

# Das Kraftwerk Ritom der S.B.B.

Autor(en): **Habich, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **81/82 (1923)**

Heft 1: **G.e.P.-Festausgabe**

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-38935>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Werden hohe Stirnmauern durchlaufend angeordnet, so entsteht hierdurch ein zu steifes  $\square$ -förmiges Gewölbe. Selbstverständlich sind Ausdehnungsfugen über den Kämpfern unerlässlich; im vorliegenden Fall sind sie in konstruktiv und ästhetisch einwandfreier Weise hinter den Vorbauten der Pfeiler und Widerlager angeordnet worden, indem die Stirnmauern nur auf eine Länge von rd. 25 cm hinter diese Vorbauten reichen und durch Pappelinlagen von diesen getrennt wurden. Zur weiteren Verminderung der Steifigkeit des trogförmigen Gewölbes bzw. des Einflusses einer Temperaturänderung wurden in jeder Stirnmauer eines Gewölbes sieben Zwischenfugen angeordnet, die über zwei Drittel der Mauerhöhe hinabreichen. Diese Fugen tiefer, etwa bis zum Gewölbe hinabreichen zu lassen, schien, mit Rücksicht auf die am untern Ende der Fugen unvermeidliche Spannungskonzentration, nicht ratsam.

Neuerdings ist bekannt geworden, dass bei verschiedenen Brücken umfangreiche Ausbesserungsarbeiten nötig geworden sind, weil sich Längsrisse im Gewölbe am Fusse der Stirnmauern gebildet hatten, denen ein Ausweichen der Stirnmauern folgte. Solche Erscheinungen werden eventuell erst lange Zeit [nach Erstellung der Brücke bemerkbar; dies liegt wohl zum Teil darin begründet, dass bei schlechter Entwässerung der Kiesfüllung, ein langsames Auslaugen des Mörtels, somit eine Verminderung seiner Querfestigkeit entsteht.

*Lehrgerüst* (Abbildung 12). Das Gewölbe wäre für sich allein, ohne Aufbau, nicht standsicher, denn das Gewicht der Kiesfüllung verschiebt die Drucklinie für ständige Last in den Bogenwickeln ganz bedeutend nach oben, sodass infolge des Gewölbe-Eigengewichtes allein die Drucklinie teilweise unter dem Gewölbe liegen würde. Vor Schluss der unteren Gewölbemellen wurden daher bedeutende Kiesauflasten (im Längsschnitt Abbildung 3 links eingezeichnet) zwischen den Stirnmauern aufgebracht, derart, dass nachdem — eventuell unbeabsichtigt, z. B. infolge bedeutender Temperaturzunahme — das Ausrüsten stattgefunden hat, die Drucklinie des Gewölbes im Kern verläuft. Auch hierzu war die vorerwähnte Verstärkung der Gewölbekämpfer zweckmässig.

Jeder Lehrbogen ruhte vermittelt eiserner Konsolen auf den Pfeilern sowie auf zwei hölzernen Pfahljochen auf. Ueber jedem Joch waren die Lehrbogen-Stützen in senkrechter und zwei schrägen Richtungen fächerartig ausgebreitet. Das Ausrüsten erfolgte in der Weise, dass durch Senkung der gegen Oeffnungsmitte zu liegenden Schrägen-Stützpunkte auf den Jochköpfen zuerst der Gewölbescheitel entlastet wurde, ohne dass etwa im Viertel eine Hebung des Gewölbes hätte eintreten können. Hierauf wurden die äusseren Stützpunkte auf jedem Joch gesenkt. Eine solche Doppelstütze bestand aus einem Sattelholz auf zwei Holzunterlagen, die Absenkung erfolgte durch allmähliche Verminderung der Lagerflächen des Sattelholzes und seiner Unterlagen.

*Brückenbild.* Abbildung 13 zeigt den Bauzustand vor Stauung des Rheines, während Tafel 4 das Brückenbild

nach Inbetriebsetzung des Kraftwerkes Eglisau darstellt. Die Kanzeln über den Flusspfeilern sind organisch mit den Pfeilervorköpfen verbunden. Auch die Widerlager sind gegenüber den Gewölben verbreitert, sie öffnen sich zur Einführung der parallel zum Strom liegenden Strassen.

