

Erneuerbare Energien

zum Verstehen und Mitreden

Unterrichtsmaterialien für die Realschule



Autoren:

Thomas Bauer Dorle Lohn
Monika Saak Michael Blinzler

Benjamin Best
Georg Kobschätzky

Philipp Schneider

Koordination:

Dr. Cecilia Scorza, Ludwig-Maximilian-Universität München, Fakultät Physik
Dr. Sabine Graf, Projektmanagerin Der Klimawandel: verstehen und handeln, LMU



Klimawandel

verstehen und handeln

Erneuerbare Energien
zum Verstehen und Mitreden
Unterrichtsmaterialien für die Realschule

Dies ist im Rahmen des Projekts „Erneuerbare Energien zum Verstehen und Mitreden“ die neueste Version einer Sammlung von Arbeitsblättern für die Realschule mit Lösungsvorschlägen und ergänzenden Hinweisen. Die Materialien wurden ursprünglich von der Arbeitsgruppe Gymnasium entwickelt und dankenswerterweise bereitgestellt, um sie für die Verwendung in der Realschule anzupassen, zu reduzieren, aber auch zu ergänzen. Alle hier zusammengefassten Unterrichtsmaterialien können über die Plattform www.klimawandel-schule.de auch einzeln im pdf- und im docx-Format heruntergeladen und nach persönlichen Vorstellungen überarbeitet werden.

Diese Sammlung wird für eine Testphase des Projekts in Umlauf gebracht. Das bedeutet insbesondere, dass noch inhaltliche Fehler auftreten können. Da aber der Klimawandel keine Verzögerung zulässt und eine schnelle Verbreitung notwendig ist, haben wir uns entschlossen, schon vor den finalen Tests die erste Version in der Hoffnung zu veröffentlichen, möglichst viele Lehrkräfte zu erreichen.

Die Materialien stützen sich, wenn nicht anders angegeben, auf folgende Bücher.:



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



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

Vor jedem Kapitel sind die entsprechenden Seiten in den Büchern aufgeführt:

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

Die Autoren

Thomas Bauer, Dorle Lohn, Benjamin Best und Philipp Schneider (Arbeitsgruppe Gymnasium)

Monika Saak, Michael Blinzler, Georg Kobschätzky (Arbeitsgruppe Realschule)

kontakt@klimawandel-schule.de

Inhalt

Vorwort	5
1. Lehrplanbezüge und Lernvoraussetzungen Realschule Bayern	7
2. Energie verstehen	9
Everybody's Darling: Die Energie	10
Everybody's Darling: Die Energie – <i>Lösungen</i>	12
Energieeinheiten oder „Wer ist Robert“?	14
Energieeinheiten oder „Wer ist Robert“? – <i>Lösungen</i>	16
Energieeinheiten oder „Wer ist Robert“? – <i>Hinweise</i>	18
Energiebedarf und Energieflussdiagramme in Deutschland	19
Energiebedarf und Energieflussdiagramme in Deutschland – <i>Lösungen</i>	21
Energie, Leistung und Größenordnungen: Bewertung von Informationen	23
Energie, Leistung und Größenordnungen: Bewertung von Informationen – <i>Lösungen</i>	25
3. Erneuerbare Energien	27
Leitfaden: Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien	28
Leitfaden: Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien - <i>Lösungen</i>	30
Hinweise und Ausblicke	32
3.1 Wasserkraft	33
Energiegewinnung in einem Wasserkraftwerk	34
Energiegewinnung in einem Wasserkraftwerk – <i>Lösungen</i>	36
Wieviel el. Energie kann man in Deutschland durch Wasserkraft maximal bereitstellen?	38
Wieviel el. Energie kann man in Deutschland durch Wasserkraft maximal bereitstellen? – <i>Lösungen</i>	42
Ausblicke und Experimente zur Wasserkraft	44
3.2 Windenergie	45
Ausbau Windenergie – Wie schaffen wir das?	46
Ausbau Windenergie – Wie schaffen wir das? – <i>Lösungen</i>	49
„Wind of Change“ oder „The Answer Is Blowing In The Wind“	51
„Wind of Change“ oder „The Answer Is Blowing In The Wind“ – <i>Lösungen</i>	53
Weitere Hinweise und Projektideen zur Windkraft	63
3.3 Solarenergie	64
Abschätzung des Beitrags der Solarenergie	65
Abschätzung des Beitrags der Solarenergie – <i>Lösungen</i>	67
Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte	69
Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte – <i>Lösungen</i>	71
Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte – <i>Hilfekarten</i>	73
3.4 Bioenergie	75
Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende	76
Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende – <i>Lösungen</i>	78

Vorwort

Spontan mit Mama, Papa und dem Rest der Familie einen Ausflug in die Berge machen, im Winter nach der Schneeballschlacht ins warme Wohnzimmer kommen und eine heiße Schokolade trinken oder sich noch im Bett mit einem Videoanruf bei Oma und Opa einen Gutenachtkuss abholen – 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 positiven Effekten dieser technischen Errungenschaften gibt es aber eine Kehrseite: Unsere Energieversorgung ist der Hauptverursacher des Klimawandels, und dieser holt uns und unsere Kinder schneller ein, als uns lieb sein kann. Vor allem 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 für diesen Wandel muss ihnen heute in den Schulen mitgegeben werden und es hat große Auswirkungen darauf, ob dieser Wandel gelingen wird oder nicht.

Gerade weil in unserer modernen Welt fast alles von Energie abhängt, ist die Dekarbonisierung unserer Energieversorgung der größte Hebel, den wir haben im Kampf gegen die Erderwärmung – und wir sollten schnell handeln, bis spätestens 2045 müssen wir klimaneutral werden, um deren Auswirkungen einigermaßen in Schach zu halten. Eine erfolgreiche Energiewende hat aber 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 und unsere ‚Energie-Adipositas‘ in den Griff bekommen. Auch die soziale Komponente ist entscheidend: eine zukunftsfähige Energieversorgung muss für alle zur Verfügung stehen und darf die sozial schwachen nicht auf der Strecke lassen. Und nicht zuletzt ist dies alles eine weltweite Herausforderung, die wir nur als Menschheit gemeinsam meistern können. Das alles benötigt einen interdisziplinären Ansatz mit Weitblick und einem tiefen Verständnis der komplexen Zusammenhänge – vielleicht die größte Herausforderung für unser Bildungssystem jemals.

Die Basis für all das ist aber ein grundlegendes Verständnis der Größenordnungen und technischen Grundlagen unserer Energieversorgung. Wieviel Energie verbrauchen wir und für was? Welche Energiequellen gibt es und was ist deren Potential? Wie funktionieren die unterschiedlichen Technologien grob? Wie können wir Energie verteilen und speichern? Welche Alternativen haben wir? Es geht nicht darum, alle Schülerinnen und Schüler zu Ingenieuren zu machen, sondern ihnen einen Überblick zu vermitteln, der ihnen erlaubt grundlegende Fragen zu beantworten und sich darauf aufbauend in die komplexen Zusammenhänge einzuarbeiten und am öffentlichen Diskurs teilzunehmen. Wir sind überzeugt davon, dass es ohne dieses überblickende Grundwissen kaum möglich ist, aus einem häufig punktuellen Aktionismus oder einer emotionalen Ablehnung von nötigen Maßnahmen auszubrechen, weil man deren Wirkung auf das Ganze und auf andere Bereiche nicht überblickt.

Um ernsthaft mitzureden und mitzugestalten müssen wir uns also in die Grundlagen einarbeiten und 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 und unser Dank geht an die motivierten Personen, die dafür verantwortlich sind – es ist wunderbar geworden.

Liebe Lehrkräfte, nutzen Sie diese Vorschläge Ihrer Kolleginnen und Kollegen und helfen Sie damit einer neuen Generation beim Verstehen, damit sie mitreden kann bei einem der wichtigsten Themen unserer Zeit!

Christian Holler, Harald Lesch



1. Lehrplanbezüge und Lernvoraussetzungen Realschule Bayern

	Arbeitsblatt	benötigtes Vorwissen	Lehrplanbezug
2. Energie verstehen	AB 1: „Everybody’s Darling – Die Energie“	- Energieformen - Energieumwandlungen	Ph 8 I / Ph 9 II/III Lernbereich 1: Mechanik und Energie → Energie als Speichergröße → Energieformen → Energieumwandlungen
	AB 2: „Energieeinheiten oder Wer ist Robert“	- Leistung als abgeleitete Größe (Formel und Einheit) - kWh / J - Vorsatzsilben Tera / kilo - einfacher Dreisatz	
	AB 3: „Energiebedarf und Energieflussdiagramme in Deutschland“	- einfache Prozentrechnung - einfacher Dreisatz - Primärenergie / Endenergie / Nutzenergie - Energieumwandlungen - Energieerhaltung - Energieentwertung - Energieflussdiagramm - kWh / J - Anteile berechnen	Ph 10 I / Ph 10 II/III Lernbereich 4: Energieversorgung → Energieträger → Energieumwandlungen
	AB Leitfaden: „Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien“	- Flächeneinheiten - Anteile berechnen - Siehe jeweilige Themen 1 bis 5	Siehe jeweilige Themen 1 bis 5
	AB „Energie, Leistung und Größenordnungen: Bewertung von Informationen“	- Leistung und Energie als physikalische Größen (Formeln und Einheiten (Wh, J)) - Elektrische Leistung (Formel & Einheit)	Ph 8 I / Ph 9 II/III Lernbereich 1: Mechanik und Energie → Energie als Speichergröße → Energieformen → Energieumwandlungen → Leistung als abgeleitete Größe
3.1 Wasserkraft	AB 1: „Energiegewinnung in einem Wasserkraftwerk“	- Umrechnung zwischen Volumen und Masse von Wasser - Umrechnung zwischen J und kWh - Energieumwandlungen in einem Kraftwerk - $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$ - Wirkungsgrad	Ph10 I / Ph10 II/III Lernbereich 4: Energieversorgung → Energieträger → Energieumwandlungen → Kraftwerke
	AB 2: „Wie viel el. Energie kann man in Deutschland durch Wasserkraft maximal bereitstellen?“	- Energieträger - $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$ - Umrechnung zwischen Volumen und Masse von Wasser - Zehnerpotenzen - Umrechnung zwischen J und kWh - leichter Dreisatz - Energieentwertung	

3.2 Windenergie	AB 1: „Ausbau Windenergie – Wie schaffen wir das?“	- etwas Allgemeinwissen, - leichter Dreisatz	Ph 10 I / Ph 10 II/III Lernbereich 4: Energieversorgung → Energieträger → Energieumwandlungen → Kraftwerke
	AB 2: „Wind of Change‘ oder ‘The Answer Is Blowing In The Wind‘“	- $E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ - Geschwindigkeit - Einsetzungsverfahren - Einheiten der Energie - Energieflussdiagramme - Umrechnung J – kWh	
3.3 Solarenergie	AB 1: „Abschätzung des Beitrags der Solarenergie“	- Leistung - Energie - Energieeinheit 1 J und 1 kWh - Wirkungsgrad - leichter Dreisatz	Ph 8 I / Ph 9 II/III Lernbereich 1: Mechanik und Energie → Energie als Speichergröße → Energieformen → Energieumwandlungen → Leistung als abgeleitete Größe Ph 10 I / Ph 10 II/III Lernbereich 4: Energieversorgung → Energieträger
	AB 2: „Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte“	- Energie (Formel $E = P \cdot t$, Einheiten) - Umrechnung kWh – J - Leistung (Formel $P = \frac{E}{t}$, Einheit) - Flächenberechnung Dreieck - Prozentualer Anteil	
3.4 Bioenergie	AB „Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende“	- Grundwissen Flächenumrechnung - Energie - Energieformen - Wirkungsgrad	Ph 9 I Lernbereich 2: Wärmelehre → Wärmekraftwerke Ph 10 I Lernbereich 4: Energieversorgung → Energieträger Ph 10 II/III Lernbereich 4: Energieversorgung → Energieträger → Wärmekraftwerke

2. Energie verstehen

Wir benötigen für alles, was wir machen, Energie.

Energie bedeutet, dass der Körper die Fähigkeit hat, Arbeit zu verrichten.

Durch das Verrichten von Arbeit kann Energie auch übertragen werden.

Energie kann in verschiedenen Formen vorliegen.

Verschiedene Energieformen, die Energieumwandlungen und den Energieerhaltungssatz bespricht man schon immer im Physikunterricht. Häufig betrachtet man die Energieformen an Beispielen wie einem Flummi oder einer Achterbahn. Da aber die Energiewende und die zukünftige Energieversorgung eine der größten Herausforderungen unserer Zeit sind, bietet es sich an, Beispiele aus diesen Themenfeldern zu betrachten. Den Schülern und Schülerinnen wird so die Relevanz des Themas Energie für ihr eigenes Leben bewusster und sie erkennen, wie ihr Lebensstandard von der zur Verfügung stehenden Energie abhängt.

Um ein Gefühl für den Energiebedarf zu bekommen, wird der durchschnittliche Energiebedarf konsequent in die Einheit „Kilowattstunden pro Person und Tag“ heruntergerechnet.

In den Büchern:



S. 12-31



S. 2-26

Los geht's:

Mit den Arbeitsblättern „Everybody's Darling: Die Energie“ und „Energieeinheiten oder ‚Wer ist Robert?‘“ kann man das Thema „Energie“ einführen. Die Schüler und Schülerinnen lernen so anhand gesellschaftlich relevanter Problemfelder die Arten der Energie kennen und erkennen, dass Energieformen ineinander umgewandelt werden können. Zudem werden von Beginn an Joule und kWh als Einheiten der Energie eingeführt, um quantitative Aussagen machen zu können und die Schüler und Schülerinnen an das Umrechnen von Einheiten zu gewöhnen.

In dem Arbeitsblatt „Energiebedarf und Energieflussdiagramme in Deutschland“ wird auf den Unterschied der Primärenergie und Endenergie näher eingegangen. Hier wird der Primärenergiebedarf im Schnitt in Deutschland berechnet.

Im letzten Arbeitsblatt des Kapitels „Energie, Leistung und Größenordnungen – Bewertung von Informationen“ sollen reale Zeitungsartikel bezüglich der physikalischen Richtigkeit kritisch analysiert und kleinere Rechnungen durchgeführt werden.

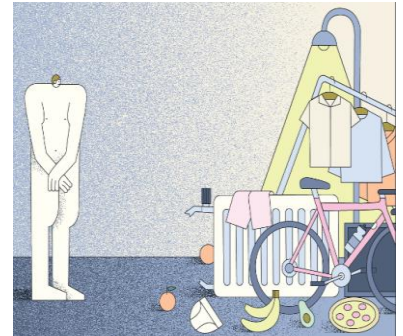
Material:

- Arbeitsblatt zur Einführung der Energie: „Everybody's Darling: Die Energie“ (AB 2 Seiten + Lsg. 2 S.)
- Arbeitsblatt „Energieeinheiten oder ‚Wer ist Robert?‘“ (2 S. + Lsg. 2 S. + Hinweise 1 S.)
- Arbeitsblatt „Energiebedarf und Energieflussdiagramme in Deutschland“ (2 S. + Lsg. 2 S. + Hinweise)
- Energie, Leistung und Größenordnungen – Bewertung von Informationen (AB 2 S. + Lsg. 2 S.)

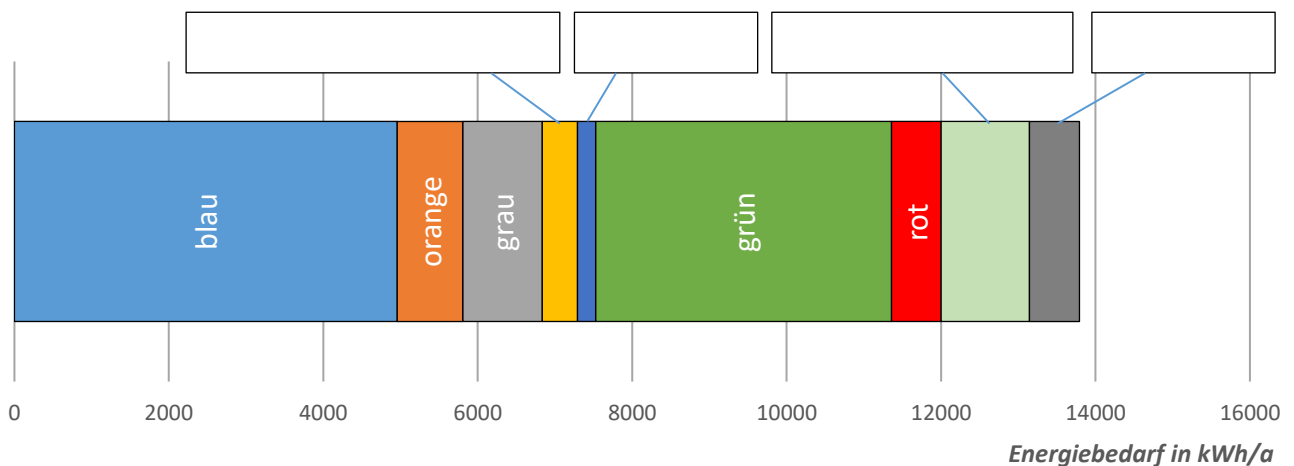
Everybody's Darling: Die Energie

- 1) Beschreibe Situationen oder Bereiche aus dem Alltag, in denen Energie eine Rolle spielt und benenne die jeweils zugehörige Energieform.

Situation / Alltagsbereich	Energieform
<i>Beispiel:</i> Energie durch Nahrung	Chemische Energie



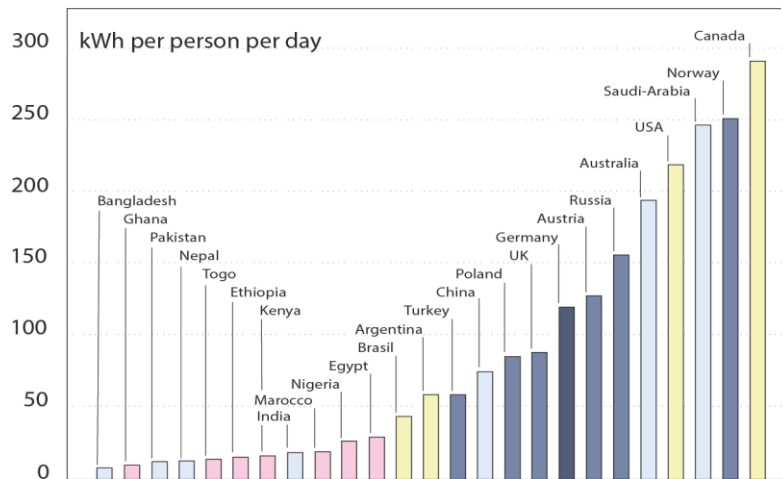
- 2) In folgender Grafik ist der durchschnittliche Energiebedarf pro Person pro Jahr dargestellt. Schätze ab, welcher Bereich hier jeweils dargestellt ist, und ergänze die Tabelle. Verwende einen Bleistift.



Farbe	Situation/ Alltagsbereich	Energieträger	Bereitgestellte Energieform	Maschine	Nutzbare Energieform
	Heizen				
	Alltagsfahrten (Mobilität)				
	Urlaubsfahrten (Mobilität)				
<i>Beispiel:</i> grau	Kochen, Kühlen	Strom	Elektrische Energie E_{el}	Herd, Kühlschrank	Wärmeenergie W_{th}

In der Grafik ist der durchschnittliche Energiebedarf pro Person dargestellt. Dieser schwankt extrem stark je nach Einkommen und sozialem Milieu. So ist der Energiebedarf für Einkommen unter 1000 Euro bei ca. $12\,000 \frac{kWh}{a}$, der für Einkommen über 3000 Euro bei ca. $20\,000 \frac{kWh}{a}$, also fast doppelt so hoch. Bei Urlaubsreisen erstreckt sich der Energiebedarf von ca. $400 \frac{kWh}{a}$ bis ca. $2500 \frac{kWh}{a}$ je nach Einkommen.

- 3) Hier siehst Du den **Energiebedarf pro Person und Tag** von einigen Ländern.



a) Wie bewertest du Deutschland im internationalen Vergleich?

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



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

- a) Ergänze die Tabelle.

Situation/ Alltagsbereich	Energieträger	Bereitgestellte Energieform	Maschine
Kühlen			

- b) Wird sich dieser Trend fortsetzen? Begründe deine Meinung.



- c) Nenne stichpunktartig verschiedene Maßnahmen, die Städte und Gemeinden oder konkret unsere Schule nutzen, um das Aufheizen von Gebäuden zu reduzieren.

- 5) Auch der Mensch kann als „Maschine“ gesehen werden. Vervollständige die Tabelle.

Situation / Alltagsbereich	Energieträger	Bereitgestellte Energieform	Maschine	Nutzbare Energieform
Mensch			Mensch	

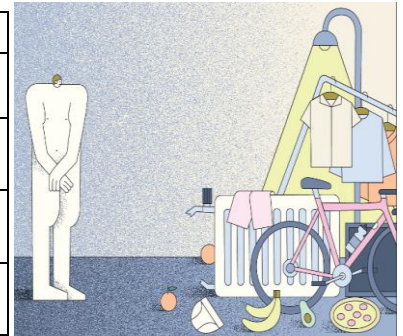
- 6) Überlege dir, was sowohl dein Körper als auch technische Geräte mit der zugeführten Energie machen und folgere daraus eine grundlegende Eigenschaft von Energie!

[illegible]

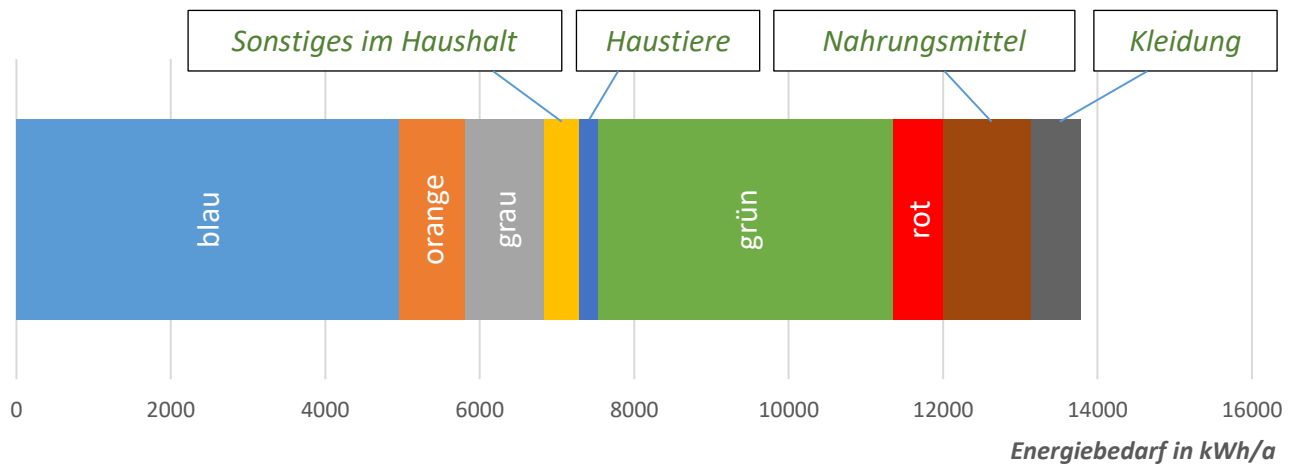
Everybody's Darling: Die Energie – *Lösungen*

- 1) Beschreibe Situationen im Alltag, in denen Energie eine Rolle spielt und benenne die jeweils zugehörige Energieform!

Situation / Alltagsbereich	Energieform
<i>Beispiel:</i> Energie durch Nahrung	Chemische Energie
<i>z. B.:</i> Energie durch Wärmflasche	Wärmeenergie
Energie durch Autofahren	$E_{chem} \rightarrow E_{kin}$
Energie durch Strom für Licht...	$E_{el} \rightarrow E_{Strahlung}$ $E_{el} \rightarrow W_{th}$

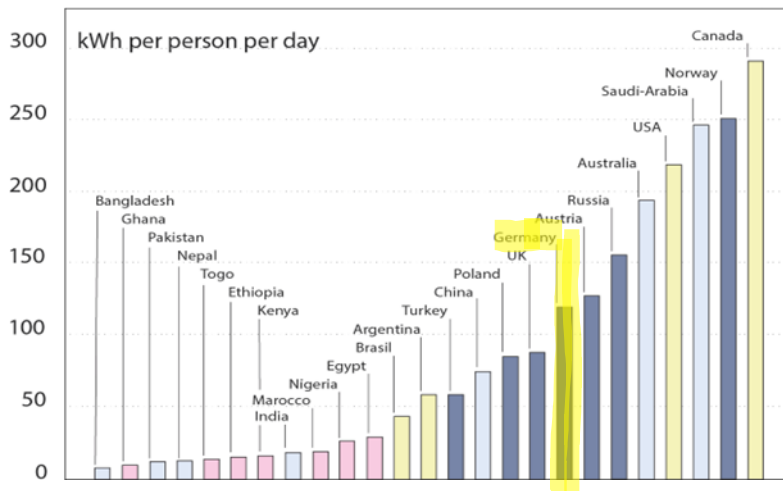


- 2) In folgender Grafik ist der durchschnittliche Energiebedarf pro Person pro Jahr dargestellt. Versuche abzuschätzen, welcher Bereich hier jeweils dargestellt ist, und ergänze die Tabelle. Verwende einen Bleistift.



Farbe	Situation / Alltagsbereich	Energieträger	Bereitgestellte Energieform	Maschine	Nutzbare Energieform
<i>blau</i>	Heizen	<i>Gas, Öl</i>	E_{chem}	<i>Heizung / Gastherme</i>	W_{th}
<i>grün</i>	Alltagsfahrten (Mobilität)	<i>Benzin, Diesel, Strom</i>	E_{chem}	<i>Automotor</i>	E_{kin}
<i>rot</i>	Urlaubsfahrten (Mobilität)	<i>Benzin, Diesel, Strom, Kerosin</i>	E_{chem}	<i>Automotor, Flugzeugmotor</i>	E_{kin}
<i>Beispiel: grau</i>	Kochen, Kühlen	Strom	Elektrische Energie E_{el}	Herd, Kühlschrank	Wärmeenergie W_{th}
<i>orange</i>	Warmwasser	<i>Strom, Gas, Öl, Sonnenstrahlung</i>	E_{chem} $E_{Strahlung}$	<i>Wasserkocher, Boiler, Heizung, Gastherme...</i>	Wärmeenergie W_{th}

3) Hier siehst Du den **Energiebedarf pro Person und Tag** von einigen Ländern.



a) Wie bewertest du Deutschland im internationalen Vergleich?

Deutschland hat im internationalen Vergleich einen relativ hohen Energiebedarf pro Person.

Nur in wenigen Ländern ist dieser Energiebedarf pro Person noch höher, wenn auch teils sehr deutlich.

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

*Diese Länder haben sehr viele Energieträger zur Verfügung.
Norwegen: Wasser; Saudi-Arabien: Öl*

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

a) Ergänze die Tabelle.

Situation / Alltagsbereich	Energieträger	Bereitgestellte Energieform	Maschine
Kühlen	<i>Strom</i>	<i>E_{el}</i>	<i>Klimaanlage</i>

b) Wird sich dieser Trend fortsetzen? Begründe deine Meinung.

