

Erneuerbare Energien zum Verstehen und Mitreden

Unterrichtsmaterialien für das Gymnasium



Herausgeber: Dr. Cecilia Scorza-Lesch LMU

Autoren: Thomas Bauer, Benjamin Best, Dorle Lohn, Philipp Schneider

HERAUSGEGEBEN VON:

Fakultät für Physik, Ludwig-Maximilians-Universität
Schellingstraße 4, 80799 München
www.physik.uni-muenchen.de

Dr. Cecilia Scorza LMU Physik

E-Mail: c.scorza@lmu.de

© Fakultät für Physik LMU, alle Rechte vorbehalten

KOORDINATION:

Dr. Cecilia Scorza-Lesch

Philipp Schmidbauer (2023-2024)

Dr. Sabine Graf (2021-2023)

AUTOREN:

Thomas Bauer, Bertha-von-Suttner Gymnasium Neu-Ulm

Dorle Lohn, Gymnasium Gröbenzell

Benjamin Best, Inntal-Gymnasium Raubling

Philipp Schneider, Maristenkolleg Mindelheim

Mit Beiträgen zu Grafik und Inhalt: Daniela Hägele und Philipp Schmidbauer

KONTAKT:

kontakt@klimawandel-schule.de

www.klimawandel-schule.de

STAND:

Mai 2024

Vorwort

Spontan mit der Familie einen Ausflug in die Berge machen, im Winter ins warme Wohnzimmer kommen oder noch ein kurzer Videoanruf bei Freunden – all das wäre nicht möglich ohne unsere moderne Energieversorgung. Fast alles in unserem komfortablen Leben hängt ab von der permanenten Verfügbarkeit günstiger Energie. Neben all den angenehmen Effekten gibt es aber eine Kehrseite: Unsere Energieversorgung ist der Hauptverursacher des Klimawandels. Die heutige Schüler- und Schülerinnengeneration wird im Laufe ihres Lebens mit voller Wucht von den Auswirkungen getroffen werden und muss den Wandel hin zu einer nachhaltigen Gesellschaft mit den anderen Generationen gestalten. Das Handwerkszeug dafür muss ihnen heute in den Schulen mitgegeben werden. Dies hat großen Einfluß darauf, ob dieser Wandel gelingen wird oder nicht.

Eine erfolgreiche Energiewende hat viele Gesichter. Neben den technischen Herausforderungen für die Produktion von Strom und Wärme, deren Verteilung und Speicherung müssen wir unseren Energieverbrauch kritisch unter die Lupe nehmen. Eine zukunftsfähige Energieversorgung muss allen zur Verfügung stehen ohne die sozial Schwachen auf der Strecke zu lassen. Und nicht zuletzt ist dies alles eine weltweite Herausforderung, die wir nur als Menschheit gemeinsam meistern können.

Die Basis für all das ist ein grundlegendes Verständnis unserer Energieversorgung. Wie viel Energie verbrauchen wir und für was? Welche Energiequellen gibt es und was ist deren Potential? Wie funktionieren die unterschiedlichen Technologien grob? Es geht nicht darum, alle Schülerinnen und Schüler zu Ingenieuren auszubilden. Ziel ist es einen Überblick zu vermitteln, der ihnen erlaubt grundlegende Fragen zu beantworten, so dass sie sich auch in komplexe Zusammenhänge einarbeiten und am öffentlichen Diskurs teilzunehmen können.

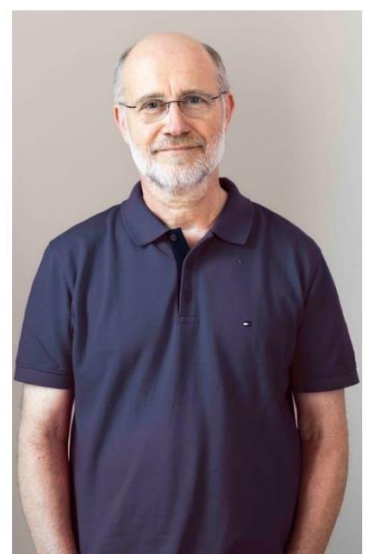
Wer ein überblickendes Grundwissen besitzt, kann die Wirkung der nötigen Massnahmen auf das Ganze erkennen und ist besser geschützt vor punktuellen Aktionismus oder einer emotionalen Ablehnung aus Unwissen.

Um ernsthaft mitzureden und mitzugestalten müssen wir uns also in die Grundlagen einarbeiten. Dieses Heft bietet eine Fülle von hervorragenden Materialien an, wie dies im Unterricht abwechslungsreich und didaktisch sinnvoll umgesetzt werden kann. Sie wurden in vielen Stunden Arbeit für den Einsatz im Unterricht erstellt.

Unser Dank geht an die motivierten Personen, die dafür verantwortlich sind – es ist wunderbar geworden.

Liebe Lehrkräfte helfen Sie einer neuen Generation beim Verstehen, damit sie mitreden kann bei einem der wichtigsten Themen unserer Zeit!

Christian Holler, Harald Lesch



Hinweise



Dies ist der Teilabdruck in der Version Mai 2024.

Auf der Homepage befinden sich:

- ✓ weitere Materialien
- ✓ Lösungen
- ✓ Quellen mit allen Bildnachweisen
- ✓ Und alle Arbeitsblätter in editierbarer Form (docx-Format)

Die Links findet man jeweils als QR-Code (mit eingebettetem Link in der Digitalversion) auf der Einstiegsseite aller Kapitel.

II. ZUKUNFTSGESTALTUNG



**Erneuerbare Energien
im Unterricht**

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 (Bildquelle: BabarAli, <https://pixabay.com/de/illustrations/mann-hei%C3%9Fluftballon-wolken-ballon-5737926/>)



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

Wir freuen uns über Kolleginnen und Kollegen, die das Material ausprobieren und über Feedback und Erfahrungsberichte an uns. Das Material wird weiterentwickelt und ergänzt. Alle Materialien werden laufend auf der Homepage (<https://klimawandel-schule.de/de/event/erneuerbare-energien-im-unterricht>) aktualisiert.

Aktualisierungen und gefundene Fehler finden Sie auf dieser Seite: <https://klimawandel-schule.de/de/erneuerbare-energien-aktualisierungen-und-fehler>

Konzept der Handreichung

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

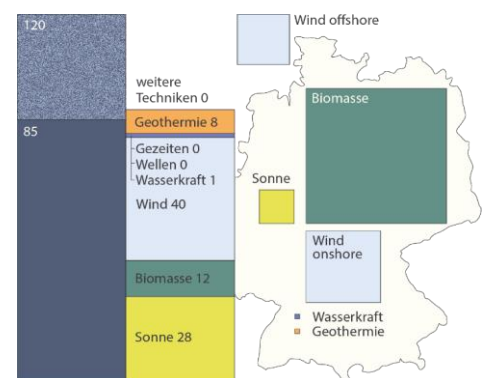
„Wir müssen unseren Energiebedarf um 30% reduzieren“,...

Schlagzeilen wie diese schmücken nahezu täglich die Zeitungen, ohne dass viele Leser ein Gefühl oder eine anschauliche Vorstellung dafür haben, wie gewaltig der Energiebedarf Deutschlands ist.

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 beantwortet, in wieweit wir es in Zukunft schaffen können, unseren jetzigen Energiebedarf durch erneuerbare Energien zu decken.

Ein Ansatz, der auch leicht im Physikunterricht ab 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 Grundlagen für die regenerativen Energiequellen Sonne, Biomasse, Wind, Wasser, Geothermie gelegt. Mit unterschiedlichen Arbeitsmethoden wird erklärt, woher die jeweilige Energie kommt und durch welche Technologien diese genutzt werden kann. Dabei 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.

Ziel der hier bereitgestellten Unterrichtsmaterialien ist es, diese Folgerungen den Schülerinnen und Schülern 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.

Inhalt

Vorwort.....	3
Hinweise	4
Konzept der Handreichung.....	5
Lehrplanbezug	7
1. Energie verstehen	8
Everybody's Darling: Die Energie.....	10
Energieeinheiten oder „Wer ist Robert“?	12
Energie, Leistung und Größenordnungen- Bewertung von Informationen.....	13
Leitfaden: Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien.....	14
2. Wasserkraft.....	16
Energiegewinnung mit einem Wasserkraftwerk	17
Abschätzung der maximalen Energieerzeugung an Wasserkraft	18
3. Windenergie	20
Ausbau Windenergie – Wie schaffen wir das?	22
Wind of Change oder The Answer Is Blowing in The Wind	25
Grundlagen einer Windkraftanlage (WKA).....	30
4. Bioenergie.....	32
Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (Wirkungsgrad).....	34
Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (verfügbare Holzmasse)	36
5. Solarenergie	38
Abschätzung des Beitrags der Solarenergie	40
Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte.....	42
6. Geothermie und Wärmepumpen	44
Wärme, Energiefluss und Dämmen.....	46
Manches geht auch mit Druck - Das Geheimnis der Wärmepumpe	48
Wärmepumpe: Wie heizt man mit der kalten Luft?.....	49
Wärmepumpe und Kühlschrank:	52
Wie man Kondensieren nutzt!.....	52
Geothermie und Wärmepumpen –	53
It's getting hot in here	53
7. Sonstige Energiequellen	55
8. Energiebedarf und Speicher	56
9. Faktencheck: Was bedeutet das für uns?	57

Lehrplanbezug

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

Arbeitsblatt	Kapitel	Lehrplanbereich
Everybody's Darling: Die Energie	Energie	Energie Begriff und Energieumwandlungen
Energieeinheiten oder „Wer ist Robert“?	Energie	Energie Begriff und Energieumwandlungen
Energie, Leistung und Größenordnungen- Bewertung von Informationen	Energie	Energie und Leistung, Begriffe und Größenordnungen
Leitfaden: Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien	Energie	
Energiegewinnung mit einem Wasserkraftwerk	Wasserkraft	Höhenenergie
Abschätzung der maximalen Energieerzeugung an Wasserkraft	Wasserkraft	Höhenenergie
Ausbau Windenergie – Wie schaffen wir das?	Windenergie	Maßnahmen zur Einhaltung aktueller Klimaschutzziele auf gesellschaftlicher Ebene und Relevanz
Wind of Change oder The Answer Is Blowing in The Wind	Windenergie	kinetische Energie
Grundlagen einer Windkraftanlage (WKA)	Windenergie	kinetische Energie
Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (Wirkungsgrad)	Bioenergie	Wirkungsgrad
Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (verfügbare Holzmasse)	Bioenergie	Maßnahmen zur Einhaltung aktueller Klimaschutzziele auf gesellschaftlicher Ebene und Relevanz
Abschätzung des Beitrags der Solarenergie	Solarenergie	elektrische Energie, Wirkungsgrad
Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte	Solarenergie	elektrische Energie, Leistung
Wärme, Energiefluss und Dämmen	Geothermie	Änderung der inneren Energie durch Arbeit oder Wärme, Temperaturunterschied als Ursache für einen Energiestrom
Manches geht auch mit Druck - Das Geheimnis der Wärmepumpe	Geothermie	Druck als Zustandsgröße von Gasen, Druckänderung eines Gases bei Temperatur- und Volumenänderung
Wärmepumpe: Wie heizt man mit der kalten Luft?	Geothermie	Druckunterschied als Ursache für einen Teilchenstrom
Wärmepumpe und Kühlschrank: Wie man Kondensieren nutzt!	Geothermie	Energieänderung bei Änderung des Aggregatzustands
Geothermie und Wärmepumpen – It's getting hot in here	Geothermie	innerer Energie

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 Lernenden 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 ([Everybody's Darling: Die Energie](#)). Zudem werden von Beginn an Joule und kWh als Einheiten der Energie eingeführt, um quantitative Aussagen machen zu können und die Lernenden an das Einheitenumrechnen zu gewöhnen. ([Energieeinheiten oder „Wer ist Robert“?](#)) Zum Schluss wird anhand von textbasierten Quellen der Energieverbrauch in Deutschland thematisiert. ([Energie, Leistung und Größenordnungen](#))

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. ([Leitfaden: Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien](#))

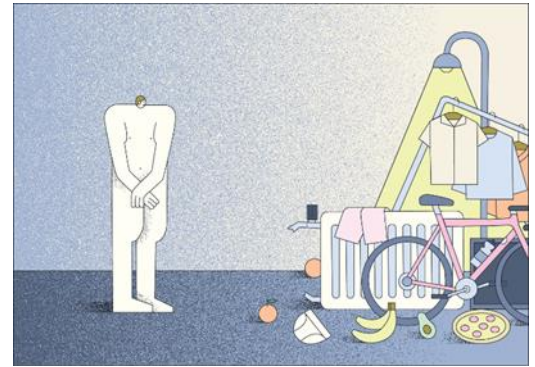
Digitale Version mit Lösungen
und Quellen

Arbeitsblätter dieses Kapitels

Everybody's Darling: Die Energie • Welche Energieformen und Energieumwandlungen kennst du aus dem Alltag? • Wie viel Energie nutzen wir im Alltag und wofür? • Wie groß ist Deutschlands Energiebedarf im internationalen Vergleich? • Welche Maßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs gibt es?	
Energieeinheiten oder „Wer ist Robert“? • Wie viel Energie ist eine kWh? • Wie rechnet man kWh in Joule um?	
Energie, Leistung und Größenordnungen • Wie verwendet man Leistung und Energie korrekt in Texten? • Welche Energien kann der Mensch als Energiequelle erzeugen?	
Leitfaden: Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien Begleitblatt und Zsfg. für eine Gesamtabeschätzung der deutschen Energiewende • Wie groß ist der aktuelle Energiebedarf Deutschlands? • Welche Energieform kann welchen Beitrag leisten? • Wo liegen die Grenzen aufgrund der geographischen Begebenheiten?	
Nur auf der Homepage	
Energieverbrauch In dieser Unterrichtseinheit werden Begriffe wie Primärenergie und Endenergie geklärt und der jetzige Energiebedarf berechnet.	

Everybody's Darling: Die Energie

- Welche Energieformen und Energieumwandlungen kennst du aus dem Alltag?
- Wie viel Energie nutzen wir im Alltag und wofür?
- Wie groß ist Deutschlands Energiebedarf im internationalen Vergleich?
- Welche Maßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs gibt es?



► 1 Energieformen

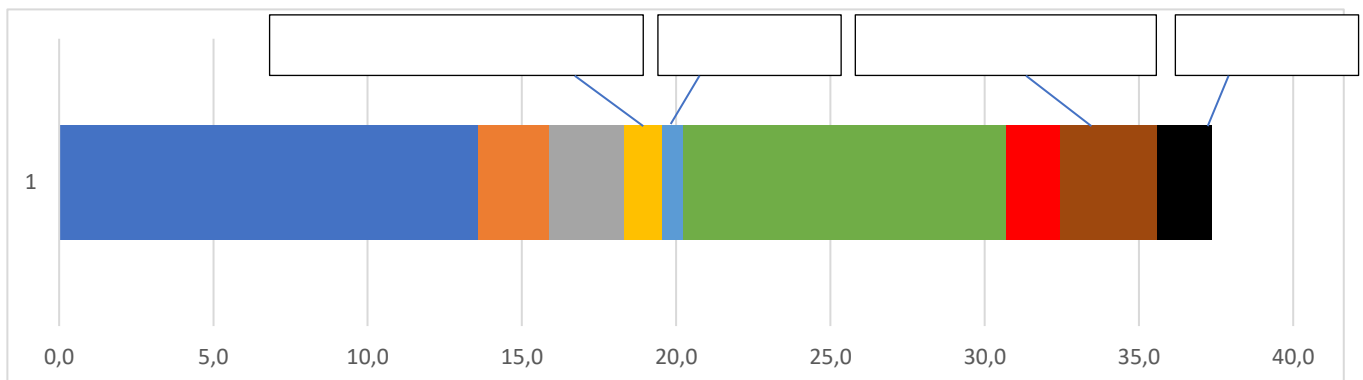
Aufgabe 1:

Beschreibe anhand des nebenstehenden Bildes Situationen im Alltag, in denen Energie eine Rolle spielt! Benenne außerdem die zugehörige Energieform!

Aufgabe 2:

In Grafik 2 ist der durchschnittliche Energieverbrauch pro Person und Jahr dargestellt.

- Fülle die untenstehende Tabelle zunächst ohne die Spalte „Farbe“ aus. Die Lösung ist nicht eindeutig – wähle jeweils ein Beispiel.
- Überlege dir, zu welchen Bereichen der blaue bzw. der grüne Balken gehört.
- Zu welchen Bereichen gehören die nicht zugeordneten Farben? Vergleiche mit der Lösung im QR-Code.
- Um Energie zu sparen, wird oft dazu aufgerufen, das Licht auszumachen. Erkläre anhand der Daten aus Abbildung 2, dass die Schwerpunktsetzung fürs Energiesparen in anderen Bereichen sein sollte und führe Beispiele auf. Erkläre dann, warum es trotzdem wichtig ist, das Licht auszumachen!



► 2 Energiebedarf (privat) im Jahr 2016 pro Person in kWh/Tag (Quelle: Umweltbundesamt)

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				

Aufgabe 3:

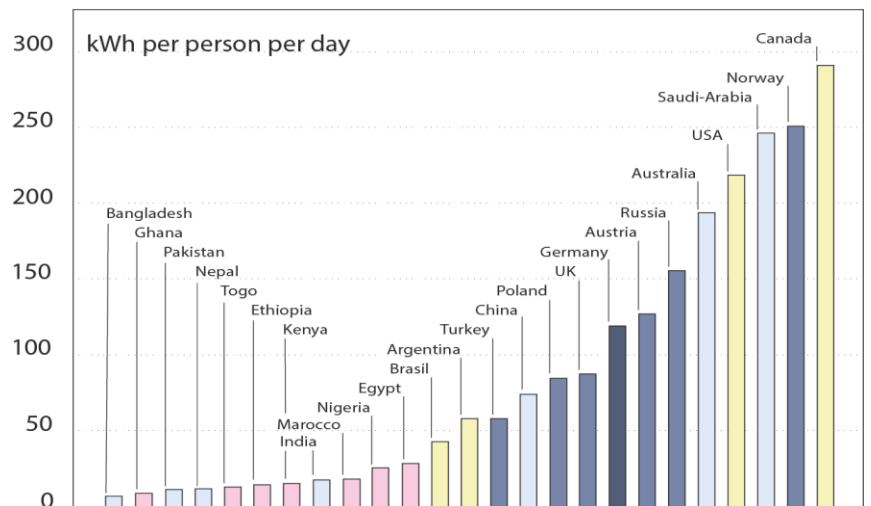
In Abbildung 3 ist der Energieverbrauch pro Person und Tag von vielen Ländern dargestellt.

- a) Entnimm der Grafik den Wert für Deutschland und bewerte in einem Satz wie du Deutschland im internationalen Vergleich siehst!

Deutschland: _____ kWh/Person & Tag

- b) Überlege dir, warum Länder wie z. B. Norwegen oder Saudi-Arabien im Vergleich zu Deutschland ein geringeres Problem mit ihrem sehr hohen Energiebedarf haben?

