

# Lernsequenzen

Unterrichtsmaterialien zum Thema Energie | Sekundarstufe 1

## Heft 3

# Regenerative Energien



# Inhalt



## 1 Einleitung



## 2 Grundlagen

- 2.1 **Ursprung der Regenerativen Energien** ..... Seite 9
- 2.2 **Weltweite Potenziale Regenerativer Energien** ..... Seite 9
- 2.3 **Aktuelle Sachlage**..... Seite 10
- 2.4 **Historische Entwicklung der Regenerativen Energien** ..... Seite 10



## 3 Sonnenenergie

- 3.1 **Theoretisches Potenzial** ..... Seite 11
- 3.2 **Direkte Nutzung der Sonnenenergie** ..... Seite 12
- 3.3 **Solarthermische Nutzung der Sonnenenergie** ..... Seite 12
  - 3.3.1 Flachkollektoren – Niedrigtemperaturbereich der Sonnenenergie-Nutzung ..... Seite 12
  - 3.3.2 Vakuum-Röhren-Kollektoren ..... Seite 13
  - 3.3.3 Konzentrierende Kollektoren – Hochtemperaturbereich der Sonnenenergie-Nutzung ..... Seite 13
  - 3.3.4 Solarfarmkraftwerke ..... Seite 13
  - 3.3.5 Solarturmkraftwerke ..... Seite 14
- 3.4 **Photovoltaische Nutzung der Sonnenenergie** ..... Seite 14
  - 3.4.1 Geschichte der Photovoltaik ..... Seite 14
  - 3.4.2 Anwendungen ..... Seite 16
  - 3.4.3 Speicherung des photovoltaisch erzeugten Stroms ..... Seite 16



## 4 Wasserkraft

- 4.1 **Potenziale** ..... Seite 17
  - 4.1.1 Wirkungsgrade ..... Seite 17
  - 4.1.2 Wirtschaftliche Betrachtungen ..... Seite 17
- 4.2 **Vom Wasserrad zur Turbine** ..... Seite 18
  - 4.2.1 Turbinenarten ..... Seite 18
  - 4.2.2 Arten von Wasserkraftwerken ..... Seite 19
- 4.3 **Energie aus dem Meer** ..... Seite 20



## 5 Windkraft

<b>5.1</b>	<b>Potenziale</b> .....	Seite 22
<b>5.2</b>	<b>Entwicklung von Windrädern</b> .....	Seite 24
<b>5.3</b>	<b>Windenergiekonverter</b> .....	Seite 24
5.3.1	Horizontalachsenkonverter .....	Seite 25
5.3.2	Vertikalachsenkonverter .....	Seite 25
<b>5.4</b>	<b>Stromerzeugung durch Windgeneratoren</b> .....	Seite 25
<b>5.5</b>	<b>Aufwindkraftwerke</b> .....	Seite 25



## 6 Geothermische Energie

<b>6.1</b>	<b>Potenziale</b> .....	Seite 26
<b>6.2</b>	<b>Wärmestrom der Erde</b> .....	Seite 26
<b>6.3</b>	<b>Historische Nutzung der Erdwärme</b> .....	Seite 26
<b>6.4</b>	<b>Wirtschaftliche Betrachtungen</b> .....	Seite 26
<b>6.5</b>	<b>Geothermische Vorkommen</b> .....	Seite 27
<b>6.6</b>	<b>Geothermische Anlagen</b> .....	Seite 27
6.6.1	Hot-Dry-Rock-Technik .....	Seite 27
6.6.2	Stromerzeugung durch Erdwärmekraftwerke.....	Seite 27
6.6.3	Wärmepumpen .....	Seite 28



## 7 Energie aus Biomasse

<b>7.1</b>	<b>Potenziale</b> .....	Seite 29
<b>7.2</b>	<b>Technische Nutzung der Biomasse</b> .....	Seite 29
<b>7.3</b>	<b>Biogas auf dem Bauernhof</b> .....	Seite 31
<b>7.4</b>	<b>Landwirtschaftliche Reststoffe: Stroh</b> .....	Seite 31
<b>7.5</b>	<b>Einsatzchancen für Biomasse</b> .....	Seite 31



## 8 Die Perspektiven der Regenerativen Energien

<b>Literaturverzeichnis</b> .....	Seite 32
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	Seite 32
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	Seite 33



## 1 Einleitung

Fast alle Energieträger wie Öl, Kohle und Gas sind nichts anderes als die gespeicherte Form von Sonnenenergie – Energieträger, die über Jahrmillionen entstanden sind (vgl. Heft 1).

Auch die Wind- und Wasserkraft ist umgesetzte Sonnenenergie. Am Beispiel der Wasserkraft erklärt: Mit Hilfe der Sonnenenergie wird Wasser verdampft, steigt als Wolke auf, regnet ab und wird so in eine geografische Hochlage gebracht. Dabei wird kinetische Energie freigesetzt. Beim Abfließen des Wassers zurück zum Meer können die Menschen sich diese Bewegungsenergie mittels Wasserkraftmaschinen nutzbar machen. Zurück im Meer wird das Wasser durch die Sonnenenergie erneut verdampft. Dabei wird eine Wassermenge in Bewegung gehalten, die pro Jahr bei einem Volumen von ca. 500.000 km<sup>3</sup> liegt. Bei einer mittleren Wolkenhöhe von 500 Metern wird pro Jahr soviel Wasserkraft freigesetzt, dass der gesamte Energiebedarf aller Menschen für mehrere hundert Jahre gedeckt werden könnte. Leider lässt sich diese Energie nicht eins zu eins „einfangen“.

