

## Wasser als Energielieferant

Die Geschichte der Nutzung von Wasser als Energieträger lässt sich sehr weit zurückverfolgen. Große Flusskulturen an Nil, Euphrat und Tigris, am Gelben Fluss und am Indus nutzten Wasser als Antriebsmittel für Arbeitsmaschinen unterschiedlichster Art. Ursprünglich meist als Schöpfwerk zur Bewässerung der Felder, später auch als Kornmühlen. Im mittelalterlichen Europa entstanden die bedeutendsten Gewerbezentren dort, wo Flüsse vorhanden waren. Zum Beispiel sog. Eisenhämmer bzw. Hammerschmieden zur Gewinnung bzw. Verarbeitung von Eisen. Und schließlich ist die schnelle Entwicklung der Industrialisierung und der erreichte Wohlstand im 19. Jahrhundert vor allem der Wasserkraft zu verdanken. Angesichts der immer knapper werdenden fossilen Energieträger und des anthropogen verstärkten Treibhauseffekts ist Wasser heute als Energieträger attraktiver denn je. Immerhin bedeckt Wasser den größten Teil der Erdoberfläche (ca. 70 %).

Unterschiedliche Kraftwerkstechnologien machen es heute möglich, aus den Energieformen des Wassers Nutzenergie für den Menschen zu gewinnen. Wasser kann Träger folgender Energieformen sein:

- Flüsse und Meereswellen besitzen mechanische Energie (potenzielle und kinetische Energie).
- Heißes Wasser bzw. Wasserdampf (im Heizkessel erzeugt oder aus den Tiefen der Erde) besitzt thermische Energie.
- Die Zersetzung von Wasser als chemische Verbindung aus Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) kann als chemischer Energiespeicher genutzt werden.

## Wasser als Träger mechanischer Energie

Die mechanische Energie des Wassers wird allgemein als „Wasserkraft“ (auch: Hydroenergie) bezeichnet. Sie zählt zu den regenerativen Energien. Urquelle dieser Energie ist wie auch bei anderen regenerativen Energieträgern (z. B. Biomasse, Wind- und Solarenergie) die Sonne. Nach menschlichen Maßstäben gilt die Wasserkraft wie die Sonne selbst als nahezu unerschöpfliche Energiequelle. Allerdings kommt es inzwischen durch den weltweiten Klimawandel vielerorts zu stärkeren Schwankungen zwischen Trockenzeiten und Hochwasserzeiten. So liefern viele Flusswasserkraftwerke nicht mehr so zuverlässig Strom wie früher.

## Wie entsteht Wasserkraft?

Zunächst wird, vor allem über dem Meer, Wasser verdunstet, das in die Atmosphäre aufsteigt. Trifft der Wasserdampf auf kältere Luftschichten, kühlt er ab und kondensiert in Form von Wolken. Durch den Wind werden diese zum Festland getragen. Die feuchte Luft der Wolken kann dann, z. B. durch Aufsteigen an Gebirgen, weiter abkühlen und bei Übersättigung mit kondensiertem Wasser als Niederschlag (Regen, Schnee, Hagel) auf die Erde zurückfallen. Aus diesen Hochlagen fließt der Niederschlag in Form von Bächen und Flüssen wieder ab und kann jetzt mittels geeigneter Technik (Staudamm, Wasserkraftwerk usw.) zur Energie-„Gewinnung“ genutzt werden. Ähnlich verhält es sich mit der Wasserkraft der Meereswellen: Durch Winde (auch hierfür ist der „Motor“ die Sonne) wird das Wasser in Bewegung versetzt.

## Wie wird Wasserkraft genutzt?

Wasser wurde schon vor der Industrialisierung als Energielieferant direkt zum Antrieb von technischen Geräten genutzt. Dabei wurden die potenzielle Energie (Höhenunterschied) und kinetische Energie (Fließgeschwindigkeit) der Wasserströmung über ein Wasserrad in mechanische Rotati-

onsenergie (kinetische Energie) umgewandelt und mit ihr wurden Arbeitsgeräte wie z. B. Mühlen, Säge- und Hammerwerke betrieben. Seit der Elektrifizierung nutzt man Wasserkraft in Kraftwerken indirekt mit Hilfe von Turbinen, um Generatoren anzutreiben und damit elektrische Energie zu erzeugen.

