Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 23 (1932)
Heft: 18

Artikel: Das Rheinkraftwerk Ryburg-Schwörstadt
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059338

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: 14.12.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

VERLAG UND ADMINISTRATION:
Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G., Zürich 4
Stauffacherquai 36/38

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXIII. Jahrgang | N° 18 | Mittwoch, 31. August 1932

Das Rheinkraftwerk Ryburg-Schwörstadt[1]).

Mitgeteilt von der *Motor-Columbus A.-G. für elektrische Unternehmungen*, Baden (Schweiz).

621.311.21(494)

Das Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt, das am 23. August 1931 den Betrieb aufgenommen hat, ist z. Zt. das grösste Werk am Oberrhein. Es enthält vier Maschinengruppen von je 28 500 kW maximaler Turbinenleistung bei 11,5 m Gefälle. Die in normalen Jahren bei voller Ausnützung des Werkes erzeugbare Energie beträgt $600 \cdot 10^6$ kWh; auf die jeweils anfallende Leistung des Werkes haben die vier Partner zu gleichen Teilen Anrecht. Jedem Generator ist zur Abgabe der Energie in den von den Partnern geforderten verschiedenen Spannungen ein Vierwicklungstransformator zugeordnet, der die Spannung von 10,5 kV auf 45 kV, bzw. 125 kV, bzw. 150 kV transformiert. Im folgenden ist dieses Kraftwerk näher beschrieben.

L'usine hydroélectrique de Ryburg-Schwörstadt, mise en service le 23 août 1931, est actuellement la centrale la plus puissante du Rhin supérieur. Elle contient quatre groupes de 28 500 kW de puissance maximum chacun, à l'arbre de la turbine et sous 11,5 m de chute. Dans les années normales l'usine peut produire à plein rendement $600 \cdot 10^6$ kWh; les quatre partenaires ont droit chacun à une part égale de la puissance disponible. Pour répartir entre les partenaires aux tensions exigées, chaque alternateur est relié à un transformateur à quatre enroulements, qui élève la tension de 10,5 kV à 45, 125 ou 150 kV, suivant les besoins. L'article ci-dessous est une description détaillée de cette usine.

I. Allgemeine Anordnung des Kraftwerkes und Leistungsverhältnisse.

Das Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt ist das fünfte und grösste der bis jetzt erbauten Wasserkraftwerke am Oberrhein; es hat am 23. August 1931 mit allen vier Maschinengruppen seinen regelrechten Betrieb aufgenommen. Eigentümer des Werkes ist die Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt A.-G. in Rheinfelden/Schweiz, die am 9. Oktober 1926 von den vier Gesellschaften Motor-Columbus A.-G., Baden (Schweiz), Kraftübertragungswerke Rheinfelden (Baden), Nordostschweizerische Kraftwerke A.-G., Baden (Schweiz), und «Badenwerk» A.-G., Karlsruhe (Baden), gegründet worden ist. Diese vier Partner haben zu gleichen Teilen das Aktienkapital aufgebracht und beziehen gegen die Verpflichtung, je ein Viertel der Jahreskosten zu decken, gleichmässig die jeweils anfallende Leistung des Werkes.

Die Motor-Columbus A.-G. in Baden besorgte die Projektierung und Bauleitung für die ganze Kraftwerksanlage .

Das Werk liegt ca. 5 km oberhalb Rheinfelden und nützt das Gefälle des Rheins zwischen Säckingen und dem Oberwasser des Kraftwerkes Rheinfelden aus (Fig. 1). Stauwehr und Maschinenhaus

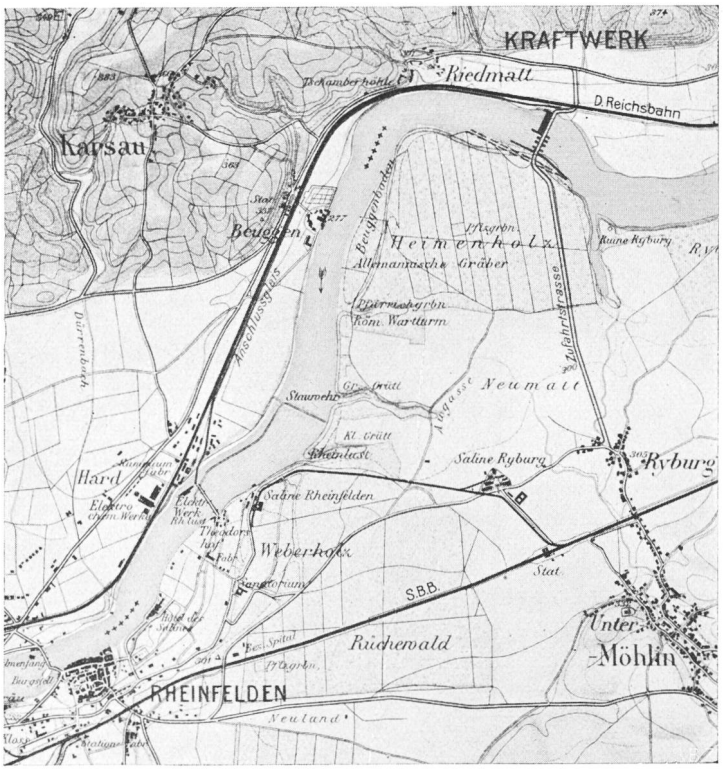

Fig. 1.
Uebersichtsplan des Kraftwerkes Ryburg-Schwörstadt.
(Maßstab 1 : 50 000.)

[1]) Die Clichés der Fig. 1, 7, 9 bis 15, 18, 19, 21, 23, 26 bis 29, 31 und 33 wurden uns von der Schweizerischen Bauzeitung zur Verfügung gestellt, ebenso eine Anzahl Clichéunterlagen.

mit zusammen etwa 240 m Länge stehen nebeneinander quer im Fluss und stauen an der Kraftwerksstelle den Rhein um 12 m über Niederwasser auf (Fig. 2 und 3). Die Ufer im Staugebiet sind fast überall so hoch, dass keine grösseren Eingriffe in die Umgebung nötig wurden; lediglich im mitt-

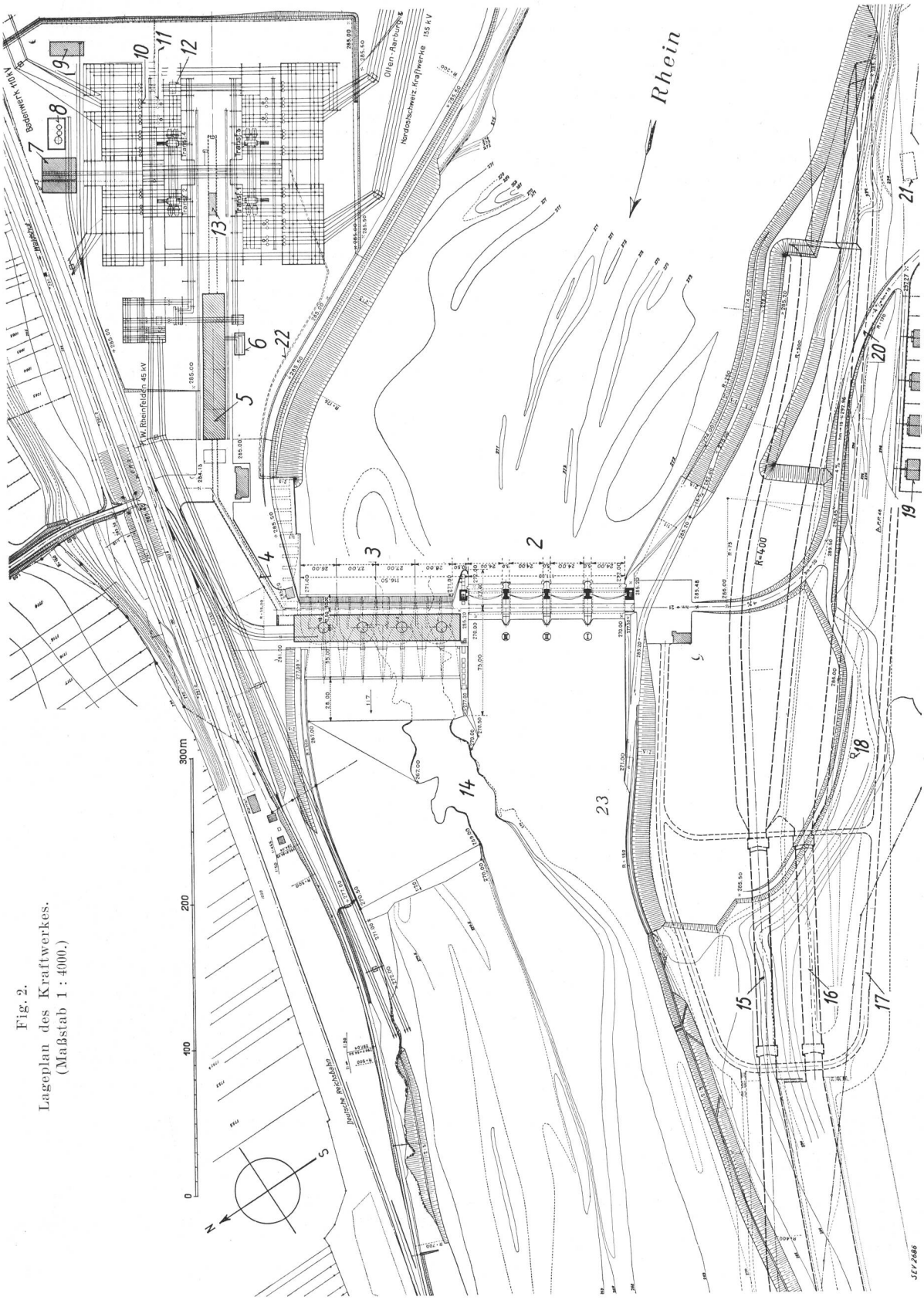

Fig. 2.
Lageplan des Kraftwerkes.
(Maßstab 1 : 4000.)

1 Stauhöhe am Wehr 284,00.
2 Stauwehr.
3 Maschinenhaus, $4 \times 26\,000 = 104\,000$ kW.
4 Kabelkanal.
5 Schalthaus 10,5 kV.
6 Belastungswiderstand.
7 Montagehalle.
8 Oeltanks.
9 Magazin.
10 Oelschalter.
11 Messgruppen.
12 Regulier-Transformator.
13 Hochfrequenz-Telephonie.
14 Erosionsrinne.
15 Künftige Großschiffahrtsschleuse, 135×12 m, I. Ausbau.
16 Schleuse, II. Ausbau.
17 Künftige Lage der Zufahrtsstrasse.
18 Grundwasserbrunnen.
19 Dienstwohnungen.
20 Zufahrtsstrasse.
21 Baubureau.
22 Herdmauer.
23 Kahnrampe, 15 % Gefäll.

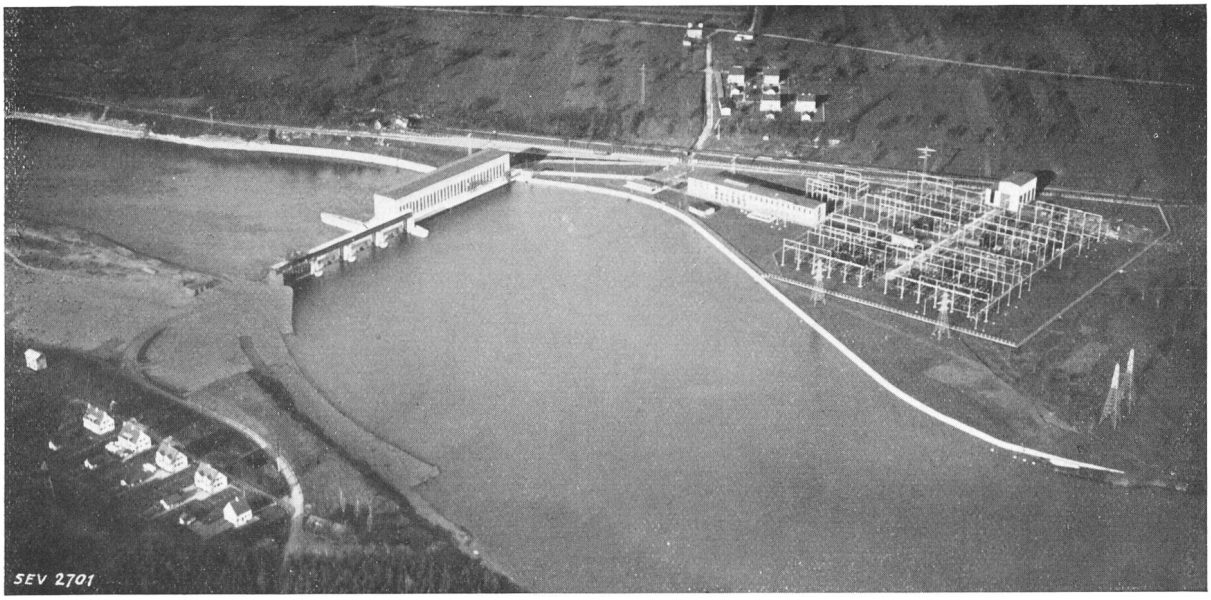

Fig. 3.
Fliegerbild des Kraftwerkes Ryburg-Schwörstadt am Oberrhein, stromabwärts aus Süden gesehen.

leren und oberen Teil des Staugebietes waren einige Uferschutzbauten auszuführen und wenige zu tief liegende Gebäude zu entfernen.

Das Kraftwerk ist für eine Betriebswassermenge von 1000 m^3/s ausgebaut; diese Wassermenge führt der Rhein in Jahren mit normalen Abflussverhältnissen während 182 Tagen. Die vier Maschinengruppen haben Turbinen von je 250 m^3/s mittlerer Schluckfähigkeit und 26 000 kW mittlerer Leistung bei rund 11,9 m Gefälle. Die grösste Gesamtleistung tritt bei einer Wassermenge von 1000 m^3/s und 10,8 m Gefälle ein und berägt ca. 96 000 kW; bei Niederwasser geht die gesamte Turbinenleistung bis auf etwa 37 000 kW zurück. In normalen Jahren kann das Werk bei voller Ausnützung reichlich $600 \cdot 10^6$ kWh erzeugen. Um eine besondere Reservegruppe zu ersparen, sind die Maschinengruppen so bemessen, dass jede Turbine überlastet bis zu 300 m^3/s verarbeiten kann; bei Ausfall einer Gruppe kann man mit den drei restlichen, bei einem etwas geringeren Wirkungsgrad der Turbinen, also immer noch 900 m^3/s ausnützen, das sind 90 % der normalen Betriebswassermenge.

Die Transformatoren- und Schaltanlage mit der Kommandostelle ist auf dem badischen Ufer 200 m flussaufwärts vom Maschinenhaus angeordnet und mit den Generatoren durch Kabel verbunden.

Der künftige Gross-Schiffahrtsweg liegt auf dem linken Ufer und ist hier zum ersten Mal am Oberrhein von den Kraftwerksanlagen ganz unabhängig (Fig. 2).

