

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 32 (1941)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Praktische Erfahrungen mit elektrischen Drehzahlreglern für Primärmaschinen im Elektrizitätswerk der Stadt Aarau 1937-1941  
**Autor:** Müller, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060060>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.04.2025

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

heraus; damit kann die Zuordnung, die von den Elementen des harmonischen auf die Elemente des komplexen Bereiches und umgekehrt führt, nicht mehr bestehen; vielmehr hört die Möglichkeit der unmittelbaren Uebertragung des Rechnens mit Elementen des einen auf das Rechnen mit Elementen des andern Bereiches auf, sobald es sich nicht mehr um Summen und Differenzen handelt <sup>7)</sup>.

### Anhang.

Besonders durchsichtig lässt sich die Sachlage mit Hilfe einiger Grundbegriffe der höheren Algebra darstellen. Man kann nämlich sowohl für den harmonischen, als auch für den komplexen Bereich folgendes feststellen:

- Es liegt eine Menge von unterschiedenen Elementen in unendlicher Anzahl vor.
- Für zwei gegebene Elemente des Bereiches ist durch die Addition als Verknüpfung ein weiteres Element des Bereiches bestimmt.
- Die Verknüpfung genügt folgenden Eigenschaften:
  - Sie ist assoziativ:  $(u_1 + u_2) + u_3 = u_1 + (u_2 + u_3)$ ;
  - die inverse Operation, die Subtraktion, ist unbeschränkt und eindeutig durchführbar.

Es besteht demnach ein Sachverhalt, der ausreicht, um den harmonischen sowie den komplexen Bereich als *unendliche Gruppe* zu erklären <sup>8)</sup>. Da die Ad-

<sup>7)</sup> Bekanntlich kann einem Quotienten des komplexen Bereiches, z. B.  $\mathbb{U}/\mathfrak{S}$ , im harmonischen Bereich ein Differentialoperator, z. B. der Impedanzoperator  $R + L \frac{d}{dt}$  zugeordnet werden. Diese Zusammenhänge hat Quade näher ausgeführt; vgl. <sup>2)</sup>, jedoch S. 21 uff. Eine physikalisch sinnvolle Grösse des harmonischen Bereiches, die dem komplexen Produkte  $\mathbb{U}\mathfrak{S}$  zugeordnet werden könnte, ist wohl bis heute nicht aufgezeigt worden.

<sup>8)</sup> Die oben aufgeführte Zusammenstellung ist der in dem Buch von Hasse <sup>9)</sup> enthaltenen Fassung der Gruppen-Postulate angepasst.

<sup>9)</sup> Hasse, Helmut: Höhere Algebra, Bd. 1, zweite Auflage, 1933; Sammlung Göschen Nr. 931, S. 49.

dition auch kommutativ ist, liegt insbesondere je eine unendliche *kommutative Gruppe* vor <sup>10)</sup>.

Die vorher dargestellten Beziehungen, die zwischen dem harmonischen und dem komplexen Bereich bestehen, ordnen jedem Element der einen ein Element der andern Gruppe zu; ebenso ist jedem durch Addition oder Subtraktion entstehenden Element der einen das durch Addition oder Subtraktion der zugeordneten Elemente entstehende Elemente der andern Gruppe zugeordnet. Damit ist für beide Gruppen eine Uebereinstimmung hinsichtlich ihres Aufbaues festgestellt, die als *Isomorphie* <sup>11)</sup> bezeichnet wird. Das Vorhandensein dieser Isomorphie ist der Ausdruck für die Möglichkeit der gegenseitigen Zuordnung.

Betrachtet man weiterhin vorerst nur den komplexen Bereich, so ist festzustellen, dass nicht nur die Addition und die dazu inverse Subtraktion, sondern auch die Multiplikation von zwei Elementen, sowie auch die Division wieder auf Elemente des komplexen Bereiches führen. Dabei gilt das distributive Gesetz:  $\mathbb{U}(\mathfrak{S}_1 + \mathfrak{S}_2) = (\mathbb{U}\mathfrak{S}_1) + (\mathbb{U}\mathfrak{S}_2)$ . Der komplexe Bereich stellt daher — bezüglich der vier Grundoperationen — einen *Körper* dar <sup>12)</sup>.

