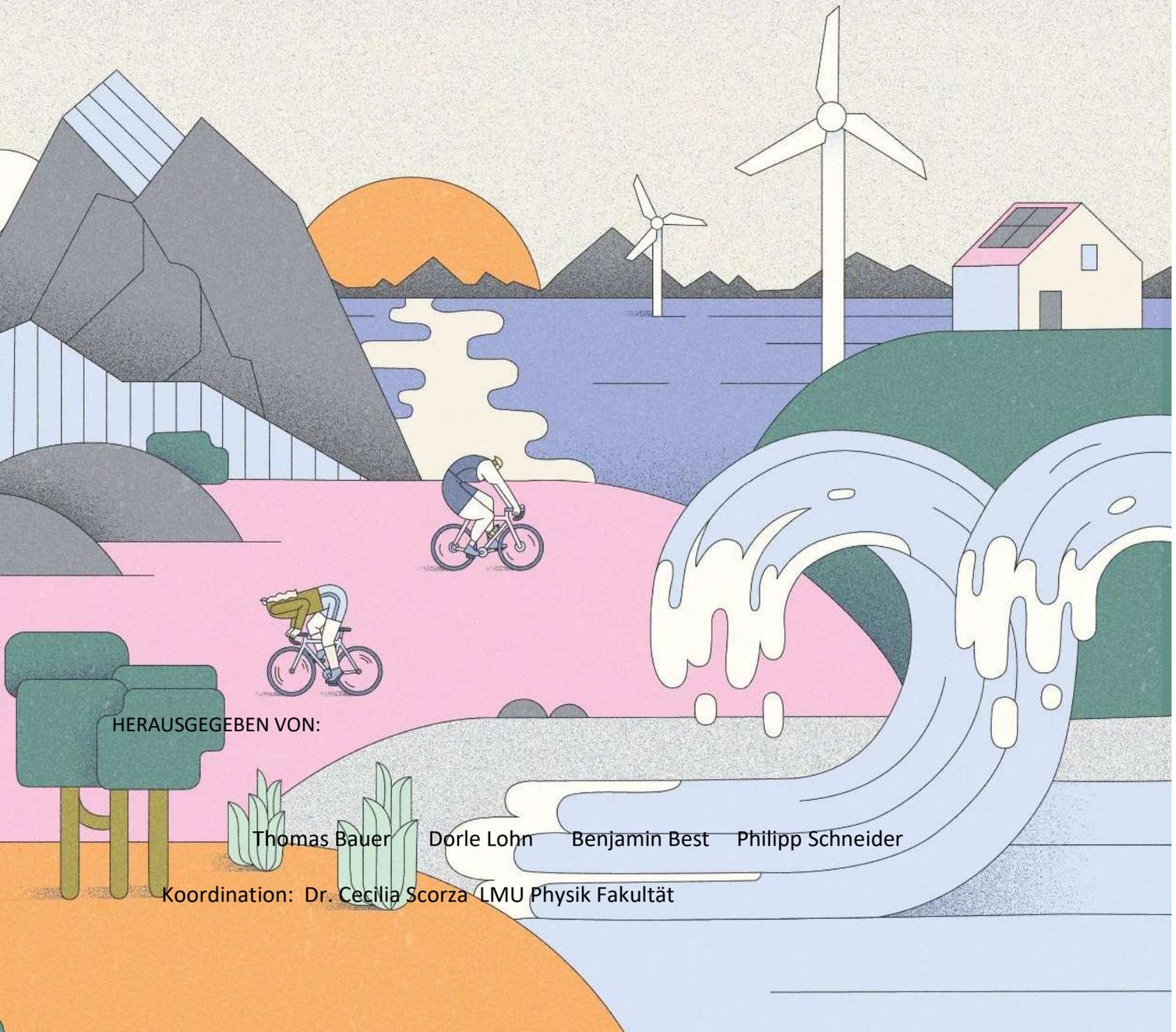


Erneuerbare Energien zum Verstehen und Mitreden

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“,...

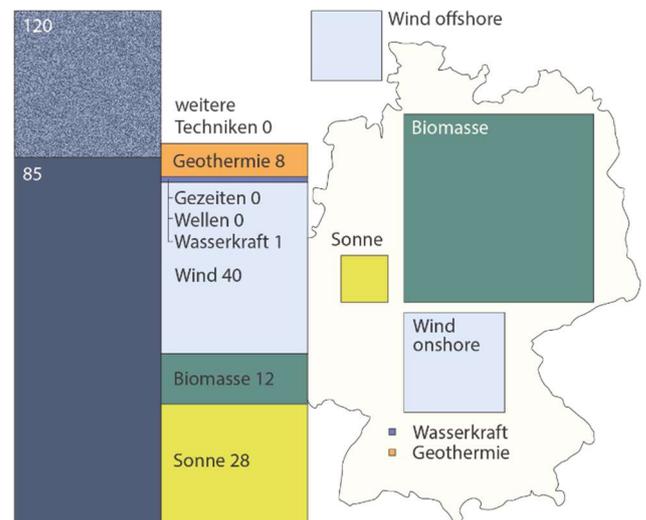
Schlagzeilen wie diese schmücken nahezu täglich die Zeitungen, ohne dass die Mehrheit ein Gefühl dafür hat, welchen gewaltigen Energiebedarf wir haben und wie man diesen anschaulich begreifbar machen kann.

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 weitere 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 Volatilität	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.

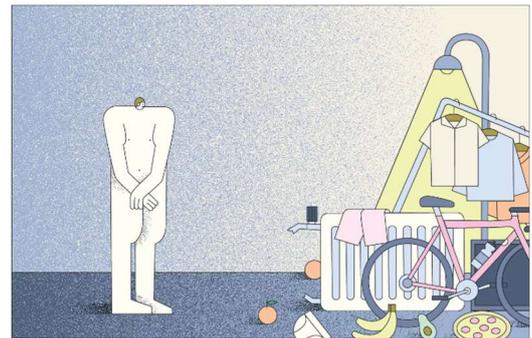
Als Motivation hierzu wird ein Arbeitsblatt ausgeteilt, das als Leitfaden durch das Themengebiet dient und durchgehen ergänzt werden soll.

- Einführung Energie und Energieformen (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Einheiten der Energie (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Energieverbrauch in Deutschland und Energieflussdiagramm (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Leitfaden des Jahres

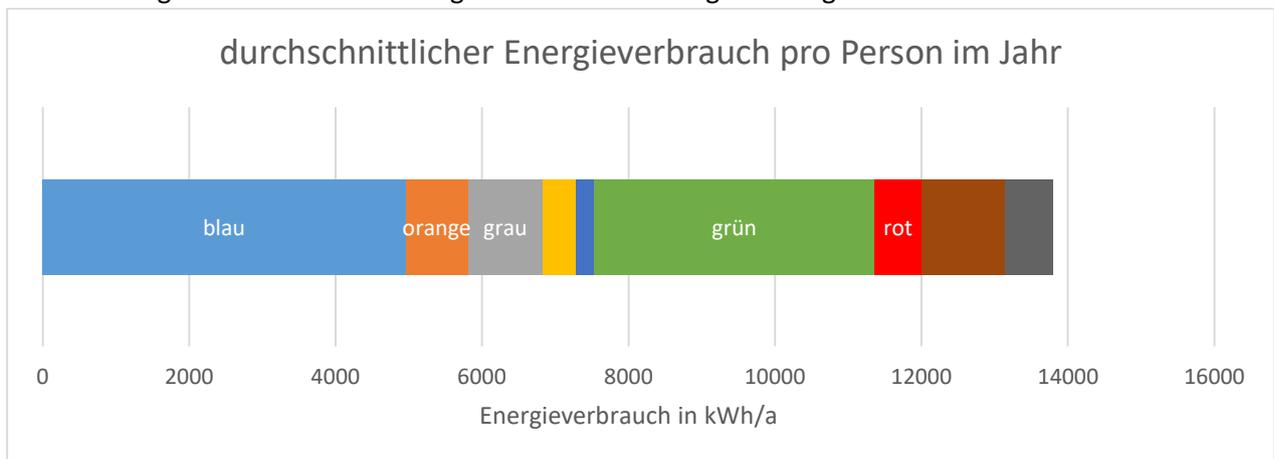
- Energie, Leistung und Größenordnungen- Bewertung von Informationen (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung

Everybody's Darling: Die Energie

- 1) Beschreibe Situationen im Alltag, in denen Energie eine Rolle spielt! Benenne außerdem die zugehörige 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



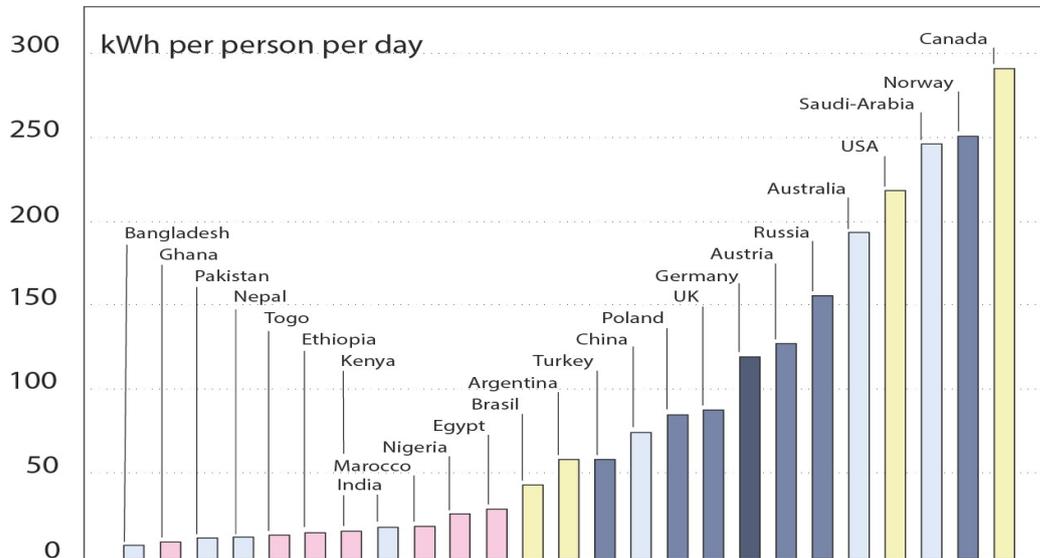
Material 2 Energieverbrauch pro Person im Jahr¹

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/publikationen/repraesentative-erhebung-von-pro-kopf-verbraeuchenweltbundesamt>, 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% angestiegen². 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.

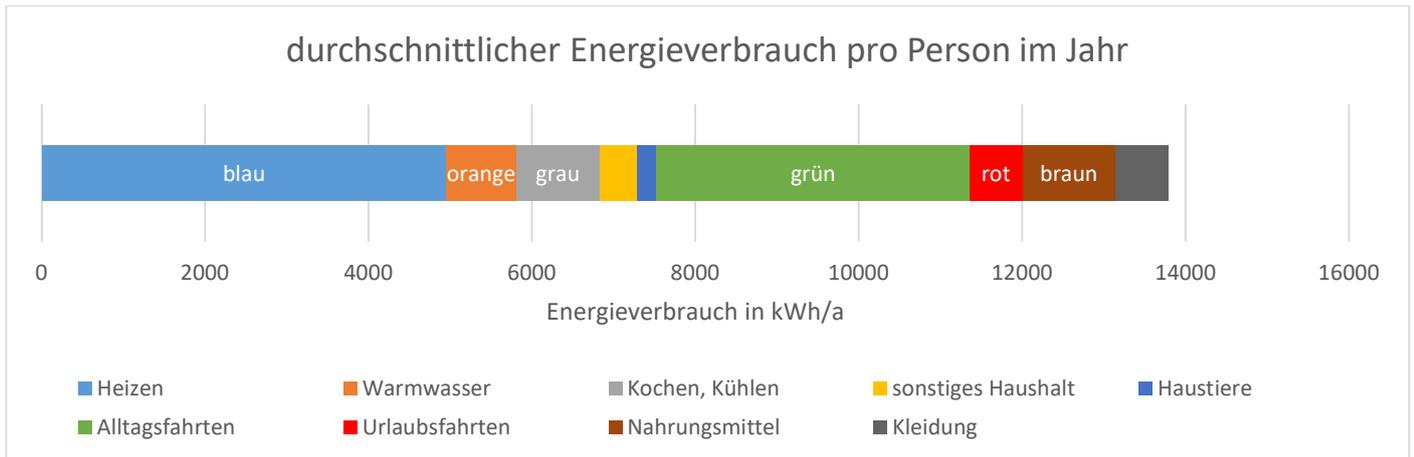
Bezug zum Buch: S.12-14

2)

a)

Farbe in der Graphik	Bereiche	Bereitgestellte Energieform	Energieträger	Maschine	Nutzbare Energieform
blau	Heizen	Chemische Energie	Gas	Gastherme	Wärmenergie
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	Wärmenergie
orange	Warmwasser	Chemische Energie	Gas, Öl	Gastherme, Ölheizung	Wärmenergie

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/publikationen/repraesentative-erhebung-von-pro-kopf-verbraeuchenf>, 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.

