

## WELS – Energie aus Wasser, Erde, Luft und Sonne

---

Für dieses Experiment werden folgende Materialien benötigt:

- ✓ Je Gruppe Flipchart-Papier + Flipchart-Marker

**Zur Einführung in die Thematik „Erneuerbare Energien“ erhaltet ihr die folgende Gruppenaufgabe**

**– Bitte lest euch dazu zuerst vollständig die Aufgabenstellung durch!**

Teilt euch in vier annähernd gleichgroße Gruppen auf und sucht euch ein passendes Themengebiet. Lest euch gemeinsam das Gruppeninformationsblatt durch. Dort sind Informationen enthalten, die ihr auf einem Flipchart-Papier in Form eines Plakates zusammentragen sollt. Haltet auf dem Flipchart-Papier alle wichtigen Erkenntnisse fest. Geht dabei auf die Stickpunkte von Aufgabe 1 ein.

- 1. Erklärt, auf welchem Wege aus eurer Energieform Strom bzw. Wärme produziert wird. Nutzt dazu die Informationen auf dem Arbeitsblatt.**
  - a. Welche Informationen sind wesentlich?
  - b. Welche Komponenten sind für die Strom- oder Wärmegewinnung notwendig?
  - c. Gibt es verschiedene Formen/Varianten, die sich im Aufbau unterscheiden?
  - d. Wo und wie kann eure Energieform genutzt werden? Braucht sie bestimmte Voraussetzungen oder ist sie uneingeschränkt nutzbar?
  - e. Welche positiven und negativen Aspekte bringt eure Energieform mit sich? Hat sie Einfluss auf Natur und Umwelt? Kann sie helfen, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu verringern?
- 2. Gestaltet auf dem Flipchart-Papier ein Plakat zu euren Erkenntnissen. Ihr dürft es gerne kunstvoll gestalten.**
- 3. Präsentiert eure Gruppenergebnisse den anderen Gruppen, sodass alle einen Überblick über die Themen erhalten können.**

Viel Spaß und Erfolg!

## Wasser – Die kraftvolle Nutzung von Flüssen und Gezeiten

### Allgemeines

Die Nutzung der Wasserkraft beruht auf einer jahrhundertealten Tradition. Ob zum Antrieb von Mühlen und Sägewerken oder zur Erzeugung von elektrischem Strom, die Technologie wurde immer weiterentwickelt. Die gewonnene Energie, die in der Vergangenheit nur lokal verwendet werden konnte, kann seit der Erfindung des Generators Mitte des 19. Jahrhunderts in elektrischen Strom umgewandelt und über weite Strecken transportiert werden.

Elektrische Energie aus Wasserkraft:  
Norwegen 99 %  
Österreich 70 %  
Schweiz 60 %  
Deutschland 3 %  
weltweit 20 - 25 %

### Welche Wasserkraftwerke gibt es?

Neben der Tatsache, dass die Möglichkeiten für den Bau von Wasserkraftwerken regional sehr unterschiedlich sind, kann in vier Hauptkategorien unterteilt werden:

**Laufwasserkraftwerke** nutzen die natürliche Fließbewegung von Wasser in Flüssen. Die Besonderheit ist, dass der Wasserstrom kontinuierlich (Zufluss=Abfluss) vorliegt. Oft wird über ein sogenanntes Wehr oder einen Staudamm das Wasser angestaut und der Zufluss zum Turbinenhaus geregelt. Führt der Fluss zu viel Wasser, fließt der überschüssige Teil über Schleusen ab. Der Hauptteil des Wassers fließt durch eine Turbine (vgl. Abbildung 1) und treibt sie an. Ein Generator wandelt die mechanische Energie in elektrische Energie um.

**Speicherkraftwerke** weisen prinzipiell eine ähnliche Funktionsweise wie Laufwasserkraftwerke auf, wobei die natürliche Zuflussmenge hier zu gering für einen kontinuierlichen Betrieb ist. Die Schleusen werden also geschlossen gehalten, bis Energie benötigt wird. Je nach Energiebedarf kann dann Wasser genutzt werden, um Turbinen anzutreiben.

**Pumpspeicherkraftwerke** stellen dabei eine erweiterte Form dar. Bei Energieüberschuss (z. B. aus Photovoltaik) kann Wasser aus einem niedriger gelegenen See mit Pumpen in das höher gelegene Speicherbecken gepumpt werden. So entsteht eine Art natürlicher Akku mit einer ungeheuer großen Kapazität.

**Gezeitenkraftwerke** funktionieren ähnlich, sind jedoch etwas anders aufgebaut. Wer einmal beobachten konnte, wie eine Bucht bei Flut mit Wasser gefüllt wird und sich bei Ebbe wieder entleert, könnte auf die Idee gekommen sein, eine Turbine an der engsten Stelle der Bucht zu installieren. Ebbe und Flut wechseln sich im Takt von etwa 6 Stunden ab, so dass gleich zweimal Energie gewonnen werden kann. Beim Füllen und Leeren des Beckens wird eine Turbine angetrieben, die Strom generiert.

