Glühlampe anderthalb Jahre lang leuchten.

   15-30 kW je Meter Wellenfront. 8m Nordsee-Wellenfront genügen um 100 Liter Teewasser zu kochen.“

   a) Die Sonne hat eine Strahlungsleistung von $3{,}9 \cdot 10^{26} W$. Bestimme, welche Energie die Sonne im Jahr abstrahlt. Überlege dir, wie die Autoren auf den viel kleineren Betrag kommen und berichtige den Text.
   b) Bewerte den zweiten Abschnitt über die Gewitter hinsichtlich der Relevanz der Informationen.
   c) Erkläre, warum die Aussage im dritten Abschnitt des Textes keinen Sinn macht! Überlege dir dazu, welche Größe man in der Einheit Watt angibt und welche Bedeutung diese hat!

2) Artikel der Esslinger Zeitung vom 27.2.2015

   Eifelturm ein Windrad

   Der Eifelturm in Paris erzeugt jetzt auch Strom aus Windkraft… Nach Angaben der Betreibergesellschaft sollen damit jährlich 10 000 Kilowattstunden Strom produziert werden. Pro Jahr verbraucht der 324 Meter hohe Touristenmagnet etwa 6,7 Gigawatt Strom.

   Bei Spiegel Online erschien ein ähnlicher Artikel unter der Schlagzeile

   „Grünes Paris: Eifelturm produziert Windenergie“

   a) In dem Zeitungsartikel wird eine physikalische Einheit völlig falsch verwendet, so dass die Aussage so keinen Sinn macht. Finde diese Stelle, benenne, welche physikalische Größe mit dieser Einheit bezeichnet wird, erkläre den Fehler, indem Du die Bedeutung dieser Größe erklärst, und berichtige den Text.
   b) Berechne, welche dauerhafte elektrische Leistung der Eifelturm benötigt. Vergleiche mit der Leistung eines Hausanschlusses von 30kW.
   c) Welcher Eindruck wird in diesen Artikeln erweckt? Erkläre wodurch dieser Eindruck erweckt wird!
   d) Beurteile, ob dieser Eindruck gerechtfertigt ist, indem Du die gegebenen Informationen bewertest!

3) eLife, ein Label des Energieversorgers Vattenfall wirbt auf seiner Homepage mit innovativen Ideen wie zum Beispiel dem Folgenden:

Energiequelle Mensch – Cardio für den Smartphone-Akku

Während in den meisten Fitness-Studios hierzulande nur die eigene Ausdauer an Cardio-Geräten trainiert wird, ist man in Berlin schon wieder einen Schritt weiter: In einem neuen Fitnessclub in der Hauptstadt kann nun auch der Smartphone-Akku dank Muskelkraft neue Energie sammeln. Wir haben das für Sie getestet.

So funktionierts

Im Schnitt tritt ein Studiobesucher auf dem Ergometer mit 80 Watt in die Pedale. Eine halbe Stunde auf dem Gerät bringen knapp 40 Watt Leistung, was für die Aufladung eines Handys gleich mehrfach reicht.[7]

a) Auch in diesem Text werden physikalische Größen und Einheiten falsch verwendet. Finde die entsprechende Stelle, erkläre den Fehler und berichtige den Text so, wie er wahrscheinlich gedacht ist.
b) Bewerte die Relevanz dieser innovativen Energie hinsichtlich der finanziellen Ersparnis und dem Beitrag zur Energiewende. Verwende dazu auch die weiteren Daten zu einem Handy!

Akkukapazität[8]	Akku Laufzeit	Energiebedarf für die Akkuproduktion	Kosten für $1kWh$ Strom
$3Wh$	15h	$220\ kWh$	$35ct$

[7] https://www.vattenfall.de/infowelt-energie/green-gym-smartphone-akku-laden
[8] https://www.computerbild.de/artikel/cb-Tests-Handys-mit-langer-Akkulaufzeit-Test-5643959.html

Lösungen zu Energie, Leistung und Größenordnungen

Hinweis:

Um diese Aufgaben bearbeiten zu können, müssen die Begriffe Leistung und Energie und womöglich auch die elektrische Leistung bekannt sein. Dieses Arbeitsblatt dient somit nicht als Einstiegsblatt zu Beginn des Kapitels Energie sondern eher als Vertiefung zu Leistung und Energie.

1)

a) $E = P \cdot t = 3{,}9 \cdot 10^{26} W \cdot 365 \cdot 24h = 3{,}4 \cdot 10^{27} kWh$
Die angegebene Energiemenge ist die, die auf die Erde abgestrahlt wird, was nur ein kleiner Teil der gesamten Energie ist. Hier müsste man im Text ergänzen *„Sonne, abgestrahlte Energie **auf die Erde** 1,5 Trillionen kWh im Jahr.*

b) Die gegebenen Größen Spannung und Geschwindigkeit haben zunächst gar nichts mit der Energiemenge zu tun. Ein Blitz hat zwar kurzzeitig wahnsinnig viel Leistung, aber die Energiemenge ist nicht besonders groß, da die Zeitdauer [9] ist mit ca. $0{,}01s$ sehr klein. Die Stromstärke beträgt ca. $100\ 000\ A$ [10]. Die Leistung beträgt somit $P = U \cdot I = 100\ 000\ 000\ V \cdot 100\ 000\ A = 1 \cdot 10^{13} W$, die bereitgestellt Energie $E = P \cdot t = 1 \cdot 10^{11} J = 27\ 777\ kWh$. Allerdings kommt nur ein Teil der Energie am Boden an und Strom und Spannung haben nicht zur gleichen Zeit ihre Maximalwerte, so dass die berechnete Energie zu groß ist.
Das Hauptproblem ist jedoch, dass man nie vorher weiß, wo die Blitze einschlagen und diese deshalb nicht auffangen kann.
Der Vergleich mit der Glühlampe ist nicht zielführend, da eine $60\ W$ Glühlampe in 1 ½ Jahren eine Energie von $60\ W \cdot 1{,}5 \cdot 365 \cdot 24 = 78 kWh$ benötigt, was bei einem Strompreis von 35ct 27,3 Euro entspricht.

c) Die Größe Leistung wird in Watt angegeben. Um 100 Liter Teewasser zu kochen, benötigt man Energie. Um eine sinnvolle Aussage hier zu haben, müsste angegeben sein, in welcher Zeit die Energie für das Teewasser zur Verfügung gestellt wird. Wenn man nämlich lang genug wartet, kann man mit jeder noch so kleinen Leistung 100 Liter Teewasser kochen.

2)

a) Die Stelle mit der falschen Information ist *„Pro Jahr verbraucht der 324 Meter hohe Touristenmagnet etwa 6,7 Gigawatt Strom.“*
In Watt bzw. GW wird die Leistung angegeben. Die Leistung gibt an, wie viel Energie pro Zeit umgesetzt wird. Es macht gar keinen Sinn zu sagen, pro Jahr wird Leistung verbraucht. Das wäre, wie wenn man sagen würde: „Mein BMW hat pro Jahr eine Leistung von 120 PS“ Wie viel hat er dann im Monat?
Sinnvoll wäre entweder: Der Eifelturm benötig für den Betrieb 6,7 Gigawatt, was aber viel zu viel ist, da es der Leistung von 6 Kernkraftwerken entspricht.
Wahrscheinlich ist gemeint, dass der Eifelturm $6{,}7\ GWh$ pro Jahr benötigt.

b) $P = \frac{E}{t} = \frac{6{,}7\ GWh}{365 \cdot 24h} = 765 kW$
25 fache eines Hausanschlusses

[9] https://www.unwetter.de/pages/gewitter_blitze2.php
[10] https://www.vde.com/resource/blob/968790/61cea83db3bad548d775a951e5ad79d6/blitzstromparameter-data.pdf

c) Es wird der Eindruck erweckt, dass die Installation der Windkraftanlage einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende hat. Dieser Eindruck entsteht dadurch, dass der Ausdruck „grünes Paris“ verwendet wird und die relativ große Zahl von 10 000 Kilowattstunden genannt wird.

d) Der Eindruck ist nicht gerechtfertigt, da $10\ 000\ kWh$ nur 0,15% von $6{,}7\ GWh$ beträgt, der Beitrag des Windrades also sehr wenig ist.

3)

a) Die Stelle ist: *„Eine halbe Stunde auf dem Gerät bringen knapp 40 Watt Leistung“* Wieder ist der Unterschied zwischen Leistung und Energie nicht klar. Leistung ist die umgesetzte Energie pro Zeit. In einer Zeit kann man keine Leistung erbringen, sondern man kann nur während der Zeit die gleiche Leistung erbringen. Übersetzt auf das Auto wäre die Aussage: Ein 80 PS starkes Auto erbringt in einer halben Stunde knapp 40PS. Das ist natürlich Unsinn.
Gemeint ist hier in einer halben Stunde erzeugt man eine Energie von $40Wh$.

b) $40Wh$ reicht wirklich für das Aufladen des Akkus mehrfach, genau genommen ca. $\frac{40Wh}{3Wh} = 13$ mal.
Die Kostenersparnis ist allerdings sehr gering, da $40Wh$ Strom $\frac{40}{1000} \cdot 35ct = 1{,}4ct$ kosten.
Ökologisch ist der Beitrag auch überschaubar, da die Produktion einen Energiebedarf von $220\ kWh$ hat, das heißt eine Aufladung entspricht $0{,}02\ \%$ des Energiebedarfs für die Produktion, das heißt, selbst, wenn man 2 Jahre lang jeden Tag das Handy so auflädt, hat man nur 14% der Energie erzeugt, die das Handy bei der Produktion verursacht hat.

Hinweise zum Kapitel und zum Vorgehen

Die Arbeitsblätter „Energie“, „Energieeinheiten“ und „Energieverbrauch“ können als Einstiegsarbeitsblätter zum Thema Energie verwendet werden.

