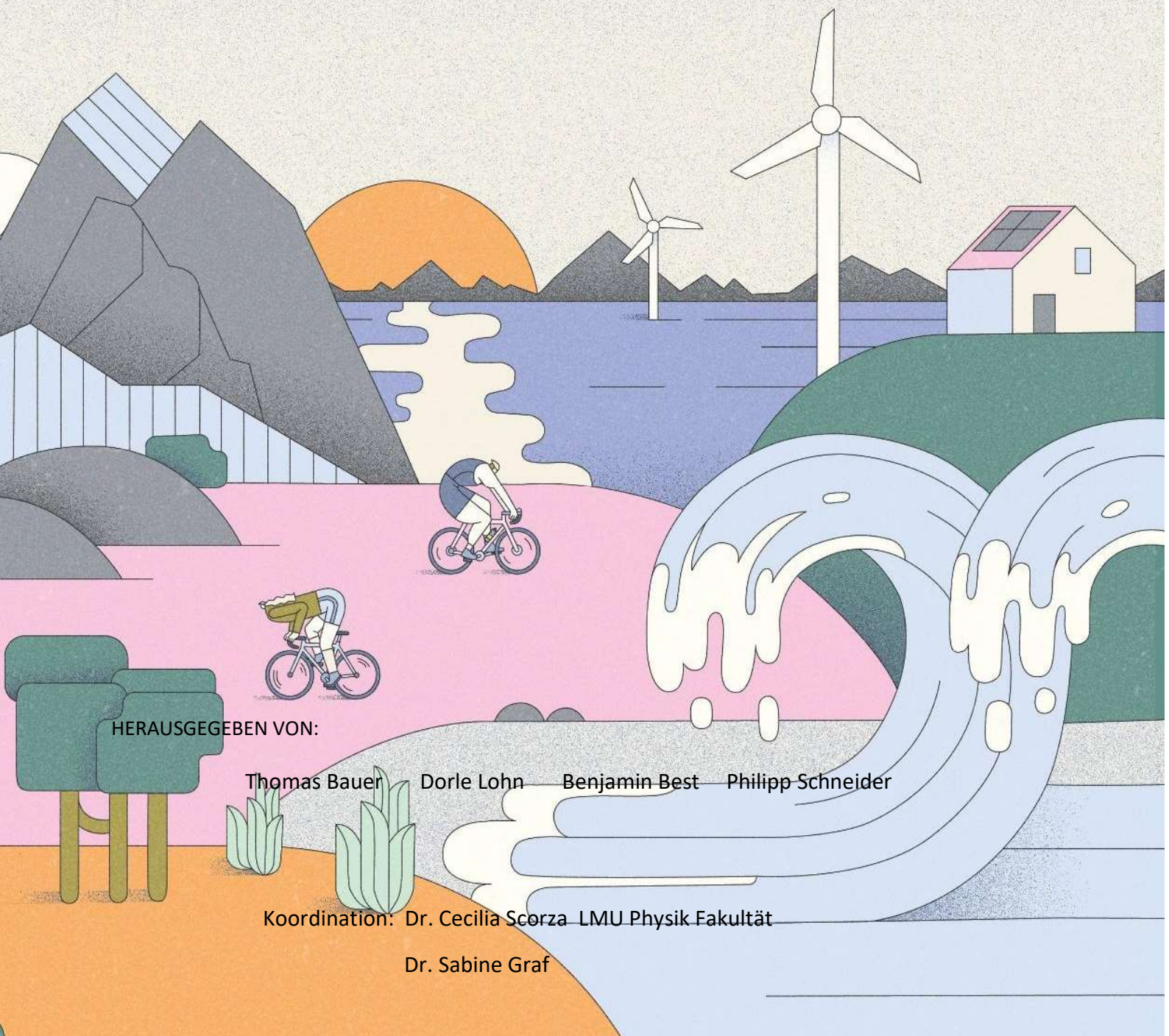
Erneuerbare Energien
zum Verstehen und Mitreden

Unterrichtsmaterialien für die Gymnasialstufe



HERAUSGEGEBEN VON:

Thomas Bauer Dorle Lohn Benjamin Best Philipp Schneider

Koordination: Dr. Cecilia Scorza LMU Physik Fakultät

Dr. Sabine Graf

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"? 16

Energieverbrauch- Energieflussdiagramme in Deutschland 20

Leitfaden: Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien 26

Energie, Leistung und Größenordnungen- Bewertung von Informationen 32

Hinweise zum Kapitel und zum Vorgehen 37

2. Wasserkraft 38

Energiegewinnung mit einem Wasserkraftwerk 39

Abschätzung der maximalen Energieerzeugung an Wasserkraft 44

Ausblicke und Experimente 48

3. Windenergie 50

Wind of Change oder The Answer Is Blowing In The Wind 52

Wind of Change oder The Answer Is Blowing In The Wind (selbsttätige Lernaufgabe) 58

Ausbau Windenergie – Wie schaffen wir das? 68

Ausblicke und Experimente zur Windkraft 75

4. Bioenergie 78

Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (Wirkungsgrad) 79

5. Solarenergie 84

Abschätzung des Beitrags der Solarenergie 85

Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte 87

6. Geothermie und Wärmepumpen 90

Arbeitsblatt: Wärme, Wärmefluss und Dämmen 91

Arbeitsblatt Druck: Manches geht auch mit Druck -Das Geheimnis der Wärmepumpe 100

Wärmepumpe: Wie heizt man mit der kalten Luft? 104

Wärmepumpe und Kühlschrank: Wie man Kondensieren nutzt! 111

Geothermie und Wärmepumpen – It's getting hot in here 114

Hinweise zum Aufbau der Stunden 119

Versuche und weitere Hinweise 121

7. Sonstige Energiequellen 124

Wellenenergie 125

Gezeitenenergie 127

Gezeitenenergie 133
Kernfusion und Kernkraftwerke 135
8. Energiebedarf und Speicher 137
Wasserstoff, Elektroauto oder E-Fuels- was könnte der Antrieb der Zukunft sein 138
Die Dunkelflaute - Was passiert wenn nichts mehr geht? 142
Speicherbedarf- eine Abschätzung der Realisierbarkeit 147
9. Faktencheck: Was bedeutet das für uns 148
Reichen die erneuerbaren Energien und was könnten wir tun? 149
Fakten vs. Behauptungen 153
Weitere Hinweise 156

Vorwort

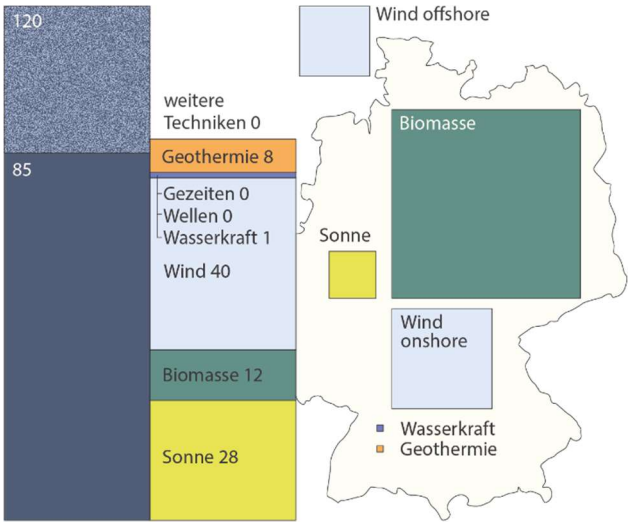
„2,4ct pro kWh soll der Gaspreis in Zukunft steigen“,

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Lehrplanbezug der Arbeitsmaterialien

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

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

1. Energie verstehen

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

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

In den Büchern:

S. 12-31

S. 2-26

Los geht‘s:

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

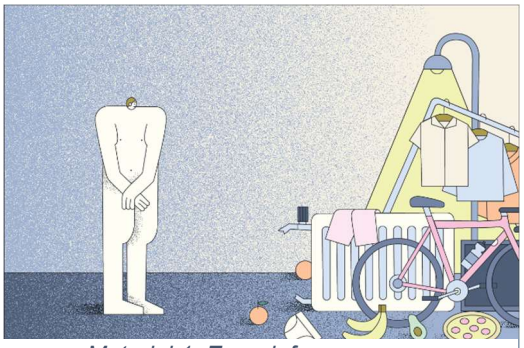
Im Laufe des Jahres sollen nach und nach das Potential der verschiedenen erneuerbaren Quellen abgeschätzt werden und mit dem Energiebedarf verglichen werden.

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

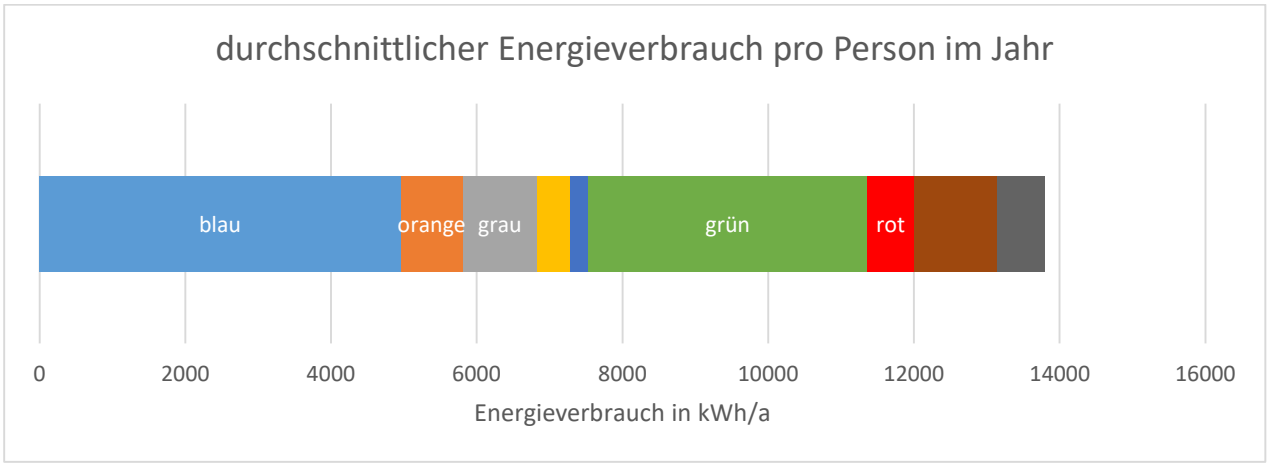
- Einführung Energie und Energieformen (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Einheiten der Energie (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Energieverbrauch in Deutschland und Energieflussdiagramm (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Leitfaden des Jahres
- Energie, Leistung und Größenordnungen- Bewertung von Informationen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

Everybody's Darling: Die Energie

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



Material 1 Energieformen



Material 2 Energieverbrauch pro Person im Jahr [1]

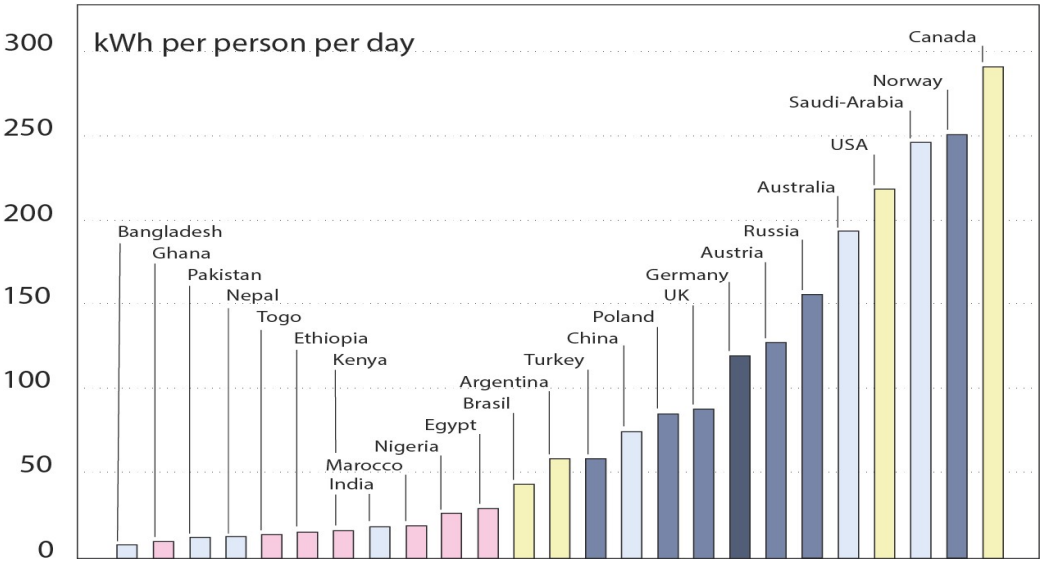
Farbe in der Graphik	Bereiche	Bereitgestellte Energieform	Energieträger	Maschine	Nutzbare Energieform
	Heizen				
	Alltagsfahrten (Mobilität)				
	Urlaubsfahrten (Mobilität)				
grau	Kochen, Kühlen	Elektrische Energie	Strom	Herd, Kühlschrank	Wärmeenergie
	Warmwasser				

Material 3 Tabelle

[1] https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/repraesentative-erhebung-von-pro-kopf-verbraeuchenweltbundesamt, S.101-125

3) Um Energie zu sparen, wird oft dazu aufgerufen, das Licht auszumachen. Erkläre anhand der Daten aus Material 2, das die Schwerpunktsetzung fürs Energiesparen in anderen Bereichen sein sollte und führe Beispiele auf. Erkläre dann, warum es trotzdem wichtig ist, das Licht auszumachen!

4) 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

5) Von 2008 bis 2019 ist der Energiebedarf für Klimakälte um 40% angestiegen[2].
Überlege Dir die benötigte Energieform und die dafür genutzten Maschinen. Gib Gründe an, warum dieser Trend sich wahrscheinlich fortsetzen wird!
Kennst du Maßnahmen, die Städte und Gemeinden oder unsere Schule nutzen, um das Aufheizen von Gebäuden zu reduzieren?

6) Auch der Mensch kann als „Maschine“ gesehen werden. Identifiziere die bereitgestellte und nutzbare Energieform.

7) 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

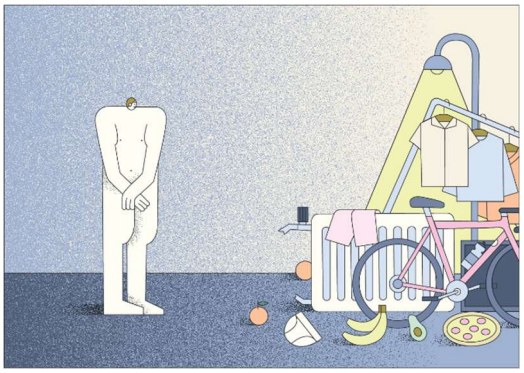
Lösungsvorschläge

1) Beschreibe Situationen im Alltag, in denen Energie eine Rolle spielt! Benenne außerdem die zughörige Energieform! Nimm hierzu Material 1 bei Bedarf zur Hilfe!

Lichtenergie, Energie durch Nahrung, Energie zum Sport machen, Energie zum Heizen, Energie um Kleidung herzustellen…

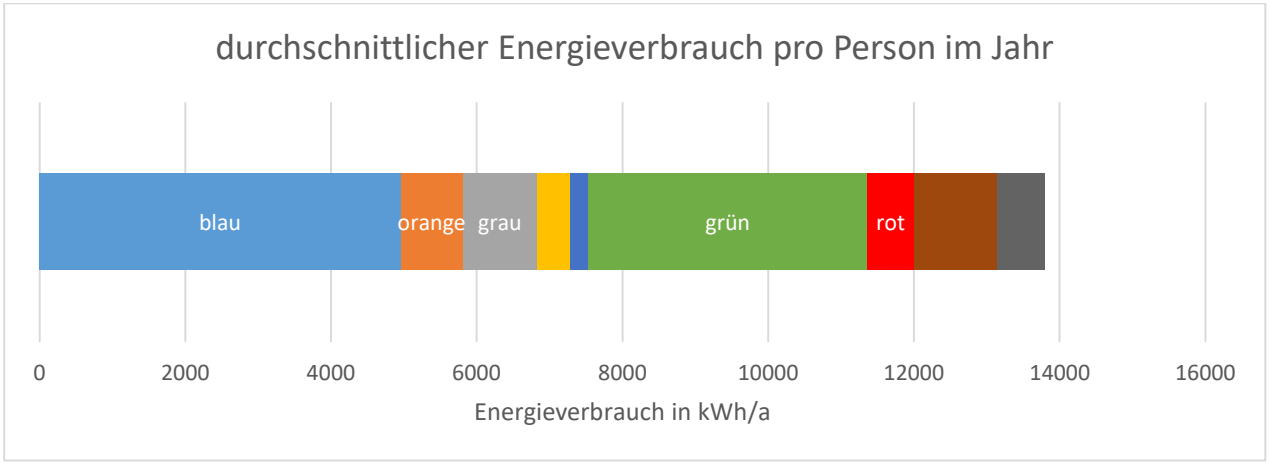
Bewegungsenergie/kinetische Energie
Chemische Energie: Energie in Nahrung, in Benzin…
Wärmenergie, Lichtenergie

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



Material 1 Energieformen

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 2 Energieverbrauch pro Person im Jahr [3]

[3] https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/repraesentative-erhebung-von-pro-kopf-verbraeuchenweltbundesamt, S.101-125

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

Material 3 Tabelle

Weitere Informationen:

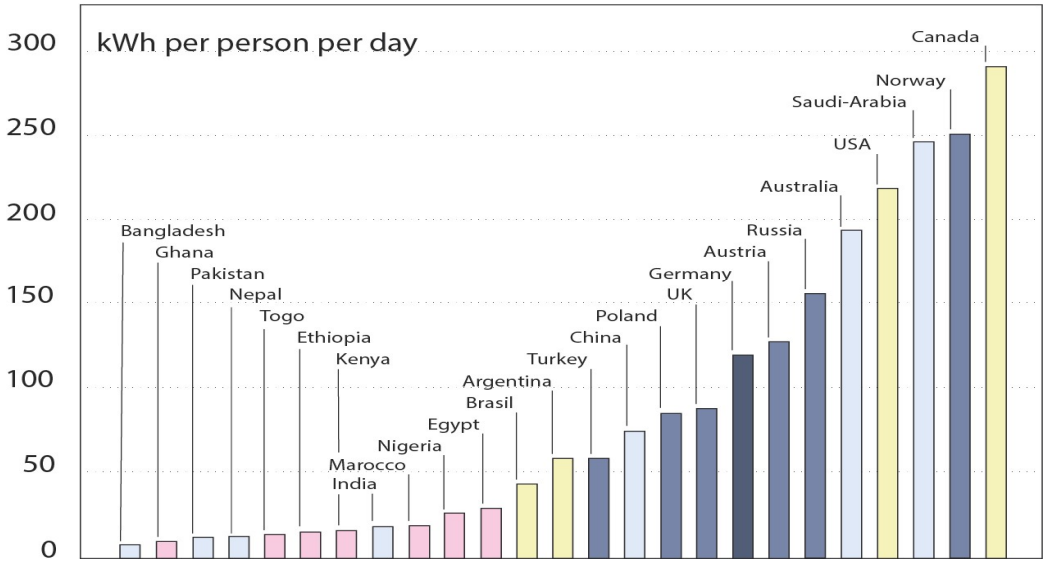
a) *Sonstige Energie im Haushalt beinhaltet: Energie für Waschen und Trocknen, für Medien, für Beleuchtung und für Sauna.*
b) *Energie für Nahrungsmittel beinhaltet die Energie, die für die Erzeugung notwendig ist, wie z.B. Treibstoff, Dünger usw.*
c) *In der Grafik ist der durchschnittliche Energieverbrauch 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.* [4] *Man könnte diesen Sachverhalt zu weiteren Diskussionen nutzen.*

3) Um Energie zu sparen, wird oft dazu aufgerufen, das Licht auszumachen. Erkläre anhand der Daten aus Material 2, das die Schwerpunktsetzung fürs Energiesparen in anderen Bereichen sein sollte und führe Beispiele auf. Erkläre dann, warum es trotzdem wichtig ist, das Licht auszumachen!
Die meiste Energie wird fürs Heizen und für die Mobilität verbraucht. Die Beleuchtungsenergie macht nur einen sehr geringen Anteil aus. Deshalb sollte man vor allem darauf achten, weniger Energie beim Heizen und der Mobilität zu verbrauchen zum Beispiel indem man richtig lüftet, die Häuser dämmt, weniger fliegt, weniger Auto fährt und stattdessen ÖPNV benutzt oder Fahrrad fährt. Da aber Energie generell kostbar ist und bei der Stromerzeugung CO2 ausgestoßen wird, ist

[4] https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/repraesentative-erhebung-von-pro-kopf-verbraeuchenf, S.101-125

es trotzdem sinnvoll, das Licht auszumachen, um mit wenig Aufwand wenn auch relativ wenig Energie zu sparen.

4) 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

Der 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.

5) Von 2008 bis 2019 ist der Energiebedarf für Klimakälte um 40% angestiegen[5].
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?

Bereiche	*Bereitgestellte Energieform*	*Energieträger*	*Maschine*
Kühlen	*Elektrische Energie*	*Strom*	*Klimaanlage*

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

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

6) Auch der Mensch kann als „Maschine“ gesehen werden. Identifiziere die bereitgestellte und nutzbare Energieform.

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.

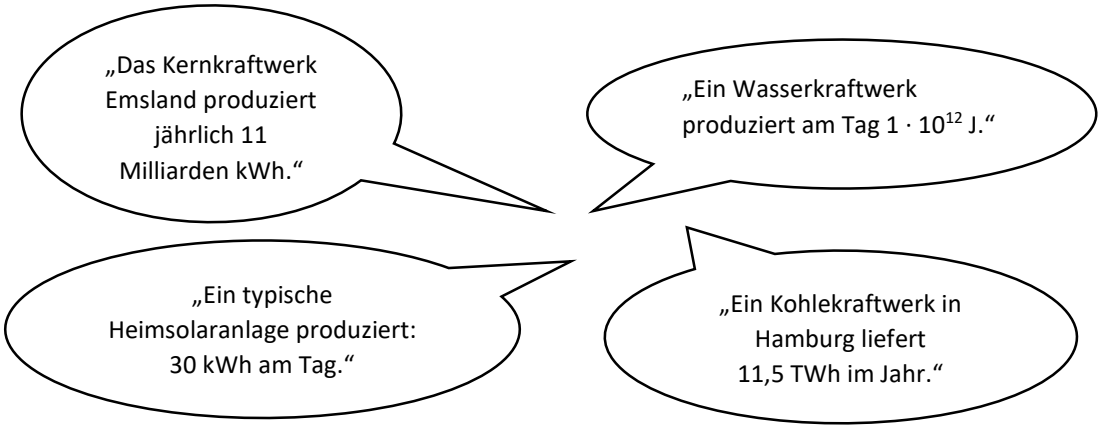
7) Beschreibe, was dein Körper und technische Geräte mit der zugeführten Energie machen und folgere daraus eine generelle Eigenschaft von Energie!

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

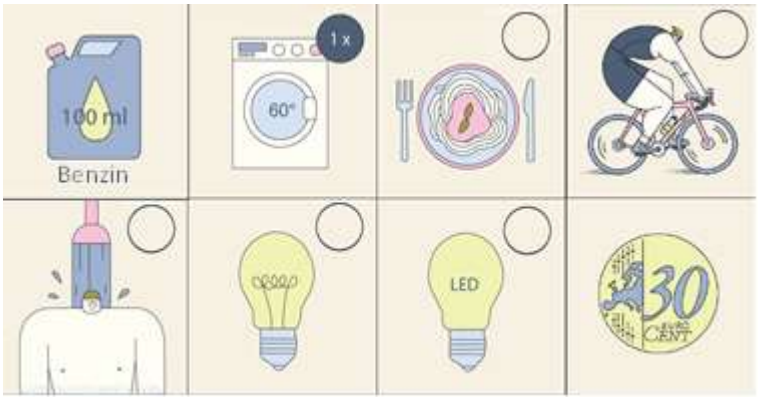


a) Überlege dir, warum es ohne Taschenrechner nicht möglich ist, diese Angaben zu vergleichen.
b) Entscheide welche der folgenden Aussagen stimmt:
   - Das Kohlekraftwerk in Hamburg liefert viel mehr Energie als das Kernkraftwerk Emsland.
   - Das Kernkraftwerk Emsland liefert viel mehr Energie als das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

Als Grundeinheit für Energiemengen wird im Alltag in der Regel die Einheit 1kWh verwendet. Um ein Gefühl diese Einheit zu bekommen hilft dir das folgende Video:
https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=S4O5voOCqAQ

Aufgabe 2:

a) 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!
b) 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.
c) 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.
d) 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!



e) 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 kWh = 3 600 000 J

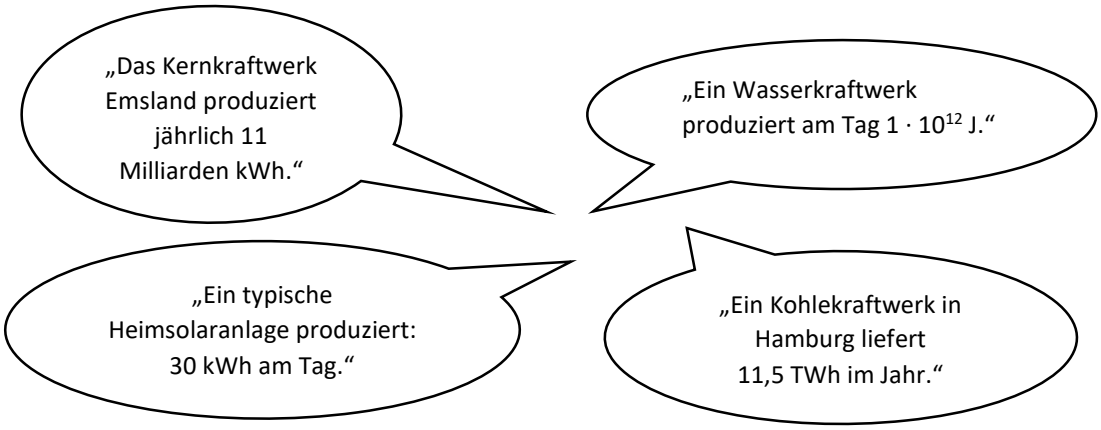
Berechne mithilfe der obigen Graphik die Energie in Joule, die benötigt wird, um 6 Minuten zu duschen. Erkennst du den Vorteil, die Energie in kWh anzugeben?

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

Energieeinheiten oder „Wer ist Robert?“ Lösungsvorschläge

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



a) Überlege dir, warum es ohne Taschenrechner nicht möglich ist, diese Angaben zu vergleichen.
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) 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.

Keine der Aussagen:
Kohlekraftwerk: $11\ Milliarden\ kWh = 11 \cdot 10^9 kWh$
Atomkraftwerk: $11{,}5\ TWh = 11{,}5 \cdot 10^{12} Wh = 11{,}5 \cdot 10^9 kWh$

Als Grundeinheit für Energiemengen wird im Alltag in der Regel die Einheit 1kWh verwendet. Um ein Gefühl diese Einheit zu bekommen hilft dir das folgende Video:
https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=S4O5voOCqAQ

Aufgabe 2:

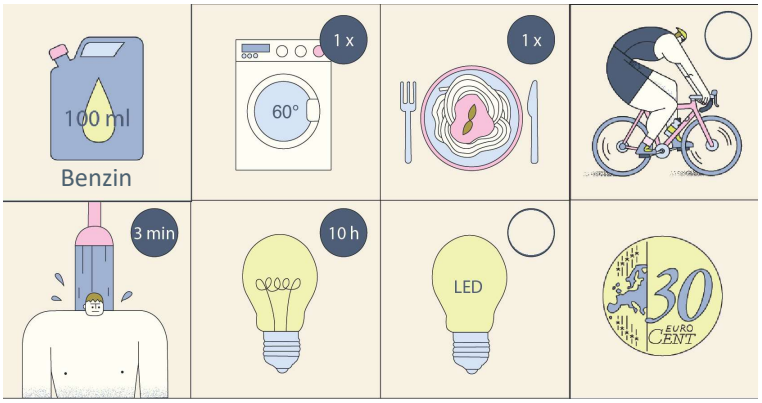
a) Überlege dir mithilfe des Videos, wie viele Roberts 2,5 min treten müssten, um 1kWh zu erzeugen. Ermittle dafür aus dem Video, welche Energie Robert in 2,5min erzeugt hat!

Ca. 50 Roberts bräuchte man, da im Video Robert $0{,}021 kWh$ erzeugt (bei Minute 2:28).

b) 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.

c) 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.

Damit kann eine LED $90h$ leuchten. Das Buch spricht von $60h$, jedoch gehen wir hier von modernen LEDs aus.



d) 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!

e) Überlege dir, warum in der Graphik 100ml Benzin und 30ct abgebildet sind!

Entspricht ebenso der Energie von 1kWh.

(Hier könnte man diskutieren, das Energie doch relativ billig ist)

Aufgabe 3:

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

1 kWh = 3 600 000 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?

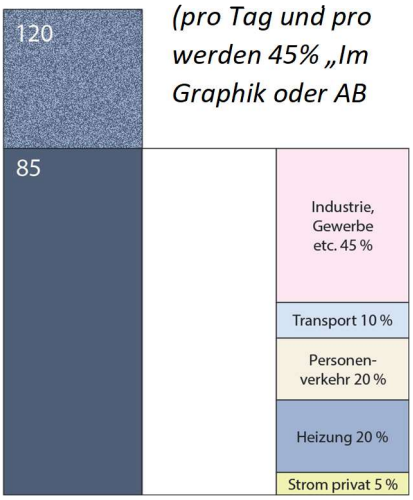
"Dieses Foto" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß CC BY

- *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.*

Hinweise zu den Quellen und weitere Informationen

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 werden 45% „Im Privaten“ verwendet (Heizung, Personenverkehr und privater Strom) siehe Graphik oder AB “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.



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 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 decke?

Wie hoch ist aber unser Energieverbrauch?

1)

a) Lies dir die Textauszüge aus Zeitungen durch und markiere die verschiedenen Begriffe für Energie! [6]

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!

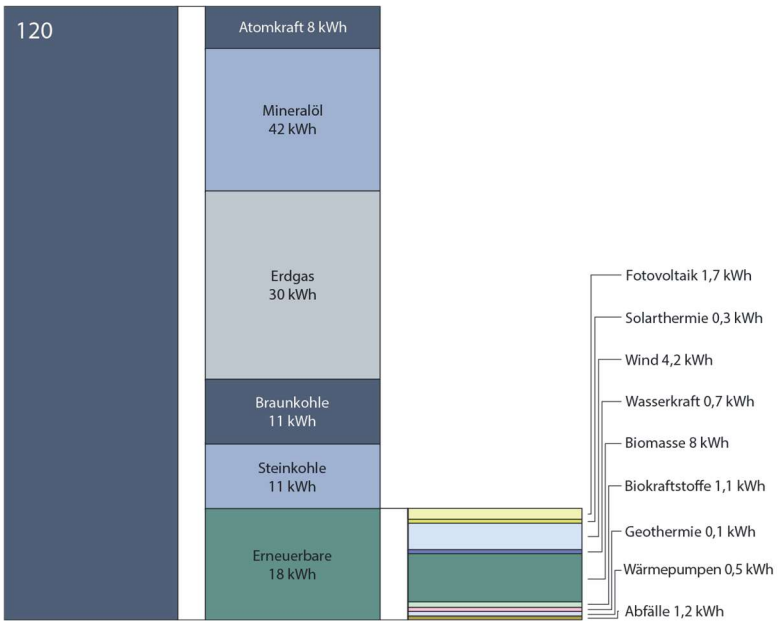
[6] https:/ /www.spiegel.de/wirtschaft/erneuerbare-energien-eu-laender-einigen-sich-auf-schnelleren-ausbau-a-5789fcc1-8f16-4845-97db-7bf2cc32fcdd,
https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/motor/elektroauto-und-akku-bisschen-energieverlust-beim-laden-16691739.html
https://meta.tagesschau.de/id/167295/oekostromanteil-im-ersten-halbjahr-deutlich-gestiegen

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. $9000\ PJ$. [7]
   a) Berechne jeweils den Primärenergieverbrauch und den Endenergieverbrauch in der Einheit kWh!
   b) Berechne dann, wie viel Primärenergie und Endenergie jeder Deutsche im Durschnitt pro Tag verbraucht! Bestimme, wie viele Radfahrer somit jeden Tag für uns treten müssen!
   c) Ein sportlicher Mann sollte ca. $10\,000\ kJ$ pro Tag essen. Ermittle, wie viel Prozent der gesamten genutzten Energie die Nahrung ausmacht.
5) Betrachte Material 1 und streiche alle Energieformen, die nach dem Kernausstieg wegfallen. Streiche dann alle, die wegfallen, wenn wir alle Energieformen streichen, die wegfallen, wenn wir auf fossile Energieträger verzichten.

   Beurteile dein Ergebnis und folgere daraus Erkenntnisse für die Zukunft.



Material 1 Primärenergieverbrauch in Deutschland

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

Energieverbrauch- Energieflussdiagramme in Deutschland Lösungsvorschläge

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

Könnten wir unseren heutigen Energiebedarf allein mit erneuerbaren Quellen decke?

Wie hoch ist aber unser Energieverbrauch?

1)

a) Lies dir die Textauszüge aus Zeitungen durch und markiere die verschiedenen Begriffe für Energie! [8]

Markierte Begriffe: Primärenergie, Endenergie, Strom, erneuerbare Energie

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.

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.

[8] 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

c) Nimm begründet zur Frage von Textauszug 3 Stellung!

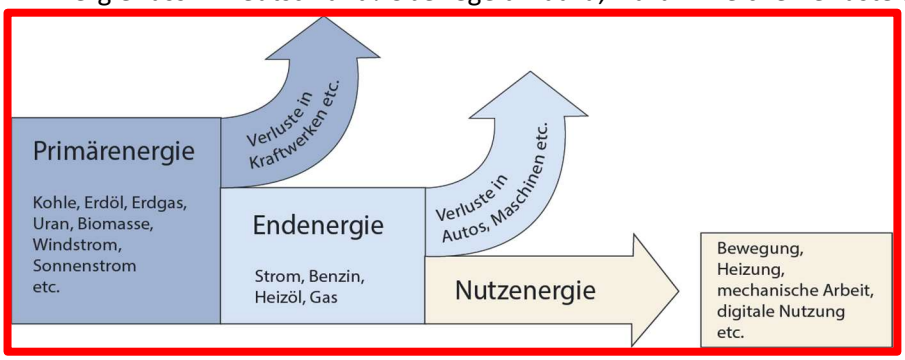
Nein, die Hersteller haben nicht beschönigt. Der Energieerhaltungssatz gilt zwar, aber nicht die gesamte Energie, die gespeichert wird, kann auch genutzt werden. Das liegt daran, dass bei der Umwandlung von der Energie, die getankt wird (der Endenergie) nur ein Teil in Nutzenergie also Bewegung umgewandelt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

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

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) 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. $9000\ PJ$. [9]

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

$$13\,000 \cdot 10^{15}\text{J} = 13\,000 \cdot 10^{15} \cdot 2{,}7 \cdot 10^{-7}\text{kWh} = 3{,}51 \cdot 10^{12}\text{kWh}$$
$$9000\ \text{PJ} = 9000 \cdot 10^{15} \cdot 2{,}7 \cdot 10^{-7}\text{kWh} = 2{,}43 \cdot 10^{12}\text{kWh}$$

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

$$3{,}51 \cdot 10^{12}\text{kWh} : 365 : 80\,000\,000 = 120\ \text{kWh}$$
$$2{,}43 \cdot 10^{12}\text{kWh} : 365 : 80\,000\,000 = 83\ \text{kWh}$$

120 Fahrradfahrer pro Tag bzw. 83 pro Tag

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

c) Ein sportlicher Mann sollte ca. $10\,000\ kJ$ pro Tag essen. Ermittle, wie viel Prozent der gesamten genutzten Energie die Nahrung ausmacht.

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

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

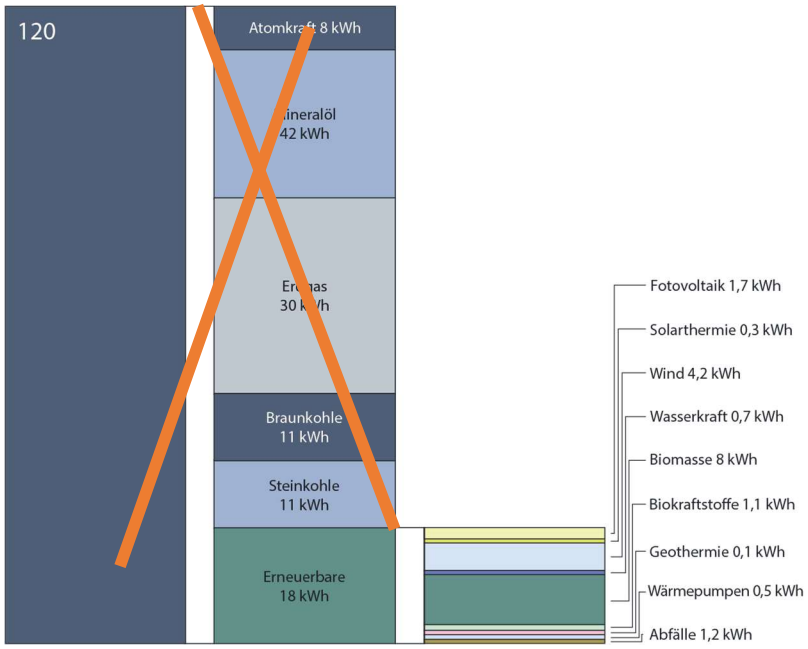
Primärenergie ist 44,4 mal mehr als die Energie, die wir an Nahrung zu uns nehmen.

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

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

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.

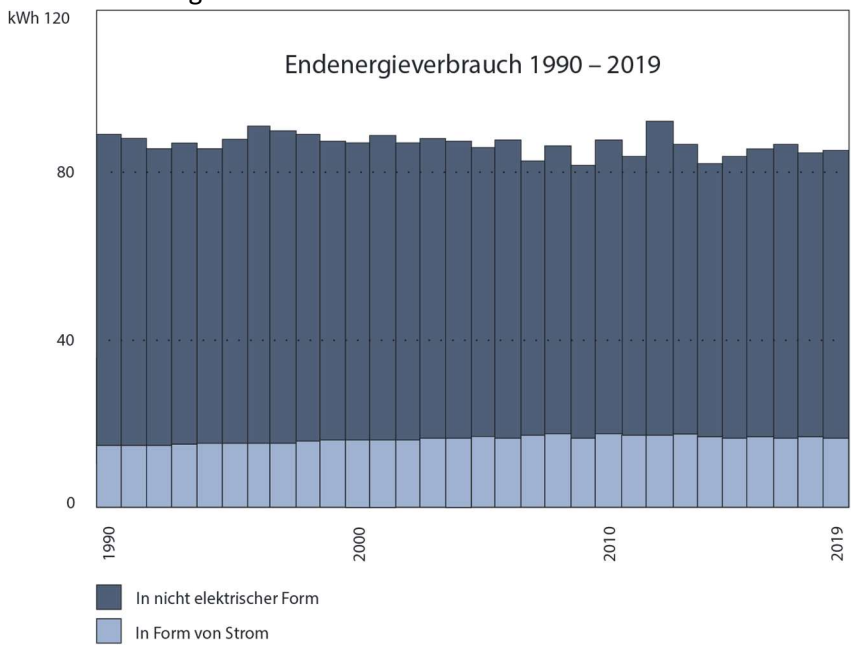
Beurteile dein Ergebnis und folgere daraus Erkenntnisse für die Zukunft.