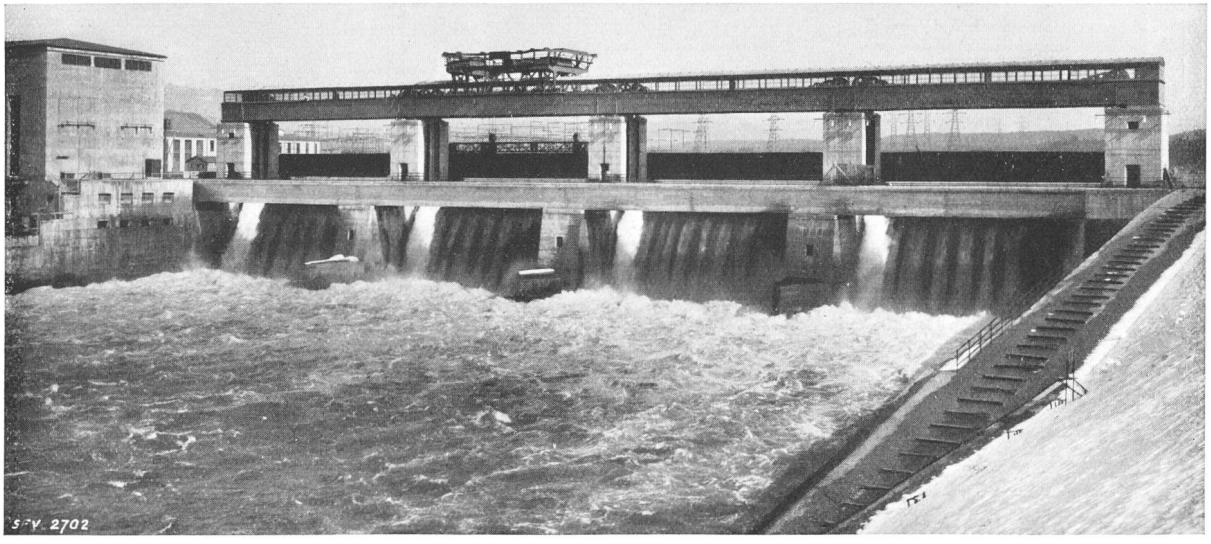

Fig. 5.
Unterwasserseitige Ansicht des Stauwehrs, vom schweizerischen Ufer aus gesehen. Rechts die Kahnrampe.

II. Stauwehr.

Das Stauwehr ist ein Schützenwehr mit vier Oeffnungen von je 24 m lichter Weite bei 12 m Schützenhöhe (Fig. 4 und 5). Die Wehrschützen sind als wagrecht geteilte Doppelschützen ausgebildet. Die Unterschützen zeigen die übliche Form

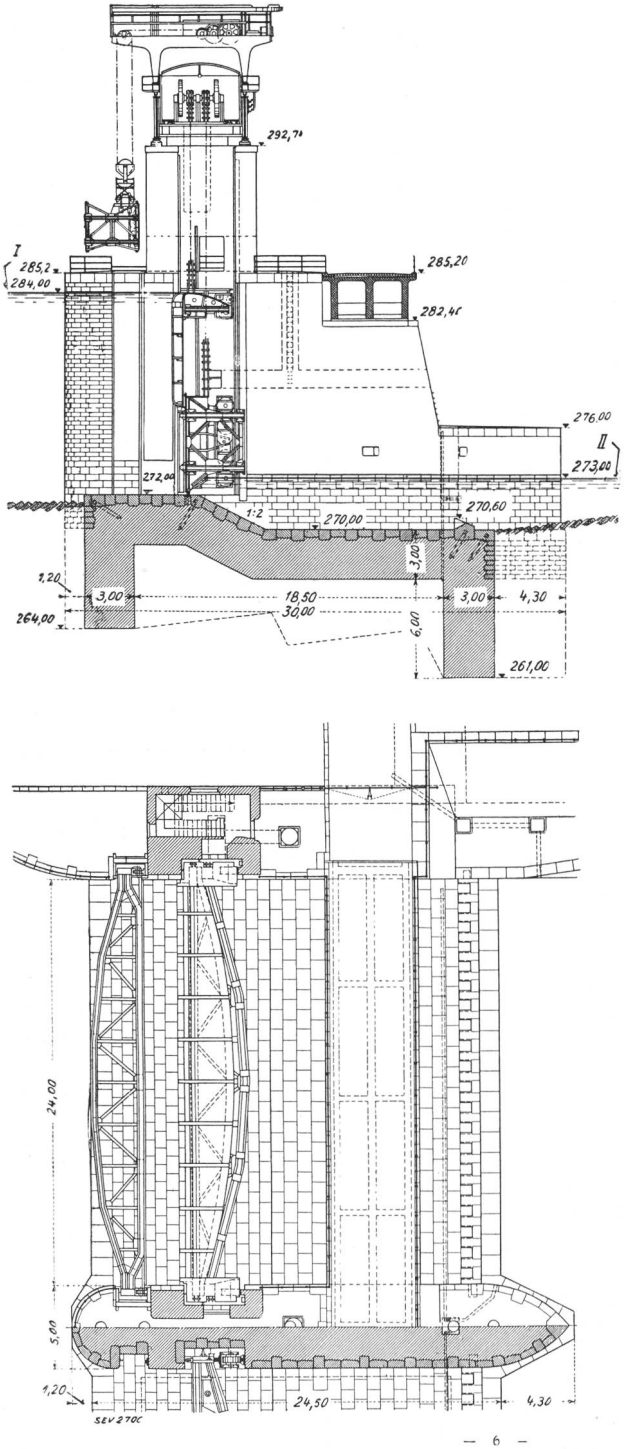

Fig. 4.
Stauwehr (Maßstab 1 : 450).
Oben: Querschnitt:
I Stauspiegel.
II Mittlerer Unterwasserspiegel.
Unten: Grundriss.

mit zwei Hauptträgern, die den Wasserdruck durch Rollenwagen auf die Wehrpfeiler übertragen; die Oberschützen sind von hakenförmigem Querschnitt und haben nur oben einen solchen Hauptträger mit Rollenwagen, während der übrige Wasserdruck über spantenartige, an ihrem unteren Ende mit Rollen versehene, vertikale Nebenträger auf die Unterschütze übertragen wird. Diese Anordnung ergibt wesentliche Vorteile für den ganzen Wehrbau und gestattet auch die grosse Absenkbarkeit der Oberschützen von vorläufig 4,5 bzw. von 5,0 m nach allfälliger Erhöhung des Staues um ½ m. In der in Vollwandkonstruktion ausgebildeten eisernen Windwerksbrücke, bei deren Bauart sich ein gedecktes Windenhaus zwanglos ergab, sind die Windwerke der Stauwehrschützen untergebracht, und zwar ist für jede Ober- und Unterschütze ein besonderes Windwerk vorhanden. Der oberwasserseitige Notverschluss ist für eine Wehröffnung vorhanden und besteht aus vier schützenartigen Einzeltafeln von je 3,2 m Höhe. Ausser Gebrauch ruhen diese Tafeln auf den Pfeilervorköpfen über

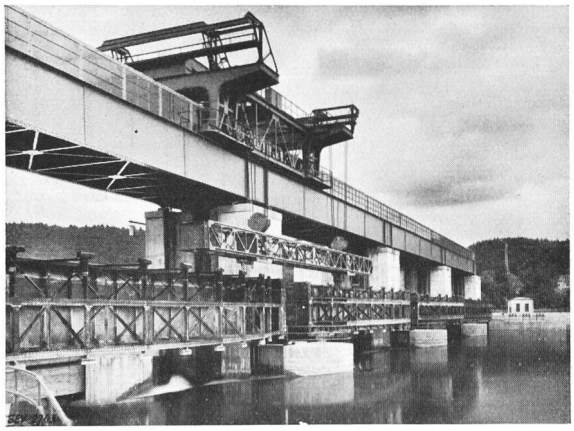

Fig. 6.
Oberwasserseitige Ansicht des Stauwehrs mit Notverschlüssen und Notverschlusskran.

den Wehröffnungen, von wo sie ein elektrisch betriebener Laufkran von 75 t Tragkraft, der rittlings auf der Windwerksbrücke fährt, bei Bedarf holt und mit einem Zangenbalken in die gewünschte Stauwehröffnung einsetzt (Fig. 6). Ein unterwasserseitiger Notverschluss ist noch nicht beschafft worden, doch sind am Wehr alle Vorkehrungen für seinen allfälligen späteren Einbau getroffen. Die Balkenbrücke aus Eisenbeton auf der Unterwasserseite führt über das Stauwehr nach dem Rechendienstboden des Krafthauses und dient nur dem Werkverkehr. Auf dem linken Ufer ist für die Bedürfnisse der Kleinschiffahrt eine Kahnrampe mit Rollenbahn vorhanden, und im Trennpfeiler zwischen Wehr und Krafthaus ist eine Fischtreppe eingebaut.

III. Maschinenhaus.

Der Maschinenhausunterbau (Fig. 7 bis 9) setzt sich in der Hauptsache aus dem Einlaufbauwerk

und den Zulaufspiralen und Saugrohren für die vier Turbinen zusammen; er weist von der Einlaufschwelle bis zum Saugrohrauslauf eine Breite von 57,5 m auf und ist bei 27 m Abstand der Maschinengruppen voneinander 110 m lang; der tiefste Punkt des Saugrohres liegt 24 m unter dem Stauspiegel, während der tiefste Fundationspunkt des Maschinenhauses sogar 32 m unter den Stauspiegel hinabreicht. Der Maschinenhausunterbau besteht aus Beton und ist grösstenteils stark armiert. Die Maschinenhalle von 18 m Breite, 19 m Höhe und 116 m Länge ist bis zur Höhe der Kranbahn in Eisenbeton, darüber in Eisenkonstruktion mit Eisenbeton ausgeführt. Unterbau und Hochbau sind durch drei durchgehende Fugen so unterteilt, dass das Bauwerk einer jeden Maschinengruppe ein für sich abgeschlossenes Ganzes bildet. Die zum Abschliessen der Einlaufspiralen bei Maschinenhäusern sonst üblichen Einlaufschützen sind nicht ausgeführt worden; es ist lediglich für eine Turbine ein transportabler ober- und unterwasserseitiger eiserner Notverschluss vorhanden, der durch Krane auf den ausserhalb des Maschinenhauses liegenden Dienstböden in das abzusperrende Aggregat eingesetzt werden kann. Als Wasserabschluss vor den Turbinen dient der Leitapparat der Turbinen. Bei der Ausbildung der Turbinen-Laufradregulierung sind diese Verhältnisse ebenfalls entsprechend berücksichtigt worden. Die mit Notverschlüssen absperrbaren Zulaufspiralen und Saugrohre können in zwei auf der Maschinenhaus-Unterwasserseite vorhandene Pumpschächte entleert werden, aus denen zwei Schachtpumpen von je 300 l/s Leistungsfähigkeit das Wasser entfernen. Vor dem Maschinenhaus ist der 13 m hohe eiserne Rechen angeordnet (Fig. 9), dessen 20 cm hohe und 2 cm dicke Stäbe aus einem gute Wasserführung gewährleistenden Spezialprofil bestehen. Der Lichtabstand der Rechenstäbe beträgt 15 cm. Ausser in der Sohle und oben am Rechenboden lagern die Rechenstäbe noch auf drei wagrechten Tragbalken aus betonumhüllten Eisenfachwerkträgern auf. Der Rechen wird

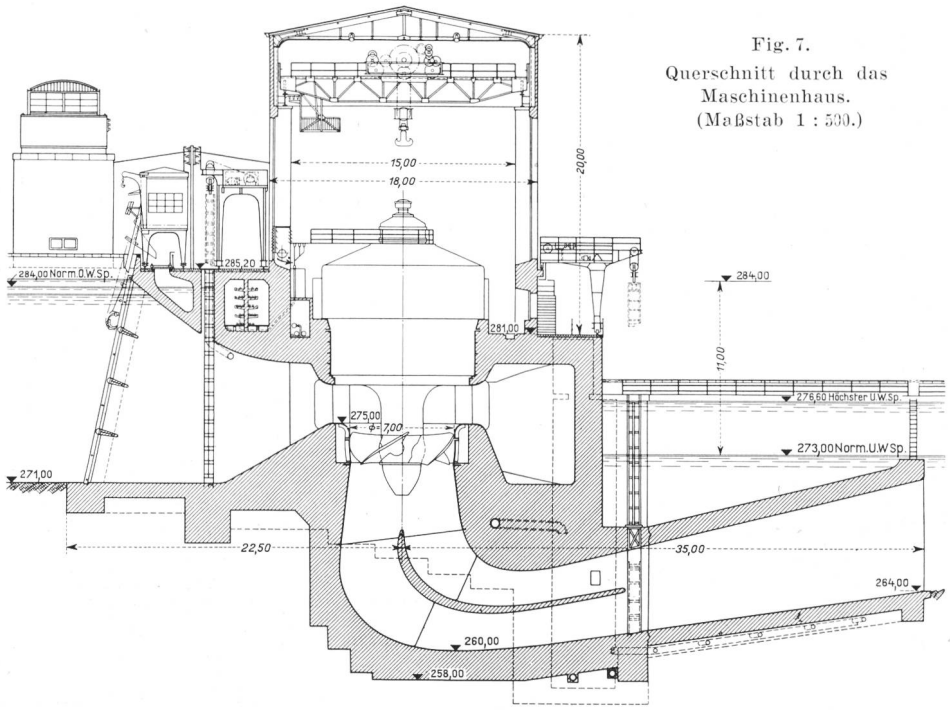

Fig. 7.
Querschnitt durch das Maschinenhaus.
(Maßstab 1 : 500.)

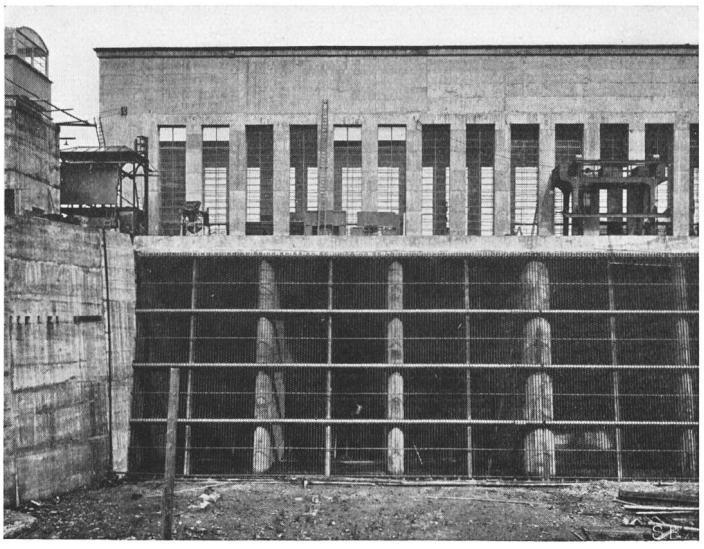

Fig. 9.
Einlaufrechen vor der Turbine 1; links Trennpfeiler.

