



Basics of Electrical Power Generation

Wasserkraft



Stand: 2011
1 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

GE Global Research
Freisinger Landstrasse 50
85748 Garching
kontakt@reg-energien.de

Inhalte

1. Wasserkraft allgemein
2. Turbinenarten
3. Kraftwerkstypen

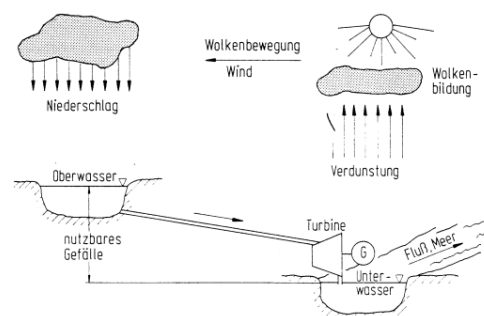
Stand: 2011
2 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Wasserkraft allgemein

Nutzung des Wasserkreislaufs

- Wasser verdunstet und Wasserdampf steigt auf
- Dadurch erfolgt Wolkenbildung
- Durch den Wind werden die Wolken bewegt
- Wasser wird durch Niederschlag in eine Hochlage gebracht
- Die potentielle Energie und die daraus resultierende kinetische Energie kann in mechanische und schließlich in elektrische Energie umgewandelt werden

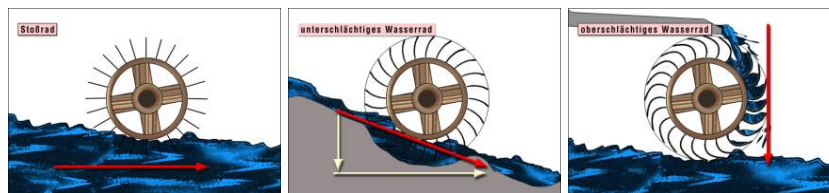


Stand: 2011
4 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Historische Wasserkraftnutzung

- Wasserräder gab es bereits um das Jahr 3500 v.Chr.
- Verwendung fanden sie für Getreidemühlen, Sägewerke oder Schöpfvorrichtungen
- Die älteste Form ist das „Stoßrad“ (rein kinetische Energienutzung)
- Beim „unterschlächtigen“ Wasserrad, besteht zwischen Ein- und Austritt des Wassers eine leichte Höhendifferenz
- Das „oberschlächtigen“ Wasserrad wird hauptsächlich durch das Gewicht des Wassers angetrieben (Rein potentielle Energienutzung)

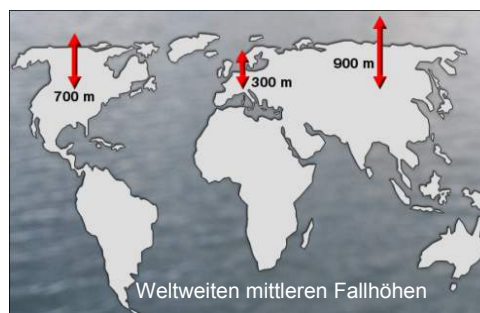


Stand: 2011
5 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Energie des Wassers

- Die Wasserkraftnutzung hängt ab von:
 - Der Fallhöhe des Wassers (H [m])
 - Der Wassermenge (Q [m³/s])
- Zusammenhang: $E = \rho \cdot Q \cdot H \cdot g$
- Die Wasserkraft ist um so größer, je größer die Wassermenge bzw. je höher die Fallhöhe ist

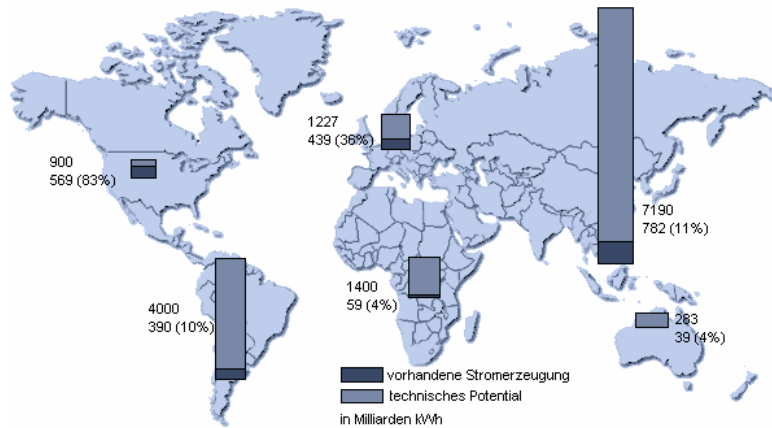


Stand: 2011
6 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Potentiale für Wasserkraft