- c) In ► 2 ist der Energiebedarf (privat) am Tag pro Person dargestellt. Welchem Anteil am Gesamtenergiebedarf entspricht das? Was berücksichtigt der Gesamtenergiebedarf zusätzlich, was im privaten Bedarf nicht enthalten ist?



► 3 Gesamtenergieverbrauch pro Kopf im Vergleich

Aufgabe 4:

Von 2008 bis 2019 ist der Energiebedarf für „Klimakälte“ um 40 %¹ angestiegen.

- a) Ergänze die Tabelle.

Bereich	Energieträger	Bereitgestellte Energieform	Maschine
Kühlen			

- b) In der Gruppe: Diskutiert Gründe, warum sich dieser Trend wahrscheinlich fortsetzen wird!
- c) Nenne stichpunktartig verschiedene Maßnahmen, die Städte und Gemeinden oder konkret unsere Schule nutzen, um das Aufheizen von Gebäuden zu reduzieren.

Aufgabe 5:

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

Aufgabe 6:

Überlege dir, was sowohl dein Körper als auch technische Geräte mit der zugeführten Energie machen und folgere daraus eine grundlegende Eigenschaft von Energie! Notiere diese im roten Kasten.

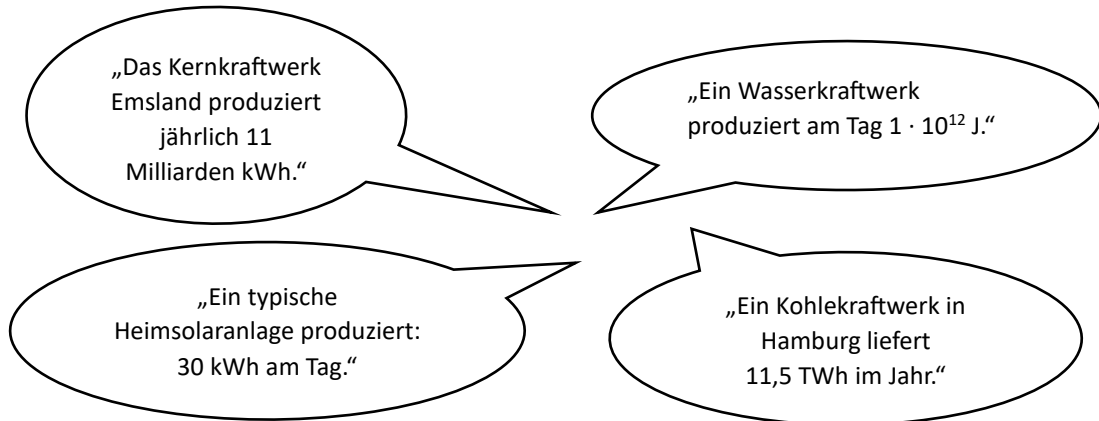
¹ https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-entwicklungen-und-trends-in-deutschland-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=16, S.11 (Zugriff am 23.12.2023)

Energieeinheiten oder „Wer ist Robert“?

- Wie viel Energie ist eine kWh?
- Wie rechnet man kWh in Joule um?

Aufgabe 1:

Aussagen wie diese findet man häufig in Zeitungsartikeln oder im Internet:



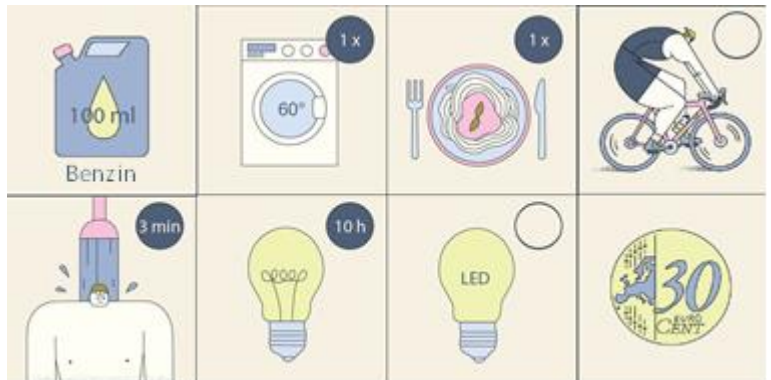
- Überlege dir, warum es ohne Taschenrechner nicht möglich ist, diese Angaben zu vergleichen.
 - Entscheide welche der folgenden Aussagen stimmt:
- ☐ Das Kohlekraftwerk in Hamburg liefert *viel mehr* Energie als das Kernkraftwerk Emsland.
- ☐ Das Kernkraftwerk Emsland liefert *viel mehr* Energie als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



Als Grundeinheit für Energiemengen wird im Alltag in der Regel die Einheit 1kWh verwendet. Um ein Gefühl diese Einheit zu bekommen, hilft dir das folgende Video:

Aufgabe 2:

- Überlege dir mithilfe des Videos, wie viele Roberts 2,5 min treten müssten, um 1kWh zu erzeugen. Ermittle dafür welche Energie Robert in 2,5min erzeugt hat!
- Ein untrainierter Radfahrer kann in einer Stunde ungefähr 0,1kWh erzeugen. Trage in ► 1 ein, wie lange der abgebildete Radfahrer treten müsste, um 1kWh Energie zu erzeugen.
- Anstelle einer 100W-Glühbirne kann man auch eine 13W-LED verwenden, um einen gleich großen Raum zu ► 1 Eine Kilowattstunde im Vergleich erleuchten. Ergänze in ► 1 wie lange so eine LED-Birne mit der Energie von 1kWh leuchten kann.
- Überlege dir, warum in der Graphik 100ml Benzin und 30ct abgebildet sind!



Aufgabe 3:

- Wandle die Werte der Kraftwerke in Aufgabe 1 in die Einheit: kWh pro Person und Tag um. Beziehe dich dabei auf Deutschland (80 Mio. Personen) Der QR-Code kann dir helfen. Überlege auf welche Personenanzahl man die einzelne Heimsolaranlage sinnvollerweise bezieht.
- In der Physik ist die für Energie übliche Einheit 1J bzw. 1 Joule. Es gilt dabei: $1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J}$ Erkennst du den Vorteil, die Energie in kWh anzugeben?

Energie, Leistung und Größenordnungen – Bewertung von Informationen

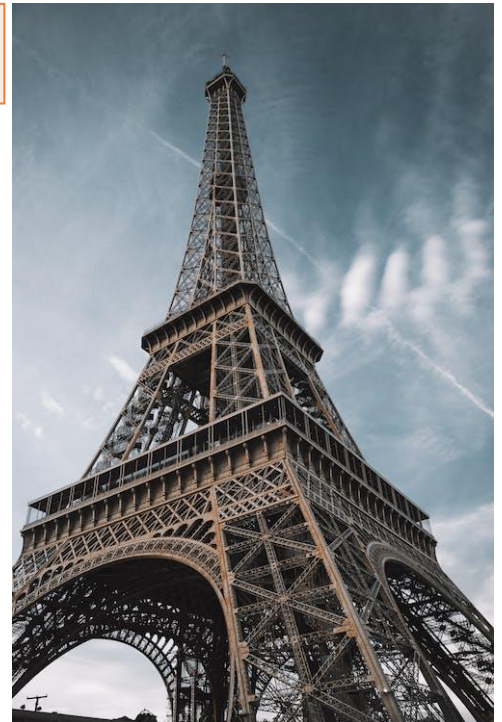
- Wie verwendet man Leistung und Energie korrekt in Texten?
- Welche Energien kann der Mensch als Energiequelle erzeugen?

Aufgabe 1: Artikel der Esslinger Zeitung vom 27.2.2015

Eiffelturm ein Windrad

Der Eiffelturm 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.

- In diesem Zeitungsartikel ist ein physikalischer Fehler. Versuche den Text richtig zu stellen.
- Berechne, welche Leistung der Eiffelturm benötigt. Vergleiche mit der Leistung eines Hausanschlusses von 30kW.
- Ein ähnlicher Zeitungsartikel bei Spiegel online hieß „Grünes Paris: Eiffelturm produziert grüne Windenergie“. Welcher Eindruck wird in diesen Artikeln erweckt? Begründe, wodurch dieser Eindruck erweckt wird.
- Beurteile, ob dieser Eindruck gerechtfertigt ist, indem Du die gegebenen Informationen bewertest!



► 1 Eiffelturm

Foto: Alex Azabache über pexels.com

Aufgabe 2: eLife, ein Label des Energieversorgers Vattenfall wirbt auf seiner Homepage mit innovativen Ideen wie zum Beispiel dem Folgenden:

Energiequelle Mensch – Cardio für den Smartphone-Akku

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

So funktioniert's

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.²

- 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.
- Bewerte die Relevanz dieser innovativen Energie hinsichtlich der finanziellen Ersparnis und dem Beitrag zur Energiewende. Verwende dazu auch die weiteren Daten zu einem Handy!



► 1 Robert auf dem Fahrrad

Akkukapazität ³	Akkulaufzeit	Energiebedarf für die Akkuproduktion	Kosten für 1kWh Strom
3Wh	15h	220 kWh	35ct

² <https://www.vattenfall.de/infowelt-energie/green-gym-smartphone-akku-laden>

³ <https://www.computerbild.de/artikel/cb-Tests-Handys-mit-langer-Akkulaufzeit-Test-5643959.html>

Leitfaden: Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien

Begleitblatt und Zusammenfassung für eine Gesamtaberschätzung der deutschen Energiewende

- Wie groß ist der aktuelle Energiebedarf Deutschlands?
- Welche Energieform kann welchen Beitrag leisten?
- Wo liegen die Grenzen aufgrund der geographischen Begebenheiten?

Aufgabe 1: Der Energiebedarf Deutschlands heute

- Ergänze die Größe des heutigen Primärenergiebedarfs pro Person und Tag (s. Aufgabe 3).
- Stelle die bisherige Aufteilung dieser Energie auf die unterschiedlichen Energieformen dar, indem du sie mit verschiedenen Farben im Balkendiagramm einträgst. Der QR-Code kann dir dabei helfen.

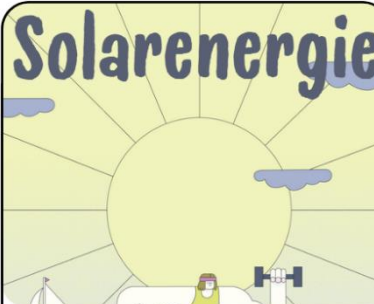


Aufgabe 2: Mögliche Beiträge erneuerbarer Energien in der Zukunft

Um die Energiewende realistisch zu betrachten, musst du eine Menge an Informationen kennen. Diese Karten sollen dir helfen mögliche Werte zusammen zu tragen.

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

Solarenergie



mögliche Endenergie in kWh pro Person & Tag

nötige Fläche

Herausforderungen/Grenzen:

Wasserenergie



mögliche Endenergie in kWh pro Person & Tag

nötige Fläche

Herausforderungen/Grenzen:



Windkraft



mögliche Endenergie in kWh pro Person & Tag

nötige Fläche onshore

offshore

Herausforderungen/Grenzen:

Geothermie

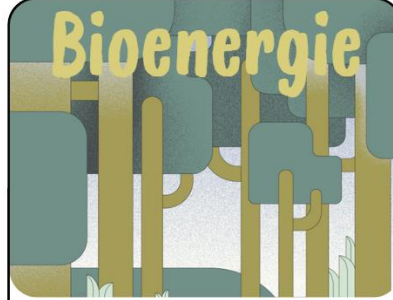


mögliche Endenergie in kWh pro Person & Tag

nötige Fläche

Herausforderungen/Grenzen:

Bioenergie



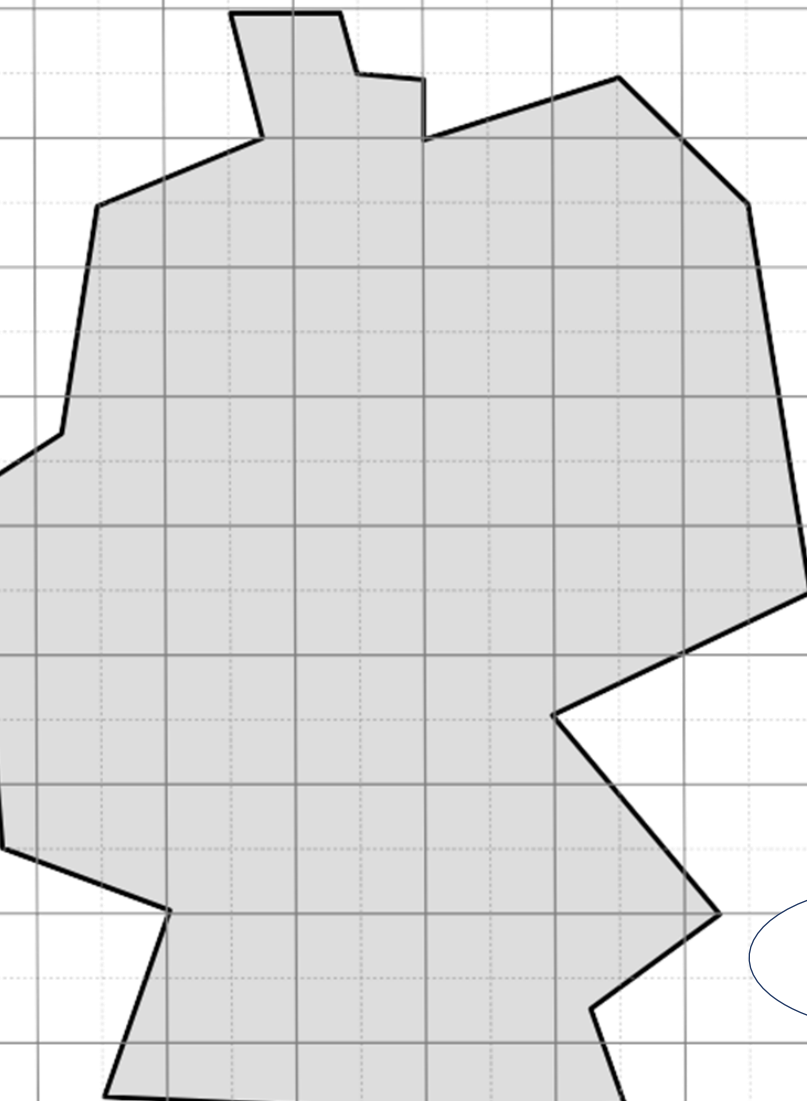
mögliche Endenergie in kWh pro Person & Tag

nötige Fläche

Herausforderungen/Grenzen:

Übertrage ebenso die benötigte Fläche der einzelnen Energieformen in die vereinfachten Deutschlandkarte.

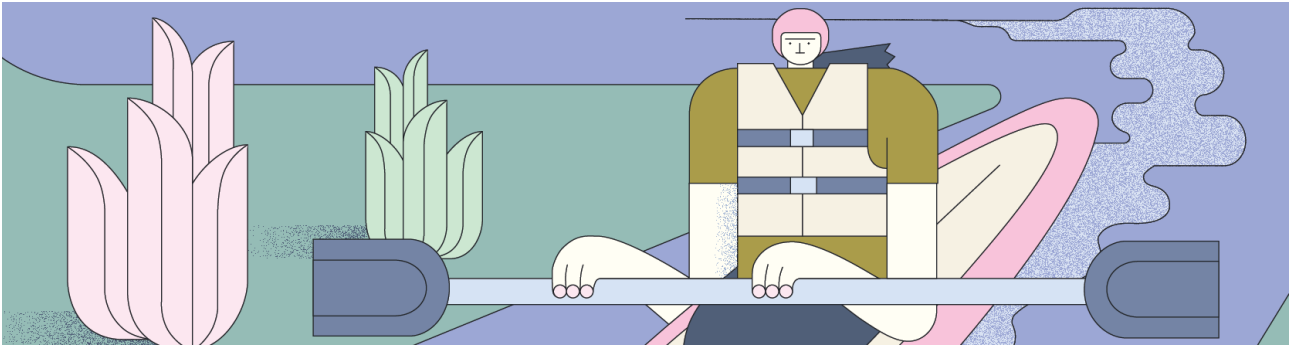
möglicher Energiemix der Zukunft:



Wie bewertest du die Situation jetzt?



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 lässt sich Deutschlands Potential an Wasserkraft 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 und Schülern 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:

Das Arbeitsblatt „[Energiegewinnung mit einem Wasserkraftwerk](#)“ bietet eine kompetenzorientierte Herangehensweise an das Thema der Höhenenergie. Dabei wird die Wasserkraft als technischer Hintergrund eingesetzt und es ergibt sich eine elegante Möglichkeit zur Diskussion des Nullniveaus. In „[Abschätzung der maximalen Energieerzeugung an Wasserkraft](#)“ wird mit gestuften Hilfen der Beitrag dieser Energieform mit Deutschlands Geographie berechnet, der anschließend ein erstes Ergebnis für den [Leitfaden](#) bietet. [Experimente und weitere Anregungen](#) finden sich auf der Homepage.

Arbeitsblätter dieses Kapitels

*Digitale Version mit Lösungen
und Quellen*

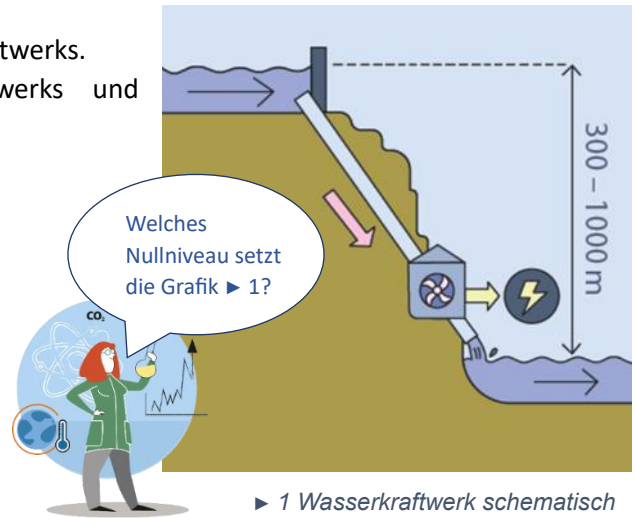
Energiegewinnung mit einem Wasserkraftwerk • <i>Durch welche Energieumwandlungen generiert ein Wasserkraftwerk elektrische Energie?</i> • <i>Wie viel elektrische Energie wird am Walchensee-Wasserkraftwerk gewonnen?</i>	
Abschätzung der maximalen Energieerzeugung an Wasserkraft • <i>Welchen Beitrag kann Wasserkraft zu erneuerbaren Energien beitragen?</i> • <i>Wie viel Energie können wir maximal in Deutschland aus der uns zur Verfügung stehenden Wassermenge und dessen Höhenlage gewinnen?</i>	

Energiegewinnung mit einem Wasserkraftwerk

- Durch welche Energieumwandlungen generiert ein Wasserkraftwerk elektrische Energie?
- Wie viel elektrische Energie wird am Walchensee-Wasserkraftwerk gewonnen?

Aufgabe 1:

Hier siehst du die schematische Abbildung eines Wasserkraftwerks. Formuliere die Funktionsweise eines solchen Kraftwerks und berücksichtige dabei die Energieumwandlungen.



