

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	87/88 (1926)
<b>Heft:</b>	16
<b>Artikel:</b>	Das Kraftwerk Amsteg der S.B.B. III. Mechanisch-elektrischer Teil
<b>Autor:</b>	Crock, G.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-40876">https://doi.org/10.5169/seals-40876</a>

### 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:** 15.01.2026

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

werden. Der Hauptraum steigt höher als diese Nebenschiffe, eine reichgegliederte Kassettendecke schliesst ihn ab. Die Nebenräume sind ganz einheitlich in Grün gehalten, die klassische Gliederung der Decke in Felder und Gebälke ist noch plastisch vorhanden, aber farbig ganz unbetont. Vor der Mitte der einen Breitseite steht die Kanzel aus dunklem Marmor, auf der Empore dahinter die Orgel, eine Anordnung, die eminent „protestantisch“ wirkt: die Sitzreihen der Hörer breiten sich nach den Seiten aus, während für katholische Kirchen der Zug zum Altar, also nach der Tiefe charakteristisch ist. Seine ganz besondere Stimmung erhält der Raum durch die Fenster, die nach altchristlicher Art in ein Zellenwerk kleinerer Bogen aufgelöst und mit gelb-

grünen Glas verschiedener Nuancen geschlossen sind, wodurch beständig eine warmgrüne Dämmerung herrscht, eine Stimmung wie in abendlichem Sonnenschein.

Die Fassaden der Kirche Solothurn bestehen aus warmgelbem Laufener Sandstein. Die Nischenfiguren (Propheten, Evangelisten und Reformatoren) stammen von Bildhauer Otto Kappeler, Zürich (zwei obere Reihen), und Suter, Paris (untere Reihe). Die Kassettendecke ist eine am Dachstuhl aufgehängte Rabitz-Konstruktion; überaus festlich wirkt die über die Decke gleichmässig verteilte Beleuchtung. Der Turm enthält ein elektrisch betriebenes Geläute der Firma Rüetschi in Aarau. Besondere Beachtung verdient auch

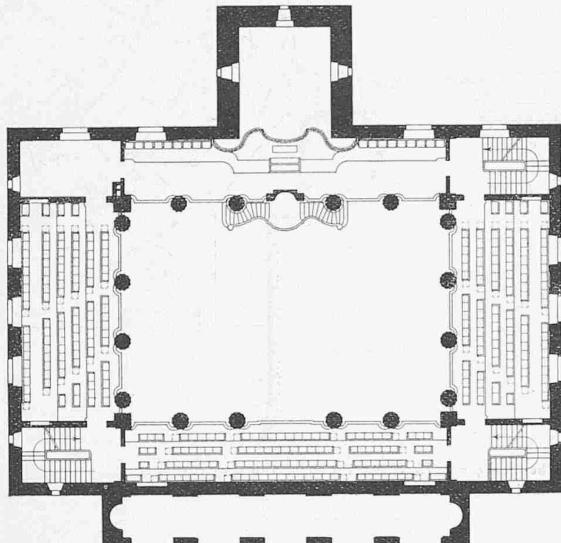


Abb. 6. Grundriss vom Galerie-Geschoss. — 1 : 400.

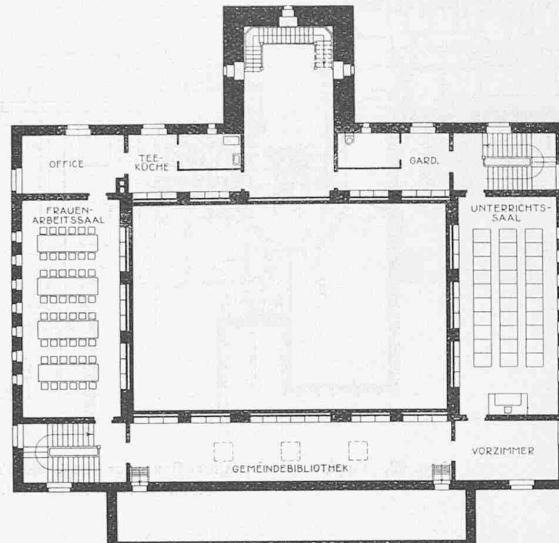


Abb. 7. Grundriss vom Dachstock. — 1 : 400.

grünem Glas verschiedene Nuancen geschlossen sind, wodurch beständig eine warmgrüne Dämmerung herrscht, eine Stimmung wie in abendlichem Sonnenschein.

Höchst bemerkenswert und ein Zeichen der Zeit ist eine kleine Kapelle im Untergeschoss (Abbildung 4), fast eine Krypta, die höchstens 60 Personen fasst und intimen Zeremonien, wie Taufen und Trauungen dienen wird, die sich im grossen Kirchenraum zu verlieren oder doch spärlich auszunehmen pflegen; solche Kapellen sollten zum ständigen Programm-Punkt für reformierte Kirchen-Neubauten werden. Dieser Raum ist im wesentlichen auf Blau gestimmt und besitzt rotes Stuck-Ornament in linearen Mustern, wie sie ähnlich in römischen Katakomben vorkommen. Eine weitere Ungewöhnlichkeit der Kirche Solothurn besteht darin, dass Unterweisungszimmer und Kirchgemeinderäume nicht, wie meistens, in einem Untergeschoss, sondern im Dachgeschoss über den Emporen angeordnet sind, wo man sie den Fassaden nach allerdings kaum erwartet (Abb. 7).

