

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 22 (1931)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Das Elektrizitätswerk Thorenberg von 1885 bis 1931  
**Autor:** Müller, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058587>

### **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:** 05.02.2025

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

## Das Elektrizitätswerk Thorenberg von 1885 bis 1931.

(Seit 1918 im Besitze der A.-G. der von Mooschen Eisenwerke in Luzern.)

Von H. Müller, Ingenieur, Emmenbrücke-Luzern.

621.311.21—52(494)

Das Elektrizitätswerk Thorenberg kam 1886 in Betrieb, als erstes grösseres Wechselstromwerk für Allgemeinversorgung mit Uebertragungsleitung und Transformatoren. Bauherren waren die Gebrüder Troller, welche das zur Beleuchtung der Stadt Luzern dienende Werk bis zum Jahre 1897 auf ihre Rechnung betrieben. In dieser Zeit wurde es nach Bedarf erweitert und ausgebaut, insbesondere mit einer Dampfreserve versehen. 1897 ging das Werk in das Eigentum der Stadt Luzern über. 1918 kaufte es die A.-G. der von Mooschen Eisenwerke in Luzern, welche es zur Energieversorgung ihrer Fabriken heranzog. Die neue Besitzerin führte zunächst einen provisorischen Ausbau durch und richtete dann in den Jahren 1928/29 das Kraftwerk neu ein. Im Mai 1930 kam es als eine der modernsten bedienungslosen Anlagen in Betrieb. Installiert ist ein einziger Drehstrom-Synchrongenerator von 1000 kVA, 3700 V, 214 U/m, 50 p/s. Die Energie wird mittels einer Freileitung von ca. 2,5 km Länge nach den Eisenwerken in Emmenweid übertragen, dort auf 380/220 V transformiert und auf die Sammelschienen gegeben, welche auch von den Centralschweizerischen Kraftwerken gespiesen werden.

Der Autor beschreibt die Entwicklung und den neuesten Umbau des Werkes unter besonderer Berücksichtigung der Automatik, durch welche jährlich Fr. 9000.— an Betriebskosten gespart werden.

L'usine électrique de Thorenberg a été mise en service en 1886; c'était la première usine à courant alternatif d'une certaine importance pour usages généraux, avec ligne de transport et transformateurs. Propriétaires de cette usine servant à l'éclairage de la ville de Lucerne étaient les frères Troller qui l'exploitèrent à leur propre compte jusqu'en 1897. A cette époque elle subit différents aggrandissements et fut en particulier munie de machines à vapeur de réserve. En 1897, l'usine devint la propriété de la Ville de Lucerne. La «S. A. des usines métallurgiques von Moos» à Lucerne la racheta en 1918 pour couvrir sa consommation propre. La nouvelle propriétaire lui fit tout d'abord subir une transformation provisoire pour la transformer ensuite complètement en 1928/29 en une usine des plus modernes et complètement automatique qui fut mise en service en mai 1930. Elle comporte un seul alternateur synchrone triphasé de 1000 kVA, 3700 V, 214 tours/min, 50 p/s. L'énergie est transportée par une ligne aérienne d'environ 2,5 km de longueur aux usines de Emmenweid, où la tension est abaissée à 380/220 V et amenée aux barres collectrices qui sont également alimentées par le réseau des Forces Motrices de la Suisse centrale.

L'auteur esquisse le développement et décrit les dernières transformations de l'usine, en appuyant particulièrement sur l'automatisme qui permet de faire une économie de fr. 9000.— par an sur les frais d'exploitation.

Kaum hat die Reuss den Vierwaldstättersee verlassen und in munterem Laufe die Stadt Luzern durchheilt, so nimmt sie einen oft recht stürmischen Gesellen in ihre beruhigende Mitte. Es ist die kleine Emme. In trockener Zeit ein bescheidenes Flüsschen, kann sie während der Schneeschmelze und nach Gewittern zum reissenden Wildwasser werden. Doch trotz ihren variablen Wassermengen nützen Gewerbe und Industrie die ihr innewohnenden Kräfte in reichem Masse aus. Hier treibt sie eine Säge, dort eine Mühle; speziell in ihrem Unterlauf löst ein Wasserrecht das andere ab.

Eine kurze Wegstunde nach dem Eintritt in das mit dunklen Wäldern und grünen Wiesen besäte Tal begegnen wir nahe der Kantonsstrasse dem Elektrizitätswerk Thorenberg. Dieses ist nicht seiner Grösse wegen heute erwähnenswert; viel interessanter ist seine Entstehung und seine Entwicklung, denn es ist das erste grössere Wechselstrom-Elektrizitätswerk für ausgedehnte elektrische Stadtbeleuchtung mit Ueberlandleitung und Transformatoren nicht nur der Schweiz, sondern überhaupt. Das ursprüngliche Wasserrecht wird bereits 1670 urkundlich erwähnt und gestattet zur Betreibung von Mühlen die Entnahme von Wasser aus der Emme. Die ganze Anlage, speziell die Zu- und Ableitungskanäle, haben in diesen vielen Jahren natürlich bedeutende Veränderungen in der Trasse und Vergrösserungen in der Länge und in den Querprofilen erfahren.

1884 erwirbt Herr Gottlieb Troller durch Kauf eine der Mühlen und 1885 tritt Herr Theodor Bell in Kriens die Hammerschmiede Thorenberg durch Verkauf an die Herren Gebr. Troller ab. Im gleichen Jahre noch wird die Hammerschmiede um-

gebaut, und da, wo bis anhin die Wasserräder gemächlich ihre Arbeit taten, läuft nun mit 172 U/m eine von der Firma Theodor Bell & Cie. in Kriens erbaute 400-PS-Girard-Vertikalturbine, um über Kegelräder und Transmission 3 Einphasen-Wechselstrom-Generatoren von je ca. 100 kVA, 2500 V,

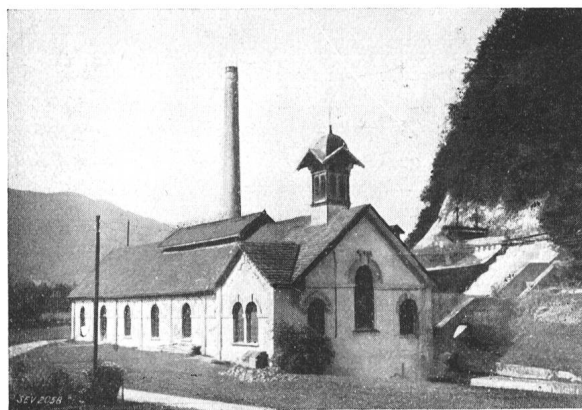


Fig. 1.

