

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 13 (1922)
Heft: 4

Artikel: Beitrag zur näherungsweisen Bestimmung der Ausbaugrösse von Wasserkraftanlagen mit Akkumulierung
Autor: Roth, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059765>

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: 09.01.2026

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

Dans certains cas où la tension est petite, on doit renoncer à ajouter des résistances.

Enfin dans l'emploi des thermo-éléments, les résultats dépendent de la différence de deux températures. La force électromotrice de la soudure froide a qui se trouve dans le thermo-élément est à chaque instant compensée par la force électromotrice d'un couple b de mêmes métaux dont l'une des soudures c est placée dans la glace fondante.

La présence du couple a 0^0 aurait dû annuler la variation due à la température extérieure s'il n'y avait à travers le verre le fil de platine dont les deux extrémités sont à températures différentes.

Le point commun b entre le fil de platine et le fil de Constantan du thermo-élément auxiliaire étant en contact avec un thermomètre à mercure, un étalonnage a fourni les courbes qui, à chaque température relie l'intensité du courant à la déviation du millivoltmètre.

Les thermo-éléments.

L'intensité maximum que peuvent supporter les fils de chauffe est de 13 milliampères pour celui qui mesure la différence $\left(\frac{a}{2} - \frac{b}{2}\right)$ et 20 milliampères pour celui qui mesure $\left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2}\right)$. Leur résistance est d'environ 50 Ω resp. 12 Ω , les résistances additionnelles qui ont pour but d'en rendre la variation négligeable, portent la valeur des bras ϱ et ϱ' à 250 Ω .

Nous avons choisi $\frac{a_M}{2} = 12$ milliampères

$$\frac{b_M}{2} = 6 \text{ milliampères}$$

de telle sorte que l'indication du premier thermo-élément ne tombe jamais au-dessous de 6 milliampères où la sensibilité devient insuffisante.

La tension aux bornes du shunt est de

$$sI = b\varrho = 0,012 \times 250 = 3 \text{ volts.}$$

On a construit pour chaque thermo-élément un faisceau de courbes d'étalonnage correspondant aux différentes températures de la salle ($8^0 - 20^0$). L'indication de courant nous était fournie par un milliampèremètre de précision. On contrôlait, après chaque série de mesure, la correspondance entre la température de la salle et la courbe indiquée du faisceau, ainsi que l'exactitude de la courbe elle-même.

Beitrag zur näherungsweise Bestimmung der Ausbaugrösse von Wasserkraftanlagen mit Akkumulierung.

Von Hans Roth, Zivilingenieur, Bern.

Die Ausbaugrösse eines Akkumulierwerkes kann auf folgende Weise ermittelt werden: Der mittlere zukünftige Bedarf an Energie, sowie der maximale Bedarf an Effekt wird anhand bisheriger Betriebserfahrungen und als Ergänzung zu bestehenden Anlagen geschätzt. Aus der Differenz des zukünftigen Bedarfes und der Leistungsmöglichkeit der im Betrieb befindlichen Werke im Zeitraum eines Monats lässt sich einerseits die mittlere 24stündige Aushilfsenergie pro Monat, andererseits der aus dem Akkumulierwerk benötigte monatliche Maximizeffekt ermitteln. Die

maschinelle Ausbaugrösse A_4 des Akkumulierwerkes muss in diesem Fall dem grössten benötigten Monatseffekt entsprechen.

Diese Art des Vorgehens ist umständlich. Es lohnt sich daher, insbesondere, weil der wesentlichste Faktor, der zukünftige Bedarf an Energie, doch nur annähernd ermittelt werden kann, für überschlägige Untersuchungen eine weniger zeitraubende, *näherungsweise Methode* zur Bestimmung der Ausbaugrösse anzuwenden.

Die Grundlagen für die näherungsweise Bestimmung werden im folgenden unter Benützung verschiedener Annahmen abgeleitet.

1. Beispiel.

Drei Elektrizitätsgesellschaften, welche unabhängige Gebiete mit Energie aus drei durch Gletscherflüsse gespeisene Hochdruckwerke versorgen, schliessen sich zwecks Aushilfe und besserer Verwertung der Energie zu einer Gesellschaft zusammen, mit der Absicht, ein gemeinsames Winterwerk (Wasserkraftanlage mit Jahresakkumulation und ausschliesslicher Energieabgabe zur Winterszeit) zu erstellen und zu betreiben.

