Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 137 (2011)
Heft: 41: Begehrtes Wasser

Artikel: Wasserkraft im Klimawandel
Autor: Denzler, Lukas
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-170278

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: 04.02.2026

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

WASSERKRAFT IM KLIMAWANDEL

Laut einer neuen Studie dürfte sich der Klimawandel in der Schweiz weniger dramatisch auf die Stromproduktion aus Wasserkraft auswirken, als noch vor einigen Jahren befürchtet wurde – zumindest in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts. Bis 2100 sind infolge des Rückzugs der Gletscher und der erwarteten Abnahme der Niederschläge im Süden Einbussen bei der Wasserkraftnutzung vor allem im südlichen Wallis und auf der Alpensüdseite zu erwarten. Auf der Alpennordseite könnte die Stromproduktion aufgrund der höheren Winterabflüsse hingegen leicht zunehmen.

Mit rund 56 % ist die Wasserkraft die wichtigste Säule der schweizerischen Stromerzeugung. Ihre Bedeutung wird mit dem vom Bundesrat angestrebten Ausstieg aus der Atomenergie noch einmal zunehmen. Damit dieser möglich wird, setzt die Regierung einerseits auf Verbesserungen bei der Effizienz und andererseits auf eine konsequente Förderung der erneuerbaren Energien. So ist bis 2050 unter anderem auch eine Steigerung der Stromerzeugung aus Wasserkraft um 4 TWh pro Jahr vorgesehen (ohne Pumpspeicherkraftwerke).[1] Bei der heutigen durchschnittlichen Jahresproduktion von knapp 36 TWh entspricht dies einer Erhöhung von etwas mehr als 10 %.[2]

DAMOKLESSCHWERT KLIMAWANDEL

Verschiedene Organisationen wie etwa der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband oder Vertreter der Elektrizitätswirtschaft halten diese Ziele unter den heutigen Rahmenbedingungen jedoch für unrealistisch. Ins Feld geführt wird dabei insbesondere, dass die Wasserkraftnutzung von verschiedenen Seiten unter Druck steht. Dazu zählen etwa die Restwasservorschriften, Interessenkonflikte mit dem Natur- und Landschaftsschutz sowie die bevorstehenden Verhandlungen über die Erneuerung der Konzessionen. Und zu guter Letzt droht auch noch das Damoklesschwert des Klimawandels.

Bisher gab es nur relativ grobe Schätzungen darüber, wie sich der Klimawandel auf die Wasserkraftnutzung auswirken könnte. Die Unsicherheit war zudem beträchtlich, in erster Linie wegen der unklaren Entwicklung der Niederschläge. Basierend auf Modellergebnissen wurde vor einigen Jahren eine um 7 % geringere Wasserkraftproduktion bis 2050 ermittelt.[3] Dabei wurde allerdings von der modellierten Abflussabnahme direkt auf die Stromproduktion geschlossen, was einer groben Vereinfachung entspricht. Die so ermittelten Werte waren bisher auch die Grundlage für die Abschätzung der künftigen Stromerzeugung aus Wasserkraft durch das Bundesamt für Energie. Dieses geht derzeit noch von einer Minderproduktion aufgrund des Klimawandels von rund 2 TWh aus.[1]

Anfang September wurden in Visp nun die Ergebnisse einer neuen Studie vorgestellt. Wissenschafter von vier verschiedenen Forschungsinstituten untersuchten in verschiedenen Teilprojekten die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung. Die folgenden Ausführungen basieren auf den dort präsentierten Vorträgen beziehungsweise auf dem Synthesebericht.

NEUE KLIMASZENARIEN ALS BASIS

Als Basis für sämtliche Analysen dienten die neuen Klimaszenarien für die Schweiz.[4] So sind beim Niederschlag bis 2050 keine dramatischen Änderungen zu erwarten; diese liegen innerhalb der bisher beobachteten Variabilitäten. Für die ferne Zukunft zeigen die Modellrech-

FORSCHUNGSPROJEKT

Das Bundesamt für Energie und Swisselectric Research, eine Organisation der schweizerischen Stromverbundunternehmen, lancierten 2008 ein Forschungsprojekt, um die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung zu untersuchen. Weil sich die meisten hydraulischen Kraftwerke der Schweiz im Wallis befinden, wurde durch den Kanton Wallis sowie die Forces Motrices Valaisannes (FMV SA) ein ergänzendes Projekt mit den Schwerpunkten Gletscher, Schnee und Geschiebe ins Leben gerufen.

