Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 18 (1927)

Heft: 1

Artikel: Wasserkraftanlagen der Bernischen Kraftwerke A.-G. in Bern : das Elektrizitätswerk Mühleberg : mechanisch-elektrischer Teil

Autor: [s.n.]

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060438

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: 03.10.2025

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

Wasserkraftanlagen der Bernischen Kraftwerke A.-G. in Bern.

Das Elektrizitätswerk Mühleberg.

Mechanisch-elektrischer Teil.

Von der *Maschinen- und techn. Betriebs-Abteilung der Bernischen Kraftwerke A.-G.* (B. K. W.).

621.312.134(494)

Die allgemeine Beschreibung mit besonderer Berücksichtigung des baulichen Teiles des Elektrizitätswerkes Mühleberg ist im Mai und Juni 1926 in der „Schweiz. Bauzeitung" erschienen. Im folgenden Aufsatz sind die mechanischen und elektrischen Anlagen des Werkes beschrieben.

Das Kraftwerk Mühleberg ist zurzeit mit 6 Turbinengeneratorengruppen für total 48 600 PS Turbinenleistung, bei 240 m³/sek Schluckvermögen ausgebaut und nützt die 17,5 km lange Gefällsstufe des Aareflusses vom Felsenauwerk des E. W. der Stadt Bern bis zur Saanemündung aus. Durch das Stauwerk, das in das Ueberfallwehr und das Einlaufbauwerk des Maschinenhauses gegliedert ist (siehe Fig. 1), wird die Aare um rund 18 m aufgestaut. Der aus dem alten Flusslauf gebildete Stausee enthält 9,5 Mill. m³ nutzbare Wasserreserve, entsprechend einer Energiemenge von 300 000 kWh. Die Wasserführung der Aare kann von 40–500 m³/sek variieren. Bei Mittel- und Niederwassermengen arbeitet die Zentrale Mühleberg im Parallelbetrieb mit den übrigen Werken der B. K. W. als Tages- bezw. Wochenakkumulierwerk und als Spitzenwerk.

La description générale de la centrale électrique de Mühleberg, et spécialement de la partie constructive, a paru en mai et juin 1926 dans la «Schweizerische Bauzeitung». Dans l'article ci-dessous, on décrit les installations mécaniques et électriques de la centrale.

L'équipement de la centrale de Mühleberg comprend actuellement 6 groupes turbo-générateurs d'une puissance hydraulique totale de 48 600 HP, correspondant à une consommation de 240 m³/sec; elle utilise la chute de l'Aar sur une longueur de 17,5 km, entre l'usine électrique de Felsenau de la ville de Berne et l'embouchure de la Sarine. Le barrage, associé au déversoir et au bâtiment des machines (voir fig. 1) permet de surélever le niveau de l'Aar de 18 m. Le bassin d'accumulation constitué par l'ancien lit du fleuve contient en réserve 9,5 millions de m³ d'eau utilisable, représentant une quantité d'énergie de 300 000 kWh. Le débit de l'Aar peut varier entre 40 et 500 m³/sec. En temps de moyennes et basses eaux, la centrale de Mühleberg travaille en parallèle avec les autres usines des B. K. W., comme usine d'accumulation journalière ou hebdomadaire et comme usine de pointe.

Turbineneinläufe.

Die *Rechen* vor den Turbineneinläufen sind vertikal angeordnet. Ihre lichte Weite beträgt 2,75 m, die Höhe 9,00 m. Sie sind in zwei Felder von je 4,50 m unterteilt. Die Rechenschwelle liegt auf Kote 470,00 m, d. h. 14,2 m unter dem höchsten Wasserspiegel. Die einzelnen Rechenstäbe sind aus Flacheisen 110×10 mm in einer lichten Weite von 78 mm nebeneinander in dem ⊏-Eisenrahmen eingenietet und in der Mitte durch eine Verbindungsschraube mit Distanzstücken gehalten. Am Fusse jedes Rechenfeldes ist ein schaufelartiger Fänger befestigt, der das Geschwemmsel, das sich beim Hochziehen des Rechens von diesem ablöst, auffängt.

Zum Anheben der Rechenfelder sind dieselben nach oben über den Oberwasserspiegel hinaus durch einen versteiften Rahmen verlängert. Rahmen und Rechenfelder sind derart miteinander verbunden, dass deren Verbindung gesichert ist, wenn der Rechen in den Führungen liegt. Letztere bestehen aus Winkeleisen, die untere Schwelle aus ⊏-Eisen.

Der Rechen wird zur Reinigung mit Hilfe des fahrbaren Bockkranes hoch gezogen, in der Weise, dass er vorerst mit der 8 Tonnen-Laufkatze angehoben wird, bis das obere Rechenfeld etwas über Kote 485,20 herausschaut und an den Stellfallen im obersten Teil der Rechenführungen aufgehängt werden kann. Der Rahmen wird nun vom Rechenfeld abgelöst und mit der 8 Tonnen-Katze gegen das Oberwasser hin verfahren. Dann werden die beiden noch miteinander verbundenen Rechenfelder mit der 2×4,5 Tonnen-Laufkatze soweit hochgezogen, bis sich das untere Rechenfeld in der Führung verklinkt und das obere Rechenfeld abgekuppelt und abgehoben werden kann. Hierauf kann das unterste Rechenfeld ausgehoben werden. Die Reinigung der am Kran hängenden Rechenfelder lässt sich alsdann leicht vornehmen, so dass der Wiedereinbau derselben in kurzer Zeit vollzogen werden kann. Das Einsetzen des gereinigten Rechens findet in umgekehrter Reihenfolge statt.

Das Rechengut, das sich in ganz geringer Menge ansammelt, wird nach dem Lagerplatz am linken Ufer befördert und dort verbrannt.

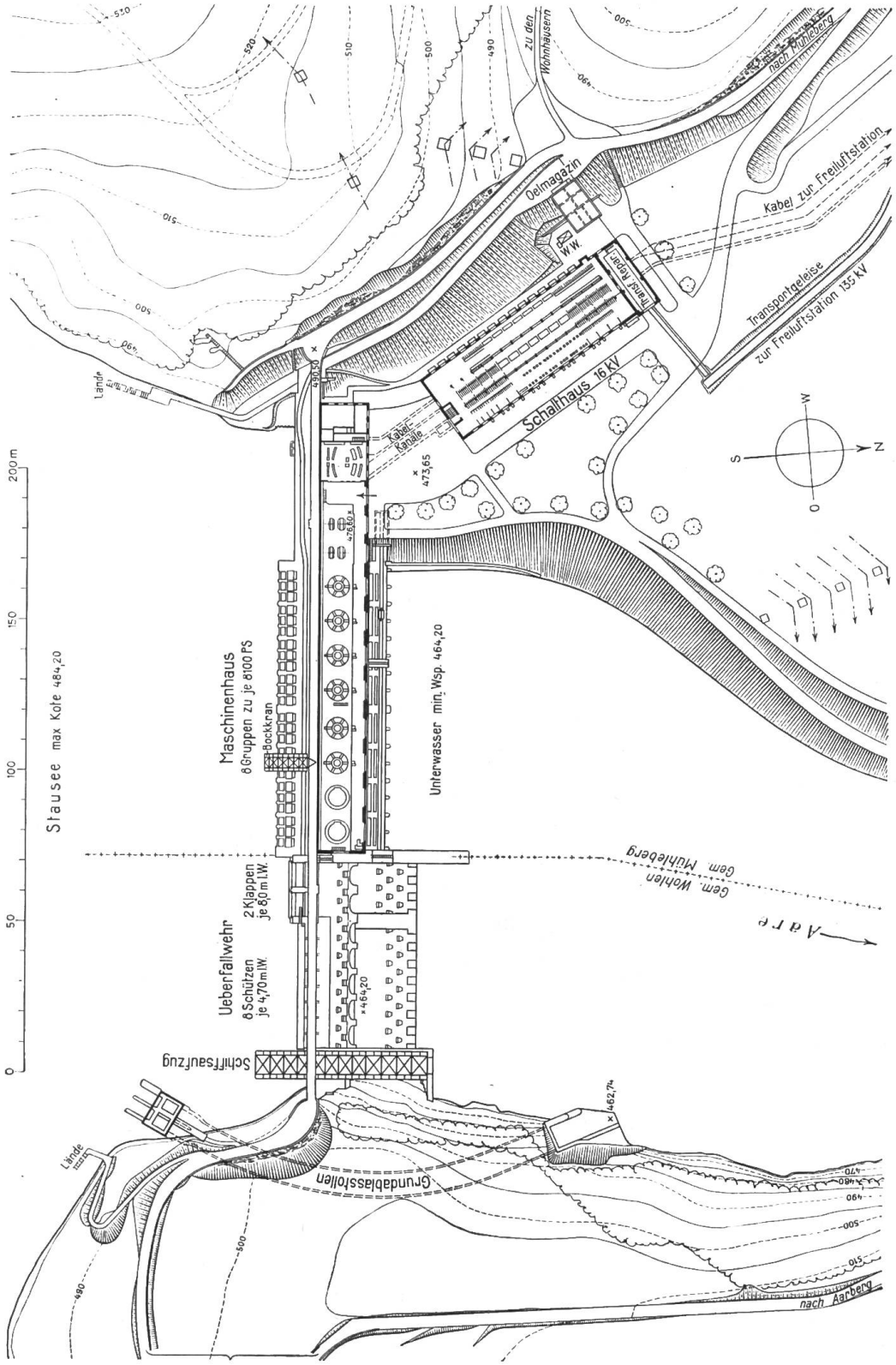


Fig. 1. Lageplan des Kraftwerkes Mühleberg. — Masstab 1 : 2500, Kurvenabstand 5 m.

Die *Gleitschützen* sind in einem Abstande von 3570 mm hinter den Rechen eingebaut. Sie schliessen die 3 Einlauföffnungen von je 2,75 m lichte Breite und 4,90 m lichte Höhe jeder Turbine ab. Jede Schütze steht unter einem maximalen

Wasserdruck von 14,2 m an der Schwelle gemessen und besteht aus einer einfachen Schützentafel in Eisenkonstruktion mit seitlichen Gleitleisten und oberer Dichtungsleiste aus Messing. Als unterer Abschluss dient ein Balken aus Eichenholz. Die Schützentafel ist an 2 Zahnstangen am Windwerk (Fig. 2) aufgehängt. Diese sind nur auf die zum Oeffnen und Schliessen der Schütze nötigen Längen verzahnt. Der übrige Teil ist als Fachwerkzwischenrahmen ausgebildet. Dadurch ist der Ein- und Ausbau der Schützen in 3 Unterteilungen durchführbar. Nach Abheben des Windwerkes können die Schützen mit dem Bockkran so weit hochgezogen werden, dass es möglich ist, den Zwischenrahmen mit Hilfe der seitlichen Riegel oben an den Führungen zu packen und festzuhalten. Alsdann werden die Zahnstangen losgekuppelt und weggelegt, und es erfolgt ein erneutes Hochziehen, bis auch die Schützentafel in den bereits erwähnten Riegeln einschnappt. Nun kann der Zwischenrahmen ebenfalls gelöst und abgehoben werden. Zuletzt wird die Tafel selbst an den Kran gehängt und ausgehoben.

Zu jeder Schütze gehört ein *Windwerk* von 70 t Zugkraft, das die Schütze bei vollem einseitigem Wasserdruck zu öffnen oder zu schliessen vermag. Der Antrieb erfolgt durch einen eingebauten Elektromotor von 30 PS Leistung und 1450 t/min, der über Schnecken- und Stirnradgetriebe auf die Kolben der Zahnstangen wirkt. Die Hubgeschwindigkeit beträgt 0,6 m/min und die zum vollständigen Oeffnen benötigte Zeit ca. 8 Minuten An Stelle des Motorantriebes tritt im Bedarfsfalle der Handantrieb. Jedes Windwerk ist mit den nötigen Endschaltern, einer elektromagnetischen Backenbremse und einer Rutschkupplung ausgerüstet. Das ganze Getriebe ist durch eine Verschalung gegen Witterungseinflüsse geschützt.

Die *Dammbalken* dienen als weiteres Abschlussorgan der Turbinenkammern. Sie werden in einem Abstand von 1255 mm vor den Rechen in besonderen Führungen eingesetzt. Die Dammbalkenwand einer der 3 Einläufe einer Turbine weist eine totale Höhe von 14,7 m und eine Breite von 2,90 m auf. Sie ist gebaut für einen einseitigen Wasserdruck an der Schwelle von 14,2 m und besteht aus 5 eisernen Tafeln, die aus Profileisen zusammengenietet und wasserseitig mit einer Blechhaut überzogen sind, deren Dicke für die beiden untern Tafeln 10 mm, für die übrigen 8 mm beträgt. Die Abdichtung an der Schwelle und der Tafeln unter sich erfolgt durch Eichenholzbalken. Um die durch den einseitigen Wasserdruck beim Heben auf die ganze Wand wirkenden Bewegungswiderstände zu reduzieren, werden nur die beiden untern Tafeln starr, die obern 3 Tafeln dagegen durch Ketten lose miteinander verbunden. Wird mit Hilfe des Bockkranes die oberste Tafel gehoben, dann bewegt sie sich vorerst allein in die Höhe und die Verbindungsketten mit der 2. Tafel gleiten durch Führungen an dieser Tafel hindurch, bis das am untern Ende der Kette angebrachte eiserne Gewicht zum Anschlag kommt und die Tafel 2 ebenfalls mitnimmt. Die Tafel 1 ist in diesem Momente bereits vollständig über Wasser, so dass nur noch ihr Gewicht zur Wirkung kommt. Die Tafeln 3, 4 und 5 nehmen vorläufig an der Bewegung nicht teil, weil ihre Ketten in den Führungen der Tafel 3 durchgleiten. Bevor die Tafel 3 gehoben wird, ist Tafel 2 schon über die Höhe des Bedienungssteges angehoben und selbsttätig durch Riegel aufgefangen und abgestützt worden. Die Kettenverbindung zwischen Tafel 1 und 2 kann gelöst und Tafel 1 nach dem Depotplatz versetzt werden. In ähnlicher Weise werden die übrigen Tafeln herausgehoben. Die starre Verbindung der beiden untersten Tafeln unter sich ist zulässig, weil beim Anheben der Tafeln das Wasser zwischen den Tafeln 1 und 2, sowie den Tafeln 2 und 3 hindurchströmt und den Ausgleich des Druckes herstellt.

Der Depotplatz für die Dammbalken befindet sich am linken Ende des Maschinenhauses. Das Verbringen von den Turbineneinläufen dorthin erfolgt mit Hilfe eines besondern, auf Geleise laufenden Transportwagens, sowie einer Hebevorrichtung, die über dem Depotplatz an der Unterseite der darüberliegenden Strassenbrücke aufgehängt ist.

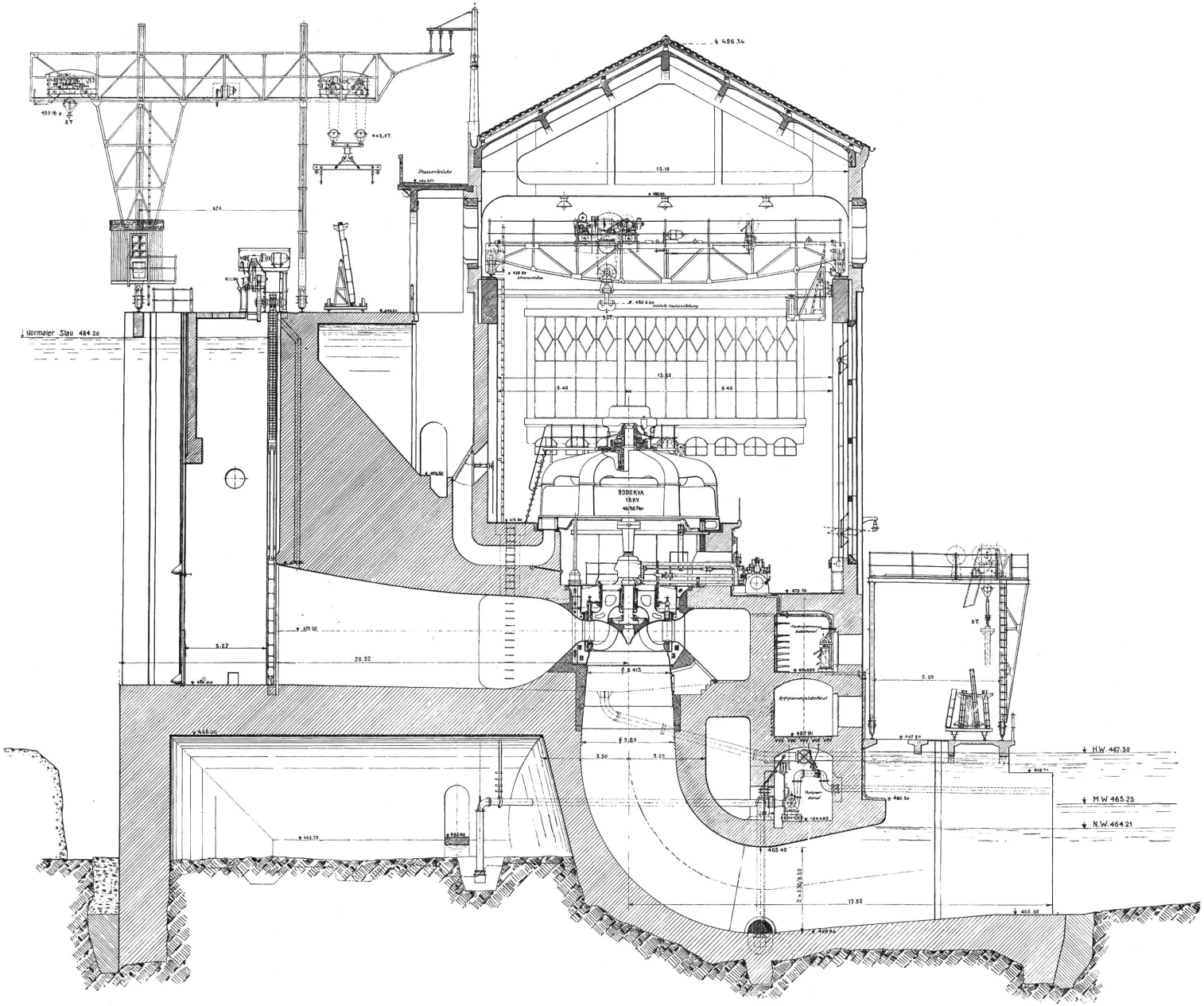


Fig. 2. Maschinenhaus. Querschnitt. — Masstab 1 : 200.

Der *Bockkran* (Fig. 2 und 3) bestreicht die 8 Turbineneinläufe und dient zur Versetzung der Dammbalken, zum Hochziehen der Rechen zwecks Reinigung, sowie zur Montage oder Demontage der Schützen und ihrer Windwerke. Seine lichte Höhe beträgt 8,40 m und die Spannweite 6,70 m. Er ist mit 2 Laufkatzen von 8 t bezw. 10 t Tragkraft und 23,16m bezw. 8,0 m Hubhöhe ausgerüstet. Der Antrieb der Hub- und Fahrwerke erfolgt durch Elektromotoren. Die Hauptkontaktleitung verläuft über der Strassenbrücke längs des Maschinenhauses.

