

Wasserkraftwerke

Wasserkraft ist eine schon sehr stark genutzte erneuerbare Energie mit einem hohen Anteil an der weltweiten Stromversorgung. In Deutschland ist diese Energiequelle bereits fast vollständig erschlossen. Sie sichert eine zuverlässige und gleichmäßige Versorgung und wird somit vornehmlich zur Deckung der Grundlast eingesetzt. Die sehr dynamisch regelbaren Pumpspeicherkraftwerke stellen zudem einen wichtigen Ausgleich anderer unregelmäßiger Energiequellen dar und dienen zur Deckung der Spitzenlast. Ein hohes Potential, das bisher aber nur teilweise erforscht und genutzt worden ist, liegt in der Energiegewinnung aus Meereswellen und –strömungen. Die geringe Praxiserfahrung ist auf hohe Investitionskosten und schwierige Installationsbedingungen im offenen Meer zurück zu führen.

Vor allem aus großen Staudamm-Projekten resultieren neben starken ökologischen Beeinträchtigungen auch oft Sicherheitsrisiken und (Zwangs-) Umsiedlungen von Menschen.

Wasserkraft

Wasserkraft oder Hydroenergie bezeichnet die Strömungsenergie von fließendem Wasser, welche durch geeignete Maschinen in mechanische Energie umsetzbar ist. Früher wurde diese mechanische Energie in Wassermühlen direkt genutzt, heutzutage wird die mechanische Energie meist in Wasserkraftwerken in elektrische Energie umgewandelt.

Das Nutzen der Wasserkraft ist im Prinzip das Ausnutzen der potentiellen Energie des Wassers im Schwerfeld der Erde. Diese wird durch den Wasserkreislauf auf natürliche Weise erzeugt. Der durch Verdunstung aufsteigende Wasserdampf kondensiert, es bilden sich Wolken. Gesättigte Wolken regnen sich an Berghängen ab, das Wasser fließt über Flüsse wieder ins Meer. Beim Herunterfließen wandelt sich die potentielle Energie in kinetische Energie (abzüglich Reibungsverluste) um, welche dann für den Menschen durch Wasserräder bzw. Wasserturbinen nutzbar gemacht werden kann. Die Wasserkraft gehört somit zu den erneuerbaren Energien. [1]

Historische Nutzung

Bereits um ca. 1200 v.Chr. wurden Wasserräder in Form von Schöpfrädern zur Bewässerung in der Landwirtschaft eingesetzt, unter anderem in Mesopotamien, China, Indien und Ägypten. Den Römern dienten Wasserräder schon um 100 n.Chr. zum Antrieb von Mahlmühlen, in Deutschland waren Wassermühlen erst ca. 500 Jahre später bekannt. Ab dem 12. Jahrhundert waren diese dann u.a. als Säge- und Mahlmühlen in ganz Mitteleuropa weit verbreitet. Mit Beginn der Industrialisierung wurden Wasserräder dann zunehmend auch für den Antrieb von Maschinen benutzt, sowie z.B. im Bergwerkswesen für Materialtransport und Entwässerung der Gruben. Im 19. Jahrhundert kamen erstmals Wasserturbinen zum Einsatz, wodurch immer größere Wassermengen und immer höhere Gefälle nutzbar wurden. Mit der Einführung der Elektrizität entstanden auch die ersten Wasserkraftwerke. Ab nun musste die Energie nicht mehr vor Ort mechanisch übertragen werden, sondern konnte in elektrischen Strom umgewandelt werden. [1]

Heutige Nutzung global

Heute ist die Wasserkraft mit einem Anteil an der weltweiten Elektrizitätsversorgung von etwa 16% die global am intensivsten genutzte regenerative Energiequelle. Die Nutzungsmöglichkeiten sind jedoch stark abhängig von der geographischen Lage. In Europa sind z.B. Island und Norwegen stark begünstigte Länder, die ihren Strombedarf beinahe vollständig aus Wasserkraft decken. In Österreich, Italien, Schweden und der Schweiz stammen immerhin 50% der erzeugten Energie aus Wasserkraft. Global sind u.a. Ghana und Brasilien (jeweils ca. 80%) starke Nutzer dieser regenerativen Energiequelle. [2], [3]

