

# Klimawandel: Handlungsbedarf für die schweizerischen Wasserkraftbetreiber?

Daniel Spreng

## Zusammenfassung

Mehrere schweizerische Forschungsinstitute<sup>1</sup> haben sich zusammengefunden, um im Projekt «Klimaänderung und Wasserkraftnutzung»<sup>2</sup> den neuesten Stand des Wissens bezüglich des Einflusses des Klimawandels auf die Zuflüsse der Wasserkraftwerke zu erarbeiten und Hinweise zu geben, wie sich die Veränderungen auf den Betrieb der Wasserkraftwerke auswirken könnten. Im vorliegenden Beitrag soll dieser Stand des Wissens aus der Perspektive der Energiewirtschaft dargestellt und dessen Bedeutung für die Wasserkraftbetreiber erläutert werden.

## 1. Veränderungen des schweizerischen Klimas

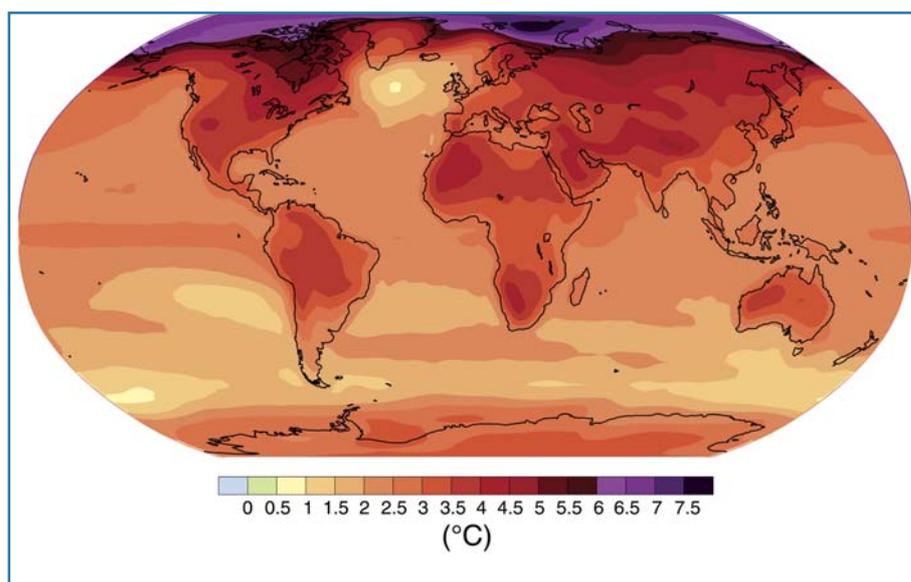
Die Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Erdatmosphäre ist nun über 50 Jahre durch Messungen belegt worden. Die gemessene Zunahme entspricht ungefähr der halben Menge, welche die Menschheit emittiert, die andere Hälfte wird von den Weltmeeren absorbiert. Dass diese Zunahme die Erde vermehrt zu einem Treibhaus macht ist eine physikalische Tatsache. Die Klimaänderungen, die aufgrund der Zunahme der treibhausrelevanten Gase und Partikel (CO<sub>2</sub> ist die wichtigste Komponente) erfolgen, sind messbar und es kann mit an die Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit vorausgesagt werden, dass sich diese Veränderungen in Zukunft mit steigender Geschwindigkeit fortsetzen werden.

Insbesondere kann mit hoher Wahrscheinlichkeit vorausgesagt werden, dass die Temperatur längerfristig global weiter zunehmen wird. Andererseits weiss man sehr wenig, wie sich der Klimawandel von Jahr zu Jahr und an bestimmten geographischen Orten auswirkt. Dem langfristigen Trend überlagern sich Schwankungen von Jahr zu Jahr, die örtlich meist grösser sind als im globalen Durchschnitt.

Von den grossen Klimamodellen weiss man heute, dass die tendenzielle Temperaturerhöhung (d.h., z.B. die Temperaturerhöhung von Jahrzehnt zu Jahrzehnt) nicht überall auf der Erde gleich gross sein wird. Im westlichen Europa entspricht die prognostizierte Temperaturerhöhung etwa der mittleren globalen

Temperaturerhöhung, wobei in den Alpen mit einer etwas grösseren Temperaturerhöhung gerechnet werden muss. Unter der Voraussetzung einer erfolgreichen, aber nicht drakonischen Klimapolitik (sog. Szenario A1B) ist dies eine Temperaturerhöhung von etwa 0.03°C pro Jahr, die sich den anderen (jährlichen, saisonalen, tageszeitlichen,...) Schwankungen überlagert.

