



Wasserkraft und Klimawandel in der Schweiz Vision 2030

Climate Talk - Dialog zwischen Wissenschaft und Wirtschaft

Tagungsunterlage

29. Oktober 2003







IMPRESSUM

Trägerschaft der Climate Talks:

ProClim- Forum für Klima und Global Change, Schweizerische Akademie für

Naturwissenschaften SANW

Occc Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung des EDI und UVEK

NFS Klima Nationaler Forschungsschwerpunkt Klima

Partner aus der Wirtschaft für den Climate Talk Wasserkraft:

IG Wasserkraft des Verbands Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE

Beteiligte Experten:

Aeberhard Jörg, ATEL, Leiter hydraulische Anlagen

Appenzeller Christof, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), Zürich

Bonvin Jean-Michel, EOS Holding, Lausanne

Burlando Paolo, ETH Zürich, Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft

Danioth Gerhard, Amt für Energie, Uri

Freitag Pankraz, Regierungsrat Kt. Glarus; Präs. Regierungskonferenz der Gebirgskantone

Gurtz Joachim, ETH Zürich, Institute for Atmospheric and Climate Science

Haeberli Wilfried, Uni Zürich, Geographisches Institut; Präsident GeoForum Schweiz

Hauenstein Walter, Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Hirschberg Stefan, Paul Scherrer Institut, Villigen

Imhof Karl, CEO ETRANS AG, Dietikon

Minor Hans-Erwin, Vorsitz der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie

Molinari Peter, Direktor EKW, Präsident der IG Wasserkraft des VSE

Petrascheck Armin W., Bundesamt für Wasser und Geologie BWG

Pohl Christian, Transdisciplinarity Net SANW / ETH Zürich

Robinson Christopher, Limnologie, EAWAG

Schädler Bruno, Bundesamt für Wasser und Geologie BWG; SGHL

Schär Christoph, ETH Zürich, Institute for Atmospheric and Climate Science

Schärer Hans-Ulrich, Bundesamt für Energie BfE, Sektion Erneuerbare Energien

Scheurer Thomas, Interakademische Kommission Alpenforschung Schweiz

Schleiss Anton, Institut d'Hydraulique et d'Energie, EPF Lausanne

Spreng Daniel, Center for Energy Policy and Economics, CEPE

Wokaun Alexander, Paul Scherrer Institut, Villigen

Reviewer:

Bundi Ulrich, EAWAG

Estoppey Rémy, BUWAL

Nauser Markus, BUWAL

Rodewald Raimund, Stiftung Landschaftsschutz Schweiz

Stiefel Adrian, WWF

Truffer Bernhard, EAWAG/Cirus - Center for Innovation Research in the Utility Sector

Vollenweider Stefan, Verein für umweltgerechte Elektrizität VUE

Wüest Alfred, EAWAG

Projektleitung und Redaktion:

Theres Grau, ProClim-

Organisatorische / redaktionelle Mitarbeit:

Christoph Ritz und Urs Neu, ProClim-

Roland Hohmann, OcCC

Martin Grosjean, NFS Klima

Peter Molinari, IG Wasserkraft

Nelly Lehmann, VSE

Die Climate Talks werden unterstützt vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Der Expertenworkshop des Climate Talk Wasserkraft wurde mitgetragen von der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie SGHL.

Wasserkraft und Klimawandel – Vision 2030 Climate Talk

Ziele der Tagung:

Fachleute aus der Wasserkraftwirtschaft und der Klimaforschung identifizieren gemeinsam offene Strategie- und Forschungsfragen, die im Hinblick auf visionäre Lösungen im Bereich von Wasserkraft und Klimawandel für den Zeithorizont 2030 gelöst werden sollten. Im besten Fall entsteht eine Liste mit offenen Fragen und ersten Lösungsansätzen, die zu zukünftiger Zusammenarbeit zwischen Wasserkraftwirtschaft und Klimaforschung anregt.

Die Thesen und Fakten zu Ökologie, Sicherheit, Betrieb und Politik, die Sie in dieser Tagungsunterlage finden, sollen die Suche nach Forschungslücken und geeigneten Instrumenten anregen.

Gesucht sind zudem visionäre Wege für eine weitere Zusammenarbeit zwischen der Wasserwirtschaft und der Forschung.

Climate Talks - Dialog zwischen Wirtschaft und Forschung

In Climate Talks diskutieren Partner aus der Wirtschaft und der Klimaforschung gemeinsam konkrete Fragestellungen zum Thema Wirtschaft und Klimawandel. Dies soll den Austausch von Bedürfnissen, Fragen und Wissen zwischen der Wirtschaft und der Forschung fördern.

INHALTSÜBERSICHT

EINLEITUNG	3
ÖKOLOGIE	4
WASSERKRAFT UND KLIMASCHUTZ Wasserkraftnutzung spielt eine wichtige Rolle für die CO ₂ -Bilanz der Schweiz. Die CO ₂ -Vermeidungskosten durch die Wasserkraftnutzung sind im Vergleich zu inländischen Alternativen günstig.	4
GLOBALE UND REGIONALE ÖKOLOGISCHE ASPEKTE Negative und positive Aspekte der Wasserkraft im regionalen Ökosystem stehen negativen und positiven Aspekten im globalen System gegenüber. Sie können nicht gegeneinander ausgespielt werden, müssen aber mittels einer gesellschaftlich-politischen Interessensabwägung gewichtet werden.	7
Unter zusätzlichem Einbezug von Gesellschaft und Wirtschaft ist die Nachhaltigkeitsbilanz der Wasserkraft für die Schweiz und Westeuropa positiv. Eine sehr gute Nachhaltigkeit ergibt sich, wenn die negativen Aspekte minimiert werden.	
ÖKOLOGIE UND RENTABILITÄT Win-Win-Lösungen zwischen regionaler und globaler Ökologie und Rentabilität sind für eine zukunftsorientierte Wasserkraft anzustreben oder sogar Bedingung.	9
SICHERHEIT	10
HOCHWASSERSCHUTZ Die Wasserkraftwerke leisten bisher einen wichtigen Beitrag zum Hochwasserschutz. Mit durch die Klimaänderung allenfalls zunehmender Hochwassertätigkeit könnte der Beitrag zum Hochwasserschutz an Bedeutung gewinnen und aktiv ausgebaut werden. Voraussichtlich werden die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftwerke im Bereich des Hochwasserschutzes nicht dramatisch sein.	10
GEFÄHRDUNG DER ANLAGE Die Klimaänderung führt zu vermehrten Hochwassern und Hanginstabilitäten (Permafrost, Niederschlag), wobei grosse Massenbewegungen für die Gefährdung der Kraftwerke von Bedeutung sind. Naturgefahren erhöhen den Aufwand für die Sicherheit der Kraftwerksanlagen.	13
BETRIEB	15
BEWIRTSCHAFTUNG Die Bewirtschaftung der Stauräume muss künftig auf Änderungen im Wasserhaushalt bedingt durch meteorologische und klimatologische Veränderungen Rücksicht nehmen. Der Strompreis entwickelt sich mit der Stromnachfrage, die sich als Folge der Klimaänderung verschieben könnte. Schweizer Speicherkraftwerke könnten zum Ausgleich der unregelmässigen Windstromproduktion Nordeuropas beitragen. Europaweite Vorhersagen von Wetter- und Klimadaten sowie regionale Abflussvorhersagen erlauben eine bessere Rentabilität der Speicherbewirtschaftung.	15
VERLANDUNG UND GESCHWEMMSEL Der Einfluss der Klimaänderung könnte den Sediment-, Geschiebe- und Geschwemmseltransport erhöhen und die Verlandung verstärken. Dies könnte Anpassungsinvestitionen und erhöhte Betriebsaufwendungen der Kraftwerksbetreiber erfordern.	20
POLITIK	22
KOSTENWAHRHEIT UND LANGFRISTIGKEIT	22
Klimafreundliche erneuerbare Energien wie die Wasserkraft werden nur genutzt, wenn die Nutzung rentabel ist. Heute sind Wettbewerbsverzerrungen vorhanden, die aus klimapolitischer Sicht unerwünscht sind. Es besteht die Gefahr, dass das Ausmass der Wasserkraftnutzung aus kurzfristigen Rentabilitätsüberlegungen reduziert wird. Darunter könnte im heutigen Umfeld der Klimaschutz leiden.	

EINLEITUNG

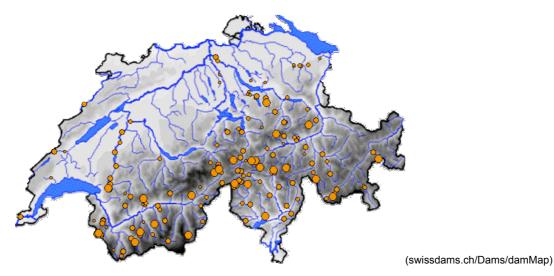
Mit der Klimaänderung begeben wir uns in Bereiche, in denen wir keine Erfahrungen haben. Die Variabilität der Ereignisse wird grösser sein als bisher. Bei einem sensiblen, bis an die Grenzen genutzten System hat jede Änderung Konsequenzen – in Form von neuen Gefahren und neuen Chancen. Entscheidend ist nicht nur die Richtung, sondern vor allem auch Geschwindigkeit und Grösse einer Veränderung.

Für den Zeithorizont 2030 lassen sich erste Veränderungen des Wasserkreislaufs voraussagen, die auch die Wasserkraftnutzung der Schweiz betreffen werden. Dieser Zeitraum deckt sich mit dem Ablauf der Konzessionsperioden der meisten Wasserkraftwerke der Schweiz und dem Erneuerungsbedarf. Zudem werden bis dann die Schweizer Kernkraftwerke ersetzt werden müssen. 2030 liegt nahe genug in der Zukunft, dass die Betroffenheit der Wasserkraft durch den Klimawandel als aktuell wahrgenommen wird.