*Aufgrund des Klimawandels werden Hitzephasen länger und intensiver.
→ Bedarf an Kühlung wird zunehmen.*

c) Nenne kurz verschiedene Maßnahmen, die Städte und Gemeinden oder konkret unsere Schule nutzen, um das Aufheizen von Gebäuden zu reduzieren.

Vorhänge, Jalousien, Markisen, Pflanzen, Wasserstellen, Stromsparen? ...

5) Auch der Mensch kann als „Maschine“ gesehen werden. Vervollständige die Tabelle.

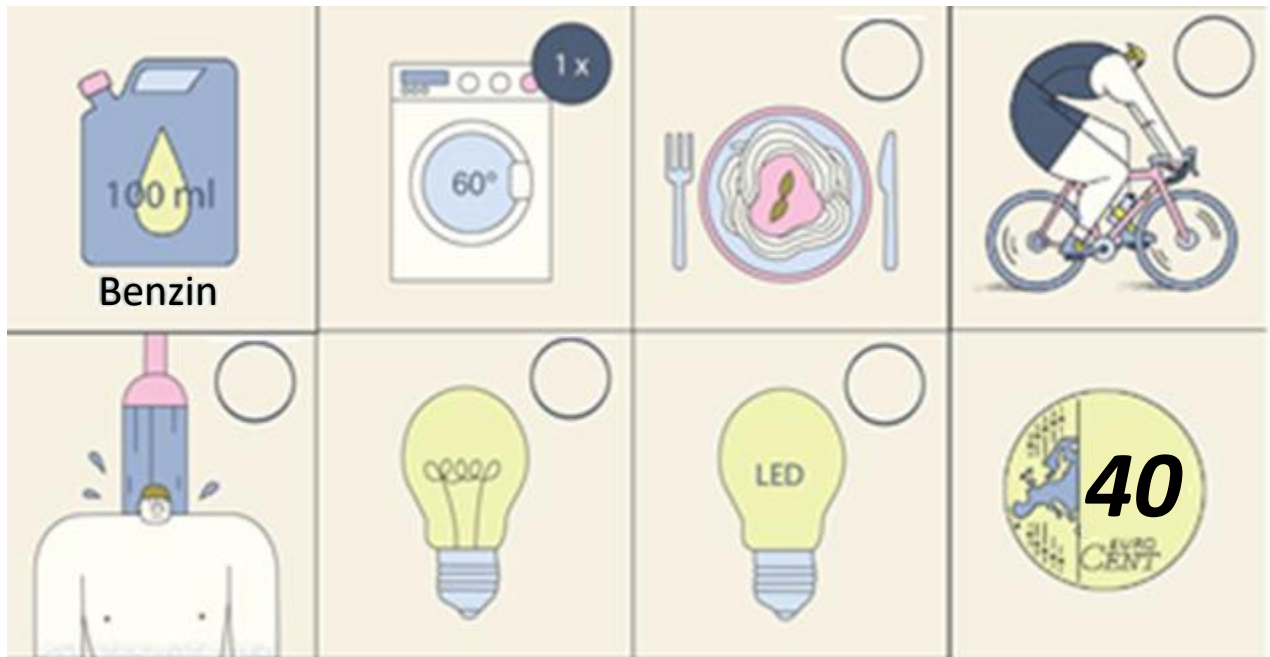
Situation / Alltagsbereich	Energieträger	Bereitgestellte Energieform	Maschine	Nutzbare Energieform
Mensch	<i>Nahrung</i>	<i>E_{chem}</i>	Mensch	<i>E_{kin} W_{th}</i>

6) Überlege dir, was sowohl dein Körper als auch technische Geräte mit der zugeführten Energie machen und folgere daraus eine grundlegende Eigenschaft von Energie!

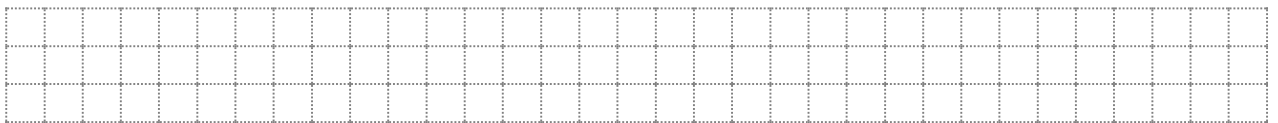
Energie kann in andere Energieformen umgewandelt werden.

- c) In der Physik ist die übliche Einheit _____ bzw. _____. Es gilt dabei:

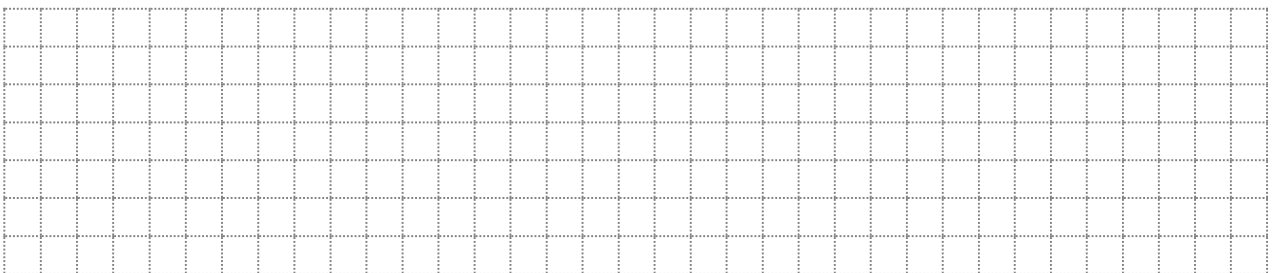
1 kWh =



- d) Ein untrainierter Radfahrer kann in einer Stunde ungefähr eine Energie von 0,10 kWh umwandeln. Berechne, wie lange der Radfahrer für die Umwandlung von 1,0 kWh treten müsste, und trage die Zeit in den Kreis beim Radfahrer oben in der Grafik ein.



- e) Eine 100 W-Glühlampe kann durch eine LED ersetzt werden, die eine Leistung von 13 W hat. Berechne die Zeitdauern, wie lange eine solche LED-Lampe und wie lange eine 100 W Glühlampe mit einer elektrischen Energie von 1,0 kWh leuchten kann. Trage die Zeiten in die Grafik bei c) ein.



- f) Für einmal Wäschewaschen wird eine Energie von ca. 1,0 kWh benötigt. Wie lange kann man mit dieser Energie duschen? Wie lange Kochen? Suche im Internet nach Antworten (z. B. Duschrechner unter www.verbraucherzentrale.nrw/duschrechner) und trage die Werte in die Grafik oben ein.

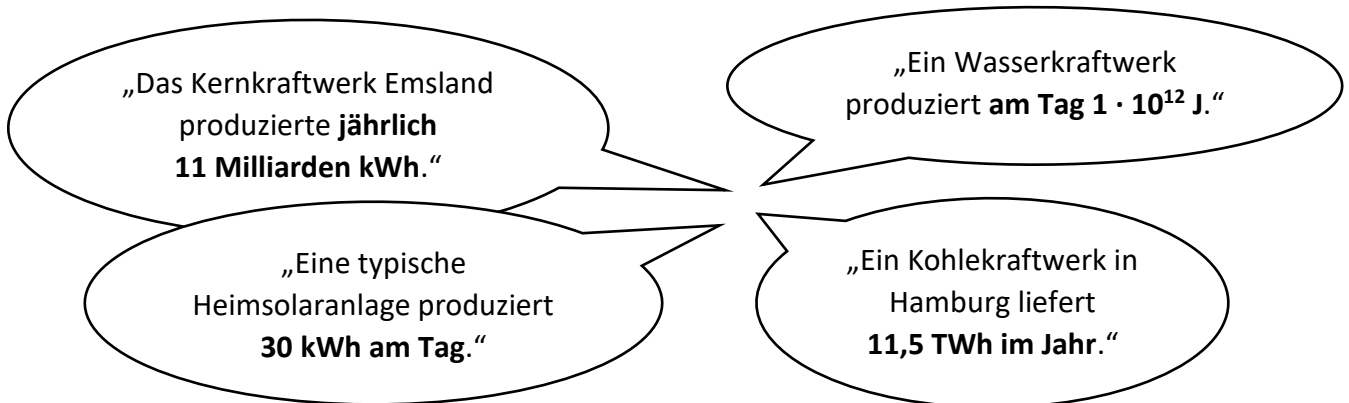


- g) Überlege dir, warum in der Grafik 100 ml Benzin und 40 ct abgebildet sind.

Energieeinheiten oder „Wer ist Robert“? – Lösungen

1) Energieangaben

Aussagen wie die folgenden findet man häufig in Zeitungsartikeln oder im Internet.



a) Begründe kurz, warum es ohne Taschenrechner nicht möglich ist, diese Angaben zu vergleichen.

- *unterschiedliche Einheiten für die Energie: J und kWh*
- *unterschiedliche Einheiten für die Zeit: pro Tag und pro Jahr*
- *verschiedene Vorsätze Terra und Kilo in TWh und kWh*

b) Kreuze die richtige Aussage an.

- ☒ Das Kohlekraftwerk in Hamburg liefert mehr Energie als das Kernkraftwerk Emsland.
- ☐ Das Kernkraftwerk Emsland liefert mehr Energie als das Kohlekraftwerk in Hamburg.

Begründe Deine Entscheidung.

<i>Emsland:</i>	$11 \cdot 10^9 \text{ kWh}$	$1 \text{ k (Kilo)} = 1000 = 10^3$
		$1 \text{ M (Mega)} = 10^6$
<i>Hamburg:</i>	$11,5 \text{ TWh} = 11,5 \cdot 10^9 \text{ kWh}$	$1 \text{ G (Giga)} = 10^9$
		$1 \text{ T (Terra)} = 10^{12}$
		$= 10^9 \cdot 10^3 = 10^9 \cdot k$

2) Robert

a) Schau dir das folgende Video an und fülle die Lücke aus:

<https://kurzelinks.de/em8n>

Als Grundeinheit für Energiemengen wird im Alltag in der Regel die Einheit 1 kWh verwendet.



b) Berechne mithilfe des Videos, wie viele „Roberts“ 2,5 Minuten treten müssten, um 1,0 kWh zu erzeugen. *Tipp: Wie viel mechanische Energie (in Kilowattstunden) hat Robert in 2,5 Minuten in elektrische Energie umgewandelt?*

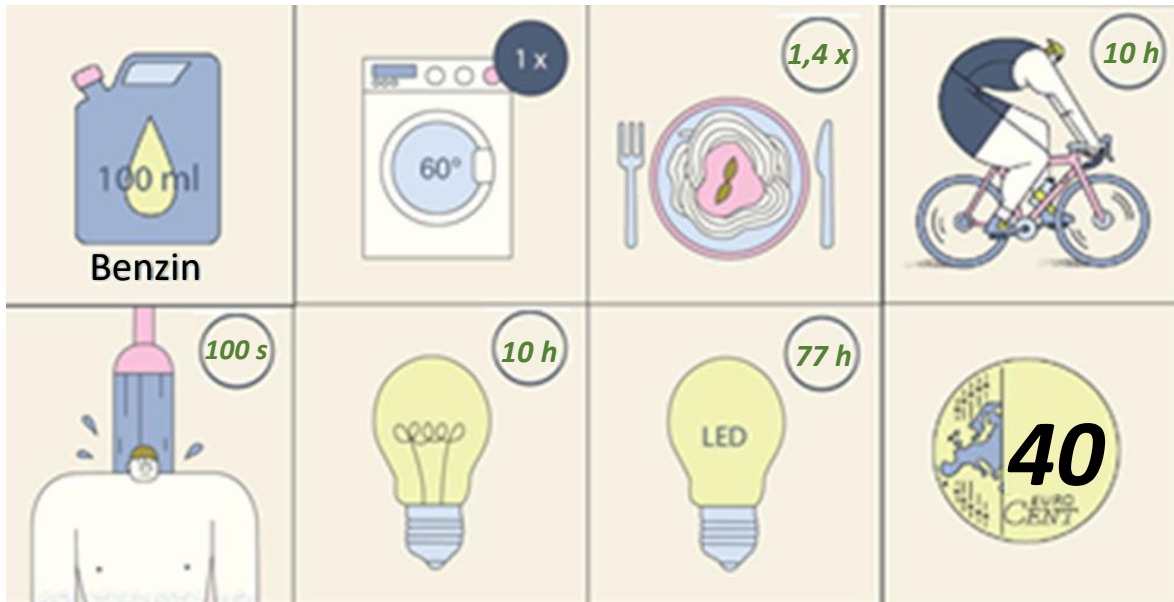
$1 \text{ Robert} \triangleq 0,021 \text{ kWh}$	$\rightarrow$	$1 \text{ Robert} \triangleq 21 \text{ Wh}$	
		$0,048 \text{ Robert} \triangleq 1 \text{ Wh}$	$\swarrow : 21$
		$48 \text{ Robert} \triangleq 1 \text{ kWh}$	$\swarrow \cdot 1000$

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

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 1000 \text{ W} \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ Ws} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

oder so:

$$1 \text{ kWh} = 1 \cdot 1000 \text{ Wh} = 1000 \frac{\text{J}}{\text{s}} \text{ h} = 1000 \frac{\text{J}}{\text{s}} 60 \text{ min} = 1000 \frac{\text{J}}{\text{s}} 60 \cdot 60 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$



- d) Ein untrainierter Radfahrer kann in einer Stunde ungefähr eine Energie von 0,10 kWh umwandeln. Berechne, wie lange der Radfahrer für die Umwandlung von 1,0 kWh treten müsste, und trage die Zeit in den Kreis beim Radfahrer oben in der Grafik ein.

$$1 \text{ h} \triangleq 0,10 \text{ kWh} \\ 10 \text{ h} \triangleq 1,0 \text{ kWh} \quad \cdot 10$$

- e) Eine 100 W-Glühlampe kann durch eine LED ersetzt werden, die eine Leistung von 13 W hat. Berechne die Zeitdauern, wie lange eine solche LED-Lampe und wie lange eine 100 W Glühlampe mit einer elektrischen Energie von 1,0 kWh leuchten kann. Trage die Zeiten in die Grafik bei c) ein.

geg.: $P_G = 100 \text{ W}; P_{LED} = 13 \text{ W}; E_{el} = 1,0 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh}$ ges.: $t_G; t_{LED}$

Lsg.: $P = \frac{E}{t} \quad | \cdot t \quad | : P$

$$t = \frac{E}{P}$$

$$t_G = \frac{1000 \text{ Wh}}{100 \text{ W}} = 10 \text{ h}$$

$$t_{LED} = \frac{1000 \text{ Wh}}{13 \text{ W}} = 77 \text{ h}$$

- f) Für einmal Wäschewaschen wird eine Energie von ca. 1,0 kWh benötigt. Wie lange kann man mit dieser Energie duschen? Wie lange kochen? Suche im Internet nach Antworten (z. B. Duschrechner unter www.verbraucherzentrale.nrw/duschrechner) und trage die Werte in die Grafik oben ein.



Duschen: ca. 3 kWh $\triangleq$ 300 s
1 kWh $\triangleq$ 100 s

1x Nudeln kochen (500 g) $\triangleq$ ca. 700 W
0,14 x ... $\triangleq$ 100 W
1,4 x ... $\triangleq$ 1,0 kW

- g) Überlege dir, warum in der Grafik 100 ml Benzin und 40 ct abgebildet sind!

In 100 ml Benzin ist eine chemische Energie von ca. 1,0 kWh gespeichert.

40 ct ist der durchschnittliche Preis für eine elektrische Kilowattstunde bis 2023 gewesen.

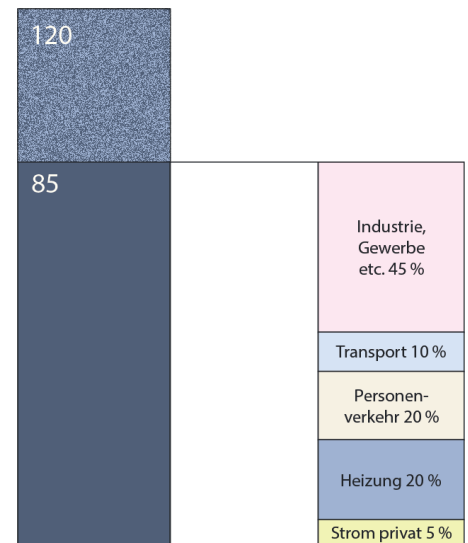
Energieeinheiten oder „Wer ist Robert“? – *Hinweise*

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

Man könnte die Schülerinnen und Schülern an dieser Stelle fragen, wofür sie diese Kilowattstunde verwenden würden, wenn sie nur so viel elektrische Energie an einem Tag zur Verfügung hätten.

Heute beträgt der Gesamtprimärenergiebedarf in Deutschland **120 kWh (pro Tag und pro Person)** davon sind 85 kWh (pro Tag pro Person) Nutzenergie und davon werden 45% „Im Privaten“ verwendet (Heizung, Personenverkehr und privater Strom) siehe Grafik oder AB „Everybody’s Darling: Die Energie“.

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



Quellen und weiterführende Links:



- Die Werte der von Kohlekraftwerk und Kernkraftwerk stammen von <https://www.ndr.de/nachrichten/info/Watt-Das-leisten-die-Anlagen-im-Vergleich,watt250.html>

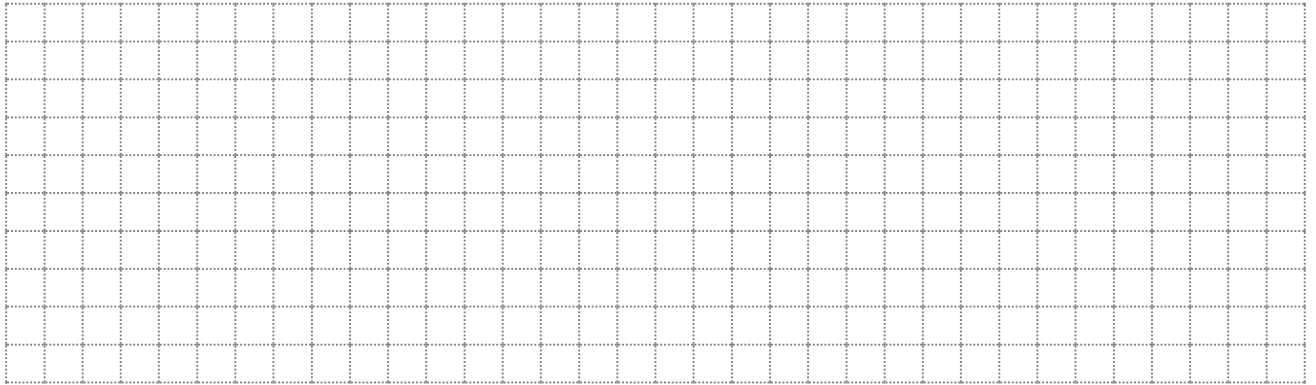


- Das Wasserkraftwerk „Walchenseekraftwerk“ hat einen Jahreserzeugung 300 Gigawattstunden laut <https://www.uniper.energy/de/deutschland/kraftwerke-deutschland/kraftwerksgruppe-isar/walchenseekraftwerk>, das sind $3 \cdot 10^8$ kWh im Jahr, also $0,8 \cdot 10^6$ kWh = $3 \cdot 10^{12}$ J am Tag



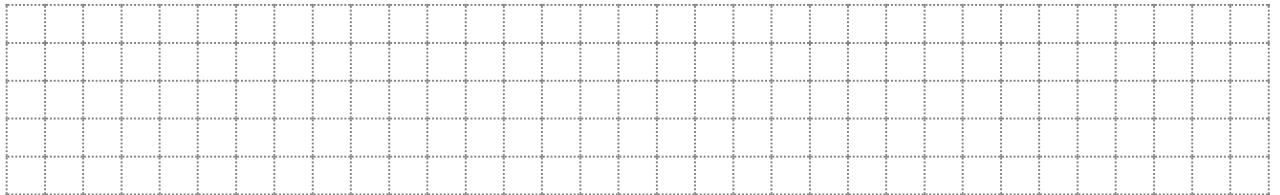
- Bei den Heimsolaranlagen findet man z.B. bei <https://www.swm.de/magazin/ratgeber/groesse-pv-anlage> die Angabe **7,5 kWp** (Kilowatt Peak also Maximalleistung). Wenn man jetzt von 8 Sonnenstunden an einem Tag ausgeht, kommt man auf 60 kWh am Tag. Davon die Hälfte scheint eine plausible Abschätzung. Damit kann man auch gut den Bedarf einer vierköpfigen Familie abdecken.

- 4) Erstelle mit Hilfe der vorherigen Aufgabe ein Energieflussdiagramm über den Energiefluss von Primärenergie über Endenergie zu Nutzenergie in Deutschland! Überlege dir dazu auch, warum welche Verluste auftreten.

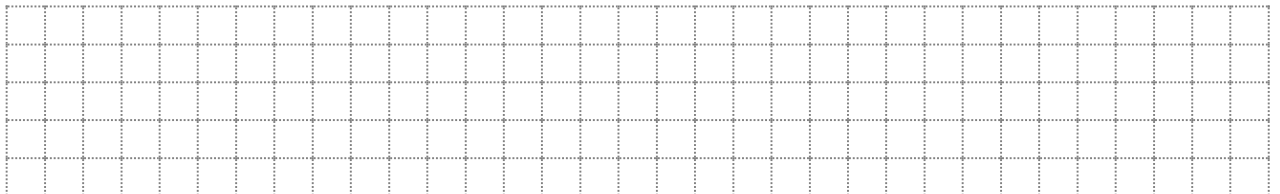


- 5) In Deutschland betrug der gesamte Bedarf an Primärenergie in den letzten Jahren in etwa 13 000 PJ pro Jahr, der Bedarf an Endenergie betrug ca. 9000 PJ (*Peta* = $P = 10^{15}$).

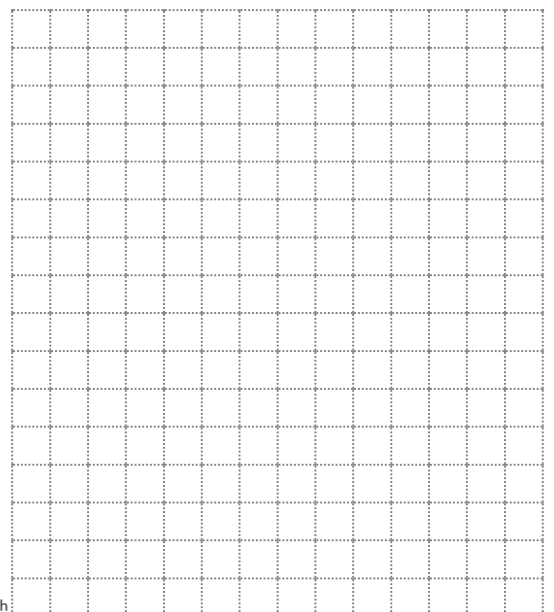
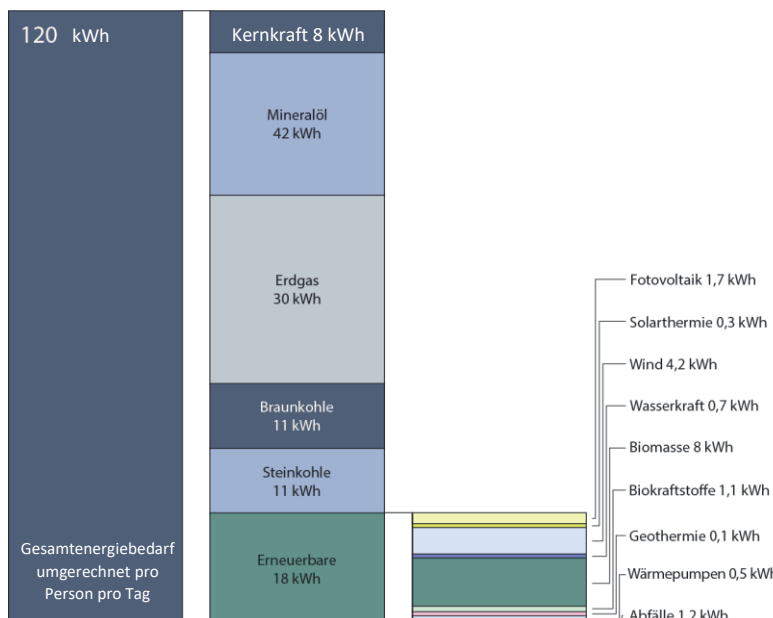
- a) Berechne den Bedarf an Primärenergie und den Bedarf an Endenergie in der Einheit kWh.



- b) Berechne, wie hoch der Bedarf an Primärenergie und Endenergie jeder der 80 000 000 Einwohner Deutschlands im Durchschnitt pro Tag ist.



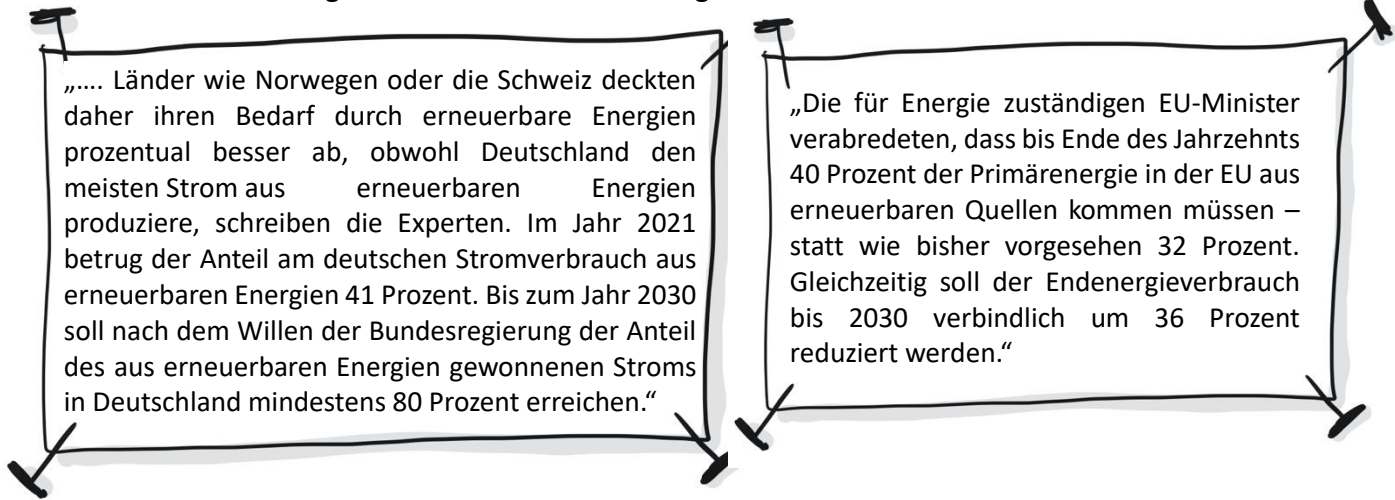
- 6) Berechne mithilfe des Diagramms, wie viel Prozent die erneuerbaren Energien in Bezug auf den Gesamtenergiebedarf ausmachen. Was folgerst du daraus für den Ausbau der erneuerbaren Energien?



Energiebedarf und Energieflussdiagramme in Deutschland

Lösungen

- 1) Betrachte die Textauszüge aus verschiedenen Zeitungen¹.



- a) Überlege, warum in den Artikeln jeweils unterschiedliche Prozentzahlen für den Anteil erneuerbarer Energien angegeben werden.