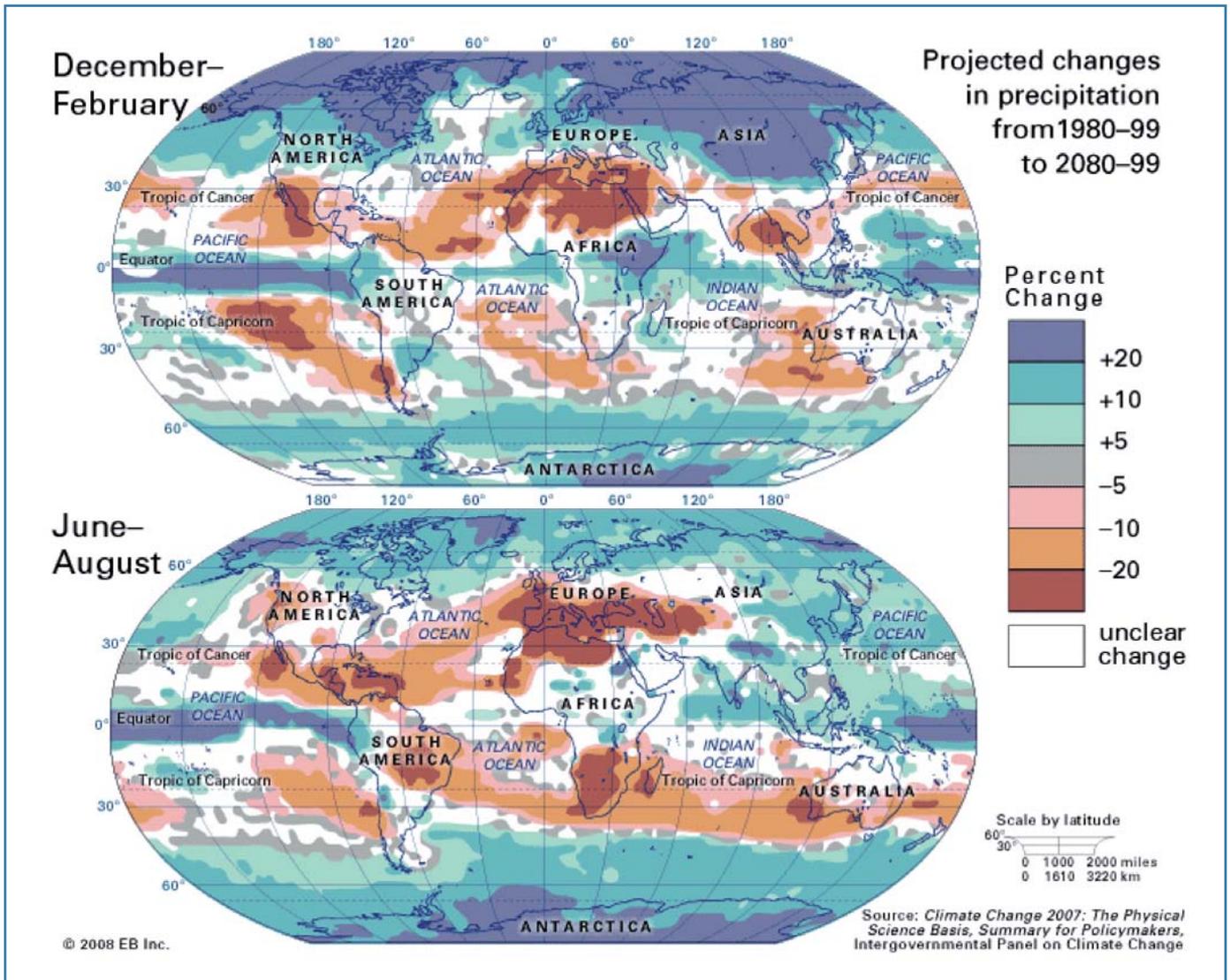
Im Projekt «Klimaänderung und Wasserkraftnutzung» wurden nun vom Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich die Temperaturveränderungen für viele Wetterstationen der Schweiz berechnet und zwar für die Zeitperioden 2021–2050 und 2070–2099. Für das erwähnte Szenario sind die Temperaturzunahmen immer positiv: in der näheren



**Bild 1. Vorausberechnete Erwärmung der Erdoberfläche für das Ende des Jahrhunderts (2090–2099). Das gewählte Szenario ist das sog. A1B-Szenario. Temperaturveränderungen beziehen sich auf die Zeitperiode 1980–1999. Quelle: IPCC 2007, 4. Bericht (Synthesis).**

<sup>1</sup> Gruppe Hydrologie des Geographischen Instituts der Universität Bern, Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich, Geographisches Institut der Universität Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich und die Versuchsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft des ETH Bereichs.

