Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 104 (2013)
Heft: 2

Artikel: Produktions- und Zuflussprognosen für Kraftwerke
Autor: Wiederkehr, Sibylle / Zogg, Roman
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856449

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: 09.07.2025

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

Produktions- und Zuflussprognosen für Kraftwerke

Das Beispiel der BKW

Wie viel Energie produzieren nicht flexible Anlagen wie etwa Flusskraftwerke zu welchem Zeitpunkt? Und wie lassen sich die Wasserzuflüsse für flexible Speicherkraftwerke vorhersagen, um deren Einsatz zu planen? Die Beantwortung dieser Fragen kann unter anderem den Bedarf an Ausgleichsenergie reduzieren. Der vorliegende Artikel diskutiert anhand des Beispiels der BKW die Wahl der hierfür notwendigen Prognosemodelle und Eingabegrössen.

Sibylle Wiederkehr, Roman Zogg

Die BKW verfügt per Ende 2011 in der Schweiz und den angrenzenden Ländern über einen technologisch diversifizierten Produktionspark mit einer installierten Leistung von 2795 MW respektive 9864 GWh produzierter Energie.

In der Schweiz sind die Wasserkraftwerke ein zentraler Bestandteil dieses Anlagenportfolios. Entweder direkt oder über Partnergesellschaften hält die BKW Beteiligungen an solchen Produktionsanlagen oder ist bezugsberechtigt.

Die Laufwasserkraftwerke sind hauptsächlich im Kanton Bern, von den Alpentälern bis ins Mittelland, entlang der Aare und ihren Zuflüssen zu finden. Jedes Kraftwerk hat dabei seine ganz spezifischen Besonderheiten wie kleine Stauräume, Abgabeverpflichtungen oder Limitationen beim Einsatz der Maschinen. Diese Einschränkungen sind in den Produktionsprognosen zu beachten.

Die Speicherkraftwerke befinden sich in den Alpen im Berner Oberland, Wallis, Tessin und Kanton Graubünden. Je nach Standort sind die Speicherseezuflüsse mehr oder weniger glazial geprägt und von den Niederschlägen und Charakteristika des jeweiligen Einzugsgebiets abhängig. Diese Informationen müssen entsprechend in die Zuflussprognose einfliessen.

Im Ausland umfasst der Produktionspark, neben Laufwasserkraftwerken im Aostatal und der Lombardei, primär Windparks in Deutschland und Süditalien. Um für diese Anlagen die Produktionswerte vorhersagen und den Bedarf an Ausgleichsenergie gering halten zu können, hat die BKW Prognosen entwickelt, die täglich mit neuen Inputgrössen gespeist und aktualisiert werden.