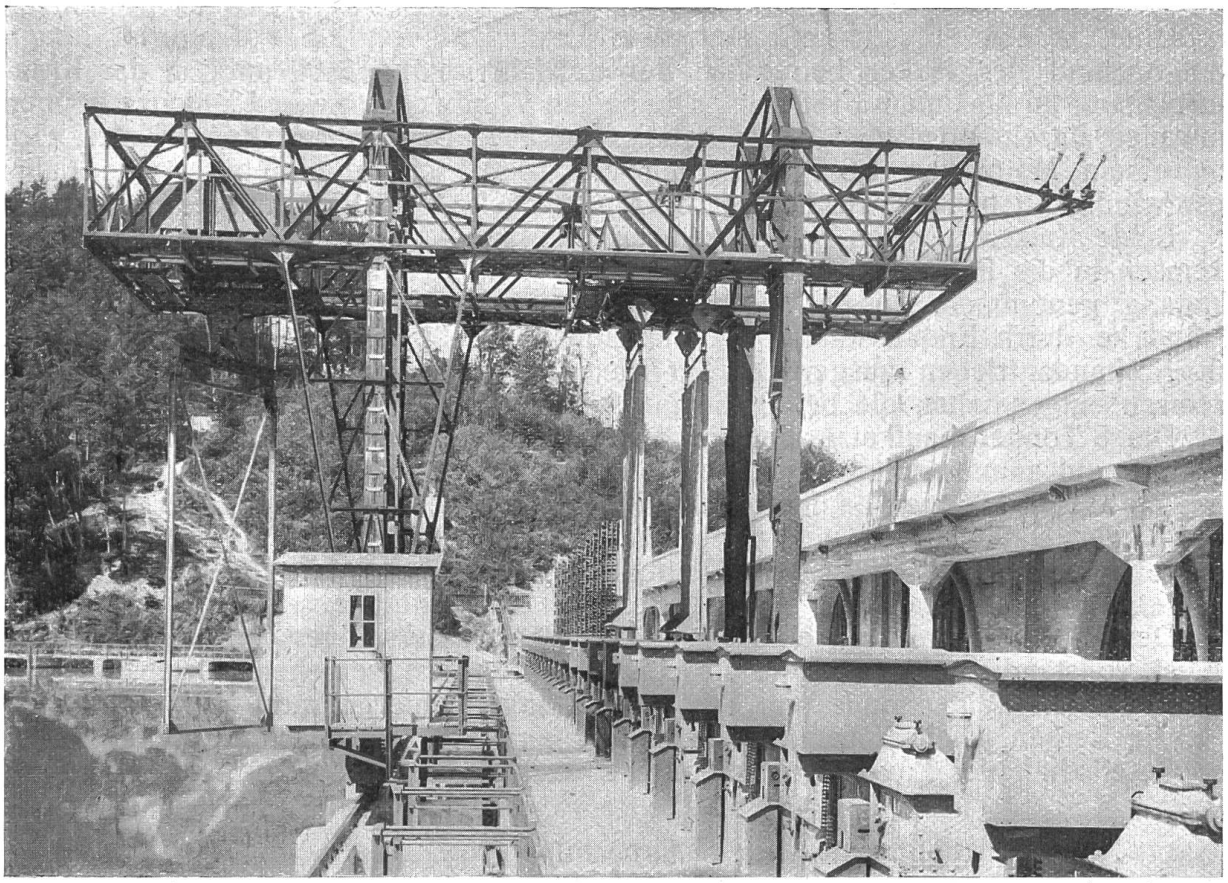


Fig. 3. Bockkran für die Rechen, Schützentafeln und Dammbalken der Turbineneinläufe.

Das *Krangerüst* ist als Fachwerk ausgeführt. Den beschränkten Platzverhältnissen auf dem Dienststege Rechnung tragend, wurde der auf Seite des Maschinenhauses liegende Kranfuss als Pendelstütze, der flussaufwärts liegende als steife Stütze ausgebildet. Der obere Querträger mit der Katzlaufbahn kragt beidseitig über die Stützen aus. Dadurch ist die Möglichkeit geschaffen, mit der 8 Tonnen-Laufkatze oberwasserseitig um ca. 2,0 m über das Einlaufbauwerk hinaus zu fahren um in den Bereich anlegender Schiffe zu gelangen. Der zentralenseitig auskragende Teil reicht über die Strassenbrücke hinweg und trägt an seinem äussersten Ende die 3 Stromabnehmer. Beidseitig der Katzfahrbahn sind Laufstege zur Revision der Katzen und des Kranfahrgetriebes angebracht. Das ganze Krangerüst ruht auf 4 Laufrädern aus Stahlguss, 2 davon sind durch eine Welle und konischem Getriebe miteinander verbunden und werden von dem auf dem Laufstege aufgestellten Motor mittels Stirnradübersetzungen angetrieben. Der Motor macht 960 t/min und leistet 12 PS. Die Kranfahrgeschwindigkeit beträgt 24,8 m pro Minute. Durch eine elektromagnetische Backenbremse ist das zuverlässige Anhalten des Kranes gesichert. Der Bockkran ist mit 4 Zangen ausgerüstet, mit denen er an den Schienen verankert werden kann.

Die *8 Tonnen-Laufkatze* besitzt ein Hubwerk mit einem Motor von 12 PS Leistung und 960 t/min. Die Hubgeschwindigkeit des Doppelhakens beträgt 3,9 m/min. Die tiefste Hakenstellung liegt auf Kote 470,00 m, der Höhe der Turbineneinlaufschwelle. Der Katzfahrmotor leistet 1,8 PS bei 1430 t/min und treibt über ein Schnecken- und Stirnradgetriebe 2 der 4 Laufrollen der Katze an. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 10,5 m/min.

Auf der *10 Tonnen-Laufkatze* sind 2 voneinander getrennte Hubwerke von je 2×2,5 t Tragkraft eingebaut. Jedes derselben wird von einem besondern Motor von 7,5 PS Leistung und 960 t/min angetrieben und besitzt 2 Drahtseiltrommeln, an denen je eine Flasche mit einfachem Lasthaken von 2,5 t Tragkraft hängt. Der Abstand der Haken beträgt in der Katzfahrrichtung 1100 mm, in der Kranfahrrichtung im Maximum 3180 mm. Die beiden Windwerke dieser Laufkatze können entweder einzeln oder gemeinsam betätigt werden. Das Fahrwerk der Katze wird von einem Motor von 1,8 PS Leistung und 1430 t/min angetrieben. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt wie bei der 8 Tonnen-Laufkatze 10,5 m/min.

Beide Katzen besitzen Backenbremsen mit Magnetlüftung. Von dem Einbau von Bremsen in die Fahrwerke wurde, der relativ kleinen Fahrgeschwindigkeit wegen, Umgang genommen. In den höchsten und tiefsten Hakenstellungen werden die Hubwerke durch Endausschalter automatisch abgestellt. Sämtliche Triebwerke sind mit Nothandantrieben ausgerüstet. In diejenigen der Hubwerke sind Lastdruckbremsen eingeschaltet, die bei Bedienung von Hand die Last in jeder Lage halten.

Die 8 Tonnen-Laufkatze dient in der Hauptsache zum Anheben des kompletten Rechens und zum Verfahren des obern Rechenrahmens bei der Reinigung, währenddem die 4×2,5 Tonnen-Laufkatze für die Montage der Schützen und deren Windwerke, der Dammbalken und der einzelnen Rechenfelder dient. Zum Anhängen der verschiedenen Lasten in die Kranhaken werden besondere Hubgeschirre verwendet, die ein rasches und sicheres Befestigen ermöglichen.

Der Führerstand ist an eine der beiden oberwasserseitigen Stützen angebaut. Er ist vollständig verschalt und allseitig mit Fenstern versehen. Darin sind die Kontroller, die Widerstände und Schalteinrichtungen untergebracht.

Die Rechen, Gleitschützen, Dammbalken und der Bockkran sind Lieferungen der Gesellschaft der L. von Roll'schen Eisenwerke, Giesserei Bern.

Turbinen.

Die *Turbinen* sind für ein Nettogefälle von 16,0 bis 19,8 m und eine Tourenzahl, die wahlweise auf 133,3 t/min, entsprechend 40 Perioden, oder 166,6 t/min entsprechend 50 Perioden, eingestellt werden kann, gebaut. Die Garantien, Leistung und der entsprechende Wasserverbrauch sind die folgenden:

a) bei 133,3 Touren pro Minute:				
Nettogefälle . . . . . m	16,0	17,5	18,5	19,8
Leistung an der Welle . PS	6 110	6 900	7 470	8 100
Wasserverbrauch . . . l/sek	35 500	36 500	37 400	38 300
Wasserverbrauch bei Leerlauf . . . . l/sek	10 500	10 200	10 000	9 500
Spez. Tourenzahl . . . t/min	325	310	300	288
b) bei 166,6 Touren pro Minute:				
Nettogefälle . . . . . m	16,0	17,5	18,5	19,8
Leistung an der Welle . PS	6 640	7 430	7 950	8 630
Wasserverbrauch . . . l/sek	37 900	38 800	39 800	40 300
Wasserverbrauch bei Leerlauf . . . . l/sek	13 000	11 500	11 500	10 000
Spez. Tourenzahl . . . t/min	425	402	388	371

Die konstruktive Ausführung ist aus Fig. 4 ersichtlich.

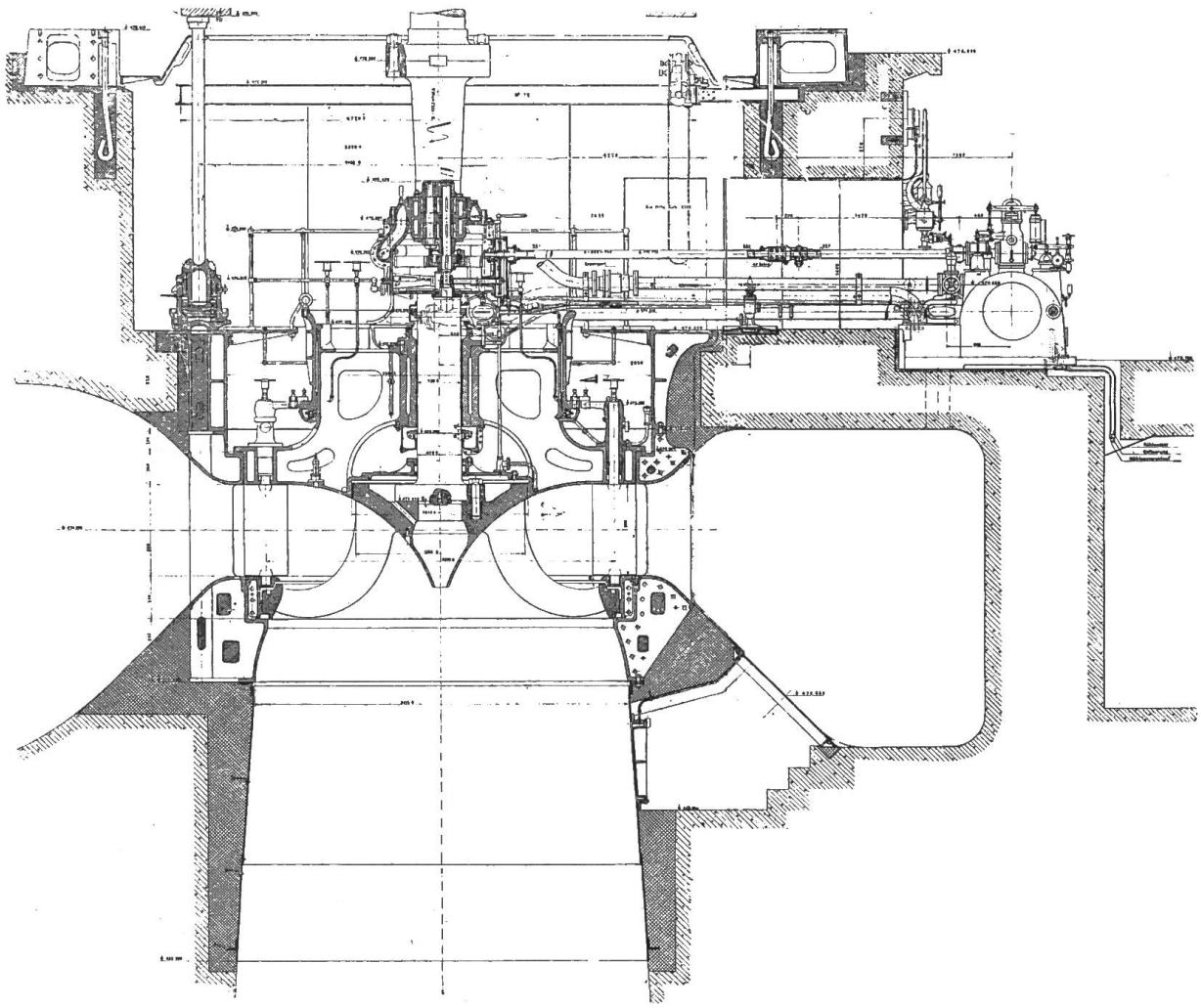


Fig. 4. 8100 PS Francis-Turbine. Querschnitt. — Masstab 1 : 80.

Das *Leitrad* besitzt 28 Schaufeln aus Stahlguss, die mit Hilfe eines aussenliegenden Regulierringes verstellt werden können. Dieser ist vom Kontrollgang über dem Leitapparat aus zugänglich. Ueber diesem Gang sind Laufschienen angebracht, an denen eine Laufkatze befestigt werden kann für die Montage und Demontage der über dem Turbinendeckel befindlichen Maschinenteile, sowie der weiter unten genannten hydraulischen Hebeböcke.

Das *Laufrad* ist aus Stahlguss und besitzt 15 eingegossene Stahlblechschaufeln. Es sitzt fliegend am untern Ende der Welle und ist vermittels Bolzen und Keil aufgeflanscht. Durch 2 Einstiegöffnungen ist die Möglichkeit geschaffen, von der Spirale aus in das Saugrohr unter das Laufrad zu gelangen.

Die *Turbinenwelle* ist durch eine Flanschenkupplung starr mit der Generatorenwelle verbunden. Die Lagerung der beiden Wellen erfolgt in 2 Halslagern und in dem auf dem Tragstern des Generators liegenden Spurlager.

Das *Spurlager,* dem die Aufgabe zufällt, den ganzen rotierenden Teil der Maschinengruppe im Gewicht von ca. 160 t inkl. Wasserdruck auf das Generatorengehäuse abzustützen, ist als Gleitlager ausgebildet und erzeugt den erforderlichen Oeldruck selbsttätig. Die 8 Segmente der untern Spurplatte bestehen je aus einer in der Drehrichtung schwach ansteigenden Anlauf- und einer horizontalen Tragfläche. 2 Manometer gestatten die Kontrolle des Druckes in den Anlauf- und Tragflächen der Spurplatte. Ein Thermometer mit elektrischer Signalvorrichtung gibt die Temperatur des Oelbades an. Das Spurlager ist von der dasselbe umgebenden Galerie, die durch eine Treppe

vom Generatorenboden aus erreichbar ist, leicht zugänglich. Um eine Kontrolle dieses Lagers oder eine Auswechslung seiner Spurplatten leicht ausführen zu können, kann der ganze rotierende Teil der Maschinengruppe mit Hilfe von hydraulischen Pressen oder mit Schraubenspindel-Hebevorrichtung um so viel (ca 20 mm) angehoben und gestützt werden, dass der zweiteilige Mitnehmerring auf dem Spurlagerkopf ausgehoben und darauf der Kopf und die Tragplatten mit dem Kran entfernt werden können.

Die *hydraulischen Pressen* werden auf bearbeiteten Passflächen am äussern Fundamentring der Turbine abgestützt. Ihre Stempel pressen gegen die untere bearbeitete Fläche des Polrades.

Der *Regulator* mit Servomotor (Fig. 5 bis 7) ist auf dem Turbinenboden aufgestellt. Das Drucköl für den Regulator wird von 2 Oelpumpen geliefert, die,

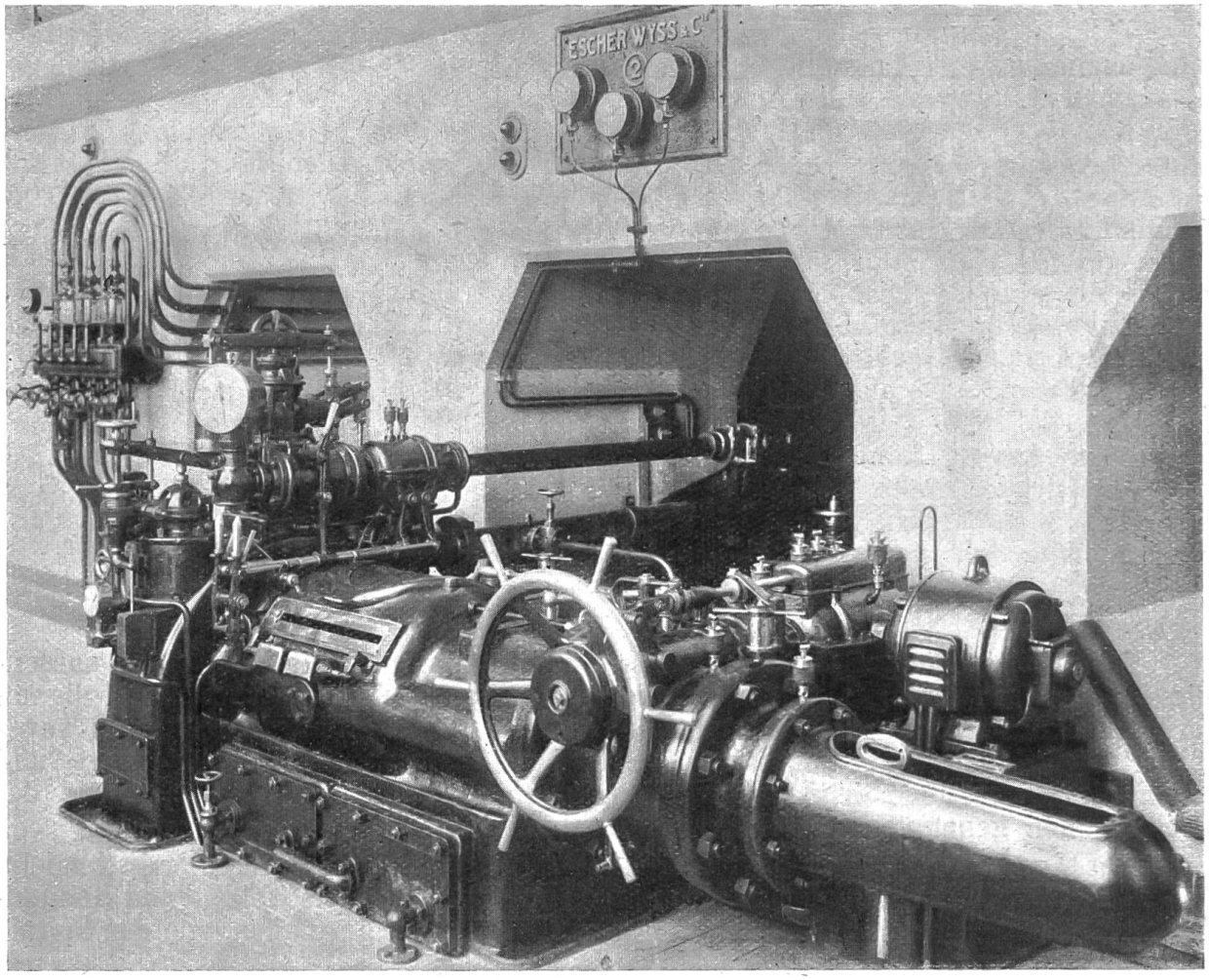


Fig. 5. Turbinen-Regulator.

zur Vermeidung eines Windkessels, derart bemessen sind, dass sie dauernd die für den Reguliervorgang erforderliche Oelmenge liefern können. Um dabei den Kraftverbrauch so gering wie möglich zu halten, wurden die Regulatoren nach dem sogenannten Durchströmungsprinzip ausgeführt, das darin besteht, dass der Steuerschieber in seiner Mittellage negative Ueberdeckung hat und somit in dieser Stellung das Oel frei zur Saugseite der Pumpe durchströmen lässt. Zufolge dieser Anordnung ist der jeweilige Oeldruck und die an die Pumpen abzugebende Arbeit nur so gross, als für die jeweilige Ueberwindung der Fliesswiderstände des Oeles und das Halten, bezw. Verstellen der Leitschaufeln nötig ist.