► 1 Wasserkraftwerk schematisch

Aufgabe 2:

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

- Beurteile die Relevanz der Größen, um die Energiemenge abzuschätzen, die das Walchenseekraftwerk theoretisch produzieren könnte.
- Welche Größe fehlt, um die Energiemenge abzuschätzen? Nimm ggf. die Tabelle im QR-Code zur Hilfe und suche die fehlende Größe.



► 2 Wasserkraftwerk Walchensee

Aufgabe 3:

- Berechne mit Hilfe der relevanten Angaben aus Aufgabe 2 die maximale elektrische Energie in Joule und in kWh, die das Walchenseekraftwerk pro Tag liefern kann.
Erinnerst du dich an die Masse von 1 Liter Wasser? Erinnerst du dich auch, wie viele Liter in 1 m^3 enthalten sind?
- Welche Energie generiert das Kraftwerk damit in einem Jahr?
- Die jährlich generierte Energiemenge des Walchenseekraftwerks beträgt ca. $300 \cdot 10^6 \text{ kWh}$. Vergleiche die Werte und finde zwei Gründe, warum sich der oben berechneten Wert von der tatsächlich generierten Energiemenge unterscheidet?

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.⁴ Ist das bei uns auch möglich? In der folgenden Aufgabe soll dieses Potential für Deutschland grob abgeschätzt werden.

Aufgabe 1:

Im aktuellen Energiemix von Deutschland, macht Wasserkraft nur 0,7kWh pro Person und Tag aus.

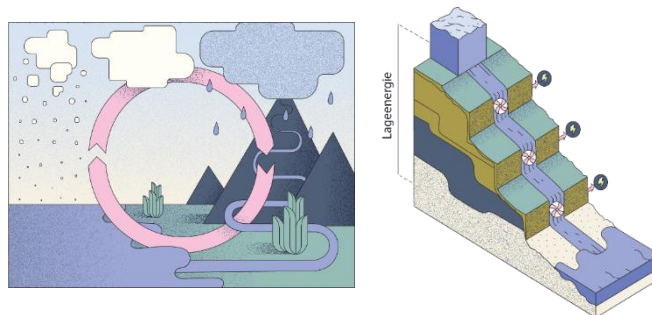
Nimm an wir würden die Wasserkraft maximal ausbauen, d.h. alle Wasserkraftwerke bauen, die technisch möglich sind. Schätze ab wie viel Energie in kWh wir damit in Deutschland maximal pro Tag und pro Person durch Wasserkraft erzeugen können?

Denke daran, dass wir pro Tag und pro Person insgesamt 120 kWh benötigen.

kWh

Aufgabe 2:

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.



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.

Bearbeitet nun nacheinander die Kärtchen!

Die Kärtchen führen euch Schritt für Schritt durch die Aufgabe mit dem Ziel, abzuschätzen wie viel Energie durch Wasserkraft maximal zur Verfügung stehen kann!

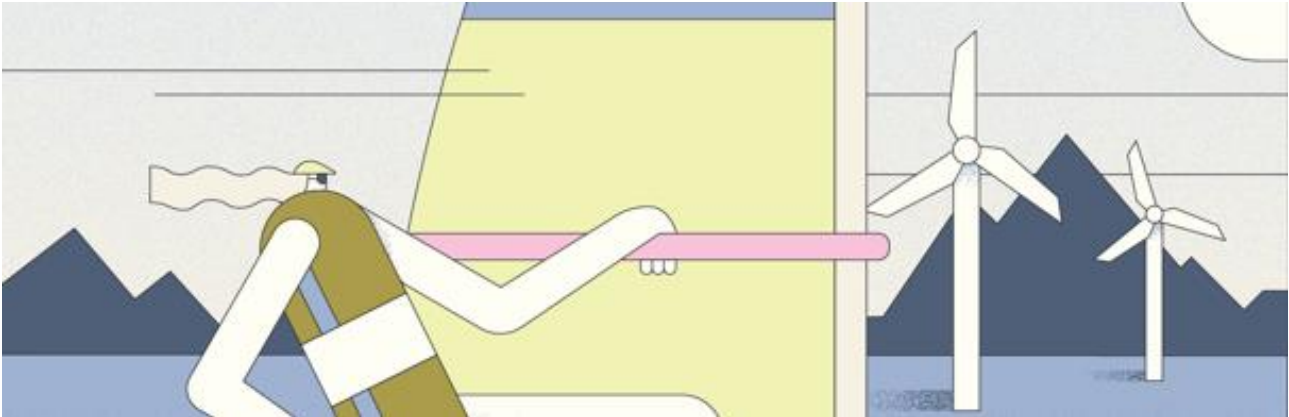
Aufgabe 3:

- Nenne zwei Gründe, warum die in Aufgabe 2 berechnete Energie nicht vollständig genutzt werden kann.
- Schätze dann mit Hilfe deines Ergebnisses ab, wie viel Energie pro Person und Tag man tatsächlich nutzen könnte. Korrigiere nun den Wert bei Aufgabe 1.
☐ 7,0 kWh ☐ 1 - 4 kWh ☐ kleiner als 0,1 kWh
- Notiere dir hier Stichpunkte, wieso kein höherer Energiegewinn in Deutschland aus Wasserkraft möglich ist.

⁴ https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:f0bdbaa4-59f2-4bde-9af9-e139f9568769/Energie_in_OE_2020_ua.pdf (Zugriff: 05.01.2024)

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!	Antwort 1 Höhenenergie $E_{\text{Höhe}} = m \cdot g \cdot h$
Schritt 2 Recherchiere die durchschnittliche Niederschlagsmenge in Deutschland pro m^2 und berechne daraus die Masse die jährlich auf einen km^2 fällt. ($1\text{km}^2 = 10^6\text{m}^2$)	Antwort 2 Ca. 800l pro m^2 pro Jahr Tipp: 1l Wasser entspricht 1kg Pro m^2: $m = 800\text{kg}$ pro km^2: $m = 8 \cdot 10^8\text{kg}$
Schritt 3 Recherchiere einen ungefähren Wert der Fläche Deutschlands. Berechne aus diesen Daten die gesamte Masse des Niederschlags in einem Jahr.	Antwort 3 Fläche Deutschland $357\,581\text{ km}^2$ bzw. $3,6 \cdot 10^5\text{ km}^2$ $m = 3,6 \cdot 10^5\text{ km}^2 \cdot 8 \cdot 10^8\text{kg} / \text{km}^2 = 2,88 \cdot 10^{14}\text{ kg}$
Schritt 4 Recherchiere die durchschnittliche Höhe des Geländes in Deutschland.	Antwort 4 $h = 263\text{m}$
Schritt 5 Berechne mit den recherchierten bzw. berechneten Größen die gesamte Energie, die durch Wasserkraft bereitgestellt werden kann.	Antwort 5 $E_{\text{Höhe}} = 2,88 \cdot 10^{14}\text{ kg} \cdot 9,81\text{ m/s}^2 \cdot 263\text{m}$ $= 7,43 \cdot 10^{17}\text{ J}$
Schritt 6 Rechne die Energie in <i>kWh</i> um!	Antwort 6 $E_{\text{Höhe}} = (7,43 \cdot 10^{17}) : 360\,000\text{ kWh} =$ $= 2,1 \cdot 10^{11}\text{ kWh}$
Schritt 7 Rechne die Energie in kWh pro Tag und Person um und vergleiche den Wert mit dem Gesamtenergiebedarf von 120 kWh pro Tag und Person!	Antwort 7 $E_{\text{Höhe_Gesamt}} = 2,1 \cdot 10^{11}\text{ kWh}$ $E_{\text{Höhe_proPers_proTag}} = (2,1 \cdot 10^{11}\text{ kWh}) : 365 : 80\,000 =$ $7,0\text{ kWh pro Person und Tag}$ $E_{\text{Elektrisch}}$ ist deutlich geringer, je nach technischer Umsetzung. Nur einzelne Prozent des Energiebedarfs können durch Wasserkraft gedeckt werden.

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.

In den Büchern:



S. 60-73



S. 68-84

Los geht's:

Die folgenden kompetenzorientierten Aufgaben bieten eine Übung den Umgang mit der Formel der kinetischen Energie und bieten gleichzeitig die Möglichkeit die Technik der Windkraftanlagen ([WKA](#)) zu erklären und Mythen zu entzaubern, aber auch die damit verbundenen Probleme fachlich zu beleuchten ([Ausbau Windenergie](#)).

Das Arbeitsblatt „[Wind of Change](#)“ berechnet nach einer kurzen Einführung aus einer festen Masse der Luft die kinetische Energie des Windes.

Anhand kleiner Windräder mit Rotordurchmesser $d = 100\text{m}$ werden Abstandregelungen begründet und berechnet, wie viel Energie pro km^2 gewonnen werden kann, wenn man die mittlere Windgeschwindigkeit kennt, die man geeigneten Tabellen entnehmen kann – ein Beispiel für eine realitätsnahe physikalische Modellierung.

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

Abschließend wird im Extrablatt 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 $V = A \cdot x = A \cdot v \cdot t$.

Es ergibt sich ein weiteres Ergebnis für den [Leitfaden](#).

Zu diesem Blatt wurde auch eine [Quizchallenge](#) entwickelt, die sich auf der Homepage befindet.

<u>Ausbau Windenergie – Wie schaffen wir das?</u> • Welche Kritikpunkte an Windkraftwerken gibt es? Wie sind diese zu bewerten? • Welche schneidet die Windkraft im Vergleich zum Tagebau ab? • Welche Berufsbilder entstehen durch den Windenergieausbau? • Wie kann die Akzeptanz für Windräder erhöht werden?	
<u>Wind of Change oder The Answer Is Blowing in The Wind</u> • Warum werden die Windräder in den letzten Jahren immer höher und größer? • Wie viel Energie können wir in Deutschland mit Windkraft gewinnen?	
<u>Grundlagen einer Windkraftanlage (WKA)</u> • Wie funktioniert eine Windkraftanlage? • Warum kann eine WKA keinen beliebig hohen Wirkungsgrad erreichen? • Warum werden moderne WKA immer größer?	
<u>Windenergie in Deutschland</u> Spielerisches Blatt mit Lösungswort 	

Experimente und weitere Anregungen finden sich auf der Homepage.

Ausbau Windenergie – Wie schaffen wir das?

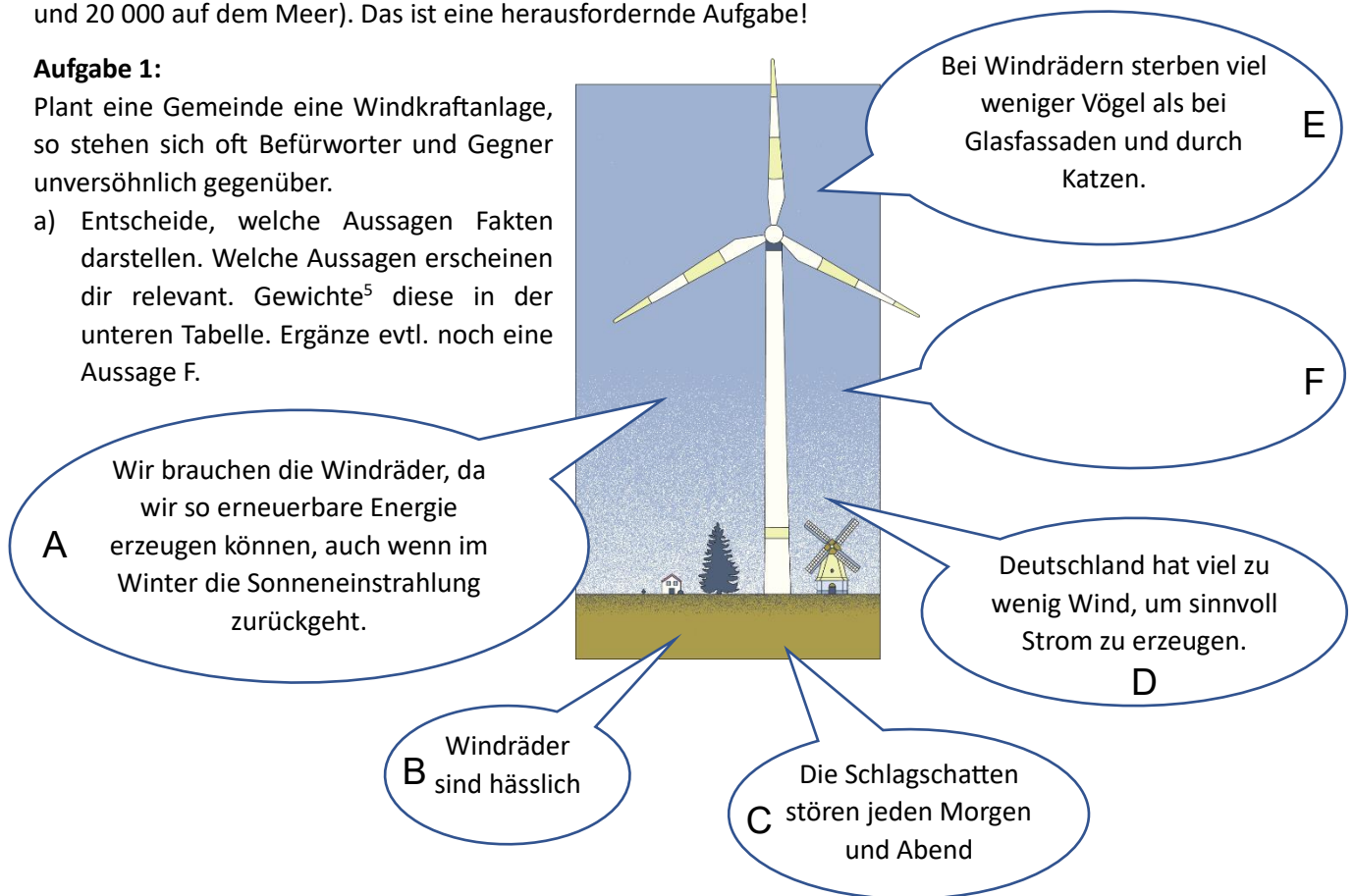
- Welche Kritikpunkte an Windkraftwerken gibt es? Wie sind diese zu bewerten?
- Welche schneidet die Windkraft im Vergleich zum Tagebau ab?
- Welche Berufsbilder entstehen durch den Windenergieausbau?
- Wie kann die Akzeptanz für Windräder erhöht werden?

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!

Aufgabe 1:

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

- a) Entscheide, welche Aussagen Fakten darstellen. Welche Aussagen erscheinen dir relevant. Gewichte⁵ diese in der unteren Tabelle. Ergänze evtl. noch eine Aussage F.



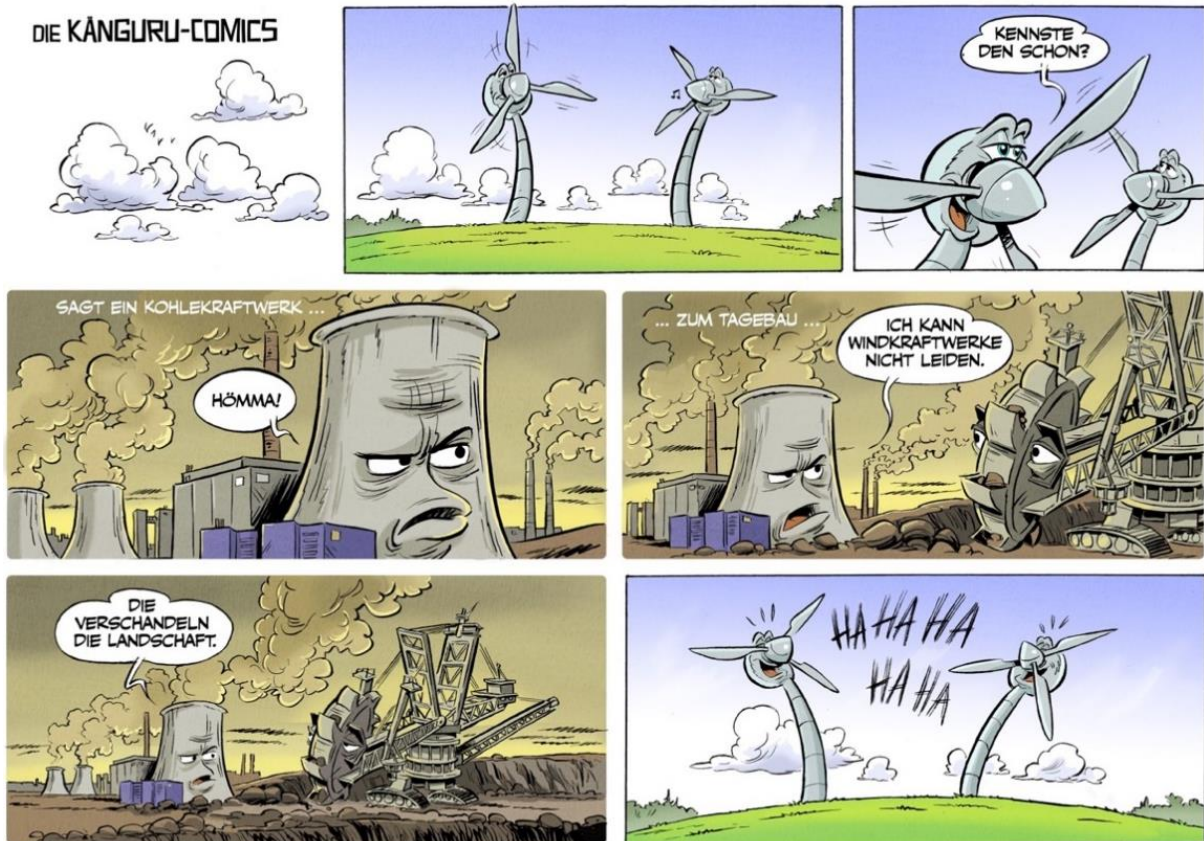
	A	B	C	D	E	F
Fakt oder Fake?						
Relevanz (1-10)						

- b) Im Landkreis Altötting will die bayrische Regierung einen Windpark mit 40 Windräder genehmigen, die Strom für die dort ansässigen Chemiefirmen liefern sollen. Sammle Vorteile für die Bevölkerung und Firmen, wenn der Windpark gebaut wird.

⁵ 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):



► 1 Windkraftwerke und Kohlekraftwerke
Mit freundlicher Genehmigung vom Verlag Voland & Quist 10.01.2023

- a) In dem Comic werden Kohlekraftwerke und Windkraftwerke gegenübergestellt. Beschreibe knapp, wieso es sinnvoll ist beide Kraftwerke miteinander zu vergleichen.

- b) Notiere Schäden und Probleme in der Natur durch ein Windkraftwerk sowie Schäden, die beim Braun- und Steinkohleabbau typischerweise entstehen. Lasse dazu die Bilder des folgenden Films auf dich wirken (bis ca. 1:10 min): <https://youtu.be/Pi67z9mONqE?t=26>



SCHÄDEN BEI
WINDKRAFT

SCHÄDEN BEIM
TAGEBAU

Aufgabe 3:

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=fwbB4d7Hgrc>

Beim Bau und Betrieb eines Windrads entstehen verschiedene Arbeitsplätze. Wähle einen davon aus und begründe, was an diesem Beruf für dich interessant wäre. Notiere den Beruf und positive Aspekte (Stichpunkte) in der Sketchnote!

