**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 58 (1967)

**Heft:** 2

**Artikel:** Graphische Ermittlung des optimalen Betriebsprogrammes zweier in Kaskade geschalteter Wasserkraftwerke mit Berücksichtigung eines nachfolgenden Kraftwerkes mit kleinem Schluckvermögen

**Autor:** Schatzmann, W.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-916216

**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:** 08.01.2026

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

# Energie-Erzeugung und -Verteilung

## Die Seiten des VSE

# Graphische Ermittlung des optimalen Betriebsprogrammes zweier in Kaskade geschalteter Wasserkraftwerke mit Berücksichtigung eines nachfolgenden Kraftwerkes mit kleinem Schluckvermögen

von *W. Schatzmann,* Gondo

621.221.2.004.1

*Wir geben nachstehend einem Betriebsleiter das Wort, der ein einfaches graphisches Verfahren für die Betriebsführung einer mehrstufigen Kraftwerkgruppe mit verschiedenen einschränkenden Bedingungen entwickelt hat.* *Die Redaktion*

*Nous donnons ci-après la parole à un chef d'exploitation qui a développé un procédé graphique simple pour l'exploitation d'un groupe de centrales à plusieurs paliers avec différentes conditions restrictives.* *La rédaction*

### 1. Zusammenfassung

Die Energie Electrique du Simplon S.A. betreibt zwei Kraftwerke auf dem Simplon-Südhang. Die Zentralen Gondo und Gabi sind hydraulisch in Kaskade geschaltet. Nachfolgende Ausführungen beschreiben eine einfache graphische Methode zur angenäherten Optimierung des Betriebes.

### 2. Allgemeines

Die Anlagen der Energie Electrique du Simplon S.A. (EES), Konzessionärin der Wasserkräfte auf der Südseite des Simplons, bestehen aus zwei Laufkraftwerken in Kaskade: Zentrale Gondo auf 800 m. ü. M. (Bruttogefälle max. 478 m) und Zentrale Gabi auf 1301 m. ü. M. (Bruttogefälle max. 295 m). Das Einzugsgebiet der Zentrale Gondo beträgt 142 km², davon erfasst die Zentrale Gabi 57 km².

Das Gebiet des Simplons liegt meteorologisch zwischen den Einflusszonen der Alpen-Nord- und -Südseite.

Die Anlagen werden aus zwei relativ kleinen Ausgleichsbecken gespeist; die Leistung der Kraftwerke ist dadurch sehr abhängig von dem momentanen Wasseranfall. Der Betriebsdienst muss deshalb die hydrologischen Verhältnisse dauernd und sehr genau überwachen, um in der günstigsten Zeit die maximale Produktion zu erreichen.

Die Produktionsprogramme müssen jedoch noch zusätzlich auf die dem Kraftwerk Gondo folgenden italienischen Kraftwerke Rücksicht nehmen.

Alle diese Kriterien bedingen eine Überwachungsmethode welche jederzeit ein Abweichen vom optimalen Betrieb erkennen lässt.

### 3. Aufbau der Kraftwerke Gondo und Gabi

In das Ausgleichsbecken Eggen der Zentrale Gabi münden 3 Bäche; in das Ausgleichsbecken Serra des Kraftwerkes Gondo 3 Bäche und das turbinierte Wasser (Betriebswasser) vom Kraftwerk Gabi. Das dem KW Gondo stromabwärts folgende Kraftwerk liegt auf italienischem Gebiet. Dieses Kraftwerk bestand vor den Kraftwerken Gondo und Gabi und seine «natürliche» Produktion, entsprechend den Zuflüssen ohne Ausgleichsbecken Eggen und Serra, darf nicht geschmälert werden.

Die Zuflüsse dieses Kraftwerkes bestehen aus dem Betriebswasser Gondo und dem Bach aus dem Einzugsgebiet unterhalb der Wasserfassungen der EES-Anlagen (Fig. 1).