In dieser für Klimaänderungen relativ kurzen Zeitspanne werden die Massnahmen des Klimaschutzes erst eine begrenzte Wirkung zeigen. Gefragt sind daher neben den unbedingt notwendigen Massnahmen der Emissionsminderung auch kurzfristig wirksame Anpassungsstrategien. Zusätzlich müssen für diesen Zeitraum auch mögliche Technologiesprünge sowie Veränderungen der Stromnachfrage in die Diskussion einbezogen werden. Die Klimadiskussion ist gekoppelt mit ökonomischen Veränderungen durch veränderte Rahmenbedingungen wie Liberalisierung, Windkraft oder neue Technologien.

Wasserkraft und Wasserwirtschaft beziehen sich im Rahmen dieses Dokuments auf die Wasser-kraftnutzung zur Stromproduktion und nicht auf die gesamte Schweizer Wasserwirtschaft. Die Aussagen gelten für die Schweiz, sind aber teilweise übertragbar auf weitere Alpenländer. Sie sind allgemein und können nicht direkt auf Einzelkraftwerke übertragen werden.

Für die Aussagen in dieser Tagungsunterlage wurde die geltende rechtliche Grundlage vorausgesetzt. Der Bund verfolgt bei der Wasserkraftnutzung in der Schweiz das Ziel, die mit Abstand wichtigste erneuerbare Energie der Schweiz mindestens auf dem heutigen Niveau zu halten.



Talsperren der Schweiz. Von den 40 Milliarden Kubikmeter Wasser, die aus der Schweiz jährlich über Rhein, Rhone, Po und Donau Richtung Meer fliessen, können 4 Milliarden Kubikmeter oder 10% temporär in den Stauseen gespeichert werden.

THESEN ZU WASSERKRAFT UND KLIMAWANDEL

ÖKOLOGIE

WASSERKRAFT UND KLIMASCHUTZ

Die Wasserkraftnutzung spielt eine wichtige Rolle für die CO₂-Bilanz der Schweiz.

Die CO_2 -Emissionen beeinflussen das Klima stark und nachhaltig (Treibhauseffekt). Stromproduktion durch Wasserkraft ist CO_2 -arm und deckt einen wichtigen Anteil des Schweizer Energieverbrauchs. Rund 60% der Schweizer Elektrizitätsnachfrage bzw. 1/8 des gesamten Energiebedarfs (Heizung, Elektrizität, Verkehr, ...) werden mit Wasserkraft gedeckt. Für die CO_2 -Bilanz der Schweiz spielt die Wasserkraftnutzung daher eine wichtige Rolle.

• Für das Referenzjahr 1999 wurden die direkten Treibhausgasemissionen der Schweiz auf 40.8 Mt CO₂-Äquivalente geschätzt, die "grauen" Emissionen auf 14.3 Mt und also die totalen Emissionen auf 55 Mt¹. Mit Wasserkraft wurden in der Schweiz im Jahr 2002 rund 36'000 GWh Strom produziert. Diese Produktion ist CO₂-arm (4 g CO₂-eq. / kWh), während die Emissionen des UCTE²-Strommix im Mittel 497 g CO₂-eq. / kWh entsprechen. Würde der Schweizer Strom aus Wasserkraft durch Importe aus UCTE-Ländern ersetzt, würden die Emissionen des Schweizer Strommix um ca. 18 Mt CO₂-eq. steigen. Dies entspricht einem Drittel der gesamten Emissionen der Schweiz.

Unabhängig von verschiedenen Energie-Szenarien wird der Energieverbrauch (Zeithorizont 2030) grösser sein, als was die Wasserkraft und andere erneuerbare Energieträger allein abdecken können. Ein Anteil wird weiterhin durch fossile Quellen abgedeckt werden müssen. Daher spielt die Wasserkraft für die CO₂-Bilanz der Schweiz unabhängig von den verschiedenen Energie-Szenarien eine wichtige Rolle.

Die ${\rm CO_2\text{-}Vermeidungskosten}$ durch die Wasserkraftnutzung sind im Vergleich zu inländischen Alternativen günstig.

Die meisten beteiligten Experten schätzen, dass das verbleibende wirtschaftlich nutzbare Ausbaupotential der Wasserkraftnutzung in der Schweiz gering ist und hauptsächlich in Effizienzsteigerungen und Optimierungen bei Erneuerungen besteht. Der Beitrag der Wasserkraftnutzung an die CO₂-Reduktionsziele der Schweiz wird daher gering sein.

CO₂-Vermeidung im Sinne des Klimaschutzes ist jedoch auch der Erhalt der bestehenden Stromproduktion durch Wasserkraftnutzung auf mindestens dem heutigen Niveau, wie es den energiepolitischen Zielen des Bundesrates entspricht. Die Erneuerung bestehender Wasserkraftwerke führt somit zu günstigen CO₂-Vermeidungskosten. (vgl. Politik)

- Strom aus Wasserkraft ist CO₂-arm. Neue Technologien werden zwar die CO₂-Emissionen von Stromerzeugungssystemen mit fossilen Brennstoffen reduzieren, wenn ältere Systeme ersetzt werden (Abbildung 1). Die Emissionen werden jedoch weiterhin höher sein als diejenigen von Wasserkraft. Wird weiterhin Strom aus Wasserkraft- statt Kohlekraftwerken verbraucht, entsteht somit pro kWh rund ein kg CO₂ weniger (Tabelle 1). Die entstehenden Vermeidungskosten von 100 SFr. pro Tonne CO₂ sind günstig im Vergleich mit im Inland realisierbaren Projekten.
- Beim Vergleich mit andern Optionen der CO₂-Vermeidung ist zu beachten, dass es Massnahmen zum Nulltarif oder mit sehr niedrigen Kosten gibt. Auf den internationalen Märkten dürfte der Preis für 1 t CO₂-Reduktion unter 10\$ liegen. Die Frage ist jedoch,

¹ Aebischer et al., 2003; CEPE/PSI/ESU; Forschungsprojekt im Auftrag der Schweizerischen Gaswirtschaft

² UCTE - Union für die Koordinierung der Erzeugung und des Transports elektrischer Energie: Europäisches Verbundnetz (Deutschland, Frankreich, Italien, Spanien, Ex-Jugoslawien, Schweiz, Niederlande, Belgien, Österreich, Portugal, Griechenland, Luxemburg)

wie viel der Kyotoziele mit inländischen Massnahmen erreicht werden soll. Dies ist ein wirtschafts- und ein umweltpolitischer Entscheid. Mit grosser Wahrscheinlichkeit wird gefordert, einen Teil der Verpflichtungen der Kyotoziele bzw. des CO₂-Gesetzes im Inland zu erfüllen.

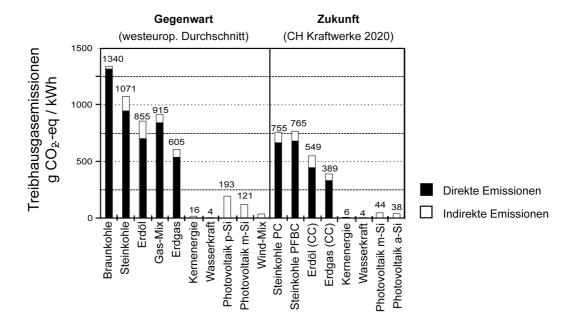


Abbildung 1: Kumulierte Treibhausgasemissionen heutiger und zukünftiger Stromerzeugungssysteme (Dones et al., 1998). Obwohl neue Technologien die CO₂-Emissionen auch im fossilen Bereich reduzieren können, sind die Emissionen weiterhin sehr viel höher als bei Wasserkraft und anderen erneuerbaren Energien.

Tabelle 1: Kumulierte Emissionen a (basierend auf [Frischknecht et al., 1996]).

Energiekette	CO ₂ (in t/GWh _e)		
Photovoltaic (CH)	106 - 257		
Windkraft (CH)	26 - 61		
Wasserkraft (CH)	4		
Steinkohle	954 - 1 177		
Braunkohle	1 102 - 1 458		
Öl	784 - 920		
Brenngas ^b	648 - 3 175		
Erdgas (D)	528		
Kernenergie	8 - 29		

^a Bandbreite für Stromerzeugung in UCTE³-Ländern, Ausnahme siehe Anmerkungen

-

^b Ein Großteil der in UCTE betriebenen Gaskraftwerken werden mit einem Mix aus Brenngasen betrieben, der neben Erdgas auch Hochofengas und/oder Kokereigas enthält. Dies kann je nach Gasmix und dem Ursprung der Brenngase zu einer großen Bandbreite bei den Resultaten führen.

³ vgl. Fussnote 3

Manche Experten schätzen das Ausbaupotential der Schweizer Wasserkraft höher ein, durch Effizienzsteigerungen, Zubauten oder Neubauten. Unter dieser Annahme ist der Ausbau der Wasserkraft in der Kategorie "Substitution durch erneuerbare Energien" des Kyotoprotokolls eine günstige Option. Damit könnte die Wasserkraft auch einen Beitrag zu den Reduktionszielen leisten. Diese Option ist günstig, wenn von rein klimapolitischen Werten ausgegangen wird.

Im Verkehrssektor ist CO₂-Vermeidung möglich, wenn Benzin zum Beispiel durch Wasserstoff ersetzt wird, der mit Strom aus Wasserkraft produziert wurde (400 SFr. pro Tonne CO₂ bzw. ca. 95 Rappen pro Liter Benzin) (Abbildung 2). Andere Ersatzenergien für Benzin wie Wasserstoff aus Altholz oder Naturgas aus Biomasse weisen jedoch tiefere CO₂-Vermeidungskosten auf. Zusätzlich wären andere Vermeidungsansätze im Verkehrssektor möglich durch Reduktion der Fahrten und der Fahrzeuggewichte.