Das alte Städtchen Eglisau, mit seinen derb gemauerten Ufer- und Strassenmauern, veranlasste die Verkleidung der grossen Brückenansichtsflächen nach dem Muster der Brücken des Mittelalters (*pietra rasa*, vergl. unteres Tafel-

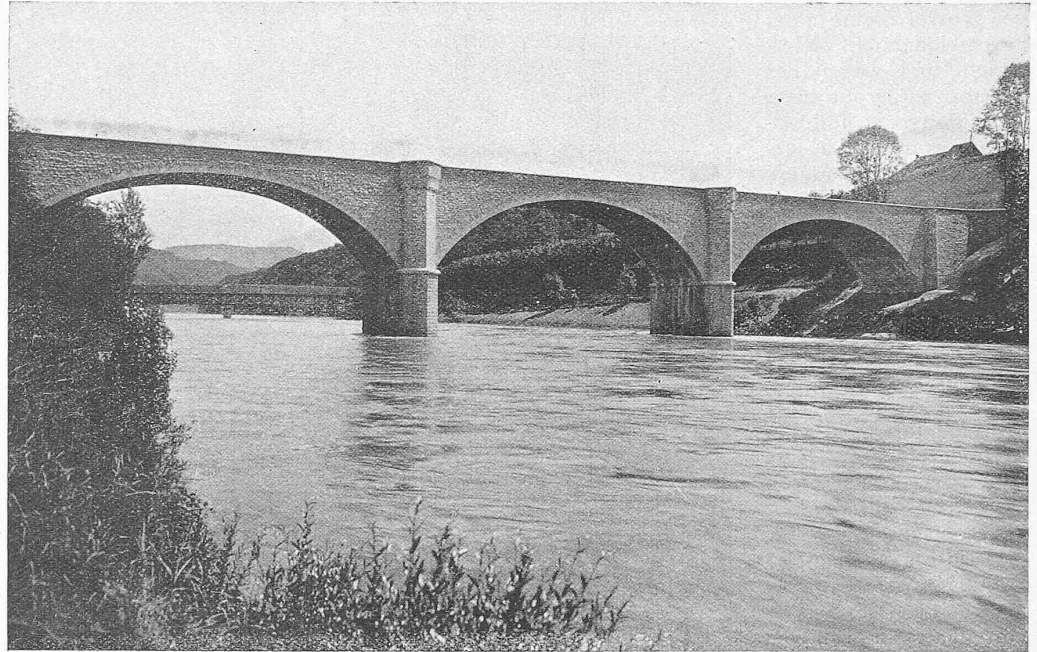


Abb. 13. Die neue Rheinbrücke Eglisau vor der Einstauung; im Hintergrund die alte Holzbrücke.

bild). Die Verkleidung der Stirnflächen des Gewölbes erhielt radiale Fugen.

*Bauzeit.* Die Verhältnisse der Kriegszeit haben die Förderung der Bauarbeiten wesentlich beeinträchtigt. Die Fundation der beiden Flusspfeiler wurde im Jahre 1917 ausgeführt, die drei Gewölbe im Jahre 1918. Die Brücke ist im September 1919 dem Verkehr übergeben worden.

## Das Kraftwerk Rütom der S. B. B.

### III. Mechanisch-elektrischer Teil.

Von dipl. Ing. H. Habich, S. B. B., Bern.

(Fortsetzung von Seite 321 letzten Bandes.)

#### Die Generatoren.

*Konstruktion.* Die vier mit den Turbinen direkt gekuppelten Generatoren (Abbildung 56) erzeugen bei einer normalen Drehzahl von 333 in der Minute Einphasen-Wechselstrom von  $16\frac{2}{3}$  Perioden in der Sekunde bei einer Spannung von 7500 bzw. 15000 Volt, gleich derjenigen des Fahrtrahtes; sie leisten dauernd 9000 kVA und  $1\frac{1}{2}$ -stündig 11500 kVA bei einer vorausgehenden und nachfolgenden Belastung von 7000 kVA. Die Speisung der Fahrleitung mit nur 7500 Volt musste im Anfang während der Dauer des gemischten Betriebes (Dampf und elektrischer Betrieb) erfolgen, weil die stark verrussten Isolatoren in den Tunneln eine höhere Spannung nicht aushielten.