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

Hinweise zu den Quellen und weitere Informationen

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



Leitfaden: Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien

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

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

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

2. **Mögliche Beiträge erneuerbarer Energien in der Zukunft**

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

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

   mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

   benötigte Fläche: _____ km²

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

   mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

   benötigte Fläche: _____ km²

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

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

   mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

   benötigte Fläche: _____ km² (onshore)

   _____ km² (offshore)

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

   mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

   benötigte Fläche: _____ km²

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

   mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

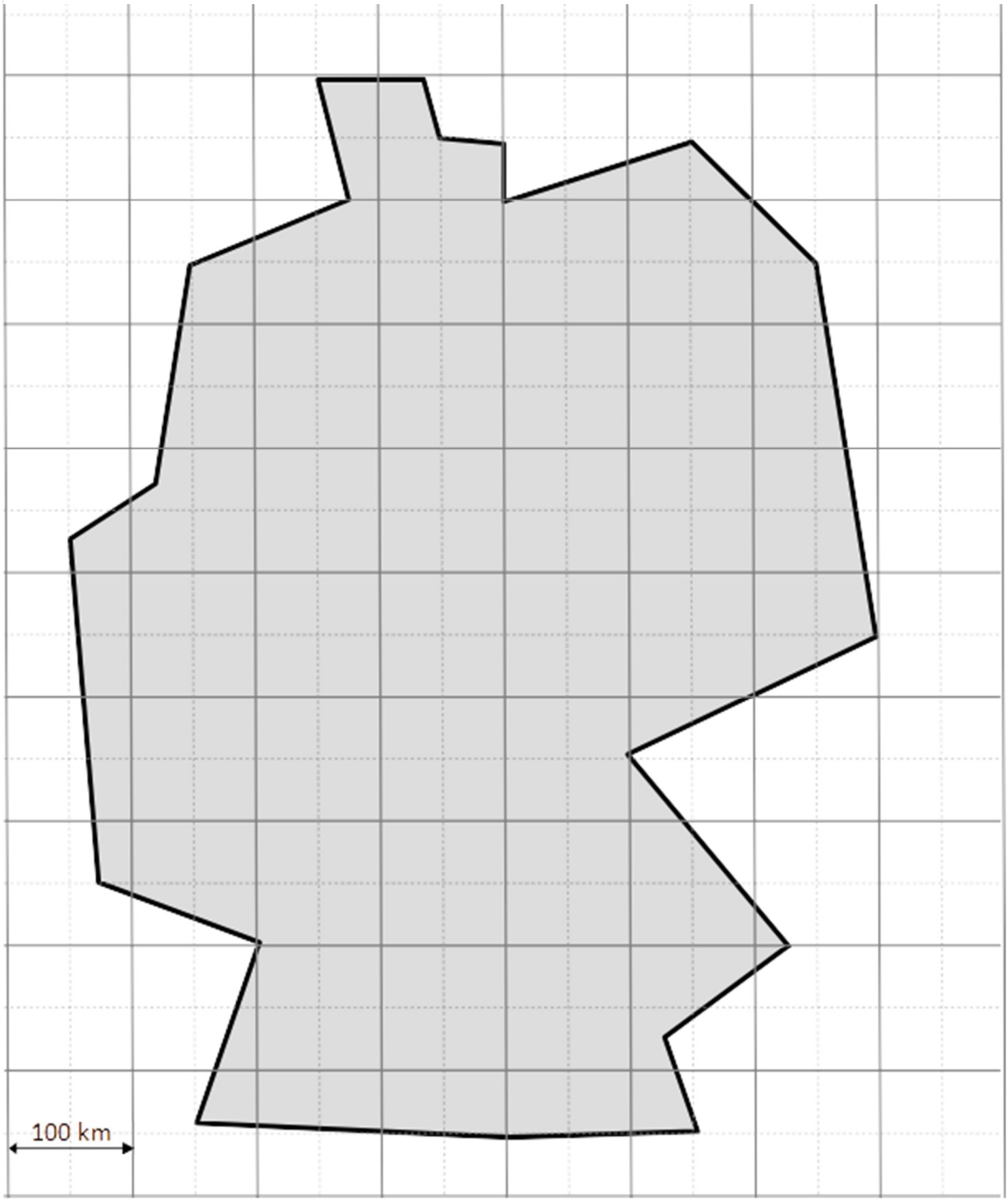
   benötigte Fläche: _____ km²

   f. Weitere Energieformen (optional)

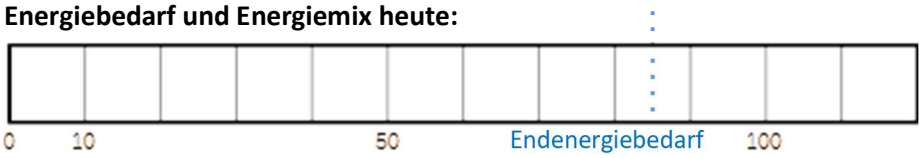
   a) Recherchiere welche weiteren Formen an erneuerbarer Energie es gibt und gib Gründe an, wieso diese keinen nennenswerten Beitrag zur Energiewende liefern.

   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

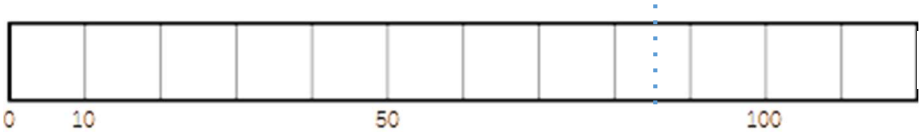


Energiebedarf und Energiemix heute:



_____ kWh pro Person und Tag

möglicher Energiemix der Zukunft:



_____ kWh pro Person und Tag

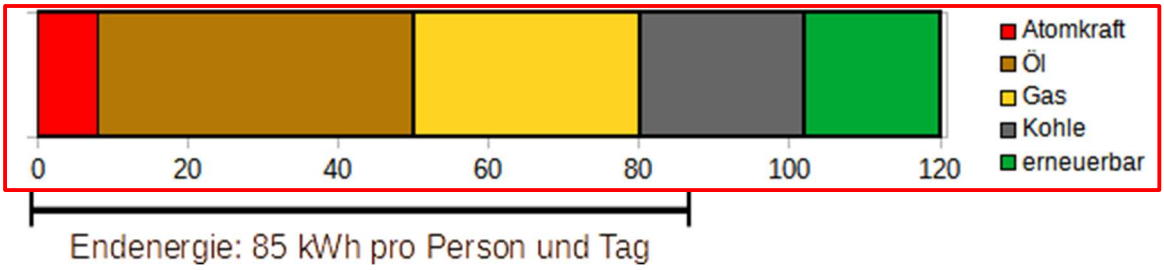
Lösungsvorschläge

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 (0,16km · 5)² · 40.000 = 25.600 km², offshore analog 12.800 km²

   c. **Wasserkraft**

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

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

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

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

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

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

   50% der Waldfläche = 0,5 · 0,33 · 357.000 km² = 58.905 km²

   20% der LNF = 0,2 · 0,5 · 357.000 km² = 35.700 km²

   e. **Geothermie**

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

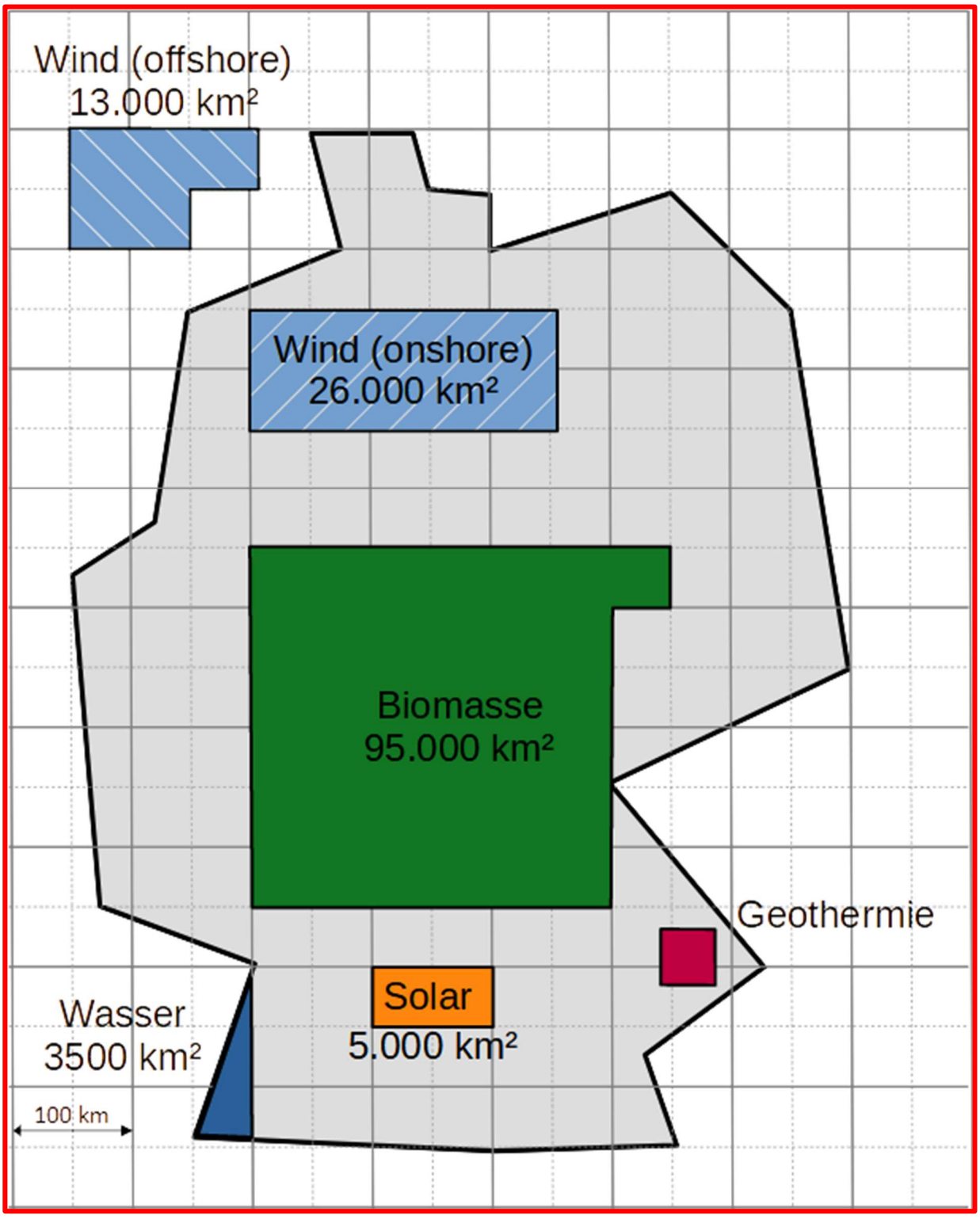
   benötigte Fläche: vernachlässigbar (1 kleines Kästchen)

Lösung f (s. Buch 88-105, 155-158)

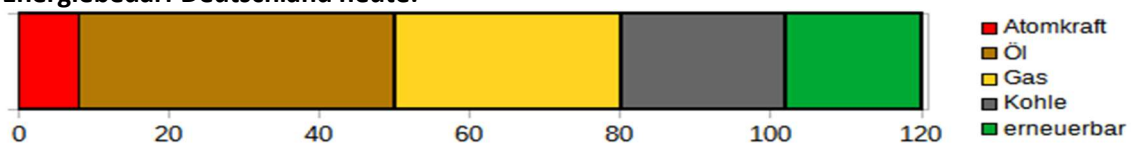
Wellenkraftwerke: geringes Potential (1-2 kWh pro Person und Tag), zu hoher technischer Aufwand, massivste Eingriffe in Ökosystem Meer, Folgen kaum abschätzbar

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

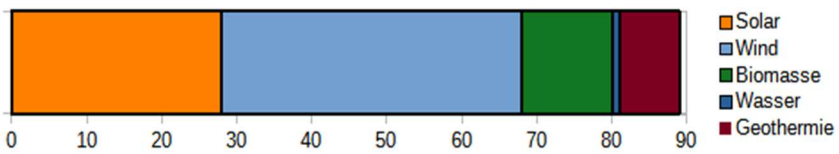
Kernfusion: bisher nur Versuchsreaktoren, positive Energiebilanz der Fusion (nicht des Gesamtsystems) bisher nur knapp erreicht, kein Dauerbetrieb möglich, marktreife Reaktoren noch in weiter Ferne, Bauzeit Großkraftwerke selbst dann mehrere Jahre bis Jahrzehnte



Energiebedarf Deutschland heute:



möglicher Energiemix der Zukunft:

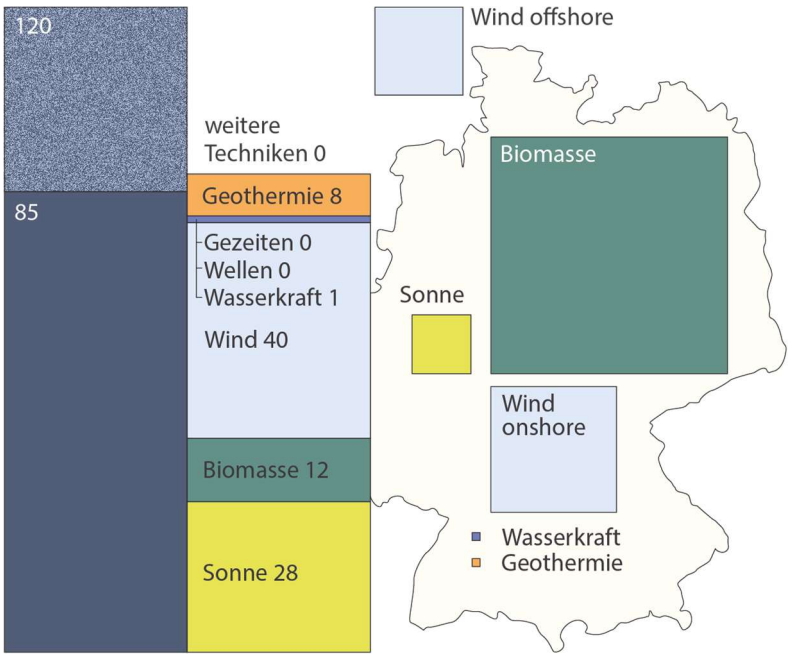


Hinweise zu den Quellen und weitere Informationen

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

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

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



Energie, Leistung und Größenordnungen- Bewertung von Informationen

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

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

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

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

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

2) Artikel der Esslinger Zeitung vom 27.2.2015

   Eifelturm ein Windrad

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

   Bei Spiegel Online erschien ein ähnlicher Artikel unter der Schlagzeile

   „Grünes Paris: Eifelturm produziert Windenergie“

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

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

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

Energiequelle Mensch – Cardio für den Smartphone-Akku

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

So funktionierts

Im Schnitt tritt ein Studiobesucher auf dem Ergometer mit 80 Watt in die Pedale. Eine halbe Stunde auf dem Gerät bringen knapp 40 Watt Leistung, was für die Aufladung eines Handys gleich mehrfach reicht.[10]

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

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

Energie, Leistung und Größenordnungen- Bewertung von Informationen

Lösungshinweise

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

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

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

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

a) Die Sonne hat eine Strahlungsleistung von $3{,}9 \cdot 10^{26} W$. Bestimme, welche Energie die Sonne im Jahr abstrahlt. Überlege dir, wie die Autoren auf den viel kleineren Betrag kommen und berichtige den Text.
   $E = P \cdot t = 3{,}9 \cdot 10^{26} W \cdot 365 \cdot 24h = 3{,}4 \cdot 10^{27} kWh$
   *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) Bewerte den zweiten Abschnitt über die Gewitter hinsichtlich der Relevanz der Informationen.
   Die gegebenen Größen Spannung und Geschwindigkeit haben zunächst gar nichts mit der Energiemenge zu tun. Ein Blitz hat zwar kurzzeitig wahnsinnig viel Leistung, aber die Energiemenge ist nicht besonders groß, da die Zeitdauer [12] ist mit ca. $0{,}01s$ *sehr klein. Die Stromstärke beträgt ca.* $100\,000\ A$ *[13]. Die Leistung beträgt somit* $P = U \cdot I = 100\,000\,000\ V \cdot 100\,000\ A = 1 \cdot 10^{13} W$*, die bereitgestellt Energie* $E = P \cdot t = 1 \cdot 10^{11} J = 27\,777\ kWh$*. Allerdings kommt nur ein Teil der Energie am Boden an und Strom und Spannung haben nicht zur gleichen Zeit ihre Maximalwerte, so dass die berechnete Energie zu groß ist.*
   Das Hauptproblem ist jedoch, dass man nie vorher weiß, wo die Blitze einschlagen und diese deshalb nicht auffangen kann.
   Der Vergleich mit der Glühlampe ist nicht zielführend, da eine $60\ W$ *Glühlampe in 1 ½ Jahren eine Energie von* $60\ W \cdot 1{,}5 \cdot 365 \cdot 24 = 78 kWh$ *benötigt, was bei einem Strompreis von 35ct 27,3 Euro entspricht.*

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

c) Erkläre, warum die Aussage im dritten Abschnitt des Textes keinen Sinn macht! Überlege dir dazu, welche Größe man in der Einheit Watt angibt und welche Bedeutung diese hat!

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) Artikel der Esslinger Zeitung vom 27.2.2015

Eifelturm ein Windrad

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

Bei Spiegel Online erschien ein ähnlicher Artikel unter der Schlagzeile

„Grünes Paris: Eifelturm produziert Windenergie“

a) In dem Zeitungsartikel wird eine physikalische Einheit völlig falsch verwendet, so dass die Aussage so keinen Sinn macht. Finde diese Stelle, benenne, welche physikalische Größe mit dieser Einheit bezeichnet wird, erkläre den Fehler, indem Du die Bedeutung dieser Größe erklärst, und berichtige den Text.

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

b) Berechne, welche dauerhafte elektrische Leistung der Eifelturm benötigt. Vergleiche mit der Leistung eines Hausanschlusses von 30kW.

$$P = \frac{E}{t} = \frac{6{,}7\ GWh}{365 \cdot 24h} = 765kW$$

25 fache eines Hausanschlusses

c) Welcher Eindruck wird in diesen Artikeln erweckt? Erkläre wodurch dieser Eindruck erweckt wird!
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) Beurteile, ob dieser Eindruck gerechtfertigt ist, indem Du die gegebenen Informationen bewertest!

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

Energiequelle Mensch – Cardio für den Smartphone-Akku

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

So funktionierts

Im Schnitt tritt ein Studiobesucher auf dem Ergometer mit 80 Watt in die Pedale. Eine halbe Stunde auf dem Gerät bringen knapp 40 Watt Leistung, was für die Aufladung eines Handys gleich mehrfach reicht.[14]

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

40Wh reicht wirklich für das Aufladen des Akkus mehrfach, genau genommen ca. $\frac{40\text{Wh}}{3\text{Wh}} = 13$ mal.
Die Kostenersparnis ist allerdings sehr gering, da 40Wh Strom $\frac{40}{1000} \cdot 35\text{ct} = 1{,}4\text{ct}$ kosten.
Ökologisch ist der Beitrag auch überschaubar, da die Produktion einen Energiebedarf von $220\ \text{kWh}$ 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.

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

Hinweise zum Kapitel und zum Vorgehen

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

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

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

Hefteieintrag

Wir benötigen für alles, was wir machen Energie.

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

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

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

Energie kann ineinander umgewandelt werden!

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

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

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

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

2. Wasserkraft

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

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

In den Büchern:

S. 74-86

S. 86-92

Los geht's:

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

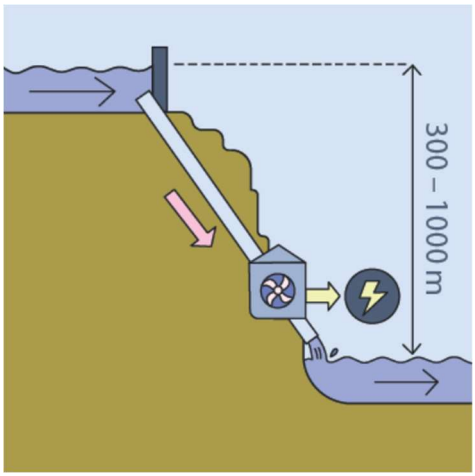
- Grundprinzip Wasserkraft (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Abschätzung der maximalen Energieerzeugung durch Wasserkraft (Arbeitsblatt mit gestuften Hilfen)
- Lösung
- Ausblicke und Ergänzungen

Energiegewinnung mit einem Wasserkraftwerk

Aufgabe 1:

Hier siehst du die schematische Abbildung eines Wasserkraftwerks.

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



Aufgabe 2:

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

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

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

"Dieses Foto" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß CC

Aufgabe 3:

Berechne die maximale elektrische Energie, die das Walchenseekraftwerk pro Tag liefern kann. Gehe davon aus, dass $\frac{1}{4}$ der Energie bei der Turbine in Wärme umgewandelt wird und das obere Becken 200m über dem unteren liegt.

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. Begründe den Unterschied.

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:

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

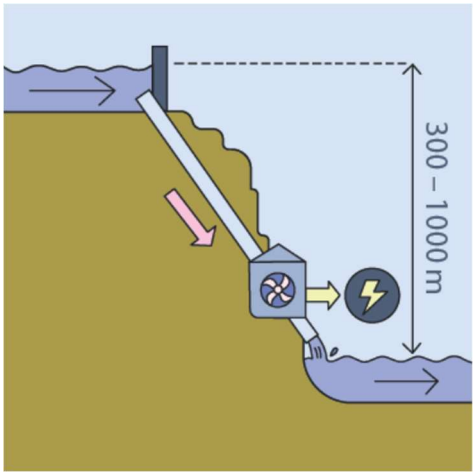
Masse von Wasser: $1m^3 = 1 \cdot 10^3 kg$

Hilfekarte 3:

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

Energiegewinnung mit einem Wasserkraftwerk Lösungshinweise

Aufgabe 1:



Hier siehst du die schematische Abbildung eines Wasserkraftwerks.

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

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:

"Dieses Foto" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß CC

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.

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

Aufgabe 3:

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 und das obere Becken 200m über dem unteren liegt. Die Masse eines m^3 Wasser und die Umrechnung von J zu kWh findest du auf der Hilfekarte 2.

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

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

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

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

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

Aufgabe 4 (optional):

Vergleiche den in Aufgabe 3 berechneten Wert mit dem tatsächlichen Wert, den das Kraftwerk pro Jahr produziert. Begründe den Unterschied!

Die jährlich produzierte Energiemenge findest du auf Hilfekarte 3.

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

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

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

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

Hinweise zu den Quellen und weitere Informationen

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

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

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

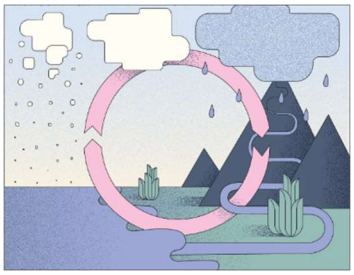
Das Kraftwerk wird kritisiert, weil es den natürlichen Lauf der Isar verhindert. Dadurch werden Tiere und Pflanzen verdrängt und die Isar erhält einen niedrigeren Wasserstand.
Man sieht so, dass auch Wasserkraft ökologische Folgen hat.

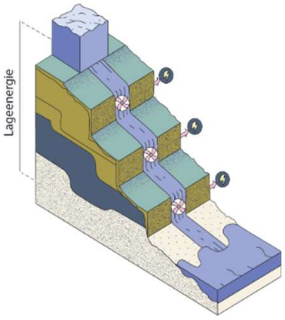
Abschätzung der maximalen Energieerzeugung an Wasserkraft

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.[16] 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	☐	0,7 kWh pro Tag und pro Person
B	Windenergie	☐	1,7 kWh pro Tag und pro Person
C	Wasserenergie	☐	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!

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

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!	
Schritt 2 Recherchiere die durchschnittliche Niederschlagsmenge in Deutschland pro m^2 und eine ungefähren Wert der Fläche Deutschlands. Berechne aus diesen Daten die gesamte **Masse** des Niederschlags in einem Jahr. $(1km^2 = 10^6 m^2)$	**Antwort 1** Höhenenergie $E_{Höhe} = m \cdot g \cdot h$
Schritt 3 Recherchiere die durchschnittliche Höhe des Geländes in Deutschland.	**Antwort 2** Ca. 800l pro m^2 **Tipp: 1l Wasser entspricht 1kg** Fläche Deutschland 357 581 km^2 bzw. $36 \cdot 10^{10} m^2$ $m = 36 \cdot 10^{10} m^2 \cdot 800kg/m^2 = 2{,}88 \cdot 10^{14}$ kg
Schritt 4 Berechne mit den recherchierten bzw. berechneten Größen die gesamte Energie, die durch Wasserkraft bereitgestellt werden kann.	**Antwort 3** h = 263m
Schritt 5 Rechne die Energie in kWh um!	**Antwort 4** $E_{Höhe} = 2{,}88 \cdot 10^{14}$ kg $\cdot$ 9,81 m/s^2 $\cdot$ 263m $= 7{,}43 \cdot 10^{17}$ J
Schritt 6 Rechne die Energie in kWh pro Tag und Person um und vergleiche den Wert mit dem Gesamtenergiebedarf von 125 kWh pro Tag und Person!	**Antwort 5** $E_{Höhe} = (7{,}43 \cdot 10^{17}) : 360\,000$ kWh = $= 2{,}1 \cdot 10^{11}$ kWh
Gründe, warum die Abschätzung zu großzügig ist: • Nicht jeder Regentropfen sammelt sich in Flüssen • Nicht die gesamte Energie wird in elektrische Energie umgesetzt	**Antwort 6** $E_{Höhe_Gesamt} = 2{,}1 \cdot 10^{11}$ kWh $E_{Höhe_proPers_proTag} = (2{,}1 \cdot 10^{11}$ kWh$) : 365 : 80\,000 = 7{,}0$ kWh $7/120 \approx$ Realistisch ca. 1kWh pro Person und Tag

Hinweise zu den Quellen und weitere Informationen

Weitere Informationen über die Möglichkeiten von Wasserkraft in Deutschland

Broschüre zur Energie in Österreich:

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

Potenzial von Wasserkraft in Deutschland beim Umweltbundesamt:

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.
- Dies entspricht 3,2 kWh pro Person und pro Tag.
- Davon sind 1,4 kWh pro Tag und pro Person technisch nutzbar.
- Aktuell werden in Deutschland 0,6 bis 0,8 kWh pro Person pro Tag genutzt.

Natürliche und künstliche Nutzung der Wasserkraft

- In Deutschland gibt es etwa 7.600 Wasserkraftanlagen.
- Davon sind 31 Pumpspeicherkraftwerke zur Speicherung von Energie, davon verfügen elf über einen natürlichen Zufluss. In diesen elf Anlagen dient Wasserkraft daher als erneuerbare Energie.
- Siehe auch die folgende Karte:

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

Rückseite des 2. Arbeitsblattes oder Seit

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:

- Nutzung der Flüsse für die Schifffahrt.
- Der Regen, der direkt im Grundwasser versickert, steht nicht mehr 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).

Länder, in denen über 50 Prozent des erzeugten Stroms aus der Wasserkraft stammen:

- Italien
- Luxemburg
- Österreich
- Schweiz
- Schweden

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.

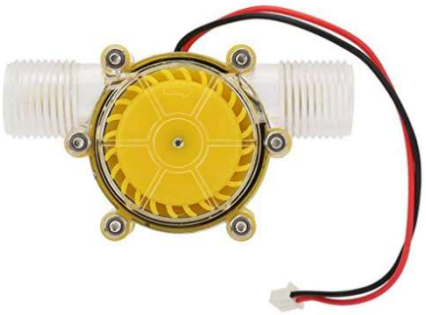
Fazit

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.

ist.

Ausblicke und Experimente

Experimentaufbau



Mit dieser z.B. bei üblichen Onlinehändlern erhältlichen Turbine mit integrierten Generator, etwas Basteltalent, einer aufgeschnittenen PET Flasche und Schlauchmaterial aus dem Baumarkt, können verschiedene Versuche zur Spannungsgewinnung mit Wasser durchgeführt werden.

Zusammenbauvideo :https://youtube.com/shorts/tYK3Ik25I4E

Luftblasen im Schlauch behindern das Drehen der Turbine, deshalb am Besten das Wasser schwallartig und schnell einfüllen

Versuch 1 Mit fallendem Wasser eine LED zum Leuchten bringen

Eine LED mit Vorwiderstand wird angeschlossen und durch das Wasser zum Leuchten gebracht.
https://youtube.com/shorts/C15yBcxem64?feature=share

Durch Heben und Senken des Wasserzuflusses kann man zeigen, dass die Helligkeit der LED von der Fallhöhe abhängt.

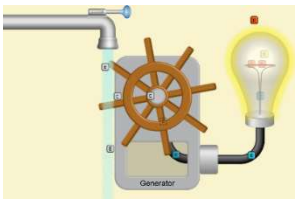
Versuch 2 Spannung bzw. Leistung in Abhängigkeit von der Höhe messen

Indem man ein Voltmeter (entweder direkt oder über 1kOhm Widerstand) anschließt, kann man zeigen, dass sich die Spannung (bzw. die Leistung) mit der Höhe ändert.

https://youtube.com/shorts/20JS2jTEyJ4
https://youtube.com/shorts/yukXNsk_a2A
Bei vorhandener Ausstattung (z.B. Pasco Sensoren) kann man auch Leistung/ Energie direkt messen und versuchen z.B. 1mWh zu erzeugen.

Versuch 3 Betrieb am Wasserhahn

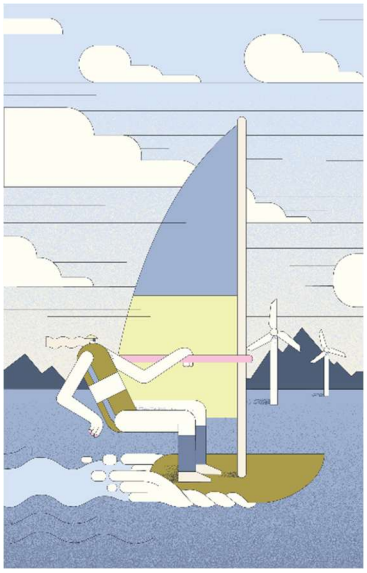
In den meisten Sälen kann man die Turbine auch direkt an den Wasserhahn am Pult anschließen. Dazu wechselt man am besten dort den Hahnaufsatz. Dann kann man problemlos ein Glühbirnchen zum Leuchten bringen und so das Kraftwerk mit mehreren Hundert Metern Höhenunterschied zu veranschaulichen.



Videolinks und Simulationen

- Sendung mit der Maus vom Pumpspeicherwerk- https://kinder.wdr.de/tv/die-sendung-mit-der-maus/av/video-wie-funktioniert-ein-pumpspeicherwerk-100.html
  Leider mit Fehlern in der Fachsprache (Kraft/Wucht statt Energie)
- Dieser ScienceSlam erklärt Energieerhaltung/Energieentwertung u.a. am Wasserkraftwerk. Leider sehr starker Fokus auf Energie https://www.youtube.com/watch?v=qRMnpV5E5J8
- Mit der phet Simulation https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_de.html kann man die Umwandlungen visualisieren, kommt aber den realen Zusammenhängen nur begrenzt nahe.
- 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.

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 an sich 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 $V = A \cdot x = A \cdot v \cdot t$.

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

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

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

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

In den Büchern:

S. 60-73

S. 68-84

Los geht‘s:

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

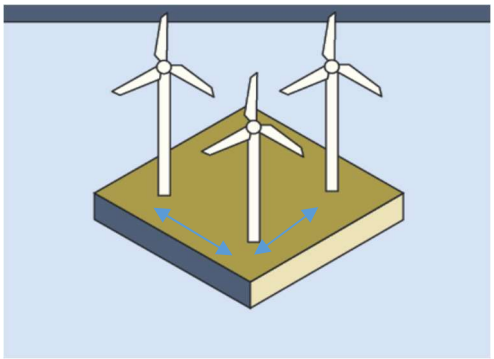
Die Schüler sollten die Formel der kinetischen Energie kennen.

- “Wind of Change”: Abschätzung des Potentials der Windenergie wenn 7% der Fläche Deutschlands benutzt werden (stark geführtes Arbeitsblatt)
- “Wind of Change”: Abschätzung des Potentials der Windenergie wenn 7% der Fläche Deutschlands benutzt werden (vereinfachtes Arbeitsblatt)
- Grundlagen einer Windkraftanlage
- Windenergie politisch betrachtet

Wind of Change oder The Answer Is Blowing In The Wind

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

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

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

   Berechne mit Hilfe des Ergebnisses aus 4) die elektrische Energie in kWh, die auf einem Quadratkilometer innerhalb von $24\ h$ erzeugt werden kann.
8) Nimm an, dass 7% der Landesfläche von Deutschland besetzt werden können.
   (Landesfläche Deutschland = 357.588 km²)

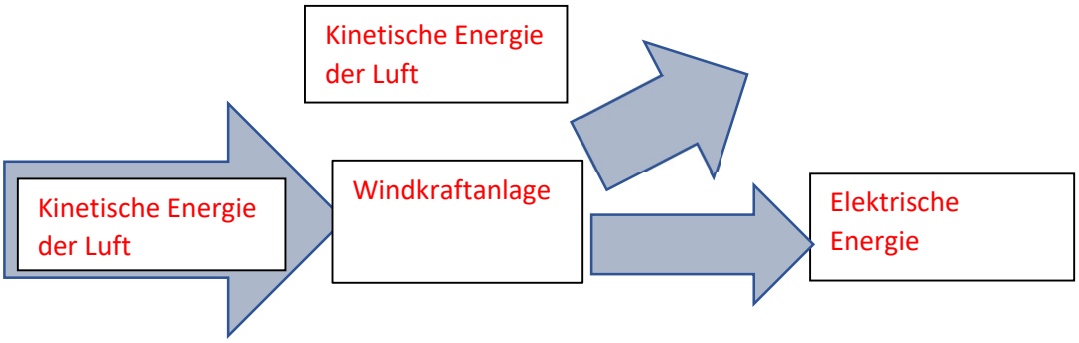
   a) Berechne aus dem Ergebnis von 4) das Potential der Windenergie für Deutschland in kWh.
   b) Berechne die Anzahl der dafür benötigten Windkraftanlagen_____ (vgl Aufgabe 7)
   c) Berechne die Energie pro Person und Tag, die die Windenergie Onshore in Deutschland bereitstellen kann.

9) Offshore (also im Meer) ist die Windgeschwindigkeit größer. Anhand der Größe der Küsten in Deutschland steht eine von ca. 12 500 km² 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.

Wind of Change oder The Answer Is Blowing In The Wind Lösungshinweise

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

1) Zeichne das Energieflussdiagramm einer Windkraftanlage, welches die Rolle der Luft bzw. des Windes enthält.

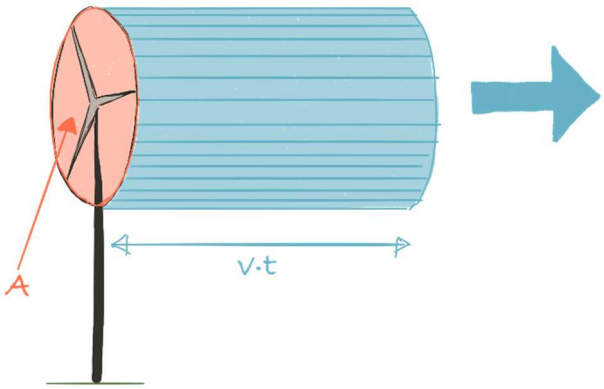


2) Schon 1919 bewies der deutsche Physiker Albert Betz, dass nur maximal 59% der Windenergie in elektrische Energie umgewandelt werden können. Der Grundgedanke zu seinen Überlegungen ist sehr einfach: Beschreibe, was passieren würde, wenn ein Windrad 100% der Windenergie in elektrische Energie umwandeln würde.
Beschreibe, was passieren würde, wenn ein Windrad 100% der Windenergie in elektrische Energie umwandeln würde.

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) 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.

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) 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.

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

$$(m = \rho \cdot A \cdot t \cdot v = 2{,}29 \cdot 10^8 kg = 1{,}24\frac{kg}{m^3} \cdot 2500m^2\pi \cdot 60 \cdot 60s \cdot 6{,}5\frac{m}{s})^{17}$$

5) Wir nehmen an, das Windrad würde 50% wirklich in elektrische Energie umwandeln. Bestimme, welche elektrische Energie erzeugt werden würde.

$1{,}34 \cdot 10^3\ kWh \cdot 0{,}5 = 6{,}7 \cdot 10^2\ kWh$ pro Stunde wird erzeugt

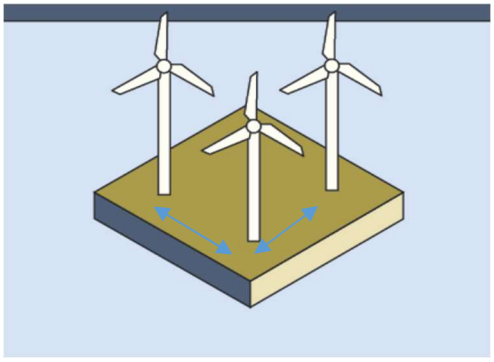
6) Bestimme dann, die Geschwindigkeit der Luft nach dem diese durchs Windrad geströmt ist.

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

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

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

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



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

Berechne mit Hilfe des Ergebnisses aus 4) die elektrische Energie in kWh, die auf einem Quadratkilometer innerhalb von 24 h erzeugt werden kann.

Ergebnis aus 5: $6{,}7 \cdot 10^2\ kWh$

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

[17] Herleitung siehe weiter Hinweise

8) Nimm an, dass 7% der Landesfläche von Deutschland besetzt werden können.
(Landesfläche Deutschland = 357.588 km²)

a) Berechne aus dem Ergebnis von 4) das Potential der Windenergie für Deutschland in kWh.
Energie in Deutschland
Fläche: $A = 360\,000\ km^2 \cdot 0{,}07 \approx 25000\ km^2$
Energie: $E = 6{,}4 \cdot 10^4 \frac{kW}{km^2} \cdot 25000\ km^2 = 1600000000\ kWh = 1{,}6\ Mrd\ kWh\ am\ Tag$

b) Berechne die Anzahl der dafür benötigten Windkraftanlagen_____ (vgl Aufgabe 7)
$25000 \cdot 4 = 100\,000$ 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) Berechne die Energie pro Person und Tag, die die Windenergie Onshore in Deutschland bereitstellen kann.

$\frac{1600000000\ kWhh}{80000000} = 20\ kWh$ pro Tag und Person

9) Offshore (also im Meer) ist die Windgeschwindigkeit größer. Anhand der Größe der Küsten in Deutschland steht eine von ca. 12 500 km² 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.

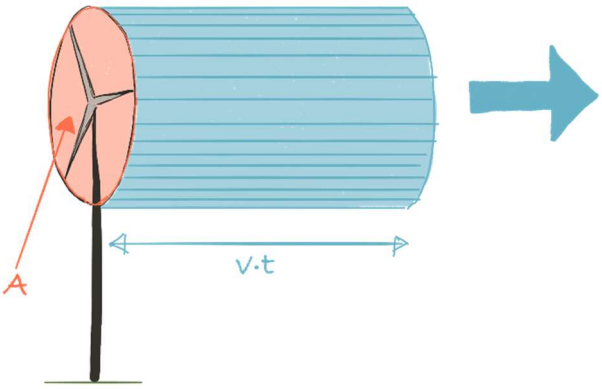
Energie wieder $20\ kWh$ pro Tag und Person, da die Fläche halb so groß die Energie aber doppelt so groß ist.

Hinweise zu den Quellen und weitere Informationen

Herleitung der Massenformel

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

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



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

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
$\rho = 1{,}25\ \frac{kg}{m^3}$.
$\rho = \frac{m}{V}$.also gilt
$m = \rho \cdot V$.
Nun brauchen wir das Volumen des Luftzylinders

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

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

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

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

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

Hinweise zum Vorgehen:

- Das Thema Windkraft ist hoch aktuell von hoher gesellschaftlicher Relevanz. Die Aufgabe ist eine 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:

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

Zur Qualität der angegebenen Werte:

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

Wind of Change oder The Answer Is Blowing In The Wind
(selbsttätige Lernaufgabe)

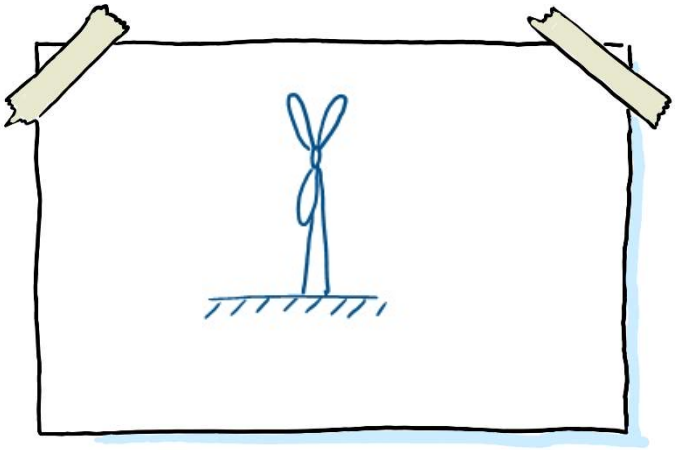
Über die Nutzung von Windkraft wird viel diskutiert - vielleicht auch in deiner Gemeinde. Deshalb wollen wir hier klären, warum die Windräder in den letzten Jahren immer höher und größer werden und zusätzlich die Energiemenge abschätzen, die in Deutschland durch Windkraft erzeugt werde kann.

Aufgabe 1: Vorüberlegungen

a) Was ist Wind? Bevor wir uns Gedanken über Windkraftanlagen und Energie machen, müssen wir besser verstehen was Wind ist, wie dieser zustande kommt und woher dieser seine Energie bekommt. Betrachte das Video und den Text!

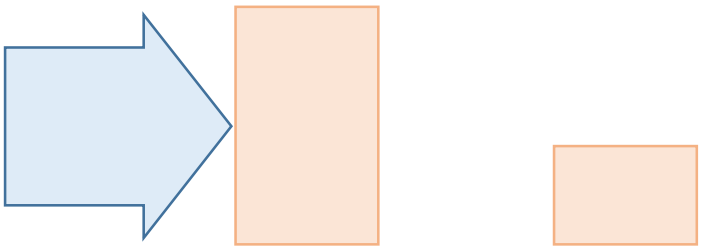
- Video von TerraX bis Minute 0:55
  https://www.youtube.com/watch?v=I_rNIsBJ82k
- *Wind entsteht immer dann, wenn sich der Luftdruck zwischen zwei Orten unterscheidet. Um den Druckunterschied auszugleichen fließt die Luft von den Gebieten mit hohem Luftdruck zum niedrigen Luftdruck.*

Ergänze die Sketchnote, indem du in der linken die strömenden Luftteilchen vor und nach dem Windrad einzeichnest



b) 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: Diskutiere, was passieren würde, wenn ein Windrad 100% der Windenergie in elektrische Energie umwandeln würde.

c) Ergänze das Energieflussdiagramm einer Windkraftanlage, welches die Rolle der Luft bzw. des Windes enthält.