<sup>2</sup> <http://www.hydrologie.unibe.ch/projekte/ccwasserkraft.html>



**Bild 2. Vorausberechnete Veränderungen der Niederschlagsmengen für das Ende des Jahrhunderts (2080–2099). Das gewählte Szenario ist das sog. A1B-Szenario. Die Veränderungen beziehen sich auf die Zeitperiode 1980–1999. Quelle: IPCC 2007, 4. Bericht (The Physical Science Basis, Summary for Policy Makers).**

Zukunft (2021–2050) um die +1.5°C (gegenüber der Kontrollperiode 1980–2009), in der ferneren Zukunft (2070–2099) +3.0 bis 4.5°C.

Die saisonalen Unterschiede dieser Veränderungen wurden ebenfalls berechnet, diese detaillierten Resultate sind jedoch mit grösseren Unsicherheiten behaftet.

Wichtiger für Wasserkraftwerkbetreiber, aber leider viel unsicherer, sind Voraussagen über die klimabedingten Veränderungen der Niederschläge. Der Treibhauseffekt bewirkt nicht nur eine Zunahme der Temperatur, sondern allgemein wird mehr Energie, die von der Sonne auf die Erde gestrahlt wird, im Klimasystem zurückgehalten. Dadurch ergibt sich eine Beschleunigung des Wasserkreislaufs: mehr Verdunstung, mehr Niederschläge. Der gasförmige Wassergehalt der wärmeren Luft kann aber auch höher sein und über weite Strecken transportiert werden bevor

er kondensiert und Niederschläge verursacht. Wo und wann die Niederschläge zunehmen werden, ist deshalb nicht einfach zu berechnen. Gemäss den heutigen grossen Klimamodellen werden die Niederschläge nördlich der Alpen zunehmen und südlich der Alpen abnehmen. Prognosen für einzelne Alpentäler sind entsprechend mit noch grösseren Unsicherheiten behaftet.

Die im Rahmen des Projekts «Klimaänderung und Wasserkraftnutzung» gesichteten, neusten Berechnungen von 10 Modellketten führen teilweise zu sich widersprechenden Resultaten, bezüglich der saisonalen Niederschlagsveränderungen im Alpenraum. Wie die globalen Modelle, in Bild 2, prognostiziert auch eine Mehrzahl der regionalen Modelle Niederschlagsabnahmen während den Sommermonaten. Für die fernere Zukunft wird dabei ein durchschnittlicher Wert von -15% prognostiziert. Für den Win-

ter wird auf der Alpennordseite eher mit Niederschlagszunahmen gerechnet. Für den Jahresdurchschnitt wird die Niederschlagsmenge, wie erwähnt, leicht höher erwartet. Dies alles bezieht sich aber auch wieder nur auf das Szenario A1B.

Die erwähnte erhöhte Verdampfungsenergie führt auch dazu, dass die Niederschläge, ob erhöht oder nicht, schneller wieder verdampfen und deshalb in geringerem Mass die Gewässer alimentieren. Dies wird bei der Abschätzung der veränderten Zuflüsse zu bedenken sein.

## 2. Abschmelzen der Gletscher

Die Veränderungen der Gletscher sind viel besser voraussagbar als die Niederschläge. Sowohl der Mengentrend der Abschmelzung, als auch der Trend bezüglich des Einsetzens der Gletscherschmelze im Frühjahr sind mit grosser Sicherheit voraussagbar, denn beides ist in erster Linie vom langfristigen Trend der Tem-

peraturzunahme abhängig. Letzterer ist unter Voraussetzung einer bestimmten Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gut prognostizierbar. Ein gut prognostizierbarer Trend darf allerdings nicht mit einem gut prognostizierbaren Ereignis in einem bestimmten Jahr verwechselt werden. Auch ist natürlich das Wachstum der Gletscher im Winter von den nur ungenau voraus-sagbaren Niederschlägen abhängig, doch das Abschmelzen kann man sich als lang-samen Prozess vorstellen, der dem sich verändernden Klima mehrere Jahre nach-hinkt und demzufolge relativ ausgeglichen abläuft.