Die Generatoren sind mit Rücksicht auf die besonderen Anforderungen des Vollbahnbetriebes in allen Teilen sehr kräftig gebaut und mit vollständig geschlossenem Gehäuse ausgeführt (Abbildung 57 und 58). Die 10,7 t wiegende, zum Zwecke der Materialkontrolle auf der ganzen Länge durchbohrte *Generatorwelle* (Abbildung 59) ist durch einen angeschmiedeten Flansch starr mit der Turbinenwelle gekuppelt. Die axiale Führung der ganzen dreilagerigen

Turbinen-Generator-Gruppe erfolgt durch das mittlere Generatorlager und ist daher auch noch vorhanden, wenn der Generator zu Versuchszwecken mit abgekuppelter Turbine als Motor angetrieben läuft. Die Lager sind mit Ringschmierung und Wasserkühlung durch in die Lagerschalen eingegossene Kühlröhren versehen; sie stehen auf getrennten Fussplatten, das Erregerlager ist zur Vermeidung von Lagerströmen isoliert aufgestellt. Die Lager sind so bemessen, dass sie im Falle des Ausbleibens des Kühlwassers noch einige Stunden ohne schädliche Erwärmung im Betrieb bleiben können.

Das Polrad, dessen Umfangsgeschwindigkeit im grössten Durchmesser von 3448 mm bei 333 Uml/min 60 m/sek beträgt, besteht aus einem mit zwei Schrumpfringen auf die Welle gepressten Radstern aus Grauguss und einem Radkranz aus Stahlguss mit sechs angesetzten, kreisrunden Polkernen (Abbildungen 59 bis 61). Aus Transportrücksichten ist es senkrecht zur Wellenaxe geteilt; ohne Polschuh wiegt es rund 23 t. Der Radkranz ist zur besseren Materialkontrolle aus vier einzelnen, durch Luftschlitze teilweise getrennten Ringen zusammengesetzt, die warm auf dem Radstern aufgezogen, durch Bolzen zusammengepresst und am Drehen verhindert werden. Die 2,3 t schweren Polschuhe sind mit kräftigem Trapezgewinde auf den Polkernen aufgeschraubt und mit Schrauben gegen Verdrehen gesichert. — Die Bleche der Polschuh-Lamellierung sitzen in schwalbenschwanzförmigen Nuten und werden seitlich durch je eine Endplatte gehalten; ihre Form ist so gewählt, dass die Kurve der elektromotorischen Kraft praktisch sinusförmig wird. Ueberdies sind die Nuten im Stator schief gestellt. — Die kreisrunden

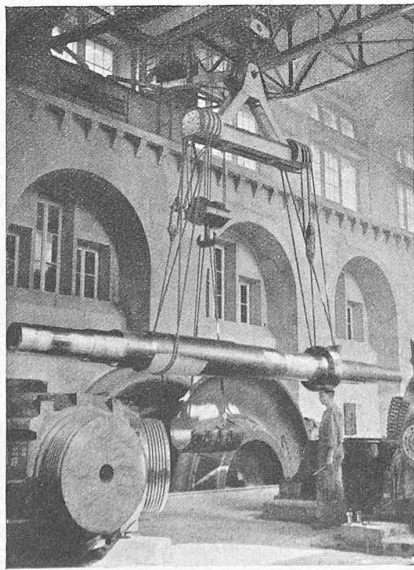


Abb. 59. Welle des Generators.

Magnetspulen sind aus hochkantig gestelltem Flachkupfer gewickelt und unter starkem Druck zu einem festen Körper zusammen gepresst. Mit Pressplatten und federnden Unterlagscheiben sind sie gegen Verschiebungen infolge äusserer Kräfte gesichert; die runde Form macht besondere Massnahmen zum Schutze gegen allfälliges Ausbauchen überflüssig. Zur Abführung der Stromwärme dienen 15 nur 1 cm über den äusseren Umfang

der Windungen vorstehende Kühlrippen; ferner kann die Luft zwischen Polkern und Spulen-Innenfläche durchstreichen. — In den Polschuhblechen ist eine kräftige Dämpferwicklung aus Kupferstäben eingebaut, die an beiden Enden durch über den ganzen Rotorumfang verlaufende Kupferringe zu einer Käfigwicklung zusammengeschlossen werden.