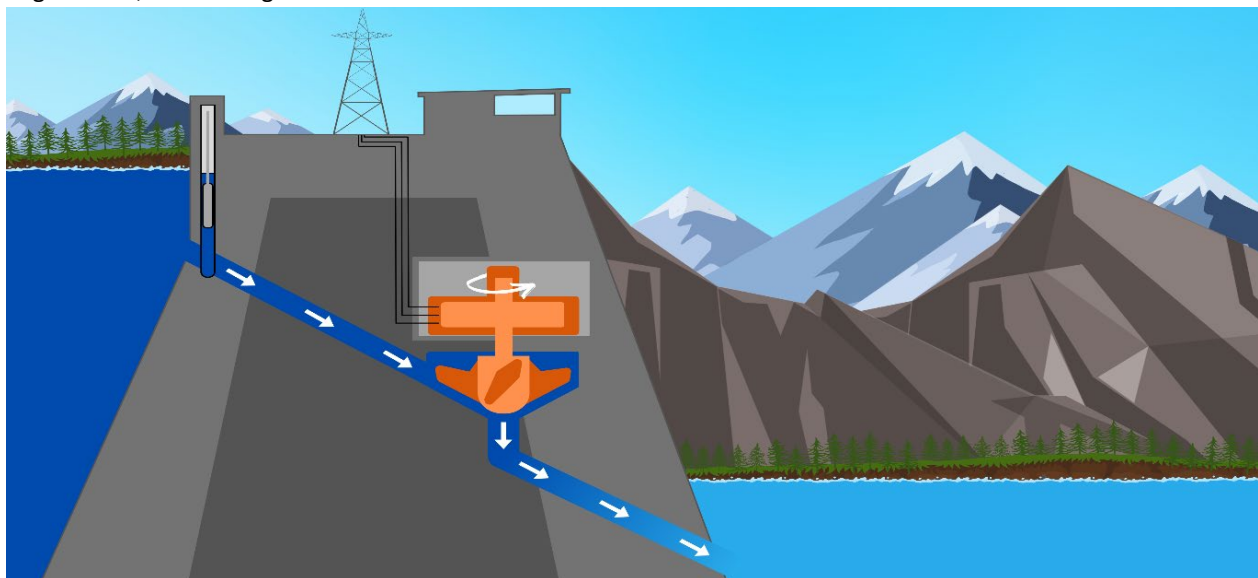
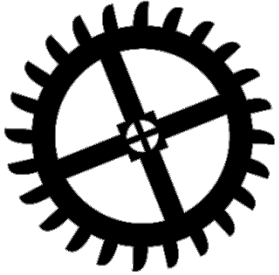
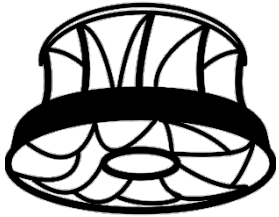
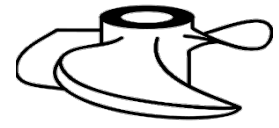
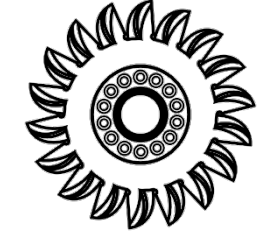


Abbildung 1 Laufwasserkraftwerk mit Staudamm zur Energiegewinnung

## Verschiedene Turbinentypen für unterschiedliche Anwendungsbereiche.

Für unterschiedliche Wasserkraftwerke stehen auch verschiedene Turbinentypen zur Verfügung. Entscheidend sind oftmals die Fließgeschwindigkeit, die Fallhöhe (und damit der Wasserdruck) sowie die Häufigkeit von wechselnden Belastungen im Betrieb.