CO2-Vermeidungskosten

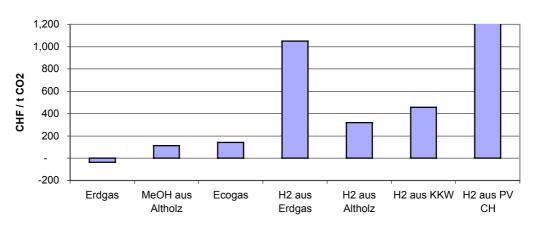


Abbildung 2: CO₂-Vermeidungskosten im Verkehrssektor. Wird von einem Ausbau der Wasserkraft ausgegangen, kann mit zusätzlich produziertem Hydrostrom Wasserstoff für Kraftfahrzeuge erzeugt werden (H₂ aus Kernenergie (KKW) entspricht H₂ aus Hydrostrom, da Kernkraftwerke und Wasserkraftwerke ähnlich tiefe CO₂-Emissionen aufweisen). Unter diesen Annahmen führt die Substitution zu relativ günstigen Vermeidungskosten. (Paul Scherrer Institut, 2003)

GLOBALE UND REGIONALE ÖKOLOGISCHE ASPEKTE

Negative und positive Aspekte der Wasserkraft im regionalen Ökosystem stehen negativen und positiven Aspekten im globalen System gegenüber. Sie können nicht gegeneinander ausgespielt werden, müssen aber mittels einer gesellschaftlich-politischen Interessensabwägung gewichtet werden.

Die grundsätzliche Schwierigkeit einer vergleichenden Bewertung von lokalen Auswirkungen wie Natur- und Landschaftseffekten gegenüber globalen Wirkungen wie dem Klimaeffekt ist bis heute in der Wissenschaft noch nicht zufrieden stellend gelöst⁴. Daher hängt die Gewichtung der lokalen gegenüber den globalen ökologischen Aspekten von den aktuellen gesellschaftlichpolitischen Werten und einer entsprechenden Interessensabwägung ab.

- Die Ökobilanz der Wasserkraft ist in den Bereichen Klimaschutz (vgl. oben) und Rohstoffschonung wie auch Luftreinhaltung sehr positiv, mit Nutzen sowohl global als auch lokal (Tabelle 2). Zu den möglichen lokal negativen ökologischen Auswirkungen gehören je nach Standort reduzierte Wasserführung, veränderte Abflussdynamik der Bäche unterhalb eines Kraftwerkes, Unterbruch der Längsvernetzung entlang der Flüsse, Beeinträchtigung der Pflanzen- und Tierwelt des Fluss-Ökosystems (insbesondere der Fische), Schwall-/Sunk-Problematik, veränderte Feststofffrachten und Flussmorphologie, veränderte Wassertemperaturen, Trockenlegungen, gleichmässige Dotierung des Restwassers, Veränderungen des Landschaftsbildes, u.a.m.⁵. Stauseen können touristisch, ökologisch und landschaftlich auch auf der lokalen Ebene positive Auswirkungen haben.
- Der Einfluss auf die Biodiversität liegt vor allem auf lokaler Ebene. Es ist eher eine Verschiebung der Arten als eine Verringerung der Artenzahl zu erwarten. Ein drastischer europaweiter Verlust ist jedoch der Verlust der anadromen Fische wie des Lachses durch Kraftwerksbetrieb und Hochwasserschutz. Die Bildung neuer Feuchthabitate kann die Biodiversität auch fördern (z.B. Niederried- und Klingnauer Stausee).

Technologie:	Material- verbrauch (Bsp: Kupfer) [kg/GWhe]	Treibhausgase [t(CO2-äq)/GWhe]	Reststoff- deponie [kg/GWhe]	Radioaktive Abfälle [kg/GWhe]	Produktions- kosten [Rp/kWhe]	externe (Umwelt-) Kosten [Rp/kWhe]
Steinkohle	14 – 19	950 – 1200	5800 – 54000	0.13 - 0.20	5.7 – 7.4	3.1 – 15.8
	59	770	4000	0.04	6.3	5.1 – 8.6
Erdgas	16	530	1500	0.04	4.7 – 5.8	0.8 - 5.5
	8	390	1100	0.004	4.7 – 8.2	2.5 - 4.2
Kernkraft	7 – 9	8 – 29	650 – 1200	9.0 – 11.0	5.1 – 7.5	0.2 - 1.3
	4	6	600	2.4	5.7 – 7.2	0.3 - 0.4
Wasserkraft	< 1	4	30	0.006	4 – 21	0.0 – 1.2
(Speicherkraft)	< 1	4	30	0.002	12 – 16	0.1
Photovoltaik	270 – 1600	110 – 260	4900 – 10000	0.6 – 1.2	70 – 140	0.1 – 1.5
	350	44	1600	0.06	45	0.5 – 0.7

Tabelle 2: Wasserkraft hat einen niedrigen Rohstoffverbrauch, produziert wenig Treibhausgase sowie wenig Abfälle (basierend auf Life Cycle Assessments, welche die gesamte Energiekette abdecken. (Obere Werte = heute (1996), untere Werte = Zukunft (2020))⁵

 Trockene Sommer wie 2003 könnten in Zukunft häufiger werden und den Druck auf Flussökosysteme und Restwassermengen verstärken. Dank Speicherseen könnte eine Austrocknung einzelner Bachläufe in trockenen Hitzesommern verhindert werden.

⁵ Projekt GaBE (Frischknecht et al., 1996; Dones et al., 1996; Hirschberg&Voss, 1999; Hirschberg&Jakob, 1999; Gantner et al., 2000; Hirschberg et al., 2000)

7

⁴ Ökologische und technisch/ökonomische Qualitäten der Wasserkraft. Eine Übersicht über den Stand des Wissens. Verbandsschrift 64 des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Baden. 2001. S. 65 ff, Interpretation der Resultate.

Ein Mass für die vergleichende Bewertung lokaler gegenüber globalen Aspekten sind die externen Kosten und Nutzen. Vorhandene Studien zeigen, dass die externen Kosten der Wasserkraft im ökologischen Bereich wesentlich geringer sind als diejenigen fossiler Energieproduktionssysteme (Tabelle 2). Bisherige Studien bewerten zudem die global-ökologischen Nutzen für den Klimaschutz höher als ökologische externe Kosten der Wasserkraft.

Unter dem globalen Blickwinkel ist die Gesamtökobilanz der Wasserkraftnutzung im Vergleich mit anderen Systemen daher positiv. Unter dem Aspekt des Natur- und Landschaftsschutzes ist die Ökobilanz dagegen nicht positiv, da in bestehenden Verfahren die Bewertung der gerade für die Wasserkraftnutzung relevanten Auswirkungen auf Natur und Landschaft noch ungenügend gelöst ist⁶. Eine absolute Aussage zur Ökobilanz ist nur am Einzelobjekt möglich und kann nicht verallgemeinert werden, da die lokalen Auswirkungen in ihrem Ausmass von Standort zu Standort sehr unterschiedlich sind.

Für die Praxis ist eine Bewertung der Gesamtökobilanz eines einzelnen Wasserkraftwerks trotz der methodischen Schwierigkeiten notwendig. Naturemade zum Beispiel hat lokal-regionale Kriterien (gemeinsam mit EAWAG: greenhydro) und globale Kriterien (mit esu-services, nach Eco-Indicator 99; Grenzwert: die Hälfte der Belastungspunkte eines modernen Gas-Kombikraftwerkes) definiert.

Unter zusätzlichem Einbezug von Gesellschaft und Wirtschaft ist die Nachhaltigkeitsbilanz der Wasserkraft für die Schweiz und Westeuropa positiv. Die Bilanz wird sehr gut, wenn die negativen Aspekte minimiert werden.

Die global-ökologische Bilanz ist positiv, die lokal-ökologische Bilanz ist durchmischt, die ökonomische und gesellschaftliche Bilanz ist für die Schweiz positiv. Dies ergibt unter dem Strich eine positive Nachhaltigkeitsbilanz, und zwar trotz der lokalökologischen Nachteile. Dies gilt im Mittel über die Schweiz, nicht jedoch in jedem Fall für Einzelwerke.

Nachhaltigkeit wird dagegen mancherorts als eine *gleichwertige* Gewichtung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekte definiert. Positive Aspekte können negative Aspekte nicht wettmachen. Die Nachhaltigkeitsbilanz der Wasserkraftnutzung ist in diesem Sinn nur sehr gut, wenn die negativen Auswirkungen auf ganze Ökosysteme vermindert werden. Der Ausdruck *gleichwertig* ist nicht absolut definierbar, sondern basiert auf gesellschaftlich-politischen Werthaltungen.

Global-ökologische und lokal-ökologische Aspekte wurden oben bereits behandelt. Gesellschaftliche und wirtschaftliche Aspekte der Wasserkraft sind die Bereitstellung von Arbeitsplätzen in Bergregionen, der Beitrag zum Hochwasserschutz, hohe Wertschöpfung im Inland, etc. In den Bergkantonen ist die Wasserkraft ein wichtiger Wirtschaftsfaktor (Uri: 1/4 der Einnahmen). Die Wasserkraftwerke leisten häufig durch die Erschliessung einen Beitrag zur Verkehrsinfrastruktur, der auch der lokalen Bevölkerung zugute kommt.

-

⁶ Val. Fussnote 5.

