Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 64 (1972)
Heft: 5

Artikel: Die Weiterentwicklung der Pumpspeichersysteme : Notizen über einen freien Vortrag anlässlich der Internationalen Pumpspeichertagung 1971 in USA
Autor: Goldsmith, Kurt
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-920960

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: 15.10.2025

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

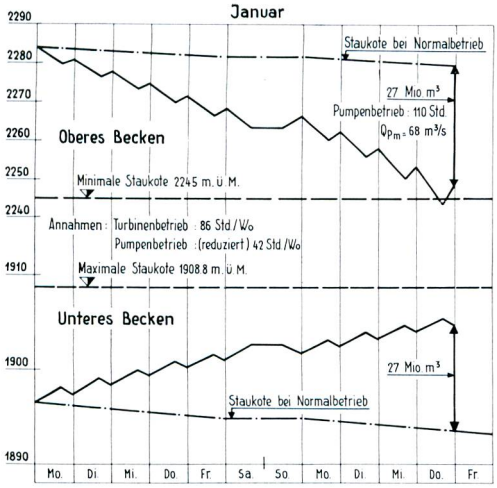

Bild 5 Pumpspeicherwerk in den Alpen. Energieersatz bei Ausfall eines Atomkraftwerkes.

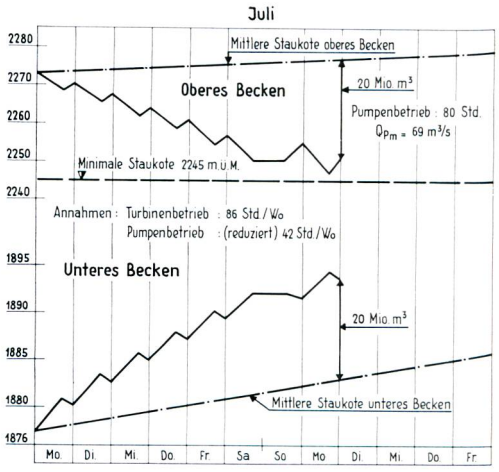

Bild 6 Pumpspeicherwerk in den Alpen. Energieersatz bei Ausfall eines Atomkraftwerkes.

und dass ein derartiger teilweiser Energieersatz während ca. 1 bis 2 Wochen aufrechterhalten werden kann. Die teilweise Ersatzenergieleistung beträgt bei einer 300 MW Pumpspeicheranlage auf der Produktionsseite ca. 1,1 bis 1,4 GWh/Tag und der Minderbedarf an Pumpenergie macht weitere rund 0,2 bis 0,8 GWh/Tag aus.

Im gesamten kann gesagt werden, dass es möglich ist, in bestimmten Zeitperioden zusätzlich zur normalen Werktagsspitzenproduktion der Umwälzanlage im Falle einer Abstellung eines Atomkraftwerkes von 300 MW Ausbauleistung mit einem derartigen Zusatzbetrieb des verfügbaren Umwälzwerkes mit grossem Ober- und Unterbecken während ca. 1 bis 2 Wochen etwa 20 bis 25 % des Werktags-Energieausfalles dieser Atomanlage zu ersetzen. Es zeigt sich damit, dass einer derartigen Verbundbetriebsweise gewisse zeitliche und natürliche Grenzen gesetzt sind.

Es ist nochmals ausdrücklich daran zu erinnern, dass bei den Betriebsformen der Langzeitspeicherung oder des Teilenergieersatzes bei Abstellung eines Kernkraftwerkes keine Regimeänderung der Unterliegerwerke als zulässig vorausgesetzt wurden; werden solche Aenderungen des Wasserdargebots der Unterliegeranlagen in bestimmten Fällen in Kauf genommen, so können durch Kombinationen die Dauer und die Freiheit in der Zeitperiode besonderer Betriebsformen noch wesentlich verbessert werden.

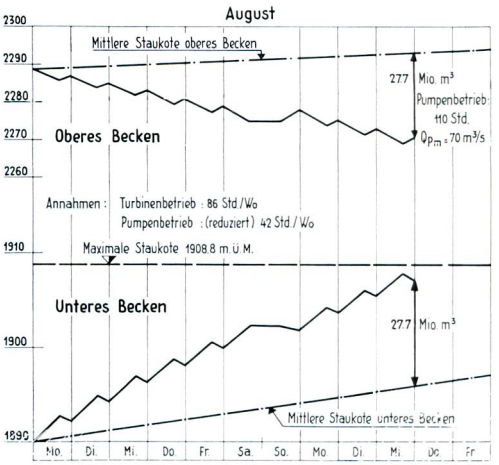

Bild 7 Pumpspeicherwerk in den Alpen. Energieersatz bei Ausfall eines Atomkraftwerkes.