Gesamtansicht des Kraftwerkes Thorenberg vor 1929.

50 p/s anzutreiben. Das Werk soll der Beleuchtung der Stadt Luzern dienen, und bereits im Mai 1886 wurden über Freileitung und Transformatoren die Hotels «Schweizerhof» und «Luzernerhof» daselbst als erste elektrisch beleuchtet.

Bis 1887 soll zur Gewinnung des Wassers im Flusslauf kein eigentliches Wehr eingebaut gewesen sein. Die bisherigen Mühlenbesitzer begnügten sich mit einigen provisorischen Vorrichtungen. Gebr. Troller reichten zu dieser Zeit mit Beilage von

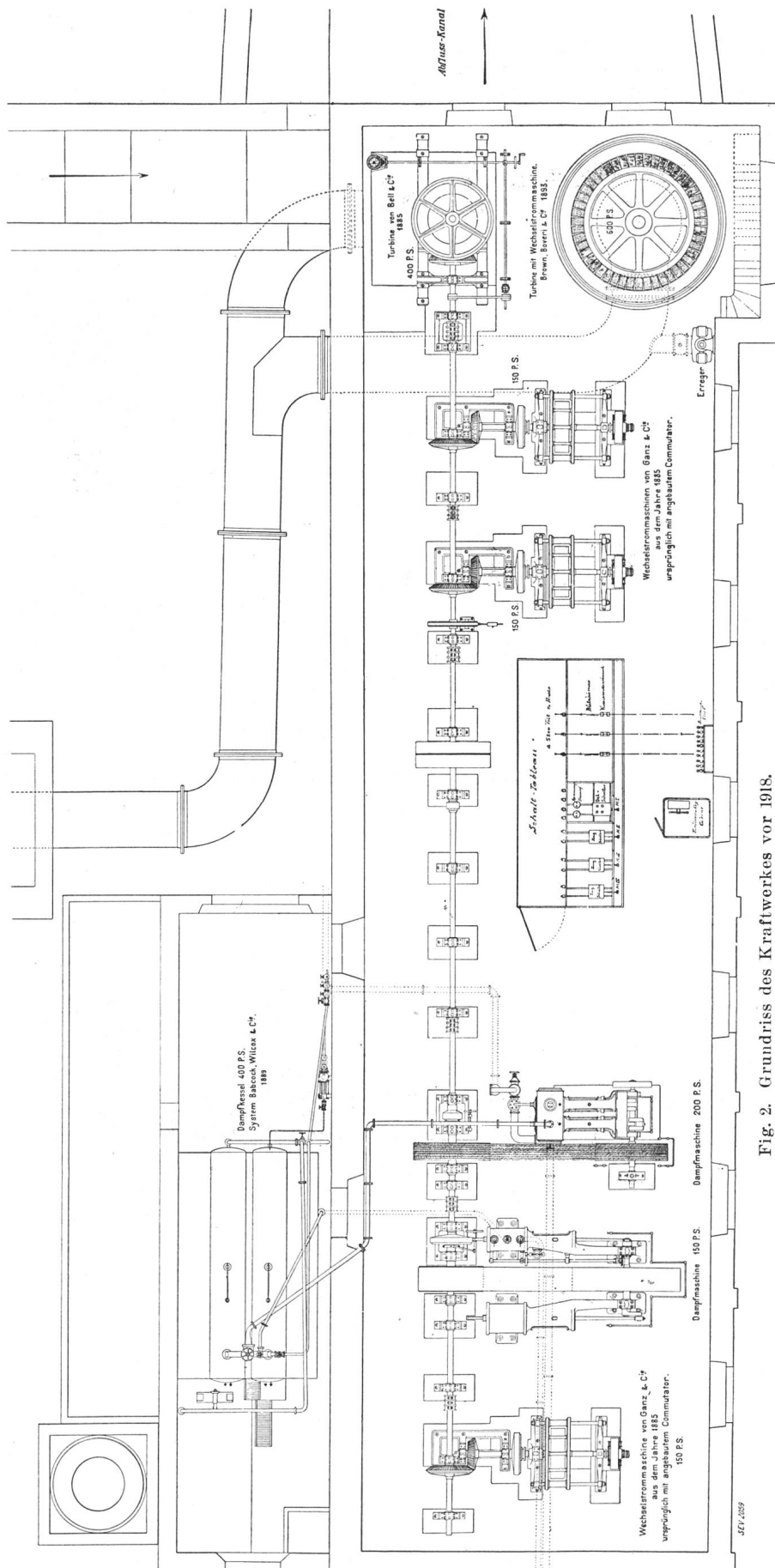


Fig. 2. Grundriss des Kraftwerkes vor 1918.

Plänen und Beschreibungen beim Regierungsrat des Kantons Luzern ein Gesuch ein, um in der Emme, ca. 100 m oberhalb der bisherigen Wasserversammlung, ein neues Wehr einzubauen und den Oberwasserkanal bis dahin, parallel der Emme, zu verlängern. Die regierungsrätliche Bewilligung wurde im Jahre 1888 erteilt.

Der Unterbau des Wehres besteht in einer 30 cm starken Pfahlwand, die mindestens 3,6 m tief in das Flussbett eingerammt ist. Zur Versteifung derselben in der Längsrichtung des Flusses ist auf je 2,5 m Wehrlänge eine Reihe 30 cm starker und 3,8 m langer Pfähle eingerammt, die durch Zangen miteinander und mit der Pfahlwand verbunden sind. Auf diese Pfähle sind die Schwellenhölzer zur Aufnahme des Wehrbodens befestigt.

Das Wehr selbst ist ein einfaches Klappwehr von 0,72 m Höhe. Das Grundholz der Wehrsohle liegt auf 470,46 m ü. M., die Stauladenoberkante auf 471,18. Erreicht nun das Wasser die Höhe der Stauladenoberkante, so legt sich das Wehr selbsttätig. Beide Uferabschlüsse bestehen in soliden Betonpfeilern und es beträgt die lichte Weite zwischen denselben 32,37 m. Das Klappwehr ist auf der linken Seite durch einen Schlagbaum von ca. 5 m Länge ersetzt.

