



**Landesverband  
Bayerischer  
Wasserkraftwerke eG**

Sandweg 1 a – 93161 Sinzing

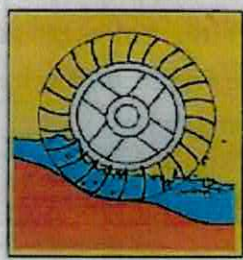
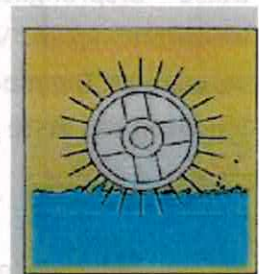
Telefon 09404-954188 – Telefax 09404-954189

[info@lvbw-wasserkraft.de](mailto:info@lvbw-wasserkraft.de) – [www.lvbw-wasserkraft.de](http://www.lvbw-wasserkraft.de)

### Wasserkraftnutzung - Wie es begann

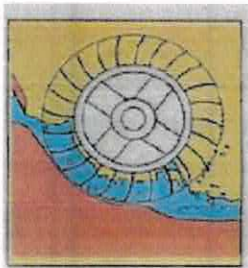
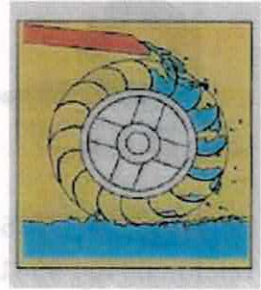
Die Nutzung der Wasserkraft lässt sich bereits in der Antike nachweisen. Um sich die Arbeit zu erleichtern, verwendeten Menschen das Wasserrad. In Mesopotamien (heute Irak) wurde es schon vor 5.000 Jahren zum Schöpfen von Wasser verwendet. Auch Inder, Chinesen und Ägypter kannten diese Technik. Griechen und Römer nutzten Wasserräder, um Mühlsteine anzutreiben. Die Durchmesser dieser Räder erreichten bis zu 30 Meter. Da aber menschliche Arbeitskräfte ausreichend vorhanden waren, kam es zu keinem weiteren Ausbau.

Erst im Mittelalter wurden größere Wasserräder entwickelt, die bis zu 37 kW Leistung erbrachten. Sie dienten überwiegend zum Antrieb von Mühlen, Schmieden und anderen Handwerksbetrieben. Die einfachste und älteste Form ist das hölzerne **Stoßrad**. Seine Schaufeln tauchen horizontal in das strömende Fließgewässer (Bach, Fluss) ein und nutzen so die vorhandene Bewegungsenergie.



Seit dem 9. Jahrhundert wird das **unterschlächlige Wasserrad** (Stockrad) verwendet. Hier tauchen die untersten, der radial an einer hölzernen Achse angebrachten Bretter in das Fließgewässer ein. Dabei erzeugt der Wasserdruck, der auf die Bretter wirkt, ein Drehmoment. Genutzt wird hauptsächlich die Bewegungsenergie.

Seit dem 14. Jahrhundert nutzte man auch **überschlängige Wasserräder**. Es waren große Holzräder, an denen Bretter unter einem Neigungswinkel angebracht waren, die wie Schaufeln wirken. Das von oben einfließende Wasser treibt das Rad an. Durch das in den Schaufeln befindliche Wasser wird ein zusätzliches Drehmoment erzeugt. So kann neben der Bewegungsenergie vor allem die Lageenergie des Wassers genutzt werden. Zusätzlich kann die Wassermenge durch eine geeignete Zuleitung reguliert werden.



Eine Mischform ist das **mittelschlängige Wasserrad**, das hauptsächlich die Lageenergie nutzt.

In sehr steilem Gelände kann man auch die **Floder** verwenden. Das sind **horizontale Wasserräder**, bei denen die angewinkelten Bretter an einer vertikalen Achse befestigt sind. Sie brauchen zwar wenig Platz, aber wegen des kleinen Raddurchmessers hohe Strömungsgeschwindigkeiten.

Diese ursprünglich handwerklichen Erfindungen wurden später von Technikern weiterentwickelt. Vor allem wurde nicht mehr Holz, sondern Metall für die Konstruktion verwendet. Die moderne Wasserkraft begann deshalb, als 1769 der englische Ingenieur **John Smeaton** das erste **gusseiserne Wasserrad** herstellen konnte.