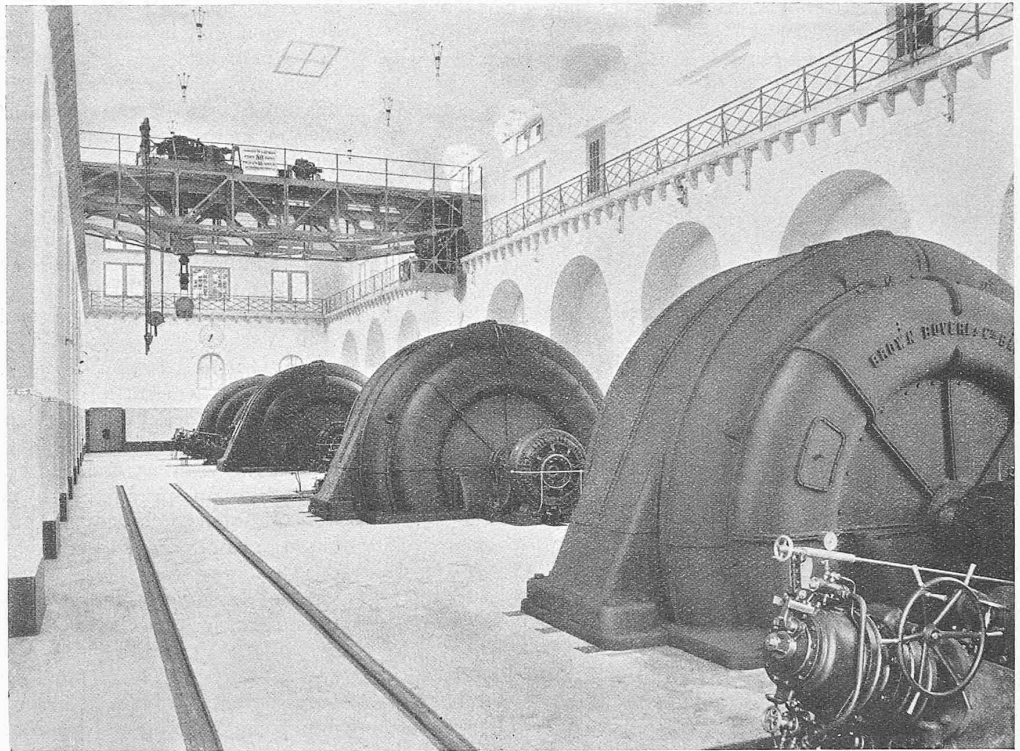


Abb. 56. Maschinensaal des Kraftwerkes Ritom mit den 9000 kVA Einphasenstrom-Generatoren.

Der Erregerstrom wird in einer fliegend auf der Welle angeordneten *Erregermaschine* von 80 kW bei 160 Volt erzeugt und dem Rotor mittels Kohlenbürsten über eisernen Schleifringe zugeführt. Der Rotor mit Welle und Erregeranker wiegt rd. 78 t.

Der aus Transportrücksichten in vier Teile von je 24 t (ohne Wicklung) geteilte *Stator* (Abbildung 62) stützt sich mit zwei abnehmbaren Füüssen auf zwei im Maschinensaalboden eingebettete Grundplatten und wird ausserdem von vier in der Fundamentgrube gelagerten Rollen unterstützt. Diese Bauart ermöglicht nach Entfernen der Statorfüüsse ein Drehen des Stators um seine Axe in jede beliebige Lage, was besonders beim Einbau der Spulen und bei allfälligen Reparaturen von grossem Vorteil ist. — Der durch zahlreiche Luftschlitze unterteilte aktive Eisenkörper hat 3500 mm Bohrung; die Bleche von 560 mm Höhe sind am äusseren Umfang durch trapezförmige Keile und beidseitig durch kräftige Pressplatten zusammenge-

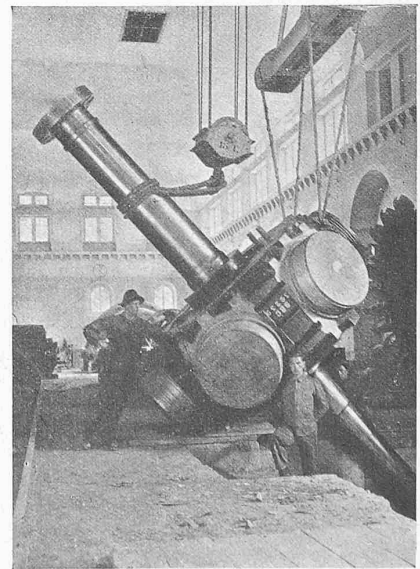


Abb. 60. Polrad, ohne Polschuhe.

