Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 103 (2011)
Heft: 4

Artikel: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung : Einleitung und Überblick über das Projekt
Autor: Schädler, Bruno / Weingartner, Rolf / Zappa, Massimiliano
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941818

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 03.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung

Einleitung und Überblick über das Projekt

Bruno Schädler, Rolf Weingartner, Massimiliano Zappa

1. Einleitung

Der Wasserkreislauf ist direkt mit dem Wettergeschehen und damit mit dem Klima verbunden, welches natürlichen und zunehmend auch anthropogenen Einflüssen unterworfen ist. Im Alpengebiet reagiert der Wasserkreislauf besonders sensitiv auf die Klimaerwärmung, weil ein veränderter saisonaler Auf- und Abbau der Schneedecke und die langfristigen Schwankungen beim Wachsen und Abschmelzen der Gletscher einen unmittelbaren Einfluss auf die verfügbaren Wasserressourcen haben. Da in der Schweiz rund 56% der elektrischen Energie durch Wasserkraft produziert werden (BFE, 2007a), sind die durch die Klimaänderung beeinflussten Veränderungen des Wasserkreislaufes äusserst wichtig für die strategische Planung der Stromversorgung der Schweiz wie auch für die mittel- und langfristige Planung von Bau und Betrieb der Wasserkraftanlagen.

Das Bundesamt für Energie hat in umfassenden Studien über die Energieperspektiven der Schweiz für das Jahr 2035 alle Aspekte der Nachfrage und der Gewinnung der elektrischen Energie untersucht. In Bezug auf die Veränderung der Stromgewinnung durch die Klimaveränderung bis 2035 wird festgestellt: «Bei wärmerem Klima nimmt das Wasserkraftangebot bis 2035 um rund sieben Prozent ab, dies als Folge geringerer Niederschläge und erhöhter Verdunstung. Das bedeutet, dass im Vergleich zu einer normalen Klimaentwicklung ein zusätzliches Gaskraftwerk notwendig ist» (BFE 2007a). Im spezifischeren Teilbericht Nr. 4 (BFE, 2007b) wird zudem erwähnt, dass bis in eine fernere Zukunft (2070–2099) sogar mit einer Abnahme der Wasserkraftproduktion von bis zu 17 Prozent gerechnet werden muss. Grundlage zu diesen Aussagen waren hydrologische Modellrechnungen in elf zumeist alpinen Einzugsgebieten (Horton et al., 2005), die auf Klimaszenarien des Projektes PRUDENCE (Christensen et al., 2002) basierten. Die Resultate der hydrologischen Berechnungen wurden dabei auf einfache Art auf das Mitteland extrapoliert und in Wasserkraftproduktion umgerechnet. Eine Synthese dieser Arbeiten findet sich in Piot (2005).

Nach der intensiven Energiedebatte in der Schweiz vom Frühjahr 2011 und dem ins Auge gefassten Ausstieg aus der Kernkraft hat das Bundesamt für Energie die Perspektiven für das Jahr 2050 abgeschätzt und geht immer noch von einer Verminderung der Wasserkraftproduktion von 7 Prozent (entsprechend etwa 2 TWh) aus (BFE, 2011; Stand Juni 2011).

In den letzten Jahren sind wichtige Grundlagen zur Abschätzung der hydrologischen Veränderungen wesentlich verbessert worden. In einem grossen Europäischen Forschungsprojekt ENSEMBLES (van der Linden und Mitchell, 2009) wurden neue, umfassende und detaillierte europäische regionale Klimaszenarien erarbeitet. Diese Klimaszenarien bildeten die Grundlage für die jetzt aktuellen noch weiter verfeinerten Klimaszenarien für die Schweiz (CH2011, 2011; Bosshard, 2011; Bosshard et al., 2011). Auch sind in der hydrologischen Modellierung wesentliche Fortschritte zu verzeichnen (Viviroli et al., 2009; Magnusson et. al., 2011; Haenggi, 2011).