Bild 2 bis 7: AG Ingenieurbureau Maggia, Locarno

Adresse der Verfasser:
Dipl. Ing. H. Fankhauser und dipl. Ign. G. Trucco
A.G. Ingenieurbureau Maggia
Piazza Fontana Pedrazzini
CH - 6600 Locarno

DIE WEITERENTWICKLUNG DER PUMPSPEICHERSYSTEME

Notizen über einen freien Vortrag anlässlich der Internationalen Pumpspeichertagung 1971 in USA

DK 621.221.4

Kurt Goldsmith

1. Diese Konferenz soll den Einfluss grosser Bauanlagen auf die Umwelt betrachten. Der Umweltschutz kostet Geld, und eine Kraftanlage, welche die Umwelt wenig beeinflusst, könnte wesentlich mehr kosten als eine die Umwelt beeinträchtigende. Der Umweltschutz sollte als ein Nutzen bewertet werden, in der gleichen Weise wie die in einer Kraftanlage erzeugte Energie. Das Projekt, dessen Annahme zu empfehlen ist, sollte nicht das billigste einer Anzahl von möglichen Ausführungen sein, sondern das billigste von denjenigen Lösungen, welche die Umwelt am wenigsten stören.

2. Pumpspeicher, als eine Quelle von Spitzen-Energie, werden interessanter, da der Spitzenteil des elektrischen Energiebedarfes allgemein rascher anwächst als der Energiebedarf als solcher. Der Spitzenteil ist definiert als der gesamte Energieverbrauch oberhalb des Grundlastbandes. In vielen entwickelten Netzen erfolgt das Anwachsen des Energiebedarfes mit einer progressiv abfallenden Rate.

Hingegen nimmt der Spitzenteil des Bedarfes einen fortlaufend längeren Abschnitt des täglichen Bedarfsbildes ein. Bisher wurden zur Deckung des Spitzenenergiebedarfes weitgehend konventionelle thermische Kraftwerke, die am Ende ihres nutzbaren Lebens standen, eingesetzt. Der Spitzenenergiebedarf ist aber jetzt in vielen Fällen so gross, dass besondere Produktionsanlagen erstellt werden müssen, um ihn zu decken. Gasturbinen und konventionelle Kraftwerke vereinfachter Auslegung sind «Einzweck»-Produzenten der Spitzenenergie. Pumpspeicher sind hingegen Mehrzweckanlagen, welche die Energieproduktion mit der Energie-Absorption und Speicherung kombinieren. Diese Mehrzweckfunktion der Pumpspeicheranlagen sollte weiter studiert und entwickelt werden.

3. In grossen Netzen besteht ein beträchtlicher wirtschaftlicher Vorteil im Einsatz grosser konventioneller oder nuklearer Produktionseinheiten, welche die niedrigst möglichen Zuwachskosten haben. Daraus ergibt sich aber die Gefahr, dass die Grundlastkapazität in einem Netz das Minimum des täglichen Bedarfes überschreitet. Pumpspeicher sind in der Lage, das Netz während dieser Fristen zu belasten, und sie üben damit eine Doppelfunktion aus, indem sie temporäre Energieüberschüsse in Spitzenenergie umwandeln. Die Energieüberschüsse können auch von Nachbarnetzen kommen, was in der Praxis zur Folge haben kann, dass Pumpspeicher Ueberschüsse von allen verfügbaren Quellen ansammeln. Der Bezug von Pumpenergie von verschiedenen wirtschaftlich günstigen Quellen hat entscheidende Vorteile, bedingt aber, dass das Pumpenaggregat anpassungsfähig ausgelegt wird, um den vollen Vorteil der Auswahl der zu bestimmten Zeitpunkten günstigsten Quelle gewährleisten zu können. Dieses Prinzip kann wesentliche Einflüsse auf die Planung und Anordnung einer Pumpspeicheranlage haben.