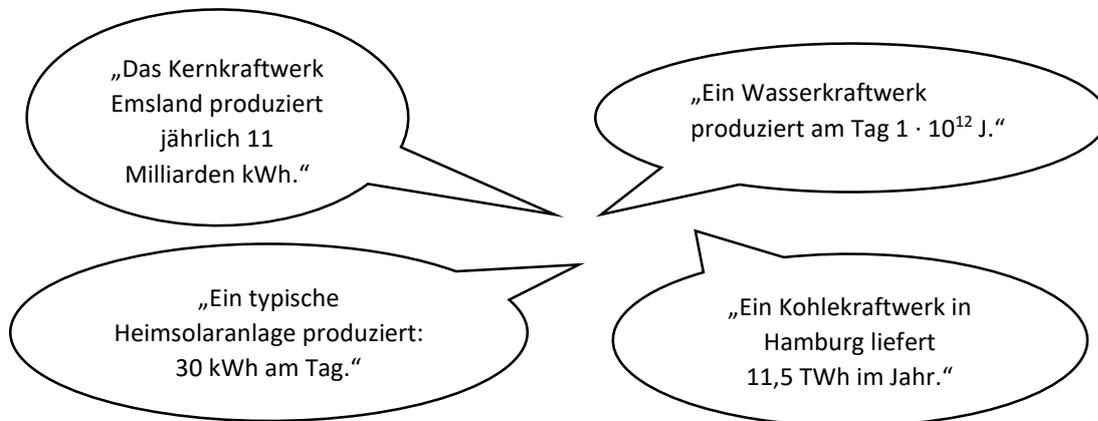
6) Die Energie wird umgewandelt.

Energieeinheiten oder „Wer ist Robert“?

Aufgabe 1: Energieangaben

Aussagen wie diese findet man häufig in Zeitungsartikeln oder im Internet, z.B.

<https://www.ndr.de/nachrichten/info/Watt-Das-leisten-die-Anlagen-im-Vergleich,watt250.html>



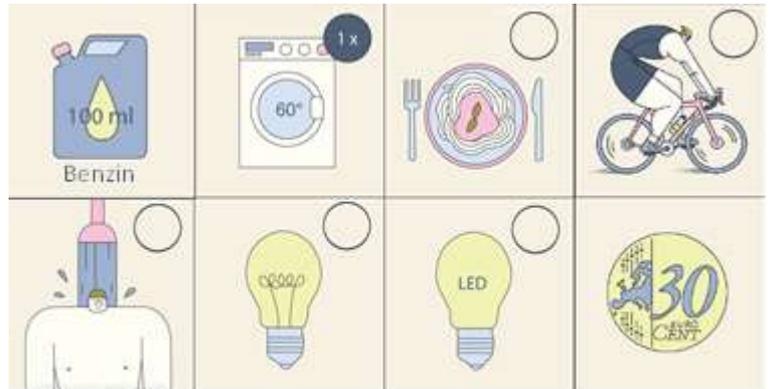
- Überlege dir, warum es ohne Taschenrechner nicht möglich ist, diese Angaben zu vergleichen.
- Entscheide welche der folgenden Aussagen stimmt:
 - Das Kohlekraftwerk in Hamburg liefert viel mehr Energie als das Kernkraftwerk Emsland.
 - Das Kernkraftwerk Emsland liefert viel mehr Energie als das Kohlekraftwerk in Hamburg.

Als Grundeinheit für Energiemengen wird im Alltag in der Regel die Einheit kWh verwendet. Um ein Gefühl diese Einheit zu bekommen hilft dir das folgende Video:

<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=S4O5voOCqAQ>

Aufgabe 2:

- Überlege dir mithilfe des Videos, wie viele Roberts 2,5 min treten müssten, um 1kWh zu erzeugen. Ermittle dafür aus dem Video, welche Energie Robert in 2,5min erzeugt hat!
- Ein untrainierter Radfahrer kann in einer Stunde ungefähr 0,1kWh erzeugen. Trage in die Graphik ein, wie lange der abgebildete Radfahrer treten müsste, um 1kWh Energie zu erzeugen.
- Eine 100W-Glühbirne kann ersetzt werden durch eine LED, die pro Stunde 13W braucht. Ergänze die Dauer, wie lange eine LED-Birne mit der Energie von 1kWh leuchten kann.
- 1 Mal Wäschewaschen benötigt circa die Energie von 1kWh. Wie lange kann man mit dieser Energie Duschen? 3min, 5min oder 15min? Wie oft Kochen? Ergänze in der Graphik!
- Überlege dir, warum in der Graphik 100ml Benzin und 30ct abgebildet sind!



Aufgabe 3:

In der Physik ist die übliche Einheit 1J bzw. 1 Joule. Es gilt dabei:

$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J}$$

Berechne mithilfe der obigen Graphik die Energie in Joule, die benötigt wird, um 6 Minuten zu duschen. Erkennst du den Vorteil, die Energie in kWh anzugeben?



"Dieses Foto" von Unbekannter
Autor ist lizenziert gemäß [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Lösungen:

Aufgabe 1:

- a) Es sind unterschiedliche Einheiten J und kWh

Die Größenordnungen sind in unterschiedlichen Zeitangaben (pro Tag oder pro Jahr) angegeben, die verschiedenen Vorsätze TWh und Millionen kWh erschweren zusätzlich den Vergleich

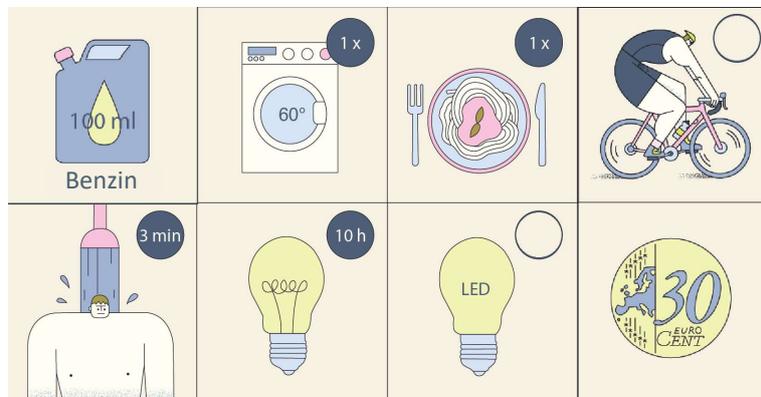
- b) Keine der Aussagen:

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

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

Aufgabe 2:

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



- e) Entspricht ebenso der Energie von 1 kWh.
(Hier könnte man diskutieren, dass Energie doch relativ billig ist)

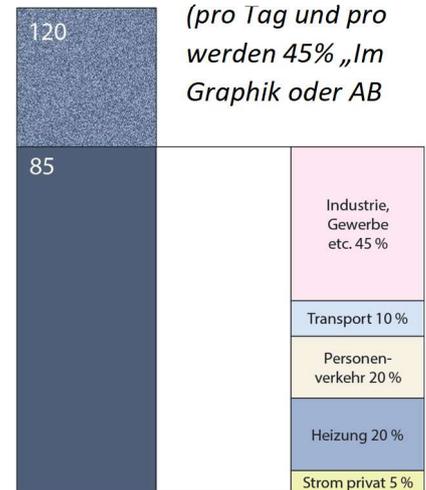
Weitere Hinweise:

Bis zur Industrialisierung und Elektrifizierung standen einem Menschen nur gut 1kWh pro Tag zur Verfügung, mit Nutzvieh (Ochsen, Pferde) konnte das gesteigert werden auf ein paar kWh.

Man kann die Schüler*innen an dieser Stelle fragen, wofür sie die 1kWh verwenden würden, wenn sie nur ein hätten.

Heute beträgt der Gesamtprimärenergiebedarf in Deutschland 120kWh (pro Tag und pro Person) davon sind 85 kWh (pro Tag pro Person) Nutzenergie und davon Privaten“ verwendet (Heizung, Personenverkehr und privater Strom) siehe “Everybody’s Darling: Die Energie“

D.h. ca. 85 „Radfahrer“ arbeiten täglich für jeden Deutschen und davon ca. 40 Radfahrer für den eigenen privaten Bedarf.



Aufgabe 3:

- 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*.

Quellen:

- Die Werte der von Kohlenkraftwerk und Kernkraftwerk von <https://www.ndr.de/nachrichten/info/Watt-Das-leisten-die-Anlagen-im-Vergleich,watt250.html>
- Das Wasserkraftwerk: Das Walchenseekraftwerk hat einen Jahreserzeugung 300 Gigawattstunden laut [Walchenseekraftwerk | Uniper](#), das sind $3 \cdot 10^8$ kWh im Jahr, also $0,89 \cdot 10^6$ kWh = $3 \cdot 10^{12}$ J am Tag
- Bei den Heimsolaranlagen findet man als Angabe z.B. hier [Wie groß sollte meine PV-Anlage sein? | SWM Magazin](#) die Angabe 7,5kWp (kilowatt Peak also Maximalleistung), wenn man jetzt von 8 Sonnenstunden ausgeht, kommt man auf 60kWh am Tag. Davon die Hälfte scheint eine plausible Abschätzung.
Damit kann man auch gut den Bedarf einer vierköpfigen Familie abdecken.

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 decken?

Wie hoch ist aber unser Energieverbrauch?

1)

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

1

„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.“

2

„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.“

3

[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?

- 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!

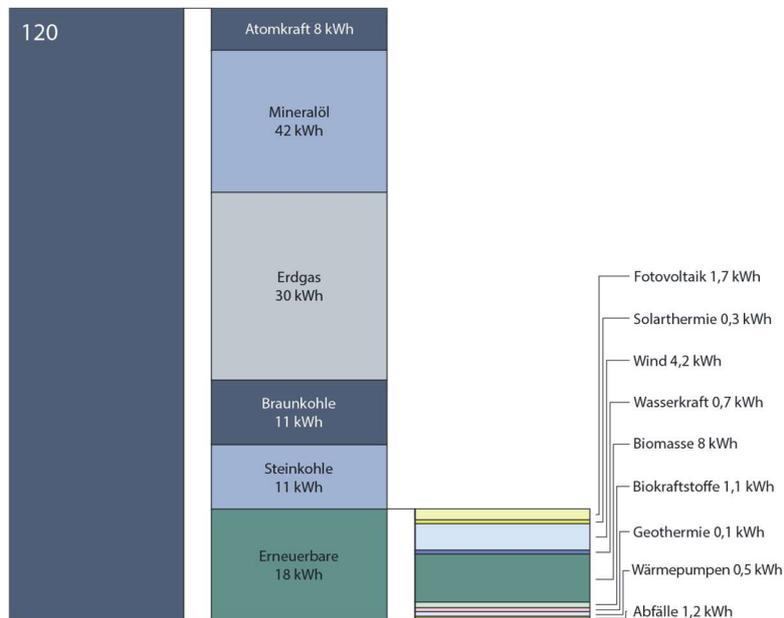
⁴ <https://www.spiegel.de/wirtschaft/erneuerbare-energien-eu-laender-einigen-sich-auf-schnelleren-ausbau-a-5789fcc1-8f16-4845-97db-7bf2cc32fcdd>,
<https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/motor/elektroauto-und-akku-bisschen-energieverlust-beim-laden-16691739.html>
<https://meta.tagesschau.de/id/167295/oekostromanteil-im-ersten-halbjahr-deutlich-gestiegen>

- 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
- Berechne jeweils den Primärenergieverbrauch und den Endenergieverbrauch in der Einheit kWh!
 - Berechne dann, wie viel Primärenergie und Endenergie jeder Deutsche im Durchschnitt pro Tag verbraucht! Bestimme, wie viele Radfahrer somit jeden Tag für uns treten müssen!
 - 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:

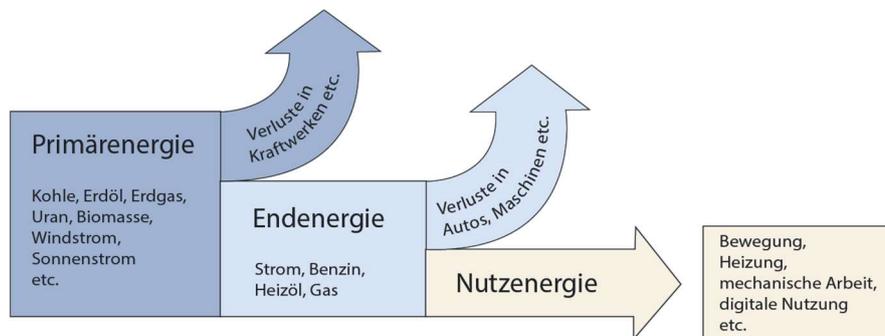
- Ziel dieser Aufgabe ist es zum einen, die Begriffe zu klären, zum anderen

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 Durchschnitt pro Tag verbraucht? Bestimme, wie viele Radfahrer somit jeden Tag für uns treten müssen!
- a) $13\,000 \cdot 10^{15} \text{ J} = 13\,000 \cdot 10^{15} \cdot 2,7 \cdot 10^{-7} \text{ kWh} = 3,51 \cdot 10^{12} \text{ kWh}$
 $9000 \text{ PJ} = 9000 \cdot 10^{15} \cdot 2,7 \cdot 10^{-7} \text{ kWh} = 2,43 \cdot 10^{12} \text{ kWh}$

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

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) $10\,000 kJ = 10\,000 \cdot 10^3 \cdot 2,7 \cdot 10^{-7} kWh = 2,7 kWh$
 $\frac{120}{2,7} = 44,4$

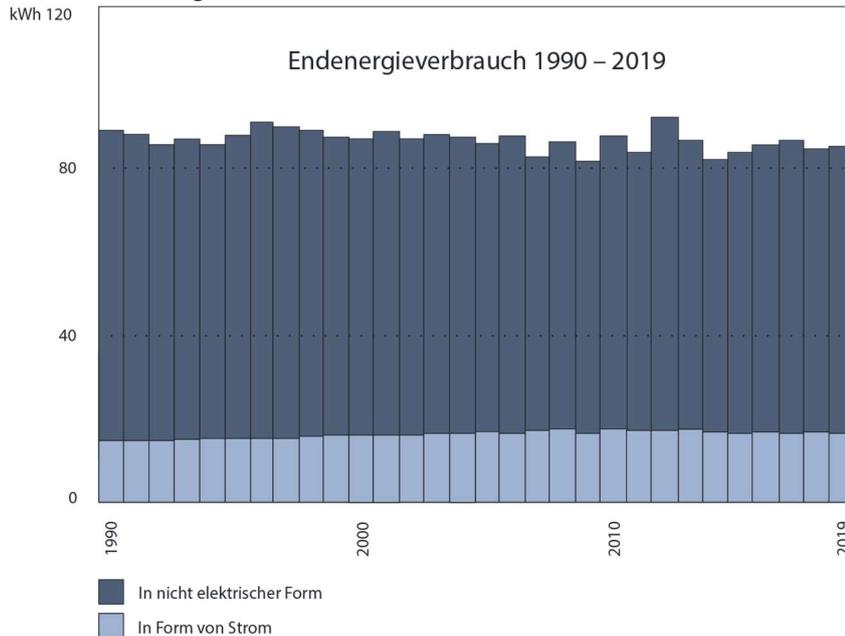
Primärenergie ist 44,4 mal mehr als die Energie, die wir an Nahrung zu uns nehmen.