Es soll durch dieses Winterwerk der in einem spätern Zeitpunkt fehlende Winterbedarf an Energie derart gedeckt werden, dass alle vier Werke zusammen gut ausgenützt sind. Ist später einmal genügende Stromlieferung während des Winters gesichert, dann kann, normale Entwicklung vorausgesetzt, im Laufe der folgenden Jahre noch die gesamte Sommerenergieproduktion der drei alten Werke zu guten Preisen abgesetzt werden, was bis anhin infolge des Fehlens einer Ausgleichsanlage nicht möglich war.

Die zusammen aus allen vier Werken kommerziell verwertbare Jahresenergiemenge wird auf diese Weise, also infolge der Winterenergie aus dem vierten Werk um ein bedeutendes mehr erhöht als die Energieproduktion dieses letztern allein ausmacht.

Wie gross ist der Ausbau A_4 des neuen Ausgleichswerkes für die drei alten Hochdruckwerke, deren Ausbaugrössen mit A_1 , A_2 , A_3 und deren Summe mit A bezeichnet wird, zu halten, wenn letztere während des ganzen Sommers (weil genug Wasser vorhanden) voll belastet werden? Nehmen wir die eigentliche Wintersaison zu 6 Monaten an, dann ist der mittlere Energieverbrauch während dieser Zeit annähernd um $\alpha = 1,2$ mal¹⁾ höher als der durchschnittliche Sommergebrauch.

Kann also einem Grossabnehmer die Abgabe eines Wintermittelwertes von 1,2 mal dem Sommerwert, also von $1,2 A$, aus allen vier Werken garantiert werden, dann wird derselbe normalerweise, wie bereits erwähnt, auch für diesen mittleren Sommerenergiewert A aus den drei alten Werken Verwendung finden. Ist die Höhe der gesamten Winterabgabe vertraglich festgelegt, dann ist die entsprechende Grösse der Speicheranlage bereits annähernd bestimmt.

Die durchschnittliche Leistung der drei bestehenden Werke betrage im Winter erfahrungsgemäss L , dann muss das Winterwerk durchschnittlich $1,2 A - L$ übernehmen. Aus dieser durchschnittlichen Beanspruchung des Winterwerkes ist bei Berücksichtigung der Dauer derselben und bei Kenntnis des mittleren Nettogefälles, die gesamte während des Winters zur Energieerzeugung nötige Wassermenge zu ermitteln. Somit ist bei getroffener Ortswahl der Speicheranlage die Frage der zur Verfügung zu haltenden mittleren Speicherräume und eventuell des zur Füllung während eines mittleren hydrologischen Jahres künstlich zuzuleitenden Wassers bereits gelöst. Um aber auch in strengen Wintern einen genügenden Wasservorrat zu haben, ist der dann eintretende Wasserrückgang in allen vier Einzugs-

¹⁾ Die Verhältniszahl zwischen Sommer- und Winterenergieabgabe wurde während des Krieges infolge industrieller Entwicklung stark verändert und wird auch in Zukunft durch die Einführung elektrischer Heizung wiederum beeinflusst werden. Wird die Wintersaison zu 5 Monaten angenommen, dann erhöht sich die Verhältniszahl α auf 1,4 bis 1,5 bei Energieabgabe für „Licht und Kraft“ (ohne Berücksichtigung von Bahnbetrieb und elektrochemischer Industrie).

gebieten im voraus zu berücksichtigen und für die angenäherte Berechnung je nach den Verhältnissen ein Zuschlag von 15 bis 25 % zum mittleren Speicherraum zu machen.¹⁾

Zur Bestimmung der sogenannten Ausbaugrösse A_4 des Akkumulierwerkes, d. h. der maschinellen Ausrüstung der Zentrale desselben, treffen wir vorläufig die weitere Annahme, dass die drei alten auszugleichenden Hochdruckwerke „elastisch“ ausgebaut seien. Unter elastischem Ausbau verstehen wir eine besondere Anordnung wichtiger Bauten, durch welche sich das Werk jederzeit Betriebsschwankungen anpassen kann.

Ein oberer Ausgleichweiher und eine unter Druck stehende Zuleitung zum Wasserschloss sind hierzu unumgängliche Voraussetzung. Die im Winter jederzeit abgebbare maximale Leistung der drei Hochdruckwerke L_{max} ist demnach, weil elastischer Ausbau vorausgesetzt, gleich der Ausbaugrösse dieser Werke, also gleich A .