*Die Anteile beziehen sich auf unterschiedliche Arten von Energieformen.
Im ersten Artikel bezieht man sich auf el. Energie,
im zweiten Artikel auf den Gesamtenergiebedarf.*

- b) Was versteht man unter Primärenergie und Endenergie?

*Primärenergie: Energieform, die natürlich vorkommt (gebunden in Erdöl, Kohle, Gas, ...)
Endenergie: Energieform, die beim Nutzer vorliegt*

- 2) Beim Laden eines Elektrofahrzeuges weist die Ladesäule eine höhere Anzahl an Kilowattstunden aus, als sich aus den Bordcomputerangaben zu Reichweite und dem durchschnittlichen Strombedarf errechnen lässt. Wie lässt sich diese Differenz erklären?

*Nur ein Teil der Energie, die geladen wird, kann auch in Bewegungsenergie umgewandelt wird.
Ein Teil wird in Wärme etc. umgewandelt.*

- 3) Ergänze die Tabelle mit den folgenden Begriffen:

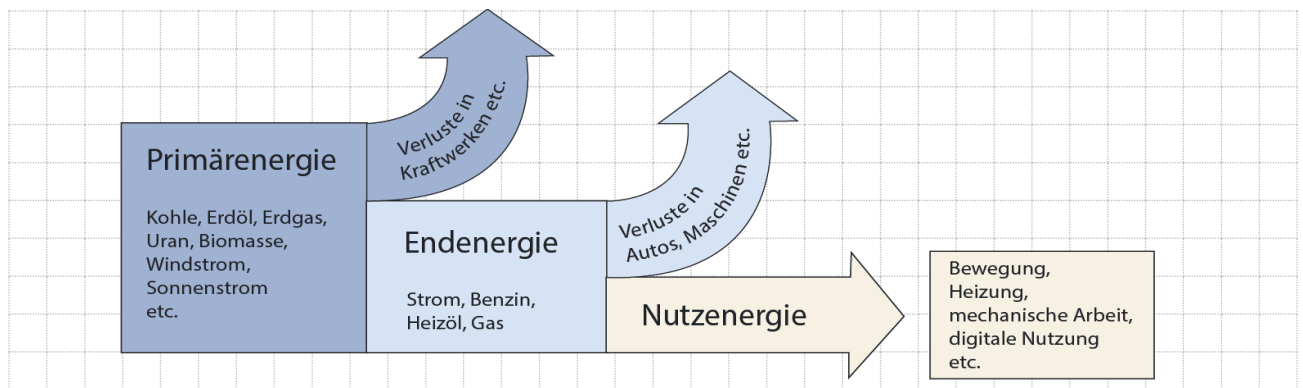
Erdgas, Erdöl, Kohle, Gas, Strom im Stromnetz, Uran, Benzin, digitale Nutzung, Nutzenergie, Erdgas.

Energieform	Energieträger bzw. Nutzungsform
Primärenergie	Kohle, Erdgas, Uran, Erdöl
Endenergie	Erdgas, Benzin, Strom im Stromnetz
Nutzenergie	Bewegung des Autos, Digitale Nutzung

¹ <https://www.spiegel.de/wirtschaft/erneuerbare-energien-eu-laender-einigen-sich-auf-schnelleren-ausbau-a-5789fcc1-8f16-4845-97db-7bf2cc32fcd>
<https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/strom-deutschland-wird-beim-umbau-des-strommarkts-ueberholt-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-221130-99-7116535>

Quelle der Daten: https://www.bmwk.de/SiteGlobals/BMWI/Forms/Listen/Publikationen/Publikationen_Formular.html durch Suchen nach entsprechenden Suchbegriffen:
https://www.bmwk.de/SiteGlobals/BMWI/Forms/Listen/Publikationen/Publikationen_Formular.html?input=178168>p=181404_list%253D2&resourcelid=180482&cl2Categories_LeadKeyword.GROUP=1&cl2Categories_LeadKeyword=energie&selectSort.GROUP=1&selectTimePeriod.GROUP=1&cl2Categories_Typ.GROUP=1&pageLocale=de

- 4) Erstelle mit Hilfe der vorherigen Aufgabe ein Energieflussdiagramm über den Energiefluss von Primärenergie über Endenergie zu Nutzenergie in Deutschland! Überlege dir dazu auch, warum welche Verluste auftreten.



- 5) In Deutschland betrug der gesamte Bedarf an Primärenergie in den letzten Jahren in etwa 13 000 PJ pro Jahr, der Bedarf an Endenergie betrug ca. 9000 PJ (Peta = P = 10^{15}).

- a) Berechne den Bedarf an Primärenergie und den Bedarf an Endenergie in der Einheit kWh.

$$13\,000 \cdot 10^{15} \text{ J} = (13\,000 \cdot 10^{15} : 3,6 \cdot 10^6) \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^{12} \text{ kWh}$$

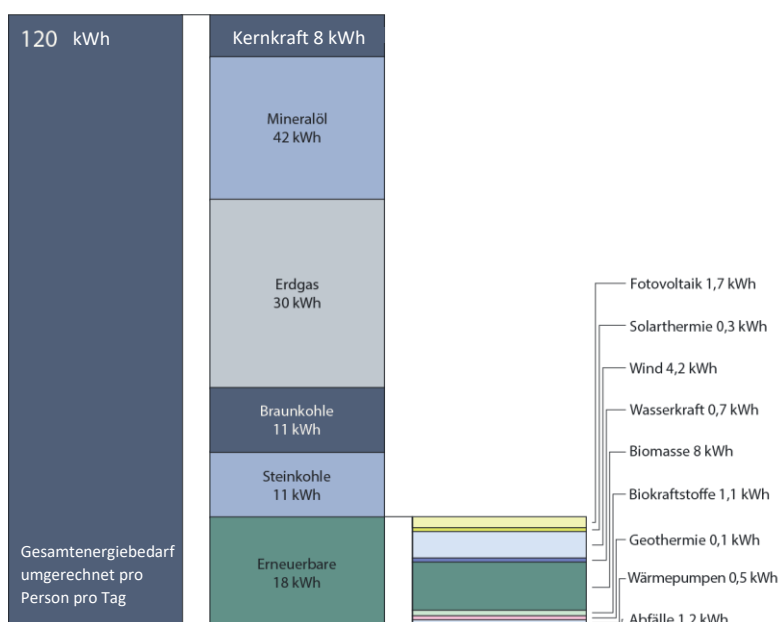
$$9\,000 \cdot 10^{15} \text{ J} = (9\,000 \cdot 10^{15} : 3,6 \cdot 10^6) \text{ kWh} = 2,5 \cdot 10^{12} \text{ kWh}$$

- b) Berechne, wie hoch der Bedarf an Primärenergie und Endenergie jeder der 80 000 000 Einwohner Deutschlands im Durchschnitt pro Tag ist.

$$3,6 \cdot 10^{12} \text{ kWh} : 365 : 80.000.000 \approx 120 \text{ kWh}$$

$$2,5 \cdot 10^{12} \text{ kWh} : 365 : 80.000.000 \approx 86 \text{ kWh}$$

- 6) Berechne mithilfe des Diagramms, wie viel Prozent die erneuerbaren Energien in Bezug auf den Gesamtenergiebedarf ausmachen. Was folgerst du daraus für den Ausbau der erneuerbaren Energien?



Der Anteil der erneuerbaren Energien

$$\frac{18 \text{ kWh}}{120 \text{ kWh}} = 0,15 = 15 \%$$

Der Anteil an Kernkraft und fossilen Energieträgern beträgt 85 %

→ Die erneuerbaren Energien müssen dringend ausgebaut werden.

→ Der Gesamtenergiebedarf muss gesenkt werden.

1) Artikel der Esslinger Zeitung vom 27.2.2015

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

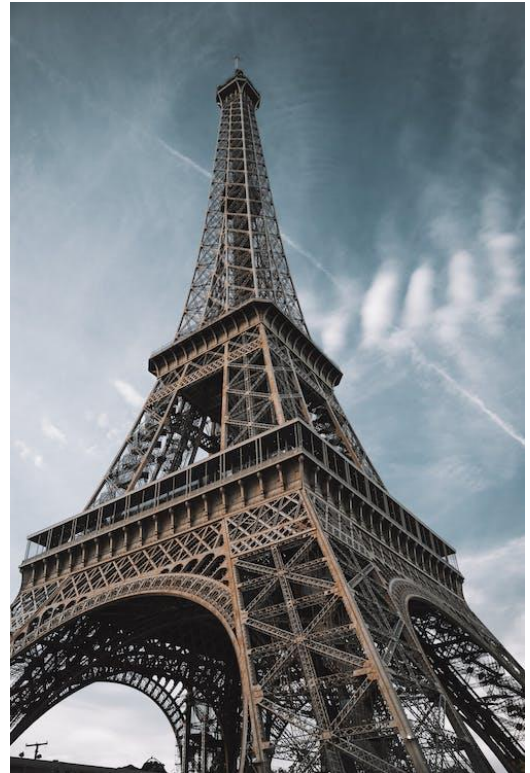


Foto: Alex Azabache über pexels.com

a) In diesem Zeitungsartikel sind einige physikalische Fehler, so dass die Aussage so keinen Sinn macht. Versuche den Text richtig zu stellen.

b) Berechne die elektrische Leistung des Eiffelturms. ($E_{el} = 6,7 \text{ GWh pro Jahr}$)



- 2) eLife, ein Label des Energieversorgers Vattenfall, wirbt auf seiner Homepage mit innovativen Ideen. Eine davon ist die folgende:

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:



Foto: pxhere.com/nl/photo/841473 (CC0)

Im Schnitt tritt ein Studiobesucher auf dem Ergometer (Fahrrad-Hometrainer) 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. ¹

Aufgaben:

- a) Auch dieser Text ist physikalisch nicht korrekt. Berichtige den Text so, wie er wahrscheinlich gedacht ist.
- b) Im Internet wurden folgende Daten zu Produktion und Betrieb eines durchschnittlichen Smartphones ermittelt: ²

Akkukapazität	Akkulaufzeit	Energiebedarf für die Akkuproduktion	Kosten für 1 kWh el. Energie
3,0 Wh	15 h	220 kWh	40 ct

Das Ergometer soll nun 30 Minuten lang betrieben werden. Berechne, wie oft man mit der dadurch bereitgestellten elektrischen Energie den Akku eines Smartphones aufladen könnte.

- c) Berechne die Kostenersparnis, die sich aus diesem halbstündigen Betrieb des Ergometers ergibt.
*Tipps: Rechne zuerst die „ertrampelte“ Energie in die Einheit kWh um.
 Ermittle daraus und mithilfe der Tabelle aus b) den Preis.*



¹ <https://www.vattenfall.de/infowelt-energie/green-gym-smartphone-akku-laden>

² <https://www.computerbild.de/artikel/cb-Tests-Handys-mit-langer-Akkulaufzeit-Test-5643959.html>

Energie, Leistung und Größenordnungen: Bewertung von Informationen – *Lösungen*

1) Artikel der Esslinger Zeitung vom 27.2.2015

Eiffelturm ein Windrad

*Der Eiffelturm in Paris „erzeugt“ jetzt auch el. Energie aus
Der Eiffelturm in Paris erzeugt jetzt auch Strom aus
Windkraft... Nach Angaben der Betreibergesellschaft
Windkraft... Nach Angaben der Betreibergesellschaft
sollen damit jährlich 10 000 kWh el. Energie „produziert“
sollen damit jährlich 10 000 kWh Strom produziert
werden. Pro Jahr „verbraucht“ der 324 Meter hohe
werden. Pro Jahr verbraucht der 324 Meter hohe
Touristenmagnet etwa 6,7 GWh elektrische Energie.
Touristenmagnet etwa 6,7 Gigawatt Strom.*

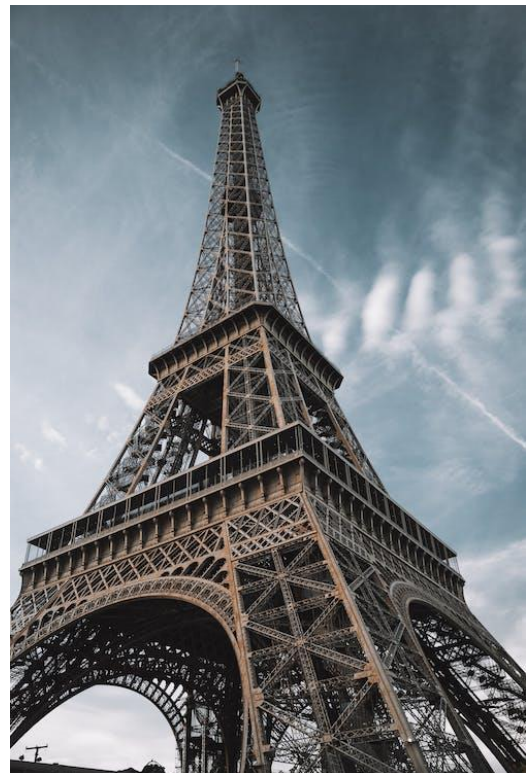


Foto: Alex Azabache über pexels.com

Aufgaben:

- a) In diesem Zeitungsartikel sind einige physikalische Fehler, so dass die Aussage so keinen Sinn macht. Versuche den Text richtig zu stellen.

Lösungshinweise:

In Watt bzw. GW wird die Leistung angegeben. Die Leistung gibt an, wie viel Energie pro Zeit umgesetzt wird. Es macht gar keinen Sinn zu sagen, pro Jahr wird Leistung verbraucht.

Das wäre, wie wenn man sagen würde:

„Mein BMW hat pro Jahr eine Leistung von 120 PS“ Wie viel hat er dann im Monat?

Sinnvoll wäre entweder:

Der Eiffelturm benötigt für den Betrieb 6,7 Gigawatt, was aber viel zu viel ist, da es der Leistung von 6 Kernkraftwerken entspricht.

Wahrscheinlich ist gemeint, dass der Eiffelturm 6,7 GWh pro Jahr benötigt.

- b) Berechne die elektrische Leistung des Eiffelturms. ($E_{el} = 6,7 \text{ GWh pro Jahr}$)

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

- c) Ein ähnlicher Zeitungsartikel bei Spiegel online hieß „Grünes Paris: Eiffelturm produziert grüne Windenergie“. Welcher Eindruck wird in diesen Artikeln erweckt? Begründe.

Es wird der Eindruck erweckt, dass die Installation der Windkraftanlage einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende hat. Dieser Eindruck entsteht, weil der Ausdruck „grünes Paris“ verwendet wird und weil die relativ große Energie von 10 000 kWh genannt wird. Der Eindruck ist nicht gerechtfertigt, da 10 000 kWh nur 0,15 % von 6,7 GWh beträgt, der Beitrag des Windrades also sehr wenig ist.

- 2) eLife, ein Label des Energieversorgers Vattenfall, wirbt auf seiner Homepage mit innovativen Ideen. Eine davon ist die folgende:

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:



Foto: pxhere.com/nl/photo/841473 (CC0)

Im Schnitt tritt ein Studiobesucher auf dem Ergometer (Fahrrad-Hometrainer) mit 80 Watt in die Pedale. Eine halbe Stunde auf dem Gerät bringen knapp 40 ~~Watt Leistung~~ ^{Wh (Wattstunden) an Energie}, was für die Aufladung eines Handys gleich mehrfach reicht. ¹

Aufgaben:

- a) Auch dieser Text ist physikalisch nicht korrekt. Berichtige den Text so, wie er wahrscheinlich gedacht ist.

Hinweis zur Lösung: In einer Zeit kann man keine Leistung erbringen, sondern man kann nur während der Zeit die gleiche Leistung erbringen. Übersetzt auf ein Auto wäre die Aussage: Ein 80 PS starkes Auto erbringt in einer halben Stunde knapp 40 PS. Das ist natürlich Unsinn.

- b) Im Internet wurden folgende Daten zu Produktion und Betrieb eines durchschnittlichen Smartphones ermittelt: ²

Akkukapazität	Akkulaufzeit	Energiebedarf für die Akkuproduktion	Kosten für 1 kWh el. Energie
3,0 Wh	15 h	220 kWh	40 ct

Das Ergometer soll nun 30 Minuten lang betrieben werden. Berechne, wie oft man mit der dadurch bereitgestellten elektrischen Energie den Akku eines Smartphones aufladen könnte.

$\frac{1}{2} h \triangleq 40 Wh$	$40 Wh : 3,0 Wh = 13$	Man könnte den Akku ca. 13-mal aufladen.
----------------------------------	-----------------------	--

- c) Berechne die Kostenersparnis, die sich aus diesem halbstündigen Betrieb des Ergometers ergibt. Tipps: Rechne zuerst die „ertrampelte“ Energie in die Einheit kWh um. Ermittle daraus und mithilfe der Tabelle aus b) den Preis.

$$40 Wh = 0,04 kWh \quad 1 kWh \triangleq 40 ct \quad \rightarrow \quad 0,04 kWh = 40 \frac{ct}{kWh} \cdot 0,04 kWh = 1,6 ct$$

Hinweis zur Lösung: Die Kostenersparnis ist sehr gering. Ökologisch ist der Beitrag auch überschaubar, da die Produktion einen Energiebedarf von 220 kWh hat, das heißt eine Aufladung entspricht 0,02 % des Energiebedarfs für die Produktion. Wenn man 2 Jahre lang jeden Tag das Handy so auflädt, hat man nur 14 % der Energie gewonnen, die das Handy bei der Produktion verursacht hat.

¹ <https://www.vattenfall.de/infowelt-energie/green-gym-smartphone-akku-laden>

² <https://www.computerbild.de/artikel/cb-Tests-Handys-mit-langer-Akkulaufzeit-Test-5643959.html>

3. Erneuerbare Energien

In diesem Kapitel werden die folgenden regenerativen Energiegewinnungsmöglichkeiten behandelt:

- die Wasserkraft,
- die Windkraft,
- die Sonnenenergie und
- die Biomasse.

Jede Energiequelle kann einen Beitrag dazu leisten, dass der Energiebedarf Deutschlands durch erneuerbare Energien gedeckt wird.

Mithilfe einfacher Modellierungsaufgaben werden jeweils die maximal mögliche elektrische Energie, die pro Tag und Person bereitgestellt werden kann, ermittelt.

Ergebnisse:

- Wasserkraft: 3,5 kWh (pro Person und Tag)
- Windkraft: 40 kWh (pro Person und Tag)
- Sonnenenergie: 28 kWh (pro Person und Tag)
- Biomasse: 12 kWh (pro Person und Tag)

3.0 Leitfaden:

Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien

In diesem Arbeitsblatt können die während der Unterrichtsstunden erzielten Ergebnisse gesammelt und eingetragen werden. In der vereinfachten Deutschlandkarte auf der Rückseite werden die benötigten Flächen schematisch dargestellt, indem die jeweils passende Anzahl von Kästchen ausgemalt wird.

Leitfaden:

Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien

Im Unterrichtsverlauf wirst du mehrere regenerative Energiequellen kennenlernen. Jede Energiequelle kann einen Beitrag dazu leisten, dass der Energiebedarf Deutschlands durch erneuerbare Energien gedeckt wird. Ergänze dieses Arbeitsblatt während der Unterrichtsstunden und trage die benötigten Flächen in der vereinfachten Deutschlandkarte auf der Rückseite ein, indem du jeweils eine passende Anzahl an Kästchen ausmalst. Trage auch den Beitrag jeder Energie zur „Energiebilanz der Zukunft“ ein.

1. Der Energiebedarf Deutschlands heute (siehe AB „Energiebedarf und Energieflussdiagramme in D.“)

- Ergänze die Größe des heutigen Primärenergiebedarfs pro Person und Tag (siehe Rückseite).
- Stelle die bisherige Aufteilung dieser Energie auf die unterschiedlichen Energieformen dar, indem du sie mit verschiedenen Farben im Balkendiagramm einträgst.

2. Mögliche Beiträge erneuerbarer Energien in der Zukunft

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

a. Solarenergie (siehe Arbeitsblatt „Abschätzung des Beitrags der Solarenergie“)

mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

benötigte Fläche: _____ km²

b. Wasserkraft (siehe Arbeitsblatt „Wie viel el. Energie kann man in Deutschland durch Wasserkraft maximal bereitstellen?“)

mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

benötigte Fläche: _____ km²

c. Windenergie (siehe Arbeitsblatt „Wind of Change...“)

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

mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

benötigte Fläche: _____ km² (onshore) _____ km² (offshore)

d. Biomasse (siehe Arbeitsblatt „Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende“)

mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

benötigte Fläche: _____ km²

e. Geothermie

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

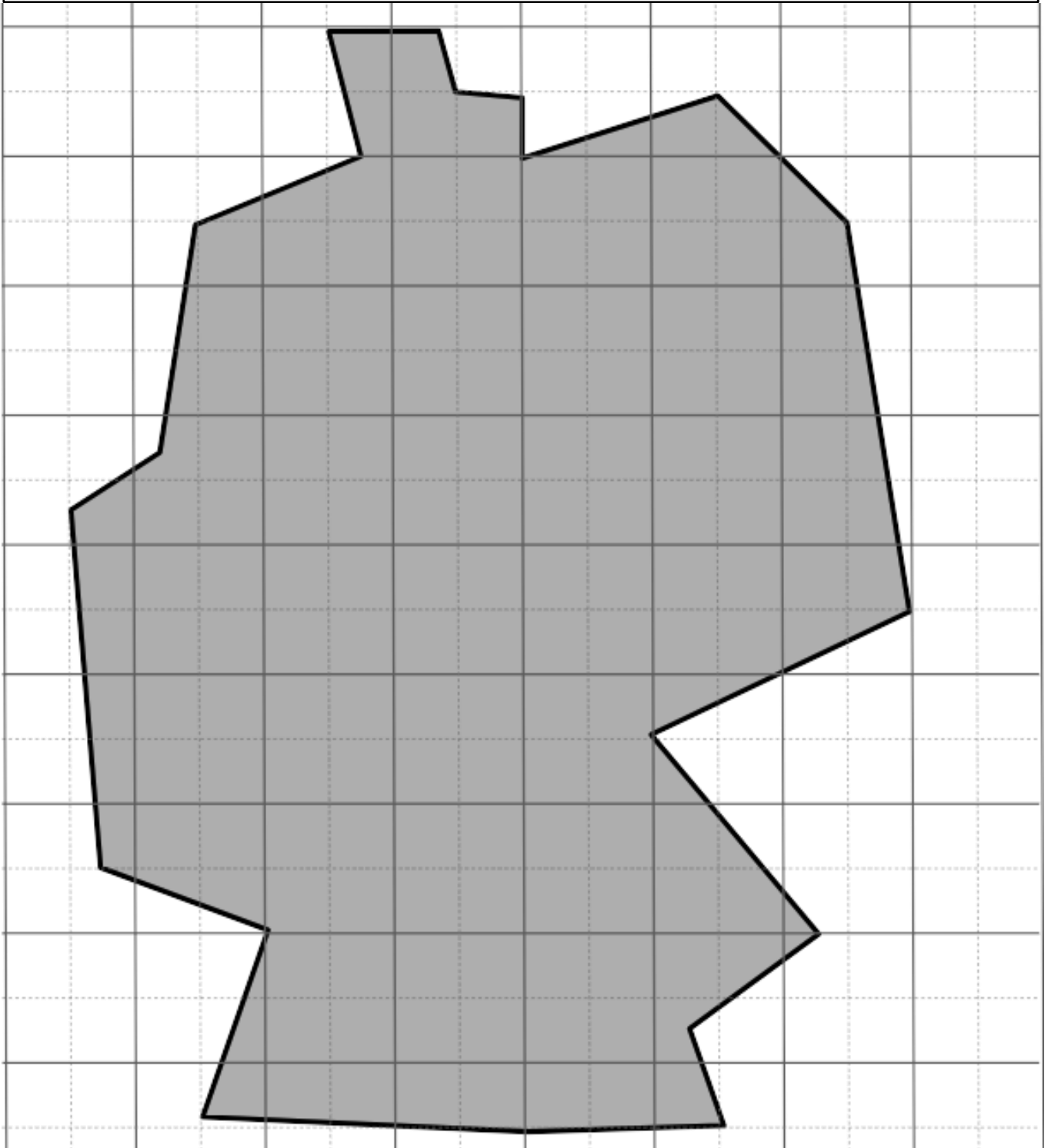
benötigte Fläche: vernachlässigbar wenig (entspricht ca. einem kleinen Kästchen)

f. Weitere Energieformen (optional)

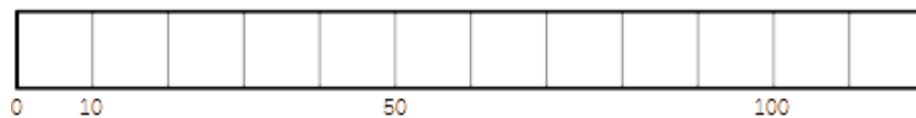
- 1) Recherchiere welche weiteren Formen an erneuerbarer Energie es gibt und gib Gründe an, wieso diese keinen nennenswerten Beitrag zur Energiewende liefern.
- 2) Recherchiere, ob Kernfusion eine realistische Energiequelle zur Lösung der Energiekrise innerhalb der nächsten 10-20 Jahre darstellt.

Ein großes Kästchen entspricht bei einer Kantenlänge von 100 km einer Fläche von $100 \text{ km} \cdot 100 \text{ km} = 10\,000 \text{ km}^2$.

Ein kleines Kästchen entspricht bei einer Kantenlänge von 50 km einer Fläche von $50 \text{ km} \cdot 50 \text{ km} = 2\,500 \text{ km}^2$.