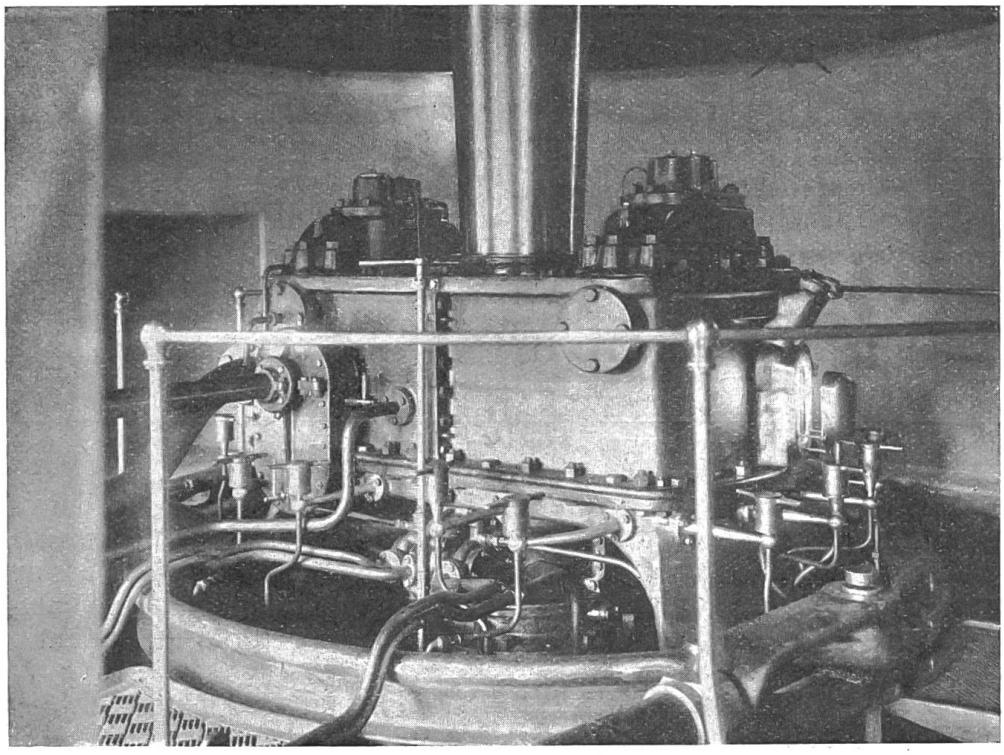


Fig. 6. Turbine: Zahnradölpumpen, Pendelantrieb und Regulierung.

Der Regulator enthält gemeinsam auf einer Grundplatte vereinigt das Pendel, die Steuerung mit Rückführung, den Servomotor, dessen Hand- und elektrischer Antrieb, sowie das Oelreservoir mit Wasserkühlschlangen.

Das Steuerpendel wird durch Zahnrad und Welle von der Turbinenwelle aus angetrieben. Die Tourenzahl der Maschine kann durch Umschalten eines Wechselgetriebes im Pendelantrieb auf 133,3 t/min, entsprechend 40 Perioden, oder 166,6 t/min, entsprechend 50 Perioden, eingestellt werden. Das Regulierpendel wirkt durch hydraulische Vorsteuerung auf das Steuerventil.

Die Rückführung wird vom Servomotor aus betätigt und zerfällt in eine starre und eine nachgiebige Rückführung. Erstere greift an dem Hebel der Vorsteuerung an, während die nachgiebige Rückführung, als Pendelrückdrängung wirkend, vermittels eines kleinen Kolbens Oel derart auf die unter dem Pendel eingebaute Dämpfungsvorrichtung presst, dass eine rückführende Kraft auf das Pendel erzeugt wird. Am untern Steuerhebel greift die Tourenverstellvorrichtung an. Diese kann von Hand am Regulator, oder mit einem Elektromotor von der Schaltbühne aus betätigt werden.

Am Regulator ist im weitern eine Vorrichtung vorhanden, die das Begrenzen der Oeffnung des Leitapparates und damit der Kraftabgabe der Turbine auf einen einzustellenden Betrag erlaubt.

Der Servomotor des Regulators besteht aus einem Doppelzylinder mit einem Doppelkolben. Seine Bewegung wird auf einen Doppelhebel und mittels 2 Zugstangen auf den Regulierring des Leitapparates übertragen. An einem Indikator kann die Stellung des Servomotorkolbens und somit die Oeffnung des Leitapparates abgelesen werden. Der Servomotorkolben kann nach Ausschaltung des Oeldruckes von Hand oder mit einem Elektromotor verschoben und dadurch der Leitapparat verstellt werden.

Die 2 Druckölpumpen sind Doppelzahnradpumpen und sind in einen Oelkasten über dem Turbinenhalslager symmetrisch beidseitig der Welle eingebaut und werden von dieser mittels Zahnradübersetzung angetrieben (Fig. 6).

Zur Kontrolle des Wasserdruckes in der Turbinenspirale und im Saugrohr, sowie des Oeldruckes der Regulatorendruckölpumpen, sind die erforderlichen

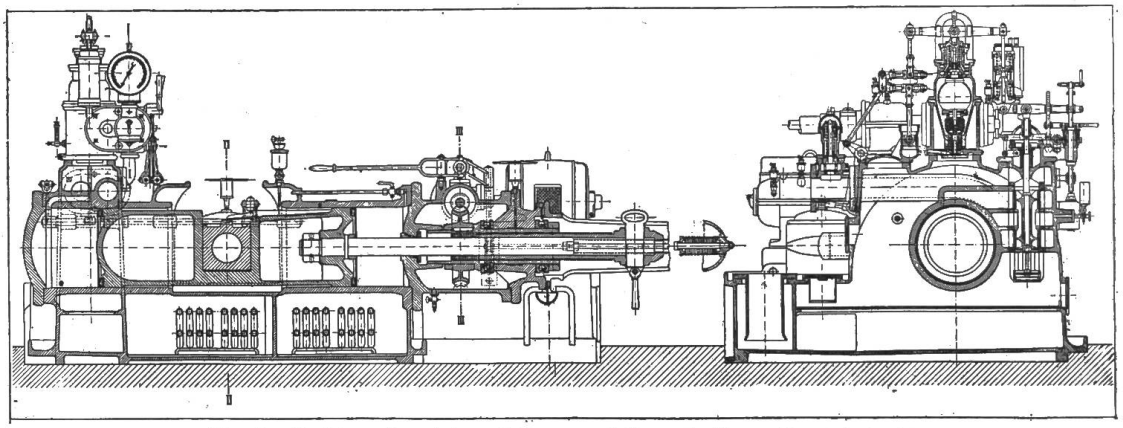


Fig. 7. Turbinen-Regulator. Längs- und Querschnitt. — Masstab 1 : 40.

Instrumente über dem Regulator an der Wand zusammengestellt. An der nämlichen Wand, neben dem Regulator, sind die Schaugläser und Thermometer zur Kontrolle des Schmieröles für das untere und obere Halslager und des Kühlwassers für das Spurlager angebracht. Nach dieser Kontrollstelle ist auch die Pressluftleitung geführt, die zur Betätigung der Bremsen des Rotors des Generators nach dem Abstellen einer Maschine dient.

Im Sommer 1923 sind an einer der 6 Turbinen ausgedehnte *Garantieversuche* zur Kontrolle der Leistung und des Wirkungsgrades durchgeführt worden. Die hierfür erforderlichen Wassermessungen wurden in den Turbineneinläufen ausgeführt.

Die Versuche haben gezeigt, dass die Garantien, sowohl bei 133,3 t/min, als auch bei 166,6 t/min, erfüllt sind. Der maximale Wirkungsgrad ergab sich bei einem Gefälle von 18,0 m, einer Tourenzahl von 166,6 t/min und bei einer Belastung von ungefähr $^7/_8$ der Maximallast zu 86,1 %. Die wichtigsten Versuchsresultate sind in den Fig. 8, 9a und b dargestellt.

Die Turbinen wurden von der Aktiengesellschaft der Maschinenfabriken Escher, Wyss & Cie. in Zürich geliefert.

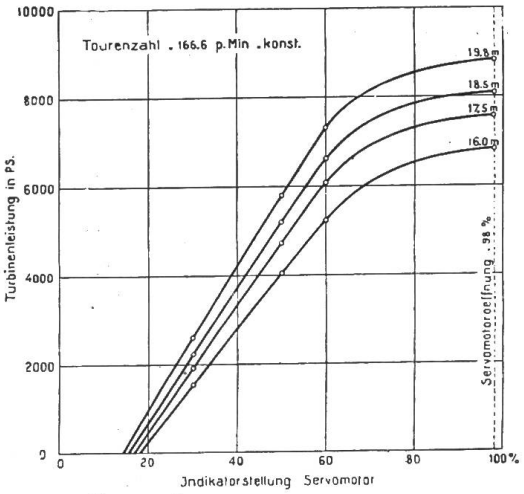


Fig. 8. Leistungskurven der Turbine.

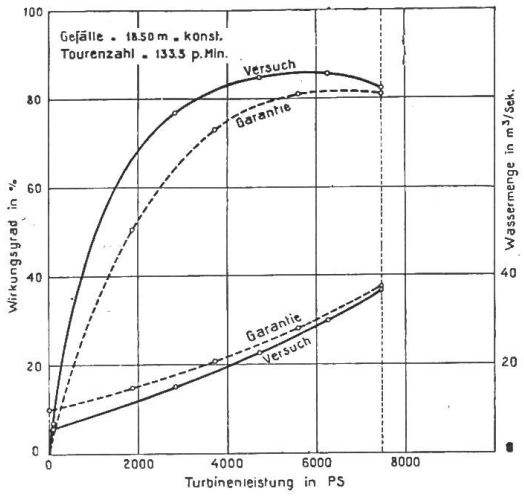


Fig. 9 a.

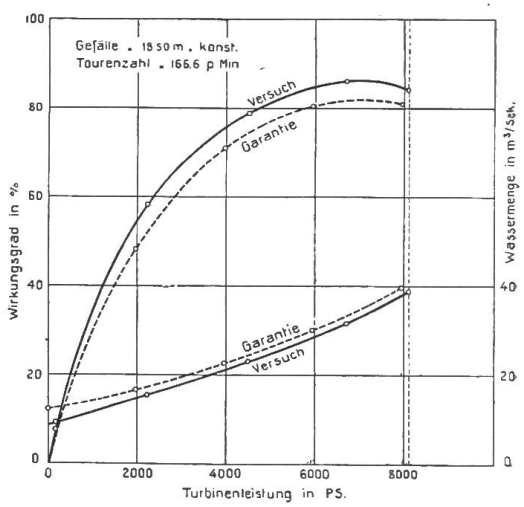


Fig. 9 b.

Kurven des Wirkungsgrades und der Wassermenge der Turbine bei 133,3 bezw. 166,6 t/min.

Turbinenausläufe.

In gleicher Weise wie die Turbineneinläufe können auch die Turbinenausläufe durch *Dammbalkenwände* abgeschlossen werden. Da jede Maschinengruppe zwei, durch eine Trennwand voneinander geschiedene Ausläufe besitzt, werden pro Turbine 2 Dammbalkenwände benötigt. Jede der beiden Wände ist 4,24 m breit und 7,145 m hoch und setzt sich aus 4 einzelnen Tafeln zusammen. Die Verbindung derselben unter sich ist in analoger Weise durchgeführt, wie bei den Dammbalken im Oberwasser, d. h. die beiden untersten Tafeln sind fest miteinander verbunden, während die oberste mit der zweiten und die zweite mit der dritten mit je 2 Ketten zusammengehängt ist. Die oberste Tafel hat eine Höhe von 2280 mm, die Höhe der beiden mittleren beträgt 1620 mm und die Höhe der untersten Tafel 1625 mm. Diese Unterteilung hat sich ergeben, um am Kranhaken beim Hochziehen der Wände unter Wasserdruck annähernd gleiche Hubkräfte zu erhalten.

Die einzelnen Tafeln sind aus I- und ⊏-Eisen und einer 8 mm dicken Blechhaut zusammengenietet. Eichene Dichtungsbalken dienen zum Abdichten der Tafeln unter sich und gegen die Schwelle. Am obern Ende der Führungen sind Riegel zum Aufhängen der einzelnen Tafeln drehbar eingebaut.

Zwei spezielle Transportwagen dienen zum Einfahren und Lagern von je 4 Tafeln einer Dammbalkenwand im Depot am linken Ufer des Unterwasserkanals.

Der zum Einsetzen und Ausziehen der Dammbalken dienende fahrbare *Bockkran* (Fig. 2 und 10) ist für eine Tragkraft von 5 t gebaut, bei einer Spannweite von 5,3 m und einer Hubhöhe von 13,0 m. Das Krangerüst besteht aus Profileisen und besitzt zu beiden Seiten der Katzlaufbahn Bedienungsbühnen, von welchen die einzelnen Getriebe vermittels Handkurbeln betätigt werden können.

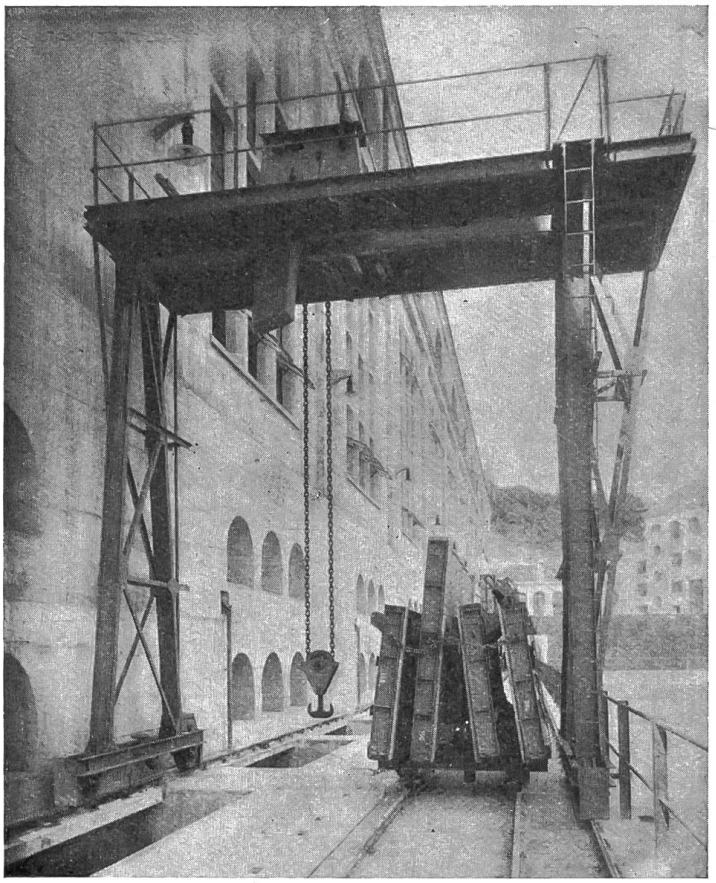


Fig. 10. Bockkran für die Dammbalken der Turbinenausläufe.

Die Katze läuft auf 2 I-Trägern mit aufgeschraubten Flacheisenschienen. Eine ihrer Laufachsen wird vermittels Gallscher Kette und Kurbel angetrieben. Das Hubwerk ist zwischen 2 Schildern eingebaut und durch ein Blechdach geschützt. Als Tragorgan der Last dient eine kalibrierte Gliederkette mit Flasche und Doppelhaken. Das freie Kettenende wird in einem Kasten aufgefangen. Die Winde ist für zwei im Verhältnis 1:3 zueinander stehender Hubgeschwindigkeiten gebaut. Zum Festhalten der Last in jeder beliebigen Lage dient eine automatische Lastdruckbremse. Zum Heben der Dammbalken wird eine spezielle Traverse verwendet.

Zum Entleeren der Turbinensaugrohre nach dem Einsetzen der Dammbalken sind im Pumpenkanal in den Fundamenten des Maschinenhauses 2 fahrbare *Zentrifugalpumpen* aufgestellt. Jede derselben wird durch einen Elektromotor angetrieben.

Die gleichen Pumpengruppen dienen auch zum Entleeren des Sickerwassers, das sich in den Sparräumen in den Fundamenten des Maschinenhauses ansammelt.

Die Dammbalken, deren Transportwagen und der Bockkran wurden von den L. von Roll'schen Eisenwerken, Giesserei Bern, geliefert.

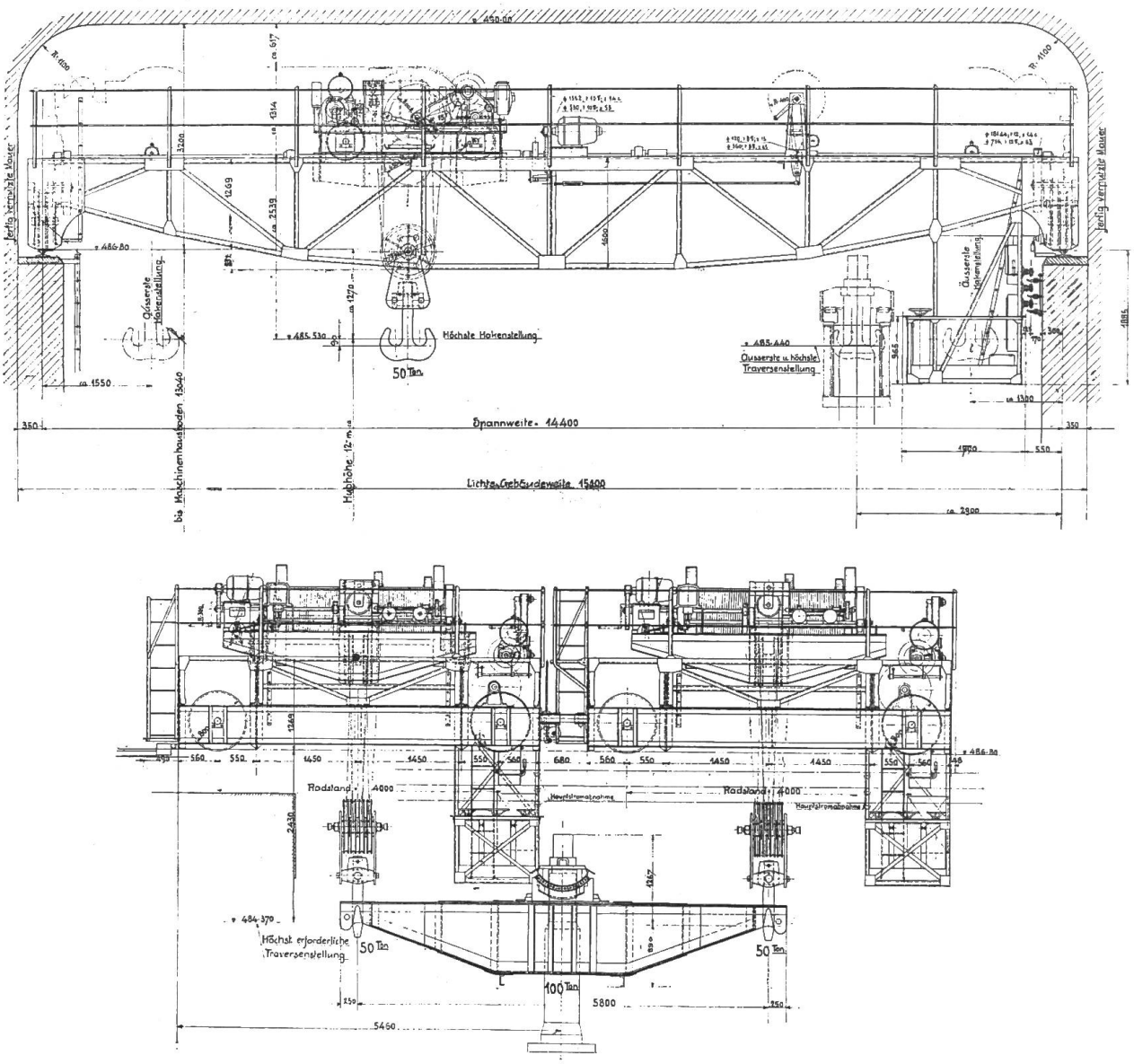


Fig. 11. 50 t Laufkrane im Maschinensaal.
Unten: Die beiden Krane mit der 100 t Lasttraverse gekuppelt.

