

Informationen für Schülerinnen und Schüler

- Wie kann eine nachhaltige und ausreichende Energieversorgung in der Zukunft gelingen?
- Warum sind Energiespeicher der Schlüssel zur Energiewende und welche Konzepte sind vielversprechend?
- Ist eine Gestaltung des gesamten Individualverkehrs (PKWs) ohne fossile Brennstoffe (Benzin, Diesel, Erdgas) überhaupt möglich?

Diese und andere wichtige Fragen sollst du dir in Gruppenarbeit durch die gegebenen Informationen selbst erarbeiten und beantworten. Bezüglich der erneuerbaren Energien beschränken wir uns im Folgenden nach einer Einführung und einem Überblick zur Thematik auf die Aspekte Solarmodul- und Windkraftwerke - Rinnenkraftwerke wären zwar in sehr sonnenreichen Regionen auch möglich, doch soll hier die Beschränkung auf die oben genannten genügen (Arbeitsblatt 1).

Mit Hilfe des Arbeitsblatts 2 sollst Du dann die „Sonnenenergieerntemengen“ bezogen auf konkrete Flächen abschätzen und anschließend Konzepte zur Speicherung der „geernteten Energiemengen“ vergleichen und bewerten (Arbeitsblatt 3).

Zuletzt sollst du mit Hilfe der gewonnen Erkenntnisse abschätzen, ob die Brennstoffzellentechnologie eine Lösung für die Problematik der Individualmobilität in der Zukunft darstellt (Arbeitsblatt 4) und ob die in Deutschland aktuell zurückgelegten PKW-Kilometer auch mit gespeicherter Sonnenenergie zurückgelegt werden können.