Zwei Institute haben sich im Rah-men des Projektes «Klimaänderung und Wasserkraftnutzung» mit den Gletschern befasst, das Geographische Institut der Universität Zürich und Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW) der ETH Zürich. Es dürfte sich für den Wasserkraftwerkbe-treiber lohnen, sich mit diesem Thema ge-nauer zu befassen, wenn für ihn verglet-scherte Einzugsgebiete eine Rolle spielen. In stark vergletscherten Einzugsgebieten können durch das Abschmelzen der Glet-scher schon heute die Abflüsse Jahr für Jahr grösser sein als die Niederschläge. In ein paar Jahrzehnten wird jedoch eine Trendumkehr eintreten und die Abflüsse werden langfristig, bei weggeschmolze-nen Gletschern und erhöhter Evapotran-spiration, im Mittel geringer als die Nieder-schläge sein.

Wie im Bericht der VAW dargestellt wird, ist z.B. der durchschnittliche Zufluss zu der 2007 m ü.M. gelegenen Fassung des zu 70% vergletscherten, 81 km<sup>2</sup> gros-sen Einzugsgebiet Gornier, heute schon rund 50% höher als der Durchschnitt des letzten Jahrhunderts. Bis 2040 wird der durchschnittliche Zufluss vielleicht noch-mals 20% zunehmen, dann aber vor Ende des Jahrhunderts unter den Durchschnitt des vergangenen Jahrhunderts absinken. Dieses Beispiel kann nicht auf andere ver-gletscherte Einzugsgebiete eins zu eins übertragen werden, wichtig sind neben dem Vergletscherungsgrad u.a. die Höhe des Einzugsgebietes, die zu erwartenden Niederschlagsveränderungen und, wegen der Evapotranspiration, die Bodenbe-schaffenheit der nicht vergletscherten Flächen.

Für die Stromproduktion der gan-zen Schweiz halten sich die Auswirkungen

des Abschmelzens der Gletscher in Gren-zen. Insgesamt hatte es im Jahr 1999 noch rund 60 km<sup>3</sup> Eis in den Gletschern der Schweiz, was etwa 55 km<sup>3</sup> Wasser ent-spricht. Wenn wir annehmen es brauche wenigstens 100 Jahre bis die Gletscher geschmolzen sind, dann stehen während dieser Abschmelzphase, in der wir schon drin sind, theoretisch jährlich rund 0.5 km<sup>3</sup> mehr Wasser zur Verfügung. Dies ist, im Vergleich zu den 60 km<sup>3</sup> Niederschlägen, die jährlich auf die Schweiz fallen und von denen etwa ein Drittel genutzt wird, nicht besonders viel.

Von potenziellem Interesse ist auch der Umstand, dass die sich zurückzie-henden Gletscher z.T. Seen von beacht-licher Grösse zurück lassen (siehe Studie des Geographischen Instituts der Univer-sität Zürich im Projekt «Klimaänderung und Wasserkraftnutzung»). Diese Seen können für die Wasserkraftnutzung allenfalls von Interesse werden. Zudem werden auch höher gelegene Fassungen das Potenzial der Wasserkraftnutzung vergrössern. Dies könnte für hoch gelegene Einzugsgebiete theoretisch ein nicht unwesentliches Po-tenzial eröffnen. In den beiden von der VAW untersuchten Einzugsgebieten wird mit einer Erhöhung der Gleichgewichtslinie (oberhalb der Linie wächst der Gletscher, unterhalb schmelzt er weg) von 600 Metern gerechnet. Dieses theoretische Potenzial könnte aber nur durch wesentliche Um-bauten bestehender Wasserkraftwerke ober bei Neubauten genutzt werden, so z.B. bei neu konzipierten Pumpspeicher-werken.

