Wasserkraft und Klimawandel

Autor(en): **Hauenstein, Walter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **101 (2009)**

Heft 2

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-941930

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Wasserkraft und Klimawandel

■ *Walter Hauenstein*

1. Einleitung

Der Klimawandel ist heute in aller Munde. Seine mutmasslichen Auswirkungen sind aber noch schwierig abzuschätzen. Dennoch werden auch Wasserkraftwerksbetreiber immer wieder gefragt, welche Auswirkungen des Klimawandels zu erwarten seien und wie sich die Betreiber von Wasserkraftanlagen darauf vorbereiten würden. Dieser Frage soll im Folgenden aus schweizerischer Sicht, also für ein Alpenland mit einem nicht unerheblichen Bestand an Wasserkraftwerken, nachgegangen werden.

2. Von welchem Klimawandel sprechen wir

Gewisse Exponenten streiten immer noch darüber, ob ein anthropogen beeinflusster Klimawandel im Gange sei. Viele Indizien sprechen allerdings dafür. Es geht aber im folgenden Beitrag nicht darum, die Existenz des Klimawandels nachzuweisen, sondern darum, aufzuzeigen, welche Auswirkungen auf die Wasserkraftnutzung in der Schweiz zu erwarten sind, wenn die Klimaänderungen, welche in den letzten rund 150 Jahren, also der Zeit, in welcher die Wasserkraft im grösseren Umfange genutzt wird, beobachtet wurden, sich in der beobachteten Art weiterentwickeln würden.

Es sind dies der ungewöhnlich starke Anstieg der Temperatur gegen Ende des 20. Jahrhunderts, wie er aus der Datenreihe in *Bild 1* ersichtlich wird. Wir befassen uns hier nicht mit historischen oder noch älteren Veränderungen des Klimas und versuchen auch nicht, Antwort zu geben auf die Frage, ob es den Klimawandel tatsächlich gäbe und wodurch er bedingt sei.

Eine Gruppe von Experten hat im Jahr 2007 für den Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband im Zusammenhang mit einer Überprüfung der Zukunftstauglichkeit der heute angewendeten Hochwasserschutzstrategie versucht, in Form einer zusammenfassenden Übersicht die beobachteten und noch zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels aufgrund der Resultate der vorhandenen Studien zu umschreiben.

Diese Expertenrunde ist zu folgenden Aussagen gekommen, welche sie als einigermassen gesichert betrachtet:

Bezüglich der beobachteten mittleren Verhältnisse:

- 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 gehörten zu den wärmsten Jahren innerhalb der letzten rund 500 Jahre. 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

Bezüglich der beobachteten Extremereignisse wird festgehalten:

- 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

Erwartet wird eine Fortsetzung der beobachteten Trends. 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%,
- seltener werdenden Kältewellen und Frosttagen,
- häufigeren Hitzewellen und längerer Sommertrockenheit,
- Zunahme von Häufigkeit und Intensität der Starkniederschläge im Winterhalbjahr.

Wenn schon die Aussagen zu den Mittelwerten mit Unsicherheiten behaftet sind, sind es die Aussagen zu Extremereignissen noch viel mehr.

Diese prognostizierten Änderungen des Klimas würden sich auch auf die Wasserkraftnutzung auswirken. Sowohl die Veränderungen der Niederschläge als auch die Veränderungen der Temperaturen haben direkte Auswirkungen auf die Wasserkraftnutzung.

Stichworte dazu sind etwa:

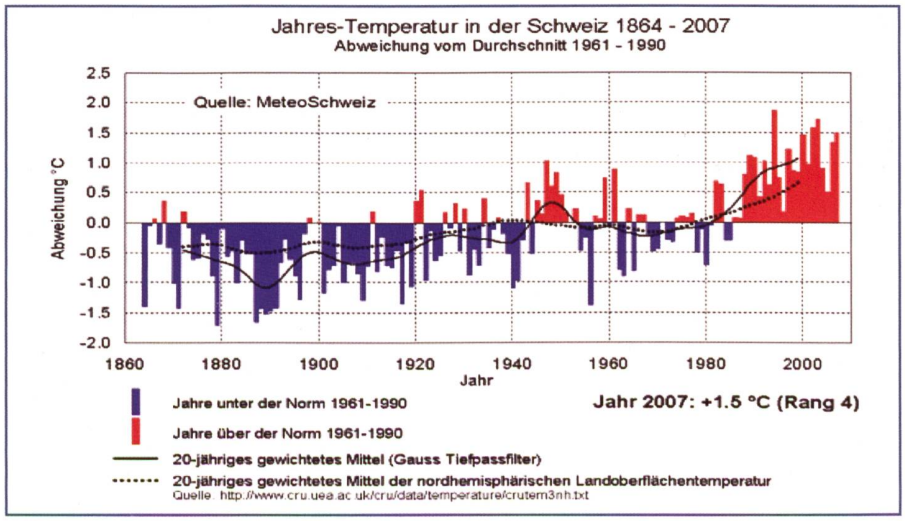

Bild 1. Beobachtete Jahrestemperatur in der Schweiz von 1864 bis 2007.