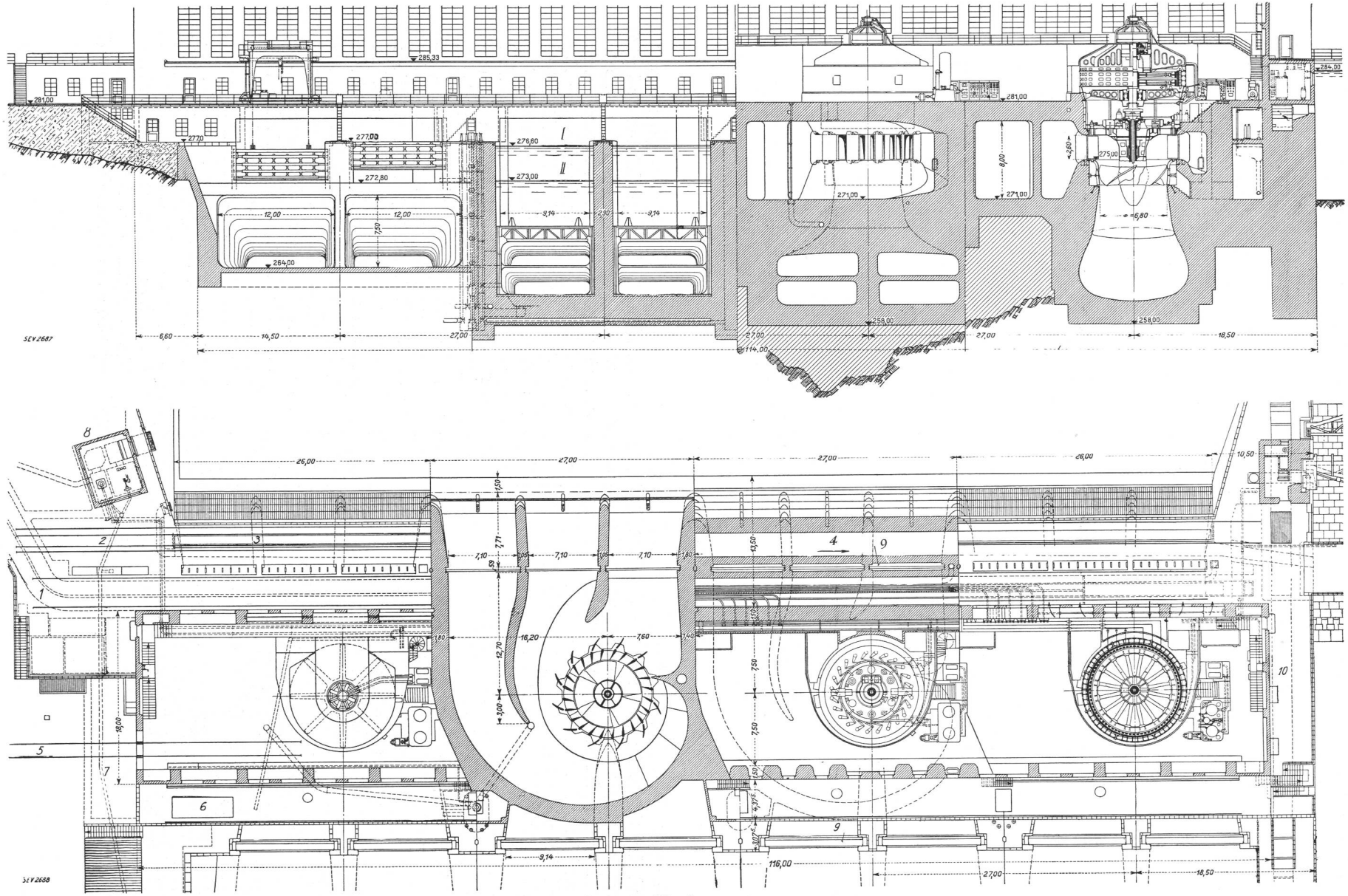

Fig. 8.

Oben: Abgestufter Längsschnitt durch Saugrohre und Maschinenhaus (Maßstab 1 : 600). I Höchster Unterwasserspiegel. II Normaler Unterwasserspiegel.
Unten: Abgestufter Horizontalschnitt durch Einlauf und Maschinenhaus (Maßstab 1 : 600).

1 Kabelkanal.
2 Notverschlusskammer.
3 Geschwemmseleinwurf.
4 Geschwemmselrinne.
5 Anschlussgeleise.
6 Diesel-Generatoren.
7 Oellagerraum.
8 Kühlwasser-Reinigungsanlage.
9 Notverschlüsse.
10 Hilfsdiensträume.

durch eine auf dem Rechendienstboden laufende Maschine gereinigt, die das Rechengut in eine Geschwemmselrinne wirft; aus dieser wird es mit Wasserspülung in das Unterwasser befördert. Zwei elektrisch betriebene Laufkrane von je 150 t Tragkraft in der Maschinenhalle, die zum Heben der schwersten Lasten gekuppelt werden und über einen Querbalken gemeinsam arbeiten können, die Kühlwasserreinigungs- und Verteilungsanlage, die Generator-Brandschutz-Einrichtungen und die Generator- und Raumlüftungsvorkehrungen vervollständigen die Ausrüstung des Maschinenhauses.

IV. Bauausführung.

Die Bauweise, in der Stauwehr und Krafthaus im freien Fluss erstellt worden sind, weicht von der bisher am Oberrhein für Kraftwerksbauten üblichen grundsätzlich ab, indem man dank der vorher durch umfangreiche Untersuchungen festgestellten dichten Beschaffenheit des Felsuntergrundes an der Baustelle alle Bauwerke im Rhein in offenen, von Fangdämmen umschlossenen Baugruben errichten konnte (Fig. 10 bis 12). Dabei dienten auf dem fast im ganzen Flussbett anstehenden Kalkfelsen Betonfangdämme als Abschluss, während bei der Ueberquerung einer mit Kies gefüllten tiefen Rinne im Rheinbett Fangdämme aus mehreren hintereinandergestellten Larssenspundwänden verwendet wurden. Die Baumethode führte durchwegs zum Erfolg, obwohl beim Maschinenhaus infolge der erwähnten Rinne und allgemein infolge der heftigen Strömung in dem durch die grossen Baugruben bis zur Hälfte eingeengten Fluss zeitweise die höchsten Anforderungen an das Können der ausführenden Baufirmen gestellt worden sind. Die Bauarbeiten am Wehr und Maschinenhaus sind im Frühjahr 1927 begonnen worden; das Bauprogramm wurde durchweg eingehalten, teilweise wurden die Bauzeiten sogar verkürzt. So konnte bereits nach 3½ Jahren Bauzeit am 20. Oktober 1930 die erste Maschinengruppe den regulären Betrieb aufnehmen, und auf Jahresende 1930 folgte die zweite. Wie bereits eingangs erwähnt, arbeiten seit dem 23. August 1931 alle vier Maschinengruppen in normalem Betrieb.

V. Turbinen.

Die vier Turbinen mit der eingangs erwähnten Leistung sind Kaplanturbinen mit 75 U/m und senkrechter Welle zum Einbau in Betonspiralen (Fig. 13).

Das Laufrad der Turbine von ca. 7000 mm äusserem Durchmesser hat fünf verstellbare Flügel, die mit Oeldruck durch eine Regulierspindel in der hohlen Turbinenwelle bewegt werden können (Fig. 14). Der Leitapparat für Aussenregulierung besitzt 24 drehbare Leitschaufeln und weist eine Eintrittshöhe von 2600 mm auf; der Leitapparat wird durch Oeldruck mittels zweier Servomotoren

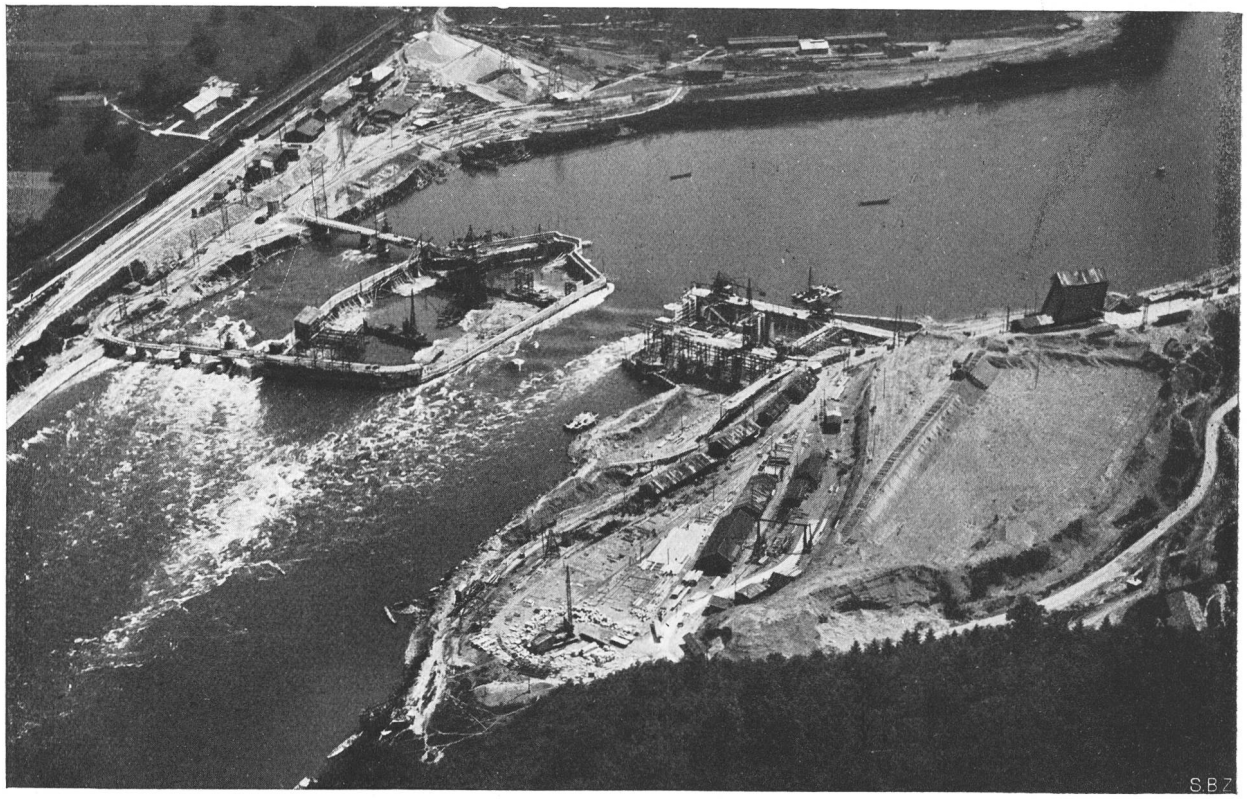

Fig. 10.
Fliegerbild der Gesamtbaustelle, aus Westen.
Rechts die erste Wehr-Baugrube *A*, links die erste Maschinenhaus-Grube *B* (Mai 1928). Baustadium 1.

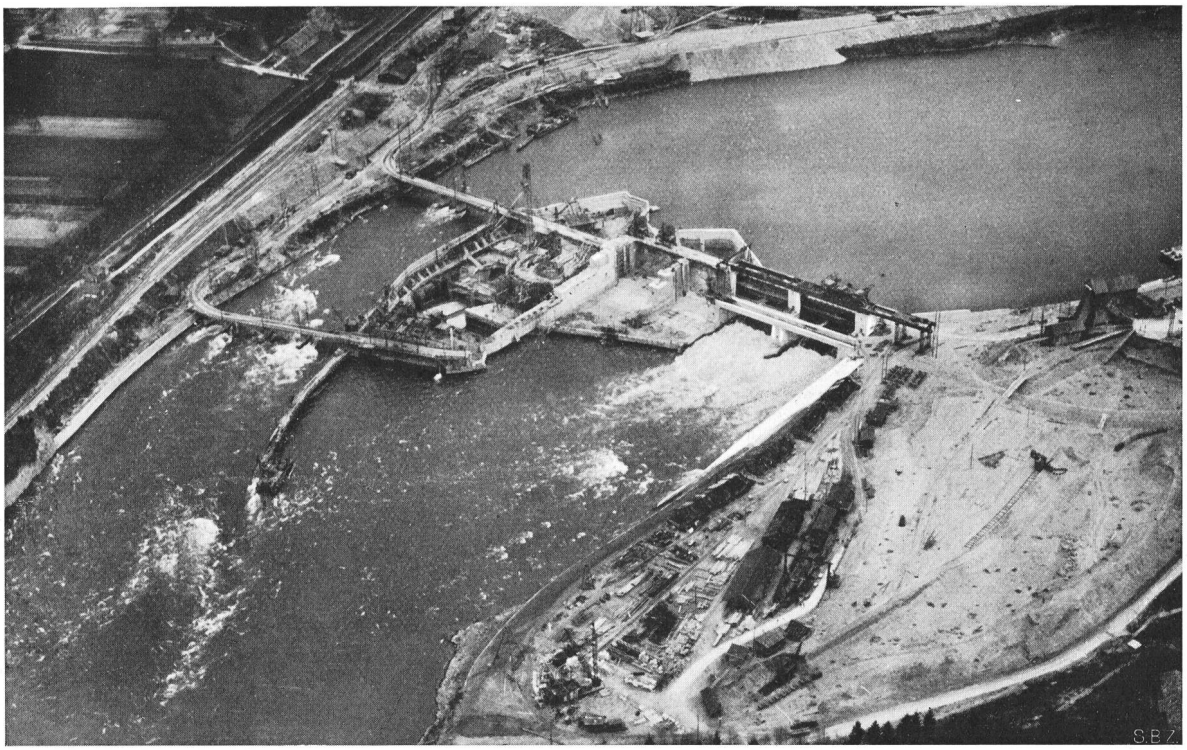

Fig. 11.
Fliegerbild der Gesamtbaustelle.
Links die erste Maschinenhaus-Baugrube *B* mit dem stromabwärts verlängerten Fangdamm für die zweite Maschinenhaus-Baugrube *D;* rechts die zweite Wehr-Baugrube *C* (Ende April 1929). Baustadium 3.

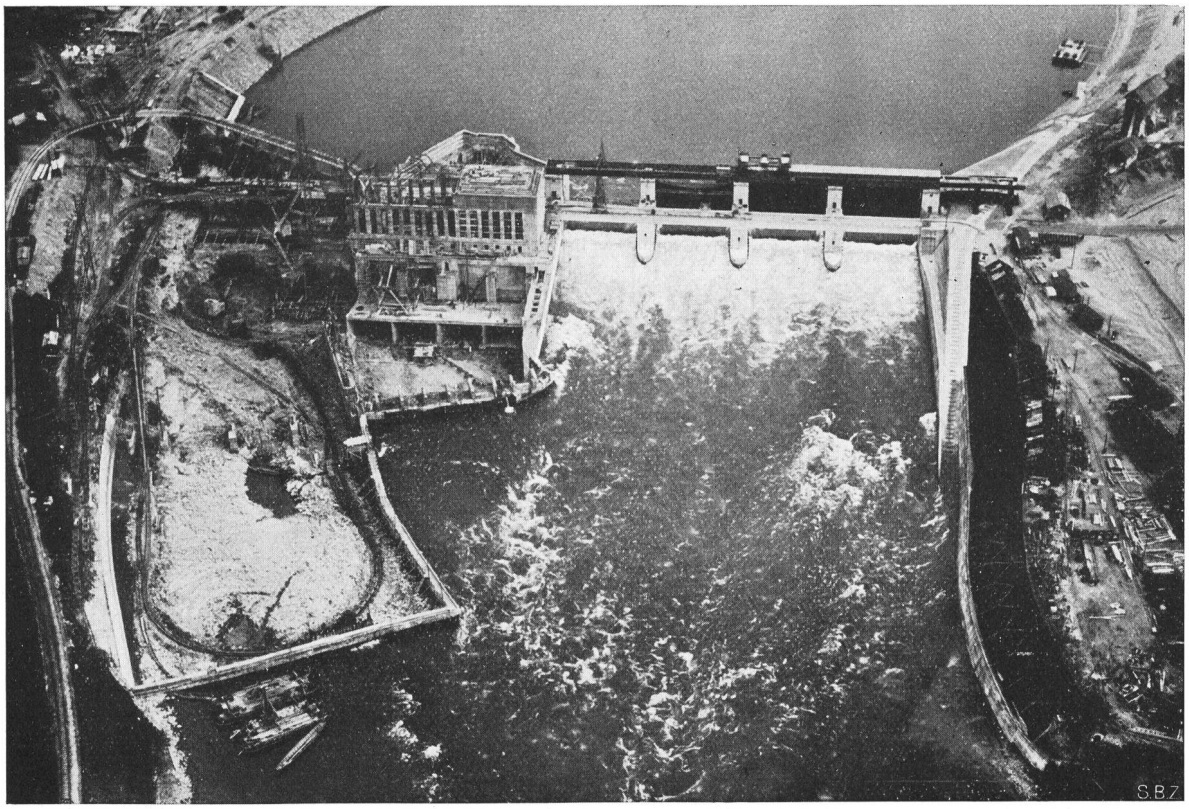

Fig. 12.
Fliegerbild der Gesamtbaustelle.
Rechts das fast fertige Stauwehr; links die vereinigten Maschinenhaus-Baugruben *B* und *D* (November 1929).
Baustadium 4.

