

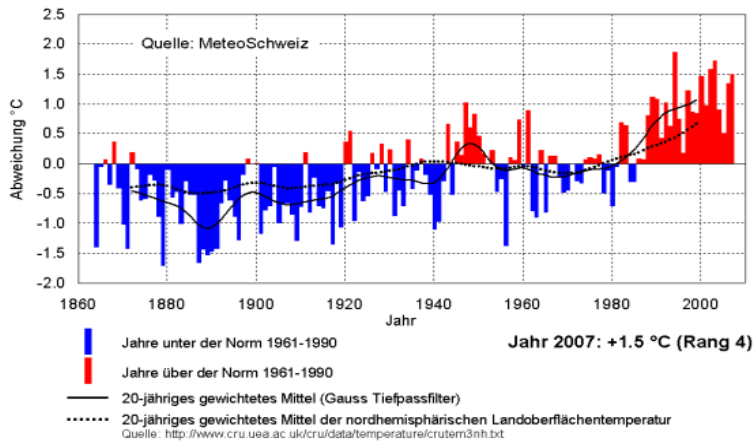
# Herausforderungen des Klimawandels für die Wasserkraftnutzung in der Schweiz

Dr. Walter Hauenstein, Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband



## Um welchen Klimawandel geht es?

Jahres-Temperatur in der Schweiz 1864 - 2007  
Abweichung vom Durchschnitt 1961 - 1990



Beobachtete Erwärmung seit den letzten 50 Jahren als (ziemlich sichere) Folge anthropogener Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen.

Im Mittel

Was wurde beobachtet...

Im Extremfall

- Seit Beginn der systematischen Messungen im Jahr 1864 ist es in der Nordschweiz im Jahresmittel um 1.2°C bis 1.5°C wärmer geworden, in der Südschweiz um etwa 0.9°C
- Die vergangenen 15 Jahre gehören zu den wärmsten in den letzten 500 Jahren. Die vier wärmsten Jahre traten alle nach 1990 auf
- Im 20. Jahrhundert hat der Winterniederschlag nördlich der Alpen und in der Westschweiz um 10 bis 30% zugenommen
- Die Perioden mit Schneebedeckung sind unterhalb von 1300 m deutlich kürzer geworden.

- Die Anzahl aussergewöhnlich kalter Tage hat im Laufe des 20. Jahrhunderts abgenommen
- Die Dauer und Intensität von Hitzeperioden hat zugenommen
- Im Herbst und Winter (aber nicht im Sommer) sind intensive Niederschläge häufiger geworden
- In Flüssen nördlich der Alpen, deren Einzugsgebiete unverbaut sind, haben die winterlichen Abflussspitzen zugenommen

was wird vom Klima noch erwartet?

- Aktuell rechnet man für die Schweiz bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts mit :
- einer Erwärmung um 1.0°C bis 3.5°C;
  - einer Zunahme des Winterniederschlags um bis zu 20%;
  - einer Abnahme des Sommerniederschlags um 5 bis 30%.

- Kältewellen und Frosttage werden seltener;
- Hitzewellen und Sommertrockenheit werden häufiger;
- Im Winterhalbjahr nehmen Häufigkeit und Intensität der Starkniederschläge zu.

Der Klimawandel hat in vier Themenbereichen Einfluss auf die Wasserkraftnutzung

Änderung von Menge und/oder Zeitpunkt des produzierten Stroms der bestehenden Kraftwerke