Es wäre möglich zuerst mit Hilfe des Arbeitsblattes „Energie“ den Begriff der Energie und die Energieformen einzuführen.

Anschließend könnte man den Energieerhaltungssatz nach dem bewährten Weg z.B. an Hand des Fadenpendels einführen und folgenden Hefteintrag verfassen.

Hefteieintrag

Wir benötigen für alles, was wir machen Energie.

Energie ist eine physikalische Größe, die ein Körper haben kann.

Energie bedeutet, dass der Körper die Fähigkeit hat, Dinge zu verrichten oder diese Fähigkeit an andere Körper zu übertragen. **Energie kann in verschiedenen Formen vorliegen**

Z.B. Sonnenenergie, Bewegungsenergie, Wärmeenergie , chemische Energie, elektrische Energie

Energie kann ineinander umgewandelt werden!

Im Folgenden werden Einheiten der Energie mit Hilfe des Arbeitsblattes „Energieeinheiten“ eingeführt und zwar durch Festlegung und nicht wie traditionell mit Hilfe der Höhenenergie. Ziel dessen ist, die Energie gleich zu quantifizieren und somit begreifbarer zu machen. Eventuell könnte man auch gleich zu Beginn die Leistung einführen und so die Einheit begreifbarer machen,

Danach könnte man Energieflussdiagramme z.B. anhand eines Wasserkraftwerkes einführen und diese vertiefen mit Hilfe des Arbeitsblattes „Energieverbrauch“.

Als Leitfaden und Motivation für den gesamten Unterrichtszyklus dient dann das Blatt „Leitfaden“

Das Arbeitsblatt „Energie, Leistung und Größenordnungen- Bewertung von Informationen“ ist inhaltlich zu diesem Kapitel eingeordnet, würde aber wahrscheinlich im zeitlichen Verlauf des Schuljahres später und zwar als Vertiefung zu Leistung und Energie kommen.

2. Wasserkraft

Anstelle die Höhenenergie eines Turmspringers zu berechnen, kann man die Höhenenergie und die zugehörige Formel auch am Wasserkraftwerk anwenden.

Anhand des durchschnittlichen Niederschlags gibt es eine interessante Möglichkeit Deutschlands Potential an Wasserkraft sich sehr einfach abschätzen und man stellt fest, dass dieses Potential nur bei ca. 1kWh pro Person und Tag liegt, selbst wenn man es vollständig abschöpfen würde. Das ist sehr wenig gemessen an 120 kWh pro Person und Tag, die Deutschland täglich nutzt. Es zeigt den SchülerInnen auch, dass Vorschläge wie der, es “einfach Österreich und Norwegen nachzumachen” realitätsfern sind.

In den Büchern:

S. 74-86

S. 86-92

Los geht‘s:

Folgende Materialien bieten eine kompetenzorientierte Herangehensweise an das Thema der Höhenenergie, die es den Schülern zum einen ermöglicht mit Faktenwissen an den gesellschaftlichen wichtigen Diskussionen zur Energiewende teilzunehmen, Anknüpfpunkte an fächerübergreifende Diskussionen bietet und eine motivierende Herangehensweise an die Höhenenergie ist.

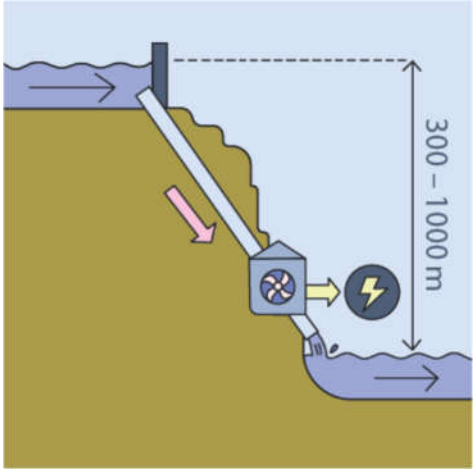
- Grundprinzip Wasserkraft (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Abschätzung der maximalen Energieerzeugung durch Wasserkraft (Arbeitsblatt mit gestuften Hilfen)
- Lösung
- Ausblicke und Ergänzungen

Energiegewinnung mit einem Wasserkraftwerk

Aufgabe 1:

Hier siehst du die schematische Abbildung eines Wasserkraftwerks.

Formuliere die Funktionsweise eines solchen Kraftwerks und berücksichtige dabei die Energieumwandlungen.



Aufgabe 2:

Im Walchensee befinden sich ca. $1299 \cdot 10^6 m^3$ Wasser. Von dort rauschen pro Tag max. $7{,}3 \cdot 10^6 m^3$ durch die Turbine in die $184 \cdot 10^6 m^3$ Wasser des Kochelsees.

Beurteile die Relevanz der Größen, um die Energiemenge abzuschätzen, die das Walchenseekraftwerk theoretisch produzieren könnte.

Erkläre, warum die Angaben nicht ausreichen, um die Energiemenge abzuschätzen.

"Dieses Foto" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß CC

Aufgabe 3:

Berechne die maximale elektrische Energie, die das Walchenseekraftwerk pro Tag liefern kann. Gehe davon aus, dass $\frac{1}{4}$ der Energie bei der Turbine in Wärme umgewandelt wird. Die Masse eines m^3 Wasser und die Umrechnung von J zu kWh findest du auf der Hilfekarte 2.

Aufgabe 4 (optional):

Vergleiche den in Aufgabe 3 berechneten Wert mit dem tatsächlichen Wert, den das Kraftwerk pro Jahr produziert. Beurteile die Relevanz eines Wirkungsgrades in der Abschätzung.

Die jährlich produzierte Energiemenge findest du auf Hilfekarte 3.

Energiegewinnung mit einem Wasserkraftwerk (geführte Version)

Aufgabe 1:

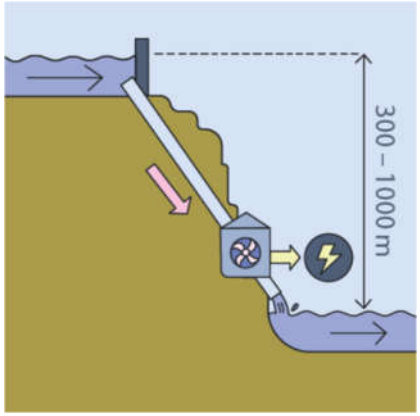
Hier siehst du die schematische Abbildung eines Wasserkraftwerks.
Welche Energieformumwandlungen erkennst du?

_____

Notiere hier möglichst präzise das Ziel eines solchen Kraftwerks.

_____

_____



Aufgabe 2:

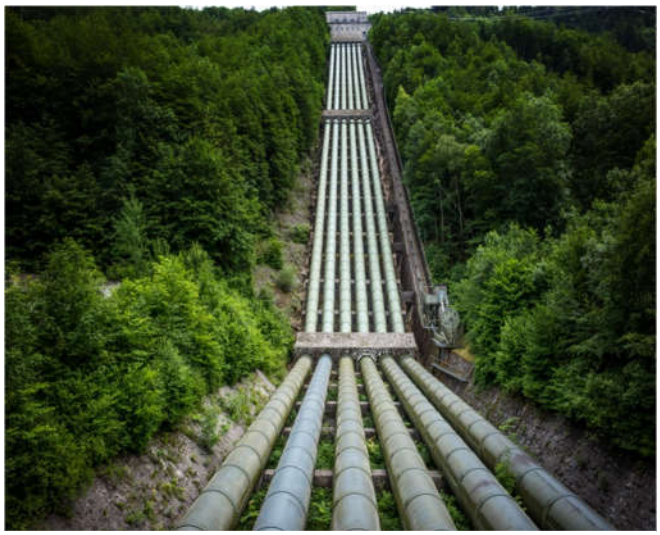
Im Walchensee befinden sich ca. $1299 \cdot 10^6 m^3$ Wasser. Von dort rauschen pro Tag max. $7{,}3 \cdot 10^6 m^3$ durch die Turbine in die $184 \cdot 10^6 m^3$ Wasser des Kochelsees.

Wähle aus, welche dieser Angabe relevant ist, um die Energiemenge abzuschätzen, die das Wasserkraftwerk theoretisch produzieren könnte?

_____

Welche Größe fehlt in der Angabe? Vergleiche mit der Hilfekarte 1.

_____



"Dieses Foto" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß CC

Aufgabe 3:

Berechne mit Hilfe der Angabe von Hilfekarte 1 die maximale elektrische Energie, die das Walchenseekraftwerk pro Tag liefern kann. Die Masse eines m^3 Wasser und die Umrechnung von J zu kWh findest du auf der Hilfekarte 2.

Aufgabe 4 (optional):

Welche Energie produziert das Kraftwerk mit der Abschätzung aus Aufgabe 3 im Jahr?

Die tatsächlich jährlich produzierte Energiemenge findest du auf Hilfekarte 3. Woher kommt dieser Unterschied?

Hilfekarte 1: Der Höhenunterschied der Seen beträgt ca. $200m$. Auf Wikipedia findet man die Angabe, dass die Rohre $430m$ lang sind. Überlege dir, welche der Angaben die relevante ist.
Hilfekarte 2: $1J = 2{,}78 \cdot 10^{-7} kWh$ Masse von Wasser: $1m^3 = 1 \cdot 10^3 kg$
Hilfekarte 3: Die jährlich produzierte Energiemenge des Walchenseekraftwerks beträgt ca. $300 \cdot 10^6 kWh$.

Lösungen

Aufgabe 1: Das Ziel eines Wasserkraftwerks ist es Energie in elektrischer Energieform bereitzustellen.

Dies geschieht durch die Umwandlung von Lageenergie (des Wassers auf einem höher gelegenen Niveau) in kinetische Energie des Wassers in den Fallröhren und anschließend durch Umwandlung zu elektrischer Energie in den Turbinen.

Aufgabe 2: Die Angaben der Wassermengen in den Seen hat keine Relevanz. Wichtig ist die Wassermenge, die durch die Turbinen fließt (Masse des Wassers). Es fehlt jedoch der Höhenunterschied zwischen den Seen -> $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$.
Hinweise zu den Quellen siehe unten.

