

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 89 (1971)
Heft: 13

Artikel: Ausbau der Pumpspeicher-Kraftwerke in Italien
Autor: Stein, T.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-84807>

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: 04.04.2026

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

Anschliessend folgt die Wirkleistungs-Optimierung, bei der die erzeugten Wirkleistungen so verändert werden, dass die gesamten Produktionskosten F_T minimal werden (4). Erst bei diesem Schritt sind sämtliche Zeitabschnitte gleichzeitig zu beachten. Da aber Netzberechnung und Blindleistungs-Optimierung schon vorweg erledigt wurden, verringert sich der Rechenaufwand an dieser Stelle.

Schliesslich wird kontrolliert, ob das gefundene Optimum stark von den Anfangsdaten für Wirk- und Blindleistungsumteilung abweicht (5). Wenn ja, so sind die Näherungsbeziehungen für die Verluste ungenau. Die Anfangsdaten werden dann korrigiert, das heisst gleich den zuletzt gefundenen optimalen Werten gesetzt und die Rechnung erneut durchgeführt.

3. Netzregelung

3.1 Optimierung von kleinen Abweichungen

Das Verbundnetz kann nicht unmittelbar nach dem Programm der Kurzzeit-Optimierung betrieben werden, da immer mehr oder weniger kleine Abweichungen von der vorausgesetzten Belastung durch die Verbraucher vorhanden sind. Trotz diesen Abweichungen muss die zu erzeugende Leistung so auf die einzelnen Kraftwerke aufgeteilt werden, dass der Betrieb in jedem Zeitpunkt optimal ist. Diese Aufgabe muss durch die Netzregelung übernommen werden.

Es könnte das in Abschnitt 2 beschriebene Optimierungsverfahren, auf einen Zeitabschnitt beschränkt, angewendet werden, wobei diese Rechnung in kurz aufeinanderfolgenden Zeitpunkten zu wiederholen ist. Diese Rechnungen sind in einem Prozessrechner im «On-line»-Betrieb durchzuführen. Der Rechenaufwand wird so jedoch recht beträchtlich sein.

Da es sich aber um relativ kleine Abweichungen von einem bereits berechneten optimalen Betriebspunkt handelt, ist es angebracht, ein Näherungsverfahren anzuwenden, mit dem die notwendigen Korrekturen ohne grossen Aufwand berechnet werden können. Nachfolgend soll das Näherungsverfahren kurz für die Wirkleistungs-Optimierung dargelegt werden.

Aufgrund der Kurzzeit-Optimierung kann für jedes hydraulische Kraftwerk ein Kostenbewertungsfaktor ζ_i bestimmt werden, der entsprechend der verbrauchten Wassermenge fiktive Produktionskosten festlegt. Für kleine Abweichungen vom optimalen Betriebspunkt der Kurzzeit-Optimierung ist dann das Funktional

$$(7) \quad \Delta F = \sum_{j=1}^J \Delta F_j + \sum_{i=1}^I \zeta_i \Delta W_i$$

zu minimalisieren. Dabei ist als Nebenbedingung die Abweichung der Wirkleistungsbilanz

$$(8) \quad \sum_{j=1}^J \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_j}\right) \Delta P_j + \sum_{i=1}^I \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_i}\right) \Delta P_i - \Delta P_D = 0$$

zu beachten. ΔP_D ist die gesamte Wirklaständerung im Verbundnetz. $\partial P_L / \partial P_j$ bzw. $\partial P_L / \partial P_i$ berücksichtigt näherungsweise die Änderung der Wirkverluste P_L bei einer Änderung der erzeugten Leistungen ΔP_j bzw. ΔP_i . Überdies sind noch die in Abschnitt 2.1 angegebenen Begrenzungen einzuhalten.

Wird für ΔF_j bzw. ΔW_i ein quadratischer Ansatz von der Form $a_0 + a_1 \Delta P + a_2 \Delta P^2$ gewählt, so lässt sich die optimale Änderung von ΔP_j bzw. ΔP_i in Abhängigkeit von ΔP_D sehr leicht berechnen.