### 4. Meteorologische Verhältnisse im Gebiet Simplon-Süd

Im Winter verändern sich die Zuflüsse nur sehr langsam, im Frühling und Sommer bei der Schnee- und Gletscherschmelze und im Herbst je nach Regenfall schnell. Regen wirkt sich auf das dem Regengebiet folgende Kraftwerk innert ca. 2 Stunden aus und die Zuflüsse können dabei den mehrfachen Wert der vorherigen annehmen. Die Zuflüsse ändern sich ohne Regenanfall von 0,5 MW für das KW Gabi und

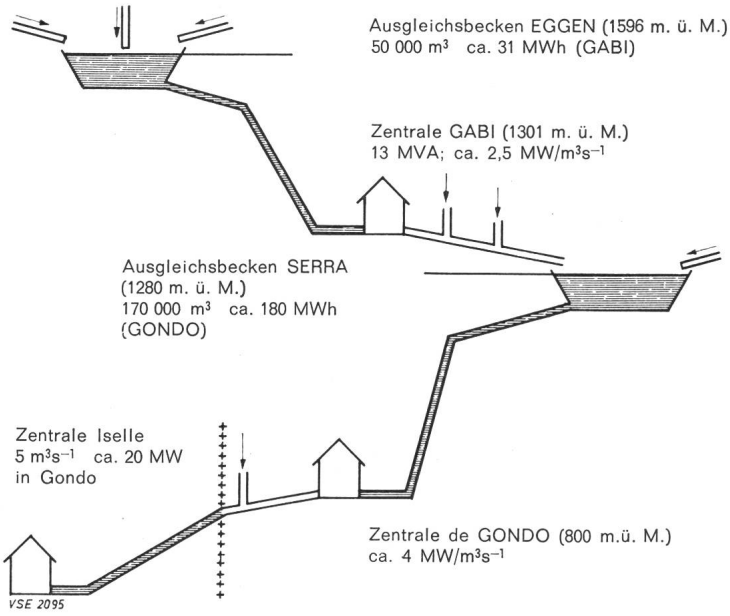



Fig. 1
**Schematische Disposition der Anlagen von Gondo und Gabi**

4 MW für das KW Gondo im Winter bis auf 14 MW für das KW Gabi und über 45 MW für das KW Gondo im Sommer.

Die Zuflüsse während eines Tages ohne Regenanfall, wenn nur noch die Quellen und Gletscher wirksam sind, können sich durch Windrichtung, Wolken, Temperaturen und Tageszeit wie 1:2 verhalten. Die «Laufzeit» des Betriebswassers KW Gabi bis zum Ausgleichsbecken Serra beträgt ca. 1 Stunde.

Die Kraftwerke Gondo und Gabi arbeiten je nach Jahreszeit mit zwei Tarifen. Aus den oben angeführten Angaben und besonders da nur Ausgleichsbecken, aber keine Speicher vorhanden sind, ist es verständlich, dass es oft schwierig ist, nach den herkömmlichen Methoden ein optimales Produktionsprogramm für den nächsten Tag oder über das Wochenende anzugeben und auch einzuhalten.

## 5. Rechnerische Methoden zur Bestimmung des Programmes

Im folgenden werden die in der Zeiteinheit zufliessenden und verbrauchten Wassermengen in MW ausgedrückt. Entsprechend dem Verhältnis der Nettogefälle des KW Gondo zu demjenigen des KW Gabi hat das Betriebswasser vom KW Gabi für das KW Gondo ungefähr den 1,6 fachen Wert.

Die Kurven «Inhalt der Ausgleichsbecken in Funktion der Pegelstände» sind vorhanden.

Daraus lassen sich folgende Gleichungen aufstellen, mit denen im Programm gerechnet werden kann.