4. Der bereits erwähnte wachsende Bedarf nach Spitzenenergie ist mit einer Verengerung des Nachtenergietales verbunden. Damit wird eine grössere Anpassungsfähigkeit sowohl des Pumpenbetriebes als auch der Energieerzeugung verlangt; das letztere würde möglicherweise zu grösseren Speicherbecken führen. Die Weiterentwicklung derartiger Anlagen verlangt eine langfristige Analyse des dynamischen Verhaltens der Pumpspeichersysteme.

5. Reversible Maschinen scheinen gegenwärtig die beste Lösung darzustellen. Bereits zur Verfügung stehende Einheitsgrössen überschreiten 400 MW, und die maximale Fallhöhe liegt jetzt bei ungefähr 550 m. Die Anwendung reversibler Maschinen ist aber beschränkt, wenn die zugeführte Pumpenergie eine schwierig zu bewältigende Form hat (ausgedrückt als das Produkt von Kraft und Zeit), verglichen mit der Form der Energieproduktion. Schwierigkeiten können auch auftreten, wenn die Druckhöhe der Pumpen grossen Variationen unterworfen ist; der Wirkungsgrad der Pumpen kann wesentlich beeinträchtigt werden, wenn diese Variationen 30 % übersteigen.

6. Das Verhältnis zwischen Pumpen- und Turbinenleistung reversibler Maschinen liegt jetzt in einem Bereich von 0,8 bis 1,2. Dieser Spielraum muss breiter gemacht werden, um dem Betrieb reversibler Maschinen grössere Anpassungsfähigkeit einräumen zu können.

7. Eine wachsend wichtiger werdende Anwendung von Pumpspeichern liegt in der Leistungsfrequenzregelung von Verbundnetzen. Diese Aufgabe verlangt rasches Anlaufen und rasche Reaktion der Maschinen. Die Uebergangszeit vom Pumpen unter Vollast zur Produktion ist jetzt ungefähr 70 Sekunden; aber der Uebergang von Produktion zum Pumpen verlangt Stillstand der Maschinen, so dass dann die Uebergangszeit von Vollast zu Vollast ungefähr 8 bis 9 Minuten in Anspruch nimmt. In diesem Gebiet sollten technische Verbesserungen möglich sein, und ebenso für die Reaktion der Maschinen auf Lastschwankungen (hydraulische Verzögerungen könnten zum Beispiel durch vorgreifende Kontrollsysteme übernommen werden).

8. Verbesserungen des Wirkungsgrades der Energieumwandlung (von pumpen zu produzieren) müssen unter wirtschaftlichen Bedingungen erreicht werden. Es ist fraglich, ob der Wirkungsgrad der reversiblen Maschinen noch wesentlich verbessert werden kann (dieser Wirkungsgrad ist zurzeit 2 bis 4 % niedriger als bei separaten Maschinen). Auch ist es fraglich, ob eine solche Verbesserung wirtschaftlich gerechtfertigt werden kann, angesichts einer voraussehbaren Verbilligung der Pumpenenergie (nicht nur wegen fallender relativer Zuwachskosten der Grundlastenergie, sondern auch wegen steigender Ueberschüsse dieser Energie). Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist auch eine Vereinfachung der Konzipierung der Anlagen, die einen niedrigeren Kapitalaufwand und niedrigere Betriebskosten zur Folge haben könnte.

9. Die Weiterentwicklung des Anlaufverfahrens der Pumpen und eine grössere Automatisierung der Anlaufmethode könnten zu wertvollen betrieblichen Verbesserungen führen. Das gegenwärtige Anfahren grosser Pumpen durch kleine getrennt auf der gleichen Axe angeordnete Wasserturbinen ist wirksam, aber etwas teuer.

10. Das normal in einem Pumpspeicherkraftwerk beschäftigte Personal beträgt ca. 25 bis 30 Mann, bezogen auf eine installierte Leistung von 300 bis 600 MW. Ist es ratsam, diese Anlagen weiter zu automatisieren, um die Zahl des Betriebspersonals zu ermässigen?

11. Optimale Kapitalkosten einer Pumpspeicheranlage verlangen sorgfältiges Abwägen des Verhältnisses der Investitionen in Bauten und elektro-mechanischen Anlagen. Baukosten sind von der Auslegung der Speicher und der hydraulischen Anordnung der Maschinen bedingt und sind auch von den lokalen topographischen und geologischen Verhältnissen abhängig. Die gegenwärtige Entwicklung neigt zu einer niedrigen Anordnung der Maschinen, unterhalb des Niveaus des Schusswassers, um den höchstmöglichen hydraulischen Druck zu erreichen und damit eine hohe Maschinendrehzahl zu erzielen. Ist diese Anordnung wirtschaftlich die günstigste? Könnte ein geringerer Wirkungsgrad in Kauf genommen werden, um niedrigere Investitionen in den Bauwerken zu erreichen?