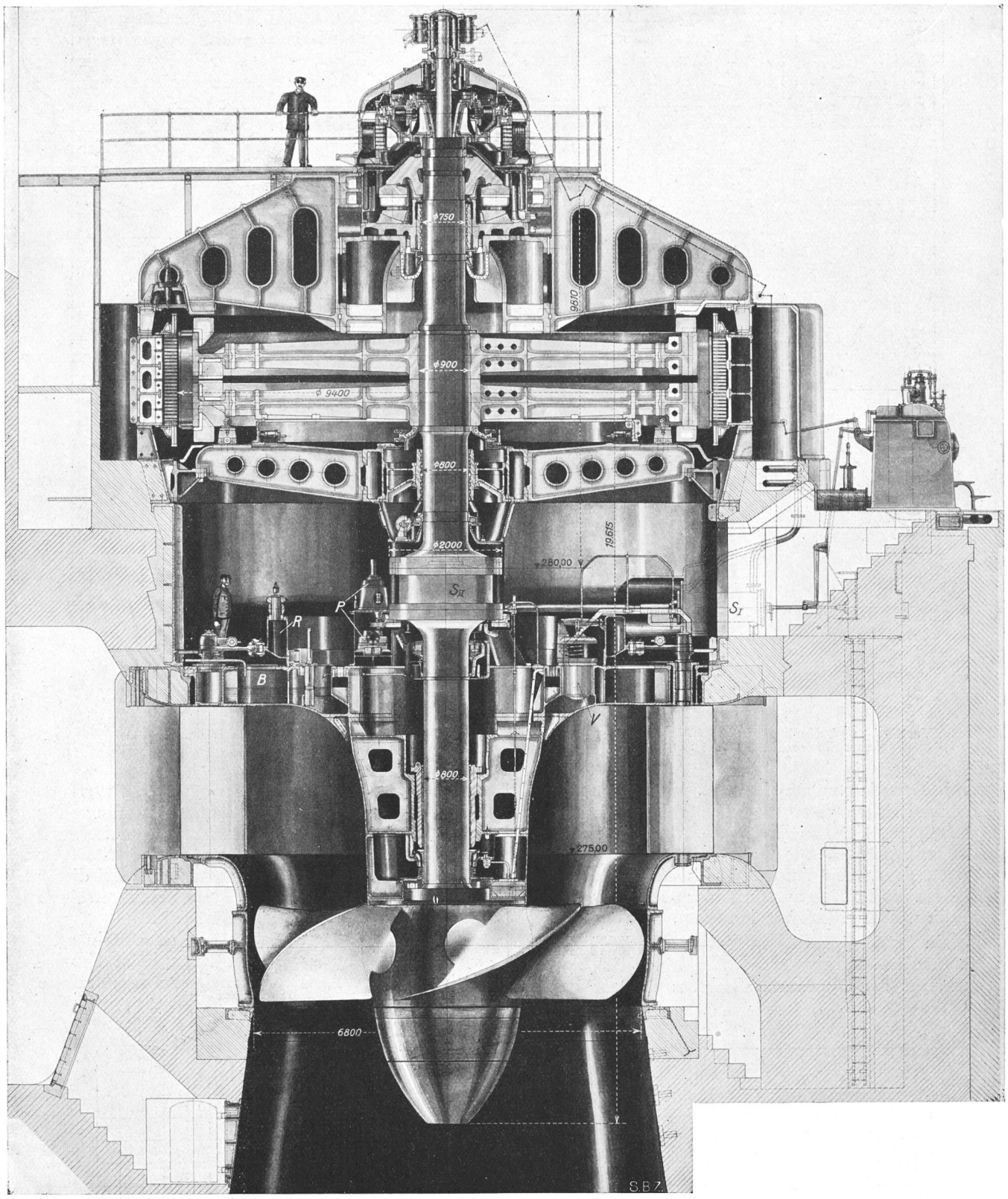

Fig. 13.
Uebersichtsquerschnitt 1 : 100 einer Maschinengruppe.

B Verlustölbehälter.
P Oelpumpen.
R Regulierung.
S_I Leitradservometer.
S_{II} Laufradservometer.
V Selbsttätiges Lufteinlassventil.

Max. Durchmesser des Turbinenkessels 7000 mm; max. Leistung 28 500 kW bei 11,5 Gefälle, 75 U/m.

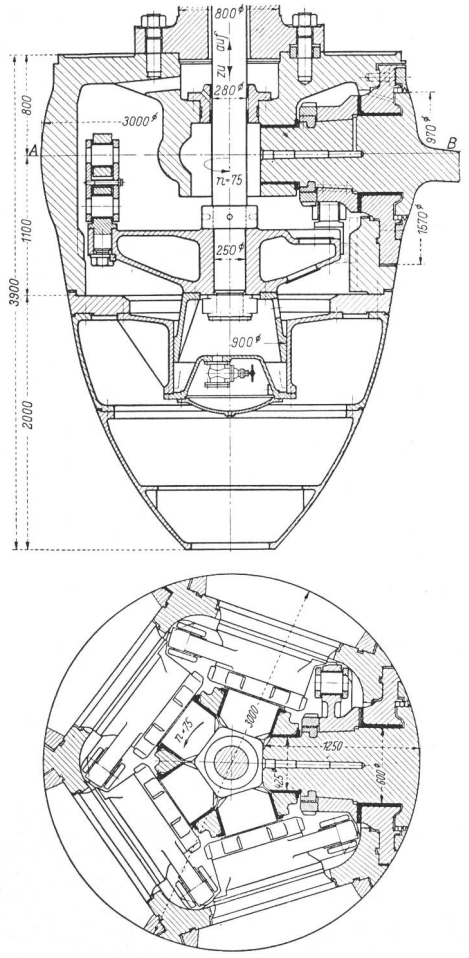

Fig. 14.
Vertikal- und Horizontalschnitt durch die Laufradnabe (Maßstab 1 : 50).

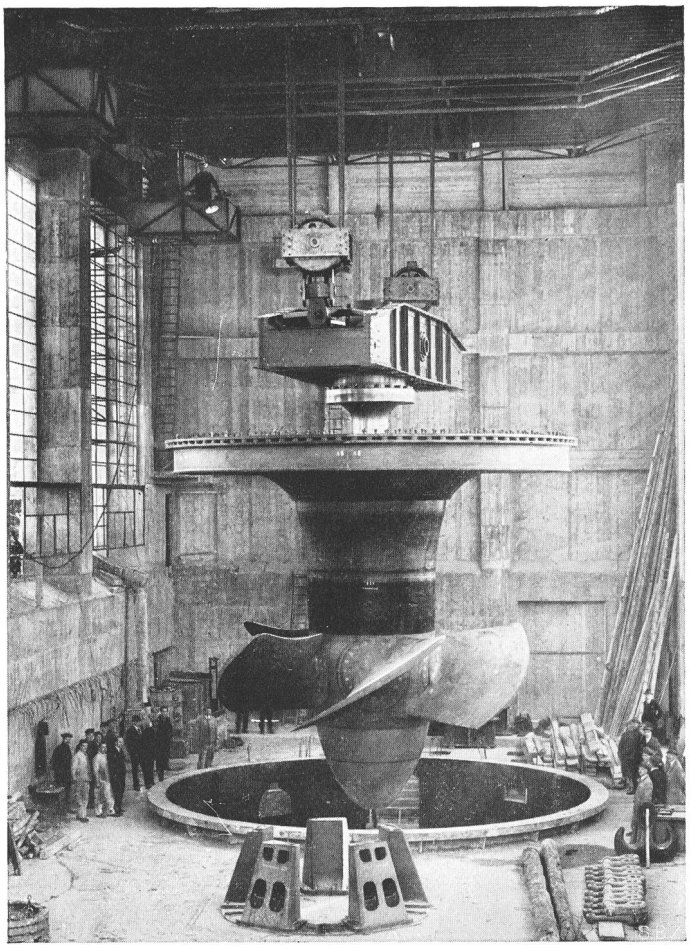

Fig. 15.
Laufrad, Welle und Deckel der Turbine 1, bereit zum Einsetzen in den Turbinenschacht.

und Regulierstangen betätigt. Leitapparat und Laufrad haben getrennte Regleranlage mit eigener Oelpumpe, eigenem Windkessel, Steuerwerk, Pendel und Antrieb. Die Regleranlagen sind so ausgeführt, dass beim Ausfallen des einen Regelungskreises der Betrieb auch mit der anderen Regelung allein weitergeführt werden kann.

Da keine eigentlichen Turbineneinlaufschützen vorhanden sind, sondern die Turbinenleitschaufeln zunächst als Oberwasserabschluss dienen, ist die Verstellung der Laufradschaufeln so konstruiert, dass sie auch beim Versagen der Leitradregelung und selbst beim Erreichen der Durchbrenndrehzahl den Wasserdurchfluss auf etwa ein Sechstel der grössten Schluckfähigkeit drosseln kann; bei dieser Wassermenge kann der erwähnte oberwasserseitige Notverschluss noch eingesetzt werden.

Das Laufrad der Turbine samt dem mehrteilig ausgeführten Turbinendeckel kann beim Zusammensetzen oder Auseinandernehmen der Turbine

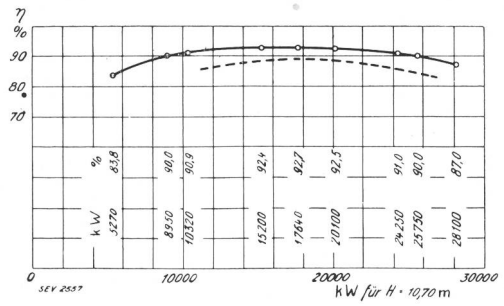

Fig. 16.
Wirkungsgrad, gemessen an Turbine 1, in Funktion der Leistung. Die gestrichelte Kurve gibt die Garantiewerte an.

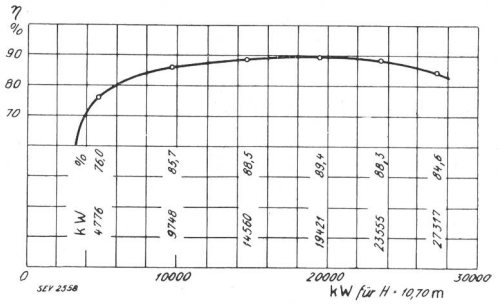

Fig. 17.
Gesamtwirkungsgrad, gemessen an Maschinengruppe 1, in Funktion der Leistung.

in einem Stück ausgehoben und mit dem Kran verfahren werden; dieses grösste zu hebende Gewicht beträgt 280 t (Fig. 15). Das Spurlager, das den ganzen rotierenden Teil der Turbine und des Generators samt dem auf dem Turbinenlaufrad lastenden hydraulischen Druck zu tragen hat, ist ein Segmentlager, das im Betrieb selbsttätig durch elastische Wirkung den nötigen Oeldruck für die ca. 900 t Höchstlast erzeugt.

Die vor der Inbetriebnahme der Turbine 1 bei einem Gefälle von 10,7 m vorgenommenen Wirkungsgradproben ergaben eine erfreuliche Ueberschreitung der gewährleisteten Wirkungsgrade, indem unter Zugrundelegung der garantierten Generatorwirkungsgrade (die später gemessenen Werte liegen ebenfalls über den garantierten) ein Mittelwert von 92,7 % bei einer Leistung von 17 600 kW erreicht wurde (Fig. 16). Fig. 17 zeigt den Gesamtwirkungsgrad der Maschinengruppe 1 in Funktion der Leistung.

VI. Generatoren.

Die mit den Turbinen unmittelbar gekuppelten Dreiphasen-Wechselstromgeneratoren sind für eine Leistung von 32 500 kVA, dauernd überlastbar auf 35 000 kVA bei $\cos \varphi = 0{,}7$, 50 Per./s, 75 U/m, und für eine Nennspannung von 10 500 V gebaut (Fig. 13). Die Generatoren haben eine Bohrung von 9,40 m, damit man das Turbinenlaufrad samt Turbinendeckel durch den Stator hindurchheben kann. Sie weisen ohne den äusseren Blechmantel einen Aussendurchmesser von 11 m und mit dem Blechmantel eine grösste Breite von 13,5 m und eine Höhe über Maschinensaalboden von 8,8 m auf.

Diese aussergewöhnlichen Dimensionen haben eine weitgehende Unterteilung der Maschinen notwendig gemacht, um sowohl für Herstellung und Bearbeitung, als auch für Transport und Montage noch Stücke von angängigen Abmessungen zu erhalten. Das Statorgehäuse wurde achtteilig ausgeführt (Fig. 18); es ruht auf einem ebenfalls achtteiligen Fundamentring, der seinerseits auf den gusseisernen Schachtring der Turbine abgestützt ist. Der Blechkörper besteht aus legiertem Dynamoblech und ist durch aufgeschweisste Distanzstege in einzelne Pakete unterteilt, zwischen denen die Ventilationsluft durchstreichen kann. Die Wicklungsnuten sind offen. Die Statorwicklung ist als Stabwicklung mit zwei unterteilten und verschränkten Stäben pro Nut ausgebildet, die im Nutenteil mit Mikanit umpresst und imprägniert ist, während der ausserhalb des Eisens liegende Teil der Stäbe durch mehrfache Umbändelung mit Lackband isoliert ist. Gegen die Wirkungen von Kurzschlüssen sind die Wicklungsköpfe gegeneinander abgestützt und an Stahlringen befestigt, die mit dem Gehäuse verbunden sind. Die ganze Wicklung ist pro Phase in zwei parallele Stromkreise geschaltet. Zur Kontrolle der Temperatur sind in der Statorwicklung sechs Widerstandselemente eingebaut, deren Ableitungen an eine gemeinsame Klemmenplatte geführt sind.

Der obere Lagerstern besteht aus einem Stahlgussmittelstück, an dem acht Arme aus Stahlguss angeschraubt sind. Im Mittelstück ist das Spurlager versenkt eingebaut und mit dem oberen Führungslager kombiniert. Beide Lager sind zur Verhinderung von Lagerströmen vom Tragstern isoliert. Der untere Lagerstern mit dem eingebauten unteren Führungslager besteht ebenfalls aus einem einteiligen Mittelstück und acht angeschraubten Armen. Die mit Weissmetallbelag versehenen Lagerschalen des oberen und unteren Führungslagers können nach unten ausgebaut werden, ohne dass andere grössere Maschinenteile entfernt werden müssen. In jedem Lager ist ein Fernthermometer eingebaut.