	<p><b>Laufwasserräder</b> sind die wohl älteste Form von Wasserrädern. Diese waren für Wasser- und Sägemühlen von Bedeutung. Die Energie trieb entweder einen Mahlstein oder eine Mechanik zum Sägen von Holzstämmen an. Heute ist dieser Typ nur noch für Kleinanlagen bis maximal 10kW von Bedeutung. Sie eignen sich überwiegend für kleine Fließgewässer mit mäßigen, jedoch konstanten Wassermengen und geringem Gefälle. Es wird unterschieden, wie das Wasser auf das Wasserrad trifft. Die jeweiligen Wirkungsgrade liegen bei Werten von bis zu 80%, wenn Wasser über das Wasserrad läuft (oberschlächtig), maximal 85%, wenn es mittig auf das Rad trifft (mittelschlächtig) und nur 70%, wenn nur der untere Bereich im Wasser steht (unterschlächtig).</p>
	<p>Die <b>Francis-Turbine</b> ist eine aus dem Jahr 1849 stammende Entwicklung des US-Amerikanischen Ingenieurs James B. Francis. Sie ist die meist genutzte Turbinenart weltweit, da sie für mittlere Durchflussmengen und mittlere Fallhöhen ausgelegt ist. Sie kann sehr groß gebaut werden und findet in Laufwasserkraftwerken und Speicherkraftwerken Verwendung. Die Form des Gehäuses versetzt das Wasser in einen Drall (Strudel) und lässt es von mehreren Seiten auf die Laufschaufeln strömen. Diese nehmen die Drallbewegung auf und treiben die Turbine an, wobei der Wasserdruck pro Turbinenstufe stark abnimmt. Moderne Aggregate erreichen <b>Wirkungsgrade von über 90%</b> und finden Anwendung in Anlagen <b>zwischen 10 kW und 700 MW</b> Leistung. Die größte dieser Turbinen mit einem Gewicht von 150t befindet sich im Drei-Schluchten-Damm in der Volksrepublik China.</p>
	<p>Die <b>Kaplan-Turbine</b> ähnelt einer großen Schiffsschraube, bei der die drei Flügel zusätzlich verstellbar (drehbar) sind. Die Verstellung ermöglicht eine Anpassung der Laufschaufelsteigung an wechselnde Strömungsbedingungen, Wassermengen und Fließgeschwindigkeiten. Die Turbine wird häufig dort eingesetzt, wo ein großer Durchfluss, jedoch geringere Fallhöhen vorherrschen. Typische Leistungen betragen <b>1 kW bis 75 MW</b> bei <b>Wirkungsgraden von 80% bis 95%</b>. Entwickelt wurde sie im Jahr 1913 von Viktor Kaplan, um eine Verbesserung der Francis-Turbine zu erreichen. Durch den dort vorherrschenden Druckunterschied vor und nach der Turbine entstehen kleine Dampfblasen, die stark korrosiv (zersetzend) auf die Laufschaufeln wirken und diese regelrecht abschleifen. Dieser Vorgang wird auch Kavitation genannt und führt zu einer geringeren Haltbarkeit der Turbine.</p>
	<p>Die <b>Pelton-Turbine</b>, eine Erfindung von Lester Pelton aus dem Jahre 1879. Sie nimmt eine besondere Form der Turbinenarten ein. Sie ist eine so genannte Freistrahlturbine. Mit einer Düse wird unter hohem Druck ein dünner Wasserstrahl in Richtung der Laufschaufeln erzeugt. Die Schaufeln besitzen in der Mitte einen Dorn, der den Strahl in zwei Richtungen ablenkt. Durch das Ablenken gibt das Wasser seine Bewegungsenergie nahezu augenblicklich an die Laufschaufeln ab. Die Turbine dreht sich dann sehr schnell. Mit <b>Wirkungsgraden von 85% bis 90%</b> und guter Teillastfähigkeit (geringer Wirkungsgradverlust bei Unterversorgung) in Leistungsklassen zwischen 0 und 420MW sind Pelton Turbinen besonders für niedrige Wassermengen bei hohem Gefälle (z.B. bei Bergflüssen) geeignet.</p>

## Erde – Wärmegewinnung aus Geothermie und Grundwasser

### Allgemeines

Die eigenen vier Wände durch die Wärme des Erdinneren heizen? Durch Geothermie wird das möglich. In den ersten 10-20 Tiefenmetern beeinflusst die Sonneneinstrahlung den Wärmehaushalt unseres Planeten. Folglich erhöht sich die Temperatur in diesen Erdschichten im Sommer und kühlt im Winter stark ab. Alle darunterliegenden Gesteinsschichten erwärmen sich durch den Zerfall von radioaktiven Spurenelementen um bis zu 2-3°C pro 100m. Die Temperatur steigt kontinuierlich an bis zum Erdkern. Hier im metallisch-zentralen Teil der Erde, wird eine Spitztemperatur von bis zu 6.000°C erreicht.

### Was ist eine Erdwärmeanlage?

Unter der Bezeichnung Erdwärmeanlage lassen sich verschiedene Systeme zusammenfassen. Je nach Tiefe lässt sich die Erdwärme in oberflächennahe (<400m) und tiefe Geothermie (<5.000m) einteilen. Bei oberflächennahen Systemen muss eine Wärmepumpe zum Einsatz kommen, da sonst die Temperatur nicht hoch genug ist, um ein Haus zu beheizen. Die Wärmepumpe erhöht die Temperatur des Ausgangsmittels (z.B. 2°C bis 8°C) auf ein höheres Niveau (z. B. 35°C bis 50°C). Bei Einzelgebäuden werden entweder geschlossene Systeme (z.B. Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden) oder offene Systeme (z.B. Brunnen) verwendet. Alle drei Systeme (vgl. Abbildung 2) nehmen Wärmeenergie des Erdinneren auf und wandeln sie in für uns nutzbare Heizwärme um.

