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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 97 (2005)

Heft: 11-12

Artikel: Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Wasserkraftproduktion in der Schweiz

Autor: Piot, Michel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941788

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: 25.12.2025

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

Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Wasserkraftproduktion in der Schweiz

■ Michel Piot

Résumé

L'impact d'un potentiel réchauffement climatique sur le régime hydrologique des Alpes suisses pourrait se traduire par un recul moyen de 7% de la production d'hydroélectricité à l'horizon 2020 à 2049. Cette conclusion peut être tirée sur la base des résultats d'une étude réalisée par l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne à la demande de l'Office fédéral de l'énergie. Cette étude s'appuie sur des simulations issues de modèles climatiques globaux et régionaux ainsi que d'un modèle hydrologique. Elle considère onze cas d'études ce qui permet de prendre en compte l'ensemble des sept différentes zones hydroclimatiques du massif alpin suisse. L'étude montre qu'outre une légère baisse des préci-pitations, c'est principalement l'augmentation de l'évaporation qui explique le net recul des débits annuels moyens. Sans tenir compte des contraintes dues aux exigences en matière de débits résiduels ni des possibilités d'extension des installations existantes, un tel réchauffement – s'il se produit – réduirait à 46% la part de l'hydraulique à la consommation finale d'électricité prévue pour 2035.

Zusammenfassung:

Die Auswirkungen einer möglichen Klimaerwärmung auf den Wasserabfluss aus dem schweizerischen Alpenraum dürften bereits in den Jahren 2020–2049 zu einer um durchschnittlich 7% geringeren Wasserkraftproduktion in der Schweiz führen. Dieser Schluss kann aus den Resultaten einer Studie abgeleitet werden, die das «Laboratoire Hydrologie et Aménagements» (Hydram) der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne im Auftrag des Bundesamtes für Energie erstellt hat. Ausgehend von globalen Klimamodellen wurde mit Hilfe eines hydrologischen Modells und unter Einbezug von elf Testgebieten, die alle sieben verschiedenen hydrologischen Regimes des schweizerischen Alpenraums abdecken, gezeigt, dass nebst leicht rückläufigen Niederschlagsmengen vor allem die erhöhte Verdunstung für die erhebliche Reduktion der Abflussmengen verantwortlich ist. Tritt eine solche Klimaerwärmung ein, könnte dies bedeuten, dass die Wasserkraftproduktion, ohne Berücksichtigung der Restwasserbestimmungen und ohne Ausschöpfung des Ausbaupotentials, im Jahre 2035 noch einen Beitrag von knapp 46%, gemessen am prognostizierten Endverbrauch, leisten könnte.

1. Ausgangslage

Um die energiepolitischen Optionen der Schweiz aufzuzeigen, erarbeitet das Bundesamt für Energie (BFE) zur Zeit Energieperspektiven mit einem Zeithorizont 2035. Es werden vier verschiedene mögliche Entwicklungspfade untersucht. Dabei fliessen als Rahmenentwicklung unter anderem das Wirtschaftswachstum, der Ölpreis sowie das Klima in die Modelle ein. Variationen dieser exogenen Grössen sollen Auswirkungen auf die Energiebilanz aufzeigen. Bezüglich Klima interessiert vor allem die Frage, wie sich eine mögliche Erwärmung auf die Energienachfrage und das Stromangebot in der Schweiz auswirkt. Um letzteres zu klären, hat das «Laboratoire Hydrologie et Aménagements» (Hydram) der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) im Auftrag des BFE eine Studie durchgeführt, die die Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserabfluss aus dem Alpenraum für die Zeitperiode 2020–2049 und 2070–2099 untersucht. Die Ergebnisse erlauben es, Rückschlüsse auf die künftig erwartete Wasserkraftproduktion unter der Voraussetzung einer Erwärmung zu ziehen. Nachfolgend werden zuerst die wesentlichen Modellaspekte und die untersuchten Testgebiete vorgestellt, danach die Resultate für 2020–2049 und zum Schluss werden Folgerungen für die Perspektivarbeiten gezogen und ein Ausblick gegeben.