Beeinträchtigung von Kraftwerken

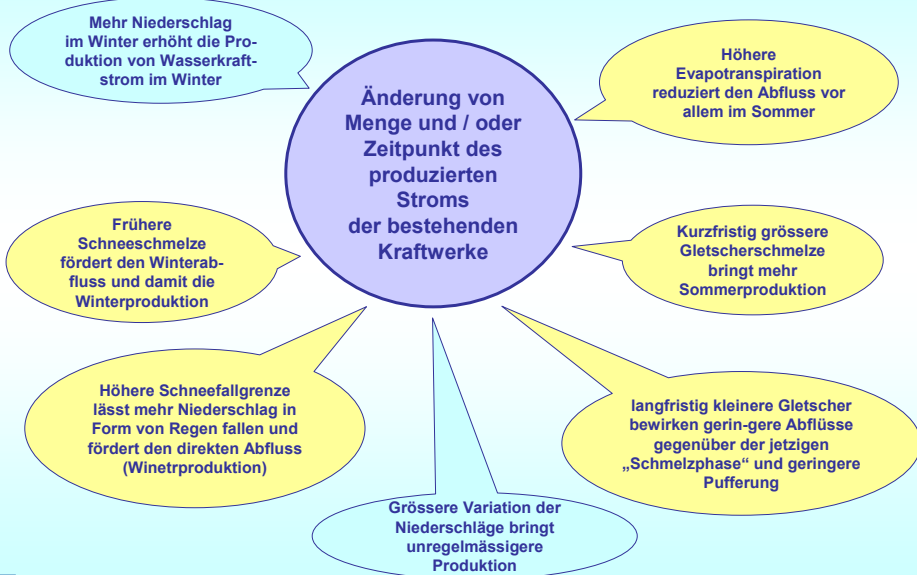
Erfordernisse an die Wasserkraftnutzung zur Bewältigung des Klimawandels

Einwirkungen des Klimawandels, welche die Wasserkraftnutzung erleidet

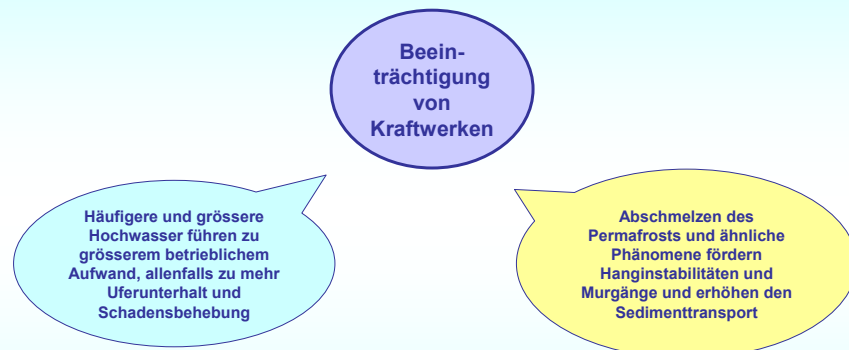
Anforderungen zur Bekämpfung der Auswirkungen der Klimaänderung

Anforderungen zur Dämpfung der Klimaänderung

**Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserkraftnutzung**



**Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserkraftnutzung**



**Es gilt aber auch umgekehrt:  
Ansprüche an die Wasserkraftnutzung angesichts des Klimawandels**

Anforderungen zur  
Bekämpfung der  
Auswirkungen der  
Klimaänderung

Grössere, respektive häufigere  
Hochwasser verlangen den verstärkten  
Einbezug der Speicherseen beim  
Hochwasserschutz

**Es gilt aber auch umgekehrt:  
Ansprüche an die Wasserkraftnutzung angesichts des Klimawandels**

Steigende  
Klimatisierungsansprüche  
fördern den  
Stromverbrauch

Weniger Heizgradtage  
bedingen weniger  
Heizenergie, was im Falle  
von Wärmepumpen auch die  
Wasserkraft betrifft.

Forderung nach CO<sub>2</sub>-freier  
Energie verlangt nach  
Optimierung der Produk-  
tion aller erneuerbaren  
Energien, auch der  
Wasserkraft

Anfor-  
derungen zur  
Dämpfung der  
Klima-  
änderung

Forderung zum  
Energiesparen lässt den  
Energieverbrauch sinken.  
Gilt das auch für den  
Stromverbrauch?

Die Förderung unregelmässig  
produzierender erneuerbarer Energieträger  
(Wind) fördert den Bedarf für Regel- und  
Ausgleichsenergie in den Stromnetzen

Änderung von  
Menge und / oder  
Zeitpunkt des  
produzierten  
Stroms  
der bestehenden  
Kraftwerke



Änderung von  
Menge und / oder  
Zeitpunkt des  
Produzierten  
Stroms  
der bestehenden  
Kraftwerke

### Qualitative Abschätzung der Auswirkungen auf die Stromproduktion

**Hoch gelegene Speicherkraftwerke** profitieren (vorläufig) von grosser Gletscherschmelze, welche ihnen im Sommer viel Wasser zuführt. Die Vorräte an Gletschereis sind allerdings begrenzt und schmelzen buchstäblich zusammen.