ÖKOLOGIE UND RENTABILITÄT

Win-Win-Lösungen zwischen regionaler und globaler Ökologie und Rentabilität sind für eine zukunftsorientierte Wasserkraftnutzung anzustreben oder sogar Bedingung.

Ein rentabler Betrieb der CO₂-armen Stromproduktion durch Wasserkraft dient dem Klimaschutz. Daher sind Lösungen wünschenswert, mit denen ökologisch negative Auswirkungen der Wasserkraftnutzung möglichst ohne Verlust an Produktion entschärft werden können.

Es ist aus Klimaschutzgründen wichtig, einen Produktionsverlust im Mittel über die ganze Schweiz zu vermeiden, nicht aber unbedingt bei einzelnen Werken. So ist es zum Beispiel in gewissen Fällen möglich, durch Massnahmen zur Optimierung und zum Ausbau bestehender Anlagen trotz der vorgeschriebenen Erhöhung der Restwassermengen die Minderproduktion zu kompensieren oder die Stromerzeugung zu steigern.

Zusätzlich gibt jede Konzessionserneuerung die Möglichkeit, negative Auswirkungen zu minimieren. Ökologischer Mehrwert lässt sich noch nicht automatisch in finanziellen Mehrwert umwandeln, dies könnte sich aber mit wachsender Nachfrage nach Ökostrom ändern.

- Beispiel einer Win-Win-Lösung zwischen Ökologie und Rentabilität: Dynamische Restwasserbewirtschaftung im Fluss Spöl des Schweizer Nationalparks. Künstliche Hochwasser führen im vorliegenden Fall zu verbesserter ökologischer Qualität des Gewässers und bieten zugleich Vorteile für die Kraftwerksbetreiber (Abbildung 3).
- Unter globalen Aspekten sind solche Win-Win-Lösungen wichtig. Für die Festlegungen bilden die Anforderungen des Gewässerschutzgesetzes die Basis, sind aber individuell zu adaptieren. Neue innovative gesetzliche Rahmenbedingungen sind gefragt.
- Unter dem Aspekt des Naturschutzes sind künstliche Hochwasser nur dann umweltfreundlich, wenn sie mit einer minimalen Restwassermenge, möglichst jahreszeitlich abgestuft, sowie mit einer Begrenzung der Fassungskapazität kombiniert sind. Eine auch nur zeitweise Trockenlegung von Gewässern ist in keinem Fall ökologisch sinnvoll⁷.
- Lizenzverfahren für Ökostrom wie naturemade oder greenhydro können ein Instrument sein für Win-Win-Lösungen.

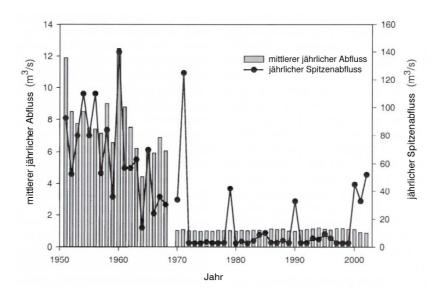


Abbildung 3: Mittlere jährliche Abflüsse und jährlicher Spitzenabfluss im Fluss Spöl im Schweizer Nationalpark, 1951-2002. Seit dem Jahr 2000 werden alljährlich künstliche Hochwasser durchgeführt. Diese konnten die Ökologie des Gewässers verbessern und brachten zugleich Vorteile für die Kraftwerksbetreiber⁸. (Graphik: BWG)

⁷ Wasserentnahme aus Fliessgewässern – Gewässerökologische Anforderungen an die Restwasserführung, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 110, BUWAL, 1989

⁸ Scheurer, Molinari, 2003: Floods as a management tool. In: Aquatic Sciences, Research Across Boundaries. Vol. 65, No. 3, 2003. EAWAG, Birkhäuser. S. 184 ff. ISSN 1015-1621

SICHERHEIT

HOCHWASSERSCHUTZ

Die Wasserkraftwerke leisten bisher einen wichtigen Beitrag zum Hochwasserschutz.

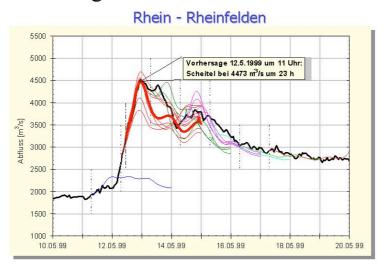
Wasserkraftwerke können die Hochwassergefährdung senken. Dies kann mittels Speichern geschehen oder bei Flusskraftwerken durch gezielte Abflussregelung. Je tiefer die Speicher liegen bzw. je grösser die Pufferkapazität im Verhältnis zum Abfluss ist, desto wirkungsvoller ist der Hochwasserschutz. Die Koordination über das gesamte Flusssystem ist wichtig.

- Speicherseen leisten bereits heute, ohne spezielle Betriebseinschränkungen, einen wichtigen Beitrag zum Hochwasserschutz. Im Sommer erfüllen die Seen diese Funktion, da sie leer sind. Im Herbst bei vollen Seen sind Überlaufereignisse bis heute relativ selten.
- Die Speicherseen vermindern vor allem mittlere Hochwasser. Die Kapazität ist jedoch zu klein, die wirklich schadenerzeugenden grossen Hochwasser vollständig aufzufangen. Oft muss bei einem grossen Ereignis turbiniert werden (Mai 1999, Oktober 2000).

Für den Hochwasserschutz sind zuverlässige kurz- und längerfristige Vorhersagen unentbehrlich.

- Kraftwerkbetreiber haben eigene Vorhersage-Möglichkeiten für Hochwasser. Sie erheben zum Teil systematisch Daten. In Zusammenarbeit mit den Kantonen ist bei MeteoSchweiz ein Warnsystem im Aufbau. Es wird sich um probabilistische Aussagen handeln. Im Rahmen des Projektes "MINERVE" wird für den Kanton Wallis zurzeit ein Abflussvorhersagemodell erarbeitet, welches sämtliche Speicherseen und Wasserkraftanlagen berücksichtigt. Dieses Modell soll dem kantonalen Krisenstab während eines Hochwassers erlauben, die Kraftwerke und Speicher optimal für den Hochwasserschutz heranzuziehen.
- Abflussprognosen für den Rhein sind bis auf 2 Tage zuverlässig. Davon profitieren vor allem die Flusskraftwerke (Abbildung 4). In Klein-Einzugsgebieten oberhalb von Stauseen ist eine Abflussprognose nur mit Hilfe von Niederschlagsvorhersagen möglich, zudem müssen Niederschlag-Abfluss-Modelle verwendet werden.
- Regelmässig erstellt werden zum Beispiel Zuflussvorhersagen zum Stausee Mattmark, Meteodat Zürich, sowie Vorhersagen für die Grande Dixence.

Vorhersagen vom 11.5.1999 - 17.5.1999



(farbig im Anhang)

Abbildung 4: Abfluss des Rheins bei Rheinfelden (schwarze Kurve) und verschiedene 60 Stunden Prognosen zu verschiedenen Zeitpunkten in der Entwicklung. Die dicke rote Vorhersage vom 12. Mai 1999 um 11h gibt die 13 Stunden später (23h) gemessene Abflussspitze sehr gut wieder und prognostiziert auch den Verlauf während der folgenden zwei Tage qualitativ richtig. (BWG)

10

Mit durch die Klimaänderung allenfalls zunehmender Hochwassertätigkeit könnte der Beitrag der Wasserkraftwerke zum Hochwasserschutz an Bedeutung gewinnen und aktiv ausgebaut werden.

Vermehrter Hochwasserschutz ist eine Anpassung an bereits stattfindenden Klimawandel. Bis 2030 wird die Wirkung der klimapolitischen Massnahmen noch gering sein. Daher sind für diesen Zeithorizont Strategien zur Anpassung an Veränderungen notwendig. Heute geschieht Hochwasserschutz durch Wasserkraftwerke weitgehend passiv. Er kann aber aktiv gefördert werden, was zum Beispiel im Wallis bereits der Fall ist.

Allgemein wird erwartet, dass sich der Wasserkreislauf mit der Klimaänderung intensivieren wird. Die vorausgesagte Niederschlagszunahme im Winter – bei einem gleichzeitigen Anstieg der Schneegrenze – wird den saisonalen Wasserabfluss aus dem Alpenraum erhöhen (Abbildung 5). Zusätzlich wird sich in einigen Einzugsgebieten von Stauseen der Wasserhaushalt mit der Gletscherschmelze vorübergehend verändern (höhere Zuflüsse im Sommer).

- Es könnten vermehrt Hochwasser im Frühjahr auftreten, wenn zunehmend Frühlingsniederschläge in Form von Regen mit der Schneeschmelze zusammentreffen. Starkniederschläge im Herbst in Form von Regen könnten problematisch werden, da zu diesem Zeitpunkt die Stauseen voll sind. ⁹
- Höhere Hochwasser im Winter und Frühjahr sowie neue Höchstwassermengen (Abbildung 6) sind eine Herausforderung für die Flusskraftwerke. Allenfalls müssten die Kapazitäten der Turbinen bzw. der Hochwasserentlastungen neu gerechnet werden. Eine gute Koordination über die ganzen Flusssysteme ist wichtig.

Sollte sich die erwartete Zunahme der Hochwasser verstärkt auf die Anrainerstaaten unserer Alpenflüsse auswirken, so müssen wir mit Forderungen nach Hochwasserrückhalt in den schweizerischen Speicherbecken und Seen rechnen. Vermehrter Hochwasserrückhalt in der Schweiz würde neue Betriebsregelungen für die Bewirtschaftung der grösseren Seen oder sogar weitere bauliche Massnahmen erfordern.