Bei der industriellen Revolution spielte die Wasserkraft zunächst eine wichtige Rolle. Man verwendete die Wasserräder zum direkten Betrieb von Maschinen. Es gab zwar schon Dampfmaschinen, doch die Kohle, die man zur Befuerung brauchte, war knapp und teuer. So konnte die Wasserkraft zunächst konkurrenzfähig bleiben. Als aber die Kohle billiger wurde, stiegen viele Betriebe vermehrt auf Dampfmaschinen um. Diese waren inzwischen leistungsfähiger und nicht mehr an einen Ort gebunden, an dem es Wasser gab.



## Elektrizität

Schon im Altertum entdeckten Menschen (558 v. Chr. Thales von Milet), dass Bernstein nach der Reibung mit anderen Stoffen kleine leichte Körper anziehen konnte. Unser Wort „Elektrizität“ leitet sich vom griechischen Wort für Bernstein „elektron“ ab.

Im 18. Jahrhundert gelang es Physikern, elektrische Funken zu erzeugen und Elektrizität in Drähten weiterzuleiten.

Der Italiener **Alessandro di Volta** (1745 – 1827) wies nach, dass elektrischer Strom mit Hilfe von zwei verschiedenen Metallen und einer Säure erzeugt werden kann. 1800 entstand die erste brauchbare Batterie.

### **Die systematische Erforschung der Elektrizität konnte beginnen.**

1820 entdeckte der dänische Physiker **Christian Oersted** (1777 - 1851), dass elektrische Ströme Magnetfelder erzeugen.

**Michael Faraday** (1791 - 1867) untersuchte die Kräfte zwischen Strömen und Magnetfeldern und erfand 1821 das Grundprinzip des Elektromotors. Es dauerte noch weitere zehn Jahre bis er die elektromagnetische Induktion entdeckte. Er erkannte, dass die Veränderung magnetischer Felder Ströme hervorrufen kann. Das Prinzip des Generators, auf dem bis heute die technische Erzeugung elektrischer Energie überwiegend beruht, war gefunden.

Schon kurze Zeit später (1826) erkannte der deutsche Physiker **Georg Simon Ohm** (1789 - 1854) die Zusammenhänge zwischen Stromstärke, Spannung und elektrischem Widerstand – das Ohm'sche Gesetz.

Nach der Entdeckung des Induktionsgesetzes, begannen Ingenieure damit, Generatoren zu bauen, die weit billiger elektrische Energie erzeugen konnten als Batterien. Der deutsche Physiker **Werner von Siemens** (1816 – 1892) war an der Entwicklung der Starkstromtechnik maßgeblich beteiligt. Nachdem er 1866 das Prinzip der Selbsterregung entdeckt hatte, baute er die erste Dynamomaschine. Noch heute laufen Generatoren nach diesem Prinzip.



Der Wegbereiter der Wasserkraft war **Oskar von Miller** (1855 – 1934). 1881 besucht der junge Ingenieur die Pariser Elektrizitätsausstellung, um die Möglichkeiten der Wasserkraftnutzung in Bayern zu erkunden. Bereits 1882 organisierte er in München die erste elektrotechnische Ausstellung in Deutschland. Dabei gelang ihm zusammen mit Marcel Depréz die Übertragung von elektrischem Strom von Miesbach nach München (rund 60 Kilometer). Seine Wasserkraftpläne in Bayern wurden von den Behörden jedoch noch nicht angenommen.

1884 baute er in München das erste Elektrizitätswerk in Deutschland. Nachdem er 1891 die Leitung der Internationalen elektrischen Ausstellung in Frankfurt am Main übernommen hatte, gelang ihm die Fernübertragung von 20.000 Volt Drehstrom von Lauffen am Neckar nach Frankfurt (176 Kilometer). Das war der Durchbruch der Wechselstromübertragung.