halten. Durch Schiefstellung dieser Keile bezüglich der Drehaxe wird die bereits erwähnte Schiefstellung der Nuten um eine Nutenteilung erzielt. — Die Statorwicklung besteht aus einzelnen, in der Werkstatt vollständig fertiggestellten Spulen, die in offene Nuten eingebettet sind und mit Holzkeilen festgehalten werden. Auf eine gute Versteifung der Spulenköpfe (Abbildung 62) wurde besonders Wert gelegt, da der Bahnbetrieb erfahrungsgemäss mit häufigen Kurz-

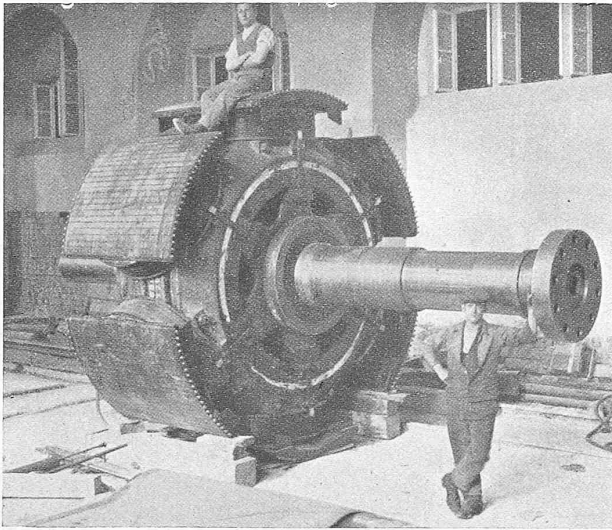


Abb. 61. Polrad mit aufgesetzten Magnetspulen und Polschuhen.

schlüssen zu rechnen hat. Die Spulen sind hauptsächlich mit Glimmer isoliert und gegen Ozonbildung durch sogen. Compoundierung geschützt; an ihren Austrittsstellen aus dem Eisen liegt zur bessern Feldverteilung an ihrem äusseren Umfang ein geerdeter Blechmantel. Zur möglichsten Vermeidung von Glimm-Erscheinungen wurden die fertigen Spulen erfolgreich mit einem leitenden Farbanstrich versehen.

Zwei seitlich am Rotor angeschraubte, aus Eisenblech hergestellte Ventilatoren saugen die *Kühlluft* durch zwei Kanäle aus einem für alle Generatoren gemeinsamen Frischluftgang an, dem die Luft durch besondere Schächte (C in Abb. 39, S. 306, Bd. 81) ohne Filter aus dem Rohrleitungshaus zuströmt. Die Luft umspült Erreger- und Statorwicklung, tritt teilweise auch durch die Schlitze im Rotor- und Statorkörper und sammelt sich in einem um den Stator verlaufenden Ringraum, der im Fundament durch Oeffnungen mit einem in der Queraxe des Generators liegenden, durch Blechverschaltungen von den parallelen Kaltluftkanälen abgeschlossenen Warmluftkanal in Verbindung steht. Aus diesem kann die erwärmte Luft durch vom Maschinensaal aus verstellbare Klappen entweder ins Freie (D in Abbildung 39) oder zum Heizen in den Maschinensaal, bezw. bei Generator 3 und 4 in das Schaltanlagegebäude geleitet werden. Besondere Lüftungsfenster ermöglichen auch die Herstellung einer Verbindung des Maschinensaaes mit dem Rohrleitungshaus, um dort im Winter die angesaugte Kühlluft etwas zu temperieren und gleichzeitig das Einfrieren von Wasserleitungen zu verhindern.

*Spannungs- und Strom-Regulierung.* Die Spannung wird durch einen in den Nebenschlusskreis des Erregers jedes Generators eingeschalteten Schnellregler, Bauart Brown, Boveri & Cie., selbsttätig reguliert. Das Drehsystem des Reglers wird in erster Linie beeinflusst von der durch einen besonderen Spannungstransformator von 15000 (7500)/110 V übertragenen Generatorspannung, in zweiter Linie wirkt über einen besonderen Stromtransformator von 1600 (800)/5 A der Generatorstrom ausgleichend auf die Phasenverschiebung parallel laufender Generatoren oder Kraftwerke. Die Regler haben statischen Charakter und sind infolgedessen, ohne besondere Verbindungsleitungen unter sich zu benötigen, stabil, d. h. die Regler haben die Tendenz, die Phasenverschiebung jedes einzelnen Generators in Uebereinstimmung mit derjenigen des Netzes konstant zu halten. Ein Umschalter ermöglicht den raschen Uebergang von automatischer auf Handregulierung der Spannung.