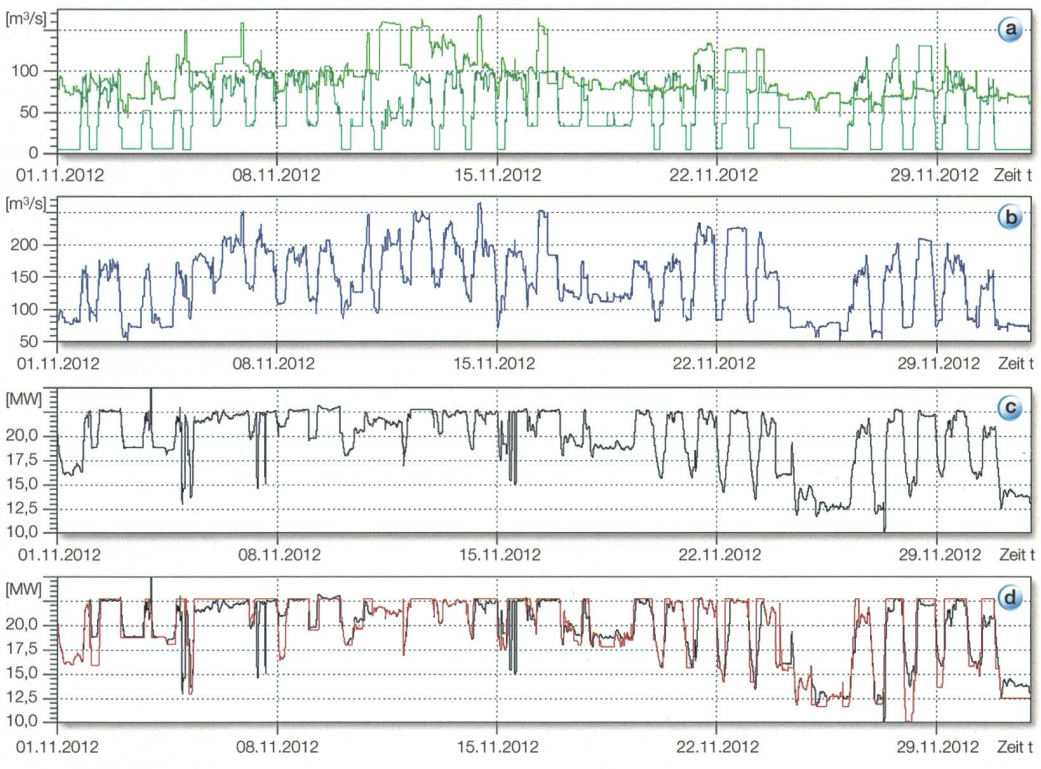

Bild 1 Beispiel von Einflussgrössen, Produktionsprognose und tatsächlicher Produktion eines Flusskraftwerks der BKW.

a) Die zwei dominierenden Einflussgrössen für die Produktionsprognose eines Laufwasserkraftwerks: hellgrüne Linie Abfluss (m³/s) eines oberliegenden Laufwasserkraftwerks, dunkelgrüne Linie Abfluss (m³/s) eines oberliegenden Speicherkraftwerks. Beide Daten stehen in der Historie wie auch als Prognose zur Verfügung.
b) Die summierten Abflüsse (m³/s) der beiden Einflussgrössen (blaue Linie).
c) Die realisierte Produktion (MW) des zu prognostizierenden Kraftwerks (schwarze Linie). Man sieht klar die Korrelation zum Abfluss aus den Oberliegern. Auch sichtbar ist die maximal verfügbare Leistung von rund 22,5 MW.
d) Die Produktionsvorhersage (MW) für dasselbe Kraftwerk basierend auf dem prognostizierten Abfluss der beiden Oberlieger (rote Linie).

Bilder: BKW

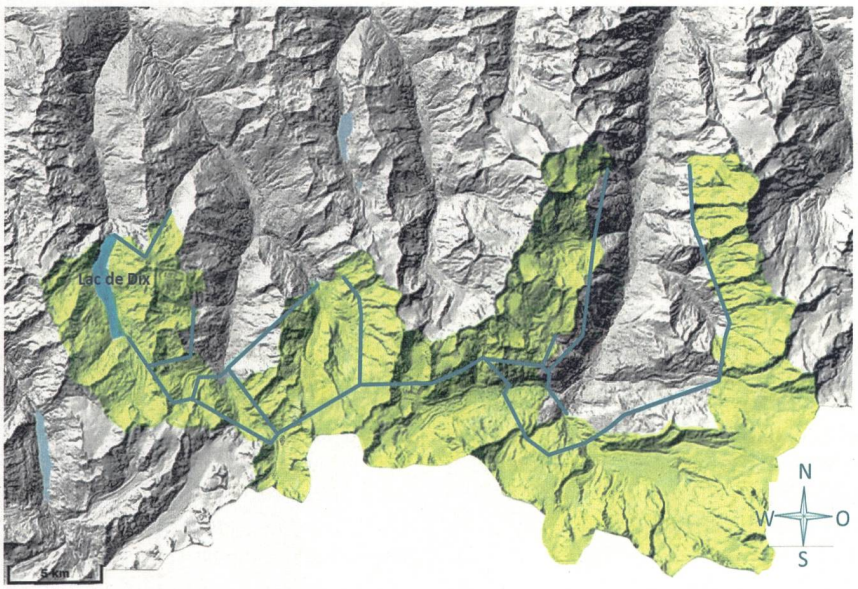

Bild 2 HBV-Modell für den Lac de Dix.
Der Kraftwerkskomplex Grande Dixence sammelt in einem 400 km² grossen Einzugsgebiet durch 75 Wasserfassungen das Wasser von 35 Walliser Gletschern und transportiert dieses durch 100 km Stollen und vier Pumpstationen in den Speichersee Lac de Dix.