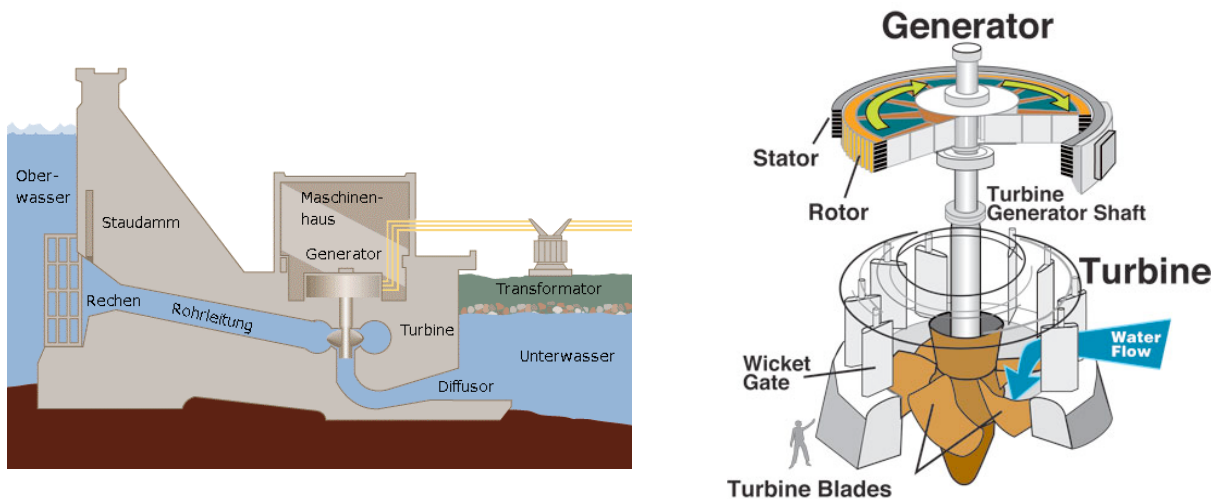
Heutige Nutzung in Deutschland

Deutschland weist demgegenüber weniger günstige naturräumliche Voraussetzungen für die Nutzung von Wasserkraft auf. Im Jahr 2006 wurden ca. 3,5% des Strombedarfs durch Wasserkraft gedeckt. Über 80% dieser Energiemenge wurde in den niederschlagsreichen Mittelgebirgsregionen in Bayern und Baden-Württemberg erzeugt. Deutschlandweit sind ca. 7000 Wasserkraftwerke installiert. Ein Großteil sind Kleinwasserkraftwerke mit einer Leistung von weniger als einem Megawatt. Nur etwa 400 Kraftwerke erbringen eine Leistung von über 1 MW, produzieren aber mehr als 90% des aus Wasserkraft gewonnenen Stroms. Das unter Berücksichtigung technischer, ökologischer und infrastruktureller Belange nutzbare Potential der Energiequelle Wasserkraft ist in Deutschland Schätzungen zufolge bereits zu 85% erschlossen. Ein Zuwachs an Leistung ist daher in erster Linie durch Modernisierung und Optimierung bereits vorhandener Anlagen zu erwarten. [3]

Aufbau eines Wasserkraftwerkes

Da es sehr viele verschiedene Typen von Wasserkraftwerken mit unterschiedlichen Funktionsweisen gibt, soll hier nur exemplarisch auf den Aufbau eines an einer Stauanlage errichteten Kraftwerkes eingegangen werden (vgl. Abbildung).