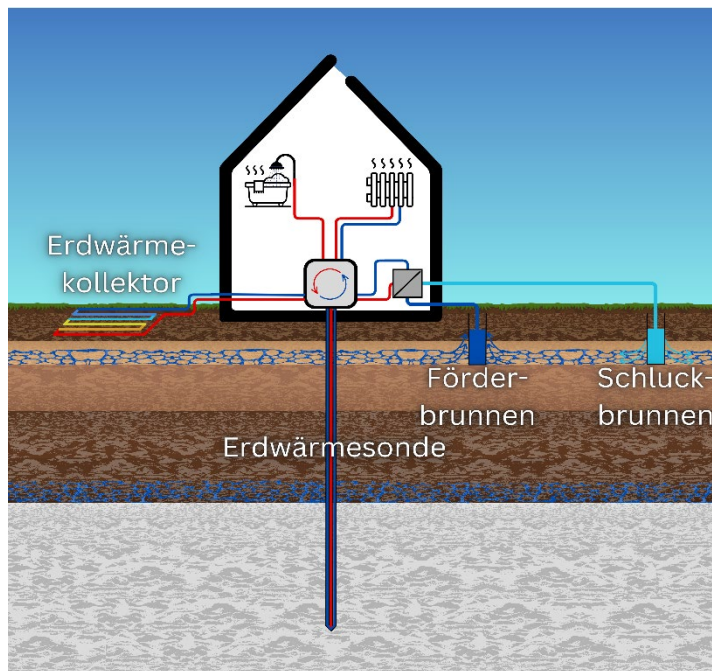


Abbildung 2 Oberflächennahe Erdwärmesysteme

### Brunnensysteme:

Ist die Wasserqualität vor Ort gut genug und die Wassermenge ausreichend, kann ein Brunnenystem genutzt werden. Dazu wird Grundwasser über einen Förderbrunnen in die Anlage gepumpt. Dem Grundwasser wird über den Wärmetauscher und mithilfe der Wärmepumpe Wärmeenergie entzogen. Das nun einige Grad Celsius kältere Wasser wird an geeigneter Stelle (in Fließrichtung des Grundwassers) über einen Schluckbrunnen wieder ins Erdreich gepumpt.

### Erdwärmekollektoren:

Im Erdreich werden schlaufenförmig horizontale Rohrleitungen in 1m bis 1,50m Tiefe installiert. Durch Erwärmung des oberen Erdreichs im Sommer und durch das Grundwasser kann der Erdoberfläche Energie entnommen werden. Dazu fließt ein frostsicheres Flüssigkeitsgemisch (Sole) durch die Rohrungen im Erdreich. Die Sole nimmt die Wärme auf und gibt sie an einen Wärmetauscher wieder ab. Die Größe der nötigen Fläche hängt von der Bodenfeuchte, der Durchlässigkeit des Bodens und dem Wärmebedarf des Gebäudes ab.

### Erdwärmesonden:

Sie bestehen im Wesentlichen aus senkrechten Bohrungen mit U-Rohren. Auch wenn die Tiefe und Anzahl der Bohrlöcher vom Wärmebedarf des Gebäudes und Wärmeleitfähigkeit des Gesteins abhängt, wird oft nur bis 100 m gebohrt, da tiefere Bohrungen eine bergbaurechtliche Genehmigung benötigen. In Sachsen beträgt die Entzugsleistung durchschnittlich 4,5 kW/Bohrung. Die Sondenrohre werden mit einem Frostschutzgemisch (Sole) befüllt. Eine Umwälzpumpe lässt die Sole kontinuierlich zirkulieren. Sie nimmt die Wärmeenergie des Erdinneren auf und gibt sie über einen Wärmetauscher an die Wärmepumpe ab.

## Die Funktionsweise einer Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe funktioniert ähnlich wie ein Kühlschrank. In den Rohren befindet sich ein Stoff (z. B. Propan), der sich unter Druck verflüssigen lässt, im entspannten Zustand jedoch gasförmig vorliegt. Wer schon mal ein Feuerzeug füllen oder einen Campingkocher verwenden durfte, hat vielleicht beobachtet, dass das Gas beim Austritt aus der Kartusche verdunstet und sehr kalt wird. Das liegt daran, dass sich das Gas an der Atmosphäre entspannen (ausdehnen) kann. Würden wir dieses Gas nun komprimieren, bis es flüssig ist, wird es sehr warm. Bei Propan liegt die Verdunstungstemperatur (Siedepunkt) unter Normalbedingungen bei  $-42^{\circ}\text{C}$ . Wird es jedoch mit einem Kompressor auf 8 Bar verdichtet, liegt der kritische Punkt bei einer Temperatur von  $96,8^{\circ}\text{C}$ . Das heißt der Übergang von gasförmigem zu flüssigem Propan findet bei genau dieser Temperatur statt.

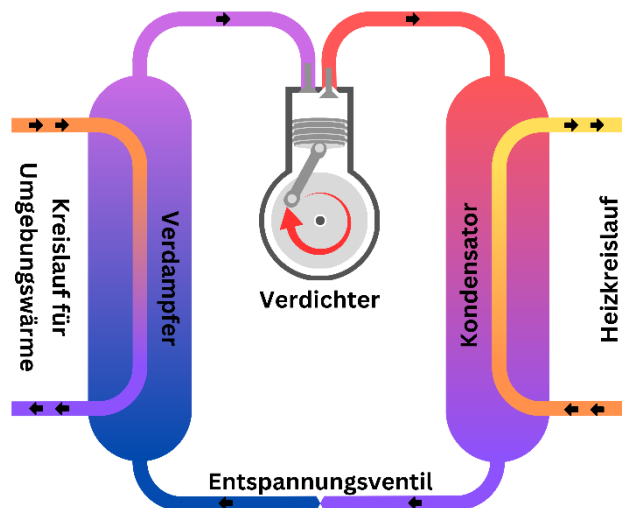


Abbildung 3 Kreisprozess einer Wärmepumpe

Ein Wärmepumpenkreislauf (vgl. Abbildung 3) nutzt diese Eigenschaft aus. Im entspannten (kühlen) Zustand läuft das verflüssigte Propan in einen Verdampfer. Dort strömt wärmere Flüssigkeit aus der Umgebung (z. B. von einer Erdwärmesonde oder einem Erdwärmekollektor) zu dem viel kühleren Propan. Bei der Wärmeaufnahme verdunstet es und wird gasförmig. Jetzt wird das Gas mit einem Kompressor auf 8 Bar verdichtet. Das Propan hat nun Temperaturen von etwa  $94^{\circ}\text{C}$ . Im Kondensator befindet sich der Wärmetauscher für den Heizkreislauf. Das darin liegende Wasser erwärmt sich und kühlt damit das Propan ab. Es kondensiert dabei und wird flüssig. Die Heizenergie besteht nun also zu 25 % aus elektrischer Energie des Kompressors und zu 75 % aus der Wärme der Umgebung.