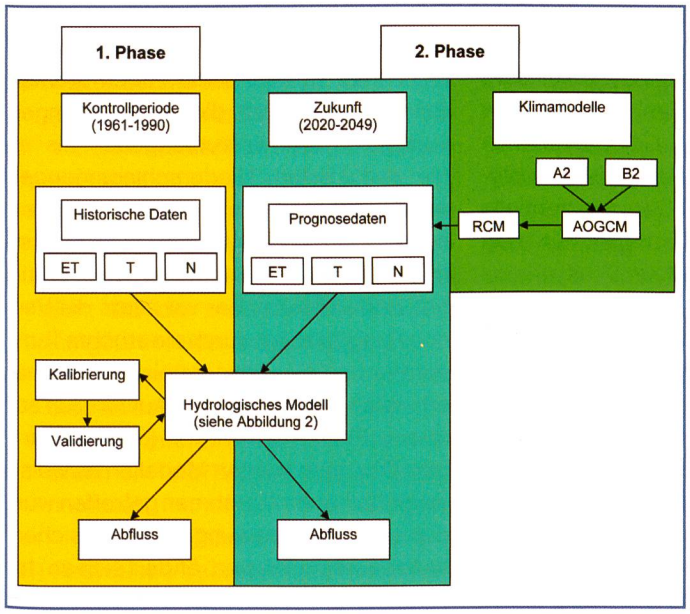

Bild 1. Übersicht über den Aufbau der Studie. T: Temperatur, ET: potentielle Verdunstung, N: Niederschlag. Die Abkürzungen A2, B2, RCM, AOGCM beziehen sich auf die Klimamodelle und werden im Text erläutert.

2. Modellaufbau

Bild 1 stellt den Studienaufbau dar. Kernstück ist das hydrologische Modell (Quelle 49), in das als Inputgrössen die Tagesmitteltemperatur, die potentielle Verdunstung und die täglichen Niederschlagsmengen einfliessen. Als Resultat liefert das Modell die entsprechenden Abfluss- und Ver-

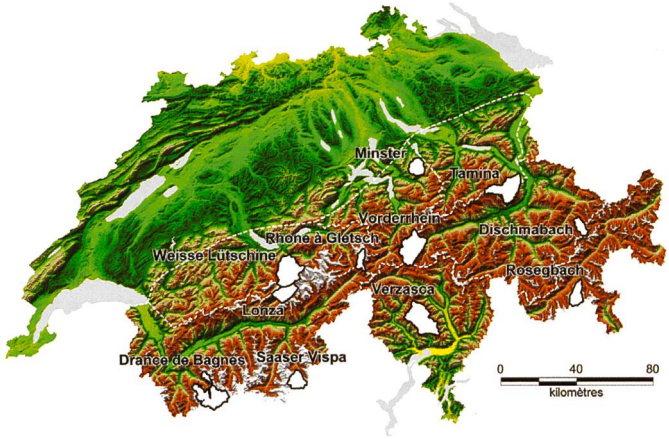

Bild 2. Übersicht über die hydroklimatischen Regionen und die untersuchten Testgebiete (Quelle 6).

dunstungsmengen. In einer ersten Phase werden historische Daten verwendet, mit denen das Modell kalibriert und validiert wird, um es dann auf die Kontrollperiode, die in der Regel die Jahre 1961–1990 umfasst, anzuwenden. Um Aussagen über die Zukunft machen zu können, müssen in einer zweiten Phase zuerst die Inputparameter des Modells für die zu untersuchende Zeitperiode geschätzt werden. Für die Temperatur- und Niederschlagswerte werden Klimamodelle verwendet; die künftige potentielle Verdunstung wird aus den Temperaturen und mit Hilfe einer Zeitreihenanalyse bestimmt. Diese Prognosedaten fliessen dann wiederum ins hydrologische Modell ein.

Die verwendeten Klimamodelle sind sehr kompliziert. Auf globaler Ebene kommen «Atmospheric – Ocean General Circulation Models» (AOGCM) zum Einsatz, die gekoppelt werden mit Treibhausgas-Emissionsszenarien, die das Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) ausgearbeitet hat und die in einem «Special Report on Emission Scenarios» (SRES) im Detail erläutert sind. Die «A2-Modellgeschichte» beschreibt eine sehr heterogene Welt mit einer Bewahrung lokaler Identitäten und einer stetig zunehmenden Bevölkerung. B2 geht ebenfalls von einer stetig, jedoch langsamer als in A2 ansteigenden Bevölkerung aus und legt ein Schwergewicht auf die lokale und regionale Ebene unter Berücksichtigung von Umweltschutz und sozialer Gerechtigkeit.