Das hinter einem Staudamm aufgestaute Wasser (Oberwasser) wird über Rohrleitungen in die Turbine(n) geleitet. Ein Rechen verhindert dabei, dass Treibholz oder größere Fische in die Schaufeln der Turbine geraten. Ein Diffusor gleicht vor dem Eintritt des Nutzwassers in das Unterwasser Abweichungen im Druck oder der Strömungsgeschwindigkeit wieder aus. Die in Metern gemessene Differenz von Ober- und Unterwasser wird Fallhöhe genannt und ist ein entscheidender Faktor in der Berechnung der Leistung einer Wasserturbine (siehe unten). [1]



Das Herzstück eines jeden Wasserkraftwerks ist die Turbine. Eine Wasserturbine wandelt die kinetische Energie von Flüssigkeiten in Dreh- oder Rotationsenergie um. Die Laufschaufeln der Turbine werden durch den Wasserstrom in Drehung versetzt, die Drehung wird dann als Antrieb für einen Generator genutzt. Dieser wandelt die Rotationsenergie in elektrischen Strom um. Ein konstantes Drehmoment der Arbeitsmaschine sorgt für eine gleichmäßige Drehzahl der Turbine. Andernfalls wird die Drehzahl über Regler konstant gehalten.

Die Leistung P (in Watt) einer Wasserturbine ist das Produkt aus Wirkungsgrad η der Turbine, Wasserdichte ρ , Erdbeschleunigung g , Durchflussvolumen V und Fallhöhe h :

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

Der Wirkungsgrad bezeichnet generell das Verhältnis von abgegebener und zugeführter Leistung und ist bei Wasserturbinen sehr hoch (bis über 90%). Die Formel macht deutlich, dass eine geringe Fallhöhe durch großes Durchflussvolumen kompensiert werden kann und umgekehrt. Eine Wasserturbine muss den unterschiedlichen Fallhöhen und Durchflussmengen der Anlage optimal angepasst sein. Für Großkraftwerke sind oft individuelle Anfertigungen erforderlich. Die Besonderheit von Wasserturbinen ist die aufwendige Regelung ihrer Drehzahl bei immer leicht schwankenden Durchflussmengen. Der Anteil einer Wasserturbine am Investitionsvolumen eines Kraftwerkes beträgt daher bei Großanlagen 20% und bei Kleinanlagen bis zu 50%. Jedoch zeichnen sich Wasserturbinen durch eine erhebliche Lebensdauer aus (>60 Jahre). [1]

Typen von Wasserkraftwerken

Eine Kategorisierung von Wasserkraftwerken kann unter verschiedenen Gesichtspunkten geschehen, z.B. durch Einteilung nach Leistung, Auslastung oder Bauart. Die Leistung eines Kraftwerkes ist dabei definiert durch die eingespeiste Strommenge im Kalenderjahr dividiert durch die Jahreslaufzeit in Stunden. Eine Einteilung nach Auslastung macht deutlich, ob das jeweilige Kraftwerk zur Deckung der Grund-, Mittel- oder Spitzenlast konzipiert ist.

Folgende Typen von Wasserkraftwerken werden in diesem Kapitel vorgestellt: Lauf- oder Flusskraftwerke, (Pump-)Speicherkraftwerke, Gezeitenkraftwerke, sowie Wellen- und Meeresströmungskraftwerke. Somit wird sowohl auf die wichtigsten bereits etablierten Typen von Wasserkraftwerken als auch auf einige Prototypen aus der aktuellen Entwicklung eingegangen.

Fluss- und Laufwasserkraftwerke

Fluss- oder Laufwasserkraftwerke nutzen die Strömung eines Flusses zur Stromerzeugung. Sie besitzen keine Speichermöglichkeit, das Flusswasser wird direkt über eine Turbine geleitet. Charakteristisch für diese Art von Kraftwerk ist eine geringe Fallhöhe und große Durchflussmengen, Wehranlagen können jedoch Durchfluss und Fallhöhe noch steigern. Stromerzeugung ist rund um die Uhr möglich, zudem zeichnen sich Laufwasserkraftwerke durch gute Auslastung der Turbinen und geringe Betriebskosten aus, weswegen sie zur Deckung der Grundlast eingesetzt werden. Jedoch kann es in der Leistung jahreszeit- oder tidebedingte Schwankungen geben. Aus dem Bau von Flusskraftwerken (Querverbauung) können erhebliche ökologische Beeinträchtigungen resultieren (siehe unten). [1]