Natürlicher Zufluss in das Ausgleichsbecken Eggen:

$Z_1 = Q_1 + P_1$ (MW)

Natürlicher Zufluss in das Ausgleichsbecken Serra:

$Z_2 = Q_2 + P_2 - B_1$ (MW)

«Betriebswasser» in KW Gondo um die Nennleistung im KW Iselle zu ermöglichen: $B_2 = P_3 - Z_3$ (MW)

wobei:

$Z_3$ natürlicher Zufluss zum KW Iselle (MW)

$B_1$ Betriebswasser vom KW Gabi (In «Leistung KW Gondo» umgerechnet) (MW)

$P_1$ Momentane Leistung KW Gabi (MW)

$P_2$ Momentane Leistung KW Gondo (MW)

$P_3$ max. Leistung des KW Iselle, umgerechnet in «Leistung KW Gondo» (MW)

$Q_1$ pro Zeiteinheit gespeicherte (+) oder verbrauchte (−) Wassermenge im Ausgleichsbecken Eggen (MW)

$Q_2$ pro Zeiteinheit gespeicherte (+) oder verbrauchte (−) Wassermenge im Ausgleichsbecken Serra (MW)

Die Aufgabe der Betriebsleitung und des Schaltwärters ist nun:

a) Ausgleichsbecken möglichst voll halten (höchstmögliches Gefälle)

b) Plötzlich anfallende Wassermengen (Hohe Temperatur oder Regen) stauen, um das Programm nicht ändern zu müssen

c) Max. Produktion im Hochtarif

d) die «natürliche Produktion» des nachfolgenden italienischen Kraftwerkes nicht schmälern.

Fig. 4 zeigt das Organigramm der zu erfassenden Informationen und der auszuführenden Operationen, um das Betriebsprogramm zu bestimmen.