Betont feierliche Formensprache im allgemeinen, „Krypta“ und farbige Fenster im besondern stempeln die Kirche Solothurn zu einem interessanten Beispiel für die auch anderwärts wahrnehmbare Tendenz, dem stimmungsmässigen Element im protestantischen Gottesdienst wieder zu seinem Recht zu verhelfen, und zwar wurde das hier nicht durch Wiedereinführung fallen gelassener christlicher Symbole, sondern durch Farbe und Proportion allein durchgeführt. Und hierin, in dem was an Problemen aufgegriffen wird, liegt vorzüglich der architektonische Wert dieser neuen Kirche; die Lösungen im einzelnen verpflichten nicht zur Nachahmung, sie sind vorläufig und unverbindlich wie alles, was unsere Zeit auf formalem Gebiet zu Stande bringt. Wichtig ist, dass man überhaupt nur einmal versucht, mit dem hergebrachten Schematismus zu brechen. Gefährlich, dass das Repräsentationsbedürfnis solcher grösserer Aufgaben dann doch sofort vielen zu neuem Schematismus oder Kunstgewerbe zu werden droht. Die „S. B. Z.“ be-

grüßt es darum besonders, dass sie in einer späteren Nummer die kleine, in ihrer durch Sparsamkeit bedingten Einfachheit uns menschlich näher stehende, ebenfalls reformierte Dorfkirche Wolhusen des gleichen Architekten vorführen kann.

### Das Kraftwerk Amsteg der S. B. B.

#### III. Mechanisch-elektrischer Teil.

Von Ing. G. CROCE, S. B. B., Bern.

(Fortsetzung von Seite 198.)

#### 2. Die Generatoren.

Von den sechs Generatoren sind fünf zur Erzeugung von Energie für den Bahnbetrieb als Einphasenstrom-Generatoren gebaut, während der sechste, bezw. der Generator 3, Drehstrom für Industriezwecke liefert. Solange die in den Kraftwerken Amsteg und Ritom erzeugte Energie zu Bahnzwecken nicht voll ausgenützt wird, was in den ersten Betriebsjahren der Fall sein wird, muss nämlich mit einer vorübergehend kleinen Menge überschüssiger Energie gerechnet werden. Als die Privatindustrie die Verwertung der Ueberschuss-Energie befürwortete, beschlossen die S. B. B., nach genauer Erwägung der wirtschaftlichen Seite der Frage, im Kraftwerk Amsteg für den vom Bahnbetrieb z. Zt. noch nicht benötigten Generator einen Dreiphasen-Generator für Industriestrom aufzustellen. Diese Lösung hat den Vorteil, die Kraftabgabe unabhängig vom Bahnbetrieb mit seinen wechselnden Beanspruchungen zu machen. Im Betriebe des Kraftwerkes gilt jedoch grundsätzlich, dass die Bedürfnisse des Bahnbetriebes denen des Industriebetriebes vorausgehen. An Stelle des Drehstrom-Generators kann, sobald die Verhältnisse es erfordern, ein Generator für Bahnstrom treten, da die Turbine den andern genau gleich ist. Der „Industrie-Generator“ kann dann in jedem andern Hochdruckwerk der Schweizerischen Bundesbahnen Wiederverwendung finden.