Der durchschnittliche sechsmonatliche Winterbedarf wurde, wie bereits erwähnt, zu insgesamt $\alpha A = 1,2 A$ bestimmt; der Maximaleffekt grösserer Netze wächst aber erfahrungsgemäss auf das $\beta = 2,0$ bis $2,5$ fache²⁾ der durchschnittlichen Winterabgabe an, so dass der gesamte von allen vier Werken zu deckende *Maximaleffekt* $= \alpha \beta A = (2,4 \div 3,0) A$ beträgt.

Weil aber infolge der getroffenen weiteren Annahme der maximale Winter-effekt der drei bereits bestehenden Werke L_{max} gleich A ist, so verbleibt als *Ausbaugrösse des Akkumulierwerkes* ein Wert von

$$A_4 = A[\alpha \beta - 1] = (1,4 \div 2,0) A \quad (1)$$

Trifft nun die gemachte Annahme, dass die Hochdruckwerke elastisch ausgebaut, dass also auch im Winter der maximale Effekt jederzeit erzeugt werden kann, nicht zu, dann lautet der allgemeinere Ausdruck für die Ausbaugrösse des Akkumulierwerkes

$$A_4 = (2,4 \div 3,0) (A - L_{min}) \quad (2)$$

wobei L_{min} der mittleren Wintererzeugung der drei bestehenden Hochdruckwerke an Tagen geringsten Wasserzuflusses entspricht. Erfahrungsgemäss ist die Belastung der Netze gerade während kalten, wasserarmen Perioden am grössten, so dass in diesem Falle L_{min} unbedingt berücksichtigt werden muss.

2. Beispiel.

Formel (2) ist aber nicht anwendbar auf diejenigen Winteraushilfswerke, die zum Ausgleich von *Niederdruckwerken* bestimmt sind. Bei letzteren variiert nicht nur die Winterleistung, sondern infolge starker Gefällsänderung auch die Sommerleistung und zwar derart, dass als mittlere Sommerleistung niemals der Wert A , d. h. die Ausbaugrösse (wie bei relativ niedrig ausgebauten Hochdruckwerken an Gletscherflüssen ohne weiteres möglich) gesetzt werden darf. Die mittlere *Sommerleistung* S ist somit ähnlich wie die mittlere und minimale Winterleistung den Aufzeichnungen über Gefälle und Wassermenge früherer Betriebsjahre zu entnehmen und vermindert um ca. 10% an Stelle von A in Formel (2) einzusetzen. Die Ausbaugrösse berechnet sich dann für diesen Fall zu

$$A_4 = (2,4 \div 3,0) (S - L_{min}) \quad (3)$$

In der Regel wird, da die Niederdruckwerke die Grundbelastung abgeben (und keine „Spitzen“ erzeugen können oder dürfen), die dem minimalen Wasserzufluss entsprechende Leistung L_{min} als Winterabgabe zur Spitzenzeit in Rechnung gesetzt.

¹⁾ Ueber die detaillierte Durchführung von Wasserwirtschaftsplänen siehe das Werk von Dr. Ing. Leiner „Ertragreichster Ausbau von Wasserkraften“, Verlag Oldenbourg.

²⁾ Diese Verhältniszahl β , ($\beta = 2,5$, ist der Mittelwert der Vorkriegszeit), welche mit Charakter und Ausdehnung des Betriebes variiert, ist, um der Eigenart des Betriebes Rechnung zu tragen, wenn möglich direkt aus den Betriebsdiagrammen zu ermitteln.

Wird L_{min} nicht berücksichtigt, sondern ein höherer Wert, dann wird sich später die Ausbaugrösse des Akkumulierwerkes als zu klein erweisen, sofern die Betriebsweise der Niederdruckwerke wie bisher eine unelastische bleibt. Der minimale Wasserabfluss ist hierbei nicht als das absolute Minimum im Verlaufe eines ausserordentlich kalten Tages, sondern als das Mittel aus längere Zeit andauernd geringen Abflussmengen anzusehen.

3. Beispiel.

Akkumulierwerke sind in den seltensten Fällen reine Winterwerke. Dieselben müssen meistens, weil der Beckenraum für den Jahresausgleich zu klein ist, auch Sommerenergie abgeben (Löntsch), somit muss für die Bestimmung der Beckengrösse und des Ausbaues solcher Werke die mittlere Sommerleistung des Akkumulierwerkes selbst gleich wie die mittlere Sommerleistung der übrigen aushilfebedürftigen Werke in Rechnung gesetzt werden.