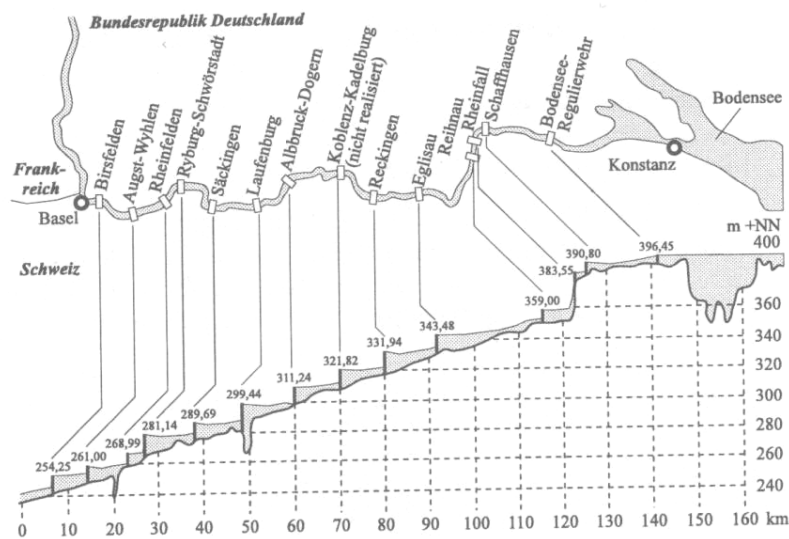
- Wasserkraft bietet weltweit große Potentiale
- Die Nutzung ist verschieden stark ausgeprägt und unterschiedlich ausgebaut



Stand: 2011
7 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Beispiel der Wasserkraftnutzung an einem Fluss

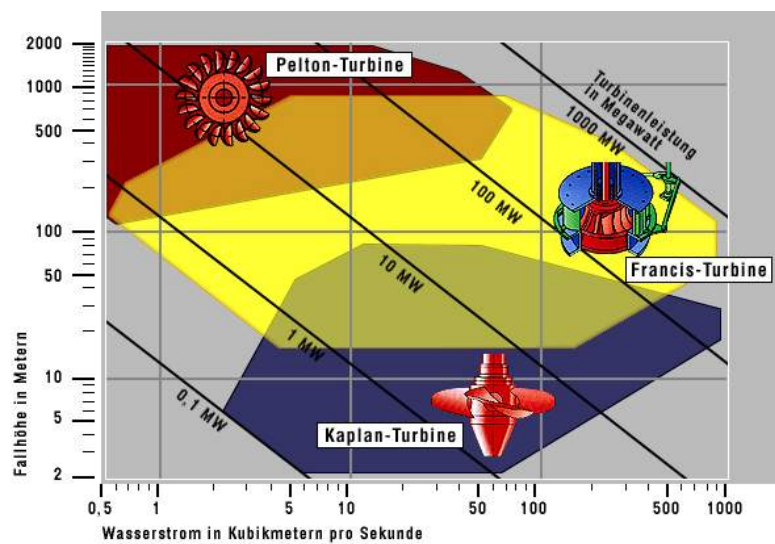


Stand: 2011
8 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Turbinenarten

Turbinen



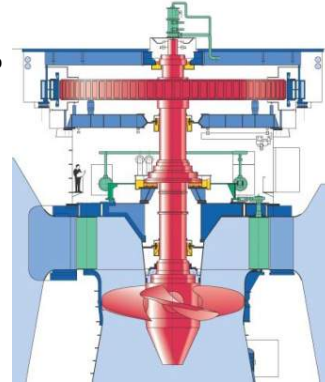
$$\text{Daumenregel : } P [\text{kW}] = 8 \cdot Q [\text{m}^3 / \text{s}] \cdot H [\text{m}]$$

Stand: 2011
10 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Kaplan-Turbine

- Einsatz bei großem Volumenstrom und geringer Fallhöhe
- Das Leitwerk lenkt das Wasser parallel zur Turbinenwelle auf die Schaufeln des Laufrades
- Der Wasserdruck nimmt vom Eintritt in das Laufrad bis zum Austritt stetig ab → Überdruckturbine
- Der Wirkungsgrad liegt zwischen 80–95 %
- Durch die verstellbaren Leit- und Laufradschaufeln kann die Kaplan-Turbine reguliert werden
- Sie ist prädestiniert für große Flusskraftwerke an ruhig fließenden Großgewässern