Um für die Zukunft über eine verbesserte quantitative Basis zu den erwarteten Entwicklungen der Wasserressourcen und der produzierten Energie zu verfügen, haben deshalb swisselectric research und das Bundesamt für Energie im Jahre 2008 nach einer erfolgreich durchgeführten Vorstudie zum Stand der Kenntnisse im Bereich Klimaänderung und Wasserkraft (Hänggi und Plattner, 2009) ein Forschungsprojekt zu diesem Thema lanciert. Ein grosser Teil der hydraulischen Kraftwerksanlagen liegt im Wallis. Deshalb haben die Dienststelle für Energie und Wasserkraft des Kantons Wallis sowie die FMV SA ein ergänzendes Projekt gestartet mit einem speziellen Fokus auf der Thematik Gletscher, Schnee und Geschiebe.

Das Konzept des Gesamtprojektes sah vor, einerseits die Auswirkungen der Klimaänderung auf den Abfluss in repräsentativen Einzugsgebieten der Schweiz und andererseits die Auswirkungen auf

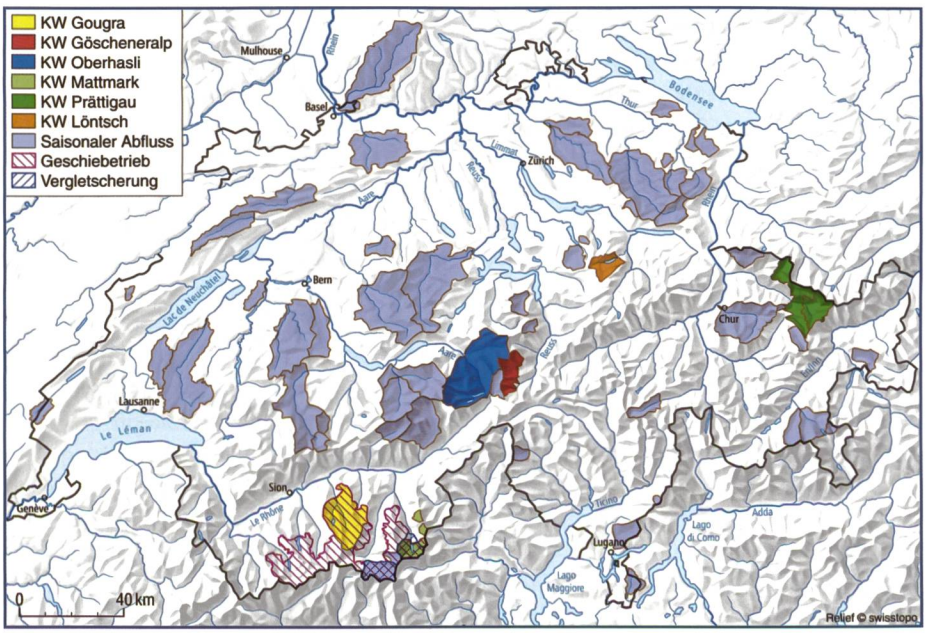

Bild 1. Übersicht aller in dieser Studie untersuchten Gebiete.