Aus den Diagrammen der Betriebsleitungen ist die tägliche Zeitdauer, während welcher das Akkumulierwerk den einzelnen Werken im Winter aushelfen muss, ersichtlich. Nehmen wir an, die Aushilfe habe z. B. nur während 5 Wintermonaten, also an rund 125 Arbeitstagen zu erfolgen, dann muss, je nachdem die mittlere tägliche Aushilfsdauer 8 oder 12 Stunden beträgt, die Gesamtbetriebsdauer des Winterwerkes zu 1000 oder 1500 Stunden pro Saison bemessen werden. Innerhalb diesem Zeitraum muss der gesamte Energievorrat abgegeben werden; die mittlere Belastung des Akkumulierwerkes während des Winters und die *mittlere* Gebrauchswassermenge ist demnach bekannt.

Die maschinelle Ausrüstung des Kraftwerkes wird für den kurzfristigen grössten Effekt, den sogenannten Maximaleffekt, die wirtschaftliche Dimensionierung von Druckstollen und Druckleitung in der Regel für diese mittlere Gebrauchsmenge berechnet, wobei Wasserschloss und Stollengefälle derart vorzusehen sind, dass der Maximaleffekt jederzeit, also auch bei tiefstehendem Stausee noch erzeugt werden kann, sofern dieser grösste Effekt gegen Ende der Wintersaison noch benötigt wird.

Die Kosten des Akkumulierwerkes, dessen mittlere, jährlich vorhandene Energiemenge durch Einzugsgebiet, Speicherraum und Gefälle begrenzt ist, wachsen mit steigendem Ausbau an kW, also mit abnehmender Gebrauchsdauer. Es kann z. B. die Erhöhung des Ausbaues um 50 % eine Erhöhung der Baukosten um 10 bis 30 % zur Folge haben, so dass, ohne dadurch die im Winter verfügbare Energiemenge zu vergrössern, deren Gestehungskosten pro kWh um 8 bis 25 % anwachsen. Durch den grösseren Ausbau wächst aber andererseits die Aushilfsmöglichkeit des Akkumulierwerkes; die Qualität der zur Verfügung stehenden Energie wird verbessert, die akkumulierbare Energie wird wertvoller.

Je weniger lang andauernd die tägliche Aushilfe benötigt wird, umso teurer kommt dieselbe im allgemeinen zu stehen. Durch die hohen Kosten kurzfristiger Aushilfeenergie werden daher einzelne Betriebe gezwungen, ihre aushilfebedürftigen Wasserkraftanlagen so gut es geht zu verbessern, d. h. elastisch auszubauen, damit dieselben einen Teil der Spitzenenergie selbst zu erzeugen vermögen und Aushilfeenergie 12stündig oder als „Konstantkraft“, also zu billigerem Tarif mieten können.

Der Aktionsradius eines bereits fest ausgebauten Akkumulierwerkes wächst naturgemäss, wenn die einzelnen angeschlossenen Betriebe den grössten Teil des Maximaleffektes jederzeit, wenn auch nur auf kurze Dauer, durch eigene Anlagen decken können. Es sollten daher in Zukunft zur Entlastung der Akkumulierwerke während der Hauptbelastungszeit und zur Verhinderung eines abnormal hohen, also teuren Ausbaues der Spitzenwerke auch die Niederdruckwerke so ausgebaut werden, dass sie den Maximaleffekt jederzeit, wenn auch nur kurzfristig, abzugeben vermögen. Dieselben müssten also in der Lage sein, sowohl Spitzenwellen im Flusse

aufzufangen, als dem Sammelraum (Staugebiet) Wasser zur Deckung der eigenen Spitzen zu entnehmen, was allerdings bei Kanalwerken mit geringer Aufstaumöglichkeit nicht immer der Fall sein wird.

Dieser Beitrag zur näherungsweisen Bestimmung der Ausbaugrösse eines Akkumulierwerkes setzt voraus, dass die spezielle Aufgabe, welche einem Akkumulierwerk beim Zusammenarbeiten sämtlicher Werke zukommen könnte, bereits bekannt ist. Durch Abgrenzung des Aktionsradiuses kann einem bestimmten Akkumulierwerk von vornherein eine Anzahl im Betrieb befindlicher oder konzessionierter Anlagen überwiesen werden, wodurch dessen Ausbaugrösse annähernd festgelegt ist.