Die Achse des Kanaleinlaufes ist senkrecht zum Stromstrich und im weitem Verlaufe in nordöstlicher Richtung an die Terrainverhältnisse angepasst. Der Oberwasserkanal hat eine totale Länge von 1975 m, mit einem ausgeglichenen Gefälle von  $0,87\text{‰}$ . Die Länge des Unterwasserkanals beträgt 580 m. Der Hochwasserdamm, gleichzeitig Abstützung für den Einlaufrechen, ist vermittels starken Mauer- gewölbe über den Kanal

geführt. Ca. 130 m unterhalb der Wasserfassung ist eine Kanal- und eine Kieslaufschleuse mit Kieslauf in die Emme eingebaut. Ober- und Unterwasserkanal sind durch verschiedene Brücken und Stege überführt. Dem Zutritt des Hochwassers zur Kanalanlage und dem rückliegenden Kulturland ist durch Erstellung von Hochwasserdämmen in Erde und Beton sowie durch Fallenabschluss vorgebeugt.

1889 wurde das Kraftwerk durch Einbau einer Dampfreserve, bestehend aus einem horizontalen Dampfkessel, System Babcock, Wilcox & Cie., und zwei horizontalen Kolbendampfmaschinen von 150 und 200 PS Leistung erweitert. Bei geringem Wasserstand der Emme arbeiteten die beiden Maschinen durch Riemen- und Seilübertragung auf die nämliche Transmission wie die erwähnte Wasserturbine. In der Mitte des Gebäudes befand sich die Schaltanlage und gestattete von hier einen guten Ueberblick über die ganze Anlage.

Veranlasst durch den ständig wachsenden Bedarf an elektrischer Energie in der Stadt Luzern wurde 1893 durch die Firma Theodor Bell & Cie. in Kriens eine zweite Vertikalturbine von 600 PS bei 125 U/m eingebaut. Der von Brown, Boveri & Co. im gleichen Jahre gelieferte Einphasengenerator von 400 kVA, 2500 V, 50 p/s war mit der Turbine auf gemeinsamer Welle. Die zugehörige Erregermaschine wurde durch eine separate kleine Turbine angetrieben. Die Schluckfähigkeit des Oberwasserkanals gestattete jedoch den gleichzeitigen Betrieb der beiden Wasserturbinen nicht. Dagegen war es möglich, nebst dem neuen Aggregat die drei bisherigen Generatoren durch die Dampfmaschinen anzutreiben und auf diese Art die Gesamtleistung zu heben. 1896, nach zehnjährigem Betrieb des Elektrizitätswerkes Thorenberg, waren 12 000 Glühlampen zu 10 Kerzen oder andere Verbraucher gleicher Aequivalente, nebst 24 Motoren mit zusammen 50 PS Leistung, an dieses angeschlossen.

Im Jahre 1897 ging das Werk mit allen Rechten durch Kauf an die Stadt Luzern über und wurde ab 1. April auf dessen Rechnung betrieben.

Veranlasst durch die allgemeine Energieknappheit in den Kriegsjahren, und den hohen Wert eigener Kraftquellen erkennend, strebte die A.-G. der von Mooschen Eisenwerke den Ankauf des seit einiger Zeit ruhenden Kraftwerkes Thorenberg an.

1918 war der Kauf perfekt und die Anlage inklusive Wasserrechtskonzession ging in den Besitz des Eisenwerkes über. Nach vorhergegangenem eingehendem Studium der Nutzbarmachung für die eigenen Werke wurde der 400-kVA-Einphasen-Generator, in Anpassung an die vorhandene Werkenergie, durch die Firma Häfely & Cie. in Basel auf 2 Phasen, 3400 V, 42 p/s umgebaut. Die durch den Umbau bedingte Reduktion der Tourenzahl hatte einen nicht unbedeutenden Energieverlust zur Folge; trotzdem war damit ein viel grösseres Uebel, die bisherige Energieknappheit, beseitigt. Die notwendige ca. 2,5 km lange Uebertragungsleitung zur

Verbindung von Kraftwerk und Eisenwerk wurde der damaligen hohen Kupferpreise wegen mit Aluminiumleitern versehen.

Ausser dem eben genannten Generator mit zugehöriger Turbine und Apparatur wurden nach dem Kauf der Anlage sämtliche Maschinen abgebrochen und verkauft.

Wie bereits oben erwähnt, konnte dieser Zustand nicht als endgültige Lösung betrachtet, sondern musste als reiner Notbehelf gewertet werden.

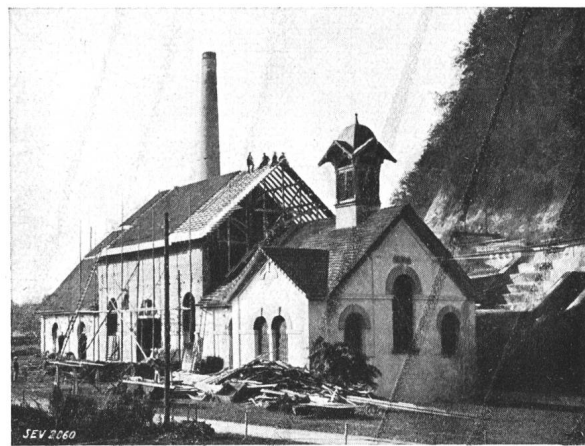


Fig. 3.  
Ansicht des Kraftwerkes im Umbau.

Die neue Besitzerin studierte denn auch die Nutzbarmachung der Anlage in verschiedenen Varianten, und Ende 1928 beschloss die Direktion den Umbau des Kraftwerkes Thorenberg.

Einer maximalen Wasserführung von  $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$  im Oberwasserkanal stand ein Bruttogefälle von 14,45 m zur Verfügung. Es galt nun, die daraus resultierende Leistung möglichst ökonomisch auszunützen. Eingehende Vergleichen und Berechnungen ergaben für die bestehenden Verhältnisse als beste Lösung die Verwendung einer horizontalen Francis-Turbine von etwa über 1000 PS mit 214 U/m, gekuppelt mit einem Drehstrom-Synchron-Generator von gleicher Tourenzahl für 1000 kVA, 3700 V, 50 p/s. Um die Betriebsausgaben gleichzeitig auf ein Minimum zu reduzieren, wurde die Anlage für bedienungslosen Betrieb vorgesehen.

