

Erneuerbare Energien

zum Verstehen und Mitreden

Unterrichtsmaterialien für die Realschule



Autoren: Monika Saak, Michael Blinzler, Georg Kobschätzky
Thomas Bauer, Benjamin Best, Dorle Lohn, Philipp Schneider

Koordination: Dr. Cecilia Scorza, Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät Physik



Klimawandel

verstehen und handeln

Erneuerbare Energien zum Verstehen und Mitreden Unterrichtsmaterialien für die **Realschule**

Stand: Januar 2025

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.



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

Wir freuen uns über Kollegen und Kolleginnen, die die Arbeitsblätter ausprobieren und über konstruktive Rückmeldungen und Erfahrungsberichte an uns:

kontakt@klimawandel-schule.de

Das Material wird kontinuierlich weiterentwickelt.

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

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

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 |
| 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 |
| 4. Zusatzmaterial | 80 |
| Wasserstoff, Elektroauto oder E-Fuels: Was könnte der Antrieb der Zukunft sein? | 81 |
| Wasserstoff, Elektroauto oder E-Fuels: Was könnte der Antrieb der Zukunft sein? – <i>Lösungen</i> | 83 |

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.

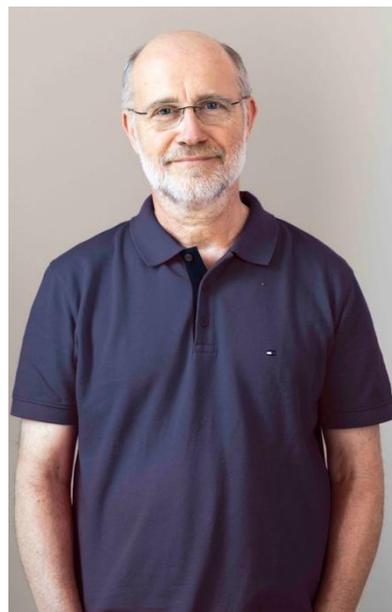
Gerade weil in unserer modernen Welt fast alles von Energie abhängt, ist die Dekarbonisierung unserer Energieversorgung der größte Hebel, den wir haben im Kampf gegen die Erderwärmung – und wir sollten schnell handeln, bis spätestens 2045 müssen wir klimaneutral werden, um deren Auswirkungen einigermaßen 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“ | <ul style="list-style-type: none"> - Energieformen - Energieumwandlungen | Ph 8 I / Ph 9 II/III |
| | AB 2: „Energieeinheiten oder Wer ist Robert“ | <ul style="list-style-type: none"> - Leistung als abgeleitete Größe (Formel und Einheit) - kWh / J - Vorsatzsilben Tera / kilo - einfacher Dreisatz | Lernbereich 1: Mechanik und Energie à Energie als Speichergröße à Energieformen à Energieumwandlungen |
| | AB 3: „Energiebedarf und Energieflussdiagramme in Deutschland“ | <ul style="list-style-type: none"> - 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 à Energieträger à Energieumwandlungen |
| | AB Leitfaden: „Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien“ | <ul style="list-style-type: none"> - Flächeneinheiten - Anteile berechnen - Siehe jeweilige Themen 1 bis 5 | Siehe jeweilige Themen 1 bis 5 |
| | AB „Energie, Leistung und Größenordnungen: Bewertung von Informationen“ | <ul style="list-style-type: none"> - 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 à Energie als Speichergröße à Energieformen à Energieumwandlungen à Leistung als abgeleitete Größe |
| 3.1 Wasserkraft | AB 1: „Energiegewinnung in einem Wasserkraftwerk“ | <ul style="list-style-type: none"> - 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 |
| | AB 2: „Wie viel el. Energie kann man in Deutschland durch Wasserkraft maximal bereitstellen?“ | <ul style="list-style-type: none"> - 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 | Lernbereich 4: Energieversorgung à Energieträger à Energieumwandlungen à Kraftwerke |

| | | | |
|------------------|---|---|--|
| 3.2 Windenergie | AB 1: „Ausbau Windenergie – Wie schaffen wir das?“ | - etwas Allgemeinwissen, - leichter Dreisatz | Ph 10 I / Ph 10 II/III |
| | 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 | Lernbereich 4: Energieversorgung à Energieträger à Energieumwandlungen à Kraftwerke |
| 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 à Energie als Speichergröße à Energieformen à Energieumwandlungen à Leistung als abgeleitete Größe |
| | 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 | Ph 10 I / Ph 10 II/III Lernbereich 4: Energieversorgung à Energieträger |
| 3.4 Bioenergie | AB „Abschätzung des Beitrags der Biomasse zur Energiewende“ | - Grundwissen Flächenumrechnung - Energie - Energieformen - Wirkungsgrad | Ph 9 I Lernbereich 2: Wärmelehre à Wärmekraftwerke Ph 10 I Lernbereich 4: Energieversorgung à Energieträger Ph 10 II/III Lernbereich 4: Energieversorgung à Energieträger à Wärmekraftwerke |
| 4 Zusatzmaterial | AB „Wasserstoff, Elektroauto oder E-Fuels: Was könnte der Antrieb der Zukunft sein?“ | - E_{kin} - Wirkungsgrad - Energieflussdiagramm | Ph 8 I / Ph 9 II/III Lernbereich 1: Mechanik und Energie à Energieformen à Energieumwandlungen Ph 10 Mechanik à kinetische Energie |

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.

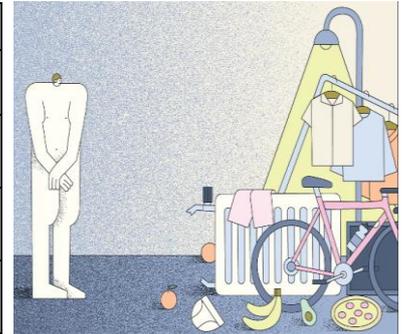
Material:

- 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

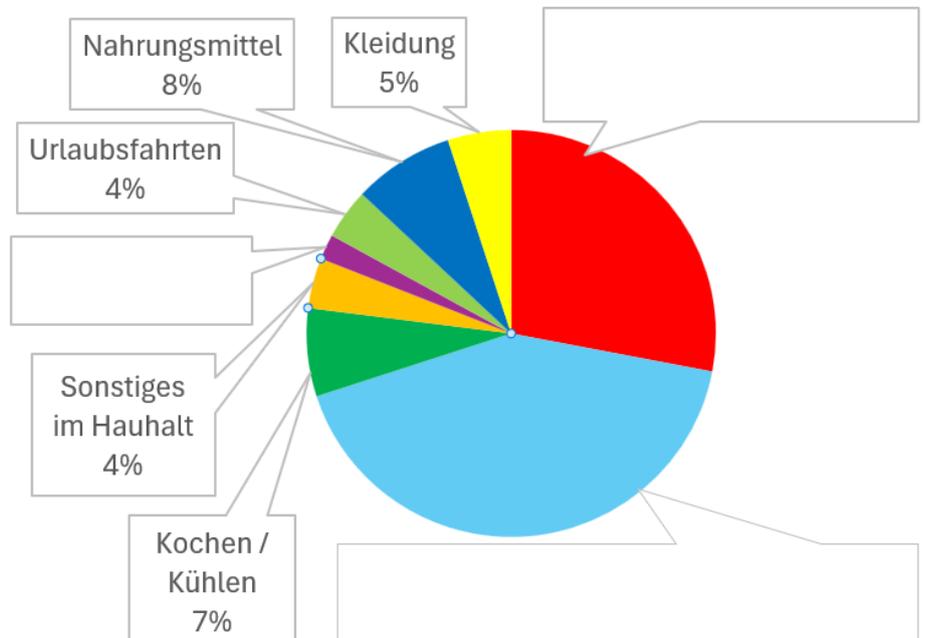
1) Beschreibe Situationen oder Bereiche aus dem Alltag, in denen Energie eine Rolle spielt und benenne die jeweils zugehörigen Energieformen.

| Situation / Alltagsbereich | Energieform |
|--|------------------------------|
| <i>Beispiel:</i> Energie durch Nahrung | Chemische Energie E_{chem} |
| | |
| | |
| | |



2) In der nebenstehenden Grafik sind die Anteile der verschiedenen Alltagsbereiche am gesamten Energiebedarf dargestellt.

a) Schätze ab, welche Bereiche hier in den leeren Sprechblasen dargestellt sind und trage sie ein.



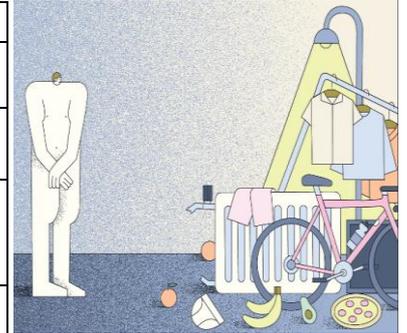
b) Ergänze die folgende Tabelle.

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

Everybody's Darling: Die Energie – *Lösungen*

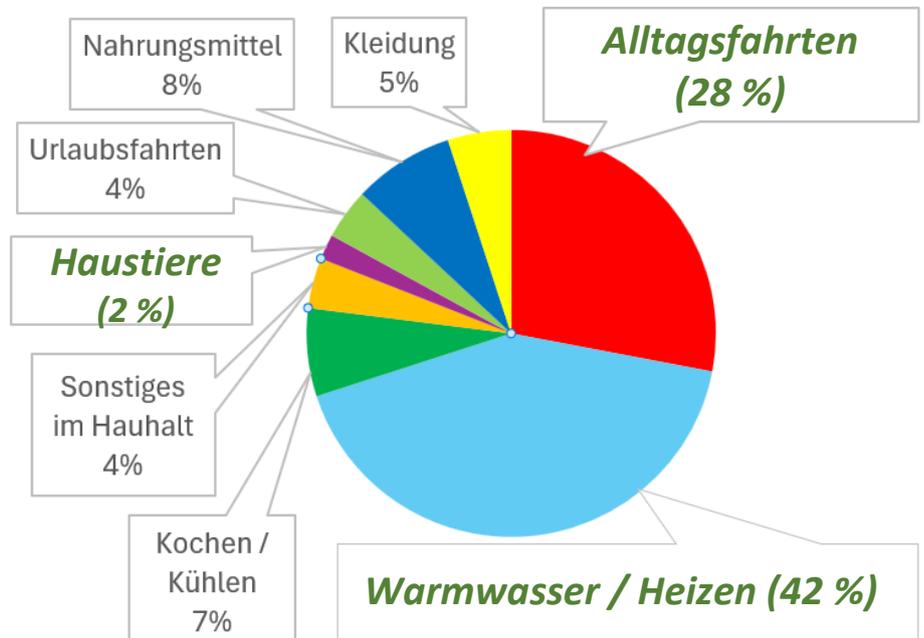
1) Beschreibe Situationen oder Bereiche aus dem Alltag, in denen Energie eine Rolle spielt und benenne die jeweils zugehörigen Energieformen.

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



2) In der nebenstehenden Grafik sind die Anteile der verschiedenen Alltagsbereiche am gesamten Energiebedarf dargestellt.

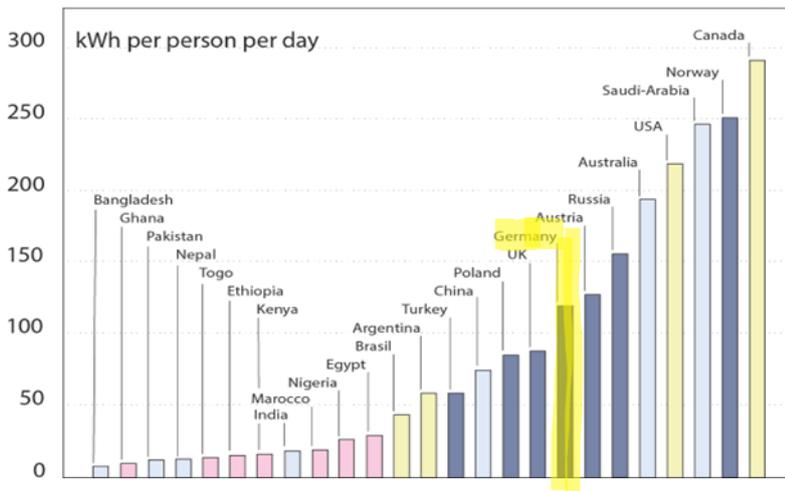
a) Schätze ab, welche Bereiche hier in den leeren Sprechblasen dargestellt sind und trage sie ein.



b) Ergänze die folgende Tabelle.

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

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) In den letzten Jahren ist der Energiebedarf für „Klimakälte“ deutlich angestiegen.

a) Ergänze die Tabelle.

| Situation / Alltagsbereich | Energieträger | Bereitgestellte Energieform | Maschine |
|----------------------------|---------------|-----------------------------|-------------|
| Kühlen | Strom | E_{el} | Klimaanlage |

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? ...

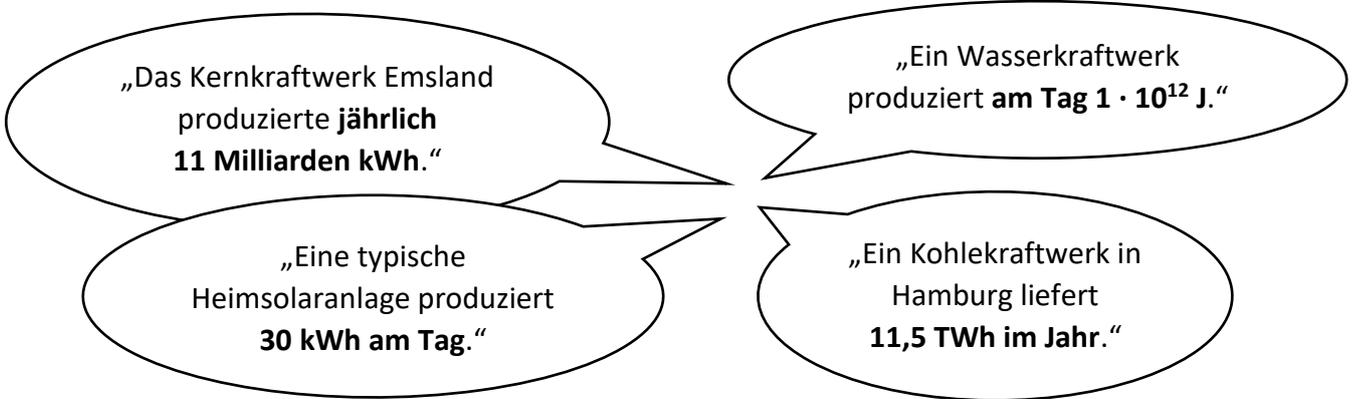
d) Recherchiere neben der Temperatursenkung in Gebäuden mindestens zwei weitere Bereiche, in denen ein hoher Energiebedarf für Kühlung notwendig ist.

Rechenzentren; Lebensmittel- und Getränkeindustrie; Industrie und Produktion

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) Welches Kraftwerk liefert deiner Meinung nach mehr Energie?

- Das Kohlekraftwerk in Hamburg. Das Kernkraftwerk Emsland.

Überprüfe deine Entscheidung rechnerisch.

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

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. *Tip: Wie viel mechanische Energie (in Kilowattstunden) hat Robert in 2,5 Minuten in elektrische Energie umgewandelt?*

| | | | |
|--|---|---|---|
| $1 \text{ Robert} \cong 0,021 \text{ kWh}$ | à | $1 \text{ Robert} \cong 21 \text{ Wh}$ | $\left. \begin{array}{l} : 21 \\ \cdot 1000 \end{array} \right\}$ |
| | | $0,048 \text{ Robert} \cong 1 \text{ Wh}$ | |
| | | $48 \text{ Robert} \cong 1 \text{ kWh}$ | |

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: $1 \text{ kWh} = 1 \cdot 1000 \text{ Wh} = 1000 \frac{\text{J}}{\text{s}} \text{ h} = 1000 \frac{\text{J}}{\text{s}} 60 \text{ min}$
 $= 1000 \frac{\text{J}}{\text{s}} 60 \cdot 60 \text{ s} = 3600\,000 \text{ J} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

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 in der Grafik ein.

| | |
|--|------------|
| $1 \text{ h} \hat{=} 0,10 \text{ kWh}$ | $\cdot 10$ |
| $10 \text{ h} \hat{=} 1,0 \text{ kWh}$ | |

e) Eine 100 W-Glühbirne kann durch eine LED ersetzt werden, die eine Leistung von 13 W hat. Berechne die Zeitdauer, wie lange eine solche LED-Birne und wie lange eine 100 W Glühbirne mit einer elektrischen Energie von 1,0 kWh leuchten kann. Trage die Zeiten in die Grafiken 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 viele Portionen Spaghetti kann man damit kochen? Suche im Internet nach Antworten (z. B. Duschrechner unter www.verbraucherzentrale.nrw/duschrechner) und trage die Werte in die Grafiken ein.



| | |
|-----------------------------------|--|
| Duschen: | Nudeln (1 Portion: 250 g): |
| ca. 3 kWh $\hat{=} 300 \text{ s}$ | 1 x kochen $\hat{=} \text{ca. } 350 \text{ W}$ |
| 1 kWh $\hat{=} 100 \text{ s}$ | 0,28 x ... $\hat{=} 100 \text{ W}$ |
| | 2,8 x ... $\hat{=} 1,0 \text{ kW}$ |

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.