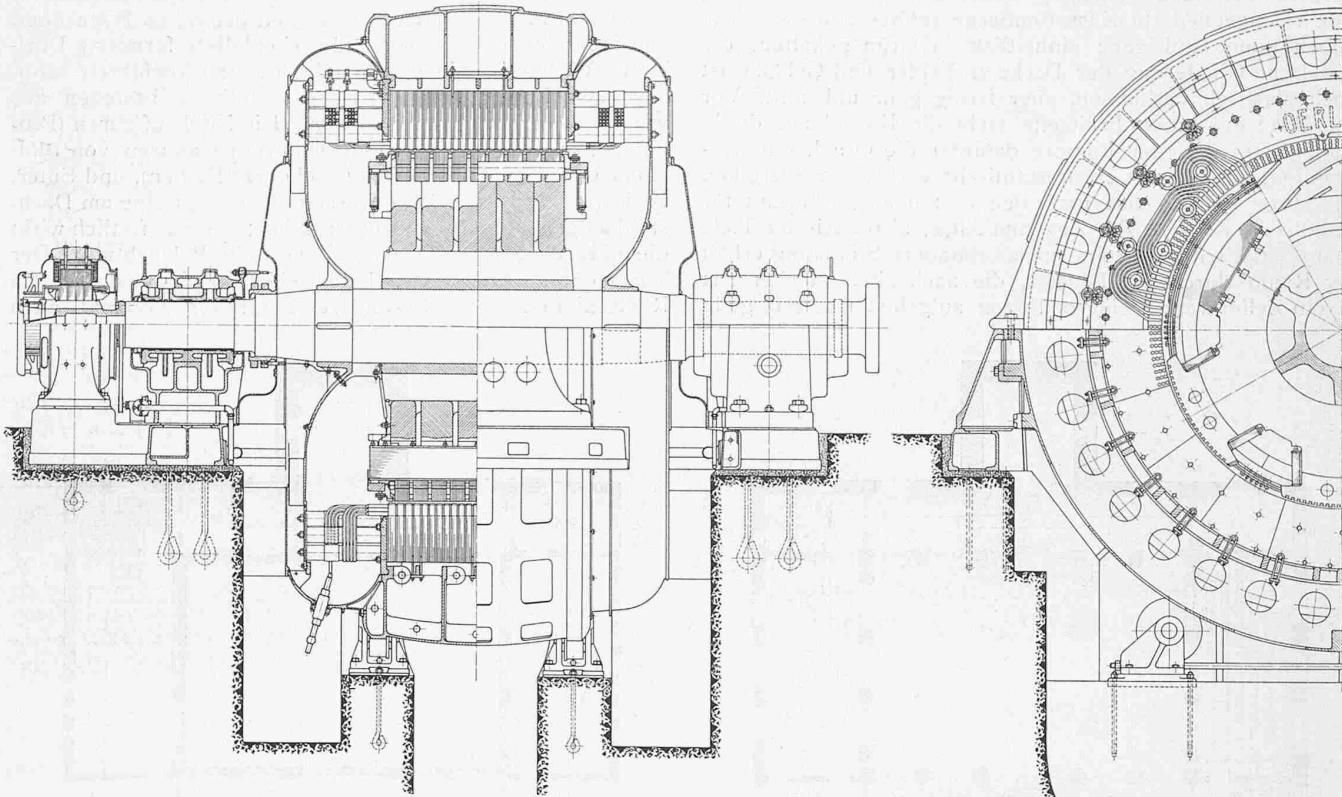


Abb. 92. Einphasenwechselstrom-Generator von 10000 kVA Dauerleistung bei  $\cos \varphi = 0,75$ ,  $333\frac{1}{3}$  Uml/min, 15000 V,  $16\frac{2}{3}$  Per.  
Gebaut von der Maschinenfabrik Oerlikon. — Schnitte, Maßstab 1:65.

Die *Einphasen-Wechselstrom-Generatoren*, geliefert von der Maschinenfabrik Oerlikon, sind für folgende Daten gebaut: Dauerleistung 10000 kVA bei  $\cos \varphi = 0,75$ , Klemmenspannung 15000 bis 16500 Volt,  $16\frac{2}{3}$  Perioden,  $333\frac{1}{3}$  Uml/min. Sie geben eine Höchstleistung von 12650 kVA während  $1\frac{1}{2}$  Stunden ab, wenn vor dieser Höchstleistung eine Leistung von höchstens 7600 kVA dauernd vorhanden war. Sie sind im übrigen derart bemessen, dass sie die Dauer- und Höchstleistungen ohne Überschreitung der vorgeschriebenen Temperaturzunahmen auch bei  $\pm 10\%$  Abweichung der Spannung von der normalen abgeben können. Das Gewicht des kompletten Rotors beträgt 94 t, jenes des ganzen Generators 235 t. Das Schwungmoment des Rotors beläuft sich auf 400000 kgm<sup>2</sup>.

Der konstruktive Aufbau, sowie die Hauptabmessungen von Generator und Erreger sind aus Abbildung 92 ersichtlich. Der Generator ist von geschlossener Bauart mit Entnahme der Kühlung aus besonderen Frischluftkanälen und Ausstoßung der Warmluft in besondere Abluftkanäle (vergl. Grundriss Abbildung 82 in letzter Nummer). Zwei zu beiden Seiten des Polrades angeordnete kräftige Ventilatoren treiben die nötige Kühlung durch die aktiven Teile des Generators. Die Erregermaschine ist fliegend angeordnet.

Der Stator (Abbildung 93) ist mit Rücksicht auf ein möglichst geringes Transportgewicht vierteilig ausgeführt. Das gusseiserne Gehäuse ist auf vier Rollen drehbar, die Füsse sind demontierbar. Mit Hilfe dieser Einrichtung kann zwecks bequemer und leichter Auswechselung von Armaturspulen der untere in der Grube befindliche Statorteil mit Hülfe des Krans nach oben gedreht werden. Die in die halbgeschlossenen Nuten verlegte Armaturwicklung besteht aus Rundkupfer von 20 mm Durchmesser und weist 30 Windungen pro Pol auf. Die Isolierung der Nutenstäbe, sowie die Formgebung der Spulenköpfe wurden in der Fabrik erstellt, die Montage der gesamten Wicklung dagegen im Kraftwerk vorgenommen. Um die Armaturwicklung gegen die infolge elektro-dynamischer Wirkungen von Kurzschlussströmen hervorgerufenen Knick- und Biegekräfte zu schützen, ist der Abstützung der Spulenköpfe gegenein-

ander und gegen den Stator die grösste Aufmerksamkeit geschenkt worden. Die Aufgabe wurde unter Wahrung auch einer schönen Linienführung der Spulenköpfe gelöst (Abb. 93). Die Wicklung ist gegen Erde für eine effektive Betriebsspannung von 16500 Volt und für eine Prüfspannung von 55000 Volt Scheitelwert isoliert.

Der eigentliche Radkörper (Abbildung 94) ist zwecks besserer Materialkontrolle in mehrere Ringe mit angegossenen Polansätzen unterteilt. Zur Verwendung kam ein hochwertiger, mehrmals durchglühter Siemens-Martin-Stahlguß. Die Ringe sind auf eine Stahlguß-Nabe aufgeschrumpft. Zwischen je zwei Ringen sind Aussparungen vorgesehen, durch die Kühlung zwischen die Pole getrieben wird. Die lamellierte Polschuhe bestehen aus einer Reihe unter sich vernieteter Pakete aus Eisenblech hoher Festigkeit, die in die Polansätze der Rotorringe eingreifen und mit diesen durch kräftige, eingepasste Stahltraversen verbunden sind. Zur Erreichung einer annähernd genauen sinusförmigen Spannungskurve, ferner um die Oberschwingungen auf ein Minimum zu reduzieren, sind die Polschuhe exzentrisch geformt und die Polhörner relativ zur Axe der Statornuten in bekannter Weise abgestuft (Abb. 95). Die Pole sind mit einer über die Polschuhe gleichmäßig verteilten, kräftigen Dämpferwicklung aus Kupfer versehen, die an den Stirnseiten mit Kontakttringen leitend verbunden sind, somit eine vollkommene geschlossene Kurzschlusswicklung bildet. Für die Magnetspulen wurde hochkantig gewickeltes Kupferband von  $70 \times 2,5$  mm verwendet. Ihre Fliehkraft wird durch die vorstehenden Polhörner und durch zwei Tragringe aus Siemens-Martin-Stahl aufgenommen.