Im Juni 1929 wurde die Turbine samt Regulator, Abschlussorgan, Druckrohr, Grobrechen und sämtlichem Zubehör mit Ablieferungstermin auf 1. Dezember 1929 in Auftrag gegeben. Die Bestellung für den Generator mit Schaltanlage und Apparatur für die Automatik erfolgte einen Monat später mit gleicher Lieferfrist. Kurz aufeinander erfolgten auch die Aufträge für die Rechenanlage mit Rechenputzmaschine, für die automatische Stauklappe mit Heizung und endlich für einen Montagekran.

Anfangs Oktober wurde die alte Anlage stille gelegt und mit den Bauarbeiten begonnen. Der überaus milde Winter 1929—1930 war dem Unternehmen ausserordentlich günstig. Mitte November

war der Hochbau aufgeführt und unter Dach; ebenso waren die Fundamente zur Aufnahme der Maschinen und der neuen Druckrohre bereit. In den ersten Tagen Dezember war der Kran montiert

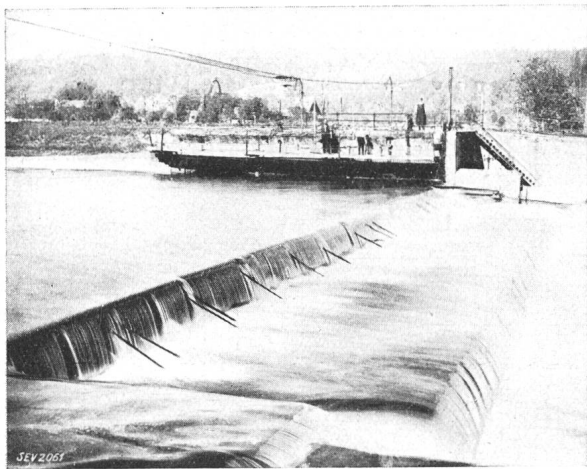


Fig. 4.  
Wasserrfassung.

und bereits erfolgten die Lieferungen der Maschinenteile für die Turbine. Das neue Wasserschloss war ebenfalls im Werden. In rascher Folge konnten Generator, Rechenanlage, automatische Stauklappe montiert werden.

In gleicher Zeit wurde die Uebertragungsleitung ins Eisenwerk nach Emmenweid mit Kupferleitern versehen und die ganze Leitung revidiert und in Stand gestellt.

Ebenso wurde die Hochspannungs- und Schaltanlage in der Primärstation Emmenweid umgebaut und den neuen Verhältnissen angepasst. Rechtzeitig traf auch die Schaltanlage für Thorenberg ein und, nachdem die notwendigsten Verbindungen geschaffen waren, begannen ab Mitte Februar 1930 die

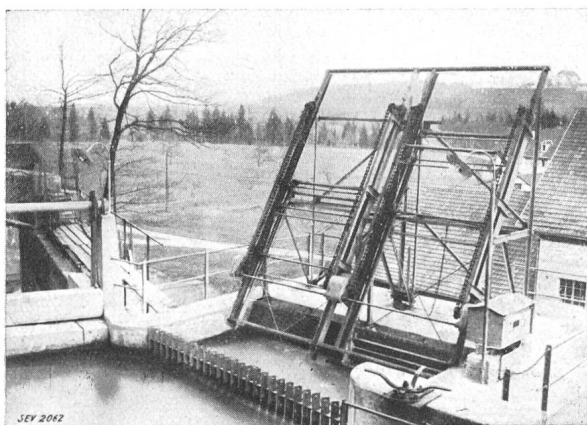


Fig. 5.  
Neues Wasserschloss, links automatische Stauklappe.

ersten Versuche, und am 24. Februar wurde die Anlage vorerst in handgesteuerten Betrieb genommen.

Nachdem die ganze Automatik nochmals einer gründlichen, durchgehenden Kontrolle unterzogen war, kam auch diese Ende Mai in Betrieb.

Um jedoch bei allfälligen Störungen sofort an Ort zu sein und um das Personal mit der neuen Anlage etwas vertraut zu machen, wurde die dreischichtige Wartung noch bis Mitte Juli belassen. Das Werk Thorenberg ist nach diesem Umbau in seiner Art heute wohl eine der schönsten und modernsten Anlagen und arbeitet mit äusserst geringer Wartung zu allseitiger Zufriedenheit.

Das Werk liegt parallel mit den Central-schweizerischen Kraftwerken an der 3700-V-Sammelschiene im Eisenwerk Emmenweid und ist normalerweise von Montagmorgen 6 Uhr bis Sonntagmorgen 6 Uhr in ununterbrochenem Betrieb.

Die Inbetriebsetzung der Gruppe erfolgt von der Haupttransformatorenstation der Emmenweid aus durch Schliessen des Oelschalters der Linie Thorenberg. Hierdurch erhält der Stationstransformator von 10 kVA Leistung und einer Uebersetzung von 3700/380/220 V, vor dem Generatoren-Oelschalter im Kraftwerk, vermittels der Uebertragungsleitung Spannung. Sofort läuft eine kleine Motor-Generatorgruppe von 50 W Leistung an, erzeugt den Gleichstrom von 16 V und schliesst damit die Ma-

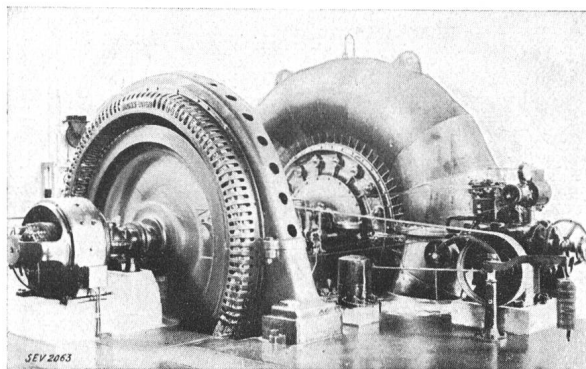


Fig. 6.  
Turbine mit Generator.

gnetkupplung im Getriebe zwischen Kugelschieber und dessen Antriebsmotor. Gleichzeitig spricht auch die Schaltschütze für den 7-PS-Kugelschieber-Motor an, setzt diesen in Gang und öffnet das Turbineneinlassorgan in ca. 40 Sekunden unter gleichzeitigem Aufwinden eines Fallgewichtes, das bei Störung als Energiequelle zur Schliessung des Schiebers in fünf Sekunden dient. Die Schaltungspule der Schütze ist in Serie mit verschiedenen Kontakten, die in normalem Zustande geschlossen, bei Störung geöffnet sind. Durch einen Endkontakt am Zahnsegment des Kugelschiebers wird der Antriebsmotor automatisch abgeschaltet, sobald der Schieber vollständig geöffnet ist.