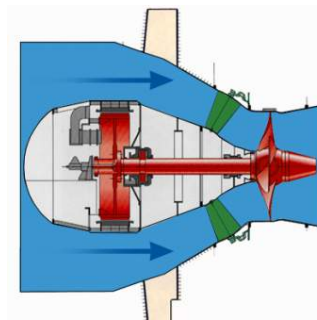


Stand: 2011
11 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Kaplan-Rohrturbine

- Sie ist eine Weiterentwicklung der Kaplan-Turbine
- Die Welle mit dem Laufrad wird horizontal in Richtung des strömenden Wassers eingebaut
- Damit werden Umlenkverlusten verringert
- Der Generator befindet sich in einem wasserdichten Gehäuse am verlängerten Ende der Turbinenwelle stromaufwärts
- Der Vorteil ist ein geringerer Platzbedarf durch die horizontale Anordnung

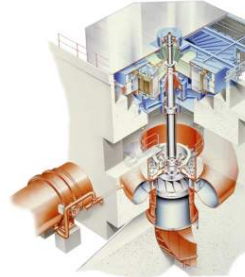


Stand: 2011
12 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Francis-Turbine

- Einsatz bei mittlerem Volumenstrom und mittlerer Fallhöhe
- Das Wasser wird durch ein schneckenförmiges Rohr, die Spirale, in zusätzlichen Drall versetzt
- Danach wird das Wasser durch ein Leitwerk mit verstellbaren Schaufeln auf die gegenläufig gekrümmten Schaufeln des Laufrads gelenkt
- Sie ist eine Überdruckturbine
- Der Wirkungsgrad liegt bei ca. 90%
- Sie kann auch als Pumpe arbeiten (Einsatz in Pumpspeicher-Kraftwerk)

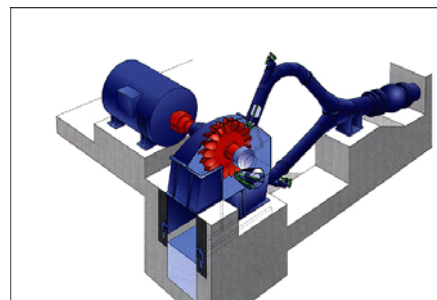
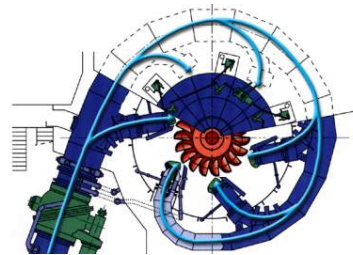


Stand: 2011
13 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Pelton-Turbine

- Einsatz bei geringem Volumenstrom und großer Fallhöhe
- Das Wasser strömt mit sehr hoher Geschwindigkeit aus einer oder mehreren Düsen auf die Schaufeln des Laufrades
- Gleichdruckturbine
- Die Schaufelblätter sind jeweils in zwei Halbschaufeln geteilt. Dadurch wird der Impuls gleichmäßig aufgeteilt
- 1000 m Fallhöhe
→ Wasserstrahl mit 500 km/h
- Der Wirkungsgrad liegt bei 85–90%

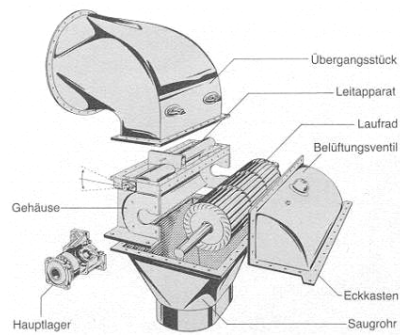


Stand: 2011
14 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Durchström-Turbine

- Einsatz bei kleinem Volumenstrom und kleiner Fallhöhe
- Das Wasser durchströmt den Turbinenläufer quer
- Sie wird auch als Ossberger-Turbine bezeichnet und ähnelt einem Wasserrad
- Sie ist auch eine Gleichdruckturbine