Aufgabe 3:

Geg.: $m_{Wasser} = 7{,}3 \cdot 10^9 kg$; $h = 200m$

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{pot} = 7{,}3 \cdot 10^9 kg \cdot 200\, m \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2}$$

$$E_{pot} = 1{,}4 \cdot 10^{13} J \approx 3{,}9 \cdot 10^6 kWh$$

$$\text{Alt. mit } \eta\text{: } \Rightarrow E_{el} = 0{,}75 \cdot E_{pot} = 0{,}75 \cdot 3{,}9 \cdot 10^6 kWh \approx 3 \cdot 10^6 kWh$$

Aufgabe 4:

Jährlicher maximaler Energieertrag nach Aufgabe 3: $E_{pot,jährl} = 3{,}9 \cdot 10^6 kWh \cdot 365 = 1{,}42 \cdot 10^9 kWh$

Alt. mit η: $E_{pot,jährl} = 3 \cdot 10^6 kWh \cdot 365 = 1{,}1 \cdot 10^9 kWh$

Ertrag laut Hersteller:$300 \cdot 10^6 kWh$=$0{,}3 \cdot 10^9 kWh$

Der jährliche Ertrag ist ca. um den Faktor 5 $(alt.: \sim 4)$ geringer als der maximal mögliche Ertrag. Das Wasserkraftwerk ist ein Bedarfskraftwerk und arbeitet nicht das ganze Jahr unter voller Last. Die Wassermenge, die durch die Turbinen fließt, ist zudem beschränkt, um das Ökosystem nicht zu beeinträchtigen, s.u.

Der Wirkungsgrad des Kraftwerks hat keine wirkliche Relevanz, da das Kraftwerk als Bedarfskraftwerk weniger elektrische Energie liefert, als maximal möglich wäre.

Hinweise zu den Quellen und Abschätzungen:

Die Wassermenge von Walchensee und Kochelsee sind für die Aufgabe irrelevant.

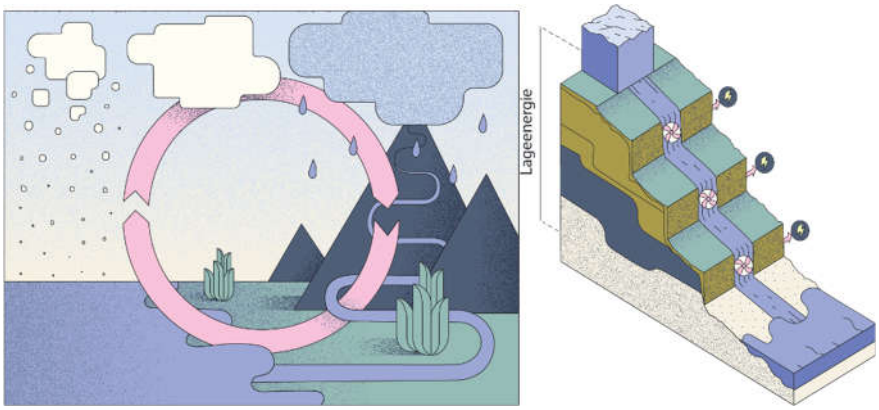
Die Volumenangaben der Seen sind diesem Dokument entnommen Dokumentation von Zustand und Entwicklung der wichtigsten Seen Deutschlands: Teil 11 Bayern

- Maximale Durchflussmenge $84 \frac{m^3}{s} = 84 \cdot 24 \cdot 3600 \frac{m^3}{d} = 7{,}3 \cdot 10^6 \frac{m^3}{d} = 7{,}3 \cdot 10^9 \frac{l^3}{d}$
  Diese Angabe findet sich in der Broschüre des Energieversorgers Uniper, die sehr schöne Bilder für den Unterricht liefert.
- Die Ertragsmenge entstammt auch der Betreiberbroschüre.
- Die Höhenangabe und die Rohrlänge von Wikipedia.

Das Kraftwerk wird kritisiert, weil es den natürlichen Lauf der Isar verhindert. Dadurch werden Tiere und Pflanzen verdrängt und die Isar erhält einen niedrigeren Wasserstand.
Man sieht so, dass auch Wasserkraft ökologische Folgen hat.

Abschätzung der maximalen Energieerzeugung an Wasserkraft

Oftmals wird das Potential diskutiert, das die Wasserkraft zur Transformation zu erneuerbaren Energien liefern in Deutschland leisten kann. Österreich produziert beispielsweise mehr als 60% des Stroms durch Wasserkraft. In der folgenden Aufgabe soll dieses Potential grob für Deutschland abgeschätzt werden.



Jedes Wasser, das genutzt werden kann, muss als Regen vom Himmel fallen. Um Energie durch Wasserkraft zu gewinnen, muss dieses Wasser von höheren Lagen in tiefere Lagen gelangen.

Schätze mit Hilfe des durchschnittlichen Niederschlags in Deutschland und der durchschnittlichen Höhe des Geländes ab, wie viel Energie durch Wasserkraft maximal zur Verfügung stehen kann.

Sammle mindestens zwei Gründe, warum dieses Potential nicht voll genutzt werden kann!

Hilfe 1 Überlege, in welcher Art Energie die Wasserenergie bereitgestellt wird! Gib an, wie man diese berechnen kann!	Antwort 1: Höhenenergie $E = mgh$
Hilfe 2 Recherchiere, wie viel Niederschlag im Durchschnitt in Deutschland pro m^2 fällt und berechne damit und aus der Fläche Deutschlands die gesamte Masse des Niederschlags in einem Jahr.	Antwort 2: $ca. 800l\ pro\ m^2$ Tipp: Wie berechnet man das Volumen? $V = A \cdot h$ Welche Fläche hat Deutschland? $357\,581\ km^2\ also\ ca. 358\,000\,000\,000\ m^2$ $m = 358\,000\,000\,000\ m^2 \cdot 800l \cdot 1\frac{kg}{l} = 2{,}86 \cdot 10^{14}\ kg$
Hilfe 3 Recherchiere die durchschnittliche Höhe des Geländes in Deutschland	$h = 263m$
Hilfe 4 Berechne mit diesen Angaben die gesamte Energie, die durch Wasserkraft bereitgestellt werden kann.	$E = 2{,}86 \cdot 10^{14}\ kg \cdot 9{,}81\frac{m}{s^2} \cdot 263m = 7{,}38 \cdot 10^{17} J$
Hilfe 5 Rechne die Energie in kWh um! Tipp: Umrechnung in google Oder $1J = 2{,}7 \cdot 10^{-7} kWh$	$E = 7{,}38 \cdot 10^{17} \cdot 2{,}78 \cdot 10^{-7} kWh = 2{,}1 \cdot 10^{11}\ kWh$
Hilfe 6 Rechne die Energie in kWh pro Tag und Person um und vergleiche mit dem Gesamtenergiebedarf von $120\ kWh$ pro Tag und Person	$E = 2{,}1 \cdot 10^{11}\ kWh$ $E = 2{,}1 \cdot 10^{11} : 365 : 80\,000\,000 kWh = 7{,}0 kWh$ $\frac{7}{120} \approx 5{,}8\%$
Gründe, warum die Abschätzung zu großzügig ist:	• Nicht jeder Regentropfen sammelt sich in Flüssen • Nicht die gesamte Energie wird in elektrische Energie umgesetzt • Nicht jeder Fluss und jeder Bach kann genutzt werden

Hilfekarten und Lösung

Hinweise zur Durchführung:

Diese Aufgabe kann als Motivation und Einstiegsaufgaben zur Höhenenergie genutzt werden.

Die Höhenenergie könnte dann eingeführt werden, indem man fragt, von welchen Größen die Energie des Wassers abhängt und daraus die Formel $E = mgh$ erklärt.

Die Aufgabe kann entweder als Lernaufgabe mit Hilfekarten verwendet werden oder kann im Lehrer-Schüler-Gespräch entwickelt werden, indem man schrittweise an Hand der Hilfen vorgeht.

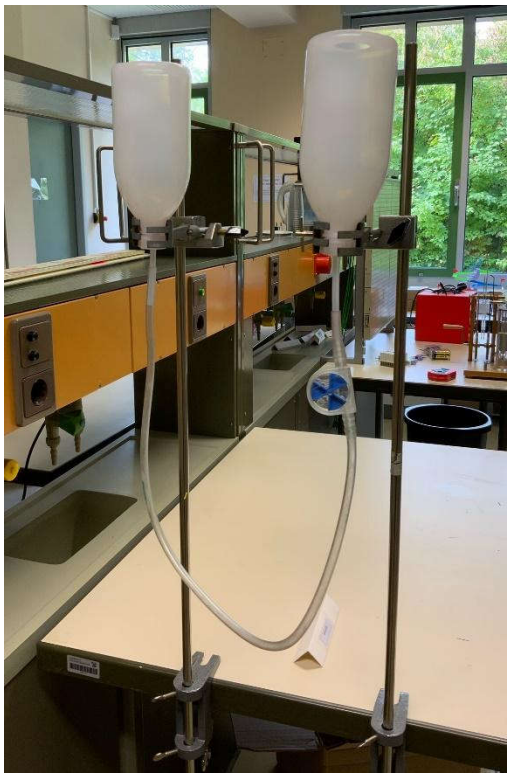
Potential Wasserkraft Norwegen

Diese Seite wird noch erweitert. Über Ideen zu Experimenten freuen wir uns sehr.

Weitere Hinweise, Projektideen zur Wasserkraft

Wasserkraft ist eine faszinierende nur für Deutschland nicht besonders ausbaufähige erneuerbare Energie.

Schöne Ergänzungen wären z.B. solche Mini-Wasserkraftwerke, bei denen man mit einem Gartenschlauch im Physiksaal Strom erzeugen kann.