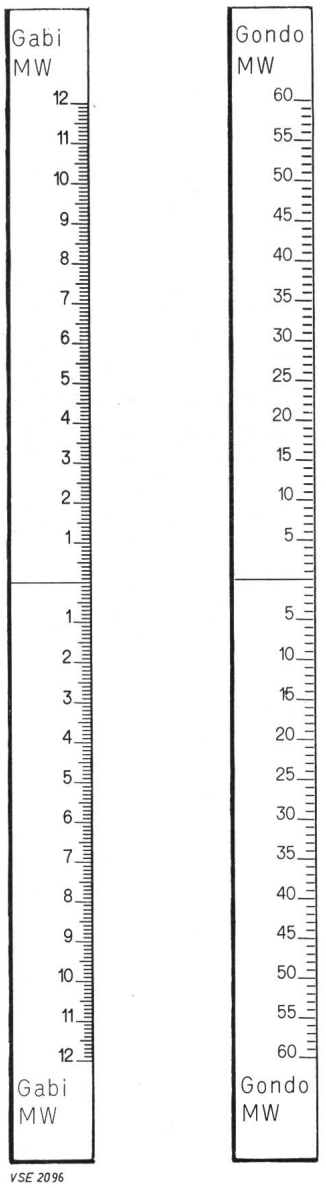



Fig. 2a, 2b
**Maßstäbe für die Zentralen GABI und GONDO**

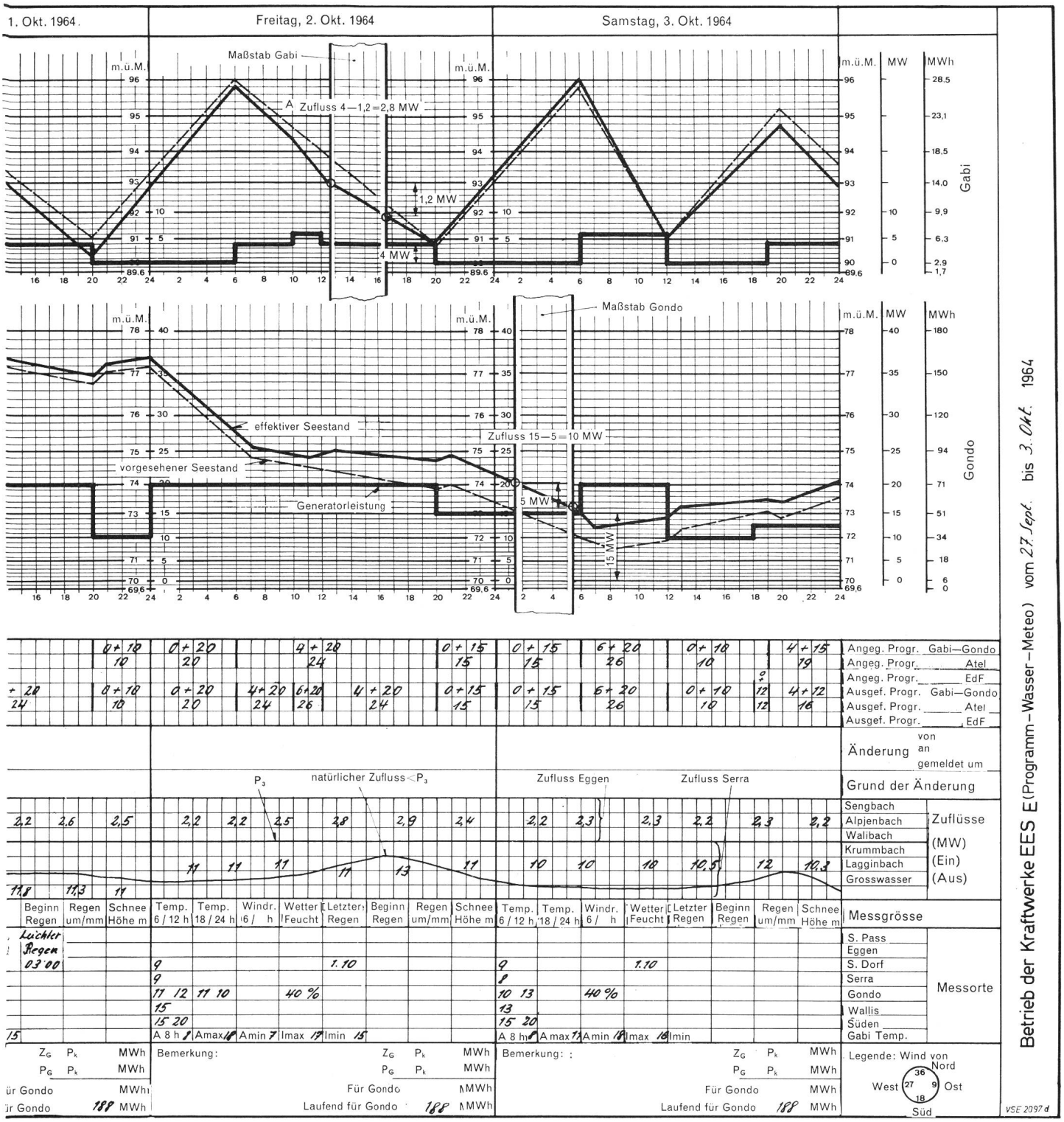
In der «Kritischen Zeit» bei starkem Temperatur- und Windwechsel ist es im Gebiet Simplon Süd unmöglich, nur auf Grund der offiziellen Wetterprognose und der gemessenen Momentanwerte eine Prognose der Zuflüsse für den nächsten Tag zu stellen. Dazu gehört eine laufende Kontrolle der Zuflüsse um die Tendenz ermitteln zu können. Das Berechnen der Zuflüsse und der zu einer bestimmten Zeit erreichten Staukote aus den erwähnten Kurven sind arbeitsaufwendig:

Ablesen des Stauvolumens zur Zeit X
Ablesen des Stauvolumens zur Zeit Y

Aus der Differenz der Stauvolumen die in der Zeiteinheit zugeflossene Wassermenge berechnen, in die Gleichungen einsetzen, Zuflüsse bestimmen. Aus der Veränderung des Stauvolumens in der Zeit X−Y auf das Stauvolumen in der Zeit Z schliessen und in der Kurve den zugehörigen Pegelstand kontrollieren etc.

## 6. Graphische Methode

In einem Koordinaten-System mit der Abszisse als Zeitachse und der Ordinate als Seestand werden jede Stunde die




von den Limnigraphen von Eggen und Serra gemeldeten Pegelstände eingezeichnet.

In der Ordinate wird jedoch nicht der Pegel, sondern der Seeinhalt linear dargestellt, z. B.:

Ausgleichsbecken Eggen: 10 mm = 4 MWh (im Original)

Ausgleichsbecken Serra: 10 mm = 20 MWh (im Original)

Die Beschriftung der Ordinate erfolgt in Meter nach der erwähnten Kurve «Inhalt der Ausgleichsbecken in Funktion der entsprechenden Pegel» und die der Abszisse als Zeitachse 5 mm = 1 Stunde.