Da der Leitapparat der Turbine nur bis zur Leerlaufstellung schliesst, läuft die Gruppe an, erreicht nach einigen Sekunden die Leerlaufdrehzahl, worauf der automatische Synchronisierungsvorgang beginnt. Am Turbinenregler ist ein Drehzahlverstellmotor angebaut, welcher durch den Synchronisierregler gesteuert wird. Der Synchronisierregler besteht aus zwei Drehsystemen, die über Spannungswandler einerseits an die Freileitung, d. h. an das

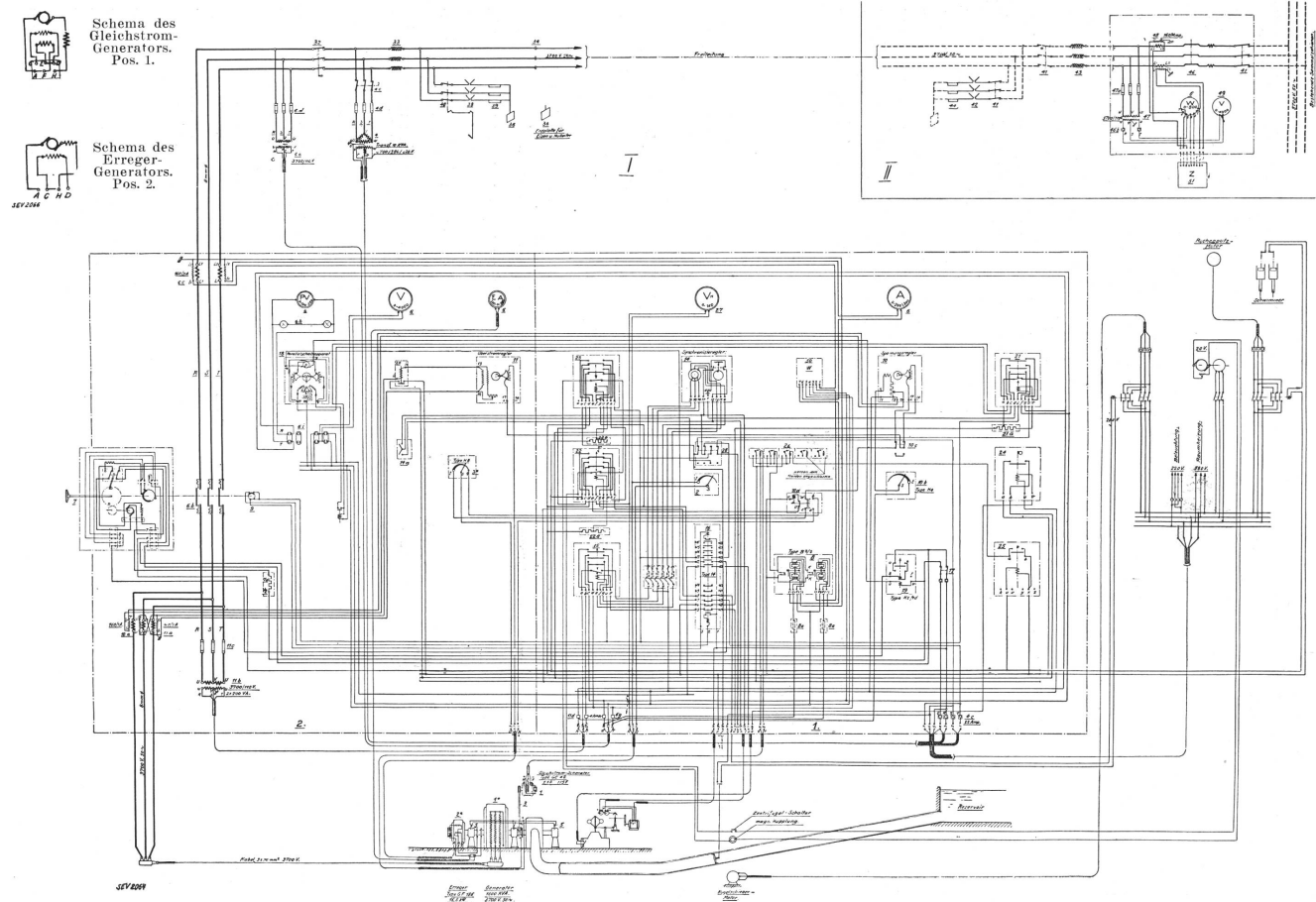


Fig. 7. Gesamtschema (Legende s. S. 293).

Fremdstromnetz, andererseits an die Generatorklemmen angeschlossen sind. Eine Frequenzungleichheit bewirkt nun ein Arbeiten des Synchronisierreglers im einen oder anderen Sinne, wodurch der Drehzahlverstellmotor bis zum Synchronismus gesteuert wird. Um den Parallelschaltapparat, der den eigentlichen Schaltvorgang einleitet, zu schonen, ist eine Phase desselben durch ein Zeitrelais, mit bis auf drei Minuten einstellbarem Zeitwerk, unterbrochen. Erst nach Ablauf der eingestellten Zeit, welche so abgestimmt wird, dass die Gruppe unter dem Einfluss des Synchronisierreglers nahezu synchron läuft, wird er eingeschaltet und schaltet in bekannter Weise über einen Kontaktschutz den Generator-Oelschalter ein und damit die beiden Energiequellen parallel.