Die Generatorenwelle, aus vorzüglichem Siemens-Martin-Stahl geschmiedet, wurde zwecks Materialkontrolle auf ihrer ganzen Länge durchbohrt. Sie besitzt einerseits einen angeschmiedeten Kupplungsflansch zur starren Verbindung mit der Turbinenwelle.

Infolge der dreilagerigen Ausführung der Maschinengruppe erhält das turbinenseitige Generatorlager als Mittellager bei normaler Leistung und Drehzahl, bei 48 t Wasserdurchfluss auf die Turbinenlaufräder, einen Druck von 87 t,

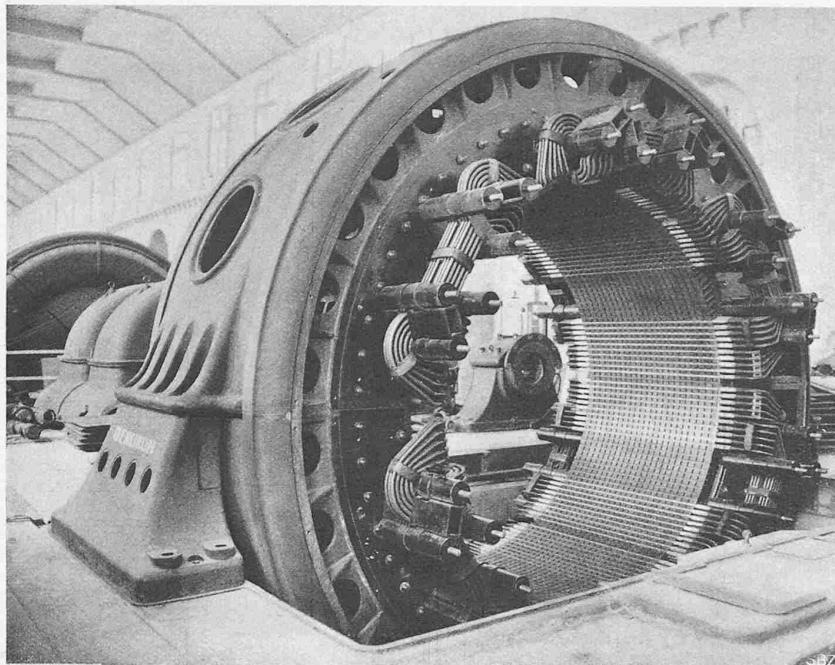


Abb. 93. Stator eines 10000 kVA Einphasenwechselstrom-Generators der M. F. O.

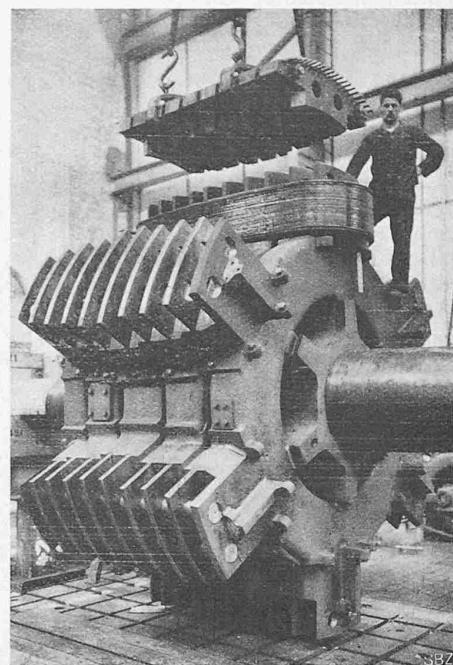


Abb. 94. Radkörper, ohne die Polschuhe.

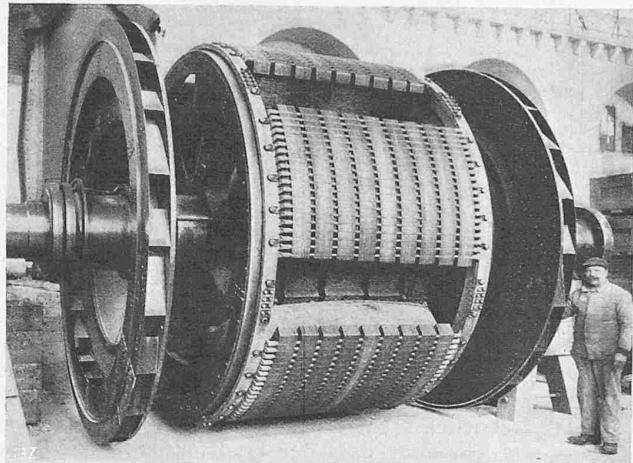


Abb. 95. Polrad mit Ventilatoren und Dämpferwicklung.

während das erregeseitige Lager 40 t und das Turbinenlager nur noch 15 t Druck aufnimmt. Die Schmierung geschieht normalerweise mittelst Druck-Oel. Daneben ist noch eine selbsttätige Ringschmierung vorgesehen, die erlaubt, die Lager noch längere Zeit im Betriebe zu lassen, selbst wenn die Pressölschmierung einmal versagen sollte.