### Es gibt nur drei Energieformen auf dieser Erde, die nicht von der Sonne kommen:

- **Die Geothermie**, die Erdwärme. Würde man ein Loch in die Erde bohren, so würde die Temperatur alle 100m, die man sich dem Erdmittelpunkt nähert, in der äußeren Erdhülle um ca. 3°C steigen. Die Erdkerntemperatur beträgt etwa 6.000°C. Diese Wärme wird ständig zur Erdoberfläche transportiert durch den Zerfall radioaktiver Isotope im Erdinneren. Etwa 70 Prozent der Erdwärme ist nuklearen Ursprungs. 30 Prozent der Erdwärme ist Restwärme aus der Entstehungszeit der Erde.
- **Die Gezeitenenergie**, deren Größe sich aus dem Gravitationsfeld von Sonne, Erde und Mond, den Meeresströmungen und der Form der Küsten ergibt. Hier werden enorme Kräfte umgesetzt. Alle 12 Stunden und 25 Minuten werden unsere Weltmeere (ca. 70 Prozent der Erdoberfläche) gehoben und gesenkt, wobei der Tidenhub regional sehr unterschiedlich ist; z. B. 20cm in der Ostsee oder ca. 15m in der Normandie bei St. Malo. Diese Energiemenge ist aber im Vergleich zu dem, was uns die Sonne liefert, sehr klein. Quantifiziert man die eingestrahelte Sonnenenergiemenge zu 100 Prozent,

so macht beispielsweise die Gezeitenenergie nur einen Anteil von ca. 0,002 Prozent aus.

- **Die Kernenergie**, die bei der Spaltung von Atomkernen freigesetzt wird.

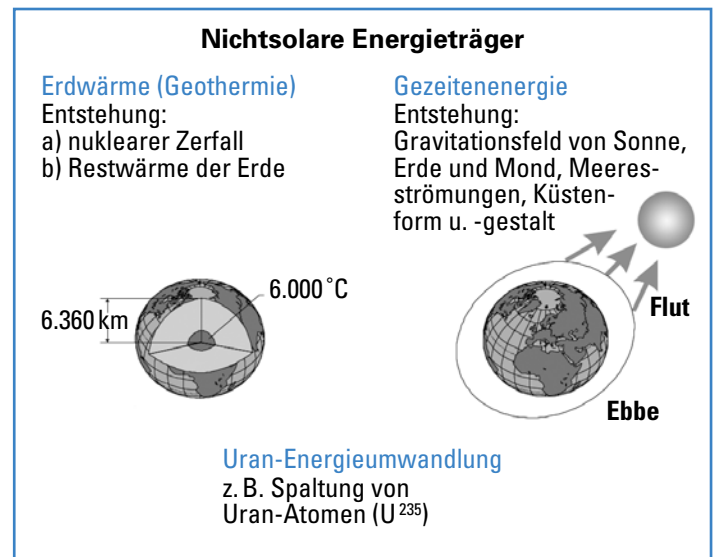
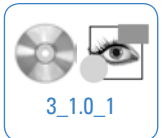


Abb.: 3\_1.0\_1

### Erdgeschichte

Um die brisante Lage bei den Primärenergieträgern deutlich zu machen, wollen wir einen kurzen Blick auf die Entwicklungsgeschichte der Erde werfen.



Vor fünf Milliarden Jahren begann sich eine Gasmateriewolke an der Stelle unserer Galaxis anzusammeln, an welcher jetzt die Sonne ist. Dabei erreichte die Wolke einen Kerndruck von über 280 Milliarden bar. Bei einer Temperatur von 15 Millionen °C setzte dann in ihr der Kernfusionsprozess ein. An dessen Ende stand eine Reaktion von Wasserstoff-Isotopen. Bei einer solchen Verschmelzung von Tritium und Deuterium entsteht ein Energiefluss von 26,2 MeV (Mega-Elektronen-Volt). Auf diese Weise „produziert“ die Sonne in einer Sekunde aus 657 Mio. Tonnen Wasserstoff 652,76 Mio. Tonnen Helium. Dabei ergibt sich eine Massendifferenz von 4,24 Mio. Tonnen pro Sekunde. Diese Masse entspricht in etwa der Cheops-Pyramide in Ägypten. Und da man Masse weder produzieren noch vernichten kann, wird diese Masse, wie Einstein es uns in seiner Relativitätstheorie lehrt, nach  $E = m \cdot c^2$  umgesetzt in Energie. Dabei beträgt die Strahlungsenergie der Sonne  $3,82 \cdot 10^{21}$  J pro Sekunde.

Der heutige Energiebedarf der Menschheit beträgt etwa  $82 \cdot 10^{21}$  kWh pro Jahr. Der sekundliche Energieausstoß der Sonne würde ausreichen, um den Energiebedarf aller Menschen für 40.808 Jahre zu decken.



## 2 Grundlagen

### **Begriffserläuterung: additiv, alternativ, sanft, unerschöpflich, regenerativ, erneuerbar**

*additiv und alternativ:* Regenerative Energien (im Text kurz Regenerative genannt) können die herkömmlich eingesetzten fossilen Energieträger und Kernbrennstoffe ergänzen, in Teilen sogar ersetzen.

*sanft:* Generell ist den Regenerativen zwar ein vergleichsweise hohes Maß an Umweltverträglichkeit zu attestieren, aber auch ihre Nutzung ist – wie jede Energienutzung – mit einer Beeinflussung unserer natürlichen Lebensgrundlagen verbunden.

*unerschöpflich:* Das Potenzial dieser Energien ist zwar unvorstellbar groß, aber im Zusammenhang mit erdgeschichtlichen Zeiträumen keineswegs unendlich.



*erneuerbar:* Fälschlicher Weise werden die Regenerativen Energien auch als erneuerbar bezeichnet. Dies würde aber bedeuten, dass wir Menschen sie erneuern können.