Vermittels einem Umschaltrelais öffnet nun der Drehzahlverstellmotor am Turbinenregulator die Turbine bis zur vollen Beaufschlagung. Die weitere Regulierung übernimmt ein Schwimmer, der den Wasserzufluss auf die Turbine und damit die Leistung auf konstanten Wasserstand im Wasserschloss einreguliert. Die Belastung der Gruppe entspricht somit jederzeit dem momentanen Wasserzufluss. Unter dem Dache des Maschinenhauses befinden sich zwei Schwimmerkasten, welche durch kommunizierende Röhren mit dem Wasserschloss, die eine vor, die andere hinter dem Feinrechen, in Verbindung stehen. Bei abnehmendem Wasser vor dem Rechen schliesst der entsprechende Schwimmer, der durch ein Gegengewicht ausbalanciert ist, die Turbine bis zur Beaufschlagung, welche den Wasserspiegel wieder auf die normale Höhe bringt. Bei wieder wachsendem Wasser ist natürlich der umgekehrte Vorgang die Folge.

Die Ausserbetriebsetzung der Anlage geschieht ebenfalls von der Transformatorenstation in der Emmenweid aus, und zwar durch blosses Oeffnen des Oelschalters der Thorenberger Leitung. Dadurch wird nämlich der Turbinen-Leitapparat unter dem Einflusse des Turbinenreglers in die Endlage, entsprechend Leerlauf der Gruppe, geführt, und ein auf der Regulierwelle montierter Hilfskontakt schliesst einen Stromkreis der Hilfsdynamo und der Spannungsspule eines Zeitrelais. Nach Ab-

lauf der eingestellten Zeit bewirkt dieses Relais das Ausschalten der Gruppe, wobei das Fallgewicht des Kugelschiebers durch Unterbrechen des Stromkreises der magnetischen Kupplung freigegeben wird und so die Gruppe stillsetzt. Damit ist der ursprüngliche Zustand, wie er zum Anlassen der Gruppe benötigt wird, wieder hergestellt.

*Die Automatik.* Die für diese benötigte Apparatur wurde durch die Lieferfirma nach zwei Gesichtspunkten durchgebildet. Erstens sind nur Apparate kombiniert worden, die in genau gleicher Ausführung für andere Zwecke schon jahrelang mit Erfolg verwendet wurden und deren gutes Funktionieren bekannt ist. Zweitens wurde darnach getrachtet, die ganze Anordnung so einfach wie möglich und unter Verwendung von einem Minimum von Apparatur durchzuführen. Die Beachtung dieser beiden Punkte gewährleistet die grösstmögliche Betriebssicherheit.

*Störungen.* Um alle möglichen Störungen richtig zu erfassen, werden dieselben in zwei verschiedene Klassen eingeteilt, nämlich in Fehler und Störungen vorübergehender Natur, die kein Ausserbetriebsetzen und Revidieren der Anlage erfordern, und dann in solche Fehler, die einen Weiterbetrieb der Anlage unmöglich machen.

*Als Störungen vorübergehender Art* kommen hauptsächlich momentane, starke Ueberlastungen und Kurzschlüsse ausserhalb der Anlage in Betracht.

*Störungen schwerwiegender Art*, welche ein Stillsetzen der Gruppe erfordern, sind folgende: Versagen der Drehzahlregulierung und infolgedessen Durchbrennen der Gruppe, Versagen der Erregung und Heisslaufen der Lager.

Elektrisch kommt diese Unterteilung dadurch zur Geltung, dass für jede Gruppe von Störungen ein spezielles Relais, das das Stillsetzen der Gruppe bewerkstelligt, vorgesehen ist. Dieses Relais nennt man Abstellrelais, ohne, resp. mit Sperrung. Jedem Relais zugeordnet ist eine Auslöseschiene gleicher Bezeichnung, d. h. Auslösung mit oder ohne Sperrung. Während im ersteren Falle die Gruppe sofort für den Wiederanlauf freigegeben wird, wird durch das Ansprechen des Relais mit Sperrung ein

Legende zu Fig. 7.

I. Kraftwerk Thorenberg.

- 1 Gleichstrom-Generator 1,1 kW.
- 2 Magnetregulator.
- 1\* Dreiphasen-Generator 1000 kVA.
- 2\* Erreger.
- 3\* Magnetregulator.
- 3 Riemen für Antrieb.
- 4 Transformator 10 kVA, 3700/380/220 V.
- 4c Trenner.
- 4d Sicherungen.
- 4e Sekundär-Sicherungen.
- 5 Thermoregulatoren.
- 6 Instrumente.
- 6b Oelschalter.
- 6c Stromwandler 160/5 A.
- 6d Sicherungen.
- 6e Spannungswandler 3700/110 V.
- 6h Phasenlampen.
- 6i Steckelemente.
- 7 Motorantrieb.
- 7 Vorschaltwiderstand.
- 8 Rückwattrelais.
- 8a Vorschaltwiderstand.
- 9 Hilfskontakt.
- 10 Spannungsregler.

- 10a Compoundierungs-Stromwandler.
- 10b Einstellwiderstand.
- 10c Erregerumschalter.
- 10d Magnetfeldschalter.
- 11 Ueberstromregler.
- 11a Stromwandler 160/1 A.
- 11b Spannungswandler 200 VA, 3700/110 V.
- 11c Sicherungen HS.
- 11d Sicherungen NS.
- 14 Synchronisierregler.
- 14a Hammerschalter.
- 15 Einschaltrelais.
- 16 Walzenschalter.
- 17 Schaltelement 25 A.
- 18 Parallelschaltrelais.
- 19 Einschaltrelais.
- 20 Maximalstromrelais.
- 21 Relais.
- 21a Vorschaltwiderstand.
- 22 Ausschaltrelais mit Sperrung.
- 22a Vorschaltwiderstand.
- 23 Ausschaltrelais.
- 23a Vorschaltwiderstand.
- 24 Zeitrelais.
- 25 Maximalspannungsrelais.

- 26 Fallklappenrelais.
  - 27 Voltmeter für Hilfsdynamo.
  - 28 Umschalter für Hand oder autom. Betrieb.
  - 31 Hilfsapparate für Turbine.
  - 32 Trenner.
  - 33 Drosselspule.
  - 33 Mauerdurchführung.
  - 36 Erdplatte.
  - 38 Hörnerableiter.
  - 39 Glycerinwiderstand.
  - 40 Trennschalter.
  - 50 Registr. Wattmeter.
- II. Werk Emmenweid.
- 6 Wattmeter.
  - 41 Trenner.
  - 42 Hörnerableiter.
  - 43 Drosselspule.
  - 44 Glycerinwiderstand.
  - 46 Oelschalter mit Relais.
  - 47 Spannungswandler.
  - 47a Sicherungen H5.
  - 47b Sicherungen N5.
  - 48 Stromwandler.
  - 49 Voltmeter.
  - 51 Drehstrom-Zähler.