Die für die Berechnung des zukünftigen Maximaleffektes massgebenden Grundlagen ergeben sich aus den vorhandenen Energiediagrammen der Werke. Aus den zukünftigen Diagrammen wird der indirekte Nutzen, welcher dem einzelnen Betrieb infolge des Anschlusses an ein Akkumulierwerk, also infolge der Winteraushilfe erwächst, ersichtlich sein. Die bisherige Betriebserfahrung zeigt, dass der Anschluss an ein Akkumulierwerk für die meisten Werkbetriebe nicht nur nötig, sondern infolge des bedeutend vergrösserten Energieumsatzes und trotz den hohen Mietpreisen für Winterenergie wirtschaftlich ist.

Zusammenfassung.

Es wird die Ausbaugrösse eines Akkumulierwerkes als Funktion der durch dasselbe auszugleichenden Kraftwerke bestimmt. Die Ausbaugrösse hängt ab von der Eigenart dieser Werke, sowie von den zu erwartenden Betriebsverhältnissen im zukünftigen Netz. Durch die richtige Wahl der Grösse soll der gute Absatz der gesamten Sommerenergie aus den ausgleichenden Kraftanlagen ermöglicht werden. Die Menge der erzeugbaren Sommerenergie bildet daher den Ausgangspunkt für die Untersuchung.

Miscellanea.

Ueber Hängeisolatoren. (Von J. F. Scheid, Margarethenhütte, Sachsen.) In Heft 1, 1922, des Bulletin des S. E. V. berichtet Dr. Rosenthal über Betriebserfahrungen an Hängeisolatoren, und beschäftigt sich dabei in der Hauptsache mit einem Aufsatz von mir, der in Nr. 10, 1921 der gleichen Zeitschrift zum Abdruck gekommen ist. Die Ausführungen Dr. Rosenthals können nicht unwidersprochen bleiben.

Die Ansicht, dass der Hewlettisolator sich durchweg bewährt hat, ist nicht richtig. In verschiedenen Anlagen und zwar auch bei niedrigeren Spannungen sind teilweise recht ungünstige Erfahrungen gemacht worden. Beispielsweise hat die Mittewaldbahn durch Abschmelzen der Verbindungselemente an Hewlettisolatoren dauernd empfindliche Störungen gehabt. Wenn Dr. Rosenthal behauptet, dass ein Abschmelzen der Verbindungsseile an Hewlettisolatoren nicht eingetreten wäre, so ist er über die Erfahrungen mit Hewlettisolatoren nur lückenhaft unterrichtet. Für Anlagen mit hohen Spannungen kann von abgeschlossenen Erfahrungen überhaupt noch nicht gesprochen werden. Dass sich die Kappenisolatoren in den ersten Anlagen nicht bewährt haben, ist lediglich eine Folge der unsachgemässen Verbindung der Armaturenteile mit dem Porzellan. Durch Anwendung

starrer Kittung und durch die Verwendung von Kitt, teils mit Treibwirkung, teils mit hohem Ausdehnungskoeffizienten, sind bei Temperaturerhöhungen starke mechanische Spannungen im Isolator entstanden, die schliesslich, wenn der Kitt ganz unnachgiebig geworden ist, zu Rissen im Isolator geführt haben. Hätte man beim Hewlettisolator eine starre Verbindung zwischen Porzellan und Armatur angewandt, so wären die gleichen Erfahrungen jedenfalls noch in viel schlimmerem Masse gemacht worden, weil der Hewlettisolator auch elektrisch noch schlechter ist.

Dr. Rosenthal sagt, dass die Nachteile des Hewlettisolators im Laboratorium unbestreitbar sind. Es ist grundfalsch, wenn man den Hewlettisolator mit dem Kappenisolator nur auf Grund der Erfahrungen, die bisher gemacht worden sind, vergleicht und die im Laboratorium festgestellten Werte verwirft. Ist der Kappenisolator richtig konstruiert, so sind seine Vorteile gegenüber dem Hewlettisolator nicht nur im Laboratorium, sondern auch in der Praxis vorhanden; hätte man die Fehler des alten Kappenisolators gleich erkannt, so wäre der Hewlettisolator gar nicht eingeführt worden. Den Beweis, dass der Kappenisolator dem Hewlettisolator nicht bloss im Laboratorium, sondern auch im Betrieb überlegen