Die in der EPFL-Studie verwendeten Klimaszenarien stammen alle aus dem EU-Forschungsprojekt Prudence. Dieses Projekt liefert Klimasimulationen von drei verschiedenen AOGCMs, die mit den Szenarien A2 und B2 gekoppelt wurden. Da die Gitternetzauflösung sehr grob ist, wurden die Ergebnisse mit neun regionalen Klimamodellen (RCM) weiter verarbeitet. Insgesamt stehen somit zwölf regionale Szenarien unter A2 und sieben unter B2 zur Verfügung. In der Studie der EPFL werden diese regionalen Szenarien mit Hilfe einer statistischen Methode auf lokales Niveau heruntergebrochen, auf dem die testgebietsspezifischen klimatischen Unterschiede, die im Alpenraum beträchtlich sein können, berücksichtigt sind.

Die detaillierten Ergebnisse der regionalen Klimamodelle liegen im Rahmen des Prudence Forschungsprojektes nur für den Zeithorizont 2070–2099 vor, welcher in zahlreichen langfristigen Klimaentwicklungsstudien analysiert wird. Für die Energieperspektiven des BFE ist aber vor allem der Zeitraum 2020–2049 von Interesse. Für diese Periode liefern die globalen Klimamodelle zwischen den Emissionsszenarien A2 und B2 noch keine signifikanten Unterschiede und sagen eine globale Erwärmung von ungefähr +1 °C vorher. Dieses Ergebnis dient als Grundlage für die Rückskalierung der regionalen Klimaänderungsvorhersagen für 2020–2049. Auf Grund der geringen Unterschiede zwischen den Emissionsszenarien A2 und B2 für diesen Zeitraum werden dabei die 19 verschiedenen Modellkombinationen (zwölf regionale Szenarien unter A2 und sieben unter B2) gemeinsam betrachtet. Neben diesen im Folgenden unter der Bezeichnung «+1 °C Szenario» zusammengefassten Szenarien, analysiert die Studie der EPFL auch potentielle Klimaänderungsauswirkungen für den Zeithorizont 2070–2099.

3. Wahl der Testgebiete

Im Schweizer Alpenraum können sieben verschiedene hydroklimatische Regionen unterschieden werden, die in Bild 2 eingezeichnet sind. Bei der Wahl der Testgebiete wurde deshalb darauf geachtet, dass einerseits diese verschiedenen Regionen abgedeckt und andererseits die unterschiedlichen höhenabhängigen hydrologischen Regimes repräsentiert werden. Im weiteren war auch wichtig, dass in der Umgebung der einzelnen Gebiete für die Kontrollperiode meteorologische Mess- sowie Abflussreihen vorhanden sind und dass die Gebiete nach Möglichkeit wasserwirtschaftlich nicht genutzt werden, da der Einsatz von Kraftwerken und die allfällige Umleitung der Wasserzuflüsse im Einzugsgebiet die Modellkalibrierung erschweren würde. So wurden letztlich 11 Testgebiete ausgewählt, die ebenfalls in Bild 2 eingezeichnet sind.

4. Resultate der Studie für die Periode 2020–2049

Für den Alpenraum entspricht das globale «+1 °C Szenario» einem erwarteten Jahresmitteltemperaturanstieg von 1,2 °C bei gleichzeitiger Reduktion der Jahresniederschlagsmenge um 2%. Der Wasserabfluss aus dem Alpenraum wird um rund 7% reduziert, dies obschon der Anteil der Vergletscherung in den untersuchten Gebieten stark zurückgehen wird, und zwar um rund 50%.

Eine saisonale Betrachtung zeigt, dass die Niederschlagsmengen im Winter (Dezember bis Februar) um 6% zunehmen, im Sommer (Juni bis August) hingegen um 8% abnehmen werden. Im Frühjahr ist die Entwicklung unklar, im Herbst wird tendenziell mit einer Reduktion gerechnet. Als Folge davon wird sich der Sommerabfluss (April bis September) reduzieren, während sich der Winterabfluss (Oktober bis März) leicht erhöht. Die Abflussspitze verlagert sich, bedingt durch die frühere Schneeschmelze, um rund einen halben Monat nach vorne. Bild 3 zeigt die Resultate des prognostizierten Abflusses für zwei verschiedene hydrologische Regimes am Beispiel des Rosegbachs und der Verzsaca.