Zur Vermeidung eines zu hohen Spannungsanstieges beim Durchgehen einer Maschine wird durch ein einstell-

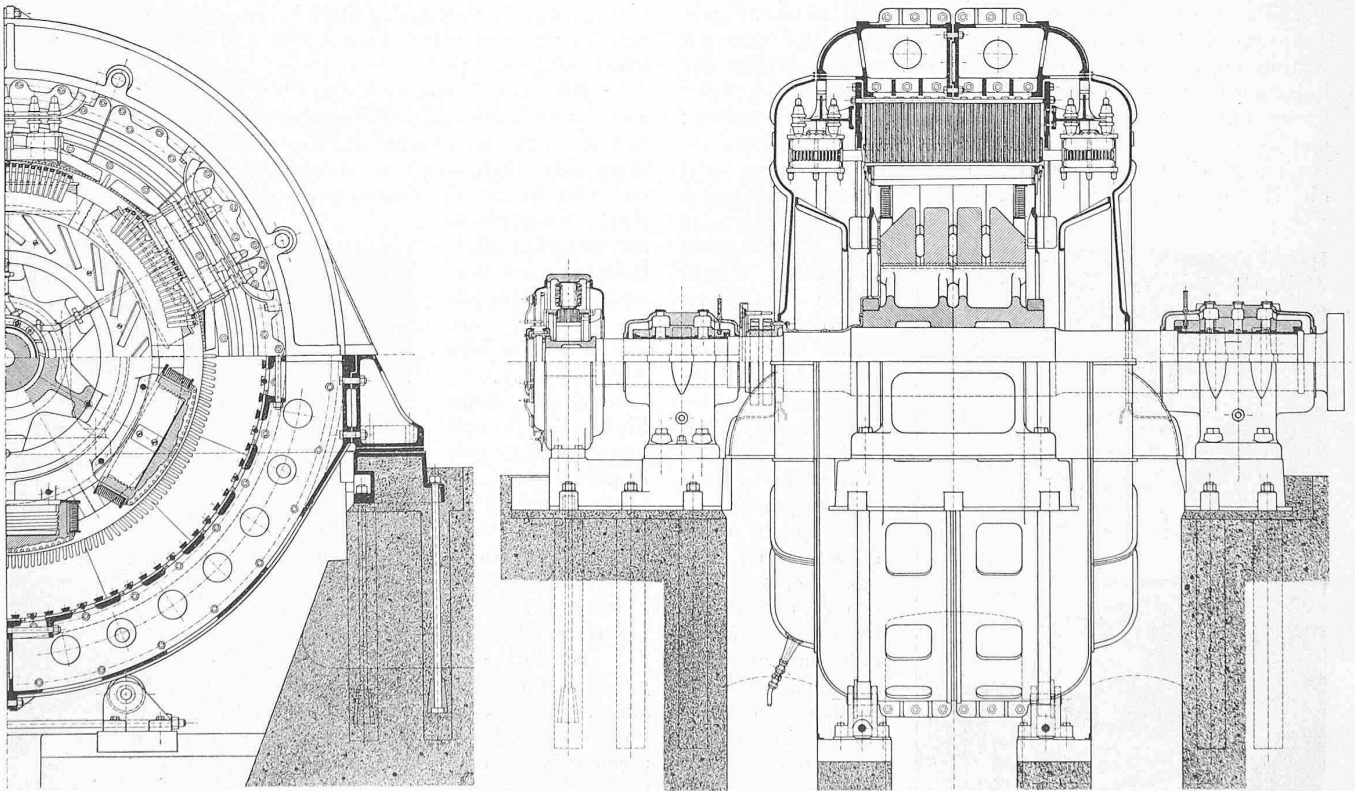


Abb. 57 und 58. Einphasenwechselstrom-Generator von 9000 kVA Dauerleistung,  $333\frac{1}{3}$  Uml./min, 15000 V,  $16\frac{2}{3}$  Per. Geliefert von der A.-G. Brown, Boveri & Cie. in Baden. — Ansichten und Schnitte 1 : 60.