Aufgabe 2: Energiegewinn pro Windrad

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.

a) Auf ein Windrad trifft Luft der Geschwindigkeit $6{,}5\,\frac{m}{s}$. Nimm an, dass die Masse der Luft, die das Windrad **innerhalb von einer Stunde** in Bewegung setzt $2{,}3 \cdot 10^8 kg$ beträgt. Berechne die kinetische Energie der Luft.

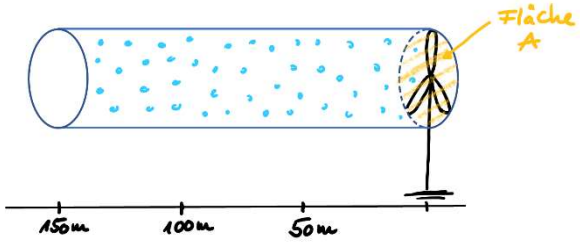
$E_{kin\ Luft}$ = _____ kWh pro Stunde

b) Wir nehmen weiter an, das Windrad würde 50% in elektrische Energie umwandeln. Bestimme, welche elektrische Energie **in kWh** erzeugt werden würde.

$E_{elektrisch}$ = _____ kWh pro Stunde

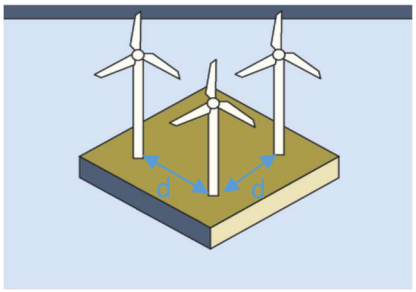
c) Bestimme nun, die Geschwindigkeit der Luft nachdem diese durchs Windrad geströmt ist und begründe, warum man große Abstände zwischen den Windrädern einhalten muss.

d) *Die Masse, die in einer Stunde durch das Windrad strömt wurde in Aufgabe 2a vorgegeben, denn sie hängt von mehreren Faktoren ab. Wir müssen dazu abschätzen, wie viele Luftteilchen pro Stunde das Windrad treffen.
Der blaue Schlauch in der untenstehenden Grafik zeigt den Luftstrom, der durch die Rotorblätter strömt. Markiere in der Grafik, die Luftteilchen, die in 10s den Rotor erreichen werden (v = 6,5 m/s). Welche Luftteilchen erreichen den Rotor, wenn v = 13 m/s gilt.



Erkläre nun, warum die Teilchenanzahl und somit die Masse von der Windgeschwindigkeit abhängt. Die Grafik hilft dir zu erkennen wovon die Masse zusätzlich abhängt.

Aufgabe 3: Windenergiegewinn für Deutschland

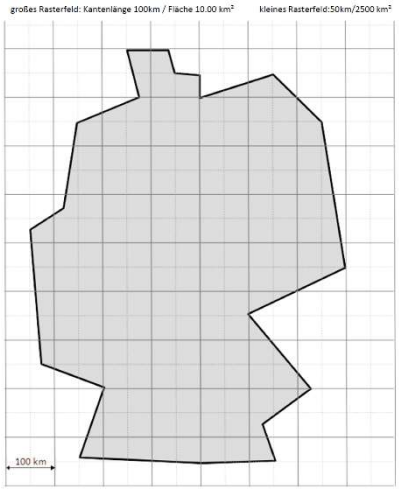


Durch Aufgabe 2c wissen wir, dass Windräder Abstände zueinander einhalten müssen.
Als Faustregel gilt: Jedes Windrad mit Rotordurchmesser d beansprucht ein Quadrat mit der Kantenlänge $5 \cdot d$, da die Anlage sonst nicht genug Wind erhält.
Um abzuschätzen, wieviel Energie eine Windkraftanlage pro $1\,km^2$ 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).

a) Berechne mit Hilfe des Ergebnisses aus 2b die elektrische Energie in kWh, die auf einem Quadratkilometer innerhalb von $24h$ erzeugt werden kann.

E_{ges} = _____kWh pro km² pro Tag

Nimm an, dass 25 000 km² auf der Landfläche von Deutschland genutzt werden können.
(Landesfläche Deutschland = 357.588 km²)



b) Färbe eine entsprechend große Fläche an beliebiger Stelle in der nebenstehenden Karte ein.

c) Berechne mit dem Ergebnis aus Aufgabe 3a) die Windenergie auf dieser Fläche in kWh!

E_{ges} = _____

d) Berechne die Anzahl der dafür benötigten Windkraftanlagen!

e) Berechne die Energie pro Person und Tag, die die Windenergie am Land (Onshore) in Deutschland bereitstellen kann.

$E_{Onshore}$ = _____ kWh pro Tag pro Person

Anmerkung: Die Windräder unserer Abschätzung sind relativ klein. Je größer die Windanlagen werden, desto mehr elektrische Leistung können sie erzeugen, aber desto größer muss der Abstand zwischen ihnen sein (siehe oben 5d-Regelung).

⇨ Berechnungen von Wissenschaftlern zeigen, dass man mit ca. 40 000 hohen Windkraftanlagen und der gleichen Landfläche (= 7% unserer Landfläche) auf etwa die gleiche Energie pro Person und pro Tag kommt, wie wir in Aufgabe 3e berechnet haben.

Aufgabe 4: Windkraft aus Offshore-Anlagen

Offshore (also im Meer) ist die Windgeschwindigkeit größer. Anhand der Größe der Küsten in Deutschland steht eine von ca. 12 500 km² zur Verfügung, die Energie die pro km^2 gewonnen werden könnte ist allerdings

auf Grund der Windgeschwindigkeit doppelt so groß wie auf Land.
Schätze die durch Offshore Windkraft bereitgestellt Energie mithilfe von Aufgabe 3 ab. (Geht auch ohne Taschenrechner ☺)

Aufgabe 5: (* für Extraschnelle) Herleitung der Formel für die Masse der Luft

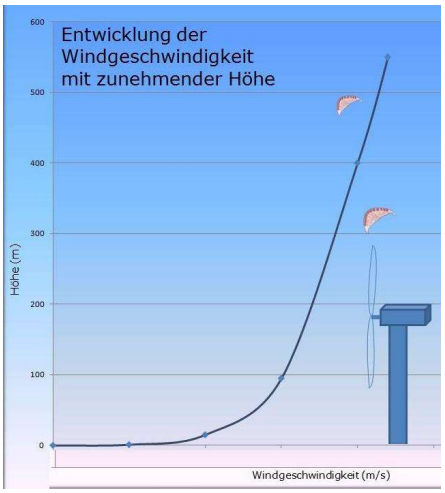
a) Gib zunächst E_{kin} an, so wie du es aus dem Unterricht kennst:
E_{kin} =_____
Um die Masse des Luftstroms berechnen zu können, verwendet man die Formel $m = A \cdot v \cdot t \cdot \rho$, dabei ist A die Fläche des Windrades, v die Windgeschwindigkeit, t Zeitraum des Luftstroms, ρ Dichte der Luft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

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

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

b) Welche der in der Formel auftretenden Größen hängen direkt von der Bauart des Windrades ab.

Begründe, warum die Windgeschwindigkeit indirekt von der Bauart abhängt. Verwende dazu die Graphik.



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Entwicklung_der_Windgeschwindigkeit_%C3%BCber_H%C3%B6he_Datenquelle_www_saugstelle_de_dt.jpg

c) Wie ändert sich die kinetische Energie bei einem Fahrrad, wenn die Geschwindigkeit verdoppelt wird?
E_{kin}‘= _____E_{kin}
Wie verändert sich die kinetische Energie auf ein Windrad übertragen wird, wenn sich die Windgeschwindigkeit verdoppelt?
$E_{kinWind}$‘= _____$E_{kinWind}$

d) Nehmen wir an, der Betreiber ersetzt eine bestehende Anlange (Narbenhöhe 80m/ Durchmesser 50m) durch eine neue Anlage (Narbenhöhe 250m / Durchmesser = 200m), dann ändert sich dadurch einerseits die Fläche und andererseits die Windgeschwindigkeit. An der oberen Graphik siehst du, dass damit die Windgeschwindigkeit um ca. den Faktor 1,2 zunimmt.

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

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

Wind of Change oder The Answer Is Blowing In The Wind Lösungshinweise

(selbsttätige Lernaufgabe)

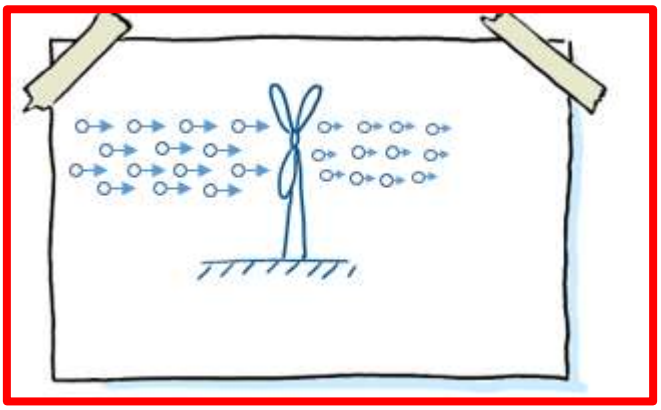
Über die Nutzung von Windkraft wird viel diskutiert - vielleicht auch in deiner Gemeinde. Deshalb wollen wir hier klären, warum die Windräder in den letzten Jahren immer höher und größer werden und zusätzlich die Energiemenge abschätzen, die in Deutschland durch Windkraft erzeugt werde kann.

Aufgabe 1: Vorüberlegungen

a) Was ist Wind? Bevor wir uns Gedanken über Windkraftanlagen und Energie machen, müssen wir besser verstehen was Wind ist, wie dieser zustande kommt und woher dieser seine Energie bekommt.
Betrachte das Video und den Text!

- Video von TerraX bis Minute 0:55
  https://www.youtube.com/watch?v=I_rNIsBJ82k
- *Wind entsteht immer dann, wenn sich der Luftdruck zwischen zwei Orten unterscheidet. Um den Druckunterschied auszugleichen fließt die Luft von den Gebieten mit hohem Luftdruck zum niedrigen Luftdruck.*

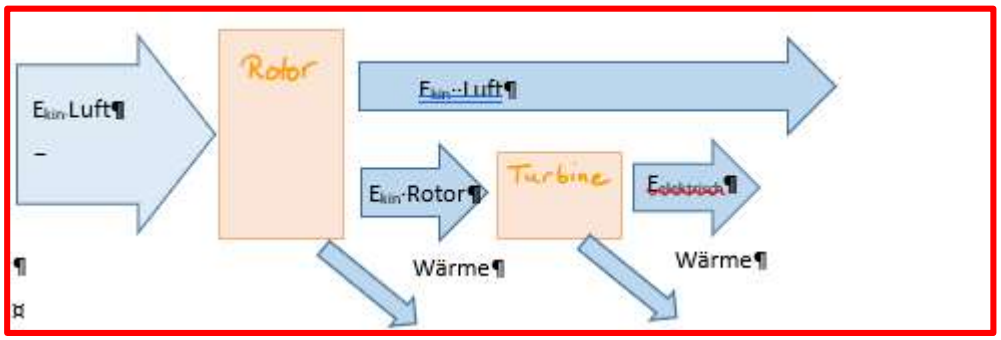
Ergänze die Sketchnote, indem du in der linken die strömenden Luftteilchen vor und nach dem Windrad einzeichnest



b) 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: Diskutiere, was passieren würde, wenn ein Windrad 100% der Windenergie in elektrische Energie umwandeln würde.

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.

c) Ergänze das Energieflussdiagramm einer Windkraftanlage, welches die Rolle der Luft bzw. des Windes enthält.



Aufgabe 2: Energiegewinn pro Windrad

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.

a) Auf ein Windrad trifft Luft der Geschwindigkeit $6{,}5\frac{m}{s}$. Nimm an, dass die Masse der Luft, die das Windrad **innerhalb von einer Stunde** in Bewegung setzt $2{,}3 \cdot 10^8 kg$ beträgt. Berechne die kinetische Energie der Luft.

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

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

$E_{kin\ Luft}$ = $1{,}34 \cdot 10^3$ kWh pro Stunde

b) Wir nehmen weiter an, das Windrad würde 50% in elektrische Energie umwandeln. Bestimme, welche elektrische Energie **in kWh** erzeugt werden würde.

$E_{el} = 50\% \cdot E_{kin} = 6{,}7 \cdot 10^2\ kWh$ pro Stunde wird erzeugt =

$E_{elektrisch}$ = $6{,}7 \cdot 10^2$kWh pro Stunde

c) Bestimme nun, die Geschwindigkeit der Luft nachdem diese durchs Windrad geströmt ist und begründe, warum man große Abstände zwischen den Windrädern einhalten muss.

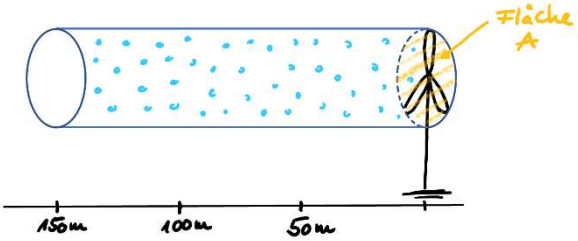
$$E_{kin_Win_nach_Windrad} = E_{ges} - E_{el} = 2{,}45 \cdot 10^9 J$$

$$E_{kin_Win_nach_Windrad} = \frac{1}{2}mv^2$$

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

Zwischen den Windrädern müssen Abstände eingehalten werden, da die Geschwindigkeit der Luft nach dem Windrad viel kleiner als davor ist.

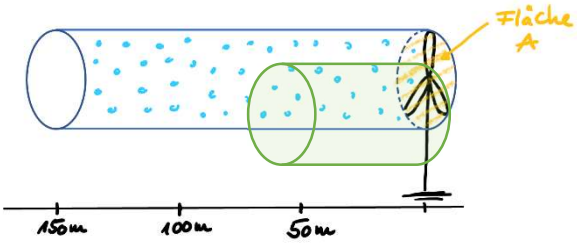
d) Die Masse, die in einer Stunde durch das Windrad strömt wurde in Aufgabe 2a vorgegeben, denn sie hängt von mehreren Faktoren ab. Wir müssen dazu abschätzen, wie viele Luftteilchen pro Stunde das Windrad treffen.
Der blaue Schlauch in der untenstehenden Grafik zeigt den Luftstrom, der durch die Rotorblätter strömt. Markiere in der Grafik, die Luftteilchen, die in 10s den Rotor erreichen werden (v = 6,5 m/s). Welche Luftteilchen erreichen den Rotor, wenn v = 13 m/s gilt.



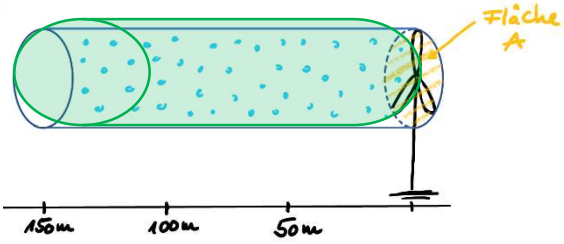
Erkläre nun, warum die Teilchenanzahl und somit die Masse von der Windgeschwindigkeit abhängt. Die Grafik hilft dir zu erkennen wovon die Masse zusätzlich abhängt.

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.

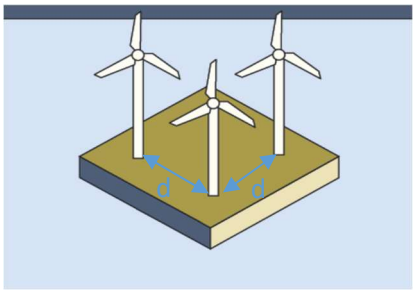
v=6,5m/s und Δt=10s => Δx =65m



v=13m/s und Δt=10s => Δx =130m



Aufgabe 3: Windenergiegewinn für Deutschland

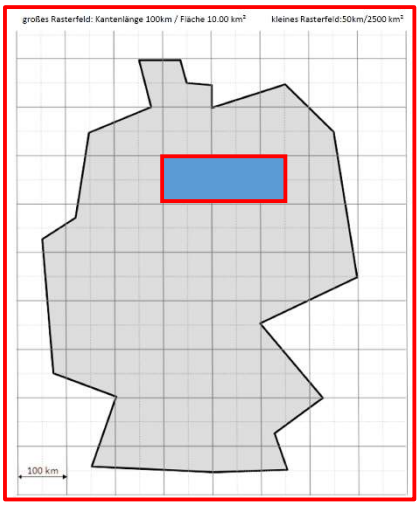


Durch Aufgabe 2c wissen wir, dass Windräder Abstände zueinander einhalten müssen.
Als Faustregel gilt: Jedes Windrad mit Rotordurchmesser d beansprucht ein Quadrat mit der Kantenlänge $5 \cdot d$, da die Anlage sonst nicht genug Wind erhält.
Um abzuschätzen, wieviel Energie eine Windkraftanlage pro $1\,km^2$ 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).

a) Berechne mit Hilfe des Ergebnisses aus 2b die elektrische Energie in kWh, die auf einem Quadratkilometer innerhalb von $24h$ erzeugt werden kann.
$E_{ges} = 6{,}7 \cdot 10^2 \cdot 24 \cdot 4\ kWh = 6{,}4 \cdot 10^4\ kWh$ pro km² pro Tag

b)
$E_{ges} = 6{,}4 \cdot 10^4\ kWh$ kWh pro km² pro Tag

Nimm an, dass 25 000 km² auf der Landfläche von Deutschland genutzt werden können.
(Landesfläche Deutschland = 357.588 km²)



c) Färbe eine entsprechend große Fläche an beliebiger Stelle in der nebenstehenden Karte ein.

Berechne mit dem Ergebnis aus Aufgabe 3a) die Windenergie auf dieser Fläche in kWh!

$$E_{ges} = 6{,}4 \cdot 10^4 \frac{kWh}{km^2} \cdot 25000\ km^2 = 1600000000\ kWh$$
$$= 1{,}6\ Mrd\ kWh\ am\ Tag$$

$E_{ges} = 1{,}6\ Mrd\ kWh\ am\ Tag$

d) Berechne die Anzahl der dafür benötigten Windkraftanlagen!
$25000 \cdot 4 = 100\,000$ Windräder

e) Berechne die Energie pro Person und Tag, die die Windenergie am Land (Onshore) in Deutschland bereitstellen kann.
$\frac{1600000000\ kWhh}{80000000} = 20\ kWh$ pro Tag und Person

$E_{Onshore} = 20\ kWh$ kWh pro Tag pro Person

Anmerkung: Die Windräder unserer Abschätzung sind relativ klein. Je größer die Windanlagen werden, desto mehr elektrische Leistung können sie erzeugen, aber desto größer muss der Abstand zwischen ihnen sein (siehe oben 5d-Regelung).

⇨ Berechnungen von Wissenschaftlern zeigen, dass man mit ca. 40 000 hohen Windkraftanlagen und der gleichen Landfläche (= 7% unserer Landfläche) auf etwa die gleiche Energie pro Person und pro Tag kommt, wie wir in Aufgabe 3e berechnet haben.

Aufgabe 4: Windkraft aus Offshore-Anlagen

Offshore (also im Meer) ist die Windgeschwindigkeit größer. Anhand der Größe der Küsten in Deutschland steht eine von ca. 12 500 km² zur Verfügung, die Energie die pro km^2 gewonnen werden könnte ist allerdings auf Grund der Windgeschwindigkeit doppelt so groß wie auf Land.
Schätze die durch Offshore Windkraft bereitgestellt Energie mithilfe von Aufgabe 3 ab. (Geht auch ohne Taschenrechner 😉)

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

Aufgabe 5: (* für Extraschnelle) Herleitung der Formel für die Masse der Luft

a) Gib zunächst E_{kin} an, so wie du es aus dem Unterricht kennst:
$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$
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:

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

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

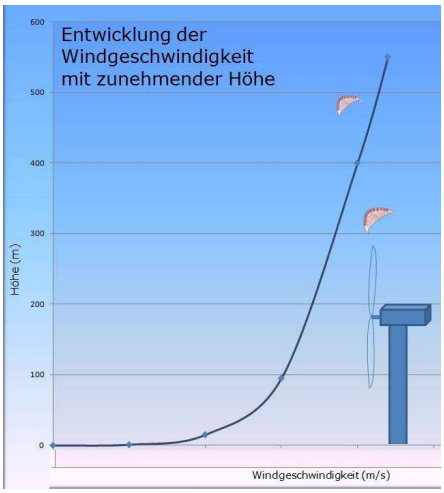
$$m = \rho \cdot A \cdot t \cdot v$$

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

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

b) Welche der in der Formel auftretenden Größen hängen direkt von der Bauart des Windrades ab.
A hängt von der Bauart ab, nämlich von der Größe der Rotorblätter aber auch v, denn v hängt von der Höhe des Windrads ab 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

Begründe, warum die Windgeschwindigkeit indirekt von der Bauart abhängt. Verwende dazu die Graphik.



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

E_{kin}‘= _____E_{kin}

Wie verändert sich die kinetische Energie auf ein Windrad übertragen wird, wenn sich die Windgeschwindigkeit verdoppelt?

$E_{kinWind}$‘= _____$E_{kinWind}$

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

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

d) Nehmen wir an, der Betreiber ersetzt eine bestehende Anlange (Narbenhöhe 80m/ Durchmesser 50m) durch eine neue Anlage (Narbenhöhe 250m / Durchmesser = 200m), dann ändert sich dadurch einerseits die Fläche und andererseits die Windgeschwindigkeit. An der oberen Graphik siehst du, dass damit die Windgeschwindigkeit um ca. den Faktor 1,2 zunimmt.

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

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

d‘=200m, d=50m und v‘=1,2·v , damit ist A‘=16 · A und damit

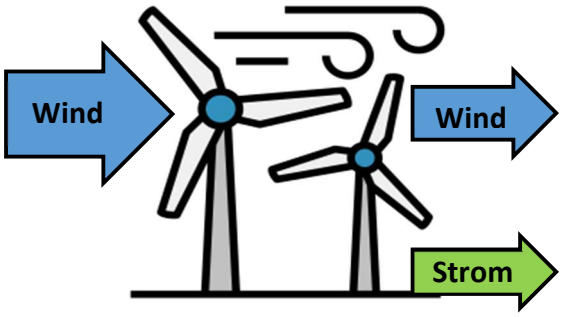
$$E' = \frac{1}{2}\rho \cdot A' \cdot t \cdot v'^3 = 16 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}2 \cdot E = 27{,}6\ E$$

Größere Windräder bringen einen sehr viel größeren Ertrag, da die Windgeschwindigkeit mehr als quadratisch eingeht.

Grundlagen einer Windkraftanlage (WKA)

Aufgabe 1:

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



M1: Grundprinzip eines Windkraftwerks

Aufgabe 2:

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

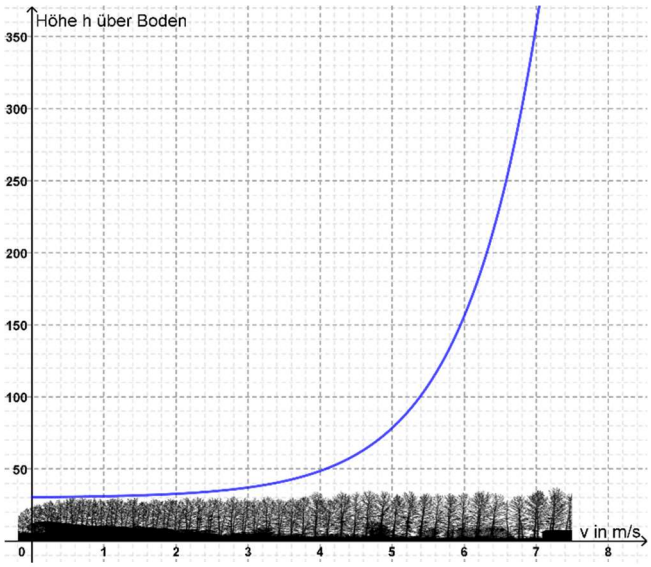
Erkläre wieso der Wirkungsgrad einer WKA nicht beliebig ansteigen kann (Tipp: Welche Folge hätte es, wenn das Windrad einen Wirkungsgrad von fast 100% hätte?) und wieso man WKA nicht beliebig nah aneinander bauen kann (Faustregel: 5facher Rotordurchmesser Abstand zueinander).

Aufgabe 3:

Verwende **M2** und **M3** um die mittlere typische Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe für eine WKA älterer und neuerer Bauart rechnerisch abzuschätzen.

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

M2: Leistungsdaten von Windkraftwerken



M3: Geschwindigkeits-Höhe-Diagramm von Wind

Aufgabe 4

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

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

M1: FLATICON https://www.flaticon.com/de/kostenloses-icon/windkraftanlage_7280089

M3: selbst erstellt, GeoGebra und Pixabay

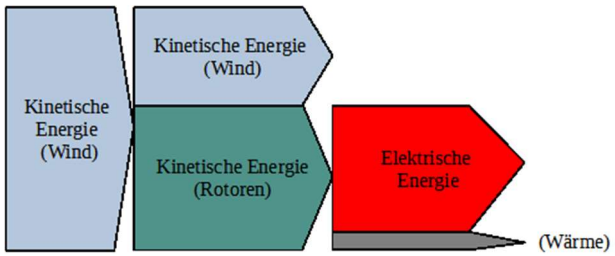
.

Grundlagen einer Windkraftanlage (WKA) **Lösungshinweise**

Aufgabe 1:

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

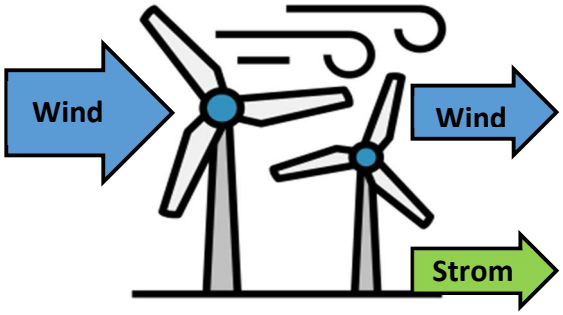
Der Wind strömt auf das Windkraftwerk zu, die Rotoren des Windkraftwerks übertragen einen Teil der kinetischen Energie des Windes in kinetische Energie der Rotoren, sie beginnen zu drehen („rotieren“). Im Inneren des Windkraftwerks wird diese kinetische Energie (durch einen Generator) in elektrische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



Aufgabe 2:

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

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

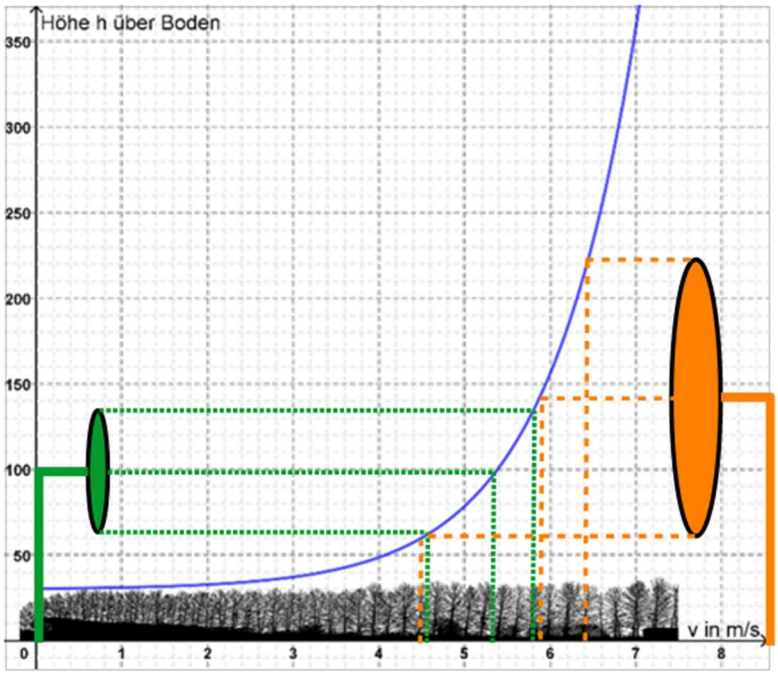


M1: Grundprinzip eines Windkraftwerks

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

Aufgabe 3:

Verwende **M2** und **M3** um die mittlere typische Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe für eine WKA älterer und neuerer Bauart rechnerisch abzuschätzen.



	älteres WKA:	***neueres WKA:***	
Wind in Nabenhöhe:	*ca. 5,4 m/s*	*ca. 5,9 m/s*	*(einfache Lsg)*
Untere Rotorspitze:	*ca. 4,6 m/s*	*ca. 4,5 m/s*	
obere Rotorspitze:	*ca. 5,8 m/s*	*ca. 6,4 m/s*	
Mittelwert	***ca. 5,3 m/s***	***ca. 5,6 m/s***	

Hinweis:

Logarithmisches Windprofil über Wald mit ca. 30m Kronenhöhe gerechnet (hier v = 0 m/s!)

Aufgabe 4

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

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

WKA neuerer Bauart haben zum einen eine größere Nabenhöhe, was in einer höheren mittleren Windgeschwindigkeit resultiert. Man sieht jedoch auch dass der Zuwachs an Windgeschwindigkeit im Bereich von 10% liegt und somit den Leistungssprung nicht alleine begründen kann. Vielmehr wächst die von den Rotoren überstrichene Fläche (auf der sie dem Wind kinetische Energie entziehen können) extrem stark an, da die Rotoren mehr als doppelt so groß sind. Da die Rotorlänge dem Kreisradius der Fläche entspricht, welche die Rotoren überstreichen und für die Kreisfläche $A = r^2 \cdot \pi$ gilt, sieht man dass bei einer Verdopplung der Rotorlänge sich die Kreisfläche vervierfacht. Folglich kann dem Wind auch erheblich mehr Energie entzogen werden, was den Hauptanteil der Leistungssteigerung ausmacht.

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

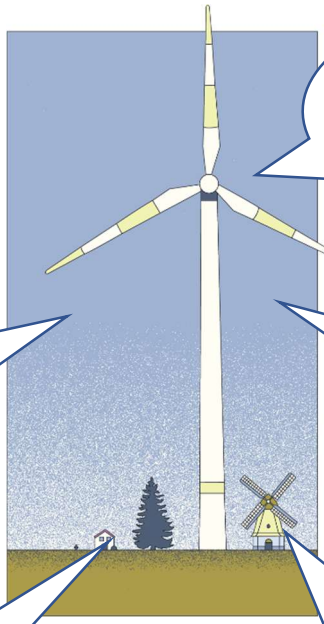
Ausbau Windenergie – Wie schaffen wir das?

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[18] diese. Ergänze evtl. weitere Aussagen.



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

B Windräder sind hässlich

C Die Schlagschatten stören jeden Morgen und Abend

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

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

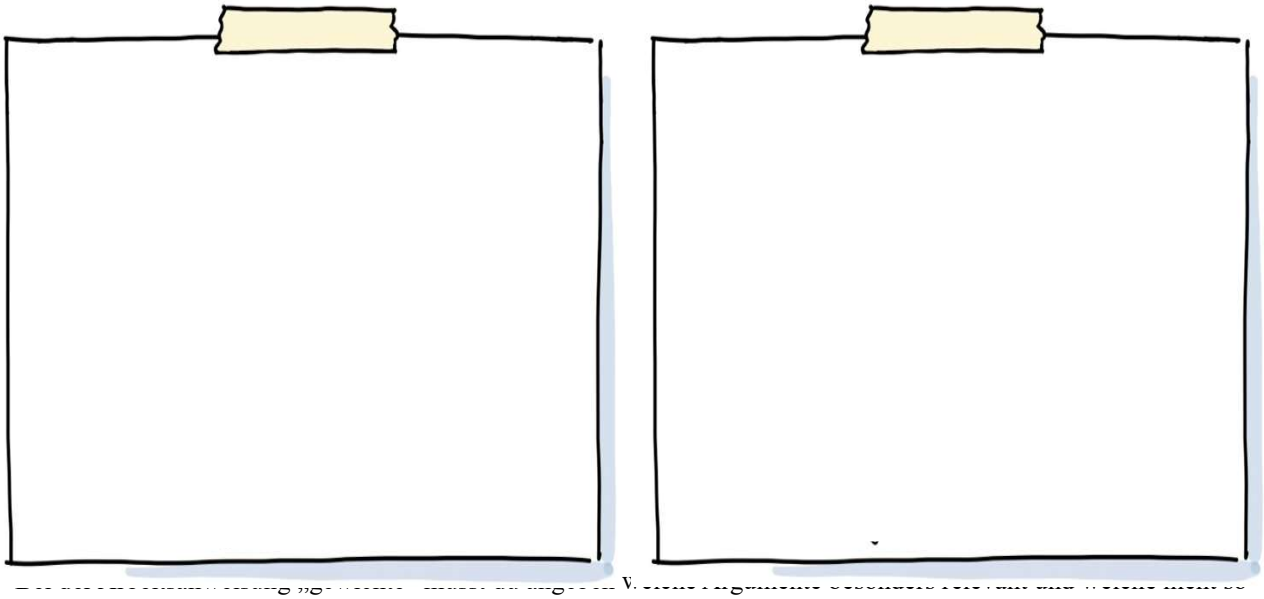
Aufgabe 2:

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



schwerwiegend sind. Hier empfehlen wir dir Punkte von 0 (total irrelevant) bis 10 (superwichtig!) zu vergeben.

Aufgabe 3:

Hier ein Zitat aus einem Spiegel-Online-Artikel vom 27.4.2021:

„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 (Einheit für Lautstärke) zu hoch war angegeben. 3 Dezibel mehr bedeuten, dass sich die Schallintensität verdoppelt. 36 Dezibel zu hoch bedeutet also, dass der Infraschall 4000-mal so hoch angegeben war wie der wirkliche Wert.

Rechne zum Vergleich dazu aus:
An einem Korrekturtag behauptet deine Lehrkraft zur Aufmunterung ein Stück Schokolade gegessen zu haben. Ein Stück Schokolade wiegt ca. 5g. Berechne die Masse der Schokolade, die sie essen müsste, wenn sie den gleichen Fehler gemacht hätte, wie die Bundesbehörde.

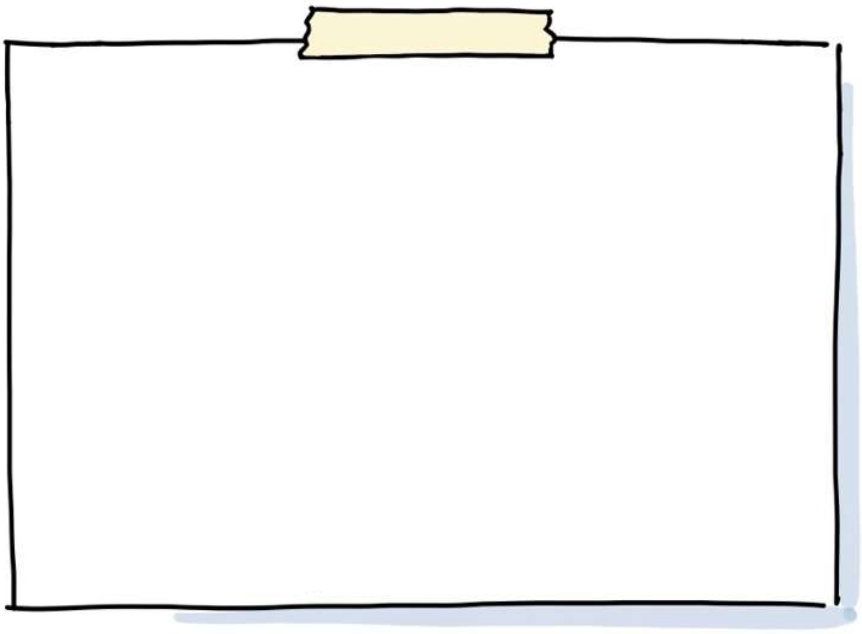
Aufgabe 4:

Zehntausende Windräder müssen für die Energiewende **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
https://www.youtube.com/watch?v=vn1KRb1Bb68

Film 2: Jobportrait Projektleiterin Windenergie
https://www.youtube.com/watch?v=fwbB4d7Hqrc

Beim Bau und Betrieb eines Windrads entstehen verschiedene Arbeitsplätze. Überlege anhand des Films mindestens drei mögliche Berufsbilder. Vergleiche deine Vorschläge mit der Liste am Pult. Wähle einen davon aus und begründe, was an diesem Beruf für dich interessant wäre. Notiere den Beruf und positive Aspekte (Stichpunkte) in der Sketchnote!



Abschluss:
Notiere dir zu folgenden Fragen jeweils 1-2 Sätzen: „Welche Information über Windräder hat dich überrascht?“ und „Was denkst du nun über den Ausbau der Windenergie“

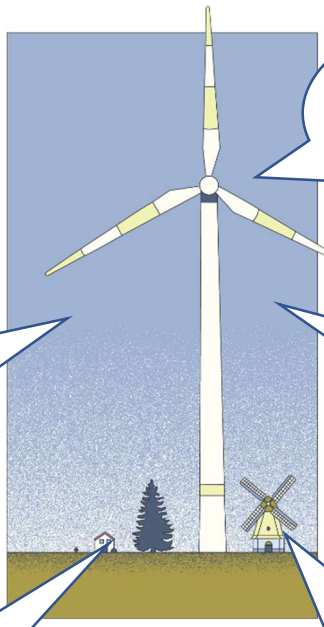
Ausbau Windenergie – Wie schaffen wir das? **Lösungshinweise**

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[19] diese. Ergänze evtl. weitere Aussagen.



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

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

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

B Windräder sind hässlich

C Die Schlagschatten stören jeden Morgen und Abend

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.

[19] Bei der Arbeitsanweisung „gewichte“ musst du angeben welche Argumente besonders relevant und welche nicht so schwerwiegend sind. Hier empfehlen wir dir Punkte von 0 (total irrelevant) bis 10 (superwichtig!) zu vergeben.

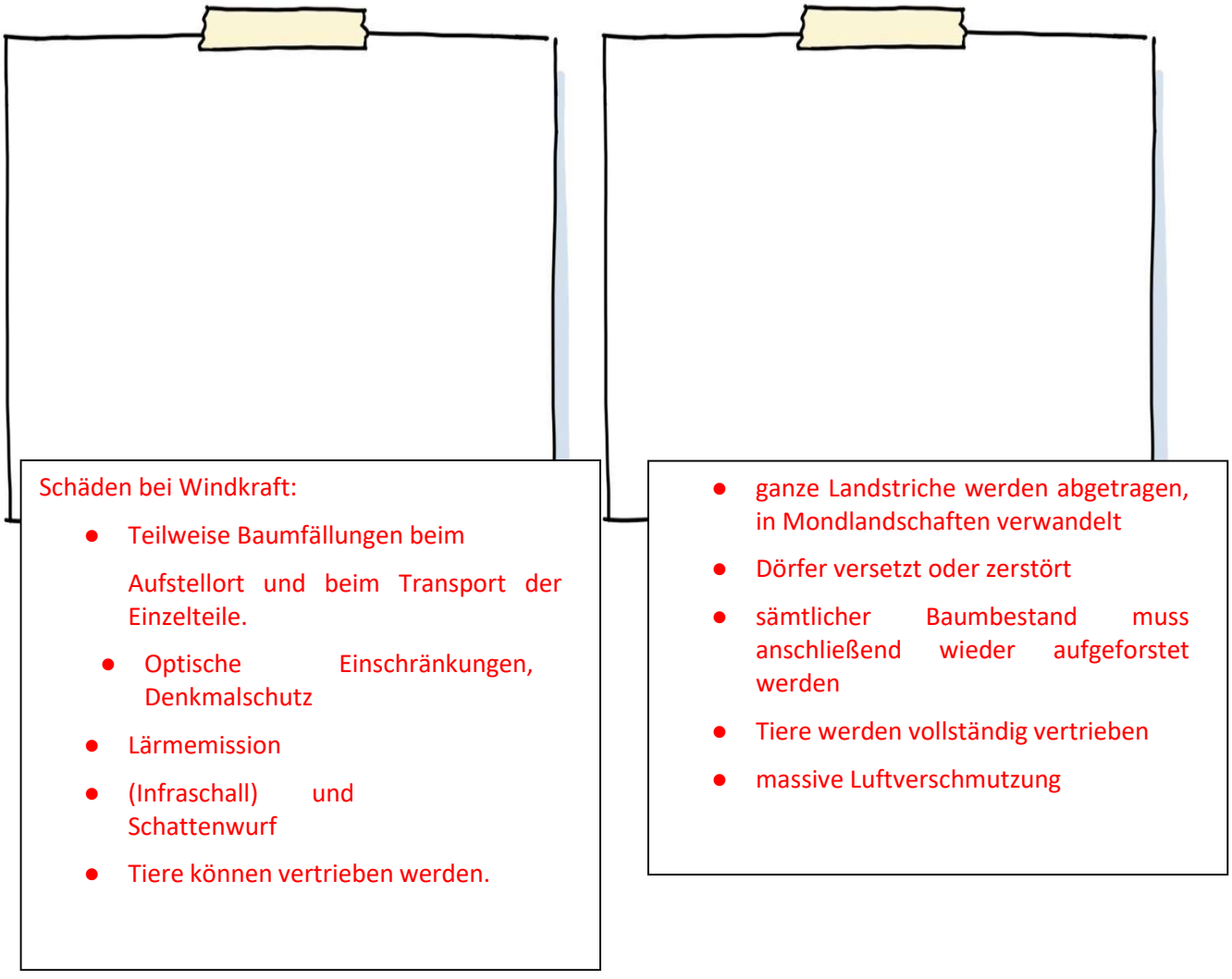
Aufgabe 2:

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



Schäden bei Windkraft:

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

- 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:

Hier ein Zitat aus einem Spiegel-Online-Artikel vom 27.4.2021:

„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 (Einheit für Lautstärke) zu hoch war angegeben. 3 Dezibel mehr bedeuten, dass sich die Schallintensität verdoppelt. 36 Dezibel zu hoch bedeutet also, dass der Infraschall 4000-mal so hoch angegeben war wie der wirkliche Wert.