Die totale Wirklaständerung ΔP_D wird zweckmässigerweise indirekt bestimmt und zwar aus

$$(10) \quad P_D = \frac{1}{T_i} \int (K_f \Delta f + \Delta P_A) dt$$

das heisst aus dem Regelsignal, das üblicherweise bei der Frequenz-Leistungsregelung verwendet wird. Δf ist die Frequenzabweichung und ΔP_A ist die Abweichung der Austauschleistung mit einem Nachbarnetz vom vorgeschriebenen Wert.

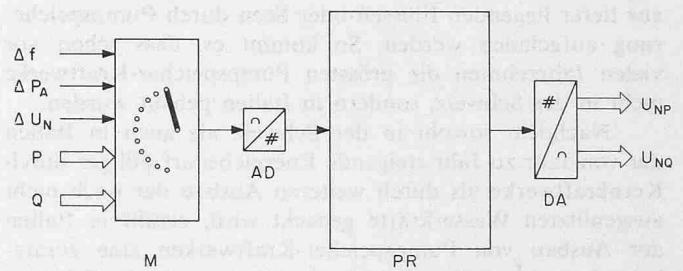


Bild 2. Schematische Darstellung der gerätetechnischen Anordnung eines Prozessrechners in einem Lastverteilzentrum

M	Multiplexer	PR	Prozessrechner
AD	Analog-Digital-Wandler	DA	Digital-Analog-Wandler

Damit die Netzregelung mit dem Prozessrechner stabil ist, muss der Regelalgorithmus noch zusätzliche Terme zur Stabilisierung aufweisen.

Analoge Näherungsbeziehungen lassen sich auch für die optimale Blindlastverteilung aufstellen. Hier wird die Änderung der Blindlast indirekt aus der Änderung der Netzspannung ΔU_N bestimmt.

3.2 Der Prozessrechner im Lastverteilzentrum

In Bild 2 ist die gerätetechnische Anordnung eines Prozessrechners in einem Lastverteilzentrum schematisch dargestellt. Alle für die Netzregelung benötigten Grössen (Frequenzabweichung Δf , Abweichung der Austauschleistung ΔP_A , Abweichung der Netzspannung ΔU_N , sowie erzeugte Wirk- und Blindleistungen P bzw. Q) werden mittels Fernübertragung an ein Lastverteilzentrum übertragen. Dort werden alle Grössen durch einen Multiplexer M in periodischen Abständen abgetastet. Ein Analog-Digital-Wandler AD bewirkt eine Umwandlung der analogen Grössen in digitale Form, die dem Prozessrechner zugeführt werden.

Der Prozessrechner PR führt die in Abschnitt 3.1 angegebenen Rechnungen durch und gibt die Stellgrössen U_{NP} und U_{NQ} aus. Diese werden in einem Digital-Analog-Wandler DA in analoge Grössen umgewandelt, die mittels Fernübertragung an die einzelnen Kraftwerke übertragen werden. Dort greifen die Stellgrössen im Prinzip in den Drehzahl- bzw. Spannungseinsteller der Turbinen- bzw. Generatorregelung ein und beeinflussen die erzeugten Wirk- und Blindleistungen.

Im Sinne einer integrierten Datenverarbeitung können dem Prozessrechner ausser der Netzregelung noch weitere Aufgaben wie Protokollierung, Energieabrechnung mit Partnerwerken usw. übertragen werden. Ebenso kann der Prozessrechner auch die Kurzzeit-Optimierung, wie auch Mittel- und Langzeit-Optimierung übernehmen.

Adresse des Verfassers: H. Bühler, El.-Ing. SIA, 6914 Ciona di Carona TI.