Die Teilprojekte wurden von sechs Forschungsgruppen durchgeführt. Diese arbeiten am Geographischen Institut der Universität Bern (GIUB), an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), am Institut für Atmosphäre und Klima (IAC) und an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich sowie am Geographischen Institut der Universität Zürich. Zahlreiche Wasserkraftwerkbetreiber haben Messreihen, Betriebsdaten sowie ihr Wissen zur Verfügung gestellt.

Die wissenschaftliche Projektleitung lag bei Rolf Weingartner (GIUB) und Massimiliano Zappa (WSL), die Projektkoordination übernahmen das Netzwerk Wasser im Berggebiet und die WSL. Die Synthese wurde von Bruno Schädler (GIUB) koordiniert.

Der Synthesebericht sowie die Fallstudien stehen elektronisch zur Verfügung: www.hydrologie.unibe.ch/projekte/ccwasserkraft.html

01

nungen jedoch eine deutliche Abnahme der sommerlichen Niederschläge je nach Landesgegend um im Mittel 18 bis 22 %. In den übrigen Jahreszeiten ist eine leichte Zunahme wahrscheinlich, wobei die Unsicherheiten beträchtlich sind.
Auf das ganze Jahr gesehen ergibt sich auf der Alpennordseite eine leichte Zunahme, auf der Alpensüdseite und auch im südlichen Wallis hingegen eine Abnahme der Niederschläge. Für die Wasserwirtschaft bedeutsam ist zudem, dass die Dauer und Häufigkeit von sommerlichen Hitzeperioden zunehmen wird. Die Experten gehen auch davon aus, dass Starkniederschläge häufiger und intensiver werden, wobei die Unsicherheiten hier grösser sind.

GLAZIAL, NIVAL, PLUVIAL

Die Schlüsselgrösse für die Stromproduktion ist die Abflussmenge. Diese wird im Wesentlichen bestimmt durch den Niederschlag, die Verdunstung sowie die Schnee- und Gletscherschmelze. Entscheidend ist aber auch das Abflussregime, das beschreibt, wie viel Wasser in welcher Jahreszeit abfliesst. Denn es spielt eine Rolle, ob das Wasser beispielsweise im Sommer oder im Winter für die Wasserkraftnutzung zur Verfügung steht.
Die Hydrologen unterscheiden zwischen Einzugsgebieten, die stark vergletschert sind (glazial), solchen mit starkem Schnee-Einfluss (nival) und solchen, die durch Regen dominiert sind (pluvial). Schreitet die Klimaerwärmung voran, sind in diesen Einzugsgebietstypen unterschiedliche Veränderungen zu erwarten.
Über die Auswirkungen der schmelzenden Gletscher ist bereits viel geforscht worden. Gegenwärtig speichern die Schweizer Gletscher noch rund 60 Mrd. m^3 Wasser. Dieses Eisvolumen wurde vor allem in früheren Jahrhunderten aufgebaut. Etwa 80 % des Gletschervolumens liegen im Wallis. Bis 2100 dürfte vielleicht noch ein Viertel der Gletscherfläche übrig bleiben. Das Abschmelzen des Eises beschert den Kraftwerken in der warmen Jahreszeit zunächst aber einmal höhere Abflüsse. In Einzugsgebieten auf der Alpennordseite sinken gegen Ende des Jahrhunderts die durchschnittlichen jährlichen Abflüsse jedoch wieder auf den Stand von 1961 bis 1990 (als die Gletscher noch nicht so stark abschmolzen). Im südlichen Wallis und auf der Alpensüdseite fallen die Abflüsse unter diejenigen der Periode von

01 Stausee Mattmark im Saastal. Die Walliser Wasserkraftwerke könnten von der Klimaänderung stärker betroffen sein als die Anlagen auf der Alpennordseite (Foto: Axpo)