Aufgabe 4:

Die Mühlen von Kinderdijk gehören zu den bekanntesten Sehenswürdigkeiten in den Niederlanden. Es handelt sich um ein System von 19 Windpumpen, die dazu dienen, das anfallende Wasser aus den Poldern abzupumpen, um so den Boden landwirtschaftlich nutzbar zu machen.

- a) Laut Museumsführer pumpt jede Mühle pro Minute 40 m^3 Wasser um 1m nach oben. Berechne daraus die Leistung der Mühle in MW.

Graf Florens der V. von Holland erkannte: Wenn jeder Grundbesitzer nur seinen eigenen Nutzen vor Augen hatte, konnte dies für die Gemeinschaft kein gutes Gesamtergebnis erbringen. Deshalb schloss er die Anwohner zu Wasserverbänden zusammen, die einen Vorsitzenden wählten und gemeinsam Entscheidungen trafen.



► 2 Kinderdijk

- b) Überlege dir Vorteile dieses Systems. Wie würde man heute so ein System umsetzen.

Das System aus Windpumpen auf dem Bild ► 2 wurde im 18. Jh. erbaut. Angeblich gab es damals Menschen in der Gegend, die die Windpumpen ablehnten und verteufelten.

- c) Versetze dich kurz in die Rollen dieser Menschen und sammle, was deren Motive oder Ängste gewesen sein können.

Wie siehst du diese Windmühlen heute? Spielt ein wenig mit dem Gedanken: Was werden Menschen in 100 Jahren über die heutigen Windräder sagen? Wie könnten sie diese Windräder wahrnehmen?

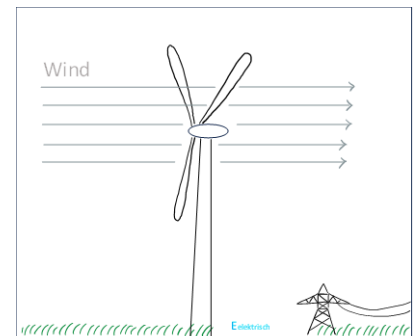
- Warum werden die Windräder in den letzten Jahren immer höher und größer?
- Wie viel Energie können wir in Deutschland mit Windkraft gewinnen?

Was ist Wind und wie wird daraus elektrische Energie?

-

```

graph LR
    Input(( )) --> Rotor[Rotor]
    Rotor --> Output1(( ))
    Rotor --> Generator[Generator]
    Generator --> Output2(( ))
  
```



► 3 Windrad

Wie viel elektrische Energie erzeugt ein einzelnes Windrad am Tag?

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| Rotordurchmesser | d = 100m |
| Mittlere Windgeschwindigkeit | v = 6,5 m/s |
| Masse der Luft pro Tag | m=5,52 · 10 ⁹ kg |

(Für Schnelle: Mit dem Extrablatt kannst du nachvollziehen, wie die Masse an Luft bestimmt wurde)

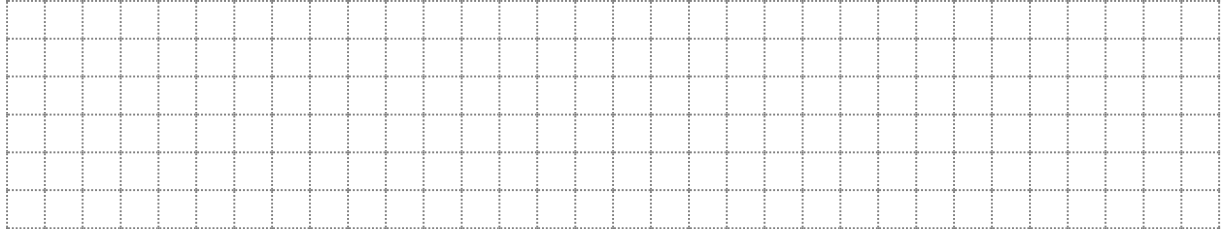
- _____

25

- c) Außerdem nehmen wir an, das Windrad würde 50% in elektrische Energie umwandeln. Bestimme, welche elektrische Energie in **kWh** erzeugt werden würde.

$E_{\text{elektrisch}} =$ _____ = _____ kWh pro Tag

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

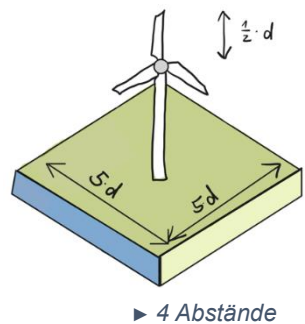


Aufgabe 3:

Wie viel Windräder passen auf einen km^2 ?

- Windräder müssen Abstände einhalten (vgl. 2d)
- Als Faustregel gilt: Jedes Windrad mit Rotordurchmesser d beansprucht ein Quadrat mit der Kantenlänge $5 \cdot d$, da die Windgeschwindigkeit sonst zu gering ist.

Wie viele Windräder ($d=100\text{m}$) passen auf $1 \text{ km}^2 =$ _____ m^2 .



Anzahl = _____

Aufgabe 4:

Wie viel kWh el. Energie kann in Deutschland **an Land** pro Tag pro Person gewonnen werden?

- a) Berechne mit Hilfe des Ergebnisses aus 2c die elektrische Energie in kWh, die auf 1 km^2 innerhalb eines Tages erzeugt werden kann.

$E_{\text{ges}} =$ _____ = _____ kWh pro km^2 pro Tag

- b) Wie viel Landfläche für Windkraft genutzt wird, ist eine politische Entscheidung. Zum Beispiel könnten 25000 km^2 auf der Landfläche von Deutschland genutzt werden. Färbe eine entsprechend große Fläche an beliebiger Stelle in der nebenstehenden Karte ein.

(Landesfläche Deutschland = 357.588 km^2)

Erscheint dir der Wert realistisch?

- c) Berechne mit dem Ergebnis aus 4a) die Windenergie auf dieser Fläche!

$E_{\text{ges}} =$ _____ = _____ kWh pro Tag

Berechne nun die Anzahl der dafür benötigten Windkraftanlagen!

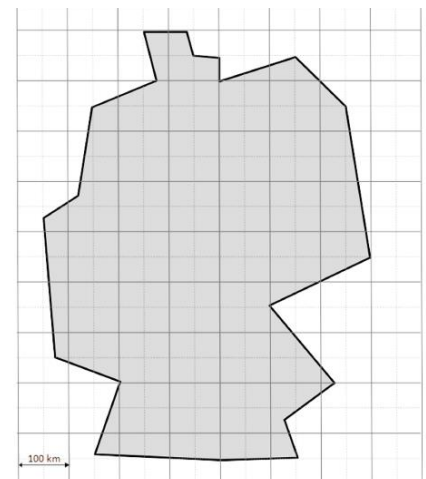
Anzahl = _____

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

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

Dieser Wert vergrößert sich deutlich durch die Windkraftanlagen im Meer (Offshore).

Ein großes Kästchen entspricht bei einer Kantenlänge von 100 km einer Fläche von $100 \text{ km} \cdot 100 \text{ km} = 10000 \text{ km}^2$.



► 5 Deutschlandkarte

Aufgabe 5:

Wie viel kWh el. Energie kann in Deutschland **insgesamt** pro Tag pro Person gewonnen werden?

- a) Offshore (also im Meer) ist die Windgeschwindigkeit größer, deshalb kann pro km² doppelt so viel Energie gewonnen werden. Es stehen ca. 12 500 km² zur Verfügung. Schätze die durch Offshore Windkraft bereitgestellte Energie mithilfe von Aufgabe 4 ab. (Geht auch ohne Taschenrechner 😊)

$E_{\text{Offshore}} = \underline{\hspace{5cm}}$ kWh pro Tag pro Person

Anmerkung: Windräder mit $d = 100$ sind relativ klein. Mit größeren Windkraftanlagen braucht man weniger Windräder für die gleiche Leistung, aber auch immer größere Abstände! Berechnungen von Wissenschaftlern zeigen, dass man mit ca. 40 000 hohen Windkraftanlagen und der gleichen Landfläche auf etwa die gleiche Energie pro Person und pro Tag kommt, wie wir in Aufgabe 4d berechnet haben. Dazu brauchen wir noch 20 000 Windräder im Meer.

- b) Bestimme aus deinen Ergebnissen von 4d und 5a die Gesamtenergie E_{gesamt} .

$E_{\text{gesamt}} = \underline{\hspace{5cm}}$ kWh pro Tag pro Person

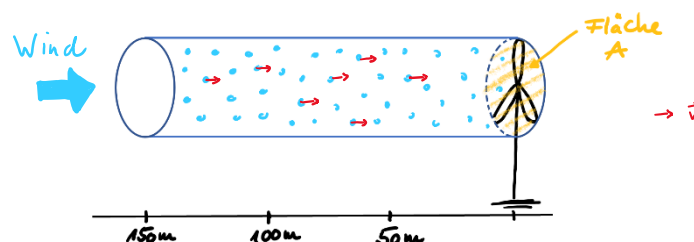
- c) Vergleiche den Wert mit dem Energiebedarf von Deutschland (Primärenergiebedarf: ca. 120 kWh pro Tag pro Person bzw. Endenergiebedarf: 85 kWh pro Tag pro Pers.)

Aufgabe 6:

Was bringt die Zukunft?

Vor einigen Jahrzehnten waren Windkraftanlagen nur in Küstenregionen sinnvoll. Deshalb gibt es die Unterscheidung Onshore und Offshore! Heute werden die Windräder jedoch höher, sodass sie zum einen in Regionen mit höherer Windgeschwindigkeit reichen und andererseits größere Rotorblätter möglich sind. Beides ändert die Masse der durchströmenden Luft entscheidend.

Die Masse, die in einem Tag durch das Windrad strömt, wurde in Aufgabe 2a vorgegeben (siehe Extrablatt), 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.



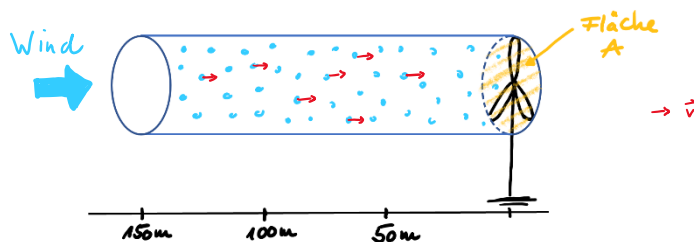
- a) Markiere in der Grafik, die Luftteilchen, die in 10s den Rotor erreichen werden ($v = 6,5$ m/s). Welche Luftteilchen erreichen den Rotor, wenn $v = 13$ m/s gilt.
- b) Erkläre nun, warum die Teilchenanzahl und somit die Masse von der Windgeschwindigkeit abhängt. Die Grafik hilft dir zu erkennen, wovon die Masse zusätzlich abhängt.
- c) Erkläre warum größere Windräder eine höhere Leistung bringen.

In Zukunft werden große Windräder in großen Abständen in allen Bundesländern aufgebaut und wesentlich zu unserer Energieversorgung beitragen!

Aufgabe 1: Herleitung der Formel für die Masse der Luft

- a) Gib zunächst die Formel für E_{kin} an, so wie du sie aus dem Unterricht kennst:

$$E_{kin} =$$



Um die Masse des Luftstroms berechnen zu können, verwendet man die folgende Formel:

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

A ist die Fläche,
die die Rotoren

v ist die Windgeschwindigkeit.

ρ ist die Dichte der Luft ($1,25 \frac{kg}{m^3}$)

t ist die Zeitdauer, wie lange der Wind
die Windkraftanlage antreibt.

(Für Neugierige: Die Herleitung dieser Formel findest du in den Lösungen.)

- b) Versuche nun die Formeln miteinander so zu kombinieren, dass für die kinetische Energie des Windes mit der oben genannten Massenformel gilt:

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

- c) Für Interessierte: Leite die Formel für die Masse her.

Herleitung der Formel für die Masse:	
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 $\rho = 1,25 \frac{kg}{m^3}$.	
Dichte:	$\rho = \text{---}$ $\rho = \text{---} \cdot$ $m =$ (*)
Nun brauchen wir das Volumen des Luftzylinders. Was entspricht der Grundfläche und der „Höhe“ des Luftzylinders?	
Volumen	$V = \text{Grundfläche} \cdot \text{Höhe} =$ $V =$ → in (*) $m =$ (**)

Das Schlauchende bewegt sich ja näherungsweise mit einer Geschwindigkeit v nach hinten weg. Also brauchen wir die Geschwindigkeit des Luftzylinders.

Geschwindigkeit *Geschwindigkeit* = _____

$$v = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$l = \rightarrow in (**)$$

Masse: $m =$

Aufgabe 3:

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

- a) Nenne diejenigen in der Formel verwendeten Größen, die von der Bauart des Windrades abhängen.



- b) Wie ändert sich die kinetische Energie wenn die Masse gleichbleibt, wenn man die Geschwindigkeit verdoppelt ($2 \cdot v$)? Fülle die Lücken aus.

(Tipp: Experimentiere mit der Formel aus Aufgabe 1a)



Die kinetische Energie ist bei doppelter Geschwindigkeit _____ so groß wie zuvor.

Kurzschreibweise: $E_{\text{kin}, 2 \cdot v} = \underline{\hspace{2cm}} \cdot E_{\text{kin}} = \underline{\hspace{2cm}}$

Wie verändert sich daher die kinetische Energie, die auf ein Windrad übertragen wird, wenn sich die Windgeschwindigkeit verdoppelt? (*Tipp: bei doppelter Geschwindigkeit ändert sich auch die Masse der Luftteilchen, die auf die Rotorblätter treffen!*)

$$E_{\text{kin, Wind 2-v}} = \underline{\hspace{2cm}} \cdot E_{\text{kin, Wind}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

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

☐ $E_{\text{kin neu}} = 4,8 \cdot E_{\text{kin alt}}$

○ $E_{\text{kin neu}} = 19,2 \cdot E_{\text{kin alt}}$

○ $E_{\text{kin neu}} = 27,6 \cdot E_{\text{kin alt}}$

- d) Fülle die Lücken aus:

größere Höhe → Windgeschwindigkeit

Größere Windräder

größere Rotoren → _____ → _____ Luftmasse m_{Luft}

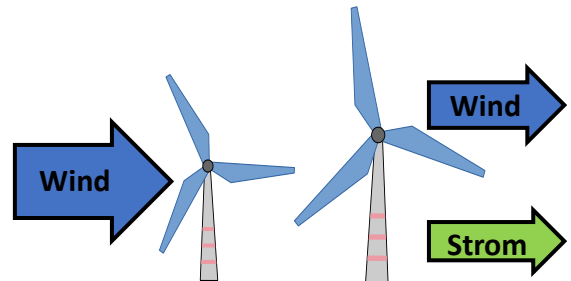
Bei doppelter Windgeschwindigkeit, verdoppelt sich die Luftmasse. Wenn v_{Wind} verdoppelt wird, dann ist die E_{kin} des Windes 4 Mal so groß.

Grundlagen einer Windkraftanlage (WKA)

- Wie funktioniert eine Windkraftanlage?
- Warum kann eine WKA keinen beliebig hohen Wirkungsgrad erreichen?
- Warum werden moderne WKA immer größer?

Aufgabe 1:

- a) Beschreibe mit Hilfe von Abbildung ► 1 die Energieumwandlung in einem Windkraftwerk und fertige ein qualitatives Energieflussdiagramm bzw. eine qualitative Energiebilanz an.
- b) Formuliere die Funktionsweise eines solchen Kraftwerks.



► 1 Grundprinzip eines Windkraftwerks

Aufgabe 2:

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

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

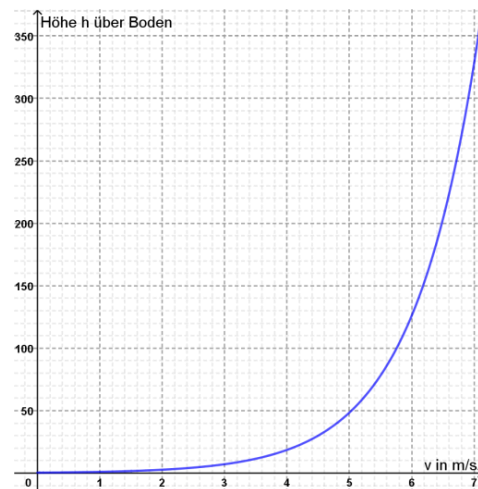
Aufgabe 3:

Verwende ► 2 und ► 3 um die mittlere typische Windgeschwindigkeit für eine WKA älterer und neuerer Bauart rechnerisch abzuschätzen.

Aufgabe 4:

	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

► 2 Leistungsdaten von Windkraftwerken



► 3 Geschwindigkeits-Höhe-Diagramm von Wind

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

Warum können Anlagen neuerer Bauart eine größere Energiemenge umwandeln als ältere Anlagen?

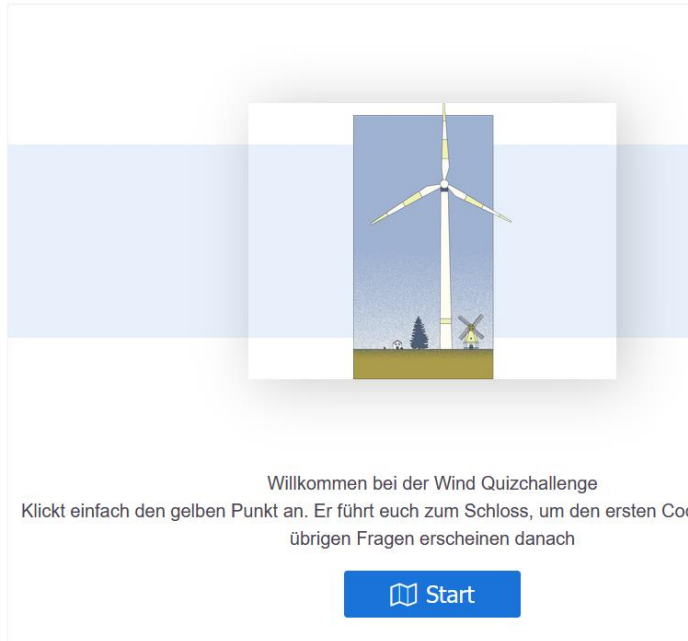
Aufgabe 5 (optional, falls du noch Zeit hast):

Bearbeite der folgenden Aufgaben

- a) Recherchiere den Aufbau eines Windkraftwerks und
- b) Recherchiere mit Hilfe eines Wind-Atlas oder dem [Agora Windflächenrechner](#) wo in deiner Region mögliche Standorte mit genügend Wind liegen.

Windkraft- Quizchallenge

19. November 2023 von [Dorle Loh](#)



Willkommen bei der Wind Quizchallenge

Klickt einfach den gelben Punkt an. Er führt euch zum Schloss, um den ersten Cod-
übrigen Fragen erscheinen danach

[Start](#)

Quizchallenge: Windenergie in Deutschland (Teil 1)

Das ist der aktuelle Energiemix von Deutschland, bei dem die Wasserkraft 0,7 kWh pro Person und Tag ausmacht.