Bei den Niederschlägen:

- Höhere Schneefallgrenze
- Häufigere und grössere Hochwasser
- Weniger Niederschlag im Sommer, mehr Niederschlag im Winter
- Grössere jährliche Variabilität der Niederschläge

Bei den Temperaturen:

- Höhere Evapotranspirationsrate (Verdunstung)
- Höhere Sättigungsgrenze der Luft
- Abschmelzen des Permafrosts
- Frühere Schneeschmelze
- Kurzfristig grössere Gletscherschmelze
- Grössere Variation der Temperaturschwankungen
- Langfristig starke Reduktion des in Gletschern gespeicherten Eises

Die Klimaänderungen haben aber auch Auswirkungen auf den Konsum respektive die Produktion von Energie, wodurch die Wasserkraft ebenfalls betroffen ist.

Als Stichworte sind dabei zu nennen:

- Bemühungen zur Eindämmung des Energiekonsums im Hinblick auf eine Reduktion des CO_2-Ausstosses (In der Schweiz besteht die Vision, von den heute üblichen rund 6000 Watt Durchschnittsleistung, welche pro Einwohner konsumiert werden, auf rund 2000 Watt herunterzukommen, das heisst, die so genannte 2000-Wattgesellschaft zu realisieren. Eine etwas modifizierte, neuere Idee zielt darauf ab, den CO_2- Ausstoss pro Person auf 1 t pro Jahr zu reduzieren),
- Reduktion der Anzahl Heizgradtage einerseits, neue Klimatisierungsansprüche andererseits mit Einfluss auf den Energiebedarf,
- Substitution von den CO_2-behafteten Energieträgern durch vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien.

Die Auswirkungen aus den oben aufgeführten, für die Wasserkraftnutzung relevanten Veränderungen können in vier Bereiche gegliedert werden. Wir unterscheiden dabei zwischen Auswirkungen, welche die Wasserkraftnutzung «erleiden» muss, sowie neuen Herausforderungen zur Erbringung eines Beitrags zur Bekämpfung von Auswirkungen des Klimawandels respektive des Klimawandels selbst. Von einigen der Auswirkungen ist die Wasserkraft also eher passiv betroffen, ob sie dies will oder nicht, andere Auswirkungen rufen nach aktiven Beiträgen der Wasserkraftwerksbetreiber respektive der Politik.

Direkt betroffen wird der Betrieb der Wasserkraftwerke in den zwei Bereichen:

- Menge und zeitliche Verteilung des Abflusses, sprich der Produktion der Wasserkraftwerke
- betriebliche Beeinträchtigungen oder gar Schäden an Kraftwerken durch verstärkte Extremereignisse

Neue Herausforderungen oder Anforderungen an die Wasserkraft werden gestellt durch:

- Bedarf zur Bekämpfung unerwünschter Auswirkungen des Klimawandels und
- Erbringung eines Beitrags zur Dämpfung des Klimawandels.

3. Einfluss auf Menge und Zeitpunkt der produzierten Energie

Es muss damit gerechnet werden, dass die Produktionserwartung aus dem heutigen Wasserkraftwerkspark mittel- bis längerfristig insgesamt um rund 5–20% zurückgeht und es eine Produktionsverlagerung vom Sommer auf den Winter geben wird. Damit einher geht eine Minderung der Erträge aus den Kraftwerken in der gleichen Grössenordnung. Die Verlagerung auf den Winter führt eher zu einer höheren Wertigkeit des produzierten Stroms, die zunehmende (unbeeinflussbare) Variabilität der Produktion hingegen zu einem verminderten Wert.

Die Gestehungskosten werden dadurch grösser, da der Betriebsaufwand bei den Wasserkraftwerken mit einem hohen Fixkostenanteil nicht entsprechend dem Ertrag abnehmen wird.

3.1 Fazit zu Produktionsänderungen

Bauliche Massnahmen, um dem veränderten Abflussregime begegnen zu können, sind keine notwendig (respektive möglich), da die maximal zu turbinierenden Wassermengen nicht zunehmen werden!

Die Minderproduktion kann mit den bestehenden Anlagen nicht vermieden werden. Sie könnte allein durch Zubau neuer Kapazitäten kompensiert werden. Um die aktuellen Ziele der schweizerischen Energiepolitik, welche einen Zubau an Wasserkraftproduktion von 2000 GWh fordert, langfristig sicherzustellen, sind bedingt durch die klimatischen Produktionsschmälerungen noch wesentlich grössere Anstrengungen als der Zubau von diesen 2000 GWh erforderlich!

4. Betriebliche Beeinträchtigungen und Schäden durch den Klimawandel

Durch den Klimawandel sind aber auch neue oder verstärkte Beeinträchtigungen des Betriebs der Wasserkraftwerke zu erwarten.