Wahl des Prognosemodells

Um der Vielfalt und Komplexität der genannten Kraftwerke in der Vorhersage gerecht zu werden, bedarf es eines Prognosesystems mit einem umfangreichen Methodenset. Genügt es beim einen Kraftwerk, die Vortagesproduktion als Grundlage für die Vorhersage zu nehmen, kann die Produktion bei einer anderen Anlage in komplexer Weise von Wettervorhersagen oder einem anderen Kraftwerk beeinflusst werden – zum Beispiel einem Speicherkraftwerk, das den Zufluss zu einem unten liegenden Laufwasserkraftwerk bestimmt. Zudem sind gewisse Verfahren eher für sehr kurzfristige Prognosen geeignet, das heisst für einen Vorhersagebereich von unter einem Tag, während andere den Kurz-, Mittel- oder Langfristbereich abdecken. Grundsätzlich lassen sich aber folgende drei Prognosemethoden unterscheiden: statistische, physikalische und konzeptionelle.

Statistische Modelle

Zur Produktionsvorhersage werden sehr häufig Methoden verwendet, die auf statistischen Verfahren basieren. Indem Zusammenhänge zwischen Ein- und Ausgabegrössen mathematisch berechnet werden, lassen sich physikalische Gegebenheiten implizit zu einem statistischen Modell verarbeiten.

Diese Methoden benötigen jedoch eine ausreichend lange Historie an Ein- und Ausgabegrössen, da jeder mögliche Zustand des Gesamtsystems enthalten sein sollte. Tritt zum Beispiel ein Extremereignis auf, können durch Extrapolation unrealistische Werte auftreten. Ändert sich ein Parameter des Gesamtsystems, muss abgewartet werden, bis ausreichend Daten vorliegen, oder man korrigiert alternativ – sofern möglich – die Historie der betroffenen Grössen.

Beispiele für diese Art von statistischen Modellen sind die für Produktionsvorhersagen häufig verwendeten, künstlichen neuronalen Netze, adaptiv logische Netze oder auch autoregressive Verfahren wie Autoregressive-Moving Average.

Physikalische Modelle

Die zweite Modellkategorie umfasst physikalische Modelle. Grundlegende Idee ist es, die Produktionsvorhersage aus einem vergangenen und dem aktuellen Zustand abzuleiten. In der Regel sind auch die sogenannten physikalischen Modelle mathematische Modelle, sie stützen sich jedoch auf physikalische Gesetzmässigkeiten. Entsprechend braucht man für die Erstellung solcher Modelle viele räumlich verteilte Messdaten. Weiter dauert die Berechnung im Allgemeinen relativ lange. Entsprechend kommen diese Modelle in der Praxis kaum vor.

Konzeptionelle Modelle

Die konzeptionellen Modelle stellen eine Zwischenstufe der statistischen und physikalischen Vorgehensweisen dar. Sie vereinfachen das physikalische System und werden auf die Messwerte kalibriert. So braucht es bei ihrer Anwendung im hydrologischen Bereich räumliche Informationen wie Höhenlage und Bodenbeschaffenheit ebenso wie zumindest die meteorologischen Eingabegrössen Niederschlag und Temperatur.

Meist bestehen die konzeptionellen hydrologischen Modelle aus verschiedenen Modulen, welche die meteorologischen Grössen auf das Einzugsgebiet interpolieren, Schneeschmelze und -akkumulation berechnen, die Verdunstung bestimmen, die Vorgänge im Boden abbilden und daraus die Abflussganglinie modellieren.

Das HBV-Modell des Swedish Meteorological and Hydrological Institute ist wohl die bekannteste Anwendung. So stützen sich seit seiner Entwicklung in den 1970er-Jahren viele neuere hydrologische Modelle darauf ab.