In der Regel können die *Regenerativen Energien* nicht in ihrem Urzustand genutzt werden (Ausnahme u. a. Holz), sondern müssen – wie die fossilen Primärenergieträger auch – über den Verbrauchern zugeführte Endenergie zunächst von diesen in Nutzenergie überführt werden. Diese Umwandlungen setzen eine Bindung von Arbeit, Kapital und Zeit voraus, sodass die unerschöpflichen Energiequellen nur in dem Maße zur Verfügung stehen, wie sie durch Einsatz der genannten Faktoren nutzbar gemacht werden können.

### **2.1 Ursprung der Regenerativen Energien**

Anders als die fossilen Primärenergieträger Kohle, Öl und Gas sowie die nuklearen Brennstoffe Uran und Thorium gelten die Regenerativen Energien als nach menschlichen Zeitmaßstäben unerschöpflich. Die Regenerativen Energien lassen sich auf drei Quellen zurückführen:

- die Sonne, genauer der permanente Kernfusionsprozess mit seiner ungeheuren Energiefreisetzung an der Sonnenoberfläche und deren Auswirkung auf die Erde. Diese Quelle nimmt hier einen zentralen Platz ein.

- die geothermische Energie
- die Energie der Gezeiten, die durch die Rotationsenergie der Erde in Verbindung mit der Anziehungskraft zwischen Erde und Mond sowie zwischen Erde und Sonne entsteht.

### **2.2 Weltweite Potenziale Regenerativer Energien**

Welche Energiemenge eine Energiequelle in einem bestimmten Zeitraum auszuschütten vermag, definieren wir mit dem Begriff „Potenzial“. Wichtig ist, dass das Potenzial einer Energiequelle einen Zeitfaktor beinhaltet. Es wird also nicht die denkbare Leistung veranschlagt, sondern die potenzielle Arbeit kalkuliert.

Das theoretische Potenzial aller Regenerativen ist sehr groß. Das machen die Schätzungen des jährlichen Angebots an Regenerativen Energien deutlich:

Die Energiemenge der solaren Strahlung je Sekunde auf die Erde entspricht  $2 \cdot 10^{14}$  tSKE; die Gezeitenenergie steuert  $3 \cdot 10^9$  tSKE pro Jahr bei; die Geothermie liefert jährlich  $3 \cdot 10^{10}$  tSKE.

Allein das Angebot der solaren Strahlung pro Jahr auf die Erde übersteigt den derzeitigen jährlichen Weltenergiebedarf um mehr als das 10.000-fache.

Dem theoretischen Potenzial stehen jedoch das technische und wirtschaftliche Potenzial gegenüber. Jene Energiemenge, die jährlich aus dem theoretischen Potenzial mit der verfügbaren Technik geschöpft werden kann, bezeichnet man als technisches Potenzial. Das technisch Mögliche muss aber auch mit dem ökonomisch Bezahlbaren in Beziehung gesetzt werden. Hier kommt unter anderem der Wirkungsgrad

#### **Wirkungsgrade:**

Elektrizität ist immer Energie – im allgemeinen Sinn – aber Energie ist nicht immer Elektrizität. Dazwischen liegt ein unterschiedlich großer Umrechnungswert (Wirkungsgrad der Energieumwandlung, ja nach Verfahren, Kraftwerkstechnik, Primärenergieart). Bei der Nutzung von Kohle, Gas oder Öl zur Stromerzeugung liegen die Wirkungsgrade bei 35 bis 55 Prozent; bei der Wasserkraft etwa 90 Prozent; bei der Photovoltaik derzeit noch bei etwa 10 Prozent, bei der Kernenergie lässt sich nur ein Wirkungsgrad (33 Prozent) nach der Dampferzeugung sinnvoll ermitteln.



## 3 Sonnenenergie

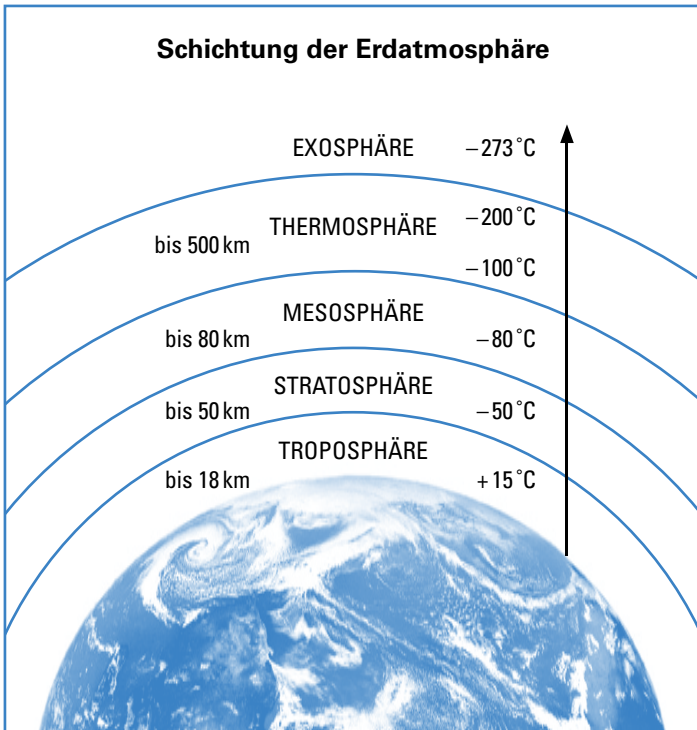
### Wie kommt die Sonnenenergie auf der Erde an?

Aus der *Exosphäre* kommend durchdringt die Sonnenenergie relativ ungehindert die Ionosphäre und *Mesosphäre*, also die oberen Atmosphärenbereiche. Danach erreicht sie den oberen Bereich der Stratosphäre in einer Höhe zwischen 30 und 50 Kilometern.

In dieser Schicht befindet sich eine relativ hohe Ozonanreicherung ( $O_3$ ), die im Durchschnitt etwa 30 Prozent der Sonnenenergie absorbiert. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um den kurzwelligen Ultraviolett-C-Anteil.