Das Polrad des Generators besteht aus zwei übereinanderliegenden Rädern, deren jedes aus einem vierteiligen Radkranz und einem vierteiligen Armstern aus Stahlguss zusammengesetzt ist. Die Polschuhe sind aus gestanzten Stahlblechen zwischen Endplatten aus Stahlguss zusammengepresst

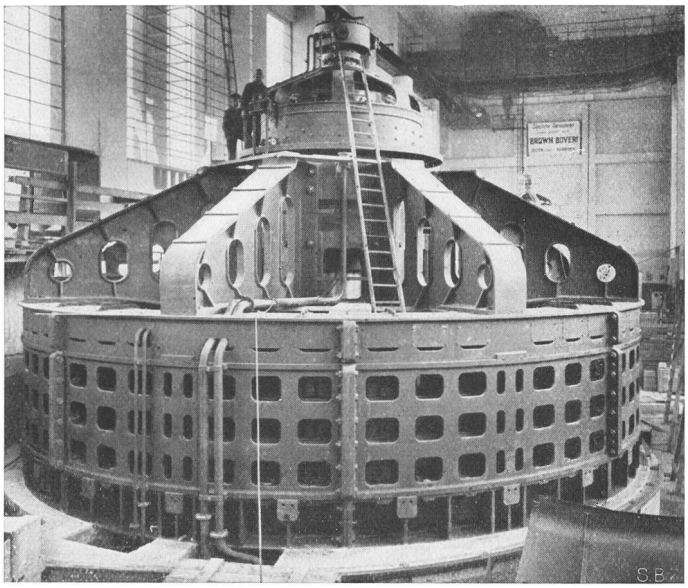

Fig. 18.
Zusammenbau eines Generators im Kraftwerk.

und mit Schrauben am Radkranz befestigt. Die Polwicklungen bestehen aus hochkant gewickeltem Flachkupferband mit Preßspan-Zwischenlagen. Zur Sicherung des stabilen Betriebes ist in den Polschuhen eine Dämpferwicklung aus runden Kupferstäben untergebracht. Die Welle besteht aus geschmiedetem SM-Stahl und besitzt am unteren Ende einen direkt angeschmiedeten Kupplungsflansch von 2 m Durchmesser. Sie wiegt allein ca. 30 t und ist in ihrer ganzen Länge auf 360 mm Durchmesser durchbohrt zur Aufnahme der Oel-

leitungen für die Steuerung der Laufradschaufeln der Kaplanturbine. Der fertig zusammengebaute Rotor mit einem Totalgewicht von ca. 260 t wurde in den Werkstätten einer Schleuderprobe mit 185 U/m unterzogen. Bei dieser Probe betrug die Umfangsgeschwindigkeit 91 m/s. Das Polrad enthält ein Schwungmoment GD^2 von 12 500 tm^2 (Fig. 19).

Die Generatoren besitzen eine Anzahl durch Druckluft betätigte Bremszylinder, die auf dem unteren Lagerstern aufgebaut sind und auf einen am Polrad befestigten Bremsring wirken. Das Abbremsen aus der vollen Betriebsdrehzahl zum Stillstand kann in ein bis zwei Minuten bewerkstelligt werden. Die Bremsen sind ausserdem im Notfall imstande, die Maschinengruppe stillzusetzen, wenn der Leitapparat der Turbinen nicht schliessen sollte und nur das Turbinenlaufrad in Schlußstellung gebracht werden kann.

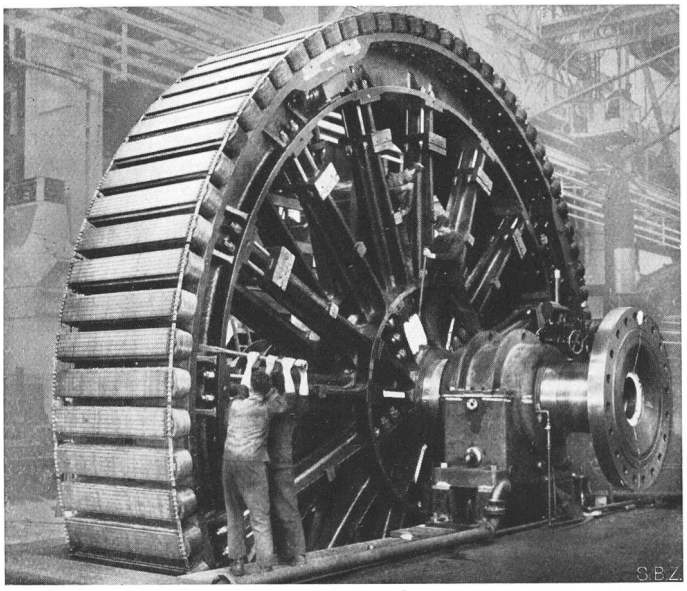

Fig. 19.
Polrad eines Generators in der Werkstatt.

Die Generatoren haben Eigenlüftung und sind, wie bereits erwähnt, vollständig mit einem der Luftkühlung dienenden Blechmantel umgeben. Die Eigenlüftung des Generators wird durch die beidseitig am Polrad angebrachten Ventilationsflügel bewirkt. Die Frischluft tritt auf der Oberwasserseite von oben in den Generator ein, gelangt durch die am Umfange des Stators angebrachten Oeffnungen in den durch den Blechmantel gebildeten Warmluftsammelkanal und steigt durch die zu Warmluftkanälen ausgebildeten Doppelfenster wieder ins Freie (Fig. 20).

Jeder Generator ist mit einer eigenen, direkt auf dem Spurlager aufgebauten Erregermaschine von 370 kW ausgerüstet, die als Nebenschlussmaschine mit Wendepolen gebaut ist. Um den verlangten Reguliergarantien genügen zu können, ist noch ein Hilfserreger für die Erregung des Haupterregers in diesen eingebaut worden.

Fig. 13 zeigt einen Uebersichtsquerschnitt der ganzen Maschinengruppe und die Art ihres Einbaues in den Betonunterbau.

Das Gewicht eines kompletten Generators mit Zubehör beträgt ca. 565 t, wovon ca. 35 t auf Kupfer entfallen. Der Wirkungsgrad bei Vollast von 32 500 kVA wurde garantiert zu 97,3 % bei $\cos\varphi = 1$, zu 96,2 % bei $\cos\varphi = 0{,}8$ und zu 95,5 % bei $\cos\varphi = 0{,}7$. Die entsprechenden gemessenen Werte betragen 97,9 %, 97,2 % und 96,7 % und überschreiten somit die garantierten um 0,8 bis 1,3 %.

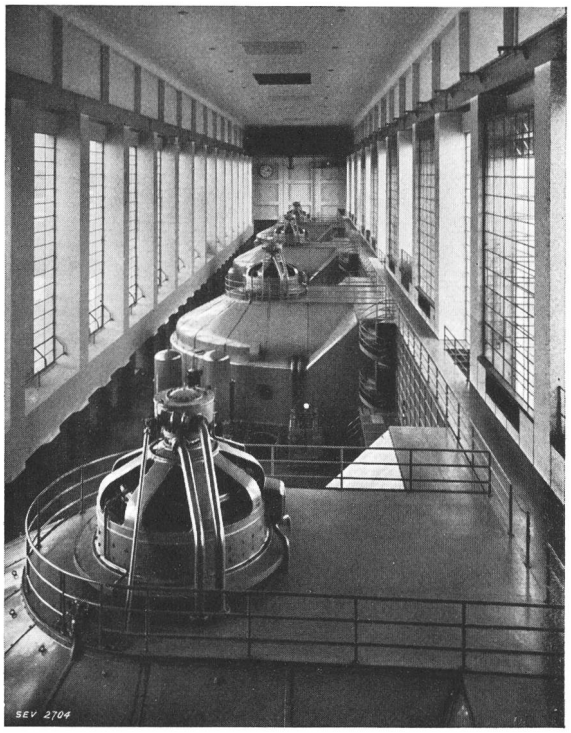

Fig. 20.
Blick in den Maschinensaal.

VII. Transformatoren- und Schaltanlage.

Aufgabe der Schaltanlage.

In der Schaltanlage soll die im Kraftwerk erzeugte Energie an die vier Partner verteilt und Energie unter den vier Partnern ausgetauscht werden. Jeder Partner muss jederzeit über ¼ der im Werk erzeugten Energie in der für ihn erforderlichen Spannung verfügen können, und zwar auch nach Ausserbetriebnahme einzelner Maschinen oder Transformatoren. Der jetzt vollendete erste Ausbau nach Schema Fig. 21 umfasst die Schaltanlage für vier Generatoren und acht abgehende Freileitungen. Im Vollausbau werden 13 Freileitungen in die Schaltanlage einmünden und eventuell zwei Schlupfumformer mit je einem Transformator zur Kupplung asynchroner Netze aufgestellt werden.

Schaltungsmöglichkeiten und allgemeine Anordnung.

Die Energie wird von den vier Generatoren in 10,5 kV mittels Kabeln nach der 200 m vom Maschinenhaus entfernten Maschinenspannungsschaltanlage (Fig. 22 und 23) geleitet, von wo aus sie in normalem Betrieb, ohne Sammelschienen zu benützen, auf die Unterspannungsseite des jedem Generator zugeordneten, im Freien aufgestellten Vierwicklungstransformators gelangt. Eine 10,5-kV-Sammelschienenanlage schafft die Möglichkeit, die Maschinen parallel bzw. auf einen nicht zugeordneten Transformator oder auf einen Belastungswiderstand von 30 000 kW zu schalten. Von den Transformatoren wird die Energie an mehrfach unterteilte, für den Betrieb mit 45, 125 und 150 kV gebaute Doppel-Sammelschienen (Fig. 27) geführt, von welchen die Freileitungen der Partner abzweigen. Die Freiluftanlage umfasst neben den vier Haupttransformatoren einen Reguliertransformator für 48 kV und einen solchen für die 125- und 135-kV-Betriebe, der in beliebiger Richtung in beide Sammelschienen oder in irgendeine der 125- und 135-kV-Freileitungen eingeschaltet werden kann.

Die Kabel zwischen dem Maschinenhaus und der auf dem badischen Ufer liegenden Freiluftanlage sind in einem 440 m langen, durch eine Mittelwand unterteilten und begehbaren Kanal geführt. Ueber dem Kabelkanal steht das 100 m lange Schalthaus, das die Maschinenspannungsschaltanlage, die Schaltanlage für den Eigenbedarf und den Kommandoraum mit allen Nebeneinrichtungen enthält, und weiter östlich ein einstöckiges Gebäude, in welchem die Hochfrequenzeinrichtungen für leitungsgerichtete Telephonie und Fernmessung der Partner untergebracht sind.

Als Nebenanlagen sind eine Montagehalle mit einem Laufkran von 110 t Tragkraft für den Zusammenbau der grossen Transformatoren, eine Oeltankanlage, eine gut eingerichtete Werkstatt und ein Magazingebäude im Norden und Osten der Freiluftschaltanlage noch zu erwähnen.

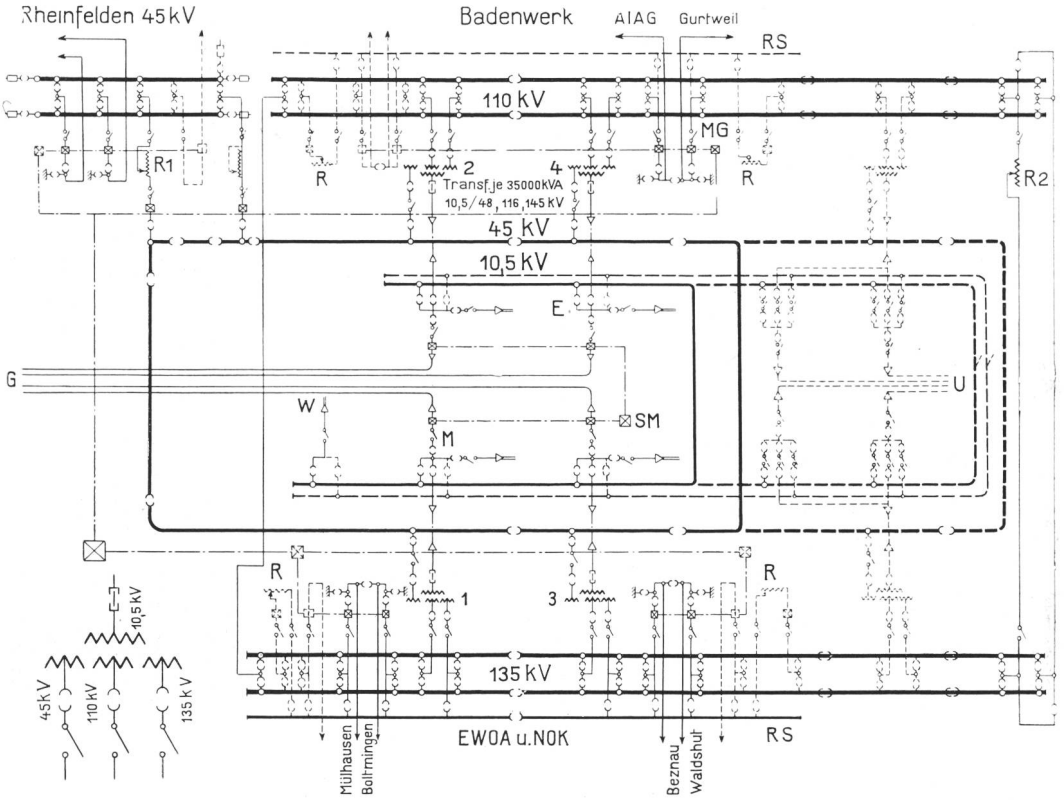

Fig. 21.
Schema der Schaltanlage. Der spätere Ausbau ist gestrichelt.

E Eigenbedarf.
G von den Generatoren.
M Messeinrichtung (die bestehenden Punkte werden später gleich ausgebildet wie die rechts gestrichelten).
R Regulierung.
R_1 Regulierung 45 kV ± 15 %.
R_2 Regulierung 110 oder 135 kV ± 15 %, 35 000 kVA Durchgangsleistung.
RS Regulierschiene.
SM Summenmessung.
U zu den Umformern 12 000 kW.
W Belastungswiderstand.

10,5-kV-Anlageteile.

Für die 10,5-kV-Verbindung zwischen Generatoren und Vierwicklungstransformatoren wurden Dreiphasen-Spezialkabel von 15 kV Nennspannung verwendet, welche aus drei miteinander ohne Bei-

lauf verseilten blanken Einleiterkabeln von je 300 mm² Kupferquerschnitt bestehen; zur Aufnahme der dynamischen Kräfte bei allfälligen Kurzschlüssen ist der dreiphasige Strang mit einer gemeinsamen, offenen Eisenbandarmatur mit Bleibandzwischenlagen versehen. Je fünf solcher Kabelstränge sind für die Uebertragung der Leistung eines Generators parallel geschaltet. Fig. 22 zeigt den Querschnitt des Kabelkanals und die Art der Kabelverlegung auf Tablaren aus armiertem Beton.

