

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 83 (1991)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Energieproduktion in Speicherkraftwerken nach betrieblichen Prioritäten  
**Autor:** Frech, Robert  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-941026>

### 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:** 10.02.2026

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

# Energieproduktion in Speicherkraftwerken nach betrieblichen Prioritäten

## Kaskadenregler für die Bergeller Kraftwerke

Robert Frech

### 1. Einleitung

Hydraulisch gekoppelte Speicherkraftwerke werden vor allem zur Deckung von Spitzenlast herangezogen, weshalb diese in der Frequenz-Leistungsregelung eine grosse Bedeutung haben. Die oft komplexen Randbedingungen des hydraulischen Verbundes stehen der Deckung von momentan erhöhtem Leistungsbedarf meist entgegen.

Es ist daher das Ziel, durch geeignete Automatisierung des Betriebs sowohl die Betriebsautonomie hinsichtlich Verfügbarkeit als auch den Wirkungsgrad solcher Erzeugereinheiten zu verbessern [1].

### 2. Die Bergeller Kraftwerke

Die Bergeller Kraftwerke sind eine Gruppe der Elektrizitätswerke der Stadt Zürich (EWZ) im Kanton Graubünden. Diese umfassen vier hydraulisch weitgehend zusammenhängende Kraftwerkstufen:

- Löbbia mit dem Stausee Albigna
- Forno mit der Wasserfassung Plancanin
- Castasegna mit dem Ausgleichsbecken in Löbbia
- Lizun mit der Wasserfassung Maroz

Der Albigna-Stausee besitzt einen Nutzinhalt von 70 Mio m<sup>3</sup>. Aus diesem beziehen zwei Peltonturbinen des Kraftwerks Löbbia von je 36 MW Leistung ihr Betriebswasser. Davon kann eine Maschine wahlweise an die Wasserfassung Plancanin geschaltet werden, wobei in diesem Fall eine Leistung von maximal 24 MW erreichbar ist. Die dritte Maschine mit einer Leistung von 9 MW wird für die Netzregelung nicht herangezogen, kann aber in verbrauchsarmen Zeiten als Syphonpumpe Fornowasser in den Albignasee pumpen, desgleichen die Murtaira-Pumpe.

Das Kraftwerk Castasegna mit zwei Maschinen von je 50 MW Leistung turbiniert das Wasser aus dem Ausgleichsbecken Löbbia, welches mit einem Nutzinhalt von 160000 m<sup>3</sup> zur Verfügung steht. In dieses fliessen auch das

Betriebswasser der Kraftwerke Löbbia und Lizun sowie die Zuflüsse der Maira und Orlegna.

Die Maschinen des Kraftwerks Löbbia sind zweidüsig, die des Kraftwerks Castasegna vierdüsig ausgeführt.

Um den Betrieb bei leerem Ausgleichsbecken aufrechterhalten zu können, verfügt das Kraftwerk Löbbia über eine vom See abteilbare Ausgleichskammer mit einem Puffervolumen von etwa 5000 m<sup>3</sup> (Tandembetrieb).

Bild 1 erlaubt die Beurteilung der Betriebsautonomie der Kaskade aufgrund der Betriebswasserbilanz und der Nutzinhalte der Speicher. Die angegebenen Betriebswassermengen beziehen sich jeweils auf 100 % Leistung.

Das Betriebswasser des Kraftwerks Lizun, die Zuflüsse der Maira und der Orlegna sowie der autonome Pumpbetrieb bilden die Störgrössen im System.

### 3. Aufgabenstellung

Der Kaskadenregler wirkt als übergeordneter Regler, indem er den erhaltenen Leistungssollwert auf die einzelnen Maschinen so verteilt, dass einerseits die Produktion erfüllt und andererseits der Niveausollwert im Ausgleichsbecken eingehalten wird; bei den meisten Kaskaden ist das tiefer liegende Kraftwerk grösser ausgelegt, um auch anfallende Wassermengen natürlicher Zuflüsse aus Zwischeneinzugsgebieten aufnehmen zu können.

Der Regler berechnet diese Zuflüsse aus der Niveauänderung und dem Zeitintegral aller Zu- und Abflüsse und zeigt diese in m<sup>3</sup>/s an. Diese anfallende Wassermenge kann als «Laufwasser» im unteren Kraftwerk verarbeitet werden.