Benzin

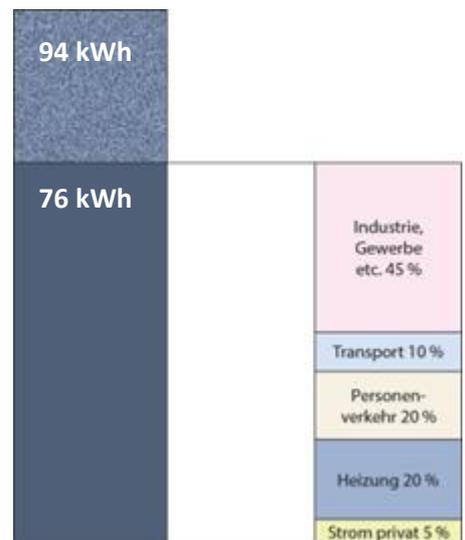
Energieeinheiten oder „Wer ist Robert“? – *Hinweise*

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.

Im Jahr 2024 betrug der Gesamtprimärenergiebedarf in Deutschland **ca. 94 kWh (pro Tag und pro Person)** davon sind 76 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“.

Das bedeutet, dass ca. 76 „Radfahrer“ täglich für jede in Deutschland lebende Person arbeiten und davon ca. 34 Radfahrer für den eigenen privaten Bedarf.



Quellen und weiterführende Links:



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



- Das Wasserkraftwerk „Walchenseekraftwerk“ hat einen Jahresertrag von 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

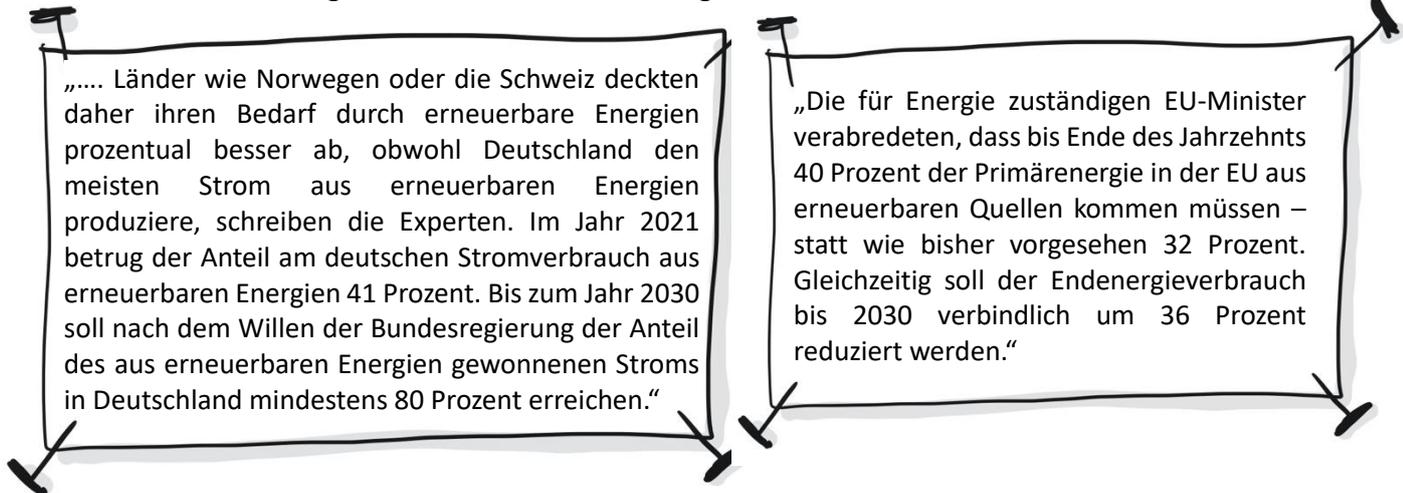


- Bei den privaten Photovoltaikanlagen findet man z. B. bei <https://www.swm.de/magazin/ratgeber/groesse-pv-anlage> die Angabe **7,5 kWp**. Das bedeutet „Kilowatt Peak“, also die maximal mögliche Leistung. Bei acht Sonnenstunden pro Tag, kommt man auf 60 kWh. Nimmt man davon die Hälfte erhält man eine sinnvolle Abschätzung. Damit kann man den durchschnittlichen Bedarf einer vierköpfigen Familie abdecken.

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) Erkläre die Begriffe **Primärenergie** und **Endenergie**.

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

2) Ein Elektrofahrzeug (E-Auto, E-Bike...) setzt nur einen gewissen Teil der beim Ladevorgang zugeführten Energie E_{el} in Bewegungsenergie E_{kin} um. Erkläre diesen Unterschied.

Ein Teil wird in nicht mehr nutzbare Wärme umgewandelt, z. B. durch Reibung oder durch chemische Prozesse im Akku.

3) Ergänze die Tabelle mit den folgenden Begriffen:

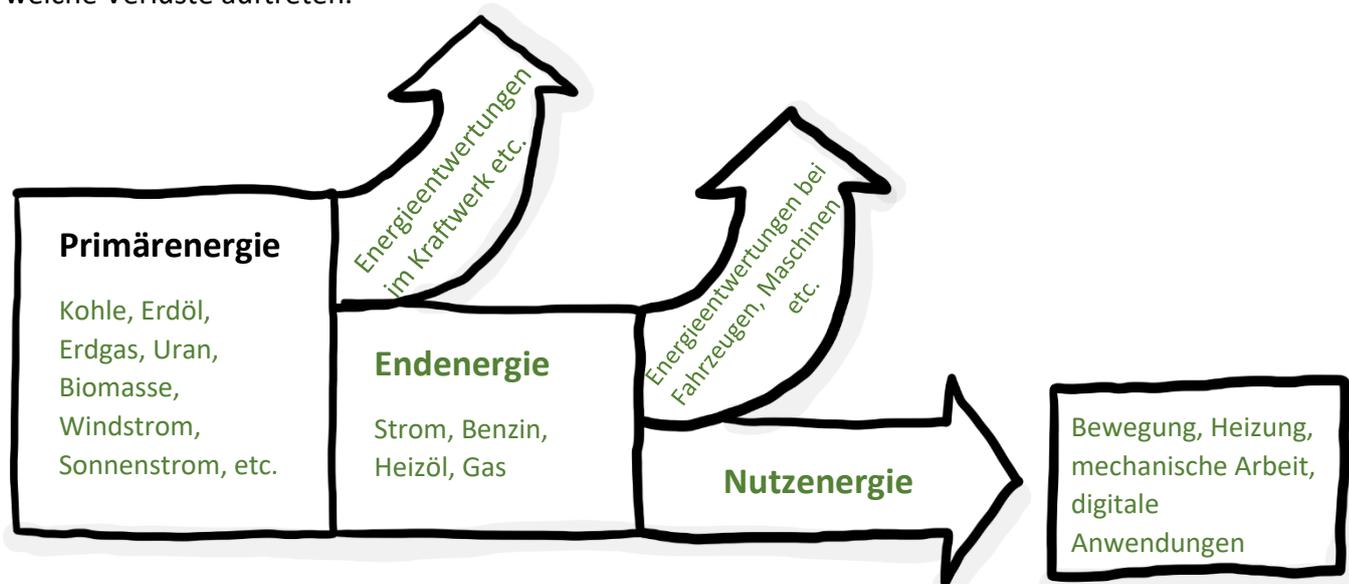
Erdgas, Erdöl, Kohle, Strom im Stromnetz, Uran, Benzin, digitale Anwendungen, Nutzenergie, Erdgas.

| | Energieträger bzw. Nutzungsform |
|--------------------|---|
| Primärenergie | <i>Kohle, Erdgas, Uran, Erdöl</i> |
| Endenergie | <i>Erdgas, Benzin, Strom im Stromnetz</i> |
| <i>Nutzenergie</i> | <i>Bewegung des Fahrzeugs, Digitale Anwendungen</i> |

¹ <https://www.spiegel.de/wirtschaft/erneuerbare-energien-eu-laender-einigen-sich-auf-schnelleren-ausbau-a-5789fcc1-8f16-4845-97db-7bf2cc32fcdd>
<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&resourceId=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 10 500 PJ pro Jahr (P = Peta = 10^{15}), der Bedarf an Endenergie betrug ca. 8500 PJ.

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

$$10\,500 \cdot 10^{15} \text{ J} = (10\,500 \cdot 10^{15} : 3,6 \cdot 10^6) \text{ kWh} = 2,9 \cdot 10^{12} \text{ kWh}$$

$$8\,500 \cdot 10^{15} \text{ J} = (8\,500 \cdot 10^{15} : 3,6 \cdot 10^6) \text{ kWh} = 2,4 \cdot 10^{12} \text{ kWh}$$

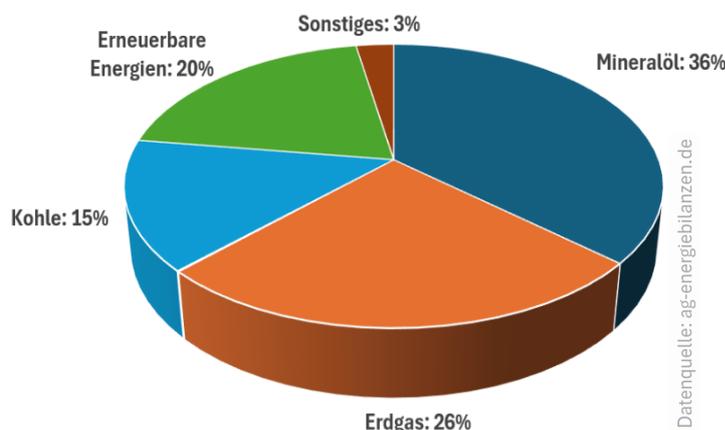
- b) Berechne, wie hoch der Bedarf an Primärenergie und Endenergie jeder der 84,7 Mio. Einwohner Deutschlands im Durchschnitt pro Tag ist.

$$2,9 \cdot 10^{12} \text{ kWh} : 365 : 84,7 \cdot 10^6 \approx 94 \text{ kWh}$$

$$2,4 \cdot 10^{12} \text{ kWh} : 365 : 84,7 \cdot 10^6 \approx 76 \text{ kWh}$$

- 6) Betrachte die folgende Grafik zur Deckung des Energiebedarfs in Deutschland im Jahr 2024.

- a) Bewerte den Anteil der erneuerbaren Energien im Vergleich zum Anteil der fossilen Energieträger.
 b) Formuliere eine Schlussfolgerung, die Du hinsichtlich der Zukunft der erneuerbaren Energien daraus ableitest.



a) Der Anteil fossilen Energieträgern beträgt 77 %

b) → Die erneuerbaren Energien müssen dringend ausgebaut werden.
 → Der Gesamtenergiebedarf muss gesenkt werden.

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 Energiequellen behandelt:

- **Wasserkraft**
- **Windkraft**
- **Sonnenenergie**
- **Biomasse**

Jede dieser Energiequellen trägt dazu bei, den Energiebedarf Deutschlands zunehmend durch erneuerbare Energien zu decken.

Anhand einfacher Modellierungsaufgaben wird berechnet, wie viel elektrische Energie jede Quelle pro Tag und Person maximal bereitstellen kann. Die Ergebnisse lauten:

- **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

Das folgende Arbeitsblatt dient dazu, die im Unterricht erarbeiteten Ergebnisse zu sammeln und festzuhalten. Auf der vereinfachten Deutschlandkarte auf der Rückseite können die benötigten Flächen schematisch dargestellt werden, indem die entsprechende Anzahl an Kästchen ausgemalt wird.

Leitfaden:

Energiebilanz und Flächenbilanz der erneuerbaren Energien

Im Verlauf des Unterrichts wirst du verschiedene regenerative Energiequellen kennenlernen, die alle dazu beitragen können, den Energiebedarf Deutschlands durch erneuerbare Energien zu decken. Nutze dieses Arbeitsblatt, um während der Unterrichtsstunden die erarbeiteten Ergebnisse festzuhalten. Auf der vereinfachten Deutschlandkarte auf der Rückseite kannst du die benötigten Flächen veranschaulichen, indem du die entsprechende Anzahl an Kästchen ausmalst. Ergänze außerdem den Beitrag jeder Energiequelle zur „Energiebilanz der Zukunft“.

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. 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

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

Berechne die für einen Windpark benötigte Fläche (20.000 Windräder offshore / 40.000 offshore), wenn alle Windräder mit 160 m 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)

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

mögliche Endenergie: _____ kWh pro Person und Tag

benötigte Fläche: _____ km²

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

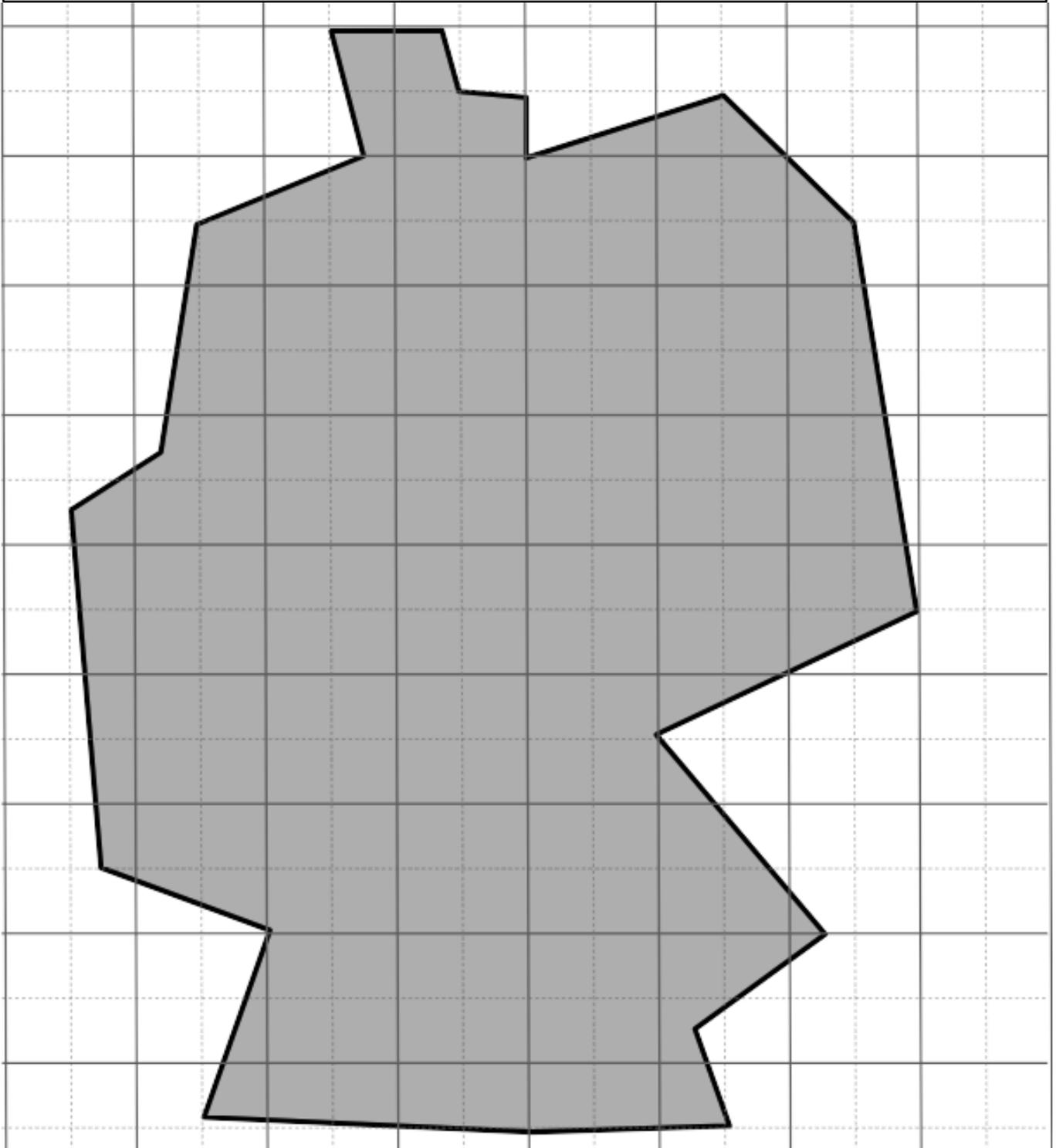
benötigte Fläche: vernachlässigbar wenig (entspricht ca. einem kleinen Kästchen)

f. Weitere Energieformen (optional)

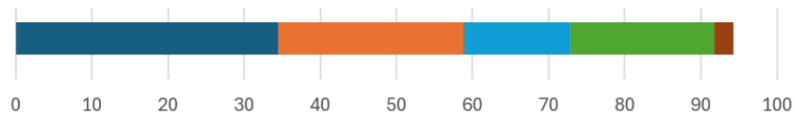
- 1) Recherchiere welche weiteren Formen an erneuerbarer Energie es gibt und gib Gründe an, wieso diese keinen nennenswerten Beitrag zur Energiewende liefern.
- 2) Recherchiere, ob Kernfusion eine realistische Energiequelle zur Lösung der Energiekrise innerhalb der nächsten 10-20 Jahre darstellt.