## Lohnt sich eine Erdwärmeanlage?

**Vorteile:** Erdwärme hat eine deutlich geringere  $\text{CO}_2$ -Bilanz als fossile Energiegewinnungsmethoden. Sie ist immer und fast überall auf der Welt verfügbar, oft unabhängig von äußeren Umweltfaktoren wie Jahreszeiten oder dem Klima. Die Vorteile sind eine platzsparende und geräuscharme Funktionsweise, umkehrbare Kreisläufe (im Winter Heizung, im Sommer Kühlung), eine staatliche Förderung und die hohe Energieausbeute (nur etwa  $1/4$  der Energiekosten, wenn mit Strom geheizt wird).

**Nachteile:** Es ist mit höheren Investitionskosten zu rechnen (vgl. Tabelle). Erdkollektoren benötigen ausreichend Grundstücksfläche, Gärten sind nach Installation eines Erdwärmekollektors nicht mehr uneingeschränkt nutzbar. Wärmepumpen sind nur für gedämmte Gebäude geeignet, da diese mit einem geringeren Heizenergiebedarf auskommen. Mehr Heizenergiebedarf bedeutet mehr Bohrungen oder eine größere Fläche. Außerdem ist die Ökobilanz abhängig vom bezogenen Strom. Wenn dieser aus Kohlekraft gewonnen wird, ist der Nutzen fragwürdig.

Kostenart	Anzahl nötig für Einfamilienhaus	Kosten
Tiefenbohrungen á 100m	3 – 4	6.000 € - 9.000€
Rohrungen	1	10.000 €
Wärmepumpe	1	16.000 € - 20.000 €
<b>Gesamt</b>		<b>44.000 € - 66.000 €</b>

Trotzdem ist diese Art der Energiegewinnung optimal für neue (gedämmte) Häuser geeignet, da sie nur etwa  $1/4$  des Heizenergiebedarfes benötigt und zusammen mit Photovoltaikanlagen nahezu autark (ohne externe Energiequelle) arbeiten kann.



## Luft – Windenergie sinnvoll nutzen

### Allgemeines

Wind, ein Element, welches den Menschen seit Jahrtausenden begleitet und das wir uns zu Nutzen machen. Die Nutzung hat ihren Ursprung mit der Fortbewegung von Segelschiffen und dem Betrieb von Windmühlen für die Getreideverarbeitung. Heute dient die Windkraft hauptsächlich zur Erzeugung von Elektrizität. Die meisten Windräder stehen an Land, es gibt aber auch auf dem Wasser (Offshore). Sie ist zur tragenden Quelle der erneuerbaren Energien geworden und löste die Kohlekraft in Deutschland erstmals im Jahr 2019 als größte Energiequelle ab.

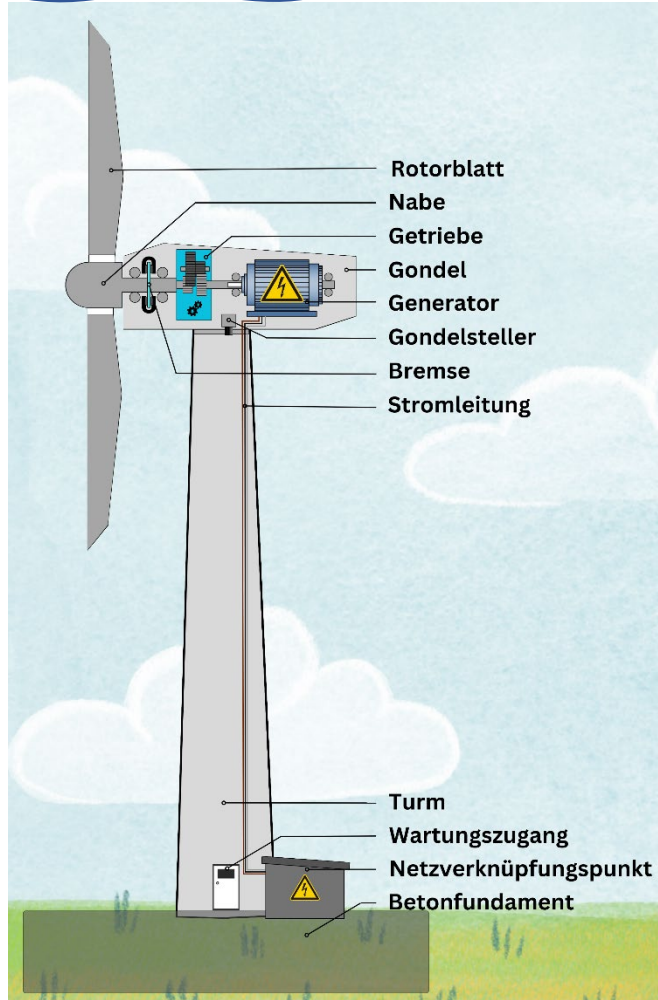


Abbildung 4 Komponenten eines Windrades

### Aufbau eines Windrades

Ein modernes Windrad besteht aus vielen Einzelkomponenten (vgl. Abbildung 4), die sich in drei wesentliche Hauptbestandteile zusammenfassen lassen.