Ein neuartiger Typ eines Flusskraftwerks ist die so genannte Stromboje. Dabei handelt es sich um eine im Fluss verankerte Boje, in die Turbine und Generator direkt eingebaut sind. Der Einsatz von Strombojen ist in mittleren bis großen Flüssen möglich (Tiefe >2m, Breite >4m). Voraussetzung ist eine ruhige, schnelle und gleichmäßige Strömung (mind. 2 m/s). Der Einsatz von Strombojen erfordert keine bauliche Veränderung im Fluss, verändert das Landschaftsbild nur wenig und behindert den Schiffverkehr nicht. Die Stromboje kann in bisher nicht nutzbaren



Flussabschnitten eingesetzt und auch leicht wieder entnommen werden. Ökologische Beeinträchtigungen, wie sie aus dem Bau herkömmlicher Flusskraftwerke resultieren (vgl. unten), gibt es nicht. Bisher ist jedoch lediglich ein Prototyp in Österreich in Betrieb, der Strom für etwa 30 Haushalte produziert. Es ist aber die Entwicklung von leistungsstärkeren Bojen sowie der Zusammenschluss von mehreren Bojen zu „Wasserparks“ mit erheblich höheren Leistungen geplant. [4]

(Pump-)Speicherkraftwerke

Speicherkraftwerke nutzen das hohe Gefälle (bzw. die hohe potentielle Energie des Wassers) und die Speicherkapazität von Talsperren zur Stromerzeugung. Dazu wird Wasser in einem Stausee gesammelt. Dieser hat entweder einen natürlichen Ursprung oder ist durch Aufstauen mittels einer Staumauer oder eines Staudammes entstanden. Über Rohrleitungen wird das Wasser auf die Turbine am Fuße der Staumauer geleitet. Durch das hohe Gefälle ist Stromerzeugung schon mit einer geringen Wassermenge möglich (vgl. obige Formel).

Der Vorteil gegenüber anderen (Wasser-)Kraftwerken ist, dass die Leistung binnen kürzester Zeit zur Verfügung steht und gut regelbar ist. Daher werden Speicherkraftwerke zur Deckung der Spitzenlast eingesetzt. Sie können zudem den Ausfall anderer Kraftwerke kurzzeitig überbrücken und sind schwarzstartfähig.

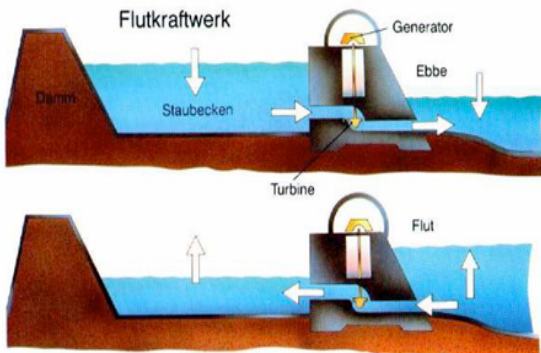
Eine besondere Form des Speicherkraftwerkes ist das Pumpspeicherkraftwerk (PSW). Dieses dient zur Speicherung von elektrischer Energie durch Umwandlung in potentielle Energie (von Wasser). In Schwachlastzeiten wird unter Energieaufwand Wasser aus einem Fluss oder See in das höher gelegene Staubecken gepumpt. Mit diesem gespeicherten Wasser kann in Spitzenlastzeiten Strom produziert werden, wobei die Erzeugung wie beim normalen Speicherkraftwerk funktioniert. Ein PSW ist sehr flexibel regelbar und seine Leistung ist innerhalb von Minuten abrufbar.