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

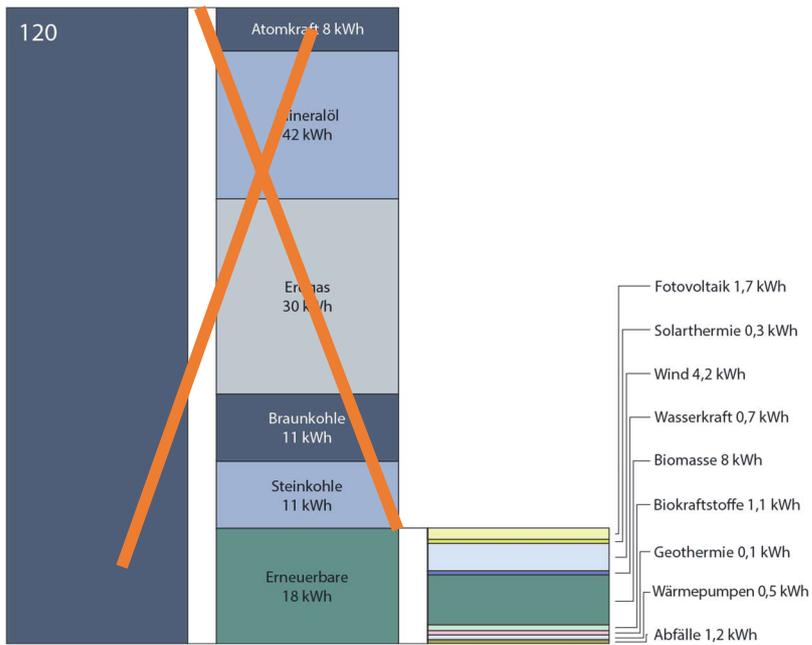
Nur 2,2% der gesamten genutzten Energie benötigen wir als Nahrung.

Hinweis:

- Die aktuellen Daten findet man auf der Seite des Wirtschaftsministeriums unter Publikationen:
https://www.bmwi.de/SiteGlobals/BMWI/Forms/Listen/Publikationen/Publikationen_Formular.html?input=178168>p=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*)

- Ergänze die Größe des heutigen Primärenergiebedarfs pro Person und Tag (s. Rückseite).
- 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

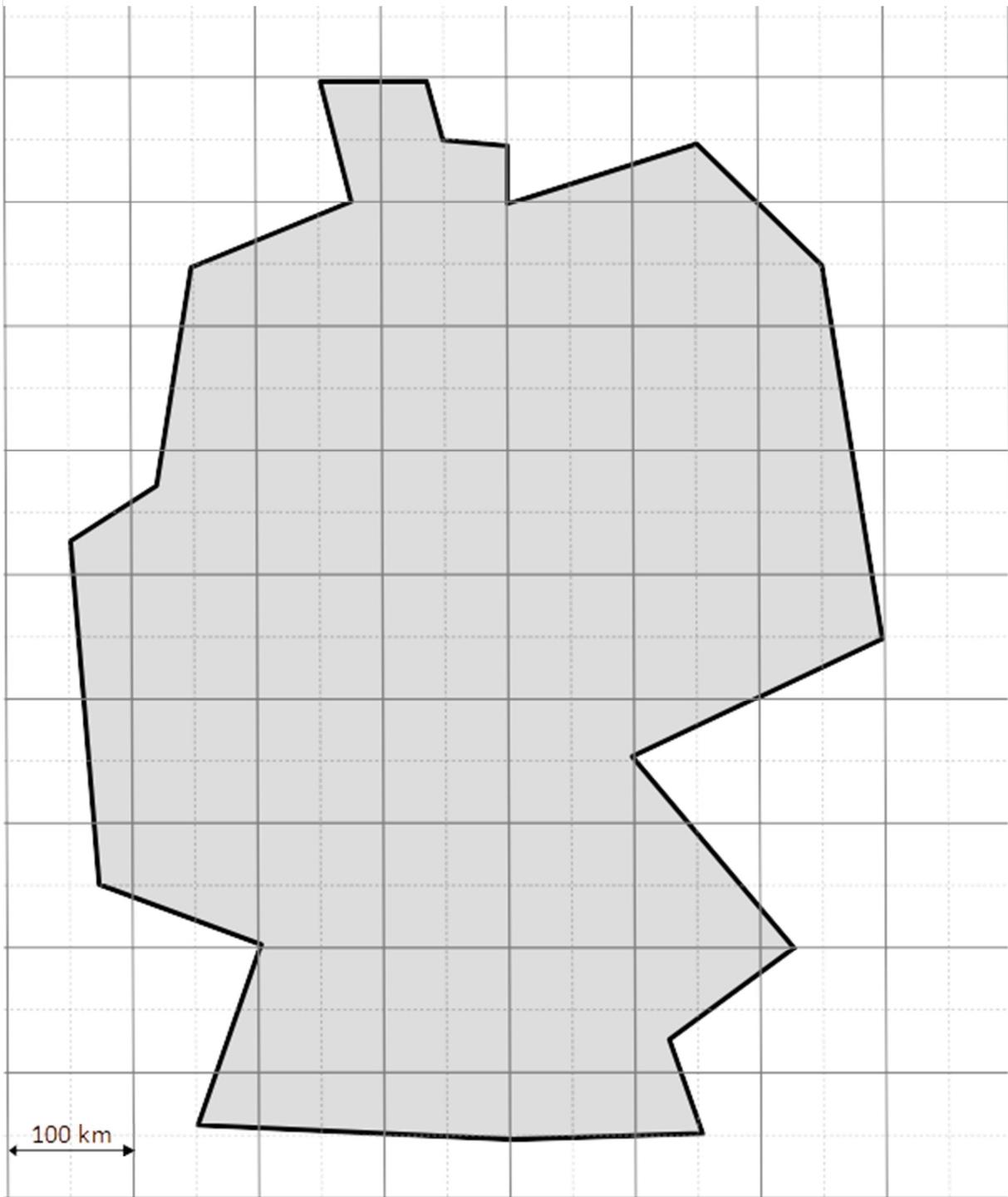
f. Weitere Energieformen (optional)

a) Recherchiere welche weiteren Formen an erneuerbarer Energie es gibt und gib Gründe an, wieso diese keinen nennenswerten Beitrag 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

0 10 50 Endenergiebedarf 100

möglicher Energiemix der Zukunft:



_____ kWh pro Person und Tag

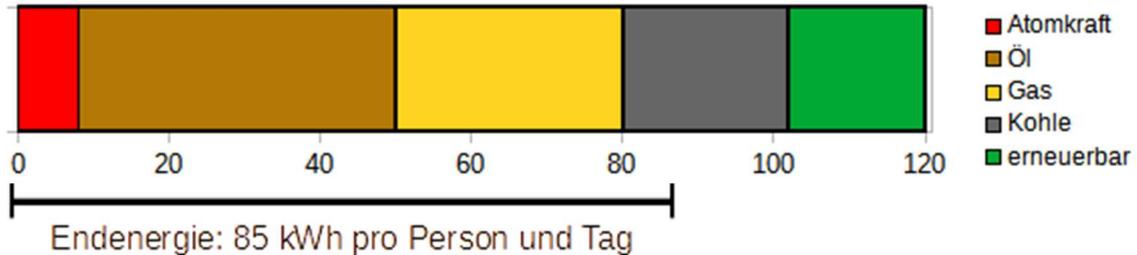
0 10 50 100

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](http://www.destatis.de) (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**

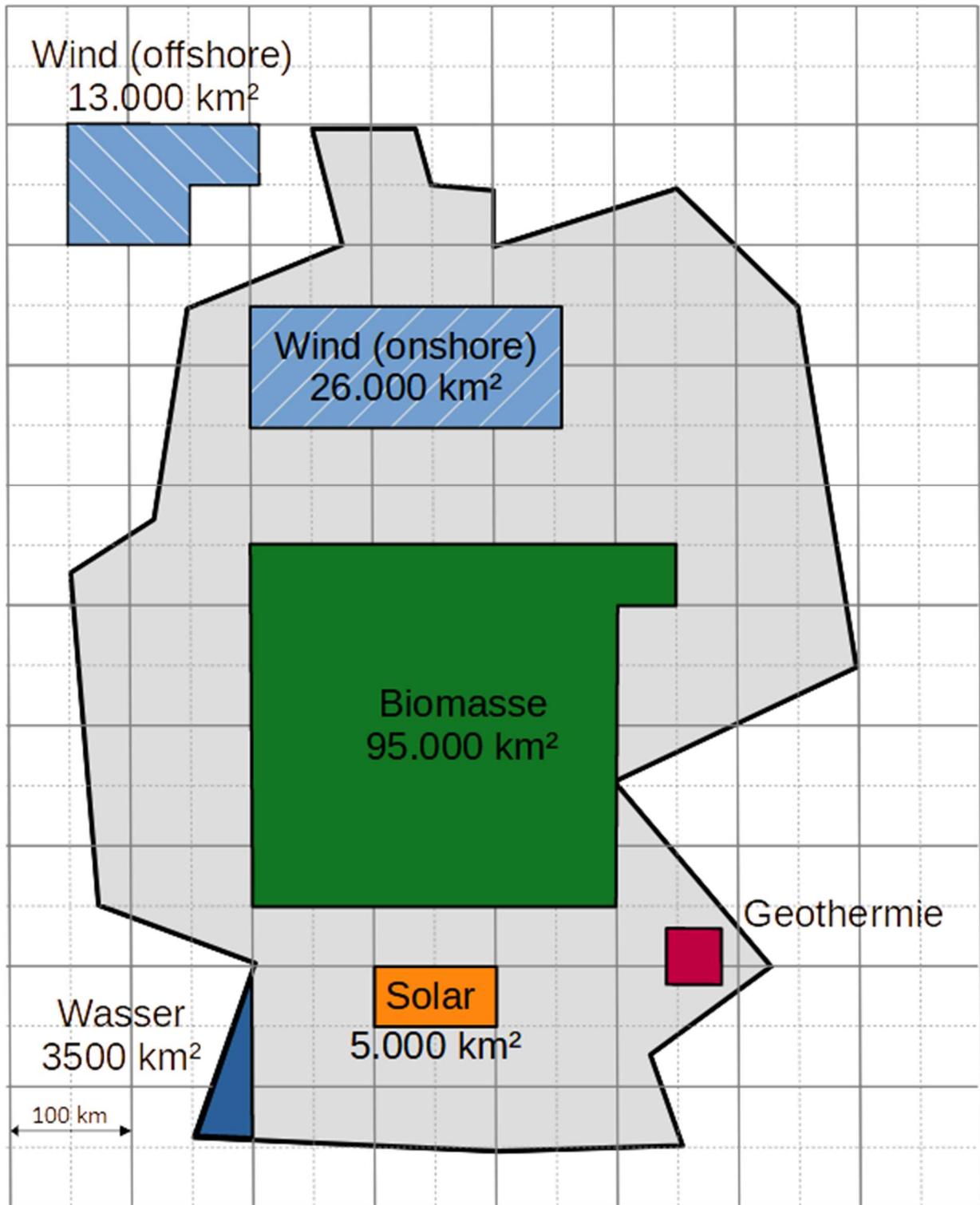
50% der Waldfläche = $0,5 \cdot 0,33 \cdot 357.000 \text{ km}^2 = 58.905 \text{ km}^2$