### Vom Wasserrad zur Turbine

Seit Jahrtausenden wird die Wasserkraft genutzt, um die Bewegungs- bzw. Lageenergie des Wassers in mechanische Arbeit umzusetzen. Bei vielen Wasserkraftwerken trat jedoch an die Stelle eines langsam drehenden Wasserrads eine schneller laufende Turbine. Dadurch können Wirkungsgrade um 90 % erreicht werden.

Wesentliche Faktoren, die die Leistung einer Turbine bestimmen sind

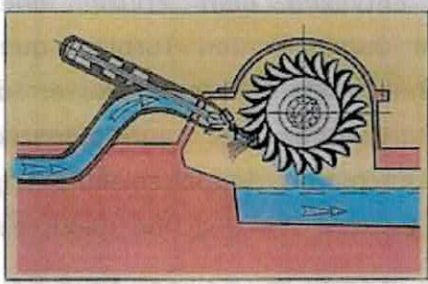
- die Erdbeschleunigung ( $9,81 \text{ m/sec}^2$ )
- die Fallhöhe des Wassers ( $H$  in m)
- der Durchfluss durch die Turbine ( $Q$  in  $\text{m}^3/\text{s}$ )

Deshalb muss jede Turbine an die unterschiedlichen Fallhöhen und Wasserdurchflussmengen angepasst sein.

Die vereinfachte physikalische Formel lautet:  $P_E = Q \times H \times 8$

Beispiel: Bei einer Fallhöhe von 5 m und einem Durchfluss von  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  beträgt die Leistung 60 kW.

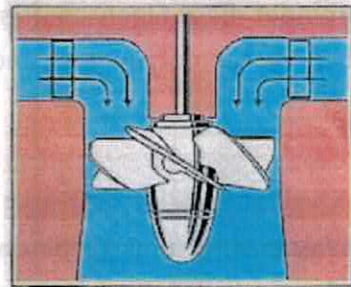




Die Weiterentwicklung des unterschlächtigen Wasserrads ist die **Pelton-turbine**.

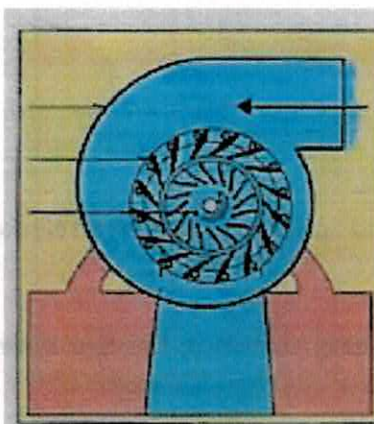
Ihre Schaufeln sind allerdings aus hochwertigem Stahl und besitzen eine spezielle Form.

Bei der Pelton- oder Freistrahlturbine wird ausschließlich die Bewegungsenergie des Wassers genutzt, das aus einer oder mehreren Düsen auf die becherförmigen Schaufeln des Laufrads trifft. Da das Antriebswasser nach dem Austritt aus der Düse auf Umgebungsdruck entspannt wird, spricht man auch von einer Gleichdruck-Turbine. Die Pelton-turbine wird in Wasserkraftwerken mit sehr hohen Fallhöhen (bis 1.800 m) bei vergleichsweise geringen Wassermengen eingesetzt. Sie ist typisch für Speicherwasser-Kraftwerke im Hochgebirge.



Die Weiterentwicklung des Floders führte zur **Kaplan-turbine**. Sie besitzt jedoch verstellbare Schaufeln.

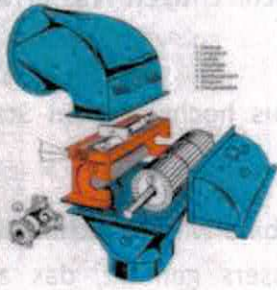
Für geringe Wasserdrücke bei großen Durchflüssen wurde aus der Francis-Turbine die Kaplan-Turbine entwickelt. Bei ihr lassen sich sowohl die Schaufeln des Laufrads wie auch die des Leitwerks verstellen. Das Laufrad gleicht einem Schiffspropeller. Weiterentwicklungen sind die Rohr-Turbine für besonders geringe Fallhöhen und die Straflo-Turbine, bei der Generator und Turbine eine Einheit bilden.