Im Gegensatz dazu führen nun aber weder das Produkt noch der Quotient von gleichfrequenten harmonischen Schwingungen wieder auf solche. Der harmonische Bereich bildet somit keinen Körper. Damit ist es aber ausgeschlossen, dass zwischen der Gesamtheit der gleichfrequenten harmonischen Schwingungen, deren Produkten und Quotienten einerseits und dem Körper der komplexen Grössen andererseits eine als Isomorphie bezeichnbare Uebereinstimmung des Aufbaues bestehen kann.

Die Möglichkeit gegenseitiger Zuordnung bleibt somit auf die Elemente, deren Summen und Differenzen beschränkt.

<sup>10)</sup> Schon Quade hat auf die Gruppeneigenschaften hingewiesen, siehe <sup>2)</sup>, jedoch S. 20 uff.

<sup>11)</sup> Wie <sup>9)</sup>, jedoch S. 56 u. 57.

<sup>12)</sup> Wie <sup>9)</sup>, jedoch S. 8, 10 u. 11.

## Praktische Erfahrungen mit elektrischen Drehzahlreglern für Primärmaschinen im Elektrizitätswerk der Stadt Aarau 1937—1941.

Von H. Müller, Aarau.

621.316.718.5

Anhand von Diagrammen werden die günstigen Betriebserfahrungen mit einem neuen Frequenzregler zur Drehzahlregulierung von Kaplan-turbinen mitgeteilt. Dieser Reglerapparat erlaubt gegenüber den bisher verwendeten mechanischen Pendelreglern konstruktive Vereinfachungen im Aufbau der Generatorgruppen und weist eine bemerkenswerte Betriebssicherheit auf. Er erlaubt das einwandfreie Parallelschalten von Kaplan-turbinen, von Hand oder automatisch, was früher immer mit Schwierigkeiten verbunden war. Im Alleinbetrieb ergibt sich eine wesentliche Verbesserung der Frequenzhaltung.

Les expériences faites en pratique avec un régulateur de fréquence d'un nouveau genre pour le réglage de la vitesse de turbines Kaplan sont indiquées avec diagrammes à l'appui. Par rapport aux régulateurs à pendule utilisés jusqu'ici, ce nouveau régulateur permet de simplifier la construction des groupes d'alternateurs et présente une sécurité de fonctionnement remarquable. Les turbines Kaplan peuvent être couplées en parallèle à la main ou automatiquement, sans la moindre difficulté, ce qui n'était pas le cas auparavant. En service individuel, ce régulateur améliore beaucoup la stabilité de la fréquence.

Mit dem Ersatz der dreistöckigen Francisturbinen durch Kaplanmaschinen im Kraftwerk II des EW der Stadt Aarau wurde gleichzeitig der mechanischen Drehzahlregulierung grösste Aufmerksam-

keit geschenkt. Dieses Studium ergab sich in erster Linie aus dem schlechten «Leumund» der Kaplan-turbinen in bezug auf ihre Eigenschaft, schwer parallel schaltbar zu sein. Die 1933 in unserem Werk

eingebaute Propellerturbine unterstützte unsere Bedenken, indem diese im automatischen Parallelbetrieb grosse Schwierigkeiten bietet, im Gegensatz zu den bisherigen Francisturbinen. Das mechanische Pendel wird durch einen Elektromotor, der vom Generator über einen Transformator gespeist wird, direkt angetrieben. Ein Durchgehen der

benröder keine befriedigende Lösung dargestellt. Von Brown Boveri wurde uns hierauf ein in der Entstehung befindlicher elektrischer Frequenz-Ventil-Regler erklärt<sup>1)</sup>. Erfahrungen für die direkte Steuerung von Wasserturbinen lagen noch nicht vor, dagegen konnte die Firma auf die bereits vor Jahren für die Drehzahlregulierung von Papierma-