4.1 Häufigere und intensivere Hochwasser

Grundsätzlich sind die Wasserkraftwerke die am meisten hochwassergefährdeten Anlagen der Stromversorgung, da sie mitten in den Gewässern stehen. Andererseits sind sie gerade deswegen so ausgelegt, dass sie den Hochwassern standhalten. Es

Bild 2. Das Kraftwerk Bruggmühle bei Bremgarten an der Reuss während dem Hochwasser vom August 2005.

Bild 3. Aufräumarbeiten beim Kraftwerk Bremgarten-Zufikon nach dem Hochwasser vom August 2005.

Bild 4. Verklausungen an der Hochwasserentlastungsanlage Palagnedra 1978.

Bild 5. Aufräumarbeiten nach dem Lawinenniedergang auf die Staumauer Ferden 1999.

ist deshalb festzustellen, dass die Schäden an Wasserkraftwerken nach Hochwasserdurchgängen trotz exponierter Lage relativ gering sind.

Dennoch können häufigere und grössere Hochwasser zu mehr Betriebsaufwand während den Ereignissen und mehr Instandstellungsaufwand im Nachgang dazu führen.

Eine Auswirkung von Hochwassern, welche an den Flusskraftwerken im schweizerischen Mittelland relativ gut untersucht wurde, ist der Aufwand zur Geschwemmselbeseitigung im Hochwasserfall. Dieser erreicht rund 1% der Gestehungskosten, ist also nicht ganz vernachlässigbar, aber auch kein allzu grosses Risikopotenzial. Nebst den direkten Kosten kann der Geschwemmselanfall aber auch zu Betriebsausfällen während den Hochwasserspitzen führen.

Extreme Hochwasser können aber auch an solide gebauten Wasserkraftwerken erhebliche Schäden verursachen, wie es beispielsweise im Jahre 1978 im Kanton Tessin in der Südschweiz der Fall war. Am 7. August 1978 ergoss sich im Centovalli, einem Seitental der Maggia im Einzugsgebiet des Langensees, eine Flutwelle mit einer Abflussspitze von rund 1800–2000 m^3/s über die Hochwasserentlastungsanlage der Staumauer in Palagnedra. Ausgelöst wurde die Flut nicht nur durch das Wasser, sondern auch durch eine Unzahl Bäume, welche im Einzugsgebiet umgestürzt waren und zu einer kurzfristigen Verklausung des Gewässers und anschliessend zu einer Flutwelle führten. Die Hochwasserentlastungsanlage der Staumauer bestand damals aus einem freien Überfall, auf dem aber in relativ engen Abständen Pfeiler für die darüber führende Strasse standen. Die mitgeführten Bäume bewirkten, dass die Hochwasserentlastungsanlage, welche für 900 m^3/s ausgelegt war, ebenfalls verklauste und ihre Schluckfähigkeit verringert wurde. Der Wasserspiegel in der Stauhaltung stieg dadurch über das vorgesehene Mass an. Die Mauer wurde in der Folge überflutet und es entstanden massive Sachschäden an der rechten Kernmauer. Zum Glück konnte ein grösserer Schaden, die Kernmauer war nicht im Fels fundiert, vermieden werden.

Ob dieses Ereignis bereits dem Klimawandel zuzuschreiben ist, sei dahingestellt. Das Szenario kann sich aber durch den Klimawandel leicht wiederholen. Die Wahrscheinlichkeit einer Wiederholung würde durch intensivere und häufigere Hochwasser zunehmen.

In der Folge dieses Vorkommnisses wurde die Hochwasserentlastungsanlage so saniert, dass die Strasse, welche ursprünglich wie erwähnt über die Mauer führte und auf einer grossen Zahl Pfeiler auf der Überfallkante der Hochwasserentlastung abgestützt war, abgebrochen wurde und heute unterhalb der Mauer über eine neu erstellte, frei gespannte Brücke geführt wird.

Weiter wurde in der Folge dieses Ereignisses eine systematische Kontrolle sämtlicher Hochwasserentlastungsanlagen an Talsperren durchgeführt. So kam es bei mancher Mauer zu weiteren Sanierungsarbeiten. Diese Aktion kann in diesem Sinne als vorweggenommene Massnahme zur Vorbereitung auf die Auswirkungen des Klimawandels angesehen werden, zeigte sich doch, dass die Dimensionierungshochwasser der aus der Mitte des 20. Jahrhunderts stammenden Anlagen in der Regel für die aktuelle Situation zu klein angenommen wurden. Allerdings bestehen bei vielen Anlagen genügend Reserven, so dass es nicht in allen Fällen zu baulichen Anpassungen kommen musste.