Die Basis für die Berechnung bildet der Zusammenhang zwischen Niveau und dem Wasservolumen des Ausgleichsbeckens, der sogenannten Füllkurve. Die Genauigkeit dieser Berechnung ist durch die Genauigkeit der Messwerte und der gelieferten Daten bestimmt.

Je näher der Leistungssollwert an die maximale Erzeugerkapazität herankommt, um so schwieriger wird es, sowohl die verlangte Leistung als auch das vorgegebene Niveau einzuhalten.

Man definiert daher Betriebsarten mit Prioritäten:

- *Energieproduktion mit Priorität auf Leistung*, d. h. vorgegebene Leistungserzeugung auf Kosten der Wasserbilanz
- *Energieproduktion mit Priorität auf Wasser (Energie)*,

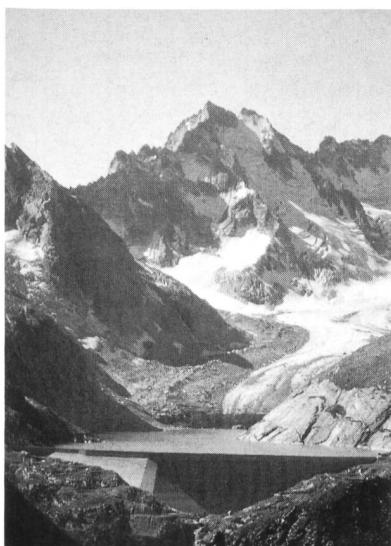


Bild 1, links. Die Staumauer Albigna der Bergeller Kraftwerke der Stadt Zürich.

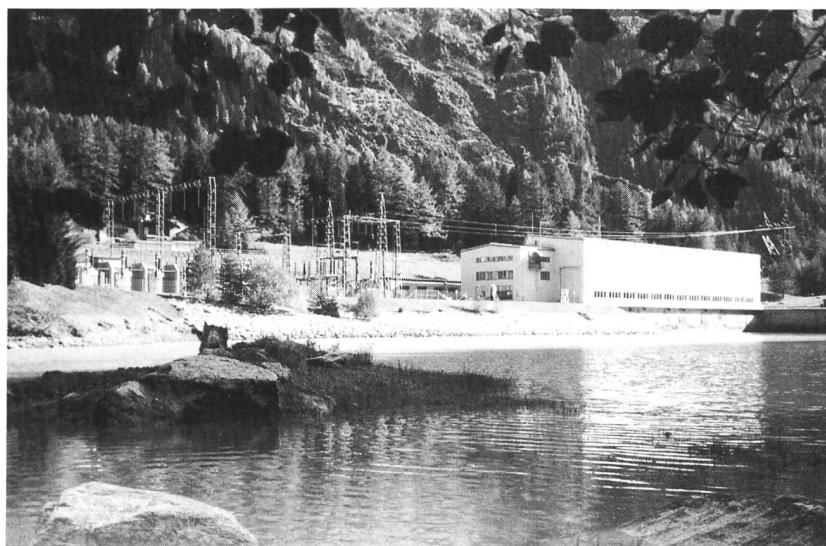


Bild 2, rechts. Das Kraftwerk Löbbia mit der 225-kV-Schaltanlage und dem Ausgleichsbecken.

Bild 3. Übersichtskarte der Bergeller Kraftwerkgruppe mit Angabe der Einzugsgebiete.