Abb.: 3\_3\_0\_1



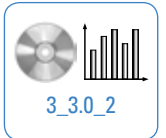
In Deutschland hat die eingestrahelte Sonnenenergie bei völlig wolkenlosem Himmel – je nach Standort – eine solare Leistung ( $P$ ) von 700 bis 1.000 Watt (W) pro Quadratmeter ( $m^2$ ). In der Sahara kann diese Leistung bis zu  $2.500 W/m^2$  betragen. Um die jährliche Sonnenenergiemenge zu bestimmen, muss der Begriff der *Volllaststunden* (in der Fachsprache Ausnutzungsdauer genannt) eingeführt werden, der die Dauer der Verfügbarkeit von Sonnenkraftwerken ausdrückt.

Beispiel: Da die Sonne nicht zur jeder Tages- und Jahreszeit mit gleich bleibender Intensität scheint, wird die stündlich gewonnene Energiemenge eines Solarkraftwerkes über einen Zeitraum von einem Jahr addiert. Die dabei auflaufende Energiemenge wird dann durch

Anlagenart	Volllaststunden pro Jahr
Solarkraftwerk (Photovoltaik)	700–1.000
Windkraftwerk Küste	2.500–2.800
Windkraftwerk Binnenland	1.000–1.500
Biomasseanlage entsprechend der Verfügbarkeit der Biomasse	2.000–7.000
Kohlekraftwerk*	6.000–7.000
Kernkraftwerk*	über 7.000

\* je nach Strombedarf

die Auslegungsleistung (installierte Leistung) des Kraftwerkes dividiert. Daraus ergibt sich die Anzahl der Stunden, die die Solaranlage theoretisch im Volllastbereich gearbeitet hätte.



Die Verfügbarkeit eines Kraftwerkes ist also entsprechend größer, je näher die Gesamtstundenzahl eines Jahres (8.760 Stunden) erreicht wird.

### 3.1 Theoretisches Potenzial

Obwohl die Erde nur einen winzigen Teil der Energiemenge der 150 Millionen Kilometer entfernten Sonne auffängt, würde allein die auf Deutschland auftreffende Sonnenenergie ausreichen, um den hiesigen Energiebedarf etwa 80-mal zu decken.

Der Fixstern Sonne ist Hauptquelle und Motor unseres Energieangebots – mit gewaltigen Dimensionen: Ihre Masse ist 332.000-mal so groß wie die der Erde, ihr Durchmesser entspricht dem von 109 nebeneinander gelegten Erdkugeln. Die Temperatur beträgt an ihrer Oberfläche etwa  $5.800^\circ C$ , im Inneren 15 bis 20 Millionen Grad Celsius.

Durch Fusion von Wasserstoffkernen entsteht Helium, wobei riesige Energiemengen freigesetzt werden. Pro Sekunde werden dabei etwa 657 Millionen Tonnen Wasserstoff verbraucht. Durch die Energieabstrahlung in den Weltraum verliert die Sonne an Masse. Daher ist der Kernfusionsprozess der Sonne endlich, wenn auch das Ende in sehr weiter Zukunft liegt.



Abb.: 3\_3\_0\_2



## 4 Wasserkraft

Die Sonneneinstrahlung hält auf der Erde einen natürlichen Wasserkreislauf in Gang. Dabei verdunstet durch Sonnenenergieeinwirkung Oberflächenwasser und wird – je nach vorliegender Umgebungstemperatur – als Wasserdampf von der Luft aufgenommen. Je Kubikmeter (m<sup>3</sup>) Luft liegt der Wasserdampfanteil bei einer Temperatur von:

0 °C	bei	5,0 g
10 °C	bei	9,5 g
20 °C	bei	17,0 g
30 °C	bei	30,5 g

Beim Aufsteigen dieser feuchten Luftmassen kommt es zur Abkühlung und damit zum Unterschreiten der Kondensationstemperatur. Dann beginnen die Wolken abzuregnen.

So werden von der Sonne jährlich folgende Wassermassen bewegt:

425.000 km <sup>3</sup>	verdunsten über den Meeren
71.000 km <sup>3</sup>	verdunsten über den Landflächen
496.000 km <sup>3</sup>	Gesamtniederschlag*

\*entspricht fast dem 10.000-fachen Wasserinhalt des Bodensees

Davon fallen 385.000 km<sup>3</sup> in die Meere zurück und 111.000 km<sup>3</sup> regnen über dem Land ab. Hiervon ergeben sich 40.000 km<sup>3</sup> als Oberflächen- und Grundwasser. Auf den Kontinenten tritt dabei infolge der Höhenunterschiede zwischen den einzelnen Landflächen und dem Meeresspiegel eine potenziell nutzbare Energie der Wassermassen auf.



3\_4.0\_1

### Leistung des Wassers

Die potenzielle Leistung (P) von Wasser hängt in erster Linie von seiner Fallhöhe ab. Für die Berechnung gilt:

$$P = Q \cdot h \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$$

Q [m<sup>3</sup>/s] Wassermenge, h [m] Fallhöhe,  
ρ [kg/m<sup>3</sup>] Dichte des Wassers, g [kg/m<sup>3</sup>] Erdbeschleunigung,  
η [%] Gesamtwirkungsgrad

$$P = \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \text{m} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3} = \text{W}$$

[P] Arbeit = Leistung/Zeit

Überschlägig kann man die Leistung eines Wasserabflusses, z. B. über ein Wehr, abschätzen mit:

$$P = (8 \text{ od. } 9) \cdot Q [\text{m}^3/\text{s}] \cdot h [\text{m}]$$

Faktor 8 steht für kleine Anlagen und Faktor 9 für große Anlagen. Dieser Faktor berücksichtigt die spezifische Masse des Wassers, die Erdbeschleunigung und den Gesamtwirkungsgrad. Mit Hilfe dieser Formel lassen sich mechanische Kraftwerksleistungen errechnen und mit der elektrischen Kraftwerksleistung vergleichen, um den Wirkungsgrad einer Anlage zu bestimmen.