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 und Tag**

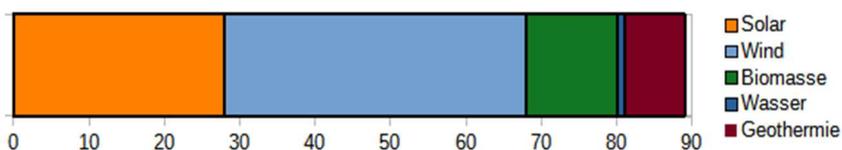
benötigte Fläche: vernachlässigbar (1 kleines Kästchen)

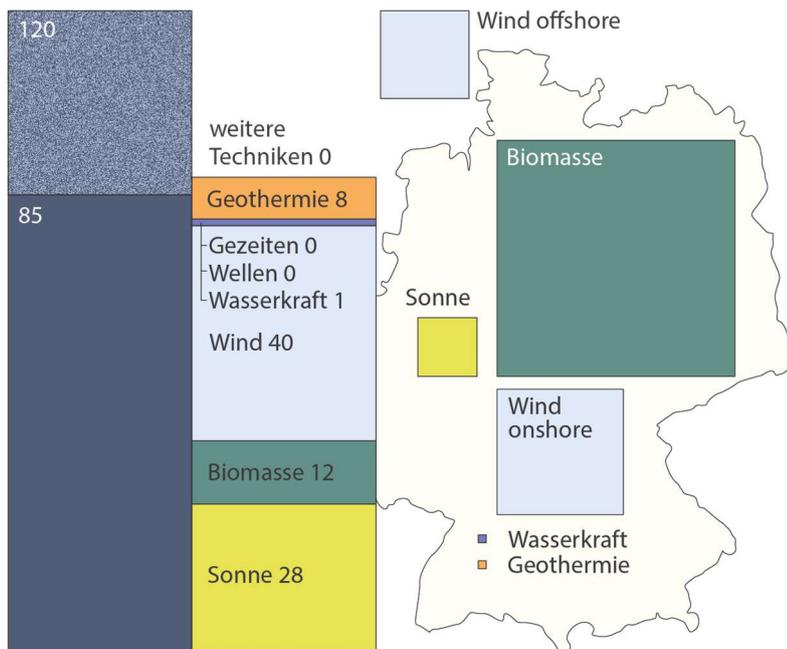


Energiebedarf Deutschland heute:



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 Anknüpfungspunkt, 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 missverständliche [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.“

- Die Sonne hat eine Strahlungsleistung von $3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$. Bestimme, welche Energie die Sonne im Jahr abstrahlt. Überlege dir, wie die Autoren auf den viel kleineren Betrag kommen und berichtige den Text.
- Bewerte den zweiten Abschnitt über die Gewitter hinsichtlich der Relevanz der Informationen.
- 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

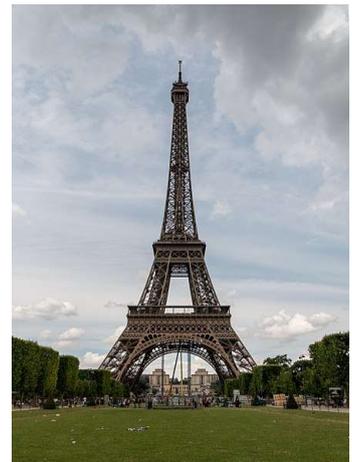
Eifelturm ein Windrad

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“

- 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.
- Berechne, welche dauerhafte elektrische Leistung der Eifelturm benötigt. Vergleiche mit der Leistung eines Hausanschlusses von 30kW.
- Welcher Eindruck wird in diesen Artikeln erweckt? Erkläre wodurch dieser Eindruck erweckt wird!
- Beurteile, ob dieser Eindruck gerechtfertigt ist, indem Du die gegebenen Informationen bewertest!



Dietmar Rabich / Wikimedia Commons / „Paris, Eiffelturm -- 2014 -- 1309“ / CC BY-SA 4.0

- 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 funktioniert

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	für die	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 Zeitdauer⁹ ist mit ca. 0,01s sehr klein. Die Stromstärke beträgt ca. 100 000 A¹⁰. Die Leistung beträgt somit $P = U \cdot I = 100\,000\,000\,V \cdot 100\,000\,A = 1 \cdot 10^{13} W$, die bereitgestellte 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 Eiffelturm benötigt 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 Eiffelturm 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.

Hefteintrag

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, Anknüpfungspunkte an fächerübergreifende Diskussionen bietet und eine motivierende Herangehensweise an die Höhenenergie ist.

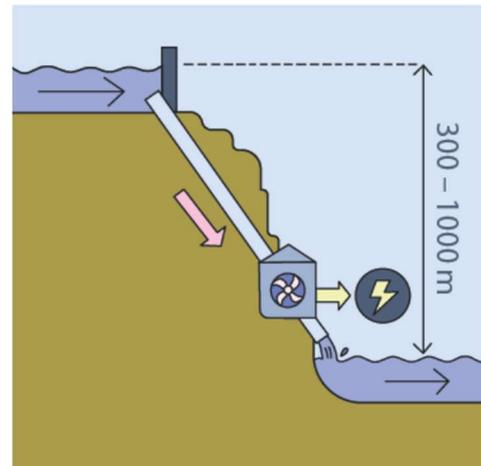
- Grundprinzip Wasserkraft (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Abschätzung der maximalen Energieerzeugung durch Wasserkraft (Arbeitsblatt mit gestuften Hilfen)
- Lösung
- Ausblicke und Ergänzungen

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.

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:

$$1J = 2,78 \cdot 10^{-7}kWh$$

$$\text{Masse von Wasser: } 1m^3 = 1 \cdot 10^3kg$$

Hilfekarte 3:

Die jährlich produzierte Energiemenge des Walchenseekraftwerks beträgt ca. $300 \cdot 10^6kWh$.

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

Hinweise zu den Quellen siehe unten.

Aufgabe 3:

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

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

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

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

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

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.: ~ 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 Kochensee 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.

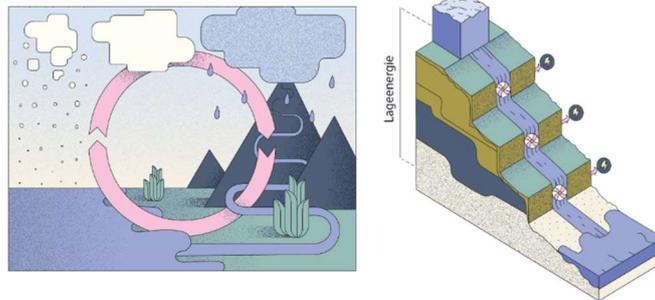
**Das Kraftwerk wird kritisiert, weil es den natürlichen Lauf der Isar verhindert. Dadurch werden Tiere und Pflanzen verdrängt und die Isar erhält einen niedrigeren Wasserstand.
Man sieht so, dass auch Wasserkraft ökologische Folgen hat.**

Abschätzung der maximalen Energieerzeugung an Wasserkraft

Welchen Beitrag kann Wasserkraft zu erneuerbaren Energien beitragen?

Wie viel Energie können wir maximal in Deutschland aus der uns zur Verfügung stehenden Wassermenge und dessen Höhenlage gewinnen?

Österreich produziert beispielsweise mehr als 60% des Stroms und ca. 11% der Primärenergie durch Wasserkraft.¹¹ Ist das bei uns auch möglich? 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.

Vorüberlegung 1:

Was meinst du? Welche Energien werden momentan durch Solar-, Wind- bzw. Wasserkraft erzeugt? Ordne den Werten die Energiearten zu!

- | | | |
|-----------------|--------------------------|--------------------------------|
| A Solarenergie | <input type="checkbox"/> | 0,7 kWh pro Tag und pro Person |
| B Windenergie | <input type="checkbox"/> | 1,7 kWh pro Tag und pro Person |
| C Wasserenergie | <input type="checkbox"/> | 4,2 kWh pro Tag und pro Person |

Vorüberlegung 2:

Gib eine Schätzung ab, wie viel Energie in kWh wir in Deutschland maximal pro Tag und pro Person durch Wasserkraft erzeugen können. Denke daran, dass wir pro Tag und pro Person insgesamt 120 kWh benötigen.

kWh

Aufgabe:

Eine u.a. durch den Physiker E. Fermi berühmt gewordene Methode der Physik ist es, sinnvolle Abschätzungen zu machen. Anstelle mit gegebenen Werten zu rechnen, sollt ihr fundierte Werte im Internet recherchieren und damit eure Abschätzung berechnen.

Die Kärtchen führen euch Schritt für Schritt durch die Aufgabe.

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

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

Schätze dann mit Hilfe deines Ergebnisses und unter Berücksichtigung der obigen Gründe ab, wie viel Energie pro Person und Tag man nutzen könnte!

¹¹ https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:f0bdbaa4-59f2-4bde-9af9-e139f9568769/Energie_in_OE_2020_ua.pdf

<p>Schritt 1 Jedes Wasser, das genutzt werden kann um Energie zu erzeugen, muss als Regen vom Himmel fallen. Um Energie durch Wasserkraft zu gewinnen, muss dieses Wasser von höheren Lagen in tiefere Lagen gelangen. Benenne die Energieform, die vorliegt, wenn das Wasser sich auf der höheren Lage befindet und gib deren Formel an!</p>	<p>Antwort 1 Höhenenergie $E_{\text{Höhe}} = m \cdot g \cdot h$</p>
<p>Schritt 2 Recherchiere die durchschnittliche Niederschlagsmenge in Deutschland pro m^2 und eine ungefähren Wert der Fläche Deutschlands.</p>	<p>Antwort 2 Ca. 800l pro m^2 Fläche Deutschland $357\,581\text{ km}^2$ bzw. $36 \cdot 10^{10}\text{ m}^2$</p>
<p>Schritt 3 Berechne aus diesen Daten die gesamte Masse des Niederschlags in einem Jahr. ($1\text{ km}^2 = 10^6\text{ m}^2$)</p>	<p>Antwort 3 Tipp: 1l Wasser entspricht 1kg $m = 36 \cdot 10^{10}\text{ m}^2 \cdot 800\text{ kg/m}^2 = 2,88 \cdot 10^{14}\text{ kg}$</p>
<p>Schritt 4 Recherchiere die durchschnittliche Höhe des Geländes in Deutschland.</p>	<p>Antwort 4 $h = 263\text{ m}$</p>
<p>Schritt 5 Berechne mit den recherchierten bzw. berechneten Größen die gesamte Energie, die durch Wasserkraft bereitgestellt werden kann.</p>	<p>Antwort 5 $E_{\text{Höhe}} = 2,88 \cdot 10^{14}\text{ kg} \cdot 9,81\text{ m/s}^2 \cdot 263\text{ m}$ $= 7,43 \cdot 10^{17}\text{ J}$</p>
<p>Schritt 6 Rechne die Energie in <i>kWh</i> um!</p>	<p>Antwort 6 $E_{\text{Höhe}} = (7,43 \cdot 10^{17}) : 360\,000\text{ kWh} =$ $= 2,1 \cdot 10^{11}\text{ kWh}$</p>
<p>Schritt 7 Rechne die Energie in kWh pro Tag und Person um und vergleiche den Wert mit dem Gesamtenergiebedarf von 125 kWh pro Tag und Person!</p>	<p>Antwort 7 $E_{\text{Höhe_Gesamt}} = 2,1 \cdot 10^{11}\text{ kWh}$ $E_{\text{Höhe_proPers_proTag}} = (2,1 \cdot 10^{11}\text{ kWh}) : 365 : 80\,000 = 7,0\text{ kWh}$ $7/120 \approx$ Realistisch ca. 1kWh pro Person und Tag</p>
<p>Gründe, warum die Abschätzung zu großzügig ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nicht jeder Regentropfen sammelt sich in Flüssen • Nicht die gesamte Energie wird in elektrische Energie umgesetzt 	

Hilfekarten und Lösung

Hinweise und Quellen:

Potential der Wasserkraft in Deutschland

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/fluesse/nutzung-belastungen/nutzung-von-fluessen-wasserkraft#wasserkraft-und-klimawandel>

Nach einer Studie des Bundesministeriums für Umwelt aus dem Jahr 2010

- liegt das theoretische Potenzial bei 92,6 TWh pro Jahr das entspricht 3,2kWh pro Person und Tag.
- davon sind 1,4kWh pro Tag und pro Person technisch nutzbar
- Aktuell nutzt Deutschland 0,6 – 0,8kWh pro Person pro Tag

Die Gesamtzahl aller Wasserkraftanlagen in Deutschland beträgt etwa 7.600. Davon sind 31 Pumpspeicherkraftwerke, von denen elf über einen natürlichen Zufluss verfügen, also auch erneuerbare Energie produzieren.

Siehe auch Karte

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/bilder/dateien/wasserkraftwerke_deutschland_bestand_0.pdf

Zitat aus der Studie:

Das geringe zusätzliche Potenzial rührt aus der langen Tradition der Wasserkraftnutzung in Deutschland und zeigt, dass die vorhandenen Möglichkeiten im Wesentlichen genutzt und erschlossen wurden.

Gründe, die gegen eine intensivere Nutzung und einen weiteren Ausbau sprechen

→ für die Nutzung als Wasserkraftwerk konkurriert mit der Nutzung für Schifffahrt und ist nur Landschaften mit viel Niederschlag und ausgeprägten Gefälleunterschieden sind prädestiniert für die Wasserkraftnutzung. Deswegen können die norddeutschen Flüsse kaum genutzt werden.

→ aller Regen, der direkt im Grundwasser versickert steht auch nicht zur Nutzung zur Verfügung.