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 $50 \text{ km} \cdot 50 \text{ km} = 2\,500 \text{ km}^2$.

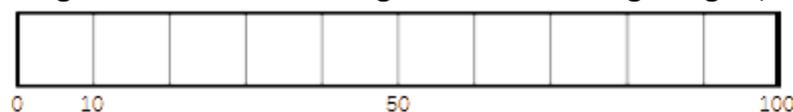


Zusammensetzung der Energieträger heute (in kWh pro Person und Tag):



- Mineralöl
- Erdgas
- Kohle
- Erneuerbare Energien
- Sonstiges

Mögliche Zusammensetzung ohne fossile Energieträger (in 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: 94 kWh pro Person und Tag

2. Erneuerbare Energien

a. Wasserkraft

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

benötigte Fläche: vernachlässigbar, da nur Fließgewässer (1 kleines Kästchen)
3500 km² nach [statistischem Bundesamt \(www.destatis.de\)](http://www.destatis.de)

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. Solarenergie

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

benötigte Fläche: **5 000 km²**

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**

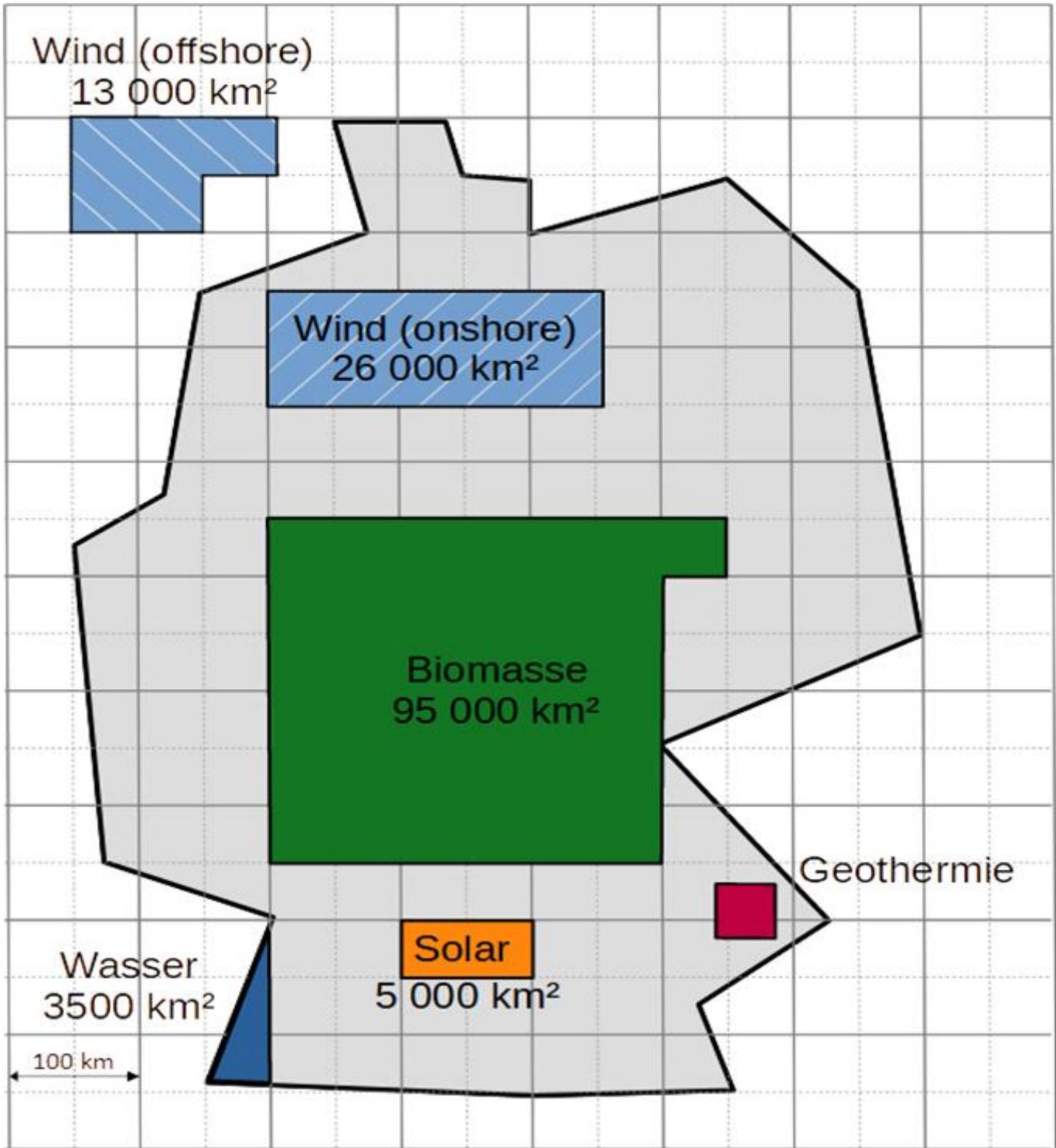
50 % der Waldfläche = $0,5 \cdot 0,33 \cdot 357\,000 \text{ km}^2 = 58\,905 \text{ km}^2$

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

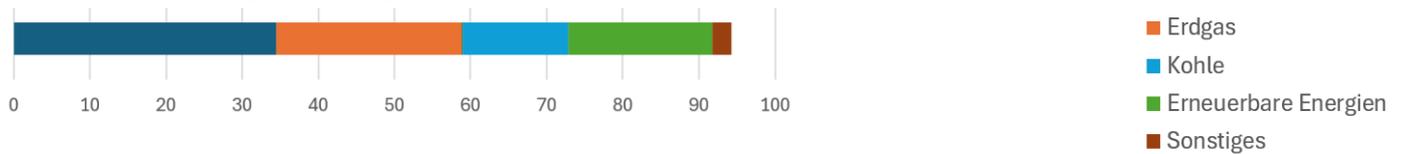
e. Geothermie

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

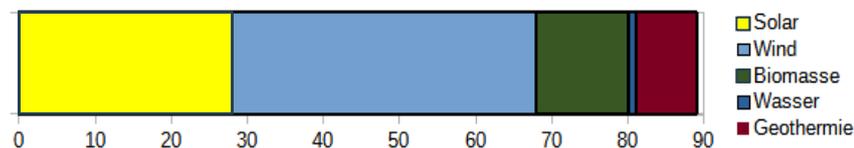
benötigte Fläche: vernachlässigbar wenig (entspricht ca. ein kleines Kästchen)

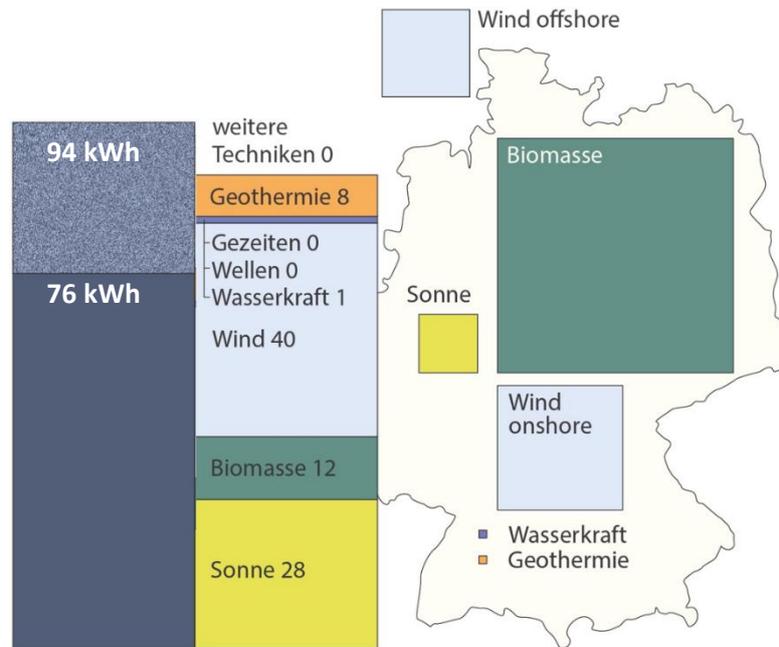


Zusammensetzung der Energieträger heute (in kWh pro Person und Tag):



Mögliche Zusammensetzung ohne fossile Energieträger (in kWh pro Person und Tag):





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

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 94 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

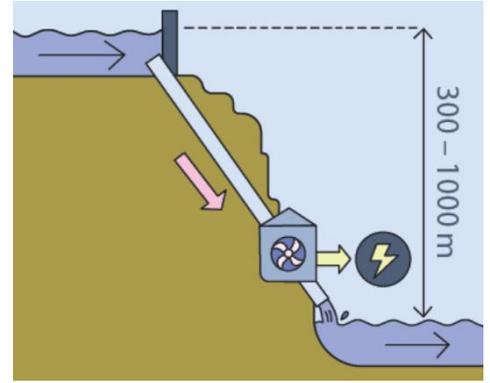
Hinweise zum Arbeitsblatt

„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:
 - o Lehrkraft teilt Kärtchen mit dem jeweils nächsten Schritt aus, wenn der vorherige Schritt erledigt wurde;
 - o Vergabe aller gestuften Hilfekärtchen auf einmal (z.B. in einem Kuvert), Schüler und Schülerinnen schauen bei Bedarf und nach eigenem Ermessen nach;
 - o 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.

Energiegewinnung in einem Wasserkraftwerk



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

Grid for writing the answer to question 1a.

- b) Nenne alle auftretenden Energieumwandlungen.

Grid for writing the answer to question 1b.

- 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 heraus und markiere diejenigen, die du davon für die Berechnung der potenziellen Energie E_{pot} (Lageenergie) benötigst.

Grid for writing the answer to question 2a.



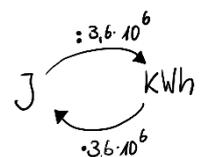
- b) Erkläre, warum die Angaben nicht ausreichen, um die potenzielle Energie E_{pot} zu berechnen.

Grid for writing the answer to question 2b.

- 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.

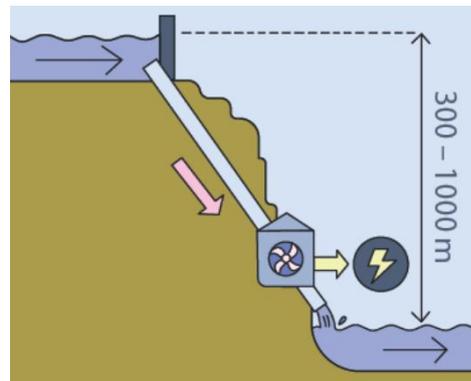
Hilfekarte:



$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ kW s} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ kW} \cdot \frac{1}{60 \cdot 60} \text{ h} = \frac{1}{3,6 \cdot 10^6} \text{ kWh} = 2,78 \cdot 10^{-7} \text{ kWh}$$

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

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 heraus, die du davon für die Berechnung der potenziellen Energie E_{pot} (Lageenergie) benötigst.

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

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

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

ges.: E_{pot}

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

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

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

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

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

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

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

- 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.

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

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.

Lösungen

Antworten

| | |
|---|--|
| <p>Schritt 1</p> <p>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.</p> <p>a) Benenne die Energieform, die vorliegt, wenn das Wasser sich auf der höheren Lage befindet.</p> <p>b) Gib die Formel zur Berechnung dieser Energieform an.</p> | |
| <p>Schritt 2</p> <p>a) Recherchiere die durchschnittliche Niederschlagsmenge in Deutschland pro m^2.</p> <p>b) Wie groß ist Deutschlands ungefähr (in m^2).</p> <p>c) Berechne aus diesen Daten die gesamte Masse des Niederschlags in einem Jahr. ($1 km^2 = 10^6 m^2$)</p> | |
| <p>Schritt 3</p> <p>Recherchiere die durchschnittliche Höhe des Geländes in Deutschland.</p> | |
| <p>Schritt 4</p> <p>Berechne mit den recherchierten bzw. berechneten Größen die gesamte Energie, die durch Wasserkraft bereitgestellt werden kann.</p> | |
| <p>Schritt 5</p> <p>Rechne die Energie in <i>kWh</i> um!</p> | |
| <p>Schritt 6</p> <p>Rechne die Energie in kWh pro Tag und pro Person um und vergleiche den Wert mit dem Gesamtenergiebedarf von 94 kWh pro Tag und Person!</p> | |

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

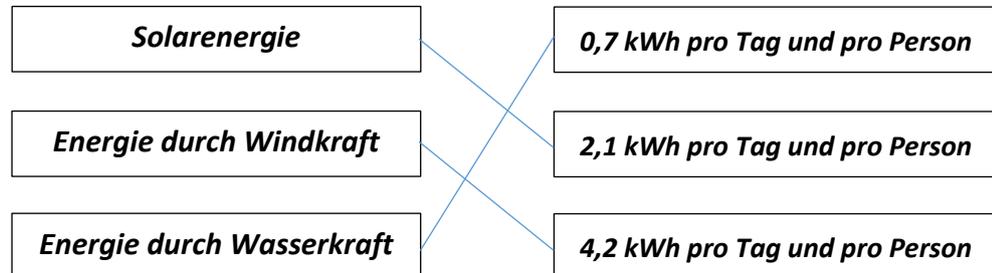
Die Höhe der Wassermenge in einem Fluss wird durch viele Faktoren bestimmt, wobei Niederschlag und Verdunstung einen wesentlichen Einfluss haben. Da diese Einflussgrößen vor allem klimatisch gesteuert sind, hat das Umweltbundesamt die möglichen Effekte des Klimawandels auf die Ertragsituation der Wasserkraft untersuchen lassen und kam zu dem Schluss, dass 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 94 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

| | |
|---|--|
| <p>Schritt 1</p> <p>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.</p> <p>a) Benenne die Energieform, die vorliegt, wenn das Wasser sich auf der höheren Lage befindet.</p> <p>b) Gib die Formel zur Berechnung dieser Energieform an.</p> | <p><i>Lageenergie oder potenzielle Energie</i></p> $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$ |
| <p>Schritt 2</p> <p>a) Recherchiere die durchschnittliche Niederschlagsmenge in Deutschland pro m².</p> <p>b) Wie groß ist Deutschlands ungefähr (in m²).</p> <p>c) Berechne aus diesen Daten die gesamte Masse des Niederschlags in einem Jahr. (1 km² = 10⁶ m²)</p> | <p><i>Niederschlagsmenge ≈ 800 l pro m²</i> <i>Tipp: 1 Liter Wasser entspricht 1 kg</i></p> <p><i>Fläche von Deutschland:</i></p> <p><i>357 581 km² bzw. 36 · 10¹⁰ m²</i></p> $m_{Regen} = 36 \cdot 10^{10} \text{ m}^2 \cdot 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ $= 2,88 \cdot 10^{14} \text{ kg}$ |
| <p>Schritt 3</p> <p>Recherchiere die durchschnittliche Höhe des Geländes in Deutschland.</p> | $h = 263 \text{ m}$ |
| <p>Schritt 4</p> <p>Berechne mit den recherchierten bzw. berechneten Größen die gesamte Energie, die durch Wasserkraft bereitgestellt werden kann.</p> | $E_{pot} = 2,88 \cdot 10^{14} \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 263 \text{ m}$ $= 7,43 \cdot 10^{17} \text{ J}$ |
| <p>Schritt 5</p> <p>Rechne die Energie in <i>kWh</i> um!</p> | $E_{pot} = 7,43 \cdot 10^{17} \text{ Js}$ $= 7,43 \cdot 10^{14} \text{ kWs}$ $= 7,43 \cdot 10^{14} \text{ kW} \cdot \frac{1}{60 \cdot 60} \text{ h}$ $= 2,1 \cdot 10^{11} \text{ kWh}$ |
| <p>Schritt 6</p> <p>Rechne die Energie in kWh pro Tag und pro Person um und vergleiche den Wert mit dem Gesamtenergiebedarf von 94 kWh pro Tag und Person!</p> | $E_{pot} \text{ pro Pers pro Tag} =$ $= 2,1 \cdot 10^{11} \text{ kWh} : 84\,700\,000 : 365$ $= \mathbf{6,8 \text{ kWh}}$ |

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](https://www.youtube.com/shorts/tYK3Ik25I4E) (t=40 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](https://www.youtube.com/shorts/C15yBcxem64?feature=share) (t = 10 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](https://www.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.