Ist der Pegel des Ausgleichsbecken Serra (im Koordinatensystem) z. B. bei stillstehendem KW Gondo um 5 mm gestiegen, entspricht dies einem Energiezufluss von 5 mm · 2 MWh/mm = 10 MWh.

Im erwähnten Koordinatensystem ist das Verhältnis «Pegeldifferenz zu Zeit» bei jedem Seestand das Mass für die zu- oder abfliessende Leistung.

Je ein Maßstab für die Ausgleichsbecken Eggen und Serra erlaubt die schnelle Ermittlung der Veränderung des Stauvolumens in der Zeiteinheit, und wird in MW geeicht (Fig. 2a und 2b).

Daraus lassen sich die jeweiligen Zuflüsse rechnen und in die entsprechenden Felder eintragen. Ebenfalls als Kurve dargestellt wird der «natürliche» Zufluss bezogen auf Gondo

(Zufluss Ausgleichsbecken Eggen · 1,6 + Zufluss Serra) und die gemessenen Temperaturen, Luftfeuchtigkeit, Schneehöhen, Regenfall sowie Wetterbericht mit Windrichtung eingetragen.

Die Kurve «natürlicher» Zufluss zeigt wieviel Wasser ohne die Kraftwerke Gabi und Gondo dem Kraftwerk Iselle zur Verfügung stehen würde; entsprechend wird der Betrieb des Kraftwerkes Gondo gestaltet (Fig. 3).

Aus diesen Unterlagen werden die mutmasslichen Zuflüsse für die nächsten Tage geschätzt. Massgebend für die Gestaltung des Produktionsprogrammes sind: Tarifzeiten, Zuflüsse mit Tendenz, Zunahme oder Abnahme, günstigste Leistung in Bezug auf Wirkungsgrad, vom Energie-Abnehmer gewünschte Spitzen, und das Schluckvermögen des italienischen Kraftwerkes (Fig. 4).

Je nach Zweckmässigkeit ergibt sich aus dem gewünschten Pegeldiagramm das Produktionsprogramm oder umgekehrt.

Der effektive Seestand wird jede Stunde mit dem im Diagramm vorgesehenen Seestand verglichen; Abweichungen bedeuten: Zuflussveränderung oder falsch eingestellte Leistung.

Durch Extrapolieren der dabei entstehenden effektiven Seestands-Kurve und Vergleichen mit der Kurve «natürliche Zuflüsse» ist frühzeitig zu erkennen, ob die Ausgleichsbecken die Veränderung der Zuflüsse ausgleichen können oder ob, um wieviel und wann spätestens die Leistung verändert werden muss. Dazu dienen wieder die in MW geeichten Maßstäbe.

### 7. Erfahrung

Es wird nun seit ca. zwei Jahren mit dieser Methode gearbeitet, und die Erfahrung zeigt, dass damit eine schnelle Programmgestaltung und ein ruhigerer Betrieb mit weniger Programmänderungen ermöglicht wird. Die Schichtleute verfolgen selbständig die Entwicklung der Wasserbilanz und rufen den Betriebsleiter nur bei grossen Abweichungen zu Hilfe.

### Literatur


L'équipement électro-mécanique de la centrale de Gondo
SEV — Bulletin 22/1953

Deuxième étape de l'aménagement du versant sud du Simplon, centrale de Gabi
SEV — Bulletin 9/1958

Répercussion de la disposition en cascade d'aménagements hydro-électriques sur leurs conditions d'exploitation
par M. Cuénod et J. Wahl, Société Générale pour l'Industrie
Bulletin tech. suisse romande N° 10/1956