Rechne zum Vergleich dazu aus:
An einem Korrekturtag behauptet deine Lehrkraft zur Aufmunterung ein Stück Schokolade gegessen zu haben. Ein Stück Schokolade wiegt ca. 5g. Berechne die Masse der Schokolade, die sie essen müsste, wenn sie den gleichen Fehler gemacht hätte, wie die Bundesbehörde.

Aus 5g werden bei diesem Fehler 20kg Schokolade

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

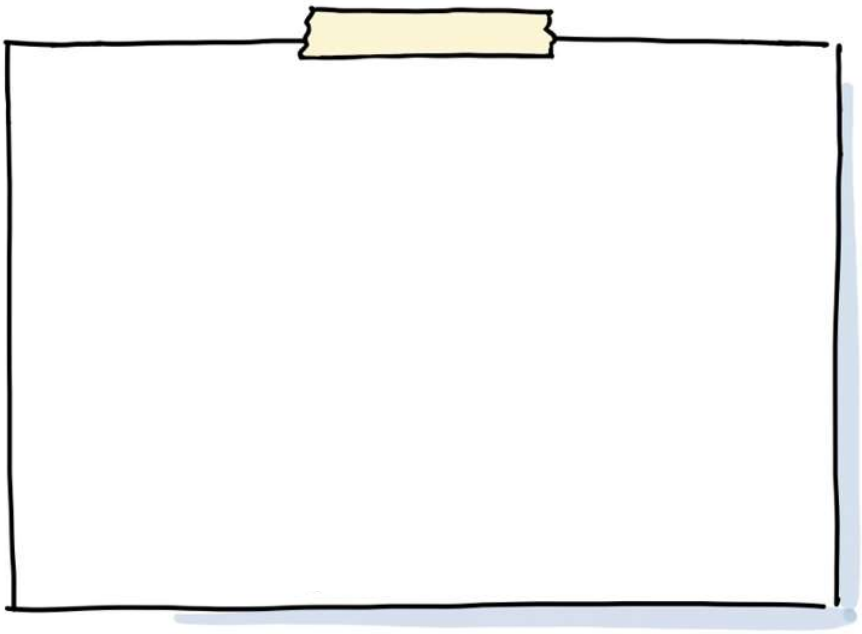
Aufgabe 4:

Zehntausende Windräder müssen für die Energiewende **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
https://www.youtube.com/watch?v=vn1KRb1Bb68

Film 2: Jobportrait Projektleiterin Windenergie
https://www.youtube.com/watch?v=fwbB4d7Hqrc

Beim Bau und Betrieb eines Windrads entstehen verschiedene Arbeitsplätze. Überlege anhand des Films mindestens drei mögliche Berufsbilder. Vergleiche deine Vorschläge mit der Liste am Pult. Wähle einen davon aus und begründe, was an diesem Beruf für dich interessant wäre. Notiere den Beruf und positive Aspekte (Stichpunkte) in der Sketchnote!



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

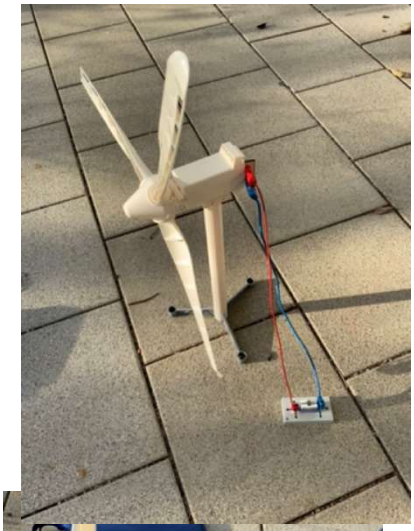
Softwareentwickler (m/w) Windparkkraftwerkssteuerungen

Bauingenieur Windenergie (m/w)

Abschluss:
Notiere dir zu folgenden Fragen jeweils 1-2 Sätzen: „Welche Information über Windräder hat dich überrascht?“ und „Was denkst du nun über den Ausbau der Windenergie“

Ausblicke und Experimente zur Windkraft

Zum Experimentieren eignen sich entweder große Spielzeugwindräder oder kleine Plastikrotoren die auf Solarmotoren gesetzt werden können.

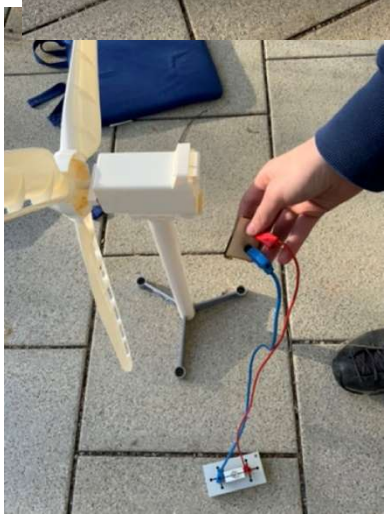


Experimente zur Veranschaulichung: Experimentierset von Kosmos

Mit diesem Experimentierset von Kosmos, das über den Buchhandel erhältlich ist, kann man das Grundprinzip der Windkraft, Nebeneffekte und die Größenverhältnisse klären. Das Windrad lässt sich gut zerlegen und lagern.

Aktivität 1

- Durch einen Adapter kann man ein Glühbirnchen (z.B. 3,5V/0,2A) anschließen. http://youtube.com/shorts/gmz1rDaAwwY
- Alternativ kann man ein Voltmeter anschließen http://youtube.com/shorts/LPuZ2XZ93KE
- Dabei wird auch deutlich, dass das Windrad durchaus Lärm erzeugt und fest am Boden verankert werden muss

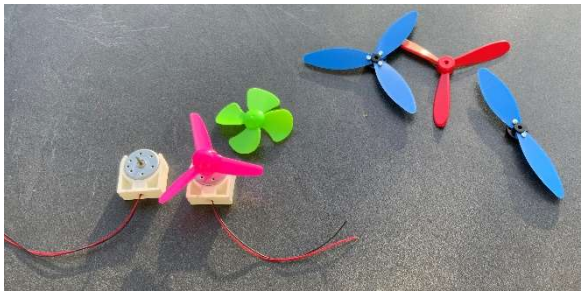


Aktivität 2

- Misst man die Höhe (Fuß zu Spitze=85cm) und vergleicht das Windrad mit einem mittelgroßen Windrad von 170m Höhe, so erhält man einen Maßstab von 1cm ≙ 2m. Die Schüler herausfinden, dass eine kleine Spielfigur einen Menschen entspricht und eine Streichholzschachtel einem Haus. Passend zum AB Windausbau kann hier auch an die Wartung eines Windrads und die entstehenden Berufsbilder angeknüpft werden.
- Nun können typische Abstandsregel, wie die in Bayern 8 Jahre lang gültige 10H Regel im korrekten Maßstab nachgestellt und beurteilt werden.
- Mit einer Handytaschenlampe kann man den Sonnenverlauf nachspielen und beobachtet, dass die tatsächlich unangenehmen Schlagschatten nur in Ost-West-Richtung über weitere Abstände entstehen. Kreisförmige Abstandsregelungen sollen daraufhin hinterfragt und Alternativen benannt werden.
- Man kann das Windrad natürlich auch im Freien nutzen

Experimente zum Messen

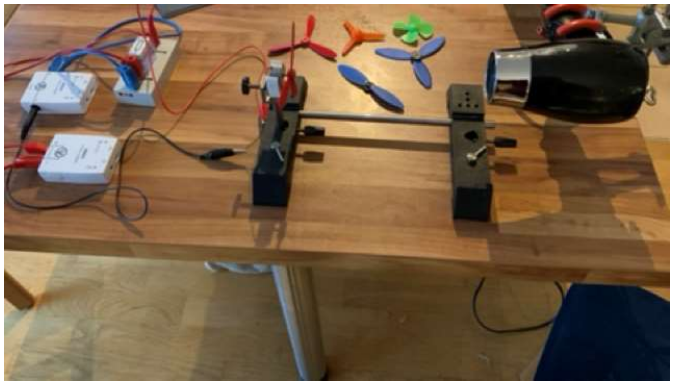
Aktivität 1: Abhängigkeit der Leistung vom Rotor



Bei üblichen Onlinehändlern kann man geeignete Sets an Solarmotoren mit verschiedenen Rotoren zum Wechseln kaufen.

Die Schüler sollen messen, welcher Rotor die meiste Leistung bewirkt bei gleicher Windstärke. Dazu wird ein Fön oder eine Windmaschine mit festem Abstand gehaltert und dann die Spannung über einem Lämpchen oder die Leistung gemessen. Überraschend ist, dass die Werte massiv abweichen und die Form der Rotorblätter und nicht deren Anzahl entscheidend ist.

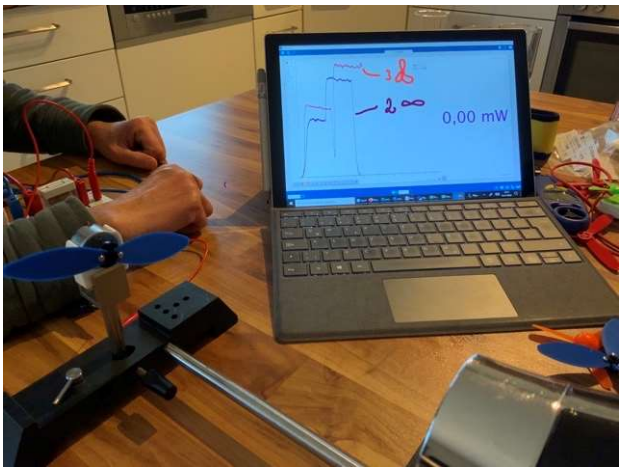
Aktivität 2: Abhängigkeit von Leistung und Spannung von der Windgeschwindigkeit



Nun wird ein fester Rotor gewählt und stattdessen die Stärke des Föns und die Winkel unter dem der Wind einströmt variiert. Man kann hier auch gut digitale Messsysteme einsetzen und sieht schön die Änderungen der Verläufe. Hier ist ein Leistungsmessgerät der Spannungsmessung eindeutig überlegen.

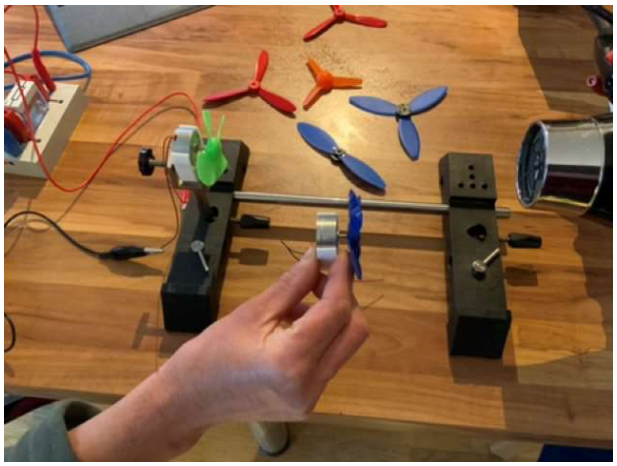
Besitzt man einen Windmesser, so kann man zeigen, dass die Leistung in etwa kubisch mit der Windgeschwindigkeit ansteigt. Auch wenn die Windgeschwindigkeit nur um den Faktor 1,2 steigt, verdoppelt sich fast die Leistung. Bei der Spannung ist er Effekt natürlich kaum zu sehen, da $P \sim U^2$ gilt.

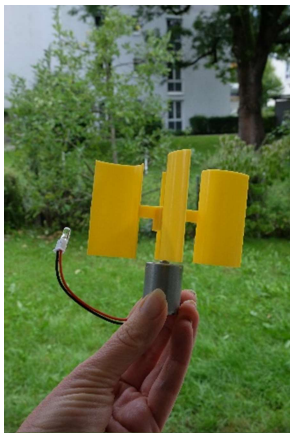
Aktivität 3: Leistungsabfall bei mehreren Windrädern



Hält man zwischen Generator und Fön einen weiteren Generator mit Rotor so sieht man deutlich, wie die Leistung des ursprünglichen Generators abnimmt, selbst wenn der zweite Rotor nur ganz am Rand den Luftstrom stört und sich weiterhin beide Rotoren drehen.

Als Handversuch bietet sich auch dieses Windrad an, dass schon mit LED geliefert wird und man einfach durch Anpusten betreiben kann.





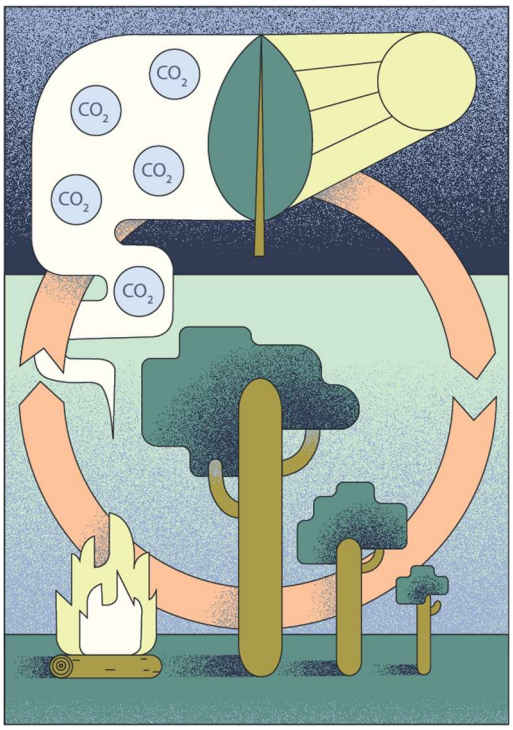
Videolinks

- 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

Ein komplettes Unterrichtsprojekt findet man 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 Regelenergie 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, Anknüpfpunkte 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!

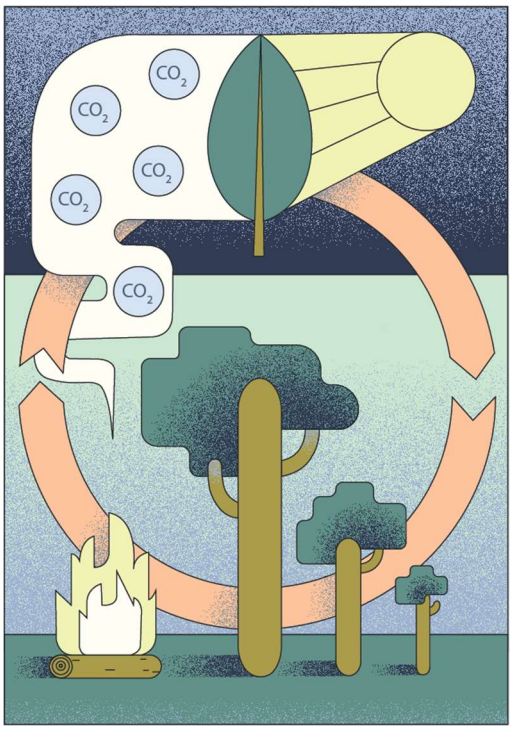
3) Energiepflanzen haben einen Wirkungsgrad von maximal 0,5%, der Wald von $0{,}35\%$. Die Sonne stellt in Deutschland eine Energie von $1000\ kWh$[20] pro m^2 und Jahr zu Verfügung. Bestimme damit die Energie pro m^2 und Tag, die durch Biomasse zu Verfügung steht.

4) Nimm an, dass 20% der landwirtschaftlichen Fläche und vereinfacht 50% 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.

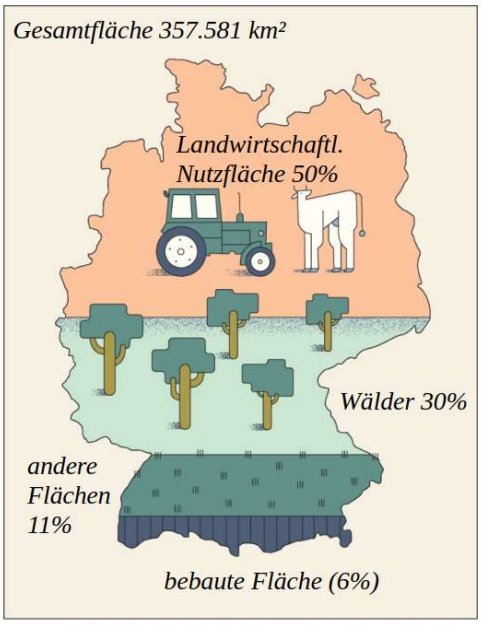
5) Vergleiche die jetzt genutzte Fläche mit der Gesamtfläche von Deutschland!

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*

[20] https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/Trend_seit1983.html?nn=18320

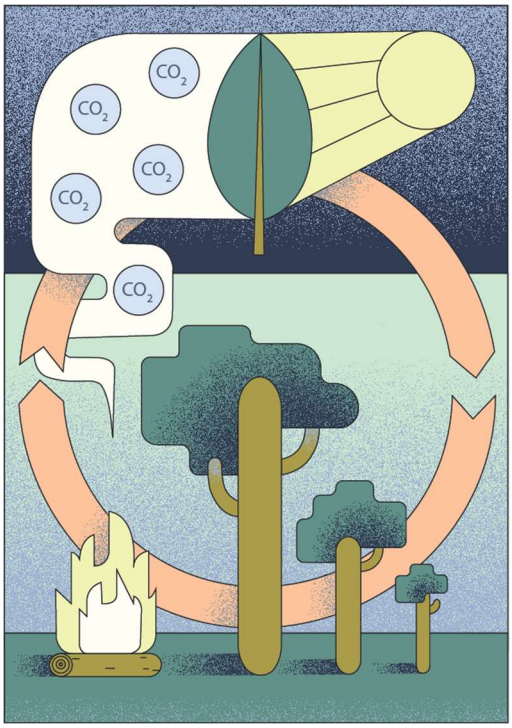
Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (Wirkungsgrad)

Lösungshinweise

1) In **M1** ist der Kohlenstoffkreislauf dargestellt. Welche Energieformen sind in **M1** abgebildet? Beschreibe die vorliegenden Energieumwandlungen!

chemische Energie, Strahlungsenergie, Wärmeenergie, Lichtenergie beim Lagerfeuer

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



***M3** Kohlenstoffkreislauf*

2) Nimm anschließend dazu Stellung, inwieweit man Biomasse als CO2 neutral beschreiben kann!

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) Energiepflanzen haben einen Wirkungsgrad von maximal 0,5%, der Wald von 0,35%. Die Sonne stellt in Deutschland eine Energie von $1000\ kWh$ pro m^2[21] und Jahr zu Verfügung. Bestimme damit die Energie pro m^2 und Tag, die durch Biomasse zu Verfügung steht.

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

4) Nimm an, dass 20% der landwirtschaftlichen Fläche und vereinfacht 50% 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.

Wälder:

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

Genutzt $0{,}50\ \cdot 110\ 000\ km^2 = 55.000\ km^2$

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

Felder:

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

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

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

[21] https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/Trend_seit1983.html?nn=18320

Gesamt 11,7 kWh ≈ 12 kWh

5) Vergleiche die jetzt genutzte Fläche mit der Gesamtfläche von Deutschland!

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

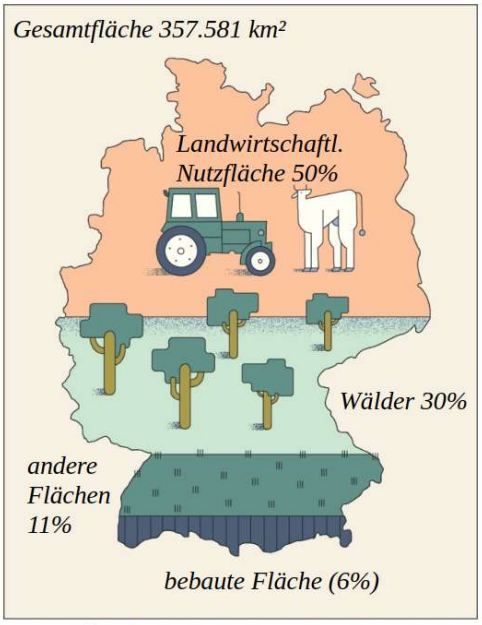
6) Vergleiche dann diese Energie mit der benötigten Primärenergie.

Benötigt werden 120 kWh pro Person und Tag

7) Diskutiere Vor- und Nachteile von der Nutzung von Bioenergie.

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)



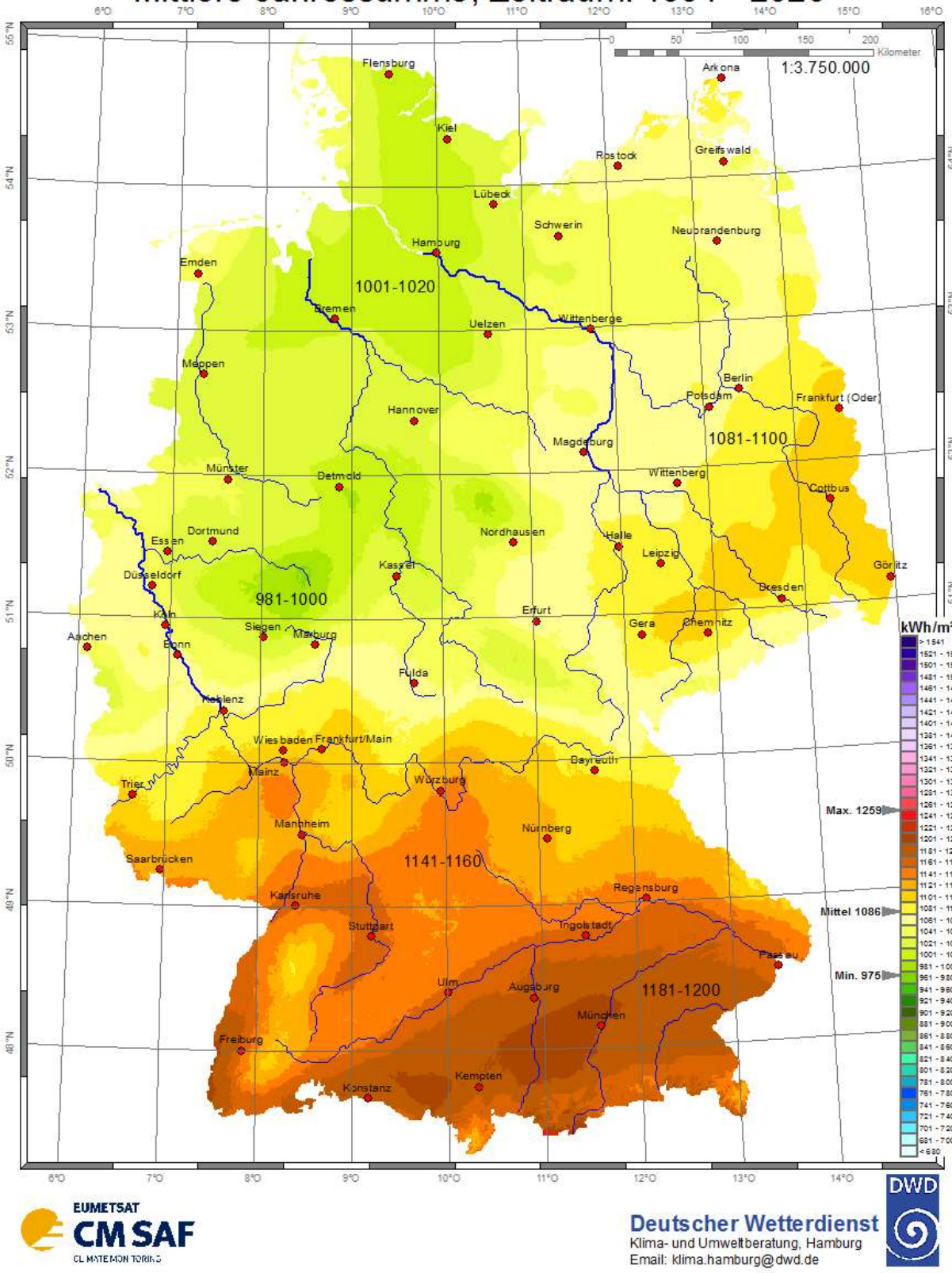
M4 *Flächennutzung in Deutschland*

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

Globalstrahlung in Deutschland

Basierend auf Satellitendaten und Bodenwerte aus dem DWD-Messnetz

Mittlere Jahressumme, Zeitraum: 1991 - 2020



EUMETSAT CM SAF

Deutscher Wetterdienst
Klima- und Umweltberatung, Hamburg
Email: klima.hamburg@dwd.de

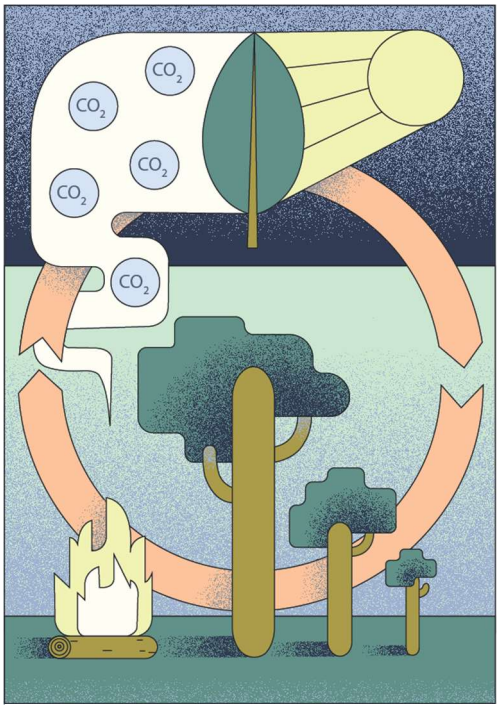
Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (verfügbare Holzmasse)

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 (ca. 2,5 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.



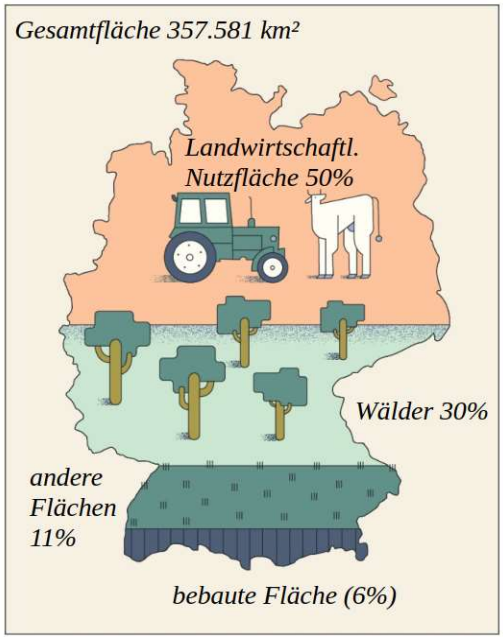
M5 *Kohlenstoffkreislauf*

<u>optional:</u>

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**[5] Probleme dar, die bei der ausschließlichen Nutzung der Wälder als Biomasselieferant zur Energieversorgung entstehen.



M6 *Flächennutzung in Deutschland*

Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (verfügbare Holzmasse)

Lösungshinweise

Hilfe 1 Biomasse ist in den in **M1** dargestellten Kohlenstoff-kreislauf eingebunden. Woher bezieht die Biomasse den zur Nutzung notwendigen Kohlenstoff?	**Antwort 1:** Das bei der Verbrennung freigesetzte CO_2 entspricht dem zuvor aus der Atmosphäre entzogenem CO_2, welches über Kohlenstoffverbindungen (z.B. Zucker, Zellulose) in die Biomasse eingebaut wird. Biomasse kann bei der Verbrennung also nicht mehr CO_2 freisetzen als es zuvor aus der Atmosphäre entnommen hat, es ist also CO_2 neutral. Grenzen: Keine Berücksichtigung von notwendiger Energie zum Transport, Verarbeitung sowie dem Betrieb der Feuerstätte (z.B. Elektronik)
Hilfe 2 Verwende den in **M2** dargestellten Flächenanteil um die insgesamt nutzbare Biomasse in Form von Holz zu berechnen. 1 ha = 100m · 100m = 10^4 m² → 1 km² = 1.000.000 m² = 10^6 m² = 10^2 ha	**Antwort 2:** Berechnung Waldfläche $30\%\ \text{von}\ 357.581\ \text{km}^2 = 107.274\ \text{km}^2 = 1{,}07 \cdot 10^{11}\text{m}^2 = 10{,}7 \cdot 10^6\ \text{ha}\ (10{,}7\ \text{Mio ha})$ Berechnung Holzvolumen: $350\ \frac{\text{m}^3}{\text{ha}} \cdot 10{,}7\ \cdot\ 10^6\ \text{ha} = 3{,}75\ \cdot 10^9\ \text{m}^3$
Hilfe 3 Wie hoch ist die im Brennholz insgesamt durch Verbrennung nutzbare Energie? Wieviel Energie steht damit pro Tag und pro Kopf zur Verfügung, wenn das Holz 35 Jahre zum Nachwachsen benötigt? 35a = 35 · 365 d = 18250 d	**Antwort 3:** Durch Verbrennung insgesamt nutzbare Energie: $2500\ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \cdot 3{,}75 \cdot 10^9\ \text{m}^3 = 9{,}38 \cdot 10^{12}\ \text{kWh}$ pro Tag verfügbare Energie (35 Jahre Nutzung) $\frac{9{,}38 \cdot 10^{12}\ \text{kWh}}{35\ \cdot 365\text{d}} = 734\ \cdot 10^6\ \frac{kWh}{d}$ Pro Kopf und Tag verfügbare Energie $\frac{9{,}38 \cdot 10^{12}\ \text{kWh}}{80 \cdot 10^6\ \cdot 35 \cdot 365} = 9{,}2\ \text{kWh}\ \left(\frac{kWh}{m^2 \cdot d}\right)\ \text{pro Person}$
Hilfe 4 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!	**Antwort 4:** Energiemenge der (holzigen) Biomasse in der Waldfläche: $9{,}38 \cdot 10^{12}$ kWh Sonnenenergie pro Tag für gesamten Wald $2{,}5\ \frac{kWh}{d\ \cdot m^2} \cdot 1{,}07 \cdot\ 10^{11}\ m^2 = 2{,}675 \cdot 10^{11}\ \frac{kWh}{d}$ Sonnenenergie für gesamten Wald während Nutzung: $2{,}5\ \frac{kWh}{d\ \cdot m^2} \cdot 35 \cdot 365d\ \cdot 1{,}07 \cdot\ 10^{11}\ m^2 = 3{,}42 \cdot 10^{15}\ kWh$ $\eta = \frac{E_{Nutz}}{E_{Ges}} = \frac{9{,}38\ \cdot\ 10^{12} \cdot \frac{kWh}{m^2}}{3{,}42 \cdot\ 10^{15} \cdot \frac{kWh}{m^2}} = 0{,}27\ \%$ *Anm.: Der Wirkungsgrad ist extrem gering da sämtlicher Zuwachs an Blättern und Wurzeln nicht mit berechnet wird!*

Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (verfügbare Holzmasse) Hinweise und Ausblicke

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 Brennwerts 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)

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

Links/Quellenangabe:

Brennwerte, Umrechnung FM in kg:

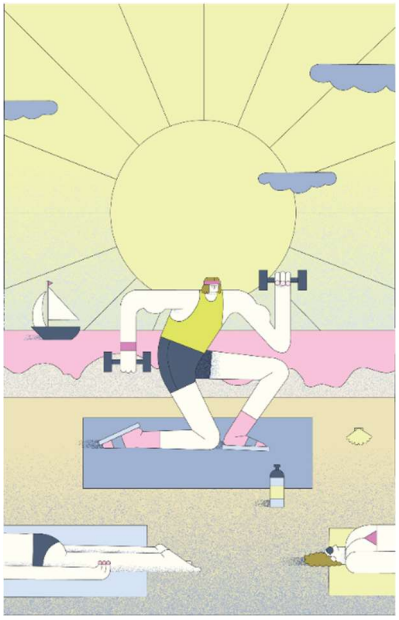
https://www.xeoos.de/fileadmin/daten/downloads/technik/neu/Raumgewichte_und_Sparpotential_Holz.pdf

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:

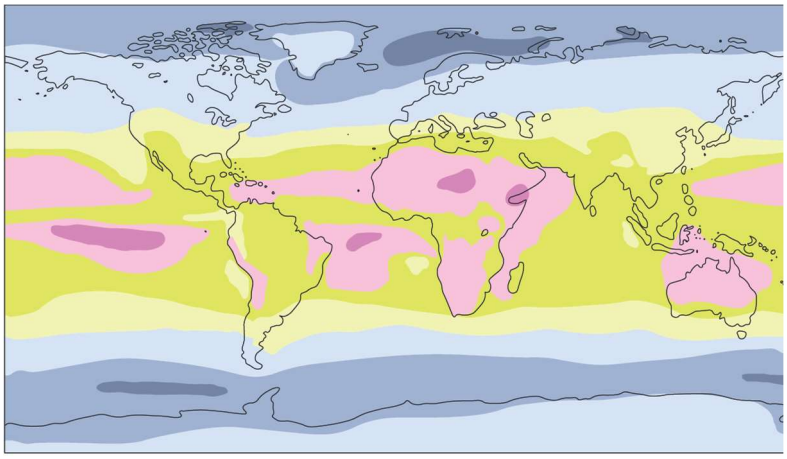
Folgende Materialien bieten eine kompetenzorientierte Herangehensweise an das Thema der Energie aus Photovoltaik.

- 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 m² und Tag in Deutschland durch PV erzeugbare Energiemenge.

   Die Dachflächen in Deutschland betragen ca. 1500 km². 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.
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

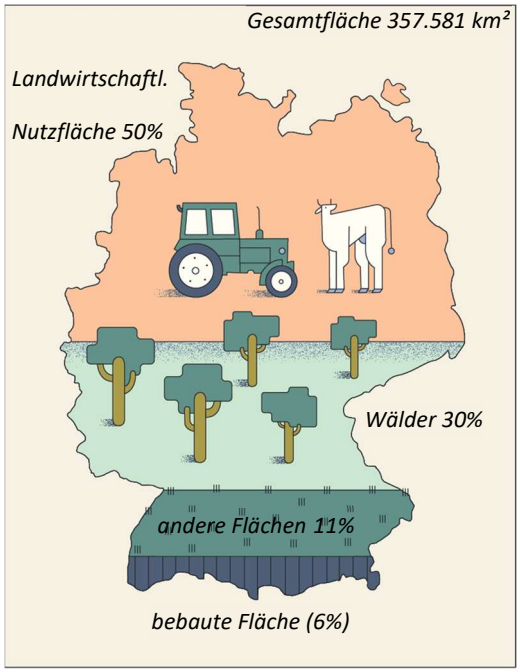


***M1**: weltweite Sonneneinstrahlung*

***M2**: Freiflächenanlage*

<u>optional:</u>

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.*

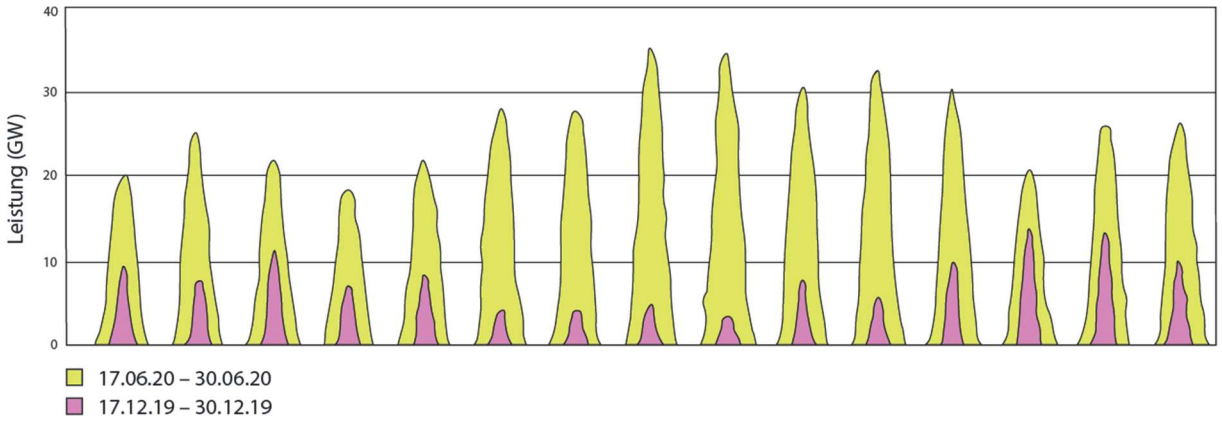


M3: Flächennutzung in Deutschland

Hilfe 1 Wie würdest du die eingestrahlte Sonnenenergie in Deutschland (**M1**) im weltweiten Vergleich bewerten?	**Antwort 1:** 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)
Hilfe 2 Wende den Wirkungsgrad η an, um die Nutzenergie (elektrische Energie) aus der eingestrahlten Sonnenenergie (s. M1) zu berechnen. $\eta = \frac{E_{Nutz}}{E_{Ges}}$	**Antwort 2:** $\eta = \frac{E_{Nutz}}{E_{Ges}} \rightarrow E_{Nutz} = E_{Ges} \cdot \eta$ Damit ergibt sich mit E_{Ges} = 2-3 kWh/m² 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.
Hilfe 3 Wie hoch ist die insgesamt angenommen Fläche der PV-Anlagen auf Dächern und Freiflächen in der Zukunft, die zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt wird?	**Antwort 3:** Fläche insgesamt: 1.500 km² + 3.000 km² = 4.500 km² = 4,5 10^9 m² Gesamte Energiemenge pro Tag: 0,50 kWh/m² 4,5 10^9 m² = 2,25 10^9 kWh $(\frac{kWh}{d})$
Hilfe 4 Wieviel der Energie aus Aufgabe 3 steht pro Person zur Verfügung?	**Antwort 4:** Pro Person und Tag verfügbare Energie $\frac{2{,}25 \cdot 10^9 \text{ kWh}}{80 \cdot 10^6} = 28 \text{ kWh } (\frac{kWh}{d})$
Hilfe 7 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.	**Antwort 7** Bestehende Nutzungen: Wälder und landwirtschaftliche Fläche (LNF) • 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 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.

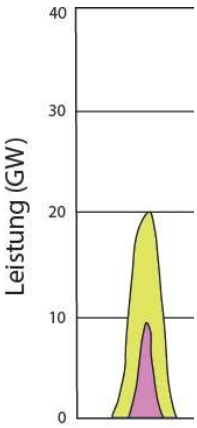
Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte

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 vergleich 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 Nachstunden[22].
   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!

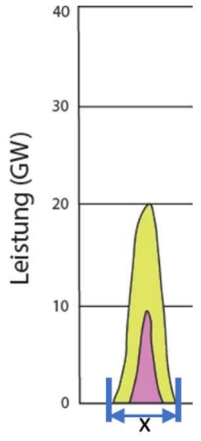
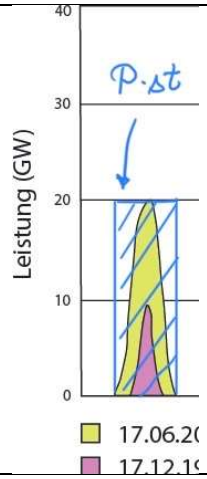
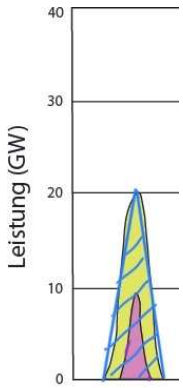
[22] https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/power_generation/07.09.2021/07.09.2022/today/

Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte

Lösungshinweise

1) Erkläre, wie die Spitzen entstehen_____
   Die Sonneneinstrahlung variiert im Laufe des Tages und nachts scheint keine Sonne. Deshalb schwankt die erzeugte Leistung ebenso.

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

Hilfekarte 1: Überlege dir, welche Einheit die horizontale Achse hat.	**Antwort:** Die horizontale Achse entspricht der Zeitachse
Hilfekarte 2: Wie groß ist die Zeiteinheit x, die im untenstehenden Bild dargestellt wird. Versuche klug zu schätzen und bedenke, dass es Juni ist. 	**Antwort:** $x = 14h$ In etwa die Sonnenstunden im Juni.
Hilfekarte 3: Auf der anderen Achse ist die Leistung aufgetragen. Stelle einen Zusammenhang zwischen Leistung und Energie.	**Antwort:** $P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \Rightarrow \Delta E = P \cdot \Delta t$
Hilfekarte 4: Markieren die Leistung graphisch in der Zeichnung. Überlege dir dazu, welche geometrische Größe man mit Länge mal Breite berechnet.	**Antwort:** Flächeninhalt
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. 	**Antwort:** Eine Dreiecksfläche ist besser geeignet. 
Hilfekarte 6:	**Antwort:**

Stelle nun eine Formel auf, um die Energie im Juni genauer zu bestimmen.	$\Delta E = \frac{1}{2} P_{Max} \cdot \Delta t$
Hilfekarte 7: Berechne die Gesamtenergie in kWh.	**Antwort:** $1{,}4 \cdot 10^8 kWh$
Hilfekarte 8: Bestimme die Energiemenge pro Einwohner:in (zur Erinnerung: das ist unsere Radfahrer-Robert-Einheit)	**Antwort:** 1,75 Roberts liefert die Solarenergie im Sommer. (Äääh, ja, doch, nein, das ist zu wenig für die Energiewende)

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 Nachstunden[23].
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.