4.2 Grössere Niederschläge im Winter

Im Lötschental, ebenfalls in den schweizerischen Alpen gelegen, fielen im Winter 1999 ab Mitte Februar in kurzer Zeit 3.8 m Schnee, wodurch am 23. Februar ein Lawinenniedergang ausgelöst wurde, der die Staumauer Ferden traf. Dieser Lawinenniedergang gefährdete zwar die Mauer als solche nicht, es ergaben sich aber bis zu 30 m dicke Schneeablagerungen auf der Luftseite, welche den Abfluss aus dem Stauraum im Hochwasserfall behindert hätten. Der Auslauf des Grundablasses wurde durch den Schnee zugeschüttet. Zudem wurde die Zugangsgalerie zu den Mess- und Bedienungselementen zerstört. Die rasch aufgenommenen Räumarbeiten erlaubten es, dass ein am 23. Mai auftretendes Hochwasser mit einem Entlastungsabfluss von rund 25 m^3/s sicher über die Entlastungsanlage abgeführt werden konnte.

4.3 Mobilisierung von Feststoffen durch Hochwasser und Auftauen von Permafrost

Verschiedene Auswirkungen, welche durch den Klimawandel verstärkt werden können, führen dazu, dass es zu Instabilitäten in Felsformationen oder steilen Bergflanken und Böschungen kommen kann. So ist generell in Zukunft mit einer verstärkten Mobilisierung von Feststoffen zu rechnen, welche auch in die Gewässer gelangen und dort zur Abflussbehinderung führen können.

Ein tragisches Ereignis mit katastrophalem Ausgang, welches zwar nicht durch den Klimawandel ausgelöst, aber in Zusammenhang mit einem Szenario steht, welches in ähnlicher Weise auch als Folge des Klimawandels auftreten könnte, erfolgte in Italien bei Longarone, im italienischen Friaul, wo in den 50er-Jahren des letzten Jahrhunderts

eine 265 m hohe Bogenstaumauer gebaut wurde. Beim Erstaufstau im Jahre 1960 zeigten sich Stabilitätsprobleme an der rechten Bergflanke im Seegebiet. In der Folge wurden Sanierungsarbeiten vorgenommen und weitere Stauversuche mit permanenter Überwachung der Bergflanke durchgeführt. Dennoch erfolgte am 9. Oktober 1963 eine plötzliche Beschleunigung der Rutschung, und in der Folge stürzten rund 270 Mio. m^3 Erd- und Felsmaterial mit bis zu 100 km/h in den See, der zu diesem Zeitpunkt mit über 100 Mio. m^3 Wasser gefüllt war. Die Staumauer hielt zwar diesem Ereignis stand und erlitt nur geringfügige Schäden an der Krone, doch es ergoss sich eine riesige Flutwelle über die Krone und durch das enge Bergtal, wo sie mehrere Dörfer zerstörte und rund 2500 Todesopfer forderte.

Ein zwar kleinerer, aber gänzlich unvorhersehbarer Bergsturz ereignete sich in der Schweiz, und zwar am 24. Januar 1996 am Zuetriebestock im Kanton Glarus. Dort brach ein Felspaket von rund 750 000 m^3 Volumen hoch über dem Tal ab und stürzte auf den Talboden, unmittelbar unterhalb des Ausgleichsbeckens Tierfehd der Kraftwerke Linth-Limmern (KLL). Das Becken wurde zwar vom Felssturz direkt nicht betroffen, doch ergab sich die Gefahr, dass durch den Schuttkegel, welcher das Tal abriegelte, die Hochwasserableitung nicht mehr sicher gewährleistet werden könnte, respektive dass dieser Schuttkegel erodieren und eine Schlammlawine auslösen könnte. Noch während über die zu treffenden Massnahmen befunden wurde, gingen weitere 2.2 Mio. m^3 Fels von einer neben der ersten Abbruchstelle gelegenen Wand herunter. Auch diese trafen die Anlage des Kraftwerks nicht, doch wurden Fahrwege und Alphütten verschüttet. In diesem Falle wurde zur sicheren Ableitung der Hochwasser ein Umleitstollen in der linken Talflanke erstellt.

Instabile Hänge sind in der Regel bekannt. Sie werden geologisch begutachtet und dort, wo kein plötzlicher Abbruch erwartet werden muss, durch eine permanente Überwachung mit ins Sicherheitskonzept einbezogen.

4.4 Fazit bezüglich Beeinträchtigungen des Kraftwerksbetriebs oder Gefährdung der Anlagen

Erhöhte Hochwassertätigkeit kann zu aufwändigerem Betrieb der Kraftwerke führen. Durch Hanginstabilitäten (Starkniederschläge, Rückgang des Permafrosts) werden künftig Wasserfassungen und andere Kraftwerksanlagen häufiger beeinträchtigt durch mobilisiertes Lockergestein.

5. Beitrag von Speicherkraftwerken zum Hochwasserschutz

Speicherkraftwerke mit grösseren Saisonspeichern tragen massgeblich zum Hochwasserschutz bei, auch wenn sie nicht speziell dazu bewirtschaftet werden. Mit zunehmenden Extremhochwassern könnte dieser Beitrag an Bedeutung gewinnen und der Bedarf entstehen, dass der bereits passiv vorhandene Schutz zusätzlich noch aktiv bewirtschaftet wird. Der Schaden durch Hochwasser, gerade in den Bergkantonen der Schweiz, ist nicht zu unterschätzen. Im Durchschnitt betragen sie rund 110 Mio. Euro/Jahr oder 20 Euro/Einwohner und Jahr (im Kanton Uri gar rund 500 Euro/Einwohner und Jahr). Diese Hochwasserschäden entsprechen rund der Hälfte der Einnahmen aus Wasserzinsen.