Die Erregermaschine gibt 120 kW Dauerleistung ab bei 200 Volt Spannung und arbeitet mit hoher magnetischer Sättigung, sodass Drehzahl-Schwankungen die Spannung nur wenig beeinflussen.

Die Regelung der Generatorenspannung erfolgt ausschliesslich im Nebenschluss des Erregers, gewöhnlich durch einen Schnellregler, ausnahmsweise von Hand. Jeder Generator besitzt überdies noch eine Stromregelung, die bei einer bestimmten, einstellbaren Ueberstromstärke im Wechselstromkreis die Erregung so herabsetzt, dass die Unterbrechung des gefährdeten Stromkreises bei entsprechend verminderter Stromstärke stattfindet. Ein besonderer Vorteil ist dadurch geschaffen worden, dass der als Trokentyp gebaute Stromwandler für die Speisung der Ueberstrom-Schutzeinrichtung unmittelbar an die Generatorklemme angeschlossen ist. Im übrigen sei bezüglich der automatischen Strom- und Spannungsregulierung der Generatoren, deren Einrichtungen von Brown, Boveri & Cie. geliefert

wurden, auf die Beschreibung des Kraftwerks Ritom verwiesen (Band 82, Seite 8, 7. Juli 1923).

Besondere Aufmerksamkeit wurde der Temperatur-Bestimmung der stromführenden Teile gewidmet. Jeder Generator ist mit einer Vorrichtung ausgerüstet für die ständige und gefahrlose Fernmeldung der Temperatur von zwei Stellen der Statorwicklung nach dem Schaltstand. Ueberdies erhielt ein Generator zur möglichst umfassenden Feststellung der Temperaturverteilung noch zwölf Thermoelemente, die nach den Versuchen wieder entfernt wurden.

Der Drehstrom-Generator, samt der zugehörigen Apparatur durch die Firma Brown, Boveri & Cie. in Baden geliefert, ist derart gebaut, dass seine Aufstellung auf das Fundament eines Einphasenstrom-Generators erfolgen konnte. Er weist nachstehende Hauptdaten auf: Dauerleistung 13000 kVA bei  $\cos \varphi = 0,7$ , verkettete Spannung 8600 V, 50 Perioden, 300 Uml/min. Während einer halben Stunde kann er, ohne die vorgeschriebenen Höchsttemperaturen zu überschreiten, eine Höchstleistung von 10800 kW abgeben, wenn vor dieser Höchstleistung eine Leistung von höchstens 7000 kW dauernd abgenommen wurde. Die betriebsbereite Maschine wiegt rund 125 t; das Schwungmoment des Generators beträgt rund 320 000 kgm<sup>2</sup>.

### 3. Die Transformatoren.

Von den sechs im Kraftwerk Amsteg aufgestellten Einphasenstrom-Transformatoren, deren Lieferung der „S. A. des Ateliers de Sécheron“ in Genf übertragen worden ist, sind drei für ein Uebersetzungsverhältnis von 15000/60000 Volt und drei für 15000/66000 Volt gewickelt; die ersten speisen die nach Süden abgehenden Kabelschleifen, die andern die nach Norden führenden Freileitungen. Alle sechs Transformatoren haben eine Dauerleistung von 10000 kVA bei  $\cos \varphi = 0,75$ . Sie können eine Höchstleistung von 12000 kVA während anderthalb Stunden abgeben, wenn vor und nach dieser Höchstbelastung die Dauerleistung nicht über 7000 kVA beträgt. Die angegebenen Dauer- und Höchst-Belastungen können auch ohne Ueberschreitung der vorgeschriebenen Temperaturen abgegeben werden, wenn die Klemmenspannung nur bis  $\pm 10\%$  von der normalen abweicht. Das Gewicht eines Transformatoren ohne Oelfüllung beträgt 39 t, jenes der Oelfüllung 10 t.

Abbildung 96 zeigt den aktiven Teil eines Transformatoren. Die Wicklungen sind konzentrisch angeordnet, wobei die Oberspannungswicklung zwischen der in zwei

Hälften unterteilten Unterspannungswicklung liegt. Die Isolierung der Anfangswindungen der Ober- und Unterspannungswicklungen ist derart ausgeführt, dass die Durchschlagsfestigkeit von Windung zu Windung mindestens gleich der Betriebsspannung ist.

Der genietete, autogen geschweißte und vermittelst Profileisen verstieft Oelkessel (Abb. 97) hält ein Vakuum von 99% aus. Er ruht auf vier mit Spurkranz versehenen Rollen.

Der Transformator ist für Umlauf-Aussenkühlung gebaut. Jeder Transformator hat seine eigene Oelkühleinrichtung (Abb. 98). Diese besteht aus einer mit Elektromotor direkt gekuppelten vertikalen Zentrifugal-Pumpe, zwei Kühlern von je  $12,5 \text{ m}^2$  Kühlfläche und den nötigen Oel- und Wasserleitungen. In diese sind Sicherheits-Vorrichtungen eingebaut, die bei aussetzendem Oel- oder Wasser-Umlauf Warnglocken im Schaltstand ertönen lassen. Der Abkühlung der Wicklungen ist besondere Sorgfalt gewidmet; die Anordnung ist so getroffen, dass jede Windung mit dem umlaufenden Oel in Berührung kommt.