Wiedereinschalten verhindert. Für den Wiederanlauf muss die Verklüpfung dieses Relais erst von Hand freigegeben werden, wobei vorausgesetzt ist, dass dies erst nach Untersuchung und Behebung der aufgetretenen Störung geschieht.

Als gefährlichste Störung wird das Durchbrennen der Gruppe bei gleichzeitigem Versagen der Hilfsstromquelle betrachtet. Um in diesem Falle einer eventuellen Zerstörung der Gruppe vorzubeugen, ist neben einer elektrischen Auslösvorrichtung ein mechanisch wirkendes Schutzorgan, der sogenannte Maximalregler, vorgesehen. Bei Versagen der elektrischen Auslösvorrichtung spricht dieser Maximalregler, direkt auf der Turbinenwelle aufgebaut, an und betätigt einen Unterbrecherkontakt, über welchen der Stromkreis der magnetischen Kupplung geführt ist. Wie bereits oben erwähnt, bewirkt ein Unterbrechen dieses Stromkreises die Freigabe des Fallgewichtes, welches rein mechanisch, also ohne Zuhilfenahme irgend welcher elektrischen Vorrichtung, den Kugelschieber schliesst und so das Aggregat stillsetzt. Nachstehend sollen noch die einzelnen Schaltungen für die verschiedenen Schutzvorrichtungen kurz besprochen werden.

**Lagerstörungen.** Jedes Lager ist mit einem sogenannten Thermo-Regulator versehen, dessen Tauchrohr in das Lagermetall eingebaut ist. Dies hat gegenüber dem Eintauchen in Oel den Vorteil, dass auch bei starken Oelverlusten ein Heisslaufen des Lagers vom Regulator angezeigt wird. Sämtliche Thermo-Regulatoren sind unter sich parallel geschaltet und betätigen über ein Fallklappenrelais

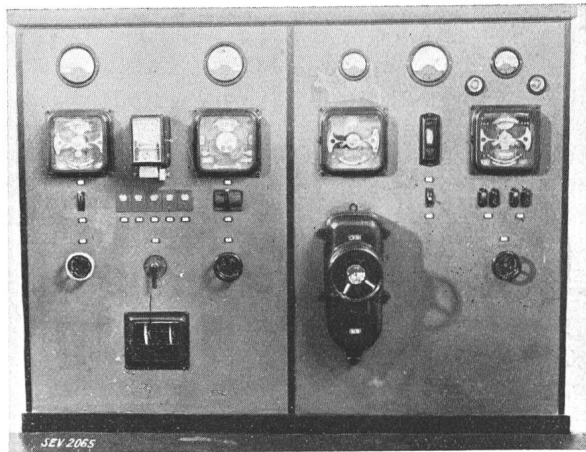


Fig. 8.  
Instrumenten- und Apparatetafel.

das Abstellrelais mit Sperrung. Das Fallklappenrelais gibt sofort die Störungsursache bekannt, und die in jedem Thermo-Regulator eingebaute rote Fahne, welche beim Ansprechen desselben sichtbar wird, zeigt, welches Lager die Auslösung verursacht hat. Der für die Betätigung der Relais notwendige Gleichstrom wird von einer kleinen, stark gesättigten Hilfsdynamo, welche von der Turbinenwelle angetrieben wird, erzeugt.

**Durchbrennen der Gruppe** hat ein Ansteigen der Spannung der Hilfsdynamo proportional zur

Drehzahl zur Folge. Bei einer Ueberdrehzahl von ca. 30 % spricht ein an den Klemmen der Hilfsdynamo angeschlossenes Spannungsrelais an und bewirkt über ein zweites Fallklappenrelais, auf die nämliche Art wie oben, die Ausserbetriebsetzung der Anlage.

Bei *Rückfliessen der Energie* magnetisiert das Rückwattrelais die Spule eines dritten Fallklappenrelais, welches die Auslöseschiene mit Sperrung unter Spannung setzt und somit wiederum das Sperrelais betätigt. Diese drei Störungsarten haben alle die gleiche Wirkung, nämlich ein sofortiges Abschalten und die Sperrung der Anlage, während das in Verbindung mit dem *Ueberstrom*-Schutzregler verwendete Maximalstromrelais beim Ansprechen Spannung auf die Auslöseschiene ohne Sperrung gibt und so ein vorübergehendes Stillsetzen der Gruppe bewirkt.

So ist für jede Störung eine Schutzvorrichtung einfachster Art vorgesehen. Ein Minimalkontakt im Wattmeter des Schaltfeldes Thorenberg in Emmenweid schliesst einen Sonneriestromkreis und macht hier auf die eingetretene Störung aufmerksam. Wünscht man vom automatischen auf Handbetrieb überzugehen, so geschieht das durch einfache Umstellung eines vierpoligen Umschalters. Dadurch wird nur die Automatik abgeschaltet und die Gruppe kann wie eine normal bediente behandelt werden. Die plötzliche Unterbrechung des Wasserzuflusses auf die Turbine, sei es anlässlich Störungen oder normalen Abschaltens, durch Schliessen des Kugelschiebers, hat natürlich einen gewissen Rückstau im beinahe 2 km langen Oberwasserkanal zur Folge. Um ein gefährliches Ansteigen des Wasserspiegels zu verhindern, wurde im Leerlauf des Wasserschlosses ein automatisches Klappwehr eingebaut. Bei einem Ueberstau von einigen Zentimetern legt sich dieses selbsttätig so weit um, bis sich der Wasserspiegel annähernd auf seine normale Höhe absenken kann. Das zuverlässige Funktionieren der Stauklappe ist für die gesamte Anlage von grösster Wichtigkeit und sie wurde deshalb, um dies auch bei Frost zu erreichen, mit einer elektrischen Heizung versehen.

Wie bereits erwähnt, wurde auch die ganze Rechenanlage erneuert und besteht heute aus einem vorgebauten Grobrechen und einem dahinterliegenden Feinrechen. Während der Grobrechen anlässlich der periodischen Kontroll- und Reinigungsarbeiten von Hand gereinigt werden muss, ist der Feinrechen mit einer Rechenputzmaschine ausgerüstet. Diese wird durch einen 3-PS-Motor angetrieben. Statt der sonst üblichen Schaltuhr, die nach Einstellung in periodischen Zeitabständen die Anlage in Betrieb setzt, geschieht hier die Inbetriebsetzung ganz nach Bedürfnis.