Wenn Deutschland die Wasserkraft maximal ausbauen würde, d.h. alle Kraftwerke bauen, die technisch möglich sind, so könnte man dies als Graphik darstellen.

Welche der unteren Darstellungen wäre die richtige?

S Wasser 1-2 kWh pro Person und Tag

N

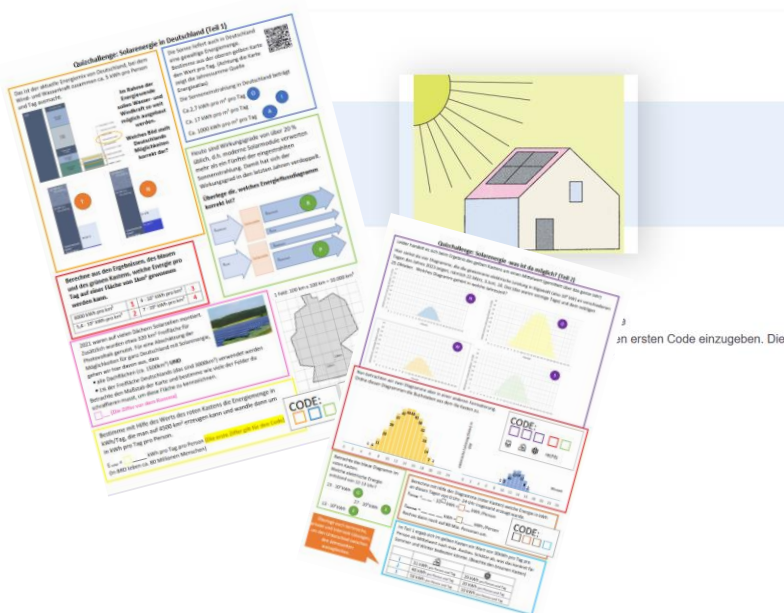
Schon 1919 bewies der deutsche Physiker Albert Betz, dass nur maximal 59% der Windenergie in elektrische Energie umgewandelt werden können. Entnimmt man dem Wind mehr kin. Energie, so wird die Luft hinter dem Windrad so langsam, dass sie ein Hindernis wäre für die nachströmende Luft. Dann funktioniert das Windrad nicht mehr optimal.

Überlege dir, welches Energieflussdiagramm korrekt ist (an Rotor und Turbine entsteht zusätzl. Wärme, das wurde hier weggelassen).

CODE:

Zu dieser Lerneinheit existiert eine spielerische Umsetzung in Form eines Quiz auf der Homepage!

Auch zu anderen Lerneinheiten existieren solche Formate, die jeweils auf den Einführungsseiten verlinkt sind.



in den ersten Code einzugeben. Die

Und was bringt die Biomasse für Deutschland?

Gruppe A (Energiepflanzen)

Finde den Lösungswort und überlege, welchen Beitrag Biomasse zur Energiewende leisten und welche Fläche ist dazu notwendig.

Teil 1: Biomasse kurz erklärt

Anstelle im Kraftwerk Kohle zu verbrennen, kann man auch Energie aus Biomasse gewinnen. Dazu verwendet man zum einen Energiepflanzen wie Mais, Raps oder Raps zum anderen kann man Holz aus Wäldern nutzen.

Energie im Lösungswort die Buchstaben der richtigen Aussagen:

Die Energie der Energiepflanzen kommt von der Sonne. S

Bei Verwendung von Biomasse wird kein CO₂ frei. T

Aus Biomasse kann man keinen Strom herstellen. A

Damit Biomasse CO₂ neutral ist, darf man pro Jahr nur so viel verwenden, wie pro Jahr neu wachsen kann. E

Teil 2: So nutzt Deutschland seine Fläche

Markiere die Zahlen, die du für richtig hältst. Überleg dir einfach, wie die Landschaft aussieht.

Für die Landwirtschaft nutzt Deutschland 5% U also 17.800 km²

Welcher Anteil sind Wälder? 50% H also 178.800 km²

Wie viel Fläche nehmen Siedlungen und Straßen ein? 30% I also 107.277 km²

Wie viel Fläche nehmen Siedlungen und Straßen ein? 90% N also 316.073 km²

Wie viel Fläche nehmen Siedlungen und Straßen ein? 15% L also 53.639 km²

Wie viel Fläche nehmen Siedlungen und Straßen ein? 35% T also 125.157 km²

Teil 3: Die Sonne versorgt im Mittel in Deutschland jeden m² mit einer Energie von 1000 kWh pro Jahr und lässt damit die Pflanzen wachsen.

Verwendet man diese ausschließlich, so kann man maximal 0,3% der Sonnenenergie gewinnen.

a) Welche Energie kann man damit pro km² pro Tag erzeugen?

1000kWh · 0,005 · 10¹⁰ = 365 · 10⁷ kWh R

3000kWh · 365 · 0,005 · 10¹⁰ = 1,8 · 10¹⁰ kWh T

Man könnte z.B. 20% der landwirtschaftlichen Fläche zur Energieproduktion nutzen (siehe Tabelle).

b) Berechne diese Fläche, und markiere passend die Kästchen in der Karte.

Wie viel Energie pro Tag und Person steht in Deutschland damit zur Verfügung? (Verwende 80 Mio Einw.)

17,2 kWh pro Person und Tag H

6,1 kWh pro Person und Tag E

Aufgabe 4:

Gruppe 8 hat die Energie bestimmt, die durch die nachhaltige Nutzung der Wälder gewonnen werden kann.

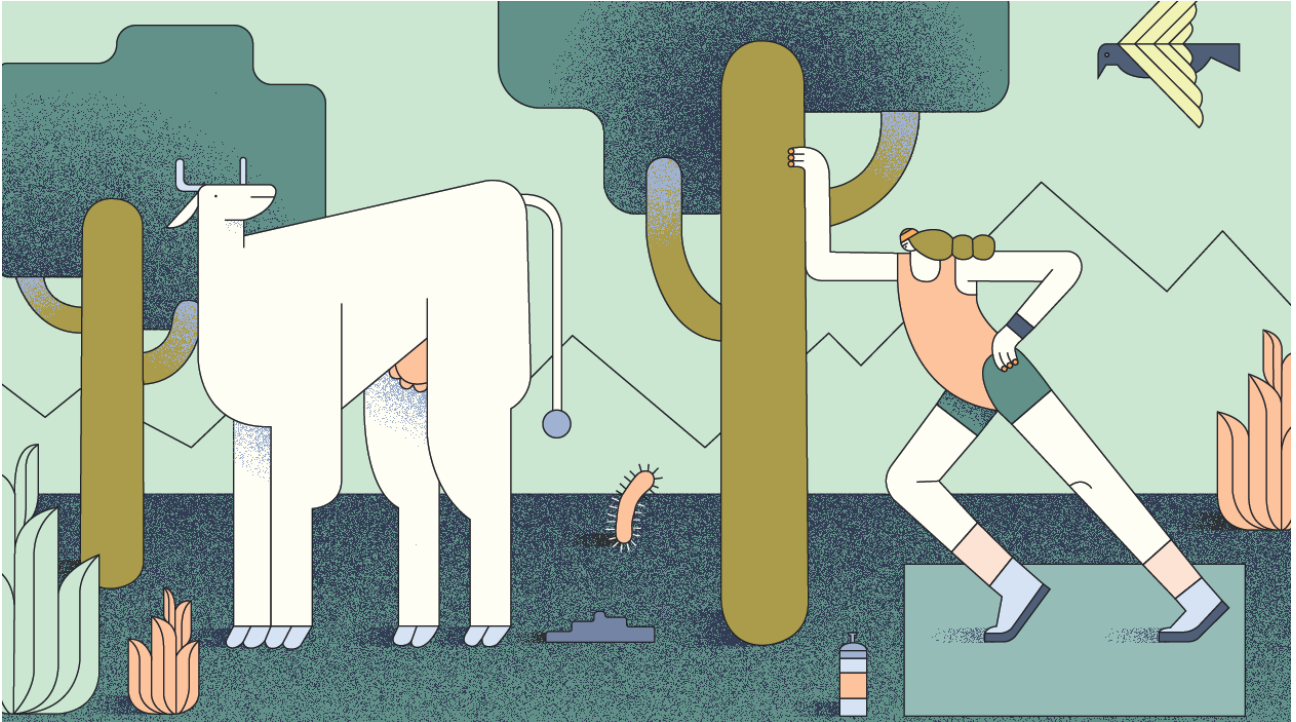
Nutze deren Ergebnis und bestimme dann E_{gesamt} pro Tag.

Dafür wurden 50% der verfügbare Fläche genutzt. Das sind 5,4 Kästchen T

Markiere auch diese Fläche und diskutiere das Ergebnis.

Fläche für 1000 kWh pro Person und Tag

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.

In den Büchern:



S. 48-59



S. 124-138

Los geht's:

Im Arbeitsblatt „[Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende \(Wirkungsgrad\)](#)“ wird als Anwendung des Wirkungsgrades das Potentials der Biomasse berechnet. Mit kompetenzorientierten Aufgaben mit Hilfen wird gleichzeitig die aktuelle Flächennutzung Deutschlands und der enorme Flächenbedarf der Biomasse thematisiert. Diese Erkenntnisse können als Ergebnis in den [Leitfaden](#) eingetragen werden.

Auf der Homepage findet man eine [spielerische Variante \(mit Lösungswort\)](#) dieses Blattes.

Das Arbeitsblatt „[Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende \(verfügbare Holzmasse\)](#)“ bietet einen alternativen Zugang zur Bioenergie, der auf den Wirkungsgrad verzichtet.

<u>Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (Wirkungsgrad)</u> • Wann ist die Nutzung von Biomasse CO₂ neutral? • Welchen Beitrag können Energiepflanzen/Biomasse bei einem bestimmten Wirkungsgrad zu erneuerbaren Energien beitragen? • Welche Fläche ist für zum Anbau der Biomasse nötig?	
<u>Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (verfügbare Holzmasse)</u> • Wann ist die Nutzung von Biomasse CO₂ neutral? • Welchen Beitrag kann die Holzmasse aus Wäldern zu erneuerbaren Energien beitragen? • Welche Fläche ist zum Anbau der Biomasse nötig?	
<u>Was bringt die Biomasse für Deutschland?</u> Spielerisches Blatt mit Lösungswort in zwei Gruppen 	

Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (Wirkungsgrad)

- Wann ist die Nutzung von Biomasse CO_2 neutral?
- Welchen Beitrag können Energiepflanzen/Biomasse bei einem bestimmten Wirkungsgrad zu erneuerbaren Energien beitragen?
- Welche Fläche ist für zum Anbau der Biomasse nötig?

Aufgabe 1:

In Grafik ► 1 ist der Kohlenstoffkreislauf dargestellt.
Welche Energieformen sind hier abgebildet?
Beschreibe die vorliegenden Energieumwandlungen!

Aufgabe 2:

Nimm anschließend dazu Stellung, inwieweit man Biomasse als CO_2 neutral beschreiben kann!

Aufgabe 3:

Zur Herstellung von Biomasse verwendet man Energiepflanzen wie Mais, Pappel oder Raps. Energiepflanzen haben einen Wirkungsgrad von maximal 0,5%. Die Sonne stellt in Deutschland eine Energie von 1000 kWh pro m^2 und Jahr zu Verfügung.

- Bestimme damit die mittlere Energie, die an einem Tag pro m^2 durch die Sonne zu Verfügung steht.
- Bestimme anschließend die maximale Energie der Biomasse von Energiepflanzen.
- Angenommen 20% der landwirtschaftlichen Fläche könnte zur Energieproduktion genutzt werden (nutze Grafik ► 2), wie viel Energie pro Tag und Person steht in Deutschland zur Verfügung?

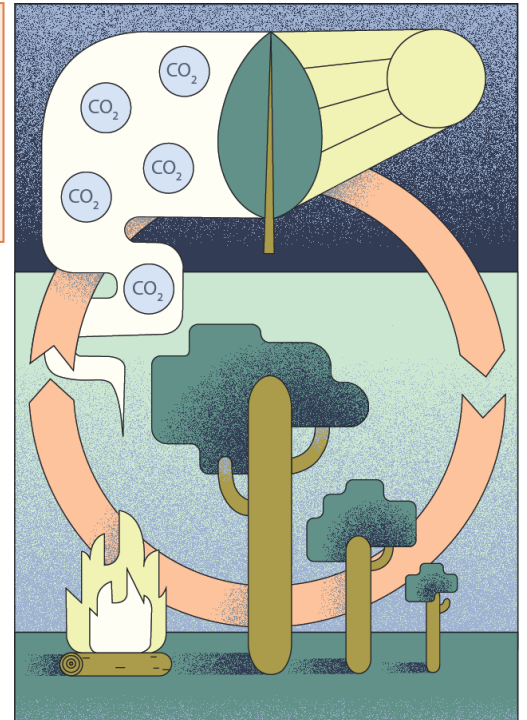
Aufgabe 4:

Der Wald liefert das Holz der Bäume als Biomasse. Dieses hat einen Wirkungsgrad von 0,35%. Die Sonne stellt in Deutschland eine Energie von 1000 kWh pro m^2 und Jahr zu Verfügung.

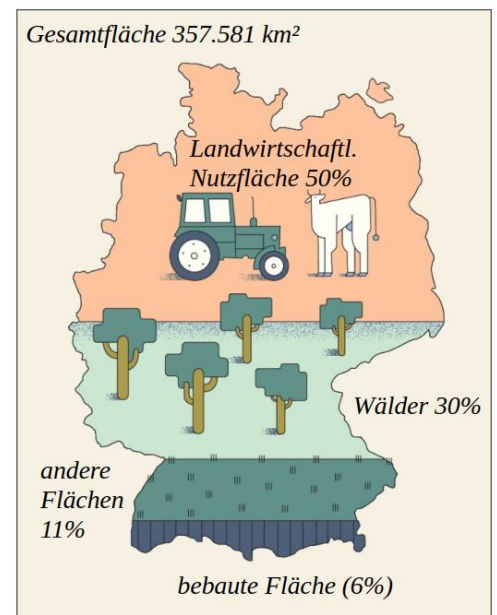
- Bestimme mit dem Ergebnis von 3a) die Energie, die an einem Tag pro m^2 durch die Biomasse von Wäldern zu Verfügung steht.
- Angenommen 50% der Wälder werden zur Energieproduktion genutzt (nutze Grafik ► 2). Wie viel Energie pro Tag und Person steht in Deutschland durch Wälder zur Verfügung?

Aufgabe 5:

Vergleiche nun das Gesamtergebnis aus Energiepflanzen und Holznutzung mit dem Bedarf an Primärenergie von 120 kWh pro Person pro Tag in Deutschland.



► 1 Kohlenstoffkreislauf



► 2 Flächennutzung in Deutschland

Aufgabe 6

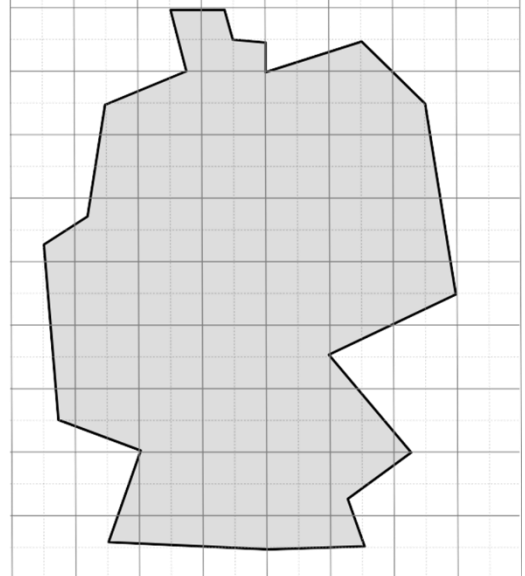
- a) Welche Fläche müsste bereitgestellt werden, wenn die oben bestimmte maximale Bioenergie in Deutschland ausgeschöpft werden will?

$A_{\text{Biomasse}} =$ _____

Dies ist ca. _____ % der Gesamtfläche Deutschlands.

- b) In Grafik ► 2 siehst du eine dunkelgrüne Fläche die als „andere Flächen“ gekennzeichnet ist. Diese kann nicht für den Anbau von Energiepflanzen genutzt werden. Warum können diese Flächen nicht für Bioenergie genutzt werden?
- c) Markiere passend Kästchen in der Deutschlandkarte (Grafik ► 3) wenn die Bioenergie maximal ausgebaut wäre .

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

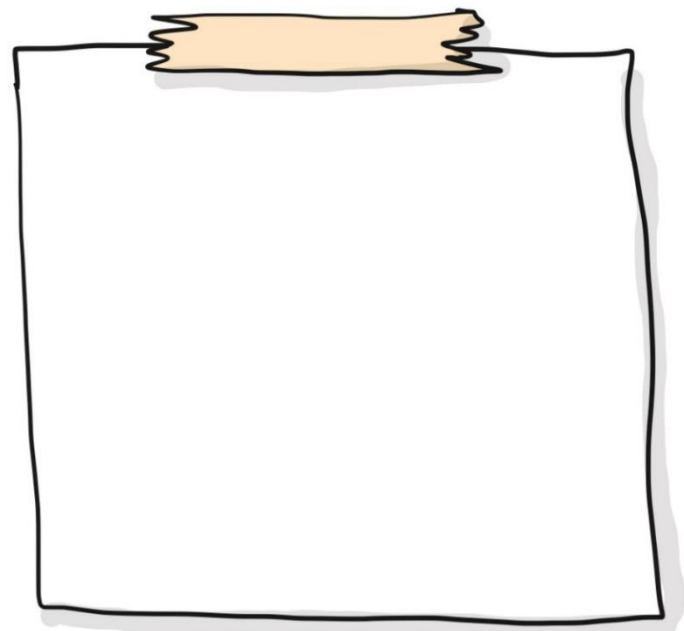
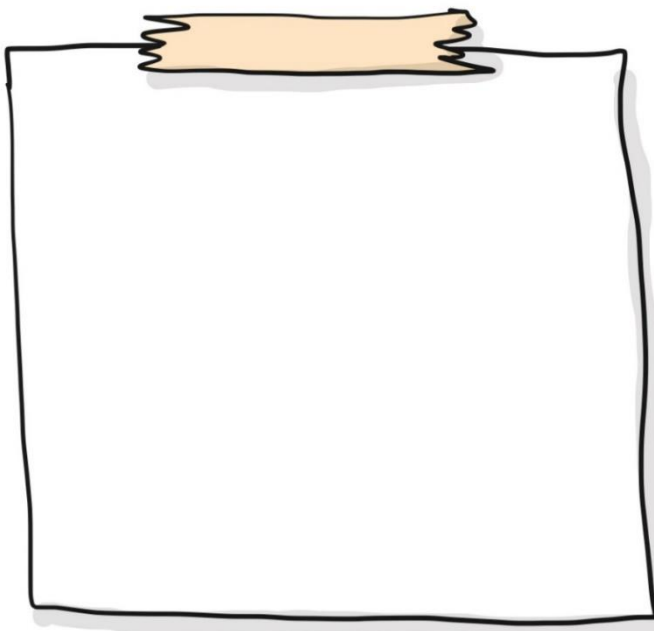


► 3 Deutschlandkarte

Aufgabe 7:

Diskutiere Vor- und Nachteile der Nutzung von Bioenergie.