Information 1 – Vergleich „alte“ und „neue“ Energien



Abbildung C3.01 „Alte“ Energien

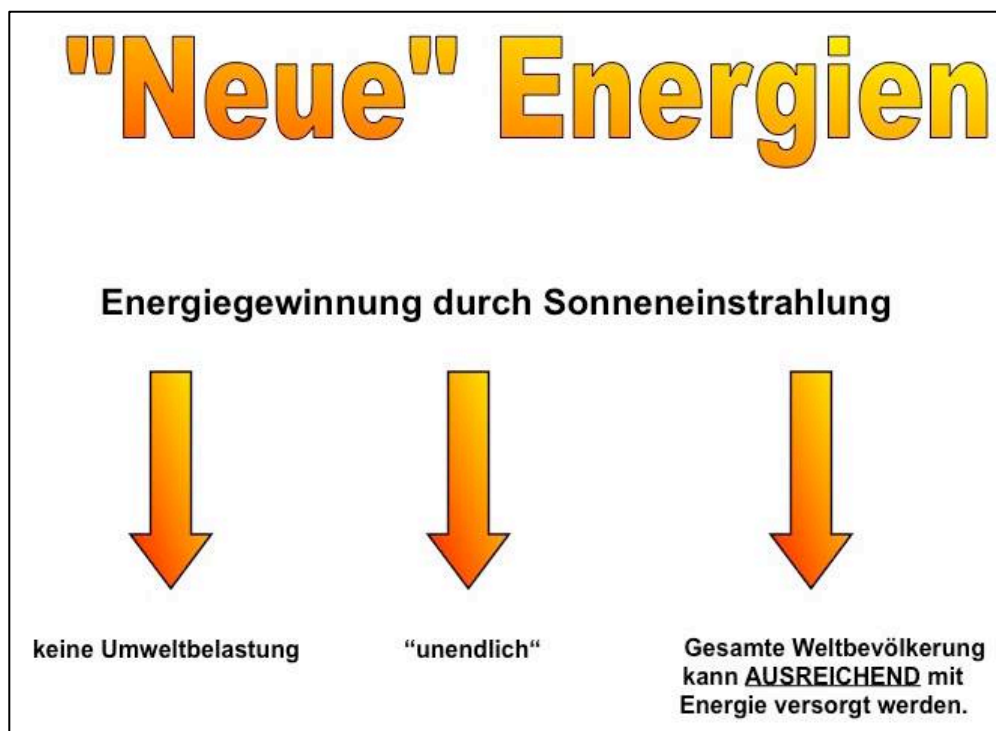


Abbildung C3.02 „Neue“ Energien

Information 2 – Sonnenenergiewürfel

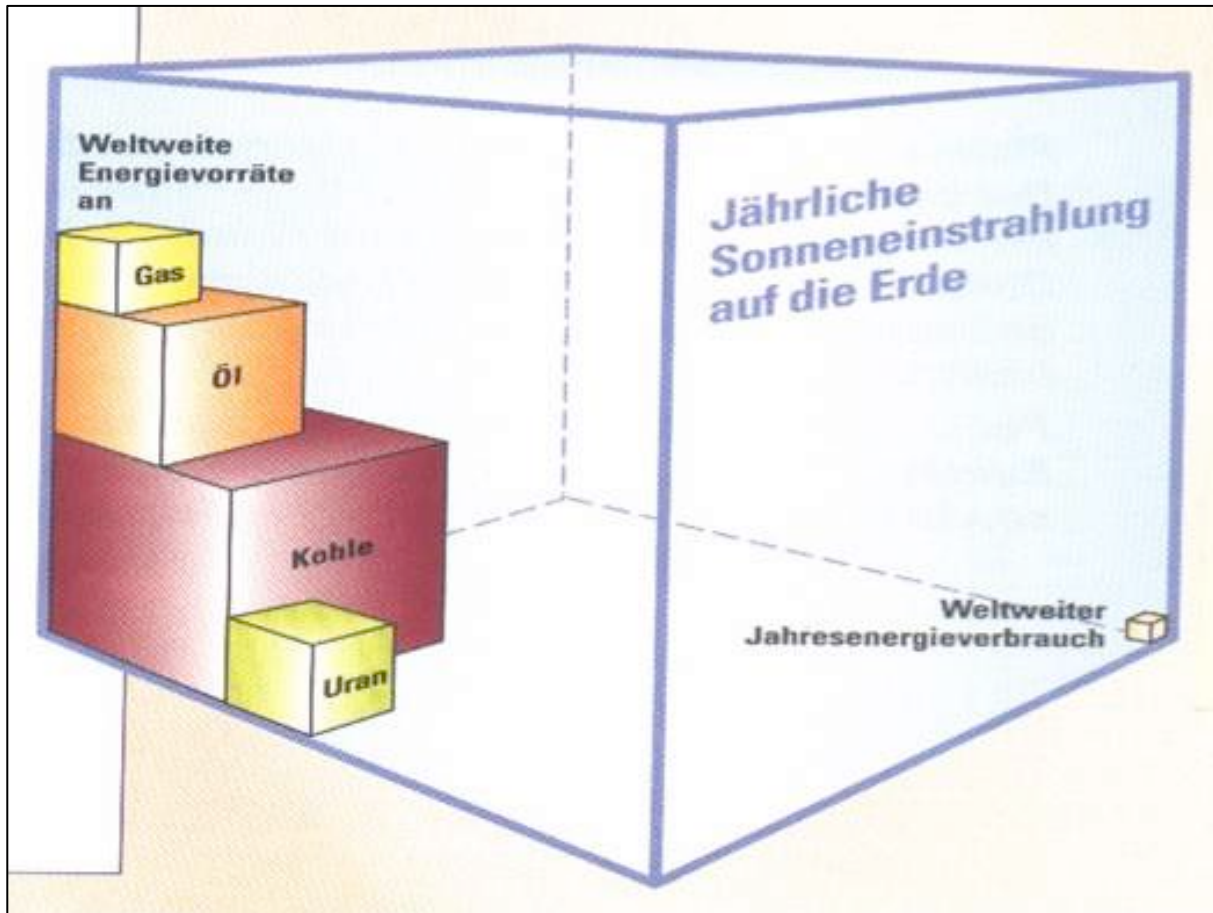


Abbildung C3.03 Der Sonnenenergiewürfel

Der Sonnenenergiewürfel zeigt deutlich, wie wenig wir von der jährlich von der Sonne eingestrahelten Energiemenge ernten müssen, um den Weltenergiebedarf zu decken.