## 4.1 Potenziale

Das jährliche theoretische Potenzial der Wasserkraft, also die potenzielle Energie aller Gewässer, wird mit weltweit ca. 44.000 TWh (5 TW · 8.760 h) pro Jahr angegeben. Das weltweite wirtschaftliche Potenzial zur Stromerzeugung beläuft sich auf nahezu 20 Millionen GWh/a. Davon werden derzeit knapp zehn Prozent genutzt. Das nutzbare Wasserkraft-Potenzial in Deutschland beträgt derzeit etwa 26 TWh pro Jahr.

In einem durchschnittlichen Wasserkraftjahr werden momentan etwa 19 TWh Strom gewonnen. Das ergibt eine Ausnutzung von derzeit etwa 73 Prozent. Die Abweichung vom Normaljahr kann von Jahr zu Jahr sehr stark sein – bis etwa plus/minus 25 Prozent. In Deutschland beträgt der Anteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung im Mittel etwa vier Prozent.

Die Klimagefährdung durch CO<sub>2</sub>, die fortschreitende Industrialisierung und das ansteigende Bevölkerungswachstum werden in Ländern mit großen Wasserkraft-Potenzialen Impulse für einen weiteren Ausbau der Wasserkraftnutzung geben.

### 4.1.1 Wirkungsgrade

Der Wirkungsgrad der Stromerzeugung in Wasserkraftwerken ist sehr hoch. Es werden in sehr guten Anlagen über 90 Prozent erreicht.

### 4.1.2 Wirtschaftliche Betrachtungen

Die Investitionskosten pro kW installierter Kraftwerksleistung schwanken bei der Wasserkraft ganz erheblich und belaufen sich je nach Art des Wasserkraftwerks und abhängig von geologischen sowie topographischen Gegebenheiten des Standorts auf 1.500 bis 9.000 Euro. Sie liegen damit um ein Vielfaches höher als bei fossil befeuerten Wärmekraft-



## 5 Windkraft

Auch Wind ist eine indirekte Form der Sonnenenergie. Die Sonnenstrahlung erwärmt die Luft über Boden und Wasser. Diese Erwärmung variiert von Region zu Region. In Gegenden stärkerer Einstrahlung steigt die erwärmte Luft höher als über Regionen mit geringerer Einstrahlung. Auf diese Weise entsteht ein Temperatur- und damit ein Druckgefälle in der Atmosphäre. Die daraus resultierenden Luftströmungen vom Hochdruck- zum Tiefdruckgebiet bezeichnet man als Wind. Wind ist also eine Bewegung von Luftmassen und damit Träger kinetischer Energie. Die großräumigen Luftströmungen sowie die Passat- und Monsunwinde werden durch die Erdrotation und die Land-See-Verteilung beeinflusst. Lokale Winde unterliegen den Auswirkungen der Reibung mit dem Erdboden, also der unterschiedlichen Beschaffenheiten der Landoberfläche. Auch Gebäude beeinflussen den Strömungsverlauf, wegen entstehender Turbulenzen.

### 5.1 Potenziale

Etwa zwei Tausendstel der von der Sonne eingestrahelten Energie, nämlich 350 Terawatt (TW), werden jährlich in Windenergie umgesetzt. Mit diesem theoretischen Potenzial an Windenergie ließe sich der gesamte Welt-Strombedarf decken. Demgegenüber steht das eingeschränkte technische und wirtschaftliche Potenzial, da eine Windenergienutzung erst an Standorten mit einer jährlichen durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von 4 bis 5 m/s (Windstärke 3) sinnvoll ist. Der Windstromanteil in Deutschland liegt heute bei ca. 5 Prozent. Das Potenzial ist wahrscheinlich bis 20 Prozent ausbaubar, wobei eine exakte Prognose jedoch nicht möglich ist.

#### *Leistungsdichte des Windes*

Mit der Leistungsdichte ( $W/m^2$ ) wird die Energiemenge benannt, die pro Zeiteinheit auf einer bestimmten Flächeneinheit zur Verfügung steht. Sie hängt maßgeblich von der Geschwindigkeit ab, mit der sich die Windströmung bewegt.

#### Leistungsdichte:

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

daraus abgeleitet:

$$P = \frac{m}{t} \cdot \frac{v^2}{2}$$

Diese Leistungsformel einer Windkraftanlage dient als Grundlage für die Berechnung der Effizienz der Windenergienutzung. Die Luftmasse ( $m$ ), die durch ein Windrad strömt, ergibt sich aus der Rotationsfläche ( $A$ ) des Windrades multipliziert mit der Windgeschwindigkeit ( $v$ ). Das daraus ermittelte zylindrische Volumen, multipliziert mit der spezifischen Luftdichte ( $\rho$ ), stellt die Luftmassenmenge dar.

$$\frac{m}{t} = A \cdot v \cdot \rho$$

$m$  [kg] Luftmasse,  $t$  [s] Zeit,  $A$  [ $m^2$ ] Rotationsfläche,  
 $v$  [m/s] Windgeschwindigkeit,  $\rho$  [kg/ $m^3$ ] Luftdichte

Das Quadrat der Windgeschwindigkeit ( $v^2$ ) aus der Berechnung der Leistungsdichte im Zusammenhang mit der Windgeschwindigkeit ( $v$ ) aus der Luftmassenberechnung ergibt, dass die Windgeschwindigkeit in der dritten Potenz ( $v^3$ ) in die Leistung einer Windkraftanlage eingeht.