**Rotor:** Der bewegliche Teil eines Windrades besteht aus einer Rotornabe und den verstellbaren Rotorblättern. Sie verbindet die Rotorblätter mit der Achse, welche in die Gondel führt.

**Gondel:** Hier befindet sich die wichtigste Komponente für die Stromerzeugung, der Generator. In den meisten Anlagen sind zudem ein Getriebe, Messsysteme und eine Bremse verbaut. Ein Gondelsteller dreht den Turm in Windrichtung.

**Turm:** Der Turm ist der größte Bestandteil der Anlage und zugleich auch der teuerste. Er kann standortabhängig zwischen 40m bis 200m Höhe variieren. Zu ihm gehören auch der Netzverknüpfungspunkt (Transformator), das Fundament und der Wartungszugang.

### Aus Wind wird elektrischer Strom

Der Wind trifft in Form von Bewegungsenergie (kinetische Energie) auf die Rotorblätter der Anlage und bringt diese in Bewegung. Die entstehende Drehbewegung der Rotorblätter ist mechanische Energie, die durch das Getriebe in der Gondel von einer niedrigen in eine für den Generator nutzbare Drehzahl übersetzt wird. Das Getriebe sorgt dafür, dass sich der Generator immer mit der gleichen Geschwindigkeit dreht und den Strom in einer Frequenz von (EU-Weit) 50 Hz erzeugt. Mithilfe von Elektromagnetismus wandelt schließlich der Generator die mechanische Energie in elektrische Energie um. Diese kann nun über Transformatoren in gewünschte Spannungen hochtransferiert und in das lokale Stromnetz eingespeist werden.

## Vor- und Nachteile von Windkraftanlagen

- + Durch die Nutzung einer natürlichen Energiequelle, sind Windkraftanlagen nachhaltige Stromerzeuger.
- + Windkraftanlagen produzieren sauberen Strom, da bei der Erzeugung keine schädlichen Abgase entstehen. So kann im Vergleich zu Kohleenergie CO<sub>2</sub> eingespart werden.
- + Windkraftanlagen schaffen durch ihren Bau neue Arbeitsplätze.
- + Sie verbrauchen bei der Herstellung vergleichsweise wenig Energie.
- + Die Erzeugung von Strom aus Windkraft ist sehr kostengünstig (zwischen 12,8 – 14,2 Ct/kWh).
- Windkraftanlagen sind nicht geräuschlos, werfen Schatten und verändern das Landschaftsbild, weshalb sie bei Anlagen höher als 150 m einen Mindestabstand von 1000 m zu Häusern haben müssen.
- Sie nehmen Einfluss auf die Natur, wobei sie mit den Rotorblättern Vögel oder Fledermäuse gefährden können. Sie können auf Anwohnerinnen und Anwohner auch psychische Auswirkungen haben.
- Um den Strom zu erzeugen, benötigen Windkraftanlagen passende Windzonen. Verfügbare Flächen sind sehr begrenzt.
- Bei ungünstiger Wetterlage (Flaute oder Sturm) wird kein Strom erzeugt.
- Ein großes Problem stellt die Speicherung von Strom aus Windenergie dar. Batteriesysteme und Stauseen sind laut Angaben der Betreiber momentan unwirtschaftlich.

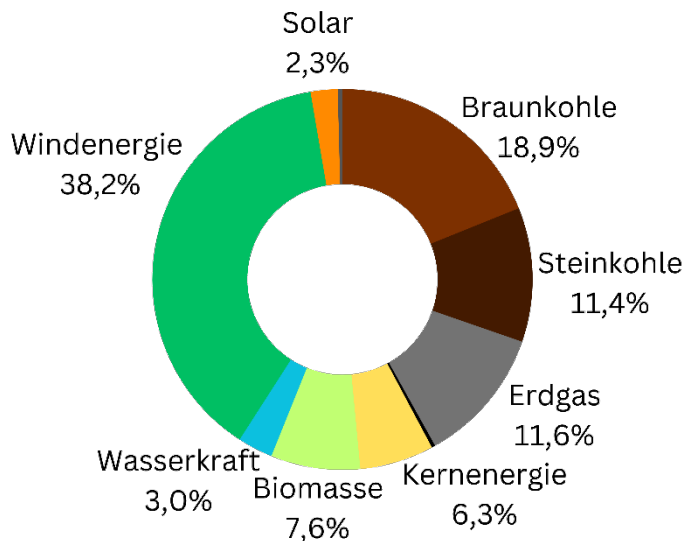


Abbildung 5 Strommixanteile der BRD im Jahr 2022  
(Quelle: Statistisches Bundesamt 30.07.2022)