Internationale Nutzung:

Im globalen Vergleich (2012) stammen die höchsten Strommengen aus Wasserkraft aus China (864 TWh), Brasilien (441 TWh), Kanada (376 TWh), USA (277 TWh), Russland 155 (TWH), Norwegen (143 TWh) und Indien (116 TWh).

In Luxemburg, Österreich, Italien, Schweiz und Schweden stammen über 50 Prozent des erzeugten Stroms aus dieser erneuerbaren Energiequelle.

Wasserkraft und Klimawandel

Die Höhe der Wassermenge in einem Fluss wird durch viele Faktoren bestimmt, wobei Niederschlag und Verdunstung einen wesentlichen Einfluss haben. Da diese Einflussgrößen vor allem klimatisch gesteuert sind, hat das Umweltbundesamt die möglichen Effekte des Klimawandels auf die Ertragssituation der Wasserkraft untersuchen lassen und kam zu dem Schluss, das mit fortschreitendem Klimawandel der Ertrag durch Wasserkraft sich verringert wird.

Fazit:

Wasserkraft ist ein wichtiger aber sehr kleiner Baustein der Energiewende. Insbesondere der Einsatz als Pumpspeicher wird sehr nützlich sein. Aber der notwendige Ausbau der erneuerbaren Energie ist mit Wasserkraft schlicht nicht möglich, da das Potential sehr gering und nahezu komplett ausgeschöpft ist.

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.

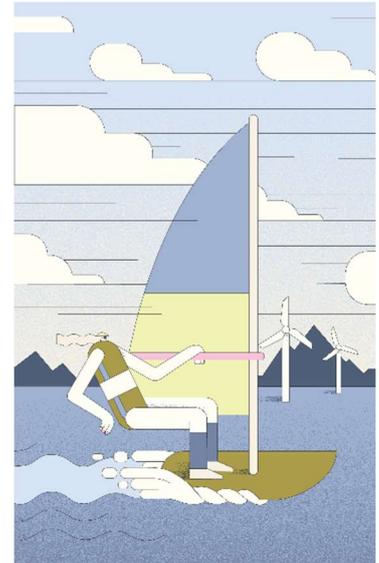
Man kann ausgehend von der Formel $E = \frac{1}{2}mv^2$, die Formel $E = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot t \cdot v^3$ herleiten, indem man sich den Luftstrom als Zylinder vorstellt mit $m = \rho \cdot V$ und $V = A \cdot x = A \cdot v \cdot t$.

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 $d= 100\text{m}$), so kann man berechnen, wie viel Energie pro km^2 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 werden 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:

$$E_{kin} = \underline{\hspace{5cm}}$$

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:

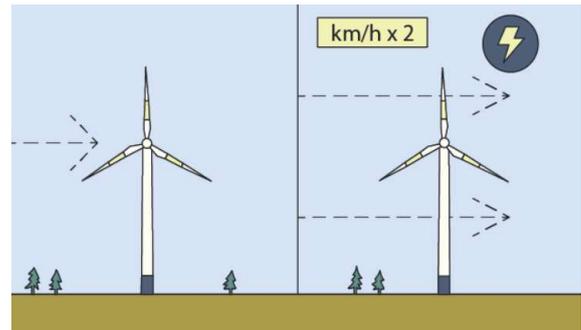
$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot v^3 \cdot t \cdot \rho$$

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?



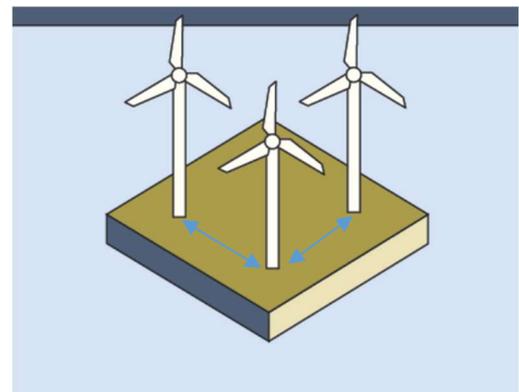
6) Nehmen wir an, ein Betreiber ersetzt eine bestehende Anlage mit 80m Narbenhöhe und einem Durchmesser von 50m durch eine Anlage mit 250m Narbenhöhe und 200m Durchmesser ersetzt. (An der oberen Graphik siehst du, dass damit die Windgeschwindigkeit um ca. den Faktor 1,2 zunimmt) Überlege dir anhand der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

<input type="radio"/>	$E_{\text{kin neu}} = 4,8 \cdot E_{\text{kin alt}}$	<input type="radio"/>	$E_{\text{kin neu}} = 19,2 \cdot E_{\text{kin alt}}$	<input type="radio"/>	$E_{\text{kin neu}} = 27,6 \cdot E_{\text{kin alt}}$
-----------------------	---	-----------------------	--	-----------------------	--

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 $d = 100\text{m}$. 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 $v_{\text{Wind}} = 6,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ beträgt und die Windkraftanlage die Hälfte der Windenergie in elektrische Energie umwandeln kann. Gib das Ergebnis mit zwei gültigen Ziffern an!

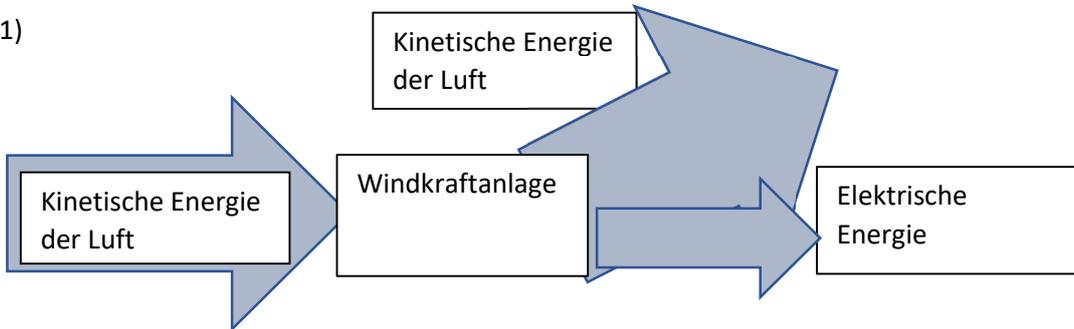
8) Nimm an, dass 7% der Landesfläche von Deutschland besetzt werden können. (Landesfläche Deutschland = $357.588 \text{ km}^2 \approx 360\,000 \text{ km}^2$)

- Berechne aus dem Ergebnis von 7) das Potential der Windenergie für Deutschland in kWh.
- Berechne die Anzahl der dafür benötigten Windkraftanlagen _____ (vgl Aufgabe 7)
- 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. Anhand der Größe der Küsten in Deutschland steht eine von ca. $12\,500 \text{ km}^2$ zur Verfügung, die Energie die pro km^2 gewonnen werden könnte ist allerdings auf Grund der Windgeschwindigkeit doppelt so groß wie auf Land. Berechne die durch Offshore Windkraft bereitgestellt Energie und sammle drei Vorteile von Offshore Windräder gegenüber Onshore Windrädern, aber auch drei Nachteile und notiere sie als Tabelle.

Windenergie Potential Lösung

1)



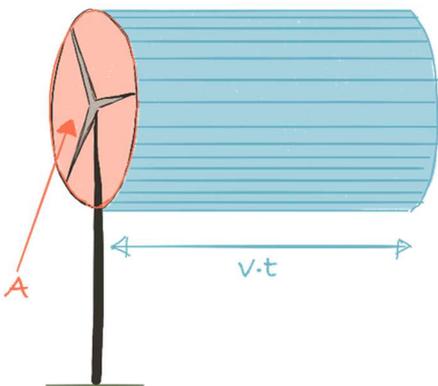
2) Wenn 100% der kinet. Energie in elektrische Energie umgewandelt wird, dann kommt der Luftstrom zum stehen. Die Luft „steht dann hinter“ dem Rotor und verhindert ein Nachfließen der weiteren Luft. Damit endet der Prozess.

3.)

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

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

Herleitung der Masseformel für interessierte Schüler:



Grundidee:

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

$$\rho = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ also gilt}$$

$$m = \rho \cdot V$$

Nun brauchen wir das Volumen des Luftzylinders

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

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

Denn das Schlauchende bewegt sich ja näherungsweise mit $v \cdot t$ 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 $E = \frac{1}{2} m v^2$ wird E vervierfacht

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

6) $d'=200\text{m}$, $d=50\text{m}$ und $v'=1,2 \cdot v$, damit ist $A'=16 \cdot A$ 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 km^2 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 $v=6,5 \text{ m/s}$ ein guter Mittelwert in dieser Höhe ist. Ziel ist hier eine grobe Abschätzung des Potentials.

Geg: $d=100\text{m} \Rightarrow r=50\text{m} \Rightarrow$

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

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

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

Umrechnung in kWh : $E = \frac{1,16 \cdot 10^{11} \text{J}}{3600000 \frac{\text{J}}{\text{kWh}}} = 32 \cdot 10^3 \text{kWh}$

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

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

8)

a) Energie in Deutschland

Fläche: $A = 360000 \text{ km}^2 \cdot 0,07 \approx 25000 \text{ km}^2$

Energie: $E = 64 \cdot 10^3 \frac{kWh}{km^2} \cdot 25000 km^2 = 1600000000 kWh = 1,6 \text{ Mrd kWh am Tag}$

b) $25000 \cdot 4 = 100\,000$ Windräder

Tatsächlich reichen etwas weniger 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) $\frac{1600000000 kWh}{80000000} = 20 kWh$ pro Tag und Person

10) Energie wieder $20 kWh$ pro Tag und Person, da die Fläche halb so groß die Energie aber doppelt so groß ist.

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 Speichermöglichkeiten (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:

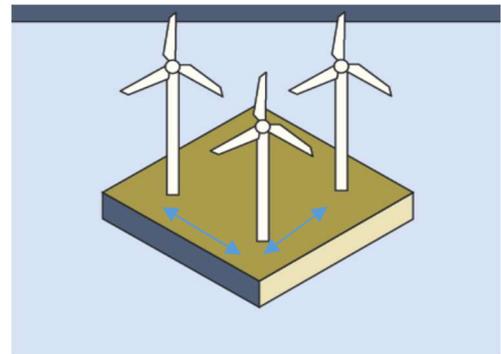
$$E = \frac{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot t \cdot v^3}{25d} = \frac{\frac{1}{2} \rho \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot t \cdot v^3}{25d} = \frac{\frac{1}{2} \rho \pi \cdot t \cdot v^3}{200}$$

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 werden 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 5) die elektrische Energie in kWh, die auf einem Quadratkilometer innerhalb von 24 h erzeugt werden kann.

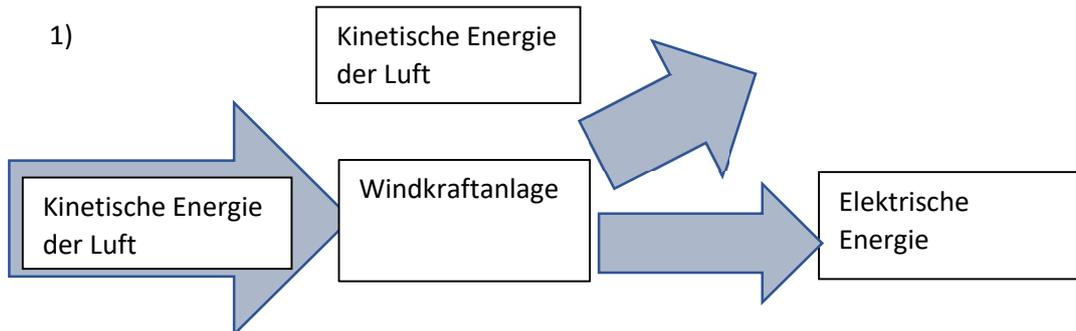
- 8) Nimm an, dass 7% der Landesfläche von Deutschland besetzt werden können. (Landesfläche Deutschland = $357.588 km^2 \approx 360000 km^2$)
 - a) Berechne aus dem Ergebnis von 7) das Potential der Windenergie für Deutschland in kWh.
 - b) Berechne die Anzahl der dafür benötigten Windkraftanlagen _____ (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. Anhand der Größe der Küsten in Deutschland steht eine Fläche von ca. $12\,500 km^2$ zur Verfügung, die Energie die pro km^2 gewonnen werden könnte ist allerdings auf Grund der Windgeschwindigkeit doppelt so groß wie auf Land. Berechne die durch Offshore Windkraft bereitgestellt Energie.

Windenergie Potential Lösung

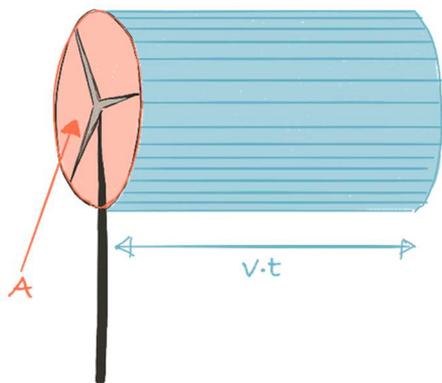
Dieses Arbeitsblatt ist eine vereinfachte Version des vorhergehenden und somit eventuell leichter durchführbar. Die Inhalte und Ergebnisse sind die selben.