bares Spannungsrelais ein Umschalter betätigt, der den ganzen verfügbaren Regulierwiderstand im Nebenschlusskreis des Erregers einschaltet und dadurch die Spannungserhöhung beschränkt; gleichzeitig wird auch die Maschine durch Ausschalten des Oelschalters vom Netze getrennt. — Die Ueberstromschutz-Regulierung hat den Zweck, das Ansteigen des Generatorstromes über einen in den Grenzen von 1,2 bis 2-fachem Normalstrom einstellbaren Wert zu verhindern und wird durch einen auf gleichem Prinzip wie der erwähnte Spannungsregler beruhenden Schnellregler bewirkt. Dieser Stromregler wird nur vom Generatorstrom durch einen besonderen Stromwandler von 1200 (600)/1 A beeinflusst und schaltet beim Ansprechen Widerstände in den Nebenschlusskreise der Erregermaschine, die bei normaler Generatorstromstärke in der einen Endlage des Reglers kurzgeschlossen sind. Bei einem Kurzschluss arbeiten der Spannungs- und der Stromregler infolge der sinkenden Generatorspannung einander entgegen; der Stromregler überwiegt jedoch und wirkt, solange der zu hohe Strom anhält, feldschwächend.

**Versuchsergebnisse.** Im Kraftwerk wurden ausführliche Abnahmeversuche vorgenommen, deren wichtigste Ergebnisse nachstehend mitgeteilt werden sollen. Zur Bestimmung der Erwärmung der Generatoren war einer davon mit einer Anzahl Thermo-Elementen ausgerüstet, von denen allerdings nur die im Statoreisen eingebetteten benutzt werden konnten, während die am Kupfer der Wicklungen liegenden bei der Messung leider versagten. Die höchste Temperaturzunahme wurde im Statoreisen bei 10% höherer Spannung (8250 Volt) am äusseren Umfang gemessen und betrug 50° C (garantiert 70°); bei normaler Spannung sinkt dieser Wert auf 44°, die mittlere Uebertemperatur des Eisens der übrigen Elemente beträgt etwa 35°. Im Stator-kupfer wurde durch Widerstandsmessung am Ende der 1½-stündigen Ueberlast eine Temperaturzunahme von 68° festgestellt (garantiert 85°) unter Berücksichtigung der Korrekturen nach den amerikanischen Normalien.

Die Wirkungsgrade wurden vertragsgemäss nach der Einzelverlustmethode aus dem Leerlauf eines Generators als Synchronmotor mit abgekuppelter Turbine und aus Widerstandsmessungen zur Bestimmung der Stromwärme-Verluste berechnet. Für den Leerlaufversuch waren die Rotoren des als Stromquelle dienenden Generators und des Synchronmotors in Reihe geschaltet und fremderregt, der Anlauf gelang bei rd. 150 A Erregung gut. Das Schwungmoment des Rotors wurde aus dem Auslaufversuch (bei erregtem Motor) bestimmt und zu 407 000 kgm<sup>2</sup> (garantiert rd. 350 000 kgm<sup>2</sup>) gefunden; ein zweiter Auslaufversuch mit unerregtem Motor ermöglichte unter Verwendung des gefundenen Schwungmomentes die Bestimmung der Reibungs- und Ventilations-Verluste. Erstere konnten aus der Kühlwasser-Erwärmung getrennt berechnet werden. Nachstehend sind die Einzelverluste für Dauerlast von 9000 kVA, cos φ = 0,75, E = 7500 Volt, n = 333 1/3 zusammengestellt; aus Abbildung 63 sind die Wirkungsgrade ersichtlich.

Reibungsverluste der beiden Generatorenlager	17,0 kW
Ventilationsverluste	106,0 kW
Eisenverluste Stator	155,0 kW
Kupferverluste Stator bei I = 1200 A	43,8 kW
Kupferverluste Rotor bei i <sub>e</sub> = 435 A	53,5 kW
Kupferverluste Erreger	2,5 kW
Bürstenverluste (Erreger u. Schleifringe, je 2 V)	1,7 kW

Total der messbaren Einzelverluste 379,5 kW

Die Frisch- und Warmluft-Kanäle gestatten den Wirkungsgrad auch aus der Erwärmung der Kühlluft zu be-

stimmen. Die Messungen ergaben bei einer Belastung von 6750 kW, cos φ = 0,75 eine Luftmenge von 26,8 m<sup>3</sup>/sek und eine durchschnittliche Temperaturerhöhung von 19,8° C entsprechend einem Verlust von 591 kW; unter Hinzurechnung der hierbei nicht berücksichtigten Lagerreibung- und Erreger-Verluste erhöht sich der Gesamtverlust um 23 kW auf 614 kW, gegenüber 379,5 kW aus den Einzelverlusten