Große Mengen an Energie stecken auch in den bewegten und strömenden Wassermassen unserer Meere, die man mit mechanischen (z. B. Gezeiten- und Strömungskraftwerke) und thermischen Techniken (Nutzung des Temperaturunterschieds zwischen Oberfläche und tiefen Bereichen tropischer Meere mit Meereswärmekraftwerken) zu nutzen versucht. Die wirtschaftliche Nutzung von Wellen und Meeresströmungen steckt allerdings noch in den Anfängen.

### Stellung der Wasserkraft in der Energie-„Erzeugung“

Im Jahr 2014 lag der Anteil der Regenerativen Energien an der Stromerzeugung weltweit bei ca. 23 %. Im Jahr 2014 wurden durch Wasserkraftwerke 16,6 % der weltweiten Stromversorgung abgedeckt. Das ist wesentlich mehr als mithilfe der Kernkraft erzeugt wurde (10,8 %). Die anderen regenerativen Energieformen wie Sonne, Wind, Erdwärme und Biomasse lagen zusammen bereits bei ca. 6 %. Wobei Photovoltaik- und Windkraftwerke inzwischen die am stärksten wachsenden Stromquellen sind.

Bei der Wasserkraft spielen die natürlichen (geografischen) Gegebenheiten eine wichtige Rolle, z. B. ein reiches Vorkommen von geeigneten Gewässern mit dem nötigen Gefälle. Insbesondere in den Entwicklungsländern stellt die Nutzung der Wasserkraft mit ca. 45 % Anteil noch vor Erdöl die wichtigste Stromquelle dar und soll weiter stark ausgebaut werden. Vor allem in den Ländern Asiens, Afrikas und Lateinamerikas stehen entsprechende Wasserkraftreserven zur Verfügung. 2016 war das größte Wasserkraftwerk der Welt mit einer Kraftwerksleistung von bis zu 22.5 GW, erzeugt mit 32 Francisturbinen, das Drei-Schluchten-Staudamm-Wasserkraftwerk in China.

| Land/Staat        | TWh <sup>1</sup> | Anteil <sup>2</sup> (%) | Land/Staat         | TWh <sup>1</sup> | Anteil <sup>2</sup> (%) |
|-------------------|------------------|-------------------------|--------------------|------------------|-------------------------|
| <b>Norwegen</b>   | 132              | 96                      | <b>Frankreich</b>  | 56               | 10                      |
| <b>Brasilien</b>  | 369              | 84                      | <b>Indien</b>      | 124              | 15                      |
| <b>Österreich</b> | 37               | 55                      | <b>Japan</b>       | 83               | 8                       |
| <b>Kanada</b>     | 369              | 58                      | <b>USA</b>         | 275              | 6                       |
| <b>Schweden</b>   | 72               | 45                      | <b>Deutschland</b> | 24               | 4                       |
| <b>Russland</b>   | 179              | 18                      |                    |                  |                         |
| <b>China</b>      | 422              | 13                      | <b>Welt</b>        | <b>3.110</b>     | <b>16</b>               |

<sup>1</sup> Stromerzeugung aus Wasserkraft, <sup>2</sup> Anteil an der nationalen Stromerzeugung. Die Werte sind für 2007 und wurden auf Grundlage der Werte der IEA-Statistik bis 2005/2006 (Stand: Juli 2008) erstellt. Hinweis: Die absoluten Werte in der Tabelle dürften sich bis 2016 z. T. geändert haben, die Relationen stimmen aber immer noch.

## Wasser als Träger thermischer Energie

### Wie entsteht „warmes“ Wasser?

Durch Zufuhr von Energie, z. B. durch Verbrennung eines fossilen Energieträgers, wird Wasser in einem Heizkessel aufgeheizt. Unter Normaldruck verdampft es bei 100 °C. Eine Sonderform stellt die Erdwärme dar: In Tiefen von 1.000 bis 3.200 m gibt es thermalwasserführende Gesteinsschichten mit Temperaturen von 50 °C bis zu 120 °C. Wie tief man bohren muss, hängt von den örtlichen geologischen Bedingungen ab. Als Faustregel kann gelten, bohrt man 5.000 m tief, findet man praktisch überall über 120 °C heiße Gesteinsschichten. Erhitzt wird das Wasser durch die Wärme aus dem glutflüssigen Erdinneren.

### Wie wird die Wärme des Wassers genutzt?

In den Anfängen der Industrialisierung nutzten Kolbendampfmaschinen die Dampfergie, um mechanische Energie für den Antrieb von Fahrzeugen und mechanischen Maschinen zu erzeugen. Heute setzt man in Kraftwerken Wasserdampf als Arbeitsmittel für Dampfturbinen ein: Der heiße Dampf treibt die Schaufelräder der Turbine an und diese einen Generator. So wird letztlich elektrische Energie erzeugt. Im Haushalt nutzt man die Energie von heißem Wasser, um Heizkessel und Brauchwasserkreisläufe (z. B. Heizkörper, Solarkollektoren) zu speisen.