Maschinenhauskrane.

Der Maschinenraum wird in seiner ganzen Länge von 2 Laufkranen bestrichen, von denen jeder eine Tragfähigkeit von 50 t hat. Für grössere Lasten, z. B. der Rotor eines Generators mit zugehöriger Welle, werden die beiden Krane zusammengekuppelt und an ihre Lasthaken eine Traverse aufgehängt.

Die beiden Krane sind unter sich gleich gebaut (Fig. 11 und 12). Die allgemeine Anordnung entspricht der üblichen Ausführungsart schwerer elektrischer Laufkrane. Ihre Hubhöhe beträgt 12,0 m und die Spannweite von Mitte Kranschiene zu Mitte Kranschiene 14,4 m. Das *Kranfahrgeleise* ist 124,6 m lang und auf betonierten Längsträgern verlegt. Die Spezialkranschienen haben eine Höhe von 85 mm, eine Kopfbreite von 75 mm und eine Fussbreite von 200 mm. Die einzelnen Schienen

sind in Abständen von 370 mm auf ⊏-Eisenschwellen NP 30 gelagert. Jede zweite Schwelle ist mit dem Kranbahnträger vermittels Schrauben verankert.

Jeder Kran besteht aus dem Kranwagen mit dem Kranfahrwerk und der Laufkatze mit dem Hub- und Katzfahrwerk.

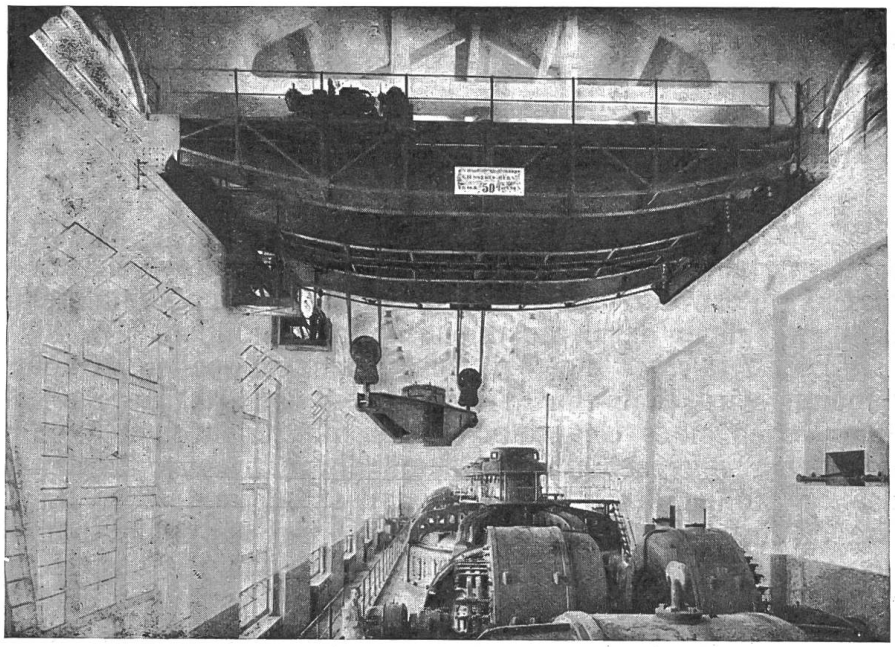


Fig. 12. 50 t Laufkrane im Maschinensaal.

Der *Kranwagen* ist nach dem Vierträgersystem gebaut. Die beiden Hauptträger sind als Vollwandträger ausgebildet und tragen die Laufschienen für die Katze. Die beiden seitwärts der Hauptträger liegenden Galerieträger sind mit erstern seitlich versteift, mit einem Holzbohlenbelag abgedeckt und mit Geländer versehen. Die eine Galerie trägt den Kranfahrantrieb, den Führerstand und die Hauptstromzuführung. Der ganze Kran ruht auf 4 Laufrollen, die paarweise in einem Fahrgestell montiert sind. Zwei gegenüberliegende Rollen werden durch Stirnrädervorgelege von einer durchgehenden Welle aus angetrieben. Der Motor ist in der Mitte der Galerie aufgestellt. Auf der ersten Vorgelegewelle sitzt eine elektromagnetische Bremse. Durch Hauptstromgrenzschalter wird der Fahrmotor automatisch ausgeschaltet, wenn der Kran eine der beiden Endstellungen auf seiner Bahn oder den andern Kran erreicht hat. Der maximale Raddruck auf die Kranschienen beträgt bei angehängter Last von 50 t pro Rad 33,5 t.

Die *Laufkatze,* deren Rahmen aus Profileisen und Blech zusammengenietet ist, trägt die beiden Triebwerke zum Lastheben und Katzfahren mit ihren zugehörigen Motoren. Als Tragorgan der Last dient ein Stahldrahtseil von 31 mm Durchmesser, dessen Bruchfestigkeit 47 000 kg beträgt. Die Flasche hängt an acht Seilsträngen und trägt den auf Kugeln drehbar gelagerten Doppelhaken. Das Seil wird auf zwei Trommeln von 800 mm Durchmesser mit eingedrehten Rillen aufgewickelt. Die Trommeln werden vom Hubmotor mittels Schnecken- und Stirnrädervorgelegen angetrieben. Sämtliche Zahnräder des Hubwerkes sind aus Stahlguss hergestellt und haben gefräste Zähne. Durch ein umschaltbares Vorgelege ist die Möglichkeit gegeben, Lasten bis zu 15 Tonnen mit grösserer Geschwindigkeit zu heben. Dabei ist vorgesorgt, dass beim Umschalten der Eingriff des Windwerkes in keinem Moment verloren geht. Die Schneckenwelle besitzt eine Backenbremse, die durch einen Elektromagneten gelüftet wird. Neben dieser Bremse sitzt auf der gleichen Welle eine Lastdruckbremse, die bei einem eventuellen Versagen der Magnetbremse diese ersetzt. Durch Hauptstrom-Hubbegrenzumschalter wird der Motor selbsttätig ausgeschaltet, sobald die Flasche ihre obere und untere Grenzstellung erreicht hat.

Der Katzfahrmotor wirkt mittels Stirnrädervorgelegen auf zwei gegenüberliegende Laufrollen der Katze. Die erste Vorgelegewelle besitzt eine Magnetbremse. Die Katze ist auch mit Fahrgrenzschaltern ausgerüstet.

Alle drei Bewegungen können mit den Nothandantrieben von Hand betätigt werden. Diese sind mit Schaltern derart verriegelt, dass bei eingerücktem Handantrieb die Stromzufuhr zum betreffenden Motor unterbrochen ist.

Die einzelnen Bewegungen des Kranes vollziehen sich, bei Betrieb mit Drehstrom 500 Volt 50 Perioden, mit den nachfolgenden Geschwindigkeiten:

Heben von Lasten bis 50 t: Hubgeschwindigkeit 1,44 m/min.
" " " " 15 t: " 4,7 "

Der Hubmotor leistet bei 960 t/min 35 PS.

Die Katzfahrgeschwindigkeit beträgt bei einer Motorleistung von 6 PS und ca. 960 t/min . . . . ca. 15 m/min.

Die Kranfahrgeschwindigkeit beträgt bei einer Motorleistung von 15 PS und ca. 960 t/min . . . ca. 30 m/min.

Alle Motoren werden vom Führerstand aus bedient. Dieser ist mit einem dreipoligen Hauptschalter, den Sicherungen, den Reversierkontrollern und mit Anlass- und Regulierwiderständen ausgerüstet. Die Hauptkontaktleitung ist dem unterwasserseitigen Träger der Kranschiene entlang montiert.

Die *Traverse,* die bei zusammengekuppelten Kranen an beide Lasthaken gehängt wird, hat eine Tragfähigkeit von 100 t. Sie dient in der Hauptsache zum Heben eines Generator-Rotors mit zugehöriger Welle und besteht aus zwei genieteten gegenseitig versteiften Vollwandträgern. In der Mitte sitzt ein Traglager, das auf Rollen derart gelagert ist, dass bei ungleichen Hackenstellungen der beiden Krane, die angehängte Last dennoch frei senkrecht hängt und gleichmässig auf die beiden Kranhaken verteilt ist. Das Aufhängen des Generator-Rotors samt seiner Welle am Traglager der Traverse geschieht vermittels eines zweiteiligen Tragringes, der in die gleiche Nute der Welle eingelegt wird, in der in betriebsfertigem Zustande der zweiteilige Ring des Turbinentraglagers ruht.

Die Maschinenhauskrane und die Traverse wurden von der Gesellschaft der L. von Roll'schen Eisenwerke, Giesserei Bern, geliefert.

Drehstromgeneratoren.

Jede der 6 Turbinen ist mit einem *Generator* direkt gekuppelt. Dieselben erzeugen bei einer Drehzahl von 133,3 resp. 166,6 pro Minute und $\cos\varphi = 0{,}70$

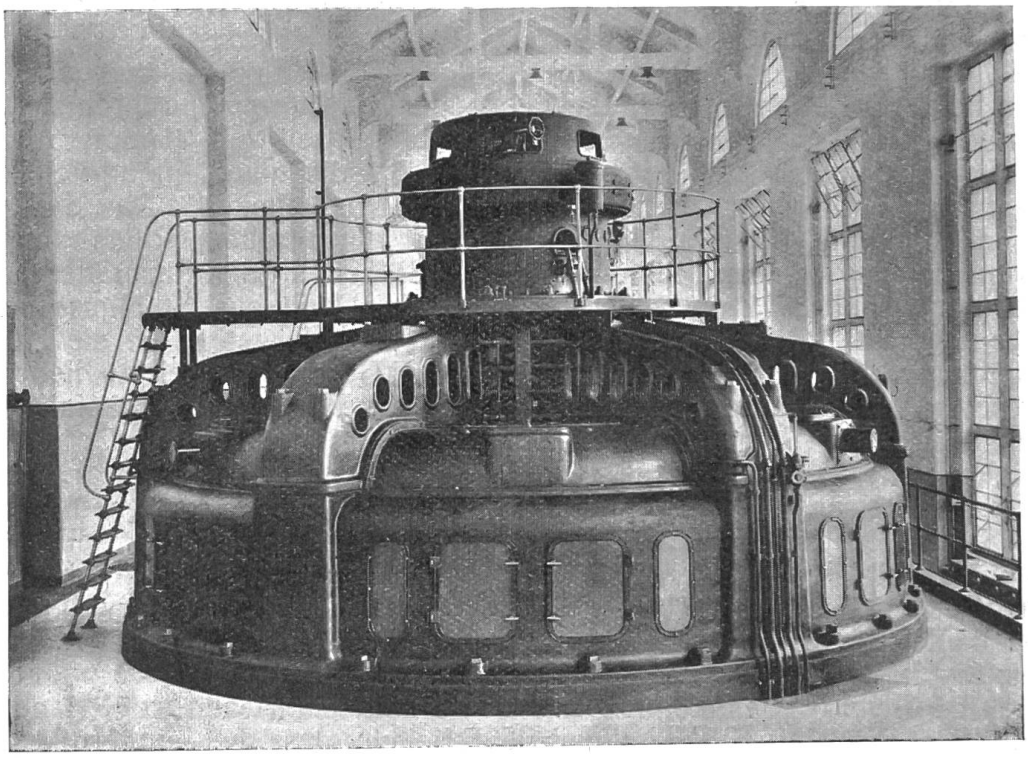


Fig. 13. Drehstromgenerator 8000 kVA.

8000 kVA Drehstromenergie von 40 resp. 50 Perioden pro Sekunde bei einer Spannung von 16,0 bis 17,6 kV.

Für die Wahl der verhältnismässig hohen Generatorenspannung war der Umstand massgebend, dass das allgemeine Verteilungsnetz der B. K. W. mit dieser Spannung betrieben wird und zwar seit Jahren anstandslos direkt ab den Generatoren. Der wahlweise Betrieb der Generatoren mit 40 und 50 Perioden musste vorgesehen werden, weil zur Zeit der Projektierung des Kraftwerkes Mühleberg der grössere Teil des Verteilungsnetzes noch mit 40 Perioden betrieben wurde, der Umbau auf 50 Perioden aber beabsichtigt war. Inzwischen ist der Umbau zum grössten Teil erfolgt, und es arbeiten die Generatoren der Zentrale Mühleberg normalerweise mit 50 Perioden.

Die Ausführung der Generatoren geht aus den Fig. 13 und 14 hervor. Die vertikale *Generatorenwelle* ist durch einen angeschmiedeten Kupplungsflansch starr mit der Turbinenwelle verbunden und in dem im Tragstern sitzenden Halslager gelagert. Die für die automatische Schmierung dieses Lagers erforderliche Pumpe wird gemeinsam mit derjenigen für die Turbinenlager mittels Schraubenräder von der Turbinenwelle aus angetrieben.

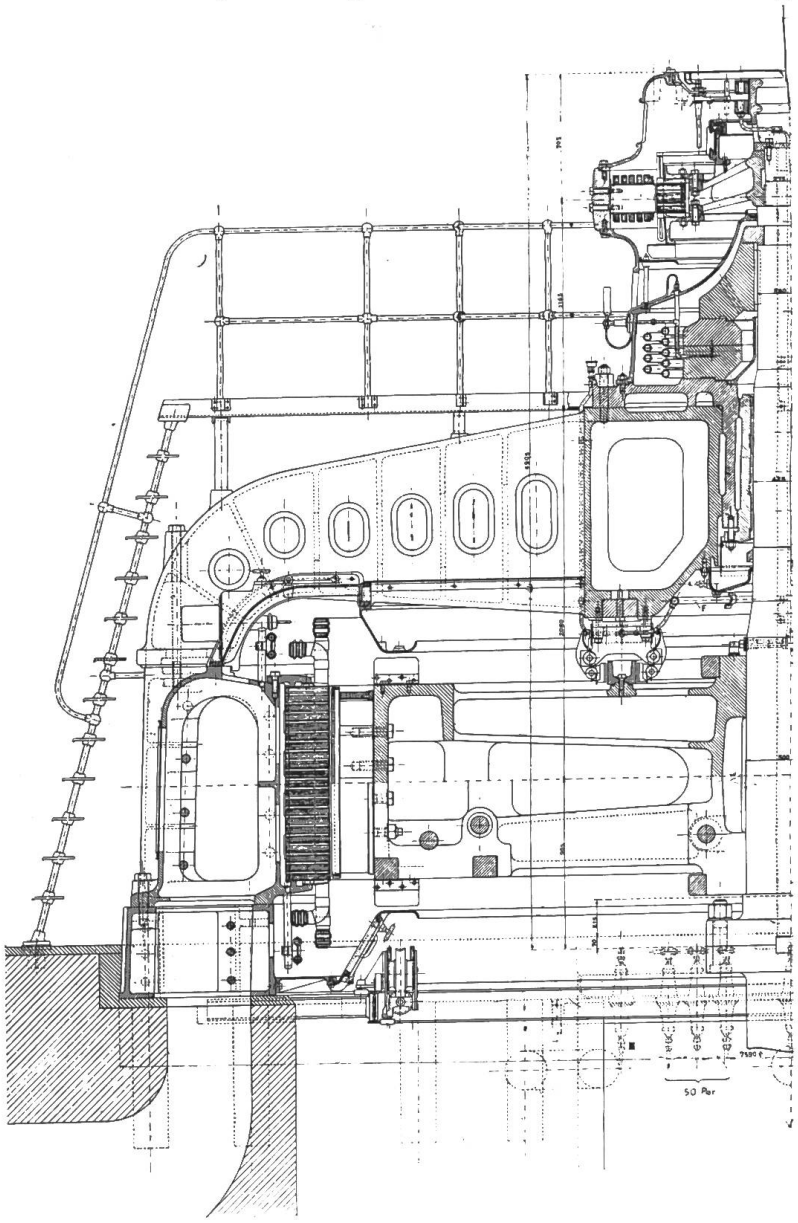


Fig. 14. Drehstromgenerator 8000 kVA. Schnitt. — Masstab 1 : 50.

Der *Rotor* besteht aus einem zweiteiligen Stahlgussrad, welches mit 2 Schrumpfringen auf die Welle aufgezogen ist und 36 aufgeschraubte Stahlgusspole mit lamellierten Polschuhen besitzt. Die Polschuhe sind um eine Nutenteilung schief gestellt. Die einzelnen Windungen der Magnetwicklung bestehen aus hochkant gewickeltem Flachkupfer, welches für eine gute Abführung der Stromwärme am äussern Umfang keilförmig zugeschärft ist. Die komplett betriebsbereiten Rotoren sämtlicher Generatoren wurden mit der Durchbrenntourenzahl der Turbinen von 320 Touren pro Minute während einer Minute in den Werkstätten der Lieferfirma laufen gelassen. Es wurde vorgeschrieben, dass bei dieser Tourenzahl in allen Teilen des Rotors wenigstens noch eine 3,5fache Sicherheit gegen Bruch vorhanden ist.

Das *Statorgehäuse* ist dreiteilig und ruht auf dem ebenfalls dreiteiligen Fundamentring. Der letztere ist in dem armierten Betonunterbau eingelassen, welcher in

der Hauptsache auf 6 im Kreise angeordneten Säulen ruht. Von diesen Säulen, welche die vom Stator und vom Tragstern herrührende Last aufzunehmen haben, ist die vordere gegen die Unterwasserseite zu angeordnete Säule in zwei aufgelöst. Diese Anordnung der Säulen ergibt unter dem Generator einen begehbaren, gegen den Turbinenboden zu offenen Raum, von dem aus die untere Seite des Generators und der Reguliermechanismus der Turbine leicht zugänglich ist. Der Raum zwischen den Säulen der benachbarten Maschinengruppen wird durch den Generatorboden abgedeckt und ist zu den sogenannten Hochspannungskammern der Generatoren ausgebildet worden, in welchen die Anschlüsse der Generatorenkabel und die Schutzapparate untergebracht sind.