Stand: 2011
15 / 26

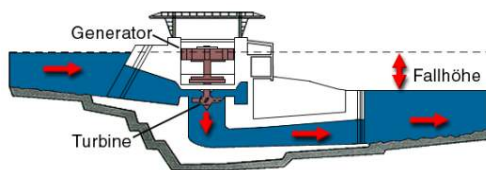
Umweltwissenschaften, Oliver Mayer



Kraftwerkstypen

Flusskraftwerk

- Ein Flusskraftwerk ist ein Wasserkraftwerk ohne Speichermöglichkeit für das Betriebswasser
- Mittels einer Wehranlage wird Flusswasser aufgestaut um die Gefällehöhe zu steigern
- Das Flusswasser wird durch eine Wasserturbine geleitet und die potentielle Energie des Wassers wird in mechanische Drehbewegung umwandelt
- Die Drehbewegung treibt einen Generator an



Stand: 2011
17 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Große Kraftwerke: Brasilien / China



Itapu 18GW



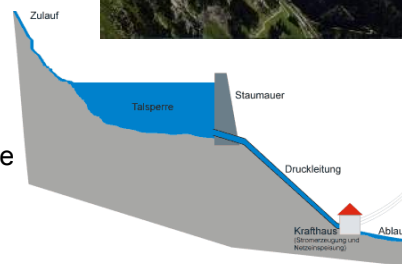
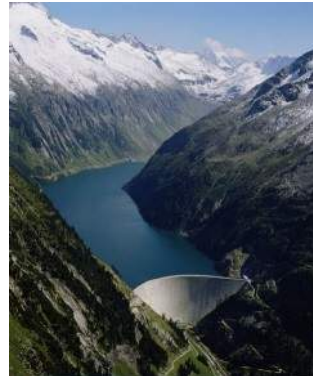
Three Gorges 22 GW

Stand: 2011
18 / 23

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Speicherkraftwerke

- Ein Speicherkraftwerk ist ein Wasserkraftwerk das die potenzielle Energie gespeicherten Wassers in elektrische Energie umwandelt
- Das Wasser wird in einem Stausee gesammelt
- Den Stausee erhält man durch natürlichen Ursprung oder durch Aufstauen mit einer Staumauer oder einem Staudamm
- Das Wasser wird bei Bedarf durch Rohrleitungen zum tiefer gelegenen Kraftwerk geleitet
- Das Wasser trifft hier auf die Turbine zur Stromerzeugung

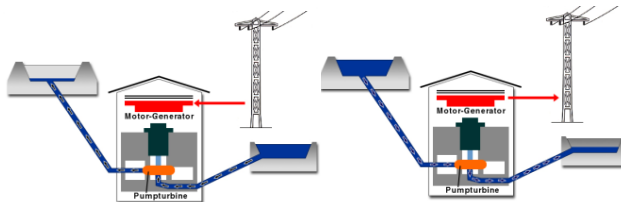


Stand: 2011
19 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Pumpspeicherkraftwerke

- Kennzeichen eines Pumpspeicherkraftwerkes ist der reversible Anlagenbetrieb
- Bei Stromüberschuss wird Wasser in ein hochgelegenes Speicherbecken gepumpt
- Bei Strombedarf läuft das Wasser durch die Turbine und erzeugt Strom
- Zurzeit sind Pumpspeicherwerke das großtechnische Verfahren mit dem höchsten Wirkungsgrad, um elektrische Energie zwischen zu speichern

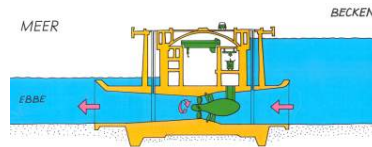


Stand: 2011
20 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Gezeiten-Kraftwerk

- Gezeiten-Kraftwerke wandeln potentielle und kinetische Energie aus dem Tidenhub des Meeres in elektrischen Strom um
- Es bremst die Strömungsbewegung der Meere durch Gezeiten minimal ab
- Die potentiellen Energie des gestauten Wassers wird durch Turbinen umgewandelt

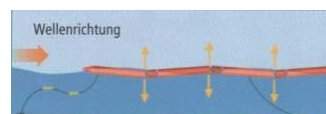
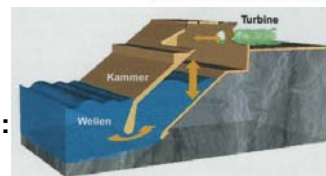
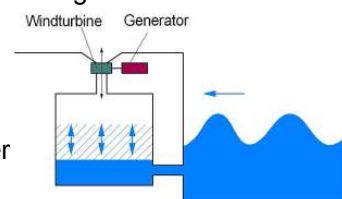