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	**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: $\Delta E_{Robert\ im\ Dezember} = 0{,}375\ kWh$
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!	$\Delta E = P \cdot \Delta t$ $\boldsymbol{\Delta E = 65 \cdot 10^9 \cdot 12Wh + 55 \cdot 10^9 \cdot 12Wh}$ $\boldsymbol{= 1440 \cdot 10^9 Wh}$ $\boldsymbol{= 1{,}4 \cdot 10^9 kWh}$
Hilfekarte 11: Prozentuale Anteile berechnen	**Anteil im Sommer:** $\frac{1{,}4 \cdot 10^8 kWh}{1{,}4 \cdot 10^9 kWh} = 10\%$ **Anteil im Winter:** $\frac{0{,}3 \cdot 10^9 kWh}{1{,}4 \cdot 10^9 kWh} = 0{,}2\%$

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

Hilfekarte 12:	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.

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

6. Geothermie und Wärmepumpen

Obwohl Wärmepumpen schon lange benutzt werden, tritt oft, wenn die Wärmepumpe als Heizsystem genannt wird, die Frage auf „Mit was heizt Du dann?“ auf. Wird dabei in die Tiefe gebohrt und somit die Wärme der Erde genutzt, erscheint es vielen Leuten relativ plausibel, woher die Energie kommt, auch wenn man hier teilweise nur 20°C warmes Wasser anzapft, was ja für eine Heizung, die mindestens 40°C benötigt, zu wenig ist. Wird allerdings die Luft als Wärmereservoir genutzt, ist das Erstaunen oft sehr groß. Denn eigentlich stellt sich ja die Frage:

„Wie schafft es die Wärmepumpe Wärme vom Kalten ins Warme zu transportieren?“

Die Funktionsweise der Wärmepumpe sowie das Potential von Geothermie und Wärmepumpen kann somit als faszinierendes Thema genutzt werden, um Inhalte der traditionellen Wärmelehre, wie Wärme, innere Energie, Temperatur und Druck zu motivieren oder zu vertiefen.

Die Unterrichtseinheit zielt dabei darauf ab, die traditionellen Inhalte „Änderung der inneren Energie durch Arbeit und Wärme“, „Einführung des Drucks“ und „Wärmetransport“ anhand der Wärmepumpe zu unterrichten und so keine Zeit zu verlieren.

In den Büchern:

S. 112-119

S. 141-156

Los geht‘s:

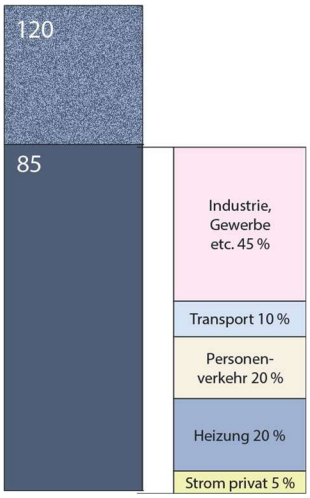
Folgende Unterrichtsmaterialien können als Einstieg oder Vertiefung der Wärmelehre genutzt werden. Dabei kann man auch nur Teile verwenden und je nach Zeit die Inhalte unterschiedlich stark vertiefen.

- Arbeitsblatt: Wärme, Wärmefluss und Dämmen
- Lösung
- Arbeitsblatt Druck
- Lösung
- Arbeitsblatt: Wärmepumpe
- Lösung
- Arbeitsblatt: Wärmepumpe und Kühlschrank
- Lösung
- Potential von Geothermie und Wärmepumpen (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung

Arbeitsblatt: Wärme, Wärmefluss und Dämmen

Verheizen wir unsere Zukunft? So funktioniert der Energietransport im Haus!

Um uns eine gemütliche Wohnung zu verschaffen, muss mit dem deutschen Wetter an vielen Tagen von Oktober bis März geheizt werden.



Am Ende des Arbeitsblattes solltest du folgende Fragen beantworten können:

- Was versteht man physikalisch unter dem Begriff Wärme?
- Wie läuft der Energiefluss auf Teilchenebene ab?
- So nutzt man dieses Wissen bei der Dämmung eines Gebäudes.

Aufgabe 1: Wärmebedarf heute

a) Bestimme aus der nebenstehenden Graphik den Energiebedarf Deutschlands zum Heizen

Bedarf für Heizung: _____ kWh/Tag und Person

b) Sammelt in dieser Tabelle verschiedene Techniken, wie man eine Wohnung heizen kann und markiert welche davon mit Brennstoffen arbeiten, also CO_2 in die Atmosphäre freisetzen.

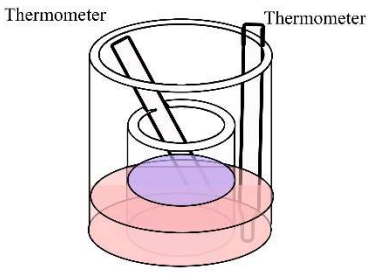
Art der Heizung			
Brennstoff ja/nein			

c) 2045 will Deutschland klimaneutral sein, also netto kein CO_2 emittieren. Nenne Maßnahmen die dafür in Deutschland im Bereich Heizen notwendig sind und benenne Probleme, die entstehen könnten.

d) Sicher hast du schon gehört, dass Deutschland sich im Bereich Verkehr stark verändern muss, um 2045 die Klimaneutralität zu erreichen. Beurteile, ob die Energiewende im Bereich Verkehr oder im Bereich Heizung eine größere Herausforderung darstellt. Berücksichtige auch die Nutzungsdauer von Autos und Heizungen.

Aufgabe 2: physikalische Definition von Wärme

Bei Heizen einer Wohnung wird Energie transportiert. Die Voraussetzung dafür soll im Experiment genau untersucht werden.



a) Führe folgendes Experiment durch.
Zum Zeitpunkt t_0 wird ein Glas mit einem kühlen Getränk in ein Gefäß mit warmem Wasser gestellt. Notiere die Temperatur in beiden Gefäßen einige Minuten später (t_1) und nach längerer Zeit (t_2):

<u>Beobachtung:</u>

	t_0	t_1=	t_2=
$T_{Getränk}$			
T_{Wasser}			

Nach langer Zeit gilt: $T_{Getränk}$ _____ $T_{Wasser.}$

b) Gib an, wie sich jeweils die innere Energie des Getränks und des Wassers qualitativ verändert hat!

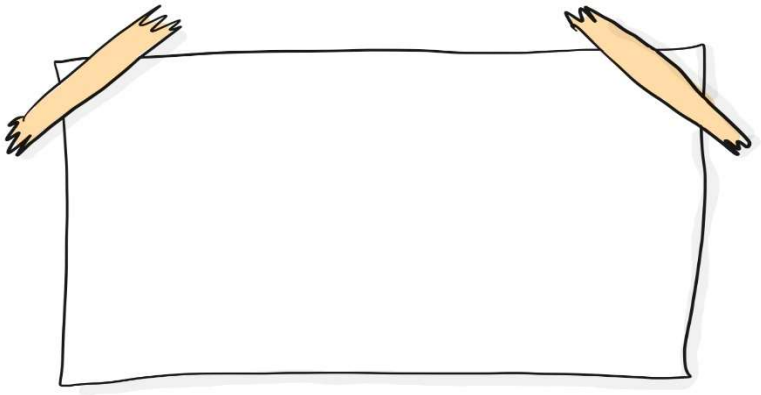
c) Erkläre im Teilchenmodell, wieso die innere Energie des Getränks sich verändert hat und was hierfür die Ursache war. Welche Rolle spielen die Teilchen im Glas, welches die Flüssigkeiten trennt.

d) Richtig oder falsch (Verbessere falsche Aussagen!)

	Es sind Teilchen vom Getränk ins Wasser geflossen	
	Es ist Energie vom Getränk ins Wasser geflossen	
	Der Energiefluss trat auf, weil die Flüssigkeiten unterschiedliche Temperaturen hatten	
	Der Energiefluss tritt nur bei Flüssigkeiten auf und nicht bei Gasen oder Festkörpern	

Diesen Energiefluss ΔE_i, der zwischen Körpern unterschiedlicher Temperatur auftritt, nennt man_____.

e) Formuliere einen Merksatz, unter welcher Voraussetzung es zum Energiefluss kommt und in welche Richtung dieser stattfindet!
Gib auch an, wie sich die innere Energie verändert.



f) Fülle den Lückentext aus

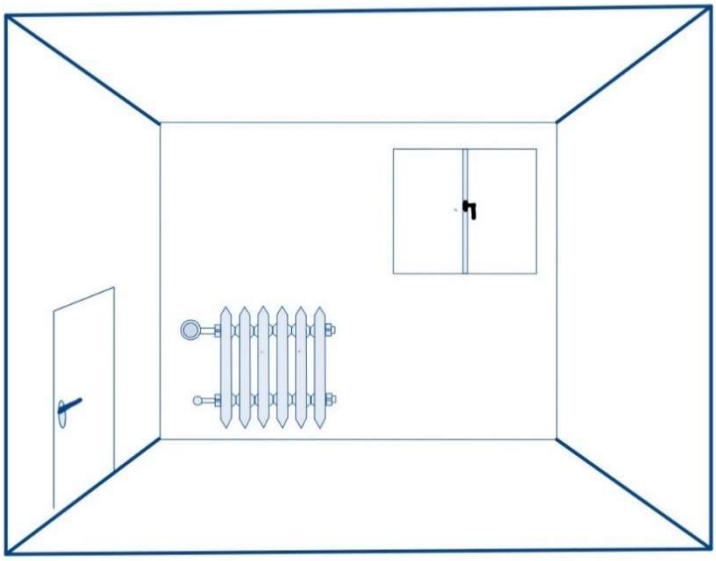
Wärme fließt vom Gebiet _____Temperatur ins Gebiet _____ Temperatur.

Aufgabe 3: Energiefluss im Haus

a) Überlegt euch, welche Temperatur das Wasser typischerweise in einem Heizkörper hat. Erinnert euch dazu an das Gefühl, wenn ihr eine Heizung anfasst.
$T_{Heizwasser}$=_____

b) Ergänzt in der Skizze, wie es gelingt, einen Raum auf eine angenehme Temperatur aufzuheizen in dem ihr Pfeile ergänzt, die zeigen, wie die Energie fließt.

c) Selbst wenn man die Tür und das Fenster so gut abdichten würde, dass kein Luftaustausch zwischen innen und außen möglich wäre, ist es notwendig, permanent zu heizen um die Raumtemperatur konstant zu halten. Erkläre im Teilchenmodell, wie es zu diesem Energiefluss kommt!



M1 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lochziegel.jpg

M2 Thamizhpparithi Maari A aesthetic brick blocks - Ziegelstein – Wiktionary

d) Damit man möglichst wenig Energie zum Heizen benötigt, ist es sinnvoll, dass die in nach außen abgegebene Wärme möglichst gering ist. Früher baute man Mauern aus Ziegel, die in M2 abgebildet sind. Heute verwendet man wegen der guten Wärmedämmung Ziegel wie in M1. Vergleiche die beiden Ziegel und erkläre unter Verwendung des Teilchenmodells, warum es bei Ziegeln wie in M1 zu einem geringeren Energiefluss kommt.

e) Der U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) einer Wand gibt die Dämmqualität an (um so kleiner, um so besser isoliert die Wand). Ordne folgende Materialien nach dem U-Wert und begründe deine Reihenfolge mit den bisherigen Erkenntnissen.
Porenbeton, massiver Beton, Holz (massiv), Schaumstoff
Formuliere eine Regel, welche Eigenschaft ein Material haben muss, um als Dämmstoff zu dienen!

f) Im Winter erhöht eine schlechte Wärmedämmung den Energiebedarf und die Heizkosten. Erkläre, was eine schlechte Wärmedämmung im Sommer bewirkt.

Zusatzaufgaben

g) Recherchiere jeweils, welchen Heizwärmebedarf pro m^2 folgende Häuser haben:
ein nicht saniertes Haus Baujahr 1950 hat, ein Haus Baujahr 1990 und ein Passivhaus
Ermittle, um wie viel Prozent der Heizwärmebedarf abgesunken ist!

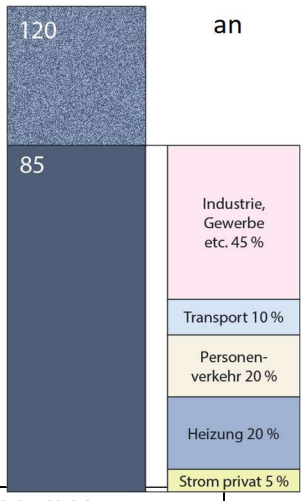
h) Angenommen, alle Gebäude in Deutschland wären so gut gedämmt, wie ein Passivhaus, wie hoch wäre die benötigte Heizenergie und wie würde sich der Energiebedarf in Deutschland dadurch ändern? Berechne mit Hilfe der Graphik aus Aufgabe 1 und deinem Ergebnis aus f)!

i) Überlege Dir, durch welche Maßnahmen man ein Haus mit Baujahr 1950 auf den Stand eines Passivhauses bringen könnte und führe dann Gründe auf, warum der in g) ermittelte Wert eher unrealistisch ist!

Arbeitsblatt: Wärme, Wärmefluss und Dämmen Lösungshinweise

Verheizen wir unsere Zukunft? So funktioniert der Energietransport im Haus!

Um uns eine gemütliche Wohnung zu verschaffen, muss mit dem deutschen Wetter an vielen Tagen von Oktober bis März geheizt werden.



Aufgabe 1: Wärmebedarf heute

a) Bestimme aus der nebenstehenden Graphik den Energiebedarf Deutschlands zum Heizen

Bedarf für Heizung: ___20% von 85=17_____ kWh/Tag und Person

b) Sammelt in dieser Tabelle verschiedene Techniken, wie man eine Wohnung heizen kann und markiert welche davon mit Brennstoffen arbeiten, also CO_2 in die Atmosphäre freisetzen.

Art der Heizung	Ölheizung	Gasheizung /Pellet	Wärmepumpe
Brennstoff ja/nein	ja	Ja	Nein (wenn Strom aus regenerativen Quellen genutzt wird)

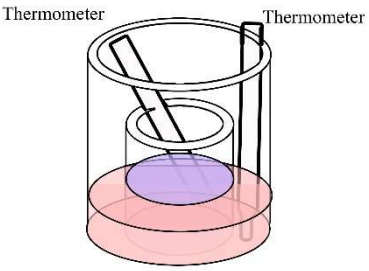
c) 2045 will Deutschland klimaneutral sein, also netto kein CO_2 emittieren. Nenne Maßnahmen die dafür in Deutschland im Bereich Heizen notwendig sind und benenne Probleme, die entstehen könnten.
Man kann Pelletheizungen verwenden, die Biomasse einsetzen oder so weniger fossiles CO_2 emittieren oder Wärmepumpe

- Man kann die Raumtemperatur senken
- Man kann besser dämmen
- Man könnte weniger Lüften: Achtung Schimmelgefahr
- der Energiebedarf ist mit 20% sehr groß und nahezu vollständig karbonbasiert
  =>es entsteht viel CO_2
- de Reduktionsmaßnahmen erfordern oft einen Umbau (neue Heizung oder neue Dämmung), das dauert und erfordert Handwerker, also muss man mit Jahrzehnten rechnen, bis das in ganz Deutschland umgesetzt wird.

d) Sicher hast du schon gehört, dass Deutschland sich im Bereich Verkehr stark verändern muss, um 2045 die Klimaneutralität zu erreichen. Beurteile, ob die Energiewende im Bereich Verkehr oder im Bereich Heizung eine größere Herausforderung darstellt. Berücksichtige auch die Nutzungsdauer von Autos und Heizungen.
Der Energiebedarf ist mit 20% gleich groß. Die Nutzungsdauer ist bei Autos mit ca. 20 Jahren etwas kürzer als bei Heizungen, aber auch etwa vergleichbar. In beiden Fällen müssen sehr große, teure Objekte mit hohem finanziellen Aufwand ausgetauscht werden. Die Herausforderungen sind in etwa vergleichbar, wobei beim Auto die emotionale Bindung stärker ist und deshalb der Widerstand größer, bei der Heizung ist der Fachkräftemangel, aber gravierender.

Aufgabe 2: physikalische Definition von Wärme

Bei Heizen einer Wohnung wird Energie transportiert. Die Voraussetzung dafür soll im Experiment genau untersucht werden.



a) Führe folgendes Experiment durch. Beobachte was passiert, wenn man zum Zeitpunkt t_0 ein kühles Getränk in ein Gefäß mit warmem Wasser stellt, dann beobachtet man einige Minuten später (t_1) und nach längerer Zeit: (t_2)

Beobachtung:

	t_0	t_1=	t_2=
$T_{Getränk}$	10°	15°	25°
T_{Wasser}	40°	30°	25°

Nach langer Zeit gilt: $T_{Getränk}$ _____=_____ $T_{Wasser.}$

b) Gib an, wie sich jeweils die innere Energie des Getränks und des Wassers verändert hat!
Die innere Energie des Getränks hat sich vergrößert, die des Wassers verkleinert

c) Erkläre im Teilchenmodell, wieso die innere Energie des Getränks sich verändert hat und was hierfür die Ursache war. Welche Rolle spielen die Teilchen im Glas, welches die Flüssigkeiten trennt.
Da die Temperatur des Wasser höher als die des Getränks ist, bewegen sich die Wasserteilchen schneller (da die Temperatur ein Maß für die mittlere kinetische Energie des Wassers ist) Die Teilchen stoßen an die Teilchen des Glases. Somit bewegen sich auch diese schneller. Diese wiederum stoßen die Teilchen des Getränks an, welche sich wiederum schneller bewegen. Somit erhöht sich die mittlere kinetische Energie der Teilchen des Getränks und somit auch die innere Energie. Die Ursache dieses Erhöhung war der Energieübertrag der Teilchen des Wassers

d) Richtig oder falsch (Verbessere falsche Aussagen!)

	Es sind keine Teilchen vom Getränk ins Wasser geflossen	f
2.	Es ist Energie vom Wasser ins Getränk geflossen	f
3.	Der Energiefluss trat auf, weil die Flüssigkeiten unterschiedliche Temperaturen hatten	r
4.	Der Energiefluss tritt ~~nur bei Flüssigkeiten auf und nicht bei Gasen oder Festkörpern~~ bei allen Körpern mit unterschiedlicher Temperatur auf	f

Diesen Energiefluss ΔE, der zwischen Körpern unterschiedlicher Temperatur auftritt, nennt man__Wärme_____.

e) Formuliere einen Merksatz, wann es zum Energieaustausch kommt und in welche Richtung dieser stattfindet!

Körper mit unterschiedlicher Temperatur tauschen solange Wärme aus, bis sich die Temperatur angeglichen hat. Dabei gibt der Körper mit der höheren Temperatur Energie an den anderen Körper ab

g) Fülle den Lückentext aus

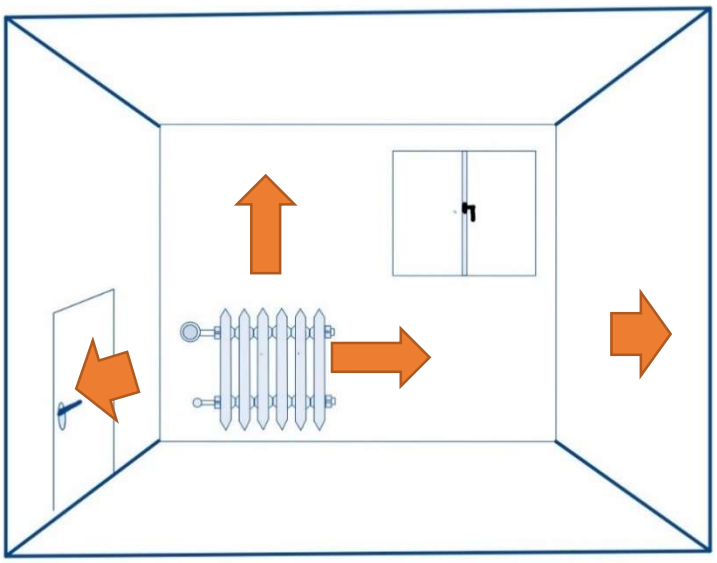
Wärme fließt vom Gebiet höherer Temperatur ins Gebiet niedrigerer Temperatur.

Aufgabe 3: Wärmefluss im Haus

a) Überlegt euch, welche Temperatur das Wasser typischerweise in einem Heizkörper hat. Erinnert euch dazu an das Gefühl, wenn ihr eine Heizung anfasst.
$T_{Heizwasser}$=_____40,-60 ° (auf jeden Fall mehr als Körpertemperatur)_____

b) Ergänzt in der Skizze, wie es gelingt, einen Raum auf eine angenehme Temperatur aufzuheizen in dem ihr Pfeile ergänzt, die zeigen, wie die Energie fließt.

c) Wieso ist es notwendig, permanent zu heizen. Ergänze auch dazu die passenden Pfeile und erkläre im Teilchenmodell, wie es zu diesem Energiefluss kommt! Wir nehmen an, dass es zu keinem Luftaustausch zwischen innen und außen kommt!



M1 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lochziegel.jpg

M2 Thamizhpparithi Maari A aesthetic brick blocks - Ziegelstein – Wiktionary

d) Damit man möglichst wenig Energie zum Heizen benötigt, ist es sinnvoll, dass die in nach außen abgegebene Wärme möglichst gering ist. Früher baute man Mauern aus Ziegel, die in M2 abgebildet sind. Heute verwendet man wegen der guten Wärmedämmung Ziegel wie in M1. Vergleiche die beiden Ziegel und erkläre unter Verwendung des Teilchenmodells, warum es bei Ziegeln wie in M1 zu einem geringeren Energiefluss kommt.

Die Ziegel von M2 sind massiv und die aus M1 sind hohl. Im Teilchenmodell kann die Wärmeübertragung immer dann stattfinden, wenn Teilchen aneinander stoßen oder gemeinsam schwingen, Im Festkörper sind die Teilchen ganz dicht aneinander und können deshalb leicht Wärme übertragen. In eingeschlossenen Luftkammern sind wenig Teilchen=> es gibt selten Stöße und die Wärmeübertragung ist viel schwächer

e) Der U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) einer Wand gibt die Dämmqualität an (um so kleiner, um so besser isoliert die Wand). Ordne folgende Materialien nach dem U-Wert und begründe deine Reihenfolge mit den bisherigen Erkenntnissen.

Porenbeton, massiver Beton, Holz (massiv), Schaumstoff

Formuliere eine Regel, welche Eigenschaft ein Material haben muss, um als Dämmstoff zu dienen!

U-Wert(Schaumstoff) <U-Wert (Porenbeton)< U-Wert (Holz)< U-Wert (Beton)

Je größer die eingeschlossenen Luftkammern sind, um so besser ist die Dämmwirkung, da eingeschlossene Luft die Wärme kaum leitet.

In dem Stoff müssen die Teilchen einen möglichst großen Abstand haben.

f) Im Winter erhöht eine schlechte Wärmedämmung den Energiebedarf und die Heizkosten. Erkläre, was eine schlechte Wärmedämmung im Sommer bewirkt.

Eine Wand die gut isoliert transportiert kaum Wärme => im Sommer wird kaum Wärme durch die Wand in das relativ kältere Haus transportiert, das Haus bleibt angenehm kühl auch bei Hitze.

Zusatzaufgaben

g) Recherchiere jeweils, welchen Heizwärmebedarf pro m^2 folgende Häuser haben:
ein nicht saniertes Haus Baujahr 1950 hat, ein Haus Baujahr 1990 und ein Passivhaus
Ermittle, um wie viel Prozent der Heizwärmebedarf abgesunken ist!

1950: $200\,\frac{kWh}{m^2}$

1990: $160\,\frac{kWh}{m^2}$ [24]

Passiv: $15\,\frac{kWh}{m^2}$

Absinken des Energiebedarfs um 92,5%

[24] https://asue.de/node/2416

h) Angenommen, alle Gebäude in Deutschland wären so gut gedämmt, wie ein Passivhaus, wie hoch wäre die benötigte Heizenergie und wie würde sich der Energiebedarf in Deutschland dadurch ändern? Berechne mit Hilfe der Graphik aus Aufgabe 1 und deinem Ergebnis aus g)!

$$17kWh \cdot (1 - 0{,}925) = 1{,}3\ kWh$$

Gesamt: Anstelle von $120\ kWh$

$$104{,}3\ kWh$$

i) Überlege Dir, durch welche Maßnahmen man ein Haus mit Baujahr 1950 auf den Stand eines Passivhauses bringen könnte und führe dann Gründe auf, warum der in h) ermittelte Wert eher unrealistisch ist!
Maßnahmen: Wände dämmen, Fenster austauschen, Lüftungsanlage, evtl Keller und Bodenplatte dämmen. Dämmen eines Hauses ist sehr aufwändig und teuer und es fehlen die Handwerker. Bei älteren Gebäuden sind manche Maßnahmen (wie Keller) nicht möglich, zudem werden nicht alle Inhaber die Gebäude so stark dämmen, weswegen der Wert unrealistisch ist.

Arbeitsblatt Druck: Manches geht auch mit Druck -Das Geheimnis der Wärmepumpe

Am Ende des Arbeitsblattes solltest du folgende Fragen beantworten können:

- Was versteht man physikalisch unter Druck?
- Wie stellt man sich Druck auf Teilchenebene vor?
- Wie wirkt sich Druck auf die innere Energie /Temperatur eines Gases aus.

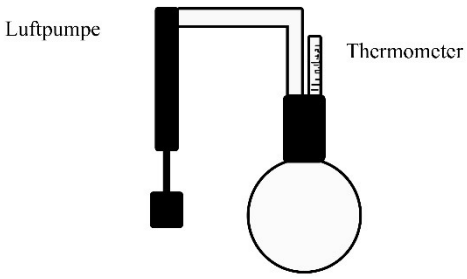
Über 40% der neugebauten Wohnhäuser heizen mit Wärmepumpen geheizt und auch viele andere Häuser sollen dafür umgebaut werden, denn diese Heizungen nutzen die kalten Außenluft als Energiequelle um die Wohnung zu heizen und dieser Prozess ist CO_2 neutral.

Aber wie kann die Wärmepumpe mit der kalten Außenluft das warme Haus heizen?

Um das Prinzip der Wärmepumpe zu verstehen, hilft uns ein dieses Experiment und wir brauchen eine neue physikalische Größe!

Aufgabe 1: Definition

Eine Luftpumpe wird an einem Kolben angeschlossen.



Quelle privat

a) Der Kolben der Luftpumpe wird eingedrückt. Benenne, welche Größe der eingeschlossenen Luft dabei unverändert bleibt und beschreibe im Teilchenmodell, was durch das zusammendrücken des Kolbens mit den Teilchen der eingeschlossenen Luft passiert!

b) Beobachte, was mit dem Kolben passiert, wenn man diesen, nachdem man ihn eingedrückt hat, wieder loslässt! Beschreibe Deine Beobachtung und erkläre diese im Teilchenmodell!

c) Die Größe, die sich durch das Eindrücken verändert hat, nennt man Druck. Überlege dir anhand der Ergebnisse aus Aufgaben a) und b) was durch den Druck beschrieben wird und ergänze dann den Merksatz!

Luft lässt sich **zusammendrücken**. Wenn Luft oder ein anderes Gas **gepresst** ist, sagt man im Gas herrscht **Druck.**

Druck ist ein Maß für das **Gepresstsein** der Luft!

Aufgabe 2: Druck und Temperatur

a) Überlege dir, was du tun musst, um den Druck im Kolben zu erhöhen. Ergänze passend die Skizze.

b) Beschreibe, was energetisch dabei passiert:

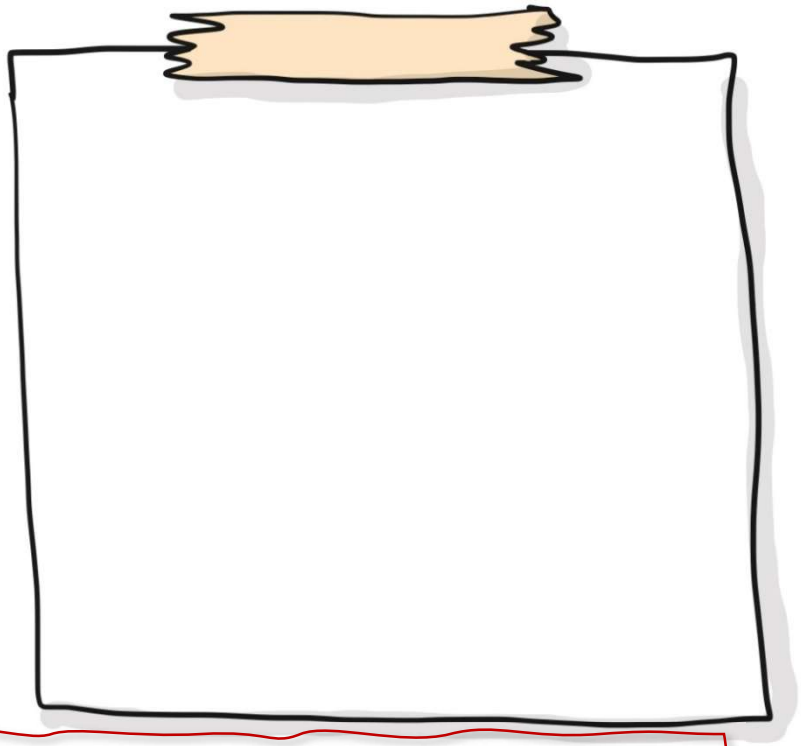
Die Energie wird _____und dabei _____ verrichtet

Beobachte nun die Temperatur im Kolben, wenn der Druck erhöht bzw. erniedrigt wird

Beobachtung:

	Anfang	Druck etwas erhöht	Druck erniedrigt	Druck stark erhöht
T_{Kolben}				

c) Formuliere einen Merksatz, der den Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur zusammenfasst und beschreibt, was notwendig ist, um den Druck zu erhöhen und was dabei für die innere Energie folgt.



Man kann die Innere Energie eines Gases oder einer Flüssigkeit erhöhen, in dem man

_____

Arbeitsblatt Druck: Manches geht auch mit Druck -Das Geheimnis der Wärmepumpe

Lösungshinweise

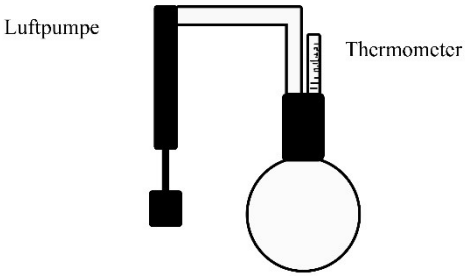
Über 40% der neugebauten Wohnhäuser heizen mit Wärmepumpen geheizt und auch viele andere Häuser sollen dafür umgebaut werden.

Aber wie kann die Wärmepumpe mit der kalten Außenluft das warme Haus heizen?

Um das Prinzip der Wärmepumpe zu verstehen, hilft uns ein dieses Experiment und wir brauchen eine neue physikalische Größe!

Aufgabe 1: Definition

Eine Luftpumpe wird an einem Kolben angeschlossen.



Quelle privat

a) Der Kolben der Luftpumpe wird eingedrückt. Benenne, welche Größe der eingeschlossenen Luft dabei unverändert bleibt und beschreibe im Teilchenmodell, was durch das zusammendrücken des Kolbens mit den Teilchen der eingeschlossenen Luft passiert!
Die Masse bzw. die Anzahl der Teilchen bleibt gleich, die Abstände zwischen den Teilchen werden verkleinert,

b) Beobachte, was mit dem Kolben passiert, wenn man diesen, nachdem man ihn eingedrückt hat, wieder loslässt! Beschreibe Deine Beobachtung und erkläre diese im Teilchenmodell!
Der Kolben kehrt in die Ursprungsposition zurück, denn die Teilchen streben wieder auseinander und drücken dabei den Kolben heraus

c) Die Größe, die sich durch das Eindrücken verändert hat, nennt man Druck. Überlege dir anhand der Ergebnisse aus Aufgaben a) und b) was durch den Druck beschrieben wird und ergänze dann den Merksatz!

Luft lässt sich **zusammendrücken**. Wenn Luft oder ein anderes Gas **zusammengedrückt****presst** ist, sagt man im Gas herrscht **Druck.**

Druck ist ein Maß für das **Gepresstsein** der Luft!

Aufgabe 2: Druck und Temperatur

a) Überlege dir, was du tun musst, um den Druck im Kolben zu erhöhen. Ergänze passend die Skizze. Den Kolben mit mehr Kraft hineindrücken

b) Beschreibe, was energetisch dabei passiert:

Die Energie wird _____erhöht_____und dabei ____Arbeit_____ verrichtet

Beobachte nun die Temperatur im Kolben, wenn der Druck erhöht bzw. erniedrigt wird

Beobachtung:

	Anfang	Druck etwas erhöht	Druck erniedrigt	Druck stark erhöht
T_{Kolben}		Wird größer	Wird kleiner	Sehr hoch

c) Formuliere einen Merksatz, der den Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur zusammenfasst und beschreibt, was notwendig ist, um den Druck zu erhöhen und was dabei für die innere Energie folgt.

Um den Druck zu erhöhen, muss Arbeit verrichtet werden, dabei wird die innere Energie des Gases erhöht.
Somit erhöht sich die Temperatur.

Je höher der Druck umso höher die Temperatur.

Man kann die Innere Energie eines Gases oder einer Flüssigkeit erhöhen, in dem man

_____den Druck erhöht_____

Wärmepumpe: Wie heizt man mit der kalten Luft?

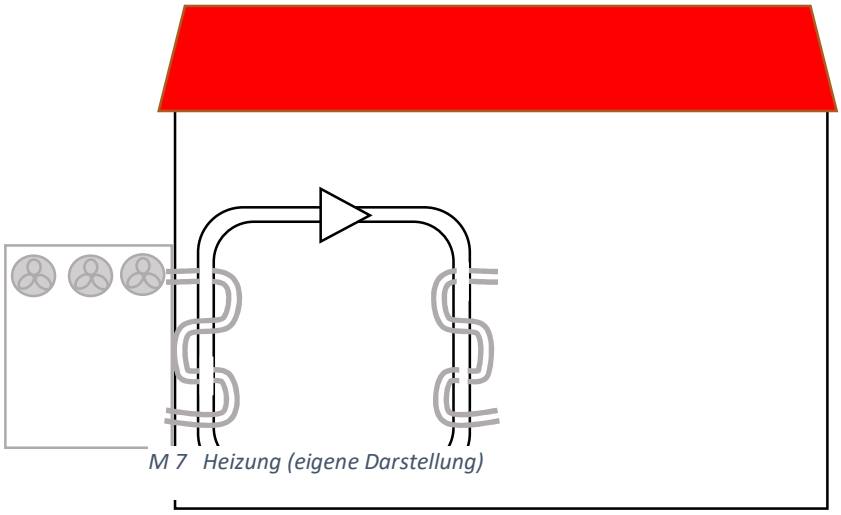
Am Ende des Arbeitsblattes solltest du folgende Fragen beantworten können:

- Wie ist eine Wärmpumpe vom Grundprinzip aufgebaut inkl. Zusammenfassung auf Seite 3
- Welcher Teil der Wärmepumpe hat welche Temperatur und wie werden die Temperaturunterschiede erzeugt?
- Wie wird elektrische Energie bei einer Wärmepumpe eingesetzt?
- Wie beschreibt man die Wirksamkeit einer Wärmepumpe?

Aufgabe 1: Energieflüsse

Schätze zunächst folgende Temperaturen ab

Temperatur des Heizwassers in der Heizung :_____°C
Temperatur der Außenluft im Winter: _____°C



M 7 Heizung (eigene Darstellung)

a) Ergänze (mit M 1.) in der Graphik den Heizkörper, der angeschlossen wird. Ergänze anschließend die obigen Temperaturen. Markiere mit blau die in die Wärmepumpe strömende Außenluft und mit rot das Heizwasser.

b) Als Kältemittel bezeichnet man den Stoff, mit dem die Wärmepumpe gefüllt ist. Schraffiere ganz zart den Bereich, der mit Kältemittel gefüllt ist.

Wärme fließt vom Gebiet _____Temperatur ins Gebiet _____ Temperatur.

c) Welche Bedingung muss für das Kältemittel auf der linken Seite der Wärmepumpe gelten muss, damit Wärme von der Außenluft ins Kältemittel fließt!

_____

Schreibe eine mögliche Temperatur in das linke Rechteck und zeichne den Energiefluss ein!

d) Überlege Dir, welche Bedingung für das Kältemittel auf der rechten Seite gelten muss, damit, das Wasser im Heizsystem aufgeheizt werden, also Wärme im Haus abgegeben werden kann

_____

Schreibe eine mögliche Temperatur in das linke Rechteck und zeichne den Energiefluss ein!

Um also Wärme von der kalten Außenluft ins warme Haus zu transportieren, muss das Kältemittel zum Aufnehmen der Energie eine Temperatur von _____ Grad haben, zum Abgeben der Energie eine Temperatur von _____ Grad haben. Die Temperatur des Kältemittels muss sich also um _____ Grad erhöhen!

Aufgabe 2: Trick der Wärmepumpe

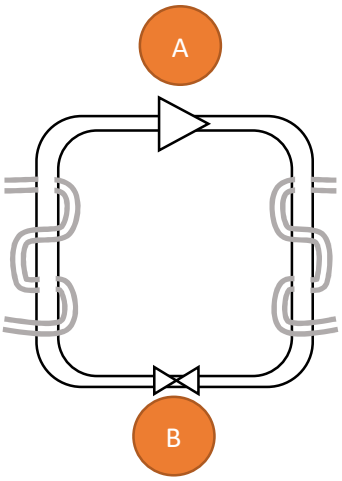
Überlege dir jetzt, wie die Wärmepumpe das schafft, dass die Temperatur des Kältemittel sich von links nach rechts ändert! Was ist also der „Trick“?

Die Temperatur eines Stoffes ist abhängig vom Druck.
Durch Erniedrigen des Drucks vermindert sich die Temperatur eines Stoffes, durch Erhöhen des Drucks erhöht sich die Temperatur.
Das Geheimnis der Wärmepumpe besteht darin, dass sie die Temperatur des Kältemittels passend erhöht bzw. erniedrigt und das gelingt der Wärmepumpe durch

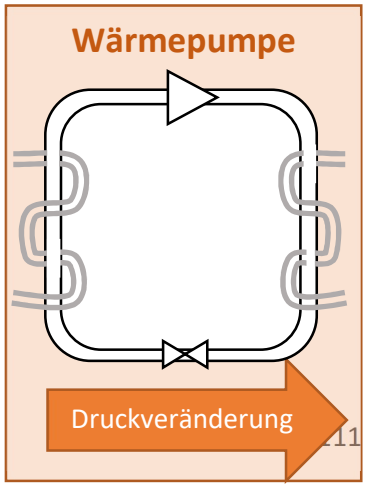
_____

Aufgabe 3: Energiebetrachtung!

a) Markiere Bereiche mit hohem Druck indem du das Kältemittel ganz eng schraffierst und Bereiche mit niedrigem Druck mit zarter Schraffur.
Beschreibe die Wirkung von Bauteil A und Bauteil B



b) Überlege dir an welchen Stellen der Wärmepumpe Energie zufließt
(Tipp, eines der beiden Bauteile (A oder B) benötigt elektrische Energie E_{el}.
An welcher Stelle fließt Energie ab? Zeichne diese Energieflüsse als Pfeile ein und beschrifte sie



Material 1: Grundprinzip der Wärmepumpe

Als Heizung verwendet, arbeitet eine Luftwärmepumpe so:

- *Sie entnimmt einer Wärmequelle (der Außenluft) mit niedriger Temperatur Energie*
- *hebt damit ein Kältemittel auf ein höheres Temperaturniveau an („pumpt“)*
- *gibt dann Energie an das Heizsystem eines Gebäudes ab.*

Aufgabe 4: energetische Bewertung und JAZ

a) Überlege dir, welche der folgenden Wärmepumpen besser ist und woher die zusätzliche Energie kommt.

Wärmepumpe 1 braucht E_{el}= 0,5kW um eine Heizwärme Q= 3kW ans Haus abzugeben.
Wärmepumpe 2 braucht E_{el}= 1 kW um eine Heizwärme Q= 4kW ans Haus abzugeben.