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.

$$4) E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}2,29 \cdot 10^8 kg \cdot \left(6,5 \frac{m}{s}\right)^2 = 4,9 \cdot 10^9 J = 1,34 \cdot 10^3 kWh$$

$$(2,29 \cdot 10^8 kg = 1,24 \frac{kg}{m^3} \cdot 2500 m^2 \pi \cdot 60 \cdot 60 s \cdot 6,5 \frac{m}{s}, \text{ siehe Formel im ausführlichen Blatt})$$

5) $6,7 \cdot 10^2 kWh$ pro Stunde wird erzeugt

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

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

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

7) $670 \cdot 24 \cdot 4 kWh = 6,4 \cdot 10^4 kWh \text{ pro } km^2$

8) Energie in Deutschland

a) Energie in Deutschland

Energie in Deutschland

Fläche: $A = 360\,000 \text{ km}^2 \cdot 0,07 \approx 25000 \text{ km}^2$

Energie: $E = 64 \cdot 10^3 \frac{kWh}{km^2} \cdot 25000 \text{ km}^2 = 1600000000 kWh = 1,6 \text{ Mrd kWh am Tag}$

b) $25000 \cdot 4 = 100\,000$ Windräder

Tatsächlich reichen etwas weniger 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) $\frac{1600000000 kWh}{80000000} = 20 kWh \text{ pro Tag und Person}$

9) Energie wieder $20 kWh$ pro Tag und Person, da die Fläche halb so groß die Energie aber doppelt so groß ist.

Windausbau- wie schaffen wir das?

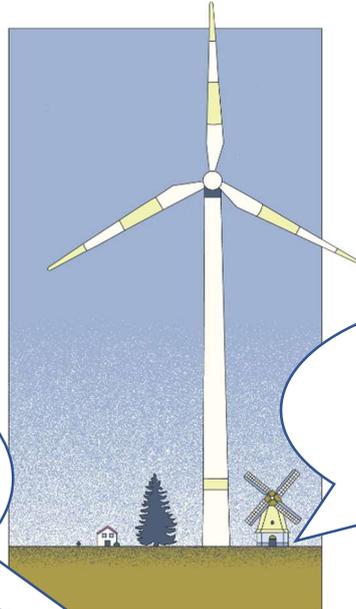
Um die Energiewende in Deutschland umzusetzen, sind ca. 60 000 neue Windräder nötig (40 000 an Land und 20 000 auf dem Meer.) Das ist eine herausfordernde Aufgabe

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



A

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

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?

Ausgabe 1

Eine eindeutige Lösung ist nicht möglich.

- Aussage D ist einfach fachlich falsch.
- Aussage E ist korrekt
- 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

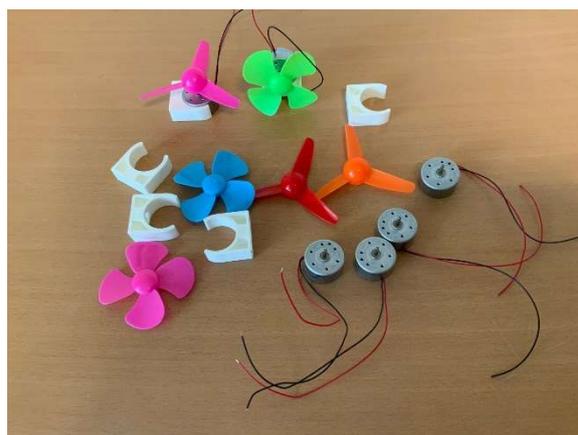
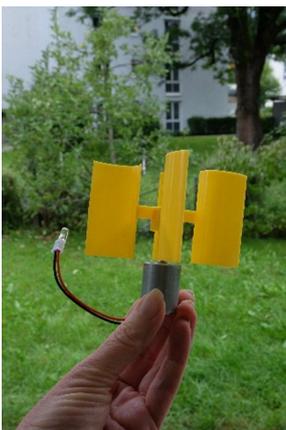
- In diesem Interview erklärt ein Förster, warum er für den Aufbau einer Windkraftanlage ist, auch wenn dafür Bäume abgeholzt werden müssen, die er selbst gepflanzt hat. [Sz: Das Opfer der Bäume](#)
- Hier wird dargestellt, warum die Windkraftindustrie immer mehr nach Dänemark abwandert und welche wirtschaftlichen 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 einem Windstärkemesser kann die Abhängigkeit von der Windstärke und vom Rotor zeigen.

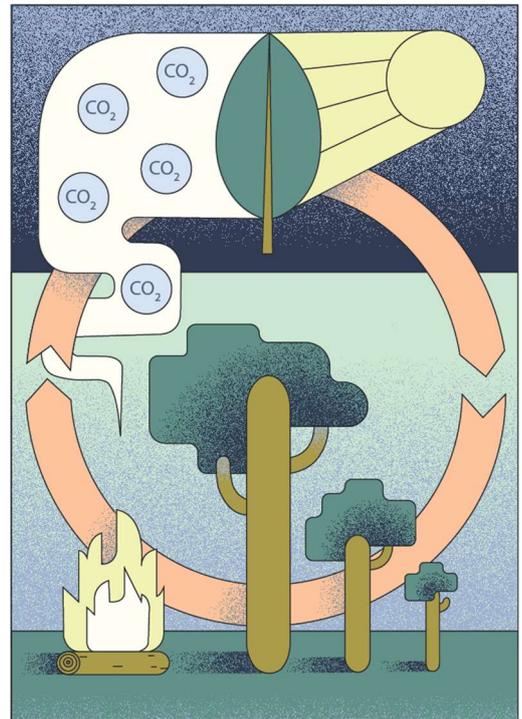
Cooler Material ist noch hier <https://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/standortplanung-einer-windenergieanlage>

4. Bioenergie

Im Rahmen der Energiewende nimmt der Energieträger Biomasse eine besondere Rolle ein. Die Nutzung der Energie aus Biomasse mit der Entdeckung des Feuers stellt die älteste Form der Energieumwandlung von Primärenergie in Nutzenergie durch den Menschen dar. Sie ist im Alltag auch weiterhin in Form von Wärmegewinnung durch Kaminöfen, Kochfeldern mit Gas sowie Heiz-/Brauchwasserkessel omnipräsent, so dass sie didaktisch leicht zugänglich ist.

Zudem stellt sie aus technischer Sicht im Rahmen der Energiewende eine Form der Energie dar, welche als elektrische Energie sowohl zur Bereitstellung von Grundlast als auch Regenergie geeignet ist, und somit (in Grenzen) sowohl Defizite der anderen wetterabhängigen Energiequellen als auch Diskrepanzen zwischen Verbrauch und Erzeugung elektrischer Energie im Stromnetz ausgleichen kann.

Die Berechnung des Potentials der Biomasse kann als Anwendung des Wirkungsgrades durchgeführt werden.



In den Büchern:



S. 48-59



S. 124-138

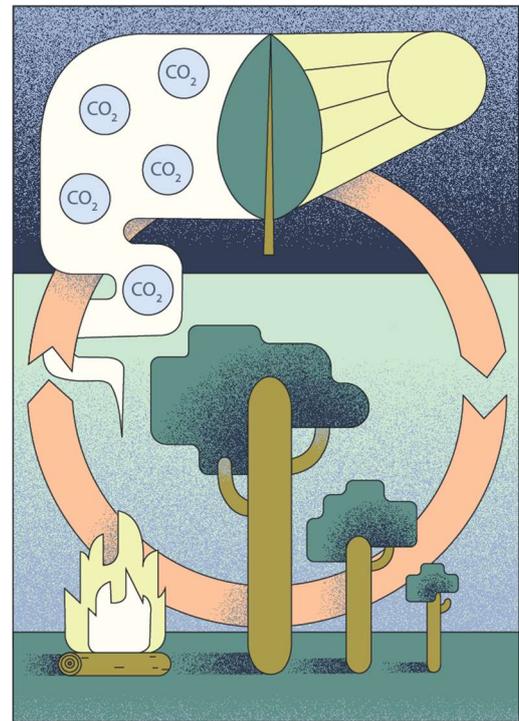
Los geht's:

Folgende Materialien bieten eine kompetenzorientierte Herangehensweise an das Thema der Energie aus Biomasse, die es den Schülern zum einen ermöglicht mit Faktenwissen an den gesellschaftlichen wichtigen Diskussionen zur Energiewende teilzunehmen, Anknüpfungspunkte an fächerübergreifende Diskussionen bietet und eine motivierende Herangehensweise an den Primärenergieträger Biomasse darstellt.

- Abschätzung des Beitrags der Energieerzeugung durch Biomasse analog zur Vorgehensweise im Buch
- Lösung
- Abschätzung des Beitrags der Energieerzeugung durch Biomasse (Arbeitsblatt mit Hilfen) anhand der verfügbaren verbrennbaren Biomasse aus Holz
- Lösung
- Ausblicke und Ergänzungen

Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (Wirkungsgrad)

- 1) In **M1** ist der Kohlenstoffkreislauf dargestellt. Welche Energieformen sind in **M1** abgebildet? Beschreibe die vorliegenden Energieumwandlungen!
- 2) Nimm anschließend dazu Stellung, inwieweit man Biomasse als CO₂ neutral beschreiben kann!
- 3) Energiepflanzen haben einen Wirkungsgrad von maximal 0,5%, der Wald von 0,35%. Die Sonne stellt in Deutschland eine Energie von 1000 kWh pro m² und Jahr zu Verfügung. Bestimme damit die Energie pro m² und Tag, die durch Biomasse zu Verfügung steht.
- 4) Nimm an, dass 20% der landwirtschaftlichen Fläche und vereinfacht 50% der zur Verfügung stehenden Energie der Wälder zur Energieproduktion genutzt werden können (s. **M2**) und bestimme dann mit dem Ergebnis aus Aufgabe 3 wie viel Energie pro Tag und Person in Deutschland zur Verfügung stehen würden.
- 5) Vergleiche die jetzt genutzte Fläche mit der Gesamtfläche von Deutschland!
- 6) Vergleiche dann diese Energie mit der benötigten Primärenergie.
- 7) Diskutiere Vor- und Nachteile von der Nutzung von Bioenergie.



M1 Kohlenstoffkreislauf



M2 Flächennutzung in Deutschland

Lösung und Hinweise zur Abschätzung der Bioenergie

1) Energieformen:

chemische Energie, Strahlungsenergie, Wärmeenergie, Lichtenergie beim Lagerfeuer

Strahlungsenergie der Sonne => chemische Energie der Pflanzen => Lichtenergie und Wärmeenergie

2) CO₂ neutral, wenn der Rohstoff im Vergleich schnell genug nachwächst. Die Nutzung von Urwäldern ist nicht CO₂ neutral, da der Zeitraum in dem das CO₂ eingespeichert wurde viel größer ist als der Zeitraum in dem es freigesetzt wird.

3) $1.000 \text{ kWh} \cdot 0,005 = 5 \text{ kWh}$ (pro m^2 und Jahr) bei Energiepflanzen, analog $3,5 \text{ kWh}$ bei Wald

4) Wälder:

$$357.581 \text{ km}^2 \cdot 0,30 \approx 110.000 \text{ km}^2 \text{ (s. M2)}$$

$$\text{Genutzt } 0,50 \cdot 110.000 \text{ km}^2 = 55.000 \text{ km}^2$$

$$\text{Energie: } \frac{55 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot 3,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{(80 \cdot 10^6 \cdot 365 \text{ d})} = 5,2 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

Felder:

$$357.581 \text{ km}^2 \cdot 0,5 \approx 179.000 \text{ km}^2$$

$$\text{Genutzt } 0,20 \cdot 190.000 \text{ km}^2 = 38.000 \text{ km}^2$$

$$\text{Energie: } \frac{38 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot 5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{80 \cdot 10^6 \cdot 365 \text{ d}} = 6,5 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

Gesamt $11,7 \text{ kWh} \approx 12 \text{ kWh}$

$$5) \frac{55.000 \text{ km}^2 + 38.000 \text{ km}^2}{357.581 \text{ km}^2} = 26\%$$

6) Benötigt werden 120 kWh pro Person und Tag

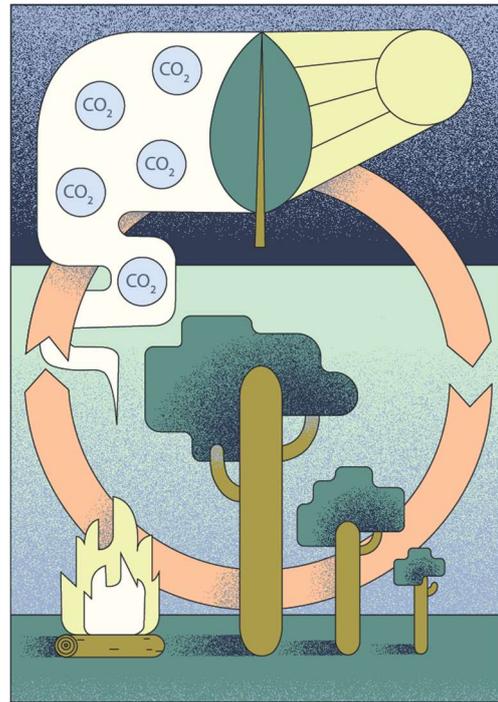
7) Vorteile: Verfügbarkeit, teilweise ökologisch, Einsatz nach Bedarf, Speicherfähig (Gastank, Brennholz)

Nachteile sehr hoher Flächenbedarf, Dünger, Pestizide, Nutzungskonkurrenz (Energie statt Essen bei Energiepflanzen, Bauholz bzw. Holz als Ausgangsstoff bei Wäldern)

- Die Aufgabe kann als Anwendungsaufgabe zum Wirkungsgrad verwendet werden.
- In der Aufgabe werden viele Grundwissensaufgaben zu Energieformen verwendet und abgeprüft.

Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (verfügbare Holzmasse)

- 1) Erkläre mit Hilfe von **M1**, inwieweit man Biomasse als CO₂-neutral und regenerativ betrachten kann. Überlege dir auch ob es hierbei Grenzen/Kritikpunkte gibt.
- 2) In einem gesunden Wald wachsen im Schnitt Bäume mit einem Volumen von etwa 350 m³ pro Hektar. Schätze das nutzbare Gesamtvolumen an Biomasse in Deutschlands Wäldern ab.
- 3) Weiterhin nehmen wir an, dass der Wald 35 Jahre benötigt, um diese Holzmenge zu erneuern. Schätze damit die Energiemenge ab, die die Wälder Deutschlands pro Tag und Person liefern können, wenn Holz einen Brennwert von etwa 2500 kWh pro m³ (Holzvolumen) aufweist.^{3 4}
- 4) *Die Biomasse wird durch die Photosynthese des einstrahlenden Lichts (120 kWh pro m² pro Tag) erzeugt. Bestimme die pro Person und Tag zur Verfügung stehende Gesamtenergie an Licht und schätze damit den Wirkungsgrad der Photosynthese zur Holzerzeugung ab.



M3 Kohlenstoffkreislauf

optional:

- 5) Markiere den benötigten Flächenanteil für Biomasse in deiner *Deutschlandkarte*.
- 6) Ergänze die per Biomasse erzeugbare Energiemenge pro Tag und Person in der *Energiebilanz der Zukunft*
- 7) Lege mit Hilfe von **M1** und **M2** Probleme dar, die bei der ausschließlichen Nutzung der Wälder als Biomasselieferant zur Energieversorgung entstehen.



M4 Flächennutzung in Deutschland

Lösung

<p>Hilfe 1</p> <p>Biomasse ist in den in M1 dargestellten Kohlenstoffkreislauf eingebunden. Woher bezieht die Biomasse den zur Nutzung notwendigen Kohlenstoff?</p>	<p>Antwort 1:</p> <p>Das bei der Verbrennung freigesetzte CO₂ entspricht dem zuvor aus der Atmosphäre entzogenem CO₂, welches über Kohlenstoffverbindungen (z.B. Zucker, Zellulose) in die Biomasse eingebaut wird. Biomasse kann bei der Verbrennung also nicht mehr CO₂ freisetzen als es zuvor aus der Atmosphäre entnommen hat, es ist also CO₂ neutral.</p> <p>Grenzen:</p> <p>Keine Berücksichtigung von notwendiger Energie zum Transport, Verarbeitung sowie dem Betrieb der Feuerstätte (z.B. Elektronik)</p>
<p>Hilfe 2</p> <p>Verwende den in M2 dargestellten Flächenanteil um die insgesamt nutzbare Biomasse in Form von Holz zu berechnen.</p> <p>1 ha = 100m · 100m = 10⁴ m² → 1 km² = 1.000.000 m² = 10⁶ m² = 10² ha</p>	<p>Antwort 2:</p> <p>Berechnung Waldfläche</p> $30\% \text{ von } 357.581 \text{ km}^2 = 107.274 \text{ km}^2 = 1,07 \cdot 10^9 \text{ m}^2 = 10,7 \cdot 10^6 \text{ ha (10,7 Mio ha)}$ <p>Berechnung Holzvolumen:</p> $350 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}} \cdot 10,7 \cdot 10^6 \text{ ha} = 3,75 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
<p>Hilfe 3</p> <p>Wie hoch ist die im Brennholz insgesamt durch Verbrennung nutzbare Energie?</p> <p>Wieviel Energie steht damit pro Tag und pro Kopf zur Verfügung, wenn das Holz 35 Jahre zum Nachwachsen benötigt?</p> <p>35a = 35 · 365 d = 18250 d</p>	<p>Antwort 3:</p> <p>Durch Verbrennung insgesamt nutzbare Energie:</p> $2500 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \cdot 3,75 \cdot 10^9 \text{ m}^3 = 9,38 \cdot 10^{12} \text{ kWh}$ <p>pro Tag verfügbare Energie (35 Jahre Nutzung)</p> $\frac{9,38 \cdot 10^{12} \text{ kWh}}{35 \cdot 365 \text{ d}} = 734 \cdot 10^6 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$ <p>Pro Kopf und Tag verfügbare Energie</p> $\frac{9,38 \cdot 10^{12} \text{ kWh}}{80 \cdot 10^6 \cdot 35 \cdot 365} = 9,2 \text{ kWh} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \right)$
<p>Hilfe 4</p> <p>Überlege dir wie hoch die Energiemenge ist, die per Sonnenstrahlung auf die Waldfläche scheint, und somit die Biomasse erzeugt. Berücksichtige dabei die nötige Fläche und Zeit!</p>	<p>Antwort 4:</p> <p>Energiemenge der (holzigen) Biomasse in der Waldfläche:</p> $9,38 \cdot 10^{12} \text{ kWh}$ <p>Sonnenenergie pro Tag für gesamten Wald</p> $120 \frac{\text{kWh}}{\text{d} \cdot \text{m}^2} \cdot 1,07 \cdot 10^9 \text{ m}^2 = 1,28 \cdot 10^{11} \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$ <p>Sonnenenergie für gesamten Wald während Nutzung:</p> $120 \frac{\text{kWh}}{\text{d} \cdot \text{m}^2} \cdot 35 \cdot 365 \text{ d} \cdot 1,07 \cdot 10^9 \text{ m}^2 = 1,64 \cdot 10^{15} \text{ kWh}$ $\eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Ges}}} = \frac{9,38 \cdot 10^{12} \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{1,64 \cdot 10^{15} \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = 0,57 \%$

Hinweise zur Durchführung:

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.

Die Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende per Holz ist als didaktische Alternative zur im Buch verwendeten Abschätzung über den Wirkungsgrad der Photosynthese gedacht. Die Verwendung der gesamten Biomasse (inkl. Grün- und Fruchtanteilen) z.B. in Form von Biogas stellt eine für die SchülerInnen eher unzugängliche Energieform dar, prävalenter sind hier fossile Energieträger sowie der Energieträger Holz.

Die Beschränkung der Abschätzung auf den Holzvorrat bietet zudem die Möglichkeit, die angenommene exklusive Nutzung des gesamten Waldgebiets kritisch zu thematisieren, da im Hinblick auf die bisherige Nutzung (z.B. Bau- und Nutzholz, Erholungsgebiet, Landschafts- und Naturschutzgebiete) ein enormes Konfliktpotential besteht, v.a. im Hinblick auf den geringen Nutzungszeitraum, der zwar den Nachwuchs der Biomasse sicherstellt, jedoch das Erscheinungsbild des Waldes nachhaltig verändern würde. Man kann dies dann auch direkt auf die Gewinnung und Nutzung von Biogas ausweiten, um auch hier Chancen (Verwertung organischer Abfällen bzw. tierischer Ausscheidungen) sowie Grenzen (Nutzflächenkonkurrenz, Verwendung von Futtermitteln) des Energieträgers zu erörtern.

Hinweise zur Abschätzung / verwendete Größen:

Die Umschlagzeiten für Holz liegen üblicherweise über den in der Abschätzung verwendeten 50 Jahren, da jedoch im Rahmen der Biomassegewinnung die Stammgröße und -dicke (im Unterschied zur Verwendung als Bauholz) nur eine untergeordnete Rolle liegt, wurde eine kürzere Umschlagszeit angesetzt. Dies deckt sich auch mit Erfahrungen aus der Durchforstung im Forstbetrieb, hier wird teilweise mit einem Durchforstungszyklus von 25 Jahren gerechnet. Da von der Nutzung der gesamten Waldfläche ausgegangen wird und dies auch Wälder/Forsten in ungünstigen Lagen mit beinhaltet, wurde ein Regenerationszyklus von 35 Jahren im Rahmen der Abschätzung angesetzt.

Die Berechnung des Brennwertes pro m³ (Festmeter) ergibt sich wie folgt:

- Brennwert mit Mittelwert 4,2 kWh/kg angenommen (Fichte 4,5 kWh/kg, Buche 4,0 kWh/kg)
- Umrechnung Brennwert pro kg in Brennwert pro Festmeter mit geschätztem Mittelwert von 600 kg/m³ (Weichholz ca. 500 kg/m³ bzw. Hartholz ca. 750 kg/m³)

$$600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,2 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} = 2520 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

Links/Quellenangabe:

Brennwerte, Umrechnung FM in kg:

https://www.xeos.de/fileadmin/daten/downloads/technik/neu/Raumgewichte_und_Sparpotential_Holz.pdf

verfügbare Holzmenge (Holzvorrat):

https://www.fnr.de/fileadmin/kiwuh/dateien/Basisdaten_KIWUH_web_neu_1.pdf

Durchforstungszyklus (zur Hackschnitzelgewinnung)

<https://www.tfz.bayern.de/festbrennstoffe/brennstoffe/035110/index.php>

5. Solarenergie

Die Energie der Sonne, welche die Erde erreicht, ist als Primärenergie der grundlegendste aller Energieträger. Solarenergie ist prägend für unseren Alltag, sie bestimmt über ihr Vorhandensein den Tag-Nacht-Rhythmus mitsamt seinen Begleiterscheinungen wie Temperatur-schwankungen, der Verfügbarkeit von Energie aus Photovoltaik und natürlich auch den biologischen Auswirkungen, die unsere tägliche Lebensweise in vielfältiger Weise strukturieren und auch bestimmen.

Zudem ist sie die Primärenergie, welche letztlich nahezu alle anderen erneuerbaren Energiequellen (mit Ausnahme der tiefen Geothermie) erzeugt bzw. ihre Erneuerbarkeit begründet: Die Erwärmung der Erdoberfläche und -atmosphäre durch die Sonneneinstrahlung ermöglicht die Verdunstung von Wasser und treibt somit den Wasserkreislauf an, Temperaturunterschiede an der Erdoberfläche sowie in den darüber liegenden Luftschichten verursachen Druckunterschiede in der Erdatmosphäre, welche durch Winde ausgeglichen werden. Die im Sonnenlicht enthaltene UV-Strahlung dient zum Antrieb der chemischen Reaktionen der Photosynthese und damit der Erzeugung von Biomasse, auch die im Rahmen der oberflächennahen Geothermie genutzten Wärmequellen werden durch die Einstrahlung von Sonnenenergie und des Wärmetransports ins Erdreich genährt, Wärme aus dem Erdinneren ist hierbei nachrangig.



Das Thema Solarenergie wird im Lehrplan vielfach aufgegriffen, die Umwandlung von Sonnenlicht mittels Photovoltaik ist im naturwissenschaftlichen Gymnasium (Bayern, JGST 8) fest verankert. Die Berechnung des Potentials kann als motivierendes/vertiefendes Beispiel für Energieumwandlungen und Anwendung des Wirkungsgrades verwendet werden. Die Betrachtung des zeitlichen Verlaufs der Leistung einer PV-Anlage ist eine interessante Möglichkeit, die Größe Leistung zu vertiefen. Die im naturwissenschaftlichen Gymnasium vorgesehene Vertiefung im Bereich Energieversorgung und erneuerbare Energien bietet ebenfalls vielfältige Möglichkeiten zu lehrplankonformem Unterricht.

In den Büchern:



S. 34-45



S.49- 66

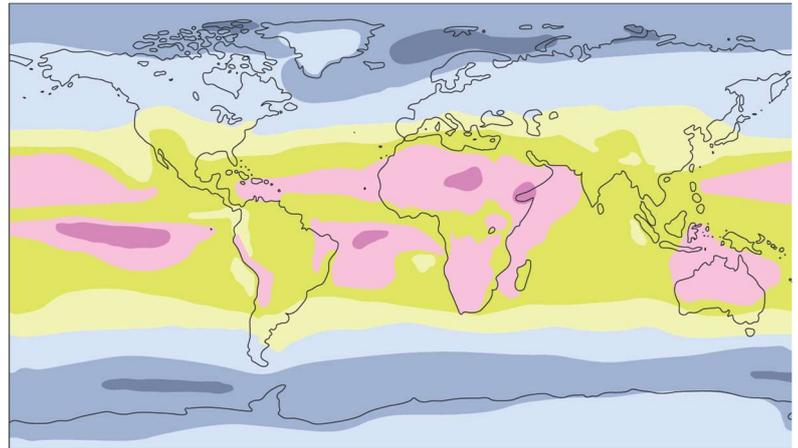
Los geht's:

Folgende Materialien bieten eine kompetenzorientierte Herangehensweise an das Thema der Energie aus Photovoltaik.

- Abschätzung des Beitrags der Energieerzeugung durch Solarenergie analog zur Vorgehensweise im Buch
- Lösung
- Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte
- Lösung

Abschätzung des Beitrags der Solarenergie

1. Beurteile mit Hilfe von **M1** die grundsätzliche Eignung des Standorts Deutschland zur Nutzung von PV-Energie.
2. Der Wirkungsgrad von Solarzellen liegt bei ca. 20%. Bestimme mit Hilfe von **M1** die pro m^2 und Tag in Deutschland durch PV erzeugbare Energiemenge.