1961 bis 1990, weil gleichzeitig auch die Niederschläge abnehmen. Vor allem im Spätsommer und Herbst sind bedeutend tiefere Abflüsse zu erwarten – besonders in trockenen Sommern.
Die zweite wichtige Komponente der saisonalen Wasserspeicherung ist die Schneedecke. Je nach gefallener Schneemenge im Winter speichert sie zum Zeitpunkt ihrer maximalen Ausdehnung im März oder April 4 bis 20 Mrd. m^3 Wasser (das Fassungsvermögen aller Speicherseen der Schweiz umfasst ebenfalls 4 Mrd. m^3 Wasser). Die höheren Temperaturen bewirken künftig, dass die Nullgradgrenze ansteigt, die Niederschläge somit vermehrt als Regen fallen und deshalb unmittelbar abfliessen. Dadurch erhöht sich der Abfluss im Winter. Die maximal im Schnee gespeicherte Wassermenge nimmt zudem ab. Laut den Modellen ist bis 2050 die Variabilität zwischen schneereichen und schneearmen Wintern weiterhin gross, danach nimmt diese aber ab. Die schneearmen Winter von heute dürften gegen 2100 zum Normalfall werden. Inwiefern eine allfällige Zunahme der winterlichen Niederschläge (in höheren Lagen fallen diese nach wie vor als Schnee) die in tieferen Lagen weniger mächtige Schneedecke zu kompensieren vermag, bleibt zurzeit unklar.

AUSGEGLICHENERES ABFLUSSREGIME

Die steigenden Abflüsse im Winter und die abnehmenden Abflüsse im Sommer führen über das ganze Jahr gesehen zu einem ausgeglicheneren Abflussregime.[5] Laufkraftwerke können davon profitieren, insbesondere von den höheren Winterabflüssen. Bei Speicherkraftwerken mit natürlichen Zuflüssen dürften hingegen vor allem die totalen jährlichen Abflussmengen für die Stromproduktion entscheidend sein.
Weil die Verhältnisse so verschieden sind, muss eine Abschätzung der künftigen Stromproduktion im Einzelfall erfolgen. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde dies am Beispiel von sechs Fallstudien gemacht. Dabei wurde erstmals die ganze Modellkette von globalen bzw. regionalen Klimamodellen über hydrologische Modelle bis zum Betriebsmodell eines Kraftwerks untersucht. Die betrachteten Kraftwerke liegen in den Kantonen Wallis, Bern, Uri, Graubünden und Glarus (für ausgewählte Ergebnisse vgl. unten stehenden Kasten).

FALLSTUDIEN

Kraftwerke Mattmark und Gougra SA
Das Kraftwerk Mattmark liegt südlich von Visp im Saastal. Insbesondere für den Sommer sagen die Modelle geringere Niederschläge voraus. Die Gletscherfläche verkleinert sich zudem so rasch, dass die Schmelzwasserzuflüsse bereits ab 2020 abnehmen dürften. Bis 2050 ist deshalb mit einer Reduktion der mittleren jährlichen Abflussmengen um 6 % (+/–5 %) und bis 2100 um 12 % (+/–6 %) zu rechnen. Das saisonale Maximum der Abflüsse verschiebt sich dabei um fünf bis acht Wochen in Richtung Frühjahr. Für ein mittleres Klimaszenario ergeben sich für den Ertrag aus der Stromproduktion unter heutigen Strommarkt-Randbedingungen nur geringe Veränderungen. Im Winter, wenn die Marktpreise hoch sind, wird die Stromproduktion leicht zunehmen, und im Sommer, wenn die Marktpreise tief sind, wird sie demgegenüber deutlich abnehmen.
Ähnliche Ergebnisse bei den Abflussveränderungen zeigten sich auch bei den Anlagen der Gougra SA, die im Gebiet südlich von Sierre liegen. Für vergletscherte Gebiete im südlichen Wallis wird eine Abnahme der Abflüsse von 6 bis 9 % in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts sowie um 10 bis 12 % bis 2100 erwartet.