Es werden allenfalls rechtliche Grundlagen notwendig werden, die in einer ökonomischen Gesamtbetrachtung festhalten, wie viel der Hochwasser in Speichern abgefangen werden sollen und wie diese Leistung abgegolten wird.

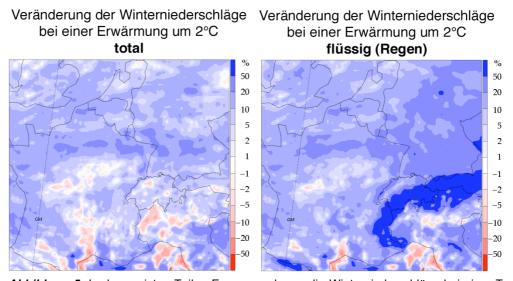
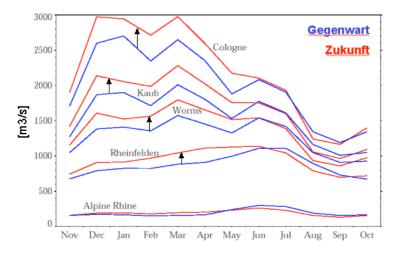


Abbildung 5: In den meisten Teilen Europas nehmen die Winterniederschläge bei einer Temperaturzunahme um 2°C zu (Modellsimulation). Da zugleich die Schneegrenze ansteigt, nehmen die winterlichen Niederschläge in Form von Regen im Alpenraum um bis zu 50% zu. Der Winterabfluss aus den Einzugsgebieten der Alpenflüsse wird somit grösser sein. (Jan Kleinn, ETH Zürich)

(farbig im Anhang)

_

⁹ Literaturhinweise: OcCC 2003, Extremereignisse und Klimaänderung. ISBN: 3-907630-23-8.
OcCC 1998: Klimaänderung Schweiz, Auswirkungen von extremen Niederschlagsereignissen, Wissensstandsbericht. http://www.occc.ch/reports/reports_d.html



(farbig im Anhang)

Abbildung 6: Szenarien für die mittleren monatlichen Abflussmengen [m³/s] des Rhein bei einer Erwärmung um 2°C. Es werden höhere Hochwasser im Winter und Frühjahr sowie neue Höchstwassermengen erwartet. Hauptursachen sind der Anstieg der Schneefallgrenze sowie die Zunahme der Winterniederschläge. (Jan Kleinn, ETH Zürich)

Voraussichtlich werden die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftwerke im Bereich des Hochwasserschutzes nicht dramatisch sein.

Die Speicherseen sind fast nie randvoll und könnten daher zusätzliche Wassermengen aufnehmen. Vermehrte Winterniederschläge verringern die Notwendigkeit, im Herbst volle Seen zu haben. Damit sind im Herbst grössere Schutzräume in den Staubecken möglich, ohne dass im Mittel übers Jahr Produktionseinbussen entstehen (vgl. Bewirtschaftung). Eine effektive Bewirtschaftung der Schutzräume oder bauliche Massnahmen wie Mauererhöhungen können den Hochwasserschutz ohne Produktionseinbussen erhöhen. Allgemein sind dazu Bewirtschaftungsveränderungen nötig.

Obwohl die Auswirkungen auf die Wasserkraftwerke im Bereich des Hochwasserschutzes voraussichtlich nicht sehr bedeutend sind, ist vor allem die Tatsache problematisch, dass wir uns in Bereiche begeben, in denen wir keine Erfahrungen haben. Die Variabilität der Ereignisse wird grösser sein als bisher (Abbildung 7). Es ist deshalb schwierig abzuschätzen, ob der Hochwasserschutz in Zukunft mit der gleichen Sicherheitsmarge bzw. demselben Restrisiko garantiert werden kann.

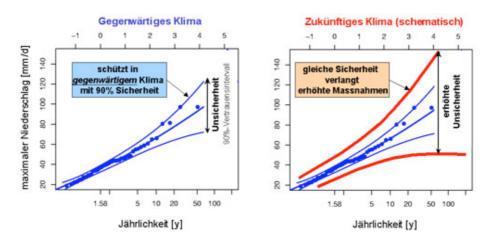


Abbildung 7: Je grösser und damit seltener Ereignisse sind, desto grösser wird der statistische Unsicherheitsbereich (verallgemeinerte Darstellung mit Extremwerten des sommerlichen Niederschlags in Zürich (1951-2000)). Wenn sich der Wasserkreislauf intensiviert, werden höhere und häufigere Extremwerte wahrscheinlich. Der Unsicherheitsbereich vergrössert sich. Eine erhöhte Unsicherheit könnte höhere Sicherheitsmargen notwendig machen. (Schär, ETH)

(farbig im Anhang)

GEFÄHRDUNG DER ANLAGEN

Die Klimaänderung führt zu vermehrten Hochwassern und Hanginstabilitäten (Permafrost, Niederschlag), wobei grosse Massenbewegungen für die Gefährdung der Kraftwerke von Bedeutung sind.

Eine gewisse Gefährdung für die Anlagen bilden Hochwasser bzw. Starkniederschläge. Diese könnten mit der Klimaänderung saisonal zunehmen (vgl. Hochwasserschutz). Das Gefahrenpotential bildet jedoch weniger das Wasser selbst, als Begleitumstände wie Murgänge, welche zu starkem Holztrieb und dadurch Verklausungen oder aber zu Murgängen mit temporären Dammbildungen und anschliessenden Schwallwellen beim Durchbruch dieser Dämme führen und die Anlagen gefährden.

Eine Gefahr sind somit grosse Massenbewegungen, die Flutwellen in Stauseen auslösen. Flutwellen gefährden Kraftwerksanlagen und Unterlieger. Wichtige Massenbewegungen im Einzugsgebiet von Kraftwerken sind Erdrutsche, Lawinen und Eisabbrüche. Ausschlaggebend für die Gefährdung ist, ob eine in den See stürzende oder rutschende Masse eine Flutwelle auslösen kann und ob diese Flutwelle abhängig vom saisonalen Wasserstand die Höhe der Staumauer erreicht. Flutwellen in einem vollen Stausee gefährden Anlagen und Unterlieger potentiell mehr, als wenn noch Schutzraum vorhanden ist. Je nach Entwicklungen in der Bewirtschaftung, wenn die Seen nicht mehr ganz gefüllt werden (vgl. Bewirtschaftung), würde die Gefährdung vermindert.

Massenbewegungen werden mit einer Klimaerwärmung tendenziell zunehmen. Ob diese einen Betrieb wirklich gefährden, ist von Fall zu Fall zu prüfen.

- Massenbewegungen könnten zunehmen, da durch den Rückzug von Gletschern und durch schmelzenden Permafrost mehr mobiles Gestein freigegeben wird. Auch wird die Zunahme von Starkniederschlagsereignissen erwartet, die eine Massenbewegung auslösen können. Im Laufe des 20. Jahrhundert haben die intensiven Niederschlagsereignisse (durchschnittliche Häufigkeit 1 mal pro Monat) um rund 30% zugenommen (Abbildung 8).
- Allerdings fallen Starkniederschläge im Herbst und Winter in den Einzugsgebieten der Gebirgs-Stauseen meist als Schnee. Zudem hängen tiefgründige Rutschungen nicht direkt von hohen Intensitäten, sondern vor allem von grossen Niederschlagssummen ab. Von der erwarteten Zunahme der Starkniederschlagsereignisse darf daher nicht direkt auf eine erhöhte Gefährdung der Anlagen durch Rutschungen geschlossen werden.

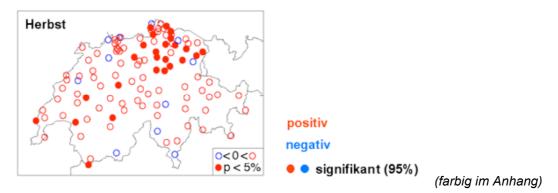


Abbildung 8: Stationen mit Zunahme oder Abnahme (positivem bzw. negativem Trend) der intensiven Niederschläge im 20. Jahrhundert (1901-1994). Bei ausgefüllten Punkten ist der Trend statistisch signifikant und kann nicht zufällig entstanden sein. (Frei und Schär 2001, ETH Zürich)

Naturgefahren erhöhen den Aufwand für die Sicherheit der Kraftwerksanlagen.

In der Schweiz ist die Standfestigkeit der Anlagen nicht gefährdet, da hohe Sicherheitsstandards erfüllt werden müssen. Die Sicherheitsstandards sind bei Wasserkraftwerken bereits heute so hoch, dass eine Erhöhung eine Kosten- und nicht eine Prinzipfrage ist. Alle fünf Jahre, in Problemzonen häufiger, werden Gutachten nach den neusten Erkenntnissen gemacht. Wissenschaftler und Ingenieure, Geologen, Limnologen usw. tragen zu einer guten Überwachung bei.

Die Naturgefahren werden zunehmend grössere Schäden an den Wasserkraftanlagen verursachen. Die Verwundbarkeit von kritischen Systemkomponenten muss verringert werden (z.B. Uebermittlungskabel für Steuerungen). Allenfalls müssen die Maxima der zulässigen Auffüllung von Stauseen tiefer gelegt resp. Mauern erhöht werden, um die zusätzlichen Bedürfnisse des Hochwasserschutzes zu erfüllen.

Zunehmende Hochwasser stellen auch eine Gefährdung der Sicherheit für Flusskraftwerke dar. Die Kapazitäten von Hochwasserentlastungen von Flusskraftwerken müssen mit der Klimaänderung nachgerechnet werden, da Höchstwassermengen zunehmen können (vgl. Hochwasserschutz).

Die Haftpflichtfrage wurde erwähnt, im Rahmen des Expertenworkshops jedoch nicht weiter diskutiert.