Die Speicherseen haben einen nicht zu unterschätzenden Beitrag dazu geleistet, dass diese Schäden nicht noch höher sind, auch wenn sie nicht speziell dazu bewirtschaftet wurden.

Einige Auswertungen dieser Dämpfung auf die Abflussspitzen der Hochwasser ergaben folgendes Bild:

- Bergell 1987: Reduktion von 300 m^3/s auf 150–200 m^3/s
- Rhone, Sion, 1987: Reduktion von 1045 m^3/s auf 775 m^3/s
- Reusstal 1987: Reduktion in Seedorf um 100–150 m^3/s
- Rhone, Sion, 1993: Reduktion von 1054 m^3/s auf 830 m^3/s
- Rhone Sion, 2000: Reduktion um 120 m^3/s

Die beobachteten Dämpfungseffekte von 10–20% der Maximalabflüsse erfolgten wie erwähnt ohne spezielle Bewirtschaftung der Speicher. Es stellt sich deshalb die berechtigte Frage, ob diese Speicher, insbesondere angesichts einer erhöhten Hochwassertätigkeit durch den Klimawandel, nicht vermehrt zum Hochwasserschutz beigezogen werden könnten.

Beim Kraftwerk Mattmark, einem Hochdruck-Speicherkraftwerk in den Alpen des Kantons Wallis, wurde zwischen den Kraftwerksbetreibern und dem Kanton Wallis bereits vor einigen Jahren eine Vereinbarung zur speziellen Bewirtschaftung des Stausees im Hochwasserfall ausgearbeitet.

Später hat der Kanton Wallis ein Hochwasserschutzsystem (Minerve) in Betrieb genommen, welches unter anderen Massnahmen die aktive Zusammenarbeit mit den Speicherbetreibern beinhaltet. Dabei handelt es sich um ein computergestütztes Hochwasservorhersagemodell, das an der ETH-Lausanne entwickelt wurde. Minerve berechnet anhand der Niederschlags- und Temperaturvorhersagen von Meteosuisse die voraussichtlichen Abflussmengen im Gebiet des Kantons Wallis und prognostiziert die Pegelstände der Rhone und ihrer Nebenflüsse in den nachfolgenden 72 Stunden. Auf Grund dieser Kalkulationen können die Betreiber der zahlreichen Stauseen im Bedarfsfall angewiesen werden, diese vorsorglich abzusenken, damit die Seen zumindest einen Teil der vorhergesagten Regenmengen auffangen können.

6. Veränderter Energiebedarf

Veränderte Ansprüche durch den Klimawandel wirken sich auf den Energieverbrauch aus. Das Gleiche gilt auch für die Forderung, sparsamer mit (insbesondere CO_2-behafteter) Energie umzugehen. Welche Auswirkungen für den Bedarf nach Strom

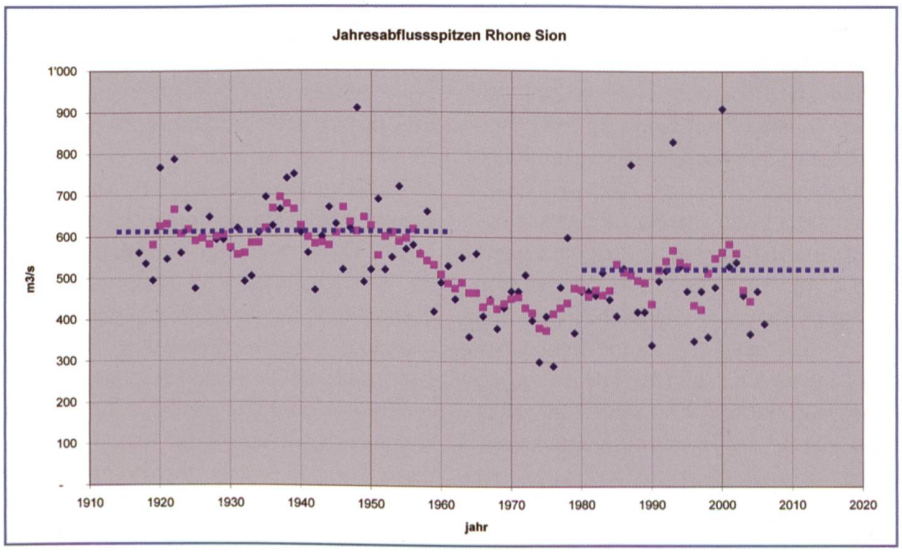

Bild 6. Reduktion der Abflussspitzen der jährlichen Hochwasser an der Rhone bei Sion nach dem Bau der grossen Kraftwerksspeicher in den 50er- und 60er-Jahren des 20. Jahrhunderts (Blau: Jahresabflussspitzen, Magenta: 5-jährliche gleitende Mittel).

aus Wasserkraft ist aus dieser Forderung zu erwarten? Wie werden sich die veränderten Energieansprüche auf die Nachfrage nach Strom aus Wasserkraft auswirken?