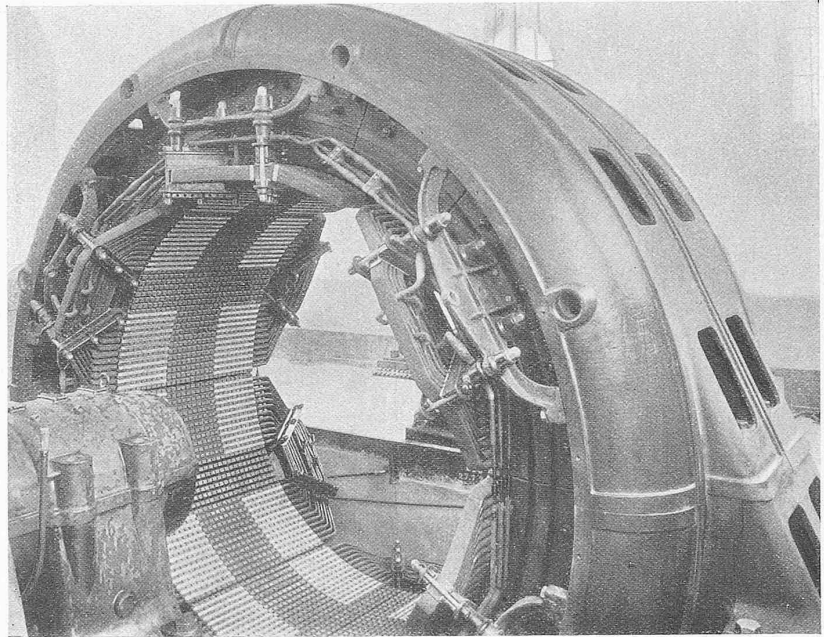


Abb. 62. Stator des 9000 kVA Einphasenstrom-Generators des Kraftwerkes Ritom.

berechnet. Der Unterschied kann als „zusätzliche Verluste“ aufgefasst werden. Diese verringern für den betrachteten Belastungspunkt den aus den Einzelverlusten berechneten Wirkungsgrad um 3% auf 91,7%. Bei induktionsfreier Belastung beträgt der Einfluss der zusätzlichen Verluste nur noch 1% bei 7000 kW und 0,7% bei 3890 kW.

Die Kurzschlussversuche und die im Betriebe vorgekommenen ziemlich häufigen Kurzschlüsse haben gezeigt, dass die Generatoren den erhöhten mechanischen und elektrischen Beanspruchungen gewachsen sind. Die aufgenommenen Oszillogramme sind leider nicht so gut gelungen, dass sie sich für eine Reproduktion eignen.

Die Isolation der Statorwicklung wurde in warmem Zustande mit 39 kV gegen Eisen während 30 sek dreimal nacheinander in Zeitabständen von 5 min geprüft; Bündel-Entladungen traten nicht auf. Die Bedingung, dass bei 30 kVA noch kein Glimmen auftreten soll, wurde bei den ersten Versuchen nicht erfüllt; durch wiederholten Anstrich mit der bereits erwähnten leitenden Farbe konnte jedoch das Glimmen beseitigt werden. Die Rotorwicklung wurde auf gleiche Weise wie der Stator mit 1,5 kV geprüft.

Proben mit erhöhter Drehzahl bis n = 500 in der Minute wurden mit allen Generatoren sowohl in erregtem als auch in unerregtem Zustande durchgeführt. Bei einer Gruppe wurde die Erregung mit steigender Drehzahl nicht vermindert, sondern auf dem bei n = 333 1/3 Uml/min eingestellten Wert von i<sub>e</sub> = 498 A (entsprechend Vollast-Erregung) E = 9200 V unverändert gelassen; für n = 500 war i<sub>e</sub> = 870 A und E = 15400 V. (Forts. folgt.)

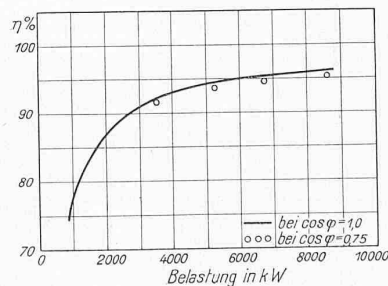


Abb. 63. Wirkungsgrade des Generators.