Energiebedarf und Energiemix heute:



0 10 50 100

_____ kWh pro Person und Tag

möglicher Energiemix der Zukunft:



0 10 50 100

_____ kWh pro Person und Tag

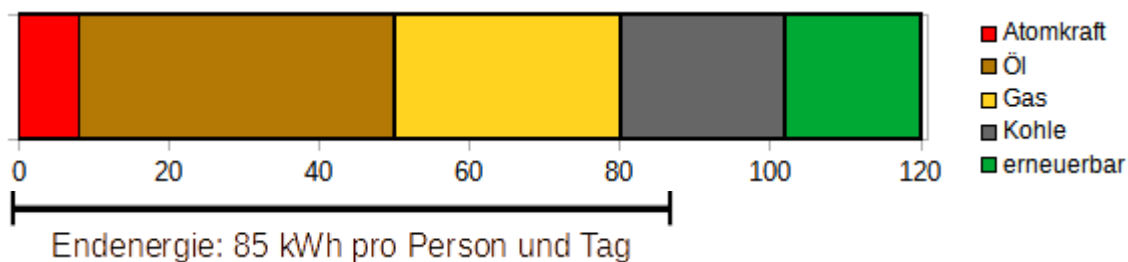
Leitfaden: Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien - Lösungen

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

1. Der Energiebedarf Deutschlands heute

1 cm entspricht 10 kWh pro Person und Tag

Primärenergiebedarf Deutschland: 120 kWh pro Person und Tag



2. Erneuerbare Energien

a. Solarenergie

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

benötigte Fläche: **5 000 km²**

b. Windenergie

mögliche Endenergie: **40 kWh (20 kWh onshore und 20 kWh offshore) pro Person und Tag**

benötigte Fläche: **26 000 km² onshore / 13 000 km² offshore**

5-facher Rotordurchmesser (160 m) Abstand, 40 000 Windräder onshore, 20 000 offshore

onshore $(0,16 \text{ km} \cdot 5)^2 \cdot 40\,000 = 25\,600 \text{ km}^2$, offshore analog 12.800 km²

c. Wasserkraft

mögliche Endenergie: **3,5 kWh pro Person und Tag**

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

3500 km² nach [statistischem Bundesamt](http://www.destatis.de) (www.destatis.de)

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

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

benötigte Fläche: **95 000 km² / 107 000 km²**

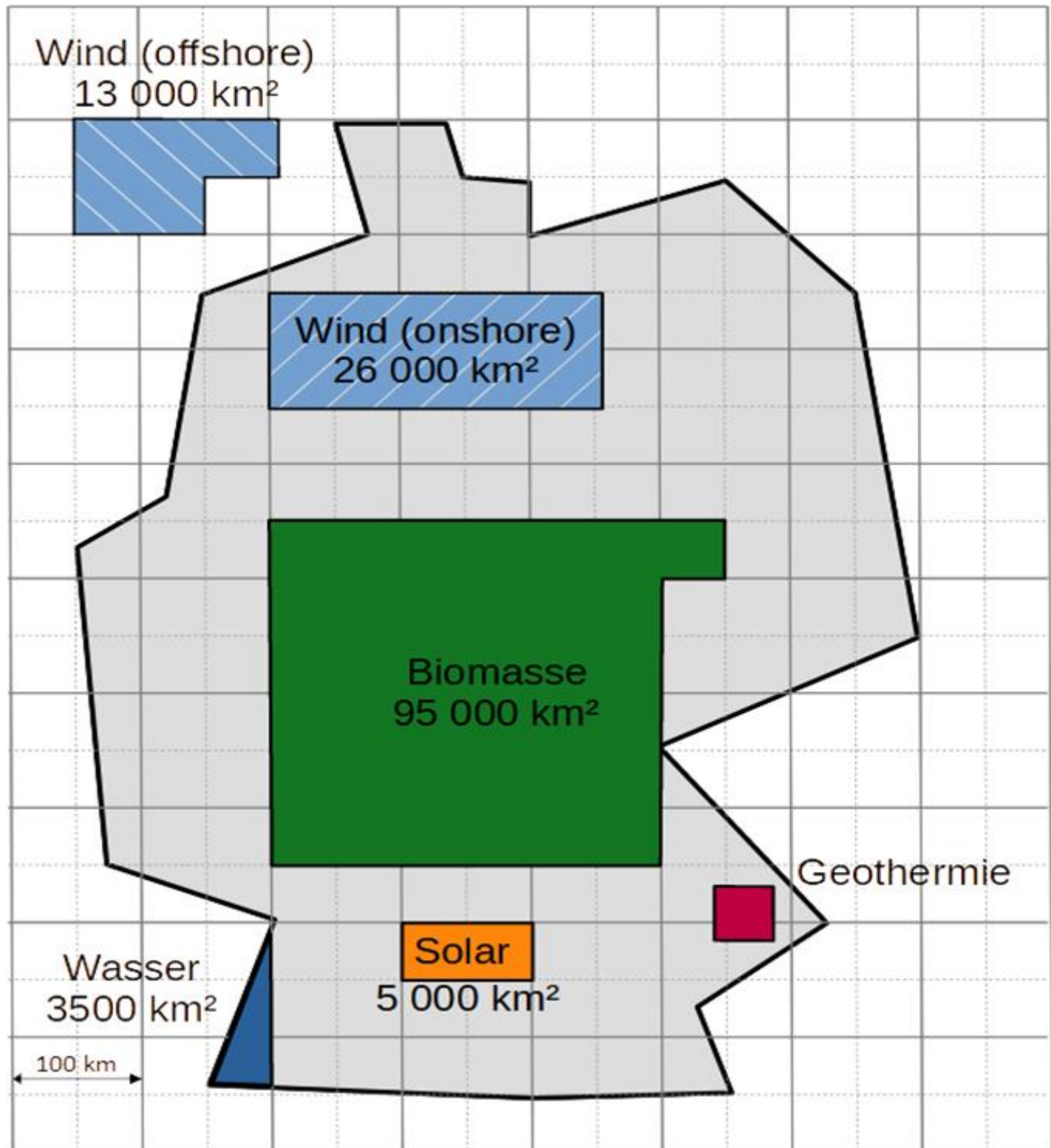
50 % der Waldfläche = $0,5 \cdot 0,33 \cdot 357\,000 \text{ km}^2 = 58\,905 \text{ km}^2$

20 % der LNF = $0,2 \cdot 0,5 \cdot 357\,000 \text{ km}^2 = 35\,700 \text{ km}^2$

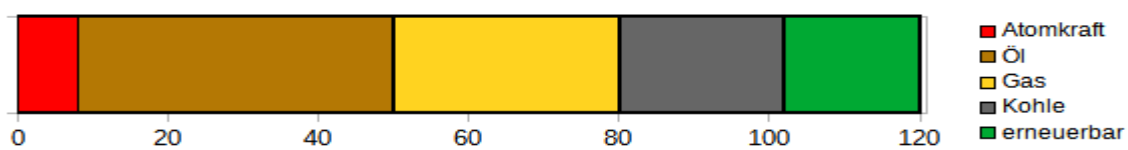
e. Geothermie

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

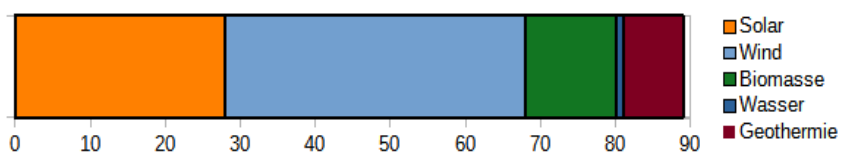
benötigte Fläche: vernachlässigbar wenig (entspricht ca. ein kleines Kästchen)

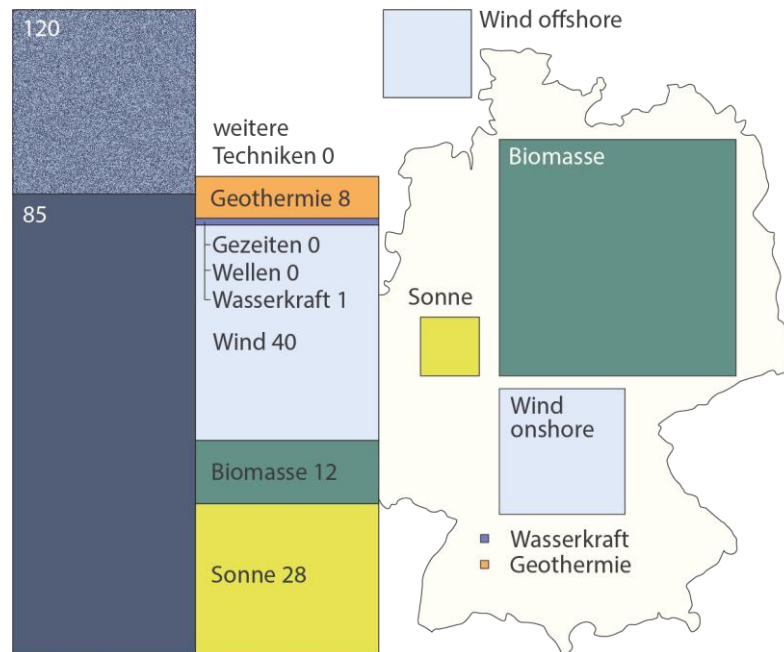


Energiebedarf Deutschland heute:



möglicher Energiemix der Zukunft:





Darstellung der Beiträge der erneuerbaren Energien

f) Weitere Energieformen (optional) (siehe Buch Seiten 88 - 105, 155 - 158)

- **Wellenkraftwerke**

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

- **Gezeitenkraftwerke**

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

- **Kernfusion**

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

Hinweise und Ausblicke

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

Dies bietet auch einen sehr guten Anknüpfungspunkt, um die grobe physikalische Abschätzung auf ein höheres Niveau zu heben, in dem man auf die Eigenheiten der Energieträger abzielt, insbesondere im Hinblick auf Bereitstellung und Nutzung von elektrischer Energie sowie der Unterscheidung zwischen Grundlast und Regenergie im Stromnetz. Letzteres ist neben der Bereitstellung von kohlenstoffbasierten Materialien für die chemische Industrie [zur Legitimation des Biomasseanteils](#) nötig.

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

3.1 Wasserkraft

Anhand des durchschnittlichen Niederschlags gibt es eine interessante Möglichkeit, Deutschlands Potential an Wasserkraft abzuschätzen. Man stellt fest, dass dieses Potential nur bei ca. 3,5 kWh pro Person und Tag liegt, selbst wenn man es vollständig abschöpfen würde. Das ist gemessen an 120 kWh pro Person und Tag sehr wenig, die Deutschland täglich nutzt. Es zeigt den Schülerinnen und Schülern auch, dass Vorschläge wie z. B. "einfach Österreich und Norwegen nachzumachen" unrealistisch sind.



In den Büchern:



S. 74-
86



S. 86-92

Los geht's:

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

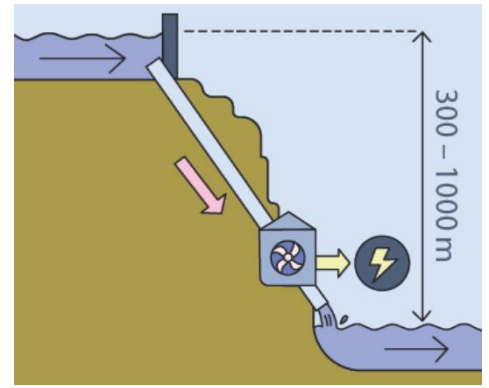
- Arbeitsblatt „Energiegewinnung in einem Wasserkraftwerk“ (2 Seiten)
- Lösungen (2 Seiten)
- Quellen und Hinweise (1 Seite)
- Arbeitsblatt mit gestuften Hilfen „Wieviel el. Energie kann man in Deutschland durch Wasserkraft maximal bereitstellen?“ (4 Seiten, evtl. als Broschüre auf einem DinA3-Bogen kopieren, dazwischen eine Lösungsseite als Kopiervorlage mit Hilfekärtchen und Lösungen zum Einkleben)
- Lösungen (1 Seite)
- Ausblicke und Experimente (1 Seite)

Hinweise zum Arbeitsblatt

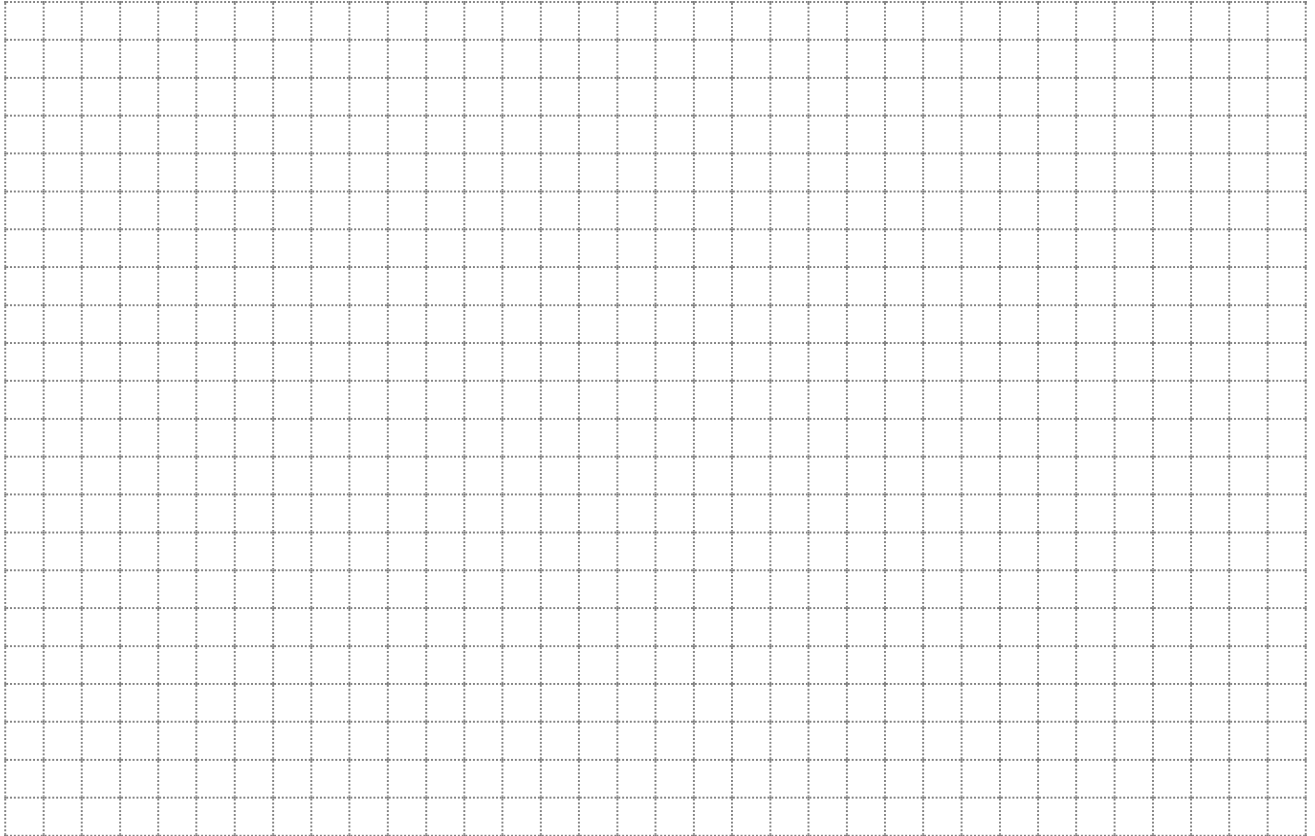
„Wieviel el. Energie kann man in Deutschland durch Wasserkraft maximal bereitstellen?“

Die Aufgabe 1 dieses Arbeitsblattes bietet je nach Voraussetzungen der Klasse verschiedene Durchführungsmöglichkeiten:

- Bearbeitung ohne weitere Hilfen
- Verwendung von gestuften Hilfen in verschiedenen Varianten:
 - Lehrkraft teilt Kärtchen mit dem jeweils nächsten Schritt aus, wenn der vorherige Schritt erledigt wurde;
 - Vergabe aller gestuften Hilfekärtchen auf einmal (z.B. in einem Kuvert), Schüler und Schülerinnen schauen bei Bedarf und nach eigenem Ermessen nach;
 - Hilfekärtchen werden einmalig, also nicht für jeden einzelnen, angeboten (z.B. auf dem Pult) und können bei Bedarf und nach eigenem Ermessen angeschaut werden;
- Bearbeitung der Tabelle mit eingetragenen Anleitungen zum jeweils nächsten Schritt.

A large grid of graph paper with 20 columns and 10 rows. The grid is composed of small squares, with each square measuring 1 cm by 1 cm. The grid is used for drawing and calculations.

- 3) Der Höhenunterschied der beiden Seen beträgt 200 m. Gehe davon aus, dass $\frac{1}{4}$ der Energie bei der Turbine in Wärme umgewandelt wird. Berechne die maximale elektrische Energie, die das Walchenseekraftwerk pro Tag liefern kann. *Tipp: Wenn du nicht mehr weißt wie man das Volumen des Wassers in die Masse umwandelt oder wie man die Einheit J (Joule) in die Einheit kWh (Kilowattstunde) umwandelt, dann sieh dir die Hilfekarte 1 an.*



- 4) In der Realität produziert das Kraftwerk eine elektrische Energiemenge von ca. $300 \cdot 10^6 \text{ kWh}$ pro Jahr. Vergleiche den in Aufgabe 3 berechneten Wert mit dem tatsächlichen Wert. Begründe diesen Unterschied.

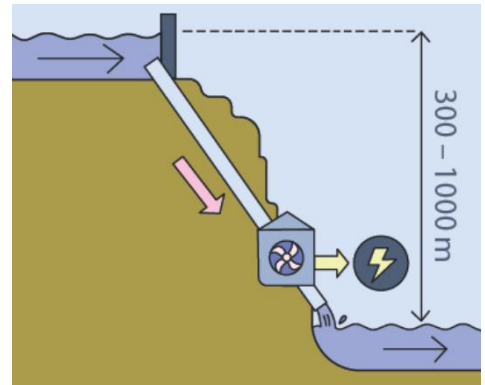


Hilfekarte:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ kW s} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ kW} \cdot \frac{1}{60 \cdot 60} \text{ h} = 2,78 \cdot 10^{-7} \text{ kWh}$$

Berechnung der Masse von Wasser: $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ l} \triangleq 1000 \text{ kg} = 1 \cdot 10^3 \text{ kg} = 1 \text{ t}$

Energiegewinnung in einem Wasserkraftwerk – *Lösungen*



- 1) Hier siehst du die schematische Abbildung eines Wasserkraftwerks.
- a) Formuliere den Verwendungszweck und die Funktionsweise eines solchen Kraftwerks.

Das Ziel eines Kraftwerks ist es, Energie in elektrischer Energieform bereitzustellen.

Beim Speicherwasserkraftwerk wird Wasser in einem höher gelegenen See erst gestaut und bei Bedarf über Fallrohre in einen tiefer gelegenen See abgelassen. Dabei werden Turbinen und Generatoren angetrieben.

- b) Nenne alle auftretenden Energieumwandlungen.

Umwandlung von Lageenergie (Wasser in einem höher gelegenen See) in kinetische Energie (Wassers in den Fallröhren).

→ Umwandlung in kinetische Energie von Turbine und Generator

→ Umwandlung in elektrische Energie

(zusätzliche Umwandlung in Wärmeenergie bei jedem Umwandlungsprozess)

- 2) Im Walchensee befinden sich $13 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ Wasser. Von dort rauschen pro Tag $7,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ durch die Turbinen in den Kochelsee. Dieser hat ein Wasservolumen von $184 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

- a) Schreibe alle gegebenen Größen raus und unterstreiche diejenigen, die du davon für die Berechnung der potenziellen Energie (Lageenergie) benötigst.

$V_{\text{See oben}} = 13 \cdot 10^8 \text{ m}^3$

$g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

$V_{\text{Turbinen}} = 7,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

$V_{\text{See unten}} = 184 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Die Angaben der Wassermengen in den Seen sind unwichtig. Wichtig ist die Wassermenge, die durch die Turbinen fließt (Masse des Wassers).



- b) Erkläre, warum die Angaben nicht ausreichen, um die Energie zu berechnen.

Es fehlt der Höhenunterschied h zwischen den Seen: $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$.

- 3) Der Höhenunterschied der beiden Seen beträgt 200 m. Gehe davon aus, dass $\frac{1}{4}$ der Energie bei der Turbine in Wärme umgewandelt wird. Berechne die maximale elektrische Energie, die das Walchenseekraftwerk pro Tag liefern kann. *Tipp: Wenn du nicht mehr weißt wie man das Volumen des Wassers in die Masse umwandelt oder wie man die Einheit J (Joule) in die Einheit kWh (Kilowattstunde) umwandelt, dann sieh dir die Hilfekarte 1 an.*

geg.: $V_{\text{Turbinen}} = 7,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \rightarrow m_{\text{Wasser}} = 7,3 \cdot 10^9 \text{ kg}; \quad h = 200 \text{ m}; \quad g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

ges.: E_{pot}

Lsg.: $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$

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

$$E_{\text{pot}} = 1,4 \cdot 10^{13} \text{ J} = 4,0 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

$\frac{1}{4}$ davon: $W_{\text{th}} = 1,0 \cdot 10^6 \text{ kWh}$

$$E_{\text{el}} = E_{\text{pot}} - W_{\text{th}} = 4,0 \cdot 10^6 \text{ kWh} - 1,0 \cdot 10^6 \text{ kWh} = 3,0 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

Alternative über $\eta = 1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4} = 0,75$:

$$E_{\text{el}} = 0,75 \cdot E_{\text{pot}} = 0,75 \cdot 4,0 \cdot 10^6 \text{ kWh} = 3,0 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

- 4) In der Realität produziert das Kraftwerk eine elektrische Energiemenge von ca. $300 \cdot 10^6 \text{ kWh}$ pro Jahr. Ermittle daraus die elektrische Energiemenge pro Tag und vergleiche diesen Wert mit dem in Aufgabe 3 berechneten Wert. Begründe diesen Unterschied.

$$E_{\text{el pro Tag}} = 300 \cdot 10^6 \text{ kWh} : 365 = 822 \cdot 10^3 \text{ kWh} = 0,822 \cdot 10^6 \text{ kWh} \ll 3,0 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

Der maximal mögliche Ertrag ist ca. viermal so groß wie der tatsächliche.

*Das Wasserkraftwerk ist ein **Bedarfskraftwerk** und arbeitet nicht das ganze Jahr unter voller Last. Die Wassermenge, die durch die Turbinen fließt, ist zudem beschränkt, um das Ökosystem nicht zu beeinträchtigen. Das Kraftwerk wird kritisiert, weil es den natürlichen Lauf der Isar verhindert. Dadurch werden Tiere und Pflanzen verdrängt und die Isar erhält einen niedrigeren Wasserstand.*

Die Volumenangaben der Seen sind diesem Dokument entnommen:

https://www-docs.b-tu.de/fg-gewaesserschutz/public/projekte/uba_2/11_bayern.pdf

- Maximale Durchflussmenge $84 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 84 \cdot 24 \cdot 3600 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 7,3 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 7,3 \cdot 10^9 \frac{\text{l}^3}{\text{d}}$

Diese Angabe findet sich in der Broschüre zum Walchensee unter

www.uniper.energy/sites/default/files/2022-08/Brosch%C3%BCre%20Kraftwerk%20Walchensee.pdf

des Energieversorgers Uniper, die sehr schöne Bilder für den Unterricht liefert.

- Die Ertragsmenge entstammt auch der Betreiberbroschüre. Die Höhenangabe und die Rohrlänge stammen von Wikipedia.

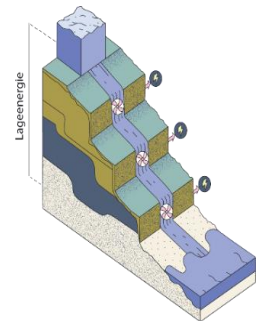
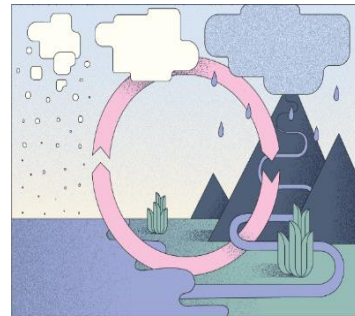
Wieviel el. Energie kann man in Deutschland durch Wasserkraft maximal bereitstellen?

Österreich produziert ca. 11 % der benötigten Energie durch Wasserkraft. Ist das bei uns auch möglich?

In der folgenden Aufgabe soll das für Deutschland grob abgeschätzt werden.

Jedes Wasser, das genutzt werden kann, muss als Regen vom Himmel fallen.

Um Energie durch Wasserkraft zu gewinnen, muss dieses Wasser von höheren Lagen in tiefere Lagen gelangen.



Vorüberlegung 1: Schätze ab, wieviel Energie **im Jahr 2022** durch Solarenergie, durch Wind- und durch Wasserkraft bereitgestellt wurde. Verbinde die folgenden Kästchen paarweise miteinander.¹

Solarenergie

0,55 kWh pro Tag und pro Person

Energie durch Windkraft

2,1 kWh pro Tag und pro Person

Energie durch Wasserkraft

4,2 kWh pro Tag und pro Person

Vorüberlegung 2: Gib eine Schätzung ab, wie viel Energie in kWh wir in Deutschland **maximal** pro Tag und pro Person durch Wasserkraft erzeugen könnten. Denke daran, dass wir pro Tag und pro Person insgesamt 120 kWh benötigen.

kWh

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



¹: Quelle: www.destatis.de Statistisches Bundesamt 10/2023

Lösungen**Antworten**

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 tieferen Lagen gelangen. a) Benenne die Energieform, die vorliegt, wenn das Wasser sich auf der höheren Lage befindet. b) Gib die Formel zur Berechnung dieser Energieform an.	
Schritt 2 a) Recherchiere die durchschnittliche Niederschlagsmenge in Deutschland pro m^2. b) Wie groß ist Deutschlands ungefähr (in m^2). c) Berechne aus diesen Daten die gesamte Masse des Niederschlags in einem Jahr. ($1 km^2 = 10^6 m^2$)	
Schritt 3 Recherchiere die durchschnittliche Höhe des Geländes in Deutschland.	
Schritt 4 Berechne mit den recherchierten bzw. berechneten Größen die gesamte Energie, die durch Wasserkraft bereitgestellt werden kann.	
Schritt 5 Rechne die Energie in kWh um!	
Schritt 6 Rechne die Energie in kWh pro Tag und pro Person um und vergleiche den Wert mit dem Gesamtenergiebedarf von $120 kWh$ pro Tag und Person!	

2) Nenne zwei Gründe, warum die in Aufgabe 1 berechnete Energie nicht vollständig genutzt werden kann.

A large grid of graph paper with 20 columns and 10 rows. The grid is composed of small squares formed by dotted lines. The grid is empty and occupies the majority of the page below the header.

3) Schätze mit Hilfe des Ergebnisses aus Aufgabe 1 ab, wie viel Energie pro Person und pro Tag man tatsächlich nutzen könnte.

- ☐ 7,0 kWh ☐ 3,5 kWh ☐ 1 kWh ☐ 0,1 kWh

Weitere Informationen über die Möglichkeiten von Wasserkraft in Deutschland

Broschüre zur Energie in Österreich:

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



Potential von Wasserkraft in Deutschland beim Umweltbundesamt:

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



Nach einer Studie des Bundesministeriums für Umwelt aus dem Jahr 2010...

- ...liegt das theoretische Potential bei 92,6 TWh pro Jahr (Tera = T = 10^{12}).
- Dies entspricht _____ kWh pro Person und pro Tag.
- Davon sind 1,4 kWh pro Tag und pro Person technisch nutzbar.
- Aktuell werden in Deutschland 0,6 bis 0,8 kWh pro Person pro Tag genutzt.

Natürliche und künstliche Nutzung der Wasserkraft

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

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



Zitat aus der Studie:

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

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

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

Internationale Nutzung:

Im globalen Vergleich (2012) stammen die höchsten Strommengen aus Wasserkraft aus

- China (864 TWh = 29,6 kWh pro Person (in D) und Tag),
- Brasilien (441 TWh = 15,1 kWh pro Person (in D) und Tag),
- Kanada (376 TWh = 12,9 kWh pro Person (in D) und Tag),
- USA (277 TWh = 9,5 kWh pro Person (in D) und Tag),
- Russland 155 (TWh = 5,3 kWh pro Person (in D) und Tag),
- Norwegen (143 TWh = 4,9 kWh pro Person (in D) und Tag) und
- Indien (116 TWh = 4,0 kWh pro Person (in D) und Tag).