## Technische Daten

Typische Nabenhöhe:	90 m bis 130 m
Typische Gesamthöhe:	80 m bis 200 m
Einzelleistung:	2 - 5 MW an Land 10-15 MW im Meer
Energieertrag pro Jahr:	3 GWh an Land (z.B. 3.500 Haushalte) 12 GWh (offshore) (z.B. 12.000 Haushalte)
Spezifische Baukosten:	2,5 € bis 4 Mio €/MW
Arbeitspreis:	3,99 bis 8,23 ct/kWh

## Gesamt-Windstromproduktion der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2022

Errichtete Windräder:	28.230 Stück
Gesamtleistung:	64 GW
Erzeugter Strom 2022:	124 TWh
Anteil am Energiemix:	38,2 %

## Sonne – Stromerzeugung durch Solarenergie

### Allgemeines

Eine der mächtigsten Energiequellen, die wir auf der Erde nutzen können, ist die **Sonnenenergie**. Obwohl nur ein Bruchteil ihres Lichts und ihrer Wärme die Erde erreicht, könnte ihre Energie den weltweiten Energiebedarf 10.000-fach decken. **Solaranlagen** helfen dabei, einen Teil dieser Energie in Strom umzuwandeln und so Häuser zu heizen, E-Autos zu betanken oder Lampen zum Strahlen zu bringen.

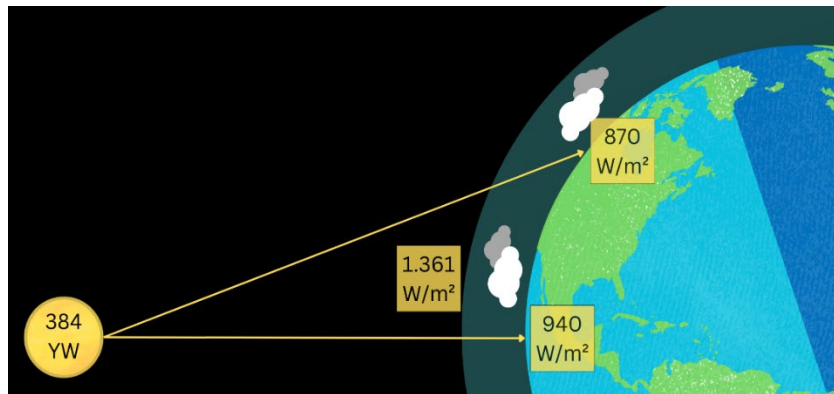


Abbildung 6 Sonneneinstrahlung auf der Erde

### Sonnenenergie, die ursprünglichste aller Energiequellen

Wasser absorbiert Sonnenlicht und erwärmt sich. Das sorgt dafür, dass es überall auf der Erde, vor allem jedoch in den Ozeanen verdunstet. Daraus entstehen Wolken, die das Wasser in andere Teile der Welt transportieren können. Dort regnen sich die Wolken ab und Flüsse transportieren das Wasser wieder zurück in die Weltmeere. **Somit beruht Wasserkraft ursprünglich auf der Energie der Sonne** (Abbildung 7). **Wind** ist eine **Ausgleichsströmung** zwischen **erwärmten Hochdruckgebieten** und den viel **kühleren Tiefdruckgebieten** der Erde. Pflanzen betreiben Photosynthese und erzeugen Biomasse aus Kohlenstoffdioxid, Sonnenlicht und Wasser. **Alle nachwachsenden Rohstoffe** wie Holz, Pflanzenöl, Obst, Gemüse etc. **sind im Grunde umgeformte Sonnenenergie**. Fossile Kraftstoffe wie **Erdöl, Kohle, Methanhydrat, Torf** und **Erdgas** basieren auf abgestorbenen Pflanzenteilen, Lebewesen oder Mikroorganismen und sind somit im Grunde ebenfalls gebundene Sonnenenergie.



Abbildung 7 Energieträger basierend auf Sonnenenergie

Die Sonne strahlt mit einer Gesamtleistung von 384 Yotawatt ( $384 \cdot 10^{24} \text{ W}$ ). Etwa 8 Minuten und 20 Sekunden später treffen einige der Sonnenstrahlen in 150 Millionen Kilometer Entfernung auf die Atmosphäre der Erde. Hier beträgt die Intensität nur noch ca.  $1.361 \text{ W/m}^2$ . Da die Atmosphäre einen Teil davon reflektiert und einen weiteren Teil absorbiert, kommt auf der Erdoberfläche in Äquatornähe nur noch maximal  $940 \text{ W/m}^2$  an (Abbildung 6). In Nordeuropa sind es sogar nur etwa  $870 \text{ W/m}^2$ . Bei Bewölkung oder im Winter trifft bedeutend weniger Energie auf der Erdoberfläche auf und nachts gibt es logischerweise kein Sonnenlicht. Daher liegt die durchschnittliche Energie durch Sonnenstrahlung in Deutschland nur bei  $113,6 \text{ W/m}^2$ . Im äquatorialen Kenia hingegen beträgt die durchschnittliche Energie der Sonne aufgrund der Erdneigung bereits  $278 \text{ W/m}^2$ .