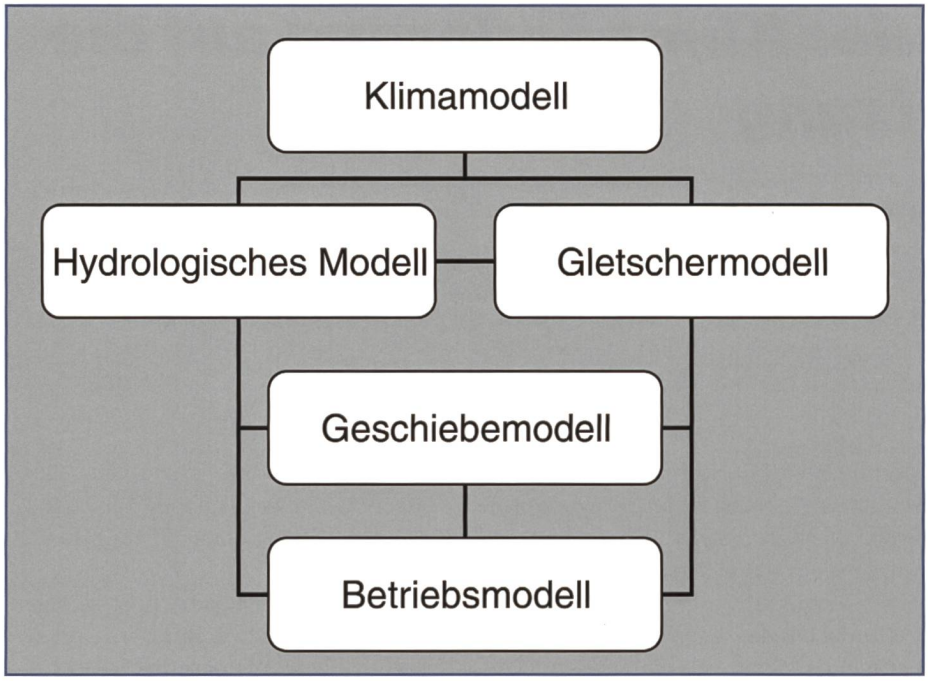

Bild 2. Schematische Darstellung der Modellkette.

den Kraftwerksbetrieb und die Stromproduktion anhand von mehreren Fallstudien mit unterschiedlichen Kraftwerkstypen zu untersuchen *(Bild 1)*.

Die Forschungsprojekte wurden unter der Koordination des Netzwerkes Wasser im Berggebiet und unter der Leitung des Geographischen Instituts der Universität Bern (Rolf Weingartner, Bruno Schädler) und der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (Massimiliano Zappa) von sechs Forschungsgruppen durchgeführt. Ein Synthesebericht (SGHL und CHy, 2011) gibt zusammenfassend Auskunft über die wichtigsten Forschungsresultate. Die angewandten Methoden und detaillierten Resultate sind in zwölf Fachberichten zusammengefasst, welche elektronisch verfügbar sind (Fachberichte, 2011). Die nachfolgenden Beiträge in der vorliegenden Ausgabe von «Wasser Energie Luft» fassen die wichtigsten Teile dieser Fachberichte zusammen.

2. Grundlagen

Als gemeinsame Grundlage für alle Arbeiten in diesem Projekt dienen die Resultate der Klimamodellierung (Bosshard et al., 2011). Diese Daten sind die Eingangsgrössen für die Modelle zur Abbildung der Gletscherprozesse, des Wasserkreislaufes und des Geschiebetransportes (vgl. *Bild 2*). Das hydrologische Modell berechnet die Auswirkungen der Temperatur- und Niederschlagsänderungen auf den Abfluss, auf die Abflussregimes und auf Extremereignisse (Hoch-/Niedrigwasser), wobei im zeitlichen Ablauf die sich verändernden Gletscherflächen berücksichtigt werden. Im Gletschermodell werden, ebenfalls auf Basis der Niederschlags- und Temperaturänderungssignale, die Gletscherflächen, -dicken und -volumen für die Zukunft berechnet. Zudem wird modelliert, wo sich beim Abschmelzen der Gletscher neue Seen bilden können. Die Resultate über die Veränderung des Abflussverhaltens und über die Vergletscherung sind die notwendigen Eingangsgrössen zur Modellierung des Feststofftransportes (Geschiebemodell). Im Rahmen dieser Untersuchungen wird der Eintrag von Sedimentmaterial in die Kraftwerksanlagen (Speicherseen, Wasserleitungen, Turbinen) berechnet. Schliesslich werden in einem letzten Modell, basierend auf den vorangegangenen Untersuchungen zur Hydrologie, Vergletscherung und zum Geschiebe, die Konsequenzen für den Kraftwerksbetrieb und die Energieproduktion ermittelt. Weitere Grundlagen für diese Modelle sind die technischen Beschreibungen der Kraftwerksanlagen und der Betriebsregeln. Auch sind Annahmen über die zu erzielenden Preise notwendig. In den Modellierungen für die zukünftigen Zeiträume bleiben diese Grundlagen und Annahmen in der Regel unverändert.