Entsteht durch Verunreinigung des Rechens eine Höhendifferenz zwischen den Wasserspiegeln vor und hinter dem Rechen von 5 bis 6 cm, so teilt sich dieser Unterschied auch den bereits weiter oben angeführten beiden Schwimmerkasten unter dem Maschinenhausdach mit und schliesst durch einen



Quecksilberschalter den Schaltstromkreis einer Schützenspule kurz, wodurch der Antriebsmotor in Betrieb gesetzt wird. Die Rechenmaschine arbeitet nun solange, bis der Niveauunterschied behoben ist. Das Schwemmgut fällt in eine Spülrinne und wird von hier durch Wasser in den Unterwasserkanal abgeführt.

Unterschreitet der Wasserspiegel hinter dem Rechen eine fixierte Marke, z. B. infolge Versagens der Rechenputzmaschine, so wird der Wehrwärter durch Signal davon verständigt.

Zu erwähnen ist nun noch, dass der Leitapparat der Turbine mit automatischem Zentralschmierapparat versehen wurde, der bei absolut zuverlässi-

ger und genügender Schmierung im Fettverbrauch äusserst sparsam ist.

*Betriebs Erfahrungen.* Die umgebaute Anlage steht nun bereits über ein Jahr in regelmässigem Betriebe. Die Erfahrungen in dieser Zeit haben bewiesen, dass bei einer zuverlässigen, periodischen Kontrolle und Wartung der Apparaturen die Betriebssicherheit nicht geringer ist als bei einem handgesteuerten Kraftwerk. Die Betriebsausgaben konnten um rund Fr. 9000.— pro Jahr reduziert werden, was in bezug auf die entstandenen Mehrkosten für die Automatik deren Anschaffung zweifellos rechtfertigt und die Wirtschaftlichkeit der Automatisierung eindeutig zeigt.

## Die Beschleunigung der Oelschaltertraverse durch elektrodynamische Druckkräfte.

Von Karl Kestl, Ingenieur, Prag.

*Es wird der Einfluss der elektrodynamischen Druckkräfte sowie der Oelviskosität auf den Ausschaltvorgang von Oelschaltern mathematisch behandelt. An Hand eines praktischen Beispiels werden die aufgestellten Gleichungen für Schaltweg und Schaltgeschwindigkeit bei verschiedenen Kurzschlußstromstärken und Oelwiderständen zahlenmässig ausgewertet.*

Der Bewegungsvorgang der Oelschaltertraverse wurde bereits von K. W. Müller<sup>1)</sup> untersucht. Die Wirkung der elektrodynamischen Druckkräfte sowie der Einfluss der passiven Widerstände wurde hiebei ausser Rechnung gestellt, und so gelangt Müller auf Grund der vereinfachten Voraussetzungen, die nur Federkraft und Traversengewicht berücksichtigen, zu folgenden Gleichungen für Geschwindigkeit und Zeit:

$$v = \sqrt{2x \left[ g + \frac{c}{m} \left( -\frac{x}{2} \right) \right]}$$

$$t = \int_0^s \frac{dx}{v} = \sqrt{\frac{m}{c}} \left[ \left( \arcsin \frac{x}{\frac{m}{c}g + x_0} - 1 \right) - \frac{3}{2} \pi \right]$$

Hiebei ist  $m$  die Masse der die beweglichen Kontakte tragenden Traverse,  $m = \frac{Q}{g}$ ,  $c$  eine Konstante, welche die Aenderung der Federkraft je nach Längeneinheit bedeutet,  $x_0$  die maximale Federung und  $x$  der von der Schalttraverse zurückgelegte Weg. Müller berücksichtigt in seinen Berechnungen auch den Oelauftrieb, doch spielt dieser eine untergeordnetere Rolle als die passiven Widerstände der Schalterbewegung. Sind wohl obige Formeln ein wertvoller Fingerzeig zur Bestimmung entsprechender Ausschaltfedern, so müssen insbesondere bei grösseren Kurzschlußströmen auch die elektrodynamischen Kräfte in Rechnung gestellt werden, denn, wie gezeigt wird, beschleunigen diese den Abschaltvorgang im hohen Masse.

Im weiteren sollen die Bewegungsgleichungen für zwei Fälle aufgestellt werden:

1. für den allgemeinen Fall, bei dem auf die Schaltertraverse drei beliebig phasenverschobene, sinusförmige Kräfte wirken, und
2. für den praktischen Fall, bei dem die elektrodynamische Druckkraft als Summe dreier um  $\frac{2}{3} \pi$  und  $\frac{4}{3} \pi$  phasenverschobener Sinuswellen konstant ist.

Die Grösse dieser Kraft in kg bestimmte Estorff zu

$$\sum P = I_{\text{eff}}^2 \left[ \frac{3}{4} \left( 1 + 4 \ln \frac{d}{r} \right) - 2 \ln \sqrt{1 + \left( \frac{d}{A} \right)^2} - \ln \sqrt{1 + \left( \frac{d}{2A} \right)^2} \right] 10,2 \cdot 10^{-9}$$

wobei  $A$  den Phasenabstand,  $d$  den Abstand zwischen Zu- und Ableitung und  $r$  den Halbmesser des Durchführungsbolzens bedeuten.

Für den allgemeinen Fall müssen folgende Kräfte in Rechnung gestellt werden:

- a) die Kraft der komprimierten Feder  $F = K_1 x$ ;
- b) das Eigengewicht der Traverse  $Q$ ;
- c) der passive Widerstand, welcher der Traversenbewegung entgegenwirkt. Dieser Widerstand, dessen ausschlaggebender Faktor die Oelviskosität darstellt, soll proportional der Geschwindigkeit angenommen werden  $v = K_2 v = K_2 \frac{dx}{dt}$ ;
- d) die elektrodynamischen Druckkräfte. Estorff erhält mit Berücksichtigung der gegenseitigen Induktion für die Druckkräfte der einzelnen Phasen folgende Werte:

<sup>1)</sup> E. T. Z. 1928, Nr. 46, S. 1683.