Es ist in der Schweiz relativ unbestritten, dass zur Bekämpfung der Klimaänderung und der sich abzeichnenden Energieverknappung die Effizienz der Energieanwendungen gefördert werden müsse. Sollten diese Bemühungen erfolgreich sein, müsste dadurch ein Rückgang mindestens des spezifischen Bedarfs an Energie resultieren. Die bereits erwähnte 2000-Watt-Gesellschaft würde beispielsweise zu einer Drittelung des heutigen Konsums führen.

Heisst das aber auch, dass der Bedarf nach Strom zurückgehen würde?

Hier gehen die Meinungen auseinander. Die einen behaupten, dass mit Effizienzmassnahmen auch der Stromverbrauch sinken würde, andere (darunter auch Energiewissenschafter der ETH Zürich) postulieren einen Anstieg des Stromverbrauchs auch bei sinkendem Energieverbrauch, weil Strom unter den Energieträgern eine Schlüsselposition einnimmt dank seiner universellen Anwendungsmöglichkeiten und nicht zuletzt auch das Energiesparen selbst zu vermehrter Stromanwendung führt. So besteht in der Schweiz ein Trend, an Stelle von Ölheizungen Wärmepumpen einzusetzen. Die Möglichkeit, den Individualverkehr künftig elektrisch zu betreiben, zeichnet sich ebenfalls ab. Dadurch kann der Bedarf an Energie auf einen Drittel oder weniger reduziert werden, aber es findet ein Umsteigen von Öl respektive Benzin auf Strom statt. Wenn zudem noch die Warmwasserversorgung mit der Ölheizung erfolgte und auf eine Sonnenkollektoranlage gewechselt wird, resultiert auch daraus ein Mehrverbrauch an Strom, weil die Sonne an trüben Wintertagen, wie sie im schweizerischen Mittelland häufig sind, nicht genügend Warmwasser bereitstellen kann. Oft erfordert das Energiesparen aber auch intelligente Steuerungsprozesse, welche mit Strom betrieben werden.

Es besteht also kein Anlass dazu, dass der heute produzierte Strom aus Wasserkraft, welcher auch nur rund 14% des Energiekonsums der Schweiz abdecken kann, nicht mehr gebraucht würde. Das heisst, dass auch bei allfällig sich ändernden Bedürfnissen nach Energie durch den Klimawandel der Strom aus Wasserkraft äusserst willkommen bleiben würde.

7. Beitrag der Wasserkraft zur Dämpfung des Klimawandels

An die Wasserkraft, als (in der Schweiz bedeutendste) Vertreterin der erneuerbaren Energien, wird die Erwartung geknüpft, dass sie zur Dämpfung des Klimawandels beitrage, indem sie mithilft, fossile Energieträger zu ersetzen.

Im Jahre 2007 erreichte der Endverbrauch von Strom in der Schweiz 57 438 GWh oder rund 24% des gesamten Energieverbrauchs. Die schweizerische Wasserkraftproduktion lag bei rund 35 000 GWh oder 60% des Strom- respektive 14% des Energieverbrauchs. Die heutige Produktion von Strom aus Wasserkraft ist also mit einem durchschnittlichen Anteil von rund 14% am Energiebedarf nicht zu vernachlässigen. Würde man noch die Wertigkeit der verschiedenen Energieformen im Sinne der Exergie berücksichtigen, wäre der Anteil der Wasserkraft noch wesentlich grösser. Klimaschutz bedeutet deshalb unweigerlich, dass dem Erhalt der Wasserkraftproduktion grösste Bedeutung beigemessen wird und diese dort noch ausgebaut wird, wo dies nachhaltig getan werden kann.

7.1 Wasserkraft hat viele ökonomische, aber auch eine ganze Reihe ökologischer Trümpfe zu bieten

Der energetische Erntefaktor von Wasserkraftwerken ist wesentlich höher als bei anderen erneuerbaren Energiequellen. Pro Einheit Energie, welche für den Bau und den Betrieb eines Wasserkraftwerks über seine ganze Lebensdauer eingesetzt werden muss, ist eine Produktion von 150–250 Einheiten Energie zu erwarten. Bei Windkraftwerken sind dies noch rund 30 Einheiten, bei Photovoltaikanlagen rund 10. Kraftwerke, welche mit fossilen Brennstoffen betrieben werden, erzeugen pro Einheit Brennstoff weniger als eine Einheit Strom oder Wärme.