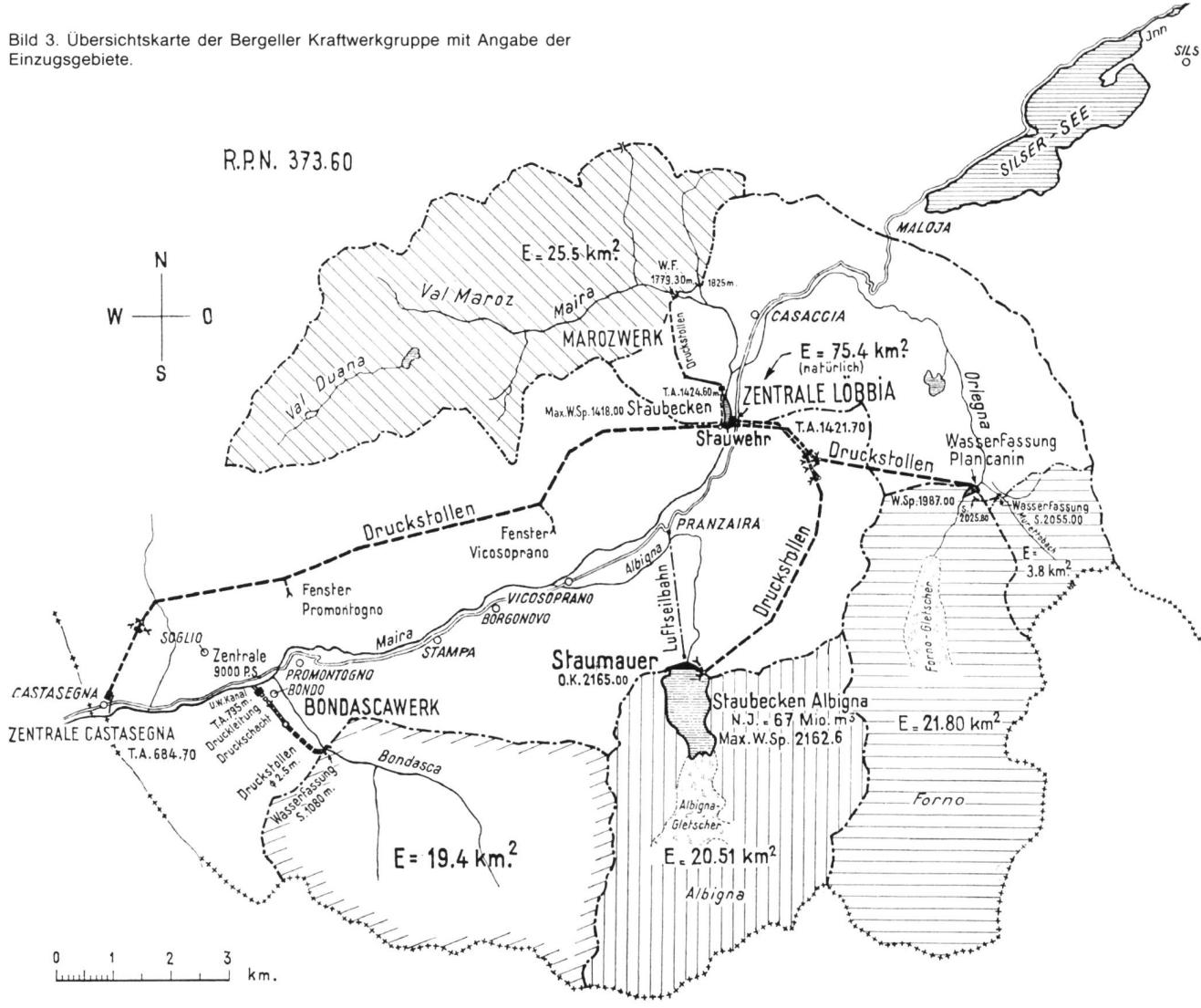
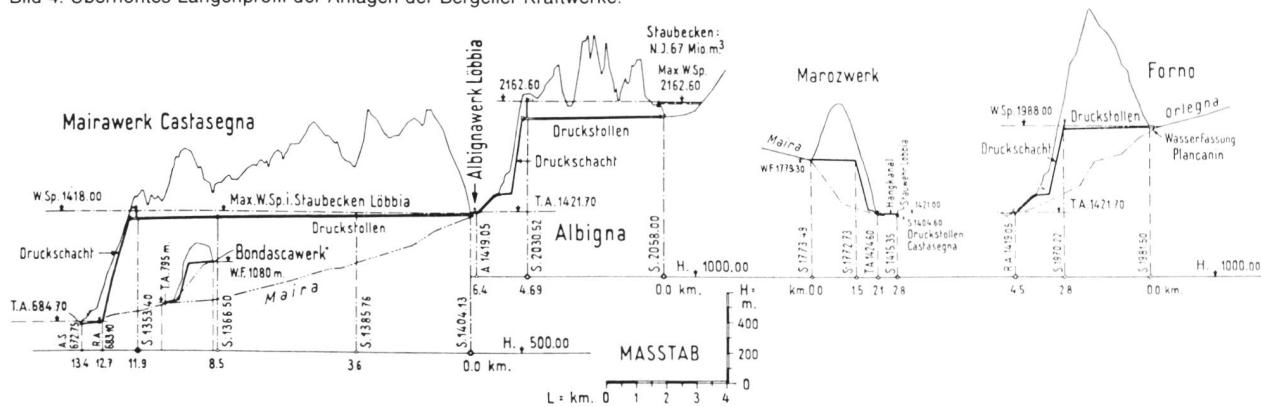