12. Der ideale Standort einer Pumpspeicheranlage ist in der Nähe der Lastzentren. Netzprobleme werden dadurch verringert. Die örtliche Topographie verbietet aber oft eine derartige Lage und verlangt damit weitgehende Untersuchungen der Einflüsse grosser Lasteinspeisungen auf Netzbelastung und Stabilität. Die sich langsam ändernde Anwendung der Pumpspeicher, zum Beispiel die Ausdehnung der Pumpen- und Erzeugungsperioden, das sich verringernde Gleichgewicht zwischen Speicherung und Produktion und die weitgehende Anwendung von Pumpspeichern für die Netzregulierung, machen Pumpspeicher zu einem wachsend komplizierter werdenden Element in Verbundnetzen.

Sind genügend Entwicklungsarbeiten im Gange, um den sich laufend ändernden Eigenschaften der Pumpspeicher und deren Einflüsse auf Verbundnetze Rechnung zu tragen?

13. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in Gebieten geeigneter Topographie und Hydrologie, Pumpspeicher eine wesentliche Komponente der gemischten hy-

draulisch-thermischen Netze darstellen können. Die Hauptgebiete, in denen eine Weiterentwicklung notwendig erscheint, umfassen das Erreichen einer grösseren betrieblichen Anpassungsfähigkeit und auch einer grösseren Vereinfachung und Wirtschaftlichkeit im Bau und Betrieb.

Adresse des Verfassers:
Dipl.-Ing. K. Goldsmith
Elektro-Watt, Ingenieurunternehmung AG
CH-8022 Zürich

DIE ROLLE DER PUMPSPEICHER IN DER SCHWEIZERISCHEN ELEKTRIZITÄTSVERSORGUNG

Kurt Goldsmith

DK 621.221.4 : 620.9 (494)

Einführung

Die Elektrizitätswirtschaft der Schweiz umfasst jetzt eine Produktionskapazität von etwa 11 000 MW und ein Versorgungsgebiet von 42 000 km². Dieses System ist klein, verglichen mit den ausgedehnten Netzen von Nordamerika und selbst mit denen der Nachbarländer in Westeuropa, aber die Lage der Energiebelieferung der Schweiz verdient trotzdem, aus den folgenden Gründen, Aufmerksamkeit:

— Das Versorgungsnetz hat eine der grössten Belastungsdichten der Welt;
— Die Wasserkraftquellen, von denen bisher praktisch die gesamte elektrische Energie erzeugt wurde, stehen jetzt nahe an der Grenze ihrer weiteren Ausbaufähigkeit, und die zukünftige Entwicklung muss sich deshalb im wesentlichen auf thermische Energie stützen;
— Die Energieübertragungskapazität des elektrischen Netzes, das die Schweiz mit den Nachbarländern verbindet, überschreitet jetzt die gesamte im Land selbst installierte Leistung. Elektrisch gesehen bildet das schweizerische Versorgungssystem nicht mehr eine unabhängige Einheit;
— Die Topographie des Landes und seine geographische Lage haben die Entwicklung grosser hydraulischer und auf natürlichen Zuflüssen basierten Saisonspeicherbecken gefördert, und diese stellen jetzt beinahe die Hälfte des westeuropäischen Reservoirs regulierbarer Energie dar;
— Pumpspeicheranlagen, zur Ergänzung der Naturspeicher, sind in Ausführung begriffen.

Die Ausdehnung des schweizerischen Versorgungsnetzes wird sich im Charakter ändern und wird auch wesentlich von der Energiesituation in Westeuropa als gesamtes beeinflusst. Eine Betrachtung dieser Ausdehnung und besonders der weiteren Rolle der Speicheranlagen umfasst damit eine Untersuchung der Energieversorgungsprobleme eines ganzen Subkontinentes der grössten wirtschaftlichen Bedeutung. Von diesem Gesichtspunkt aus scheint die Energieversorgungssituation in der Schweiz eine detaillierte Betrachtung zu rechtfertigen.