Jeder Transformator ist mit einer Fern-Temperatur-Messvorrichtung ausgerüstet, die gestattet, vom Schaltstand aus die Temperatur an drei Stellen des Transformatoren zu überwachen. So sind zwei Widerstandselemente auf dem Kupfer der obersten Windungen der äussern Unterspannungspulen derart angebracht, dass sie der Stelle der höchsten Erwärmung möglichst nahe liegen. Ein drittes Widerstandselement liegt in den obersten Oelschichten.

Zur bessern Beurteilung der Wärmeverteilung in den Transformatoren sind mit einem derselben eingehende Versuche ausgeführt worden. Es wurden dazu 24 Thermo-Elemente verwendet. Davon waren drei im Eisen, drei in der innern, drei in der äussern Unterspannungswicklung, drei in der Oberspannungswicklung und zwei im Oel eingebaut. Ein Drittel lagen in einer obere, ein Drittel in der mittleren und ein Drittel in einer untern Ebene des Transformatoren. Nach fünfstündiger Belastung mit 10200 kVA

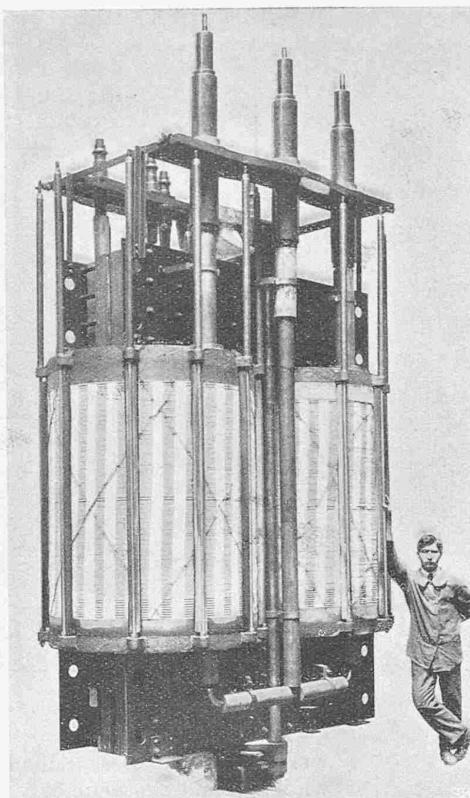


Abb. 96. 10000 kVA Transformator des Kraftwerks Amsteg  
Gebaut von den Ateliers de Sécheron in Genf.

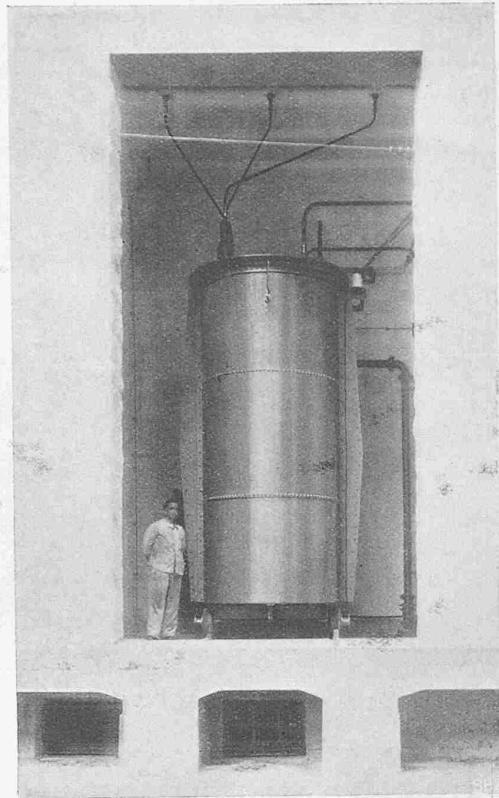


Abb. 97. Nach aussen geöffnete Transformatorzelle  
des Kraftwerks Amsteg.

wurden folgende maximale Temperaturen erreicht: Kupfer  $69^\circ \text{C}$ , Eisen  $65^\circ \text{C}$ , Oel  $59^\circ \text{C}$ . Eine gleichlange Belastung mit 12000 kVA brachte die betreffenden Temperaturen auf maximal  $82^\circ$ ,  $65^\circ$  und  $68^\circ \text{C}$ . Die an einem Transformator vorgenommenen weiteren Messungen ergaben folgende Werte: Eisenverluste =  $24,7 \text{ kW}$ , Leerlaufstrom =  $2,3\%$  des Normalstromes, Kurzschlussverluste bei 800 Amp. =  $191 \text{ kW}$ , Kurzschlussverluste bei 680 Amp. =  $120 \text{ kW}$ , Kurzschlussspannung =  $7,5\%$  der Normalspannung bei Normalstrom.

Das Oel jedes Transformatoren kann ausgekocht und gereinigt werden, ohne dass der Transformator aus seiner Zelle entfernt werden muss. Zu diesem Zwecke sind die Oelleitungen in der Kühlzelle mit Anschlüssen für eine fahrbare Filterpumpe und einen 40 kW Durchflusskocher (Abb. 99) versehen. Die Transformatoren sind überdies an Oelleitungen nach den Rein- und Sammelölbehältern (Abb. 99) von je  $14,5 \text{ m}^3$  Inhalt angeschlossen, sodass das Oel mit Hülfe einer Reinölpumpe von dort ausgewechselt werden kann. Im gewöhnlichen Betrieb ist der Transfor-

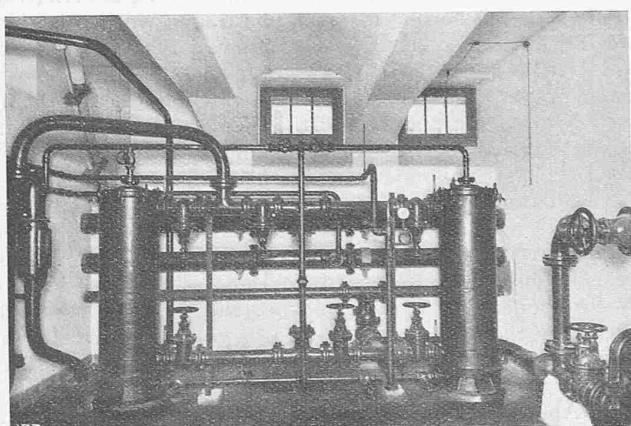


Abb. 98. Oelkühleinrichtung eines Transformators.