Information 3 – Solarernte

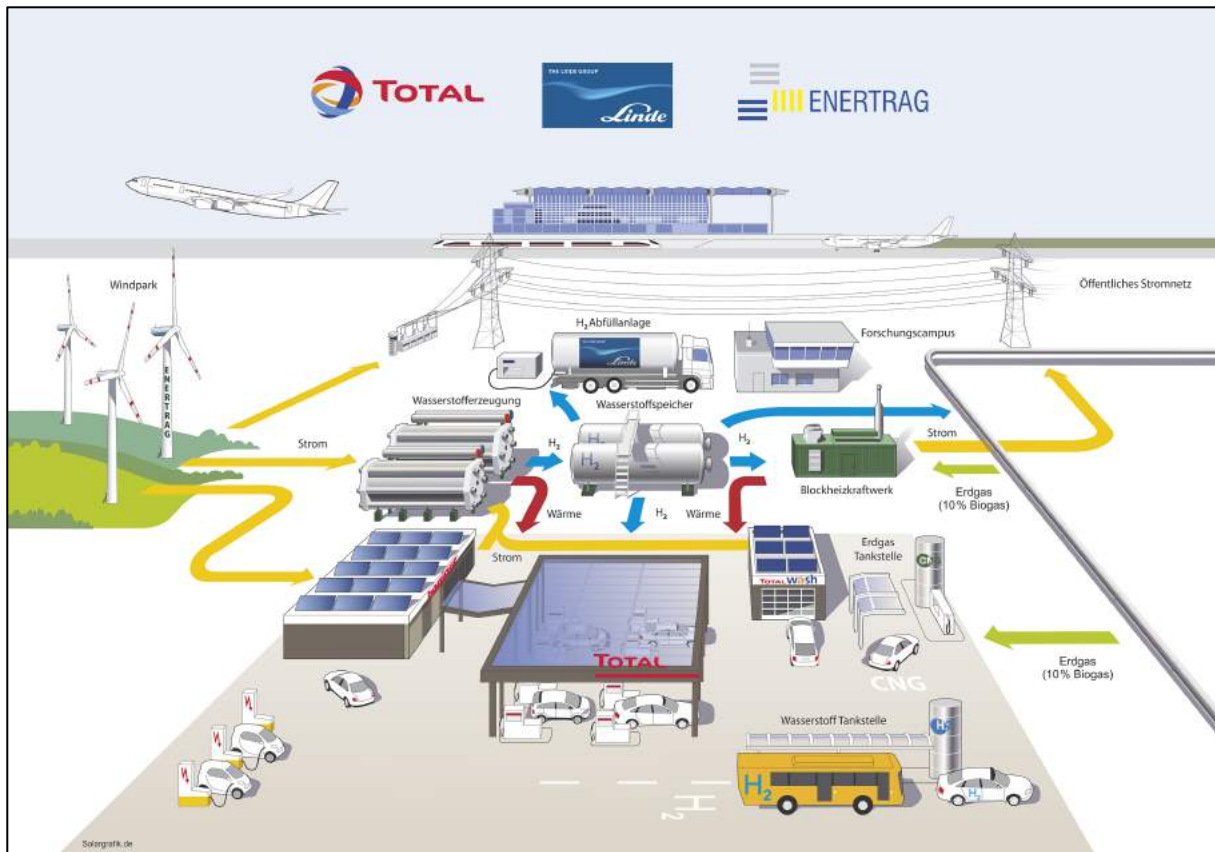


Abbildung C3.04 Vom Windrad zur Wasserstofftankstelle (Beispiel: TOTAL Tankstelle am Flughafen BER)

Information 4



Abbildung C3.05 Moderne Windkraftanlage mit 7,5 MW Leistung

Jahresertrag: 5.400 Haushalte bzw. $18,8 \cdot 10^6$ kWh

Standort: Hunsrück (RLP)

Information 5



Abbildung C3.06 Solarmodulanlage in Rheinland-Pfalz

Jahresertrag: 1.600 Haushalte bzw. $5,6 \cdot 10^6$ kWh, 56.300 m²

Standort: Wörrstadt (RLP)

Jahresertrag: 7.300 kWh, 60 m²

Standort: Münstermaifeld (RLP)