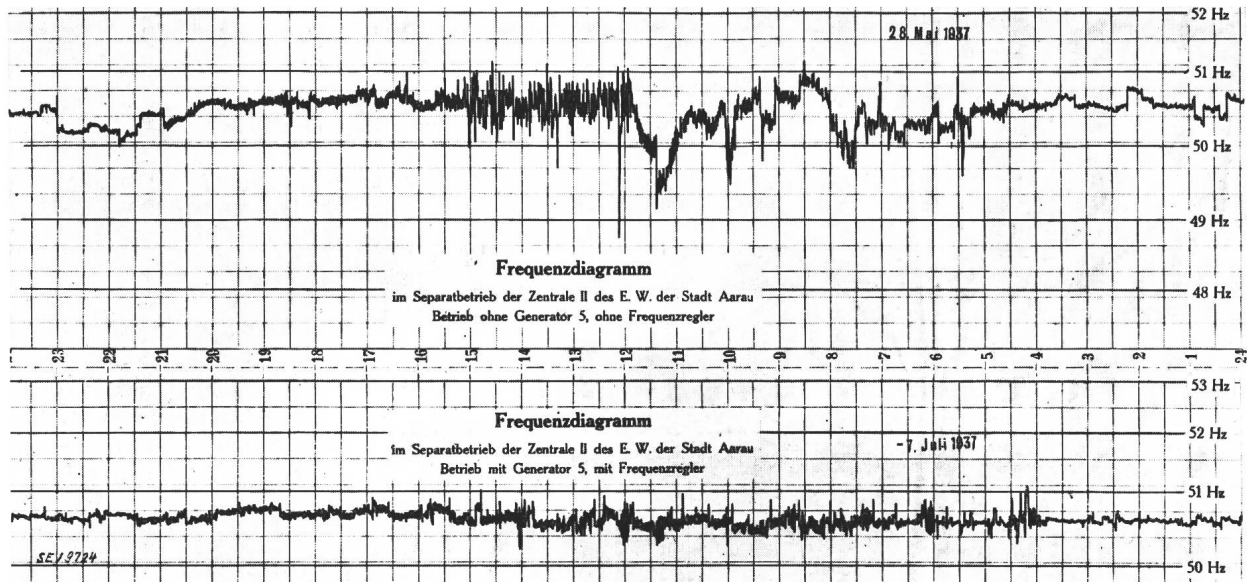


Fig. 1.

Turbine soll durch Zwischenschaltung von Begrenzungsrelais verhindert werden. Da diese Relais durch jahrelanges Stillstehen einer Verstaubung ausgesetzt sind, zeigte sich, dass sie bei seltenen Störungen nicht mehr zuverlässig funktionieren und dadurch die Störung nur noch vergrössern.

Diese kurze Beschreibung gibt die Begründung nach der Suche eines neuen zuverlässigen Reglers. Wir gelangten 1936 mit dieser Frage an die Firma

schinen und Frequenzumformern eingeführte elektrische Frequenzregulierung hinweisen, wobei die Hauptelemente auch in konstruktiver Hinsicht bereits ausprobiert waren. Unser Werk stellte daher für die Ausprobierung eine bei der Firma Bell & Cie. in Auftrag gegebene Kaplanturbine zur Verfügung. Die Firma Bell hat ihrerseits durch verständnisvolle Mitarbeit dazu beigetragen, dass die neue Regulierung ohne besondern Zeitverlust in