Erhöhte Winterniederschläge, in hohen Lagen auch künftig in Form von Schnee, werden erst im Sommerhalbjahr abflusswirksam. Sie helfen damit nach wie vor, die hoch gelegenen Speicher zu füllen.

**Laufkraftwerke an grösseren Flüssen** liegen tiefer als die Speicherkraftwerke; sie erhalten im Winter mehr Regen und weniger Schnee. In diesen Flüssen wird deshalb im Winter mehr Wasser fließen, weil der Regen direkt abflusswirksam wird und generell mehr Niederschlag fällt.

Umgekehrt werden im Sommer die Abflüsse zurückgehen, weil weniger Schnee zur Schmelze zur Verfügung steht, die Niederschläge eher kleiner sein werden und die Verdunstung grösser wird.

Quantitativ werden die Auswirkungen auf einige  
Prozent der heutigen Produktionserwartung geschätzt!

Änderung von  
Menge und / oder  
Zeitpunkt des  
produzierten  
Stroms  
der bestehenden  
Kraftwerke

### Fazit für die Stromproduktion

**Wir müssen damit rechnen, dass die Produktionserwartung aus dem heutigen Wasserkraftwerkspark mittel- bis längerfristig um rund 5-20% zurück geht und es eine Produktionsverlagerung vom Sommer auf den Winter geben wird.**

**Der Betrieb der Kraftwerke wird dadurch eher kostenintensiver werden.**

**Bauliche Massnahmen sind keine notwendig, da die zu turbinierenden Wassermengen nicht zunehmen werden!**

**Eine Kompensation der Minderproduktion ist allein durch Zubau neuer Kapazitäten möglich. Dieser Zubau ist beschränkt!**

**Um die Ziele der schweizerischen Energiepolitik (plus 2000 GWh Wasserkraft) zu erreichen, sind, bedingt durch die klimatischen Produktionsschmälerungen, noch wesentlich grössere Anstrengungen für den Kapazitätsausbau erforderlich!**



Beeinträchtigung  
von  
Kraftwerken

Beeinträchtigung  
von  
Kraftwerken

**Der Klimawandel kann durch verstärkte Hochwassertätigkeit  
den Kraftwerksbetrieb erschweren.**

Bedingt durch ihre Standorte sind Wasserkraftwerke grundsätzlich die am meisten hochwassergefährdeten Anlagen der ganzen Stromversorgungskette.

Sie sind aber so ausgelegt, dass sie auch grossen Hochwassern ohne grössere Schäden widerstehen können.

**Geschwemmel am  
Rechen  
hat  
Instandhaltungsaufwand  
und  
Produktionsreduktion  
an einigen  
Tagen im Jahr zur Folge**



Beeinträchtigung  
von  
Kraftwerken

**Kosten für die Geschwemmelentsorgung an  
Aare, Reuss und Rhein  
unterhalb der Alpenrandseen**

Jahr	Produktion in GWh			Kosten Geschwemmelbeseitigung In Mio Fr. (Rp./kWh)		
	Aare	Reuss	Rhein	Aare	Reuss	Rhein
1992	1'732	109	4'195	0.07	0.12	0.027
1993	1'691	106	4'480	0.05	0.08	0.038
1994	1'877	104	4'671	0.05	0.11	0.047
1995	1'759	116	4'747	0.05	0.07	0.051
1996	1'742	100	4'898	0.05	0.11	--
1997	1'595	89	4'005	0.07	0.13	0.041
1998	1'558	93	4'181	0.05	0.06	0.033
1999	1'830	110	4'474	0.06	0.05	0.042
2000	1'877	144		0.03	0.04	
Mittelwert	1'740	108	4'456	922'350 (0.05)	89'874 (0.08)	1'762'570 (0.04)