Bild 4. Überhöhtes Längenprofil der Anlagen der Bergeller Kraftwerke.



d. h. unbedingte Einhaltung der Pegelvorgaben des Ausgleichsbeckens auf Kosten der Leistung

- **Bewirtschaftung des Ausgleichsbeckens**
- **Verarbeitung von Laufwasser**
- **Optimierung des Maschineneinsatzes**

Zusätzlich wird die Betriebsführung durch eine Reihe anlagenspezifischer Restriktionen oder prozessbedingter Gegebenheiten beeinflusst, wie beispielsweise:

- das Niveau des Ausgleichsbeckens darf definierte Grenzwerte nicht über- oder unterschreiten
- Regelbewegungen des Kraftwerks Löbbia sind möglichst klein zu halten

- der Durchfluss des Kraftwerks Castasegna darf einen oberen Grenzwert nicht überschreiten
- der Pumpbetrieb in Löbbia darf den Betrieb in Castasegna nicht störend beeinflussen
- einwirkende Störgrößen müssen vom System erfasst und folgerichtig verarbeitet werden.

Generell bestand noch die Forderung, dass Netzreglerbetrieb stets möglich sein muss.

#### 4. Leistungsverteilung

Die geforderte Leistung wird in der Regel so verteilt, dass die turbinierten Wassermengen in den beiden Kraftwerken

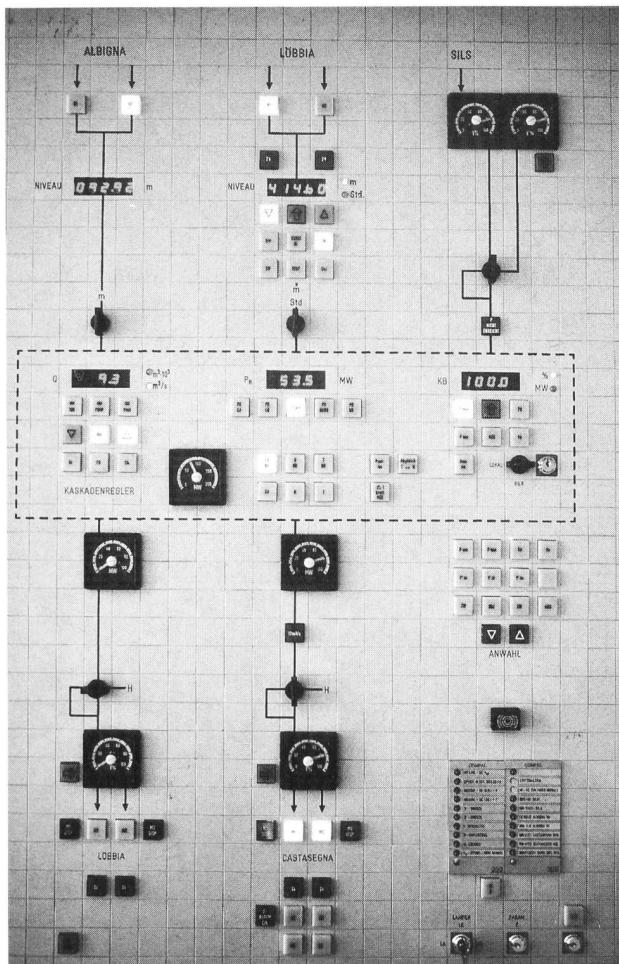


Bild 5. Anzeigetafel für den Kaskadenregler in Löbbia.

etwa gleich sind. Um dies zu erreichen, wird die Grundverteilung, die im Verhältnis der wirksamen Regelleistungen wirkt, durch einen Faktor, den «Wasserfaktor», beeinflusst. Die Leistungsabhängigkeit des Kraftwerks Löbbia von der Nutzfallhöhe wird ebenfalls im Verteilschlüssel berücksichtigt. Der Einfluss der Produktion zu Lasten des Beckenniveaus wird dadurch reduziert.