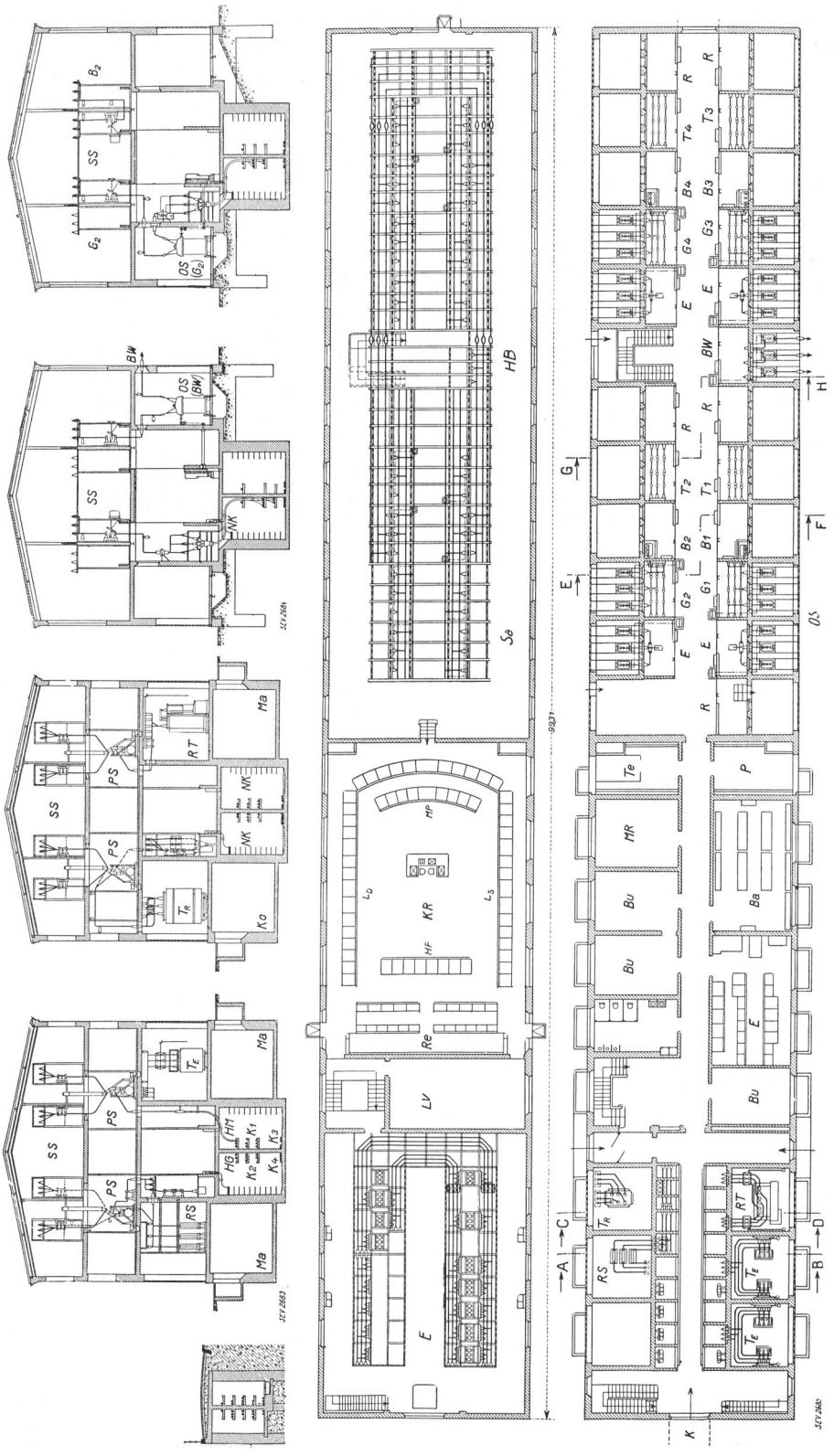

Fig. 22.
Querschnitte (Maßstab 1 : 400) und Grundrisse (Maßstab 1 : 500) durch das Schalthaus mit der 10,5-kV-Anlage für Hauptbetrieb und Eigenbedarf.
Links oben: Querschnitt des Kabelkanals zwischen Maschinen- und Schalthaus (Maßstab 1 : 400).

Ba Batterieraum.
Bu Bureau.
*B*₁ bis *B*₄ Brücken zwischen Generatoren- und Transformatorenfelder.
BW Feld des Belastungswiderstandes.
E Eigenbedarf.
*G*₁ bis *G*₅ Generatorenfelder.
HG Hilfsdienstkabel von den Generatoren.
HM Hilfsdienstkabel zum Maschinenhaus.
HP Hilfsdienstpulte.
K Kabelkanal.
*K*₁ bis *K*₄ Kabel der Generatoren.
KR Kommandoraum.
Ko Kompressorenraum für Pressluftschalter.
LV Später Lastverteilung.
Ls Leitungsfelder der schweizerischen Partner.
LD Leitungsfelder der deutschen Partner.
Ma Magazinraum.
MP Maschinenpulte.
MR Messraum.
NK Niederspannungskabel.
OS Oelschalter.
P Aufenthalsraum für das Personal.
PS Pressluftschalterraum.
R Reservefeld.
RS Reaktanzspulen.
RT Reguliertransformator 1500 kVA, 10 000 + 10 · 150 /10 500 V.
Re Relaistafeln.
SS Sammelschienenraum.
*T*₁ bis *T*₄ Transformatorenfelder.
Te Telephonautomat.
TR Transformatoren für Eigenbedarf 100 und 300 kVA.
TE Transformator 6400/10 500, Zuleitung von Rheinfelden.
HB Hauptbetrieb.
Sa Sammelschienen.

Zur Ableitung der von den Kabeln erzeugten Wärme während der Sommerperiode dienen zwei Ventilatoren, die über dem östlichen Kanalende eingebaut sind.

Oelschalter für die Eigenbedarfsabzweige und ein Schalter für den Belastungswasserwiderstand mit je einer Abschaltleistung von 1000 MVA, die Strom- und Spannungswandler für die Messung der erzeug-

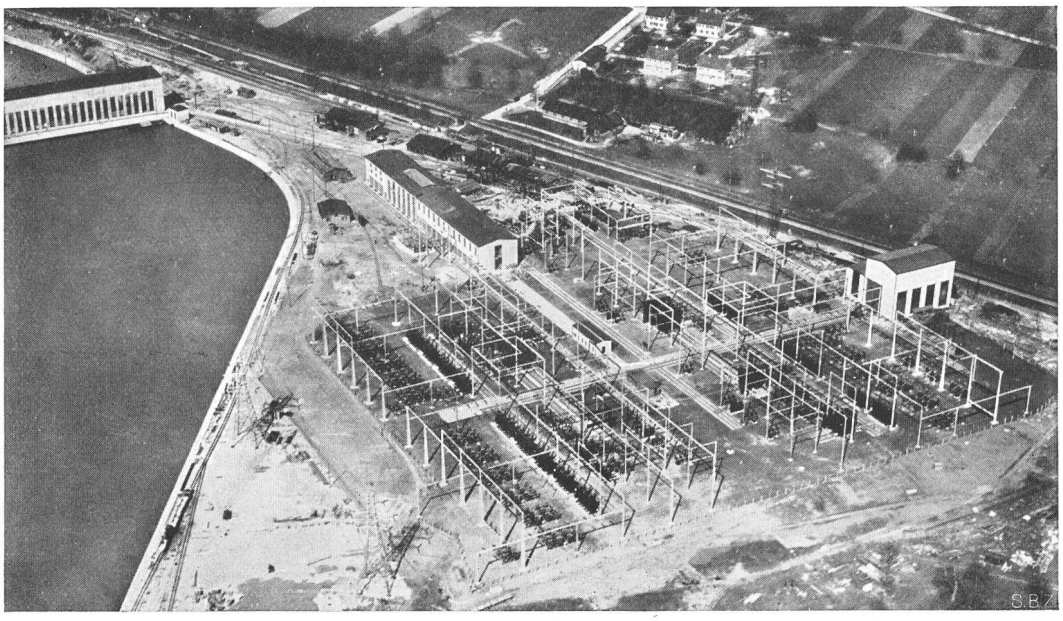

Fig. 23.
Fliegerbild der gesamten Schaltanlage am badischen Ufer, aus Südosten gesehen.

Die räumliche Verteilung der im Schalthaus untergebrachten Anlageteile ist aus Fig. 22 ersichtlich. In der 10,5-kV-Hauptschaltanlage (Fig. 24) sind vier Oelschalter für die Generatoren, vier

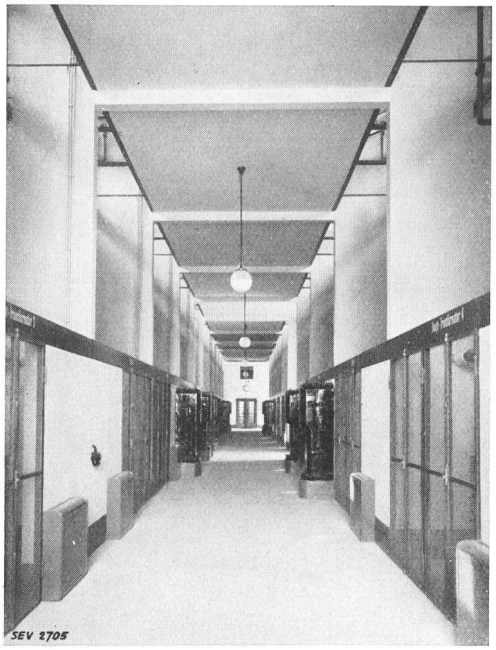

Fig. 24.
Bedienungsgang der 10,5-kV-Hauptschaltanlage.

ten Energie, sowie die 10,5-kV-Sammelschiene und die Kabelanschlussfelder vorhanden.

Für die Eigenbedarfsversorgung des Werkes (Fig. 25) sind insgesamt acht Transformatoren

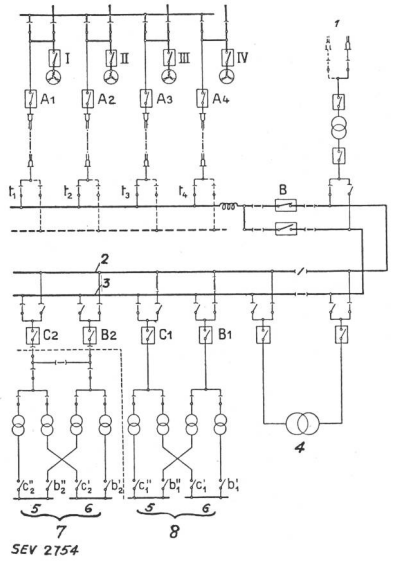

Fig. 25.
Schema der Anlage für den Eigenbedarf.

1 Abzweig Rheinfelden.
2 Sammelschiene *B*.
3 Sammelschiene *C*.
4 Reguliertransformator.
5 Kraft.
6 Licht.
7 Maschinenhaus.
8 Schalthaus.

10 500/380/220 V, 50 Per./s, mit Leistungen von 100 bis 1000 kVA, ein Transformator 6,3/10,5 kV von 1000 kVA und ein Regulier-Autotransformator von 1500 kVA Durchgangsleistung mit Lastschalter aufgestellt. Abgesehen von einer Verteilstation im Trennpfeiler, die zwei dieser Transformatoren mit einer Leistung von je 1000 kVA für Kraftbetrieb und zwei mit je 100 kVA für die Lichtversorgung von Maschinenhaus und Wehr nebst den zugehörigen Schalteinrichtungen enthält, sind alle Transformatoren, eine Strombegrenzungsdrosselspule und die 10,5-kV-Eigenbedarfsschalter und Sammelschienen im westlichen Flügel des Schalthauses untergebracht. Die Schalter sind ohne Oel arbeitende Druckgasschalter der AEG (Fig. 26) mit einer Abschaltleistung von 300 MVA; den zur Betätigung nötigen Luftdruck von 15 atü erzeugt eine Kompressorenanlage im Keller des Schalthauses.

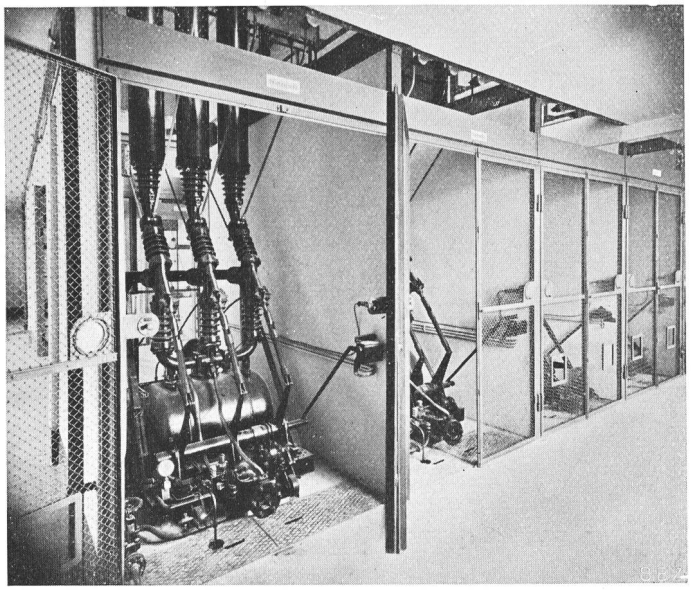

Fig. 26.
Druckgasschalter 10,5 kV der AEG in der Eigenbedarfsanlage.

Für die Speisung des Eigenbedarfs wurden weitgehende Reserven und Automatisierungen geschaffen. Die vor der Reaktanzspule liegende Eigenbedarfszuführungsschiene kann von jedem Generator gespeist werden; bei Ausserbetriebsetzung oder Auslösung eines Generators wird automatisch die betreffende Zuleitung unterbrochen und gleichzeitig der Eigenbedarf automatisch auf den nächsten in Betrieb befindlichen Generator geschaltet.

Ferner ist noch eine 6,5-kV-Fremdstromzuleitung vom K. W. Rheinfelden sowie ein 110-kW-Dieselmotor mit Drehstromgenerator, letzterer nur für den Betrieb der Schützenwindwerke ausreichend, vorhanden.

Die Verteilstation im Trennpfeiler ist über zwei 10,5-kV-Kabel an die Eigenbedarfsanlage im Schalthaus angeschlossen; jedes Kabel kann allein die Speisung dieser Station übernehmen.

Als Gleichstromquelle ist eine Akkumulatorenbatterie mit einer Kapazität von 260 Ah aufgestellt. Die Spannung beträgt 220 V. Zur Ladung der Batterie ist ein Glasgleichrichter und als Reserve ein rotierender Umformer vorhanden. Nebst den verschiedenen Steuerkreisen ist an die Batterie die Notbeleuchtung als eine Phase der normalerweise

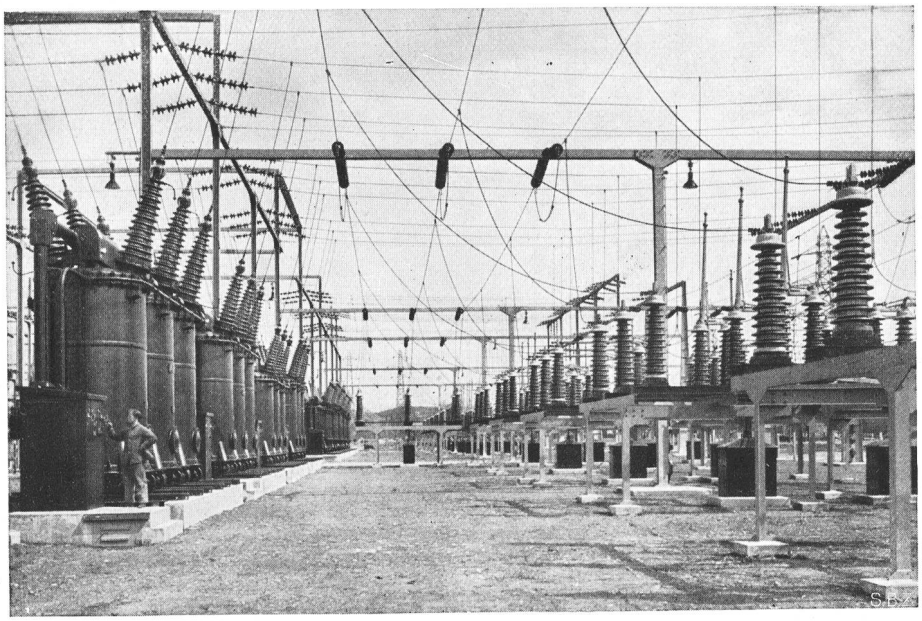

Fig. 27.
Oelschalter (links), und Trennschalter (rechts) der 150-kV-Anlage.

dreiphasig gespeisten Beleuchtungsanlage angeschlossen, die bei Störung automatisch von Drehstrom auf Gleichstrom umgeschaltet wird.

Freiluftschaltanlage.