**Die Entsorgungskosten betragen für alle Kraftwerke zusammen  
rund 2,8 Mio. Fr. pro Jahr oder 0.05 Rp./kWh**

Beeinträchtigung  
von  
Kraftwerken

## Hochwasser und Murgang

**7. August 1978:**  
**Staumauer**  
**Palagnedra,**  
**Schluckfähigkeit**  
**HW- Entlastung**  
**900 m<sup>3</sup>/s**  
**Momentane**  
**Abflussspitze**  
**1800-2000 m<sup>3</sup>/s**  
**Schäden an**  
**rechtsseitiger**  
**Kernmauer**  
**Mauer hielt dem**  
**Ereignis stand**



**Sanierung der Mauer Palagnedra, systematische Untersuchung aller HW- Entlastungen, Ausbau bei diversen Anlagen.**

Beeinträchtigung  
von  
Kraftwerken

## Lawinen als Schadensverursacher

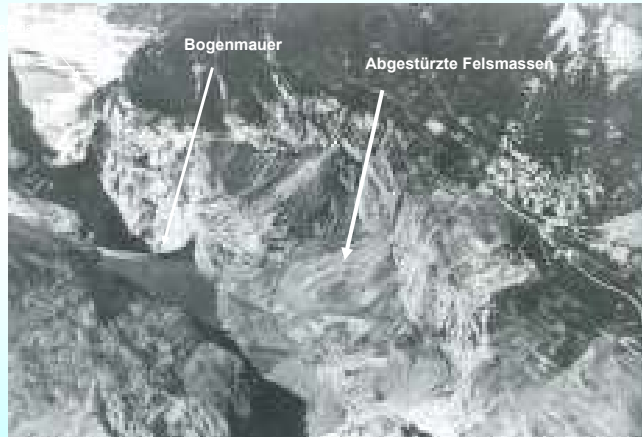
**Ab Mitte Februar 1999**  
**3.8 m Schnee im**  
**Lötschental.**  
**23. Februar 1999,**  
**Lawinnenedergang**  
**auf Staumauer**  
**Ferden**  
**Schneehöhe auf**  
**Luftseite bis 30m**  
**Unter Geländer,**  
**Zugangsstege,**  
**Messpfiler und**  
**Bedienungsgalerie**  
**zerstört.**  
**23./24. Mai 1999 HW-**  
**Abfluss von 25 m<sup>3</sup>/s**  
**über**  
**Entlastungsanlage**



Beeinträchtigung  
von  
Kraftwerken

### Hangrutsche gefährden Kraftwerke

**Vajont (Friaul): 265m hohe Bogenstaumauer in Italien. Probleme mit Stabilität der einen Talflanke beim ersten Aufstau 1960, Sanierungsarbeiten, verschiedene Aufstauversuche mit permanenter Rutschüberwachung. Plötzliche Beschleunigung des Rutsches am 9.10.1963! 270 Mio. m<sup>3</sup> Erd- und Felsmaterial stürzen mit bis zu 100 km/h in den See, der mit über 100 Mio. m<sup>3</sup> Wasser gefüllt ist. Flutwelle zerstört mehrere Dörfer und hinterlässt 2500 Tote**



Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
Association suisse pour l'aménagement des eaux  
Associazione svizzera di economia delle acque

Beeinträchtigung  
von  
Kraftwerken

### Bergstürze gefährden Kraftwerke

**Hintersand (Kanton Glarus): 24. Januar 1996, Absturz von 750'000 m<sup>3</sup> Fels vom Zuetribistock. 3. März 1996, weiterer Bergsturz von rund 2,2 Mio.m<sup>3</sup>. Fahrweg, Alpgebäude Vordersand, Magazin der KLL und umliegende Jägerhütten verschüttet. Bildung eines natürlichen Damms Hintersand. Installation eines provisorischen Betriebskonzepts zur Sicherung der elektrischen Anlagen, Massnahmen zur Durchleitung des Sandbaches durch den Schuttkegel.**

Bei bestehenden Anlagen sind allfällige Hanginstabilitäten in der Regel bekannt und werden, wo kritische Situationen vorliegen, permanent überwacht (Bsp. Sind Valle di Lei, Wägital, etc.).



Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
Association suisse pour l'aménagement des eaux  
Associazione svizzera di economia delle acque

Beeinträchtigung  
von  
Kraftwerken

### Fazit: Beeinträchtigung von Kraftwerken

**Erhöhte Hochwassertätigkeit kann zu aufwendigerem Betrieb der Kraftwerke führen.**

**Durch Hanginstabilitäten (Rückgang des Permafrosts) werden künftig Wasserfassungen und andere Kraftwerksanlagen häufiger beeinträchtigt durch mobilisiertes Lockergestein.**

**Zunehmende oder häufigere Hochwasser stellen oft keine Gefährdung, aber betriebliche Erschwernisse für die Kraftwerke dar.**



Anforderungen zur  
Bekämpfung der  
Auswirkungen der  
Klimaänderung



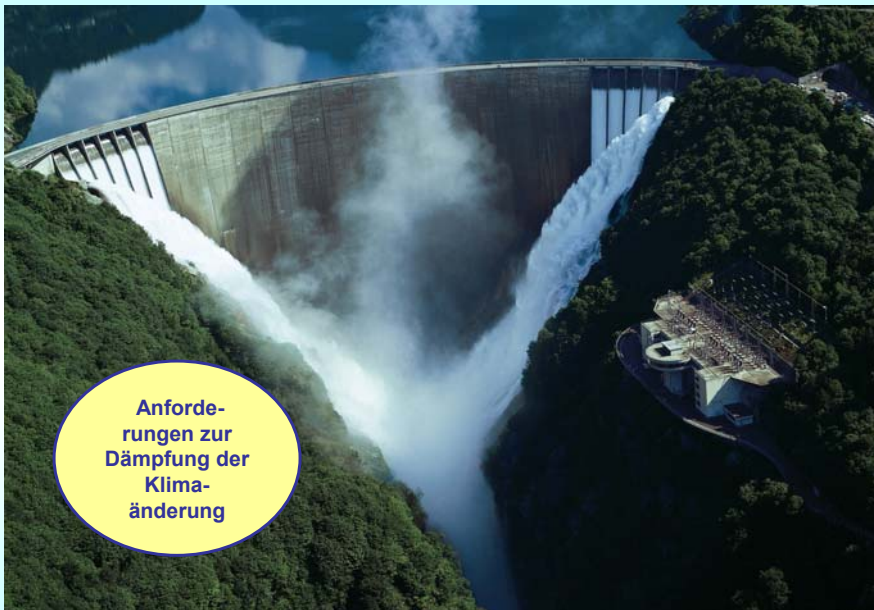
Anforderungen zur  
Bekämpfung der  
Auswirkungen der  
Klimaänderung

### Fazit Klimawandel und Hochwasserschutz durch Wasserkraft:

**Speicherkraftwerke haben einen nicht unerheblichen dämpfenden Einfluss auf die Hochwasserabflussspitzen. Bei zunehmender Hochwasserintensität wird diese Dämpfung an Bedeutung zunehmen.**

**Beim Kraftwerk Mattmark wurde zwischen den Kraftwerksbetreibern und dem Kanton Wallis eine Vereinbarung zur speziellen Bewirtschaftung des Stausees im Hochwasserfall ausgearbeitet.**

**Ferner hat der Kanton Wallis vor einigen Jahren ein flächendeckendes Hochwasserschutzsystem (Minerve) in Betrieb genommen, welches unter anderen Massnahmen die aktive Zusammenarbeit mit den Speicherbetreibern beinhaltet.**



Anfor-  
derungen zur  
Dämpfung der  
Klima-  
änderung

Anforderungen zur  
Dämpfung der  
Klimaänderung

**Der Energiehunger steigt und steigt,  
nicht nur, weil wir immer mehr Energie verbrauchen,  
sondern auch, weil sich neue Menschengruppen,  
welche bisher nur sehr bedingt Zugang zu Energie hatten,  
das Leben mit Energieanwendungen erleichtern wollen.**

**Gleichzeitig muss der Ausstoss von CO<sub>2</sub> drastisch reduziert  
werden.**

**Ein propagierter Ausweg aus diesem Widerspruch ist,  
vermehrt erneuerbare Energie zu nutzen.**

**Welchen Beitrag kann die Wasserkraft als mit Abstand bedeutendster  
Vertreter zur Förderung der erneuerbaren Energien leisten?**