Die maximal erreichbare Leistung ist vom Maschineneinsatz abhängig. Die Leistungseinschränkung zugunsten des Niveaus soll jedoch nur ausserhalb eines definierten Bandes symmetrisch zum Niveausollwert wirken.

Mit Hilfe eines geeigneten Algorithmus ist es auf einfache und definierte Weise möglich, die Produktion mit Priorität auf Leistung oder Wasser zu fahren.

Eine weitere Verbesserung hinsichtlich Betriebsautonomie und Wirkungsgrad wird durch die Implementierung einer *Maschinenaomatik* erreicht. Dem Regler steht eine Anzahl von «disponiblen» Maschinen zur Verfügung, deren Einsatz aufgrund frei wählbarer Einsatzpunkte bestimmt werden kann. Es kann ferner festgelegt werden, welche Maschine zuerst zugeschaltet werden soll.

Im Zusammenspiel mit dem zusätzlichen Programmpaket *Düsenaomatik*, das je nach gefahrener Leistung die jeweils optimale Anzahl Düsen bestimmt, wird eine erhebliche Verbesserung im Gesamtwirkungsgrad der Anlage erreicht. Zwecks gleichmässiger betrieblicher Belastung der Düsen werden diese zyklisch aktiviert.

Jede Aktion, welche der Kaskadenregler vornehmen will, wird zunächst dem Operator gemeldet. Gibt dieser keinen Gegenbefehl, gelangt der Befehl nach einer definierten Zeit zur Ausführung.

Der Kaskadenregler überwacht den Maschinenbetrieb über entsprechende Anlagekriterien, die als Rückmeldungen anstehen. Es ist sichergestellt, dass bei Fehlen eines solchen Kriteriums zu jedem Zeitpunkt die folgerichtige Aktion erfolgt.

Die pro Kraftwerk gemeinsam ausgegebene Stellgrösse berücksichtigt die Anzahl der an der Regelung beteiligten Maschinen und Düsen und trägt ferner auch dem Umstand Rechnung, dass deren Maschinen an einem gemeinsamen Druckrohr laufen.

## 5. Bewirtschaftung des Ausgleichsbeckens

Der Niveausollwert wird hier als Zielwert eingegeben. Er soll innerhalb einer vorgegebenen Zeit erreicht werden. Bei Auswahl der Zielwertparameter wird die Leistungsverteilung entsprechend den unmittelbar vorher wirksamen Verhältnissen abgespeichert, hingegen zeigen die Instrumente für die Leistungsverteilung die neue Verteilung an, die sich bei Aktivierung dieser Betriebsart ergeben würde, da der Rechner das zu verarbeitende Zielwertvolumen laufend aufgrund der momentanen Verhältnisse berechnet. Dazu ist die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen turbinierter

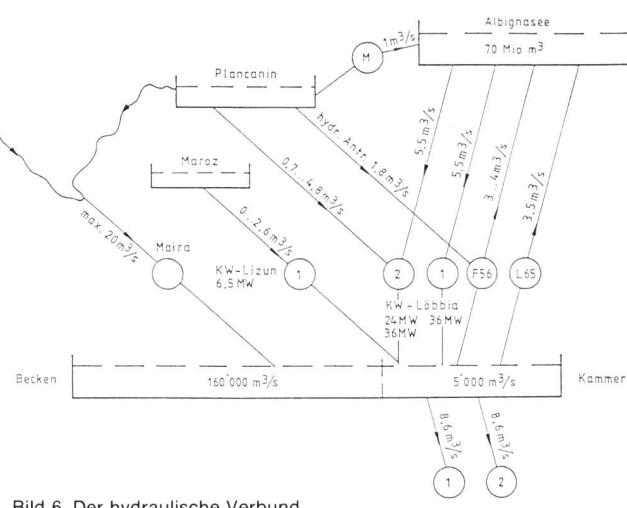


Bild 6. Der hydraulische Verbund der Kraftwerkgruppe Bergell.