### 3. Veränderungen der mittleren Zuflüsse

Wichtig für die Wasserwirtschaft sind vor allen die Veränderungen der Zuflüsse zu den Wasserkraftanlagen (Fassungen und Stauseen). Mengenmässig ergeben sich diese aus dem Zusammenspiel der ver-änderten Niederschläge, der veränderten Verdunstungen und dem veränderten Ab-schmelzen der Gletscher. Wichtig sind auch die zeitlichen Veränderungen, so-wohl die saisonalen als auch die kurzfris-tigen Veränderungen, die sich durch die vermutete Zunahme der Extremereignisse ergeben. Letztere werden im Projekt «Kli-maänderung und Wasserkraftnutzung» nicht behandelt.

Hydrologen teilen Einzugsgebiete

und deren Abflüsse in verschiedene Typen ein. Die Gruppe Hydrologie des Geogra-phischen Instituts der Universität Bern hat im Rahmen des Projektes «Klimaänderung und Wasserkraftnutzung» für je ein Einzugs-gebiet aller 16 Typen, die klimagedingten Veränderungen der Abflüsse berechnet.<sup>3</sup> Für die Berechnung des Abflusses in Funk-tion der Niederschläge wurde im Prinzip jeweils dasselbe Modell verwendet. Dabei wurden Regen und Schnee, Temperaturen (über Null und unter Null) und verschiedene Flächen (Eis, Fels, unterschiedliche Böden und Vegetation) unterschieden. Die Mo-dellparameter wurden für jeden Einzugs-gebietstyp an der Vergangenheit separat geeicht. Dies erlaubte, aufgrund der regio-nalen Klimaprognosen, die Berechnung der zukünftigen Abflüsse.

Es ergeben sich für die 16 Einzugs-gebietstypen recht unterschiedliche Re-sultate. Auf der Alpennordseite wirken sich im Winter prognostizierte Erhöhungen der Niederschläge positiv aus, in der ganzen Schweiz werden in den wärmeren Som-mern ein höherer Anteil der Niederschläge verdampfen und sich so der Wasserkraft-nutzung entziehen und es wird in vielen Gebieten auch mit weniger Abflüssen ge-rechnet. Bei Letztem ist allerdings die Si-cherheit der Aussage nicht sehr hoch.

Wasserkraftwerke können bei ho-her Wasserführung oft nicht alles Wasser nutzen. Da in der Schweiz im Sommer meist viel Wasser zur Verfügung steht, führen die verminderten Zuflüsse im Sommer nicht unbedingt zu einer Minderproduktion. In sechs Fallbeispielen (Kraftwerke Löntsch, Prättigau, Mattmark, Oberhasli, Gougra und Göschenalp) wurden die durch die saisonal veränderten Zuflüsse bedingten Mehr- und Mindererträge berechnet. Sie werden in anderen Teilen dieses Heftes er-läutert. Diese Berechnungen geben zwar wichtige Hinweise auf mögliche Entwick-lungen, führen jedoch nicht zu quantitati-v belastbaren Aussagen. Dies aus folgenden Gründen:

- Alle Berechnungen über die Klimaver-änderungen beziehen sich auf das IPCC-Szenario A1B. Andere Entwick-lungen der CO<sub>2</sub>-Zunahme sind auch möglich.
- Die Regionalisierung der globalen Kli-mamodelle führt zu unterschiedlichen Resultaten. Insbesondere sind quanti-tative Resultate der regionalen, sai-

<sup>3</sup> Dabei ging es auch um die Frage, ob es Einzugsgebiete gibt, die aufgrund des veränderten Klimas in der Typologie neu eingeteilt werden müs-sen.

sonalen Niederschlagsberechnungen mit grossen Unsicherheiten behaftet (vergleiche auch den neuesten, ausführlichen Bericht «Swiss Climate Change Scenarios CH2011»<sup>4</sup>, es handelt sich dabei um dieselben Berechnungen, wie diejenigen, welcher im Projekt «Klimaänderung und Wasserkraftnutzung» angewendet wurden).

- Die Berechnung der Zuflüsse zu den Kraftwerken beruht zu einem hohen Mass auf den genannten Niederschlagsberechnungen, sie stellen eine von mehreren möglichen Entwicklungen dar.
- Die Berechnung von Minder- und Mehrproduktion beruht zudem auf der Annahme, dass sich neben den Zuflüssen alles andere nicht ändert. Dies ist eine für die Berechnungen zulässige, aber sicher keine realistische Annahme. Mehr dazu im folgenden Abschnitt.