Pumpspeicherkraftwerke zählen nicht zu den erneuerbaren Energiequellen, da mehr Energie zum Hochpumpen benötigt wird, als anschließend wieder gewonnen werden kann. Jedoch sind alle Alternativen zur Energiespeicherung energetisch ungünstiger und das Hoch- und Runterfahren konventioneller Kraftwerke als Anpassung an die Lastzeiten würde wesentlich mehr Energieverlust verursachen.

Durch den Ausbau der eher unregelmäßigen Stromproduktion aus Windenergie steigt die Bedeutung einer flexiblen Ausgleichsmöglichkeit, wie sie durch PSW gegeben ist. Das Problem ist derweil noch die große Entfernung zwischen typischen Standorten von Windkraftanlagen (Küste) und PSW (Mittelgebirge). [1]

Gezeitenkraftwerke

Der bekannteste Vertreter derer Kraftwerke, die ihre Energie aus dem Meer gewinnen, ist sicher das Gezeitenkraftwerk. Ein Gezeitenkraftwerk nutzt die Lageenergie des wechselnden Meeresspiegels und entnimmt daher die Energie der Erddrehung und der Anziehungskraft zwischen Sonne, Mond und Erde. Zum Bau dieser Kraftwerke werden Flussmündungen oder natürliche Meeresbuchten mit Staumauern vom offenen Meer abgetrennt. Durch Öffnungen, die mit Turbinen versehen werden, kann bei Flut das Meerwasser einströmen, bei Ebbe wieder ablaufen. Die Turbinen können so in beiden Flussrichtungen Strom erzeugen.



Der Bau eines solchen Kraftwerks ist allerdings nur an Meeresbuchten oder Flussmündungen mit einem besonders hohem Tidenhub ($>5\text{m}$) wirtschaftlich rentabel. Schätzungen gehen daher weltweit von nur ca. 100 möglichen Standorten mit einem Potential von insgesamt 30.000MW aus. Technische Schwierigkeiten der Gezeitenkraftwerke ergeben sich vor allem durch das starke Abnutzen der Turbinen aufgrund der Salzkorrosion. Bedenken bezüglich Umweltbeeinträchtigungen beziehen sich vornehmlich auf den Bau großer Staumauern, mit denen Flussmündungen versperrt werden und somit z.B. Tierwanderungen behindert werden.

Aufgrund des geringen Tidenhubs in Nord- und Ostsee wird das Potential dieser Energiequelle in Deutschland als gering angesehen. [5]

Meeresströmungskraftwerke

Ein anderes Konzept zur Stromgewinnung aus dem Meer realisieren Strömungskraftwerke. Diese nutzen Meeresströmungen und funktionieren wie eine Windkraftanlage unter Wasser. Jedoch sind im Vergleich Meeresströmungen berechenbarer als das Wetter und vor allem permanent vorhanden. Durch die hohe Dichte von Wasser (im Vergleich zu Luft) ist eine geringere Strömungsgeschwindigkeit notwendig (ca. 2m/s) und es können wesentlich kleinere Rotorblätter benutzt werden als bei Windkraftanlagen.

Meeresströmungen treten in den Weltmeeren aufgrund einer Vielzahl von Ursachen auf. Vor allem Gezeitenströmungen könnten in Zukunft aufgrund ihrer küstennahen Verfügbarkeit zur Energiegewinnung genutzt werden. Im Vergleich zum Gezeitenkraftwerk ist jedoch ein Strömungskraftwerk mit geringerem Aufwand – vor allem ohne den Bau einer Staumauer – zu realisieren. Zugleich wirkt es sich voraussichtlich auch weniger stark auf die marine Umwelt aus, weil aufgrund der langsamen Rotation der Blätter keine Beeinträchtigung der Tier- und Pflanzenwelt erwartet wird.