Die Schalteinrichtungen und abgehenden Leitungen eines jeden Partners sind in je einem Vier-

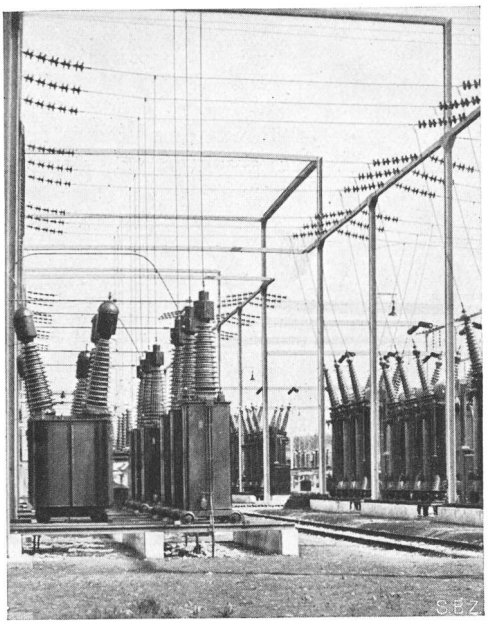

Fig. 28.
Spannungs- und Stromwandler, rechts Oelschalter der 150-kV-Anlage.

tel der Freiluftschaltanlage zusammengefasst, so dass überall die Erweiterungsmöglichkeit gewahrt ist; alle Oelschalter und Trennschalter sowie die Messwandler sind in einer Ebene, die verschiedenen Sammelschienen und stromführenden Leiter in 9, 13 und 17 m Höhe angeordnet. Zur Abspannung und Aufhängung dieser Leiter wurden ausschliesslich Motor-Isolatoren mit zwei keramischen Schirmen verwendet (Fig. 27 und 28).

Die 45-kV-Oelschalter sind für eine Abschaltleistung von 1000 MVA, die 125- und 150-kV-Schalter für 1500 MVA ausgeführt.

Die eisernen Traggerüste der Freiluftschaltanlage sind als Vollwandkonstruktion aus Breitflanschträgern hergestellt und nach Bedarf durch auf- oder eingeschweisste Bleche verstärkt; sie wurden auf der Baustelle nach dem Metallspritzverfahren verzinkt. Alle eisernen Gerüste wirken zusammen als Rahmenkonstruktion und sind innerhalb der Anlage mit Stahlseilen unter sich verspannt.

Transformatoren.

Für die Belieferung der vier Partner in drei verschiedenen Oberspannungen (ca. 45, 110 und 135 kV) wurden Vierwicklungstransformatoren gewählt, um für die ganze Anlage mit der gleichen Bauart auszukommen und trotzdem jedem Partner bei Ausfall eines Transformators den ihm zustehenden Energieanteil weiterhin abgeben zu können. Dementsprechend muss zeitweise die Energie eines Generators von der Unterspannung nicht nur auf eine, sondern gleichzeitig auf zwei oder drei Oberspannungen transformiert werden. Man kann auch die Leistung eines Generators auf einer Oberspannung abgeben und gleichzeitig über die beiden andern Oberspannungswicklungen noch 35 000 kVA verschieben; diese Betriebsweise bedingt zur Abführung der grösseren Verluste eine leicht durchführbare Vergrösserung der Kühler.

Die Transformatoren sind für eine normale Abgabeleistung von 32 500 kVA in jeder Wicklung, dauernd überlastbar bis mindestens 35 000 kVA, gebaut, mit einem Leerlaufübersetzungsverhältnis von 10,5 kV primär auf 48/116/145 kV sekundär, mit je zwei Anzapfungen ± 5 % an den 116- und 145-kV-Wicklungen, in spannungslosem Zustande mittels Anzapfschaltern umschaltbar. Die 10,5-kV-Wicklung ist in Dreieck, die drei Oberspannungswicklungen sind in Stern mit vollisoliertem, herausgeführtem Nullpunkt geschaltet. Die Kurzschlussspannungen zwischen den einzelnen Wicklungen variieren zwischen 7,5 % und 9 % für fünf Wicklungskombinationen; für die Uebersetzung 116/145 kV wurde eine Kurzschlußspannung von 16 % gewählt, um zwischen den starken Netzen die Kurzschlussleistung zu begrenzen. Die Transformatoren, für Freiluftaufstellung gebaut, lassen eine dauernde 10prozentige Spannungsüberlastung zu und entsprechen bezüglich Erwärmungen, Prüfspannungen usw. den Vorschriften des VDE, RET 1930; sie besitzen

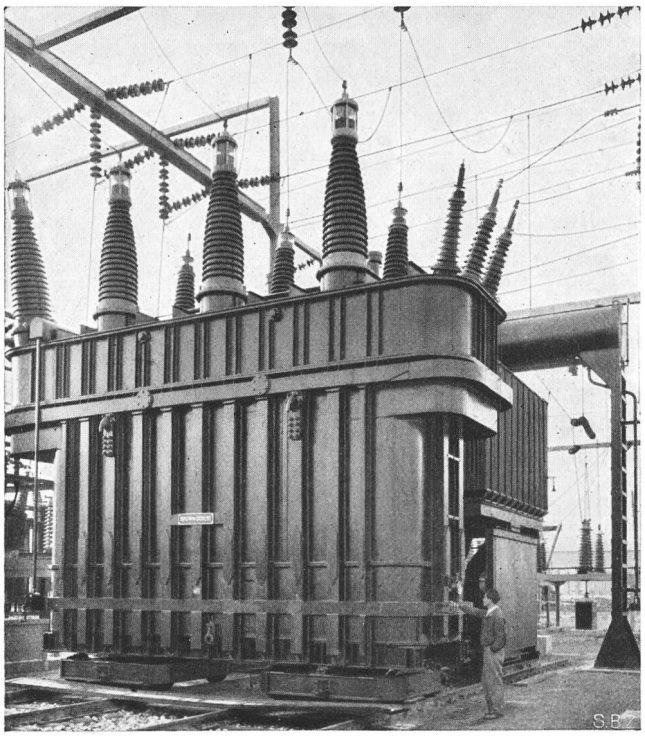

Fig. 29.
Vierwicklungs-Transformator von BBC für 32 500 kVA; dahinter Kühlergruppe.

separat aufgestellte zweiteilige Kühlerbatterien mit Belüftung durch Niederdruckventilatoren. Der Oelumlauf erfolgt auf natürliche Weise ohne besondere Pumpe.

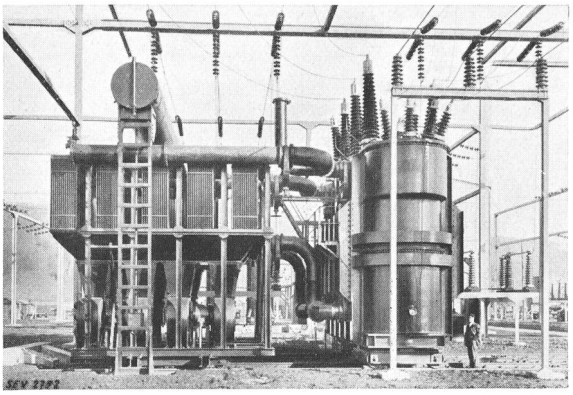

Fig. 30.
Vierwicklungs-Transformator der Maschinenfabrik Oerlikon für 32 500 kVA, mit seiner Kühlergruppe.

Die Wirkungsgrade variieren bei $\cos \varphi = 1$ zwischen 98,82 % und 98,98 % für die verschiedenen Wicklungskombinationen, und bei $\cos \varphi = 0{,}7$ zwischen 98,32 % und 98,44 %.

Die rund 200 t schweren Transformatoren besitzen je zwei Drehgestelle und werden durch einen Raupenschlepper auf den eigenen Rollen und auf einem besonders stark konstruierten Geleise von der Montagehalle nach ihrem Standort gebracht, wobei der Fahrtrichtungswechsel von 90° durch Umstellen der Drehgestelle vorgenommen wird.

Fig. 29 zeigt den Transformator von BBC und Fig. 30 jenen der MFO; in Fig. 31 ist der aktive Teil eines solchen Transformators ersichtlich.

Ausser den Vierwicklungstransformatoren sind in der Freiluftschaltanlage noch zwei Regulier-Autotransformatoren mit natürlicher Luftkühlung und ferngesteuertem Lastschalter aufgestellt, beide mit einer Durchgangsleistung von 32 500 kVA, dauernd überlastbar bis 35 000 kVA in allen Stufen. Der eine Transformator, der zur Spannungsregulierung bei einem eventuellen Zusammenschluss der deutschen mit den schweizerischen Partnern sowie zur Regulierung einer einzelnen 110- oder 145-kV-Leitung dient, besitzt ein Leerlaufübersetzungsverhältnis von 145/145 ± 8·2,84 kV. Entsprechend der vorgesehenen Verwendung ist der Transformator auch zur Durchgabe der vollen Leistung bei einer Spannung von 116 kV bemessen, wobei die Stufenspannung auf 2,27 kV sinkt. Der zweite Regulier-Autotransformator mit der Leerlaufübersetzung 48/48 ± 10·ca. 1,01 kV ist für den Zusammenschluss des Netzes der KWR mit denen der übrigen Partner vorgesehen.

Kommandoraum.

Der Kommandoraum im Obergeschoss des Schalthausmittelbaues vereinigt auf einer Grundfläche von 14·22 m mit darunterliegendem Kabelverteilraum alle für die Führung und Ueberwachung des Betriebes notwendigen Apparate, Relais und Signaleinrichtungen (Fig. 32).

Hinter den rückseitig offenen, ca. 2,4 m hohen, in Hufeisenform angeordneten Schalt- und Messtafeln für die Generatoren und Partner-Einrichtungen verbleibt eine freie Passage mit Zugang zur 10,5-kV-Hauptschaltanlage. Der Bogen des Hufeisens enthält die Messtafeln der Generatoren, das Rückmeldeschema der gesamten Hochspannungsanlagen sowie Synchronisier- und Erdschlussprüfeinrichtungen; in dem einen Hufeisenschenkel sind die Betätigungsapparate und anzeigenden Messinstrumente für die Schweizer Partner, im andern Schenkel jene der deutschen Partner untergebracht. Vor den Generatoren-Messtafeln ist das Generatoren-Schaltpult placiert, auf welchem auch noch die Betätigungsapparate für den Wasserwiderstand und eine optische Signaleinrichtung für rasche Störungsfeststellung untergebracht sind. Gegenüber steht das Schaltpult für den Eigenbedarf und die den

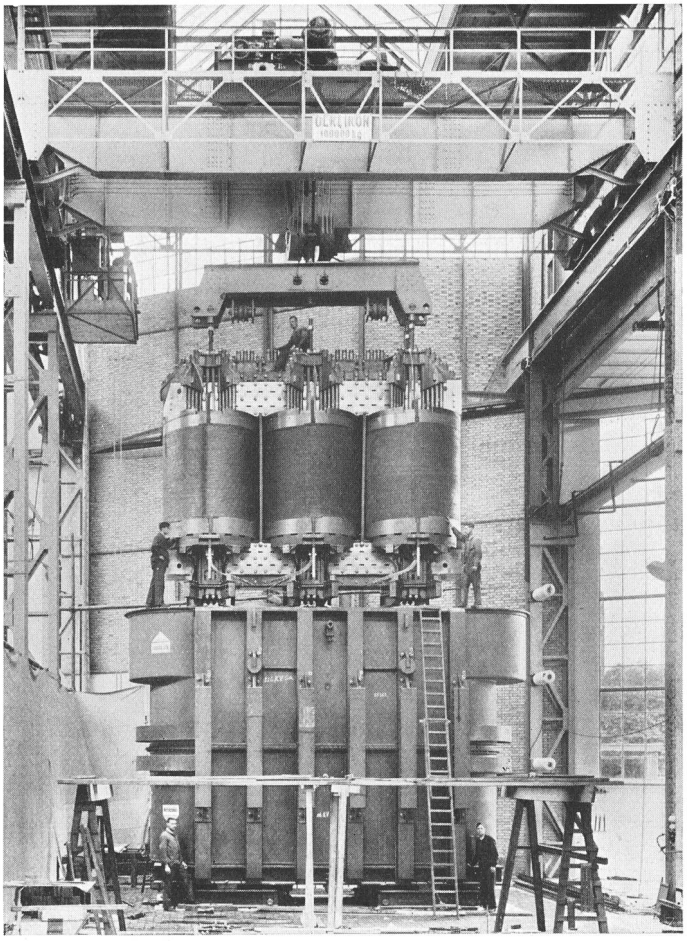

Fig. 31.
Oerlikon-Transformator beim Einsetzen in den Kessel.

Abschluss des eigentlichen Kommandoraumes bildende Tafel, auf der sämtliche Signale sowie ein Pegelregistrierinstrument vereinigt sind; dahinter befinden sich die Distanzrelais und die registrierenden Instrumente für die abgehenden Freileitungen.

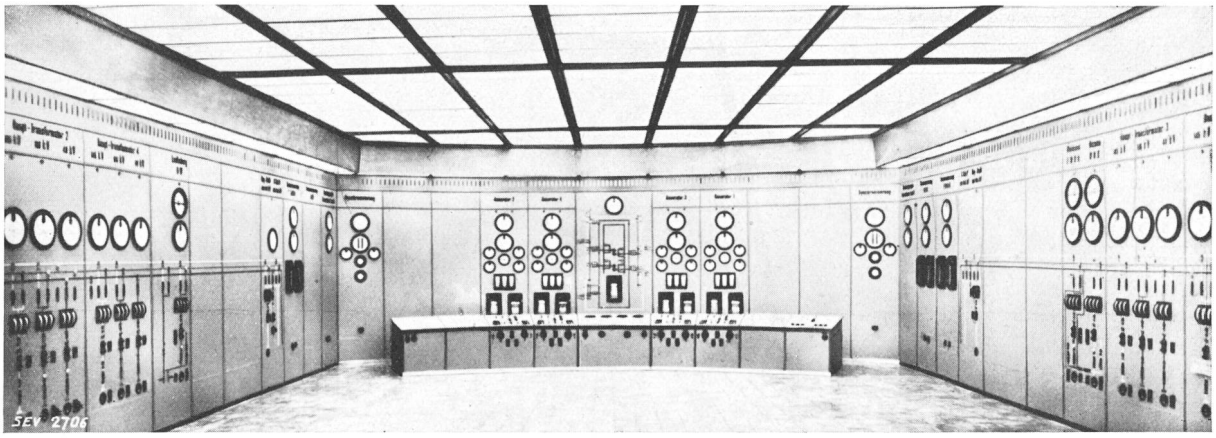

Fig. 32.
Kommandoraum. Blick gegen das Generatorenpult. Links und rechts Transformatoren- und Freileitungs-Felder.

Im Kabelverteilraum sind sämtliche Zähler einschliesslich Summenzählern und Maximumzeigern, die Relais für die automatische Umschaltung des Eigenbedarfs sowie in besonderm Glasabschluss die Messumformer und die Perioden-Kontrolleinrichtungen für die Uhrenanlage untergebracht.

Messung und Zählung der Energie.

Um die Energieverteilung ständig überwachen und auch nachträglich kontrollieren zu können, ist eine umfangreiche Messanlage vorhanden, die aus anzeigenden und registrierenden Einzel-Mess- und Zähleinrichtungen für Wirk- und Blindleistung und aus einer Summenmessung und Summenzählung für Wirkleistung besteht. Zwei Summenmess- und Zähleinrichtungen bilden die Summe der von allen Generatoren erzeugten und der an alle Partner insgesamt abgegebenen Energie, vier weitere gleiche Einrichtungen bilden die Summen der an jeden Partner über die verschiedenen Freileitungen abgegebenen Energie. Die Bildung der verschiedenartigen Summen asynchroner Betriebe erfolgt für die anzeigenden und registrierenden Instrumente nach dem AEG-Kompensationssystem, die Summenzählung nach dem AEG-Impuls-System; beide Systeme sind für die Fernübertragung der gemessenen Werte geeignet.