In diesem Heft, im Beitrag von Balmer, Hänggi und Weingartner mit dem Titel «Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung in der Schweiz 2021–2050 – Hochrechnung», werden die Fallstudien, die im Rahmen des Projekts «Klimaänderung und Wasserkraftnutzung» gemacht wurden, mit einer raffinierten Methode hochgerechnet:

«Die Hochrechnung geht für den Zeitraum 2021–2050 im Vergleich zu 1980–2009 von einem Anstieg der mittleren Produktionserwartung im Winter um 10.1% aus. Für die Sommerzeit wird eine Abnahme zwischen 4.4 und 6.3% erwartet. Diese saisonalen Veränderungen bewirken auf das Jahr gesehen eine leichte Zunahme der schweizerischen Stromproduktion durch Wasserkraftnutzung zwischen 0.9 und 1.9%. Aus regionaler Sicht muss bei den Wasserkraftwerken im Tessin mit leichten Produktionsabnahmen gerechnet werden.»

Diese Aussagen sind als Hinweis auf eine Tendenz zu verstehen und nicht als exakte, quantitative Prognose.

#### 4. Welche weiteren Veränderungen spielen eine Rolle?

Neben den klimabedingten Zuflussveränderungen hat das Klima auch Auswirkungen auf weitere Faktoren, die die Wasserkraftnutzung beeinflussen. Zum einen sind dies weitere Umgebungsfaktoren, zum andern Elemente des Strommarkts.

In der physischen Umgebung der Kraftwerke wird der Klimawandel nicht nur zum Rückzug der Gletscher, sondern auch zu veränderten Geschiebebewegungen, Murgängen und Lawinen führen. Einen gewissen Einfluss auf die Betriebskosten, dürften insbesondere die allenfalls vermehrt notwendig werdenden Geschiebeentnahmen und Spülungen von Fassungen und Stauseen darstellen. Zu diesem Thema wurden im Projekt «Klimaänderung und Wasserkraftnutzung» interessante Studien gemacht.<sup>5</sup>

Über die für die Wasserkraftnutzer vielleicht wichtigste Klimaveränderung, über die Zunahme der Extremereignisse (Stürme, Hochwasser, Dürren), wissen wir quantitativ relativ wenig. Statistiken über Extremereignisse, d.h. über seltene Ereignisse, sind grundsätzlich eine schwierige Sache, denn Statistiken sind grundsätzlich nur für viele Datenpunkte sinnvoll. Die Beobachtungsmethoden und die Beurteilung von Ereignissen verändern sich über die vielen Jahrzehnte, die nötig sind, um genügend Daten zu sammeln und um statistische Aussagen machen zu können. Zwar hat die Versicherungsbranche sehr umfangreiche Daten über die Zunahme von umweltbedingten Schadenfällen, doch diese Zunahmen können auch andere Gründe haben, wie z.B. den zunehmenden Bau von Gebäuden in exponierten Lagen.

In jüngster Zeit haben sich die Meteorologen diesem Thema trotzdem angenommen.<sup>6</sup> Mindestens die Zunahme von Hitzeperioden ist vielleicht nicht 100%ig, aber doch mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit statistisch gesichert.

Auch ist mit hoher Sicherheit mit einer Zunahme von heftigen Niederschlä-

gen zu rechnen. Diese resultiert bei Laufkraftwerken zum Verlust von nutzbarem Wasser und könnte zur Forderung der stärkeren Nutzung von Speicherkraftwerken für den Hochwasserschutz, mit entsprechender Einschränkung der Stromproduktion, führen.

Der Strommarkt wird durch den Klimawandel auf zweierlei Art verändert. Erstens verändert sich die Nachfrage, zweitens die Produktion der Konkurrenz.

Die Nachfrage nach Elektrizität wird im Sommer aufgrund wärmerer Temperaturen und vermehrter Klimatisierung von Gebäuden, insb. im Dienstleistungsbereich, wahrscheinlich stark zunehmen. Eine Extrapolation der in den Energieszenarien des Bundesamts für Energie gemachten Schätzungen der klimabedingten Stromnachfrageveränderungen für das Jahr 2050<sup>7</sup> ergibt eine Nachfrageerhöhung um 6% über das ganze Jahr und 11% über das Sommerhalbjahr.

Zu den Mitbewerbern, die auch von Klimaeinflüssen betroffen sind, gehören aus Sicht eines einzelnen Wasserkraftwerkbetreibers

- die anderen Wasserkraftwerkbetreiber in der Schweiz,
- andere Wasserkraftwerkbetreiber im umliegenden Europa
- und thermische Kraftwerke mit Flusskühlung in der Schweiz und im umliegenden Europa.