Die Produktion von Wasserkraft, auch von Flusskraftwerken, ist zeitlich weniger unregelmässig als die Produktion von Strom aus Photovoltaik. So zeigt etwa der Abfluss der Aare in Bern eine Variation zwischen Sommer und Winter, welche nur halb so gross ist wie die Variation der Sonneneinstrahlung (Globalstrahlung). Für Windturbinen sind die Verhältnisse in der Schweiz nicht optimal. Die mittleren Windgeschwindigkeiten im Mittelland liegen im Bereich der Anlaufgeschwindigkeit der Turbinen. Wellenkraftwerke kommen für ein Binnenland nicht in Frage, mit der Geothermie wurden in Basel im Zusammenhang mit einem Pilotprojekt unliebsame Erfahrungen gemacht. Weil durch das Aufpressen des Felsens im Untergrund Erdbeben ausgelöst wurden, ist die Entwicklung der Technologie für die Schweiz um Jahre zurückgestellt.

7.2 Wasserkraft hat aber nicht nur Trümpfe

Unter den unerwünschten Einflüssen, welche die Wasserkraftnutzung auch mit sich bringt, sind vor allem solche zu nennen, welche sich lokal auf die Gewässer auswirken. Dazu sind etwa folgende Stichworte zu nennen.

- Verlust von schnell fliessenden Flussstrecken durch den Aufstau
- Gewinn an grossen, ruhigen Wasseroberflächen
- Verändertes Feststoffregime
- Veränderung der Flussbett-Morphologie von kiesigen zu sandigen Böden
- Veränderung der Abflussregime durch Speicherung und Ausleitung
- Verbesserung des Hochwasserschutzes
- Behinderung der Migration
- Hohe Wassertemperatur im Sommer in Ausleitstrecken mit geringer Wasserführung

Während die einen dieser Auswirkungen für die Natur erwünscht sind (Lebensräume für Wasservögel), sind diese für andere unerwünscht (etwa Verlust von schnell fliessenden Gewässerabschnitten für strömungsliebende Fische, usw.) Es zeigt sich deshalb ein uneinheitliches Bild bezüglich der lokalen Auswirkungen auf die Gewässer.

7.3 Wie soll mit diesem Interessenkonflikt umgegangen werden?

Die Wasserkraftnutzung stand schon immer im Interessenkonflikt zwischen Nutzer- und Schützerinteressen. Der Klimawandel erweitert nun diesen Interessenkonflikt noch durch eine «innerökologische» Komponente, wo sich Klimawandel und Gewässerschutz entgegenstehen.

Auf der einen Seite stehen ihre Trümpfe wie

- Ressourcenschonend bezüglich Baumaterial und Betriebsstoffen
- praktisch CO_2-frei und klimaschonend
- hochwertige Energie
- hohe Wertschöpfung
- Beschäftigung in abgelegenen Gebieten
- touristische Nebennutzen
- Unabhängigkeit von Brennstoffimporten
- Beitrag zu Hochwasserschutz
- Einwirkungen auf das Gewässer mit positiven Konsequenzen

auf der anderen Seite ihre unerwünschten Einwirkungen auf das Gewässer mit negativen Konsequenzen für Flora und Fauna.

Die Erfahrung mit Genehmigungsverfahren für Wasserkraftanlagen zeigt immer wieder, dass die Verfahren nicht optimal

durchgeführt werden können. Verschiedene Gesetze haben sich gegenseitig widersprechende oder unpräzis formulierte Vorgaben oder lassen einen Interessenausgleich gar nicht zu, weil sie quantitative, einseitige Zielformulierungen aufweisen. Zudem fehlt ein allgemein anerkannter Massstab zur Bewertung verschiedener ökologischer Auswirkungen wie auch zum Vergleich von Nutz- und Schutzinteressen.

Die bisherigen Studien zeigen, dass bei einer Bewertung der externen Kosten, welche durch verschiedene Energieträger hervorgerufen werden und welche als Mass für deren Nachhaltigkeit betrachtet werden können, die Wasserkraft sehr gut abschneidet. Diese Bewertungen sind aber heute noch nicht allgemein anerkannt und werden deshalb (vorläufig?) auch nicht in die Entscheidfindung aufgenommen.

Effiziente Verfahren zur Bearbeitung der erwähnten Interessenkonflikte sind angesichts der vielen Qualitäten der Wasserkraft, welche einen optimalen Ausbau erforderlich machen, dringend notwendig, um den Beitrag der Wasserkraftnutzung zum Klimaschutz optimieren zu können. Der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband vertritt deshalb die Meinung, dass in den Genehmigungsverfahren konsequent die Interessenabwägung, beispielsweise in Form einer Schutz- und Nutzungsplanung, durchgeführt werde, um optimale Lösungen in diesem Interessenkonflikt zu erreichen. Er setzt sich deshalb auch dafür ein, dass die Gesetzgebung eine solche Güterabwägung konsequent vorsieht, wo dies noch nicht der Fall ist.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Wasserkraftnutzung in der Schweiz ist der, dass diese leider schon zu einem grossen Teil realisiert worden ist. Auch wenn deshalb alle Möglichkeiten ausgeschöpft werden, um neue Kapazitäten zubauen zu können, sind die Grenzen des Ausbaus der Wasserkraftnutzung doch begrenzt.