Information 6 – Windkarte Deutschland

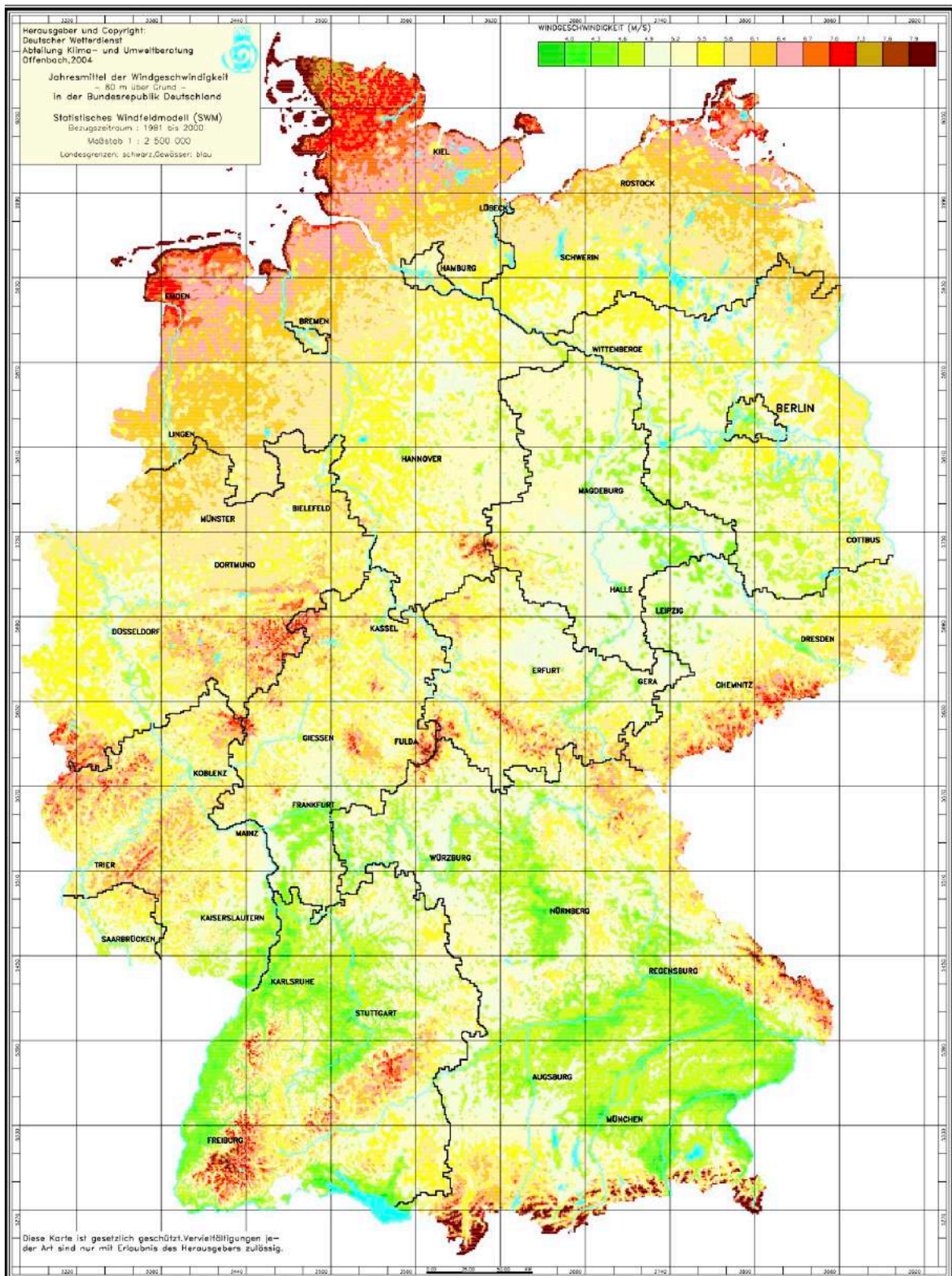


Abbildung C3.07 Windkarte mit Windgeschwindigkeiten in Jahresmittel (80 m über Grund)

Die Karte ist als Kopiervorlage auf der Internetseite des DWD erhältlich. Der Link befindet sich im Abbildungsverzeichnis.