Eigenschaften des Versorgungssystems

Im hydrographischen Jahr vom 1. Oktober 1965 bis 30. September 1966 kam mehr als 98 % der in der Schweiz produzierten Elektrizität von Wasserkraftwerken; kleine thermische Anlagen dienten nur zur Belieferung der Industrie und der Fernheizung. Etwas über 80 % der kommerziell ausbaufähigen Wasserkraftquellen waren ausgenützt. Um den weiter anwachsenden Bedarf decken zu können, wurde es notwendig, thermische Kraftwerke zu bauen. Das erste thermische Kraftwerk, eine konventionell ölgefeuerte Anlage von 300 MW, kam im Jahre 1965/66 in den Dienst. Betrachtungen der Brennstoffversorgungsfrage und des Umweltschutzes führten zum Aufgeben der Pläne für weitere, konventionelle thermische Kraftwerke und anstatt dessen zu einem im Verhältnis zu der Grössenordnung des nationalen Netzes sehr grossen, nuklearen Kraftwerkprogramm. Das erste Nuklearkraftwerk von 350 MW kam 1969 in den Dienst, und zwei weitere Kraftwerke von total 656 MW stehen nahe der Vollendung. Pläne für zwei Kraftwerke von je 850 MW stehen vor der Verwirklichung, für die Inbetriebnahme noch in diesem Jahrzehnt, und zwei weitere Anlagen von zusammen etwa 1500 MW sollen im Anfang des nächsten Jahrzehntes in Betrieb kommen. Nach gegenwärtig bestehenden Plänen ist voraussehbar, dass etwa um 1985 praktisch die Hälfte der in der Schweiz erzeugten Energie — 29 000 GWh von insgesamt 63 000 GWh — von thermischen Anlagen kommen wird.

Die Hydrologie der Schweiz ist im wesentlichen auf dem Schmelzen von Eis und Schnee fundiert und ist deshalb von ausgeprägt saisonärem Charakter. Zum Beispiel im Jahre 1969/70, das eine durchschnittliche Hydraulizität besass, hat die Produktionsfähigkeit in der Wintersaison (Oktober bis März) nur 20,6 % der Jahresmenge von 29 745 GWh betragen, verglichen mit 79,4 % im Sommer. Hingegen war der Elektrizitätsbedarf für alle Zwecke, ausser der Speicherung, praktisch der gleiche in den beiden Saisons, 51,8 % der Jahresmenge im Winter und 48,2 % im Sommer.

Dieser beachtenswerte Unterschied zwischen der Saisonerzeugungsmöglichkeit und dem Bedarf konnte von der thermischen Erzeugung, die nur 13,5 % der jährlichen Produktion betragen hat, nicht gutgemacht werden.

Zwei Mittel wurden deshalb entwickelt, um diese Unterschiede auszugleichen:

1. Grosse Saisonspeicher wurden gebaut, deren Hauptzuflüsse im Sommer erfolgen und die ihre gespeicherte Energie dann im Winter abgeben. Da diese Energieabgabe vollkommen regulierbar ist, kann die Entnahme aus den Speicherbecken genau den täglichen Bedarfsschwankungen angepasst werden. Im hydrographischen Jahr 1970/71 konnten schätzungsweise 7910 GWh oder 26,2 % der jährlichen Produktionskapazität der schweizerischen Wasserkraftwerke von Saisonspeichern entnommen werden. Aber es bestehen jetzt praktisch keine weiteren, geeigneten Standorte für solche Anlagen, und es ist zu erwarten, dass die gesamte Kapazität der Naturspeicher eine Grenze von ungefähr 8500 GWh, oder 25 % des kommerziell ausbaufähigen Wasserkraftpotentials, erreichen wird. Die installierte Leistung der Saisonspeicher beträgt jetzt etwa 6230 MW, was eine Durchschnittsdauer der regulierbaren Erzeugung von 1270 Stunden im Jahr ergibt (das heisst 14,5 % durchschnittlicher Belastungsfaktor). Die meisten Speicheranlagen besitzen noch eine wichtige Laufwasserkomponente, die etwa 23,5 % der gesamten durchschnittlichen Erzeugungsmöglichkeit aller Laufwasseranlagen im Netz beträgt. Die installierte Leistung der reinen Laufwasserkraftwerke ist klein, verglichen mit der Leistung der Speicherwerke