In vielen Sammlungen findet sich auch dieser Versuch, als Modell für die Spannung. Man kann ihn aber auch verwenden, um zu zeigen, dass ein größerer Höhenunterschied zu einem schnelleren Drehen des Wasserrads führt und damit hier wirklich Höhenenergie in kinetische Energie umgewandelt wird.

Ob die 9. Klässler davon profitieren den Versuch zwei Mal, einmal als Realexperiment und einmal als Modellversuch zu sehen, wird von der Klassensituation abhängen.

Videolinks

- Sendung mit der Maus vom Pumpspeicherwerk- hat leider in den ersten Minuten eine falsche Fachsprache (Kraft/Wucht statt Energie) aber die Bilder vom Kraftwerk sind fantastisch https://kinder.wdr.de/tv/die-sendung-mit-der-maus/av/video-wie-funktioniert-ein-pumpspeicherwerk-100.html
- Dieser ScienceSlam erklärt Energieerhaltung/Energieentwertung u.a. am Wasserkraftwerk. Leider sehr starker Fokus auf Energie und Exergie, d.h. ist nicht ideal zum Lehrplan passend https://www.youtube.com/watch?v=qRMnpV5E5J8

3. Windenergie

Bei der Windenergie handelt es sich um eine Energieform, die in Deutschland intensiv und teils unsachlich diskutiert wird. Gleichzeitig ist Windenergie unter den erneuerbaren Energien für Deutschland elementar wichtig, denn mit Windenergie ließe sich im Jahresmittel fast so viel Energie erzeugen, wie mit allen anderen erneuerbaren Energien zusammen, wenn Deutschland der Kraftakt gelingt die dazu notwendigen Kraftwerke onshore und offshore zu bauen. Die Energiewende steht und fällt damit mit der Windenergie.

Hier kommt dem Physikunterricht eine wesentliche gesellschaftliche Bedeutung zu, über die Möglichkeiten zu informieren, die Technik zu erklären und Mythen zu entzaubern, aber auch die damit verbundenen Probleme fachlich zu beleuchten.

Windkraft nutzt die kinetische Energie des Windes, um diese in elektrische Energie umzuwandeln.

Anstelle jetzt die kinetische Energie beim Schlittenfahren zu berechnen, bietet sich somit dieses Thema an, um den Schülern zudem die Bedeutung der Formel der kinetischen Energie zu verdeutlichen und den Umgang mit Formeln einzuüben.

Die Abschätzung des Potentials Deutschlands ist sehr anspruchsvoll, aber von den Zusammenhängen in der Mittelstufe gut machbar und bietet eine Möglichkeit eine realitätsnahe physikalische Modellierung kennenzulernen.

Man kann ausgehend von der Formel $E = \frac{1}{2}mv^2$, die Formel $E = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot t \cdot v^3$ herleiten, indem man sich den Luftstrom als Zylinder vorstellt mit $m = \rho \cdot V$ und $V = A \cdot x = A \cdot v \cdot t$.

Oder man berechnet bei einer festen Masse einfach die kinetische Energie des Windes und kann so auch in kürzerer und weniger anspruchsvoller Art und Weise dieselben Ergebnisse erzielen

Anschließend überlegt man sich, dass man dem Wind nur einen Anteil der kinetischen Energie entziehen kann, sonst würde die Luft hinter dem Windrad “stehen” und der Fluss zum Erliegen kommen. So kann man auch begründen, dass es Abstandsregeln geben muss und diese einfach mitteilen.

Betrachtet man nun ein kleines Windrad (hier Rotordurchmesser d= 100m), so kann man berechnen, wie viel Energie pro km² gewonnen werden kann, wenn man die mittlere Windgeschwindigkeit kennt, die man geeigneten Tabellen entnehmen kann

So kann man zeigen, dass Windkraft einen echten Beitrag zur autonomen Energieversorgung Deutschlands beitragen kann, wenn es gelingt, rund 60 000 Windräder zu bauen.

In den Büchern:

S. 60-73

S. 68-84

Los geht's:

Folgende Aufgaben bieten eine kompetenzorientierte Aufgabenauswahl, ob das Potential der Windenergie abzuschätzen und Zusammenhänge zu vertiefen. Auch Materialien zu einer gesellschaftlichen wichtigen Diskussion über die Umsetzung der Energiewende sind vorhanden.

Die Schüler sollten die Formel der kinetischen Energie kennen.

- "Wind of Change": Abschätzung des Potentials der Windenergie wenn 10% der Fläche Deutschlands benutzt werden (stark geführtes Arbeitsblatt)
- "Wind of Change": Abschätzung des Potentials der Windenergie wenn 10% der Fläche Deutschlands benutzt werden (vereinfachtes Arbeitsblatt)
- Grundlagen einer Windkraftanlage
- Windenergie politisch betrachtet

Wind Of Change oder The Answer Is Blowing In The Wind

Über die Nutzung von Windkraft wird viel diskutiert- vielleicht auch in deiner Gemeinde. Deshalb wollen wir hier klären, warum die Windräder in den letzten Jahren immer höher und größer werden und zusätzlich die Energiemenge abschätzen, die in Deutschland durch Windkraft erzeugt werde kann.

1) Zeichne das Energieflussdiagramm einer Windkraftanlage, welches die Rolle der Luft bzw. des Windes enthält.
2) Schon 1919 bewies der deutsche Physiker Albert Betz, dass nur maximal 59% der Windenergie in elektrische Energie umgewandelt werden können. Der Grundgedanke zu seinen Überlegungen ist sehr einfach: Beschreibe, was passieren würde, wenn ein Windrad 100% der Windenergie in elektrische Energie umwandeln würde.

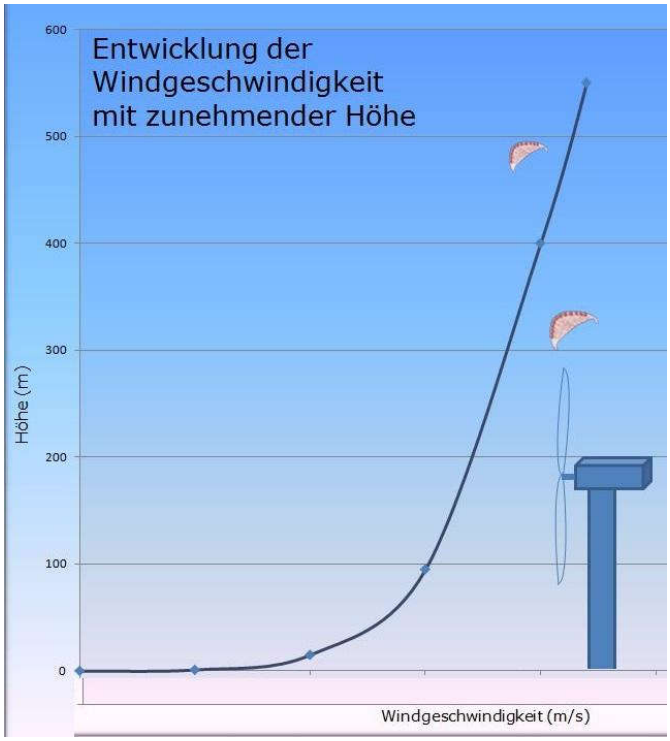
Moderne Windräder werden immer höher und größer. Um dies zu verstehen, brauchen wir eine Formel, welche kinetische Energie vom Windrad genutzt werden kann.

3) Gib zunächst E_{kin} an, so wie du es aus dem Unterricht kennst:
   E_{kin} =_____
   Um die Masse des Luftstroms berechnen zu können, verwendet man die Formel
   $m = A \cdot v \cdot t \cdot \rho$,
   dabei ist A die Fläche des Windrades, v die Windgeschwindigkeit, t Zeitraum des Luftstroms, ρ Dichte der Luft mit $1{,}25\,\frac{kg}{m^3}$. (Für Neugierige: Die Herleitung dieser Formel findest du in den Lösungen.)
   Versuche nun die Formeln miteinander zu kombinieren so dass zeigen kannst, dass für die kinetische Energie des Windes mit der oben genannten Massenformel gilt:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot v^3 \cdot t \cdot \rho$$

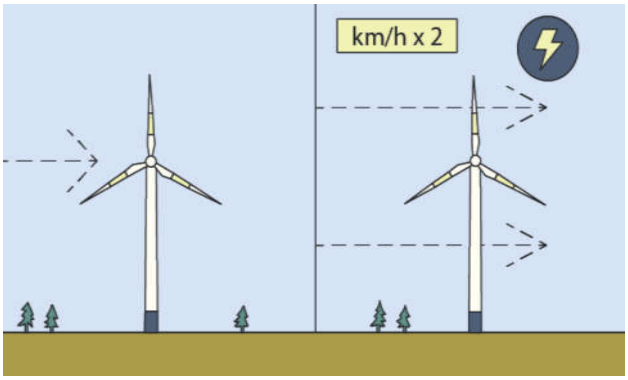
Nun wollen wir ein Gefühl dafür bekommen, welche Auswirkungen diese Formel hat.

4) Welche der in der Formel auftretenden Größen hängen direkt von der Bauart des Windrades ab.
   Begründe, warum die Windgeschwindigkeit indirekt von der Bauart abhängt.



5) Wie ändert sich die kinetische Energie bei einem Fahrrad, wenn die Geschwindigkeit verdoppelt wird?

Wie verändert sich die kinetische Energie des Windes, wenn sich die Windgeschwindigkeit verdoppelt?