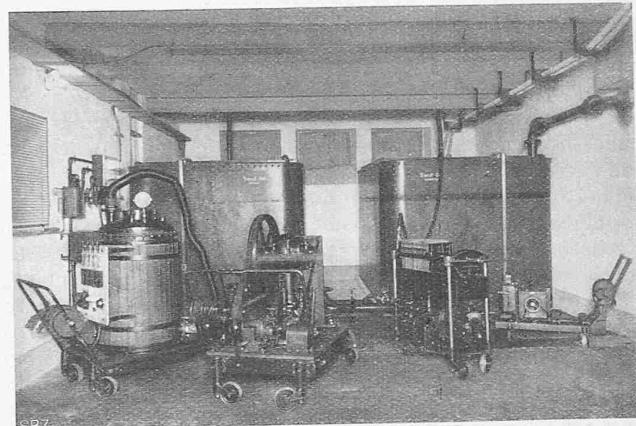


Abb. 99. Oelreinigungsanlage und Oelbehälter.

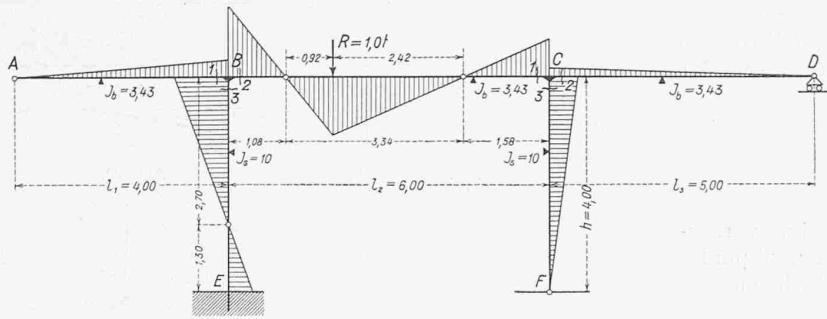


Abb. 38.

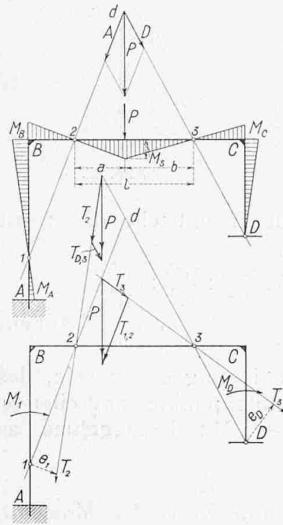


Abb. 35 und 36.

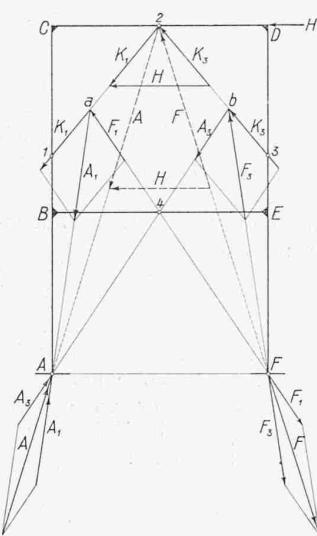


Abb. 37.

matorenkessel mit einem leichten Deckel abgeschlossen. Beim Auskochen unter Vakuum wird ein besonderer druckfester und mit dem Kessel gut abdichtbarer Deckel aufgesetzt.

Zur Bestimmung der Isolierfähigkeit des Oels ist ein Prüftransformator von 3 kVA Leistung und für 0 bis 75 000 Volt Sekundärspannung aufgestellt. Die Regulierung der Spannung erfolgt vermittelst eines Induktionsreglers. Das Öl-Laboratorium enthält ferner alle Apparate, die zur raschen Bestimmung der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Oels erforderlich sind.

(Fortsetzung folgt.)

### Mechano-statische Untersuchungen hochgradig statisch unbestimmter Tragsysteme.

Von Ing. KARL HOFACKER, Luzern.

(Fortsetzung von Seite 193.)

Unter dem Titel: „Das Arbeiten mit dem Nupubest-Gerät“ veröffentlicht Ing. Rieckhof in der Zeitschrift „Der Bauingenieur“ vom 22. Januar an Hand interessanter Skizzen weitere Erkenntnisse für die Handhabung von Modellversuchen nach seinem in letzter Nummer besprochenen Verfahren, indem er in klarer Weise die auftretenden Fälle gruppiert. Grundsätzlich lassen sich die Tragwerke in zwei Hauptgruppen trennen, wovon die eine jene Systeme umfasst, die durch die Momenten-Nullpunkte so zerlegt werden, dass sie direkt als statisch bestimmte behandelt werden können, während die andere alle jene Systeme vereinigt, die nach der Fixierung der Momenten-Nullpunkte noch der Steifigkeits-Verhältnisse der Stäbe benötigen, um die weitere Momenten-Ermittlung zu ermöglichen. Diese zweite Hauptgruppe zerfällt in die beiden Untergruppen: a) Stabsysteme, bei denen keine Knotenpunkt-Verschiebungen auftreten, und b) Stabsysteme, bei denen solche auftreten.