Weitere Ideen befinden sich im Experimentierzirkel:

https://klimawandel-schule.de/sites/default/files/2023-06/energien_experimentierzirkel.pdf

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.

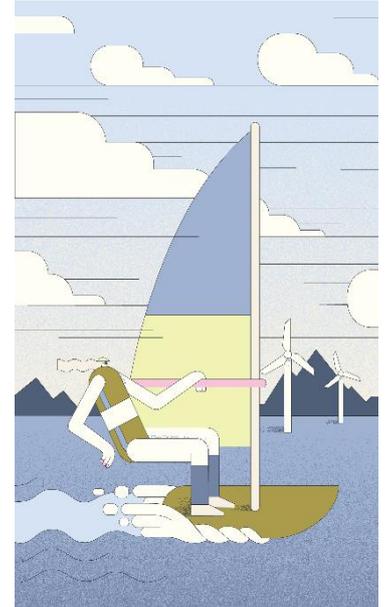


3.2 Windenergie

Wind ist der bedeutendste Energieträger der erneuerbaren Energien. Über Windkraftanlagen wird in Deutschland aktuell intensiv diskutiert. Im Jahresdurchschnitt könnten sie nahezu ebenso viel elektrische Energie liefern wie alle anderen erneuerbaren Energien zusammen – vorausgesetzt, die notwendigen Windkraftanlagen an Land (onshore) und auf See (offshore) werden erfolgreich errichtet.

Die Zukunft der Energiewende hängt damit entscheidend von der Windenergie ab.

Der Physikunterricht übernimmt in diesem Zusammenhang eine wichtige gesellschaftliche Aufgabe: Schülerinnen und Schüler sollen die Potenziale der Windenergie kennenlernen, technische Zusammenhänge verstehen und mögliche Vorurteile hinterfragen. Gleichzeitig werden die physikalischen Herausforderungen dieser Energiequelle beleuchtet.



Die Einschätzung des Potenzials der Windenergie in Deutschland ist zwar komplex, lässt sich aber mithilfe einer einfachen Modellierungsaufgabe – ergänzt durch gestufte Hilfestellungen – auch auf Realschulniveau nachvollziehbar erarbeiten.

Ein zentraler physikalischer Aspekt ist, dass nur ein Teil der kinetischen Energie dem Wind entzogen werden kann. Würde die gesamte Energie genutzt, käme der Windfluss hinter dem Windrad zum Stillstand. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit von Abständen zwischen den einzelnen Anlagen.

Durch solche Modellierungen und Diskussionen wird klar, dass Windkraft einen erheblichen Beitrag zur unabhängigen Energieversorgung Deutschlands leisten kann – unter der Voraussetzung, dass es gelingt, etwa 60 000 Windkraftanlagen zu errichten.

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.

| | | |
|-----------|----|------|
| | ja | nein |
| Korrekt? | | |
| Sinnvoll? | | |

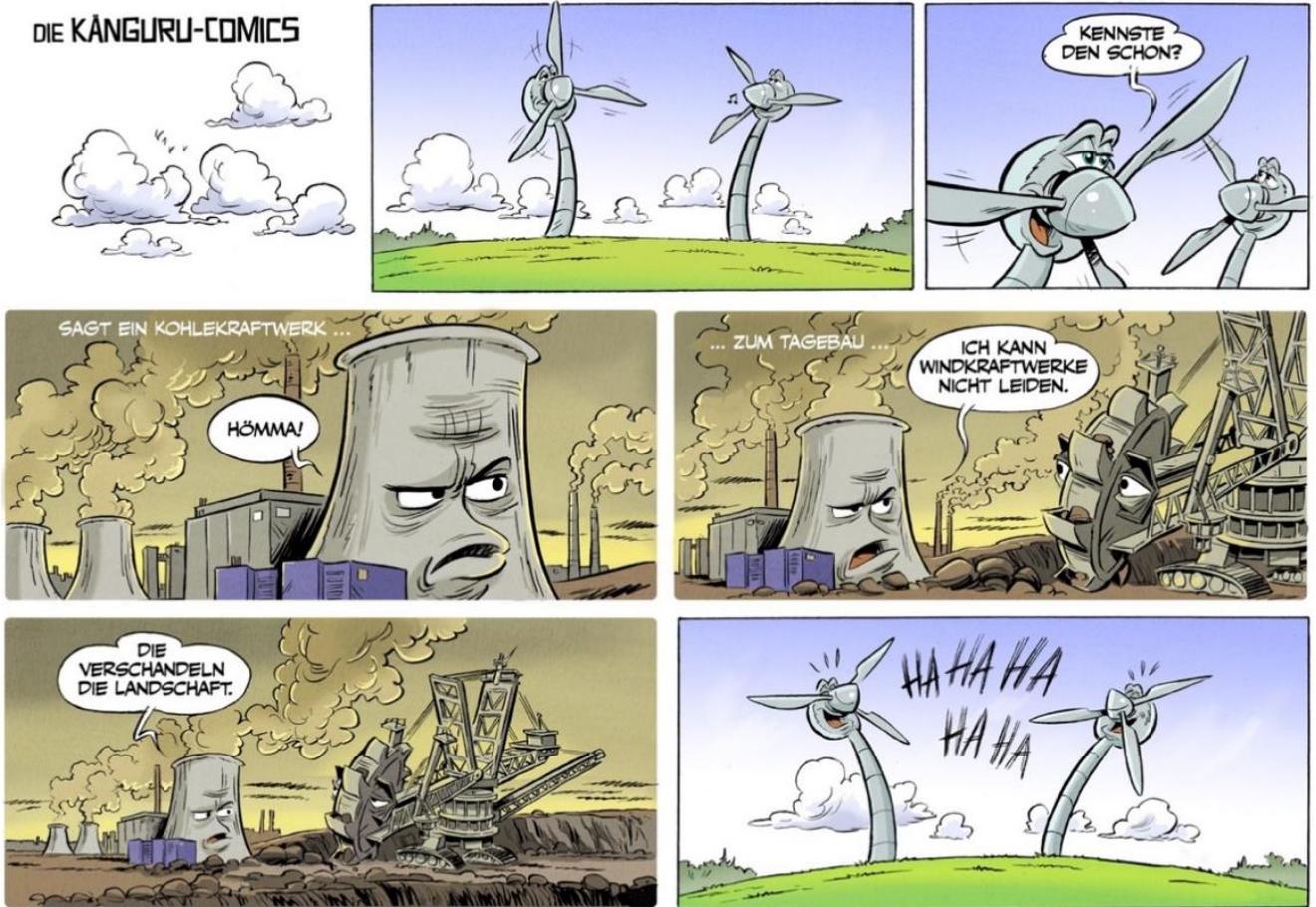
Bei Windrädern sterben viel weniger Vögel als bei Glasfassaden oder durch Kollisionen auf Autobahn oder durch Katzen.

| | | |
|-----------|----|------|
| | ja | nein |
| Korrekt? | | |
| Sinnvoll? | | |

Die Schlagschatten stören jeden Morgen und Abend.

| | | |
|-----------|----|------|
| | 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:

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 betragen. 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*

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

| | | |
|-----------|----|------|
| | ja | nein |
| Korrekt? | x | |
| Sinnvoll? | x | |

Die Schlagschatten stören jeden Morgen und Abend.

| | | |
|-----------|----|------|
| | ja | nein |
| Korrekt? | x | x |
| Sinnvoll? | x | 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 Steinkohleabbau typischerweise entstehen. [...]

PROBLEME BEIM TAGEBAU:

- 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:

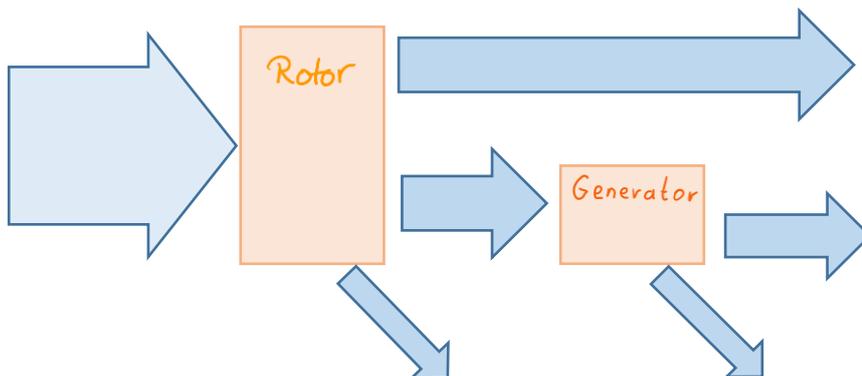
<https://www.zdf.de/nachrichten/wissen/energiewende-windenergie-reibung-terrax-kleidon-kolumne-100.html>

Zeit: ca. 1:36 min

a) 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.



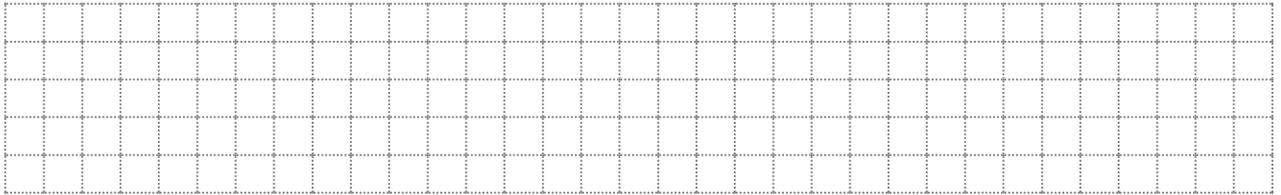
b) Ergänze das Energieflussdiagramm einer Windkraftanlage.



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 einer Stunde** in Bewegung setzt, $2,3 \cdot 10^8 \text{ kg}$ beträgt.

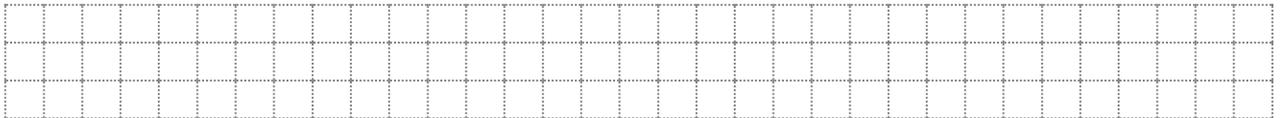
Berechne die kinetische Energie dieser Luftmasse.



$E_{\text{kin Luft}} = \underline{\hspace{10em}} \text{ J}$

$E_{\text{kin Luft}} = \underline{\hspace{10em}} \text{ kWh}$

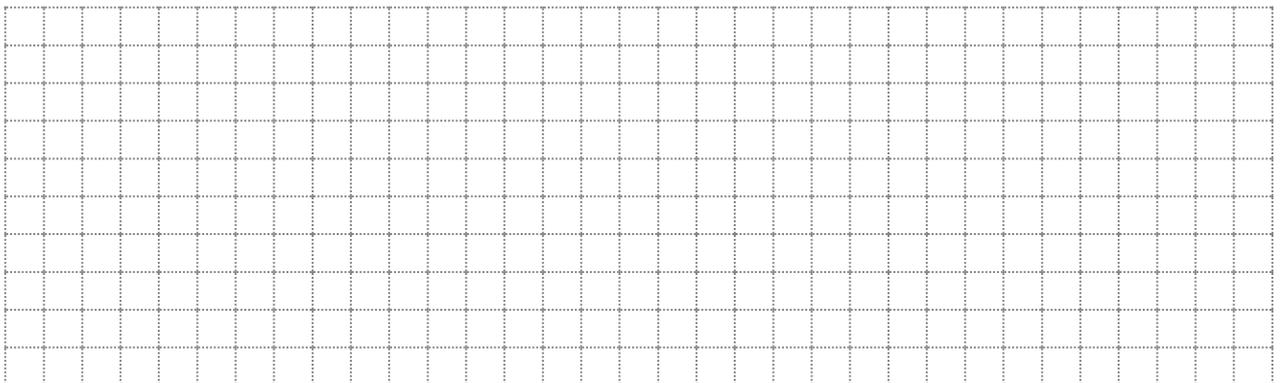
b) Wir nehmen weiter an, dass das Windrad 50 % in elektrische Energie umwandeln würde. Berechne diese elektrische Energie.



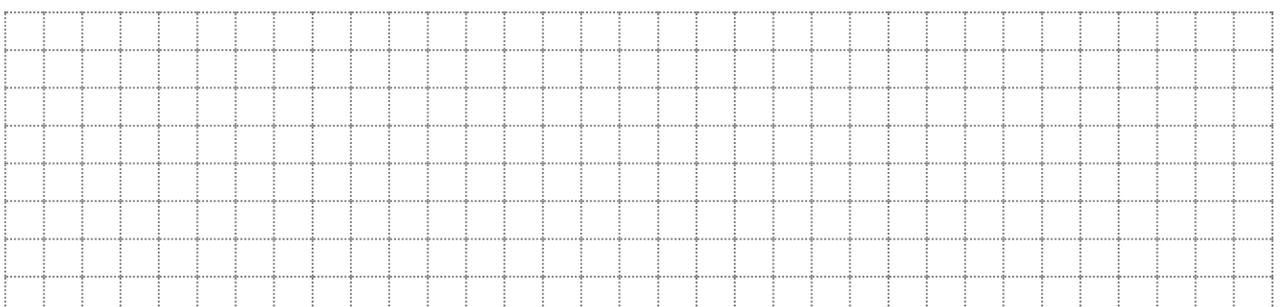
$E_{\text{el}} = \underline{\hspace{10em}} \text{ J}$

$E_{\text{el}} = \underline{\hspace{10em}} \text{ kWh}$

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



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



„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.



b) Schau dir folgendes Video von Terra X an:

<https://www.zdf.de/nachrichten/wissen/energiewende-windenergie-reibung-terrax-kleidon-kolumne-100.html>

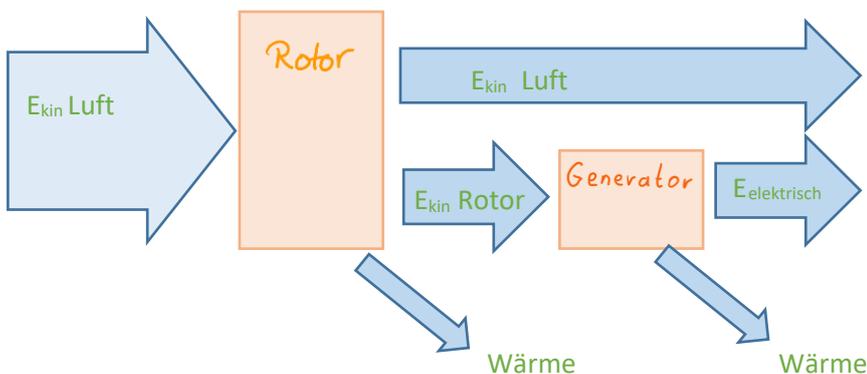
Zeit: ca. 1:36 min

c) 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.

d) 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.

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

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

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

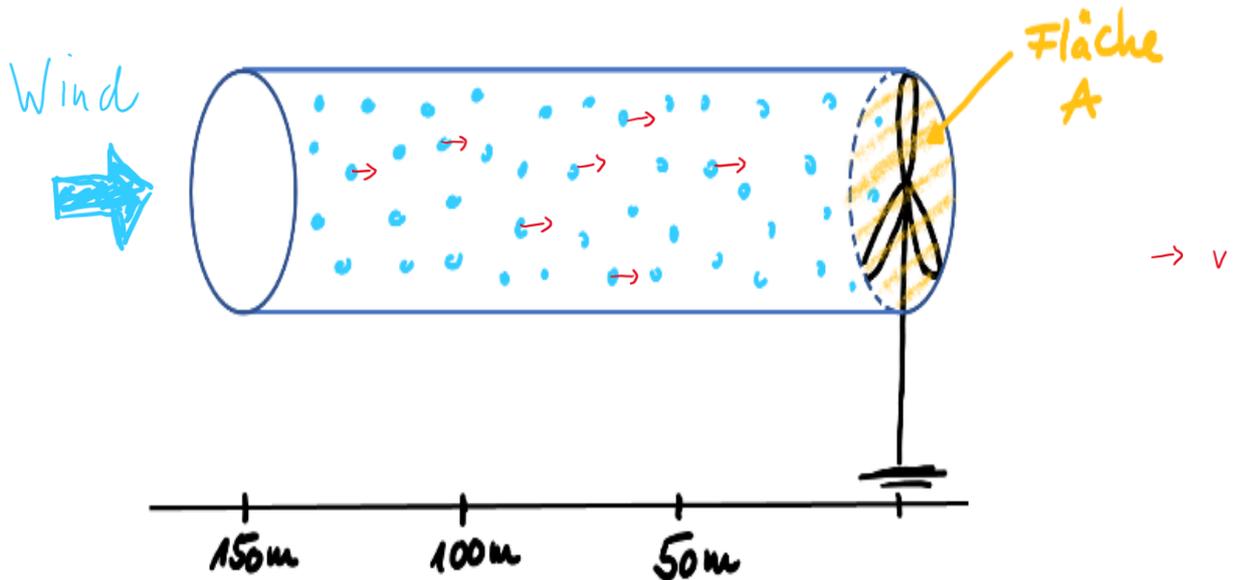
- d) Begründe mithilfe von c), warum man große Abstände zwischen den Windrädern einhalten muss.