Auf dem Statorgehäuse ruht der zweiteilige, sechsarmige Tragstern, auf dem das Spurlager aufgesetzt ist und der die vom Rotor und der Turbine herrührende Belastung aufnimmt.

Auf dem Tragstern ist die Bedienungsgalerie, welche vom Generatorenboden aus mittels einer Treppe zugänglich ist, abgestützt.

Am Tragstern ist ferner die aus der Fig. 14 ersichtliche *Druckluftbremse* befestigt, deren Bremsbacken auf den am Polrad aufgesetzten Bremsring wirken. Die Bremse ermöglicht, das Agregat bei vollständigem Wasserabschluss der Turbine innert 5 Minuten von der Drehzahl 166 pro Minute zum Stillstand zu bringen.

Die Druckluft wird durch eine in der Reparaturwerkstätte aufgestellte Kompressorenanlage, die auch zum Betrieb von pneumatischem Werkzeug dient, geliefert.

Das aktive Statoreisen hat eine Bohrung von 5200 mm. Es ist mit zahlreichen Ventilationsschlitzen und offenen Nuten für die *Hochspannungswicklungen* versehen. Die Spulenschenkel sind mittels in die Nuten eingesetzten Holzkeilen befestigt und die Spulenköpfe mittels Abstützungen gehalten. Die drei den Ableitungen zunächst liegenden Spulen besitzen zum Schutze gegen Ueberspannungen zwischen den einzelnen Windungen verstärkte Isolation. Sämtliche Spulen wurden vor dem Einbau gegen Staniolumwicklung auf Eisenlänge mit 40 kV effektiv Wechselstrom während einer Minute geprüft. Die fertige in den Stator eingesetzte Wicklung wurde während einer Minute Phase gegen Phase und Phase gegen Eisen mit 32 kV und während 30 Minuten mit 24 kV effektiv Wechselstrom geprüft.

Die Hochspannungswicklung jeder Phase ist in Serie, die drei Phasen sind in Stern geschaltet. Beim Betriebe mit 50 Perioden werden in jeder Phase am Sternpunkt durch einen in der Hochspannungskammer untergebrachten dreipoligen Trennumschalter an jedem zweiten Pol je eine Spule abgeschaltet.

In die Schenkel von 6 auf dem Statorumfang gleichmässig verteilten Spulen ist je ein am Wicklungskupfer anliegendes Widerstandselement der Wechselstrom-Temperaturmesseinrichtung, System der Siemens und Halske A.-G., eingebaut. Die Enden dieser Elemente sind zu Isolierwandlern geführt, welche, wie aus der Fig. 13 ersichtlich ist, in die obere Verschalung des Statorgehäuses eingebaut sind.

Das Statorgehäuse ist am Umfang und auf der obern Seite gegen den Maschinensaal durch Verschalungen abgeschlossen. Die Verschalungen der auf der untern Seite liegenden Spulenköpfe reichen bis zu den Ventilationsflügeln des Polrades. Die Verschalungen sind am Umfang mit Revisionstüren versehen Die Kühlluft, welche ca. 15 m^3 pro Sekunde und pro Generator beträgt, wird durch die Ventilationsflügel des Polrades durch den unter dem Generator befindlichen Raum vom Maschinensaal her angesaugt, durch den Generator hindurchgepresst und durch das Statorgehäuse und den Fundamentring in die beiden im Generatorenfundament ausgesparten Warmluftkanäle ausgestossen. Die letztern münden hinter der oberwasserseitigen Maschinenhausmauer ins Freie aus. Durch in die Luftkanäle eingebaute Klappen ist es möglich, die warme Abluft ganz oder teilweise in das Maschinenhaus einströmen zu lassen. (Fig. 2).

Jeder Generator besitzt seine eigene auf der Generatorwelle über dem Spurlager aufgebaute *Erregermaschine.* Dieselbe ist als Nebenschlussdynamo mit zehn

Haupt- und Wendepolen gebaut, für eine Leistung von 100 kW bei 220 V für die Erregung des Generators beim Betrieb mit 40 oder 50 Perioden und bis Vollast $\cos\varphi = 0{,}7$. Beim Betrieb des Generators mit 50 Perioden werden zwei Hauptpolspulen abgeschaltet. Dieses Abschalten erfolgt gleichzeitig mit dem vorerwähnten Abschalten von Hochspannungsspulen mittels gemeinsamem Antrieb. Die Erregermaschine ist mit einer in der Hochspannungskammer angeordneten Umschalteinrichtung für die Eigen- oder Fremderregung des Generators verbunden. Die Fremderregung kann von der Zentralenbatterie oder von deren Ladegruppe aus geschehen.

Die an den Generatoren durchgeführten Abnahmeversuche haben ergeben, dass die eingegangenen Garantien erfüllt worden sind. Die Wirkungsgradkurve ist in Fig. 15 dargestellt.

Die Generatoren wurden von der Firma Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Baden, geliefert.

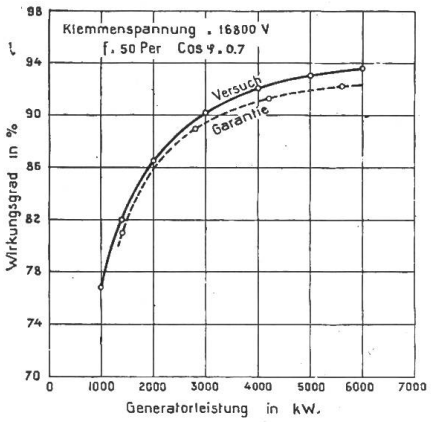


Fig. 15. Wirkungsgradkurve des Drehstromgenerators.

Phasen- und Frequenzumformergruppen.

Die *Umformergruppen* dienen zur Umformung von Drehstrom 50 Perioden in Einphasenstrom $16\,^2/_3$ Perioden für Bahnzwecke oder von Einphasenstrom in Drehstrom. Sie können deshalb zum Energieaustausch zwischen dem Drehstrom- und dem Einphasennetz in der einen oder andern Richtung Verwendung finden.

Die beiden Umformergruppen haben im Maschinenhaus neben den Turbinenagregaten auf dem gleichen Boden wie die Generatoren Aufstellung gefunden. Jede Gruppe, deren Ausführung aus den Fig. 16 und 17 hervorgeht, besteht aus einem Dreiphasen-Wechselstromgenerator, gebaut für 50 Perioden, eine Betriebsspannung von 16,0 bis 17,6 kV und eine Dauerleistung von 5000 kVA bei $\cos\varphi = 0{,}7$ und einem damit direkt gekuppelten Einphasen-Wechselstromgenerator, gebaut für $16\,^2/_3$ Perioden, eine Betriebsspannung von 15,0 bis 16,0 kV, und eine Dauerleistung von 5000 kVA bei $\cos\varphi = 0{,}7$. Die Tourenzahl beträgt 500 pro Minute.

Die horizontale *Welle* der dreilagerigen Gruppe ist zweiteilig und durchbohrt. Die beiden Wellenteile sind durch angeschmiedete Flansche starr miteinander gekuppelt. Die *Lager* sind mit Ringschmierung und mit Wasserkühlung durch in die Lagerschalen eingebaute Kühlröhren versehen. Die 3 Lager einer Umformergruppe sind durch Druckölleitungen mit einer auf dem Regulierboden aufgestellten Handölpumpe verbunden, mit welcher zur Erleichterung des Anlaufes der Gruppe Oel in die Lager eingepresst werden kann. In die Kühlwasserleitungen sind Schaugläser und in die Lager Kontaktthermometer eingebaut. Ferner befindet sich im Reguliergang für jedes Lager über den Absperrhahnen ein Kühlwasserkontrollgefäss und daneben für die Oeldruckleitung ein Kontrollgefäss und ein Manometer.

Der *Rotor* der Drehstrommaschine besteht aus einem mit 2 Schrumpfringen auf die Welle gepressten, gusseisernen Radstern, auf welchen die den Polkranz bildenden Stahlgussringe aufgeschrumpft sind. Die 12 Polkerne aus Stahlguss sind am Polkranz mit trapezförmigen Klauen befestigt und besitzen lamellierte Polschuhe. Der Rotor der Einphasenmaschine besitzt ein aus Stahlguss hergestelltes Polrad, welches aus 2 senkrecht zur Wellenaxe geteilten und mittels Schrumpfringen auf der Welle befestigten Stücken besteht. Die 4 Polkerne aus Stahlguss sind mittels Trapezgewinde in den Polradkörper eingeschraubt und mit lamellierten Polschuhen versehen.

Bei der Drehstrom- und Einphasenmaschine sind in die Polschuhbleche Dämpferwicklungen aus Kupferstäben eingebaut, welche durch die an den beiden Enden über den ganzen Umfang der Rotoren verlaufenden Kupferringe miteinander verbunden sind. Die Magnetwicklungen bestehen aus hochkant gewickeltem Kupferband,

von denen einzelne Windungen für eine gute Abkühlung über den äussern Umfang vorstehen.

Die zweiteiligen Gehäuse der *Statoren* stützen sich mittels zwei abnehmbaren Füssen auf die für die ganze Gruppe gemeinsame und in den Generatorenboden eingebettete Grundplatte. Auf der letztern ruhen auch die 3 Lagerböcke, von denen die aussenliegenden zur Vermeidung von Lagerströmen isoliert aufgestellt sind. Im weitern wird jedes der beiden Statorgehäuse von 4 in den Maschinengruben gelagerten Rollen unterstützt. Mit Hilfe dieser Rollen können die Statorgehäuse nach Entfernen der Füsse bei Reparaturen um die Axe der Gruppe gedreht werden.

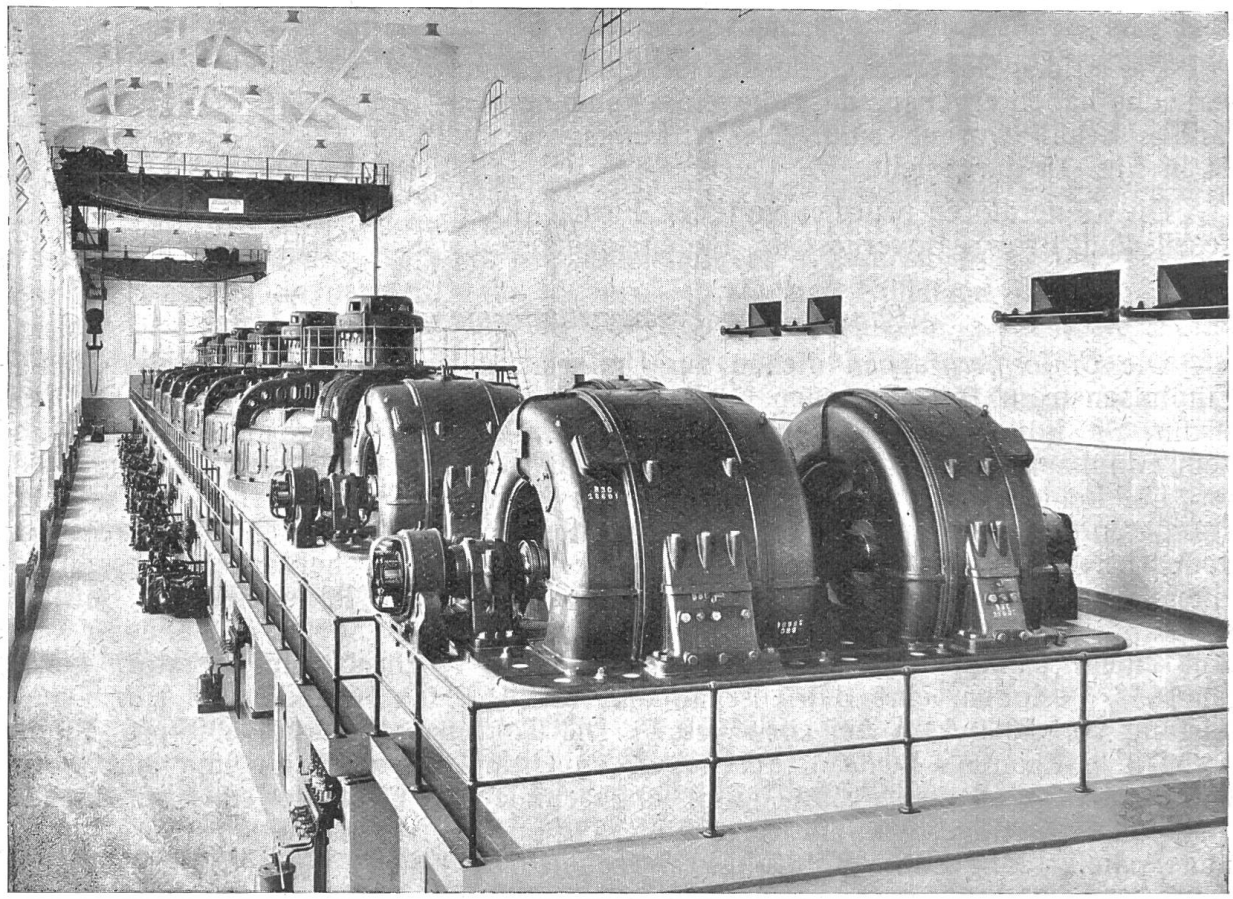


Fig. 16. Phasen- und Frequenzumformergruppen 5000 kVA, 50/16$^2/_3$ Perioden.

Bezüglich konstruktiver Ausführung und Spannungsprüfung der Hochspannungswicklung gilt das bei den Drehstromgeneratoren bereits Gesagte. Bei den Drehstrom- und Einphasenmaschinen sind die Anfänge und Enden der Hochspannungswicklungen mit den in den Maschinengruben und in den Hochspannungskammern für den Differentialstromschutz eingebauten Stromwandlern verbunden. Die Drehstromwicklungen sind in Stern geschaltet. In ähnlicher Weise wie bei den Generatoren sind bei den beiden Maschinen je 4 Widerstandselemente für die Temperaturmessung in die Hochspannungswicklungen eingebaut und mit Isolierwandlern verbunden.

Die Hochspannungsspulenköpfe sind durch Verschalungen, welche bis zu den auf beiden Seiten der Rotoren angebrachten Ventilationsflügeln reichen, abgedeckt. Die Verschalungen sind mit Revisionstüren ausgerüstet und schliessen an die Abdeckbleche der Maschinengruben an. In die oberen Hälften der Verschalungen sind zwei der vorerwähnten Isolierwandler eingebaut.

Die Kühlluft wird von den Ventilationsflügeln axial aus dem Maschinensaal angesaugt, durch die Maschinen gepresst und nach unten in die separaten Maschinengruben ausgestossen. Die letztern stehen je mit einem Warmluftkanal in

Verbindung. Diese Kanäle münden, in ähnlicher Weise wie bei den Generatoren, hinter der oberwasserseitigen Maschinenhausmauer aus; es kann ebenfalls die Warmluft durch Klappen in das Maschinenhaus geleitet werden (siehe Fig. 16).

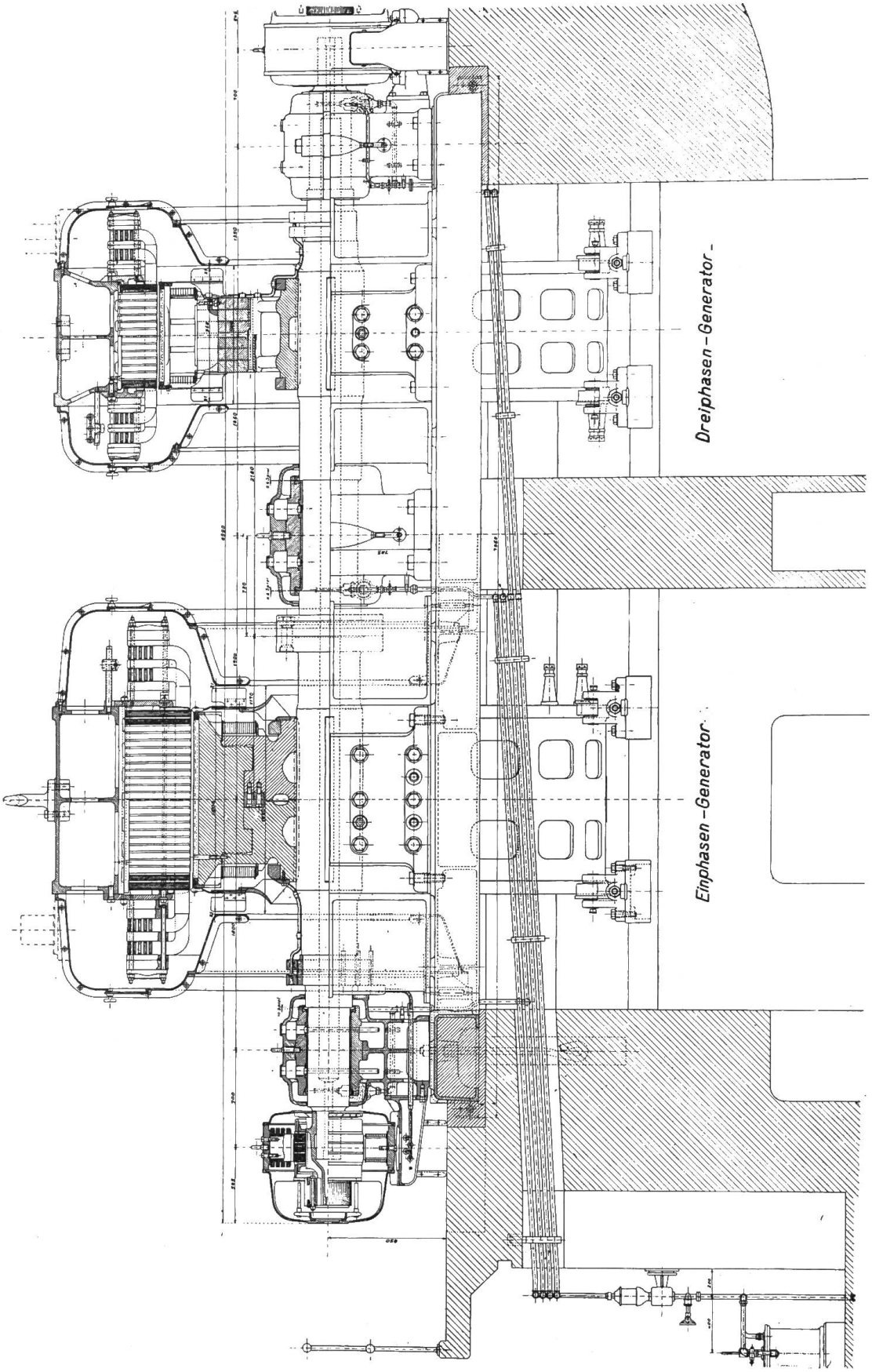


Fig. 17. 5000 kVA Phasen- und Frequenzumformergruppe Längsschnitt. — Masstab 1 : 50.

An beiden Wellenenden jeder Umformergruppe ist eine *Erregermaschine* fliegend angeordnet. Dieselben sind als Nebenschlussdynamo mit Haupt- und Wendepolen für 110 V Betriebsspannung ausgeführt. Die Normalleistung der Erregermaschine auf der Drehstromseite beträgt 48 kW, und auf der Einphasenseite 40 kW. Die Erregermaschinen sind, in analoger Weise wie bei den Generatoren mit den in den Hochspannungskammern der Umformergruppen vorhandenen Umschalteinrichtungen für Eigen- und Fremderregung verbunden. Von diesen Umschalteinrichtungen wird der Erregerstrom mittels Schleifringen den Magnetpolen zugeführt.