Ausbau der Pumpspeicher-Kraftwerke in Italien

Von T. Stein, dipl. Ing. ETHZ, Vicenza/Italien

DK 621.221.4

Die Speicherseen der Wasserkraftwerke werden in der Schweiz vom Wasserzufluss durch Niederschläge aus höher liegenden Gebirgszügen und durch Schneeschmelze aus den Gletschern gespeist. In Italien gibt es im Norden im Alpengebiet und bis in den Süden in den Apenninen zahlreiche hügelige Gelände, in denen sich mit geringen Baukosten durch Staumauern geringer Höhe und Länge grosse Speicherseen bilden lassen, denen aber ein reichlicher Wasserzufluss aus höher liegenden Gebirgszügen fehlt. Diese Speicherseen lassen sich deshalb zur Krafterzeugung nur verwenden, wenn sie zu Zeiten, in denen die verfügbaren Wassermengen grösser sind als die in den Wasserturbinen zur Deckung des jeweiligen Bedarfs gebrauchten,

aus tiefer liegenden Flüssen oder Seen durch Pumpspeicherung aufgeladen werden. So kommt es, dass schon vor vielen Jahrzehnten die grössten Pumpspeicher-Kraftwerke nicht in der Schweiz, sondern in Italien gebaut wurden.

Nachdem sowohl in der Schweiz als auch in Italien der von Jahr zu Jahr steigende Energiebedarf billiger durch Kernkraftwerke als durch weiteren Ausbau der noch nicht ausgenutzten Wasserkräfte gedeckt wird, erfüllt in Italien der Ausbau von Pumpspeicher-Kraftwerken eine zusätzliche Aufgabe. Ausser Kernkraftwerken wie in der Schweiz, werden in Italien grosse ölbeheizte thermische Dampfkraftwerke gebaut, die unter Verwendung höchster Drücke und Temperaturen die Stromerzeugungskosten senken. So wurde in La Spezia schon 1967 und 1968 je eine Dampfturbine von 600 MW in Betrieb gesetzt, während in Westdeutschland 320 MW, in Frankreich 585 MW die grössten bis jetzt verwendeten Einheitsleistungen von Dampfturbinen sind.

Kernkraftwerke müssen mit konstanter Vollast betrieben werden, um wirtschaftlich zu sein. Ölbeheizte Dampfkraftwerke mit höchsten Wirkungsgraden sind ungeeignet für die Deckung der Belastungsschwankungen des Netzes. Deshalb verlangt die wirtschaftliche Deckung des stei-

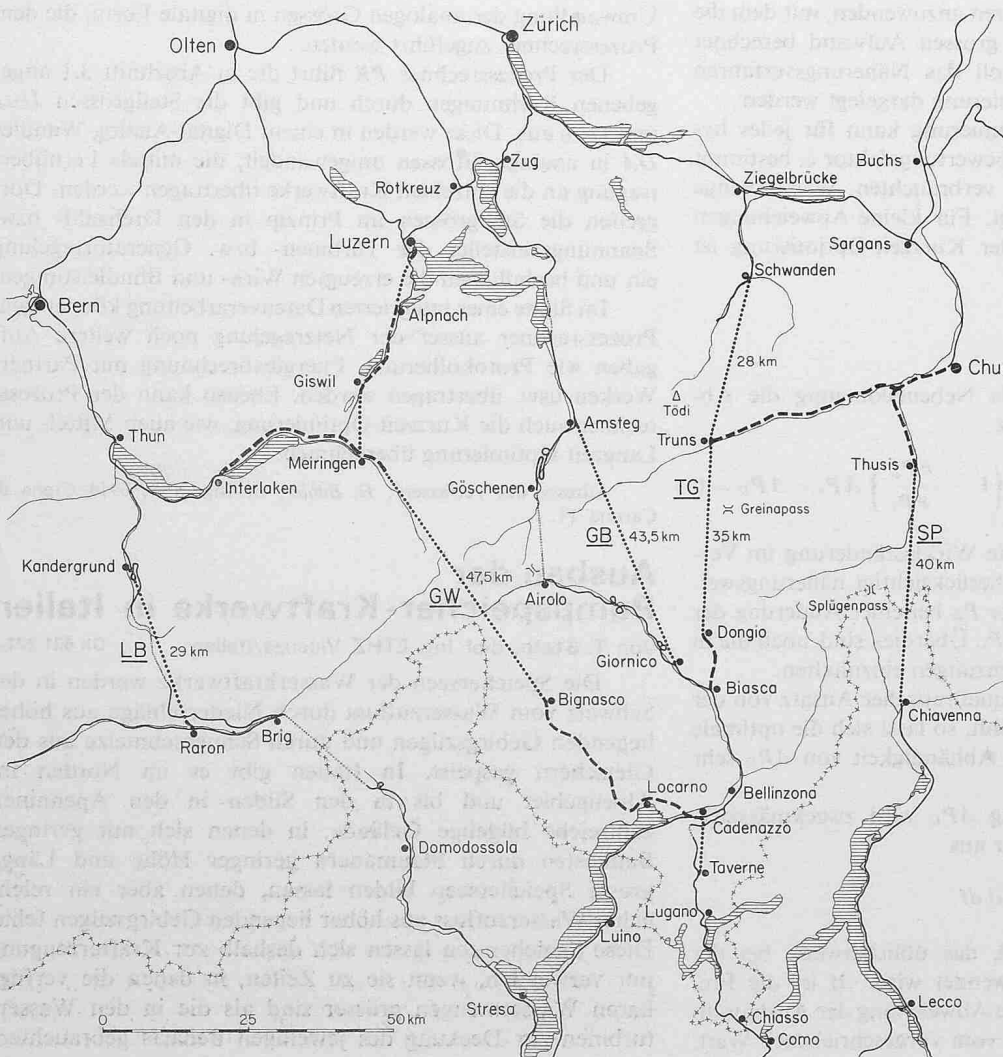
genden Energiebedarfes in Italien für diese thermischen Kraftwerke zusätzliche Pumpspeicherwerke zur Übernahme der Belastungsschwankungen. So entsteht für den Lago Delio, vom Lago Maggiore gespeist, ein Pumpspeicher-Kraftwerk mit $8 \times 130 \text{ MW} = 1040 \text{ MW}$ Turbinenleistung, das eine mehr als dreimal grössere Leistung aufweist als das grösste deutsche, nahe der Schweizergrenze vom Rhein gespeiste Pumpspeicher-Kraftwerk Säckingen-Kaverne (Hotzenwald) mit $4 \times 80 \text{ MW} = 320 \text{ MW}$, das 1967 in Betrieb gekommen ist.