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.

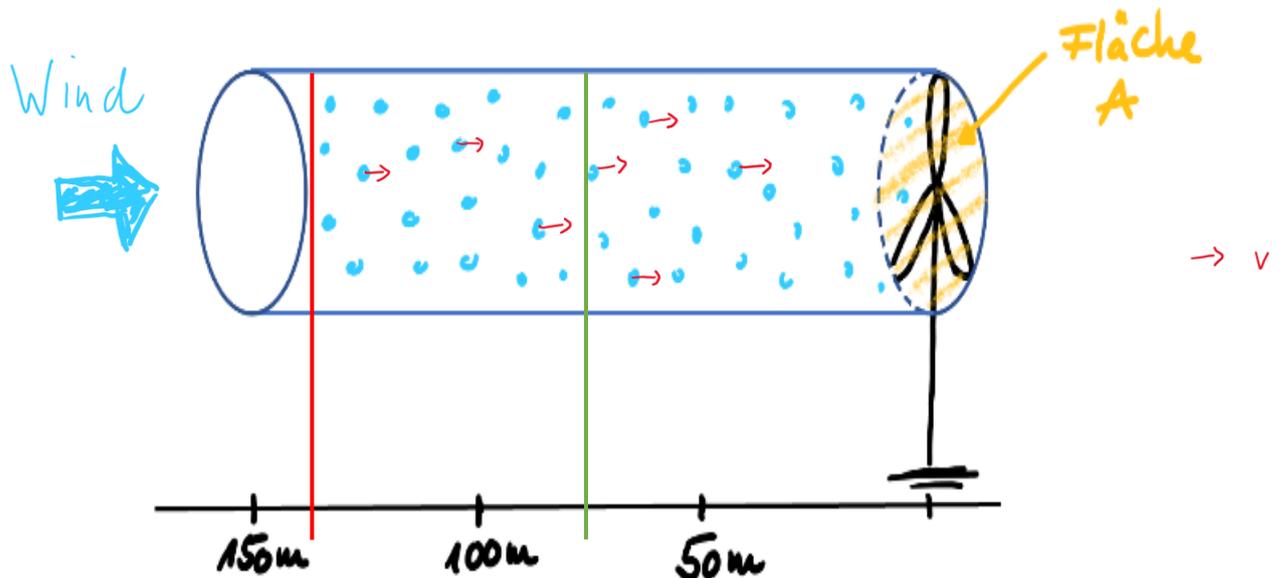


- Erkläre nun, warum die Teilchenanzahl und damit auch die **Masse** von der **Windgeschwindigkeit** abhängt. Schau dir dazu die Grafik oben an.



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 $s = 65 m$

- 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 $s = 130 m$

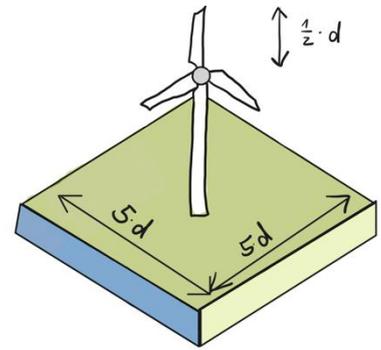
- Erkläre nun, warum die Teilchenanzahl und damit auch die **Masse** von der **Windgeschwindigkeit** abhängt. Schau dir dazu die Grafik oben an.

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 $50 \text{ km} \cdot 50 \text{ km} = 2\,500 \text{ km}^2$.

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

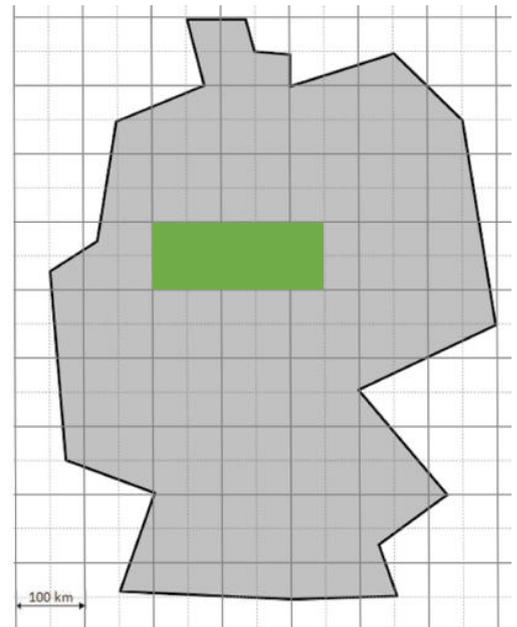
Nimm nun an, dass $25\,000 \text{ km}^2$ der Landfläche von Deutschland genutzt werden können. (Landfläche Deutschland = $357\,588 \text{ km}^2$)

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.

$$\frac{1,6 \cdot 10^9 \text{ kWh}}{84\,700\,000} \approx \underline{19 \text{ kWh}}$$

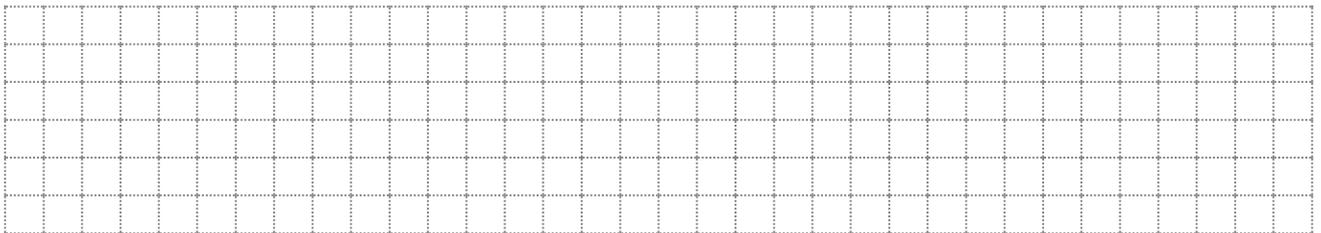
$$E_{Land} = \underline{19} \text{ kWh pro Tag pro Person}$$

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 😊)

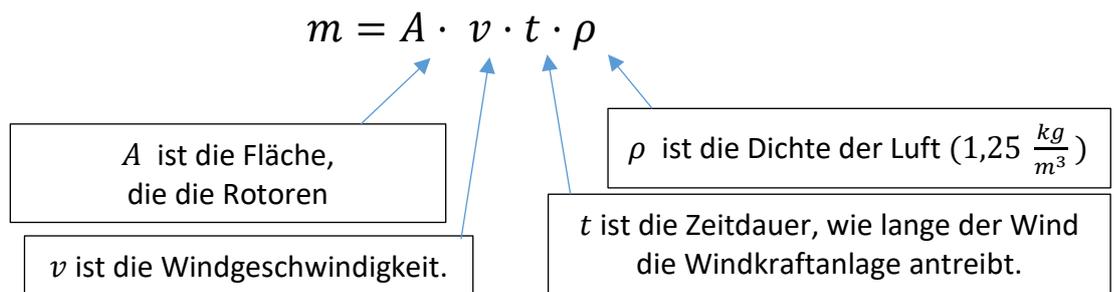


5) Herleitung der Formel für die Masse der Luft (für Extraschnelle)

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:



(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:

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

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 😊)

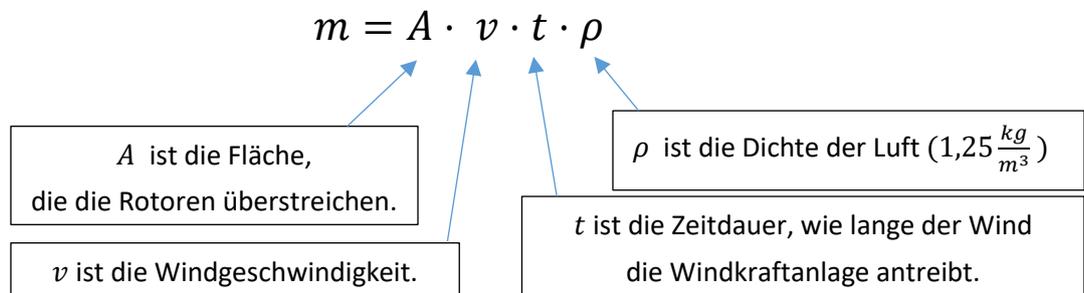
| |
|--|
| Wieder 20 kWh pro Tag. |
| 12 500 km ² ist halb so groß wie 25 000 km ² , die Energie ist aber doppelt so groß. |

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:



(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:

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

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

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

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

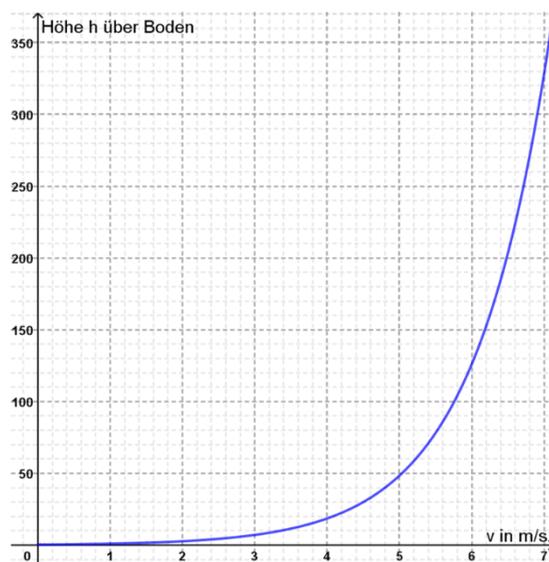
$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot t \cdot v^3$$

| Herleitung der Formel für die Masse: | |
|--|--|
| Dichte: | $\rho = \frac{m}{V} \quad \cdot V$ $m = \rho \cdot V$ (*) |
| Geschwindigkeit bei gleichförmiger Bewegung: | $v = \frac{s}{t} \quad \cdot t$ $s = v \cdot t$ (**) |
| 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 | → | Größe der Rotorblätter |
| v | → | 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: $E_{kin\ 2 \cdot v} = \underline{2^2 \cdot E_{kin} = 4 \cdot E_{kin}}$

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!)

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

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.

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

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

- Durchmesser 50 m → 200 m (Vervierfachung)
 - ⇒ Radius wird damit auch vervierfacht
 - ⇒ 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
 - ⇒ 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 $16 \cdot 1,728 = 27,648 \approx 27,6$
 - ⇒ $E_{kin\ neu} = 27,6 \cdot E_{kin\ alt}$

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

- 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)
- 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](#)

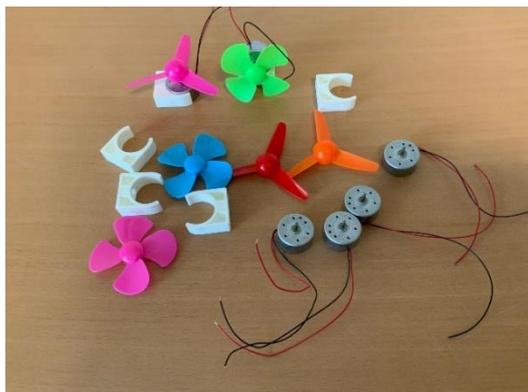
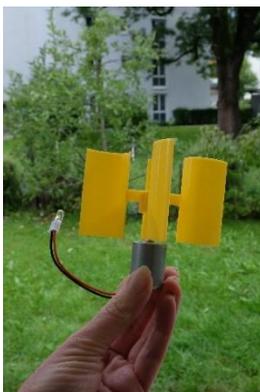


Experimente und Projektideen



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

Im Spielzeughandel gibt es verschiedene Windrad-Bausets z. B. Kosmos 62108. Mit diesen kann man sehr gut die Bedeutung der 10-h-Regel verdeutlichen, 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 kleinen Elektromotoren, verschiedenen Rotoren, einem Fön und einem Windstärkemesser können die verschiedenen Abhängigkeiten experimentell untersucht werden.

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



Weitere Ideen befinden sich im Experimentierzirkel:

https://klimawandel-schule.de/sites/default/files/2023-06/energien_experimentierzirkel.pdf



3.3 Solarenergie

Die Energie der Sonne, ist der grundlegendste aller Energieträger und spielt eine zentrale Rolle in unserem Alltag. Ihr Einfluss zeigt sich im Tag-Nacht-Rhythmus, der Temperaturschwankungen hervorruft und die Energiegewinnung durch Photovoltaikanlagen bestimmt. Darüber hinaus steuert die Sonnenenergie zahlreiche biologische Prozesse, die unser Leben strukturiert und überhaupt erst ermöglicht.

Sonnenenergie ist außerdem die Primärenergiequelle, die nahezu alle anderen erneuerbaren Energiequellen (mit Ausnahme der tiefen Geothermie und der Gezeiten) antreibt oder ihre Erneuerbarkeit gewährleistet:

- Sie erwärmt die Erdoberfläche und die Atmosphäre, wodurch Verdunstung und der Wasserkreislauf in Gang gesetzt werden.
- Temperaturunterschiede zwischen verschiedenen Regionen führen zu Druckunterschieden in der Atmosphäre, die durch Winde ausgeglichen werden.
- Das Sonnenlicht ermöglicht Photosynthese und somit die Entstehung von Biomasse.



Das Thema Solarenergie wird im Lehrplan verschiedener Fächer vielfach behandelt. Die Berechnung des Potenzials dieser Energiequelle eignet sich hervorragend als motivierendes Beispiel, um die Prinzipien der Energieumwandlung und die Anwendung des Wirkungsgrades zu veranschaulichen. Auch die Untersuchung des zeitlichen Verlaufs der Leistung einer Photovoltaikanlage bietet eine spannende Möglichkeit, das Konzept der Leistung und ihrer Schwankungen tiefergehend zu analysieren.

In den Büchern:



S. 34-45



S.49- 66

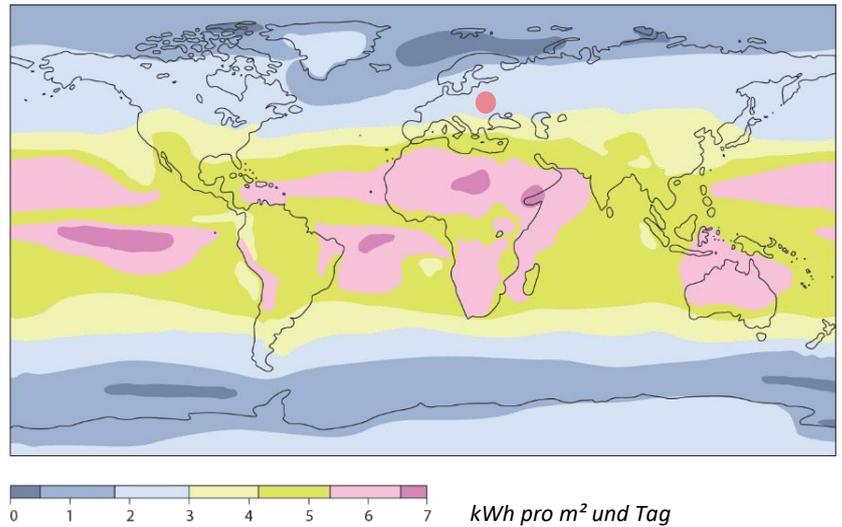
Los geht's:

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.



Grid for writing the answer to question 1.

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

Grid for writing the answer to question 2.

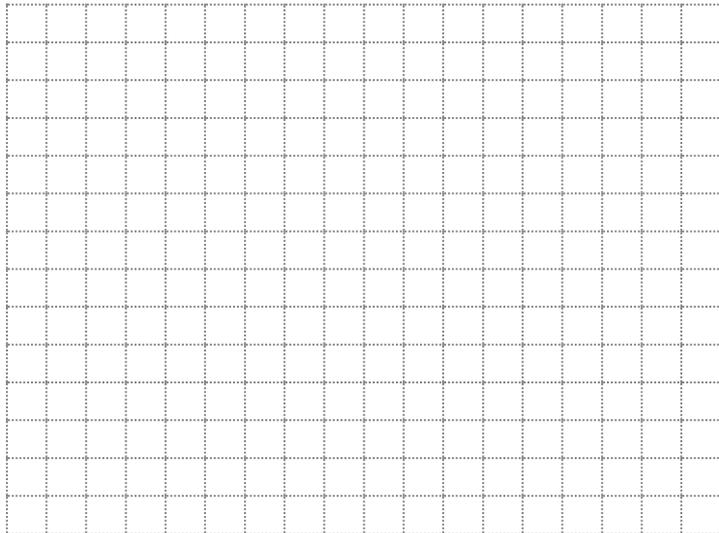
- 3) Die Dachflächen in Deutschland betragen ca. **1500 km²**. Zusätzlich werden bereits heute PV-Anlagen auf Freiflächen zur Stromerzeugung installiert. Nehmen wir an, dass in Zukunft auf ca. **3000 km²** der Freifläche Deutschlands (das entspricht ca. 1 %) PV installiert wird.