Es mag auf Anhieb erstaunen, dass trotz der zu erwartenden starken Gletscherschmelze die Abflussmengen wesentlich stärker zurückgehen als es die reduzierten Niederschlagsmengen vermuten lassen. Dies liegt daran, dass einerseits der verstärkte Gletscherabfluss mengenmässig keine grosse Bedeutung hat, andererseits aber vor allem die Verdunstung, bedingt durch die erhöhte Temperatur und die grössere eisfreie Fläche, erheblich zunehmen wird. Ausführlich auf dieses Phänomen wird in [5] eingegangen. Obschon bei den Modellen teilweise vereinfachende Annahmen getroffen wurden und die Rechnungen mit Unsicherheiten verbunden sind, ändert sich an der Tendenz der nachfolgenden Aussagen,

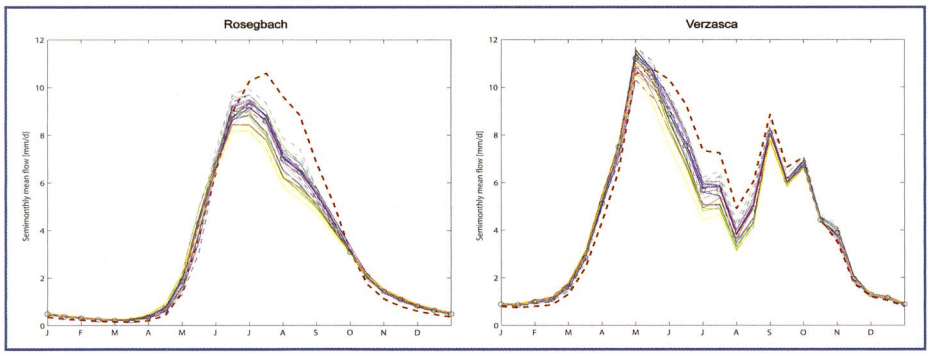

Bild 3. Halbmonatlicher Abfluss des Rosegbaches und der Verzasca für die Periode 2020-2049 in mm pro Tag. Rot gestrichelt ist der Wasserabfluss für die Kontrollperiode 1961-1990, die Kreise zeigen den Medianwert des Abflusses der neunzehn verschiedenen Klimaszenarien. Der Abfluss des Rosegbachs weist einen typischen Verlauf für ein Gebiet mit Vergletscherung auf. Im Gegensatz dazu zeigt der Abfluss der Verzasca, stellvertretend für ein nicht vergletschertes Gebiet in den Südalpen, eine zusätzliche Spitze als Folge starker Niederschläge im Herbst (Quelle: [2]).

die jeweils auf dem Median der neunzehn untersuchten Klimaszenarien beruhen, nichts. Die Modellunsicherheiten und die Streuung der Resultate werden in der Originalarbeit im Detail aufgezeigt und diskutiert.

5. Auswirkungen auf die Perspektivarbeiten des BFE

Für die Perspektivarbeiten haben unter der Sensitivität einer Klimaerwärmung die Studienergebnisse Auswirkungen auf das Stromangebot, insbesondere auf die Wasserkraftproduktion. In der Arbeitsgruppe Perspektiven wurden dazu folgende Eckpunkte festgesetzt:

- Bedingt durch den reduzierten Wasserabfluss aus dem Alpengebiet wird die Produktion der Laufwasserkraftwerke abnehmen, und zwar um 7%. Dabei wird in erster Näherung davon ausgegangen, dass eine allfällig verstärkte Verdunstung im Mittelland, die in der Studie der EPFL nicht untersucht wurde und das Wasserangebot weiter schmälern könnte, durch verminderte Überlaufe im Sommer bei den Laufwasserkraftwerken kompensiert wird.
- Bei den Speicherkraftwerken führt die geringere Wasserabflussmenge zu einer um 7% reduzierten Produktion. Da die monatlichen Schwankungsbreiten der tatsächlichen Erzeugung in den Speicherkraftwerken über die Jahre sehr gross sind, wird nur eine Differenzierung der Ergebnisse nach Sommer- und Winterhalbjahr vorgenommen.