Information 7– Solareinstrahlung Deutschland

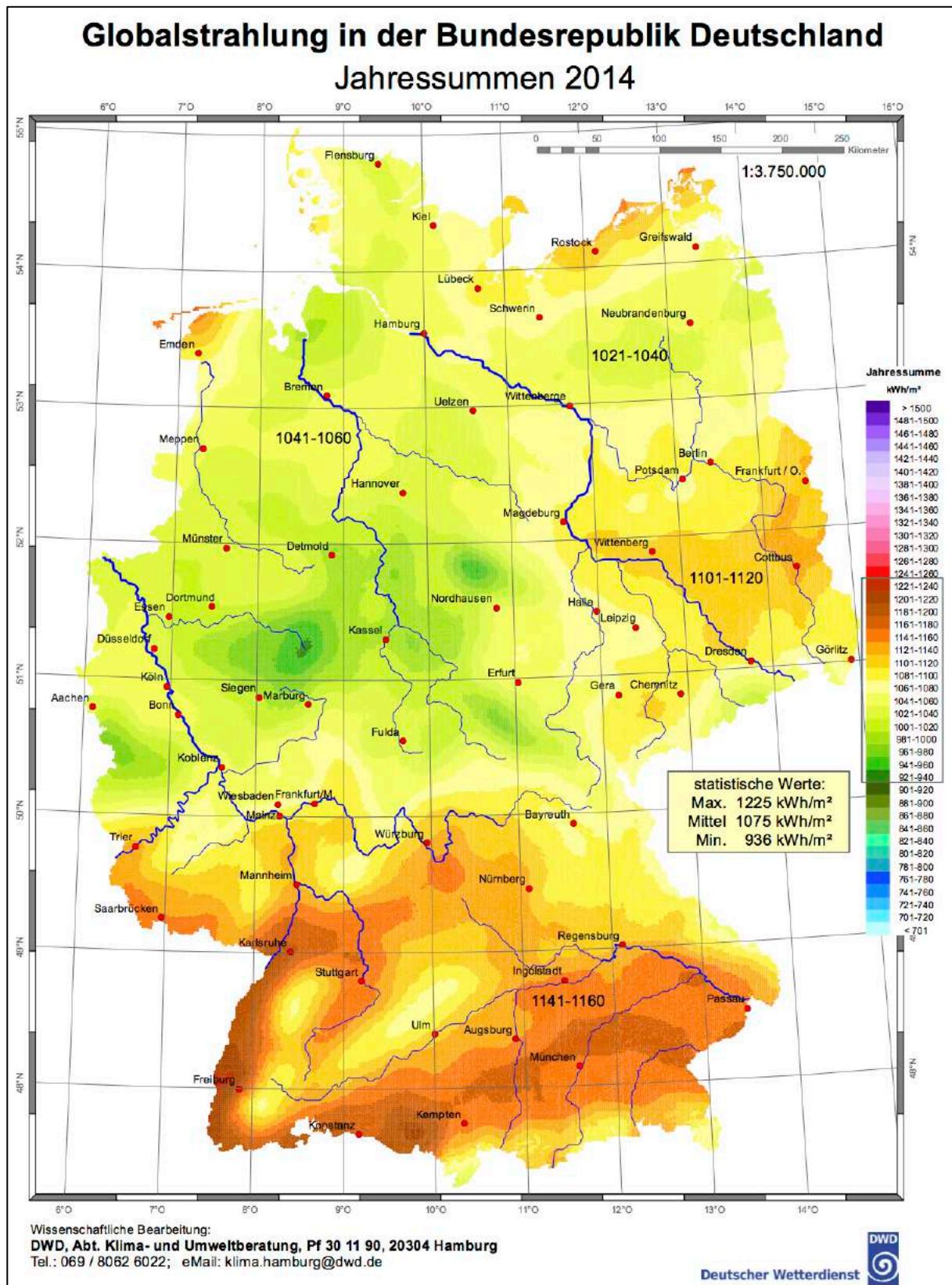


Abbildung C3.08 Globalstrahlungskarte mit Jahressummen (Jahr 2014)

Die Karte ist als Kopiervorlage auf der Internetseite des DWD erhältlich. Der Link befindet sich im Abbildungsverzeichnis.

Information 8 – Definition Energiespeicher

Was sind Energiespeicher?

Definition

Ein Energiespeicher ist eine energietechnische Einrichtung, welche die drei folgenden Prozesse beinhaltet: *Einspeichern* (Laden), *Speichern* und *Ausspeichern* (Entladen).

Primäre Energiespeicher werden nur einmal geladen und entladen (z.B. fossile Brennstoffe, Batterien).

Sekundäre Energiespeicher können mehrfach geladen und entladen werden (z.B. Akkus, Pumpspeicherkraftwerke).

Klassifizierung

nach Speicherform

Elektrische Speicher (Kondensatoren)
Elektrochemische Speicher (Akkumulatoren)
Mechanische Speicher (Lagespeicher, Schwungspeicher)
Thermische Speicher (Wärmespeicher)
Chemische Speicher (Brennstoffe)

nach Speicherdauer

Kurzzeitspeicher
 Sekundenspeicher
 Minutenspeicher
 Stundenspeicher
 Tagesspeicher
 Langzeitspeicher
 Wochenspeicher
 Monatsspeicher
 Saisonalspeicher

nach räumlichen Aspekten

Zentrale Speicher
 Dezentrale Speicher
 Ortsfeste Speicher
 Mobile Speicher

Warum braucht man Energiespeicher?

Bedarf

Wir benötigen Energie in Form von Wärme, als elektrische Energie und für unsere Mobilität. Daher muss Energie zu jeder Zeit und im Falle des Individualverkehrs auch an jedem Ort zur Verfügung stehen. Um dies zu gewährleisten, benötigt man Energiespeicher, welche dann aus gespeichert werden können, wenn Bedarf besteht.

Situation früher

In der Vergangenheit haben wir vor allem chemische Energiespeicher genutzt, welche durch natürliche Prozesse entstanden sind. Das sind zum einen die regenerativen Brennstoffe aus Biomasse (z.B. Holz) sowie die fossilen Brennstoffe (Kohle, Erdgas, Erdöl).

Blick in die Zukunft

In der Zukunft werden erneuerbare Energien aus Windkraft und Solaranlagen eine immer wichtigere Rolle spielen. Hierbei die Energie meist in Form von elektrischer Energie geerntet. Da jedoch aufgrund fluktuierender Windgeschwindigkeiten und Tag-Nacht-Wechsel die Gewinnung dieser regenerativer Energien z.T. starken Schwankungen unterliegt, benötigt man bedarfsgerechte Energiespeicher, um bei Überschuss Strom einspeichern und bei Bedarf wieder ausspeichern zu können.