Die *Inbetriebsetzung* einer Umformergruppe erfolgt in der Weise, dass der Drehstrommotor mit einem fremderregten Turbinengenerator zusammengeschaltet, mit diesem vom Stillstand auf normale Tourenzahl gebracht und alsdann mit dem 50 Periodennetz, unter gleichzeitiger Beobachtung der Phase auf der Einphasenseite parallel geschaltet wird. Hernach kann der dazugehörige Einphasengenerator mit dem Einphasenbetrieb parallel geschaltet werden. Dieses Parallelschalten kann in normaler Weise mittels Spannungswandler, also ohne die vorsorglicherweise in das Statoreisen der Einphasenmaschinen eingebaute Hilfswicklung durchgeführt werden. Während der Anlaufperiode ist das Magnetfeld des Drehstrommotors der Umformergruppe mit der zugehörigen Erregermaschine verbunden.

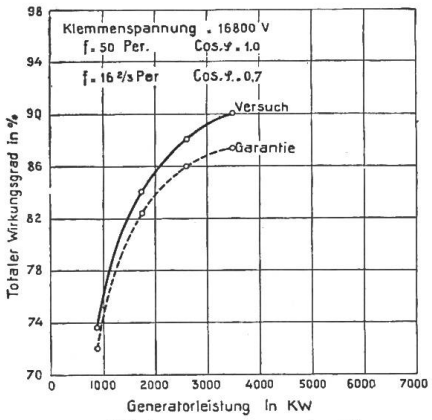


Fig. 18. Wirkungsgradkurve der Phasen- und Frequenzumformergruppe.

Es ist vorgesehen, nötigenfalls später die Umformergruppen für den Anlauf mit einem Drehstromanwurfmotor zu versehen. Der Anwurfmotor würde an Stelle der Erregerdynamo an die Einphasenmaschinen angebaut und für die Erregung der letztern eine separate Erregerumformergruppe aufgestellt.

An den Umformergruppen wurden ebenfalls eingehende *Abnahmeversuche* durchgeführt. Die Garantien wurden erfüllt. In Fig. 18 ist die Wirkungsgradkurve der Umformer dargestellt.

Die Umformergruppen wurden durch die Firma A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden, geliefert.

Schalt- und Transformatorenanlagen.

Im Ausführungsprojekt vom Jahre 1917 war für den ersten Ausbau des Werkes die Aufstellung von nur 4 Maschineneinheiten und die Fortleitung der erzeugten Energie in das umliegende Verteilungsnetz direkt mittels der Generatorenspannung von ca. 16 kV vorgesehen. Infolgedessen wurde vorerst nur das *16 kV-Schalthaus* und, daran anschliessend, ein Transformatorenreparaturraum erstellt. Es war vorgesehen, an den letztern später ein 45 kV-Schalt- und Transformatorenhaus anzugliedern. Bereits schon während dem Bau des Kraftwerkes Mühleberg ergab sich die Notwendigkeit, einen Teil der erzeugten Energie mit 45 bis 50 kV Betriebsspannung abzugeben. Es wurde vorläufig vom Bau eines 45 kV Schalt- und Transformatorenhauses Umgang genommen und die erforderlichen Transformatoren 16/45 kV mit den zugehörigen 45 kV-Schaltern im 16 kV-Schalthaus untergebracht und jeder Transformator je mit einer abgehenden 45 kV-Leitung direkt verbunden. Diese 45 kV-Schalteinrichtung hat jedoch nur vorübergehenden Charakter und wird in nächster Zeit durch eine zwischen Schalthaus und Unterwasser zu erstellende 45 kV-Freiluftschaltanlage ergänzt werden.

Im Schalthaus wurden ferner auch die Schalteinrichtungen für die Phasen- und Frequenzumformergruppen und abgehenden Einphasenspeiseleitungen untergebracht.

Da das Kraftwerk Mühleberg als Tages- bezw. Wochenakkumulierwerk ein Hauptspeise- und Verteilungspunkt sowohl des 16 kV- als des 45 kV-Netzes bildet,

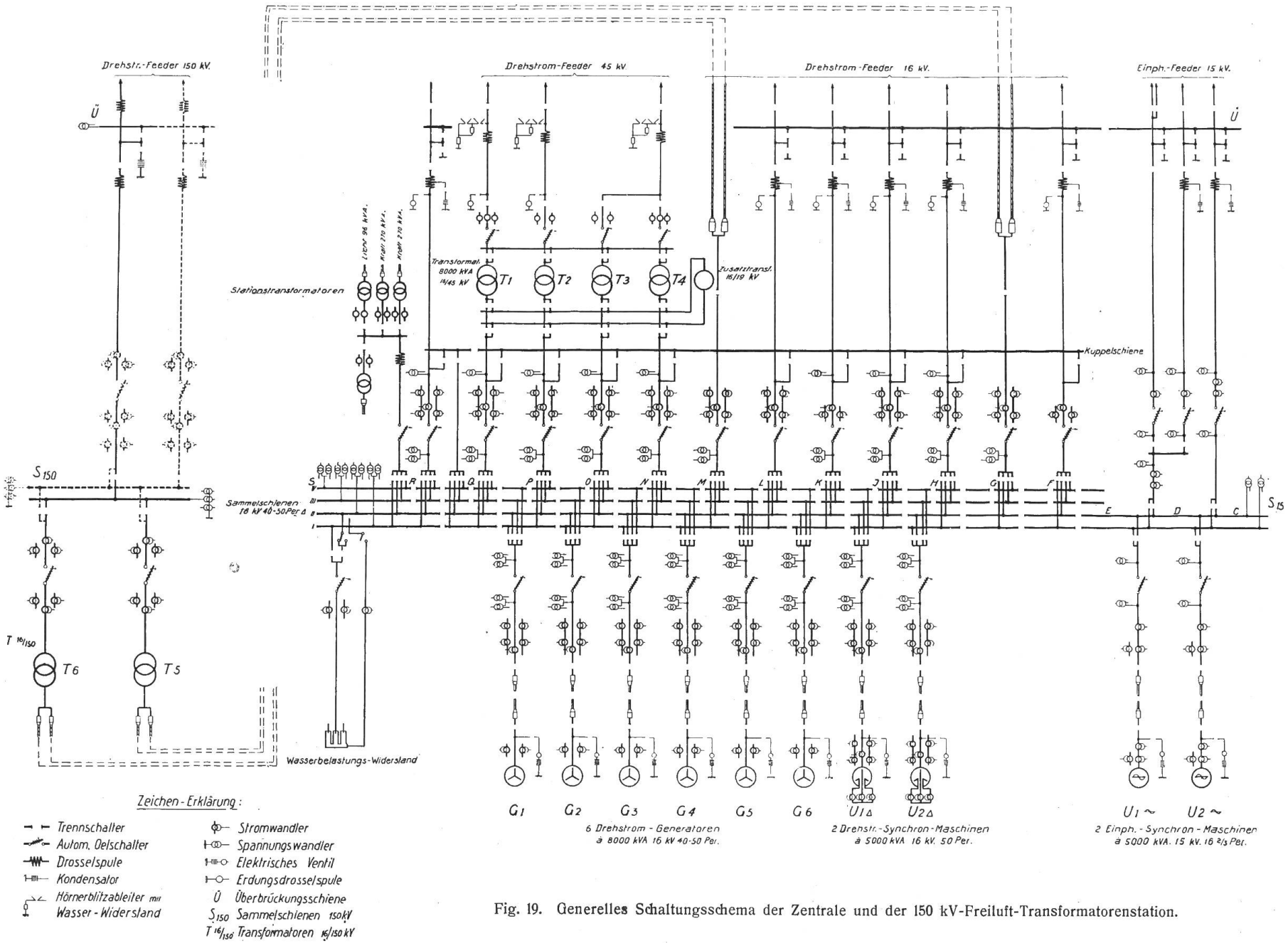


Fig. 19. Generelles Schaltungsschema der Zentrale und der 150 kV-Freiluft-Transformatorenstation.

ist in Aussicht genommen worden, dasselbe mit den nun im Bau begriffenen Oberhasliwerken durch eine Höchstspannungsleitung zu verbinden. Die für den Anschluss dieser Leitung notwendige Schaltstation ist zum Teil bereits als Freiluftstation erstellt worden und dient vorläufig für den Anschluss der 150 kV-Leitung nach Rathausen einerseits und Bassecourt andererseits.

Der gegenwärtige Ausbau der Schaltanlagen in Mühleberg ist aus dem Schaltungsschema Fig. 19 ersichtlich.

16 kV-Schaltanlage.

Die 16 kV-Schaltanlage ist in einem besondern Gebäude neben dem Maschinenhaus untergebracht und mit demselben durch zwei begehbare Kabelkanäle verbunden. Im einen Kanal liegen die Hochspannungskabel und im andern die Niederspannungskabel.

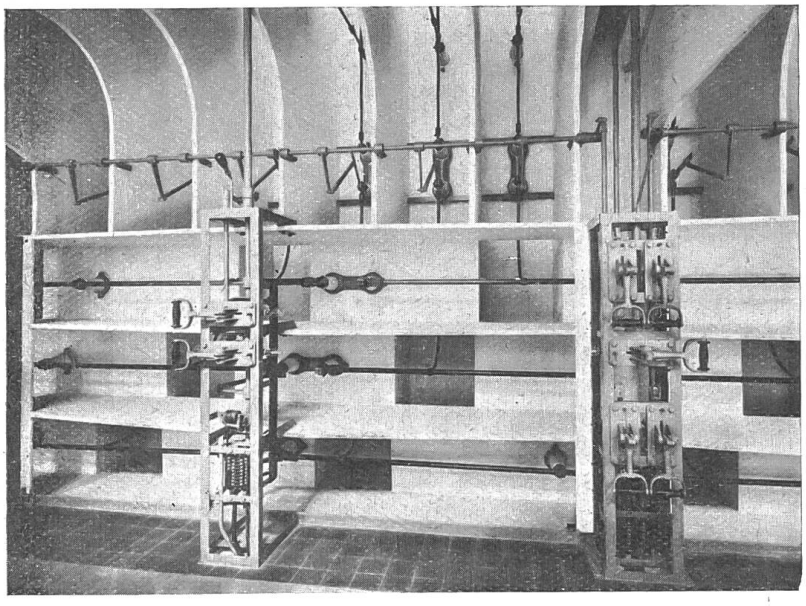


Fig. 22. Schalthaus: Sammelschienen und Trennmesserantriebe im I. Stock.

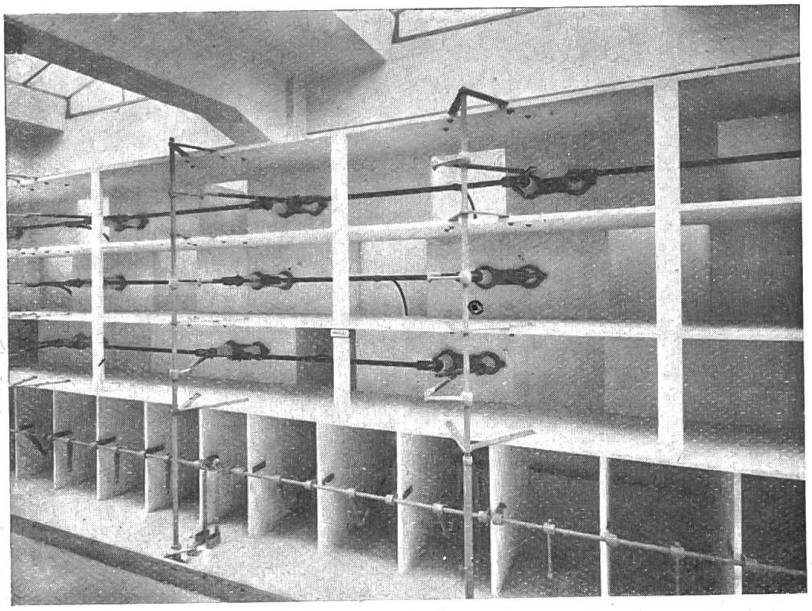


Fig. 23. Schalthaus: Sammelschienen und Trennmesserantriebe im II. Stock.

Der Umstand, dass, namentlich im Anfang, im Werk Mühleberg gleichzeitig 40 und 50 Perioden-Energie erzeugt und dass teilweise getrennte Betriebe geführt werden mussten, liess es mit Rücksicht auf die in andern Werken gemachten Erfahrungen als nötig erscheinen, vier 16 kV-Sammelschienen einzubauen.

Im weitern ist eine Kuppelschiene und eine Ueberbrückungsschiene vorhanden. Die erstere dient in Verbindung mit der Kuppelschalteinrichtung zur Kupplung zweier Betriebe auf längsunterteilten Sammelschienen und zur Inbetriebsetzung der Phasen- und Frequenzumformergruppen. Mit Hilfe der Ueberbrückungsschiene können die Schaltfelder der 16 kV-Speiseleitungen für Revisionen und Reparaturen spannungsfrei gemacht und die betreffenden Leitungen mit andern Leitungen zusammengeschaltet oder vom Kuppelfeld aus gespiesen werden.

Fig. 20 zeigt den Querschnitt des Schalthauses mit dem Stromverlauf für die Maschinen- und Leitungsfelder und Fig. 21 drei Längsschnitte desselben.

In dem mit flachem Dache versehenen Gebäudeteil (Fig. 20) befinden sich einerseits im ersten und zweiten Stockwerk je 2 Sammelschienensysteme für die Drehstromanlage, welche etwa $^4/_5$ des verfügbaren Raumes in Anspruch nehmen, und anderseits daran anschliessend im ersten Stock 2 Sammelschienensysteme für die Einphasenanlage $16^2/_3$ Perioden und im zweiten Stock die Messwandler für 2 Einphasenspeiseleitungen (s. Schnitt A-A, Fig. 21). An die Enden der Drehstrom- und Einphasensammelschienen sind Spannungswandler für die Systemmesseinrichtungen angeschlossen.

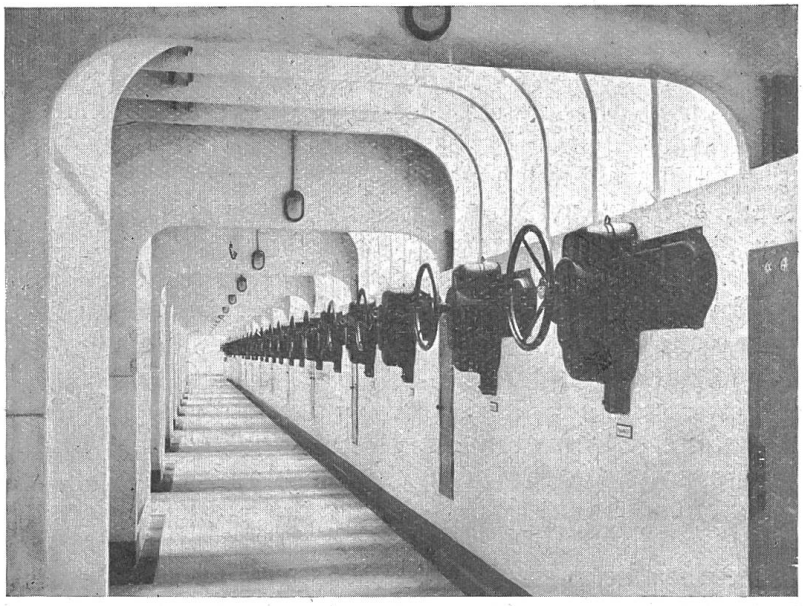


Fig. 24. Schalthaus: Motorfernantriebe der Oelschalter.

Wie aus der Fig. 20 zu ersehen ist, werden die in die Sammelschienen und in deren Abzweige eingebauten Trennschalter mittels Hebelantrieben und Isoliergestängen betätigt. Die zusammengehörenden Schalterpole sind miteinander gekuppelt. Die Fig. 22 zeigt die im ersten Stock vorhandenen Installationen. Die daselbst aufgestellten Gerüste enthalten die Antriebe sowohl für die im ersten als auch im zweiten Stocke (Fig. 23) eingebauten Trennschalter. Die Trennschalterantriebe werden auf Lampensignale hin, welche von der Schaltbühne abgegeben werden, betätigt. Die vollzogene Schaltung wird durch die von den Hebelantrieben aus betätigten Schaltkontakte auf die Schaltbühne zurückgemeldet.

Im anschliessenden Raume befinden sich im ersten Stocke die Oelschalter. Dieselben sind als einpolige Schalter für eine Betriebsspannung von 35 kV gebaut. In der Drehstromanlage sind je 3 und in den Feldern für die Einphasenmaschinen je 2 Schalterpole zusammengekuppelt. Für die Einphasenspeiseleitungen ist nur in die zum Fahrdraht führenden Leitungen ein Oelschalterpol eingebaut. Die Schalter werden mittels Motorfernantrieben (Fig. 24) von der Schaltbühne aus betätigt. Sie besitzen Hauptkontakte und mit Vielfachunterbrechung versehene Abbrennkontakte. An die im weitern noch vorhandenen messerförmigen Kontakte, welche gegenüber den andern beim Einschalten etwas voreilen, können hochohmige, im Schalter selbst angebrachte Schutzwiderstände angeschlossen werden, um den Stromstoss beim Einschalten von Transformatoren zu reduzieren. Alle Transformatorenschalter sind mit solchen Widerständen ausgerüstet. Mit Hilfe der an den Schaltern vorhandenen mittleren Durchführungsisolatoren können überdies niederohmige Schutzwiderstände zur Erhöhung der Abschaltleistung an die Schalter angeschlossen werden. Diese Widerstände werden im zweiten Stockwerke über den Oelschaltern eingebaut. Vorläufig sind versuchsweise die Oelschalter für die 20000 kVA-Transformatorengruppen und die abgehenden Einphasenleitungen mit solchen Widerständen ausgerüstet. Die Oelschalter sind in eisenarmierte Betonzellen, welche in ihrem untern Teil ein Oelbassin bilden, eingebaut. Für je 6 Bassins ist ein Ablaufrohr vorhanden.

Im gleichen Stockwerke wie die Oelschalter sind in besondere Zellen die Endverschlüsse für die von den Maschinen ankommenden und zu den Freiluft-transformatoren abgehenden Hochspannungskabel eingebaut.

Im zweiten Stocke sind nebst den niederohmigen Schutzwiderständen die auf

beiden Seiten der Oelschalter angeschlossenen 16000/100 V-Spannungswandler und deren Sicherungen aufgestellt.

Die Oelschalter- und Spannungswandlerräume sind einerseits gegen die Sammelschienenräume und anderseits gegen den Stromwandlerraum durch Betonwände, durch welche die Leitungen mit Durchführungsisolatoren geführt sind, abgetrennt. Für den Abzug von allfällig sich bildendem Rauch dienen in die Stirnseiten der Oberlichter des flachen Daches eingebaute aufklappbare Fenster.