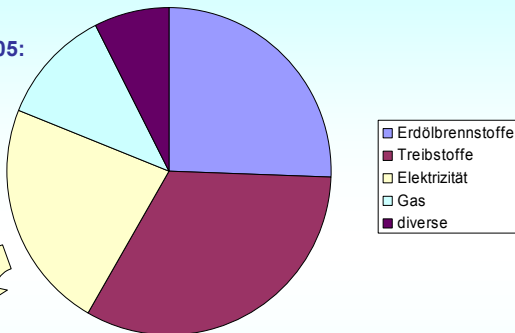
Anforderungen zur  
Dämpfung der  
Klimaänderung

**Wasserkraft hat Potentiale!**

**Endverbrauch von Strom 2005:  
Rund 250'000 GWh**

**Stromkonsum: 23,2 % des  
Energieverbrauchs oder  
57'330 GWh**

**Wasserkraftproduktion: 60 %  
oder rund 35'000 GWh**



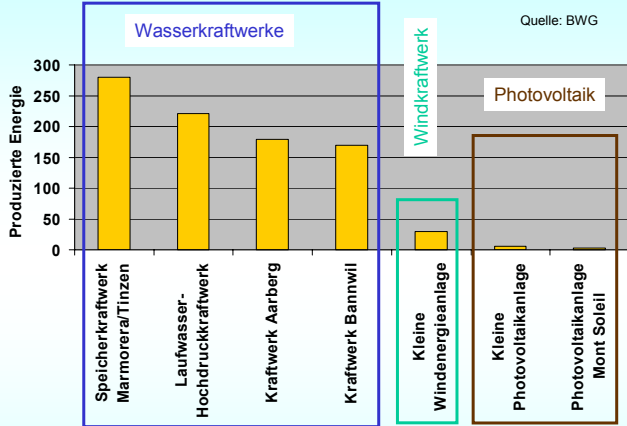
**Photovoltaik: 0.06% der Wasserkraft  
Wind: 0.03% der Wasserkraft**

**Mengenmässig  
nicht vernachlässigbar:  
Klimaschutz erfordert erhalt  
und Ausbau der Wasserkraft**

Anforderungen zur Dämpfung der Klimaänderung

### Wasserkraft hat Potentiale!

Energetische Erntefaktoren verschiedener erneuerbarer Energiequellen



Quelle: BWG

Endverbrauch Energie Schweiz 2002 : 853'670 TJ

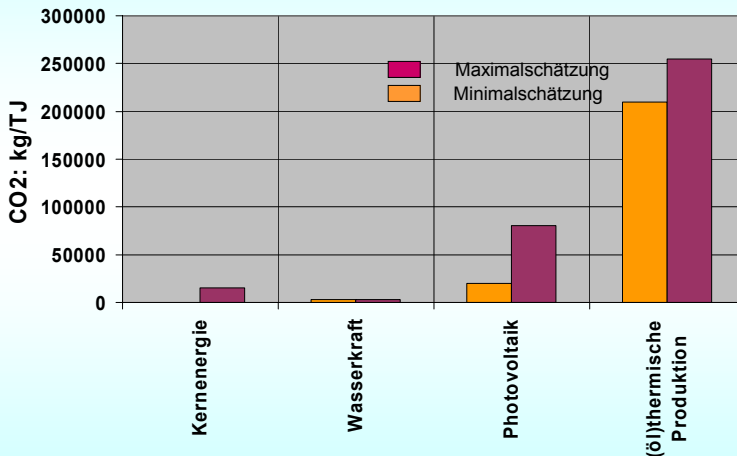


Brenn- und Treibstoffverbrauch für den Bau sämtlicher Wasserkraftwerke der Schweiz: 50'000 TJ