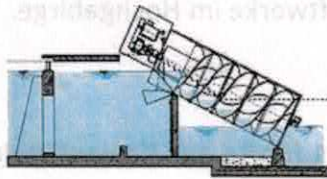
Die heute am häufigsten verwendete Turbine ist die **Francisturbine**.

Bei der Francis- Turbine wird das Wasser durch ein feststehendes „Leitrad“ mit verstellbaren Schaufeln auf die gegenläufig gekrümmten Schaufeln des Laufrads gelenkt. Da das Wasser vor dem Eintritt in die Turbine unter höherem Druck steht als nach dem Austritt spricht man auch von einer Überdruckturbine.





Die **Durchströmerturbine** wird, entgegen dem Prinzip einer gewöhnlichen, axial oder radial durchströmten Turbine, quer durchströmt. Das Wasser tritt, ähnlich wie bei einem Wasserrad, am Umfang ein, und nach Durchlaufen des Laufradinneren gegenüberliegend wieder aus. Durch den doppelten Aufschlag ergibt sich eine vergleichsweise bessere Wirkung und damit ein gewisser Selbstreinigungseffekt.



**Wasserkraftschnecken** sind eine Neuentwicklung im Bereich der Nutzung regenerativer Energien. Sie basieren im Wesentlichen auf dem Prinzip der Archimedischen Schraube. Der Wirkungsgrad einer Wasserradschnecke erreicht den einer gleich großen Wasserturbine. Sie verbindet diese Eigenschaften mit der Unempfindlichkeit gegenüber Verschmutzungen und

der einfachen Regelbarkeit des Wasserrades.

Neben dem Material veränderte sich auch die Nutzweise der Wasserräder und Turbinen. Wurden sie früher zum direkten Antrieb von Maschinen verwendet, so kam jetzt vermehrt die Erzeugung von elektrischer Energie hinzu. Nun wurden auch Wasserkraftwerke allein zur Stromgewinnung errichtet. Diese Technologie verbreitete sich rasch über die ganze Welt.

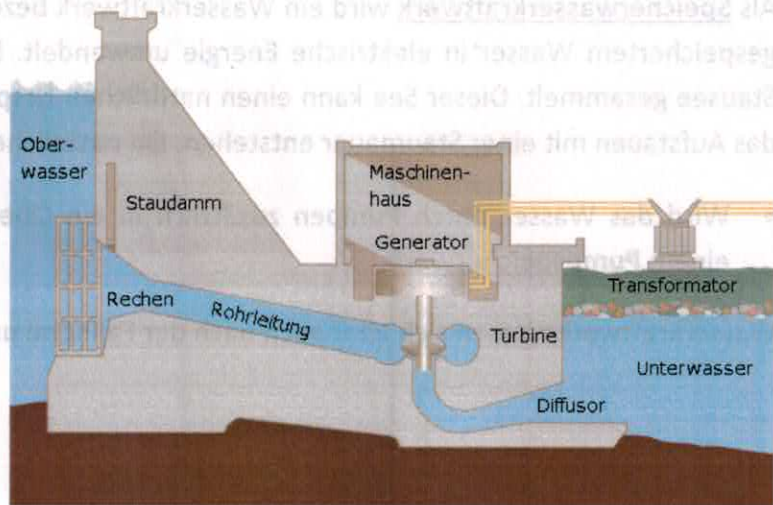
### Aufbau von Wasserkraftwerken

Je nach Betriebsweise lassen sich die Anlagen in Laufwasser- und Speicherwasser-Kraftwerke einteilen.

- a. Bei den Laufwasserkraftwerken nutzt man die zur Verfügung stehende Energie eines Fließgewässers kontinuierlich.