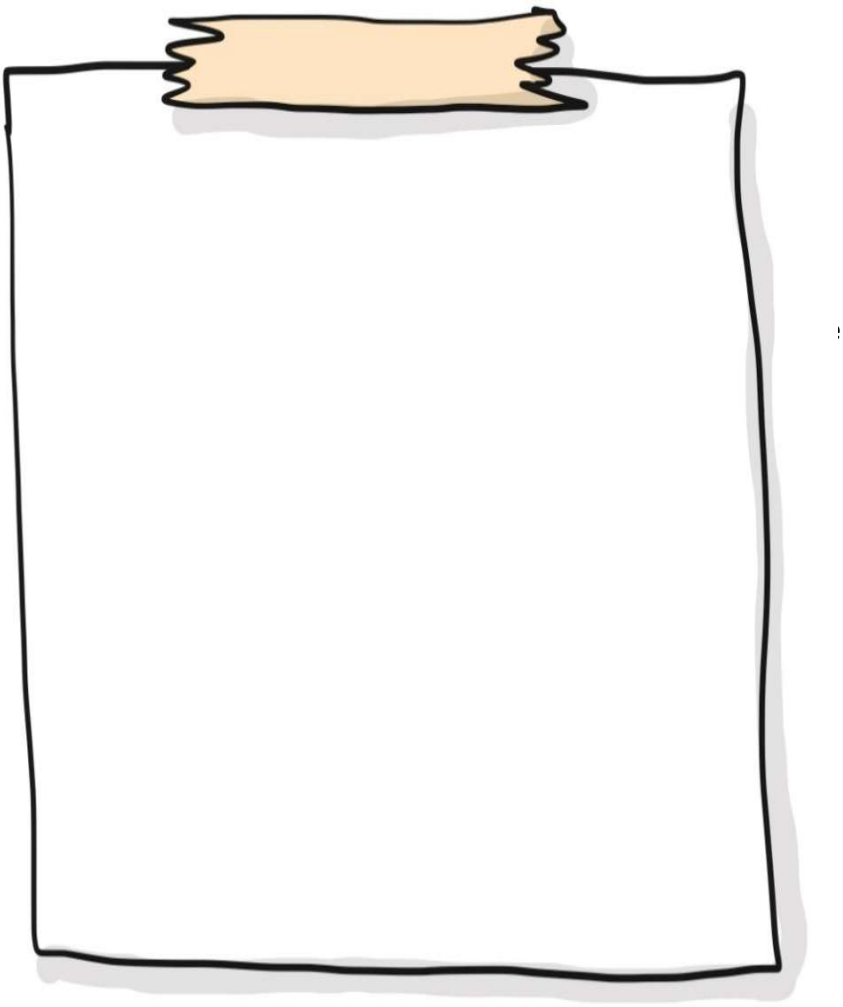
Um zu beschreiben, wie gut eine Wärmepumpe arbeitet, verwendet man die Jahresarbeitszahl. Diese berechnet man (vereinfacht) durch

$$JAZ = \frac{Q}{E_{el}}$$

b) Ein gut gedämmtes Einfamilienhaus hat einen Wärmebedarf von $10\,000\ kWh$. Die Wärmepumpe hat eine Jahresarbeitszahl von $3{,}1$. Ermittle den Bedarf an elektrischer Energie im Jahr!

c) Wenn in einem Haus eine Wärmepumpe eingesetzt wird, steigt der Stromverbrauch stark an. Begründe, warum es trotzdem eine gute Maßnahme für das Klima und die Energiewende ist, indem du erklärst, warum man massiv Energie und CO2 sparen kann, auch wenn man deutlich mehr Strom einsetzt, um seine Wohnung mit einer Wärmepumpe zu heizen.

d) Schreibe eine kurze Zusammenfassung, wie die Wärmepumpe funktioniert.



Wortspeicher:
Umgebungswärme, Kältemittel, Druck erhöhen, Heizwärme, erniedrigen, elektrische Energie

Es gibt übrigens auch Wärmepumpe, die die Energie aus dem Grundwasser, Erdreich oder dem Abwasser/Abluft entnehmen. Das Prinzip bleibt dabei aber gleich

Wärmepumpe: Wie heizt man mit der kalten Luft? Lösung

Am Ende des Arbeitsblattes solltest du folgende Fragen beantworten können:

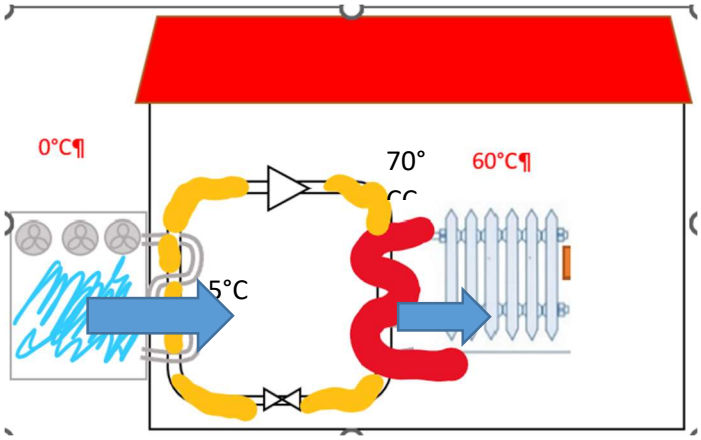
- Wie ist eine Wärmpumpe vom Grundprinzip aufgebaut inkl. Zusammenfassung auf Seite 3
- Welcher Teil der Wärmepumpe hat welche Temperatur und wie werden die Temperaturunterschiede erzeugt?
- Wie wird elektrische Energie bei einer Wärmepumpe eingesetzt?
- Wie beschreibt man die Wirksamkeit einer Wärmepumpe?

Aufgabe 1: Energieflüsse

Schätze zunächst folgende Temperaturen ab

Temperatur des Heizwassers in der Heizung :_60_°C

Temperatur der Außenluft im Winter: _____0°___°C



a) Ergänze (mit Mat 1.) in der Graphik den Heizkörper, der angeschlossen wird. Ergänze anschließend die obigen Temperaturen. Markiere mit blau die in die Wärmepumpe strömende Außenluft und mit rot das Heizwasser.

b) Als Kältemittel bezeichnet man den Stoff, mit dem die Wärmepumpe gefüllt ist. Schraffiere ganz zart den Bereich, der mit Kältemittel gefüllt ist.

Wärme fließt vom Gebiet _hoher Temperatur ins Gebiet __niedrigerer_____ Temperatur.

c) Welche Bedingung muss für das Kältemittel auf der linken Seite der Wärmepumpe gelten muss, damit Wärme von der Außenluft ins Kältemittel fließt!
Die Temperatur des Kältemittels muss kälter als die der Außenluft sein, also z.B. -5°C
Schreibe eine mögliche Temperatur in das linke Rechteck und zeichne den Energiefluss ein!

d) Überlege Dir, welche Bedingung für das Kältemittel auf der rechten Seite gelten muss, damit, das Wasser im Heizsystem aufgeheizt werden, also Wärme im Haus abgegeben werden kann
_Die Temperatur muss höher als die der Heizung sein, also z.B. 70°C
Schreibe eine mögliche Temperatur in das linke Rechteck und zeichne den Energiefluss ein!

Um also Wärme von der kalten Außenluft ins warme Haus zu transportieren, muss das Kältemittel zum Aufnehmen der Energie eine Temperatur von -5 Grad haben, zum Abgeben der Energie eine Temperatur von 70 Grad haben. Die Temperatur des Kältemittels muss sich also um 75 Grad erhöhen!

Aufgabe 2: Trick der Wärmepumpe

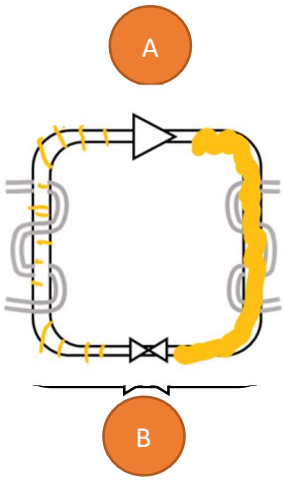
Überlege dir jetzt, wie die Wärmepumpe das schafft, dass die Temperatur des Kältemittel sich von links nach rechts ändert! Was ist also der „Trick“?

Die Temperatur eines Stoffes ist abhängig vom Druck.
Durch Erniedrigen des Drucks vermindert sich die Temperatur eines Stoffes, durch Erhöhen des Drucks erhöht sich die Temperatur.
Das Geheimnis der Wärmepumpe besteht darin, dass sie die Temperatur des Kältemittels passend erhöht bzw. erniedrigt und das gelingt der Wärmepumpe durch
_Veränderung des Drucks

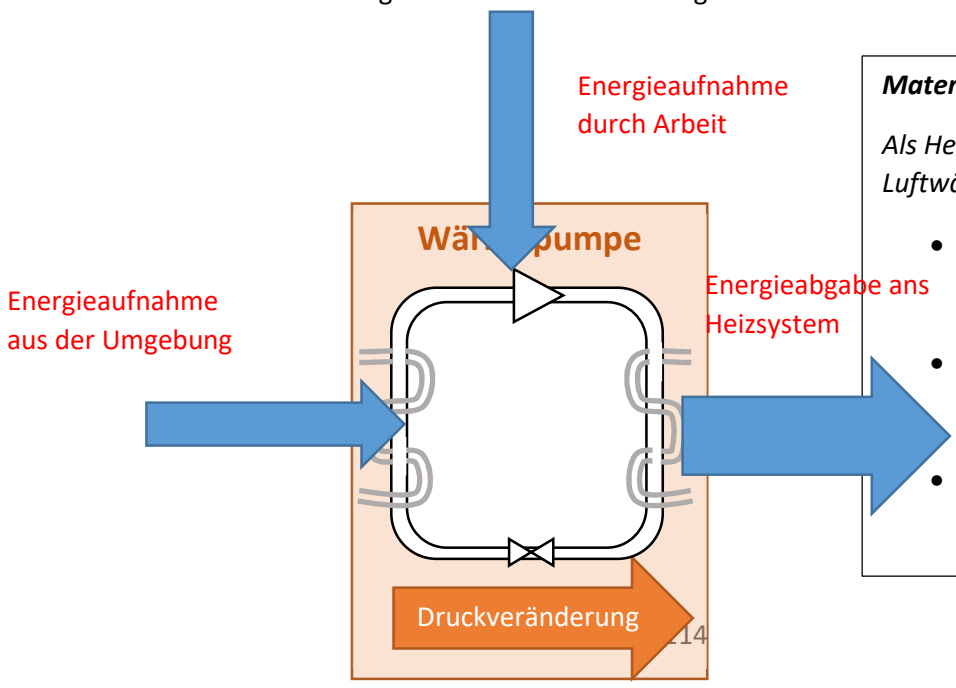
Aufgabe 3: Energiebetrachtung!

c) Markiere Bereiche mit hohem Druck indem du das Kältemittel ganz eng schraffierst und Bereiche mit niedrigem Druck mit zarter Schraffur.
Beschreibe die Wirkung von Bauteil A und Bauteil B

Bauteil A erhöht den Druck, Bauteil B erniedrigt den Druck



d) Überlege dir an welchen Stellen der Wärmepumpe Energie zufließt
(Tipp, eines der beiden Bauteile (A oder B) benötigt elektrische Energie E_{el}.
An welcher Stelle fließt Energie ab? Zeichne diese Energieflüsse als Pfeile ein und beschrifte sie



Material 1: Grundprinzip der Wärmepumpe

Als Heizung verwendet, arbeitet eine Luftwärmepumpe so:

- *Sie entnimmt einer Wärmequelle (der Außenluft) mit niedriger Temperatur Energie*
- *hebt damit ein Kältemittel auf ein höheres Temperaturniveau an („pumpt“)*
- *gibt dann Energie an das Heizsystem eines Gebäudes ab.*

Aufgabe 4: energetische Bewertung und JAZ

e) Überlege dir, welche der folgenden Wärmepumpen besser ist und woher die zusätzliche Energie kommt.

Wärmepumpe 1 braucht E_{el}= 0,5kW um eine Heizwärme Q= 3kW ans Haus abzugeben.
Wärmepumpe 2 braucht E_{el}= 1 kW um eine Heizwärme Q= 4kW ans Haus abzugeben.

Wärmepumpe 1 ist besser, da das Verhältnis aus Wärme und elektrischer Energie höher ist.
Die zusätzliche Energie kommt aus der Umgebung

Um zu beschreiben, wie gut eine Wärmepumpe arbeitet, verwendet man die Jahresarbeitszahl. Diese berechnet man (vereinfacht) durch

$$JAZ = \frac{Q}{E_{el}}$$

f) Ein gut gedämmtes Einfamilienhaus hat einen Wärmebedarf von $10\ 000\ kWh$. Die Wärmepumpe hat eine Jahresarbeitszahl von $3{,}1$. Ermittle den Bedarf an elektrischer Energie im Jahr!

$$E_{El} = \frac{Q}{JAZ} = \frac{10\ 000\ kWh}{3{,}1} = 3226\ kWh$$

g) Wenn in einem Haus eine Wärmepumpe eingesetzt wird, steigt der Stromverbrauch stark an. Begründe, warum es trotzdem eine gute Maßnahme für das Klima und die Energiewende ist, indem du erklärst, warum man massiv Energie und CO2 sparen kann, auch wenn man deutlich mehr Strom einsetzt, um seine Wohnung mit einer Wärmepumpe zu heizen.

Die Wärmepumpe benutzt die elektrische Energie nur, um Wärme zu transportieren. Das heißt zum Großteil heizt die Wärmepumpe mit der Energie aus der Umgebung. Wie in Aufgabe f) gezeigt, wird nur ca. 1/3 der genutzten Wärmeenergie in Form von elektrischer Energie benötigt, der Rest also 2/3 wird „hinzugewonnen“. Da diese Energie somit neu hinzukommt, spart man effektiv Energie und CO2.

h) Schreibe eine kurze Zusammenfassung, wie die Wärmepumpe funktioniert.

Die Wärmepumpe transportiert Wärmeenergie von der kälteren Umgebung ins wärmere Haus. Dabei nimmt das Kältemittel bei niedriger Temperatur Umgebungswärme auf. Durch erhöhen des Drucks unter Zuführung von elektrischer Energie erhöht die Wärmepumpe die Temperatur, so dass die aufgenommene Wärme jetzt wieder an die Heizanlage abgegeben werden kann.

Wortspeicher:
Umgebungswärme, Kältemittel, Druck erhöhen, Heizwärme, erniedrigen, elektrische Energie

Es gibt übrigens auch Wärmepumpe, die die Energie aus dem Grundwasser, Erdreich oder dem Abwasser/Abluft entnehmen. Das Prinzip bleibt dabei aber gleich

Beim Wechsel des Aggregatzustands kann ein Stoff sehr viel Energie abgeben bzw. aufnehmen, das kann man auch bei der Wärmepumpe nutzen

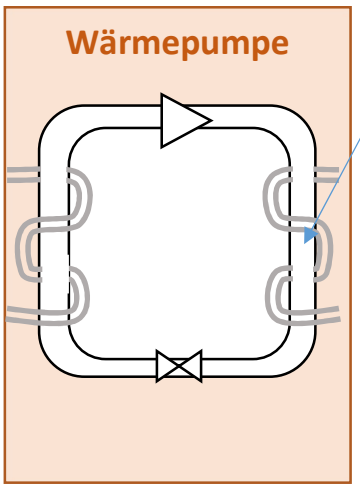
Wärmepumpe und Kühlschrank: Wie man Kondensieren nutzt!

Am Ende des Arbeitsblattes solltest du folgende Fragen beantworten können:

- wenn du weißt, wie ist eine Wärmpumpe und ein Kühlschrank Phasenübergänge nutzen
- wenn du dir Regel überlegt hast, was man beim Heizen und Kühlen beachten sollte

Aufgabe 1:

In der Skizze ist eine Stelle mit „1“ markiert.



a) Überlege dir, was an dieser Stelle dir zutrifft: Streiche das falsche jeweils durch. 1

An der Stelle 1 soll das Kältemittel in der Lage sein, möglichst viel/wenig Energie abzugeben/aufzunehmen.

Dazu sollte die Temperatur möglichst hoch/niedrig sein und der Druck möglichst hoch/niedrig sein.

Wenn das Kältemittel an dieser Stelle kondensiert/verdampft kann es viel Energie abgeben.

Das Kältemittel ist hier also gasförmig/flüssig.

b) Zeichne das Kältemittel nun passend ein: verwendete Punkte für Gas und schraffiere die Fläche im flüssigen Zustand. Zeichne Bereiche mit hohem Druck mit engen Punkten und enger Schraffur und Bereiche mit niedrigem Druck entsprechend weiter.

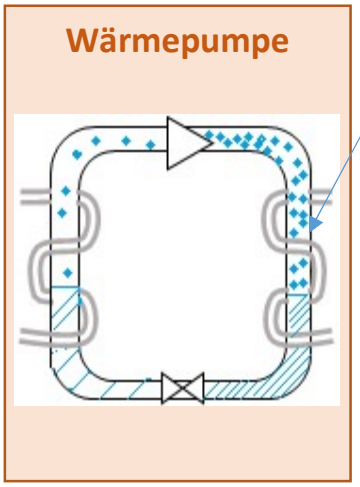
c) Bei welcher Temperatur muss der Siedepunkt des Kältemittels ungefähr liegen, damit dieser Prozess funktioniert

Aufgabe 2:

a) Erkläre wie man mit diesem Prinzip einen Kühlschrank betreiben kann. aus der man erkennt, welcher Teil der Wärmepumpe im Kühlschrank und welcher außerhalb liegt.
b) Kühlschränke gibt es in sehr verschiedenen Energieklassen. Begründe wofür die elektrische Energie im Kühlschrank verwendet wird.
c) Worauf muss man achten, wenn man Kühlschrank mit einer guten Energieklasse herstellen will? Worauf sollte man als Familie achten, damit der Kühlschrank die Energie sinnvoll einsetzt.
d) Übertrage deine Ideen von Aufgabe c) auf das Heizen und notiere dir hier Regeln.

Aufgabe 1:

In der Skizze ist eine Stelle mit „1“ markiert.



a) Überlege dir, was an dieser Stelle dir zutrifft: Streiche das falsche jeweils durch.

An der Stelle 1 soll das Kältemittel in der Lage sein, möglichst viel/~~wenig~~ Energie abzugeben/~~aufzunehmen~~.

Dazu sollte die Temperatur möglichst hoch/~~niedrig~~ sein und der Druck möglichst hoch/~~niedrig~~ sein.

Wenn das Kältemittel an dieser Stelle kondensiert/~~verdampft~~ kann es viel Energie abgeben.

Das Kältemittel ist hier also gasförmig/~~flüssig~~.

b) Zeichne das Kältemittel nun passend ein: verwendete Punkte für Gas und schraffiere die Fläche im flüssigen Zustand. Zeichne Bereiche mit hohem Druck mit engen Punkten und enger Schraffur und Bereiche mit niedrigem Druck entsprechend weiter.

Aufgabe 2:

a) Erkläre wie man mit diesem Prinzip einen Kühlschrank betreiben kann. aus der man erkennt, welcher Teil der Wärmepumpe im Kühlschrank und welcher außerhalb liegt.
Im Kühlschrank will man dem Innenraum die Wärme entziehen, d.h. die linke Zufuhr ist im Kühlschrank, der Rest ist an der Rückwand

b) Kühlschränke gibt es in sehr verschiedenen Energieklassen. Begründe wofür die elektrische Energie im Kühlschrank verwendet wird.
Zum Erhöhen des Drucks des Kühlmittels (und zum pumpen)

c) Worauf muss man achten, wenn man Kühlschrank mit einer guten Energieklasse herstellen will? Worauf sollte man als Familie achten, damit der Kühlschrank die Energie sinnvoll einsetzt. Möglichst gute Isolation einsetzen und die Tür möglichst kurz öffnen, keine Wärmequellen (warme Speisen) einbauen

Regeln für sinnvolles Heizen und Kühlen

- Möglichst kurz Stoßlüften (Schimmel vermeiden) bzw. Tür öffnen
- Luftzufuhr an allen Wärmetauschern ermöglichen (d.h. Kühlschrank nicht direkt an die Wand stellen, Heizkörper nicht verbauen/zuhängen)
- Speisen abkühlen lassen, bevor sie in den Kühlschrank kommen
- Dichtung kontrollieren (bei der Kühlschranktür, Fenster, Haustür)

d) Übertrage deine Ideen von Aufgabe c) auf das Heizen und notiere dir hier Regeln.

Geothermie und Wärmepumpen – It's getting hot in here

M1 Energie aus der Erde

Im Erdinneren schlummert eine gewaltige Energiemenge – Da wäre es doch eine gute Idee diese Energie auch für unsere Energieversorgung zu nutzen. Man unterscheidet hierbei zwischen **tiefer Geothermie** und **oberflächennaher Geothermie mit Wärmepumpen.**

Tiefe Geothermie: Mit Hilfe von z.B. 3-4 km tiefen Bohrungen in der Nähe von München, trifft man auf Schichten, die heißes Wasser führen. Dieses Wasser kann man direkt zum Heizen nutzen

1) Gib an, in welcher Form die Energie im Erdinneren vorliegt.

Für Deutschland kann anhand von Studien kann **das Potential der tiefen Geothermie mit ca. $4\ kWh$ pro Person und Tag** abgeschätzt werden.

2) Überlege kurz, warum Geothermie in Deutschland nur begrenzt z.B. im Vergleich zu Island zur Verfügung steht

3) Bestimme aus M2 den aktuellen Bedarf an Heizwärme.

4) Bestimme den Heizwärmebedarf, der nicht mit tiefer Geothermie abgedeckt werden kann.

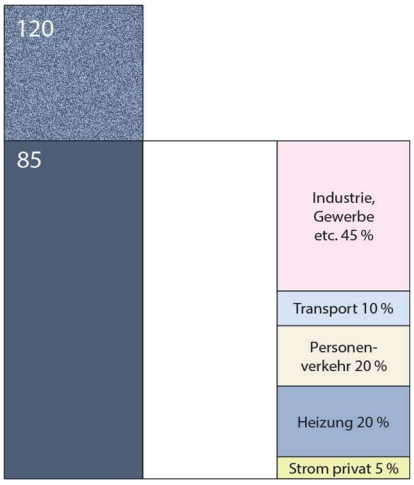
5) Erkläre kurz, warum man in Zukunft davon ausgehen kann, dass sich der Heizwärmebedarf für Gebäude in Deutschland erheblich reduzieren (um ca. 50%) wird. Bestimme dann mit dem Ergebnis aus Aufgabe 4, welcher Heizwärmebedarf sich damit für die Zukunft ergibt, der noch gedeckt werden muss!

Um diese restliche Energie regenerativ zu erzeugen, ist es sinnvoll **Wärmepumpen** zu nutzen, die als Wärmequelle die Luft oder die Energie in einigen Metern Tiefe nutzen. Wärmepumpen verwenden dabei elektrischen Strom, um die Energie der Wärmequelle ins Heizsystem zu transportieren.

6) Bei Wärmepumpen gibt die **Jahresarbeitszahl (JAZ)** (vereinfacht) über das Jahr gemittelt das Verhältnis aus der zum Heizen verwendeten abgegebenen Energie Q zu der benötigten elektrischen Energie E_{el} an. Diese ist in etwa bei $3{,}2$

$$JAZ = \frac{Q}{E_{el}}$$

Ermittle, mit Hilfe des noch verbleibenden Heizwärmebedarfs, den man in Aufgabe 5 ermittelt hat, wie viel elektrische Energie benötigt werden würde, wenn man den verbleibenden Heizwärmebedarf durch Wärmepumpen decken würde!



M2 heutiger (End)Energiebedarf

7) Ermittle dann aus dem Ergebnis aus Aufgabe 6 und dem verbleibendem Heizwärmebedarf wie viel Energie durch Wärmepumpen aus der Umgebung gewonnen wird und somit zusätzlich zur Verfügung steht. Ermittle dann den maximalen Beitrag von Geothermie & Wärmepumpen!

Max. Beitrag von Geothermie & Wärmepumpen zur Energiewende: _____ kWh pro Person und Tag

Zusatzaufgaben:

1) Nenne auch mit Hilfe von **M1** mind. drei Beispiele für Prozesse oder Aktivitäten an der Erdoberfläche, welche durch Energie aus dem Erdinneren ausgelöst werden.

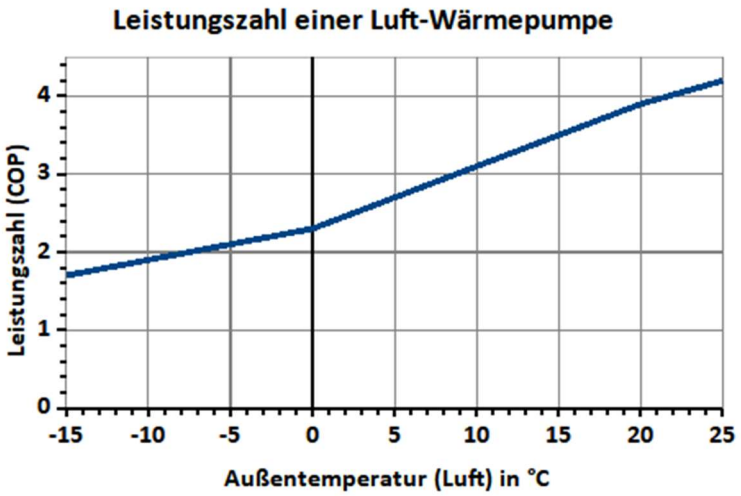
2) Erkläre anhand von **M3**, dass nur ein kleiner Teil dieser Energiemenge genutzt werden kann, v.a. wenn du berücksichtigst, dass die tiefste, jemals ausgeführte Bohrung nur in 12km Tiefe vorgestoßen ist. Recherchiere hierzu falls nötig die Dicken und Temperaturen der Erdschichten.

3) Statt der Leistungszahl (COP) wird oft die sogenannte Jahresarbeitszahl verwendet. Recherchiere Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den beiden Angaben!

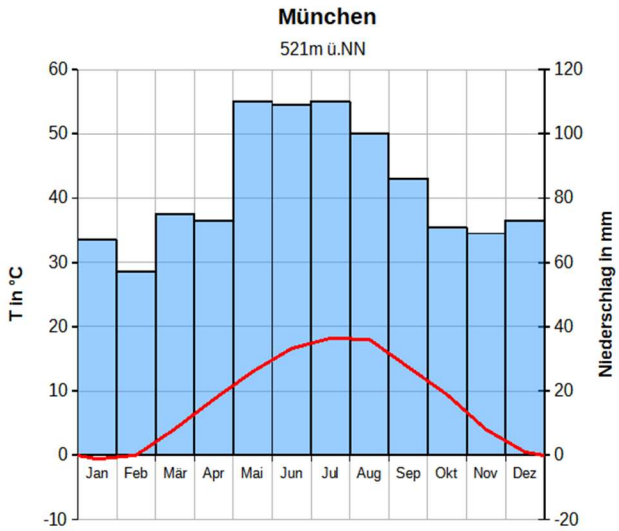
***M3** schematischer Aufbau des Erdinneren*

4) Erörtere gegebenenfalls durch eine Recherche, welche Temperaturen die Wärmequellen haben, welche Temperaturen benötigt werden und wozu die Wärmepumpe dient.

5) chätze mit Hilfe von **M4** und **M5** die mittlere Leistungszahl einer Luft-Wärmepumpe während der Heizperiode (Okt-Apr) ab



***M4** Leistungszahl einer Luft-Wärmepumpe (eigene Darstellung)*



***M5** Klimadiagramm von München (eigene Darstellung)*

M4: Daten aus Planungsunterlagen Wärmepumpe Viessmann Vitocal 200-S
M5: Daten aus www.de.climate-data.org

Geothermie und Wärmepumpen – It's getting hot in here

Lösungshinweise

***M1** Energie aus der Erde*

Im Erdinneren schlummert eine gewaltige Energiemenge – Da wäre es doch eine gute Idee diese Energie auch für unsere Energieversorgung zu nutzen. Man unterscheidet hierbei zwischen **tiefer Geothermie** und **oberflächennaher Geothermie mit Wärmepumpen.**

Tiefe Geothermie: Mit Hilfe von z.B. 3-4 km tiefen Bohrungen in der Nähe von München, trifft man auf Schichten, die heißes Wasser führen. Dieses Wasser kann man direkt zum Heizen nutzen

1) Gib an, in welcher Form die Energie im Erdinneren vorliegt.

   V.a. in Form von Wärme

Für Deutschland kann anhand von Studien kann **das Potential der tiefen Geothermie mit ca. $4\ kWh$ pro Person und Tag** abgeschätzt werden.

2) Überlege kurz, warum Geothermie in Deutschland nur begrenzt z.B. im Vergleich zu Island zur Verfügung steht

   Äußerste Erdkruste 70 km tief und $500°C$ heiß, oberer und unterer Mantel 2900km tief und 3000°C heißt, Erdkern 6700°C heiß. Die richtig heißen Temperaturen sind in solchen Tiefen, die man nicht erreichen kann durch Bohrungen (außer in vulkanischen Gegenden). Deswegen steht in Deutschland nur begrenzt Energie zur Verfügung, da hier die Erdkruste zu dick ist.

3) Bestimme aus M3 den aktuellen Bedarf an Heizwärme.

   $20\% \cdot 85\ kWh = 17$ kWh (pro Person und Tag) (aus M3)

4) Bestimme den Heizwärmebedarf, der nicht mit tiefer Geothermie abgedeckt werden kann.

$$17kWh - 4kWh = 13kWh$$

5) Erkläre kurz, warum man in Zukunft davon ausgehen kann, dass sich der Heizwärmebedarf für Gebäude in Deutschland erheblich reduzieren (um ca. 50%) wird. Bestimme dann mit dem Ergebnis aus Aufgabe 4, welcher Heizwärmebedarf sich damit für die Zukunft ergibt, der noch gedeckt werden muss!

   Die benötigte Heizenergie wird in Zukunft stark abnehmen, da ältere Häuser noch gedämmt werden können.

$$0{,}5 \cdot 13kWh = 6{,}5kWh$$

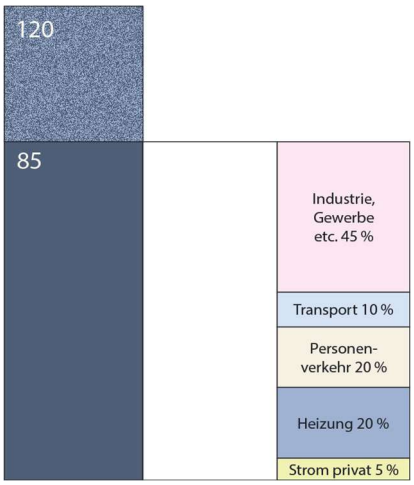
Um diese restliche Energie regenerativ zu erzeugen, ist es sinnvoll **Wärmepumpen** zu nutzen, die als Wärmequelle die Luft oder die Energie in einigen Metern Tiefe nutzen. Wärmepumpen verwenden dabei elektrischen Strom, um die Energie der Wärmequelle ins Heizsystem zu transportieren.

6) Bei Wärmepumpen gibt die **Jahresarbeitszahl (JAZ)** (vereinfacht) über das Jahr gemittelt das Verhältnis aus der zum Heizen verwendeten abgegebenen Energie Q zu der benötigten elektrischen Energie E_{el} an. Diese ist in etwa bei 3,2

$$JAZ = \frac{Q}{E_{el}}$$

Ermittle, mit Hilfe des noch verbleibenden Heizwärmebedarfs, den man in Aufgabe 4 ermittelt hat, wie viel elektrische Energie benötigt werden würde, wenn man den verbleibenden Heizwärmebedarf durch Wärmepumpen decken würde!

$$E_{el} = \frac{Q}{JAZ} = \frac{6{,}5kWh}{3{,}2} \approx 2kWh$$



***M3** heutiger (End)Energiebedarf*

7) Ermittle dann aus dem Ergebnis aus Aufgabe 5 und dem verbleibendem Heizwärmebedarf wie viel Energie durch Wärmepumpen aus der Umgebung gewonnen wird und somit zusätzlich zur Verfügung steht. Ermittle dann den Maximalen Beitrag von Geothermie & Wärmepumpen!

Verbleibender Heizwärmebedarf

$$6{,}5kWh$$

Werden durch Wärmepumpen bereitgestellt.

Diese benötigen $2kWh$ elektrische Energie, somit wird $6{,}5kWh - 2kWh = 4{,}5kWh$ aus der Umgebung zusätzlich gewonnen.

Insgesamt erhält man also aus tiefer Geothermie und durch Wärmepumpen

$$4kWh + 4{,}5kWh = 8{,}5kWh$$

Geben Sie hier eine Formel ein.

Max. Beitrag von Geothermie & Wärmepumpen zur Energiewende: $8kWh$ kWh pro Person und Tag

Zusatzaufgaben:

1) Nenne auch mit Hilfe von **M1** mind. drei Beispiele für Prozesse oder Aktivitäten an der Erdoberfläche, welche durch Energie aus dem Erdinneren ausgelöst werden.

   Vulkanismus inkl. Geysire/Mare, geothermisches Wasser, Plattentektonik mit seinen Erscheinungsformen Erdbeben, Gebirgsbildung und Kontinentalverschiebung

Hinweis: Hier kann auch anhand des nebenstehenden Bildes diskutiert werden, woher diese Energie kommt.

***M3** schematischer Aufbau des Erdinneren*

2) Erkläre anhand von **M3**, dass nur ein kleiner Teil dieser Energiemenge genutzt werden kann, v.a. wenn du berücksichtigst, dass die tiefste, jemals ausgeführte Bohrung nur in 12km Tiefe vorgestoßen ist. Recherchiere hierzu falls nötig die Dicken und Temperaturen der Erdschichten.

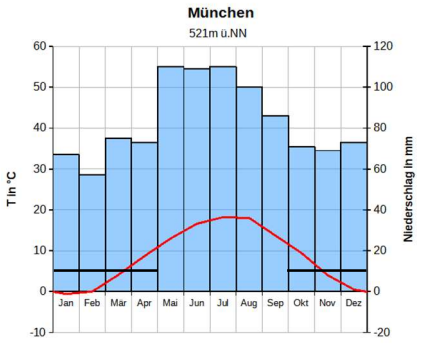
   Äußerste Erdkruste 70 km tief und $500°C$ heiß, oberer und unterer Mantel 2900km tief und 3000°C heißt, Erdkern 6700°C heiß. Die richtig heißen Temperaturen sind in solchen Tiefen, die man nicht erreichen kann durch Bohrungen (außer in vulkanischen Gegenden)

3) Statt der Leistungszahl (COP) wird oft die sogenannte Jahresarbeitszahl verwendet. Recherchiere Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den beiden Angaben!

Leistungszahl	**Jahresarbeitszahl**
Unter genormten Bedingungen	Unter realen Bedingungen
Ermöglicht technischen Vergleich verschiedener Wärmepumpen	Wird über ein Jahr gemittelt ➔ gute Aussagekraft als Einzelwert
Ändert sich im Jahresverlauf → Vergleich nur punktuell möglich	Aber: abhängig von Situation vor Ort, also auch z.B. Fehlnutzung/-planung

4) Erörtere gegebenenfalls durch eine Recherche, welche Temperaturen die Wärmequellen haben, welche Temperaturen benötigt werden und wozu die Wärmepumpe dient.
   Bohrt man weniger tief, so findet man Temperaturen von $10 - 25\ °C$ oder man nutzt die Luft mit Temperaturen von $-10°C$ bis $5°C$ als Wärmereservoir im Winter. Um aber die zum Heizen benötigte Temperatur von $40°C - 60°C$ zu erhalten, benötigt man Wärmepumpen. Mit diesen gelingt es, Energie aus der Wärmequelle mit niedrigerer Temperatur ins Heizsystem zu pumpen.

5) .Schätze mit Hilfe von **M4** und **M5** die mittlere Leistungszahl einer Luft-Wärmepumpe während der Heizperiode (Okt-Apr) ab
   Aus dem Klimadiagramm lässt sich eine mittlere Temperatur von ca 5 °C in der Heizperiode ablesen. Das würde einem mittleren COP von ca. 2,7 entsprechen.



Hinweise zum Aufbau der Stunden

Die Arbeitsblätter sind so konzipiert, dass man die traditionellen Inhalte der Thermodynamik „Änderung der inneren Energie durch Arbeit und Wärme“, „Einführung des Drucks“ und „Wärmetransport“ anhand der Wärmepumpe unterrichtet und so keine Zeit zu verlieren.

Ein mögliches Vorgehen wäre, dass man zuerst das Teilchenmodell einführt und die Temperatur als Maß der mittleren kinetischen Energie einführt. Anschließend betrachtet man die innere Energie als Summe der kinetischen Energie und potentiellen Energie der Teilchen.

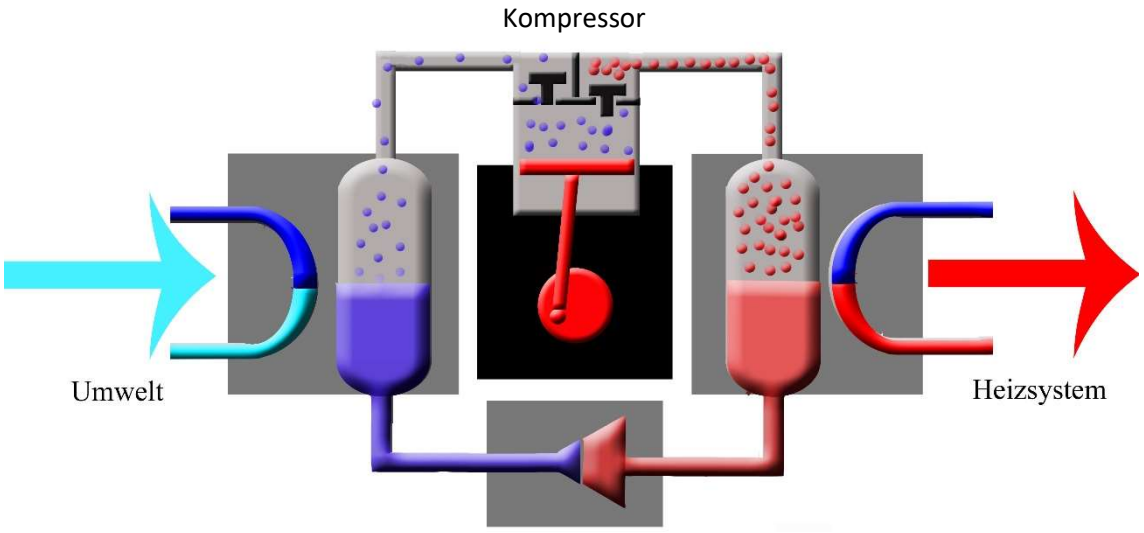
Dann behandelt man das Arbeitsblatt: Wärme, Wärmefluss und Dämmen und bespricht somit die Lehrplankapitel **„Wärmetransport“** und **„Änderung der inneren Energie durch Wärme“.**

Im Anschluss führt man anhand des Arbeitsblattes „Druck: manches geht auch mit Druck“ die physikalische Größe Druck ein und behandelt somit die **Lehrplankapitel „Druck“, „Abhängigkeit des Drucks von Temperatur und Volumen“** und **„Änderung der inneren Energie durch Arbeit“**

Das Arbeitsblatt „Wärmepumpe: Wie heizt man mit kalter Luft?“ vertieft die Inhalte.

Geht man so vor, hat man ohne zusätzliche Zeit die Inhalte behandelt und die Wärmepumpe besprochen.

Speziell im bayerischen Lehrplan hat man somit vom Lehrplankapitel Ph 9 3.1 den Druck und von Kapitel Ph 9 3.2 „Änderung der inneren Energie durch Arbeit und Wärme“ sowie „Wärmeleitung“ besprochen.



Hinweise:
Natürlich gibt es bei der Wärmepumpe im Verdampfer und Verflüssiger Phasenübergänge und man nutzt die Verdampfungsenergie um einen größeren Wärmetransport zu erzielen. Allerdings würde die Wärmepumpe auch ohne die Phasenübergänge funktionieren. Deshalb werden diese zunächst nicht betrachtet und auf das Wesentliche, nämlich die Erhöhung des Drucks, eingegangen.
Die bekannteste Elementarisierung besteht in der Erläuterung der Vorgänge in den Bauteilen in vier Schritten, so dass aber unklar bleibt, wie thermische Energie vom Ort niedriger zum Ort höherer Temperatur fließen kann. Hier wird vorgeschlagen, zuerst deutlich zu machen, dass eine Druckänderung

eine Temperaturänderung bewirkt und die thermische Energie dadurch sowohl im Verdampfer als auch im Verflüssiger vom Ort niedriger zum Ort höherer Temperatur fließt. Eine ausführlichere Erläuterung findet man unter BAUER, T.; WILHELM, T. ***Die Wärmepumpe. Wie gelangt eigentlich Wärme vom Kalten ins Warme?*** Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 61, Nr. 6, 2012, S. 34 – 36 auch abrufbar unter http://www.thomas-wilhelm.net/

Versuche und weitere Hinweise

Folgende Versuche können genutzt werden, um die Funktionsweise der Wärmepumpe zu verdeutlichen. Gleichzeitig können einige Versuche auch genutzt werden, um die grundlegenden Phänomene der Wärme- und Drucklehre, die traditionell in der Schule unterrichtet werden, zu veranschaulichen.

Erhöhung der Temperatur bei Druckerhöhung

Versuchsaufbau

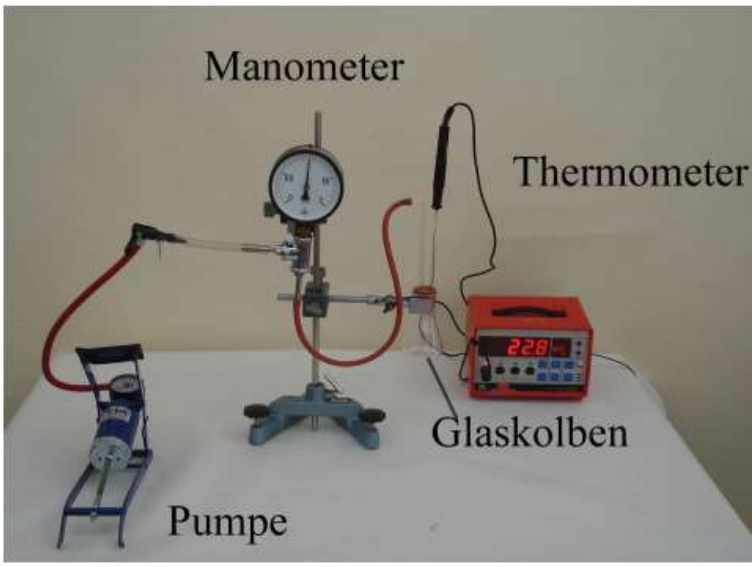
Man verschließt einen Glaskolben mit einem Gummistopfen mit zwei Öffnungen. In den einen führt man eine Pipette und in diese den Temperatursensor ein. Dabei ist darauf zu achten, dass die Pipette so eng ist, dass Pipette und Sensor die Öffnung vollkommen verschließen. In die andere Öffnung führt man ein Glasrohr ein. Dieses verbindet man über einen Gummischlauch mit einem Manometer, an das eine Luftpumpe angeschlossen ist.