Insofern der Klimawandel Auswirkungen auf den Betrieb eines Wasserkraftwerks in der Schweiz hat, wird sich dieser Klimawandel in ähnlicher Weise auf Teile des gesamten Wasserkraftwerksparks der Schweiz und damit auf den Strommarkt der Schweiz auswirken. Werden also beispielsweise die Zuflüsse des einen Kraftwerks im Sommer geringer, so wird das auch für die benachbarten Kraftwerke der Fall sein und deren Betreiber werden ihre Stromproduktion auf kürzere Produktionszeiten am Tag reduzieren. Damit wird weniger Nachtstrom zu Verfügung stehen und damit tendenziell teurer werden. Das heisst, es wird der Strommarkt verändert

<sup>4</sup> CH2011 (2011), Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7.

<sup>5</sup> Mélanie Raymond Pralong, Jens M. Turowski, Alexander Beer, Dieter Rickenmann, Valentin Métraux, Thierry Glassey (2011): Sektorielle Studie Wallis – Auswirkung der Klimaänderung auf die Geschiebefracht, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Sion und Birmensdorf, (auf: <http://www.hydrologie.unibe.ch/projekte/ccwasserkraft.html#fachberichte>).

<sup>6</sup> Vergl.: WMO (2011). Weather Extremes in a Changing Climate: Hindsight on Foresight, WMO-Nr. 1075, 1211 Geneva, Switzerland.

<sup>7</sup> Gemäss Bernard Aebischer, CEPE, ETHZ. – Die zugrundegelegte Temperaturerhöhung ist in diesen Berechnungen allerdings etwas höher, nämlich 2.5 °C, als im Szenarium, auf dem die weiter oben genannten Abschätzungen der Zuflüsse und der veränderten Stromproduktion beruhen.

und Berechnungen, die zeigen wie sich die finanzielle Lage einzelner Kraftwerke, bei unverändertem Markt, verbessert oder verschlechtert, sind mit Vorsicht zu geniessen.

Die Alpen stellen nicht nur eine reelle Wasserscheide dar, sondern markieren ungefähr auch die Grenze zwischen den Gewinnern und Verlierern der klimabedingten Veränderungen der Wasserkraftnutzung. Deshalb wird sich die Konkurrenzsituation der anderen Wasserkraftwerksbetreiber im umliegenden Europa unterschiedlich entwickeln. Wasserkraftwerksbetreiber in den Alpen, östlich und westlich der Schweiz werden ähnlich der schweizerischen Mitbewerber Mangel- und Überflusssituationen der Stromproduktion verstärken. Wasserkraftwerke in Italien und Slowenien einerseits und in Nordeuropa andererseits werden aber den allgemeinen Produktionsüberschuss im Norden und den Produktionsmangel im Süden verstärken. Dabei wird allerdings die klimabedingte Produktionszunahme der Wasserkraftwerke in Norwegen<sup>8</sup> den schweizerischen Strommarkt höchstens nur indirekt beeinflussen und gegenüber viel bedeutenderen Entwicklungen, wie dem Bau riesiger Windparks in Norden oder grosser Solarenergieanlagen im Süden nicht stark ins Gewicht fallen.

Thermische Kraftwerke sind ebenfalls von klimabedingten Veränderungen betroffen, sowohl von der Zunahme der Gewässertemperaturen als auch von der Zunahme von Dürreperioden. Sobald das Kühlwasser wärmer wird, nimmt der thermische Wirkungsgrad der Kraftwerke ab und wenn in Dürreperioden die Menge des verfügbaren Kühlwassers einen kritischen Wert unterschreitet, muss das Kraftwerk abgestellt werden.

## 6. Welche Handlungsoptionen bestehen?

Wasserkraftbetreiber beschäftigen sich mit der Erlangung von Konzessionen für die Wasserkraftnutzung, mit der Planung, dem Bau und der Erweiterung von Kraftwerksanlagen (Kraftwerke, Fassungen,

Stollen und Netze), mit dem Betrieb und dessen Optimierung, mit dem Verkauf von Strom und demzufolge mit dem Strommarkt, sowie mit der Entwicklung der politischen Rahmenbedingungen.