0 1 2 3 4 5 6 7
M1: weltweite Sonneneinstrahlung

Die Dachflächen in Deutschland betragen ca. 1500 km^2 . Zusätzlich werden wie in **M2** gezeigt bereits

heute PV-Anlagen auf Freiflächen (z.B. Felder) zur Stromerzeugung installiert. Nehmen wir daher an, dass in Zukunft auf ca. 1% der Freifläche Deutschlands (ca. 3000 km^2) PV in Form von Freiflächen installiert wird.

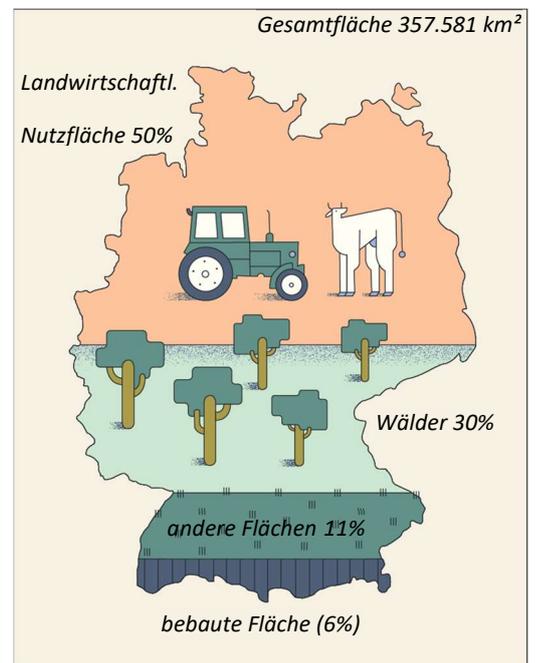


M2: Freiflächenanlage

3. Schätze die Energiemenge in kWh/Tag ab, die man per PV auf Dächern und Freiflächenanlagen in Deutschland erzeugen könnte.
4. Bestimme dann die pro Person und Tag in Deutschland (ca. 80 Mio Einwohner) durch die obigen PV-Anlagen erzeugbare Energiemenge

optional:

5. Markiere den benötigten Flächenanteil für PV in deiner *Deutschlandkarte*.
6. Ergänze die per PV erzeugbare Energiemenge pro Tag und Person in der *Energiebilanz der Zukunft*
7. *Lege mit Hilfe von M2 und M3 Probleme dar, die bei der Nutzung von Freiflächen für PV entstehen und biete (soweit möglich) Lösungsvorschläge für diese Probleme an.*

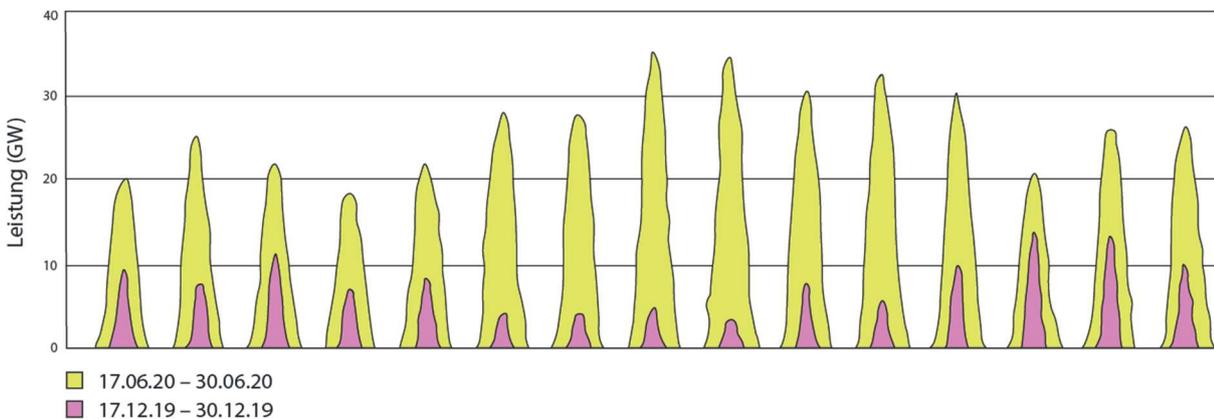


M3: Flächennutzung in Deutschland

<p>Hilfe 1</p> <p>Wie würdest du die eingestrahlte Sonnenenergie in Deutschland (M1) im weltweiten Vergleich bewerten?</p>	<p>Antwort 1:</p> <p>Deutschland erhält (im Jahresmittel) eine Einstrahlung von ca. 2-3 kWh pro m² und Tag. Im weltweiten Vergleich ist dies eher im unteren Mittelfeld, die Polarragionen erhalten zwar noch weniger, große Teile Afrikas, Lateinamerikas sowie Südasiens erreichen jedoch das doppelte bis dreifache der Einstrahlung (bis zu 7 kWh pro m² und Tag). (Regionen mit maximaler Einstrahlung sind jedoch Wüsten- bzw. Trockengebiete, z.B. Sahara sowie Naher Osten)</p>
<p>Hilfe 2</p> <p>Wende den Wirkungsgrad η an, um die Nutzenergie (elektrische Energie) aus der eingestrahlten Sonnenenergie (s. M1) zu berechnen. $\eta = \frac{E_{Nutz}}{E_{Ges}}$</p>	<p>Antwort 2:</p> $\eta = \frac{E_{Nutz}}{E_{Ges}} \rightarrow E_{Nutz} = E_{Ges} \cdot \eta$ <p>Damit ergibt sich mit $E_{Ges} = 2-3 \text{ kWh/m}^2$ und Tag eine mögliche Erzeugung von 0,40 – 0,60 kWh/m² und Tag an elektrischer Energie. Zur weiteren Berechnung wird ein grobes Mittel von 0,50 kWh/m² und Tag angesetzt, was angesichts der südlichen Lage der BRD innerhalb des kartierten Bereichs konservativ ist.</p>
<p>Hilfe 3</p> <p>Wie hoch ist die insgesamt angenommen Fläche der PV-Anlagen auf Dächern und Freiflächen in der Zukunft, die zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt wird?</p>	<p>Antwort 3:</p> <p>Fläche insgesamt: $1.500 \text{ km}^2 + 3.000 \text{ km}^2 = 4.500 \text{ km}^2 = 4,5 \cdot 10^9 \text{ m}^2$ Gesamte Energiemenge pro Tag: $0,50 \text{ kWh/m}^2 \cdot 4,5 \cdot 10^9 \text{ m}^2 = 2,25 \cdot 10^9 \text{ kWh} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{d}}\right)$</p>
<p>Hilfe 4</p> <p>Wieviel der Energie aus Aufgabe 3 steht pro Person zur Verfügung?</p>	<p>Antwort 4:</p> <p>Pro Person und Tag verfügbare Energie</p> $\frac{2,25 \cdot 10^9 \text{ kWh}}{80 \cdot 10^6} = 28 \text{ kWh} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{d}}\right)$
<p>Hilfe 7</p> <p>Im Unterschied zu Dächern müssen Freiflächenanlagen i.d.R. auf bereits genutzten Flächen installiert werden. Überlege welche Nutzungen hier vorliegen und welche Probleme entstehen können.</p>	<p>Antwort 7</p> <p>Bestehende Nutzungen: Wälder und landwirtschaftliche Fläche (LNF)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Großfläche Rodung in Wäldern zur Vermeidung von Schattenbildung auf den Solarpaneelen • Verlust an Waldfläche • Bei LNF Nutzungskonflikt: Erzeugung von Nahrungsmitteln oder Energie, da bestehende PV-Anlagen knapp über Bodenhöhe (M2) montiert sind <p>Lösung für LNF: hybride Nutzung, d.h Installation der PV-Anlagen in mehreren Metern Höhe, so bleibt die Fläche darunter für Bepflanzung und Bewirtschaftung frei.</p>

Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte

Betrachte folgende Graphik. Sie zeigt die Stromproduktion aus Fotovoltaik in ganz Deutschland über jeweils einen 14 Tages-Zeitraum, d.h. in diesem Diagramm wird die Leistung gegen die Zeit aufgetragen

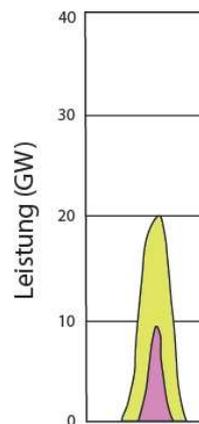


- 1) Erkläre, wie die Spitzen entstehen _____

- 2) Bestimme durch geeignete Abschätzungen die Energie die deutschlandweit am 17.6. erzeugt wurde und vergleiche sie mit der Energie am 17.12. Benutze unbedingt die Hilfekarten

- 3) Im Jahr 2022 benötigt Deutschland ca. eine Leistung von 65 GW in den 12 Stunden am Tag und von 55 GW in den 12 Nachstunden¹². Berechne die gesamte benötigte Energie pro Tag und den Anteil der Energie, die durch Solarenergie gewonnen werden kann an einem Winter und an einem Sommertag.

- 4) Interpretiere dein Ergebnis und erkläre, warum dieses Ergebnis für die zukünftige Energieversorgung ein Problem sein könnte. Nenne mögliche Lösungsansätze für dieses Problem!



¹² https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/power_generation/07.09.2021/07.09.2022/today/

Lösung: Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte

<p>Hilfekarte 1: Überlege dir, welche Einheit die horizontale Achse hat.</p>	<p>Antwort: Die horizontale Achse entspricht der Zeitachse</p>
<p>Hilfekarte 2: Wie groß ist die Zeiteinheit x, die im untenstehenden Bild dargestellt wird. Versuche klug zu schätzen und bedenke, dass es Juni ist.</p>	<p>Antwort: $x = 14h$ In etwa die Sonnenstunden im Juni.</p>
<p>Hilfekarte 3: Auf der anderen Achse ist die Leistung aufgetragen. Stelle einen Zusammenhang zwischen Leistung und Energie.</p>	<p>Antwort: $P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \Rightarrow \Delta E = P \cdot \Delta t$</p>
<p>Hilfekarte 4: Markieren die Leistung graphisch in der Zeichnung. Überlege dir dazu, welche geometrische Größe man mit Länge mal Breite berechnet.</p>	<p>Antwort: Flächeninhalt</p>
<p>Hilfekarte 5: Die Fläche, die diese Leistungskurve einschließt, zeigt die Energie, die in ganz Deutschland an diesem Tag ermittelt wurde. Das Rechteck weicht jedoch zu sehr vom tatsächlichen Wert ab. Versuche die Näherung zu optimieren.</p>	<p>Antwort: Eine Dreiecksfläche ist besser geeignet.</p>
<p>Hilfekarte 6: Stelle nun eine Formel auf, um die Energie im Juni genauer zu bestimmen.</p>	<p>Antwort: $\Delta E = \frac{1}{2} P_{Max} \cdot \Delta t$</p>
<p>Hilfekarte 7: Berechne die Gesamtenergie in kWh.</p>	<p>Antwort: $1,4 \cdot 10^8 kWh$</p>
<p>Hilfekarte 8: Bestimme die Energiemenge pro Einwohner:in (zur Erinnerung: das ist unsere Radfahrer-Robert-Einheit)</p>	<p>Antwort: 1,75 Roberts liefert die Solarenergie im Sommer.</p>

	(Ääh, ja, doch, nein, das ist zu wenig für die Energiewende)
<p>Hilfekarte 9: Berechne analog die Energiemenge im Dezember. Schritt 1: Ermittle P_{Max} im Winter und Δt aus dem Diagramm Schritt 2: Berechne $\Delta E_{Dezember}$ in der Einheit kWh Schritt 3: Berechne $\Delta E_{Dezember}$ pro Person in Deutschland</p>	<p>Antwort: Schritt 1: $P_{Max} = 10 \cdot 10^6 kW, \Delta t = 6h$ Schritt 2: $\Delta E_{Dezember} = 0,3 \cdot 10^9 kWh$ Schritt 3: $\Delta E_{Robert \text{ im Dezember}} = 0,375 kWh$</p>
<p>Hilfekarte 10: Nenne die Formel mit der man die Energie aus der Leistung berechnen kann! Unterteile die gesamte Zeitspanne in Zeiten mit konstanter Leistung und berechne dann die Energie!</p>	$\Delta E = P \cdot \Delta t$ $\Delta E = 65 \cdot 10^9 \cdot 12Wh + 55 \cdot 10^9 \cdot 12Wh$ $= 1440 \cdot 10^9 Wh$ $= 1,4 \cdot 10^9 kWh$
<p>Hilfekarte 11: Prozentuale Anteile berechnen</p>	<p>Anteil im Sommer: $\frac{1,4 \cdot 10^8 kWh}{1,4 \cdot 10^9 kWh} = 10\%$ Anteil im Winter: $\frac{0,3 \cdot 10^9 kWh}{1,4 \cdot 10^9 kWh} = 0,2\%$</p>
<p>Hilfekarte 12:</p>	<p>Im Sommer ist der Beitrag der Solarenergie relativ hoch, im Winter sehr gering, dh. die Solarenergie kann nur im Sommer einen wesentlichen Beitrag liefern. Um das Problem zu lösen, benötigt man entweder Energiequellen, die auch im Winter einen Beitrag leisten oder muss speichern.</p>

Versuche und weitere Hinweise

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>