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

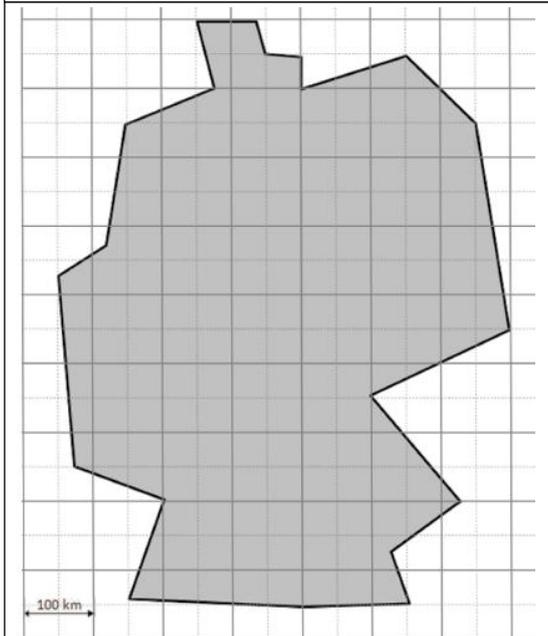
Grid for writing the answer to question 3.

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

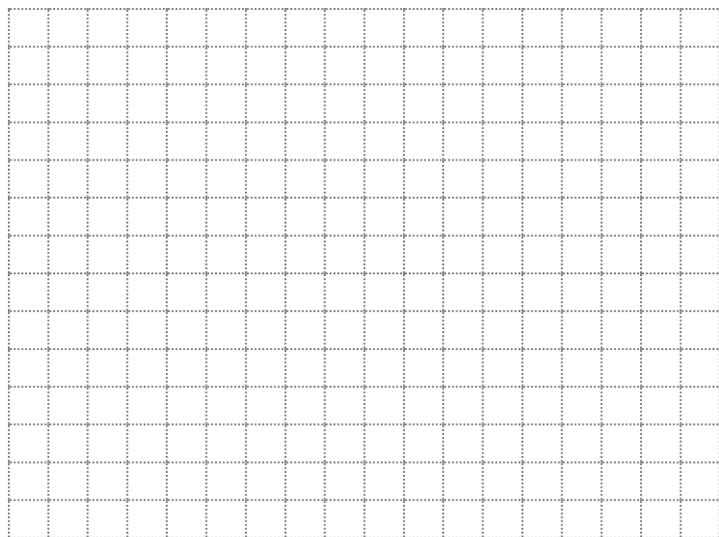


Ein großes Kästchen entspricht bei einer Kantenlänge von 100 km einer Fläche von $100 \text{ km} \cdot 100 \text{ km} = 10\,000 \text{ km}^2$.

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



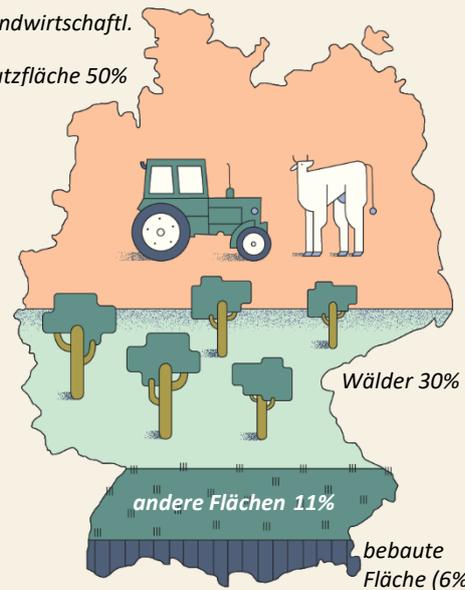
- 5) Bestimme mithilfe des Ergebnisses aus Aufgabe 3 die el. Energiemenge, die pro Person und pro Tag in Deutschland (ca. 84,7 Mio. Einwohner) durch die obigen PV-Anlagen genutzt werden könnte.



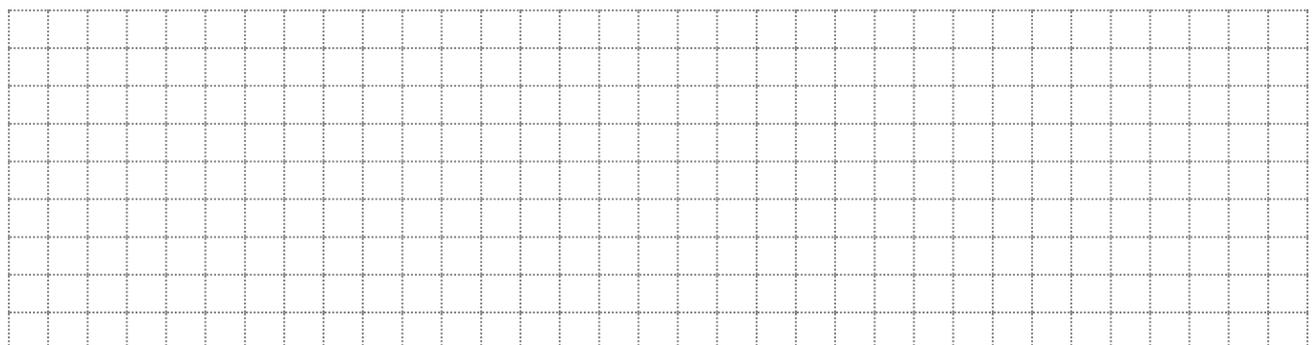
Gesamtfläche 357.581 km^2

Landwirtschaftl.

Nutzfläche 50%

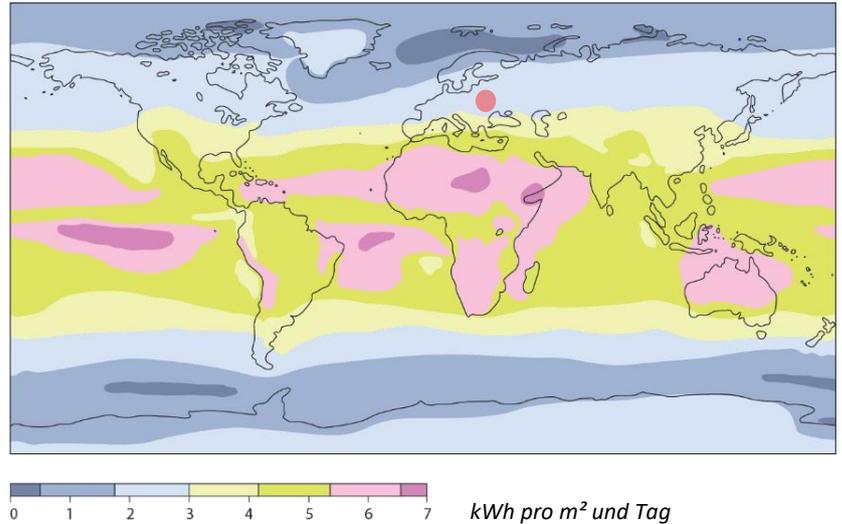


- 6) Diskutiere welche Probleme bei der Nutzung von Freiflächen für PV-Anlagen auftreten können und biete (soweit möglich) Lösungsvorschläge für diese Probleme an.



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 Deutschland eher im unteren Mittelfeld.
- Die Polarrägen erhalten noch weniger.
- Große Teile Afrikas, Lateinamerikas sowie Südasiens erreichen das Doppelte bis Dreifache der Einstrahlung (bis zu 7 kWh pro m² und Tag).
- Regionen mit maximaler Einstrahlung sind 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 Photovoltaik (PV) pro m² und Tag in Deutschland genutzt werden kann.

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

ges.: E_{nutz}

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

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

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

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

$4500 \cdot 10^6\ m^2 \triangleq 2,3 \cdot 10^9\ kWh$ (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 $\hat{=} 10\,000 \text{ km}^2$

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

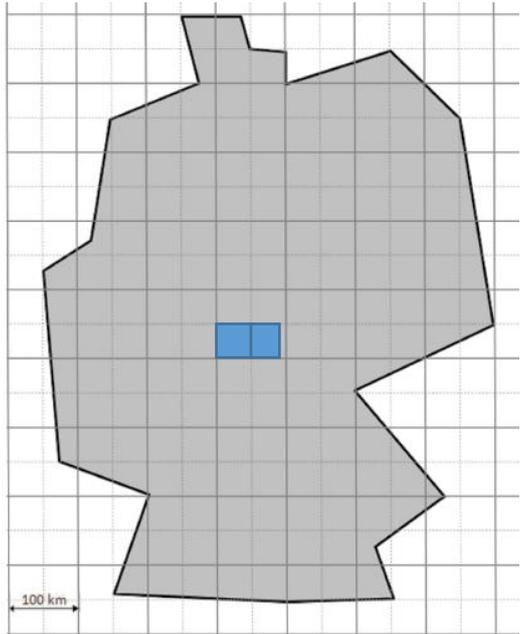
ges.: Anzahl der Kästchen in der Abbildung

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. 84,7 Mio. 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 $n = 84,7 \text{ Mio.}$

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

Lsg.: $84\,700\,000 \text{ Einwohner} \hat{=} 2,3 \cdot 10^9 \text{ kWh}$

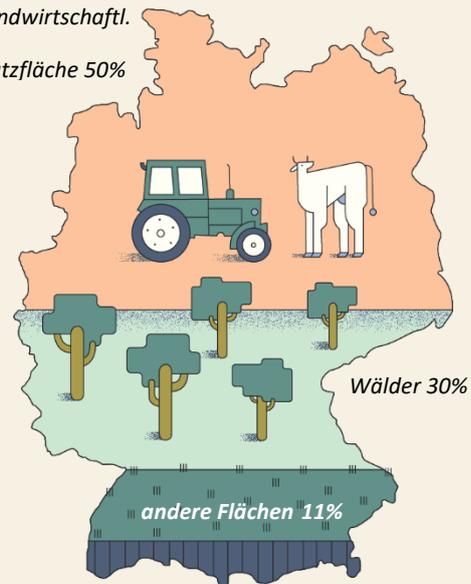
1 Einwohner $\hat{=} 2,3 \cdot 10^9 \text{ kWh} : 84\,700\,000$

1 Einwohner $\hat{=} 27 \text{ kWh}$

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

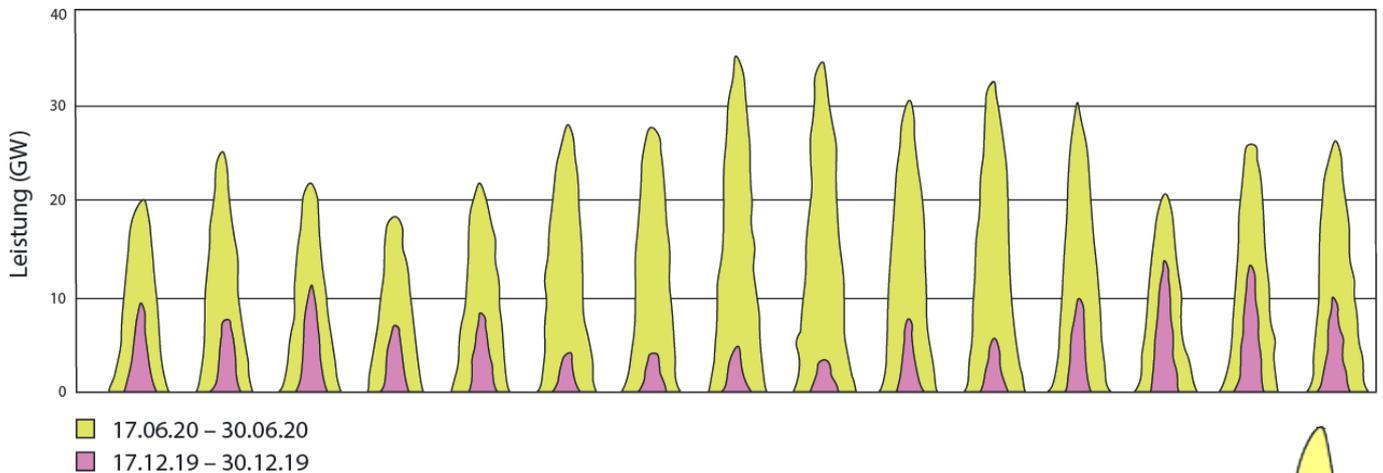
• auf landwirtschaftlichen Nutzflächen:

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.

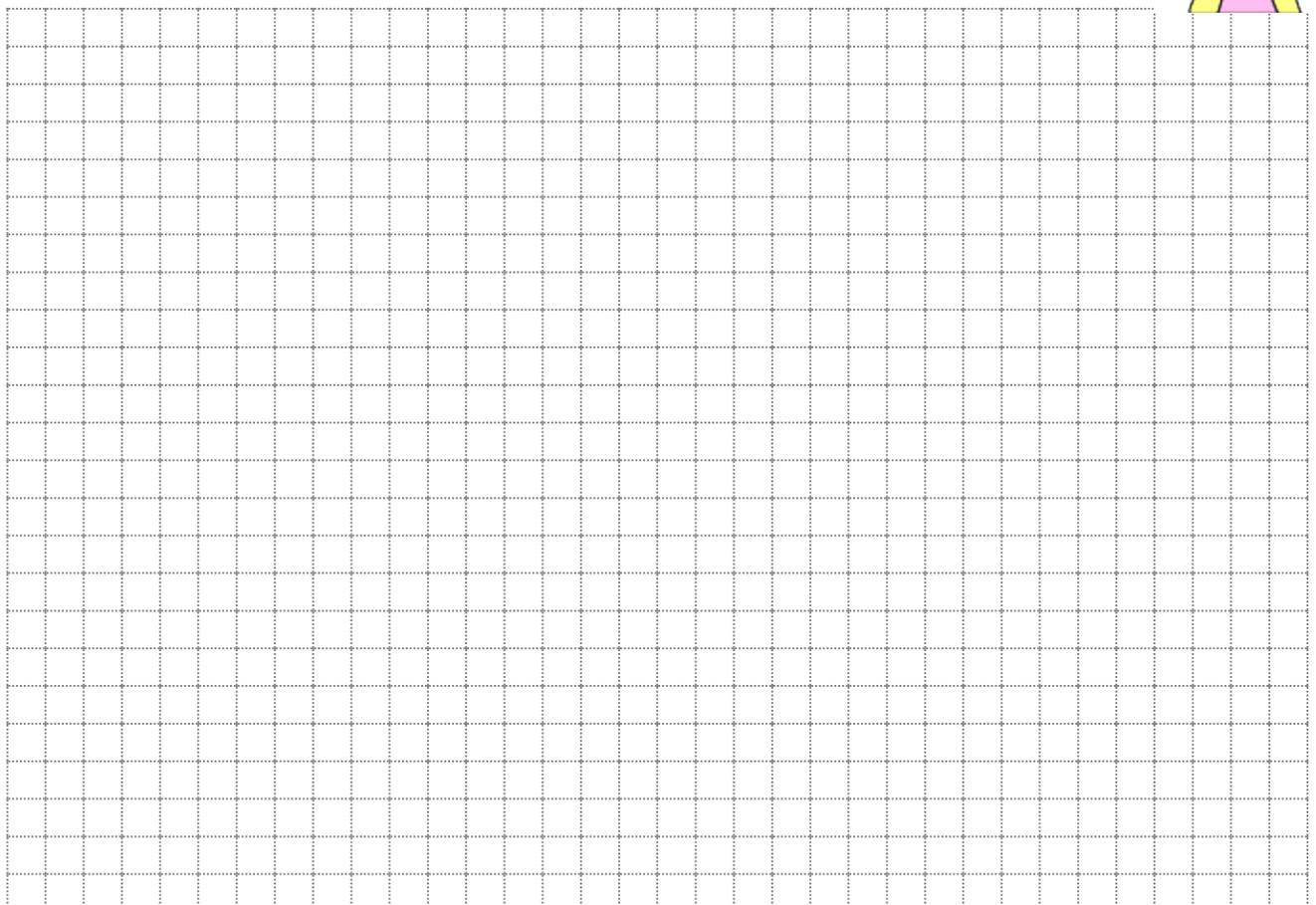
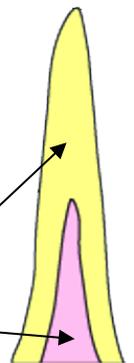
Einschränkung: Nur geeignet für Nutzpflanzen mit geringem Bedarf an Sonnenenergie

Leistung der Solarenergie: Warum nachts die Sonne scheinen sollte

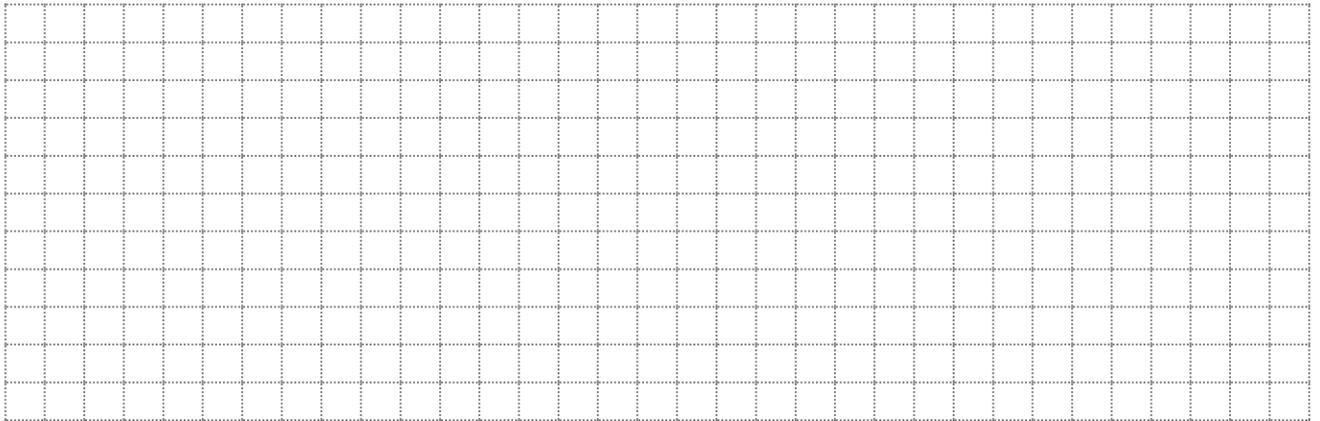
Das nachfolgende Diagramm zeigt die Stromproduktion aus Photovoltaik in ganz Deutschland über zwei Zeiträume von 14 Tagen. Dabei wurde die el. Leistung in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen.