Notiere deine Ergebnisse in einer Pro- und Contra-Liste



Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende (verfügbare Holzmasse)

- Wann ist die Nutzung von Biomasse CO₂ neutral?
- Welchen Beitrag kann die Holzmasse aus Wäldern zu erneuerbaren Energien beitragen?
- Welche Fläche ist zum Anbau der Biomasse nötig?

Aufgabe 1:

Erkläre mit Hilfe von Grafik ► 1, inwieweit man Biomasse als CO₂-neutral und regenerativ betrachten kann. Überlege dir auch ob es hierbei Grenzen/Kritikpunkte gibt.

Aufgabe 2:

In einem gesunden Wald wachsen im Schnitt Bäume mit einem Volumen von ca. 336 m³ pro Hektar (Bundeswaldinventur 2012). Bestimme hiermit und mit Grafik ► 2 das nutzbare Gesamtvolumen an Biomasse in Deutschlands Wäldern.

Aufgabe 3:

Der Wald in Deutschland produziert jedes Jahr einen Holzzuwachs von 11,6 m³ pro Hektar. Schätze mit dieser Größe die Zeit ab, die man für eine nachhaltige Nutzung des Waldes in Deutschland im Schnitt mindestens veranschlagen muss.

Aufgabe 4:

Berechne mit den Ergebnissen die Energiemenge, die die Wälder Deutschlands pro Tag und Person liefern können, wenn Holz einen Brennwert von etwa 2500 kWh pro m³ (Holzvolumen) aufweist.

Aufgabe 5:

Lege auch mit Hilfe von ► 1 und ► 2 Probleme dar, die bei der ausschließlichen Nutzung der Wälder als Biomasselieferant zur Energieversorgung entstehen

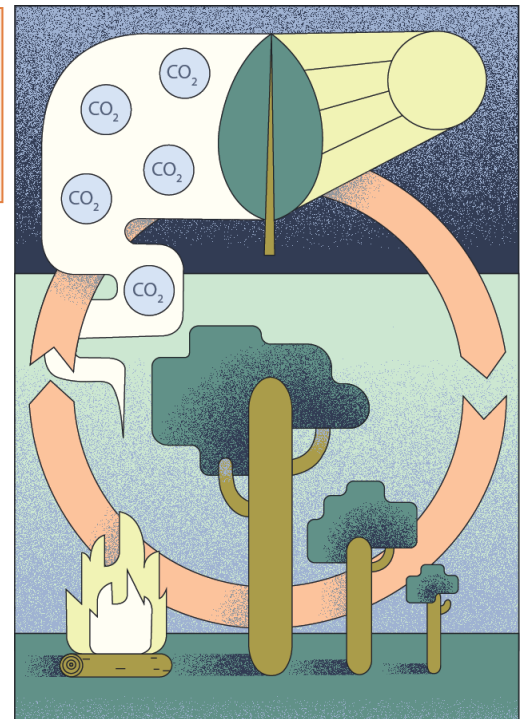
Optionale Aufgaben:

Aufgabe 6:

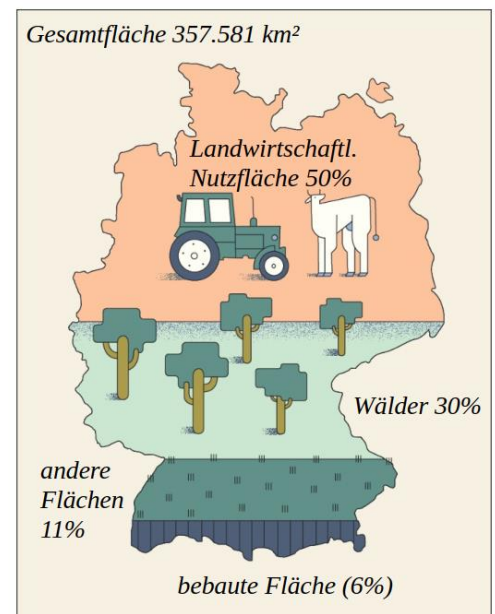
Ergänze die per Biomasse erzeugbare Energiemenge pro Tag und Person in der Energiebilanz der Zukunft und markiere den benötigten Flächenanteil für Biomasse in deiner Deutschlandkarte.

Aufgabe 7:

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.



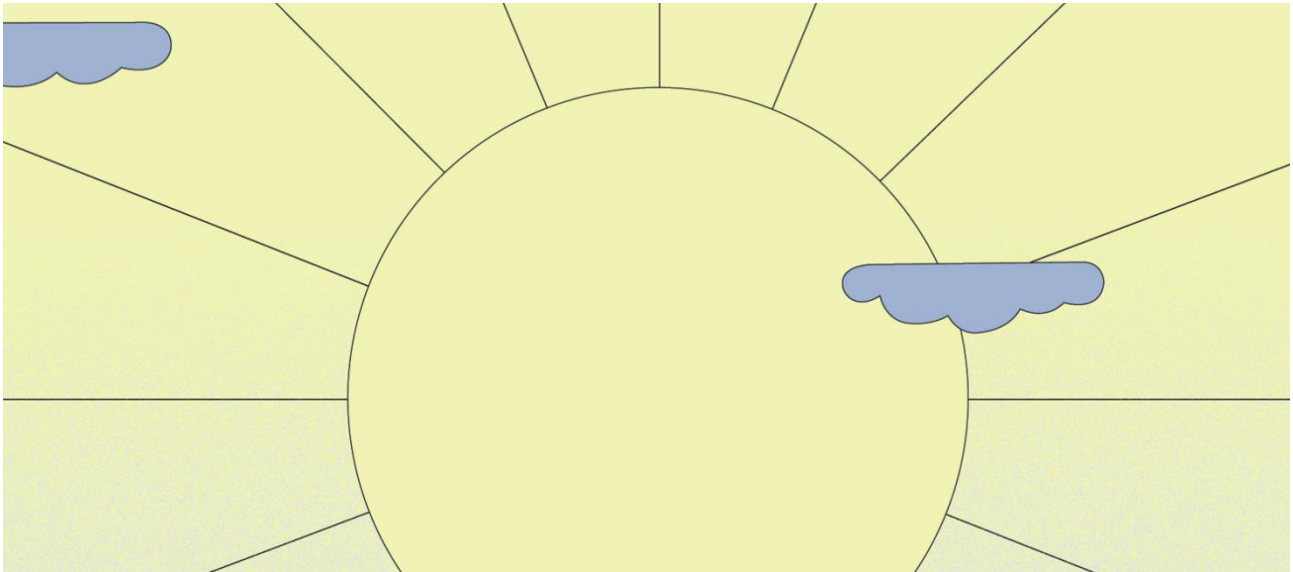
► 1 Kohlenstoffkreislauf



► 2 Flächennutzung in Deutschland

Hilfe 1 Biomasse ist in den in M1 dargestellten Kohlenstoffkreislauf eingebunden. Woher bezieht die Biomasse den zur Nutzung notwendigen Kohlenstoff?	Antwort 1: Das bei der Verbrennung freigesetzte CO₂ entspricht dem zuvor aus der Atmosphäre entzogenem CO₂, welches über Kohlenstoffverbindungen (z.B. Zucker, Zellulose) in die Biomasse eingebaut wird. Biomasse kann bei der Verbrennung also nicht mehr CO₂ freisetzen als es zuvor aus der Atmosphäre entnommen hat, es ist also CO₂ neutral. 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 = 10⁴ m² → 1 km² = 1.000.000 m² = 10⁶ m² = 10² ha	Antwort 2: Berechnung Waldfläche 30% von 357.581 km² = 107.274 km² = 1,07 · 10¹¹ m² = 10,7 · 10⁶ ha (10,7 Mio ha) Berechnung Holzvolumen: 336 $\frac{\text{m}^3}{\text{ha}}$ · 10,7 · 10⁶ ha = 3,60 · 10⁹ m³
Hilfe 3 Überlege dir welches Grundprinzip man beim Fällen von Bäumen berücksichtigen muss, wenn man den Wald jahrhundertlang nutzen möchte.	Antwort 3: Es darf jährlich (im Schnitt) nicht mehr Holz gefällt werden als im Wald auf natürliche Weise nachwächst $\text{Nutzungszeit} = \frac{\text{Holzvorrat}}{\text{Zuwachs pro Jahr}} = \frac{336 \text{ m}^3 \text{ pro ha}}{11,6 \text{ m}^3 \text{ pro ha}} = 29 \text{ Jahre}$ Die Nutzungszeit muss damit im Schnitt mindestens 29 Jahre betragen, wir rechnen daher mit 30 Jahren.
Hilfe 4 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 30 Jahre zum Nachwachsen benötigt? 35a = 35 · 365 d = 10950 d	Antwort 4: Durch Verbrennung insgesamt nutzbare Energie: 2500 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$ · 3,60 · 10⁹ m³ = 9,00 · 10¹² kWh pro Tag verfügbare Energie (35 Jahre Nutzung) $\frac{9,00 \cdot 10^{12} \text{ kWh}}{30 \cdot 365 \text{ d}} = 822 \cdot 10^6 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$ Pro Kopf und Tag verfügbare Energie $\frac{9,00 \cdot 10^{12} \text{ kWh}}{80 \cdot 10^6 \cdot 30 \cdot 365} = 10,3 \text{ kWh} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \right) \text{ pro Person}$
Hilfe 7 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 7: Energiemenge der (holzigen) Biomasse in der Waldfläche: 9,00 · 10¹² kWh Sonnenenergie pro Tag für gesamten Wald 2,5 $\frac{\text{kWh}}{\text{d} \cdot \text{m}^2}$ · 1,07 · 10¹¹ m² = 2,675 · 10¹¹ $\frac{\text{kWh}}{\text{d}}$ Sonnenenergie für gesamten Wald während Nutzung: 2,5 $\frac{\text{kWh}}{\text{d} \cdot \text{m}^2}$ · 30 · 365 d · 1,07 · 10¹¹ m² = 2,93 · 10¹⁵ kWh $\eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Ges}}} = \frac{9,00 \cdot 10^{12} \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{2,93 \cdot 10^{15} \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = 0,31 \%$

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:

In „[Abschätzung des Beitrags der Solarenergie](#)“ wird mit gestuften Hilfen der Beitrag dieser Energieform aus der Globalstrahlung abgeschätzt, der anschließend ein weiteres Ergebnis für den [Leitfaden](#) bietet. Die dabei gewählte relativ kleine Fläche, wird für die Schüler nachvollziehbar anhand des Arbeitsblatts „[Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte](#)“. Hier wird kompetenzorientiert ausgehend von realen Messdaten aus den Jahren 2020 und 2023 erarbeitet, wie stark sich der Energieertrag zwischen Jahres- und Tageszeiten unterscheidet.

Beide Inhalte kombiniert finden sich in einer [Quizchallenge](#) auf der Homepage

Arbeitsblätter dieses Kapitels

Digitale Version mit Lösungen
und Quellen

Abschätzung des Beitrags der Solarenergie • Welchen Beitrag kann die Solarenergie in ganz Deutschland im Jahresmittel leisten, wenn sie entsprechend ausgebaut wird? • Wie stark wurde die Solarenergie in Deutschland in der Vergangenheit ausgebaut?	
Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte • Wie ändert sich die Leistung von Solarenergie während einem Tag-Nacht-Zyklus und den Jahreszeiten? • Welche Probleme ergeben sich damit für die zukünftige Energieversorgung?	
Solarenergie in Deutschland Spielerisches Blatt mit Lösungswort 	

Abschätzung des Beitrags der Solarenergie

- Welchen Beitrag kann die Solarenergie in ganz Deutschland im Jahresmittel leisten, wenn sie entsprechend ausgebaut wird?
- Wie stark wurde die Solarenergie in Deutschland in der Vergangenheit ausgebaut?

Aufgabe 1:

2010 wurden in Deutschland 12 Millionen kWh Energie mit Photovoltaik gewonnen, 2020 waren es 49 Millionen kWh (Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/mehr-gruener-strom-mehr-erneuerbare-waerme-im-jahr>)

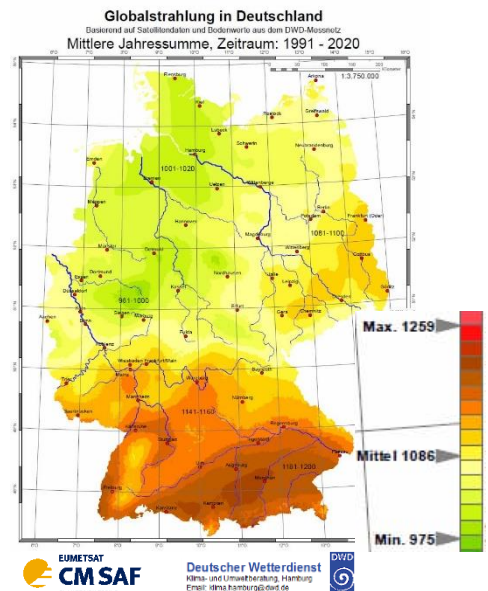
Berechne den Faktor um den Photovoltaik demnach in 10 Jahren gestiegen ist.

Aufgabe 2:

- a) Die Sonne liefert auch in Deutschland eine gewaltige Energiemenge. Bestimme aus der nebenstehenden Karte ► 1 den Wert der bereitgestellten Energie **pro Tag**.

Die Forschung an Solarzellen erzielt gerade große Erfolge, so dass die Wirkungsgrade verbessert werden konnten, sodass heute Wirkungsgrade von **ca. 20%** üblich.⁶

- b) Bestimme mit dieser Angabe die pro m² durch PV erzeugbare Energiemenge.



► 1 Globalstrahlung Jahressumme in kWh pro m² für das Jahr 2023

Aufgabe 3:

Die Dachflächen in Deutschland betragen insgesamt ca. 1500 km². Für diese Abschätzung nehmen wir an, dass ca. 1200 km² geeignet sind für Solaranlagen. Zusätzlich werden, wie in ► 2 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 km²) PV in Form von Freiflächen installiert wird.

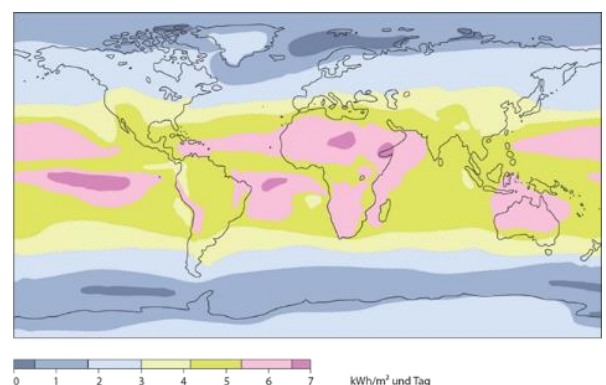


► 2 Freiflächenanlage

- a) Berechne nun die Energiemenge in kWh pro m² und Tag, die man per PV auf Dächern und Freiflächenanlagen in Deutschland erzeugen könnte.
- b) Bestimme dann die pro Person und Tag in Deutschland (ca. 80 Mio. Einwohner) durch die obigen PV-Anlagen erzeugbare Energiemenge.

Aufgabe 4:

Vergleiche mit Hilfe von ► 3 den Eignung Deutschlands zur Nutzung von PV-Energie mit anderen Ländern Europas. Was könnte die internationale Zusammenarbeit hier bewirken?



► 3 weltweite Sonneneinstrahlung

⁶ https://www.bmwk-energielende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2021/05/Meldung/direkt-erfasst_infografik.html Achtung Herstellerangaben beziehen sich meist auf Idealbedingungen, deshalb verwenden wir 20%.

Hilfe 1 Wenn du den Faktor bestimmen sollst, musst du prüfen ob sich die Energie im Vergleich zu 2010 verdoppelt/-dreifacht/... hat	Antwort 1: $49 \text{ Mio} / 12 \text{ Mio} = 4,08$ Die Energie hat sich also mehr als vervierfacht!
Hilfe 2 a) Entnimm aus der Karte ► 1 den Wert pro Jahr und rechne auf pro Tag um	Antwort 2 a): $E_{\text{Sonne pro Jahr}} = \text{ca. } 1000 \text{ kWh pro m}^2$ daraus folgt: $E_{\text{Sonne pro Tag}} = \text{ca. } 1000 \text{ kWh pro m}^2 / 365 = 2,7 \text{ kWh pro Tag und m}^2$
Hilfe 2 b) Wende den Wirkungsgrad η an, um die Nutzenergie (elektrische Energie) aus der eingestrahlten Sonnenenergie zu berechnen. $\eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Ges}}}$	Antwort 2 b): $\eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Ges}}} \rightarrow E_{\text{Nutz}} = E_{\text{Ges}} \cdot \eta$ Damit ergibt sich mit $E_{\text{Ges}} = E_{\text{Sonne pro Tag}} = 2,7 \text{ kWh/m}^2$ und Tag eine mögliche Erzeugung von $0,54 \text{ kWh/m}^2$ und Tag an elektrischer Energie.
Hilfe 3 a) 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 a): Fläche insgesamt: $1.200 \text{ km}^2 + 3.000 \text{ km}^2 = 4.200 \text{ km}^2 = 4,2 \cdot 10^9 \text{ m}^2$ Gesamte Energiemenge pro Tag: $0,54 \text{ kWh/m}^2 \cdot 4,2 \cdot 10^9 \text{ m}^2 = 2,27 \cdot 10^9 \text{ kWh } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{d}}\right)$
Hilfe 3b) Wieviel der Energie aus Aufgabe 3a) steht pro Person zur Verfügung?	Antwort 3 b): Pro Person und Tag verfügbare Energie $\frac{2,27 \cdot 10^9 \text{ kWh}}{80 \cdot 10^6} = 28 \text{ kWh } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{d}}\right)$
Hilfe 4 Wie würdest du die eingestrahlte Sonnenenergie in Deutschland (► 3) im weltweiten Vergleich bewerten?	Antwort 4: Deutschland erhält (im Jahresmittel) eine Einstrahlung von ca. 2-3 kWh pro m ² 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 m ² und Tag). (Regionen mit maximaler Einstrahlung sind jedoch Wüsten- bzw. Trockengebiete, z.B. Sahara sowie Naher Osten)

Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte

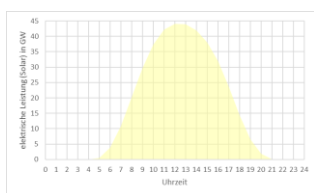
- Wie ändert sich die Leistung von Solarenergie während einem Tag-Nacht-Zyklus und den Jahreszeiten?
- Welche Probleme ergeben sich damit für die zukünftige Energieversorgung?