Definition adäquater Eingabegrössen

Die Wahl des richtigen Modells ist aber nur die «halbe Wahrheit». So gilt es auch, die richtigen Eingabegrössen sowie geeignete Meteostationen auszuwählen. Dass die Wahl der Eingabegrössen für die Qualität des Prognoseresultats eminent wichtig ist, wird von niemandem angezweifelt. Nicht immer stehen jedoch die gewünschten Parameter als Messgrössen und noch weniger als Vorhersage zur Verfügung. Gehört das flussaufwärts liegende Kraftwerk zum Beispiel einem anderen Betreiber, muss nach Alternativen zur Bestimmung der Abflussmenge gesucht werden. Wird dieses preisoptimiert eingesetzt, können etwa Marktpreiskurven als alternative Eingabegrösse in die Prognose einfliessen.

Auch die Wahl der adäquaten Meteostationen, die ein hydrologisches Einzugsgebiet beschreiben sollen, ist nicht immer einfach. Erfahrungswerte haben gezeigt, dass vielfach die scheinbar naheliegendste Lösung nicht diejenige ist, mit welcher sich die besten Resultate berechnen lassen.

Kenntnisse über die Topografie des hydrologischen Einzugsgebiets sowie das lokale Wettergeschehen sind entsprechend hilfreich.

Wahl der Prognosestrategie

Nicht zuletzt muss die Prognosestrategie festgelegt werden, das heisst, ob ein Top-down- oder Bottom-up-Ansatz implementiert werden soll. Beim Top-down-

Ansatz wird lediglich eine Prognose auf der Ebene der gesamten Produktion aller Wasserkraftwerke erstellt. Dieses Ergebnis wird dann mengenmässig auf die einzelnen Einheiten heruntergebrochen.

Umgekehrt werden beim Bottom-up-Ansatz die kleinsten Einheiten, etwa einzelne Kraftwerkszentralen, prognostiziert und dann hin zur grössten Einheit aggregiert oder skaliert.

Welches Vorgehen gewählt wird, hängt auch damit zusammen, wie die Kraftwerke respektive die Kraftwerksanteile abgerechnet werden und wie viel Zeit zur Berechnung der Vorhersagen zur Verfügung steht. Ein Bottom-up-Ansatz schafft Transparenz auf der Ebene der kleinsten Einheit, und Kraftwerkseigenheiten lassen sich gut modellieren. Zudem können Revisionsarbeiten in der Prognose leicht berücksichtigt werden. Der Aufwand für das Aufsetzen der Einzelvorhersagen ist im Vergleich zur Gesamtprognose eines Top-down-Ansatzes aber natürlich grösser.

Anwendung auf die einzelnen BKW-Kraftwerke

Die Prognose der Produktions- und Zuflusswerte ist herausfordernd, da diese immer im Kontext des spezifischen Kraftwerks beurteilt werden müssen. Die BKW setzt deshalb je nach Kraftwerkstyp statistische oder konzeptionell hydrologische Modelle ein und variiert je nach Bedarf das Vorgehen sowie die gewählten Eingabegrössen.

Für die Produktionsvorhersage inflexibler BKW-Anlagen, also Flusswasserkraftwerke sowie Wind- und Fotovoltaikanlagen, werden in der Regel statistische Modelle angewendet. Bei solchen Anlagentypen ist die Produktion stark witterungsbedingt, das heisst primär von Wind, Sonne oder Niederschlag abhängig und entsprechend schwierig vorherzusagen.

Neben der Modellwahl sind auch grösstenteils kraftwerkspezifische Einflussgrössen zu beachten. So sind fast alle BKW-Laufwasserkraftwerke abhängig vom Produktionsregime eines flussaufwärts liegenden Kraftwerks, der Seeregulierung im Kanton Bern oder eigenen kleiner Rückhaltebecken mit spezifischen Bewirtschaftungsregeln. Zusätzlich bestehen bei einigen Produktionsanlagen Vorschriften in Bezug auf die Einsatzreihenfolge und das Leistungsband der Maschinen. Diese Besonderheiten sowie geplante Revisionen müssen, wenn nicht bereits implizit in den Eingabedaten enthalten, durch Formeln modelliert werden. In Einzelfällen wird sogar zuerst der Zufluss prognostiziert, und die Produktionswerte können erst im Anschluss bestimmt werden (Bild 1).