Kraftwerke Oberhasli
Bei den Anlagen der Kraftwerke Oberhasli am Grimsel geht man ebenfalls von abnehmenden Abflüssen aus, und zwar bis 2050 um durchschnittlich 3 % (+/–3 %) beziehungsweise bis 2100 um 7 % (+/–6 %). Diese mittleren Veränderungen liegen im Bereich der heutigen Variabilität; die trockenen Jahre liegen allerdings deutlich unterhalb der aktuellen Minima. Die durch einen geringeren Abfluss verursachten Einbussen dürften aber niedriger ausfallen als im südlichen Wallis.

Kraftwerk Göschenen
Beim Speicherkraftwerk Göschenen verschiebt sich der saisonale Spitzenabfluss bis 2050 um etwa drei Wochen, und bis 2100 um sechs Wochen Richtung Frühling. Die mittleren Zuflüsse unterscheiden sich in den beiden verwendeten Modellen beträchtlich. Eine leichte Abnahme ist möglich, aber auch eine Zunahme von bis zu 23 %. Die Stromproduktion steigt proportional zu den Zuflüssen. Aufgrund der grossen Unsicherheiten und der unbekannten Preisentwicklung können keine verlässlichen Umsatzzahlen berechnet werden.

Kraftwerke Prättigau
Überraschende Ergebnisse zeigt die Fallstudie im Prättigau. Die aus drei Kraftwerkstufen bestehende Anlage verfügt lediglich über kleine Speicher, hat somit weitgehend den Charakter eines Laufkraftwerks. Infolge des Rückgangs der Schneedecke und der Gletscher werden sich markante zeitliche Verschiebungen beim Abfluss ergeben. Es ist mit höheren Abflüssen von September bis Mai sowie tieferen Abflüssen von Juni bis August zu rechnen. Daraus ergibt sich aufs ganze Jahr bezogen für die Periode 2021 bis 2050 eine Produktionssteigerung um etwa 9 %. Dafür verantwortlich sind insbesondere die höheren Abflüsse im Winter, die zu einer Zunahme der winterlichen Stromproduktion zwischen 20 und 41 % führen. Die voraussichtliche Abnahme der Niederschläge im Hochsommer wirkt sich demgegenüber kaum aus, weil einerseits im Sommer die Speicher kaum zum Einsatz kommen und andererseits die Kapazität der Kraftwerksanlagen nicht auf die Spitzenabflüsse im Hochsommer ausgerichtet ist.

Die Berichte von allen Fallstudien stehen elektronisch zur Verfügung: www.hydrologie.unibe.ch/projekte/ccwasserkraft.html

Optimistische Variante:	
Sommer	–4.4 %
Winter	+10.1 %
Gesamtes Jahr	+1.9 % (+0.7 TWh)

Pessimistische Variante:	
Sommer	–6.3 %
Winter	+10.1 %
Gesamtes Jahr	+0.9 % (+0.3 TWh)

02 Hochrechnung der Stromproduktion für die gesamte Schweiz aufgrund der Ergebnisse der Fallstudien unter Berücksichtigung der Klimaänderung für die Periode 2021–2050 und unter Beibehaltung des heutigen operationellen Betriebs der Wasserkraftwerke. Bei der pessimistischen Variante fallen die Sommerabflüsse unter die Fassungskapazität der Kraftwerke, was zu etwas stärkeren Einbussen führt (Tabelle: GIUB)