Neben der Bildung der Wirkarbeitssummen der einzelnen Partner mittels der kWh-Zähler mit gleichzeitiger Maximumanzeige wird die Gesamtwirkarbeitsdifferenz (Lieferung minus Bezug im Energieaustausch) gebildet, so dass jederzeit die Energieverhältnisse klar ersichtlich sind. Für die Zählung der Wirkarbeit der Freileitungen sind Kontrollzähler vorhanden. Abgesehen von den Zählern bei den Generatoren, deren Wirkarbeitssumme ebenfalls nach dem vorstehend genannten Verfahren gezählt wird, sind sämtliche Zähler für Doppeltarif ausgeführt.

Ein S & H-Fernmessgeber übermittelt die Wirkleistungswerte einer Fernleitung an zwei Kraftwerke der NOK; dieser Geber arbeitet nach dem Impuls-Frequenzverfahren und gibt die Impulse über einen Telefunken-HF-Meßsender weiter. Es bleibt noch zu erwähnen, dass auch im Maschinenhaus bei jedem Generator die für den Betrieb wichtigen elektrischen Messinstrumente nebst den Spannungsreglern vorhanden sind.

Schutzeinrichtungen.

Für den Schutz der Haupttransformatoren wurden Buchholzrelais und Differentialschutzeinrichtungen in der üblichen Ausführungsform mit gleichartigen, wie die Haupttransformatoren geschalteten Hilfstransformatoren und normalen Stromdifferentialrelais eingebaut. Bei den Regulier-Transformatoren für 48 und 145 kV wurde neben dem Buchholzrelais ein von der AEG neu entwickelter Differentialschutz angewendet, der an die Eigenschaften des Regulier-Transformators sich anpassend eine gewisse Ungenauigkeit der Wandlerabgleichung ohne Einbusse an Selektivität und Empfindlichkeit zulässt.

Der Sammelschienenschutz wird von vier Sätzen AEG-Distanzrelais pro Vierwicklungstransformator übernommen. Auf jeder Seite des Transformators ist ein Relaissatz zwischen Sammelschiene und Transformator vorhanden, der auf den zugehörigen Oelschalter wirkt. Da die 10,5-kV-Seite keinen Schalter besitzt, werden bei Kurzschlüssen auf der 10,5-kV-Sammelschiene die drei oberspannungsseitigen Oelschalter des betreffenden Transformators durch ein vom 10,5-kV-Relais betätigtes Zwischenrelais ausgeschaltet. Um die kostspielige Verwendung der Spannungswandler auf der Oberspannungsseite der Transformatoren zu vermeiden, wurde zur Spannungsgewinnung für die Relais nur je ein Spannungswandler auf der Unterspannungsseite eingebaut. Die Schaltung der Transformato-

ren sowie die durch die Eigentümlichkeit der Spannungsgewinnung bedingten Impedanzverhältnisse fanden bei der Auslegung der Distanzrelais entsprechende Berücksichtigung.

Der Schutz der abgehenden Freileitungen wird gleichfalls von AEG-Distanzrelais übernommen, wobei hinsichtlich der Charakteristik auf genügende Staffelung gegen die für den Sammelschienenschutz eingebauten Relais geachtet ist.

Die Bereitschaft der Schutzeinrichtungen wird kontrolliert durch AEG-Schutzkreiswächter. Diese Apparate melden selbsttätig das Ansprechen des Schutzkreises und das Auftreten von Fehlern im Schutzkreis, wie Ausbleiben der Betätigungsspannung, Leitungsbruch, Kontaktlockerung oder Doppelerdschluss.

Maschinenspannungs-Regulier einrichtungen.

Zur automatischen Einhaltung der gewünschten Generatorenspannung dient ein neuartiger Kohlendruckregler, der von einem BBC-Schnellregler normaler Bauart über Solenoide gesteuert wird; der Kohlendruckregler setzt die ihm vermittelten Druckänderungen in entsprechende Widerstandsänderungen um. Die Anlage ist so eingestellt, dass in einer Sekunde 40 % der Nennspannung aufgebaut werden.

Die Einstellung der gewünschten Generatorspannung erfolgt, wie üblich, mittels Widerständen, die auf das Drehsystem der Schnellregler einwirken. Diese Widerstände sind beim Schnellregler im Maschinenhaus eingebaut und besitzen neben dem Handantrieb auch Motorantrieb, so dass sie wie die Magnetfeldwiderstände vom Kommandoraum aus ferngesteuert werden können; die jeweilige Stellung der Schnellregler wie auch die der Magnetfeldwiderstände wird überdies in den Kommandoraum rückgemeldet. Auf diese Art konnte die Beeinflussung der für den Betrieb wichtigen Grössen nach dem Kommandoraum verlegt werden, ohne kostspielige und den Betrieb gefährdende Erregerleitungen auf grosse Strecken hin- und zurückführen zu müssen.

Synchronisierung.

Angesichts der vielen Schaltmöglichkeiten ist für die Synchronisierung nur eine solche Einrichtung möglich, bei der in einfachster und übersichtlicher Form ohne grosse Ueberlegungen ein Schaltmanöver schnell und sicher durchgeführt werden kann. Dies wurde erreicht durch die einphasige Nachbildung der Primärschaltung auf den Schaltfeldern, in der unabhängig von den verschiedenen Primärspannungen der Transformator lediglich als Knotenpunkt erscheint (Fig. 33). Sämtliche Oelschalter und Trenner besitzen Hilfskontakte an den Schalterwellen, so dass nach Herstellung der Primärschaltung bis zur Parallelschaltung auch die Synchronisierschaltung bis auf das Stecken der notwendigen Stecker fertiggestellt ist. Falschschaltungen sind so gut wie ausgeschlossen, da dem Personal nur ein unverwechselbarer dreipoliger Oelschalterstecker und zwei Spannungswandlerstecker zur Verfügung stehen. Die Einschaltspulen der nicht gesteckten Schalter sind blockiert. Für die Sichtbarmachung der Phasenlagen sind zwei Synchronoskope vorhanden.

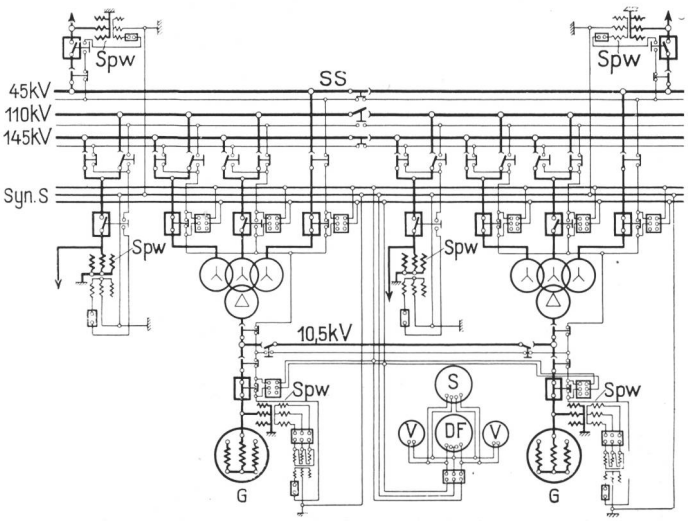

Fig. 33.
Schema der Synchronisierungseinrichtungen.

DF Doppelfrequenzmesser. *V* Voltmeter.
G Generator. *SS* Sammelschienen.
Spw Spannungswandler. *Syn. S* Synchronisierschienen.
S Synchronisator.

Telephonanlage.

Die grosse Ausdehnung der Kraftwerksanlage und der Umstand, dass vier verschiedene, auf zwei Länder verteilte Netze beliefert werden müssen, erforderten ziemlich umfangreiche Telephonanlagen.

Es wurden drei Gruppen von Sprechstellen mit grundsätzlich verschiedenen Verbindungsmöglichkeiten geschaffen: Die erste Gruppe dient ohne Anschlussmöglichkeit nach aussen ausschliesslich dem internen Werksverkehr; die zweite Gruppe umfasst die betriebswichtigen Stellen, die unter sich, mit den Apparaten der übrigen beiden Gruppen und über die Amtsleitungen sprechen können; die dritte Gruppe sind die Anschlüsse der Partner, die nur unter sich und mit den Anschlüssen der zweiten Gruppe verbunden werden können.

Je eine deutsche und eine schweizerische Amtsleitung verbinden das Kraftwerk mit den öffentlichen Telephonnetzen beider Länder.

Für den Werkverkehr dient ein Telephon-Vorwählerautomat für 100 Anschlüsse, wovon ca. 55 ausgebaut sind; an diesen ist jeder Partner mit vorläufig einer privaten Leitung angeschlossen, und zwar die K. W. Rheinfelden und die E. W. Olten-Aarburg A.-G. mittels Erdkabel, das Badenwerk und die NOK mittels Hochfrequenztelephonie. Diese Partneranschlüsse endigen einerseits im Tele-

phonautomat, anderseits auf zwei Bedienungsplatten auf dem Schreibpult im Kommandoraum, wo sie entweder direkt besprochen oder auf andere Stationen durchgeschaltet und überwacht werden können. Ausser den Partnern ist auch die Kraftwerksverwaltung in Rheinfelden/Aargau direkt an den Automaten im Werk angeschlossen, und zwar mit einem 20paarigen Erdkabel; ein Teil der Adern ist für die Uebermittlung von Messwerten vorgesehen.

Uhrenanlage.

Zur Vermeidung von Gangunterschieden ist für den Antrieb sämtlicher Wand- und Schaltuhren sowie für den Vorschub der Registrierinstrumente ein kleiner Synchronmotor in jeden einzelnen Apparat eingebaut. Alle diese Synchronmotoren werden von einem gemeinsamen Umformer gespeist, der durch einen Präzisionsregler auf konstant 50 Per./s gehalten wird. Kleinere Abweichungen von der genauen Zeit werden von Hand ausreguliert. Zur Kontrolle der von den Synchronuhren angezeigten Zeit mit der astronomischen Zeit sind zwei Periodenkontrolluhren eingebaut, die zwei übereinander laufende Minutenzeiger besitzen, von denen der eine von einem astronomischen Uhrwerk und der andere durch einen Synchronmotor angetrieben wird. Gangunterschiede in den beiden Zeitsystemen werden dadurch angezeigt, dass die beiden Minutenzeiger nicht übereinander stehen. Von dem Gleichstrommotor des oben erwähnten Umformers werden auch die Generatoren angetrieben, welche die Gleichstromhilfsspannungen für die Summenmessung und Summenteilung erzeugen. Ein Reserveumformeraggregat sowie Schutz- und automatische Umschalteinrichtungen sorgen dafür, dass auch bei Störung diese für die Mess-, Zähl- und Uhrenanlage erforderlichen Hilfsströme zur Verfügung stehen.

Weitere Literatur.

Aus den zahlreichen bisher erschienenen Veröffentlichungen über das Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt seien im folgenden einige erwähnt, welche einzelne Bauteile im besonderen betreffen:

Die Verhütung schädlicher Kolke bei Sturzbetten. Von Th. Rehbock, Karlsruhe. «Der Bauingenieur», Berlin. Vom 27. Januar 1928.

Fangdammsprengung in Ryburg-Schwörstadt. Von E. Wiesmann, Zürich. «Hoch- und Tiefbau», Zürich. Vom 15. November 1930.

Die Telephonanlage des Kraftwerkes Ryburg-Schwörstadt. Von J. Sonderegger, Zürich. «Schweizer. Wasser- und Elektrizitätswirtschaft», Zürich. Vom 25. November 1930.

Versuche mit einem grossen Luft-Oelkühler für Transformatoren. Von P. Güttinger. «Bulletin Oerlikon». Vom Dezember 1930.

Abnahmeversuche an den Turbinen des Kraftwerkes Ryburg-Schwörstadt. Von S. Bitterli, Rheinfelden. «Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure», Berlin. Vom 28. März 1931.

Die 32 500-kVA-Dreiphasen-Stromerzeuger für das Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt. «Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure», Berlin. Vom 23. Mai 1931.

Zusammenbaukrane für das Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt. «Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure», Berlin. Vom 23. Mai 1931.

Dreiphasen-Vierwicklungstransformator für Ryburg-Schwörstadt. Von H. Schneider. «Bulletin Oerlikon». Vom Mai 1931.

Schleuderversuche am Polrad des ersten Grossgenerators der Kraftwerkanlage Ryburg-Schwörstadt. Von K. Kupper. «Brown Boveri-Mitteilungen», Baden (Schweiz). Vom Juni 1931.

Die Turbinen des Rheinkraftwerkes Ryburg-Schwörstadt. Von der Turbinenbau-Arbeitsgemeinschaft Ryburg-Schwörstadt. «Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure», Berlin. Vom 10. September 1931.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Besuch in den Werkstätten der Escher Wyss Maschinenfabriken A.-G., Zürich.

Die neue Leitung der Escher Wyss Maschinenfabriken A.-G. hatte in verdankenswerter Weise in der Woche vom 18. bis 23. Juli Vertreter der Hochschule, der Technikerschaft und der Presse zu einer Besichtigung ihrer Etablissements eingeladen, um den Fachkreisen zu zeigen, dass und wie in der Firma nach der finanziellen Rekonstruktion gearbeitet wird. Der neue Leiter des Unternehmens, Herr Hauptdirektor Huguenin, der den älteren Kunden von Escher Wyss kein Unbekannter ist, begrüsste die Anwesenden, erklärte kurz das Wesentliche dessen, was in den Werkstätten zu sehen ist und gab der Erwartung Ausdruck, dass es trotz der Ungunst der Zeiten gelingen werde, dem Namen Escher Wyss, der ja seit vielen Dezennien einen internationalen Ruf geniesst, mit neuen technischen und administrativen Mitteln, aber auf der soliden Basis der altbewährten Tradition zu neuem Glanz und Erfolg zu bringen. Es war der aufrichtige Wunsch wohl aller Anwesenden, dass sich dieser schöne Optimismus, der heute in unserer ganzen Wirtschaft nötiger ist als je, bewähren werde.

Unter der Führung der Herren Direktor Maas und Oberingenieur Moser wurde dann ein äusserst instruktiv vorbereiteter Rundgang durch die Werkstätten angetreten, wobei man gleich als allgemeinen Eindruck den einer lebhaften Tätigkeit erhielt, die in der *Turbinenabteilung* gar nicht zu der vielbeklagten allgemeinen Arbeitslosigkeit zu passen schien. Für denjenigen, der längere Zeit die Fabrik nicht mehr gesehen hatte, fiel besonders die Neuartigkeit der Formen und die imposante Grösse der Abmessungen der Objekte auf. Sah man früher hauptsächlich die relativ einfachen Rotationskörper von Francis- und Peltonrädern und dann etwa noch ein grosses gegossenes oder geschweisstes Spiralgehäuse, so sind es heute die fast phantastisch anmutenden Flügel- und Regulierorgane der Kaplanturbinen und der dazugehörigen gewaltigen Gehäuse, die das Feld zu beherrschen scheinen. Escher Wyss hat diesen neuen Turbinentyp in den letzten Jahren besonders entwickelt; gegenwärtig sind 10 grosse derartige Turbinen in Arbeit: 3 zu 8000 kW für Wettingen, 3 zu 28 000 kW für Albbruck-Dogern, 2 zu 15 000 kW für Klingnau, und 2 zu 1250 kW für das neue Limmatwerk Dietikon der EKZ. Im interessantesten Stadium der Ausführung sind eben die 3 Turbinen für Albbruck-Dogern für rund 28 000 kW, 11,5 m Gefälle und 75 U/m, welche je 300 m^3/s, d. h. das mittlere Hochwasser der Limmat bei Zürich schlucken, und die dritte der Turbinen für das Kraftwerk Wettingen, die allerdings «nur» rund 8000 kW leisten, bei 214 U/m, dafür aber unter dem höchsten bisher je für