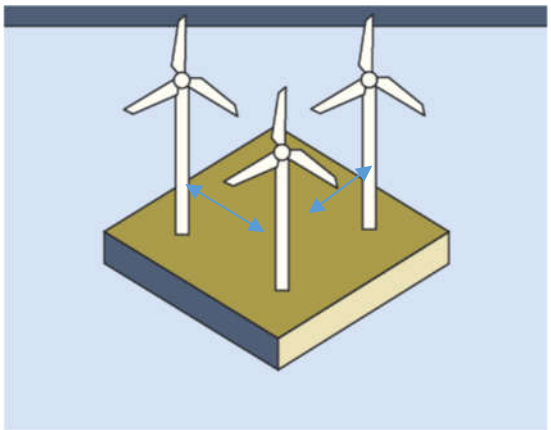


6) Nehmen wir an, ein Betreiber ersetzt eine bestehende Anlage mit 80m Narbenhöhe und einem Durchmesser von 50m durch eine Anlage mit 250m Narbenhöhe und 200m Durchmesser ersetzt. (An der oberen Graphik siehst du, dass damit die Windgeschwindigkeit um ca. den Faktor 1,2 zunimmt)
Überlege dir anhand der Formel aus Aufgabe 3, wie sich die kinetische Energie des Windes ändert.

◯	$E_{kin\ neu}=4{,}8\cdot E_{kin\ alt}$	◯	$E_{kin\ neu}=19{,}2\cdot E_{kin\ alt}$	◯	$E_{kin\ neu}=27{,}6\cdot E_{kin\ alt}$

Begründe unter Verwendung dieses Ergebnisses, warum die Windräder immer höher werden.

Je größer die Windanlagen werden, desto mehr Abstand muss zwischen ihnen gehalten werden. Als Faustregel gilt: Jedes Windrad mit Rotordurchmesser d beansprucht ein Quadrat mit der Kantenlänge $5 \cdot d$, da die Anlage sonst nicht genug Wind erhält.



Um abzuschätzen, wieviel Energie eine Windkraftanlage pro 1 km^2 erzeugen kann, betrachten wir ein mittelgroßes Windkraftwerk mit $d = 100m$. Dann passen genau 4 Windräder auf diese Fläche (**optional:** du kannst das ja mal versuchen zu zeigen).

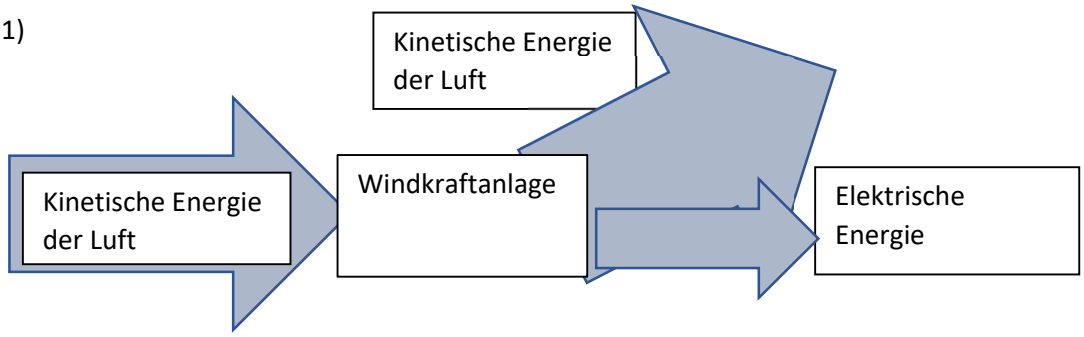
7) Berechne die elektrische Energie in kWh, die auf einem Quadratkilometer innerhalb von $24\ h$ erzeugt werden kann. Gehe davon aus, dass die mittlere Windgeschwindigkeit $v_{Wind} = 6{,}5\frac{m}{s}$ beträgt und die Windkraftanlage die Hälfte der Windenergie in elektrische Energie umwandeln kann

8) Nimm an, dass 10% der Landesfläche von Deutschland besetzt werden können.
(Landesfläche Deutschland = 357.588 km²)

a) Berechne aus dem Ergebnis von 7) das Potential der Windenergie für Deutschland in kWh.
b) Berechne die Anzahl der dafür benötigten Windkraftanlagen_____ (vgl Aufgabe 7)
c) Berechne die Energie pro Person und Tag, die die Windenergie Onshore in Deutschland bereitstellen kann.

9) Offshore (also im Meer) ist die Windgeschwindigkeit größer, aber es steht deutlich weniger Fläche zur Verfügung, denn es eignen sich nur Stellen mit geringer Meerestiefe, also quasi nur die Küstennähe. Mit einer Fläche von ca. 13 000 km² könnte man mit ca. 20 000 Windrädern ca. 20kWh/pro Tag und Person bereitstellen. Sammle drei Vorteile von Offshore Windräder gegenüber Onshore Windrädern, aber auch drei Nachteile und notiere sie als Tabelle.

1)



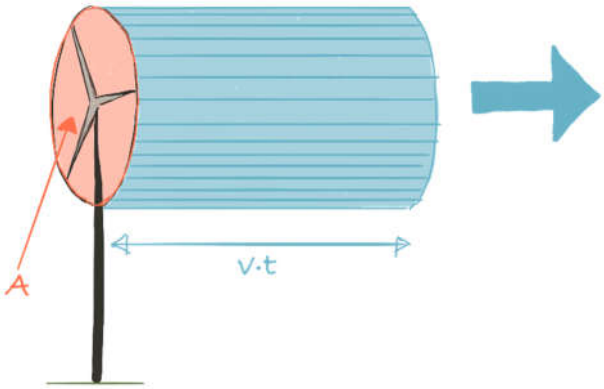
2) Wenn 100% der kinet. Energie in elektrische Energie umgewandelt wird, dann kommt der Luftstrom zum stehen. Die Luft „steht dann hinter“ dem Rotor und verhindert ein Nachfließen der weiteren Luft. Damit endet der Prozess.

3.)

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

$$m = \rho \cdot A \cdot t \cdot v$$

Herleitung der Masseformel für interessierte Schüler:



Quelle: http://ohne-heisse-luft.de/?page_id=347
Bild wird unter CC Comons Lizenz bereitgestellt

<u>Grundidee:</u>
Für eine sinnvolle Abschätzung der Masse stellen wir uns den Luftstrom als Zylinder vor, der mit der Geschwindigkeit v das Windrad durchdringt
Für die Dichte der kalten Luft nehmen wir als Mittelwert
$\rho = 1{,}25\ \frac{kg}{m^3}$.
$\rho = \frac{m}{V}$.also gilt
$m = \rho \cdot V$.
Nun brauchen wir das Volumen des Luftzylinders

$V = Grundfläche\ \cdot Höhe = Fläche\ des\ Windrads \cdot Länge\ des\ Schlauches = A \cdot v \cdot t$, siehe Skizze.

Denn das Schlauchende bewegt sich ja näherungsweise mit v· t nach hinten weg.

$$m = A \cdot\ v \cdot t \cdot \rho$$

Zur Erinnerung: Wir wollen nur Abschätzen. Natürlich ist die Windgeschwindigkeit vor dem Windrad größer als danach, wir wandeln ja ein Teil der Energie um, die Dichte der Luft hängt von der Höhe ab und der Schlauch ist in Wirklichkeit kein perfekter Zylinder, denn die Luft verwirbelt sich ja, aber die Formel reicht aus, um die Zusammenhänge zu verstehen und das ist uns hier wichtig.

$$E = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot t \cdot v \cdot v^2 = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot t \cdot v^3$$

4) Die Fläche hängt von der Bauart aber, aber auch die Windgeschwindigkeit, denn diese hängt von der Höhe des Windrades und damit von der Bauart ab. Die Graphik trägt bewusst keine Werte bei m/s, denn diese variieren so stark von der Umgebung, siehe https://www.staedtebauliche-klimafibel.de/sh2.php?f=abb-2-9.gif und von der Gegend https://www.dwd.de/DE/leistungen/windkarten/deutschland_und_bundeslaender.html ab , das es Schüler die nachforschen würden nur verwirrt. Hier soll nur der grundsätzliche Zusammenhang demonstriert werden.

5)

Beim Fahrrad: v wird verdoppelt, wegen $E = \frac{1}{2}mv^2$ wird E vervierfacht

Beim Wind: v wird verdoppelt, wegen $\frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot t \cdot v^3$ wird E verachtfacht

6) d'=200m, d=50m und v'=1,2·v , damit ist A'=16 · A und damit

$$E' = \frac{1}{2}\rho \cdot A' \cdot t \cdot v'^3 = 16 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}2 \cdot E = 27{,}6\, E$$

7) Zur Qualität der angegebenen Werte: Das Windrad ist extrem klein, das ist bewusst so gewählt, damit 4 auf einen km² passen und damit die Rechnung übersichtlicher wird. Anhand dieser Karte https://www.dwd.de/DE/leistungen/windkarten/deutschland_und_bundeslaender.html kann man sehen, dass das v=6,5 m/s ein guter Mittelwert in dieser Höhe ist. Ziel ist hier eine grobe Abschätzung des Potentials.