Das Potenzial zur zukünftigen Stromerzeugung aus Meeresströmungen wird als hoch eingeschätzt. Konkrete Schätzungen variieren jedoch stark (16.000 – 170.000 MW), da Meeresströmungen bislang nur oberflächennah gut erforscht sind. Europaweit gibt es allein über 100 Standorte, jedoch ist das Potential in deutschen Gewässern aufgrund zu langsamer Strömungen gering.

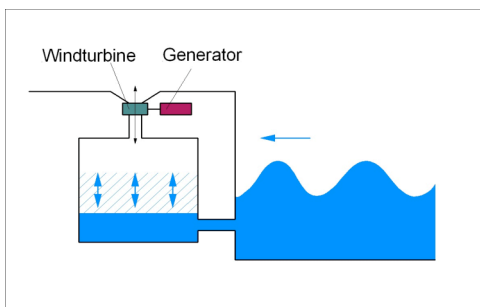
Obwohl gegenwärtig nur Prototypen von Strömungskraftwerken existieren, gelten die technischen Anforderungen als überschaubar, da man bei der Entwicklung von neuen Technologien auf Ergebnisse aus dem Bereich der Windenergie, des Schiffbaus und der Offshore-Technik zurückgreifen kann. Nach bisherigem Stand wird der erzeugte Strom mit 15-20 ct/kWh zunächst relativ teuer sein. Experten erwarten jedoch im Zeitraum der nächsten 5-10 Jahre eine deutliche Kostenreduktion durch technologischen Fortschritt und Serienfertigung. [5]

Wellenkraftwerke

Wellen stellen eine zeitlich und räumlich weniger regelmäßige, aber nicht weniger energiereiche Art der Meeresbewegung dar. Schätzungen besagen, dass weltweit durch die Wellenbewegung eine Leistung von 15-30 Kilowatt pro Meter Küstenlinie freigesetzt wird. Könnte diese Energie vollständig zur Stromerzeugung genutzt werden, so würde ein Küstenabschnitt von 30-60 km jeweils ein großes fossiles oder Kernkraftwerk ersetzen.

Auf diese Weise könnten etwa 15 Prozent des weltweiten Strombedarfs befriedigt werden.

Bis jetzt gibt es sehr viele unterschiedliche Prinzipien und Ideen, die Wellenenergie nutzbar zu machen. Als größtes Problem gilt dabei neben der sehr unregelmäßigen Leistung die zerstörerische Kraft von Riesenwellen, welche hohe Anforderungen an Material und Technik der Anlage stellt. [5]



Eine Möglichkeit besteht darin, durch die Wellenbewegung in einem abgeschlossenen Röhrensystem (sog. *oscillating water column*, OWC) mit Hilfe von Wasser oder Luft eine Turbine antreiben zu lassen (siehe Bild). Bisherige Leistungen von Prototypen dieses Konzepts sind enttäuschend (ca. 21 kW), Verbesserungen aber geplant. [5],[6]

Mehr Erfolg verspricht man sich von Auftriebskörpern, die auf der Meeresoberfläche treiben. Die „Seeschlange“ ist so ein Auftriebskörper und besteht aus mehreren Stahlrohren, welche über Gelenke miteinander verbunden sind. Wellen setzen die einzelnen Rohre in Bewegung. Die Gelenke sind mit hydraulischen Pumpen versehen, die einen Generator antreiben.

Aus ökologischer Sicht ist die Ölfüllung der Pumpen das einzige Bedenken, jedoch sind alternative Füllungen möglich und geplant. Durch eine patentierte Technologie ist die „Seeschlange“ resistent gegenüber Riesenwellen. Der Prototyp der „Seeschlange“ ist 150m lang, 700t schwer und erzeugt

750kW Leistung. Der Betreiber plant, mehrere „Seeschlangen“ zu Parks zusammen zu schließen und rechnet mit einer Gesamtleistung von 25MW pro Park. [7], [8]