Aufgabe 1:

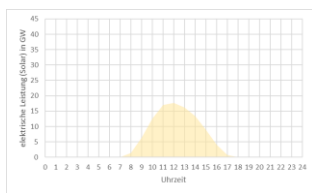
Hier siehst du vier Diagramme, die die Stromgewinnung in Gigawatt (also 10^6 kW) an verschiedenen Tagen des Jahres 2023 zeigen.⁷

Ordne die Diagramme jeweils das richtige Datum zu.

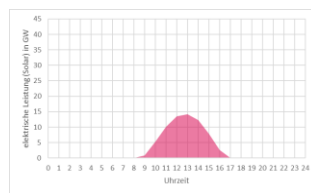
(22.03.23 sonnig , 03.06.23 sonnig , 25.10.23 neblig , 18.12.23 sonnig)



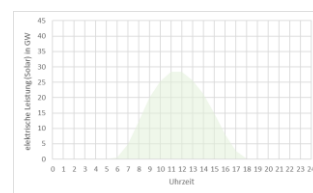
a)



b)



c)

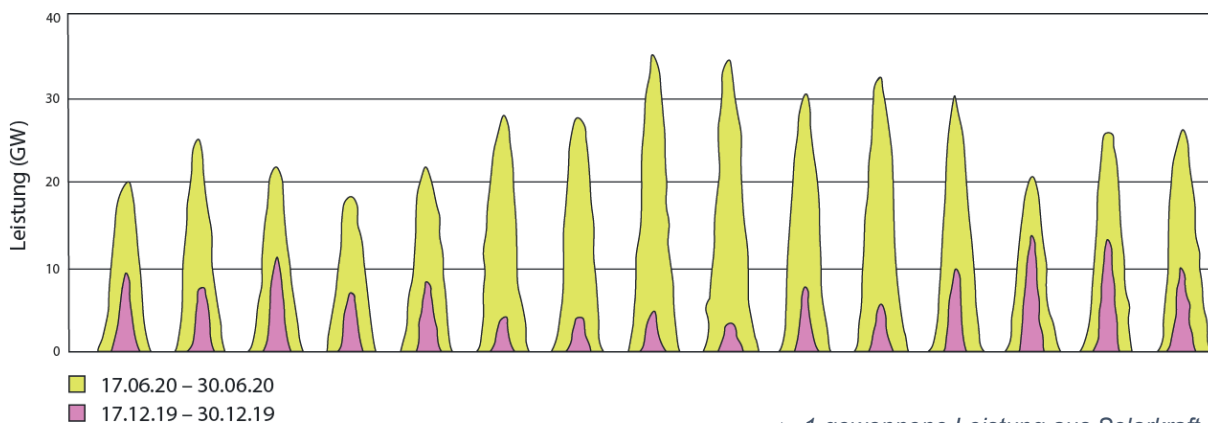


d)

Durch die folgenden Aufgaben sollen dich die Hilfekarten führen.

Aufgabe 2:

Betrachte Graphik ► 1. Sie zeigt die Stromproduktion aus Photovoltaik in ganz Deutschland jeweils über einen 14 Tages-Zeitraum, d.h. in diesem Diagramm wird die Leistung gegen die Zeit aufgetragen

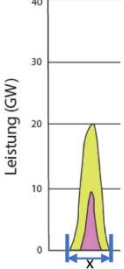
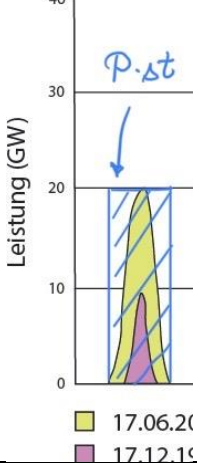
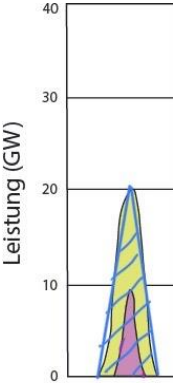


► 1 gewonnene Leistung aus Solarkraft

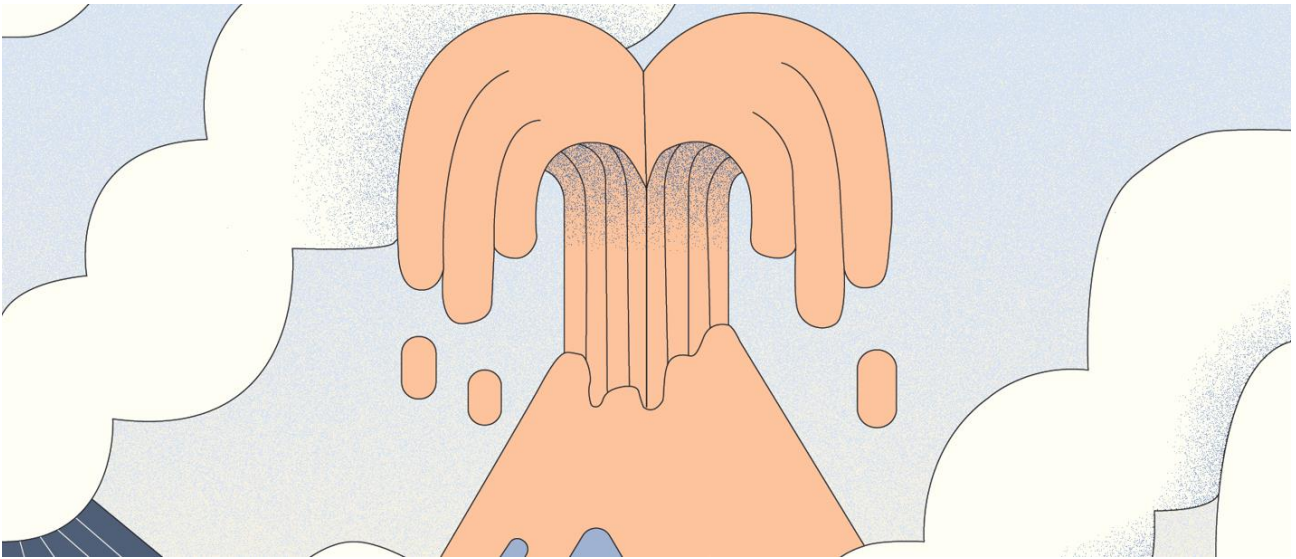
- Bestimme durch geeignete Abschätzungen die Energie in kWh die deutschlandweit am 17.6.2020 erzeugt wurde und ebenso die Energie am 17.12.2020. (Benutze die Hilfekarten!)
- Wandle beide Ergebnisse in die Einheit kWh pro Person und Tag um.
- Vergleiche die beiden Werte miteinander und mit dem Gesamtenergiebedarf Deutschlands (Primär: 120 kWh pro Person und Tag)
- Interpretiere dein Ergebnis und erkläre, warum dieses Ergebnis für die zukünftige Energieversorgung ein Problem sein könnte. Diskutiert mögliche Lösungsansätze für dieses Problem!
Bedenkt dabei: mögliche technische Entwicklungen, Möglichkeiten der internationalen Zusammenarbeit und auch die Möglichkeiten die jeder Einzlene durch sein Verhalten hat.

⁷ Die Daten für diese Diagramme stammen von <https://www.agora-energiawende.de> (→ Agorameter). Es handelt sich um reale Messwerte, die auf der Transparenzplattform der europäischen Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E) öffentlich bereitgestellt werden!

Aufgabe 2a) und b):

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: Stelle nun eine Formel auf, um die Energie im Juni genauer zu bestimmen.	Antwort: $\Delta E = \frac{1}{2} P_{Max} \cdot \Delta t$
Hilfekarte 7: Berechne die Gesamtenergie in kWh.	Antwort: Sommer: $1,4 \cdot 10^8 kWh$; Winter: $0,3 \cdot 10^8 kWh$
Hilfekarte 8: Bestimme die Energiemenge pro Einwohner:	Antwort: Sommer: $1,75 kWh$ pro Person und Tag Winter: $0,375 kWh$ pro Person und Tag

6. Geothermie und Wärmepumpen



Im Erdinneren schlummert eine gewaltige Energiemenge, die für unsere Energieversorgung nutzbar ist. Man unterscheidet hierbei zwischen **tiefer Geothermie** und **oberflächennaher Geothermie mit Wärmepumpen**. Hier soll der Fokus der Nutzung von Geothermie auf die Wärmewende gelegt werden.

Obwohl Wärmepumpen schon lange im Einsatz sind, ist das Erstaunen oft sehr groß wenn die Außenluft als Wärmereservoir genutzt wird. 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.

In den Büchern:



S.112-119



S. 141-156

Los geht's:

Die Unterrichtseinheit zielt dabei darauf ab, die traditionellen Lehrplaninhalte „Änderung der inneren Energie durch Arbeit und Wärme“ ([Wärme, Energiefluss und Dämmen](#)), „Einführung des Drucks“ ([Manches geht auch mit Druck - Das Geheimnis der Wärmepumpe](#)), „Thermischer Energietransport“ ([Wärmepumpe: Wie heizt man mit der kalten Luft?](#)) und „Aggregatzustände“ ([Wärmepumpe und Kühlschrank: Wie man Kondensieren nutzt!](#)) mit kompetenzorientierten Aufgaben anhand der Wärmepumpe zu vermitteln. Testläufe haben auch gezeigt, dass es möglich ist viele thermodynamischen Inhalte anhand des Materials einzuführen, sodass kein zeitlicher Mehraufwand entsteht.

In „[Geothermie und Wärmepumpen –It's getting hot in here](#)“ wird der Beitrag dieser Energieform mit Deutschlands geothermischen Potenzial berechnet, der anschließend ein weiteres Ergebnis für den [Leitfaden](#) bietet.

[Experimente und weitere Anregungen](#) finden sich auf der Homepage.

<u>Wärme, Energiefluss und Dämmen</u> • 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.	
<u>Manches geht auch mit Druck - Das Geheimnis der Wärmepumpe</u> • Was versteht man physikalisch unter Druck? • Wie stellt man sich Druck auf Teilchenebene vor? • Wie wirkt sich Druck auf die Temperatur / innere Energie eines Gases aus.	
<u>Wärmepumpe: Wie heizt man mit der kalten Luft?</u> • Wie ist eine Wärmepumpe vom Grundprinzip aufgebaut? • 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?	
<u>Wärmepumpe und Kühlschrank: Wie man Kondensieren nutzt!</u> • Wie nutzt eine Wärmepumpe und ein Kühlschrank Phasenübergänge? • Welche Regel sollte man beim Heizen und Kühlen beachten?	
<u>Geothermie und Wärmepumpen – It's getting hot in here</u> • Wo liegen Möglichkeiten und Grenzen der Geothermie • Was ist der maximale Beitrag von Geothermie und Wärmepumpen zu Energiewende	

Wärme, Energiefluss und Dämmen

- 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.

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

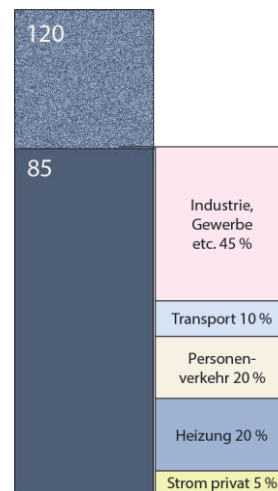
Bedarf für Heizung:

kWh/Tag und Person

- b) Wie kann man eine Wohnung heizen? Sammelt verschiedene Techniken und markiert welche davon mit Brennstoffen arbeiten, also CO₂ in die Atmosphäre freisetzen, in dieser Tabelle:

Art des Heizens	Brennstoff (ja/nein)

- c) 2045 will Deutschland klimaneutral sein, also netto kein CO₂ emittieren. Nenne Maßnahmen, die dafür in Deutschland im Bereich Heizen hilfreich sind und Herausforderungen bei dieser Transformation.



► 1 Aufteilung des Energiebedarfs

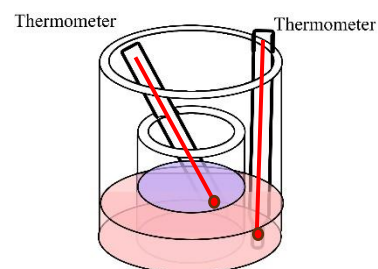
Aufgabe 2: Physikalische Definition von Wärme

Beim Heizen einer Wohnung wird Energie transportiert. Die Voraussetzung dafür sollen im folgenden Versuch genauer untersucht werden.

- a) Zum Zeitpunkt t_0 wird ein Glas mit einem kühlen Getränk in ein Gefäß mit warmem Wasser gestellt. Notiere die Temperatur in beiden Gefäßen nach 1 Minuten (t_1) und nach 5-8 Minuten (t_2):

Beobachtung:

	t_0	t_1	t_2
$T_{\text{Getränk}}$			
T_{Wasser}			



► 2 Versuchsaufbau

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

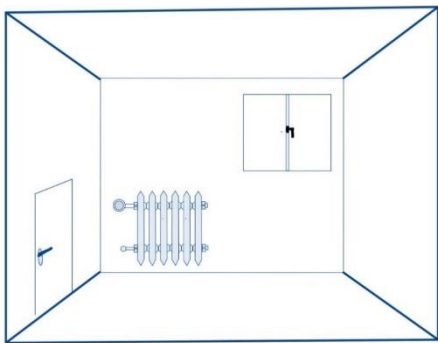
Aufgabe 3: Energiefluss im Haus

a) Überlege dir, welche Temperatur das Wasser typischerweise in einem Heizkörper hat. Erinnerung dazu an das Gefühl, wenn du eine Heizung anfasst.

$T_{\text{Heizwasser}} =$ _____

b) Ergänze die Skizze mit Pfeilen, die den Energiefluss darstellen sollen, bei einem Raum, der auf eine angenehme Temperatur aufgeheizt wird.

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!



► 3 moderne Ziegel

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lochziegel.jpg>



► 4 ehemalige Ziegel

[Thamizhpparithi Maari](#) · [A aesthetic brick blocks - Ziegelstein – Wiktionary](#)

d) Vergleiche die beiden Ziegelarten oben und erkläre unter Verwendung des Teilchenmodells, warum es bei Ziegeln wie in Abbildung 3 zu einem geringeren Energiefluss kommt. Welche Ziegel werden wohl heutzutage verwendet?

e) Ordne folgende Materialien nach dem U-Wert und begründe deine Reihenfolge mit den bisherigen Erkenntnissen: Porenbeton, massiver Beton, Holz (massiv), Schaumstoff

Der U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) einer Wand gibt die Dämmqualität an (umso kleiner, desto besser isoliert die Wand)!

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.

Manches geht auch mit Druck - Das Geheimnis der Wärmepumpe

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

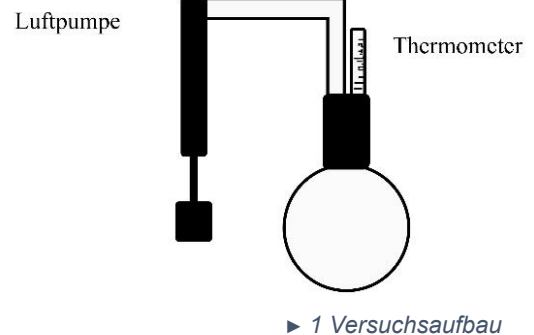
Über 40% der neugebauten Wohnhäuser heizen mit Wärmepumpen geheizt und auch viele andere Häuser sollen dafür umgebaut werden, denn diese Heizungen nutzen die kalten Außenluft als Energiequelle um die Wohnung zu heizen und dieser Prozess ist CO₂ neutral.

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! Eine Luftpumpe wird an einem Kolben angeschlossen. Der Kolben der Luftpumpe wird eingedrückt.

Aufgabe 1: Das Experiment im Teilchenmodell

- Benenne, welche Größe der eingeschlossenen Luft dabei unverändert bleibt
- Beschreibe im Teilchenmodell, was durch das Zusammendrücken des Kolbens mit den Teilchen der eingeschlossenen Luft passiert!
- Beobachte, was mit dem Kolben passiert, wenn man diesen, nachdem man ihn eingedrückt hat, wieder loslässt! Beschreibe Deine Beobachtung und erkläre diese im Teilchenmodell!
- Die Größe, die sich durch das Eindrücken verändert hat, nennt man Druck. Überlege dir anhand deiner Ergebnisse, was durch den Druck beschrieben wird und ergänze dann den Merksatz!



Luft lässt sich _____. Wenn Luft oder ein anderes Gas _____ ist, sagt man im Gas herrscht Druck. Je _____ der Druck eines Gases, desto stärker ist das Gas _____!

Aufgabe 2: Das Experiment makroskopisch

- Überlege dir, was du tun musst, um den Druck im Kolben möglichst stark zu erhöhen. Ergänze passend einen Pfeil in der Skizze und beschreibe, was energetisch dabei passiert:
Um den Druck im Kolben zu erhöhen, muss _____ verrichtet werden. Dabei _____ sich die Energie des Systems.
- Verändere nun den Druck im Gefäß und beobachte die Temperatur, wenn der Druck erhöht bzw. erniedrigt wird

	Anfang	Druck etwas erhöht	Druck erniedrigt	Druck stark erhöht
T _{Kolben}				

- Formuliere einen Merksatz, der den Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur zusammenfasst.

Man kann die Temperatur / innere Energie eines Gases erhöhen, indem man

Wärmepumpe: Wie heizt man mit der kalten Luft?

- Wie ist eine Wärmepumpe vom Grundprinzip aufgebaut?
- 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?

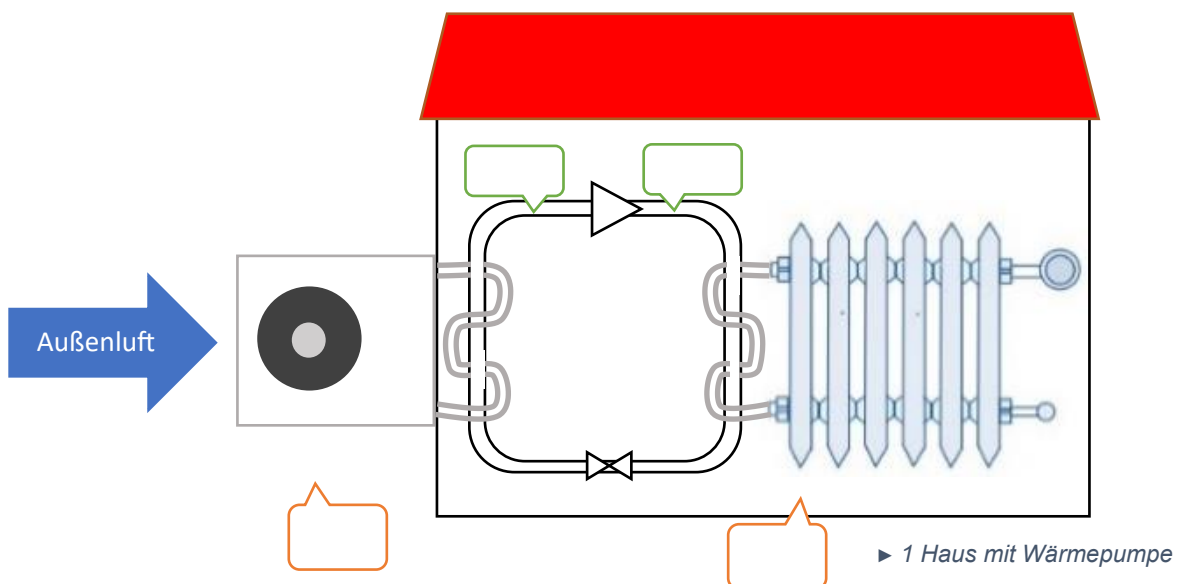
Aufgabe 1: Temperaturbetrachtungen

Schätze zunächst folgende Temperaturen ab

$T_{\text{Heizwassers in der Heizung}} = \text{ca. } \underline{\hspace{2cm}} ^\circ\text{C}$

$T_{\text{Außenluft im Winter}} = \text{ca. } \underline{\hspace{2cm}} ^\circ\text{C}$

- a) Um dich mit der Grafik ► 1 vertraut zu machen, trage als erstes die obigen Temperaturen in die **orange** Kästen ein. Markiere dann mit blau die Rohre durch die kalte Außenluft zur Wärmepumpe strömt und mit rot die Rohre, in denen das heiße Heizwasser der Heizung fließt.
- b) Als Kältemittel bezeichnet man den Stoff, mit dem die Wärmepumpe gefüllt ist. Schraffiere ganz zart den Bereich, der mit Kältemittel gefüllt ist.