Alle Analysen wurden jeweils für zwei Zeitfenster in der Zukunft durchgeführt: Die nahe Zukunft umfasst den Zeitraum von 2021–2050, die ferne Zukunft umschliesst den Zeitabschnitt von 2070-2099. Da die Konzessionen von Wasserkraftwerken bis zu 80 Jahre dauern, ist die Modellierung auf eine lange Sicht sehr wünschenswert. Als Referenzperiode dienen in fast allen Teilstudien die gemessenen Werte bzw. die entsprechenden Simulationsexperimente der Jahre 1980–2009. Als Antrieb für die globalen Klimamodelle wurde in den Modellrechnungen mit wenigen Ausnahmen das weltweit gebräuchliche Treibhausgas-Emissionsszenario A1B des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC, 2008) verwendet. Diesem Szenario liegen Annahmen einer stark wachsenden globalen Wirtschaft, einer zunehmenden Bevölkerungszahl und einer Energieversorgung, die sich zu 50% aus erneuerbaren und zu 50% aus fossilen Energieträgern zusammensetzt, zugrunde (IPCC, 2008).

3. Unsicherheiten

Die Resultate der vorliegenden Untersuchungen unterliegen einer ganzen Reihe von Unsicherheiten. Gründe dafür sind unsichere Annahmen in den Emissionsszenarien bezüglich Bevölkerungs-, Technologie-, Wirtschafts- und Politikentwicklung. Zudem sind auch die Resultate der Klima-, Abfluss- und Gletschermodellierung Unsicherheiten unterworfen, da zum einen nicht alle relevanten Prozesse im Detail abgebildet werden können und zum andern oft die Datenlage ungenügend ist. Um die Grössenordnung der Unsicherheiten eingrenzen zu können, wurden jeweils mehrere unterschiedliche Modelle für die Klima-, Abfluss- und Gletscherentwicklung angewandt. Die Resultate zeigen, dass für Temperatur, Gletscher und Schneedecke in der Grössenordnung und in der Richtung der Veränderungen unter den Modellen eine gute Übereinstimmung herrscht. Bei den Niederschlägen und Abflüssen hingegen weisen die Resultate der verschiedenen Modelle zum Teil Werte mit unterschiedlichen Vorzeichen auf.

Verdankung

Wir bedanken uns bei swisselectric research, Bundesamt für Energie, Kanton Wallis und Forces Motrices Valaisannes für die Finanzierung des Projektes, beim Netzwerk Wasser im Berggebiet NWB für die Unterstützung beim Projektstart und der Koordination, sowie bei Barbara Lustenberger für die Mitarbeit am Synthesebericht.

Literatur

BFE (2007a): Die Energieperspektiven 2035 – Band 1 Synthese Modellrechnungen, Vergleiche, Bewertungen und Herausforderungen, 128 S., Bern.

BFE (2007b): Die Energieperspektiven 2035 – Band 4 Exkurse Einzelthemen, wie fossile Energieressourcen, Einfluss der Klimaerwärmung,

Flugverkehr, Überblick über andere Energieperspektiven, 301 S., Bern.
BFE (2011): Faktenblatt, Energieperspektiven 2050, Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung unter neuen Rahmenbedingungen.
Bosshard, T. (2011): Hydrological climate-impact modeling in the Rhine catchment down to Cologne. Diss. ETH 19861. In press.
Bosshard, T., Kotlarski, S., Ewen, T., and *Schär, C.* (2011): Spectral representation of the annual cycle in the climate change signal, Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 2777–2788, doi: 10.5194/hess-15-2777-2011.
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.
Christensen, J.H., Carter, T., Giorgi, F. (2002): PRUDENCE employs new methods to assess European climate change. In: EOS, 82, 147, 2002.
Fachberichte (2011): Fachberichte zum Projekt Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung. Siehe: http://www.hydrologie.unibe.ch/projekte/ccwasserkraft.html.
Hänggi, P. und *Plattner, C.* (2009): Projekt Klimaänderung und Wasserkraftnutzung: Schlussbericht der Vorstudie. Hrsg. Kompetenznetzwerk Wasser im Berggebiet. Bern, Davos.
Hänggi, P. (2011): Auswirkungen der hydroklimatischen Variabilität auf die Wasserkraftnutzung in der Schweiz. Inauguraldissertation der Philosophischen-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern, Bern.
Horton, P., Schaefli, B., Mezghani, A., Hingray, B., Musy, A. (2005): Prediction of climate change impacts on Alpine discharge regimes under A2 and B2 SRES emission scenarios for two future time periods. Bundesamt für Energie, Energiewirtschaftliche Grundlagen, Bern, 2005.
IPPC (2008): Klimaänderung 2007, Synthesebericht, Berlin.
Magnusson, J., Farinotti, D., Jonas, T., Bavay, M. (2011): Quantitative evaluation of different hydrological modeling approaches in a partly glacierized Swiss watershed. Hydrol. Process. 25: 2071–2084.
Piot, M. (2005): Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Wasserkraftproduktion in der Schweiz. «Wasser Energie Luft», Heft 11/12, pp. 365–367. Baden, 2005.
SGHL und *CHy* (2011): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung – Synthesebericht. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 18, 28. S., Bern. ISBN 978-3-033-02970-5
Van der Linden , P. and *Mitchell, J.F.B.* (2009): ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project, Met Office Hadley Center, Exeter, UK, 160 pp.
Viviroli, D., Zappa, M., Gurtz, J., Weingartner, R. (2009): An introduction to the hydrological modelling system PREVAH and its pre- and post-processing-tools. Environmental Modelling & Software 24(10): 1209–1222.