Eine generelle Einschränkung beim Betrieb von Wellenkraftwerken könnte in den zu erwartenden zeitlichen Schwankungen der Stromproduktion liegen: Ähnlich wie bei Windkraftwerken unterliegt die erzielbare Leistung eines Wellenkraftwerks Variationen aufgrund des Wetters, die nicht vorhersehbar und nur schwer auszugleichen sind. [5]

(Ökologische) Auswirkungen

Nach Angaben des BMU gelten in Deutschland nur noch 21% der Gewässerstrecken als höchstens mäßig verändert. Umweltschützer sehen erhebliche Beeinträchtigungen des ökologischen Gleichgewichts sowohl durch Fluss- als auch durch Speicherkraftwerke. So resultieren aus Querverbauungen in Flüssen u.a. der Verlust der Flussschwindigkeit und des Geschiebetransports am Grund, der Ausfall von ökologisch wichtigen Überflutungen der Aue und die Beeinträchtigung von Fischwanderungen flussaufwärts und –abwärts. Durch entsprechende Auflagen im EE-Gesetz will die Bundesregierung die Einspeisevergütung vom Grad der oben genannten ökologischen Beeinträchtigungen abhängig machen. [2]

Große Stauanlagen verursachen oft noch andere Probleme viel größeren Ausmaßes. Durch Überflutung von ungerodetem Land werden bei der anschließenden Verrottung der Vegetation z.B. große Mengen CO² und Methan frei gesetzt. Zudem sind nach Ansicht einiger Experten auch die geophysikalischen Wirkungen eines Stausees nicht zu vernachlässigen, da durch den Druck der Wassermassen Erdbeben ausgelöst werden könnten. Im schlimmsten Fall könnte es zu Dammbürchen und somit zu unvorhersehbaren Kettenreaktionen kommen. Außerdem geht der Bau von großen Stauanlagen oft mit Zwangsvertreibungen und Umsiedlungen von Tausenden von Menschen einher. [9]

Wie verheerend die ökologischen Folgen einer riesigen Stauanlage sein können, zeigt das Beispiel des Assuan-Staudamms in Ägypten. Durch den Staudamm wird der nährstoffreiche Lehm zurück gehalten und jährliche Nilüberflutungen unterbunden, so dass es sowohl an natürlichem Dünger für die Bauern, an Nährstoffen für Fische und an Rohstoffen für die Ziegelindustrie mangelt. Das stehende Gewässer hinter dem Staudamm förderte die Ufererosion, zudem traten erstmals Krankheiten wie Bilharziose und Malaria auf. Darüber hinaus hat der Stausee durch die schnelle Verschlammung bereits einen Großteil seines Stauvermögens eingebüßt. [9]

Quellen

[1] Wikipedia, www.wikipedia.de

[2] BMU, Broschüre 2121, „Leitfaden für die Vergütung von Strom aus Wasserkraft“, 2005

[3] BMU, Broschüre 2302, „Wasserwirtschaft in Deutschland - Grundlagen“, 2006

[4] Aqua Libre, http://www.energiwerkstatt.at/stromboje/stromboje_01.htm

[5] **Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages, „Das Meer als Energiequelle“, Infobrief vom 10.11.2005**

[6] Wavegen, <http://www.wavegen.co.uk/pdf/art.1707.pdf>

[7] Pelamis Wave Power, <http://www.pelamiswave.com/media/pelamisbrochure.pdf>

[8] Tec21, 47/2002 „Seeschlange mit Auftrieb“

[9] „Buch der Synergie“, Ahmed Khammas, <http://www.buch-der-synergie.de>

Bilder

Aufbau Wasserkraftwerk: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Hydroelectric_dam.png

Turbine:

http://www.bpa.gov/corporate/BPANews/Library/images/Dams/Water_turbine.jpg

Stromboje: http://www.energiwerkstatt.at/_images/stromboje/sb_8748-mil_g.jpg

Gezeitenkraftwerk: <http://www.master-of-ice.de/Bilder/gezeitenkraftwerk.jpg>
OCW: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/Wellenkraftwerk.JPG>