- c) Ergänze den Merkkasten aus deinem Vorwissen:

Wärme fließt vom Gebiet Temperatur ins Gebiet Temperatur.

- d) Welche Bedingung muss für die Temperatur des Kältemittels auf der linken Seite der Wärmepumpe gelten, damit Wärme von der Außenluft ins Kältemittel fließt?

$T_{\text{linke Seite des Kältemittels}} \underline{\hspace{2cm}}$

Notiere eine mögliche Temperatur $T_{\text{linke Seite des Kältemittels}}$ in die linke **grüne** Sprechblase

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

$T_{\text{rechte Seite des Kältemittels}} \underline{\hspace{2cm}}$

Schreibe eine mögliche Temperatur $T_{\text{rechte Seite des Kältemittels}}$ in die rechte **grüne** Sprechblase.

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

Aufgabe 2: Trick der Wärmepumpe

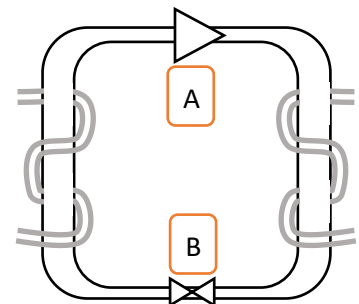
- a) Überlege dir jetzt, wie die Wärmepumpe das schafft, dass die Temperatur des Kältemittels sich von links nach rechts ändert! Was ist also der „Trick“?

Die Temperatur eines Stoffes ist abhängig vom _____.

Durch Erniedrigen des _____ vermindert sich die Temperatur eines Stoffes, durch Erhöhen des _____ 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 _____

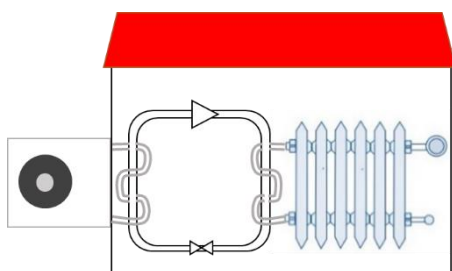
- b) Markiere Bereiche mit hohem Druck, indem du das Kältemittel ganz eng schraffierst und Bereiche mit niedrigem Druck mit zarter Schraffur. Beschreibe die Wirkung von Bauteil A und Bauteil B



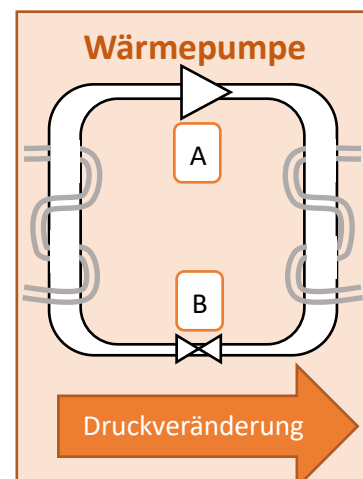
► 2 Wärmepumpe

Aufgabe 3: Energiebetrachtung

- a) Die Wärmepumpe nutzt die Energie der Außenluft und führt diese dem Inneren des Hauses zu. Zeichne die passenden Energieflüsse als Pfeile in die Grafik ► 3.
- b) Überlege dir an welcher Stelle der Wärmepumpe noch Energie zufließt und ergänze auch diesen Energiefluss als Pfeil. (Tipp, eines der beiden Bauteile (A oder B) benötigt elektrische Energie $E_{el.}$)
- c) Eine Wärmepumpe nutzt zum Beispiel 1kWh elektrische Energie um 3 kWh thermische Energie ins Haus zu „pumpen“.
- d) Überlege, an welchen Stellen Energie zu bzw. ab fließt? Zeichne alle Energieflüsse auch in die schematische Zeichnung ► 4 ein und beschrifte sie. Die Breite der Pfeile soll die Größe des Energieflusses anzeigen.



► 3 Haus mit Wärmepumpe



► 4 Funktionsweise Wärmepumpe

Aufgabe 4: energetische Bewertung und JAZ

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

Wärmepumpe 1 braucht $E_{el} = 0,5 \text{ kWh}$ um eine Heizwärme $Q = 2 \text{ kWh}$ ans Haus abzugeben.

Wärmepumpe 2 braucht $E_{el} = 1 \text{ kWh}$ um eine Heizwärme $Q = 3 \text{ kWh}$ ans Haus abzugeben.

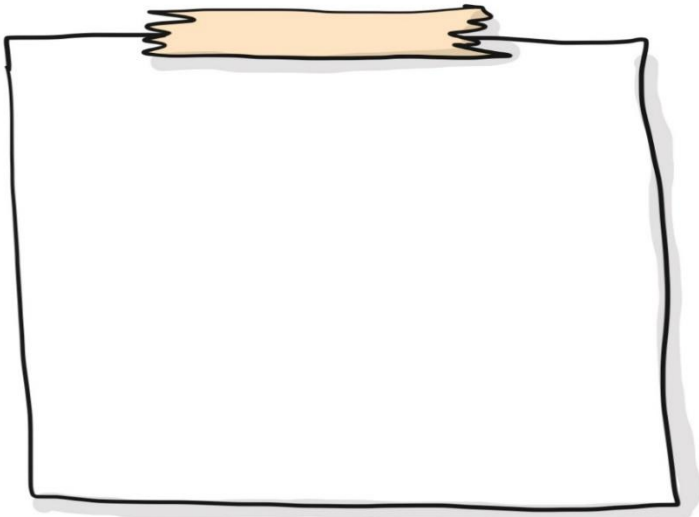
Um zu beschreiben, wie gut eine Wärmepumpe arbeitet, verwendet man die Jahresarbeitszahl. Diese berechnet man (vereinfacht) durch

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

- 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 trotz des erhöhten Strombedarfs massiv Energie und CO₂ sparen kann, wenn man seine Wohnung mit einer Wärmepumpe heizt.

- 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.

Effektiver werden Wärmepumpen, wenn man zusätzlich Phasenübergänge ausnutzt!

Wärmepumpe und Kühlschrank:

Wie man Kondensieren nutzt!

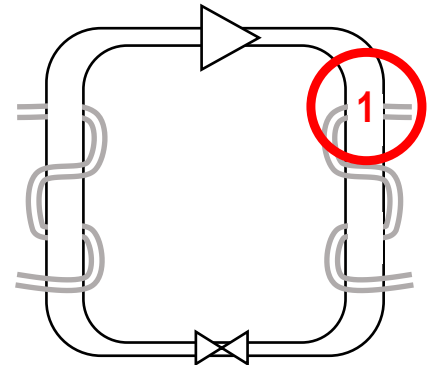
- Wie nutzt eine Wärmepumpe und ein Kühlschrank Phasenübergänge?
- Welche Regel sollte man beim Heizen und Kühlen beachten?

Aufgabe 1: Wärmepumpe und Aggregatzustände

Betrachte die nebenstehende Skizze einer Wärmepumpe. Eine Stelle ist eine Stelle mit ① markiert.

a) Überlege dir, was an dieser Stelle dir zutrifft. Kreuze richtige Aussagen an und korrigiere falsche:

- ☐ An der markierten Stelle soll das Kältemittel in der Lage sein, möglichst viel Energie aufzunehmen.
- ☐ Die Temperatur an der markierten Stelle ist sehr hoch und der Druck sehr niedrig.
- ☐ Wenn das Kältemittel an dieser Stelle kondensiert, kann es viel Energie abgeben.
- ☐ Das Kältemittel ist an dieser Stelle flüssig.



► 1 Wärmepumpe

- b) Überlege, wie man Phasenübergänge nutzen kann, um an den entscheidenden Stellen mehr Energie abzugeben/aufzunehmen. Welche Aggregatzustandsänderungen des Gases sollen an welchen Stellen geschehen?
- Zeichne das Kältemittel 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: Ein Kühlschrank mit Wärmepumpe?

Betrachte erneut die Skizze einer Wärmepumpe.

- Erkläre wie man mit dem Prinzip der Wärmepumpe einen Kühlschrank betreiben kann. Ergänze die Skizze so, dass erkennbar ist, welcher Teil der Pumpe im Kühlschrank und welcher außerhalb liegt.
- Kühlschränke gibt es in sehr verschiedenen Energieklassen. Begründe wofür die elektrische Energie im Kühlschrank verwendet wird.
- 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?
- Übertrage deine Ideen von Aufgabe c) auf das Heizen und notiere dir hier Regeln.

Aufgabe 3:

Wärmepumpen haben auch Schattenseiten:

- ! Manche Kühlmittel sind giftig und umweltschädlich
- ! Wärmepumpen emittieren Schall und sind nicht ästhetisch und können die Nachbarschaft stören
- ! Die Wirksamkeit der Wärmepumpe hat Grenzen: An extrem kalten Tagen, kann das Haus nicht beliebig aufgeheizt werden.

- Nenne zwei gravierende Vorteile der Wärmepumpe gegenüber einer Ölheizung.
- Diskutiert gemeinsam aktuelle Alternativen und sucht sinnvolle Regelungen für eine Wärmewende.

Geothermie und Wärmepumpen – It's getting hot in here

- *Wo liegen Möglichkeiten und Grenzen der Geothermie?*
- *Was ist der maximale Beitrag von Geothermie und Wärmepumpen zu Energiewende?*

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

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



► 1 Energie aus der Erde

Aufgabe 1:

- Gib an, in welcher Form die Energie im Erdinneren vorliegt.
- Überlege kurz, warum Geothermie in Deutschland nur begrenzt zur Verfügung steht (z.B. im Vergleich zu Island)
- Bestimme aus ► 2 den aktuellen Bedarf an Heizwärme.
- Bestimme den Heizwärmebedarf, der nicht mit tiefer Geothermie abgedeckt werden kann.
- 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 d) welcher Heizwärmebedarf sich damit für die Zukunft ergibt, der noch gedeckt werden muss!

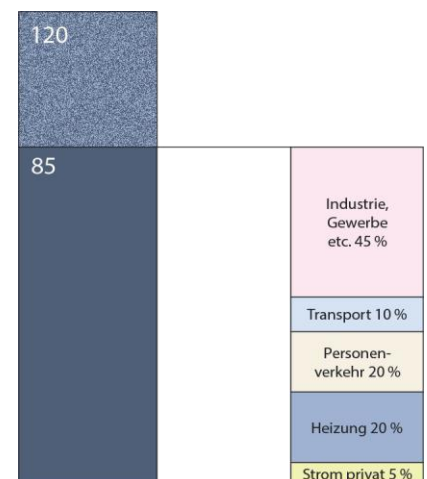
Um diese restliche Energie regenerativ zu erzeugen, ist es sinnvoll Wärmepumpen zu nutzen, die als Wärmequelle die Luft oder die Energie in einigen Metern Tiefe nutzen. Wärmepumpen verwenden dabei elektrischen Strom, um die Energie der Wärmequelle ins Heizsystem zu transportieren.

Aufgabe 2:

- 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 3,1

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

Ermittle mit Hilfe des noch verbleibenden Heizwärmebedarfs, den man in Aufgabe 1e) ermittelt hat, wie viel elektrische Energie benötigt werden würde, wenn man den verbleibenden Heizwärmebedarf durch Wärmepumpen decken würde!



► 2 heutiger (End)Energiebedarf

- 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 zu Aufgabe 1

- 1) Nenne auch mit Hilfe von ► 1 mind. drei Beispiele für Prozesse oder Aktivitäten an der Erdoberfläche, welche durch Energie aus dem Erdinneren ausgelöst werden.
- 2) Erkläre anhand von ► 3, 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!

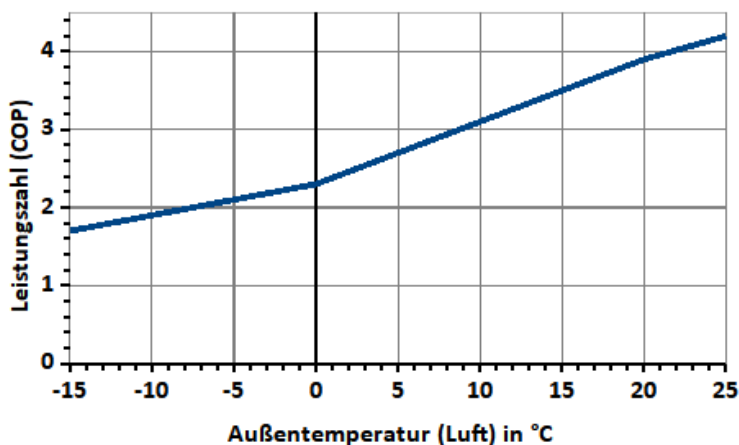


► 3 schematischer Aufbau des Erdinneren

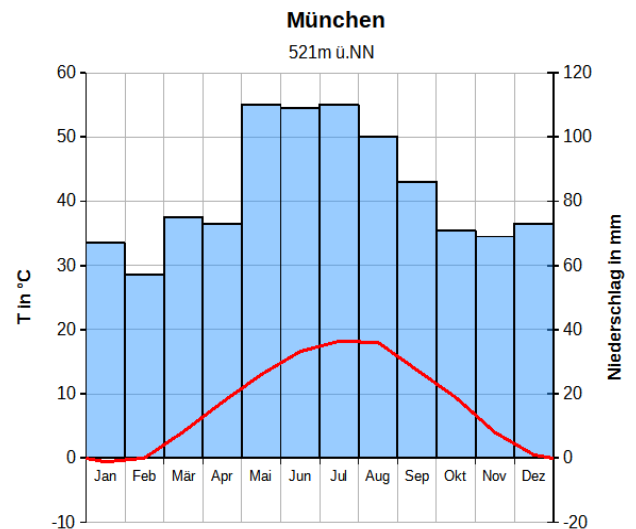
Zusatzaufgaben zu Aufgabe 2

- 4) Erörtere gegebenenfalls durch eine Recherche, welche Temperaturen die Wärmequellen haben, welche Temperaturen benötigt werden und wozu die Wärmepumpe dient.
- 5) Schätze mit Hilfe von ► 4 und ► 5 die mittlere Leistungszahl einer Luft-Wärmepumpe während der Heizperiode (Okt-Apr) ab

Leistungszahl einer Luft-Wärmepumpe



► 4 Leistungszahl einer Luft-Wärmepumpe (eigene Darstellung) Daten aus Planungsunterlagen Wärmepumpe Viessmann Vitocal 200-S



► 5 Klimadiagramm von München (eigene Darstellung) Daten aus www.de.climate-data.org

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.

Arbeitsblätter dieses Kapitels

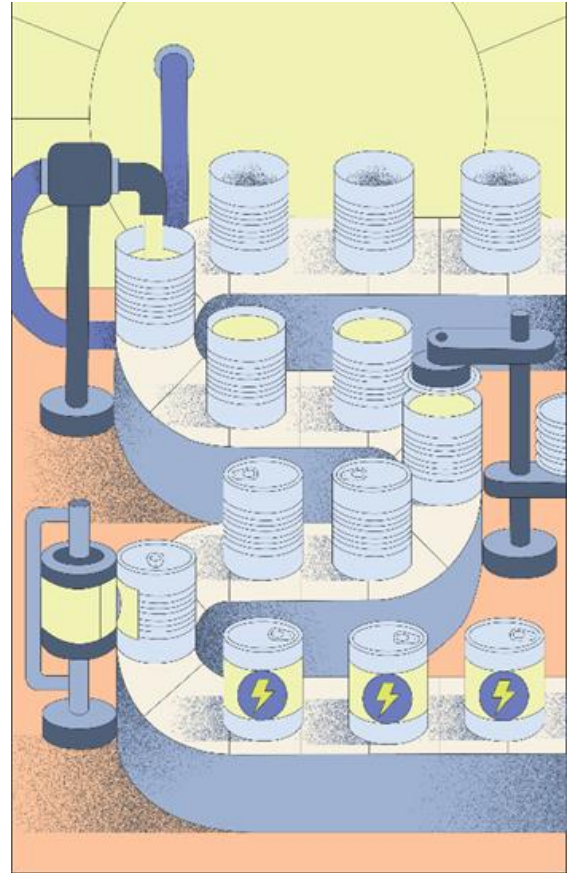
*Digitale Version mit Lösungen
und Quellen*

<u>Wellenenergie</u> - Wie funktioniert ein Wellenkraftwerk? - Wie viel Energie kann man durch Wellenkraftwerke bereitstellen?	
<u>Gezeitenenergie</u> - Wie funktioniert ein Gezeitenkraftwerk? - Wie kann man mit Hilfe der Höhenenergie das Potential der Gezeitenenergie	
<u>Kernfusion und Kernkraftwerke</u> - Kann Kernfusion eine zeitnahe Lösung für die Energieversorgung sein? - Welche Vor- und Nachteile hat die Kernkraft?	

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

Arbeitsblätter dieses Kapitels

*Digitale Version mit Lösungen
und Quellen*

<u>Wasserstoff, Elektroauto oder E-Fuels- was könnte der Antrieb der Zukunft sein</u> • Welchen Wirkungsgrad haben Elektroautos im Vergleich zu Verbrennern? • Können E-Fuels energetisch betrachtet eine Alternative zu E-Autos sein? Betrachtung des jeweiligen Wirkungsgrads	
<u>Die Dunkelflaute-was passiert wenn nichts mehr geht?</u> • Was passiert, wenn weder Sonne scheint noch Wind weht? • Wie kann man die nötige Speicherenergie abschätzen? Betrachtung über Diagramme	

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 und Schüler 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.

Arbeitsblätter dieses Kapitels

Digitale Version mit Lösungen
und Quellen

<u>Reichen die erneuerbaren Energien und was können wir tun?</u> • 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? • Was kann man machen, damit die Energie reicht?	
<u>Fakten vs. Behauptungen</u> • Sind erneuerbare Energien zu teuer? • Ist Kernkraft eine Alternative?	