$$P = \frac{m}{t} \cdot \frac{v^2}{2}$$

umgestellt nach  $m$ :

$$m = \frac{2P}{v^2} \cdot t$$

$$\frac{m}{t} = A \cdot v \cdot \rho$$

$$m = A \cdot v \cdot \rho \cdot t = \frac{2 \cdot P \cdot t}{v^2}$$

$$A \cdot v \cdot v^2 \cdot \rho = 2P$$

$$2P = A \cdot v^3 \cdot \rho$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot A \cdot v^3 \cdot \rho$$

Das bedeutet, dass sich bei der Verdoppelung der Windgeschwindigkeit die Leistung verachtacht. Deshalb ist der Standort der Windkraftanlage aus ökonomischer Sicht von entscheidender Bedeutung.

$$P = \varphi \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

$\varphi$  Leistungsbeiwert,  $\rho$  [1,22 kg/ $m^3$ ] Luftdichte,  
 $A$  [ $m^2$ ] Rotationsfläche,  $v$  [m/s] Windgeschwindigkeit

Wenn die gesamte Energiemenge des Windes in einem Windrad umgesetzt werden könnte, müsste



## 6 Geothermische Energie

Im Gegensatz zu den anderen regenerativen Energieformen hat die Geothermie den Vorteil, dass ihre Nutzung keinen meteorologischen Schwankungen oder Witterungseinflüssen unterworfen ist. Ihr Energieangebot steht dauerhaft, gleichmäßig und somit verlässlich zur Verfügung. Dadurch werden ihre Einsatzchancen positiv beeinflusst, sofern es technisch und wirtschaftlich gelingt, das vorhandene große Potenzial zu erschließen.

### 6.1 Potenziale

Erdwärme ist überall vorhanden. Angegeben wird das geothermische Energie-Potenzial mit 10 bis  $12 \cdot 10^{30}$  Joule. Anschaulich wird diese Zahl durch folgendes Beispiel:  $1 \text{ km}^3$  heißes Gestein mit einer Temperatur von  $200^\circ\text{C}$  könnte bei einer Abkühlung um  $100^\circ\text{C}$  rund 10 MW elektrische Leistung über die Dauer von 30 Jahren liefern.

### 6.2 Wärmestrom der Erde

Die Temperatur im Inneren der Erde liegt nach heutigen Schätzungen zwischen  $3.000$  und  $6.000^\circ\text{C}$ .

Zusätzlich entsteht in der Erdkruste Wärme durch den Zerfall natürlicher radioaktiver Isotope. Aus dem Temperaturgefälle zwischen Erdoberfläche und Kern

resultiert ein permanenter Wärmefluss. Seine mittlere Intensität liegt aufgrund der relativ schlechten Wärmeleitfähigkeit von Gestein aber nur bei rund  $0,06$  bis  $0,07 \text{ Watt pro m}^3$ . Im Bereich der Erdkruste stammt dieser Wärmestrom zu rund 30 Prozent aus der Speicherwärme des Erdinneren und zu 70 Prozent aus der radioaktiven Zerfallswärme.

Infolge des Wärmestroms steigt die Temperatur in der oberen Erdkruste um durchschnittlich ca.  $30^\circ\text{C}$  pro Kilometer Tiefe. Dieser Wert ist an Stellen geothermischer Anomalien – wo die Erdkruste viel dünner ist – bis zum Vierfachen höher. Dort bietet sich Erdwärmenutzung an, weil hier der natürliche Wärmestrom wesentlich größer ist.

### 6.3 Historische Nutzung der Erdwärme

Erdwärme als Energiequelle ist in Bereichen geothermischer Anomalien den Menschen seit Jahrtausenden bekannt. Die Römer nutzten sie bereits für Thermalbäder und zur Gebäudebeheizung.

### 6.4 Wirtschaftliche Betrachtungen

Unabhängig von den Nutzungsmöglichkeiten unterscheidet man zwischen Erdwärmequellen, die auf natürlichem Wege an die Oberfläche treten, und solchen, die vor ihrer Nutzung mit bohrtechnischen Verfahren künstlich erschlossen und gefördert werden müssen.

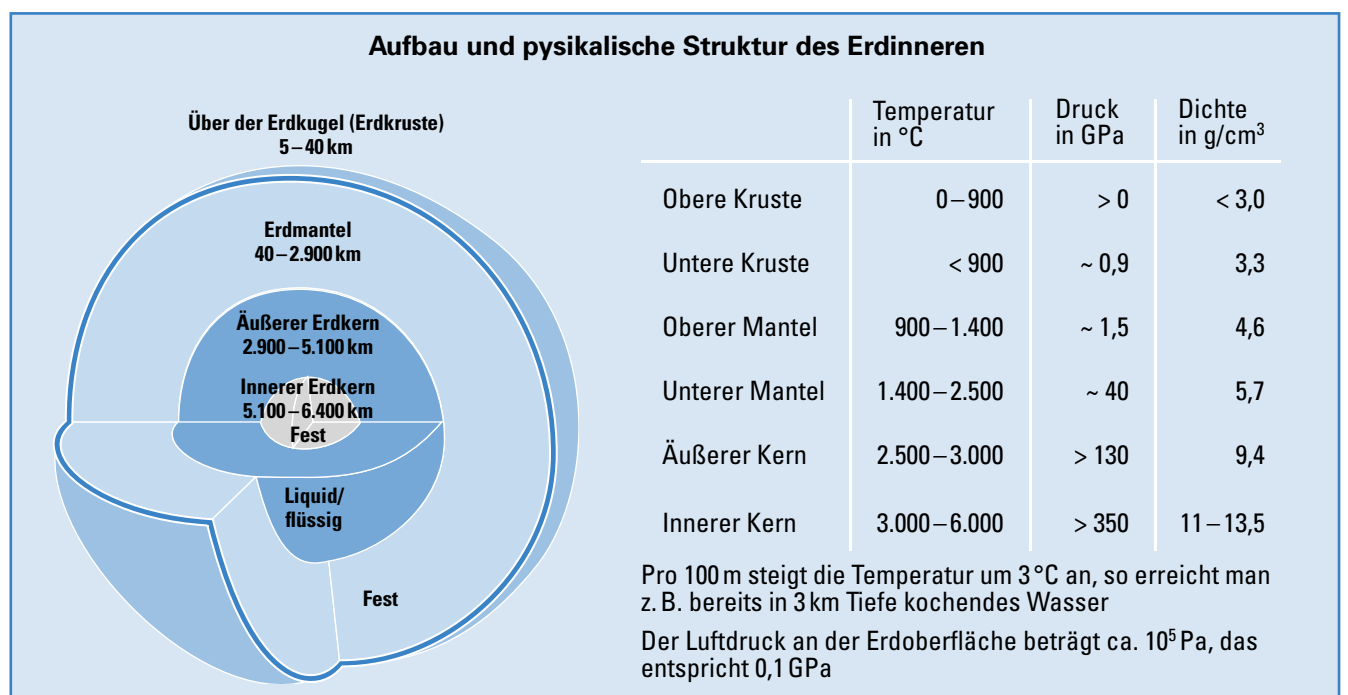
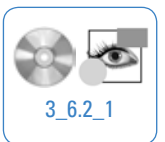