Geg: d=100m => r=50m =>

$$A = r^2\pi = 50^2 m^2 \pi = 2500 m^2 \pi$$

Geg: Setze Dichte $\rho = 1{,}25\frac{kg}{m^3}$, Fläche des Windrads$A = 2500m^2 \cdot \pi,\ v = 6{,}5\frac{m}{s}$ t=24h =, 50% der Energie ist nutzbar, 4 Windräder pro m²=>

$$E = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot t \cdot v^3 = \frac{1}{2}1{,}25\frac{kg}{m^3} \cdot 2500m^2\pi \cdot 86400s \cdot \left(6{,}5\frac{m}{s}\right)^3 = 1{,}16 \cdot 10^{11}J$$

Umrechnung in kWh: $E = \frac{1{,}16 \cdot 10^{11}J}{3\,600\,000\frac{J}{kWh}} = 32 \cdot 10^3 kWh$

Auf einem km^2 stehen 4 Windkraftanlagen mit einem Wirkungsgrad von ca. 50%:

$$32 \cdot 10^3 kWh \cdot 4\frac{1}{km^2} \cdot 0{,}5 = 64 \cdot 10^3 \frac{kWh}{km^2}$$

8)

a) Energie in Deutschland

Fläche: $A = 357\,588\ km^2 \cdot 0{,}1 = 35\,758{,}8\ km^2$

Energie: $E = 64656 \frac{kWh}{km^2} \cdot 35\,758{,}8\ km^2 = 2\,311\,969\,248\ kWh = 2{,}3\ Mrd\ kWh\ am\ Tag$

b) $35\,758{,}8 \cdot 4 = 143\,032$ Windräder
Tatsächlich reichen ein Drittel also 40 000 Windräder aus, da wir hier von extrem kleinen Windrädern ausgehen und die größeren siehe Aufgabe 6 ja viel leistungsfähiger ist, aber diese müssen größere Abstände zueinander und zu den bewohnten Gebieten halten und deshalb ändert sich an der Flächenabschätzung quasi nichts.

c) $\frac{2311969248 kWh}{80000000} = 29\ kWh$ pro Tag und Person

10) **Vorteile:** gleichmäßiger Wind, flaches Meer bietet wenig Reibung, geringerer Flächenbedarf als Onshore, keine Störungen von Anwohnern durch Schatten und Lärm
Nachteile: weite Transportstrecke des Stroms in den Süden (Trassen noch nicht fertig), keine Speichermöglichkeitn (gilt für Windkraft allgemein), Anfälligkeit der Kabel, aufwendige Wartung, Beeinträchtigung der Schifffahrt und Störung der Tierwelt, es gibt nur wenig Platz davor, massive Beeinträchtigung der Optik des Meeres

Hinweise:

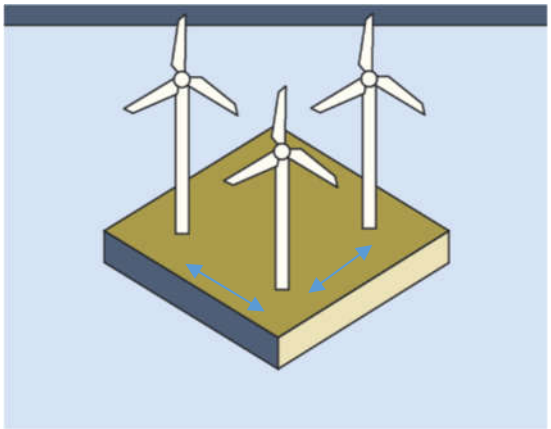
- Das Thema Windkraft ist hoch aktuell von hoher gesellschaftlicher Relevanz. Die Aufgabe ist eine sehr anspruchsvolle Anwendungsaufgabe zur kinetischen Energie, bei der zusätzlich aber Grundwissen (Dichte, Energieflussdiagramme und den Umgang mit Größen und Einheiten) wiederholt wird und Kompetenzen wie das Verbinden und Deuten von Formeln vertieft werden können.
- Zum Vorgehen: Es bietet sich hier an, die Aufgabe stark zu führen und evtl. sogar mit den Schüler*innen zu üben, die Lösung aktiv nachzuvollziehen. Denn tatsächlich ist jeder Schritt mit Wissen der 7-9. Klasse problemlos machbar. Die Schwierigkeit liegt in der Länge der Aufgabe und darin, den Überblick zu behalten.
- Um die Energie pro m^2 abzuschätzen kann man formaler rechnen, indem man sagt, dass eine Windkraftanlage eine Fläche von $A = 25d$ benötigt. Setzt man dann in die Formel $\frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot t \cdot v^3$ für die Fläche des Windrads $A = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi$ ein, erhält man:

$$E = \frac{\frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot t \cdot v^3}{25d} = \frac{\frac{1}{2}\rho \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot t \cdot v^3}{25d} = \frac{\frac{1}{2}\rho\pi \cdot t \cdot v^3}{200}$$

Wind Of Change oder The Answer Is Blowing In The Wind (vereinfachte Version)

Über die Nutzung von Windkraft wird viel diskutiert- vielleicht auch in deiner Gemeinde. Deshalb wollen wir hier klären, warum die Windräder in den letzten Jahren immer höher und größer werden und zusätzlich die Energiemenge abschätzen, die in Deutschland durch Windkraft erzeugt werde kann.

1) Zeichne das Energieflussdiagramm einer Windkraftanlage, welches die Rolle der Luft bzw. des Windes enthält.
2) Schon 1919 bewies der deutsche Physiker Albert Betz, dass nur maximal 59% der Windenergie in elektrische Energie umgewandelt werden können. Der Grundgedanke zu seinen Überlegungen ist sehr einfach: Beschreibe, was passieren würde, wenn ein Windrad 100% der Windenergie in elektrische Energie umwandeln würde.
   Beschreibe, was passieren würde, wenn ein Windrad 100% der Windenergie in elektrische Energie umwandeln würde.
3) Um die kinetische Energie der Luft, die das Windrad in Bewegung setzt zu berechnen, benötigt man die Masse der Luft, die ihre Energie in einer Stunde teilweise auf das Windrad überträgt. Erkläre, warum diese Masse von der Windgeschwindigkeit abhängt und überlege dir dann, wovon die Masse noch abhängen könnte.
4) Auf ein Windrad trifft Luft der Geschwindigkeit $6{,}5\,\frac{m}{s}$. Die Masse der Luft, die das Windrad innerhalb von einer Stunde in Bewegung setzt, beträgt $2{,}3 \cdot 10^8 kg$. Berechne die kinetische Energie der Luft.
5) Wir nehmen an, das Windrad würde 50% wirklich in elektrische Energie umwandeln. Bestimme, welche elektrische Energie erzeugt werden würde.
6) Bestimme dann, die Geschwindigkeit der Luft nach dem diese durchs Windrad geströmt ist.
7) Je größer die Windanlagen werden, desto mehr Abstand muss zwischen ihnen gehalten werden. Als Faustregel gilt: Jedes Windrad mit Rotordurchmesser d beansprucht ein Quadrat mit der Kantenlänge $5 \cdot d$, da die Anlage sonst nicht genug Wind erhält.



Um abzuschätzen, wieviel Energie eine Windkraftanlage pro 1 km^2 erzeugen kann, betrachten wir ein mittelgroßes Windkraftwerk mit $d = 100m$. Dann passen genau 4 Windräder auf diese Fläche (**optional:** du kannst das ja mal versuchen zu zeigen).

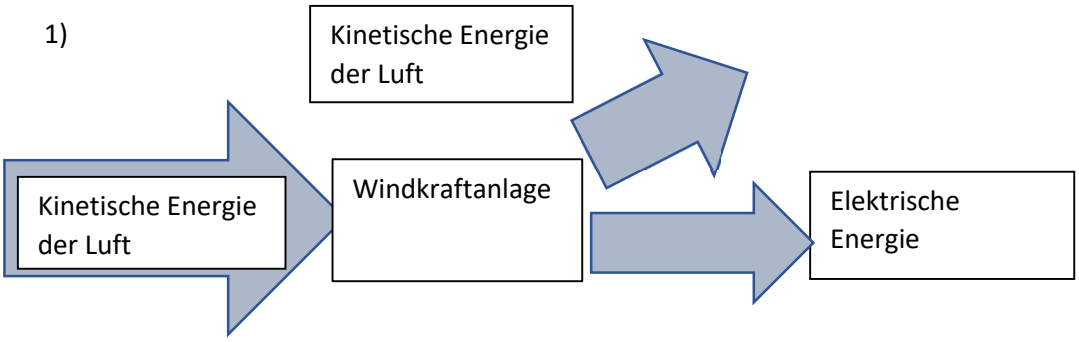
   Berechne mit Hilfe des Ergebnisses aus 4) die elektrische Energie in kWh, die auf einem Quadratkilometer innerhalb von $24\ h$ erzeugt werden kann.
8) Nimm an, dass 10% der Landesfläche von Deutschland besetzt werden können.
   (Landesfläche Deutschland = 357.588 km²)

   a) Berechne aus dem Ergebnis von 4) das Potential der Windenergie für Deutschland in kWh.
   b) Berechne die Anzahl der dafür benötigten Windkraftanlagen_____ (vgl Aufgabe 7)
   c) Berechne die Energie pro Person und Tag, die die Windenergie Onshore in Deutschland bereitstellen kann.

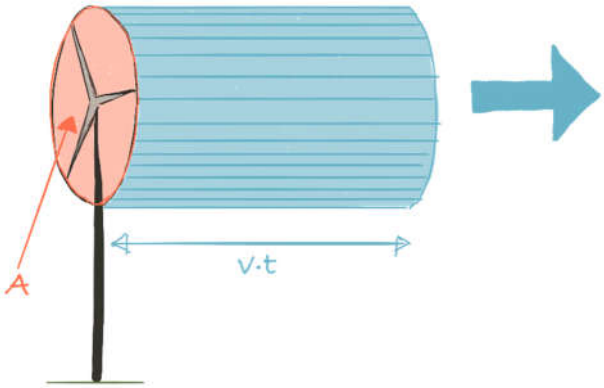
Dieses Arbeitsblatt ist eine vereinfachte Version des vorhergehenden und somit eventuell leichter durchführbar. Die Inhalte und Ergebnisse sind die selben.

Die Vereinfachung besteht darin, dass man vorgibt, welche Masse an Luft innerhalb einer Stunde das Windrad in Bewegung setzt und somit die Berechnung der Formel $m = A \cdot v \cdot t \cdot \rho$ vorwegnimmt.

1)



2) Wenn 100% der kinet. Energie in elektrische Energie umgewandelt wird, dann kommt der Luftstrom zum stehen. Die Luft „steht dann hinter“ dem Rotor und verhindert ein Nachfließen der weiteren Luft. Damit endet der Prozess.
3) Je größer die Geschwindigkeit der Luft ist, desto mehr Teilchen pro Zeit bewegen sich durch das Windrad, somit wird die Masse größer. Zudem hängt die Masse von der Fläche also der Größe des Windrads ab.