Der sich an die besprochenen Räume anschliessende höhere Gebäudeteil ist mit einem Satteldach abgedeckt. Er enthält im Erdgeschoss nebst den Transformatoren, auf die noch näher eingetreten wird, die Kondensatorenbatterien für den Ueberspannungsschutz der abgehenden 16 kV Drehstrom- und Einphasenleitungen. Dieselben sind an die im zweiten Stockwerke befindlichen Drosselspulen aus Vierkantkupfer angeschlossen. Die neben den letztern angeordneten Erdungsdrosselspulen sind als normale Spannungswandler für 16000/100 V ausgeführt und dienen zur Ableitung statischer Ladungen und zur Erdschlussprüfung. Im gleichen Stockwerke sind die Stromwandler aufgestellt. In den Maschinenfeldern sind je besondere Stromwandler vorhanden für die direkt zeigenden Instrumente, die Registrierinstrumente und die automatischen Spannungsregler. Die Felder für die abgehenden Speiseleitungen und die Transformatoren besitzen je einen Satz Stromwandler für die Relais und Amperemeter und je einen zweiten Satz für die Registrierinstrumente.

Im dritten Stockwerke sind an einer Längswand die besprochenen Kuppelschienen und an der Decke die Ueberbrückungsschienen angeordnet. Die zugehörigen Trennschalter sind, in ähnlicher Weise wie diejenigen in den Sammelschienenräumen, mit Gestängeantrieben und Signaleinrichtungen ausgerüstet. Im Dachgeschoss befinden sich die Leitungsausführungen. Die Leitungen können beliebig auf beiden Seiten abgeführt werden. Auf der einen Seite sind die Leitungsabspannungen von dem in das dritten Stockwerk eingebauten Bedienungsgang und auf der andern vom flachen Dach des Schalthauses aus zugänglich.

Die Sammelschienen und Verbindungsleitungen bestehen zum grössten Teil aus Kupferröhren, welche bis zur Normalstromstärke von 350 Ampere 22 mm und für grössere Stromstärken 35 mm Aussendurchmesser besitzen. Als Leitungsträger dienen Stützisolatoren aus Porzellan, welche mit ge-

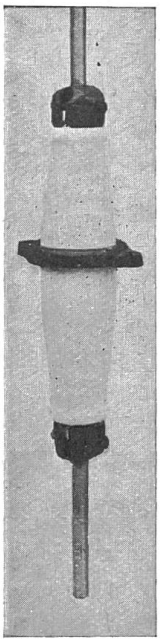


Fig. 25a.

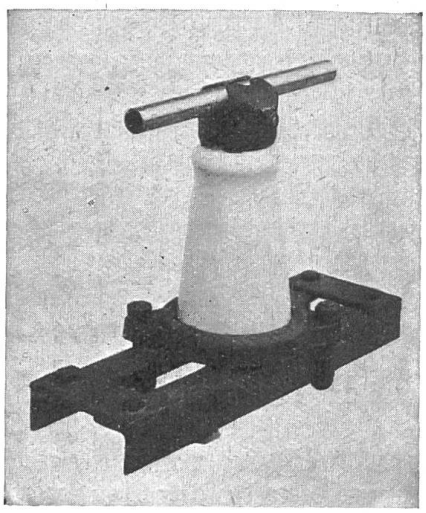


Fig. 25b.

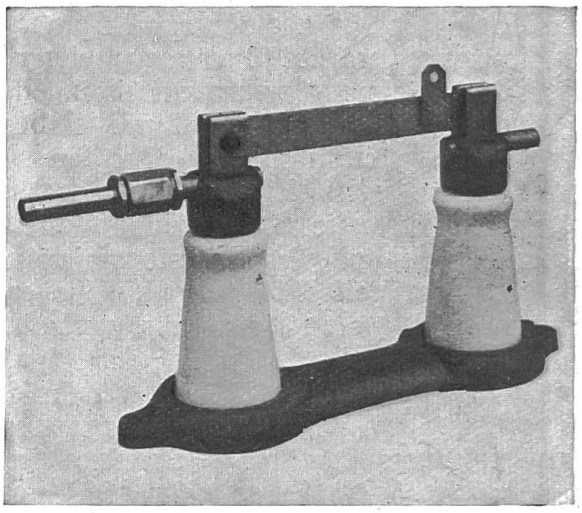


Fig. 25c.

Geklemmte Armaturen: Durchführungsisolator, Stützisolator und Trennmesser.

klemmten Armaturen eigener Konstruktion ausgerüstet sind. Die betreffenden Konstruktionen, welche auch für alle Trennschalter, Hochspannungssicherungen und Durchführungsisolatoren Anwendung gefunden haben, sind in Fig. 25 dargestellt[1]).

[1]) Siehe auch Bulletin S. E. V. 1922. No. 9, Seite 414 und 415.

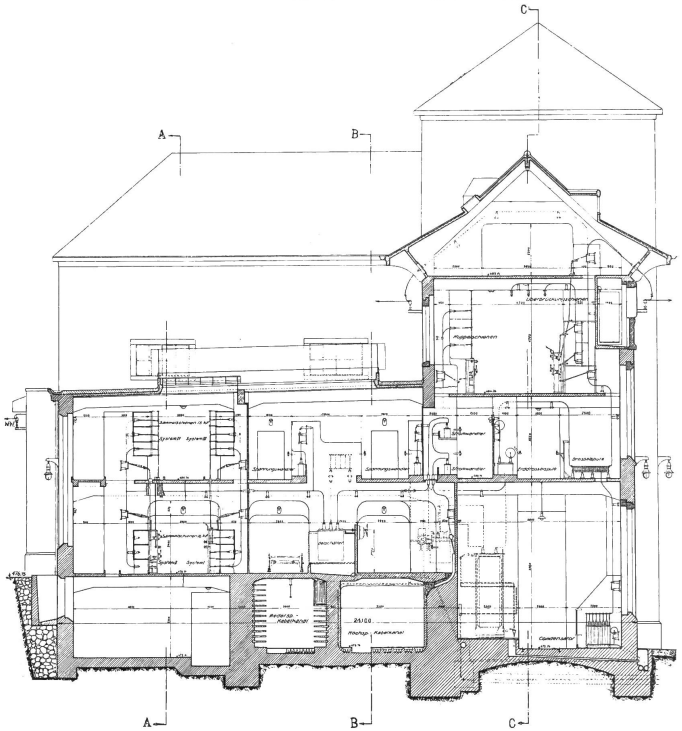
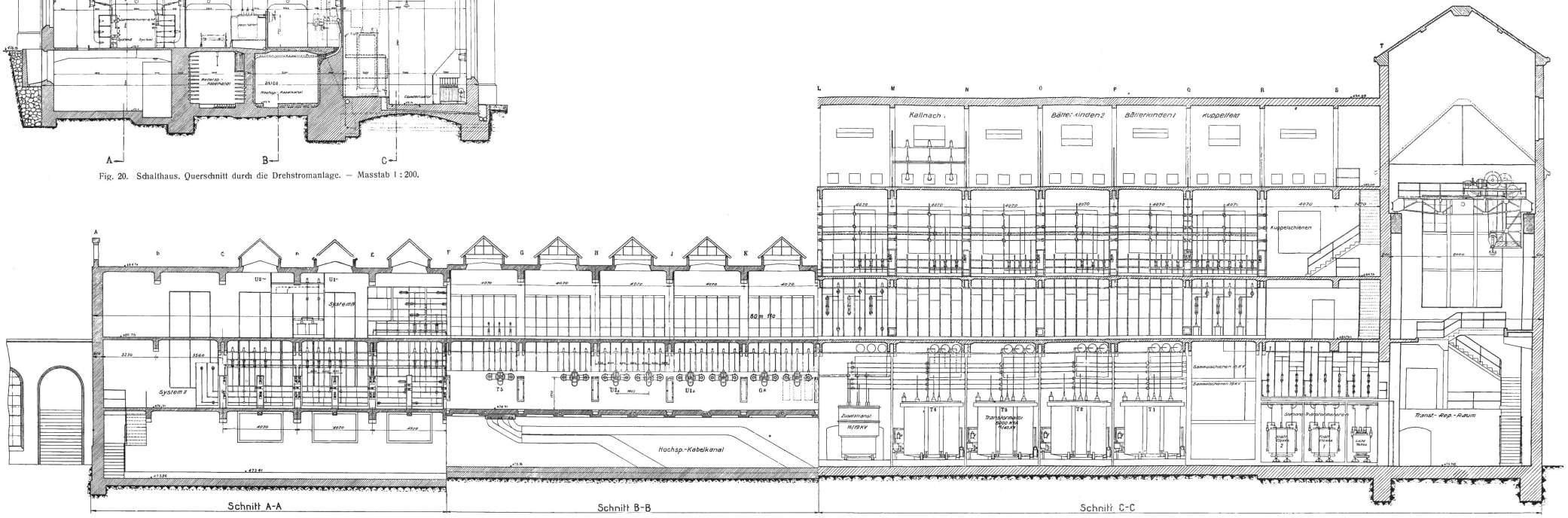


Fig. 20. Schalthaus. Querschnitt durch die Drehstromanlage. — Masstab 1 : 200.



In der Längsrichtung wird das Schalthaus je in Abständen von ca. 4 m durch auf Säulen ruhende und quer zum Schalthaus verlaufende armierte Betonträger in Abschnitte eingeteilt, in welche je 2 Drehstrom- bezw. 3 Einphasenschaltfelder eingebaut sind (siehe Fig. 21). Die einzelnen Schaltfelder sind durch armierte Betonwände voneinander getrennt. Desgleichen auch die Apparate und Leitungen der einzelnen Phasen, ausgenommen in den Ausführungsfeldern der abgehenden Leitungen, die doppelte Polteilung besitzen.

Die zwischen den einzelnen Apparatereihen befindlichen durchgehenden Bedienungsgänge sind an den beiden Enden durch Quergänge miteinander verbunden. Die letztern sind auf der Seite des Maschinenhauses vom Treppenhaus aus zugänglich. Am andern Ende wird das erste und zweite Stockwerk vom Transformatorenrepparaturraum aus betreten; in die beiden obern Räume führen die im Schalthaus eingebauten Treppen.

Wie aus dem Schaltungschema (Fig. 19) ersichtlich ist, sind die Maschinen- und Leitungs- resp. Transformatorenfelder in wechselnder Folge nebeneinander gereiht. Infolgedessen steht für die Transformatoren, die Ueberspannungsschutzapparate und die Leitungsausführungen auch der Raum der benachbarten Maschinenfelder zur Verfügung.

Mit dem Ausbau der Schaltfelder für die Drehstromanlage wurde von der Seite des Transformatorenreparaturraumes aus und für die Einphasenanlage vom andern Ende des Schalthauses aus begonnen. Die zwischen den beiden Anlagen noch vorhandenen freien Felder ermöglichen den weitern Ausbau der einen oder andern dieser Anlagen.

Neben dem bereits besprochenen Kuppelschaltfeld befinden sich die Felder für die Stationstransformatoren und den Wasserbelastungswiderstand. Im Stationstransformatorenfeld sind nach der Oelschaltergruppe Drosselspulen eingebaut, welche zur Reduktion der Kurzschlusstromstärke auf der Unterspannungsseite der Stationstransformatoren dienen. Installiert sind 2 Drehstromtransformatoren für Kraft zu je 270 kVA, 16 000/500 V, und ein Einphasentransformator für Licht 96 kVA, 16 000/2×125 V (siehe Schnitt C – C Fig. 21). Diese Transformatoren wurden von der Maschinenfabrik Oerlikon geliefert.

Das Feld für den Wasserbelastungswiderstand ist durch 3 kurze Freileitungen mit dem hinter dem Schalthaus und neben dem Oelhaus aufgestellten Wasserbelastungswiderstand verbunden. Derselbe besitzt 3 Doppelelektrodengefässe aus hartgebrannten Tonröhren je für das aufsteigende und abfliessende Wasser. In die gemeinschaftliche Abflussleitung der Elektrodengefässe ist ein Ueberlauf zur Einstellung der Wasserhöhe in denselben eingebaut. Durch die im Schalthaus vorhandenen Schalteinrichtungen können die 3 beweglichen Elektroden entweder je einzeln mit den drei Drehstrompolen, oder alle drei Elektroden parallel, mit dem einen und der Sternpunkt der Elektrodengefässe mit dem andern Einphasenpol verbunden werden. Die Einstellung der Eintauchung der Elektroden erfolgt vom Schalthaus oder von der Schaltbühne aus mittels Elektromotor.

Zur 16 kV-Schaltanlage gehören auch die Installationen in den bei den Maschinen befindlichen Hochspannungskammern. Ausser den bereits bei der Beschreibung der Generatoren und Umformer erwähnten Apparaten sind in denselben die Stromwandler für den Ueberstromschutz, die elektrischen „Ventile“ für den Ueberspannungsschutz und die Endverschlüsse der Hochspannungskabel eingebaut.

Für die Verbindung der Hochspannungsklemmen der Drehstromgeneratoren und der Umformermaschinen mit der 16 kV-Schaltanlage sind einadrige asphaltierte Bleikabel für 50 kV Prüfspannung verwendet. Für die Generatorenkabel beträgt der Querschnitt 150 mm² pro Phase. Um die Kabel vor den mechanischen Wirkungen bei Kurzschlüssen und vor Lichtbögen bei Defekten an benachbarten Kabeln zu schützen, sind dieselben einzeln in Betonrillen, welche mit Sand gefüllt und mit Betonplatten abgedeckt sind, eingelegt. Die Rillen verlaufen teilweise im Boden und teilweise in den Wänden (siehe Fig. 20 und 21) des begehbaren

Hochspannungskabelkanals, der zwischen dem Maschinenhausanbau und dem Schalthaus längs dem Niederspannungskabelkanal unter dem Erdboden geführt ist.

Die Oelschalter, die Strom- und die Spannungswandler sind von der A.-G. Brown, Boveri & Cie, Baden, und die Hochspannungskabel von der Société d'Exploitation des câbles électriques, Système Berthoud, Borel & Cie., Cortaillod, geliefert worden.

45 kV-Schaltanlage.

Die im Schalthause eingebauten, von der A.-G. Brown, Boveri & Cie. gelieferten 4 Drehstrom-Transformatoren mit Oelisolation sind gebaut für eine Dauerleistung von 8000 kVA, 40 und 50 Perioden pro Sekunde, und ein Uebersetzungsverhältnis von 16,5/46,6 kV mit Anzapfungen bei 16,0 und 15,5 kV. Die Transformatoren besitzen runde Spulen in doppelt konzentrischer Anordnung und kurzschlussicherer Abstützung. Zum Schutze gegen Ueberspannungen sind die den Klemmen zunächst liegenden Spulen mit verstärkter Isolation versehen. In die Unterspannungswicklung sind, in ähnlicher Weise wie bei den Maschinen, Temperaturmesselemente eingebaut. Die Nullpunkte auf der Ober- und Unterspannungsseite, sowie die Anzapfungen, sind zu Klemmen über den Deckel geführt. Die Oelkasten sind als Vakuumkessel ausgebildet. Die Deckel können durch einen besonderen Vakuumdeckel ersetzt werden, wenn die Transformatoren beim Auskochen evakuiert werden. Für die Kühlung des Oeles ist für jeden Transformator ein Röhrenkühler mit Zentrifugal-Heissölpumpe vorhanden. Die Transformatoren können mittels ihrer eigenen Transportrollen auf den Transportwagen und mit diesem in den Transformatorenreparaturraum gerollt werden. Gemäss den Abnahmeversuchen betragen die Verluste bei $\cos \varphi = 0{,}70$ total 114 kW, der Wirkungsgrad 98 %.

Die Transformatoren sind in den Zellen aufgestellt worden, welche für den Einbau von 16 kV-Reguliertransformatoren oder Zusatztransformatoren in die Speiseleitungen bestimmt wurden. Gegenwärtig ist ein Drehstrom-Zusatztransformator (siehe Schnitt C-C Fig. 21) für ein Uebersetzungsverhältnis von 16,5/19,6 kV, bei einer durchgehenden Leistung von 9000 kVA und 50 Perioden eingebaut. Dieser Zusatztransformator kann mittels über den Transformatoren angeordneten Hilfssammelschienen einem der vier Transformatoren vorgeschaltet werden, wenn dessen Oberspannung für einen bestimmten Netzteil erhöht werden muss.

Die 4 Transformatoren sind auf der 45 kV-Seite mit je einem Oelschalter verbunden. Zwei Transformatoren arbeiten je auf eine Speiseleitung, die weiteren zwei Transformatoren, wovon einer auch als Reserve dienen kann, sind zurzeit gemeinsam auf eine Speiseleitung geschaltet. Der Reservetransformator kann durch eine Ueberbrückungsschiene an Stelle eines der drei andern Transformatoren eingeschaltet werden. Die Oelschalter besitzen Motorfernantriebe und aufgebaute Hauptstromzeitrelais. Die Konstruktion der Schalter ist im übrigen ähnlich den beschriebenen Oelschaltern der 16 kV-Schaltanlage. Sie besitzen eingebaute hochohmige Schutzwiderstände und sind für den Anschluss von niederohmigen Schutzwiderständen eingerichtet.

Im zweiten Stockwerke sind die 45000 V-Erdungsdrosselspulen der Leitungen und im dritten Stockwerke die Blitzschutzapparate, bestehend aus Drosselspulen, Hörnerfunkenstrecken und Wasserwiderständen, eingebaut. Im Dachstock befinden sich die Leitungsausführungen.

150 kV-Freiluftstation.

Die Anlage (Fig. 26 und 27) befindet sich in ca. 180 m Entfernung vom 16 kV-Schalthaus. Dieselbe ist für den Anschluss an das 16 kV-Schalthaus und an die noch zu erstellende 45 kV-Freiluftstation für die Transformierung von 16 und 45 kV auf 135 bis 150 kV projektiert worden. Für die 150 kV-Seite sind 2 Sammelschienensysteme vorgesehen, auf deren einen Seite die Transformatoren und auf der andern

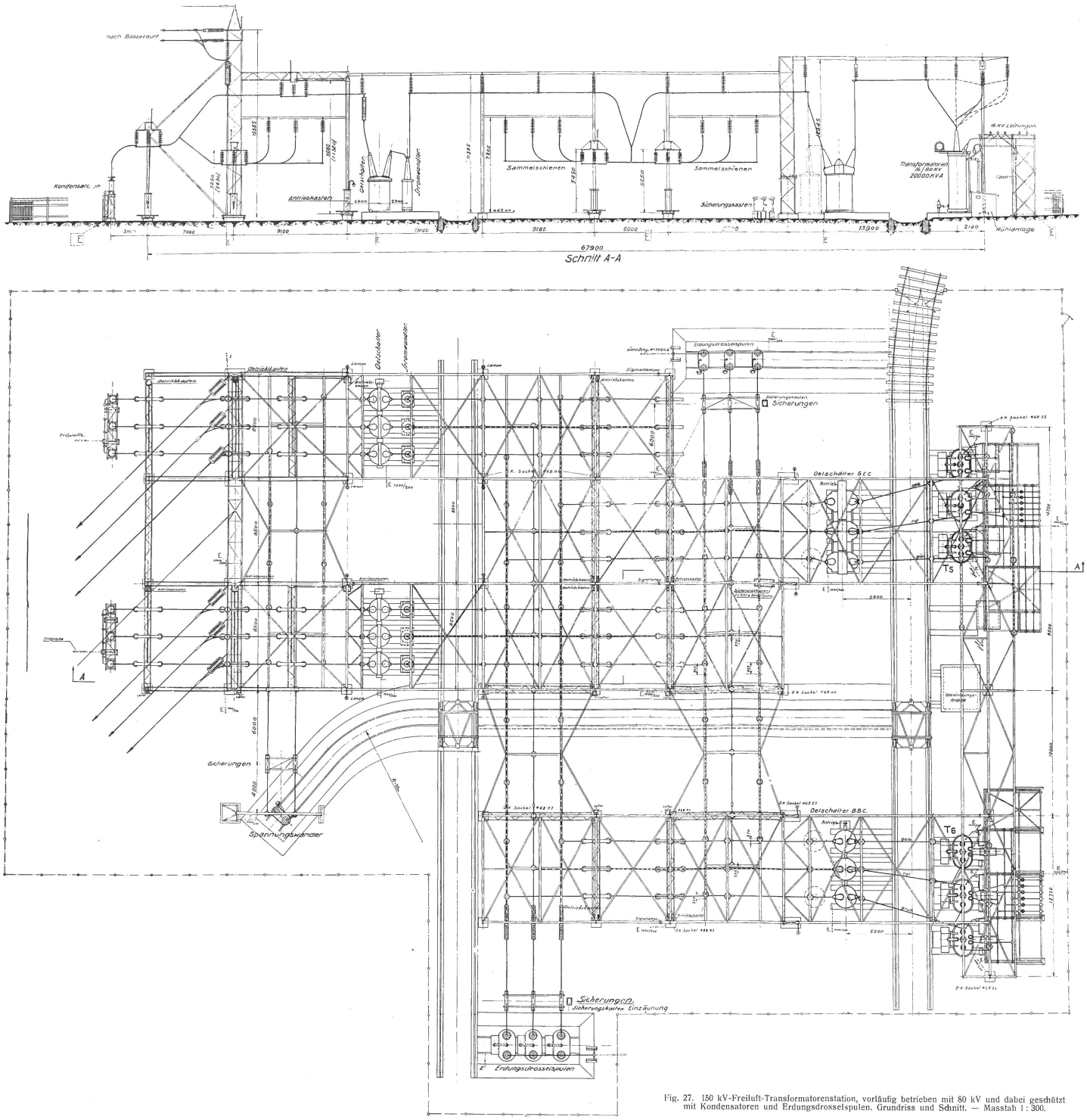


Fig. 27. 150 kV-Freiluft-Transformatorenstation, vorläufig betrieben mit 80 kV und dabei geschützt mit Kondensatoren und Erdungsdrosselspulen. Grundriss und Schnitt. — Masstab 1 : 300.