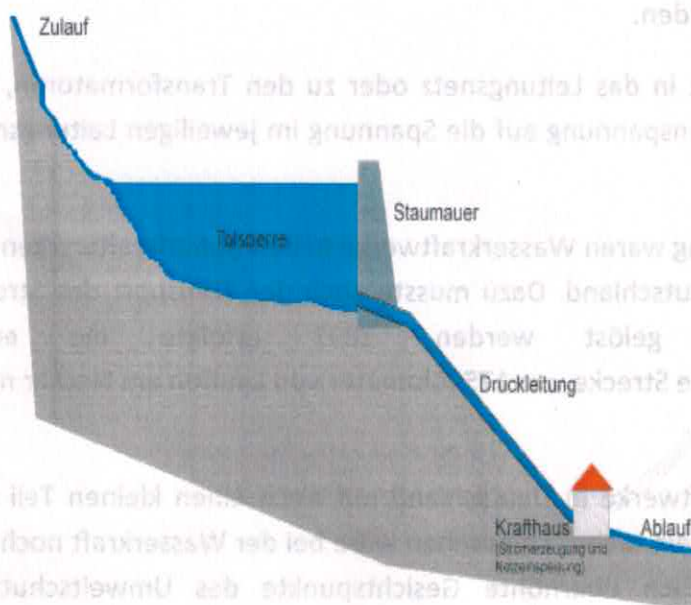
Ein **Laufwasserkraftwerk** ist ein Wasserkraftwerk ohne Speichermöglichkeit für das Betriebswasser. Es nutzt die Strömung eines Fließgewässers um Strom zu erzeugen. Dabei wird das Fließgewässer durch eine Wasserturbine geleitet, die die Lageenergie des Wassers in eine mechanische Drehbewegung umwandelt. Diese Drehbewegung treibt einen Generator an. Da die Leistung einer Turbine neben anderen Faktoren auch von der Fallhöhe abhängig ist, wird das Fließgewässer durch eine Wehranlage aufgestaut.

Laufwasserkraftwerke unterscheidet man auch nach Anordnung im Gelände: Bei einem **Flusskraftwerk** wird das Fließgewässer durch ein Wehr aufgestaut. Das im Flusslauf integrierte Kraftwerk nutzt fast das gesamte Flusswasser und führt es wieder direkt zu.



- Bei einem **Ausleitungskraftwerk** wird das Fließgewässer ebenfalls durch ein Wehr gestaut, jedoch durch einen eigenen Triebwasserkanal zum Kraftwerk geleitet. Im natürlichen Flussbett verbleibt der nicht genutzte Restwasseranteil.

b. Bei **Speicherwasserkraftwerken** wird die Energie nach Bedarf zur Stromerzeugung genutzt.





Als **Speicherwasserkraftwerk** wird ein Wasserkraftwerk bezeichnet, das die Lageenergie von gespeichertem Wasser in elektrische Energie umwandelt. Dazu wird das Wasser in einem Stausee gesammelt. Dieser See kann einen natürlichen Ursprung haben, er kann auch durch das Aufstauen mit einer Staumauer entstehen. Ein natürlicher Zufluss speist diesen Stausee.

- Wird das Wasser durch Pumpen zusätzlich in ein Oberbecken befördert, spricht man einem **Pumpspeicherwerk**.

Wasserkraftwerke lassen sich aber auch nach der Fallhöhe unterscheiden.

### Elektrischer Strom aus Wasserkraft

In der Weihnachtszeit 1875 bewunderten Hotelgäste in St. Moritz eine durch Wasserkraft betriebene Beleuchtungsanlage.

Das Grundprinzip der Stromerzeugung von Strom beruht auf dem Prinzip der „**elektromagnetischen Induktion**“. Sie findet in den Generatoren statt. Durch die Drehung des von der Turbine angetriebenen Rotors (Polrades), der als Elektromagnet ausgebildet ist, wird in den Spulenpaketen des Stators Spannung induziert. An den Klemmen des Stators kann dann Strom abgenommen werden.

Vom Stator fließt der Strom direkt in das Leitungsnetz oder zu den Transformatoren, wo dann die Energie von der Maschinenspannung auf die Spannung im jeweiligen Leitungsnetz angehoben (= transformiert) wird.

Zu Beginn der Elektrizitätsversorgung waren Wasserkraftwerke neben Dampfkraftwerken die wichtigsten Stromlieferanten in Deutschland. Dazu musste auch der Transport des Stroms über größere Entfernungen gelöst werden. 1891 erfolgte die erste Wechselstromübertragung über eine Strecke von 175 Kilometer von Lauffen am Neckar nach Frankfurt am Main.