Bei der in Italien herrschenden Neigung, den wachsenden Strombedarf ausser durch Kernkraftwerke vorwiegend durch ölbeheizte Dampfkraftwerke mit höchstem thermischem Wirkungsgrad zu decken und nicht durch Dampfkraftwerke, die für variable Belastung geeignet sind, kommt der weitere Ausbau der Wasserkraft nicht zum Stillstand. Ihm fällt die Aufgabe zu, die Schwankungen im angestiegenen Elektrizitätsverbrauch zu übernehmen. Dies geschieht ausser durch neue Pumpspeicher-Kraftwerke, indem man die vorhandenen Wasserkraftwerke mit zusätzlichen Pumpeneinheiten ausrüstet oder auch nur durch Ausbau der Staudämme, um die Speicherfähigkeit der Stauseen zu erhöhen.

Der zukünftige Ausbau schweizerischer Bahnlinien durch die Alpen DK 625.1.001.1

In Erwartung der Veröffentlichung des Berichtes der Kommission «Eisenbahntunnel durch die Alpen», der dem Bundesrat eingereicht worden ist, mag es viele Leser interessieren, welche fünf Bahnlinien als Ausbauprojekte mit-

einander in Konkurrenz stehen. Ohne dem erwähnten Bericht heute vorzugreifen, wollen wir ihre charakteristischen Merkmale hinsichtlich Linienführung und technischem Ausbau vor unserem Auge vorbeiziehen lassen (Bild).



- LB Lötschbergbasistunnel zwischen Kandergrund und Raron an der Rhonetalllinie
- GW Gotthard-West; neue Linienführung zwischen Luzern und Locarno mit den Tunneln Pilatus, Brünig und Gotthard-West; Zubringerstrecke von Interlaken-Ost nach Meiringen
- GB Gotthardbasistunnel zwischen Amsteg und Giornico
- TG Tödi-Greina; neue Linie mit zwei Tunneln zwischen Schwanden und Truns sowie Truns und Dongio im Blenio; Zubringerstrecke von Chur nach Truns
- SP Splügenbahn; neue Linie von Chur ausgehend mit einem Tunnel zwischen Thusis und Chiavenna