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

- Italien
- Luxemburg
- Österreich
- Schweiz
- Schweden

Wasserkraft und Klimawandel

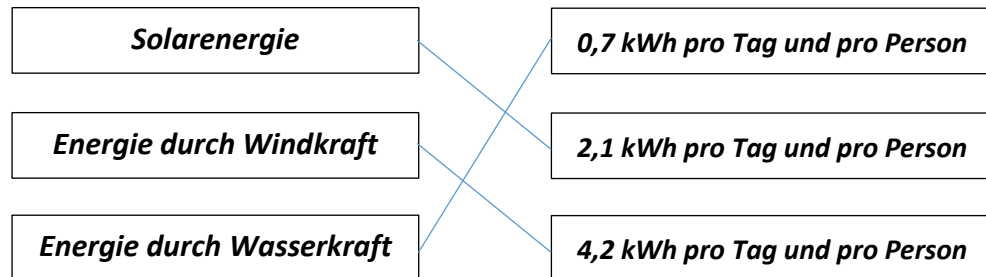
Die Höhe der Wassermenge in einem Fluss wird durch viele Faktoren bestimmt, wobei Niederschlag und Verdunstung einen wesentlichen Einfluss haben. Da diese Einflussgrößen vor allem klimatisch gesteuert sind, hat das Umweltbundesamt die möglichen Effekte des Klimawandels auf die Ertragssituation der Wasserkraft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

Fazit

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

Wieviel el. Energie kann man in Deutschland durch Wasserkraft maximal bereitstellen? – *Lösungen*

Seite 1 – Vorüberlegung 1



Aufgabe 1

Siehe nächste Seite

Aufgabe 2

Nenne zwei Gründe, warum die in Aufgabe 1 berechnete Energie nicht vollständig genutzt werden kann.

- *Nicht jeder Regentropfen sammelt sich in Flüssen, viele versickern im Erdreich.*
- *Nicht die gesamte Lageenergie wird in elektrische Energie umgewandelt (z. B. durch Reibungsverluste beim Fließen).*

Aufgabe 3

Schätze mit Hilfe des Ergebnisses aus Aufgabe 1 ab, wie viel Energie pro Person und pro Tag man tatsächlich nutzen könnte.

- ☐ 7,0 kWh ☒ 3,5 kWh ☐ 1 kWh ☐ 0,1 kWh

Deutschland braucht 120 kWh pro Tag pro Person. Davon sind maximal 7 kWh pro Person und Tag durch Wasserkraft zu erwirtschaften – wenn man jeden Regentropfen mit einem Wirkungsgrad von 100 % nutzen könnte. Wenn man die Reibungsverluste berücksichtigt und deshalb von einem Wirkungsgrad von 50 % ausgeht, könnte man eine Energie von 3,5 kWh pro Person und Tag aus Wasserkraft gewinnen.

Untersuchungen haben ergeben, dass z. B. aufgrund der Gewährleistung von Schifffahrtswegen eine Energie von maximal 1 kWh pro Tag und Person realisierbar wäre.

Lösungen als Kopiervorlage mit Schnittmarken

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 tieferer Lagen gelangen. a) Benenne die Energieform, die vorliegt, wenn das Wasser sich auf der höheren Lage befindet. b) Gib die Formel zur Berechnung dieser Energieform an.	<i>Lageenergie oder potenzielle Energie</i> $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$
Schritt 2 a) Recherchiere die durchschnittliche Niederschlagsmenge in Deutschland pro m². b) Wie groß ist Deutschlands ungefähr (in m²). c) Berechne aus diesen Daten die gesamte Masse des Niederschlags in einem Jahr. (1 km² = 10⁶ m²)	<i>Niederschlagsmenge ≈ 800 l pro m²</i> <i>Tipp: 1 Liter Wasser entspricht 1 kg</i> <i>Fläche von Deutschland:</i> <i>357 581 km² bzw. 36 · 10¹⁰ m²</i> $m_{\text{Regen}} = 36 \cdot 10^{10} \text{ m}^2 \cdot 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ $= 2,88 \cdot 10^{14} \text{ kg}$
Schritt 3 Recherchiere die durchschnittliche Höhe des Geländes in Deutschland.	$h = 263 \text{ m}$
Schritt 4 Berechne mit den recherchierten bzw. berechneten Größen die gesamte Energie, die durch Wasserkraft bereitgestellt werden kann.	$E_{\text{pot}} = 2,88 \cdot 10^{14} \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 263 \text{ m}$ $= 7,43 \cdot 10^{17} \text{ J}$
Schritt 5 Rechne die Energie in kWh um!	$E_{\text{pot}} = 7,43 \cdot 10^{17} \text{ Js}$ $= 7,43 \cdot 10^{14} \text{ kWs}$ $= 7,43 \cdot 10^{14} \text{ kW} \cdot \frac{1}{60 \cdot 60} \text{ h}$ $= 2,1 \cdot 10^{11} \text{ kWh}$
Schritt 6 Rechne die Energie in kWh pro Tag und pro Person um und vergleiche den Wert mit dem Gesamtenergiebedarf von 120 kWh pro Tag und Person!	$E_{\text{pot pro Pers pro Tag}} =$ $= 2,1 \cdot 10^{11} \text{ kWh} : 80\,000\,000 : 365$ $= 7,1 \text{ kWh}$

Ausblicke und Experimente zur Wasserkraft

Mit dieser Wasserturbine, etwas Basteltalent, einer aufgeschnittenen PET-Flasche und Schlauchmaterial aus dem Baumarkt können verschiedene Versuche zur Spannungserzeugung mit Wasser durchgeführt werden.

Video vom Zusammenbau: youtube.com/shorts/tYK3Ik25I4E ($t=40\text{ s}$)

Luftblasen im Schlauch behindern das Drehen der Turbine, deshalb ist es am besten, das Wasser schwallartig und schnell einzufüllen.



Versuch 1: Mit fallendem Wasser eine LED zum Leuchten bringen

Eine LED mit Vorwiderstand wird angeschlossen und durch das fallende Wasser zum Leuchten gebracht:

youtube.com/shorts/C15yBcxem64?feature=share ($t = 10\text{ s}$)



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

Versuch 2: Spannung (Leistung) in Abhängigkeit von der Höhe messen

Indem man ein Spannungsmessgerät (entweder direkt oder über einen 1-k Ω -Widerstand) anschließt, kann man zeigen, dass sich die Spannung (bzw. die Leistung) mit der Höhe ändert. youtube.com/shorts/yukXNsk_a2A (Zeit: 10 s)

Bei vorhandener Ausstattung (z. B. digitale Sensoren) kann man auch Leistung bzw. Energie direkt messen und versuchen, z. B. 1 mWh zu erzeugen.

Versuch 3: Betrieb am Wasserhahn

In den meisten Physikräumen kann man die Turbine auch direkt an den Wasserhahn am Pult anschließen. Dazu wechselt man dort den Hahnaufsatz. Dann kann man problemlos ein Glühbirnchen zum Leuchten bringen und auf diese Weise ein Kraftwerk mit mehreren hundert Metern Höhenunterschied veranschaulichen.



Videolinks und Simulationen

- Sendung mit der Maus vom Pumpspeicherwerk (Zeit: 10:17 min):
<https://kinder.wdr.de/tv/die-sendung-mit-der-maus/av/video-wie-funktioniert-ein-pumpspeicherwerk-100.html>
Leider sind einige Fehler in der Fachsprache („Kraft“ bzw. „Wucht“ statt „Energie“)
- Der folgende ScienceSlam erklärt Energieerhaltung bzw. Energieentwertung u. a. am Wasserkraftwerk. Leider mit sehr starkem Fokus auf Energie (Zeit: 9:23 min):
www.youtube.com/watch?v=qRMnpV5E5J8
- Mit der phet-Simulation https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_de.html kann man die Umwandlungen visualisieren. Man kommt aber den realen Zusammenhängen nur begrenzt nahe.

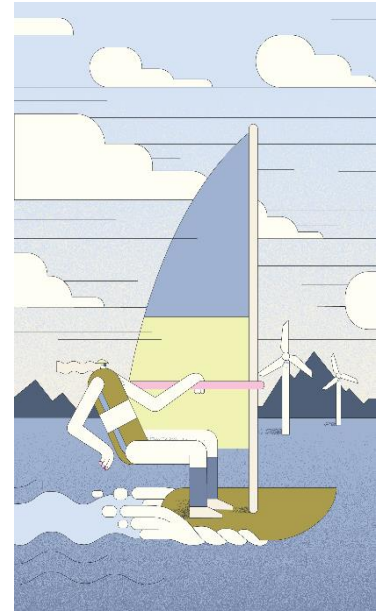


3.2 Windenergie

Bei der Windenergie handelt es sich um eine Energieform, die in Deutschland intensiv diskutiert wird. Im Jahresdurchschnitt könnte mit Windenergie fast genauso viel elektrische Energie „erzeugt“ werden wie mit allen anderen erneuerbaren Energien zusammen, vorausgesetzt Deutschland kann die notwendigen Windkraftanlagen an Land (onshore) und auf See (offshore) erfolgreich errichten.

→ **Die Zukunft der Energiewende hängt somit maßgeblich von der Windenergie ab.**

In diesem Kontext übernimmt der Physikunterricht eine maßgebliche gesellschaftliche Rolle. Hier geht es darum, Schülerinnen und Schülern die Möglichkeiten dieser Energieform zu erläutern, technische Aspekte zu vermitteln und gleichzeitig etwaige Mythen zu entkräften. Zudem ist es wichtig, die mit der Windenergie verbundenen Herausforderungen aus physikalischer Sicht zu beleuchten.



Die Einschätzung des Potentials der Windenergie in Deutschland ist eine anspruchsvolle Aufgabe, die jedoch dank einer einfachen Modellierungsaufgabe mit gestuften Hilfen auch an der Realschule sehr gut gelöst werden kann.

Zusätzlich wird erörtert, dass nur ein Teil der kinetischen Energie dem Wind entzogen werden kann. Andernfalls würde die Luft hinter dem Windrad „stehen“ und der Windfluss würde zum Stillstand kommen. Dies erklärt die Notwendigkeit von Abstandsregelungen zwischen den einzelnen Anlagen.

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

In den Büchern:



S. 60-73



S. 68-84

Folgende Aufgaben bieten eine kompetenzorientierte Auswahl, indem das Potential der Windenergie abgeschätzt wird und Zusammenhänge vertieft werden. Materialien zu einer gesellschaftlichen wichtigen Diskussion über die Umsetzung der Energiewende sind ebenfalls vorhanden.

Die Schüler sollten die Formel zur Berechnung der kinetischen Energie kennen.

- Windenergie politisch betrachtet: Arbeitsblatt „Windenergie – Wie schaffen wir das?“ (3 Seiten + 2 Lösungsseiten)
- Abschätzung des Potentials der Windenergie, Arbeitsblätter „‘Wind of Change‘ oder ‘The Answer Is Blowing In The Wind‘ “ (3 mal je 2 Seiten + 2 Lösungsseiten)
- Weitere Hinweise und Projektideen zur Windkraft

Ausbau Windenergie – Wie schaffen wir das?

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

- 1) Wird in einer Gemeinde eine Windkraftanlage geplant, so stehen sich oft Befürworter und Gegner unversöhnlich gegenüber. Entscheide, welche Aussagen fachlich korrekt sind und welche du als sinnvoll erachtest.

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

	ja	nein
Korrekt?		
Sinnvoll?		

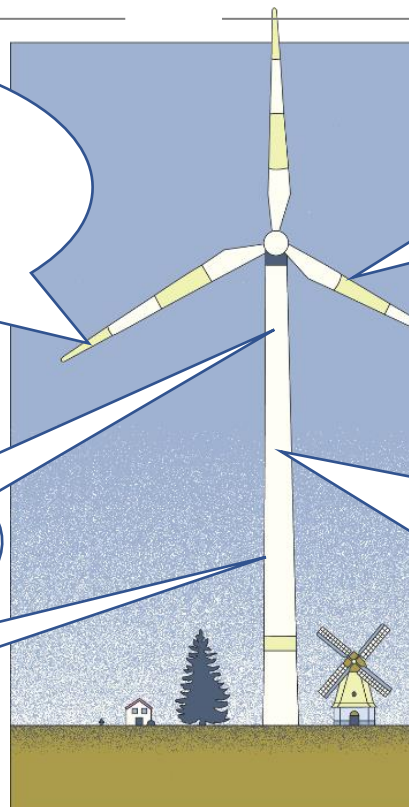
Deutschland hat viel zu wenig Wind, um sinnvoll Strom zu erzeugen.

	ja	nein
Korrekt?		
Sinnvoll?		

Windräder sind hässlich.

Die Schlagschatten stören jeden Morgen und Abend.

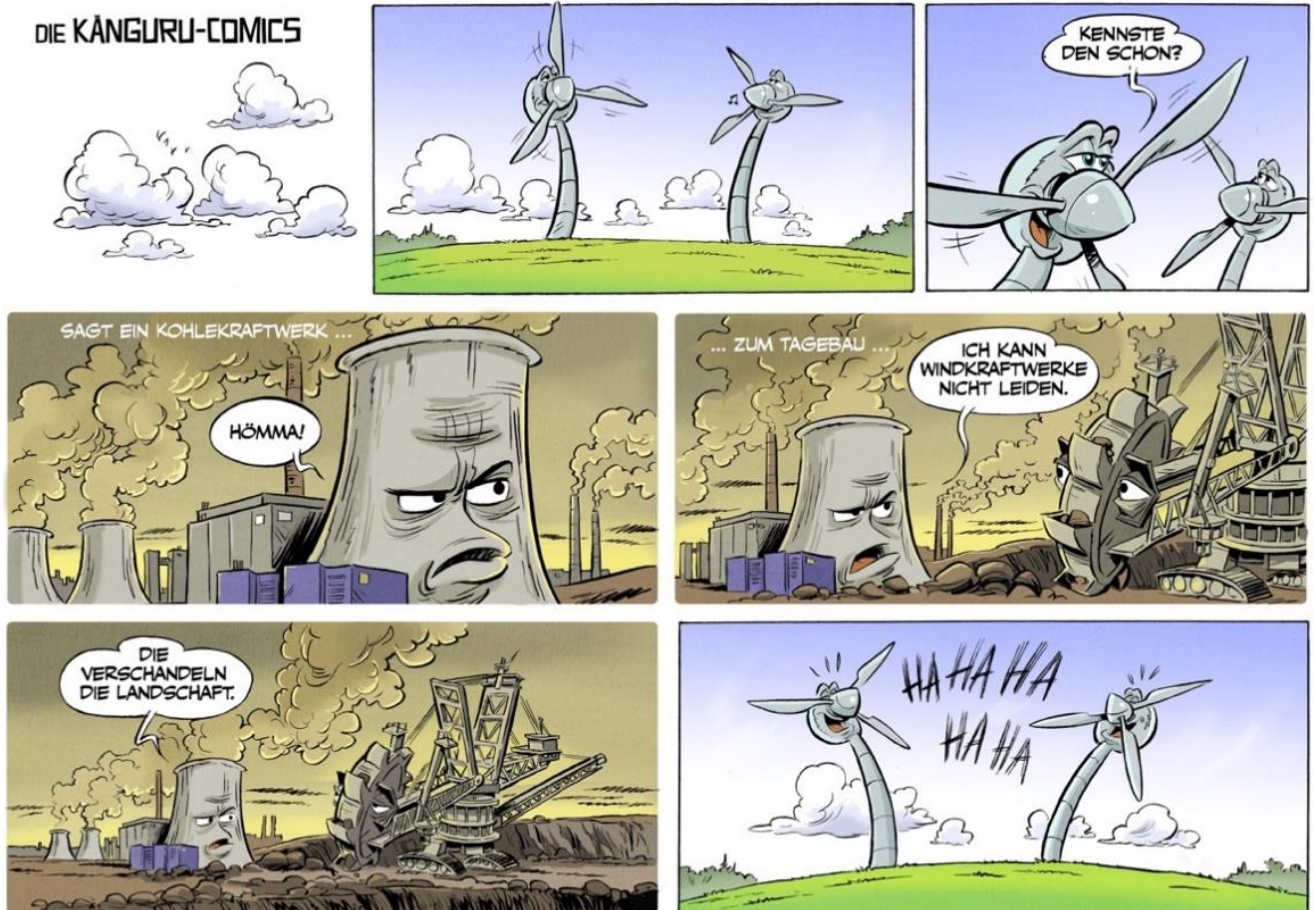
	ja	nein
Korrekt?		
Sinnvoll?		



Bei Windrädern sterben viel weniger Vögel als bei Glasfassaden oder durch Kollisionen auf Autobahn oder durch Katzen.

	ja	nein
Korrekt?		
Sinnvoll?		

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



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

Zeit: ca. 50 s

Weitere Informationen zum Tagebau: <https://www.youtube.com/watch?v=D9eKDJTzRcU>

Zeit: 3:58 min

Anregungen zur Windkraft: <https://www.youtube.com/watch?v=5-xNPXQw0LM>

Zeit: 1:54 min



**PROBLEME BEI
WINDKRAFT:**

**PROBLEME BEIM
TAGEBAU:**

- 4) Es folgt ein Zitat aus einem Spiegel-Online-Artikel vom 27.4.2021:

„Altmaier entschuldigt sich für Rechenfehler bei Windkraft-Schallbelastung:

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

Die Bundesbehörde hatte durch einen Rechenfehler einen Wert angegeben, der **36 Dezibel** (Einheit für die Lautstärke) zu hoch war. **3 Dezibel mehr** bedeuten, dass sich die **Schallintensität verdoppelt**. 36 Dezibel zu hoch bedeutet also, dass der Infraschall über **4000-mal so hoch** angegeben war wie der tatsächliche Wert.

Zum Vergleich:

An einem Korrekturtag behauptet deine Lehrkraft, zur Aufmunterung ein Stück Schokolade gegessen zu haben. Ein Stück Schokolade hat eine Masse von 5 g. Berechne die Masse der Schokolade, die sie essen müsste, wenn sie den gleichen Fehler wie die Bundesbehörde gemacht hätte.

[illegible]

- 5) 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 (Zeit: ca. 2:12 min)

<https://www.youtube.com/watch?v=vn1KRb1Bb68>



Film 2: Jobportrait Projektleiterin Windenergie (Zeit: ca. 3:06 min)

<https://www.youtube.com/watch?v=fwbB4d7Hqrc>



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

A large rectangular box with a yellow sticky note attached to the top center. The sticky note is blank and has a slightly irregular, torn-edge appearance. The box itself is empty and has a thin black border.

- 6) Abschlussgedanken:

- Welche Information über Windräder hat dich überrascht?
- Was denkst du nun über den Ausbau der Windenergie?

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

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!

- 1) Wird in einer Gemeinde eine Windkraftanlage geplant, so stehen sich oft Befürworter und Gegner unversöhnlich gegenüber. Entscheide, welche Aussagen fachlich korrekt sind und welche du als sinnvoll erachtest.

Einschränkung: Energie kann nicht erzeugt werden. Gemeint ist die Erzeugung von Strom durch die Nutzung von erneuerbaren Energieträgern zur Umwandlung in elektrische Energie.

Falsch! Ende 2022 gab es in Deutschland über 28 000 Windkraftanlagen an Land, deren Gesamtleistung ca. 58 GW betrugen. Könnte man die gesamte Windenergie in Deutschland dazu nutzen, um Strom zu erzeugen, könnte man damit mehr als Deutschlands gesamten Strombedarf decken.

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

	ja	nein
Korrekt?	x	
Sinnvoll?	x	

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

	ja	nein
Korrekt?		x
Sinnvoll?		x

Windräder sind hässlich. *subjektiv*

Die Schlagschatten stören jeden Morgen und Abend.

	ja	nein
Korrekt?	x	x
Sinnvoll?	x	x

Bei Windrädern sterben viel weniger Vögel als bei Glasfassaden oder durch Kollisionen auf Autobahn oder durch Katzen.

	ja	nein
Korrekt?	x	
Sinnvoll?	x	

Dieses Argument kann richtig sein. Es weist auf ein ernstes Problem hin, das aber nur aus bestimmten Perspektiven, bei geringem Abstand und nur zu bestimmten Tageszeiten auftritt. Voraussetzung dafür ist eine tiefstehende Sonne.

Laut Schätzungen bzw. Hochrechnungen sterben in Deutschland pro Jahr

- ca. 100 000 Vögel durch Windräder
- ca. 100 Mio. Vögel durch Glasfassaden
- ca. 200 Mio. Vögel durch Katzen

- 3) Notiere Schäden und Probleme in der Natur durch ein Windkraftwerk sowie Schäden, die beim Braun- und

PROBLEME BEI WINDKRAFT:

- Teilweise Rodung für Aufstellung & Transport
- Lärm (Infraschall) & Schattenwurf
- Eingriff in den Lebensraum von Tieren
- Evtl. Einschränkung; Denkmalschutz

PROBLEME BEIM TAGEBAU:

- Ganze Landstriche werden abgetragen & komplett zerstört
- Dörfer werden versetzt oder zerstört
- Massive Luftverschmutzung bei der Verbrennung
- Invasiver Eingriff in Flora und Fauna
- Qualität des Grundwassers ändert sich
- Entstehung von Giftstoffen bei Rekultivierung

- 4) [...] Der Infraschall wurde über **4000-mal so hoch** angegeben wie der tatsächliche Wert. Zum Vergleich:

An einem Korrekturtag behauptet deine Lehrkraft, zur Aufmunterung ein Stück Schokolade gegessen zu haben. Ein Stück Schokolade hat eine Masse von 5 g. Berechne die Masse der Schokolade, die sie essen müsste, wenn sie den gleichen Fehler wie die Bundesbehörde gemacht hätte.

$$5 \text{ g} \cdot 4000 = 20\,000 \text{ g}$$

Aus 5 g werden bei diesem Fehler 20 kg Schokolade, das entspricht 200 Stück 100 g-Tafeln Schokolade.

- 5) Berufsbilder und Arbeitsplätze durch Bau und Betrieb von Windrädern:

Übersicht

- Elektroingenieur (m/w/d)
- Projektkoordinator (m/w/d)
- Bauingenieur Windenergie (m/w/d)
- Umweltplaner (m/w/d)
- Techn. Einkäufer (m/w/d)
- Softwareentwickler (m/w/d)

Detailliert:

- Elektroingenieur Windenergieanlagentechnik
- Elektrotechniker für Umspannwerk Offshore Windenergie
- Fachinformatiker Betriebsführung Windkraft
- Mitarbeiter Flächenakquise Windenergie
- Projektkoordinator Windenergie
- Referent Windenergie
- Umweltplaner/in für die Netzanbindung von Offshore-Windparks
- Servicemonteur Windenergie
- Technischer Einkäufer Windenergie
- Wirtschaftsingenieur oder Ingenieur Offshore-Koordination
- Softwareentwickler Windparkkraftwerkssteuerungen
- Bauingenieur Windenergie

- 6) Abschlussgedanken: ohne Lösungsvorschlag

„Wind of Change“ oder „The Answer Is Blowing In The Wind“

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

1) Vorüberlegungen

Was ist Wind? Bevor wir uns Gedanken über Windkraftanlagen und Energie machen, müssen wir besser verstehen,

- was Wind ist,
- wie dieser zustande kommt und
- woher seine Energie kommt.

a) Schau dir folgendes Video von Terra X an:

<https://kurzelinks.de/cqcu>

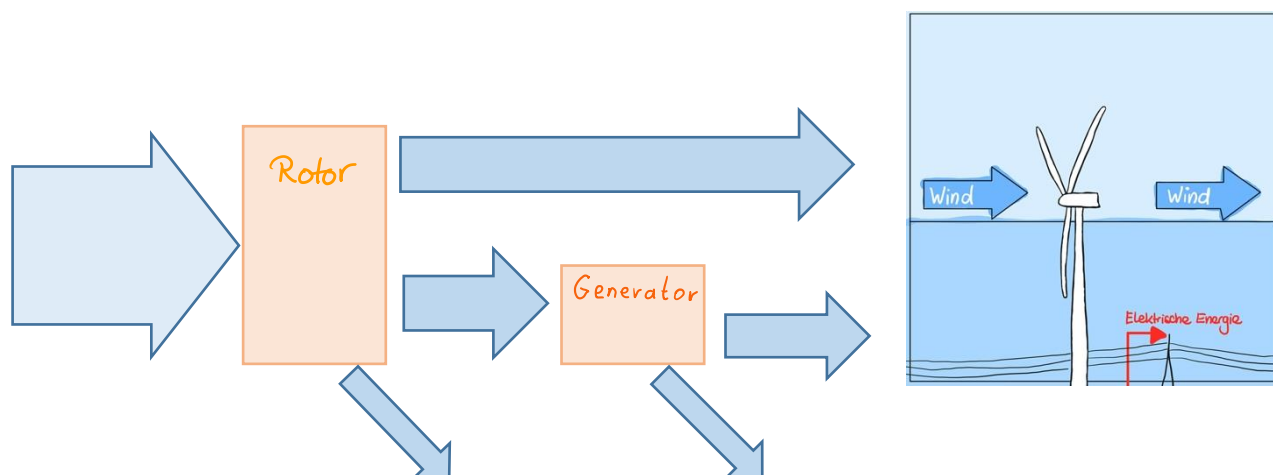
Zeit: ca. 1:36 min



b) Schon 1919 bewies der deutsche Physiker Albert Betz, dass maximal 59 % der Windenergie in elektrische Energie umgewandelt werden können. Diskutiere, was passieren würde, wenn ein Windrad 100 % der Windenergie in elektrische Energie umwandeln würde.



c) Ergänze das Energieflussdiagramm einer Windkraftanlage.



„Wind of Change“ oder „The Answer Is Blowing In The Wind“ – Lösungen

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

1) Vorüberlegungen

Was ist Wind? Bevor wir uns Gedanken über Windkraftanlagen und Energie machen, müssen wir besser verstehen,

- was Wind ist,
- wie dieser zustande kommt und
- woher seine Energie kommt.



a) Schau dir folgendes Video von Terra X an:

<https://kurzelinks.de/cqcu>

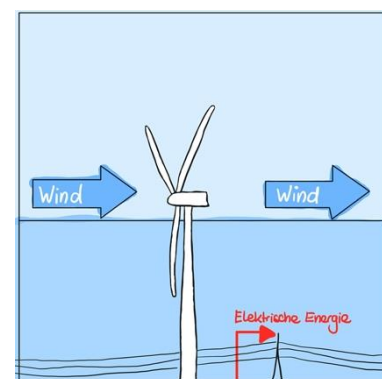
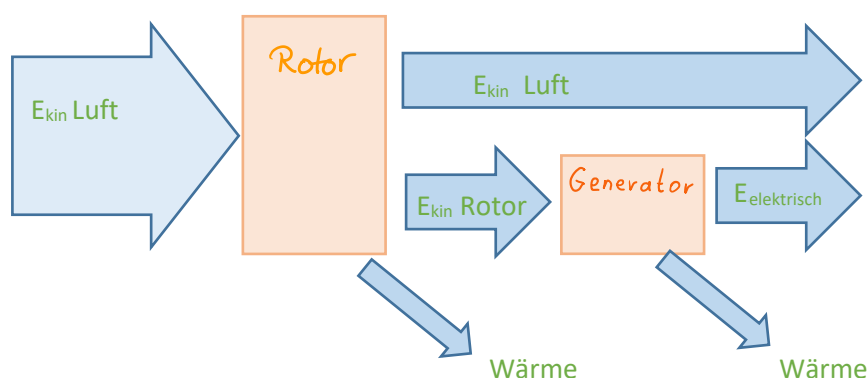
Zeit: ca. 1:36 min

b) Schon 1919 bewies der deutsche Physiker Albert Betz, dass maximal 59 % der Windenergie in elektrische Energie umgewandelt werden können. Diskutiere, was passieren würde, wenn ein Windrad 100 % der Windenergie in elektrische Energie umwandeln würde.