#### I. Stabsysteme, die statisch bestimmt werden.

Die Hauptgruppe I umfasst eine sehr grosse Anzahl von Stabsystemen, so die beiden früher betrachteten Bei-

spiele 1 und 2, und das folgende Beispiel 3 (Abb. 35). Der durch die Einzellast  $P$  beanspruchte Rahmen weist die Momenten-Nullpunkte 1, 2 und 3 auf, durch die der Rahmen in lauter statisch bestimmte Systeme zerlegt wird. Unter der Einzellast  $P$  ist für den einfachen Balken 2-3 das Moment  $M_s = \frac{P \cdot a \cdot b}{l}$ . Die Eckmomente  $M_B$  und  $M_C$  ergeben sich durch Rückwärtsverlängern der Momentenlinie  $S_2$  bzw.  $S_3$ , das Einspannmoment  $M_A$  erhält man analog durch die Weiterführung der Momentenlinie von  $M_B$  durch den Nullpunkt 1 nach A.

Wie schon im zweiten Beispiel gezeigt wurde, können solche Systeme auch als kombinierte Dreigelenkbogen aufgefasst werden, so, dass einmal der Teil 1 2 3, und das andere Mal der Teil 2 3 D wie ein Dreigelenkbogen wirkt, wobei der Stab 2 3 einen gemeinsamen Bestandteil beider Bogen darstellt. Dass das System nur dann im Gleichgewicht sein kann, wenn sich die Reaktionen der unbelasteten Scheiben auf der gegebenen Einzellast schneiden, zeigt Abb. 36. Die Kraft  $P$  liege außerhalb (links) des Schnittpunktes  $d$  der Reaktionen. Fassen wir den Teil 1 2 3 als Dreigelenkbogen auf, so sind  $T_{1,2}$  und  $T_3$  die entsprechenden Kämpferdrücke. Die Scheibe 3 D wird belastet durch  $T_3$ , welche Kraft in Bezug auf Gelenk D ein Moment  $T_3 \cdot e_D = M_D$  ausübt, d. h. das als Viergelenkbogen wirkende System erlaubt endliche Drehungen. Gleichermaßen gilt, wenn der Teil 2 3 D als Dreigelenkbogen vorausgesetzt wird; der Kämpferdruck  $T_2$  am Hebelarm  $e_1$  dreht die Scheibe 1 2 um den Punkt 1.

Selbst mehrfache Rahmen, wie z. B. der in Abb. 37 dargestellte zweistufige Stockwerkrahmen, lassen sich für gewisse Belastungen auf Dreigelenksysteme zurückführen. In der genannten Abbildung 37 sind das Netzbild und die Momenten-Nullpunkte des Rahmens dargestellt für die Belastung durch eine Horizontalkraft  $H$  in Höhe des oberen Riegels. Die Zerlegung von  $H$  im Scheitelgelenk 2 des Dreigelenkbogens 1 2 3 in die Richtungen 1 2 und 2 3 liefert die Kräfte  $K_1$  und  $K_3$ , die ihrerseits auf den unteren Dreigelenkbogen A 4 F wirken. In den Punkten a und b findet die Zerlegung der oberen Kämpferdrücke in die Komponenten  $A_1$  und  $F_1$  bzw.  $A_3$  und  $F_3$  der Kämpferdrücke  $A$  und  $F$  des unteren Dreigelenkbogens statt. Die letztgenannten schneiden sich bei genauer Konstruktion in 2 auf der Horizontalkraft  $H$ , ihre Resultierende muss wieder  $H$  ergeben. Ist der Rahmen neben der Belastung auch noch in Bezug auf Trägheitsmomente symmetrisch, so liegen die Momenten-Nullpunkte 1 und 3 gleich hoch und die Punkte 2 und 4 in Riegelmitte (Verhältnisse, die der Abb. 37 zu Grunde liegen).

#### II. Stabsysteme, die nicht statisch bestimmt werden.

a) Stabsysteme, bei denen keine Knotenpunkt-Verschiebungen auftreten. Das feste Lager  $A$  des in Abb. 38 skizzierten Rahmens nimmt die horizontalen Komponenten der auf den Rahmen wirkenden Kräfte auf, weshalb eine Verschiebung der Knotenpunkte nicht möglich ist. Die Momente des mittleren Feldes BC lassen sich nach dem früher gesagten ohne weiteres bestimmen, teils als solche eines einfachen Balkens, teils als Momente von Konsolträgern. Fortgeführt werden dann die Eckmomente in B und C im Verhältnis der Steifigkeit der anschliessenden Stäbe. Vorausgesetzt, dass hier der Einfluss der stets kleinen Verschiebungen der Momenten-Nullpunkte vernachlässigt werde, und  $a$  die Länge vom untersuchten Knotenpunkt bis zum nächsten Momenten-Nullpunkt bedeute, ist für jeden Stab die Steifigkeit  $\frac{J}{a}$ ,  $J$  das Trägheitsmoment des Stabes darstellend. Gelenklager und Rollenlager sind bekanntlich gleichbedeutend mit Momenten-Nullpunkten.

In B sei das Konsolmoment  $M_{B_2}$  bereits berechnet. Es handelt sich nun darum, das Moment weiterzuleiten in die Stäbe BA und BE, d. h. die Momente  $M_{B_1}$  und  $M_{B_3}$ .