Inzwischen können die Wasserkraftwerke in Deutschland nur noch einen kleinen Teil des derzeitigen Strombedarfs decken. Rein technisch gesehen wäre bei der Wasserkraft noch ein Ausbaupotenzial vorhanden. Vielfach überhöhte Gesichtspunkte des Umweltschutzes, zahlreiche bürokratische Hemmnisse, aber auch betriebswirtschaftliche Überlegungen bremsen derzeit einen weiteren Ausbau, obwohl die Wasserkraft ein Zukunftenergielieferant ist.



## Kleinwasser-Kraftwerke

In der Regel spricht man von Kleinwasser-Kraftwerken, wenn die Anlagen unter einer Ausbauleistung von 1.000 kW liegen. Davon waren Ende 2006 in Deutschland etwa 7.300 Anlagen in Betrieb, die etwa 8 – 10 % des Wasserkraftstroms produzierten. Im Jahr 2007 wurden in Deutschland rund 20,7 Mrd. Kilowattstunden Strom aus Wasserkraftnutzung erzeugt. Dies entspricht einem Anteil an der deutschen Stromerzeugung von 3,4 %, einem Anteil von 23,6 % an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und einer Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 22,6 Mio. Tonnen.

In Bayern gab es um 1850, begünstigt durch gute Gefälleverhältnisse und meist ausreichende Wasserführung in den Bächen und Flüssen rund 6.400 Wasserkraftanlagen. Durch die von Oskar von Miller angeregte Elektrifizierung Bayerns und die Entwicklung verschiedener Turbinentypen stieg die Anzahl der Anlagen bis 1926 auf rund 11.900 Anlagen. So konnte der bayerische Stromverbrauch bis Mitte der zwanziger Jahre fast ausschließlich aus Wasserkraft gedeckt werden. Ab den sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts verursachte die günstigere Kostenstruktur für Strom aus Kohle-, Öl- und Kernkraftwerken ein drastisches Sterben vor allem bei den Kleinwasserkraftwerken. Die Zahl der Wasserkraftanlagen sank bis 2007 auf 4.007 mit einer Gesamtleistung von rund 2.850 MW.

Einzelne Kraftwerke können den EVU eine gesicherte, gleichmäßige Leistung nicht garantieren. Nur eine „große Betriebsgemeinschaft“ schafft die Voraussetzung für die Lieferung eines gleichmäßigen Leistungsbandes.

## Was heißt nun erneuerbare Energie?

Dies soll am Beispiel der Wasserkraft wie folgt erläutert werden:



Die Sonne ist der Motor des Wasserkreislaufs auf der Erde. Ihre Wärme lässt Wasser verdunsten. Als Wasserdampf wird es innerhalb der Atmosphäre transportiert und schlägt sich als Regen oder Schnee auf der Erde nieder. Dabei regnet über dem Meer etwas weniger Wasser ab, als dort verdunstet. So ergibt sich ein Nettoimport von Wasser aus den Meeren auf die Kontinente. Dadurch werden Schneefelder, Gletscher, Bäche, Flüsse, Seen und Grundwasserströme gespeist. Dieses Wasser mündet wieder ins Meer - ein geschlossener Kreislauf.

Weil sich dieser Vorgang ständig wiederholt, spricht man von erneuerbarer Energie.



Überall auf unserer Erde ist heute eine gesicherte und wirtschaftliche Versorgung mit elektrischer Energie von größter Bedeutung. Die bisher bei uns eingesetzten Energieträger wie Kohle, Erdöl, Erdgas und Kernkraft werden nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen, bzw. sind zum Teil mit erheblichen Problemen für die Umwelt behaftet. Hinzu kommt, dass die schrumpfenden Reserven bei den fossilen Energieträgern zwangsläufig zu steigenden Energiepreisen führen werden. Wir brauchen deshalb vermehrt regenerative Energiequellen.