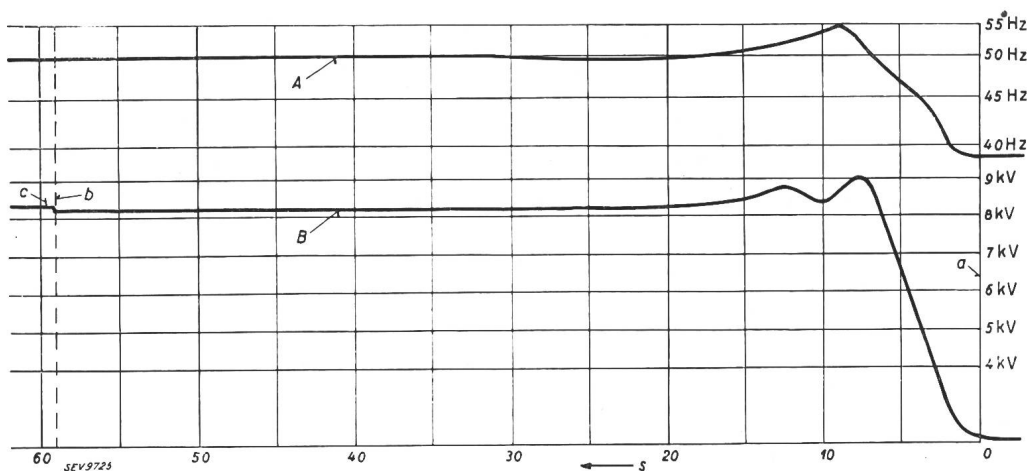


Fig. 2. Reguliervorgang beim Parallelschalten mit elektrischem Primärregler. A Einschwingen der Frequenz. B Einschwingen der Spannung. a Einschalten des Spannungsreglers. b Parallelschaltmoment. c Netzspannung.

Brown Boveri, die uns zuerst den Aufbau eines kleinen Generators direkt auf die Turbinenwelle zur Speisung des mechanischen Pendelantriebes empfahl. Diese Lösung war uns aus verschiedenen Gründen nicht genehm. Ebenso hätte ein direkter mechanischer Transmissionsantrieb über Schrau-

den praktischen Betrieb genommen werden konnte. Der in unserem Werk im Juni 1937 als Erstausführung in den praktischen Betrieb übergebene Regler steht seither bis heute in ununterbrochenem Betrieb. Im Frühjahr 1940 erfolgte der Einbau der

<sup>1)</sup> Bulletin 1939, Nr. 1, S. 20.

an der Schweiz. Landesausstellung gezeigten Regulierung und gegenwärtig wird die dritte Anlage montiert, die demnächst ebenfalls dem Betrieb übergeben wird. Eine vierte Anlage wurde im Februar dieses Jahres bestellt. Die seit der Erstaufführung vorgenommenen Vervollständigungen waren mehr konstruktiver als grundsätzlicher Natur. Die befürchteten Schwierigkeiten für die Parallelschaltung von Kaplan-Turbinen blieben vollständig aus. Die Maschinen können innert kürzester Zeit

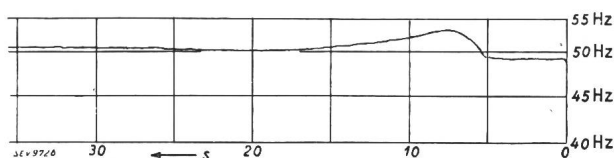


Fig. 3.

Abschaltung von 850 kW an Gruppe 5 des Kraftwerkes II des EW der Stadt Aarau. Kaplan-Turbine mit Frequenzregler.

automatisch oder von Hand parallel geschaltet werden. Diese Vorgänge sind in den Diagrammen Fig. 1...3 veranschaulicht. Namentlich hat auch der automatische Selbstschluss bei vollständigem Zusammenbruch der Generatorspannung immer einwandfrei funktioniert. Dieses Verhalten ist bei uns

von besonderer Bedeutung, weil mit dem Auslösen des Hauptschalters immer auch die Entregung der Maschine erfolgt. Dabei geht die Turbine immer auf ungefähr Leerlaufdrehzahl. Durch Wiedererregen mittels Einschalten des Magnetfeldschalters erfolgt das Einschwingen der Spannung durch den Spannungsregler und die Frequenz durch den Frequenzregler. Beide Vorgänge sind aus den Diagrammen ersichtlich. Zwecks besserer Sichtbarmachung des Parallelvorganges wurde die Generatorspannung gegenüber der Netzspannung verschieden eingestellt. Das Frequenzdiagramm des Kraftwerkes zeigt weiter, dass schon mit der Einführung des ersten Reglers eine Verbesserung in der Frequenzhaltung im Alleinbetrieb unseres Werkes erreicht wurde. Bei der Bewertung der erreichten Verbesserung muss berücksichtigt werden, dass von den parallel laufenden 5...6 Maschinen nur eine mit dem neuen Regler ausgerüstet war. Das Diagramm der Lastabschaltung mit Spannung (Fig. 3) zeigt ebenfalls das stabile Einschwingen in die Leerlaufdrehzahl. Die Verwendung des Frequenzreglers hat in konstruktiver Hinsicht den Aufbau der Generatorgruppe beträchtlich vereinfacht, was an und für sich ein wesentlicher Grund für die weitere Einführung dieser nun bewährten Regulierungsart ist.