Versuchsdurchführung

Man erhöht mit Hilfe der Luftpumpe den Druck und beobachtet auf dem Thermometer die Temperaturangabe. Dabei ist es ratsam, den Gummistopfen festzuhalten, damit dieser nicht heraus gestoßen wird.

Versuchsergebnis

Man liest eine deutliche Temperaturerhöhung ab. Im durchgeführten Versuch betrug die Temperatur zu Beginn 22,8° C und bei erhöhtem Druck 24,7° C. Sinkt der Druck wieder, so sinkt auch die Temperatur



Abhängigkeit von Druck und Temperatur (eigene Darstellung)

Hinweise

Oft wird in der Literatur vorgeschlagen, die Erhöhung der Temperatur bei Druckerhöhung mit Hilfe einer Fahrradluftpumpe zu demonstrieren. Hierbei gibt es jedoch einige Probleme: Zum einen könnten die Schüler die messbare Erwärmung auch auf die Körperwärme des Durchführenden zurückführen, zum anderen ist es schwierig, mit dem Daumen die Öffnung der Pumpe zu verschließen. Außerdem sieht man die Druckerhöhung nicht, sondern spürt sie nur indirekt über die auszuübende Kraft. Bei der zweiten Variante ist die Druckerhöhung eindeutig ablesbar und die Temperaturerhöhung kann unmissverständlich auf die Druckerhöhung zurückgeführt werden

Temperaturerniedrigung bei Druckverminderung

Mit diesem Versuch kann man verschiedene Dinge demonstrieren. Zum einen kann dieser Versuch benutzt werden, um zu zeigen, dass eine Druckverringerung zu einer Abkühlung führt. Damit kann also die Funktionsweise des Expansionsventils demonstriert werden. Zum anderen kann man ihn verwenden, um die Abhängigkeit zwischen Druck und Temperatur oder zwischen Druck und Siedetemperatur aufzuzeigen. Wie im Verdampfer der Wärmepumpe das Kältemittel, wird hier Wasser unter niedrigem Druck zum Sieden gebracht.

Versuchsaufbau

Unter die Glasglocke einer Vakuumpumpe stellt man eine Schale mit Wasser und den Wireless-Temperatursensor (in diesem Versuch wurde der Cobra4 Wireless-Sensor verwendet). Anstelle eines Wireless-Temperatursensors kann man auch ein normales Flüssigkeitsthermometer verwenden. Hieran besteht aber der Nachteil, dass es für die Klasse schwierig ist, die Temperatur abzulesen, da die Anzeige zu klein ist.

Versuchsdurchführung

Bei eingeschalteter Vakuumpumpe beobachtet man den Temperaturverlauf.

Versuchsergebnis

Schon nach kurzer Zeit beobachtet man einen starken Temperaturabfall. Gleichzeitig beobachtet man ein heftiges Sieden des Wassers. Das Sieden endet nach einem weiteren Absinken der Temperatur

Temperaturerniedrigung bei Druckerniedrigung (eigenes Foto)

Als Alternative kann man bei einer Druckpatrone das Gas entweichen lassen und zeigen, dass es zu einer starken Abkühlung kommt.

Temperaturerniedrigung bei Druckerniedrigung (eigenes Foto)

Kondensationswärme von Wasser

Mit diesem Versuch kann demonstriert werden, dass bei der Kondensation Wärme frei wird, also die Funktionsweise des Kondensators verdeutlicht werden.

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in der Abbildung zu sehen. Man verschließt einen Glaskolben mit einem Gummistopfen mit einer Öffnung und führt in diese ein Glasrohr ein. Das Glasrohr soll dabei nicht bis ins Wasser reichen. Dieses verbindet man mit einem Gummischlauch, den man in ein Gefäß mit Wasser einführt. Es ist zu empfehlen, dass das Wasser im Glaskolben bereits eine Temperatur von ca. 40° C hat. In das Gefäß mit Wasser stellt man ein Thermometer.

Versuchsdurchführung

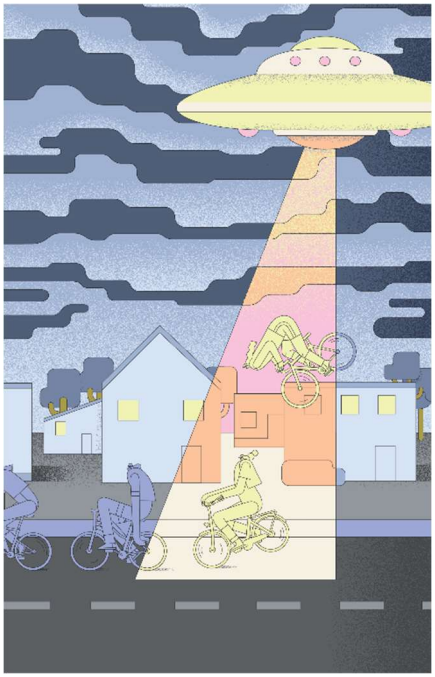
Mit dem Gasbrenner erhitzt man kontinuierlich das Wasser im Glaskolben bis dieses kocht und beobachtet die Temperatur.

Versuchsergebnis

Nach ca. drei Minuten stellt man eine deutliche Temperaturerhöhung fest, wie sie auch in Abbildung 3-67 zu sehen ist. Diese Temperaturerhöhung ist auf die Kondensationswärme und die Wärme, die das kondensierte Wasser beim Abkühlen von 100° C auf die Wassertemperatur abgibt, zurückzuführen. Der durch den Schlauch geleitete Wasserdampf kondensiert im kälteren Wasser und gibt Energie ab, die zu der gemessenen Temperaturerhöhung führt.

Kondensationswärme von Wasser (eigenes Foto)

7. Sonstige Energiequellen



Angesichts des teilweise doch erschreckend niedrigen Potentials der verschiedenen erneuerbaren Energien und der teilweise in der Bevölkerung vorhandenen Ablehnung von zum Beispiel Windrädern, stellt sich die Frage, ob es noch andere Energiequellen gibt, die die Probleme lösen können.

In diesem Kapitel werden einige Möglichkeiten aufgezeigt, deren Potential beziehungsweise Vor- und Nachteile beleuchtet. Gezeitenkraftwerke, können dabei als schöne Anwendungsaufgabe zur Höhenenergie verwendet werden und das Vorgehen einer Abschätzung, ähnlich der, wie sie bei Wasserkraft durchgeführt wurde, kann weiter eingeübt werden.

Das Thema Wellenkraft kann dagegen als Anwendung zur Leistung verwendet werden.

Bei Kernfusion und Kernkraftwerken kann man das Arbeitsblatt verwenden, damit die Schüler lernen, physikalische und nicht physikalische Argumente aus Texten zu entnehmen, diese zu bewerten und einzuordnen und somit die Kompetenz Bewerten zu üben.

In den Büchern:

S. 126-161

S. 94-122

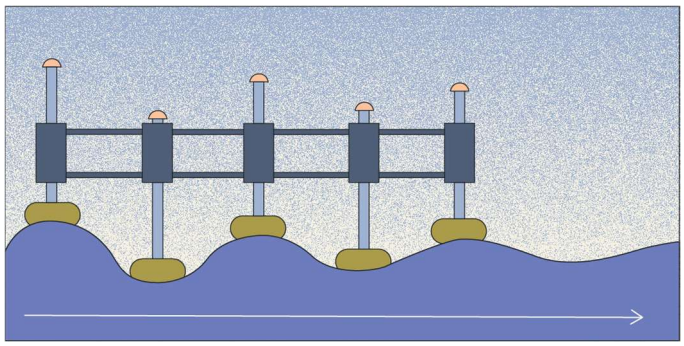
Los geht‘s:

Folgende Unterrichtsmaterialien können als Übungsaufgaben zu den Themen Höhenenergie und Leistung sowie zur Kompetenz Bewerten genutzt werden. Dabei kann man auch nur Teile verwenden und je nach Zeit die Inhalte unterschiedlich stark vertiefen.

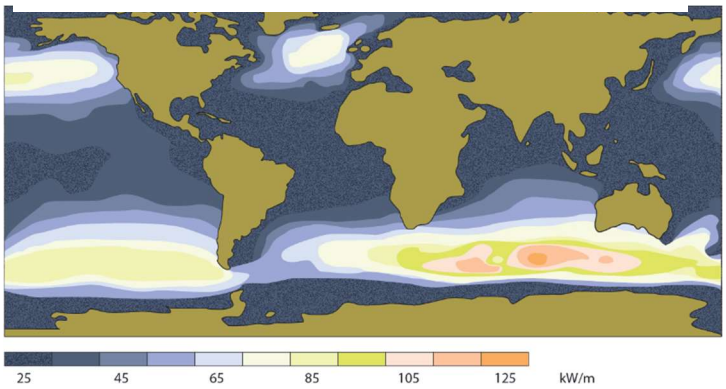
- Wellenenergie (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Gezeitenenergie (Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung
- Kernfusion und Kernkraftwerke (textbasiertes Aufgabenarbeitsblatt)
- Lösung

Wellenenergie

In den Wellen steckt eine gewaltige Energie, die man nutzen könnte.



M 1 Skizze eines Wellenkraftwerks

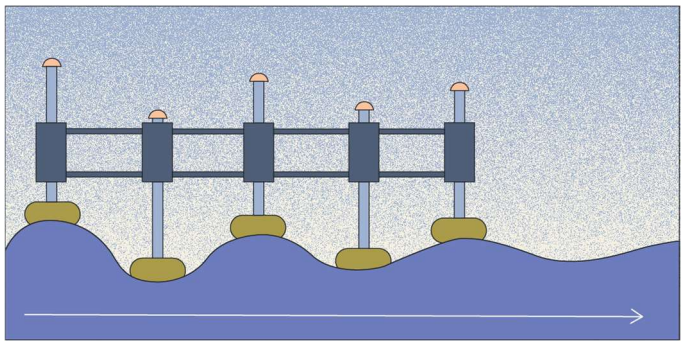


M 2 weltweite Wellenleistung

1) In der Zeichnung ist eine Skizze eines möglichen Wellenkraftwerks zu sehen. Die senkrechten Stäbe sind hoch und runter bewegbar. Betrachte die Skizze und erkläre, wie man mit einem solchen Kraftwerk elektrische Energie erzeugen könnte.
2) Überlege dir, welche Art von Energie bei der Wellenenergie vorliegt und nenne Größen, von denen die gespeicherte Energie der Wellen abhängt.
3) Europa hat ca. eine nutzbare Küstenlänge von 4500 km. Betrachte die Zeichnung auf der die Leistung der Wellen pro Meter dargestellt ist und berechne mit Hilfe dieser Daten, wie groß die mögliche erzeugte Energie an Wellenenergie in einem Jahr wäre, wenn man von einem Wirkungsgrad von 50% ausgeht und die Hälfte der Küste nutzen würde.
4) Berechne dann wie viel Energie pro Tag und Person jedem Europäer dadurch zu Verfügung stehen würde. (Es gibt ca. 750 Millionen Europäer)
5) Erkläre dann, warum man in unserer Energiebilanz diese Energie vernachlässigen kann, insbesondere wenn man den Aufwand der Erzeugung betrachtet.

Wellenenergie Lösungshinweise

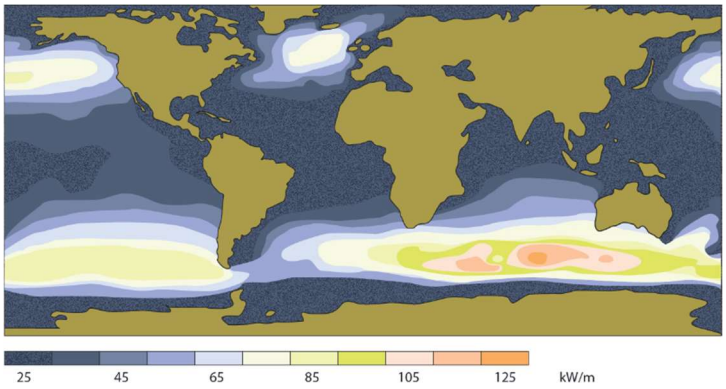
In den Wellen steckt eine gewaltige Energie, die man nutzen könnte.



M 1 Skizze eines Wellenkraftwerks

1) In der Zeichnung ist eine Skizze eines möglichen Wellenkraftwerks zu sehen. Die senkrechten Stäbe sind hoch und runter bewegbar. Betrachte die Skizze und erkläre, wie man mit einem solchen Kraftwerk elektrische Energie erzeugen könnte.
Durch die Wellen werden die Schwimmer hoch und runter bewegt. Die Bewegungsenergie kann zum Beispiel durch einen Generator ähnlich wie bei einem Fahrrad in elektrische Energie umgewandelt werden.

2) Überlege dir, welche Art von Energie bei der Wellenenergie vorliegt und nenne Größen, von denen die gespeicherte Energie der Wellen abhängt.
Die Wellenenergie liegt in kinetischer und potentieller Energie vor. Die Energie hängt somit von der Wellenhöhe und der Geschwindigkeit also der Zeit bzw. der Häufigkeit, in der die Wellen kommen ab.



M 2 weltweite Wellenleistung

3) Europa hat ca. eine nutzbare Küstenlänge von 4500 km.
Betrachte die Zeichnung auf der die Leistung der Wellen pro Meter dargestellt ist und berechne mit Hilfe dieser Daten, wie groß die mögliche erzeugte Energie an Wellenenergie in einem Jahr wäre, wenn man von einem Wirkungsgrad von 50% ausgeht und die Hälfte der Küste nutzen würde.

$$E = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 4500\,000m \cdot 25\frac{kW}{m} \cdot 365 \cdot 24 = 2{,}5 \cdot 10^{11} kWh$$

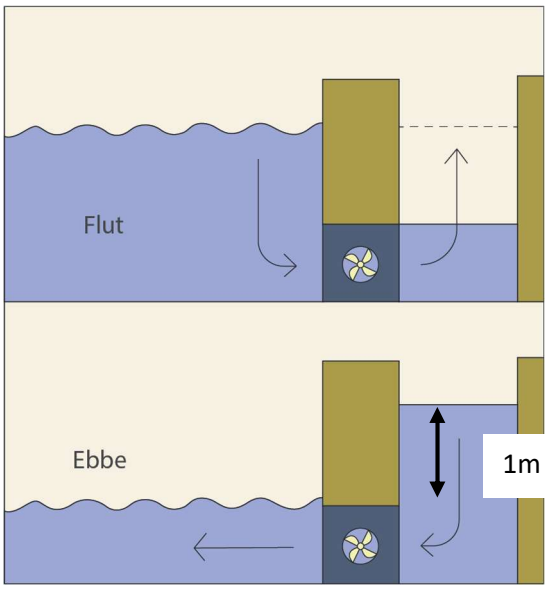
4) Berechne dann wie viel Energie pro Tag und Person jedem Europäer dadurch zu Verfügung stehen würde. (Es gibt ca. 750 Millionen Europäer)

$$E = 2{,}5 \cdot \frac{10^{11} kWh}{750 \cdot 10^6 \cdot 365d} = \frac{1 \cdot kWh}{Person\ Tag}$$

5) Erkläre dann, warum man in unserer Energiebilanz diese Energie vernachlässigen kann, insbesondere wenn man den Aufwand der Erzeugung betrachtet.

Der Aufwand ist für diesen geringen Ertrag sehr groß, da man ja auf dem Meer diese Anlagen installieren muss und der Strom zur Küste kommen muss.

Gezeitenenergie



Wer Urlaub am Meer macht, kann erleben, wie sich im Halbtagesrythmus das Wasser in Form von Ebbe und Flut hebt und senkt. Wenn man sich überlegt, welche Wassermassen sich hierbei bewegen, könnte man meinen, dass da ziemlich viel Energie im Spiel sein muss.

1) Erkläre anhand der nebenstehenden Skizze, wie ein Gezeitenkraftwerk funktioniert und benenne dann die Art Energie.

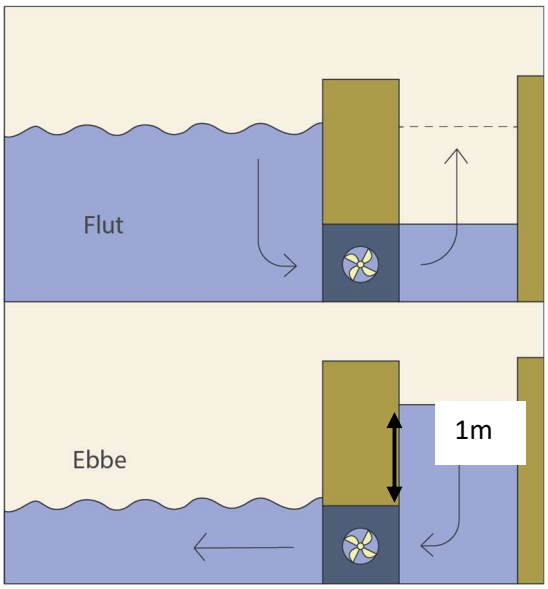
In Deutschland ist der Tidenhub maximal 4m. Um abzuschätzen, wie viel Energie man so erzeugen könnte, stellen wir uns einen vollen Wasserpool mit $1\ m^2$ Grundfläche vor in dem 4m hoch das Wasser steht.

2) Bestimme die potentielle Energie des Wassers (Da ja nicht das gesamte Wasser 1m gehoben wurde, muss man bei der Berechnung der potentiellen Energie die durchschnittliche Höhe, also 2 m verwenden).

3) Wenn man die gesamte Elbmündung abschließen würde und so ein Gezeitenkraftwerk bauen würde, hätte man eine Fläche von $500\ km^2$. Schätze damit die maximal so in Deutschland erzeugbare Energie pro Tag und Person ab und bewerte dein Ergebnis hinsichtlich der Relevanz für die Energiewende, wenn du es mit dem Bedarf von $120\ \frac{kW}{Tag\ und\ Person}$ vergleichst. Beachte dazu auch den Eingriff in die Natur.

Gezeitenenergie Lösungshinweise

Wer Urlaub am Meer macht, kann erleben, wie sich im Halbtagesrythmus das Wasser in Form von Ebbe und Flut hebt und senkt. Wenn man sich überlegt, welche Wassermassen sich hierbei bewegen, könnte man meinen, dass da ziemlich viel Energie im Spiel sein muss.



1) Erkläre anhand der nebenstehenden Skizze, wie ein Gezeitenkraftwerk funktioniert und benenne dann die Art Energie.
Die Flut drückt das tiefe stehende Wasser hoch, so dass bei Ebbe ein Teil des Wassers höher als das Meer steht. Das Wasser fließt wieder raus und treibt dann ähnlich wie bei einem Wasserkraftwerk die Turbine an. (genau genommen wird die Turbine auch bei Flut angetrieben)

In Deutschland ist der Tidenhub maximal 4m. Um abzuschätzen, wie viel Energie man so erzeugen könnte, stellen wir uns einen vollen Wasserpool mit $1\ m^2$ Grundfläche vor in dem 4m hoch das Wasser steht.

2) Bestimme die potentielle Energie des Wassers (Da ja nicht das gesamte Wasser 1m gehoben wurde, muss man bei der Berechnung der potentiellen Energie die durchschnittliche Höhe, also 2 m verwenden).

$$E = mgh = 1m^2 \cdot 4m \cdot 1000\frac{kg}{m^3} \cdot 2\ m \cdot 9{,}81\frac{kg}{m^2} = 8 \cdot 10^4 J = 2 \cdot 10^{-2}\ kWh$$

3) Wenn man die gesamte Elbmündung abschließen würde und so ein Gezeitenkraftwerk bauen würde, hätte man eine Fläche von $500\ km^2$. Schätze damit die maximal so in Deutschland erzeugbare Energie pro Tag und Person ab und bewerte dein Ergebnis hinsichtlich der Relevanz für die Energiewende, wenn du es mit dem Bedarf von $120\frac{kWh}{Tag\ und\ Person}$ vergleichst. Beachte dazu auch den Eingriff in die Natur.
$\frac{2 \cdot 10^{-2}\ kW \cdot 500 \cdot 10^6}{80 \cdot 10^6} = 0{,}125\ kWh$ (eigentlich noch mal vier multipliziert, da man ja 2 mal ab Tag Ebbe und Flut hat und jeweils beim Ein und Ausströmen die Energie nutzen könnte)
Gezeitenkraftwerke können keinen ernsthafter Beitrag leisten, da die Energie viel zu gering ist und der Eingriff dafür viel zu groß.

Kernfusion und Kernkraftwerke

Oft wird die Kernfusion oder Kernkraftwerke als Lösung für die Energieversorgung dargestellt. Wir wollen uns kurz anschauen, inwieweit diese Technologien eine Lösung sein können.

Kernfusion

Deutschland soll gemäß seiner internationalen Verpflichtungen 2045 klimaneutral sein.

Recherchiere im Internet zum Thema Kernfusion oder lies den folgenden Artikel durch und bewerte dann, ob die Kernfusion in näherer Zukunft eine Lösung sein kann.

„Das Wichtigste zum Thema *Kernfusion*

- Bei einer Fusion verschmelzen **Atomkerne** zu einem neuen. Dazu müssen sie mit **hoher Energie** aufeinandertreffen. Diese Fusion erzeugt wiederum jede Menge **neue Energie**. In der Natur strahlt die **Sonne** dank Kernfusion **Licht und Wärme** ab.
- Da in einen **Kernfusions-Reaktor** erst einmal sehr viel Energie eingespeist werden muss, ist noch nicht klar, ob sich der Vorgang jemals **wirtschaftlich rentieren** wird. Außerdem sind **radioaktive Stoffe** im Spiel, die Mensch und Umwelt verstrahlen könnten und **Atommüll** produzieren.
- Der **größte Kernfusions-Reaktor** der Welt, **ITER**, wird derzeit in Frankreich auf Touren gebracht. Bis 2025 soll er fertig sein, und das erste Mal **2050** nutzbare Energie erzeugen. Unten erfährst du, wie er funktioniert und warum Wissenschaftler auf diese neue Methode setzen.[25]“

Kernkraftwerk

Lese dir den Artikel https://www.welt.de/wirtschaft/article206096289/Uranreichweite-Ist-schon-in-20-Jahren-Schluss-mit-der-Atomenergie.html durch, betrachte die nebenstehende Abbildung und lese den Beitrag

https://www.br.de/nachrichten/wissen/laengere-hitzeperioden-problem-fuer-atomkraftwerke,TECU39v durch.

Führe dann Argumente auf, die für und gegen die Nutzung der Kernenergie sprechen! Nenne auch weitere Argumente.

Da Deutschland den Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen hat, berücksichtigen wir diese Energieform nicht.

[25] https://www.galileo.tv/technik/kernfusion-ist-das-die-energie-der-zukunft/

1) Die Kernfusion hat zwar ein großes Potential, allerdings wird es mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit mindestens bis 2050 Jahre dauern, bis die ersten marktfähigen Reaktoren gebaut werden. Somit kann die Kernfusion für die jetzt anstehende Energiewende nicht helfen, da Deutschland bereits 2050 komplett klimaneutral sein muss.
2) Kernkraft

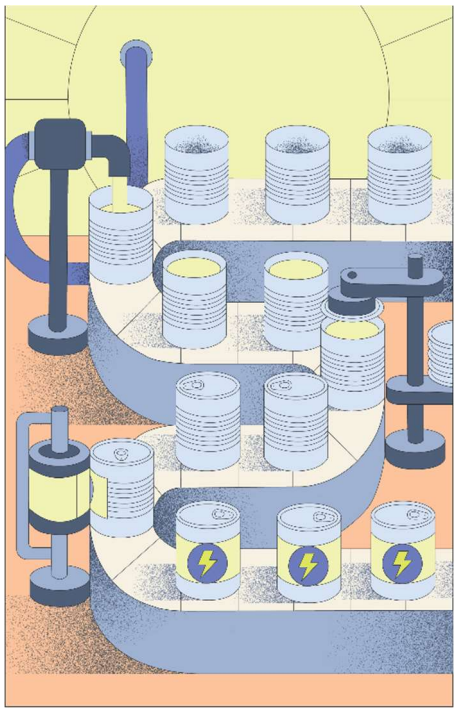
Argumente für die Nutzung von Kernkraft

a) Auch verfügbar, wenn kein Wind weht und keine Sonne scheint
b) Zusätzliche Energiequelle

Argumente gegen die Nutzung von Kernkraft

a) Sicherheit, Endlagerung…..
b) Die Kosten der Kernkraft ist höher als die von erneuerbaren Energien.
c) Sehr lange Bauzeit von Kraftwerken (10-20 a)
d) Im Sommer wegen Trockenheit kaum nutzbar
e) Uran reicht derzeit für 100-200 Jahre, aber wenn die Kernkraft weltweit einen großen Beitrag liefern sollte, eher weniger.

8. Energiebedarf und Speicher



Wir haben in den vorangegangenen Kapiteln immer berechnet, wie viel Energie übers Jahr durch die einzelnen Energieträger zu Verfügung steht, aber einen wesentlichen Aspekt gar nicht beachtet. Vor allem Wind- und Sonnenenergie haben den wesentlichen Nachteil, dass die Produktion stark vom Wetter abhängt und mitunter stark schwankt. Wie man mit diesen Schwankungen umgehen kann, soll in diesem Kapitel erklärt werden. Dabei bieten die Betrachtung mit den Speichertechnologien eine gute Möglichkeit die physikalischen Inhalte, wie das Verständnis von Spannung, die Funktionsweise eines Stromkreises und die Leistung zu behandeln und diese traditionell zu unterrichtenden Inhalte anschaulich zu verdeutlichen.

Außerdem sind wir davon ausgegangen, dass sich der Primärenergiebedarf nicht ändert, haben aber kaum diskutiert, wie neue Technologien wie Elektroautos oder Power-to-Liquid, Wärmepumpen oder der Speicherbedarf den Energiebedarf beeinflussen. Die Betrachtung dieser Fragen kann man in den traditionellen Physikunterricht an verschiedenen Stellen einbauen. Zum Beispiel kann man die Bewertung von Power-to-Liquid und Elektroautos als Einstiegsaufgabe und Motivation zum Wirkungsgrad verwenden.

In den Büchern:

S. 138-147
S.28-29

S. 157-182
S.183-214

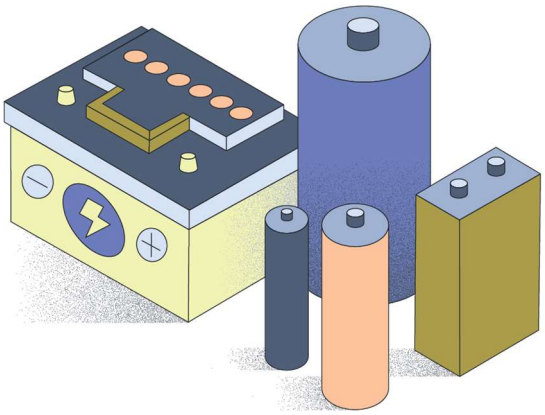
Los geht‘s:

Folgende Unterrichtsmaterialien können genutzt werden,

- Reichen die erneuerbaren Energien und was können wir tun?
- Lösung
- Fakten vs. Behauptungen
- Lösung

Wasserstoff, Elektroauto oder E-Fuels- was könnte der Antrieb der Zukunft sein

1) Ein Sportwagen (m=1000kg) mit Ottomotor braucht 8,0 MJ um von 0 auf 250 km/h zu beschleunigen. Ein kleiner Wagen mit Elektromotor erreicht nur eine Spitzengeschwindigkeit von 200 km/h. Um diese zu erreichen, benötigt er eine Energie von 1,66 MJ.



   a) Bestimme jeweils den Wirkungsgrad der Motoren, wenn Du ohne Reibung rechnest!

   b) Vergleiche den jeweiligen Wirkungsgrad und triff eine Aussage über die verschiedenen Antriebe, wenn man bedenkt, dass Energie knapp ist.

2) Power to Liquid wird oft als Alternative zum Elektroauto gesehen. Power to Liquid meint, dass man in mehreren Schritten mit regenerativ erzeugtem Strom zum Beispiel Diesel erzeugt. Dazu erzeugt man zuerst aus Wasser Wasserstoff und erhält dann unter Hinzufügen von CO2 Diesel. Der Wirkungsgrad dieser Umwandlung liegt im Moment bei 45%, in Zukunft geht man von einem maximalen Wirkungsgrad von 60% aus.[26]

   a) Bestimme, wie viel in Diesel gespeicherte chemische Energie man in Zukunft erhalten kann, wenn man den Jahresenergieertrags einer Photovoltaikanlage auf einem Hausdach von $10\,000\ kWh$ nutzt, um Diesel zu erzeugen.

   b) Bestimme dann, wie viele Liter Diesel man erhalten würde, wenn in einem Liter Diesel $10kWh$ chemische Energie gespeichert sind und bestimme, wie weit man mit dem Diesel mit dieser Energie fahren könnte, wenn man von einem Verbrauch von $6\,\frac{l}{100km}$ ausgeht!

   c) Ein Diesel Motor hat einen Wirkungsgrad von 40%. Berechne dann, wie viel Antriebsenergie zur Verfügung steht.

   d) Berechne, dann wie weit man mit der Energie von $10\,000\,kWh$ mit einem Elektroauto fahren kann, wenn man von Verbrauch von $15\,\frac{kWh}{100km}$ [27] ausgeht.

   e) Vergleiche die Ergebnisse aus b) und d) und bewerte die beiden Antriebsarten!

   f) Vergleiche dein Ergebnis mit der zur Verfügung stehende Antriebsenergie bei einem Elektroauto, bei dem der Akku einen Wirkungsgrad von 95% und der Motor von 90% hat und bewerte Dein Ergebnis! [28]

   g) Oft wird davon gesprochen, dass man den synthetisch erzeugten Diesel zum Beispiel aus Saudi-Arabien importieren könnte, da dies viel billiger ist, da die solare Einstrahlung in Saudi-Arabien 2,5-mal so hoch, wie in Deutschland ist. Bewerte den Vorschlag, indem du zu zuerst berechnest, wie viel Energie die gleiche PV-Anlage in Saudi-Arabien erzeugen würde.

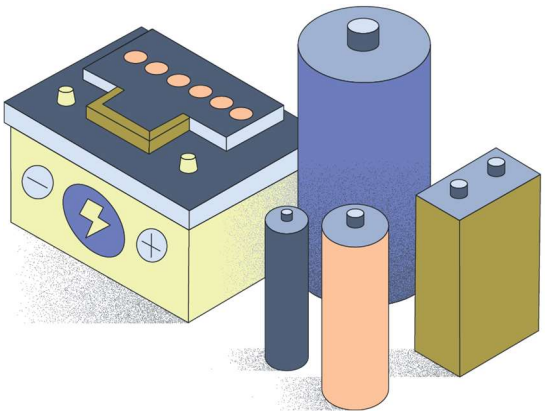
[26] https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/607/9264_Power_to_X_Technologien.pdf
[27] https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/
[28] https://www.tuev-nord.de/de/privatkunden/verkehr/auto-motorrad-caravan/elektromobilitaet/wirkungsgrad/

Wasserstoff, Elektroauto oder E-Fuels- was könnte der Antrieb der Zukunft sein

Lösungshinweise

Diese Aufgaben könnten als Einstiegsaufgaben zum Wirkungsgrad genutzt werden. Zum Beispiel könnte man einen Zeitungsartikel über die Diskussion über E-Fuels zeigen und diesen als Aufhänger benutzen.

1) Ein Sportwagen (m=1000kg) mit Ottomotor braucht 8,0 MJ um von 0 auf 250 km/h zu beschleunigen. Ein kleiner Wagen mit Elektromotor erreicht nur eine Spitzengeschwindigkeit von 200 km/h. Um diese zu erreichen, benötigt er eine Energie von 1,66 MJ.



a) Bestimme jeweils den Wirkungsgrad der Motoren, wenn Du ohne Reibung rechnest!

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}1000kg\left(\frac{\frac{250}{3{,}6}m}{s}\right)^2 = 2{,}4MJ = E_{Nutz}$$

$$E_{ges} = 8{,}0\ MJ$$

$$\eta = \frac{2{,}4MJ}{8{,}0MJ} = 30\%$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}1000kg\left(\frac{200}{3{,}6}\frac{m}{s}\right)^2 = 1{,}5MJ$$

$$\eta = \frac{1{,}5MJ}{1{,}66MJ} = 90\%$$

b) Vergleiche den jeweiligen Wirkungsgrad und triff eine Aussage über die verschiedenen Antriebe, wenn man bedenkt, dass Energie knapp ist.

Der Wirkungsgrad bei einem E-Auto ist viel höher. Wenn man davon ausgeht, dass zu wenig Energie zur Verfügung steht, ist somit ein E-Auto sinnvoller.

2) Power to Liquid wird oft als Alternative zum Elektroauto gesehen. Power to Liquid meint, dass man in mehreren Schritten mit regenerativ erzeugtem Strom zum Beispiel Diesel erzeugt. Dazu erzeugt man zuerst aus Wasser Wasserstoff und erhält dann unter Hinzufügen von CO2 Diesel. Der Wirkungsgrad dieser Umwandlung liegt im Moment bei 45%, in Zukunft geht man von einem maximalen Wirkungsgrad von 60% aus.[29]

a) Bestimme, wie viel in Diesel gespeicherte chemische Energie man in Zukunft erhalten kann, wenn man den Jahresenergieertrags einer Photovoltaikanlage auf einem Hausdach von $10\,000\ kWh$ nutzt, um Diesel zu erzeugen.

$$10\,000\ kWh \cdot 0{,}6 = 6000\ kWh$$

b) Bestimme dann, wie viele Liter Diesel man erhalten würde, wenn in einem Liter Diesel $10kWh$ chemische Energie gespeichert sind und bestimme, wie weit man mit dem Diesel mit dieser Energie fahren könnte, wenn man von einem Verbrauch von $6\,\frac{l}{100km}$ ausgeht!

$600\ l$ also 100 km

c) Ein Diesel Motor hat einen Wirkungsgrad von 40%. Berechne dann, wie viel Antriebsenergie zur Verfügung steht.

$6000\ kWh \cdot 0{,}4 = 2400kWh$ (Antriebsenergie bei Diesel)

d) Berechne, dann wie weit man mit der Energie von $10\,000\ kWh$ mit einem Elektroauto fahren kann, wenn man von Verbrauch von $15\,\frac{kWh}{100km}$[30] ausgeht.

$$\frac{10000\ kWh}{15\ kWh} = 666\ km$$

e) Vergleiche die Ergebnisse aus b) und d) und bewerte die beiden Antriebsarten!

Man kommt mit einem Elektroauto viel weiter, als wenn man aus dem Strom zuerst Diesel erzeugt und dann damit fährt. Wenn man die Energieeffizienz als alleiniges Kriterium sieht, ist somit ein E-Auto sinnvoller.

f) Vergleiche dein Ergebnis mit der zur Verfügung stehende Antriebsenergie bei einem Elektroauto, bei dem der Akku einen Wirkungsgrad von 95% und der Motor von 90% hat und bewerte Dein Ergebnis! [31]

$10\,000 \cdot kWh \cdot 0{,}95 = 9500\ kWh$ (gespeicherte Energie)

Antriebsenergie

$9500\ kWh \cdot 0{,}9 = 8550\ kWh$ (Antriebsenergie bei einem Elektroauto=

Dh. es steht 3,5 Mal so viel Antriebsenergie zu Verfügung.

g) Oft wird davon gesprochen, dass man den synthetisch erzeugten Diesel zum Beispiel aus Saudi-Arabien importieren könnte, da dies viel billiger ist, da die solare Einstrahlung in Saudi-

[29] https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/607/9264_Power_to_X_Technologien.pdf
[30] https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/
[31] https://www.tuev-nord.de/de/privatkunden/verkehr/auto-motorrad-caravan/elektromobilitaet/wirkungsgrad/

Arabien 2,5-mal so hoch, wie in Deutschland ist. Bewerte den Vorschlag, indem du zu zuerst berechnest, wie viel Energie die gleiche PV-Anlage in Saudi-Arabien erzeugen würde.
Selbst bei 2,5 mal so hohem Ertrag, ist das Elektroauto energetisch viel günstiger, da dort 3,5 Mal so viel Antriebsenergie zur Verfügung steht.

Wasserstoff, Elektroauto oder E-Fuels- was könnte der Antrieb der Zukunft sein

Weitere Hinweise

Batterieelektrisch vs. Brennstoffzelle (H2) vs. Power-to-X im Straßenverkehr: Energieeffizienz, Wirkung auf das Energiesystem, Infrastruktur, Kosten und Ressourcen - Zukunft Mobilität (zukunft-mobilitaet.net)

Wirkungsgrade von Elektroautos | TÜV NORD Mobilität (tuev-nord.de)

Die Dunkelflaute - Was passiert wenn nichts mehr geht?

> Die Dunkelflaute ist das Schreckgespenst der Energiewende. Zu Recht, denn ein Totalausfall von Wind und Solar gefährdet die Versorgungssicherheit. […] Windräder brauchen Wind und Solaranlagen Sonne. Deshalb kommt es **regelmäßig zum Totalausfall** der wetterabhängigen Erneuerbaren. Eine sogenannte Dunkelflaute bezeichnet das Fehlen von genügend Wind und Sonne über einen Zeitraum von Tagen, Wochen oder Monaten.

M1: Ausschnitt aus einem der Top 10 Google Treffer für „Dunkelflaute“

Wird über die Energiewende und die damit einhergehende Zunahme der regenerativen Energien gesprochen, so fällt irgendwann der Begriff „Dunkelflaute“ und das damit einhergehende Risiko für die Stromversorgung. Welche Risiken hier möglich sind soll an einem konkreten Beispiel untersucht werden. Hierzu wird das Agorameter im Zeitraum 07.11. – 14.11.2020 (Sa-Sa) verwendet.

Agorameter

1. Bestimme mit **M2** zunächst die während dieser Dunkelflaute aufgetretene „Deckungslücke“ zwischen verfügbarem Strom aus erneuerbarer Energie sowie der benötigten Gesamtleistung und gib sie als Anteil des gesamten Stromverbrauchs an.
2. Bewerte die Aussagen von **M1** im Hinblick auf die derzeitige Stromversorgung.
3. Aus dem Diagramm lässt sich auch das durch Nutzungsänderung bereits heute mögliche Einsparpotential an Energie aus Strom beziffern. Bestimme die Größe einer bereits heute möglichen Einsparung mit Hilfe von **M2** und nenne Möglichkeiten, der Stromverbrauch hier geringer ausfällt.

   Einsparpotential durch Nutzungsänderung: _____ GW

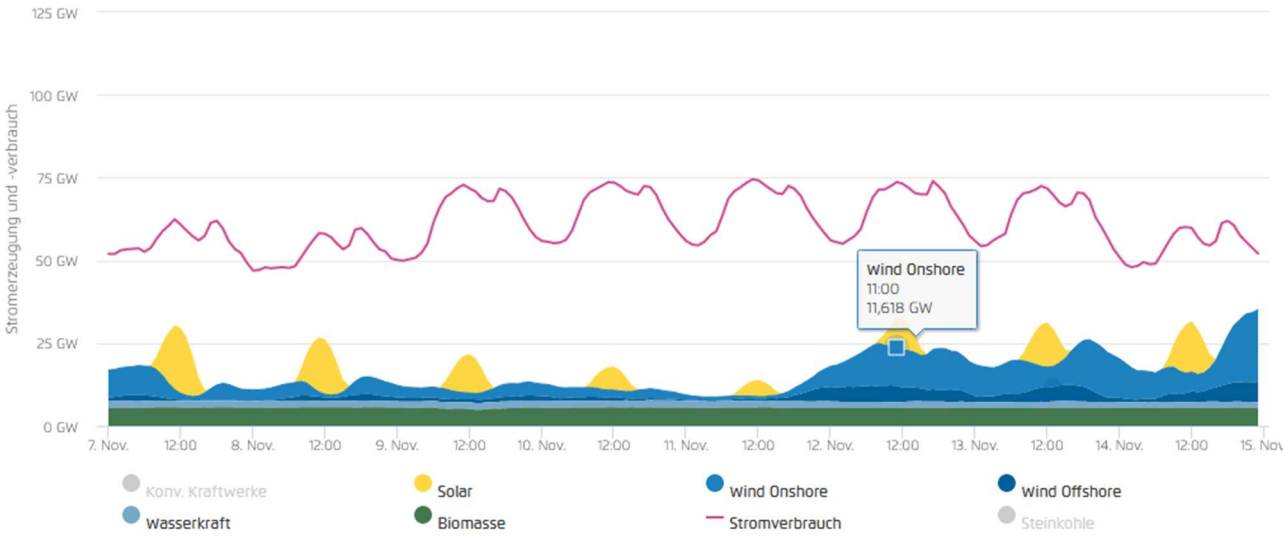
Die bisherige Analyse hat sich auf die derzeitige Stromproduktion bezogen. Das Agorameter bietet auch ein „Zukunftsmodell“, bei dem sich die Versorgungssituation mit geänderten Anteilen an erneuerbaren Energien an den gleichen Wetterdaten simulieren lässt. Wir werden dies für unsere bisherige Dunkelflaute durchführen und uns dabei am Ziel der Bundesregierung für die Energiewende (vom 08.Juli 2022) orientieren:

„Bis 2030 soll der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf mind. 80 Prozent steigen.“

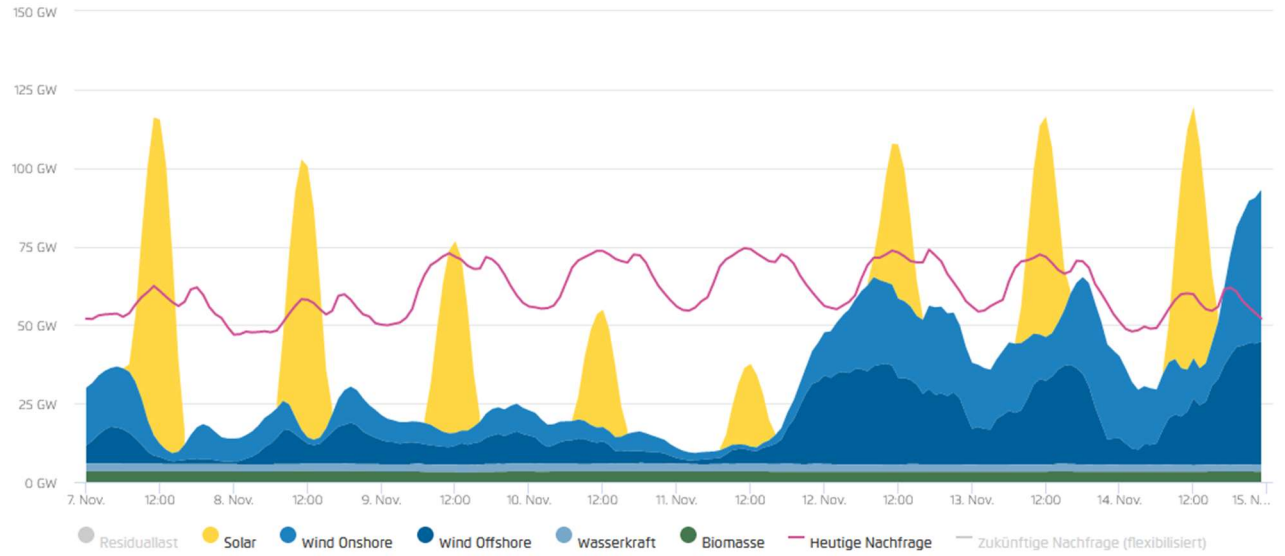
In **M3** ist derselbe Zeitraum (07.11.- 14.11.2022) dargestellt, jedoch mit einer Stromversorgung mit 81% Anteil regenerativer Energien, die also das Ziel der Bundesregierung erfüllt.