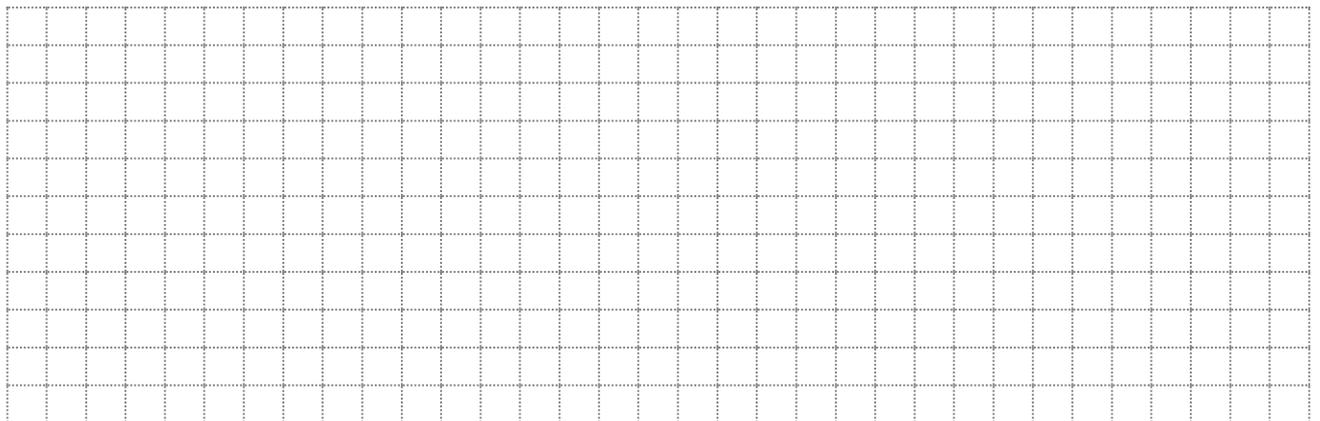
- 1) Erkläre, wie die Spitzen entstehen _____
- 2) Bestimme durch geeignete Abschätzungen die Energie, die deutschlandweit am 17.6. erzeugt wurde und vergleiche sie mit der Energie am 17.12. Nutze dazu bei Bedarf die Hilfekarten!



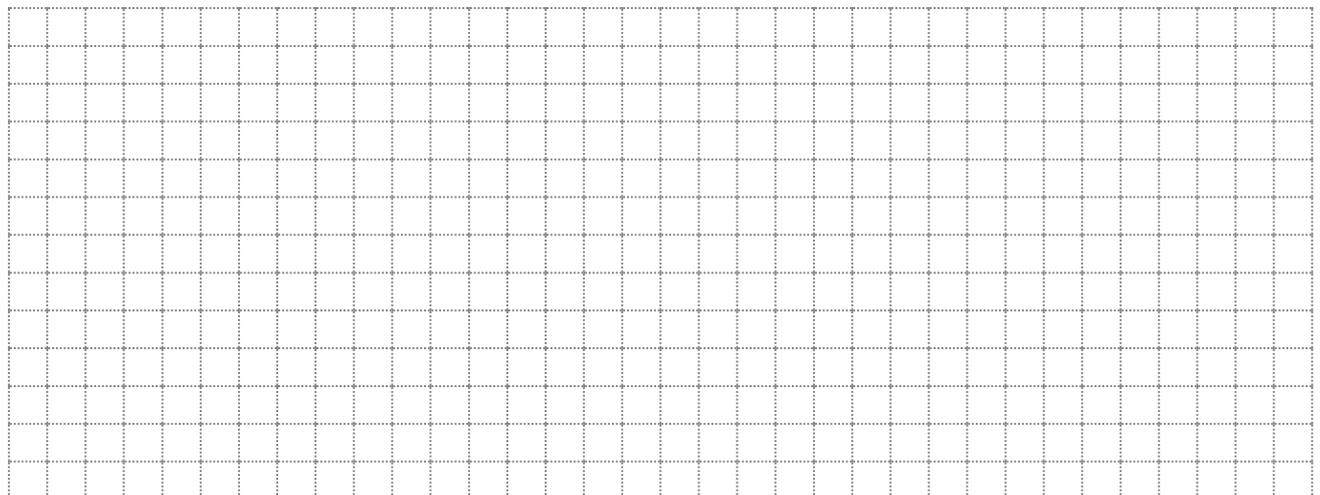
- 3) Im Jahr 2022 benötigt Deutschland eine Leistung von ca. 65 GW in den 12 Stunden am Tag und eine Leistung von ca. 55 GW in den 12 Nachstunden¹. Berechne die gesamte benötigte Energie pro Tag im Durchschnitt.



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



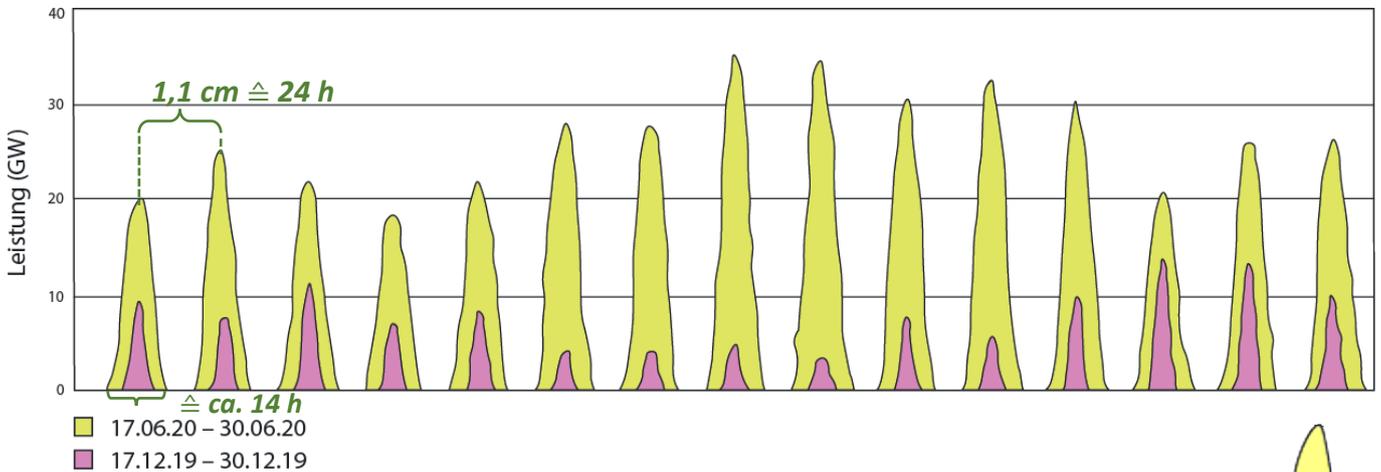
- 5) Erkläre die Problematik der Stromerzeugung durch Solarenergie und nenne mögliche Lösungsansätze.



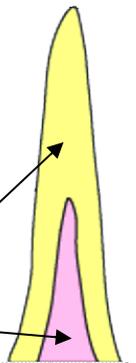
¹ https://www.agora-energiewende.de/daten-tools/agorameter/chart/today/power_generation/02.01.2025/08.01.2025/hourly

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

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Stromproduktion aus Photovoltaik 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. bereitgestellt wurde und vergleiche sie mit der Energie am 17.12. Nutze dazu bei Bedarf die Hilfekarten!



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

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

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

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

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 $t = 6,0 \text{ h}$; Höchst-Leistung $P_{\max} = 10 \text{ GW}$

$$E_{\text{Dez}} = \frac{1}{2} \cdot 20 \text{ GW} \cdot 6 \text{ h} = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot 6,0 \text{ h} = 0,30 \cdot 10^{11} \text{ W} = 0,30 \cdot 10^8 \text{ kW}$$

- 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.

| | | |
|--------------|---|--------------------------------------|
| <i>geg.:</i> | <i>Tag: $P = 65 \text{ GW}$</i> | <i>$t = 12 \text{ h}$</i> |
| | <i>Nacht: $P = 55 \text{ GW}$</i> | <i>$t = 12 \text{ h}$</i> |
| <i>ges.:</i> | <i>$E_{\text{gesamt, 1 Tag}}$</i> | |
| <i>Lsg.:</i> | <i>$E = P \cdot t$</i> | |
| | <i>$E_{\text{Tag}} = 65 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot 12 \text{ h} = 780 \cdot 10^9 \text{ Wh}$</i> | |
| | <i>$E_{\text{Nacht}} = 55 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot 12 \text{ h} = 660 \cdot 10^9 \text{ Wh}$</i> | |
| | <i>$E_{\text{gesamt}} = 1440 \cdot 10^9 \text{ Wh} = 1,4 \cdot 10^9 \text{ kWh}$</i> | |

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

| | | |
|--------------|--|---|
| <i>geg.:</i> | <i>$E_{\text{gesamt}} = 1,4 \cdot 10^9 \text{ kWh}$</i> | <i>(Ganzes)</i> |
| | <i>$E_{\text{Jun}} = 1,4 \cdot 10^8 \text{ kWh}$</i> | <i>(Teil im Sommer)</i> |
| | <i>$E_{\text{Dez}} = 0,3 \cdot 10^8 \text{ kWh}$</i> | <i>(Teil im Winter)</i> |
| <i>ges.:</i> | <i>prozentuale Anteile</i> | |
| <i>Lsg.:</i> | <i>a) Anteil im Sommer:</i> | <i>$\frac{1,4 \cdot 10^8 \text{ kWh}}{1,4 \cdot 10^9 \text{ kWh}} = 0,1 = 10 \%$</i> |
| | <i>b) Anteil im Winter:</i> | <i>$\frac{0,3 \cdot 10^8 \text{ kWh}}{1,4 \cdot 10^9 \text{ kWh}} = 0,02 = 2 \%$</i> |

- 5) Erkläre die Problematik der Stromerzeugung durch Solarenergie und nenne mögliche Lösungsansätze.

| |
|---|
| <i>Im Sommer ist der Beitrag der Solarenergie relativ hoch und im Winter sehr gering.</i> |
| <i>→ die Solarenergie kann nur im Sommer einen wesentlichen Beitrag liefern.</i> |
| <i>Lösungsansätze:</i> |
| <i>→ entweder Energiequellen nutzen, die auch im Winter einen Beitrag leisten,</i> |
| <i>→ oder man muss die Energie im Sommer langfristig speichern.</i> |

¹ https://www.agora-energielandschaft.de/daten-tools/agorameter/chart/today/power_generation/02.01.2025/08.01.2025/hourly

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

Aufgabe 2

| | |
|---|---|
| <p>Hilfekarte 1</p> <p>Überlege dir, welche Einheit die horizontale Achse (<i>die, die nach rechts verläuft</i>) hat.</p> | <p>Antwort 1</p> <p>Die horizontale Achse entspricht der Zeitachse.</p> |
| <p>Hilfekarte 2</p> <p>Schätze ab, wie groß die Zeit t ist, die im Diagramm dargestellt wird. Versuche klug zu schätzen und bedenke, dass es Juni ist.</p> | <p>Antwort 2</p> $t = 14 \text{ h}$ <p>In etwa die Sonnenstunden im Juni.</p> |
| <p>Hilfekarte 3</p> <p>Auf der anderen Achse ist die Leistung aufgetragen. Stelle einen Zusammenhang zwischen Leistung und Energie (<i>Formell!</i>).</p> | <p>Antwort 3</p> $P = \frac{E}{t} \Rightarrow E = P \cdot t$ |
| <p>Hilfekarte 4</p> <p>$P \cdot t$ 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.</p> | <p>Antwort 4</p> <p>Länge mal Breite ergibt Flächeninhalt.</p> <p>Wenn man also den Flächeninhalt herausfindet, dann weiß man auch die Energie.</p> |
| <p>Hilfekarte 5</p> <p>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.</p> | <p>Antwort 5</p> <p>Eine Dreiecksfläche ist besser geeignet.</p> <p>Bessere deine Skizze entsprechend nebenstehender Abbildung aus.</p> |
| <p>Hilfekarte 6</p> <p>Pass die Formel für den Flächeninhalt eines Dreiecks so an, dass damit die Energie am 17.6. berechnet werden kann.</p> | <p>Antwort 6</p> $\text{Fläche } A_{\Delta} = \frac{1}{2} \cdot \text{Länge} \cdot \text{Breite}$ $\rightarrow E = \frac{1}{2} \cdot P_{\text{max}} \cdot t$ |
| <p>Hilfekarte 7</p> <p>Berechne die Gesamtenergie in kWh.</p> | <p>Antwort 7</p> $1,4 \cdot 10^8 \text{ kWh}$ |

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

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

$$\text{Anteil im Winter: } \frac{0,3 \cdot 10^8 \text{ kWh}}{1,4 \cdot 10^9 \text{ kWh}} = 0,020 = 2,0 \%$$

Aufgabe 5**Hilfekarte zu Aufgabe 5**

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

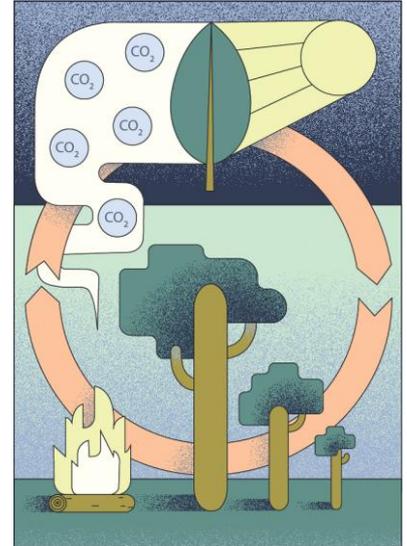
Lösung zu Aufgabe 5

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 ebenfalls 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

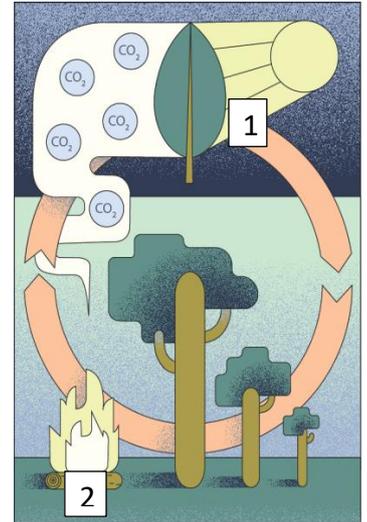
Los geht's:

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.