Anforderungen zur Dämpfung der Klimaänderung

### Wasserkraft hat Potentiale!

CO<sub>2</sub>- Ausstoss in kg/TJ

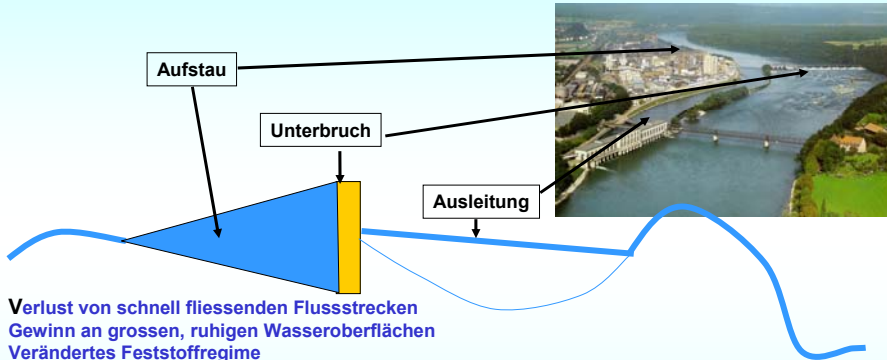


Praktisch CO<sub>2</sub>-frei

Anforderungen zur Dämpfung der Klimaänderung

## Wasserkraft hat aber auch Grenzen!

Nicht alle Einwirkungen auf die Fließgewässer sind erwünscht!



Verlust von schnell fließenden Flussstrecken  
Gewinn an grossen, ruhigen Wasseroberflächen  
Verändertes Feststoffregime  
Kleinere Fließgeschwindigkeiten  
Veränderung der Flussbett- Morphologie  
Veränderung Abflussregime  
Verbesserung HW- Schutz  
Behinderung der Migration  
Reduzierte Abflusstiefe  
Hohe Wassertemperatur im Sommer

Nicht alle Einwirkungen auf die Fließgewässer sind erwünscht

Keine Verschlechterung der Wasserqualität

Anforderungen zur Dämpfung der Klimaänderung

## Es besteht ein (ökologischer) Interessenkonflikt

Einerseits

Ressourcenschonend bezüglich Baumaterial und Betriebsstoffen  
praktisch CO<sub>2</sub>- frei und klimaschonend  
hochwertige Energie  
hohe Wertschöpfung  
Beschäftigung in abgelegenen Gebieten  
touristische Nebennutzen  
Unabhängigkeit von Brennstoffimporten  
Beitrag zu Hochwasserschutz

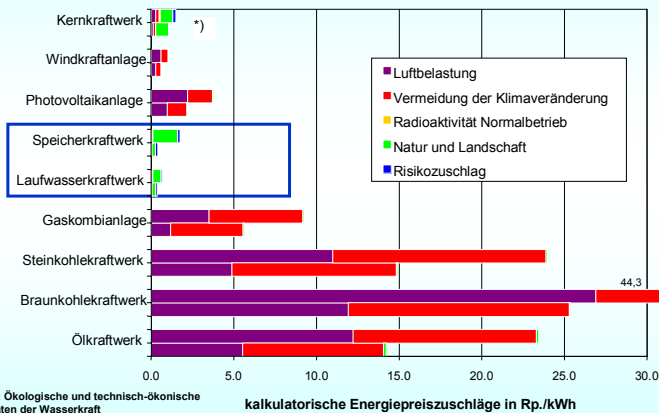
Andererseits

Einwirkungen auf das Gewässer mit negativen (und positiven) Konsequenzen

Anforderungen zur Dämpfung der Klimaänderung

## Wie soll dieser Interessenkonflikt bewertet werden?

### Bandbreite der externen Kosten als kalkulatorische Energiepreiszuschläge



Quelle: Ökologische und technisch-ökonomische Qualitäten der Wasserkraft  
SWV, Verbandschrift Nr. 59

Eine Bewertung ist schwierig!  
Die Ermittlung der externen Kosten ist ein Ansatz dazu.

Anforderungen zur Dämpfung der Klimaänderung

## Der Ausbau der Wasserkraftnutzung hat in der Schweiz bereits ein hohes Mass erreicht. Eine massive Steigerung ist nicht mehr möglich!

Die jüngste Studie zum Ausbaupotential der Wasserkraft in der Schweiz stammt aus dem Jahr 2004 und prognostiziert ein technisches Ausbaupotenzial von rund 7'500 GWh (etwa 20%) (Produktion der Windkraftwerke in der Schweiz im Jahr 2003: 5.2 GWh, Photovoltaik: 16.6 GWh).