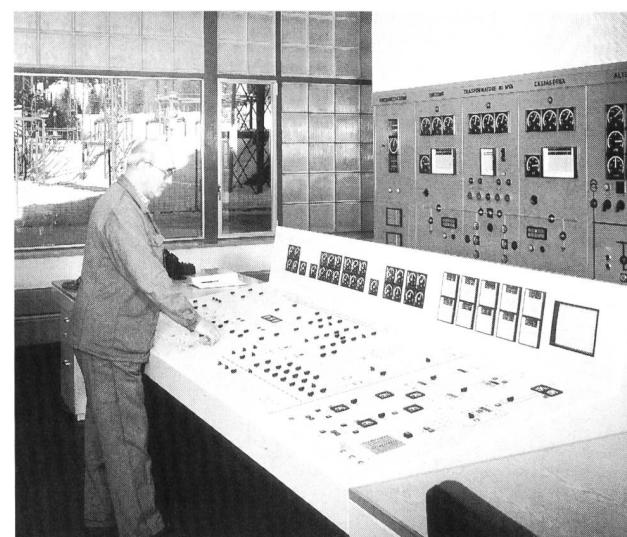


Bild 6. Am Bedienungspult in Löbbia werden neben der gewählten Betriebsart die Niveaumesswerte, die disponiblen Regelleistungen, die Kennlinienparameter sowie die Stellgrössen in [%] und [MW] angezeigt. Ferner werden der Zufluss, die turbinierten Wassermengen in den Kraftwerken sowie das Stau-, Pump- und Turbinenvolumen angezeigt.

Wassermenge und erzeugter Leistung auch in Abhängigkeit der zugeschalteten Düsen erforderlich.

Einstellungen, welche die Erreichung des Zielwertes innerhalb der gewünschten Zeit nicht mehr gewährleisten, werden alarmiert. Bei Aktivierung der Funktion wird die noch jeweils verbleibende Restzeit berechnet und angezeigt.

Die für Kennlinienregelung einstellbaren Parameter  $P_{\min}$  und  $P_{\max}$  müssen bei dieser Betriebsart automatisch berechnet werden, insbesondere um einen einwandfreien Netzregelbetrieb zu gewährleisten.

$P_{\min}$  entspricht jener Leistung, welche in einem der Kraftwerke erzeugt werden muss, um die Zielwertvorgabe erfüllen zu können.

$P_{\max}$  berechnet sich aus der Summe  $P_{\min}$  und jener zusätzlich erzeugbaren Leistung, welche aufgrund des möglichen Maschineneinsatzes auf die beiden Kraftwerke beaufschlagt werden kann.

Diese Grenzwerte werden auch unter Berücksichtigung der Zuflüsse und des autonomen Pumpbetriebes laufend aktualisiert. Die dem Netzregler zur Verfügung gestellte disponibile Regelleistung entspricht dem Band innerhalb dieser  $P_{\min}/P_{\max}$ -Grenzwerte. Kommt die verlangte Leistung ausserhalb des Bandes zu liegen, wird diese auf die beiden Grenzwerte limitiert.

## 6. Automatischer Stellgrößenabgleich

Die Leistungsvorgabe in [MW] berechnet sich aus dem Produkt von Stellgröße in [%] und der disponiblen Regelleistung [MW]. Sowohl die Eingangsstellgröße als auch die Stellgrößenabgänge arbeiten auf Speichereinheiten, die bei Störung auf manuellen Betrieb schalten. Jede Änderung im Schaltzustand der Disponibilität von Maschinen, welche nicht an der Regelung teilnehmen, bewirkt eine Änderung der disponiblen Regelleistung und damit der Leistungsvorgabe. Bei manueller Leistungsvorgabe wird in einem solchen Fall die Handstellgröße automatisch so nachgeführt, dass sich die Produktion nicht ändert.

## 7. Tandembetrieb

Unter Tandembetrieb versteht man den Betrieb der beiden Kraftwerke über die Ausgleichskammer, d. h. ohne Einfluss des Ausgleichsbeckens. Sobald der Einlaufschütz geschlossen ist, wird automatisch der Niveaueinfluss an die Regelung zugeschaltet und lässt sich während dieser Betriebsart nicht mehr abwählen. Der Sollwert wird zunächst auf den momentanen Niveau-Istwert in der Ausgleichskammer gesetzt und gleicht sich dann mit einem einstellbaren Gradienten auf den vorgegebenen Kammer-Sollwert an. Zum Öffnen der Schütze darf der Niveauunterschied zwischen Kammer und Becken einen bestimmten Differenzwert nicht überschreiten. Der Befehl «automatischer Niveauabgleich» bewirkt die automatische Angleichung der Niveaus.