BETRIEB

BEWIRTSCHAFTUNG

Die Bewirtschaftung der Stauräume muss künftig auf Änderungen im Wasserhaushalt bedingt durch meteorologische und klimatologische Veränderungen Rücksicht nehmen.

Die Integration von Klimaszenarien kann die Bewirtschaftung von Speicher- und Laufkraftwerken optimieren. Das Abflussregime von Alpenflüssen wird sich als Folge der Klimaänderung glätten. Jedoch nur im Bezug auf den durchschnittlichen Verlauf der Monatsmittel, nicht auf Abflussspitzen im zeitlich kürzeren Bereich von Hochwassern.

 Höhere Temperaturen, mehr Winter- und geringere Sommerniederschläge, geringerer Schneeanteil am Winterniederschlag durch Anheben der Nullgradlinie (vgl. Abbildung 5) und frühere Schneeschmelze bewirken höhere Winterabflüsse sowie höhere Verdunstung und geringere Abflüsse im Sommer und Herbst. Die saisonale Niederschlags- und Abflussverteilung in den Regionen oberhalb 1500 m wird geglättet (Abbildung 9; vgl. auch Abbildung 6, Alpine Rhine).

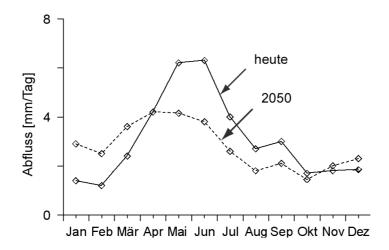


Abbildung 9: Modellsimulation der täglichen mittleren Abflüsse für das alpine Einzugsgebiet Stein/ Thur unter gegenwärtigen Klimabedingungen (durchgezogene Linie) und unter Bedingungen eines Klimaszenarios für 2050 (gestrichelte Linie). Höhere Winterabflüsse sowie geringere Abflüsse im Sommer und Herbst werden die saisonale Abflüssverteilung glätten. (Gurtz, ETH Zürich)

• Die bereits beobachteten Änderungen der Niederschläge in der Schweiz schlagen sich bisher nicht in der Wasserkraftnutzung nieder. Die Wasserkraft bemerkt nur Änderungen im Abfluss. (Abbildung 10)

Mit dem geglätteten Abflussregime ist ein höheres Abflussangebot im Winter/Frühjahr in der Zeit der Hauptnutzung der Wasserkraft zu erwarten. Die Umlagerung von im Sommer gespeichertem Wasser in das Winterhalbjahr könnte an Bedeutung verlieren und der notwendige Speicherraum daher geringer angesetzt werden. Allerdings ist noch unklar, wie relevant die Glättung der Abflüsse in Bezug auf die hohe Jahr-zu-Jahr-Variabilität für die Kraftwerke ist.

Frei werdende Speicherkapazitäten könnten dem Hochwasserschutz dienen (vgl. Hochwasserschutz) oder für künstliche Hochwasser verwendet werden (vgl. lokale und regionale Aspekte). Allerdings geht eine Verringerung des genutzten Stauraums zulasten der rentablen Spitzenenergieproduktion. Zudem sind Wasserreserven in den Stauseen wichtig, um lange Kälteperioden im Winter oder Trockenperioden im Sommer mit stark erhöhtem Strombedarf im europäischen Verbundnetz zu überbrücken.

 Bei manchen Kraftwerken wird der See aus betrieblichen Gründen bereits heute nicht mehr ganz gefüllt (Abbildung 11). Dies steht jedoch nicht im Zusammenhang mit der Klimaänderung.

Blenio Kraftwerke AG

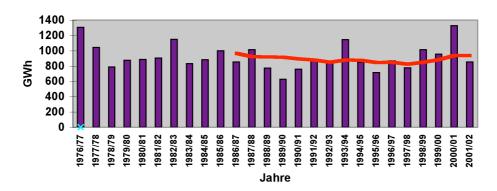


Abbildung 10: Entwicklung der Hydraulizität in der Blenio Kraftwerke AG als Beispiel für die jährlichen Schwankungen der Stromproduktion. Es kann kein Trend festgestellt werden, der mit den bereits beobachteten Niederschlagsänderungen übereinstimmen würde.

BARRAGE D'EMOSSON 2001 - 2002

Courbe de vidange et de remplissage, volume CFF compris [102] au 30 SEPTEMBRE 2002 225 1930.00 1917.68 m s.m. 186.2 mio m 200 1922.21 175 150 1904.93 125 1895.30 100 1884.85 75 1873.20 1859.05 1834 25 1785.00 JAN MARS AOUT

Abbildung 11: Seefüllungsgrad des Stausees Emosson als Beispiel. Stauseen werden aus betrieblichen Gründen zum Teil nicht vollständig gefüllt. Die ausgezogene Linie entspricht dem Seefüllungsgrad der Jahre 2000/01 (blau) bzw. 2001/02 (rot). Die schattierten Flächen geben den Schwankungsbereich der Jahre 1991/92 bis 2000/01 (grün) bzw. 1974/75 bis 2000/01 (blau) an.

2001/2002

16.3

91/92 - 00/01

74/75 - 00/01

(farbig im Anhang)

2000/2001

Auch klimatisch bedingte Veränderungen in den Verbrauchscharakteristiken (z.B. vermehrter Einbau von Klimaanlagen zur Kühlung im Sommer gegenüber weniger Heizbedarf im Winter) könnten den Speicherbedarf verändern, allenfalls sogar rascher als die vorausgesagte Glättung der Abflüsse.

Ein geglättetes Abflussregime ist für die Flusskraftwerke übers Jahr positiv. Im Unterland könnten jedoch die Abflussspitzen zunehmen. Allenfalls müssen Kapazitäten und Bewirtschaftungskonzepte angepasst werden (vgl. Hochwasserschutz).

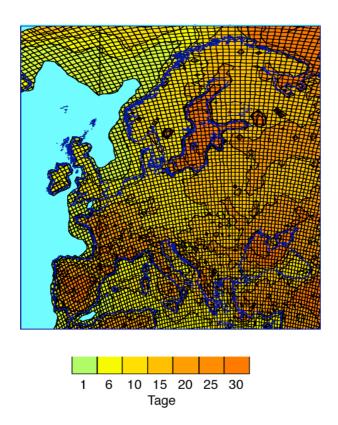
Ein Teil des für die Wasserkraftnutzung verwendeten Wassers stammt aus der jetzt noch zunehmenden Gletscherschmelze. Dieser Anteil wird mit der Klimaänderung langfristig zurückgehen. Gletscher sind ein Überjahresspeichermedium. Dieser Mehrjahresausgleich ist im Mittel nicht besonders hoch, aber in besonders heissen Sommern (2003) sehr gut merkbar.

Für das Kraftwerk Mattmark wurden die Unterschiede der Abflüsse für die Periode der 50er Jahre (relativ warm) und die nachfolgende Betriebsperiode der 60er Jahre (relativ kühl) ermittelt, weil sich im Betrieb gezeigt hat, dass die Prognosewerte der 50er Jahre nicht erreicht wurden. Die Unterschiede betrugen einige Prozent.

Der Strompreis entwickelt sich mit der Stromnachfrage. Als Folge der Klimaänderung könnte sich die Stromnachfrage verschieben.

Heute wird die Stromproduktion mit Wasserkraft nicht mehr nur von der Inlandnachfrage und vom Wasserangebot, sondern vom Strompreis gesteuert (vgl. Kasten S. 14). Der Strompreis entwickelt sich mit der Stromnachfrage und dem zur Verfügung stehenden Angebot. Die Klimaänderung könnte die Stromnachfrage und damit auch den Bedarf nach Speicherkapazitäten für die Produktion modifizieren:

 Die Stromnachfrage könnte stark von extremen Klimaereignissen beeinflusst werden wie lange Hitze- oder Kälteperioden. Der Sommer 2003 mit Hitze und Trockenheit war ein Beispiel dafür. Flusskraftwerke in der Schweiz sprechen von einer Produktionseinbusse von 10-15 %. Auf dem europäischen Srommarkt stiegen die Strompreise in der Folge auf das 10-fache verglichen mit normalen Sommern¹¹. Hitzeperioden könnten mit der Klimaänderung länger werden (Abbildung 12).



(farbig im Anhang)

Abbildung 12: Eine Modellsimulation zeigt die Zunahme aufeinanderfolgender Hitzetage, die 2100 5°C über dem Mittel von 1960-90 liegen. Das Modell sagt eine Erhöhung der Dauer von Hitzeperioden voraus (IPCC Szenario A2). (Quelle: Martin Beniston, Uni Fribourg)

- Als Folge der Klimaerwärmung könnte die Nachfrage nach Heizenergie im Winter abnehmen. Als Folge des Temperaturanstiegs sowie der veränderten Komfortansprüche wird die Nachfrage nach Kühlung im Sommer zunehmen (Klimaanlagen und Ventilatoren haben im Sommer 2003 den Stromverbrauch um 7-8% gesteigert¹⁰). Diese Veränderungen sollten jedoch längerfristig durch geeignete Baumassnahmen reduziert werden.
- Mit vermehrter Wahrnehmung der Klimaänderung als Problem könnte die Nachfrage nach Ökostrom steigen. Diese Nachfrage beeinflussen sowohl gesetzliche Rahmenbedingungen (z.B. CO₂-Gesetz, spezifische Förderung erneuerbarer Energien, usw.) als auch eine mögliche Imagesteigerung des Ökostroms durch die Klimaänderung.

Speicherkraftwerke sind geeignet, Regulierungsfunktionen im Stromnetz zu übernehmen. Schweizer Speicherkraftwerke könnten zum Ausgleich der unregelmässigen Windstromproduktion Nordeuropas beitragen.