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 | Photosynthese | → | chemische Energie |
| kurz: | $E_{Strahlung}$ | Photosynthese | → | E_{chem} |
| 2) | chem. Energie | Verbrennung | → | Wärmeenergie, Strahlungsenergie |
| kurz: | E_{chem} | Verbrennung | → | $W_{th}; E_{Strahlung}$ |

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

- CO₂-neutral, wenn der Rohstoff zeitnah nachwächst
- nicht CO₂-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.

| | |
|------------------------|--|
| <i>Landwirtschaft:</i> | |
| | $357\,581\,km^2 \cdot 0,50 \approx 1,8 \cdot 10^5\,km^2$ |
| <i>Wald:</i> | |
| | $357\,581\,km^2 \cdot 0,30 \approx 1,1 \cdot 10^5\,km^2$ |



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

$$\begin{aligned} \text{landw. Fläche für Biomasse:} & \quad 30\% = 0,3 \\ & \quad A = 0,3 \cdot 178\,791 \text{ km}^2 \approx 53637 \text{ km}^2 = 53637 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \\ \text{Energie aus Biomasse in Deutschland: } E_{\text{nutz},D,1\text{Jahr}} & = 53637 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \approx 3 \cdot 10^{11} \text{ kWh} \end{aligned}$$

- 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.

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

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

$$\begin{aligned} \text{nutzbare Waldfläche:} & \quad 40\% = 0,4 \\ & \quad A = 0,40 \cdot 107274 \text{ km}^2 \approx 42910 \text{ km}^2 = 42910 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \\ \text{Energie aus Wald in Deutschland: } E_{\text{nutz},D,1\text{Jahr}} & = 42910 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 3,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \approx 1,5 \cdot 10^{11} \text{ kWh} \end{aligned}$$

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-prozentigen Nutzfläche fällt.

- 6) Vergleiche die Ergebnisse aus Aufgabe 4) und 5) mit dem Bedarf an Primärenergie von 94 kWh pro Person pro Tag in Deutschland. Beachte, dass ca. 15 % der Energie für den Anbau und die Ernte benötigt werden.

$$\begin{aligned} \text{geg.: Anzahl der Einwohner in Deutschland: ca. } 84,7 \text{ Mio.} & = 84,7 \cdot 10^6; \quad \text{Tage pro Jahr: } 365 \\ E_{\text{Biomasse},D,1a} & = 268 \cdot 10^9 \text{ kWh} \quad E_{\text{Wald},D,1a} = 150 \cdot 10^9 \text{ kWh} \quad h = 1 - 0,15 = 0,85 \\ \text{Lsg.: } \frac{268 \cdot 10^9 \text{ kWh} + 150 \cdot 10^9 \text{ kWh}}{84,7 \cdot 10^6 \cdot 365} \cdot 0,85 & \approx 11 \text{ kWh} \quad (\hat{=} \text{ca. } 12\% \text{ von } 94 \text{ kWh}) \\ \text{A.: Mit Bioenergie können maximal } 12\% & \text{ des gesamten Primärenergiebedarfs gedeckt werden.} \end{aligned}$$

- 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 CO ₂ -Senke - Förderung von Monokulturen - hoher Schadstoffausstoß bei manchen Heizungsarten |

4. Zusatzmaterial

In diesem Abschnitt unseres Handbuchs möchten wir Ihnen zusätzliche Materialien und Arbeitsblätter zu spannenden Themen rund um erneuerbare Energien und deren Anwendungen anbieten. Diese ergänzenden Inhalte sind darauf ausgerichtet, tiefer in wichtige Zukunftstechnologien einzutauchen und deren Funktionsweise sowie Potenziale verständlich zu machen.

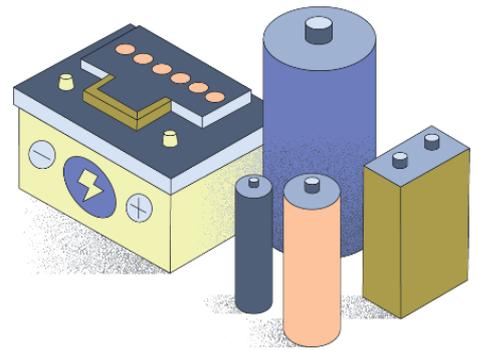
Den Anfang machen die Arbeitsblätter zu **E-Autos** und **E-Fuels**, die praxisnah aufzeigen, welche Rolle diese Technologien in einer nachhaltigen Mobilitätswende spielen können.

Darüber hinaus planen wir, das Angebot kontinuierlich zu erweitern. Zukünftige Arbeitsblätter werden sich beispielsweise mit Themen wie **Geothermie**, **Wärmepumpen** und weiteren innovativen Lösungen für eine klimafreundliche Energieversorgung beschäftigen. Ziel ist es, ein umfassendes Lernangebot bereitzustellen, das die Vielfalt der erneuerbaren Energien praxisorientiert vermittelt.

Wir laden Sie ein, diese Materialien zu nutzen, um die Inhalte des Handbuchs zu vertiefen und einen noch breiteren Einblick in die Welt der erneuerbaren Energien zu gewinnen. Zusätzlich freuen wir uns über Material und weitere Ideen von unseren Lesern.

Wasserstoff, Elektroauto oder E-Fuels: Was könnte der Antrieb der Zukunft sein?

- 1) Ein PKW ($m = 1000 \text{ kg}$) mit Verbrennungsmotor benötigt eine Energie von $0,72 \text{ kWh}$, um von 0 auf $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ zu beschleunigen. Ein E-Auto mit gleicher Masse benötigt dafür eine Energie von $0,87 \text{ MJ}$.



- a) Bestimme jeweils den Wirkungsgrad der beiden Motoren und bewerte die Ergebnisse. (Tipp: $E_{\text{kin}} = E_{\text{nutz}}$)

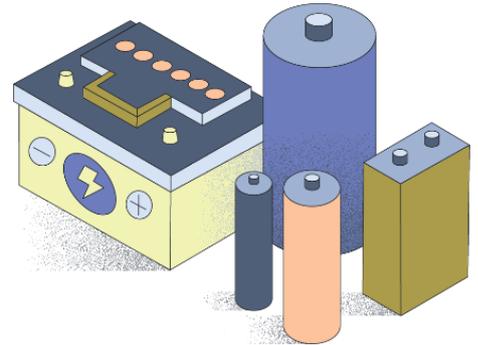
Grid area for solving part a).

- b) Skizziere ein Energieflussdiagramm mit den dabei stattfindenden Energieumwandlungen. Begründe mithilfe der hier auftretenden Energiebewertungen deine Ergebnisse aus Aufgabe a).

Grid area for solving part b).

Wasserstoff, Elektroauto oder E-Fuels: Was könnte der Antrieb der Zukunft sein? – Lösungen

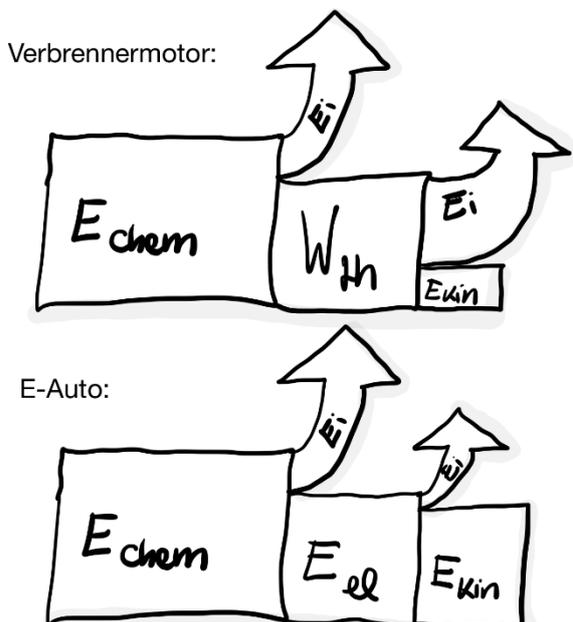
- 1) Ein PKW ($m = 1000 \text{ kg}$) mit Verbrennungsmotor benötigt eine Energie von $0,72 \text{ kWh}$, um von 0 auf $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ zu beschleunigen. Ein E-Auto mit gleicher Masse benötigt dafür eine Energie von $0,87 \text{ MJ}$.



- a) Bestimme jeweils den Wirkungsgrad der beiden Motoren und bewerte die Ergebnisse. (Tipp: $E_{\text{kin}} = E_{\text{Nutz}}$)

| | |
|-------|--|
| geg.: | $m = 1000 \text{ kg}$ |
| | $E_{\text{Verbrenner}} = 0,72 \text{ kWh} = 2,6 \cdot 10^6 \text{ J} = 2,6 \text{ MJ}$ |
| | $v = 130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ |
| | $E_e = 0,87 \cdot 10^6 \text{ J}$ |
| ges.: | $\eta_{\text{Verbrenner}}, \eta_{\text{E-Auto}}$ |
| Lsg.: | $E_{\text{kin}} = 0,5 \cdot m \cdot v^2 = 0,5 \cdot 1000 \text{ kg} \cdot \left(130 \frac{\text{km}}{\text{h}} : 3,6\right)^2 = 0,65 \text{ MJ} = E_{\text{Nutz}}$ |
| | $\eta_V = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Zu}}} = \frac{0,65 \text{ MJ}}{2,6 \text{ MJ}} = 25 \%$ |
| | $\eta_E = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Zu}}} = \frac{0,65 \text{ MJ}}{0,87 \text{ MJ}} = 75 \%$ |
| A.: | Der Wirkungsgrad des E-Autos ist deutlich höher, es wird also weniger zugeführte Energie entwertet. |

- b) Skizziere ein Energieflussdiagramm mit den dabei stattfindenden Energieumwandlungen. Begründe mithilfe der hier auftretenden Energieentwertungen deine Ergebnisse aus Aufgabe a).



2) „Power to Liquid“ (PtL) wird häufig als mögliche Alternative zum Elektroauto betrachtet. Der Begriff beschreibt die Herstellung eines Treibstoffs in mehreren Schritten mithilfe von regenerativ erzeugtem Strom. Zunächst wird aus Wasser Wasserstoff gewonnen, der anschließend durch die Zugabe von CO₂ in Treibstoff umgewandelt wird. Der angestrebte Wirkungsgrad dieses Prozesses soll etwa 60 % betragen.

a) Berechne, wie viel chemische Energie in diesem Treibstoff gespeichert ist, wenn man den Jahresenergieertrag einer privaten Photovoltaikanlage von 10 000 kWh nutzt.

$$E_{\text{chem}} = 10\,000 \text{ kWh} \cdot 0,60 = 6\,000 \text{ kWh}$$

b) In einem Liter Treibstoff ist eine Energie von 10 kWh an chemischer Energie gespeichert. Berechne, wie viele Liter Treibstoff man aus der in Aufgabe a) berechneten Energiemenge erhalten würde, und welche Reichweite man damit erzielen könnte, wenn von einem Verbrauch von 6,0 $\frac{\text{l}}{100 \text{ km}}$ ausgegangen wird.

$$6000 \text{ kWh} : 10 \text{ kWh/l} = 600 \text{ l} \quad \rightarrow \text{Man würde } 600 \text{ l Treibstoff erhalten}$$

$$600 \text{ l} : 6,0 \frac{\text{l}}{100 \text{ km}} = 100 \cdot 100 \text{ km} = 10\,000 \text{ km} = 10 \cdot 10^3 \text{ Reichweite}$$

c) Ein durchschnittliches Elektroauto hat einen Energiebedarf von 19 $\frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}}$. Berechne, wie weit man mit einer Energie von 10 000 kWh mit diesem fahren kann.

$$\frac{10\,000 \text{ kWh}}{19 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}}} = 52\,600 \text{ km} = 53 \cdot 10^3 \text{ km}$$

d) Vergleiche die Ergebnisse aus den Teilaufgaben b) und d) und bewerte die beiden Antriebsarten.

Mit einem E-Auto kann man mit der gleichen Energiemenge deutlich größere Reichweiten erzielen.

e) Oft wird davon gesprochen, dass man den synthetisch erzeugten Treibstoff aus Ländern mit einer höheren solaren Einstrahlung, wie z. B. aus Saudi-Arabien importieren könnte. Bewerte diesen Vorschlag.

Nachteile: Man erzeugt eine Abhängigkeit von dem exportierenden Land.
Die Kosten für den Transport werden dabei nicht berücksichtigt.

Vorteil: Die energieintensive Produktion des Treibstoffes kann besser mit erneuerbaren Energien abgedeckt werden.

Und zu guter Letzt ein Dankeschön:

Unser erster, tief empfundener Dank gilt Cecilia und Harald. Ihr habt uns nicht nur die Chance gegeben, Teil eures Teams zu werden, sondern uns auch mit eurer Begeisterung und eurem Vertrauen inspiriert. Gemeinsam haben wir die Herausforderung angenommen, aus zwei bereits bestehenden Büchern und großartigen Arbeitsblättern für das Gymnasium eine ebenso wertvolle Materialsammlung für die Realschule zu erschaffen. Dabei möchten wir besonders den engagierten Gymnasiallehrern Thomas Bauer, Benjamin Best und Philipp Schneider danken – und allen voran Dorle Lohn, die mich, Moni Saak, mit bemerkenswerter Hartnäckigkeit für dieses Projekt gewonnen hat. Ihr Vertrauen in uns und ihre Überzeugung, dass wir diese Aufgabe meistern würden, waren eine große Motivation und eine wertvolle Starthilfe.

Ein großes Dankeschön geht auch an Prof. Dr. Christian Holler, Prof. Dr. Joachim Gaukel und die Familie Lesch – für ihre großzügige Bereitschaft, ihre Materialien zur Verfügung zu stellen und uns damit die Möglichkeit zu geben, sie weiterzuentwickeln.

Doch was wäre Unterrichtsmaterial ohne ansprechende Bilder? Unser herzlicher Dank gilt daher dem gesamten Team von „Erneuerbare Energien zum Verstehen und Mitreden“ – allen voran Charlotte Kelschenbach, die mit ihren Illustrationen diesem Buch Leben eingehaucht hat. Ebenso danken wir der Hochschule München und dem C. Bertelsmann Verlag für ihre Unterstützung.

Kein großes Projekt kommt ohne kluge Koordination aus. In der ersten Phase stand uns Sabine Graf mit Rat und Tat zur Seite. Mit ihrem offenen Ohr, ihrer unerschütterlichen Geduld und ihrem organisatorischen Geschick hat sie unzählige inhaltliche Änderungen in die Online-Version eingearbeitet und den Grundstein für das spätere Wachstum des Projekts gelegt.

In der zweiten Phase übernahm Philipp Schmidbauer die Projektkoordination – und mit unermüdlichem Einsatz machte er diese gedruckte Ausgabe erst möglich. Er lieferte nicht nur wertvolle inhaltliche Impulse, sondern überarbeitete auch die komplette Formatierung und behielt dabei stets den Überblick über alle Prozesse.

Ein weiteres großes Dankeschön geht an unsere Kolleginnen und Kollegen, die das Material mit viel Sorgfalt getestet haben. Besonders hervorheben möchten wir Daniela Hägele, die zahlreiche wertvolle Verbesserungsvorschläge beigesteuert hat. Ihre selbstgezeichneten Illustrationen bereichern das Heft an vielen Stellen und machen die Inhalte noch anschaulicher.

Dieses Projekt, das Sie nun in den Händen halten, liebe Leserinnen und Leser, wäre ohne Cecilia Scorza Lesch und Harald Lesch nicht denkbar gewesen. Durch ihren unerschütterlichen Glauben an diese Idee, ihren Einsatz für Vernetzung und ihre großartige Fähigkeit, Unterstützer und Spenden zu gewinnen, wurde all dies Realität. Eure Unterstützung, euer Vertrauen und eure Leidenschaft bedeuten uns unendlich viel – danke von Herzen!

Während der Arbeit an diesem Handbuch sind uns von so vielen Seiten Interesse, Motivation und Engagement begegnet, dass es für uns ein Symbol geworden ist: ein Zeichen dafür, dass wir die vor uns liegenden Herausforderungen gemeinsam meistern können – als Gemeinschaft von Menschen, die ihre Ideen, ihre Energie und ihre Leidenschaft teilen.

Erneuerbare Energien in den Unterricht zu bringen, ist mehr als eine Aufgabe – es ist eine Chance. Eine Möglichkeit, den Blick junger Menschen auf die Lösungen für die Zukunft zu lenken.

Und so geht unser letzter, aber ebenso herzlicher Dank an Sie, liebe Leserinnen und Leser. Danke für Ihr Interesse, Ihre Neugier und Ihr Engagement. Sie sind es, die dieses Material mit Leben füllen, es anpassen und

weiterentwickeln. Wir laden Sie ein, Ihre Ideen mit uns zu teilen, denn nur gemeinsam können wir noch bessere und vielfältigere Materialien erschaffen. Möge dieses Buch Ihnen nicht nur ein hilfreiches Werkzeug im Unterricht sein, sondern auch eine Inspiration – für Ihre Schülerinnen und Schüler, für neue Denkansätze und letztlich dafür, unsere Welt ein kleines Stück besser zu machen.

Moni Saak

Michael Blinzler

Georg Kobschätzky