Worin unterscheiden sich Energiespeicher?

Speicherkapazität

Dieser Wert gibt an, wie viel Energie der Speicher, wenn er geleert wird, abgeben kann.

Die Speicherkapazität ist eine physikalische Speicherkenngröße, die aber von wirtschaftlichen, technischen, geologischen oder politischen Faktoren abhängt.

Energiedichte

Die Energiedichte stellt das Verhältnis von nutzbarer Energie zur Masse oder zum Volumen an. Sie gibt an, wie viel Energie eine Masseneinheit (in MJ/kg) oder eine Volumeneinheit (in MJ/m³) eines Speichers enthält.

Ausspeicherdauer

Die Ausspeicherdauer gibt an, wie lange der Ausspeichervorgang bis zur Leerung des Speichers dauert.

Sie bestimmt im Wesentlichen den Einsatz des Speichers (Kurz- oder Langzeitspeicher).

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad gibt an, wie viel Prozent der dem Speicher zugeführten Energie nach der Entladung zur Verfügung steht. Er bezeichnet damit das Verhältnis von aufgenommener zu abgegebener Energie und wird in Prozent angegeben.

Selbstentladerate

Die Selbstentladerate gibt an, wie viel Prozent der in dem Speichermedium gespeicherten Energie ohne aktive Entnahme in einem bestimmten Zeitraum (pro Stunde oder pro Tag) verloren geht.

Abbildung C3.09 Definition Energiespeicher

Information 9 – Energiespeicher im Vergleich

	Li-Ionen-Akku	Pumpspeicher	Wasserstoff (200 bar)	eE-Methan (200 bar)	Erdöl
Massenspezifische Energiedichte in MJ/kg (gerundet)	0,4-0,7	0,001-0,005	120	50	42
Volumenspezifische Energiedichte in MJ/m ³ (gerundet)	700-1400	1-4	1900	9300	37 800 <i>(Dichte 0,9 g/ml)</i>
Speicherkapazität in D aktuell (in MJ, gerundet)	0,01 Mio	140 Mio	200 Mrd <i>Kavernenspeicher</i>	1100 Mrd <i>Poren- und Kavernenspeicher</i>	840 Mrd <i>(~ 20 Mio t strategische Erdölreserven)</i>
Ausspeicherdauer	Minuten	Stunden	Wochen bis Monate	Monate	3 Monate
Gesamtwirkungsgrad (Einspeichern von elektrischer Energie → Speichern → Ausspeichern von elektrischer Energie)	90-97%	70-82%	34-44%	30-38%	30-45% <i>(ohne Einspeichern)</i>
Selbstentladerate pro Tag	0,0008-0,041%	0-0,5%	vernachlässigbar gering	vernachlässigbar gering	vernachlässigbar gering

Abbildung C3.10 Vergleich ausgewählter Speicher für elektrischen Strom aus erneuerbaren Energien (eE) mit fossilem Energieträger

Quelle: Eigene Darstellung nach Sterner, Michael / Stadler, Ingo (2014): Energiespeicher. Bedarf, Technologien, Integration. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg Verlag. S. 600ff.

Information 10 – Speicherarten

Welche Speicher gibt es?