Zukunft

4. Ermittle die hier entstandene Deckungslücke in GW.
5. Bewerte inwiefern das bereits ermittelte Einsparpotential durch Nutzung hier anwendbar ist.
6. Bewerte die Aussagen von **M1** im Hinblick auf das in **M3** dargestellte Szenario der Zukunft. Berücksichtige dabei, dass im Jahresmittel ca. 20% der Stromproduktion weiter konventionell erfolgen sollen.
7. Diskutiert in der Gruppe, wie man den Einsatz konventioneller Kraftwerke durch
   a) das Einsparpotential verringern könnte und welche Folgen das im Alltag hätte.
   b) Energiespeicherung für Dunkelflauten (oder Zeiten höheren Bedarfs) verringern könnte.



M2: Agorameter für den Zeitraum Sa 07.Nov – Sa 14. Nov 2020



M3: Agorameter Zukunft (81% regenerativ) für den Zeitraum Sa 07.Nov – Sa 14. Nov 2020

Links:

M1: Florian Blümm (2022): Dunkelflaute: Wie ernst ist der Ausfall von Wind & Solar?

Online im Internet: https://www.tech-for-future.de/dunkelflaute/

M2: Agorameter 07.11.2020 – 14.11.2020

https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/power_generation/07.11.2020/14.11.2020/today/

M3: Agorameter 07.11.2020 – 14.11.2020, Zukunftsmodell „Anteil erneuerbarer Energien 81%“

https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/future_power_generation/07.11.2020/14.11.2020/future/2037/

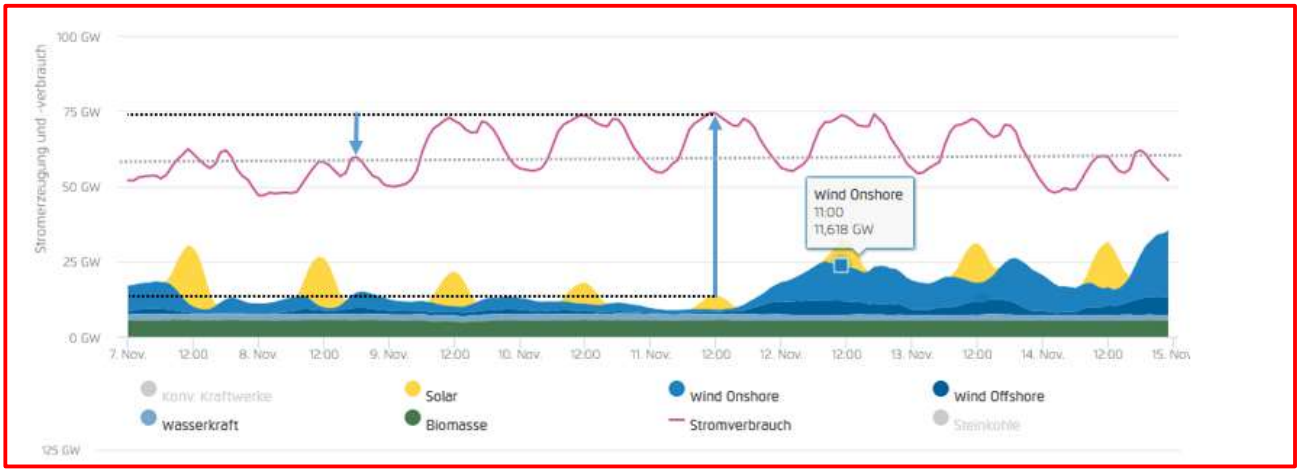
> Die Dunkelflaute ist das Schreckgespenst der Energiewende. Zu Recht, denn ein Totalausfall von Wind und Solar gefährdet die Versorgungssicherheit. […] Windräder brauchen Wind und Solaranlagen Sonne. Deshalb kommt es **regelmäßig zum Totalausfall** der wetterabhängigen Erneuerbaren. Eine sogenannte Dunkelflaute bezeichnet das Fehlen von genügend Wind und Sonne über einen Zeitraum von Tagen, Wochen oder Monaten.

M1: Ausschnitt aus einem der Top 10 Google Treffer für „Dunkelflaute“

Wird über die Energiewende und die damit einhergehende Zunahme der regenerativen Energien gesprochen, so fällt irgendwann der Begriff „Dunkelflaute“ und das damit einhergehende Risiko für die Stromversorgung. Welche Risiken hier möglich sind soll an einem konkreten Beispiel untersucht werden. Hierzu wird das Agorameter im Zeitraum 07.11. – 14.11.2020 (Sa-Sa) verwendet.

Agorameter

1. Bestimme mit **M2** zunächst die während dieser Dunkelflaute aufgetretene „Deckungslücke“ zwischen verfügbarem Strom aus erneuerbarer Energie sowie der benötigten Gesamtleistung und gib sie als Anteil des gesamten Stromverbrauchs an.



Maximale Deckungslücke am 11. November gegen 12 Uhr: 75GW – 13GW = 62 GW

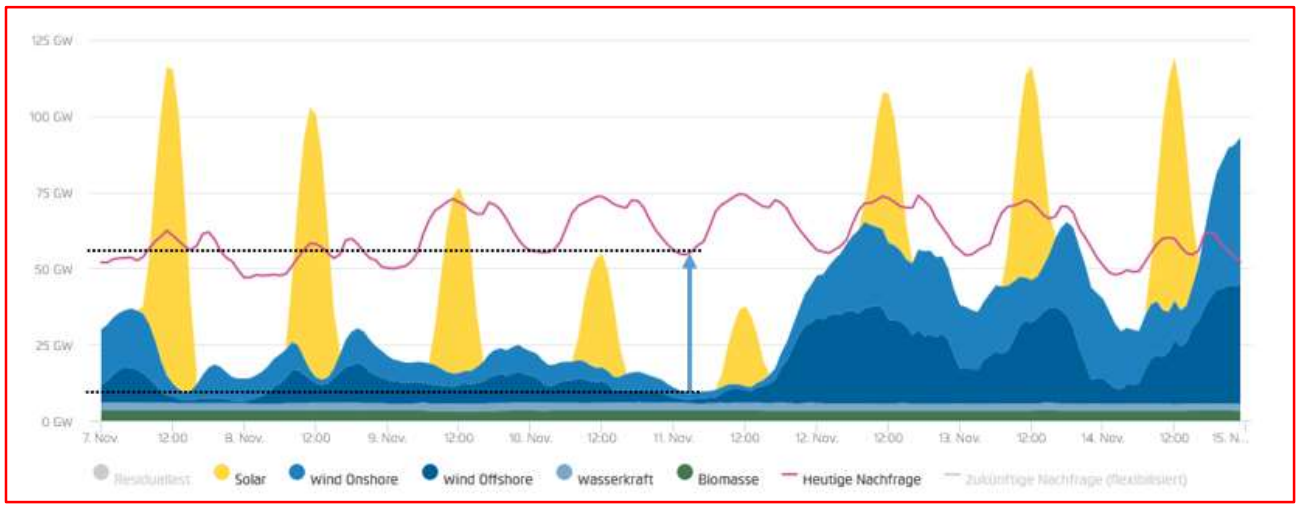
Anteil am gesamten Stromverbrauch: $\frac{P_{Lücke}}{P_{Ges}} = \frac{62\ GW}{75\ GW} = 83\%$

2. Bewerte die Aussagen von **M1** im Hinblick auf die derzeitige Stromversorgung.

   In der derzeitigen Stromversorgung besteht tatsächlich das Risiko einer Dunkelflaute, da hier über 5 Tage hinweg kaum Sonne scheint und auch wenig Wind weht. Es kommt jedoch nicht zu einem Totalausfall, da immer noch 17% (also ca. 1/6 des gesamten Stroms) aus erneuerbaren Energien erzeugt wird! Die Versorgungssicherheit wird durch die konventionellen Kraftwerke (fossile Energieträger) gewährleistet.

3. Aus dem Diagramm lässt sich auch das durch Nutzungsänderung bereits heute mögliche Einsparpotential an Energie aus Strom beziffern. Bestimme die Größe einer bereits heute möglichen Einsparung mit Hilfe von **M2** und nenne Möglichkeiten, der Stromverbrauch hier geringer ausfällt.

   Einsparpotential durch Nutzungsänderung: _____ GW



Man erkennt das an den Wochenenden (Sa/So) der Bedarf an elektrischer Energie erheblich sinkt, und zwar um fast 15 GW. Das Einsparpotential bei geänderter Nutzung ist also fast so hoch wie der bisherige Anteil der erneuerbaren Energien in einer Dunkelflaute! Der verringerte Energiebedarf hat folgende Ursachen:

- Stillstand von Maschinen, die nicht ununterbrochen im Einsatz sein müssen.
- Geringere Beleuchtung in Büros
- Weniger Pendler (und damit weniger Energiebedarf für Bahn, welche vorwiegend elektrifiziert ist)

Die bisherige Analyse hat sich auf die derzeitige Stromproduktion bezogen. Das Agorameter bietet auch ein „Zukunftsmodell“, bei dem sich die Versorgungssituation mit geänderten Anteilen an erneuerbaren Energien an den gleichen Wetterdaten simulieren lässt. Wir werden dies für unsere bisherige Dunkelflaute durchführen und uns dabei am Ziel der Bundesregierung für die Energiewende (vom 08.Juli 2022) orientieren:

„Bis 2030 soll der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf mind. 80 Prozent steigen.“

In **M3** ist derselbe Zeitraum (07.11.- 14.11.2022) dargestellt, jedoch mit einer Stromversorgung mit 81% Anteil regenerativer Energien, die also das Ziel der Bundesregierung erfüllt.

Zukunft

4. Ermittle die hier entstandene Deckungslücke in GW.

   Die Deckungslücke tritt nun nachts auf und beträgt 55GW – 10GW = 45 GW.

5. Bewerte inwiefern das bereits ermittelte Einsparpotential durch Nutzung hier anwendbar ist.

   Da die Deckungslücke nachts auftritt ist das bisherige Einsparpotential bereits zum größten Teil ausgeschöpft.

6. Bewerte die Aussagen von **M1** im Hinblick auf das in **M3** dargestellte Szenario der Zukunft. Berücksichtige dabei, dass im Jahresmittel ca. 20% der Stromproduktion weiter konventionell erfolgen sollen.

   Das Szenario ist übertrieben dargestellt, da es ja weiter in diesem Szenario konventionelle Kraftwerke gibt, die in solchen Phasen einspringen sollen.

7. Diskutiert in der Gruppe, wie man den Einsatz konventioneller Kraftwerke durch

   c) das Einsparpotential verringern könnte und welche Folgen das im Alltag hätte.

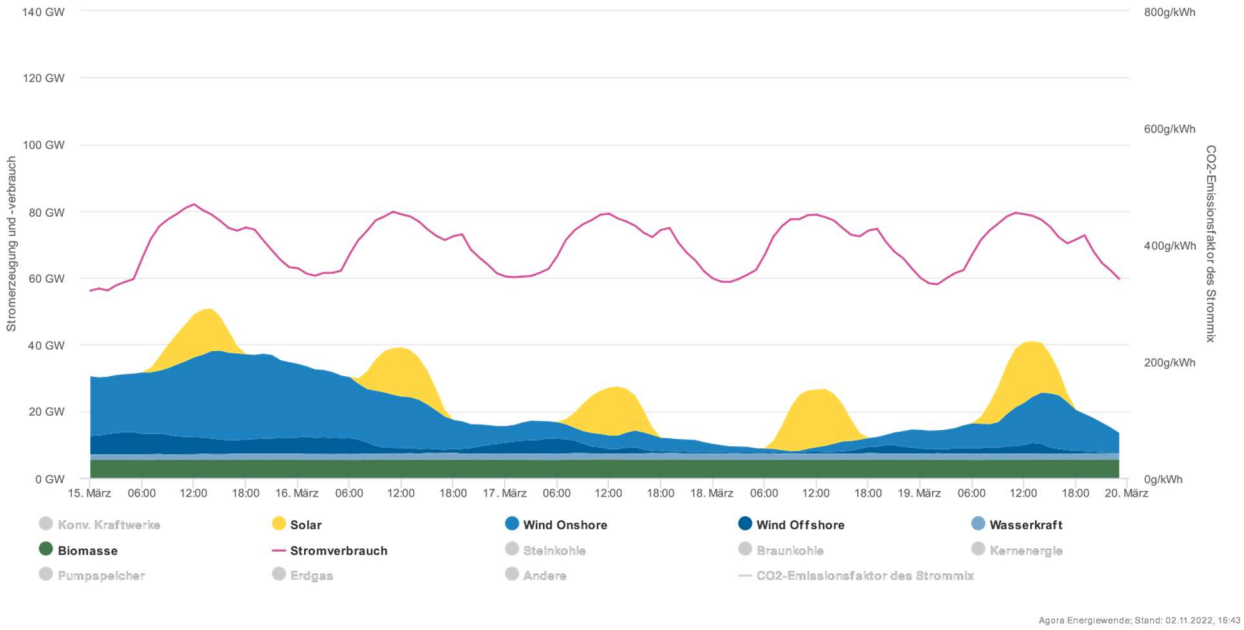
   d) Energiespeicherung für Dunkelflauten (oder Zeiten höheren Bedarfs) verringern könnte.

   Zunächst kann man wieder anführen dass es zu keinem Totalausfall der erneuerbaren Energien kommt, aber die Deckungslücke beträgt hier fast 60% des Strombedarfs. Nimmt man über das Jahresmittel einen Anteil von 20% an konventionellen Kraftwerken an, so muss man berücksichtigen dass im Großteil des Jahres die Stromerzeugung den Verbrauch decken kann und konventionelle Kraftwerke nur in geringem Maße laufen. Für „Dunkelflauten“ darf ihr Anteil daher erheblich größer sein als die mittleren 20%. Zudem soll dieses Ziel ja bereits 2030 erzielt werden, d.h. die heute noch genutzten Kraftwerke (welche derzeit mehr als 60GW bei Dunkelflauten abdecken) können als „Reserve“ vorgehalten werden.

   Die Deckungslücke ist zwar sehr groß, aber es ist unwahrscheinlich, dass es zu einem Stromausfall kommt, insbesondere wenn eine intelligentere Steuerung des Stromverbrauchs und die Speicherung elektrischer Energie (bei Überschüssen) noch berücksichtigt werden.

Speicherbedarf- eine Abschätzung der Realisierbarkeit

Ein zentrales Problem der erneuerbaren Energien ist, dass nicht immer die Sonne scheint und nicht immer der Wind weht, man aber immer Energie benötigt.



9. Faktencheck: Was bedeutet das für uns

Wir haben in den vorangegangenen Kapiteln die Potentiale der verschiedenen erneuerbaren Energien abgeschätzt und Vor- und Nachteile beleuchtet. Dass die Energiewende herbeigeführt werden muss, ist inzwischen breiter Konsens, die Art und Weise der Umsetzung bietet jedoch noch Streitpotential.

Ob Wind, Geothermie, Biomasse und Sonne ausreichen, ob der Ausstieg aus der Atomkraft verschoben werden soll, oder gar Kohle und Gas weiter die Primärenergie liefern sollen, ist umstritten. nun wollen wir in einem zusammenfassenden Kapitel die Ergebnisse vergleichen und entsprechende Schlüsse ziehen.

In den Büchern:

S. 164-171

S. 183-198

Los geht‘s:

Folgende Unterrichtsmaterialien können genutzt werden, um die sachlichen Informationen für die aktuellen und in Zukunft kommenden gesellschaftlichen Diskussionen zu liefern. Die SchülerInnen lernen zudem Informationen zu bewerten und eigene Argumente zu finden. Dabei kann man auch nur Teile verwenden und je nach Zeit die Inhalte unterschiedlich stark vertiefen.

- Reichen die erneuerbaren Energien und was können wir tun?
- Lösung
- Fakten vs. Behauptungen
- Lösung

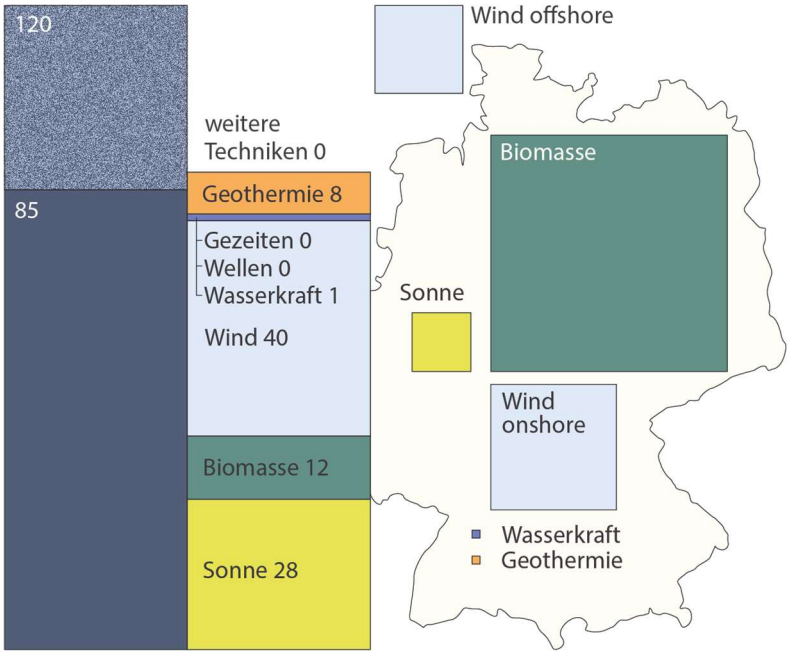
Reichen die erneuerbaren Energien und was könnten wir tun?

1) Du hast an Hand des Leitfadens im Laufe des Schuljahres berechnet, wie viel Energie die jeweiligen regenerativen Energien Sonne, Wind, Wasser, Biomasse und Geothermie in Deutschland pro Jahr liefern können und hast eine ähnliche Graphik wie die in Material 1 abgebildete erhalten.

a) Vergleiche jetzt die gesamte Energie, die man theoretisch in Deutschland erzeugen kann mit der im Moment benötigten Energie von $120\ kWh$ pro Person und Tag! Was stellst Du fest?

b) Überlege Dir, welches große Problem die erneuerbare Energien Sonne und Wind hinsichtlich einer dauerhaften Versorgung haben und wie man dieses Problem lösen könnte!

c) Erkläre dann, unter Berücksichtigung von Aufgabe b), warum es sein kann, dass der Endenergiebedarf[32] bei gleichbleibendem Verhalten in Zukunft höher ist als zu Zeit und man deshalb eher mit $120\ kWh$ als mit $85\ kWh$ rechnen muss!



Material 1: Bilanz der maximale möglichen Energien in Deutschland

2) In öffentlichen Diskussionen hört man oft Aussagen wie
„Warum pflastert man den die schönen Felder mit PV zu und macht nicht stattdessen PV auf die Dächer?“
„Warum braucht man die vielen Windräder und baut nicht stattdessen mehr PV?“
„Warum baut man nicht Windräder nur ins Meer?
Nimm zu den Aussagen unter Berücksichtigung von Material 1 und den Ergebnissen aus Aufgabe 1 Stellung. Überlege Dir dazu, wie sich die Bilanz verändern würde, wenn man so handeln würde wie in der jeweiligen Aussage gefordert wird!

3) Wir haben in Aufgabe 1 festgestellt, dass es nicht möglich ist, in Deutschland den jetzigen Energiebedarf mit erneuerbaren Energien zu decken!
Notiere mindestens drei Ideen, wie es Deutschland gelingen kann, den vertraglich vereinbarten Ausstieg aus den fossilen Energien zu schaffen und bewerte die jeweiligen Lösungsansätze!

4) Erörtere, ob Du in deinen Verhalten dazu beitragen kannst, dass die Energiewende gelingt! Führe gegebenenfalls Verhaltensänderungen auf und bewerte diese!

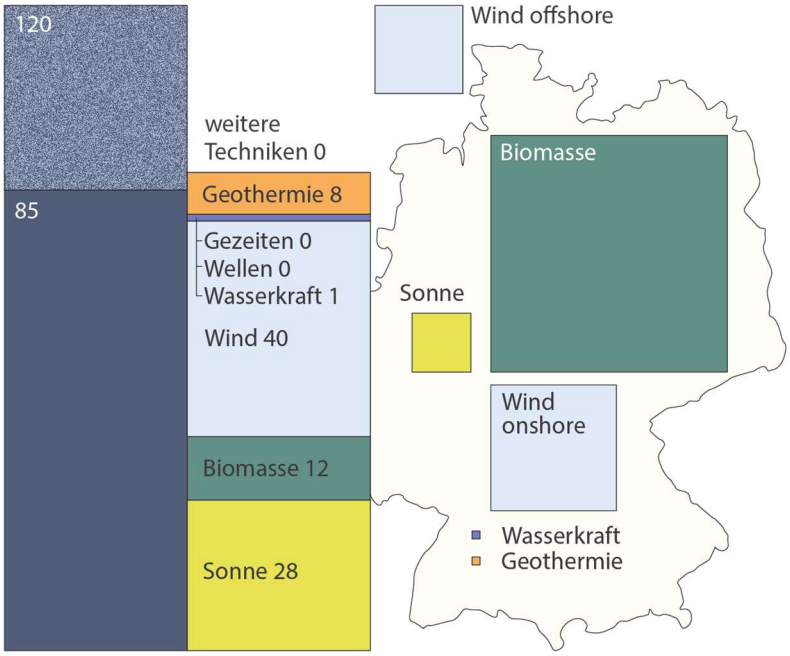
[32] Endenergie ist die Energie, die genutzt werden kann zum Beispiel Strom und beträgt heute $85\ kWh$ pro Person und Tag!

Reichen die erneuerbaren Energien und was könnten wir tun? Lösungshinweise

1) Du hast an Hand des Leitfadens im Laufe des Schuljahres berechnet, wie viel Energie die jeweiligen regenerativen Energien Sonne, Wind, Wasser, Biomasse und Geothermie in Deutschland pro Jahr liefern können und hast eine ähnliche Graphik wie die in Material 1 abgebildete erhalten.

a) Vergleiche jetzt die gesamte Energie, die man theoretisch in Deutschland erzeugen kann mit der im Moment benötigten Energie von 120 kWh pro Person und Tag! Was stellst Du fest?

Man kann theoretisch 88kWh pro Tag und Person erzeugen, benötigt aber 120kWh. Das heißt die Energie reicht nicht, man kann den jetzigen Bedarf nicht decken.



Material 1: Bilanz der maximale möglichen Energien in Deutschland

b) Überlege Dir, welches große Problem die erneuerbare Energien Sonne und Wind hinsichtlich einer dauerhaften Versorgung haben und wie man dieses Problem lösen könnte!

Erneuerbare Energien, vor allem Wind und Sonne haben das Problem, dass die Sonne nicht immer scheint und nicht immer Wind weht. Teilweise kann man das ausgleichen durch den Netzausbau, aber man benötigt für manche Zeiten Speichermöglichkeiten.

c) Erkläre dann, unter Berücksichtigung von Aufgabe b), warum es sein kann, dass der Endenergiebedarf[33] bei gleichbleibendem Verhalten in Zukunft höher ist als zu Zeit und man deshalb eher mit 120 kWh als mit 85 kWh rechnen muss!

Beim Speichern von Energie geht Energie verloren, da keine Umwandlung einen Wirkungsgrad von 100% hat. Deshalb benötigt man auf Grund der Speicherverluste mehr Energie. (genauere Hinweise finden sich in den Büchern und unter Hinweise)

[33] Endenergie ist die Energie, die genutzt werden kann zum Beispiel Strom und beträgt heute 85 kWh pro Person und Tag!

2) In öffentlichen Diskussionen hört man oft Aussagen wie
Generell reicht die Energie nicht.

„Warum pflastert man den die schönen Felder mit PV zu und macht nicht stattdessen PV auf die Dächer?“
Wenn man nur die Dächer voll machen würde, würde man anstelle von 28kWh Sonnenenergie nur ca. 10kWh Sonnenergie erhalten. Das gesamte Potential wäre anstelle von 88kWh nur 70kWh und würde somit den Bedarf in auf keinen Fall decken. Freiflächenanlagen sind also somit nötig.

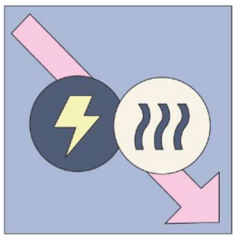
„Warum braucht man die vielen Windräder und baut nicht stattdessen mehr PV?“
Da der Bedarf nicht oder nur schwer durch erneuerbare Energien gedeckt werden kann, sogar wenn man Wind und Sonne stark ausbaut, wird klar, dass man beide Energieträger benötigt. Man könnte allerdings weniger Windkraftanlagen bauen und dafür mehr Photovoltaik. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass dann der Speicherbedarf und somit der Gesamtenergiebedarf eher steigen würde, da Wind und Sonnenenergie sich gegenseitig ergänzen. Windenergie steht eher nachts und im Winter und Solarenergie dagegen eher tagsüber und im Sommer zur Verfügung.

„Warum baut man nicht Windräder nur ins Meer?
Da der Bedarf nicht oder nur schwer durch erneuerbare Energien gedeckt werden kann, sogar wenn man Wind auch an Land ausbaut, wird klar, dass man Onshore-Windkraft benötigt. Es würden sonst ca. 20kWh fehlen.

Nimm zu den Aussagen unter Berücksichtigung von Material 1 und den Ergebnissen aus Aufgabe 1 Stellung. Überlege Dir dazu, wie sich die Bilanz verändern würde, wenn man so handeln würde wie in der jeweiligen Aussage gefordert wird!

3) Wir haben in Aufgabe 1 festgestellt, dass es nicht möglich ist, in Deutschland den jetzigen Energiebedarf mit erneuerbaren Energien zu decken! Notiere mindestens drei Ideen, wie es Deutschland gelingen kann, den vertraglich vereinbarten Ausstieg aus den fossilen Energien zu schaffen und bewerte die jeweiligen Lösungsansätze!
Lösung 1: Deutschland muss schnell alle Arten erneuerbarer Energien, Speichertechnologien und die Stromnetze ausbauen. Wichtig wäre es auch die Stromnetze nicht nur national sondern auch international auszubauen, da man so Schwankungen in der Erzeugung besser ausgleichen kann.
Lösung 2: Eine Möglichkeit, den fehlenden Bedarf auszugleichen, wäre auch erneuerbare Energien zu importieren. Zum einen wäre es möglich Strom zum Beispiel aus Spanien oder Nordafrika zu importieren oder Energieträger wie Wasserstoff. Ein Problem hierbei ist die politischen Voraussetzungen hinsichtlich einer Zusammenarbeit zwischen Europa und Nordafrika und die Abhängigkeiten, die sich daraus ergeben. Zum anderen wäre es nötig, die Erzeugung und die Importe innerhalb von höchstens 30 Jahren zu realisieren, da Deutschland spätestens 2050 klimaneutral sein muss, was eine riesige Herausforderung ist. Außerdem wären für den Import von großen Mengen Strom zahlreiche Stromleitungen nötig, die durch benachbarte Länder führen müssten. Diese Leitungen wären zum einen sehr teuer und würden in den betroffenen Ländern wahrscheinlich auf Widerstand stoßen.

Lösung 3: Um die Versorgung mit Energie auch in Zukunft zu sichern, wäre eine Lösung, dass wir als Gesellschaft es schaffen würden, Energie zu sparen. Somit würde der Bedarf sinken und der Bedarf würde der erzeugten Energie entsprechen. Ein Teil der Einsparung wäre möglich, indem zum Beispiel die Mobilität elektrifiziert wird, die Häuser besser gedämmt werden und Wärmepumpen eingesetzt werden. Ob dies reichen wird, ist allerdings fraglich, so dass wir uns wahrscheinlich anpassen müssen, indem wir zum Beispiel weniger fliegen, mehr öffentliche Verkehrsmittel oder Fahrräder nutzen oder unsere Ernährung umstellen.



4) Erörtere, ob Du in deinen Verhalten dazu beitragen kannst, dass die Energiewende gelingt! Führe gegebenenfalls Verhaltensänderungen auf und bewerte diese!

Mögliche Lösung

Einsatz für den Ausbau von Windkraft und Solarenergie in der Gemeinde
In Diskussionen mit Mitmenschen Fakten erklären
Eltern überzeugen, dass eine PV Anlage oder ein Balkonkraftwerk gebaut wird

Selber überlegen, wie man Energie sparen könnte, z.B. mehr Fahrrad fahren, weniger Fliegen, weniger Fleisch essen, weniger Konsum…

Fakten vs. Behauptungen

Aufgabe 1:

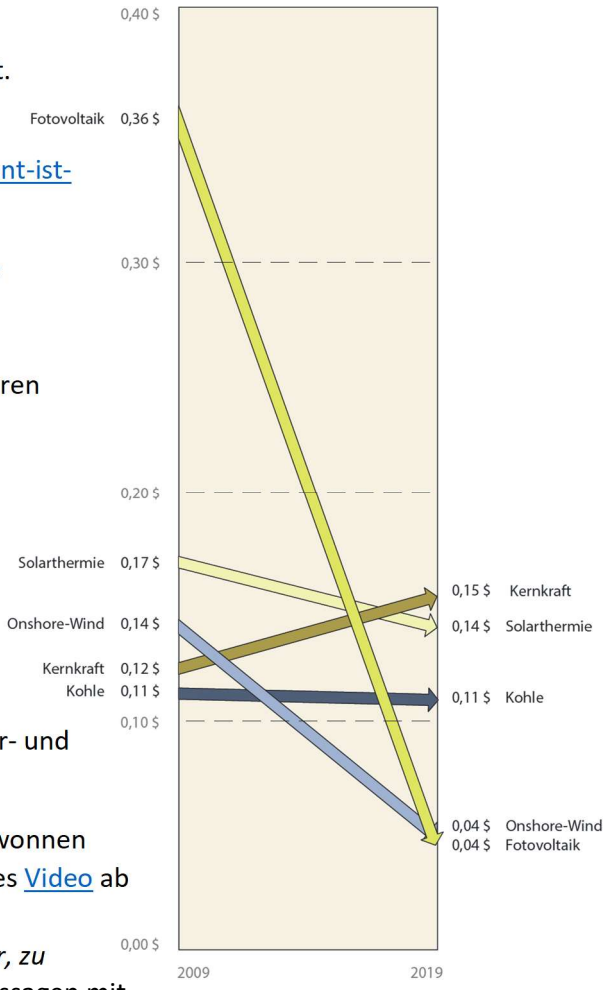
Folgenden Tweet postete Friedrich Merz am 19.02.2022:

„Die Behauptung, schon heute wären die #Erneuerbaren billiger als alle anderen Energiequellen, hält einer Überprüfung nicht stand. Das Gegenteil ist richtig, gerade für Windenergie werden in Deutschland immer noch die höchsten Subventionen gezahlt.“ (tm) #MerzMail

a) Formuliere zwei Behauptungen die Friedrich Merz aufstellt.

Zu diesem Thema hat der BR einen #Faktenfuchs-Artikel verfasst: https://www.br.de/nachrichten/wirtschaft/faktenfuchs-wie-effizient-ist-windenergie,TBxRJZB

b) Überprüfe, ob die Behauptungen sachlich korrekt sind. Die Graphik und der Br Artikel liefern dir den notwendigen Hintergrund.
c) Formuliere einen Tweet zum Thema Kosten der erneuerbaren Energien, der dir sachlich und korrekt erscheint.



Aufgabe 2:

In einem ZDF-Interview sagt Greta Thunberg: „Wenn sie [die Kernkraftwerke] schon laufen, glaube ich, dass es ein Fehler wäre, sie abzuschalten und sich der Kohle zuzuwenden.“

In der folgenden Aufgabe soll diese Aussage eingeordnet sowie Vor- und Nachteile der Kernkraft ausgearbeitet werden.

a) Informiere dich, wie mit Hilfe von Atomkernen Energie gewonnen werden kann. Verwende das Buch, S. 150 – 154, oder dieses Video ab Minute 8:25.
b) Scientists for Future nennen die Kernenergie hier *„Zu teuer, zu langsam, zu gefährlich, zu blockierend“*. Beurteile diese Aussagen mit Hilfe des Videos ab Minute 18:55.
c) Frank Thelen behauptet bei Markus Lanz (bis 1:10), dass die Kernkraft in Zukunft besser nutzbar und deswegen unverzichtbar sei. Beurteile auch diese Aussage mit Hilfe des Videos (ab Minute 25:03) und des Buches (S. 155 – 161).

Aufgabe 3:

Im Sommerinterview der ZDF behauptet Markus Söder ab Minute 3:40, Bayern wäre Nummer eins bei erneuerbaren Energien.

Auch dazu hat der BR einen #Faktenfuchsartikel verfasst, der Bayern eher im hinteren Mittelfeld der Bundesländer sieht.

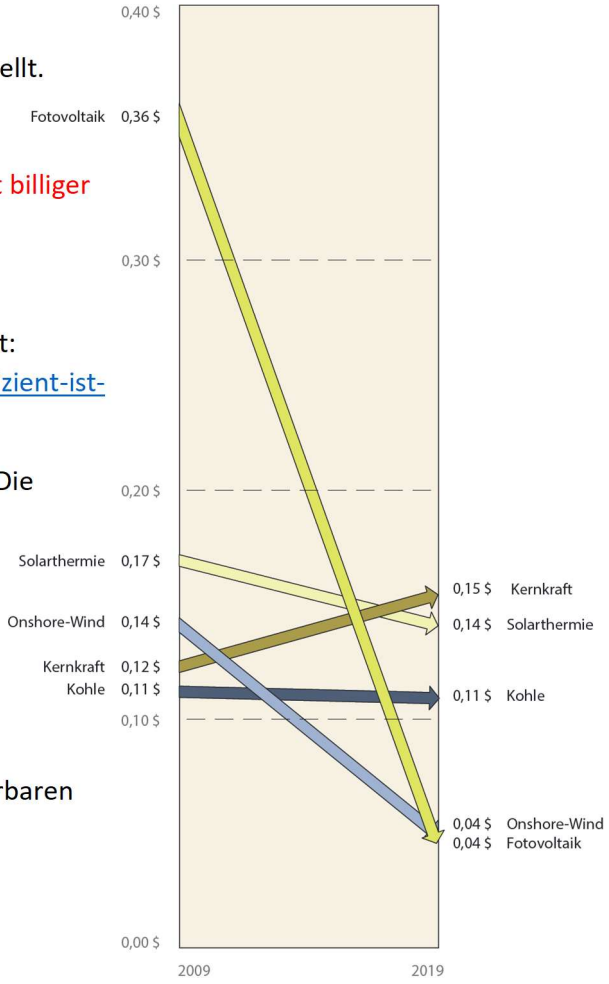
a) Stelle dar, wie Markus Söder zu seiner Einschätzung kommt.
b) Bewerte die Aussagen von Markus Söder mit Hilfe des #Faktenfuchsartikels.

Aufgabe 1:

Folgenden Tweet postete Friedrich Merz am 19.02.2022:

„Die Behauptung, schon heute wären die #Erneuerbaren billiger als alle anderen Energiequellen, hält einer Überprüfung nicht stand. Das Gegenteil ist richtig, gerade für Windenergie werden in Deutschland immer noch die höchsten Subventionen gezahlt.“ (tm) #MerzMail

a) Formuliere zwei Behauptungen die Friedrich Merz aufstellt.
Merz behauptet, Windenergie werde am höchsten subventioniert.
Merz behauptet, dass erneuerbare Energiequellen nicht billiger seien als fossile.



Zu diesem Thema hat der BR einen #Faktenfuchs-Artikel verfasst:
https://www.br.de/nachrichten/wirtschaft/faktenfuchs-wie-effizient-ist-windenergie,TBxRJZB

b) Überprüfe, ob die Behauptungen sachlich korrekt sind. Die Graphik und der Br Artikel liefern dir den notwendigen Hintergrund.
Diese Behauptungen halten der wissenschaftlichen Analyse nicht stand. Nach der Studie des Fraunhofer Instituts hat Merz nicht Recht. Der Solarstrom ist am günstigsten herzustellen, dicht gefolgt vom Windstrom.

c) Formuliere einen Tweet zum Thema Kosten der erneuerbaren Energien, der dir sachlich und korrekt erscheint.
individuell

Aufgabe 2:

In einem ZDF-Interview sagt Greta Thunberg: „Wenn sie [die Kernkraftwerke] schon laufen, glaube ich, dass es ein Fehler wäre, sie abzuschalten und sich der Kohle zuzuwenden.“

In der folgenden Aufgabe soll diese Aussage eingeordnet sowie Vor- und Nachteile der Kernkraft ausgearbeitet werden.

a) Informiere dich, wie mit Hilfe von Atomkernen Energie gewonnen werden kann. Verwende das Buch, S. 150 – 154, oder dieses Video ab Minute 8:25.
Siehe Buch

b) Scientists for Future nennen die Kernenergie hier *„Zu teuer, zu langsam, zu gefährlich, zu blockierend“*. Beurteile diese Aussagen mit Hilfe des Videos ab Minute 18:55.
Zu teuer: siehe Grafik Aufgabe 1. Ein Großteil der Kosten der Kernkraft steckt in der Sicherheitsgarantie und der Instandhaltung der Kraftwerke. Solar- oder Windkraftwerke sind um ein Vielfaches billiger zu betreiben.

Zu langsam: Kernenergie wäre nur mittel- bis langfristig eine Lösung, da es lange dauert, neue Kraftwerke zu bauen und Brennelemente zu beschaffen
Zu gefährlich: die Halbwertszeit beträgt zum Teil 1.000.000 Jahre. Der homo sapiens existiert seit 300.000 Jahren. Die sichere Verwahrung kann nicht garantiert werden. Auch ist noch kein Endlager gefunden
Zu blockierend: Investitionen in Kernenergie verhindern Investitionen in erneuerbare Energien und blockieren so deren Ausbau

c) Frank Thelen behauptet bei Markus Lanz (bis 1:10), dass die Kernkraft in Zukunft besser nutzbar und deswegen unverzichtbar sei. Beurteile auch diese Aussage mit Hilfe des Videos (ab Minute 25:03) und des Buches (S. 155 – 161).
Die sog. 4. Generation der Kernkraft ist noch nicht ausgereift genug und wird dies auf absehbare Zeit nicht sein.

Aufgabe 3:

Im Sommerinterview der ZDF behauptet Markus Söder ab Minute 3:40, Bayern wäre Nummer eins bei erneuerbaren Energien.

Auch dazu hat der BR einen #Faktenfuchsartikel verfasst, der Bayern eher im hinteren Mittelfeld der Bundesländer sieht.

a) Stelle dar, wie Markus Söder zu seiner Einschätzung kommt.

Söder stellt die absoluten Zahlen dar. Sowohl bei Zubau und Bestandphotovoltaikfreiflächenanlagen ist Bayern auf Platz eins.

Bewerte die Aussagen von Markus Söder mit Hilfe des #Faktenfuchsartikels.

Stellt man diese Zahlen in Bezug zur Fläche Bayerns, so schneidet Bayern nicht so gut ab. Hier liegt Bayern im unteren Mittelfeld.

Weitere Hinweise

Ein schönes Video, das zeigt, wie eine regenerative Energieversorgung in Deutschland möglich wäre. Ein Video, dass Zuversicht verbreitet:

https://youtu.be/UixHyJO7zmg