Die Luft hinter dem Windrad muss sich ebenfalls bewegen, da sonst der Entstehungsprozess des Windes nicht mehr funktionieren würde.

Würde allerdings die gesamte Energie umgewandelt werden, hätte der Wind hinter der Windkraftanlage gar keine Geschwindigkeit mehr.

c) Ergänze das Energieflussdiagramm einer Windkraftanlage.



2) Energieumwandlung an einer Windkraftanlage

Um die kinetische Energie der Luft zu berechnen, die die Windkraftanlage in Bewegung setzt, benötigt man die Masse der Luft.

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

Berechne die kinetische Energie dieser Luftmasse.

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,3 \cdot 10^8 \text{ kg} \cdot \left(6,5 \frac{m}{s}\right)^2 = 4\,858\,750\,000 \text{ J} \approx 4,9 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$\text{Umrechnung in kWh: } (4\,858\,750\,000 : 3\,600\,000) \text{ kWh} \approx 1,3 \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

$$E_{kin \text{ Luft}} = \underline{4,9 \cdot 10^9} \text{ J}$$

$$E_{kin \text{ Luft}} = \underline{1,3 \cdot 10^3} \text{ kWh}$$

- b) Wir nehmen weiter an, dass das Windrad 50 % in elektrische Energie umwandeln würde. Berechne diese.

$$4\,858\,750\,000 \text{ J} \cdot 0,5 = 2,4 \cdot 10^9 \text{ J} \quad (\text{mit Zwischenrundung auch } 2,5 \cdot 10^9 \text{ J möglich})$$

$$1,34965 \cdot 10^3 \text{ kWh} \cdot 0,5 = 6,7 \cdot 10^2 \text{ kWh}$$

$$E_{el} = \underline{2,4 \cdot 10^9} \text{ J}$$

$$E_{el} = \underline{6,7 \cdot 10^2} \text{ kWh}$$

- c) Bestimme nun die Geschwindigkeit der Luft, nachdem sie durch das Windrad geströmt ist.

$$50 \% \text{ der Energie werden genutzt} \rightarrow 50 \% \text{ werden nicht genutzt} \rightarrow E_{kin_nachher} = 2,4 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$E_{kin_nachher} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

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

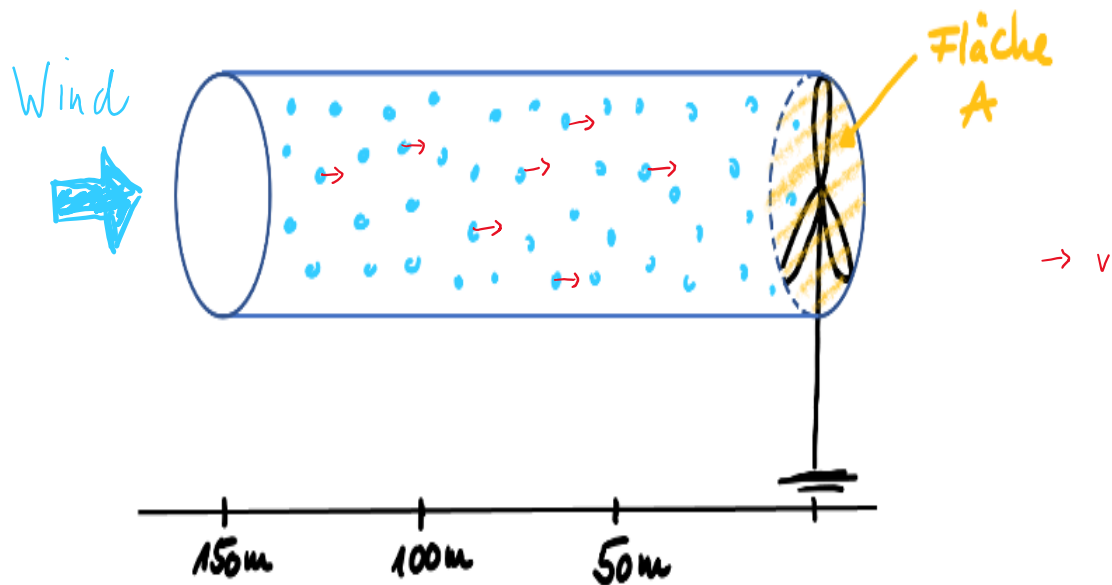
- d) Begründe mithilfe von c), warum man große Abstände zwischen den Windrädern einhalten muss.

Die Restenergie des Windes wäre bei zu kleinen Abständen nicht ausreichend für einen effektiven Betrieb der nächsten Anlage.

Wenn die Abstände groß genug sind, trifft auf die nächste Anlage Wind mit höherer Geschwindigkeit.

e) *Zusatzaufgabe für Schnelle und Interessierte

Die Masse, die in einer Stunde durch das Windrad strömt, wurde in Aufgabe 2a vorgegeben, denn sie hängt von mehreren Faktoren ab. Wir müssen dazu abschätzen, wie viele Luftteilchen pro Stunde das Windrad treffen.



Der blaue Schlauch in der obenstehenden Grafik zeigt den Luftstrom, der durch die Rotorblätter strömt.

- Markiere in der Grafik die Luftteilchen, die innerhalb von 10 s den Rotor erreichen werden ($v = 6,5 \frac{m}{s}$). (Tipp: Berechne dazu s in m.)



- Welche Luftteilchen erreichen innerhalb von 10 s den Rotor, wenn $v = 13 \frac{m}{s}$ gilt? Markiere diese in einer anderen Farbe oben in der Grafik.



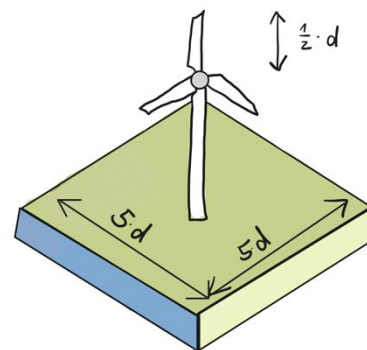
- Erkläre nun, warum die Teilchenanzahl und damit auch die **Masse** von der **Windgeschwindigkeit** abhängt. Schau dir dazu die Grafik oben an.



3) Windenergie, die Deutschland bereitstellen könnte

Durch Aufgabe 2 c wissen wir, dass Windräder Abstände zueinander einhalten müssen.

Als Faustregel gilt: Jedes Windrad mit **Rotordurchmesser d** beansprucht ein **Quadrat** mit der Kantenlänge **$5 \cdot d$** , da die Anlage sonst nicht genug Wind erhält.



Um abzuschätzen, wieviel Energie eine Windkraftanlage pro **1 km^2** = _____ **m^2** erzeugen kann, betrachten wir ein mittelgroßes Windkraftwerk mit **$d = 100 \text{ m}$** .

a) Wie viele Windräder passen auf diese Fläche?



b) Berechne mit Hilfe des Ergebnisses aus Aufgabe 2 b) ($E_{el} = 6,7 \cdot 10^2 \text{ kWh}$) die elektrische Energie in kWh, die auf **einem Quadratkilometer innerhalb von 24 h** erzeugt werden kann.



Ein großes Kästchen entspricht bei einer Kantenlänge von 100 km einer Fläche von $100 \text{ km} \cdot 100 \text{ km} = 10\,000 \text{ km}^2$.

Ein kleines Kästchen entspricht bei einer Kantenlänge von 50 km einer Fläche von $50 \text{ km} \cdot 50 \text{ km} = 2\,500 \text{ km}^2$.

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

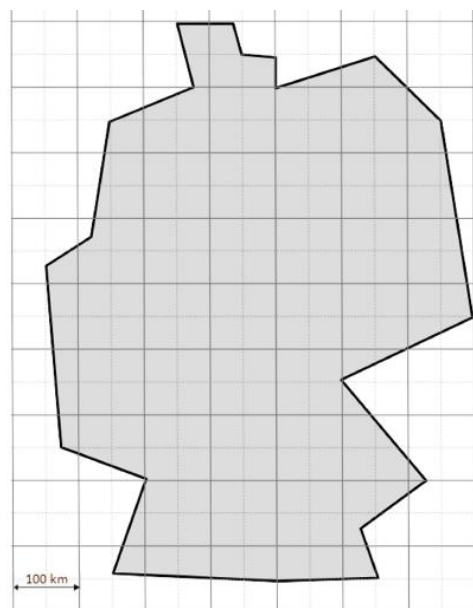
Nimm nun an, dass $25\,000 \text{ km}^2$ der Landfläche von Deutschland genutzt werden können.
(Landfläche Deutschland = $357\,588 \text{ km}^2$)

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

d) Berechne mit dem Ergebnis aus Aufgabe 3 b) die Windenergie auf dieser Fläche in kWh pro Tag.



$E_{ges} =$ _____ kWh pro Tag



e) Berechne die Anzahl der dafür benötigten Windkraftanlagen.



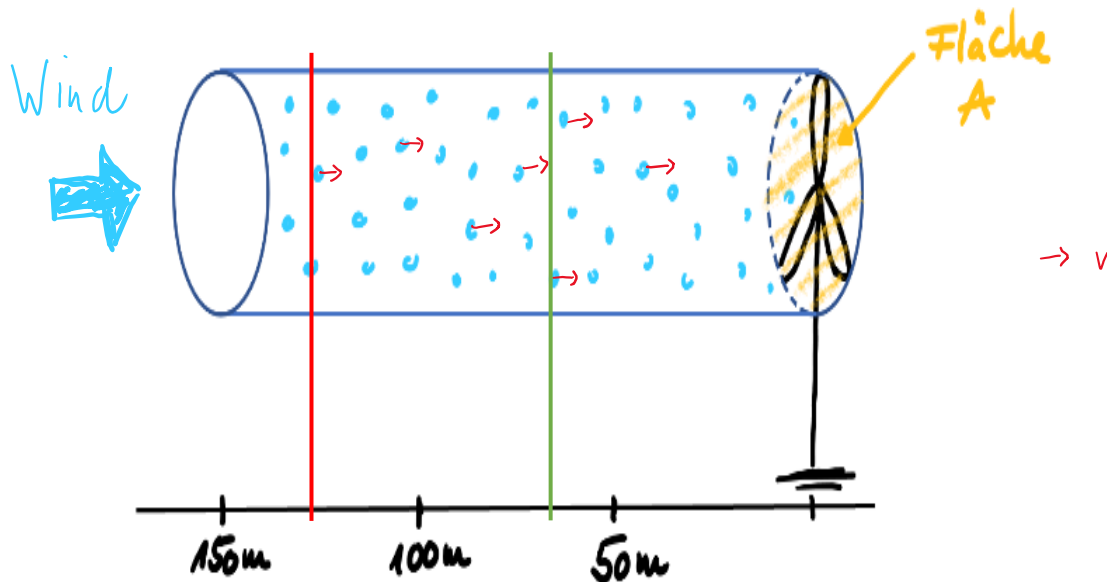
f) Berechne die Energie pro Person und Tag, die die Windenergie am Land in Deutschland bereitstellen kann.



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

e) *Zusatzaufgabe für Schnelle und Interessierte

Die Masse, die in einer Stunde durch das Windrad strömt, wurde in Aufgabe 2a vorgegeben, denn sie hängt von mehreren Faktoren ab. Wir müssen dazu abschätzen, wie viele Luftteilchen pro Stunde das Windrad treffen.



Der blaue Schlauch in der obenstehenden Grafik zeigt den Luftstrom, der durch die Rotorblätter strömt.

- Markiere in der Grafik die Luftteilchen, die innerhalb von 10 s den Rotor erreichen werden ($v = 6,5 \frac{m}{s}$). (Tipp: Berechne dazu s in m.)

Siehe Zeichnung $s = 65 \text{ m}$

- Welche Luftteilchen erreichen innerhalb von 10 s den Rotor, wenn $v = 13 \frac{m}{s}$ gilt? Markiere diese in einer anderen Farbe oben in der Grafik.

Siehe Zeichnung $s = 130 \text{ m}$

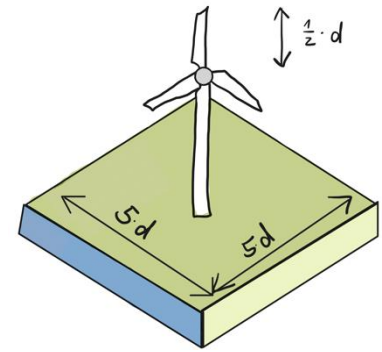
- Erkläre nun, warum die Teilchenanzahl und damit auch die **Masse** von der **Windgeschwindigkeit** abhängt. Schau dir dazu die Grafik oben an.

Bei höherer Geschwindigkeit trifft eine höhere Teilchenzahl auf das Windrad und damit eine größere Luftmasse als bei geringerer Geschwindigkeit.

3) Windenergie, die Deutschland bereitstellen könnte

Durch Aufgabe 2 c) wissen wir, dass Windräder Abstände zueinander einhalten müssen.

Als Faustregel gilt: Jedes Windrad mit **Rotordurchmesser d** beansprucht ein **Quadrat** mit der Kantenlänge $5 \cdot d$, da die Anlage sonst nicht genug Wind erhält.



Um abzuschätzen, wieviel Energie eine Windkraftanlage pro $1 \text{ km}^2 = \underline{1\,000\,000} \text{ m}^2$ erzeugen kann, betrachten wir ein mittelgroßes Windkraftwerk mit $d = 100 \text{ m}$.

a) Berechne, wie viele Windräder auf einer Fläche von 1 km^2 Platz hätten.

$$\frac{1\,000\,000 \text{ m}^2}{(5 \cdot 100 \text{ m})^2} = 4 \rightarrow \text{es passen nicht mehr als } \underline{4} \text{ Windräder auf diese Fläche}$$

b) Berechne mit Hilfe des Ergebnisses aus Aufgabe 2 b) ($E_{el} = 6,7 \cdot 10^2 \text{ kWh}$) die elektrische Energie in kWh, die auf **einem Quadratkilometer innerhalb von 24 h** erzeugt werden kann.

$$E_{ges} = 4 \cdot 6,7 \cdot 10^2 \text{ kWh} \cdot 24 = \underline{6,4 \cdot 10^4 \text{ kWh}}$$

Ein großes Kästchen entspricht bei einer Kantenlänge von 100 km einer Fläche von $100 \text{ km} \cdot 100 \text{ km} = 10\,000 \text{ km}^2$.

Ein kleines Kästchen entspricht bei einer Kantenlänge von 50 km einer Fläche von $50 \text{ km} \cdot 50 \text{ km} = 2\,500 \text{ km}^2$.

$$E_{ges} = \underline{6,4 \cdot 10^4} \text{ kWh pro km}^2 \text{ pro Tag}$$

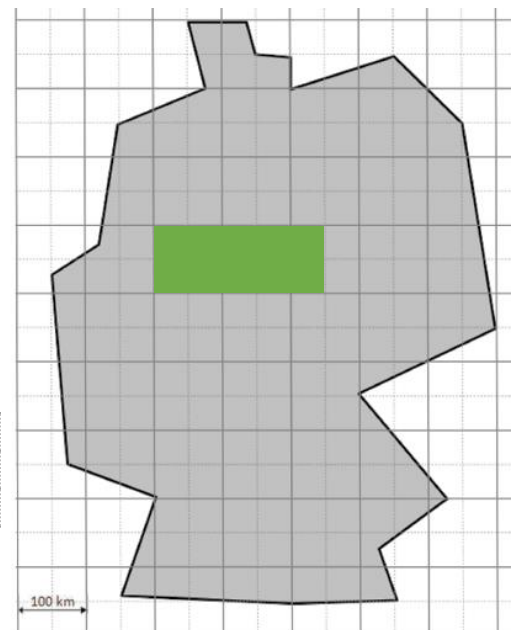
Nimm nun an, dass $25\,000 \text{ km}^2$ der Landfläche von Deutschland genutzt werden können.
(Landfläche Deutschland = $357\,588 \text{ km}^2$)

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

d) Berechne mit dem Ergebnis aus Aufgabe 3 b) die Windenergie auf dieser Fläche in kWh pro Tag.

$$25\,000 \cdot 6,4 \cdot 10^4 \text{ kWh} = \underline{1,6 \cdot 10^9 \text{ kWh}}$$

$$E_{ges} = \underline{1,6 \cdot 10^9} \text{ kWh pro Tag}$$



e) Berechne die Anzahl der dafür benötigten Windkraftanlagen.

$$4 \cdot 25\,000 = \underline{100\,000} \text{ Windräder}$$

f) Berechne die Energie, die pro Person und pro Tag durch Windenergie am Land in Deutschland bereitgestellt werden könnte.

$$\frac{1,6 \cdot 10^9 \text{ kWh}}{80\,000\,000} \approx \underline{20 \text{ kWh}}$$

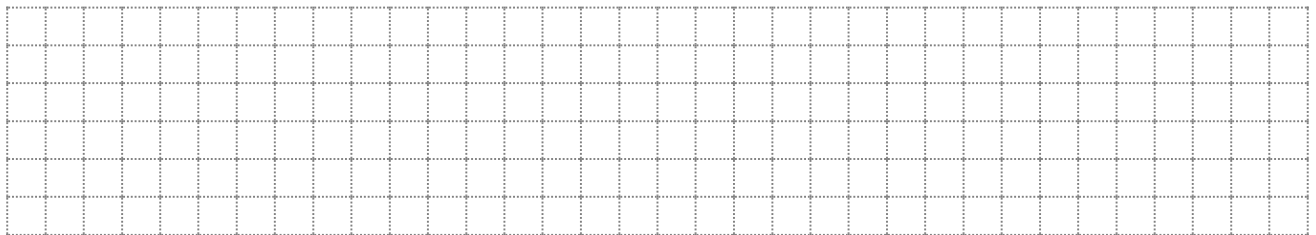
$$E_{\text{Land}} = \underline{20} \text{ kWh pro Tag pro Person}$$

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

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

4) Windkraft aus Offshore-Anlagen

Offshore (also auf dem Meer) ist die Windgeschwindigkeit größer. Anhand der Gesamtlänge der Küste in Deutschland steht eine Fläche von ca. 12 500 km² zur Verfügung. Die elektrische Energie, die pro km² generiert werden könnte, ist allerdings aufgrund der Windgeschwindigkeit doppelt so groß wie auf dem Land. Schätze die durch Offshore Windkraft bereitgestellte Energie mithilfe von Aufgabe 3) ab. (Geht auch ohne Taschenrechner 😊)



5) Herleitung der Formel für die Masse der Luft (für Extraschnelle)

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

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

v ist die Windgeschwindigkeit.

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:

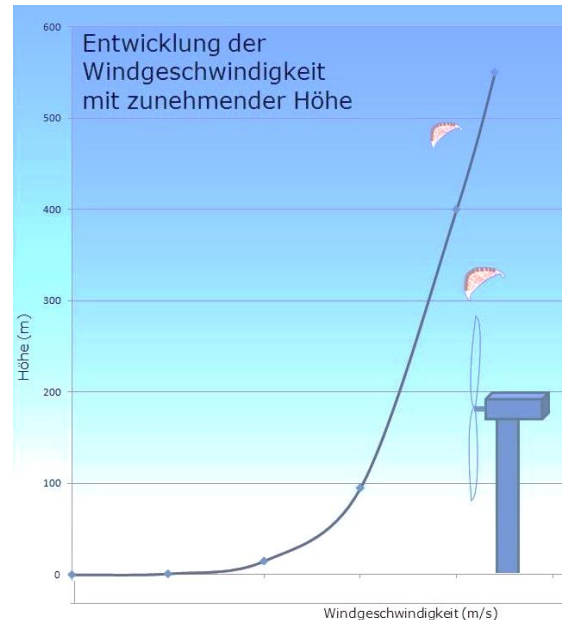
$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot v^3 \cdot t \cdot \rho$$

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

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



- d) Wie ändert sich die kinetische Energie bei einem Fahrrad, wenn man die Geschwindigkeit verdoppelt ($2 \cdot v$)? Fülle die Lücken aus. (Tipp: Experimentiere mit der Formel aus Aufgabe 5a)



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

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

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!*)

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

- e) 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.

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

Nebenrechnungen:

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

A large rectangular area filled with a grid pattern. The grid consists of 20 columns and 10 rows of squares. Each square is defined by thin, light gray dashed lines. The entire grid is enclosed within a double-line border.

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

➔ Berechnungen haben gezeigt, dass man mit ca. 40 000 hohen Windkraftanlagen und der gleichen Landfläche ($\cong 7\%$ unserer Landfläche) auf etwa die gleiche Energie pro Person und pro Tag kommt, wie wir in Aufgabe 3 e berechnet haben.

4) Windkraft aus Offshore-Anlagen

Offshore (also auf dem Meer) ist die Windgeschwindigkeit größer. Anhand der Gesamtlänge der Küste in Deutschland steht eine Fläche von ca. 12 500 km² zur Verfügung. Die elektrische Energie, die pro km² generiert werden könnte, ist allerdings aufgrund der Windgeschwindigkeit doppelt so groß wie auf dem Land. Schätze die durch Offshore Windkraft bereitgestellte Energie mithilfe von Aufgabe 3 ab. (Geht auch ohne Taschenrechner 😊)

Wieder 20 kWh pro Tag.
12 500 km ² ist halb so groß wie 25 000 km ² , die Energie ist aber doppelt so groß.

5) Herleitung der Formel für die Masse der Luft (für Extraschnelle)

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

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

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 überstreichen.

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

v ist die Windgeschwindigkeit.

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:

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

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

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

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

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

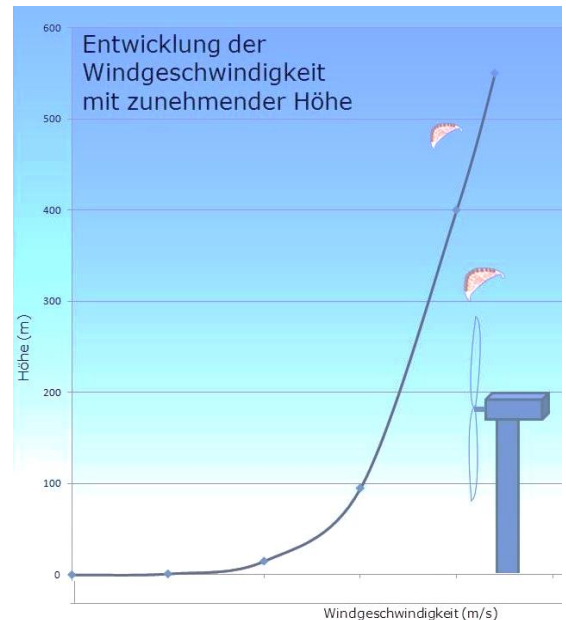
Herleitung der Formel für die Masse:	
Dichte:	$\rho = \frac{m}{V} \quad \cdot V$ $m = \rho \cdot V \quad (*)$
Geschwindigkeit bei gleichförmiger Bewegung:	$v = \frac{s}{t} \quad \cdot t$ $s = v \cdot t \quad (**)$
Volumen des zylindrischen Luftschlauchs:	$V = \text{Grundfläche mal Höhe}$ $V = A \cdot s = A \cdot v \cdot t \rightarrow \text{in } (*)$
Masse:	$m = \rho \cdot A \cdot v \cdot t = A \cdot v \cdot t \cdot \rho$

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

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

$A \rightarrow$	Größe der Rotorblätter
$v \rightarrow$	Bauhöhe des Windrads

- d) Wie ändert sich die kinetische Energie bei einem Fahrrad, wenn man die Geschwindigkeit verdoppelt ($2 \cdot v$)? Fülle die Lücken aus. (Tipp: Experimentiere mit der Formel aus Aufgabe 5a)



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

Kurzschreibweise: $E_{kin\ 2 \cdot v} = 2^2 \cdot E_{kin} = 4 \cdot E_{kin}$

Wie verändert sich 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!)

$$E_{kin\ Wind\ 2 \cdot v} = 2 \cdot 2^2 \cdot E_{kin\ Wind} = 8 \cdot E_{kin\ Wind}$$

- e) 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.

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

Nebenrechnungen: **Erklärung der Lösung** $E_{kin\ neu} = 27,6 \cdot E_{kin\ alt}$

- Durchmesser 50 m $\rightarrow$ 200 m (Vervierfachung)
 - $\Rightarrow$ Radius wird damit auch vervierfacht
 - $\Rightarrow$ Überstrichene **Fläche A** wird wegen r^2 in der Formel $A_{Kreis} = r^2 \cdot \pi$ dann 16-Mal so groß ($4^2 = 16$)
- Windgeschwindigkeit v** wird mit Faktor 1,2 vergrößert
 - $\Rightarrow v$ ist in der Formel für E_{kin} in der Form $v^3 \rightarrow 1,2^3 = 1,728$
- E_{kin} ändert sich daher mit dem Faktor $16 \cdot 1,728 = 27,648 \approx 27,6$
 - $\Rightarrow E_{kin\ neu} = 27,6 \cdot E_{kin\ alt}$

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

Höhere Windräder bringen einen sehr viel größeren Energiebetrag,
da die Windgeschwindigkeit in der dritten Potenz in die Berechnung eingeht.

Weitere Hinweise und Projektideen zur Windkraft

Videolinks

- Eine Animation zur Windkraft liefert das YouTube-Video [Windkraftanlage - Aufbau und Funktion \(3D-Animation\)](https://www.youtube.com/watch?v=3X6cuiCgRrk) unter <https://www.youtube.com/watch?v=3X6cuiCgRrk> (Zeit: 2:47 min)
- Hintergrundwissen mit einer schönen Animation in der Mitte, die auch das Verständnis für den Zylinder beinhaltet, findet man bei [So funktioniert eine Windkraftanlage Prof Quaschnig](https://www.youtube.com/watch?v=APPBik8ydNO) unter <https://www.youtube.com/watch?v=APPBik8ydNO> (Zeit: 6:14 min)



Weitere Links

- In dem nachfolgend verlinkten Interview erklärt ein Förster, warum er für den Aufbau einer Windkraftanlage ist, auch wenn dafür Bäume abgeholzt werden müssen, die er selbst gepflanzt hat. [SZ: Das Opfer der Bäume](#) (Der Artikel ist hinter der Bezahlshranke der Süddeutschen Zeitung)
- Im folgenden Bericht wird dargestellt, warum die Windkraftindustrie immer mehr nach Dänemark abwandert, und welche wirtschaftlichen Folgen das hat: [WiWo Ein paar Kilometer hinter der deutschen Grenze entstehen die größten Windkraftfabriken der Welt](#)

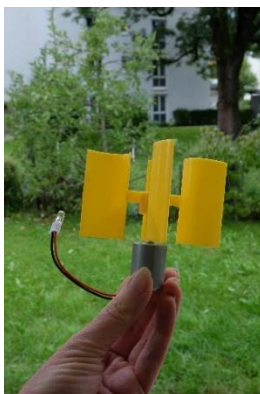


Experimente und Projektideen



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

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



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

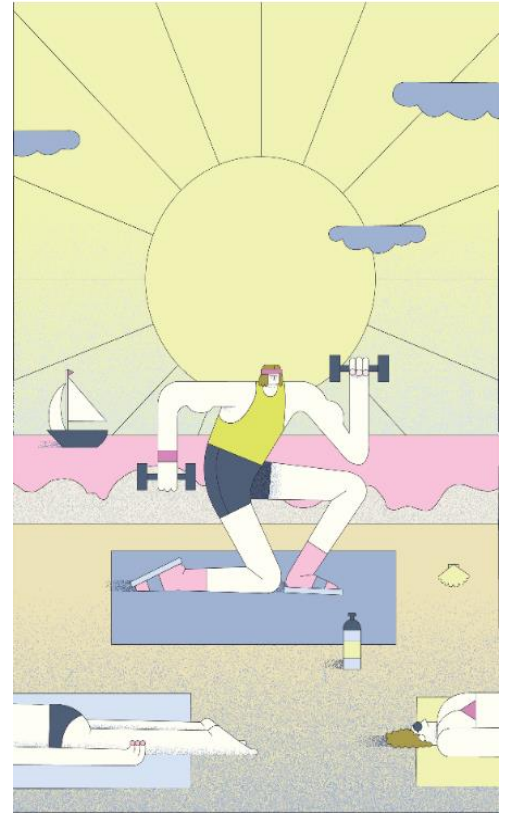
Großartiges Material ist hier unter <https://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/dateien/standortplanung-einer-windenergieanlage>



3.3 Solarenergie

Die Energie der Sonne, die die Erde erreicht, ist der grundlegendste aller Energieträger und spielt eine zentrale Rolle in unserem Alltag. Die Präsenz der Sonnenenergie im täglichen Tag-Nacht-Rhythmus beeinflusst Temperaturschwankungen und die Verfügbarkeit von Energie aus Photovoltaikanlagen. Sie beeinflusst auch eine Vielzahl biologischer Prozesse, die unseren Alltag auf vielfältige Weise strukturieren.