### Vorteile von Wasserkraftwerken

Dazu gehört die Wasserkraft, die bei uns für die Energieversorgung des Menschen schon seit Jahrhunderten eine wichtige Rolle spielt. Wasserkraft ist wirtschaftlich, weil sie

**keine Energiekosten, geringe Betriebskosten, eine lange Lebensdauer,  
eine hohe Betriebssicherheit und einen geringen Wartungsaufwand**

hat. Durch den Einsatz von erneuerbaren Energien kann auch eine Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgen. Bei der Stromerzeugung durch fossile Brennstoffe (z. B. Kohle, Erdöl) entsteht bei der Erzeugung von

**1 kWh Strom auch 1 kg CO<sub>2</sub>**

Umgekehrt bedeutet dies natürlich, dass bei der Erzeugung von

**1 kWh Strom aus Wasserkraft, 1 kg CO<sub>2</sub> vermieden wird.**

Konkret wurden mit der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2006 68,1 Mio. t CO<sub>2</sub> vermieden. Die 4.031 Kleinanlagen in Bayern erzeugen ca. 1.040 GWh/a. Sie ersparen so 11.960.000 t CO<sub>2</sub> pro Jahr. Eine „Kleinanlage“ spart so im Jahr **258 t CO<sub>2</sub> !!!**

Gefährliche Klimaänderungen sind nur noch zu vermeiden, falls die Reduktion von Treibhausgasen deutlich stärker als bisher verfolgt wird. Insbesondere muss der vom Menschen verursachte Ausstoß von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) bis 2050 global um etwa 45 - 60 % gegenüber 1990 gesenkt werden. Dies bedeutet, dass die Industrieländer ihren Ausstoß von Treibhausgasen bis 2020 um mindestens 20 % verringern müssen.

Die Wasserkraft, als eine der erneuerbaren Energien, kann nach wie vor einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, die von der Europäischen Union gesteckten, und von der Bundesregierung noch erhöhten Ziele zu erreichen.



# 10 gute Gründe für die Wasserkraft



1. Die Energieerzeugung ist **sauber** und **umweltfreundlich**, verbraucht keinerlei Rohstoffe und erzeugt **keine** umweltbelastenden **Abfallprodukte**, wie z. Bsp. Kohlendioxid.
2. Sie ist in **unendlicher Menge vorhanden** und steht auf **unendliche Zeit** immer zur Verfügung.
3. Die **dezentrale Erzeugung** erhöht die **Versorgungssicherheit**, verbessert die **Importunabhängigkeit**, verringert die Transport- und Umspannverluste und schützt auch vor Sabotageakten.
4. Die erzeugte Energie ist **grundlastfähig**, **planbar** und bei Speicherkraftwerken ist sie auch innerhalb weniger Sekunden zu Spitzenlastzeiten als variable **Regelenergie** abrufbar.
5. Wasserkraftanlagen arbeiten weitgehend **lärmfrei**, reichern das Wasser mit **Sauerstoff** an und die Betreiber **reinigen** das Wasser vom Zivilisationsmüll.
6. Die **ausgereifte Technologie** mit einem Wirkungsgrad von ca. 90 % garantiert eine **zuverlässige Funktion** und eine lange Lebensdauer der Anlagenteile. Als **heimischer Energieträger** im strukturschwachen ländlichen Raum sorgt sie für Arbeitsplätze und funktioniert als **Notstromversorgung** des Landes.
7. Die meist mit Wasserkraftwerken verbundenen Stauräume bilden wertvolle Lebensräume für Mensch und Natur, sie erhalten den **Grundwasserspiegel** und **verhindern** unkontrollierte Überflutungen durch **Hochwasser**.
8. An vielen **bereits bestehenden Querverbauungen** könnte ohne großen Eingriff in Natur und Landschaft **Energie aus Wasserkraft** gewonnen werden. Allein in Bayern gibt es ca. 30.000 Querbauwerke, aber nur ca. 4.200 Wasserkraftanlagen.
9. In den Tosbecken nach den Wehren (dient der Energievernichtung) wird die **Energie der Hochwässer kontrolliert abgebaut** und vermeidet damit einen gewässerbiologisch schädlichen Längsverbau der Ufer.
10. In vielen Anlagen ist der **ökologische Zustand einwandfrei**, da **Restwasserauflagen**, **Fischauf- und Abstiegshilfen**, sowie kleine Abstände der Gitter des Rechenreinigers schon längst verwirklicht worden sind. Als älteste aller Regenerativen Energien sorgt sie schon seit langem für eine **Klimastabilisierung**, ohne sie wäre die Technik nicht dort, wo sie heute ist.