Als eine mögliche Massnahme zur Reduktion der CO₂-Emissionen und Verminderung der Klimaänderung werden erneuerbare Energien gefördert. Diese weisen zum Teil grosse Produktionsschwankungen auf. Da Strom nicht gespeichert werden kann, muss die Produktion ständig der
Nachfrage nachgefahren werden. Für solche Regulierungsfunktionen im Stromnetz sind
Speicherkraftwerke dank ihrer Schnelligkeit geeignet. Der Ausgleich ist CO₂-neutral. Alternativen
sind Gasturbinen oder Regulierung auf der Verbraucherseite. Ausgleich mit Strom aus fossilen
Quellen ist emissionsreich.

In der Schweiz wird die Nutzung der Sonnenenergie voraussichtlich auf absehbare Zeit nur wenig zunehmen. Aus Landschaftsschutzgründen und wegen des geringen Windpotentials sind nur wenige Standorte für die Nutzung der Windkraft geeignet. In der EU wird die Windenergie dagegen massiv ausgebaut. Zurzeit wird in einer Studie von econcept abgeklärt, wie weit Schweizer Speicherkraftwerke zum Ausgleich der unregelmässigen Windstromproduktion Nordeuropas beitragen können¹¹.

- An Land werden allein in Deutschland bereits heute rund 18'000 GWh Windstrom produziert. Das Potential von Windkraftanlagen im Meer wird bis 2030 auf rund 70'000-85'000 GWh geschätzt¹². Mit Wasserkraft wurden in der Schweiz im Jahr 2002 rund 37'000 GWh Strom produziert. Econcept ermittelt zurzeit, wie weit die Schweizer Leistung mithelfen könnte, einen ausgebauten Windpark zu regeln.
- Ausgleich für Flauten in der Nordsee findet heute bereits statt¹³. Auch hohe Strompreise am kurzfristigen Markt während Windflauten deuten in diese Richtung. Allerdings wurde am Expertenworkshop im Februar 2003 kontrovers diskutiert, wie bedeutend die CH-Ausgleichskapazität im Vergleich mit den in der EU installierten Leistungen der Windparks ist.
- Es bestehen Zweifel, wie sinnvoll der Stromtransport über weite Distanzen mit grossen Verlusten ist und ob die Leitungskapazitäten überhaupt ausreichen würden. Zum Teil wird dagegen ein Zubau von Übertragungsanlagen und der Ausbau der Kapazitäten der Schweizer Wasserkraft für den notwendigen ökologischen Ausgleich gefordert.

Für den Zeithorizont 2030 müssen auch Technologiesprünge berücksichtigt werden. So könnte in Zukunft zum Beispiel die Bedeutung von Wasserstoff zunehmen. Dieser wäre möglicherweise ein neuer geeigneter Speicher für Überschussstrom. Technologiesprünge könnten auch im Bereich

¹⁰ Artikel in der Zeitung 'Der Bund' vom 16. Juli 2003.

¹¹ In Bearbeitung: econcept AG, Zürich. Im Auftrag des BfE werden der zusätzliche Regel-Energiebedarf indentifiziert, die zu erwartenden Mindestpreise für Regel-Energie abgeschätzt, die Frage der Netzkapazitäten für Lieferungen aus der Schweiz untersucht und die technischen/institutionellen Hemmnisse zur vermehrten Ausrichtung auf Regel-Energielieferungen aus Schweizer Kraftwerken bestimmt.

¹² Bundesministerium für Umwelt, Deutschland

¹³ ATEL

der Stromübertragungstechnologie die Bedeutung der Schweizer Wasserkraft für den Ausgleich im Zusammenhang mit dem Ausbau der Windkraft erhöhen.

Europaweite Vorhersagen von meteorologischen und klimatologischen Parametern sowie regionale Abflussvorhersagen erlauben eine bessere Rentabilität der Speicherbewirtschaftung.

Für den wirtschaftlichen Betrieb der Wasserkraftanlagen sind europaweite kurz- und mittelfristige (1-5-tägige) Temperatur-, Niederschlags- und Wind-Prognosen sowie regionale Zu- und Abfluss Vorhersagen hilfreich. ¹⁴

 Europaweite kurzfristige Vorhersagen, zum Beispiel über die Windverhältnisse in der Ostseeregion, lassen teilweise Vermutungen über die Strompreisentwicklung zu. Längerfristige saisonale Prognosen werden zurzeit von der Wissenschaft entwickelt. Sie können je nach Situation Hinweise auf den längerfristigen Strombedarf geben (Abbildung 13). Für die direkte Bewirtschaftung werden sie kaum eingesetzt.

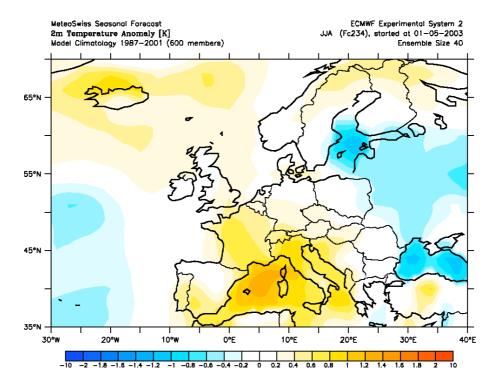


Abbildung 13: Beispiel einer saisonalen Vorhersage vom 1. Mai 2003 (basierend auf dem ECMWF System 2). Gezeigt ist die Wahrscheinlichkeit, dass die bodennahe Temperatur im Sommer 2003 über dem klimatologischen Mittel liegt. (rot=hohe Wahrscheinlichkeit, blau=tiefe Wahrscheinlichkeit). Die Vorhersage bestätigte sich in Europas Rekord-Hitzesommer. Die erfolgte Dynamik von Stromnachfrage und Strompreis hätte damit allenfalls bereits im Mai abgeschätzt werden können. (MeteoSchweiz)

(farbig im Anhang)

¹⁴ Für mittelfristige Vorhersagen (~5 Tage) sind die neu entwickelten probabilistischen Vorhersagemethoden, die das chaotische Verhalten der Atmosphäre mit mehreren Modelläufen charakterisieren, den deterministischen überlegen. Für Kurfristvorhersagen (1-2 Tage) eignen sich hoch aufgelöste numerische Modelle, z.B. aLMo von MeteoSchweiz.

VERLANDUNG UND GESCHWEMMSEL

Der Einfluss der Klimaänderung könnte den Sediment-, Geschiebe- und Geschwemmseltransport erhöhen und die Verlandung verstärken.

Verlandung stellt Kraftwerkbetreiber schon heute vor Probleme. In Speicherseen nimmt das nutzbare Stauvolumen ab und der Grundablass muss freigespült werden. Im Flusslauf unterhalb von Speicher- und Flusskraftwerken reicht das Restwasser teilweise nicht aus, um Geschiebe und Sedimente der Zuflüsse zu verfrachten. Die Klimaänderung kann diese Probleme durch vermehrten Geschiebeanfall verstärken:

- Durch eine erhöhte Schneegrenze fällt im Einzugsgebiet der Speicherseen mehr Niederschlag in Form von Regen (vgl. Hochwasserschutz). Dies kann zu erhöhter Oberflächenerosion, Hanginstabilitäten, grösserer Schwebstofffracht in Zuflüssen zu Stauseen und Verstärkung von Trübeströmen führen.
- Als Folge der Klimaerwärmung wird der Rückzug der Gletscher und das Auftauen des Permafrosts anhalten. Die Freilegung von vorher überdecktem oder gefrorenem Geschiebe erhöht die Verfügbarkeit von erodierbarem Material. Eine Erhöhung der Starkniederschläge kann zu erhöhtem Transport von Geschiebe und Schwebstoffen führen.
- Von Seiten der Speicherkraftwerke und Flusskraftwerke kann ein Trend zu verstärkter Verlandung nicht bestätigt werden. Spülungen von Speichern wurden oft aus ökologischen Gründen nicht akzeptiert. "Rückhaltepolitik" im Hochwasserschutz sowie Wasserentnahmen reduzieren die Anzahl von Abflussspitzen und damit den Abtransport von Feststoffen in Flussläufen. Solche Faktoren können einen grösseren Einfluss auf das Ausmass der Verlandung haben als langfristige Veränderungen durch den Klimawandel.

Mitgerissene Vegetation wie Blätter und Totholz bleiben in den Rechen der Flusskraftwerke hängen. Dieses sogenannte Geschwemmsel muss entsorgt werden. Die Klimaänderung könnte diesen Prozess am ehesten bei einer Zunahme von orkanartigen Winden verstärken. Waldschäden führen zu vermehrtem Geschwemmselanfall.

- Merklich ist die zunehmend extensive Waldbewirtschaftung, die zu erhöhtem Treibgut führt (z.B. Einzugsgebiet der Emme). Auch Auenschutzprojekte können zu mehr Geschwemmsel im Fluss führen. Solche Zusatzfaktoren überlagern den Klimaeffekt, der nicht getrennt ermittelt werden kann.
- Einen Trend zur allgemeinen Zunahme von Geschwemmsel können die Kraftwerksbetreiber nicht feststellen.

Erhöhter Sediment-, Geschiebe- und Geschwemmseltransport und verstärkte Verlandung könnten Anpassungsinvestitionen und erhöhte Betriebsaufwendungen der Kraftwerksbetreiber erfordern.

Kraftwerksbetreiber wehren sich mit verschiedenen Massnahmen gegen Sediment, Geschiebe und Geschwemmsel. Eine allfällige Zunahme könnte die Entwicklung und den Einsatz weiterer Methoden erfordern.