An geologisch geeigneten Standorten wie z. B. aktiven Vulkanfeldern oder Molassebecken kann heißes Wasser für Fernwärmeheizung, Heizung von Schwimmbädern, im Sonderfall auch zur Stromerzeugung genutzt werden. Ebenso ist die Nutzung thermischer Energie aus Tunnelbauwerken (z. B. austretendes Tunnelwasser am Gotthard-Basistunnel mit Temperaturen von ca. 34 °C), Abwasserleitungen und Bergbauanlagen (je nach Tiefe mit Temperaturen von 60 °C bis 120 °C) möglich. Gegebenenfalls wird die niedrigtemperaturige Wärme durch Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau angehoben.

### Wärmeträger Wasser als Regulator für unser Klima

Eine ganz besondere Rolle spielt Wasser als Wärmeträger für das Erdklima. Der „Wasserkreislauf“ regelt den Transport und die Freisetzung von Wärmeenergie in die Atmosphäre. Auch die Zirkulation der kalten und warmen Meeresströme trägt zur Regulierung des Klimas bei: Beispielsweise wirkt der Golfstrom im Atlantik durch den Transport von warmem Wasser wie eine große Heizung für Teile West- und Nordeuropas.

### Wasser als Träger chemischer Energie

Bei der Oxidation von Wasserstoff ( $H_2$ ) mit Sauerstoff ( $O_2$ ) entsteht Wasser ( $H_2O$ ), dabei wird Energie freigesetzt.

### Wasserstoff: Zerlegung von Wasser als chemischer Energiespeicher

Zerlegt man  $H_2O$  wieder in  $H_2$  und  $O_2$ , so muss dafür dieselbe Energie aufgewendet werden, die beim späteren Verbrennen wieder „gewonnen“ wird. Der durch Elektrolyse gewonnene Wasserstoff ist also ein chemischer Speicher für andere Energieformen.

Prinzipiell kann  $H_2O$  thermisch („Thermolyse“) oder mit elektrischem Strom („Elektrolyse“) zerlegt werden. Beides sind technisch bewährte Verfahren. Stammt die Energie zur Zerlegung aus Wind oder Sonne, ist der so gewonnene  $H_2$  ein  $CO_2$ -neutraler Energieträger.  $H_2$  kann später über direkte Verbrennung zur „Erzeugung“ von Wärmeenergie genutzt werden. Noch effizienter ist die „kalte Verbrennung“ in Brennstoffzellen, wo die Reaktionsenergie nicht in Wärme, sondern in Strom umgewandelt wird. Diese Technologie ist bei Verwendung von regenerativ gewonnenem Wasserstoff umweltneutral. Das Endprodukt von heißer und kalter Verbrennung ist jedenfalls stets umweltfreundliches  $H_2O$ .

Derzeit wird der Einsatz von  $H_2$  als Energieträger im Zusammenhang mit Brennstoffzellensystemen in unterschiedlichen Bereichen wie z. B. Automobil- und Schiffsindustrie oder bei der portablen Stromversorgung für Elektrogeräte erprobt. In der chemischen Industrie kann  $H_2$  zudem als elementarer Rohstoff genutzt werden. Da Wind- und Sonnenenergie in ihrem Angebot stark schwanken, sehen viele Experten im umweltfreundlichen  $H_2$  den idealen Energiespeicher für regenerative Energie-„Erzeugung“.

Eine weitere Möglichkeit dieser „Power to Gas“-Umwandlung von überschüssigem Wind- und Solarstrom in Wasserstoff ist die Erzeugung von  $\text{CH}_4$  (Methan). Dieses katalytisch aus Kohlendioxid und Wasserstoff erzeugte Methan kann in das bereits bestehende Erdgasnetz eingespeist werden und das fossile Erdgas (ebenfalls Methan) ersetzen. Das flächendeckende Erdgasnetz besitzt Speicher mit bis zu 3 Monaten Reichweite. Aus dem gespeicherten regenerativen Methan kann dann an beliebigen Orten durch Gasturbinenkraftwerke oder Brennstoffzellen bei Bedarf wieder Strom erzeugt werden. Die Power to Gas-Technologie bietet also den idealen Langzeitspeicher für regenerative Energien. 2016 liefen in Deutschland erste größere Pilotprojekte dafür an.