Die Bundespolitik erwartet einen Produktionszuwachs von 2'000 GWh bis 2030, die Umsetzung der Restwasservorschriften bei Neukonzessionierungen ergeben einen Verlust von rund 2'000 GWh, der Klimawandel dürfte nochmals einen Verlust in derselben Grösse ergeben.

Um das Ziel von plus 2'000 GWh zu erreichen, müssten also vom technischen Potenzial von 7'500 GWh rund 6'000 GWh realisiert werden können.

Anforderungen zur  
Dämpfung der  
Klimaänderung

## Grosses Potenzial für die Wasserkraft liegt in ihren Stärken zur Netzregulierung!

**Der Wasserkraftwerkspark der Schweiz weist dank der gebirgigen Topographie viele Speicherkraftwerke mit relativ hohen installierten Leistungen auf.**

**Diese eignen sich besonders gut zum kurzfristigem Ausgleich von Ungleichgewichten zwischen Produktion und Konsum. Vorausgesetzt ist aber, dass die Kraftwerke dann produzieren können, wenn Bedarf vorhanden ist. Ihr Einsatz darf deshalb nicht zur Minderung von Schwall und Sunk eingedämmt werden. Diese Minderung muss mit baulichen Massnahmen erfolgen.**

**Speicherkraftwerke eignen sich auch zum Ausbau zu Pumpspeicherkraftwerken, was den Einsatzbereich für die Netzregulierung noch erweitert.**

Anforderungen zur  
Dämpfung der  
Klimaänderung

## Fazit Beitrag der Wasserkraft zur Dämpfung des Klimawandels:

**Die Ziele der Bundespolitik bezüglich Steigerung der Produktion können langfristig kaum erfüllt werden, weil einerseits das Ausbaupotenzial verglichen mit diesem Ziel relativ bescheiden ist und andererseits Gewässerschutz und Klimawandel Einbussen der Produktion mit sich bringen.**

**Der Ausbau der Wasserkraft bedeutet einen Kompromiss zwischen Gewässerschutz einerseits und Klimaschutz, optimaler Rohstoffbewirtschaftung, Importunabhängigkeit, etc. andererseits.**

**Die gesetzlich-politischen Mittel zur integralen Abwägung dieses Konfliktes aufgrund der Grundsätze der Nachhaltigkeit sind zum Teil mangelhaft.**

**Es muss alles daran gesetzt werden, dass das sinnvoll nutzbare Potenzial auch wirklich genutzt werden darf. Die Rahmenbedingungen für die Wasserkraftnutzung müssen diesem Ziel Rechnung tragen.**

**Die Speicherkraftwerke in der Schweiz haben gutes Potenzial, zum Ausgleich zwischen der unregelmässigen Produktion etwa von Windkraftwerken und dem Bedarf nach Strom beizutragen.**

## Zusammenfassung

**Die Wasserkraftnutzung steht in einer Wechselwirkung mit dem Klima.**

**Der Klimawandel wird die künftige Produktion beeinflussen. Es wird mehr Produktion im Winter und weniger im Sommer erwartet, insgesamt dürfte die Produktion um einige Prozent zurückgehen und unregelmässiger anfallen.**

**Der Klimawandel kann eine gewisse Gefährdung der Anlagen darstellen, die Aussichten sind aber nicht dramatisch.**

**Der Beitrag der Wasserkraftwerke zum Hochwasserschutz könnte künftig noch wertvoller und gezielter genutzt werden.**

**Ein verstärkter Einbezug der Wasserkraft für den Klimaschutz wäre wünschbar, stösst jedoch an Grenzen bezüglich Ausbaupotential und wird behindert durch ökologischen Interessenkonflikt.**

## Literaturhinweise



Hauenstein et al (1999): "Externe Effekte der Wasserkraftnutzung in der Schweiz",  
Verbandschrift Nr. 60,



Dettli et al (2000): "Ökologische (Teil A) und technisch/ökonomische (Teil B) Qualitäten der Wasserkraft",  
Verbandschrift Nr. 64,

Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, CH-5401 Baden, Switzerland, 1999/2000.