Anschrift der Verfasser
Bruno Schädler, Rolf Weingartner
Geographisches Institut der Universität Bern
Gruppe für Hydrologie
Hallerstr. 12, CH-3012 Bern
bruno.schaedler@giub.unibe.ch
rolf.weingartner@giub.unibe.ch

Massimiliano Zappa
Eidg. Forschungsanstalt WSL
Forschungseinheit «Gebirgshydrologie und Wildbäche»
Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf
massimiliano.zappa@wsl.ch

Lokale Klimaszenarien für die Klimaimpaktforschung in der Schweiz

Thomas Bosshard, Sven Kotlarski, Christoph Schär

1. Einleitung

Der globale Klimawandel ist eine nicht mehr zu bestreitende Tatsache und zeigt sich bereits heute in einer Vielzahl an Indikatoren. Hierzu zählen nicht nur langjährige Temperaturmessreihen, welche einen eindeutigen Erwärmungstrend auf globaler Skala offenbaren, sondern auch der weltweit beobachtete Rückzug von Gebirgsgletschern, der Anstieg des Meeresspiegels oder der Rückgang der Schneebedeckung in der Nordhemisphäre. Nach Einschätzung des Weltklimarates (IPCC, 2007) ist der anthropogene Ausstoss von Treibhausgasen für den Grossteil der seit den 1950er-Jahren beobachteten Erwärmung verantwortlich. Für das 21. Jahrhundert wird generell mit einem weiterhin ungebremsten Temperaturanstieg gerechnet, wobei die Intensität dieses Anstiegs stark von unseren zukünftigen Treibhausgasemissionen abhängen wird. Dabei werden sich die in den kommenden Jahrzehnten erwarteten klimatischen Veränderungen nicht auf die Temperatur beschränken sondern auch weitere Grössen betreffen, insbesondere auch Komponenten des hydrologischen Kreislaufs wie Niederschlag und Evapotranspiration. Als Folge dessen ist mit entsprechenden Konsequenzen auch für den Bodenwasserhaushalt, die Schneebedeckung und das Abflussgeschehen zu rechnen. Bereits der Bericht des OcCC zur Klimazukunft der Schweiz (OcCC und ProClim, 2007) gibt einen umfassenden Überblick über die zu erwartenden wasserwirtschaftlichen Konsequenzen des Klimawandels und mögliche Anpassungsmassnahmen.

Für detaillierte, quantitative Analysen zum Einfluss des Klimawandels auf den Wasserkreislauf und insbesondere das Abflussgeschehen und hydrologische Speicherfüllungen bedarf es Informationen zur erwarteten Klimaveränderung mit einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung. Solche Szenarien können in einem zweiten Schritt als Input für hydrologische Modellsysteme verwendet werden, um zu einer Abschätzung der zukünftigen Entwicklung hydrologischer Komponenten zu gelangen. Eine entscheidende Bedeutung kommt hierbei der Quantifikation der Modellunsicherheiten auf allen involvierten Ebenen zu. Dies gilt in besonderem Masse für die verwendeten Klimaszenarien, die am Beginn der gesamten Modellkette stehen. Während die Klimaszenarien des OcCC Berichtes (OcCC und ProClim, 2007) noch auf Ergebnissen des EU-Pro-