Die jüngste Studie zum Ausbaupotenzial der Wasserkraft in der Schweiz stammt aus dem Jahr 2004 und prognostiziert ein technisch mögliches Ausbaupotenzial von rund 7500 GWh (etwa 20% der heutigen Produktion). Zum Vergleich betrug die Produktion der Windkraftwerke in der Schweiz im Jahr 2003 5.2 GWh, die Photovoltaik trug 16.6 GWh bei. Die Bundespolitik erwartet einen Produktionszuwachs von 2000 GWh (27% des technisch möglichen Potenzials) bis 2030. Die Umsetzung der Restwasservorschriften bei Neukonzessionierungen nach der bereits geltenden Gesetzgebung ergibt einen Verlust von ebenfalls rund 2000 GWh, der Klimawandel dürfte nochmals einen Verlust in derselben Grösse ergeben.

Um das Ziel von plus 2000 GWh zu erreichen, müssten also vom technischen Potenzial von 7500 GWh rund 6000 GWh realisiert werden können. Das entspricht rund 80% des vorhandenen Restpotenzials.

7.4 Der Bedarf an Konsumanpassung nimmt zu

Durch diese Förderung der erneuerbaren Energieträger ist aber nicht nur die Menge an Strom betroffen. Die Förderung unregelmässig produzierender erneuerbarer Energieträger (Wind, Sonne) fördert auch den Bedarf für Regel- und Ausgleichsenergie in den Stromnetzen. Wer springt ein für die Windkraftwerke, wenn es windstill ist, wer kompensiert die Sonne in der Nacht oder an trüben Wintertagen, wenn Strom besonders gefragt ist? Strom lässt sich nicht einfach speichern, wie etwa Holz oder Erdöl.

Der Wasserkraftwerkspark der Schweiz weist dank der gebirgigen Topographie viele Speicherkraftwerke mit relativ hohen installierten Leistungen auf. Diese eignen sich besonders gut zum kurzfristigen 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 beschränkt werden. Diese Minderung muss mit baulichen Massnahmen erfolgen.

Speicherkraftwerke eignen sich auch zum Ausbau zu Pumpspeicherkraftwerken, was den Einsatzbereich für die Netzregulierung noch erweitert und weitgehend unabhängig von der Umgebung der Anlagen erfolgen kann.

7.5 Fazit zum Thema Beitrag der Wasserkraft gegen den Klimawandel

Die Wasserkraftnutzung in der Schweiz kann keinen «matchentscheidenden» neuen Beitrag zur Verhinderung der Klimaänderung beitragen. Eine weitgehende Substitution fossiler Energieanwendungen mit Wasserkraft allein ist bedingt durch das beschränkte noch vorhandene Ausbaupotenzial nicht machbar. Dennoch muss alles daran gesetzt werden, dass der mögliche Beitrag optimiert wird, denn die Ziele der Bundespolitik können langfristig nur erfüllt werden, wenn das an sich bescheidene Ausbaupotenzial konsequent genutzt wird. Das erfordert aber, dass der Wasserkraft diejenigen Rahmenbedingungen gegeben werden, welche für einen Ausbau notwendig wären. Das sind: effiziente Genehmigungsverfahren und langfristige Rechtssicherheit. Die Rahmenbedingungen für die Wasserkraftnutzung müssen dem gesetzten Ziel Rechnung tragen.

Der Betrieb und Ausbau der Wasserkraft bedeutet immer einen Kompromiss zwischen Gewässerschutz einerseits und Klimaschutz, optimaler Rohstoffbewirtschaftung, Importunabhängigkeit usw. andererseits.

Die Speicherkraftwerke haben in der Schweiz gutes Potenzial, zum Ausgleich zwischen der unregelmässigen Produktion etwa von Windkraftwerken und dem Bedarf nach Strom beizutragen. Schwall und Sunk kann dabei aber nicht durch Betriebseinschränkungen gedämpft werden.

8. Zusammenfassung

Die Wasserkraftnutzung steht in einer vielschichtigen Wechselwirkung mit dem Klima.

Der Klimawandel wird die künftige Produktion um einige Prozent schmälern.

Er kann eine erhöhte Gefährdung des Betriebs oder der Anlagen selbst darstellen, welche zu einer Verteuerung des Betriebes führen kann. Die Auswirkungen werden aber nicht dramatisch sein.

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

Ein verstärkter Einbezug der Wasserkraft für den Klimaschutz wäre wünschbar, stösst jedoch an Grenzen bezüglich des vorhandenen relativ bescheidenen Ausbaupotenzials und wird behindert durch den u.a. auch ökologischen Interessenkonflikt zwischen Klimaschutz und Gewässerschutz.

Der Erhalt und mögliche Ausbau der heutigen Wasserkraftnutzung in der Schweiz ist ein dringendes Anliegen einer nachhaltigen Energiepolitik. Er hängt von den herrschenden Rahmenbedingungen ab.

Anschrift des Verfassers:
Dr. *Walter Hauenstein*
Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Rütistrasse 3a, CH-5401 Baden
Tel. +41 56 222 50 69, w.hauenstein@swv.ch