Zudem ist die Sonnenenergie die Primärenergie, die letztendlich fast alle anderen erneuerbaren Energiequellen (mit Ausnahme der tiefen Geothermie und der Gezeiten) erzeugt oder ihre Erneuerbarkeit ermöglicht: Die Sonneneinstrahlung erwärmt die Erdoberfläche und die Atmosphäre, was die Verdunstung von Wasser ermöglicht und somit den Wasserkreislauf antreibt. Temperaturunterschiede an der Erdoberfläche und in den darüber liegenden Luftschichten führen zu Druckunterschieden in der Erdatmosphäre, die durch Winde ausgeglichen werden. Die im Sonnenlicht enthaltene UV-Strahlung treibt die chemischen Reaktionen der Photosynthese an und ermöglicht so die Erzeugung von Biomasse. Selbst die Wärmequellen, die im Rahmen der oberflächennahen Geothermie genutzt werden, werden durch die Einstrahlung von Sonnenenergie und den Wärmetransport ins Erdreich genährt, wobei die Wärme aus dem Erdinneren von nachgeordneter Bedeutung ist.



Das Thema Solarenergie wird im Lehrplan vielfach behandelt. Die Berechnung des Potenzials der Solarenergie kann als motivierendes oder vertiefendes Beispiel für Energieumwandlungen und die Anwendung des Wirkungsgrades dienen. Die Analyse des zeitlichen Verlaufs der Leistung einer PV-Anlage bietet eine faszinierende Möglichkeit, das Konzept der Leistung näher zu vertiefen.

In den Büchern:



S. 34-45



S.49- 66

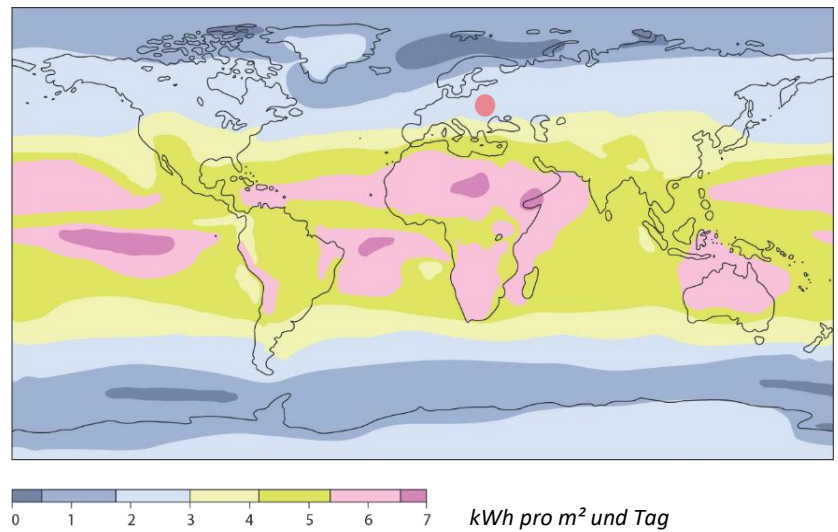
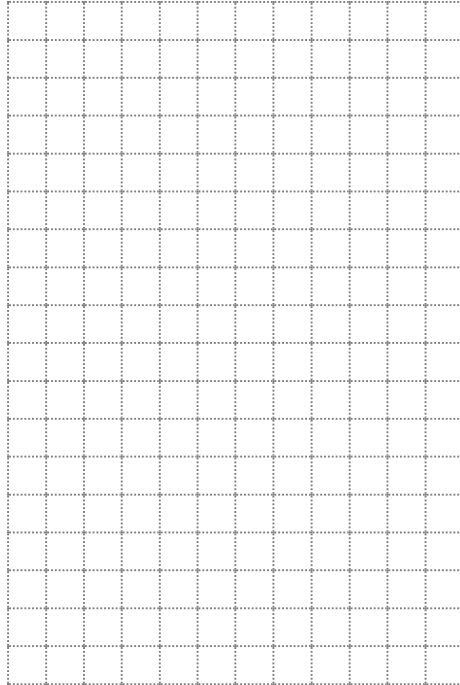
Los geht's:

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

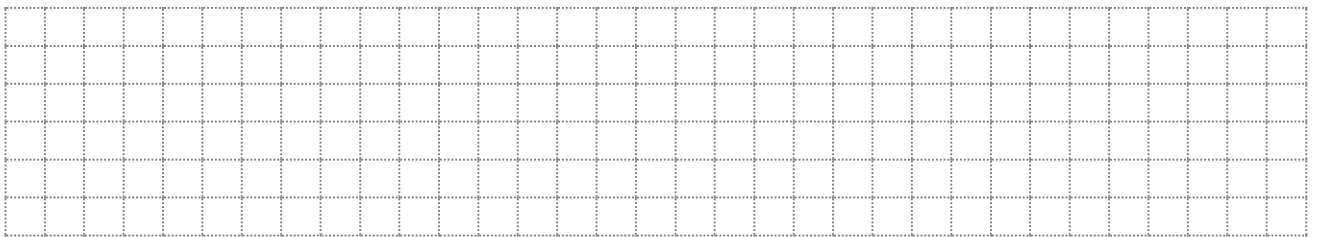
- Arbeitsblatt „Abschätzung des Beitrags der Solarenergie“ (2 Seiten + 2 Lösungsseiten)
- Arbeitsblatt „Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte“ (2 Seiten + 2 Lösungsseiten + 2 Seiten Hilfekärtchen)

Abschätzung des Beitrags der Solarenergie

- 1) Beurteile mit Hilfe der Grafik die grundsätzliche Eignung des Standorts Deutschland zur Nutzung von Solarenergie.



- 2) Der Wirkungsgrad von Solarzellen liegt bei ca. 20 %. Bestimme mit Hilfe der obigen Grafik die el. Energiemenge, die durch Fotovoltaik (PV) pro m² und Tag in Deutschland genutzt werden kann.

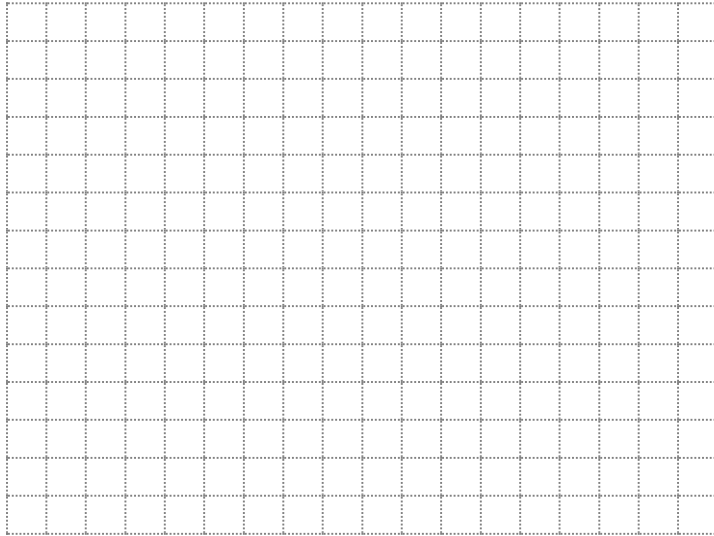


- 3) Die Dachflächen in Deutschland betragen ca. **1500 km²**. Zusätzlich werden bereits heute PV-Anlagen auf Freiflächen zur Stromerzeugung installiert. Nehmen wir an, dass in Zukunft auf ca. **3000 km²** der Freifläche Deutschlands (das entspricht ca. 1 %) PV installiert wird.

Schätze die el. Energiemenge in kWh pro Tag ab, die man per PV auf Dächern und Freiflächenanlagen in Deutschland nutzen könnte.

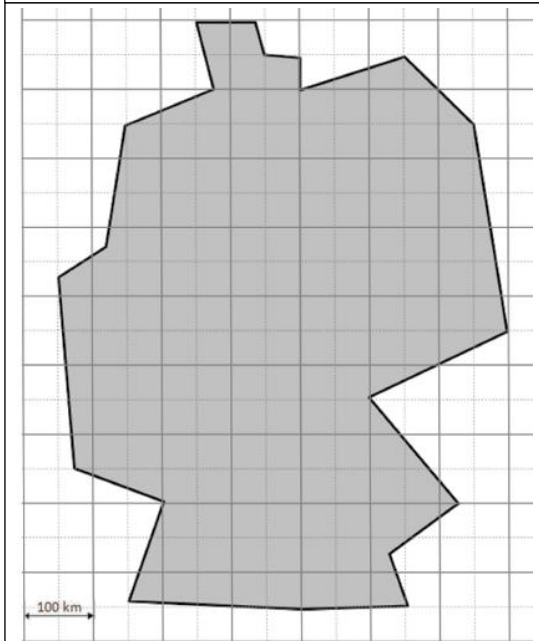


- 4) Markiere den dafür benötigten Flächenanteil für PV-Anlagen in der nebenstehenden Deutschlandkarte.

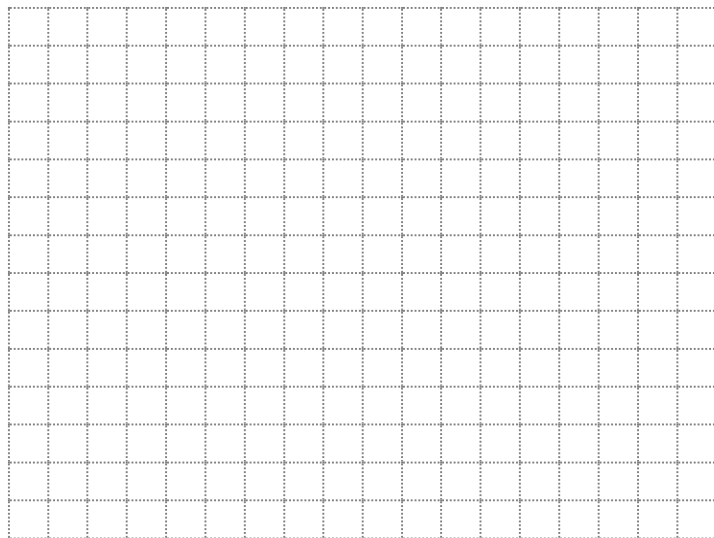


Ein großes Kästchen entspricht bei einer Kantenlänge von 100 km einer Fläche von $100 \text{ km} \cdot 100 \text{ km} = 10\,000 \text{ km}^2$.

Ein kleines Kästchen entspricht bei einer Kantenlänge von 50 km einer Fläche von $50 \text{ km} \cdot 50 \text{ km} = 2\,500 \text{ km}^2$.



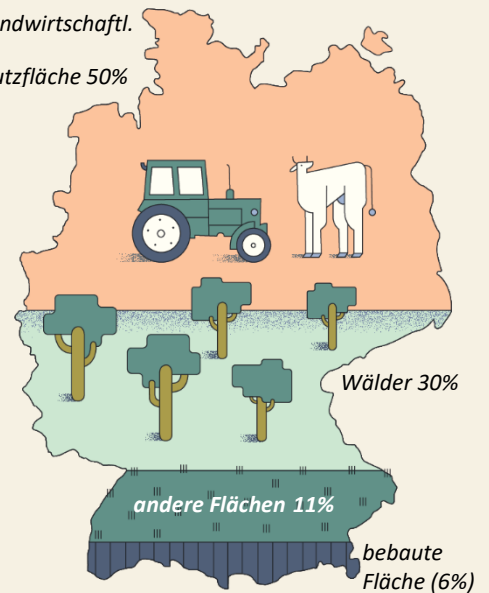
- 5) Bestimme mithilfe des Ergebnisses aus Aufgabe 3 die el. Energiemenge, die pro Person und pro Tag in Deutschland (ca. 80 Millionen Einwohner) durch die obigen PV-Anlagen genutzt werden könnte.



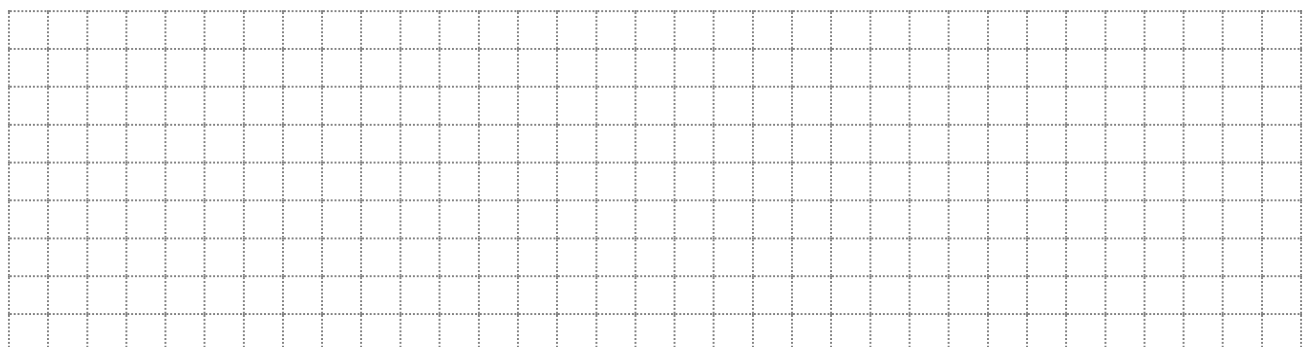
Gesamtfläche 357.581 km^2

Landwirtschaftl.

Nutzfläche 50%



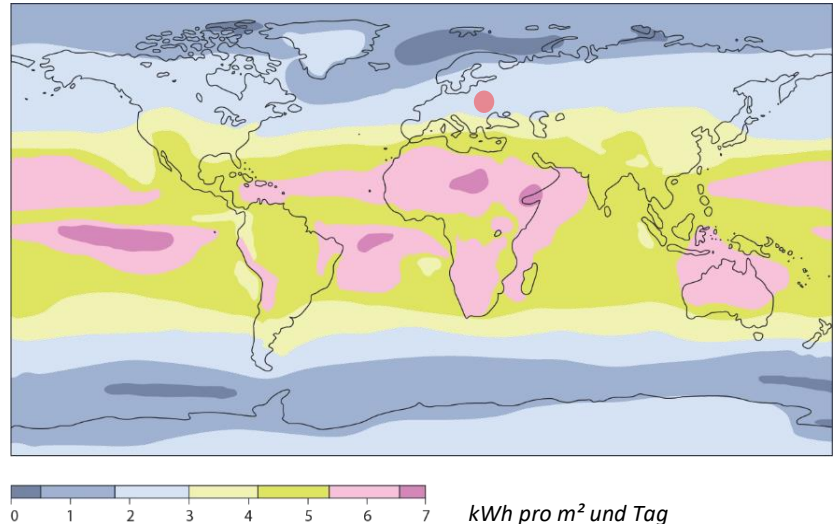
- 6) Diskutiere welche Probleme bei der Nutzung von Freiflächen für PV-Anlagen auftreten können und biete (soweit möglich) Lösungsvorschläge für diese Probleme an.



Abschätzung des Beitrags der Solarenergie – *Lösungen*

- 1) Beurteile mit Hilfe der Grafik die grundsätzliche Eignung des Standortes Deutschland zur Nutzung von Solarenergie.

Deutschland erhält (im Jahresmittel) eine Einstrahlung von ca. 2 bis 3 kWh pro m² und Tag.



- Im weltweiten Vergleich ist dies eher im unteren Mittelfeld,
- die Polarragionen erhalten zwar noch weniger,
- große Teile Afrikas, Lateinamerikas sowie Südasiens erreichen jedoch das Doppelte bis Dreifache der Einstrahlung (bis zu 7 kWh pro m² und Tag).
- Regionen mit maximaler Einstrahlung sind jedoch Wüsten- bzw. Trockengebiete, z. B. Sahara sowie Naher Osten)

- 2) Der Wirkungsgrad von Solarzellen liegt bei ca. 20 %. Bestimme mit Hilfe der obigen Grafik die el. Energiemenge, die durch Fotovoltaik (PV) pro m² und Tag in Deutschland genutzt werden kann.

geg.: $\eta = 20 \% = 0,20$; $E_{auf, pro m^2} = 2 \text{ bis } 3 \frac{kWh}{m^2} \approx 2,5 \frac{kWh}{m^2}$ (in 1 Tag)

ges.: E_{nutz}

Lsg.: $\eta = \frac{E_{nutz}}{E_{auf}}$

$E_{nutz, pro m^2} = \eta \cdot E_{auf} = 0,2 \cdot 2,5 \frac{kWh}{m^2} = 0,5 \frac{kWh}{m^2}$ (in 1 Tag)

- 3) Die Dachflächen in Deutschland betragen ca. **1500 km²**. Zusätzlich werden bereits heute PV-Anlagen auf Freiflächen zur Stromerzeugung installiert. Nehmen wir an, dass in Zukunft auf ca. **3000 km²** der Freifläche Deutschlands (das entspricht ca. 1 %) PV installiert wird.



Schätze die el. Energiemenge in kWh pro Tag ab, die man per PV auf Dächern und Freiflächenanlagen in Deutschland nutzen könnte.

geg.: $E_{nutz, pro m^2} = 0,5 \frac{kWh}{m^2}$ (in 1 Tag, aus Aufgabe 2)

$A = 1500 \text{ km}^2 + 3000 \text{ km}^2 = 4500 \text{ km}^2 = 4500 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ ges.: $E_{nutz, gesamt}$

Lsg.: $1 \text{ m}^2 \triangleq 0,5 \text{ kWh}$

$4500 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \triangleq 2,3 \cdot 10^9 \text{ kWh}$ (in 1 Tag) (TR: $2,25 \cdot 10^9$)

- 4) Markiere den dafür benötigten gesamten Flächenanteil für PV-Anlagen in der nebenstehenden Deutschlandkarte.

geg.: $A = 4500 \text{ km}^2$

1 gr. Kästchen $\triangleq 10\,000 \text{ km}^2$

1 kl. Kästchen $\triangleq 2\,500 \text{ km}^2$

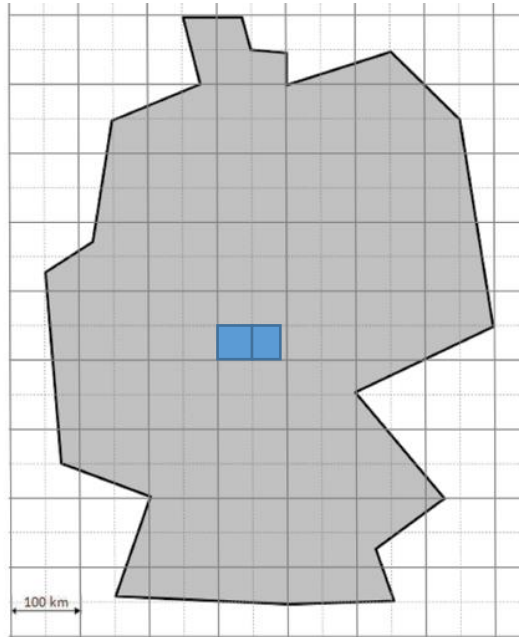
ges.: Anzahl der Kästchen in der Abbildung

Lsg.: $4500 \text{ km}^2 : 2500 \text{ km}^2 = 1,8$

4500 km² entsprechen
fast 2 kleinen Kästchen.

Ein großes Kästchen entspricht bei einer Kantenlänge von 100 km einer Fläche von $100 \text{ km} \cdot 100 \text{ km} = 10\,000 \text{ km}^2$.

Ein kleines Kästchen entspricht bei einer Kantenlänge von 50 km einer Fläche von $50 \text{ km} \cdot 50 \text{ km} = 2\,500 \text{ km}^2$.



- 5) Bestimme mithilfe des Ergebnisses aus Aufgabe 3 die el. Energiemenge, die pro Person und pro Tag in Deutschland (ca. 80 Millionen Einwohner) durch die obigen PV-Anlagen genutzt werden könnte.

geg.: $E_{\text{nutz, gesamt}} = 2,3 \cdot 10^9 \text{ kWh}$ (aus Nr. 3)

Anzahl der Einwohner $n = 80\,000\,000$

ges.: $E_{\text{nutz, pro Person}}$

Lsg.: $80\,000\,000 \text{ Einwohner} \triangleq 2,3 \cdot 10^9 \text{ kWh}$

1 Einwohner $\triangleq 2,3 \cdot 10^9 \text{ kWh} : 80\,000\,000$

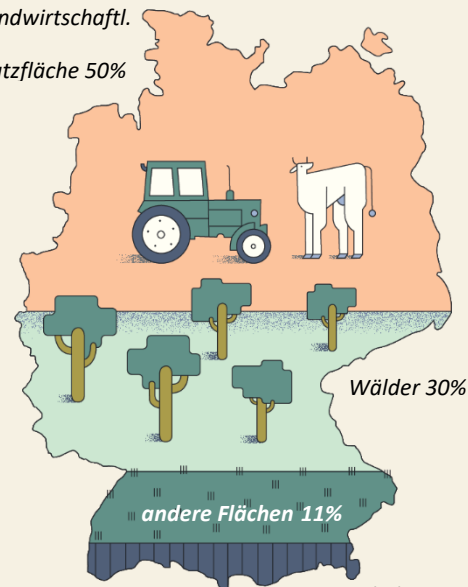
1 Einwohner $\triangleq 29 \text{ kWh}$

(mit genauerem TR-Wert aus Nr. 3: 28 kWh)

Gesamtfläche 357.581 km²

Landwirtschaftl.

Nutzfläche 50%



Wälder 30%

andere Flächen 11%

bebaute
Fläche (6%)

- 6) Diskutiere, welche Probleme bei der Nutzung von Freiflächen für PV-Anlagen auftreten können und biete (soweit möglich) Lösungsvorschläge für diese Probleme an.

Solarpaneele...

• in Waldgebieten:

Problem: Großflächige Rodung zur Vermeidung von Schattenbildung auf den Solarpaneelen
→ Verlust an Waldfläche

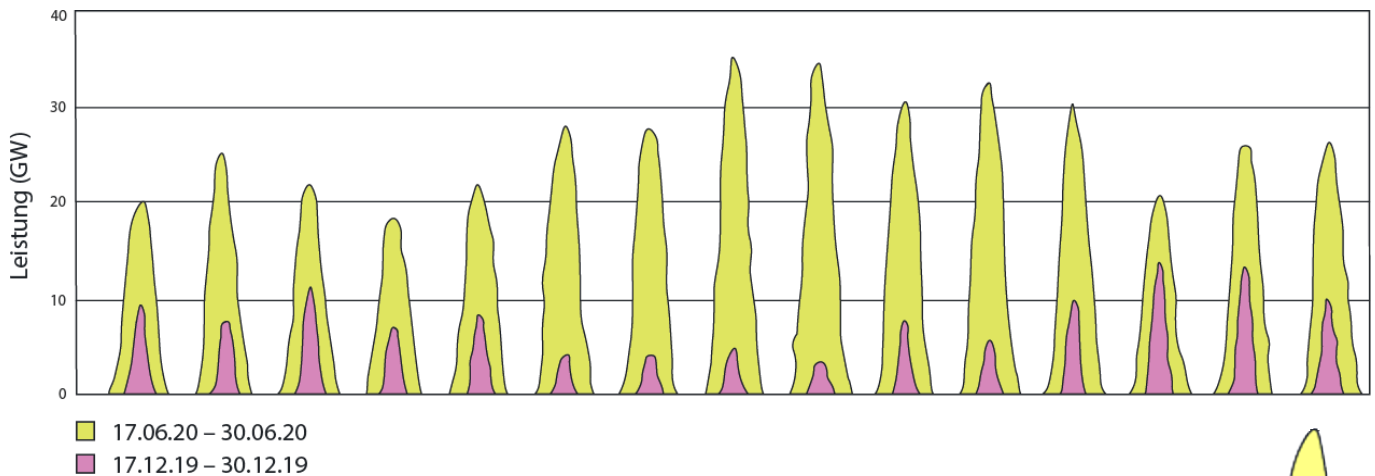
• auf landwirtschaftlichen Nutzflächen:

Problem: Nutzungskonflikt zwischen Erzeugung von Nahrungsmitteln oder elektrischer Energie
Lösung: hybride Nutzung, d. h. Installation der PV-Anlagen in mehreren Metern Höhe, damit die Fläche darunter für Bepflanzung und Bewirtschaftung nutzbar bleibt.