Der Einfluss der Klimaänderungen auf die Wasserkraftnutzung wird bei Konzessionsverhandlungen eine wesentliche Rolle spielen. Der Wert einer Konzession hängt ganz direkt mit den Nutzungsmöglichkeiten der Ressource zusammen und zwar nicht nur den heutigen Nutzungsmöglichkeiten, sondern auch den zukünftigen. Detaillierte Kenntnisse und ein umfassendes Verständnis des Einflusses der Klimaänderungen auf die Nutzung einer bestimmten Wasserressource, auch wenn Berechnungen von grosser Unsicherheit behaftet sind, sind in den Verhandlungen und in der Planung wichtig.

Bau- und Umbauvorhaben von Kraftwerksanlagen sind jeweils genau auf die vorhandene Wasserressource, insbesondere deren Jahresganglinie, und den erwarteten Markt abgestimmt. Beides wird sich durch die Klimaerwärmung ändern. Wie ist darauf zu reagieren? Höhere Zuflüsse in Winter und niedrigere im Sommer sind zwar günstig und könnten dazu verleiten, tendenziell kleinere Ausbauleistungen zu wählen. Doch dabei wird nicht mit der Zunahme von Hochwassern und Dürreperioden gerechnet. Generell führt die Klimaerwärmung zu Veränderungen, deren Ausmass insgesamt quantitativ schlecht fassbar ist. Deshalb ist genau zu überlegen, wo höhere Ausbauleistungen der verschiedenen Anlagenteile allenfalls eine zwar nicht billige, aber trotzdem sinnvolle Versicherung gegen schlecht quantifizierbare Entwicklungen darstellen. Grosszügige Dimensionierungen können Hochwasser besser gerecht werden und Dürreperioden besser überbrücken, sie können auch bei unerwarteten Marktentwicklungen einen Vorteil darstellen.

Demgegenüber dürfte die klimabedingte Betriebsoptimierung keine grossen Probleme mit sich bringen. Sowohl Veränderungen auf der Seite des Marktes, als auch Klimaveränderungen von Jahr zu

Jahr werden grösser sein als die Veränderungen des klimabedingten Trends. Die Betriebsoptimierung muss allen Veränderungen laufend kurzfristig gerecht werden und wird dabei die steten, aber von Moment zu Moment und Jahr zu Jahr kaum wahrnehmbaren klimabedingten Veränderungen auffangen.

Es stellt sich auch die Frage, was die Klimaveränderungen für die Umweltschutzpolitik bedeuten. Schmelzen die Gletscher, eröffnet sich damit doch die Möglichkeit, das Wasser höher oben zu fassen und damit das nutzbare Gefälle nach oben zu verlängern. Dass mit der Ausschöpfung dieses sich eröffnenden Potenzials Umweltkonflikte vorprogrammiert sind, dürfte klar sein. Eine frühe Diskussion darüber, wie politisch damit umgegangen werden soll, wäre wohl leichter bevor idyllische Seen sich schon gebildet haben und Projekte schon ausgearbeitet sind.

Die grössten Veränderungen im Umfeld der Stromproduktion aus Wasserkraft werden nach wie vor durch die Idee der Liberalisierung des Strommarktes angetrieben. Diese Idee muss meines Erachtens nach wie vor kritisch überdenkt werden. Wasserkraftwerke dürfen auf keinen Fall kurzfristigen Interessen geopfert werden. Wasserkraftwerksbetreiber müssen langfristig denken können, sowohl bezüglich ihrer Politik im Strommarkt, wie auch ihrer Politik bei der Pflege und dem Ausbau der Anlagen. Es ist im öffentlichen Interesse, die Anlagen in öffentlichem Besitz zu halten oder mindestens regulativ dafür zu sorgen, dass die Besitzer zu langfristigen Denken gezwungen werden. Wenn das langfristige Denken erhalten bleibt, werden sich die Besitzer für die Klimaveränderungen interessieren und geeignete Massnahmen finden, damit optimal umzugehen.

Anschrift des Verfassers

*Daniel Spreng* Prof.

c/o Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich, Zürichbergstr. 18, CH-8032 Zürich dspreng@ethz.ch

<sup>8</sup> Siehe z.B. Byman Hamududu und Aanund Killingtveit (2010), Estimating Effects of Climate Change on Global Hydropower Production, Hydropower'10 – 6th International Hydropower Conference, 1–3 February, Tromsø, Norway.