Das konzeptionell hydrologische Modell wird hauptsächlich für die Zuflussvorhersagen der flexiblen Speicherkraftwerke verwendet. So hat die BKW für jeden Speichersee das entsprechende Einzugsgebiet modelliert, und für zahlreiche Wasserfassungen existieren Zuflussmodelle (Bild 2). Als Eingabegrössen dienen Niederschlags- und Temperaturprognosen der Referenzstationen des Einzugsgebiets. Im kurzfristigen Bereich kommen diese Angaben direkt von einem Anbieter meteorologischer Daten, im mittel- bis langfristigen Bereich werden Mittelwerte verwendet.

Wurde bei der BKW bis vor einem Jahr für die Produktions- und Zuflussprognosen lediglich ein statistisches Verfahren in Kombination mit einem hydrologischen Modell eingesetzt, hat die Verwendung des Prognosesystems Belvis-Pro neue Möglichkeiten eröffnet. Belvis deckt die gängigsten statistischen Modelle ab und wurde mit dem hydrologischen Modell HBV verbunden. Der integrierte Formeleditor erlaubt, dass individuelle Eigenheiten der Kraftwerke modelliert werden können. Im Weiteren soll der Einsatz von Belvis die Realisierung interner Systemsynergien mit entsprechender Reduktion von Betriebskosten ermöglichen.

Kontinuierliche Überprüfung der Prognosequalität

Die Aussagequalität von Modellen hängt von deren Eingabegrössen ab, die über unterschiedliche Schnittstellen in ein Datenmanagementsystem eingehen. Fliessen darüber falsche Werte ein, findet das Modell vielleicht eine Lösung, die stark vom eigentlichen, korrekten Wert abweicht. Da solche Abweichungen finanzielle Konsequenzen haben – bei inflexiblen Anlagen durch den Bezug von Ausgleichsenergie in der Höhe der Differenz zwischen prognostizierter und tatsächlicher Energieproduktion, bei flexiblen Speicherkraftwerken durch einen suboptimalen Kraftwerkseinsatz –, ist die Gewährleistung der Prognosequalität von grosser Bedeutung.

Vor diesem Hintergrund werden bei der BKW sämtliche Prognosen vor ihrer weiteren Verwendung auf Plausibilität überprüft. Stimmen Vorhersage- oder Eingabegrössen nicht mit den dazu definierten Richtlinien überein, wird eingegriffen. Damit zudem die Vorhersagequalität für alle Tage in einem ähnlich guten Bereich liegt, werden die Prognosen inklusive des Plausibilitätschecks täglich, also auch an den Wochenenden, durchgeführt.

Angaben zu den Autoren

Sibylle Wiederkehr ist Analystin Energiehandel der BKW FMB Energie AG.
BKW FMB Energie AG, 3000 Bern
sibylle.wiederkehr@bkw-fmb.ch

Roman Zogg ist Senior-Projektleiter der Optimatik AG.
Optimatik AG, 9056 Gais
zogg@optimatik.ch

Résumé

Prévisions de la production et des apports des centrales

L'exemple des FMB

Les FMB disposent d'un parc de production diversifié au niveau technologique. Afin de traiter à parts égales la diversité et la complexité de ces centrales dans les prévisions, il faut un système de prévision avec une large palette de méthodes. En outre, il s'agit de choisir les bonnes grandeurs de saisie et les stations météorologiques adéquates. Si une centrale à accumulation en amont appartient à un autre gestionnaire, il faut trouver une solution pour déterminer les apports à sa propre centrale. Si la centrale en amont est optimisée au niveau des prix, on peut avoir recours à des courbes du prix du marché.

Pour les prévisions des centrales au fil de l'eau non flexibles, tout comme pour les éoliennes et les installations photovoltaïques, les FMB ont en général recours à des modèles statistiques. La production de ce type d'installations dépend fortement des conditions météorologiques, c'est pourquoi il est difficile de faire des prévisions. Outre le choix du modèle, il faut également tenir compte des grandeurs d'influence spécifiques. Presque toutes les centrales au fil de l'eau des FMB dépendent du régime de production d'une centrale en amont ou de la régulation des lacs dans le canton de Berne.

Pour chaque centrale à accumulation flexible, les FMB ont modélisé le bassin hydrographique pour chaque lac d'accumulation et des modèles d'apport existent pour de nombreuses prises d'eau. Les prévisions des précipitations et de température des stations de référence du bassin hydrographique servent de grandeurs de saisie. Mn