Abb.: 3.6.2\_1



## 7 Energie aus Biomasse

Im Zusammenhang mit Energiegewinnung werden mit dem Begriff Biomasse pflanzliche Substanzen und die aus ihrer Nutzung entstehenden Abfälle und Rückstände zusammengefasst. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um Holz, Stroh, Algen, öl- und zuckerhaltige Pflanzen sowie menschliche und tierische Exkremente, organische Klärschlämme, Haus-, Gewerbe- und Industrieabfälle organischen Ursprungs sowie Papier. Hinzu kommen die bei der Verrottung oder durch bakterielle Umsetzungsprozesse organischer Substanzen entstehenden Biogase. Unter Biogas (hierunter fallen auch das Depo-niegas und Klärgas) versteht man ein Gas, das bis zu zwei Dritteln aus Methan – dem Hauptbestandteil des Erdgases –, ferner aus Kohlendioxid und Restgasen besteht.

Der Energieinhalt der organischen Substanzen geht letztlich auf die Fotosynthese der Pflanzen zurück. Hierbei wird etwa 0,1 Prozent der Strahlungsenergie der Sonne von den Pflanzen in chemische Energie umgewandelt:

### Fotosynthese:



Rund die Hälfte der auf diesem Weg gebildeten Biomasse wird von den Pflanzen für ihre eigenen Lebensprozesse verbraucht. Kohlenstoff wird also bei Bildung von Kohlendioxid oxidiert. Die andere Hälfte des Kohlenstoffs wird nach Absterben durch Fäulnis und Verrottungsprozesse zu Kohlendioxid abgebaut, über die menschlich/tierische Nahrungskette wieder freigesetzt oder durch Verbrennung direkt in die Atmosphäre eingeleitet.

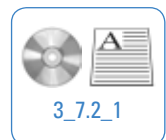
### 7.1 Potenziale

Die jährliche Produktionsrate an Biomasse auf der Erde beträgt etwa 155 Milliarden Tonnen, die sich zu etwa 100 Milliarden Tonnen auf die Kontinente und zu 55 Milliarden Tonnen auf die Ozeane verteilen. Ein Großteil der auf den Kontinenten gebildeten Biomasse entfällt dabei auf die Wälder. Der Wald ist damit größter  $\text{CO}_2$ -Verbraucher und neben den Weltmeeren ein wichtiger Klimaregulator.

Das theoretische Potenzial der Biomasse ist im Bezug auf ihren Energiegehalt fast 13-mal größer als der derzeitige Weltenergiebedarf von etwa 14 Milliarden Tonnen Steinkohleeinheiten (SKE) pro Jahr. Von der jährlich nachwachsenden Biomasse werden zurzeit schätzungsweise nur etwa drei Prozent als Nahrungsmittel, als Produktionsstoffe oder als Energieträger genutzt. Der weitaus größte Teil geht der technischen Nutzung verloren. Optimistische Schätzungen für Deutschland sprechen von einem nutzbaren Potenzial der Biomasse von 20 bis 30 Prozent des Primärenergiebedarfs. Das entspräche immerhin zwischen 100 und 150 Mio. Tonnen SKE.

### 7.2 Technische Nutzung der Biomasse

Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe hat in der Geschichte des Menschen eine lange Tradition. Nicht nur die Nutzung von Holz, sondern auch die Gewinnung von Fasern aus Baumwolle, Sisal, Jute, Hanf und Flachs, die Erzeugung von Kautschuk und pflanzlichen Ölen sowie von Farb- und Gerbstoffen sind hierfür Beispiele. Die energetische Nutzung spielt derzeit eine eher untergeordnete Rolle, obwohl sich hier zumindest technisch eine breite, nahezu universelle Nutzungspalette anbietet. Man unterscheidet zwischen Industrie- und Energiepflanzenanbau. Beim Industripflanzenanbau liegt der Schwerpunkt in der Gewinnung und der Strukturhaltung von Ölen und Fetten, Stärke, Zucker und Eiweißstoffen sowie Fasern, Zell- und Arzneistoffen. Beim Energiepflanzenanbau werden hohe Erträge je Flächeneinheit angestrebt. Folgende Verfahren zur energetischen Nutzung der Biomasse stehen zur Verfügung:



- *Verbrennen der Biomasse*: Sie erfolgt in der Regel in vier Schritten: Erwärmung und Trocknung, Vergasung und thermische Zersetzung, Verbrennung der festen Brennstoffbestandteile, Nachverbrennung der brennbaren Gase
- *Pyrolyse (Vergasung)*: thermische Spaltung chemischer Verbindungen. Durch hohe Temperaturen werden Moleküle „zerbrochen“ und so in einen gasförmigen Aggregatzustand überführt. Dies geschieht meistens unter Sauerstoffausschluss, um die Verbrennung zu verhindern. Man spricht auch von Verschwelung
- *Fermentation (Gärungsprozess)*: Durch Ausfäulen pflanzlicher oder tierischer Rückstände unter Sauerstoffabschluss lässt sich unter Mitwirkung von Bakterien Biogas gewinnen. Durch die Vergärung zuckerhaltiger pflanzlicher Stoffe mit Hilfe von Hefepilzen lässt sich Alkohol produzieren



## 8 Die Perspektiven der Regenerativen Energien

Die Nutzung Regenerativer Energien wird weiter zunehmen. Allerdings wird sich die Entwicklung auch künftig wahrscheinlich nur allmählich vollziehen. Der Fortschritt hängt von der Entwicklung ihrer Wirtschaftlichkeit ab. Nach wie vor bremsen die hohen Kosten vieler Arten der Regenerativen Energien deren Verbreitung.

Eine Erhöhung der Energiepreise – sei es durch Entwicklungen auf den Weltenergiemärkten, sei es durch steuerliche Belastungen der konventionellen

Energieträger – wird sich auf das wirtschaftlich erschließbare Potenzial der Regenerativen Energien auswirken.

Grundsätzlich ist die Energiewirtschaft einer sinnvollen Förderung der Regenerativen Energien gegenüber aufgeschlossen und wird alle Schritte unternehmen, diese Energien im Rahmen der geografischen und klimatischen Bedingungen in Mitteleuropa optimal zu fördern. Dazu gehören Forschung und Praxiserprobung sowie möglicherweise auch Subventionsprogramme zur Markteinführung, wenn sich hierdurch die Chance eröffnet, zu wettbewerbsfähigen Erzeugungspreisen zu gelangen.



### Literaturverzeichnis

- Alternative Formen der Energie, Teil I Biomasse, Teil II Photovoltaik mit Solarthermie, Sachinformationen und Kopiervorlagen, Verbund, Wien
- Dörner, Heiner: „Drei Welten – ein Leben – Prof. Dr. Ullrich Hüttner“
- Eyes on Energy, Themenheft 2 „Windkraft“
- Eyes on Energy, Themenheft 3 „Wasserkraft“
- Eyes on Energy, Themenheft 4 „Solarenergie“
- Fachheft: „Regenerative Energien“, ASE, Frankfurt
- LEHRERINFORMATION „Geothermie/Wärme aus der Tiefe“, ASE, Frankfurt
- LEHRERINFORMATION „Strom aus regenerativen Energien – Beispiel Photovoltaik“, ASE, Frankfurt
- LEHRERINFORMATION „Strom aus regenerativen Energien – Beispiel Wasserkraft“, ASE, Frankfurt
- LEHRERINFORMATION „Windenergie in Deutschland“, ASE, Frankfurt
- Roth, Eike: „Mensch, Umwelt und Energie“, etv mbH, Düsseldorf

- Seidel, Jürgen: „Elektrische Energie aus dem Wind“, HEW AG, VWEW-Verlag, Frankfurt
- StromBASISWISSEN „Biomasse“, IZE, Frankfurt
- StromBASISWISSEN „Geothermie“, IZE, Frankfurt
- StromBASISWISSEN „Strom aus Sonnenwärme – Solarthermie“, IZE, Frankfurt
- StromBASISWISSEN „Strom aus Wasserkraft“, IZE, Frankfurt
- StromBASISWISSEN „Strom aus Wind“, IZE, Frankfurt
- Tagungsband „Thermische Nutzung von Biomasse“, Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, BM für Ernährung, Land- und Forstwirtschaft
- Volkmer, Martin: „Elektrische Energie aus Solarzellen“, Sachinformationen, HEW AG, VWEW-Verlag, Frankfurt
- Voß, Jürgen: „Energieversorgung der Zukunft“, VDE-Verlag GmbH, Berlin
- Webers Taschenlexikon: „Erneuerbare Energien“, Olythus-Verlag
- [www.strom.de](http://www.strom.de)
- [www.energie-fakten.de](http://www.energie-fakten.de)

### Abkürzungsverzeichnis

- °C = Grad Celsius
- a = Jahr
- c = Geschwindigkeit des Lichts
- E = Energie
- eV = Elektronen-Volt,  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{19} \text{ J}$  bzw.  $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- Ein Elektronenvolt beschreibt die Arbeit, die geleistet wird, wenn eine Elementarladung eine Potentialdifferenz von 1V durchläuft.
- g = Fallbeschleunigung der Erde
- GPa = Giga-Pascal
- GWh = Gigawattstunden
- J = Joule
- K = Kelvin
- kg = Kilogramm

- kW = Kilowatt, kWh = Kilowattstunden
- l = Liter
- MeV = Mega-Elektronen-Volt
- MJ = Megajoule
- MW = Megawatt
- Nm = Newtonmeter
- P = Leistung
- SKE = Steinkohleeinheit, eine hauptsächlich in Mitteleuropa gebräuchliche, allerdings nicht gesetzliche Maßeinheit für den Vergleich des Energiegehaltes von Primärenergieträgern. 1 kg SKE entspricht der Energiemenge, die beim Verbrennen von 1 kg Steinkohle frei wird
- $1 \text{ kg SKE} = 7.000 \text{ kcal} = 29,3076 \text{ MJ} = 8,141 \text{ kWh}$
- t = Tonne
- TW = Terawatt, TWh = Terawattstunden
- W = Watt, Ws = Wattsekunden