Es wird geschätzt, dass allein in Deutschland etwa  $6.000 \text{ km}^2$  geeignete Dachflächen existieren. Die vom Sonnenlicht auftreffende Leistung läge demnach bei  $678 \text{ GW}$ . Mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von etwa 22 % könnten Photovoltaikmodule also  $135,6 \text{ GW}$  Strom erzeugen. In einem Jahr beträgt das  $1.187,9 \text{ TWh/a}$ . Das ist mehr als doppelt so viel Strom, wie in der Bundesrepublik Deutschland benötigt wird.



## Was ist eine Solaranlage?

Unter der Bezeichnung Solaranlage lassen sich zwei verschiedene Bauarten zusammenfassen: Solarthermie- und Photovoltaikanlagen. Beide nehmen die Energie der Sonne auf und wandeln sie in eine nutzbare Form um. Was sich unterscheidet, sind die jeweiligen Endprodukte. **Solarthermieanlagen** erzeugen Wärmeenergie, die in Trägermedien wie Wasser, Dampf, Salz oder Beton gespeichert wird. **Photovoltaikanlagen** erzeugen in ihren Solarzellen elektrischen Strom, der entweder direkt wieder verbraucht, in Batterien gespeichert oder ins Stromnetz eingespeist werden kann.

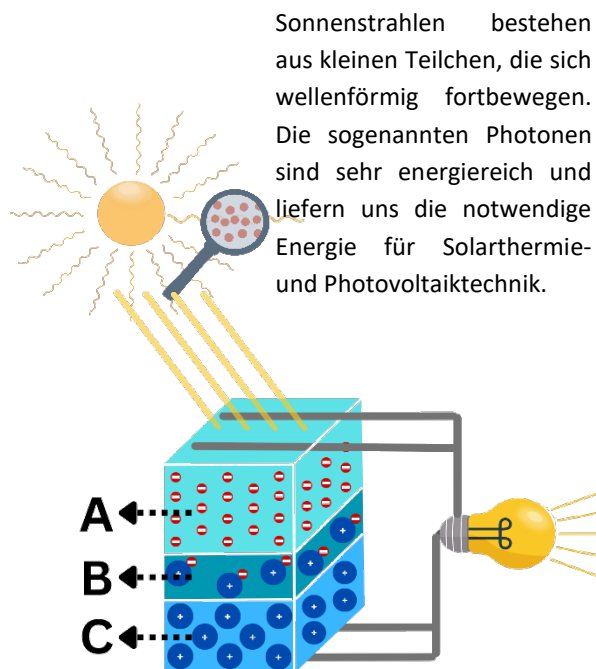


Abbildung 8 Aufbau einer Silizium-Solarzelle

Sonnenstrahlen bestehen aus kleinen Teilchen, die sich wellenförmig fortbewegen. Die sogenannten Photonen sind sehr energiereich und liefern uns die notwendige Energie für Solarthermie- und Photovoltaiktechnik.

## Aufbau & Funktion einer Photovoltaikzelle

Aufgebaut ist eine kristalline Solarzelle in drei Schichten (vgl. Abbildung 8)

**A** Die Oberseite ist die **n**(egativ)-dotierte Schicht. Sie besteht aus einem Siliziumgitter, in dem einige Fremdatome wie z. B. Phosphor mit frei beweglichen Elektronen eingebracht werden.

**B** In der sogenannten Grenzschicht, befinden sich nur gesättigte Silizium-Atome mit ihren zugehörigen Elektronen. Hier ist der sogenannte p/n-Übergang oder auch „verbotene Zone“ genannt. Elektronen können sich hier nicht bewegen, sie können lediglich Nachrücken, um Fehlstellen zu besetzen. Die Schicht sperrt also den Stromfluss durch die Zelle hindurch.

**D** Die unterste Silizium-Schicht ist hingegen mit Fremdatomen angereichert, welche zu wenige Elektronen enthalten. Bor ist ein oft verwendetes Element. Sie wird auch **p**(ositiv)-dotierte Schicht genannt.

## Stromfluss in der Solarzelle

Physikalisch gesehen, ist der Fluss elektrischen Stroms nichts anderes als der Transport von elektrischen Ladungsträgern. Damit dieser bei der Photovoltaik in Gang gesetzt wird, müssen frei bewegliche Elektronen in der Solarzelle produziert werden. Hier kommt Sonnenlicht ins Spiel. Wenn es auf die Solarzelle trifft, werden die Elektronen in der Zelle angeregt, sodass sie sich bewegen. Sie lösen sich von ihren Atomen und wandern aufgrund der Anziehungskräfte in die n-Schicht. Zurück bleiben positiv geladene „Löcher“, die ihrerseits durch Nachrücken der Elektronen in die p-Schicht wandern. Die Elektronen auf der Oberfläche der Zelle können nun nicht mehr zurück an ihre Stelle im Gitter. Sie müssen einen anderen Weg über die Kontakte und einen Verbraucher nehmen.

## Vor- und Nachteile von Solarenergie

- + Solarenergie ist geräusch- und emissionsfrei.
- + Sonnenlicht ist regenerativ/unschöpflich.
- + Es bestehen vielfältige Nutzungsmöglichkeiten.
- + Die Energie an sich steht kostenlos zur Verfügung
- Solarenergie ist Wetter- und Tageszeitabhängig.
- Energieproduktion muss geregelt werden.
- Die Energiespeicherung ist herausfordernd.