In beiden Fällen sind die verschärften Restwasserbestimmungen nicht berücksichtigt.

- Da die Pumpspeicherung kurzfristige Regelleistung zur Verfügung stellt und für die Spitzenbedarfsdeckung eingesetzt wird, hat die Abflussminderung keinen Einfluss auf die Produktionsmenge.

6. Schlussfolgerungen, Ausblick

Die Studie der EPFL zeigt, dass eine Klimaerwärmung bereits in den nächsten Jahrzehnten erhebliche Auswirkungen auf die einheimische Stromproduktion haben kann. Im Szenario I der Energieperspektiven, das dem Referenzszenario entspricht und von einer Fortführung der jetzigen Politik ausgeht, wird unter der Annahme einer Klimaerwärmung eine durchschnittliche jährliche Erhöhung des Stromverbrauchs von 0,8% erwartet, so dass die Schweiz im Jahre 2035 einen Endverbrauch von mehr als 71 TWh aufweisen würde, gegenüber 56 TWh im Jahr 2004. Die Wasserkraftwerke haben im Jahre 2004 gemäss [1] mit 35 TWh etwa 63% zum Endverbrauch beigesteuert. Berücksichtigt man die Folgen einer allfälligen Klimaerwärmung und geht somit von einer Reduktion der Wasserkraftproduktion von rund 7% aus, was einer Minderproduktion von 2,5 TWh entspricht, so würde die Wasserkraft im Jahre 2035 gemessen am Endverbrauch noch einen Beitrag von knapp 46% leisten können. Dabei werden mögliche Zubaupotentiale durch Ausrüstungsersatz, Umbauten und Erweiterungen, die rund 2 TWh betragen, und die Restwasserbestimmungen, welche bis 2030 eine Minderproduktion von rund 1 TWh zur Folge haben dürften, nicht berücksichtigt (Quelle: [3]).

Im Entwurf zum Stromversorgungsgesetz (StromVG) ist eine Erhöhung der durchschnittlichen Jahreserzeugung von Elektrizität aus erneuerbaren Energien bis 2030 um 5,4 TWh als Ziel vorgesehen. Unter dem Referenzszenario allein mit Annahme einer Klimaerwärmung müssten also bis ins Jahr 2030 rund 8 TWh zusätzlich aus erneuerbaren Energien produziert werden.

In der Studie der EPFL wird auch die Zeitperiode 2070–2099 betrachtet. Bis dann dürften die Auswirkungen noch weit gravierender ausfallen als für die Periode 2020–2049. So gehen die Schätzungen von mittleren Temperaturerhöhungen von 3,0-4,0 °C aus, was zu einer Jahresniederschlagsreduktion von rund 7% führen wird; im Winter eine Erhöhung um rund 15%, im Sommer eine Reduktion um 25-30%, je nach unterstelltem Emissionsszenario. Insgesamt ist bis dann mit einem erwarteten Rückgang des Wasserabflusses um 17% zu rechnen. Die Vergletscherung in den Testgebieten dürfte auf Null zurückgehen oder höchstens noch wenige Prozente betragen.

Literatur:

[1] Bundesamt für Energie: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2004. Bern, 2005

[2] Horton, P. et. al.: 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
Erhältlich unter www.energie-perspektiven.ch/

[3] Laufer, F. et. al.: Ausbaupotential der Wasserkraft. Bundesamt für Energie, Energiewirtschaftliche Grundlagen, Bern, 2004
Erhältlich unter www.energie-perspektiven.ch/

[4] Schaefli Bettina: Quantification of modeling uncertainties in climate change impact studies on water resources: application to a glacier-fed hydropower production system in the Swiss Alps. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2005
Erhältlich unter: http:/library.epfl.ch/theses.

[5] Schaefli, B. et. al.: Impacts potentiels d'un changement climatique sur les régimes hydrologiques alpins. Wasser, Energie, Luft (gleiche Ausgabe), Baden, 2005

[6] SwissTopo: Digitale Landeskarten der Schweiz – Massstab 1:25 000, Wabern, 1997

Anschrift des Autors
Dr. Michel Piot
Bundesamt für Energie
Sektion Energieversorgung
CH- 3003 Bern
michel.piot@bfe.admin.ch