Supraleitende Spulen	Die Energiespeicherung erfolgt direkt in einem Magnetfeld. Die Energie ist in kürzester Zeit verfügbar, jedoch muss die Spule für optimale Leistungsausbeuten auf -200 °C gekühlt werden.
Kondensatoren	Die Energiespeicherung erfolgt direkt in einem elektrischen Feld. Auch hier ist die Energie in kürzester Zeit verfügbar, aber leistungsfähige Kondensatoren („Super Caps“) sind noch sehr teuer.
Akkumulatoren	Akkumulatoren speichern elektrische Energie direkt in chemischer Energie. Es gibt eine Vielzahl an Akkumulator-Typen. Am bekanntesten sind die Blei-Säure-Akkumulatoren, welche man aus dem Auto („Autobatterie“) kennt, und der Lithium-Ionen-Akkumulator. Letzterer wird aufgrund seiner vergleichsweise hohen Energiedichte und der langen Lebensdauer für viele elektronische Unterhaltungsgeräte (Smartphones, Tablets, Notebooks) und für elektrische Fahrzeuge verwendet (E-Bikes, E-Autos).
Schwungmasse-speicher	Ein Rotor wird beschleunigt und speichert dadurch mechanische Energie. Bei Bedarf kann die gespeicherte Energie wieder ausgekoppelt und direkt als Bewegungsenergie genutzt oder in elektrische Energie umgewandelt werden.
Druckluftspeicher	Druckluftspeicherkraftwerke speichern Energie in Form von komprimierter Luft. Ein durch elektrischen Strom betriebener Kompressor verdichtet die Luft auf Drücke von 30 bis 75 bar, und durch Expansion des Gases kann mit Hilfe einer Turbine und einem Generator wieder elektrischer Strom erzeugt werden.
Pumpspeicherwerke	Beim Einspeichern werden große Wassermengen durch elektrisch betriebene Pumpen in ein höher gelegenes Speicherbecken gebracht. Bei Bedarf lässt man das Wasser wieder zurückfließen und erzeugt so über Turbinen, welche einen Generator antreiben, wieder elektrischen Strom. Die Energiedichte ist dabei abhängig von dem Höhenunterschied zwischen Oberbecken und Unterbecken, so dass oft Fallhöhen von fünfzig bis mehreren hundert Metern auftreten.
Wärmespeicher	Ein Wärmespeicher kann thermische Energie (Wärme) über einen langen Zeitraum speichern. Bei „sensiblen Wärmespeichern“ wird ein gut isoliertes Speichermedium erhitzt und kann so die Wärme über einen langen Zeitraum speichern. Als Speichermedien kommen Flüssigkeiten (z.B. Wasser) oder feste Stoffe (z.B. Eisenoxidsteine) in Betracht. Wichtig hierbei ist jedoch, dass der Stoff eine hohe spezifische Wärmekapazität besitzt. Bei Latentwärmespeichern wird zusätzlich zur sensiblen Wärme, die für einen Phasenwechsel (fest \rightarrow flüssig) notwendige Energie gespeichert. Ein bekanntes Beispiel hierfür sind Taschenwärmer für warme Hände im Winter.
Power-to-Gas	Mit „Power-to-Gas“ oder „Windgas“ werden alle Speichersysteme bezeichnet, welche elektrische Energie in Form von Bindungsenergien gasförmiger Stoffe speichern. Dabei wird zunächst in einem Elektrolyseur mit Hilfe von elektrischem Strom Wasser in seine Elemente Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Der Wasserstoff kann nun entweder in unterirdischen Kavernen oder Drucktanks gespeichert oder auch bei sehr tiefen Temperaturen (-253 °C) verflüssigt werden. Durch „kalte Verbrennung“ des Wasserstoffs in einer Brennstoffzelle kann nun wieder elektrischer Strom gewonnen werden. Alternativ kann man auch den Wasserstoff mit Kohlenstoffdioxid zu Methangas („künstliches Erdgas“) chemisch umwandeln und in das bestehende Erdgasnetz einspeisen. Durch Verbrennen in herkömmlichen Gaskraftwerken wird wieder elektrischer Strom erzeugt. Da das hier im Speichermedium gebundene Kohlenstoffdioxid aus der Luft gewonnen wurde, ist die erneute Freisetzung von CO_2 bei der Rückverstromung nicht klimaschädlich.
Power-to-Liquids	Durch chemische Reaktionen ist es möglich, aus elektrolytisch erzeugtem Wasserstoff und Kohlendioxid flüssige Kraftstoffe wie Methanol, Benzin, Diesel oder Kerosin künstlich herzustellen. Damit könnten auch Flugzeuge, Schiffe oder Lastkraftwagen klimaneutral eingesetzt werden. Jedoch müssen bei der Erzeugung flüssiger Kraftstoffe weitere Energieverluste berücksichtigt werden.

Abbildung C3.11 Speicherarten

Arbeitsblatt 1 – Potenziale der Sonnenenergieernte

1. Stelle „alte“ und „neue“ Energien gegenüber (Vorteile, Nachteile) und fasse zusammen, welche Vorteile der „alten“ Energien und Nachteile der „neuen“ Energien du in der Ausstellung darüber hinaus auch kennengelernt hast.

„Alte“ Energien	„Neue“ Energien

2. Schätze mit Hilfe des Energiewürfels ab, wie viel Mal mehr Sonnenenergie auf der Erde ankommt, als der weltweite Energiebedarf ist. Nutze ein Geodreieck zur Hilfe!

3.

- a. Nenne Sonnenenergieerntemöglichkeiten.

- b. Benenne die Schritte von der Sonnenenergieernte bis zum Wasserstoffauto.

Arbeitsblatt 2 – Berechnung der möglichen Solarenergieernte in Deutschland

Windräder

1. Schätze die möglichen Ernteflächen ab und berechne (siehe Hinweis 1), in welchen Mengen Energien über Windkraft geerntet werden können. Vergleiche deine Ergebnisse mit dem elektrischen und dem Primärenergiebedarf in Deutschland. Nutze hierzu die Windkarte Deutschland. Eine Schülergruppe hat für Deutschland eine mögliche Sonnenenergieerntefläche durch Windräder von 28.000 km² abgeschätzt.