4) $E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}2{,}3 \cdot 10^8 kg \cdot \left(6{,}5\frac{m}{s}\right)^2 = 4{,}9 \cdot 10^9 J = 1{,}3 \cdot 10^3\ kWh$

$(2{,}3 \cdot 10^8 kg = 1{,}25\frac{kg}{m^3} \cdot 2500 m^2 \pi \cdot 60 \cdot 60 s \cdot 6{,}5\frac{m}{s}, siehe\ Formel\ im\ ausführlichen\ Blatt)$

5) $655\ kWh$
6) $E_{Kin} = \frac{1}{2}mv^2$

$$2{,}45 \cdot 10^9 J = \frac{1}{2}2{,}3 \cdot 10^8 kg \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \ 2{,}45 \cdot 10^9 J}{2{,}3 \cdot 10^8 kg}} = 4{,}6 \frac{m}{s}$$

7) $655 \cdot 24 \cdot 4kWh = 6{,}3 \cdot 10^4\ kWh$ pro km^2

8) Energie in Deutschland

a) Fläche: $A = 357\ 588\ km^2 \cdot 0{,}1 = 35\ 758{,}8\ km^2$

Energie: $E = 64656 \frac{kWh}{km^2} \cdot 35\ 758{,}8\ km^2 = 2\ 311\ 969\ 248\ kWh = 2{,}3\ Mrd\ kWh\ am\ Tag$

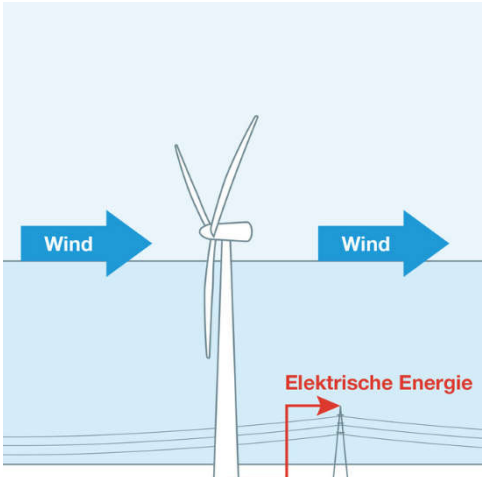
$b)$ $35\ 758{,}8 \cdot 4 = 143\ 032$ Windräder
Tatsächlich reichen ein Drittel also 40 000 Windräder aus, da wir hier von extrem kleinen Windrädern ausgehen und die größeren siehe Aufgabe 6 ja viel leistungsfähiger ist, aber diese müssen größere Abstände zueinander und zu den bewohnten Gebieten halten und deshalb ändert sich an der Flächenabschätzung quasi nichts.

$c)$ $\frac{2311969248kWh}{80000000} = 29\ kWh$ pro Tag und Person

Grundlagen einer Windkraftanlage (WKA)

Aufgabe 1:

Beschreibe mit Hilfe von **M1** die Energieumwandlung in einer Windkraftwerk entweder sprachlich oder fertige ein qualitatives Energieflussdiagramm oder eine qualitative Energiebilanz an. Formuliere die Funktionsweise eines solchen Kraftwerks.



M1: Grundprinzip eines Windkraftwerks

Aufgabe 2:

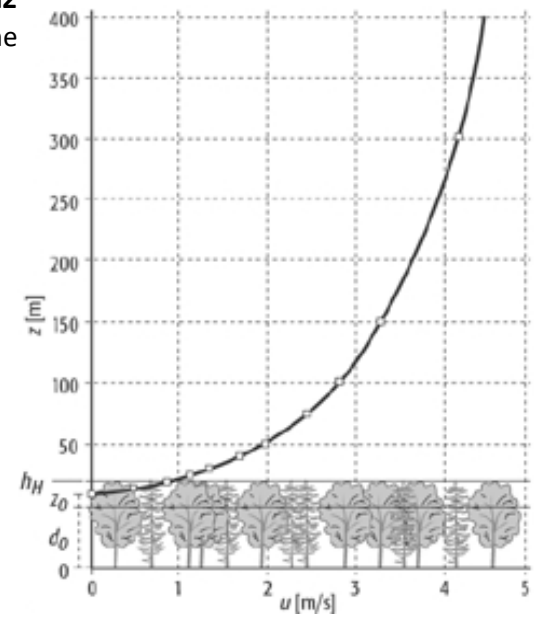
Der maximale Wirkungsgrad einer Windkraftanlage (WKA) beträgt knapp 60%, heutige Anlagen erreichen bereits etwa 50% Wirkungsgrad.

Erkläre wieso der Wirkungsgrad einer WKA nicht beliebig ansteigen kann (Tipp: Welche Folge hätte es, wenn das Windrad einen Wirkungsgrad von fast 100% hätte?) und wieso man WKA nicht beliebig nah aneinander bauen kann (Faustregel: 5facher Rotordurchmesser Abstand zueinander).

Aufgabe 3:

M2 stellt ein Windgeschwindigkeit-Höhe-Diagramm dar. Verwende **M2** um die mittlere typische Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe für eine WKA älterer und neuerer Bauart rechnerisch abzuschätzen. 2

	älter	neuer
Nabenhöhe in m	98	140
Rotorlänge	35	80
Nennleistung in kW	1.500	5.500
Nennwindgeschwindigkeit in m/s	13	13
Abschaltgeschwindigkeit in m/s	25	28



Aufgabe 4

Erkläre den Leistungsunterschied der Windkraftanlagen neuerer und älterer Bauart anhand der angegebenen Daten sowie deines Ergebnisses aus Aufgabe 3!

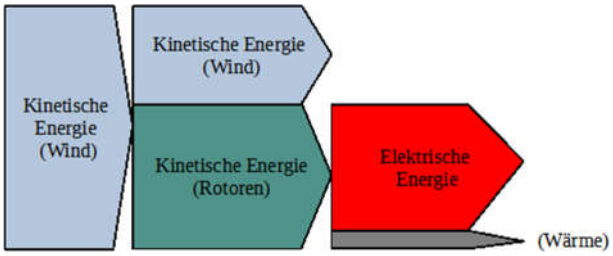
Erkläre anhand der angegebenen Daten sowie deines Ergebnisses aus Aufgabe 3, dass Anlagen neuerer Bauart eine größere Energiemenge umwandeln können als ältere Anlagen.

.

Lösungen:

Aufgabe 1:

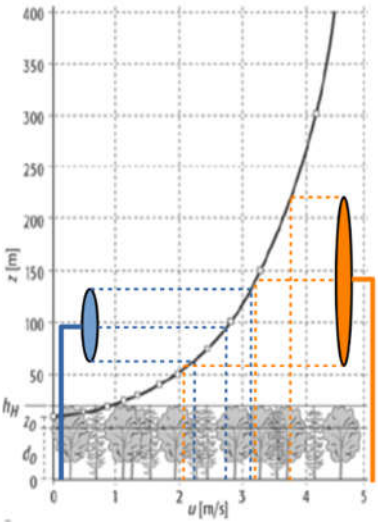
Der Wind strömt auf das Windkraftwerk zu, die Rotoren des Windkraftwerks übertragen einen Teil der kinetischen Energie des Windes in kinetische Energie der Rotoren, sie beginnen zu drehen („rotieren“). Im Inneren des Windkraftwerks wird diese kinetische Energie (durch einen Generator) in elektrische Energie umgewandelt (dabei entstehen zudem noch kleinere Umwandlungsverluste in Form von Wärme).



Aufgabe 2:

Würde der Wirkungsgrad eines WKA nahezu 100% betragen, so würde dem an den Rotoren vorbeiströmenden Wind praktisch die komplette kinetische Energie entzogen, der Wind würde folglich abrupt zum Stillstand kommen. Dies tritt zwar nur an den Rotoren auf, da sich diese jedoch auf einer großen Fläche durch die Luft drehen würde der Wind extrem abgebremst werden. Dies hätte nicht nur die Folge, das ein windabwärts gelegenes WKA erheblich weniger Wind erhalten würde, sondern würde auch die natürlichen (bodennahen) Windströmungen massiv stören. WKA müssen folglich soweit auseinander gebaut werden, dass die Entnahme kinetischer Energie eines WKA weitere WKA in seiner Umgebung nur in geringem Maße beeinflussen, da sich die verlangsamte Luftströmung mit dem restlichen (ungebremsten) Wind mischen kann, der das WKA ungehindert durch- und umfließt.

Aufgabe 3:



älteres WKA:

Wind in Nabenhöhe ca. 2,8 m/s (einfache Lsg)

Untere Rotorspitze: ca. 2,2 m/s Mittelwert 2,7 m/s

obere Rotorspitze: ca. 3,2 m/s

neueres WKA:

Wind in Nabenhöhe ca. 3,3 m/s (einfache Lsg)

Untere Rotorspitze: ca. 2,1 m/s Mittelwert 3,0 m/s

obere Rotorspitze: ca. 3,7 m/s

Aufgabe 4:

WKA neuerer Bauart haben zum einen eine größere Nabenhöhe, was in einer höheren mittleren Windgeschwindigkeit resultiert. Man sieht jedoch auch dass der Zuwachs an Windgeschwindigkeit im Bereich von 20-30% liegt und somit den Leistungssprung nicht alleine begründen kann. Vielmehr wächst die von den Rotoren überstrichene Fläche (auf der sie dem Wind kinetische Energie entziehen können) extrem stark an, da die Rotoren mehr als doppelt so groß sind. Da die Rotorlänge dem Kreisradius der Fläche entspricht, welche die Rotoren überstreichen und für die Kreisfläche $A = r^2 \cdot \pi$ gilt, sieht man dass bei einer Verdopplung

der Rotorlänge sich die Kreisfläche vervierfacht. Folglich kann dem Wind auch erheblich mehr Energie entzogen werden, was den Hauptanteil der Leistungssteigerung ausmacht.