- Soll das gesamte Volumen langfristig genutzt werden, ist die Kontrolle von Trübeströmen entscheidend. Methoden sind zur Zeit in Entwicklung (Abbildung 14).
- Durch Aufwirbelung könnten Sedimente in Stauseen in Suspension gehalten und mit dem Abfluss abtransportiert werden. Dafür müsste ein "Mixer" am Seegrund installiert werden. Der Ton- und Siltniederschlag im Unterlauf kann jedoch problematisch sein.
- In Rückzugsgebieten von Gletscher und Permafrost könnten mit steigenden Temperaturen Pionierpflanzen das erodierbare Material stabilisieren. Für eine künstliche Bepflanzung der vegetationslosen Flächen fehlt allerdings das Saatgut.
- Bei Flusskraftwerken ist aus Hochwasserschutzgründen Ausbaggern von Geschiebe und Ablagerungen oft unvermeidlich. Eine günstige Wahl des Zeitpunktes kann die ökologische Belastung (z.B. für Fische) reduzieren. Massnahmen zur Ufer- und Hangstabilisierung könnten den Geschiebe- und Geschwemmseleintrag vermindern.

 Totholz im Gewässer zu belassen reduziert Beseitigungskosten bei den Kraftwerken und kann die ökologische Funktionsfähigkeit der Gewässer erhöhen. Das Problem mit unerwünschten Stoffen (Plastic, Tierkadaver, usw.) ist jedoch nur mit grossem Aufwand zu lösen. Zuviel Totholz in Restwasserstrecken ist ökologisch nicht erwünscht.

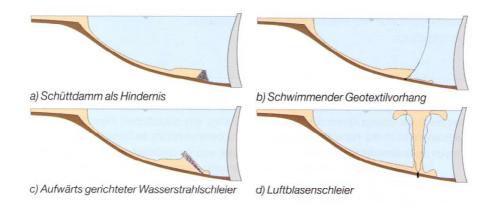


Abbildung 14: Technische Massnahmen zur Beherrschung von Trübeströmen in einem Stausee. 15

Strommarktliberalisierung versus Klimaänderung

Die Bewirtschaftungsänderungen bedingt durch klimatische (langfristige) Einflüsse sind kurzfristig eher geringfügiger als diejenigen bedingt durch die Öffnung des Strommarkts (kurzfristige Schwankungen). Die Marktöffnung wird in der Schweiz zu starken Schwankungen der Stromnachfrage führen. In diesem Zusammenhang kann die Ausgleichsleistung der Speicherseen relevant sein für die Versorgungssicherheit.

Die langfristigen Trends der Klimaänderung werden jedoch weitergehen, wenn die Bewirtschaftung sich an die Strommarktliberalisierung angepasst hat. Langfristig sind die Auswirkungen der Klimaänderung mit ihren Chancen und Risiken nicht zu vernachlässigen.

Priorität der Preisentwicklung:

Früher waren die Preise für Sommer und Winter vorhersagbar. Da war das oberste Ziel, im Oktober die Seen zu 98% gefüllt zu haben. Heute ist alles viel kurzfristiger. Wenn der Strompreis hoch ist, wird heute auch im Sommer Wasser aus Speicherseen turbiniert.

Die kurzfristige Regulierbarkeit der Wasserkraft wird im geöffneten Strommarkt immer stärker genutzt werden (früher waren die Gewinnmöglichkeiten, wenn bei hohen Strompreisen sofort produziert werden konnte, 30-60 SFr. / MWh. Heute sind 10-300 SFr. / MWh möglich, bis maximal 1200 SFr.).

Ein steigender Windanteil im europäischen Stromnetz wird zu stärkeren Produktions- und Preisschwankungen führen. Durch rasche Reaktionsmöglichkeiten auf den Bedarf könnten die Schweizer Speicherkraftwerke vom Ausbau der Windkraft zum Klimaschutz profitieren.

21

¹⁵ Schleiss, Oehy, 2003. Beherrschung von Trübeströmen in Stauseen mit Hindernissen, Gitter, Wasserstrahl- und Luftblasenschleier. In: "Wasser, Energie, Luft" 95. Jahrgang, 2003, Heft 5/6, CH-5401 Baden. S. 143ff

POLITIK

KOSTENWAHRHEIT

Klimafreundliche erneuerbare Energien wie die Wasserkraft werden nur genutzt, wenn die Nutzung rentabel ist. Heute sind Wettbewerbsverzerrungen vorhanden, die aus klimapolitischer Sicht unerwünscht sind.

Heute sind im Energiemarkt Wettbewerbsverzerrungen vorhanden. Unter momentanen Kostengegebenheiten werden für Klima und Umwelt zum Teil Fehlentscheide getätigt, da die externen Kosten nur in geringem Umfang in den Preis einfliessen. Je nach Studie und Auswahl der berücksichtigten Folgen (z.B. Landschaftsveränderungen, Entsorgung radioaktiver Abfälle) werden die externen Kosten unterschiedlich hoch eingeschätzt (vgl. Ökologie).

Eine konsequent umgesetzte Klimapolitik (CO₂-Gesetz, freiwillige Massnahmen und marktwirtschaftlich orientierte Instrumente/Anreize) führt zu einem höheren Wert der Produktion von CO₂-armem Strom (vgl. Wasserkraft und Klimaschutz). Das könnte die Rentabilität von Wasserkraft und anderen erneuerbaren Energien verbessern.

- Mit einer Internalisierung von externen Kosten würden Wettbewerbsverzerrungen entschärft. Das Vorgehen muss jedoch international abgestimmt sein, weil in der Schweiz praktisch kein Strom aus fossil thermischen Quellen stammt. Der Wettbewerb lässt sich auch durch Lenkungsabgaben (z.B. auf fossile Energieträger) oder Subventionen (z.B. für erneuerbare Energien) in die gewünschte Richtung beeinflussen.
- Ein zusätzlicher Mehrwert der Wasserkraft könnte durch Zertifizierung und Zertifikatshandel realisiert werden. Zertifikate sollen den Nachweis umweltfreundlich produzierter Energie sicherstellen. Zertifikate verteuern allerdings den umweltfreundlichen Strom, der Preiszuschlag wird aber wiederum zur Förderung dieser Stromarten eingesetzt. Es handelt sich beim Handel mit Zertifikaten um eine freiwillige Massnahme. Wie weit freiwillige Massnahmen erfolgreich sein werden, wird sich erst weisen müssen.

LANGFRISTIGKEIT

Es besteht die Gefahr, dass das Ausmass der Wasserkraftnutzung aus kurzfristigen Rentabilitätsüberlegungen reduziert wird. Darunter könnte im heutigen Umfeld der Klimaschutz leiden.

Rentabilitätsüberlegungen werden im wirtschaftlichen System auf immer kürzere Zyklen bezogen. Nach der Öffnung des Strommarktes ist der Absatz nicht mehr auf viele Jahre hinaus gesichert. Dies bedeutet, dass private Investoren nicht gewillt sind, jahrelang auf den nicht mehr garantierten Rückfluss der Investition zu warten. Staatliche Anleihen für Wasserkraftwerke werden nicht aufgelegt.

 Eine vorläufige Abschätzung hat ergeben, dass bei 30 % der Kraftwerke die notwendigen Erneuerungsinvestitionen beim Ablauf der Konzession als nicht rentabel beurteilt werden könnten. Betroffen wären vor allem kleinere Werke.¹⁷

Im heutigen Umfeld würde der Klimaschutz unter einer Reduktion der Wasserkraftnutzung leiden. Eine Reduktion des Energiebedarfs bis 2030 auf das Schweizer Produktionsniveau der CO₂-armen Energieträger ist unrealistisch. Weniger Strom aus Wasserkraft im Mittel über alle Werke heisst daher zwangsläufig mehr CO₂, solange die fossilen Energieträger einen Grossteil der Energieversorgung decken. Dies wird sich mit einer Stilllegung von Kernkraftwerken verstärken.

Werden Konzessionen nicht erneuert, könnte auch die Volkswirtschaft leiden. Jede Stillegung eines Wasserkraftwerks bedeutet einen volkswirtschaftlichen Schaden durch Kapitalvernichtung. Die Versorgungssicherheit ist zudem wesentlich für die Wirtschaft. Es stellt sich damit die Frage, ob langfristige Überlegungen in politischen Massnahmen festgelegt werden müssten.

¹⁷ Filippini, Banfi, Luchsinger, Wild: 2001. Perspektiven für die Wasserkraftwerke in der Schweiz. Langfirstige Wettbewerbsfähigkeit und mögliche Verbesserungspotenziale. Im Auftrag von BfE, BWG und IG Wasserkraft.

Entstehung der Tagungsunterlage:

Im Februar 2003 hat ein Expertenworkshop mit 23 Fachpersonen aus Wirtschaft, Forschung und Verwaltung stattgefunden. Nach aufwändiger Vorarbeit unter Mithilfe der Experten lag für den Workshop bereits ein Thesenpapier als Diskussionsgrundlage vor. Das Protokoll des Workshops mit den überarbeiteten Thesen wurde von den Experten und zusätzlichen Reviewern erneut begutachtet und ergänzt. Daraus ist die Tagungsunterlage entstanden.

Im Vorfeld hatte sich ProClim- mit Vertretern des Verbands Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE zu einem Vor-Workshop getroffen. Darin wurden folgende Bereiche festgelegt, die im Zusammenhang mit dem Klimawandel für die Wasserkraft sensible Themen umfassen: Ökologie, Sicherheit, Betrieb und Politik.

ProClim-, Forum für Klima und Global Change Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften

Bärenplatz 2, CH-3011 Bern Tel. 031/328 23 23, Fax. 031/328 23 20 proclim@sanw.unibe.ch / www.proclim.ch