2. Beurteile ebenfalls, ob die Flächenbedarfe realisierbar sind.

Hinweis 1

Suche solche Flächen in Deutschland heraus, über denen die Windgeschwindigkeit so groß ist, wie über dem Hunsrück (RLP) (du benötigst Windgeschwindigkeiten zwischen 5 m/s und 10 m/s) und berechne bzw. schätze die deutschlandweit mögliche Fläche ab. Berechne die Energieernte unter der Voraussetzung, dass 3,5 Windräder des Typs 7,5 MW auf 1 km² passen.

Solarmodule

1. Schätze nun wie oben die Energieerntemengen durch Solarmodule ab (siehe Hinweis 2) und vergleiche diese. Nutze hierzu die Deutschlandkarte „Sonnenenergieeinstrahlung“. Eine Schülergruppe hat für Deutschland eine mögliche Sonnenenergieerntefläche durch Solarmodule von 6.000 km² abgeschätzt.

2. Beurteile ebenfalls, ob die Flächenbedarfe realisierbar sind.

Hinweis 2

Suche solche Flächen in Deutschland heraus, auf denen die Sonnenenergieeinstrahlung so groß ist wie in Wörrstadt (RLP) (du benötigst Einstrahlwerte größer als 1.040 kWh/a). Berechne bzw. schätze die deutschlandweit mögliche Fläche ab. Berechne die Energieernte.

Arbeitsblatt 3 – Speicherung der Energien

1. Erläutere, zu welchem Zweck Energiespeicher benötigt werden und nenne drei Energiespeicher aus deinem Alltag.

2. Informiere dich über die verschiedenen Energiespeicherarten und nenne Beispiele für die Speicherung „alter“ und „neuer“ Energien. Stelle die Vor- und Nachteile der Energiespeicher tabellarisch gegenüber.

z.B.

Energiespeicher	Vorteil	Nachteil
Erdöl(lager)	Hohe Speicherkapazität	CO ₂ -Freisetzung, begrenztes Vorkommen

3. Welche Speicherform/en wird/werden in der Zukunft eine flächendeckende Versorgungssicherheit mit Energie in Deutschland auch über einen längeren Zeitraum bieten? Begründe deine Entscheidung.

4. Stell dir vor, du bist Entwicklungschef einer Autofirma. Welcher Energiespeicher sollte in Zukunft in den Autos deiner Firma eingesetzt werden? Begründe deine Wahl.

5. Nimm kritisch Stellung zu folgender Aussage:
„Eine Energieversorgung aller Menschen auf dieser Erde ist nur durch Solarenergieernte möglich und sollte ein Grundrecht sein.“

Arbeitsblatt 4 – Mobilitätskonzept der Zukunft

Die Mobilität der Zukunft liegt in der E-Mobilität. Dazu zählt die Speicherung der elektrischen Energie aus Solarenergieernte direkt in Akkumulatoren oder indirekt als Wasserstoff, welcher in sogenannten Brennstoffzellen wieder Strom erzeugt (siehe Information 3).

Nachteile von rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen („electric vehicles“ EV) sind zurzeit noch die geringe Reichweite bei zugleich hohem Fahrzeuggewicht. Sind daher Brennstoffzellenautos („fuel cell vehicles“ FCV) vielleicht die bessere Alternative?

1. Wasserstoff hat eine Energiedichte von 33,3 kWh pro kg. Ein moderner Wasserstofftank im FCV fasst 5 kg Wasserstoff. Berechne, wie viel elektrische Energie zur Verfügung steht, wenn die Brennstoffzelle mit einem Wirkungsgrad von 65% arbeitet.

2. Ein mit Elektromotor betriebenes FCV hat einen elektrischen Energieverbrauch von etwa 20 kWh pro gefahrene 100 km. Welche Reichweite hat das FCV?

3. In Deutschland werden im Jahr 615 Milliarden Kilometer mit PKWs zurückgelegt. Berechne, wie viel Wasserstoff (in kg) durch Elektrolyse gewonnen werden müsste, damit der gesamte private Automobilverkehr auf FCVs umgestellt werden kann.

4. Berechne die hierzu nötige elektrische Primärenergie, wenn der Elektrolyseur zur Erzeugung von Wasserstoff einen Wirkungsgrad von 75% hat.

5. Vergleiche den berechneten Primärenergieverbrauch mit dem Solarenergieertrag für Deutschland (Arbeitsblatt 2) und diskutiere, ob eine Wasserstoffmobilität realisierbar ist.