Technische Daten der WKA: https://www.wind-turbine-models.com/

Hinweise:

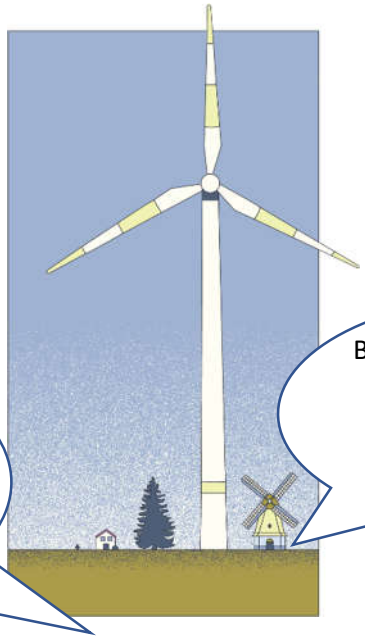
Windausbau- wie schaffen wir das ?

Um die Energiewende in Deutschland umzusetzen, sind ca. 60 000 neue Windräder nötig (40 000 an Land und 20 000 auf dem Meer.) Das ist eine herausfordernde Aufgabe

Ausgabe 1

Plant eine Gemeinde eine Windkraftanlage, so stehen sich oft Befürworter und Gegner unversöhnlich gegenüber.

Markiere die Aussagen, die du schon einmal gehört hast. Entscheide, welche Aussagen du als sinnvoll erachtest und gewichte sie. Ergänze weitere



Wir brauchen die Windräder, da wir so erneuerbare Energie erzeugen können, auch wenn im Winter die Sonneneinstrahlung zurückgeht A

Bei Windrädern sterben viel weniger Vögel als bei Glasfassaden und durch Kollisionen auf Autobahn E

Windräder sind hässlich B

Die Schlagschatten stören jeden Morgen und Abend C

Deutschland hat viel zu wenig Wind, um sinnvoll Strom zu erzeugen. D

Aufgabe 2:

Betrachte folgenden Comic von Marc-Uwe Kling (dem Autor der Känguru Chroniken)

https://www.zeit.de/kaenguru-comics/2021-06/folge-163

Notiere Schäden, die an der Landschaft durch ein Windkraftwerk entstehen einerseits und Schäden, die beim Braun- und Steinkohleabbau typischerweise entstehen.

Schaue dazu diesen Film bis 1:20 s an https://youtu.be/Pi67z9mONqE?t=28

Aufgabe 3: (Quelle Spiegel Online 27.4.21)

Altmaier entschuldigt sich für Rechenfehler bei Windkraft-Schallbelastung

Jahrelang setzte eine Bundesbehörde die Infraschall-Belastung von Windkraftanlagen zu hoch an – und lieferte Windkraft-Gegnern damit Argumente. Nun bittet Bundeswirtschaftsminister Altmaier um Entschuldigung.

Die Bundesbehörde hatte durch einen Rechenfehler einen Wert der 36 Dezibel zu hoch war angegeben. 3 Dezibel mehr bedeuten, dass sich die Schallintensität verdoppelt. 36 Dezibel entsprechen damit etwa einem Faktor 4000.

Ein Stück Schokolade wiegt ca. 5g und ein Herzschlag dauert etwa 0,5s. Berechne die Masse der Schokolade und die Zeitdauer, die sich ergibt, wenn man denselben Fehler macht.

Aufgabe 4:

Zehntausende von Windrädern müssen **gebaut** und **gewartet** werden. Dadurch wird ein großes neues Berufsfeld entstehen. Betrachte einen der beiden Filme.

Film 1: Ein Job ganz oben: Wartung von Windenergieanlagen
Film 2: Jobportrait Projektleiterin Windenergie

Überlege oder recherchiere mindestens 5 Arbeitsplätze, die beim Bau und Betrieb eines Windrads entstehen. Vergleiche deine Vorschläge mit der Liste. Wäre einer der Jobs für dich interessant?

Lösung zu Windausbau- wie schaffen wir das ?

Ausgabe 1

Eine eindeutige Lösung ist nicht möglich.

- Aussage D ist einfach fachlich falsch.
- Aussage E ist korrekt (vgl Ballon Buch muss noch ergänzt werden
- Aussage B ist sehr subjektiv und Energiegewinnung ist immer mit optischen Eingriffen in die Natur verbunden
- Aussage C weist auf ein ernstes Problem hin vgl.Videobeispiel Schlagschatten. Allerdings treten diese Phänomene nur sinnvollen Abständen nur bei sehr tiefstehender Sonne auf und keineswegs den ganzen Tag. Andere Technologien, wie z.B. Transport schränken auch die Lebensqualität ein.
- Aussage A ist verkürzt, relevant und richtig.

Ausgabe 2:

Schäden bei Windkraft:

- Teilweise Baumfällungen beim Aufstellort und beim Transport der Einzelteile.
- Optische Einschränkungen, Denkmalschutz
- Lärmemission (Infraschall) und Schattenwurf
- Tiere können vertrieben werden.

Schäden bei Kohleabbau:

- ganze Landstriche werden abgetragen, in Mondlandschaften verwandelt
- Dörfer versetzt oder zerstört
- sämtlicher Baumbestand muss anschließend wieder aufgeforstet werden
- Tiere werden vollständig vertrieben
- massive Luftverschmutzung

Aufgabe 3

Aus 5g werden bei diesem Fehler 20kg Schokolade

Aus 0,5 s werden 2000s= 33 Minuten 20s

Aufgabe 4:

Liste von Berufen im Bereich Energieerzeugung mit Windkraft

Elektroingenieur (m/w) Windenergieanlagentechnik

Elektrotechniker (m/w) für Umspannwerk Offshore Windenergie

Fachinformatiker (m/w) Betriebsführung Windkraft

Mitarbeiter (m/w) Flächenakquise Windenergie

Projektkoordinator (m/w) Windenergie

Referent (m/w) Windenergie

Umweltplaner/in für die Netzanbindung von Offshore-Windparks

Servicemonteur (m/w) Windenergie

Technischer Einkäufer (m/w) Windenergie

Wirtschaftsingenieur oder Ingenieur (m/w) Offshore-Koordination

Softwareentwickler (m/w) Windparkkraftwerkssteuerungen

Bauingenieur Windenergie (m/w)

Diese Seite wird noch ausgebaut. Ideen sind sehr willkommen.

Weitere Hinweise, Projektideen zur Windkraft

Videolinks

- Eine schöne Animation liefert dieses Video Windkraftanlage - Aufbau und Funktion (3D-Animation)
- Sehr schönes Hintergrundwissen, mit einer schönen Animation in der Mitte die auch das Verständnis für den Zylinder beinhaltet ist
  So funktioniert eine Windkraftanlage Prof Quaschnig

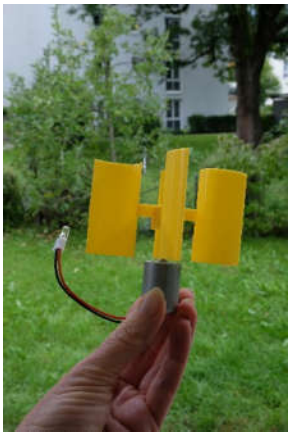
Weitere Links

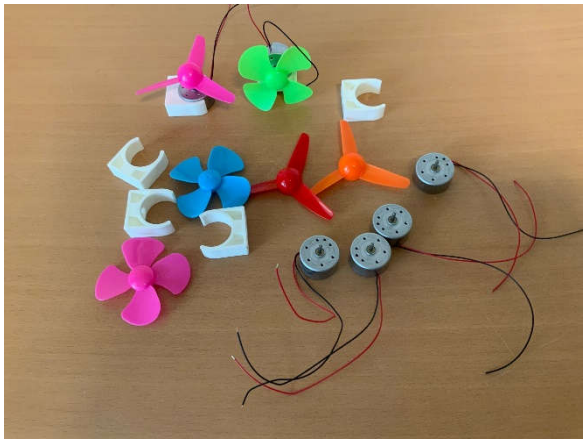
- In diesem Interview erklärt ein Förster, warum er für den Aufbau einer Windkraftanlage ist, auch wenn dafür Bäume abgeholzt werden müssen, die er selbst gepflanzt hat. Sz: Das Opfer der Bäume
- Hier wird dargestellt, warum die Windkraftindustire immer mehr nach Dänemark abwandert und welche wirtschaftlichen Folgen das hat.
  Wiwo Ein paar Kilometer hinter der deutschen Grenze entstehen die größten Windkraftfabriken der Welt

Experimente und Projektideen

Neben den Experimentiersets der großen Lehrmittelausstatter gibt es auch noch kleinere Sets

Im Spielzeughandel gibt es verschiedene Windrad-Bausets z.B. Kosmos 621087. Mit diesen kann man sehr gut die Bedeutung der 10 h Regel verdeutlichen und Schlagschatten und den Lärm demonstrieren. Außerdem kann man mit etwas Bastelarbeit den Akku durch Kontakte ersetzen und dann Messungen durchführen.





Für elektrische Messungen eignen sich solche Minisets eher. Mit diesen Solargeneratoren, verschiedenen Rotoren, einem Fön und einen Windstärkemesser kann die Abhängigkeit von der Windstärke und vom Rotor zeigen.

Cooles Material ist noch hier https://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/standortplanung-einer-windenergieanlage

Die weiteren Kapitel erscheinen im Winter 2022/2023.

Wenn Sie Interesse haben, melden Sie sich bitte beim Newsletter an.

https://klimawandel-schule.de/de/newsletter

4. Bioenergie

Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (Wirkungsgrad)

Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (verfügbare Holzmasse)

5. Solarenergie

Abschätzung des Beitrags der Solarenergie

Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte

6. Geothermie und Wärmepumpen

Grundprinzipien von Wärmepumpen

Funktionsweise der Wärmepumpe

Geothermie und Wärmepumpen – Potential

7. Sonstige Energiequellen

Wellenenergie

Gezeitenenergie

Kernfusion und Kernkraftwerke

8. Faktencheck