## Energie- und Kohlenverbrauch im Bahnbetrieb.

Vom Generalsekretariat des SEV und VSE (A. Kleiner).

621.331 : 625.1.003

Die Situation auf dem Energie- und Brennstoffmarkt lässt es als angezeigt erscheinen, Äquivalenzzahlen für den Verbrauch von Kohlen und hydroelektrischer Energie sich vor Augen zu halten für die Fälle, wo diese einwandfrei festgestellt werden können. Ein typisches Beispiel hierfür bietet die Elektrifizierung unserer Bahnen, die ja überhaupt für unsere Wirtschaft von kapitaler Bedeutung ist, wie folgende Ueberlegungen zeigen:

Gemäss Jahresbericht der Bundesbahnen leisteten diese im Jahre 1940 13 690 · 10<sup>6</sup> Bruttotonnenkilometer und verbrauchten 712,44 · 10<sup>6</sup> kWh. Will man nun bestimmen, einer wie grossen Kohlenmenge dies entsprochen hätte, so muss man auf die früheren Betriebsjahre der Bundesbahnen zurückgreifen, in denen ähnliche Transportleistungen, aber rein mit Dampfkraft, gemacht wurden. Nachdem diese Rechnung durchgeführt war, wobei die ermittelten Werte ziemlich stark streuten, ergab sich schliesslich als guter Mittelwert, der auch von den Bundesbahnen auf andere Weise ermittelt wurde, dass für den Bahnbetrieb

**1 kWh 1,57 kg Kohle entspricht.**

Rechnet man zum Verbrauch der Bundesbahnen noch denjenigen der Bern-Lötschberg-Simplon-Bahn (BLS) mit den mitbetriebenen Linien mit 42,38 · 10<sup>6</sup> kWh, der Rhätischen Bahn (Rh B) mit 15,08 · 10<sup>6</sup> kWh, der Südostbahn (SOB) mit 2,15 · 10<sup>6</sup> kWh, so erhält man total 772,05 Millionen kWh, die an Vollbahnen geliefert wurden. Nun wurden ferner im Jahre 1939/40 aus dem allgemeinen Verteilnetz an Bahnen 315 · 10<sup>6</sup> kWh abgegeben, von welchen

die Bundesbahnen und die genannten andern Bahnen 120 · 10<sup>6</sup> kWh bezogen, so dass noch 195 · 10<sup>6</sup> kWh verbleiben, die von den übrigen Bahnen der Schweiz verbraucht wurden. Dabei handelt es sich allerdings zum Teil um Strassenbahnen und Ueberlandbahnen, die nie mit Dampf betrieben wurden und auch nicht als Dampfbahnen gebaut worden wären. Sie machen aber im Verhältnis zum Ganzen wenig aus, so dass dieser Umstand für das folgende unberücksichtigt bleiben darf.

So ergibt sich endlich, dass alles in allem im Jahre 1940 für *Bahnbetrieb* rund 960 · 10<sup>6</sup> kWh abgegeben wurden, was mit der ermittelten Äquivalenzzahl von 1 kWh = 1,57 kg Kohle einer

*Kohlenmenge von 1,5 Millionen Tonnen*

entspricht, d. h. ungefähr der Hälfte dessen, was die Schweiz in normalen Zeiten für den Bedarf für Haushalt, Gewerbe, Industrie, Gaswerke usw. einzuführen gezwungen ist.

Wir haben hier ein sehr schönes und typisches Beispiel, wie durch die richtige Verwendung der Hydroelektrizität da, wo der Verwendungszweck ihrer Natur angepasst ist, ganz gewaltige Energiemengen anderer Form gespart werden können.

Dabei soll aber natürlich nicht vergessen werden, dass seit dem Beginn der Elektrifizierung unserer Bahnen die Technik der Dampflokomotiven sich auch entwickelt hat, so dass die errechnete Äquivalenzzahl etwas tiefer liegen dürfte. Immerhin ist der Unterschied nicht so gross, dass die errechnete Zahl nicht als brauchbarer Vergleichswert benutzt werden könnte, der kaum mehr als etwa 10 bis 20 % ungenau sein dürfte.