Stand: 2011
21 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Wellen-Kraftwerke (1)

- Die Energie der Meereswellen wird zur Gewinnung von elektrischen Strom herangezogen
- 4 verschiedene Prinzipien:
 - **Pneumatische Kammer:**
Luft wird in einer Kammer, in der sich der Wasserspiegel durch eine Verbindung zum Meer hebt und senkt komprimiert. Über eine Luftturbine wird der Luftdruck in Energie umgewandelt
 - **Relativbewegung von Schwimmkörpern:**
Sogenannte Seeschlange – Pelamis. Die Bewegung wird dabei meist über hydraulische Systeme umgesetzt, die den Generator antreiben
 - Wellenenergie in der Nordsee ~ 15 kW/m

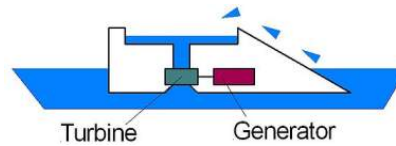


Stand: 2011
22 / 26

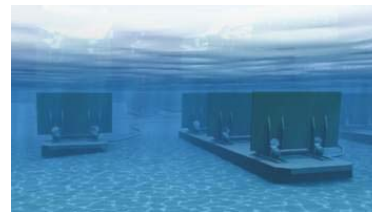
Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Wellen-Kraftwerke (2)

- **Rampe:**
Auflaufender Wellen werden über eine Rampe zu einem höheren Reservoir befördert. Von dort aus fließt das Wasser über Turbinen, die einen Generator antreiben, zurück ins Meer



- **Nutzung von Bodenwellen:**
Platten am Meeresboden schwanken mit der Bodenströmung. Über eine Hydraulik wird ein Generator angetrieben



Stand: 2011
23 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Wasserkraft weltweit

Land	Stromerzeugung gesamt	Anteil Wasserkraft	Anteil Wasserkraft
	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[%]
USA	2.755,0	275,5	10,0
Japan	902,2	92,1	10,2
Rußland	810,7	167,0	20,6
Frankreich	494,0	69,2	14,0
Deutschland	492,7	23,7	4,8
Kanada	465,1	293,0	63,0
Indien	266,0	71,7	27,0
Brasilien	240,0	228,0	95,0
Schweden	140,9	73,3	52,0
Norwegen	112,1	111,7	99,6
Niederlande	77,2	-	-
Schweiz	51,6	31,5	61,0
Österreich	48,2	34,0	70,5
Welt insgesamt	12.141,0	2.149,7	17,7

Stand: 2011
24 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Wasserkraft Deutschland

Bundesland	insgesamt erzeugte Elekt. Energie	davon Wasserkraft	Wasserkraftanteil
	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]	[%]
Baden - Württemberg	55,182	5,571	10,1%
Bayern	65,783	10,654	16,2%
Berlin	10,237	-	-
Brandenburg	17,683	0,005	0,0%
Bremen	4,319	-	-
Hamburg	1,339	-	-
Hessen	20,286	0,969	4,8%
Mecklenburg - Vorpommern	2,075	0,003	0,1%
Niedersachsen	50,991	0,389	0,8%
Nordrhein - Westfalen	126,554	0,598	0,5%
Rheinland-Pfalz	5,106	1,026	20,1%
Saarland	5,609	0,064	1,1%
Sachsen	31,051	1,062	3,4%
Sachsen - Anhalt	2,616	0,113	4,3%
Schleswig - Holstein	26,235	0,140	0,5%
Thüringen	1,136	0,569	50,1%
Deutschland	426,202	21,163	5,0%

Stand: 2011
25 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Zusammenfassung

- Der Wasserkreislauf wird zur Energieerzeugung genutzt
- Wasserkraft bietet weltweit große Potentiale
- Die Wasserkraft ist um so größer, je größer der Durchfluss und je höher die Fallhöhe des Wassers ist
- Turbinen sind je nach Voraussetzung (Kaplan-Turbine, Francis-Turbine, Pelton-Turbine, Durchström-Turbine)
- Kraftwerkstypen:
 - Flusskraftwerk
 - Speicherkraftwerke
 - Pumpspeicherkraftwerke
 - Gezeiten-Kraftwerk
 - Wellen-Kraftwerke

Stand: 2011
26 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer

Frei

Stand: 2011
27 / 26

Umweltwissenschaften, Oliver Mayer