**Adresse des Autors:**
*W. Schatzmann*, Betriebsleiter, c/o Energie Electrique du Simplon S. A., 3901 Gondo (VS).

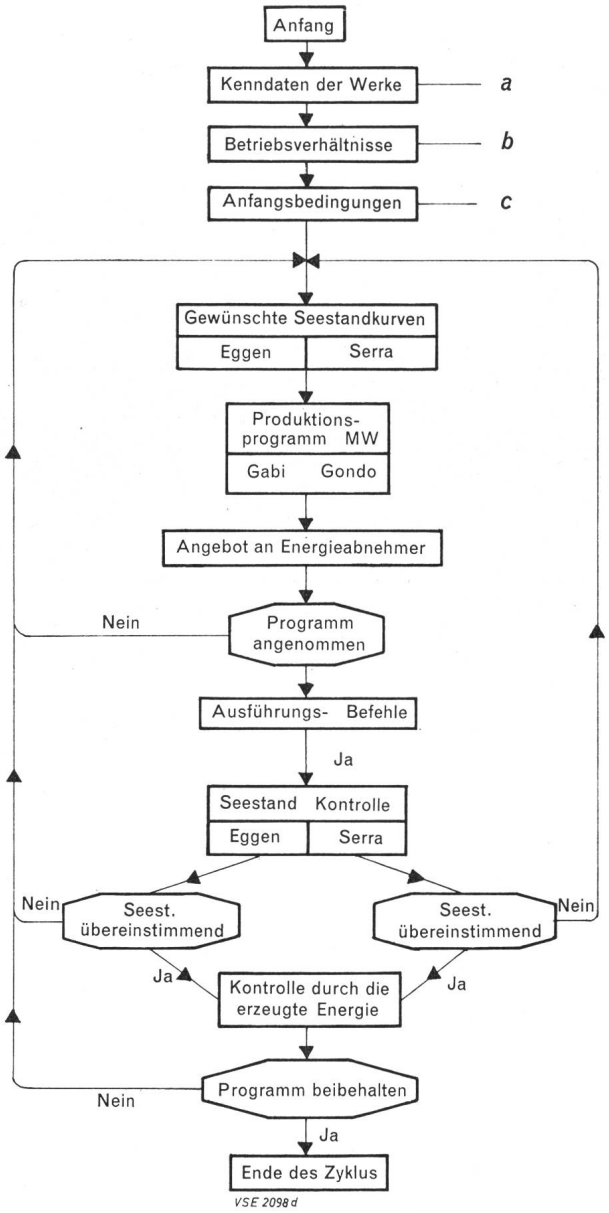




Fig. 4
**Programmzyklus**

*a* Kenndaten der Fassungen; Kenndaten der Stollen; Kenndaten der Ausgleichbecken; Kenndaten der Gruppen.

*b* Zufluss Eggen; Zufluss Serra; Notwendiger Zufluss talabwärts; Wert der Energie (Tarife); Meteorologische Verhältnisse.

*c* Zeit, Tag, Monat; Seestand Eggen; Seestand Serra; Restlicher Zufluss talabwärts.

# Wahl der Schutzmassnahmen gegen Berührungsspannungen in Hausinstallationen

Bericht über die 31. Diskussionsversammlung des VSE vom 2. Juni 1966 in Zürich und vom 28. Sept. 1966 in Lausanne


621.316.311.62 - 78


*Die Diskussionsversammlung über «Wahl der Schutzmassnahmen gegen Berührungsspannungen in Hausinstallationen» wurde für die deutschsprechenden Teilnehmer am 2. Juni 1966 in Zürich, für französischsprechende am 28. Sept. 1966 in Lausanne durchgeführt.*

*Herr* E. Schaad, *Präsident der Kommission des VSE für Diskussionsversammlungen über Betriebsfragen, leitete die Versammlung in Zürich, an der die bisher grösste Anzahl Personen, nämlich 375, teilnahmen. Als Referenten amteten die folgenden Herren:* E. Homberger, *Oberingenieur des Starkstrominspektorates,* Dr. R. Grüter, *Chef des Rechtsdienstes des Starkstrominspektorates,* F. Hofer, *Präsident des FK 200, Installationschef der CKW, Luzern,* M. Grossen, *Vizedirektor der BKW, Bern,* P. Accola, *Adjunkt der Industriellen Betriebe der Stadt Chur, Chur,* R. Meyer, *Installationschef des EWZ, Zürich.*