EINE ERSTE HOCHRECHNUNG

Es fragt sich nun, ob aufgrund der Fallstudien Aussagen über die gesamte künftige Wasserkraftproduktion der Schweiz gemacht werden können. Eine erste Hochrechnung führte die Gruppe Hydrologie des Geographischen Institutes der Universität Bern durch. Dessen Leiter, Rolf Weingartner, vergleicht das Vorgehen mit den Hochrechnungen bei Wahlen oder Abstimmungen, wo anhand von repräsentativen Schlüsselgemeinden jeweils auf das Ergebnis der Schweiz geschlossen wird. In einer noch nicht veröffentlichten Studie am Centre for Energy Policy and Economics der ETH Zürich sind sämtliche Wasserkraftwerke der Schweiz nach Einzugsgebietseigenschaften und technischen Kriterien (Speicherkapazitäten, genutzte Wassermengen) typologisiert worden. Somit ist es möglich, anhand der in den Fallstudien ermittelten prozentualen Veränderungen der mittleren Produktion realistische Werte für sämtliche Kraftwerke der Schweiz zu berechnen. Die Hochrechnung habe ergeben, dass aufgrund des Klimawandels bis 2050 kaum Änderungen bei der Stromproduktion zu erwarten sind, sagt Weingartner. Es resultiert sogar eine geringfügige Zunahme von 0.9 bis 1.9 %. Das entspricht 0.3 bis 0.7 TWh pro Jahr (vgl. nebenstehende Tabelle). Eine aktuelle österreichische Studie kommt mit einer Zunahme der Stromproduktion von 0.5 bis 2.5 % in der Periode 2021 bis 2050 zu vergleichbaren Zahlen.[6]

UNBERÜCKSICHTIGTE EXTREMEREIGNISSE

Dennoch warnt Rolf Weingartner davor, sich jetzt beruhigt zurückzulehnen. So habe man etwa die Hochrechnung nur für die erste Hälfte des 21. Jahrhunderts gemacht. Der Einfluss der abnehmenden Gletscher sowie der geringeren Niederschläge im Süden der Schweiz mache sich aber vor allem in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts bemerkbar, so Weingartner. Die Berechnungen widerspiegelten zudem die mittlere Produktionserwartung aufgrund der erwarteten Klimaänderung. Das sage aber nichts aus über die Variabilität von Jahr zu Jahr – und diese könnte zunehmen. Extremereignisse wie Starkniederschläge dürften mit vermehrtem Geschiebetransport einhergehen. Infolge des Rückzugs der Gletscher und des Auftauens des Permafrostes ereignen sich womöglich auch vermehrt Bergstürze. Laut Weingartner könnten diese Veränderungen beträchtliche Auswirkungen auf den Betrieb und Unterhalt sowie die Sicherheit haben. Die Kraftwerksbetreiber müssten deshalb jedes Kraftwerk im Hinblick auf den Klimawandel einzeln analysieren.

Lukas Denzler, dipl. Forst-Ing. ETH und freier Journalist, lukas.denzler@bluewin.ch

Anmerkungen

1 Die Steigerung der Stromerzeugung aus Wasserkraft setzt sich gemäss Abschätzung des Bundesamtes für Energie wie folgt zusammen:
– Erneuerung und Umbau bestehender Anlagen: 2.4 TWh
– Neubauten Grosswasserkraft: 2.4 TWh
– Neubauten Kleinwasserkraft: 1.9 TWh
– Minderproduktion infolge moderater Umsetzung der Restwasserbestimmungen: 0.7 TWh
– Minderproduktion infolge Klimaerwärmung: 2 TWh
(Quelle: Energieperspektiven 2050: Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung unter neuen Rahmenbedingungen, BFE-Faktenblatt vom 10.6.2011)

2 Bei der mittleren Jahresproduktion ist zu berücksichtigen, dass es bereits heute beträchtliche Unterschiede zwischen trockenen und feuchten Jahren gibt. Dies widerspiegelt auch die Statistik der Wasserkraftproduktion: Einzelne Jahre können bis zu 15 % vom Durchschnitt abweichen

3 Siehe dazu z. B. den OcCC/ProClim-Bericht «Klimaänderung und die Schweiz», 2007

4 Informationen zu den neuen Klimaszenarien: www.c2sm.ethz.ch/services/CH2011. Verwendet wurde ein realistisches mittleres Emissionsszenario

5 Ein solcher Trend lässt sich am Rhein bereits heute beobachten. Seit den ersten Abflussmessungen in Basel im Jahre 1808 haben sich die mittleren Jahresabflussmengen kaum verändert. Saisonal ist es aber zu deutlichen Verschiebungen gekommen. Im Winter haben die Abflüsse zugenommen, während sie im Sommer abgenommen haben, aber immer noch fast doppelt so hoch sind wie im Winter

6 Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft, 2010