Ein Tandembetrieb ist auch mit dem Kraftwerk Lizun und dem Kraftwerk Castasegna möglich.

## 8. Bedienung, Überwachung, Alarmierung

Am Pult werden nebst der angewählten Betriebsart die Niveaumesswerte, die disponiblen Regelleistungen, die Kennlinienparameter sowie die Stellgrößen in [%] und [MW] angezeigt. Ferner werden der Zufluss, die turbinierten Wassermengen in den Kraftwerken sowie das Stau-, Pump- und Turbinenvolumen angezeigt.

Das Parameteranwahlfeld dient zur Einstellung des Systemparameters, wie z. B. Zielwert und Stundenvorgabe für die Speicherbewirtschaftung.

Im automatischen Betrieb ist die einwandfreie Funktion der Messsonden von entscheidender Bedeutung. Es stehen zwei Sonden, eine für das Ausgleichsbecken und eine für die Ausgleichskammer, zur Verfügung, wobei bei offenem Einlaufschütz beide Sonden die gleichen Messwerte liefern. Die Sonden werden statisch, dynamisch und auf Differenz hin überwacht. Die dynamische Überwachung basiert auf der Tatsache, dass die Niveauänderung einen prozessbedingten Gradienten nicht über- oder unterschreiten kann. Die Stellgrößenspeicher schalten bei Störung des entsprechenden Abgangs auf «Hand», sei dies durch Fehlfunktion einer Sonde, durch fehlende Rückmeldung und fehlende Kriterien der Maschinen/Düsenautomatik oder zufolge eines Fernmessalarms. Die beiden Kraftwerke können über die Stellgrößenspeicher auch manuell bedient werden. Eine Tendenzmeldung für das Ausgleichsbecken und den effektiven Zufluss gibt Auskunft über den zu erwartenden weiteren Verlauf dieser Prozessgrößen.

Das System überwacht auch die Einhaltung der definierten Grenzwerte. Erreicht das Niveau einen dieser Werte, wird der Niveaueinfluss als Extremeinfluss über eine entsprechende Leistungsumverteilung wirksam. Ein akustisches Signal kündigt rechtzeitig diesen Eingriff an.

Eine implementierte Testfunktion ermöglicht die Simulation der Leistungsverteilung für die einzelnen Betriebsarten. Durch Definition einer Reihe von Systemparametern wird die optimale Einstellung des Systems auf die betrieblichen Verhältnisse und Besonderheiten ermöglicht. Die Einstellungen sind auch im «On-line»-Betrieb möglich. Ein Programm-Modul schützt den Betrieb vor Fehlmanipulationen.

[1] Frech, Navé, Schwab, Baggenstoss, Frigg: Moderne Automatisierungslösungen für die Netzregelung. «BBC-Mitteilungen» Nr. 1/2-1983.

Adresse des Verfassers: Robert Frech, El.-Ing. HTL, Fachassistent Netzregel- und MSR-Systeme bei ABB Netzeleittechnik AG, Abteilung NV, CH-5300 Turgi.

## Informatik in der Talsperrenüberwachung

### Konzept für die Erfassung und Verarbeitung von Messdaten

Arbeitsgruppe für Talsperrenbeobachtung im Schweizerischen Nationalkomitee für grosse Talsperren

#### 1. Definition

Unter dem Begriff «Erfassung und Verarbeitung von Messdaten in der Talsperrenbeobachtung mit Hilfe der Informatik» wird der Einsatz von elektrischen und elektronischen Mitteln sowie der Informatik verstanden mit dem Ziel, Indikatoren des Talsperrenverhaltens kontinuierlich oder auf Abfrage zu erfassen, auf einem Datenträger abzuspeichern, sie unverzüglich zu analysieren, d. h. mit Grenz- oder Referenzwerten zu vergleichen. Dieser Definition entsprechen die unterschiedlichsten Systeme, und zwar von der kontinuierlichen Erfassung und Registrierung einer oder mehrerer Messgrössen je am Ort des Messgeräts bis zu ihrer sofortigen Verarbeitung und Auswertung mit einem Computer am Ort des Messgeräts, in einer Kommandozentrale oder in einem entfernt gelegenen Ingenieurbüro.