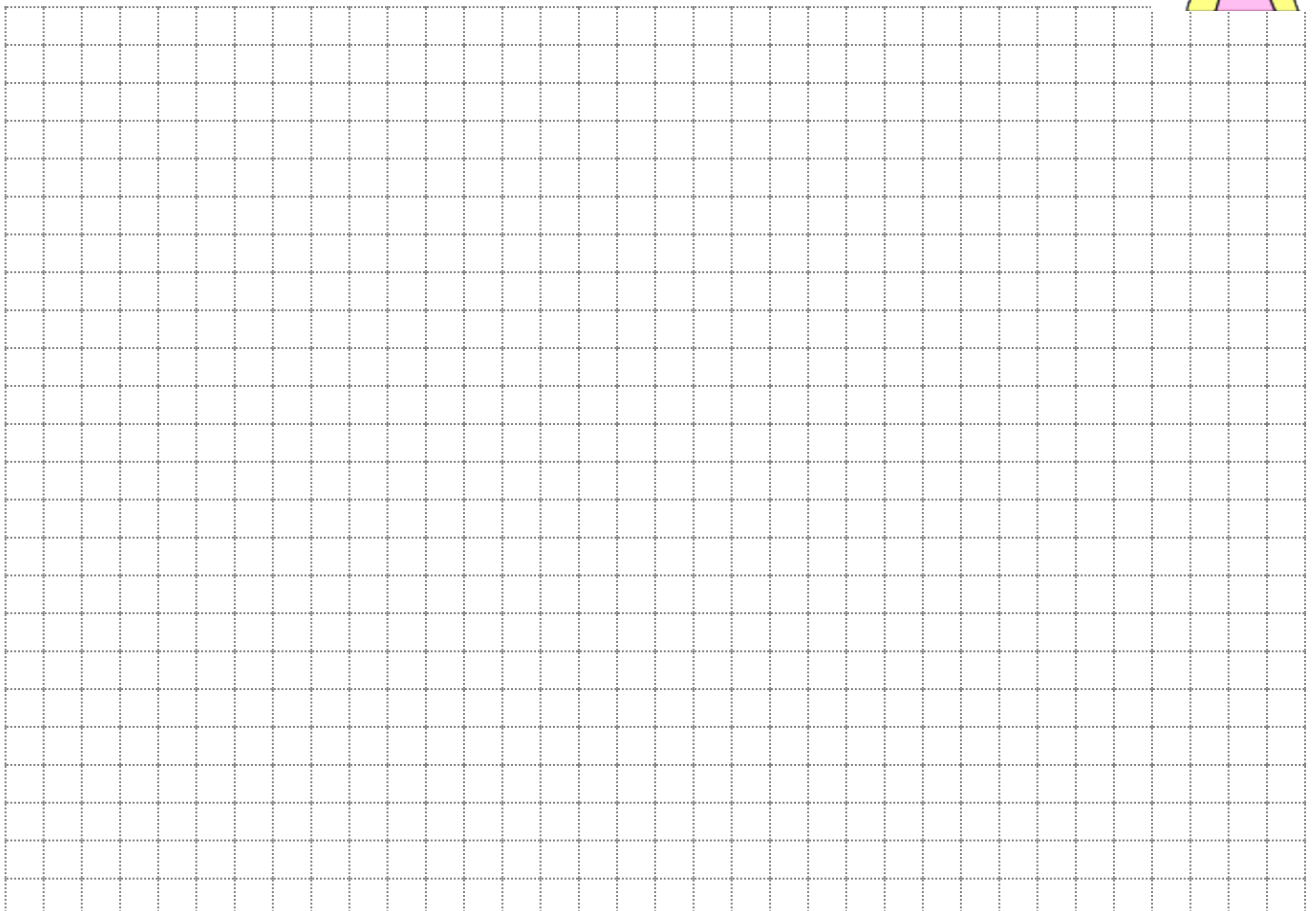
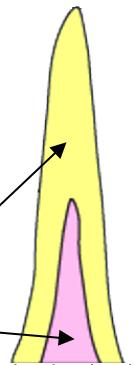
Einschränkung: Nur geeignet für Nutzpflanzen mit geringem Bedarf an Sonnenenergie

Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Stromproduktion aus Fotovoltaik in ganz Deutschland über zwei Zeiträume von 14 Tagen. Dabei wurde die el. Leistung in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen.



- 1) Erkläre, wie die Spitzen entstehen_____
- 2) Bestimme durch geeignete Abschätzungen die Energie, die deutschlandweit am 17.6. erzeugt wurde und vergleiche sie mit der Energie am 17.12. Nutze dazu unbedingt die Hilfekarten!



- 3) Im Jahr 2022 benötigt Deutschland eine Leistung von ca. 65 GW in den 12 Stunden am Tag und eine Leistung von ca. 55 GW in den 12 Nachstunden⁶. Berechne die gesamte benötigte Energie pro Tag im Durchschnitt.

- 4) Berechne den Anteil der Energie, die durch Solarenergie gewonnen werden kann in Bezug auf die gesamte benötigte Energie aus Aufgabe 3, und zwar
- an einem Sommertag und
 - an einem Wintertag.

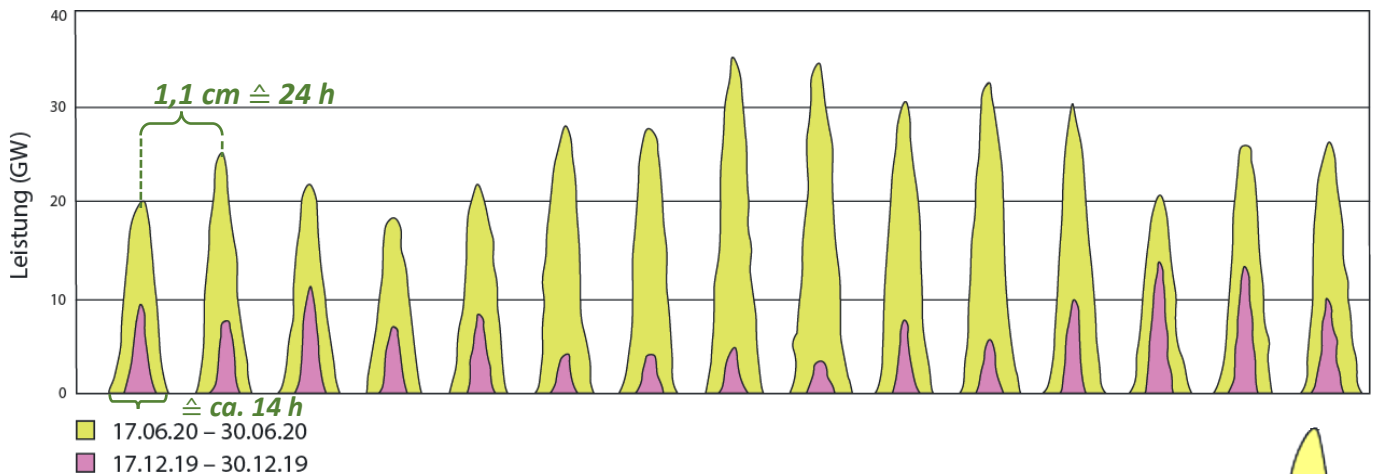
- 5) Überlege dir anhand dieser Ergebnisse, inwiefern die Solarenergie für die Energieversorgung hilfreich ist. Erkläre, warum die Solarenergie für die zukünftige Energieversorgung ein Problem sein könnte, und nenne mögliche Lösungsansätze.

⁶ https://www.agora-energielende.de/service/agorameter/chart/power_generation/07.09.2021/07.09.2022/today/

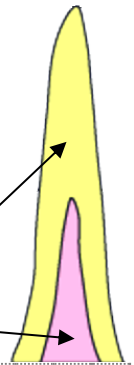
Leistung der Solarenergie:

Warum nachts die Sonne scheinen sollte – **Lösungen**

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Stromproduktion aus Fotovoltaik in ganz Deutschland über zwei Zeiträume von 14 Tagen. Dabei wurde die el. Leistung in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen.



- 1) Erkläre, wie die Spitzen entstehen. Optimale Sonneneinstrahlung zur Mittagszeit
- 2) Bestimme durch geeignete Abschätzungen die Energie, die deutschlandweit am 17.6. erzeugt wurde und vergleiche sie mit der Energie am 17.12. Nutze dazu unbedingt die Hilfekarten!



aus dem Diagramm: Sonnenzeit im Juni $t = 14 \text{ h}$

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow P = \frac{E}{t} \quad | \cdot t$$

$$E = P \cdot t \quad (\text{nur wenn } P \text{ während der gesamten Zeit } t \text{ konstant bleibt})$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot P_{\max} \cdot t \quad (\text{wenn der Verlauf der Leistung } P \text{ im } P(t)\text{-Diagramm einem}$$

$$\text{Dreieck entspricht; Flächeninhalt } A_{\Delta} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot h)$$

Sommer: $E_{\text{Jun}} = \frac{1}{2} \cdot 20 \text{ GW} \cdot 14 \text{ h} = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot 14 \text{ h} = 1,4 \cdot 10^{11} \text{ W} = 1,4 \cdot 10^8 \text{ kW}$

Winter: aus dem Diagramm: Sonnenzeit im Dezember $t = 6 \text{ h}$; Höchst-Leistung $P_{\max} = 10 \text{ GW}$

$$E_{\text{Dez}} = \frac{1}{2} \cdot 20 \text{ GW} \cdot 6 \text{ h} = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot 6 \text{ h} = 0,3 \cdot 10^{11} \text{ W} = 0,3 \cdot 10^8 \text{ kW}$$

- 3) Im Jahr 2022 benötigt Deutschland eine Leistung von ca. 65 GW in den 12 Stunden am Tag und eine Leistung von ca. 55 GW in den 12 Nachstunden¹. Berechne die gesamte benötigte Energie pro Tag im Durchschnitt.

$$\begin{aligned}
 \text{geg.: } & \text{Tag: } P = 65 \text{ GW} \quad t = 12 \text{ h} \\
 & \text{Nacht: } P = 55 \text{ GW} \quad t = 12 \text{ h} \\
 \text{ges.: } & E_{\text{gesamt, 1 Tag}} \\
 \text{Lsg.: } & E = P \cdot t \\
 & E_{\text{Tag}} = 65 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot 12 \text{ h} = 780 \cdot 10^9 \text{ Wh} \\
 & E_{\text{Nacht}} = 55 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot 12 \text{ h} = 660 \cdot 10^9 \text{ Wh} \\
 & E_{\text{gesamt}} = 1440 \cdot 10^9 \text{ Wh} = 1,4 \cdot 10^9 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

- 4) Berechne den Anteil der Energie, die durch Solarenergie gewonnen werden kann in Bezug auf die gesamte benötigte Energie aus Aufgabe 3, und zwar
- an einem Sommertag und
 - an einem Wintertag.

$$\begin{aligned}
 \text{geg.: } & E_{\text{gesamt}} = 1,4 \cdot 10^9 \text{ kWh} \quad (\text{Ganzes}) \\
 & E_{\text{Jun}} = 1,4 \cdot 10^8 \text{ kWh} \quad (\text{Teil im Sommer}) \\
 & E_{\text{Dez}} = 0,3 \cdot 10^8 \text{ kWh} \quad (\text{Teil im Winter}) \\
 \text{ges.: } & \text{prozentuale Anteile} \\
 \text{Lsg.: } & \text{a) Anteil im Sommer: } \frac{1,4 \cdot 10^8 \text{ kWh}}{1,4 \cdot 10^9 \text{ kWh}} = 0,1 = 10 \% \\
 & \text{b) Anteil im Winter: } \frac{0,3 \cdot 10^8 \text{ kWh}}{1,4 \cdot 10^9 \text{ kWh}} = 0,02 = 2 \%
 \end{aligned}$$

- 5) Überlege dir anhand dieser Ergebnisse, inwiefern die Solarenergie für die Energieversorgung hilfreich ist. Erkläre, warum die Solarenergie für die zukünftige Energieversorgung ein Problem sein könnte, und nenne mögliche Lösungsansätze.

Im Sommer ist der Beitrag der Solarenergie relativ hoch und im Winter sehr gering

→ die Solarenergie kann nur im Sommer einen wesentlichen Beitrag liefern.

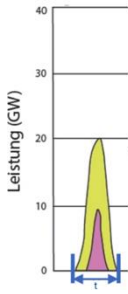
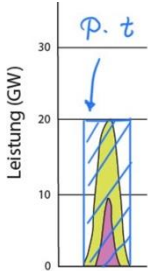
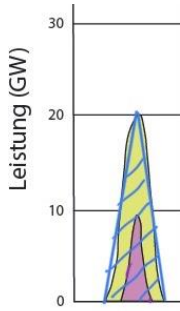
→ Lösungen:

- entweder Energiequellen, die auch im Winter einen Beitrag leisten,
- oder man muss die Energie im Sommer speichern.

¹ https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/power_generation/07.09.2021/07.09.2022/today/

Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte – *Hilfekarten*

Aufgabe 2

Hilfekarte 1 Überlege dir, welche Einheit die horizontale Achse (die, die nach rechts verläuft) hat.	Antwort 1 Die horizontale Achse entspricht der Zeitachse.
Hilfekarte 2 Schätze ab, wie groß die Zeit t ist, die im Diagramm dargestellt wird. Versuche klug zu schätzen und bedenke, dass es Juni ist. 	Antwort 2 $t = 14h$ In etwa die Sonnenstunden im Juni.
Hilfekarte 3 Auf der anderen Achse ist die Leistung aufgetragen. Stelle einen Zusammenhang zwischen Leistung und Energie (Formel!).	Antwort 3 $P = \frac{E}{t} \Rightarrow E = P \cdot t$
Hilfekarte 4 $P \cdot t$ kann man im Diagramm auch geometrisch deuten. Überlege dir, welche geometrische Größe man mit Länge (P) mal Breite (t) berechnet. Schraffiere im Diagramm beim 17.6. diese Figur mit Bleistift.	Antwort 4 Länge mal Breite ergibt Flächeninhalt. Wenn man also den Flächeninhalt herausfindet, dann weiß man auch die Energie. 
Hilfekarte 5 Die Fläche, die von der Leistungskurve eingeschlossen wird, zeigt die Energie, die am 17.6. gewonnen wurde. Das eingezeichnete Rechteck weicht jedoch zu sehr von der eigentlichen Fläche ab. Versuche die Näherung zu optimieren, indem du eine bessere Figur findest.	Antwort 5 Eine Dreiecksfläche ist besser geeignet. Bessere deine Skizze entsprechend nebenstehender Abbildung aus. 
Hilfekarte 6 Passe die Formel für den Flächeninhalt eines Dreiecks so an, dass damit die Energie am 17.6. berechnet werden kann.	Antwort 6 $\text{Fläche } A_{\Delta} = \frac{1}{2} \cdot \text{Länge} \cdot \text{Breite}$ $\rightarrow E = \frac{1}{2} \cdot P_{\max} \cdot t$
Hilfekarte 7 Berechne die Gesamtenergie in kWh.	Antwort 7 $1,4 \cdot 10^8 kWh$

Hilfekarte 8

Berechne genauso die Energie im Dezember.

Schritt 1: Ermittle P_{max} und t aus dem Diagramm

Schritt 2: Berechne $E_{Dezember}$ in der Einheit kWh

Antwort 8

Schritt 1: $P_{max} = 10 \cdot 10^6 \text{ kW}, t = 6 \text{ h}$

Schritt 2: $E_{Dezember} = 0,3 \cdot 10^8 \text{ kWh}$

Aufgabe 3**Hilfekarte zu Aufgabe 3**

- Nenne die Formel, mit der man die Energie aus der Leistung berechnen kann!
- Unterteile die gesamte Zeitspanne in Zeiten mit konstanter Leistung und berechne dann die Energie!

Lösung zu Aufgabe 3

$$E = P \cdot t$$

$$\begin{aligned} E &= 65 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot 12 \text{ h} + 55 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot 12 \text{ h} \\ &= 1440 \cdot 10^9 \text{ Wh} \\ &= 1,4 \cdot 10^9 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Aufgabe 4**Hilfekarte zu Aufgabe 4**

- Prozentualer Anteil = $\frac{\text{„Anteil“}}{\text{„Ganzes“}} \cdot 100 \%$
- Das „Ganze“ ist das Ergebnis aus Nr. 3
- Die beiden „Anteile“ (einer für Sommer und einer für Winter) wurden in Aufgabe 2 ermittelt.

Lösung zu Aufgabe 4

$$\text{Anteil im Sommer: } \frac{1,4 \cdot 10^8 \text{ kWh}}{1,4 \cdot 10^9 \text{ kWh}} = 0,1 = 10 \%$$

$$\text{Anteil im Winter: } \frac{0,3 \cdot 10^8 \text{ kWh}}{1,4 \cdot 10^9 \text{ kWh}} = 0,02 = 2 \%$$

Aufgabe 5**Hilfekarte zu Aufgabe 5**

Bewerte die beiden Ergebnisse für Sommer und für Winter jeweils einzeln.

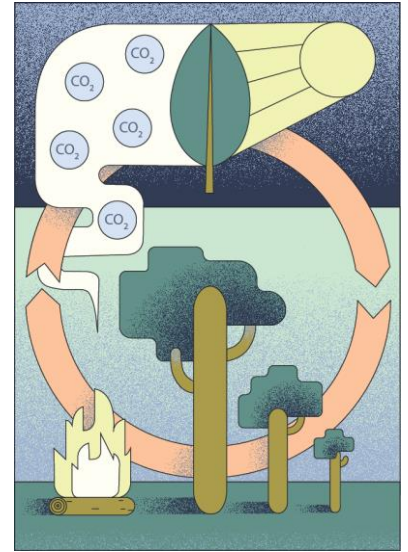
Lösung zu Aufgabe 5

Im Sommer ist der Beitrag der Solarenergie relativ hoch, im Winter sehr gering, dh. die Solarenergie kann nur im Sommer einen wesentlichen Beitrag liefern. Um das Problem zu lösen, benötigt man entweder Energiequellen, die auch im Winter einen Beitrag leisten, oder man muss die Energie im Sommer speichern.

3.4 Bioenergie

Im Kontext der Energiewende spielt der Energieträger Biomasse eine herausragende Rolle. Die Nutzung von Energie aus Biomasse, angefangen bei der Entdeckung des Feuers, repräsentiert die älteste Form der Energieumwandlung von Primärenergie in Nutzenergie durch den Menschen.

Biomasse wird im Alltag auch heute noch in Form von Wärmegewinnung durch Kaminöfen, Pelletheizungen und Biogas genutzt, wodurch sie für didaktische Zwecke leicht zugänglich ist. Zugleich stellt sie aus technischer Perspektive im Rahmen der Energiewende einen Energieträger dar, der in der Lage ist, die wetter- und saisonbedingten Schwankungen anderer Energieträger auszugleichen.



In den Büchern:



S. 48-59



S. 124-138

Los geht's:

Folgende Materialien bieten eine kompetenzorientierte Herangehensweise an das Thema der Energie aus Biomasse, die es den Schülern ermöglicht,

- mit Faktenwissen an den gesellschaftlichen wichtigen Diskussionen zur Energiewende teilzunehmen,
- Anknüpfungspunkte an fächerübergreifende Diskussionen bietet
- und eine motivierende Herangehensweise an den Primärenergieträger Biomasse darstellt.

Material:

Arbeitsblatt „Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende“ (2 Seiten + 2 Seiten Lösungen)

- b) Bestimme die Energie, die in einem Jahr durch Biomasse zur Verfügung gestellt werden kann, wenn 30 % der landwirtschaftlichen Fläche (*siehe Aufgabe 3*) zum Anbau dafür genutzt werden kann.



- 5) Wälder wandeln die Strahlungsenergie der Sonne ($E = 1000 \text{ kWh pro } m^2 \text{ pro Jahr}$) mit einem Wirkungsgrad von maximal 0,35 % in chemische Energie um.



- a) Bestimme damit die Energie, die pro m^2 in einem Jahr durch die Nutzung von Holz zur Verfügung steht.

- b) Bestimme die Energie, die in einem Jahr durch Holz zur Verfügung gestellt werden kann, wenn 40 % der Waldfläche dafür genutzt werden.



Hinweis: Eine „Nutzung von 40 %“ bedeutet **nicht**, dass jedes Jahr 40 % der gesamten Waldfläche dafür geerntet werden müssen! Da die Bäume die Strahlungsenergie der Sonne in chemische Energie umwandeln, speichern sie die Energie langfristig. Wenn man einen Baum fällt und thermisch verwertet, nutzt man die gesamte Energie, die der Baum im Laufe seines Lebens eingespeichert hat. Daher genügt es, wenn man jährlich nur einen kleinen Bruchteil der Bäume von der 40%igen Nutzfläche fällt.

- 6) Vergleiche die Ergebnisse aus Aufgabe 4) und 5) mit dem Bedarf an Primärenergie von 120 kWh pro Person pro Tag in Deutschland. Beachte, dass ca. 15 % der Energie für den Anbau und die Ernte benötigt werden.

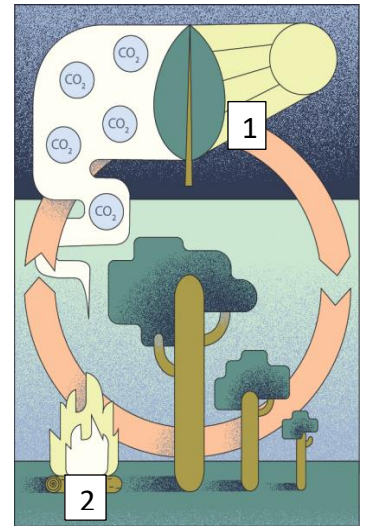


- 7) Diskutiere die Vor- und Nachteile der Nutzung von Bioenergie.

Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende – *Lösungen*

- 1) In der Abbildung rechts ist der Kohlenstoffkreislauf dargestellt. Nenne die bei **1** und **2** auftretenden Energieumwandlungen und Energieformen.

1)	Strahlungsenergie	$\xrightarrow{\text{Photosynthese}}$	chemische Energie
kurz:	$E_{\text{Strahlung}}$	$\xrightarrow{\text{Photosynthese}}$	E_{chem}
2)	chem. Energie	$\xrightarrow{\text{Verbrennung}}$	Wärmeenergie, Strahlungsenergie
kurz:	E_{chem}	$\xrightarrow{\text{Verbrennung}}$	$W_{\text{th}}; E_{\text{Strahlung}}$

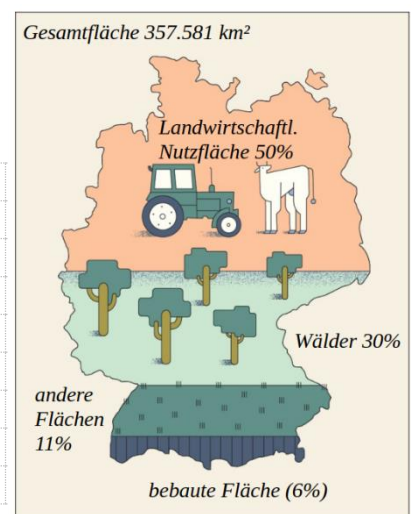


- 2) Nimm dazu Stellung, inwieweit man Biomasse als CO₂-neutral beschreiben kann.

- CO ₂ -neutral, wenn der Rohstoff zeitnah nachwächst
- nicht CO ₂ -neutral, wenn ein langer Zeitraum des Wachstums, wie z. B. bei Urwäldern

- 3) Berechne jeweils mit Hilfe der nebenstehenden Abbildung, welche Fläche in Deutschland landwirtschaftlich genutzt wird, bzw. von Wald bedeckt ist.

Landwirtschaft:
$357\,581\text{ km}^2 \cdot 0,5 \approx 178\,791\text{ km}^2$
Wald:
$357\,581\text{ km}^2 \cdot 0,3 \approx 107\,274\text{ km}^2$



- 4) Zur Herstellung von Biomasse verwendet man unter anderem Mais, Pappel oder Raps. Diese wandeln mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von maximal 0,5 % die Strahlungsenergie der Sonne in chemische Energie um. Die Sonne stellt in Deutschland eine Energie von 1000 kWh pro m² pro Jahr zu Verfügung.



- a) Bestimme damit die Energie, die pro m² in einem Jahr durch die Nutzung von Biomasse zur Verfügung steht.

geg.: $\eta = 0,5\% = 0,005$; $E_{\text{auf, pro m}^2} = 1000 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \text{ (in 1 Jahr)}$	ges.: E_{nutz}
Lsg.: $\eta = \frac{E_{\text{nutz}}}{E_{\text{auf}}}$	
$E_{\text{nutz}} = \eta \cdot E_{\text{auf}} = 0,005 \cdot 1000 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} = 5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \text{ (in 1 Jahr)}$	

- b) Bestimme die Energie, die in einem Jahr durch Biomasse zur Verfügung gestellt werden kann, wenn 30 % der landwirtschaftlichen Fläche (*siehe Aufgabe 3*) zum Anbau dafür genutzt werden kann.

$$\begin{aligned} \text{landw. Fläche für Biomasse:} \quad & 30 \% = 0,3 \\ & A = 0,3 \cdot 178\,791 \text{ km}^2 \approx 53637 \text{ km}^2 = 53637 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \\ \text{Energie aus Biomasse in Deutschland: } & E_{\text{nutz},D,1\text{Jahr}} = 53637 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \approx 268 \cdot 10^9 \text{ kWh} \end{aligned}$$

- 5) Wälder wandeln die Strahlungsenergie der Sonne ($E = 1000 \text{ kWh pro m}^2 \text{ pro Jahr}$) mit einem Wirkungsgrad von maximal 0,35 % in chemische Energie um.



- a) Bestimme damit die Energie, die pro m^2 in einem Jahr durch die Nutzung von Holz zur Verfügung steht.

$$\begin{aligned} \text{geg.: } \eta &= 0,35 \% = 0,0035; \quad E_{\text{auf},\text{pro m}^2} = 1000 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \quad (\text{in 1 Jahr}) \quad \text{ges.: } E_{\text{nutz}} \\ \text{Lsg.: } \eta &= \frac{E_{\text{nutz}}}{E_{\text{auf}}} \\ E_{\text{nutz}} &= \eta \cdot E_{\text{auf}} = 0,0035 \cdot 1000 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} = 3,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \quad (\text{in 1 Jahr}) \end{aligned}$$

- b) Bestimme die Energie, die in einem Jahr durch Holz zur Verfügung gestellt werden kann, wenn 40 % der Waldfläche dafür genutzt werden kann. $40 \% = 0,4$

$$\begin{aligned} \text{nutzbare Waldfläche:} \quad & A = 0,4 \cdot 107274 \text{ km}^2 \approx 42910 \text{ km}^2 = 42910 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \\ \text{Energie aus Wald in Deutschland: } & E_{\text{nutz},D,1\text{Jahr}} = 42910 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 3,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \approx 150 \cdot 10^9 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Hinweis: Eine „Nutzung von 40 %“ bedeutet **nicht**, dass jedes Jahr 40 % der gesamten Waldfläche dafür geerntet werden müssen! Da die Bäume die Strahlungsenergie der Sonne in chemische Energie umwandeln, speichern sie die Energie langfristig. Wenn man einen Baum fällt und thermisch verwertet, nutzt man die gesamte Energie, die der Baum im Laufe seines Lebens eingespeichert hat. Daher genügt es, wenn man jährlich nur einen kleinen Bruchteil der Bäume von der 40%igen Nutzfläche fällt.

- 6) Vergleiche die Ergebnisse aus Aufgabe 4) und 5) mit dem Bedarf an Primärenergie von 120 kWh pro Person pro Tag in Deutschland. Beachte, dass ca. 15 % der Energie für den Anbau und die Ernte benötigt werden.

$$\begin{aligned} \text{geg.: Anzahl der Einwohner in Deutschland: } & \text{ca. } 80\,000\,000 = 80 \cdot 10^6; \quad \text{Tage pro Jahr: } 365 \\ E_{\text{Biomasse},D,1a} &= 268 \cdot 10^9 \text{ kWh} \quad E_{\text{Wald},D,1a} = 150 \cdot 10^9 \text{ kWh} \quad \eta = 1 - 0,15 = 0,85 \\ \text{Lsg.: } & \frac{268 \cdot 10^9 \text{ kWh} + 150 \cdot 10^9 \text{ kWh}}{80 \cdot 10^6 \cdot 365} \cdot 0,85 \approx 12 \text{ kWh} \quad (\hat{=} \frac{1}{10} \cdot 120 \text{ kWh}) \\ \text{A.: } & \text{Mit Bioenergie kann maximal } \frac{1}{10} \text{ des gesamten Primärenergiebedarfs gedeckt werden.} \end{aligned}$$

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

Vorteile:	- Versorgungssicherheit: Einsatz nach Bedarf, da speicherfähig (Holz, Biogas) - ökologischer Anbau bzw. Nutzung teilweise möglich - hohe Leistungen möglich
Nachteile:	- geringer Gesamt-Wirkungsgrad → sehr hoher Flächenbedarf - Konkurrenz mit Nahrungsmittelanbau - Wald als Lebensraum und CO₂-Senke - Förderung von Monokulturen - hoher Schadstoffausstoß bei manchen Heizungsarten