Seite die Speiseleitungsabspannungen angeordnet sind. Für die Verbindung einzelner Speiseleitungen bei Revision von Schaltern dient die Ueberbrückungsschiene.

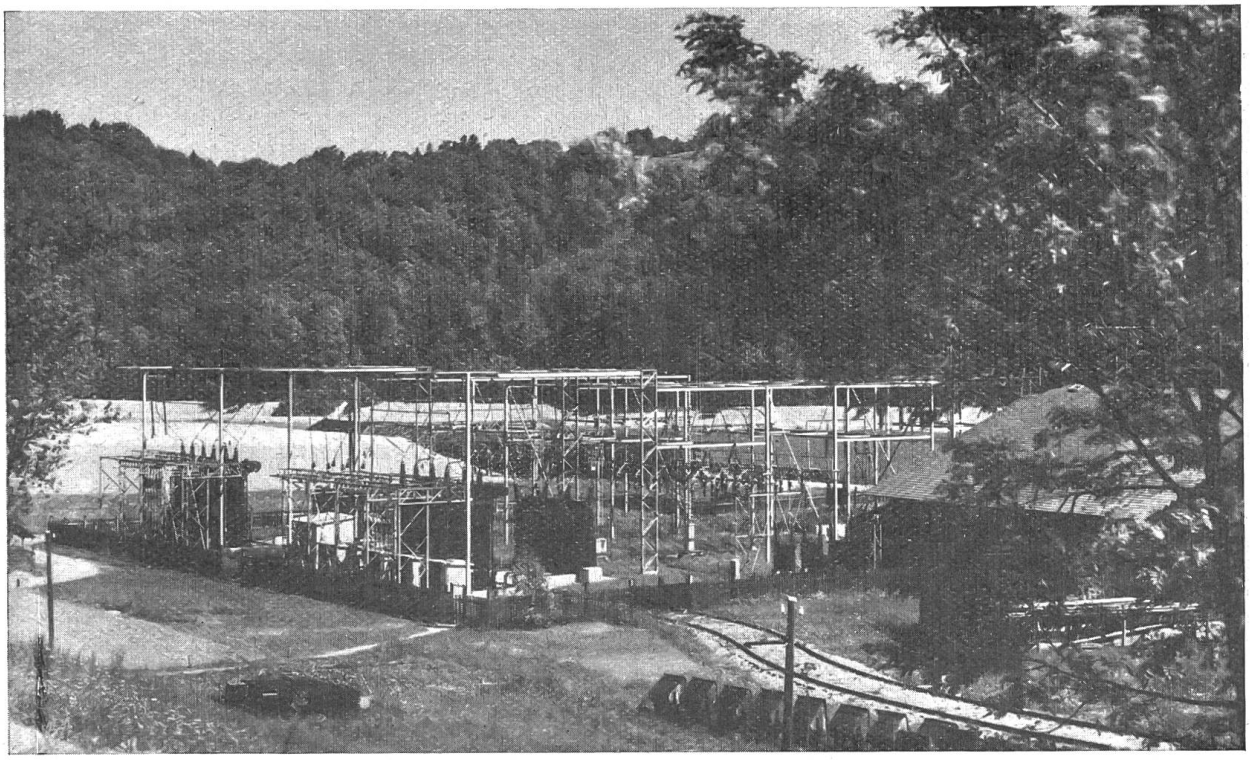


Fig. 26. 150 kV-Freiluft-Transformatorenstation.

Der gegenwärtige Ausbau der Station, welcher aus dem Schaltungsschema (Fig. 19) ersichtlich ist, enthält 2 Transformatorengruppen zu je 20 000 kVA, ein Sammelschienensystem für 150 kV und eine abgehende Drehstromleitung nach Rathausen und Bassecourt für 150 kV, vorläufig mit 80 kV im Betriebe.

Jede Transformatorengruppe (siehe Fig. 28) besteht aus 3 Einphasentransformatoren, welche für eine Dauerleistung von 6667 kVA, ein Uebersetzungsverhältnis von 16,5/78,0 kV mit 5 Anzapfungen auf der Oberspannungsseite und 50 Perioden gebaut sind. Die 3 Transformatoren einer Gruppe sind gegenwärtig oberspannungsseitig in Dreieck geschaltet. Sie werden später beim Uebergang auf eine Uebertragungsspannung von ca. 150 kV auf Stern umgeschaltet. In beiden Fällen ist die Unterspannungsseite in Dreieck geschaltet.

Im Jahre 1921, zur Zeit der Bestellung, waren in der Schweiz noch keine Transformatoren für diese hohe Spannung und Leistung und für die Aufstellung im Freien gebaut worden. Die Transformatoren wurden von der International General Electric Company in Amerika bezogen.

Jeder Einphasentransformator besitzt einschliesslich Oel ein Gewicht von ca. 30 Tonnen; die totale Höhe beträgt 7 m. Er ist mit Vakuumkessel, Oelkonservator und Ueberdruckventil ausgerüstet. Jeder Transformator besitzt seine eigene Oelkühlanlage mit Zentrifugalheissölpumpe. Diese Einrichtungen sind für die zuerst aufgestellte Transformatorengruppe in Betonhäuschen eingebaut, währenddem sie für die später erstellte Gruppe im Freien aufgestellt sind. In den Oelkühlanlagen sind besondere Vorkehren getroffen worden, um bei Undichtigkeiten das Eindringen von Wasser in das Oel sicher zu verhindern und Schäden an den Kühlern durch das Einfrieren des Wassers auszuschliessen.

Die Transformatoren sind als Kerntype mit runden, fest abgestützten Spulen, in einfach konzentrischer Anordnung, ausgeführt. Die Anfangs- und End-

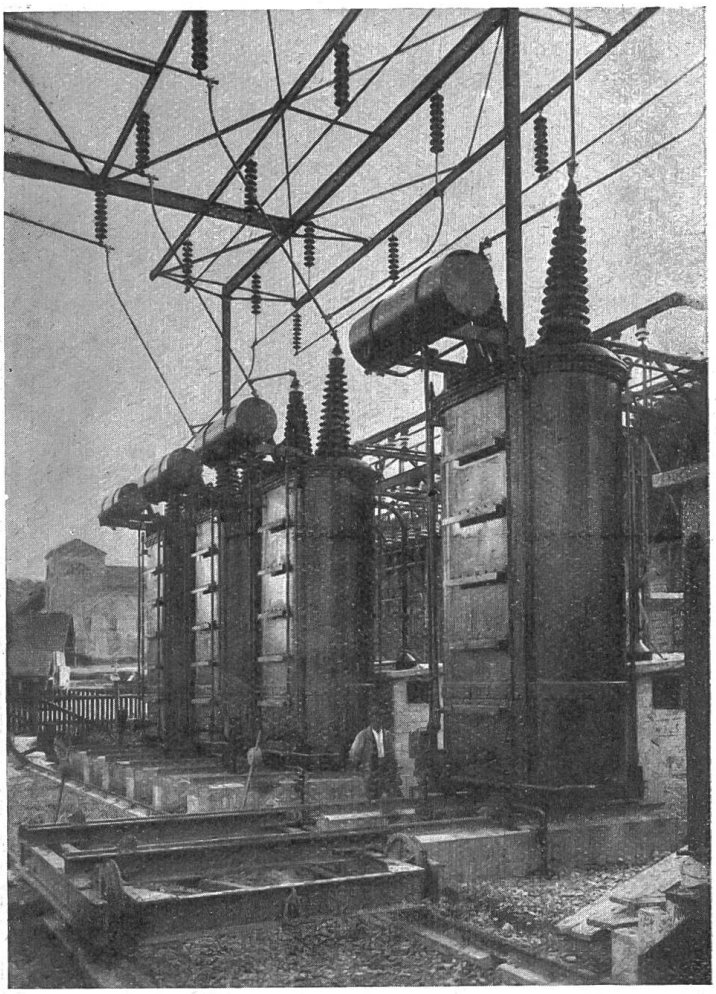


Fig. 28. 150 kV-Freilufttransformatorenstation, erster Ausbau 20 000 kVA-Transformatorengruppe mit Reservetransformator, Blick gegen den Transformatoren-Reparaturraum.

spulen sind mit verstärkter Isolation versehen. Für die Temperaturmessung ist in die Unterspannungswicklung ein Messelement eingebaut. Die Oberspannungswicklung wurde mit 309 kV und die Unterspannungswicklung mit 34 kV während einer Minute geprüft. Aus den Abnahmeversuchen ergeben sich die Totalverluste pro Gruppe von 320 kW bei $\cos \varphi = 0{,}7$, der Wirkungsgrad beträgt 97,8 %.

Für die beiden Transformatorengruppen ist die Aufstellung eines Reserve-Einphasentransformators vorgesehen, der mittels Hilfsschienen aus der Ober- und Unterspannungsseite an Stelle eines beliebigen Transformators eingeschaltet werden kann.

Die Unterspannungsseite der Transformatoren ist mittels Einleiterbleikabeln von 240 mm² Kupferquerschnitt, wovon je 2 Kabel pro Phase parallel geschaltet sind, mit den zugehörigen 16 kV-Schaltfeldern im Schalthause verbunden. Für die erste Transformatorengruppe sind diese Kabel ähnlich wie die Maschinenkabel einzeln in Betonrillen verlegt, während für die andere Gruppe je 3 den 3 Phasen entsprechende Kabel im Dreieck angeordnet, mittels Bandagen zusammengehalten, direkt in Erde verlegt und mit Schutzbrettern abgedeckt sind.

Die Oberspannungsseite der Transformatoren ist mit je einer Oelschaltergruppe, bestehend aus 3 einpoligen Schaltern, verbunden. Bei beiden Oelschaltergruppen sind auf die Durchführungsisolatoren Stromwandler aufgesetzt, welche gemeinsam mit den Stromwandlern auf der 16 kV-Seite auf Differentialstromrelais wirken.

Für den Ueberspannungsschutz der abgehenden Leitung, in die vorläufig noch keine Oelschaltergruppe eingebaut ist, sind hängende Drosselspulen aus Kupferrohr mit angefügten ohmschen Widerständen und Ueberspannungsschutz-Kondensatoren für 80 kV Betriebsspannung vorhanden. Zur Ableitung von statischen Ladungen und für die Parallelschalteinrichtung und Messung dienen drei an die Sammelschienen und ein an die Ueberbrückungsschiene angeschlossener Spannungswandler 80 000/100 V; denselben sind Sicherungen mit Funkenlöschhörnern vorgeschaltet.

Die Trennschalter in den Transformatoren- und abgehenden Leitungsfeldern sind eigener Konstruktion und bestehen aus 3 aufgehängten Isolatorensäulen, an deren mittlere das Trennmesser befestigt ist. Das Schliessen bezw. Oeffnen erfolgt durch Hub- bezw. Senk- und Drehbewegung der mittlern Isolatorsäule mittels eines mechanischen Antriebes, welcher, in analoger Weise wie die Trennschalterantriebe im Schalthause, mit Signal- und Rückmeldeeinrichtungen mit der Schaltbühne verbunden sind. Die Trennmesser sind in Fig. 29 dargestellt. Zufolge ihrer gelenkigen

Konstruktion können ihre Isolatoren weder durch die Betätigung der Schalter noch durch die angeschlossenen steifen Leiter auf Biegung oder Verdrehung beansprucht werden. Es sind an diese bis 7 m lange freitragende Leitungsrohre angeschlossen, wodurch die Zahl der Isolatoren auf ein Minimum beschränkt werden konnte. Die Sammelschienen und Verbindungsleitungen bestehen aus Kupferrohren von 50 mm Aussendurchmesser und für alle grössern Spannweiten aus $1^1/_2$''-Gasrohren, welche mit einem Kupfermantel von 50 mm Aussendurchmesser überzogen sind. Für die Aufhängung der Rohre sind die für die Uebertragungsleitung verwendeten Hängeisolatoren benützt. Für den Anschluss der Leitungsrohre an die Transformatoren und Apparate sind besondere flexible Verbindungen verwendet worden. Die Tragkonstruktion für die Schienen und Verbindungsleitungen, sowie die Leitungsabspannung, besteht aus einfachen Eisen grösseren Profils. Nur die begehbaren Träger, an denen die Trennschalter aufgehängt sind, sind als Gitterkonstruktion ausgebildet.

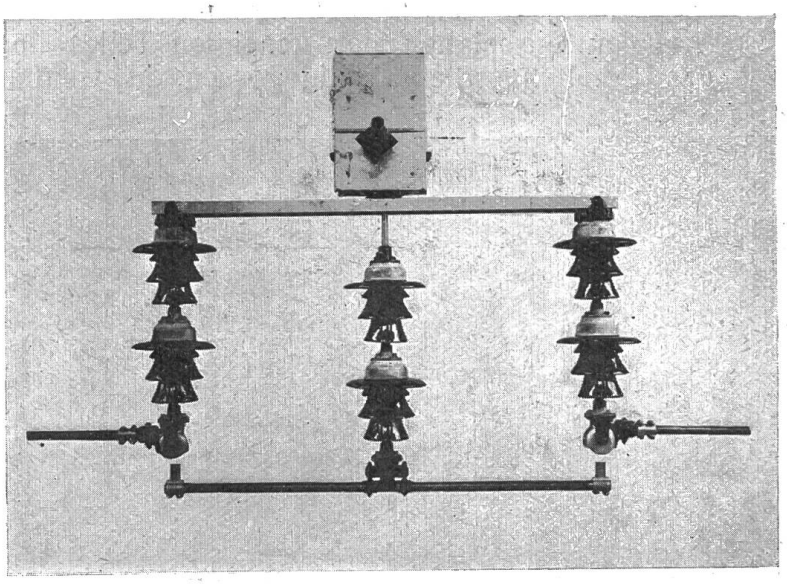


Fig. 29. 150 kV-Trennmesser.

Zum Filtrieren und Entleeren des Oeles der Transformatoren und Oelschalter sind dieselben mit einem Oelleitungssystem verbunden, das zum Anschluss einer Oelpumpe, Filterpresse oder Heizkessel in einem bei den Freilufttransformatoren befindlichen Häuschen zusammenläuft und von dort durch eine Doppelleitung mit der zentralen Oelreinigungs- und Speicheranlage verbunden ist. Die Rohrleitungen sind in Schleifen angeordnet, so, dass das in diesen befindliche Oel durchfiltriert werden kann, bevor reines Oel durch diese gefördert wird.

Die Transformatoren und Oelschalter stehen auf Betonsockeln und sind, wie die Spannungswandler, auf Rollen fahrbar; sie können mittels Transportwagen und -Winde auf einem Geleise in den Transformatorenreparaturraum befördert werden.

Niederspannungs-Schaltanlagen.

Die *Schaltbühne* befindet sich im zweiten Stock des Maschinenhausanbaues. Sie bildet einen für sich abgeschlossenen Raum, welcher gegen den Maschinensaal zu durch eine Glaswand abgetrennt ist (siehe Fig. 30).

Die Betätigungs-, Mess- und Signaleinrichtungen für die Generatoren und Umformer, Transformatoren, Speiseleitungen und teilweise für Hilfsbetriebe sind in Schaltpulten und Schalttafeln eingebaut. Auf der einen Seite der Maschinenhausachse befindet sich in leicht kreisbogenförmiger Anordnung das Schaltpult für die Generatoren und Umformer, auf der andern Seite ist in symmetrischer Anordnung das Schaltpult für die Transformatoren der 45 kV- und 150 kV-Anlagen vorgesehen. Hinter den Schaltpulten sind in freistehender Anordnung einerseits die Schalttafeln für die Generatoren und Umformer und an der Gebäudewand die Tafeln für die zugehörigen Registrierinstrumente, und andererseits die Schalttafel und Registrierinstrumententafel für die Speiseleitungen aufgestellt. Auf der der Abschlussglaswand gegenüberliegenden Seite ist die Bedienungsschalttafel für die Hilfsbetriebe und die Tafel für die Wasserstands-Fernmeldeeinrichtung installiert. In der Mitte der

Schaltbühne steht das Schreibpult mit der Telephonstation und dem Signalklappentableau für die Temperatur-, Oel- und Wasserkontrollapparate.

Die beschriebene Anordnung der Schaltpulte und Schalttafeln ermöglicht einen freien Ausblick auf den Maschinenraum.

Auf den Gussplatten des geneigten Teiles und des Aufsatzes der Schaltpulte ist das Schaltungsschema aufgegossen, in welchem die Oelschalter durch Betätigungsschalter mit Rückmeldelampen und die Trennschalter durch Signalschalter mit Rückmeldelampen markiert sind (Fig. 31). Der Schaltwärter betätigt bei dieser Anordnung die Oelschalterfernantriebe und erteilt das Signal für die Bedienung der Trennschalter direkt im Schema, welches ihm durch die Rückmeldelampen über den jeweiligen Schaltzustand jederzeit Aufschluss gibt. Alle Rückmeldelampen des Schemas können mit einem gemeinschaftlichen Schalter aus- oder eingeschaltet werden. Die Anordnung ist aber so, dass beim automatischen Auslösen eines Oelschalters die betreffende Rückmeldelampe in beiden Fällen aufleuchtet. Normalerweise brennen keine Lampen, so dass beim Auslösen von Oelschaltern, worauf übrigens durch ein akkustisches Signal besonders aufmerksam gemacht wird, das Aufleuchten der einzelnen Lampen gut sichtbar ist. Bei Vornahme von Schaltungen werden die Rückmeldelampen eingeschaltet.

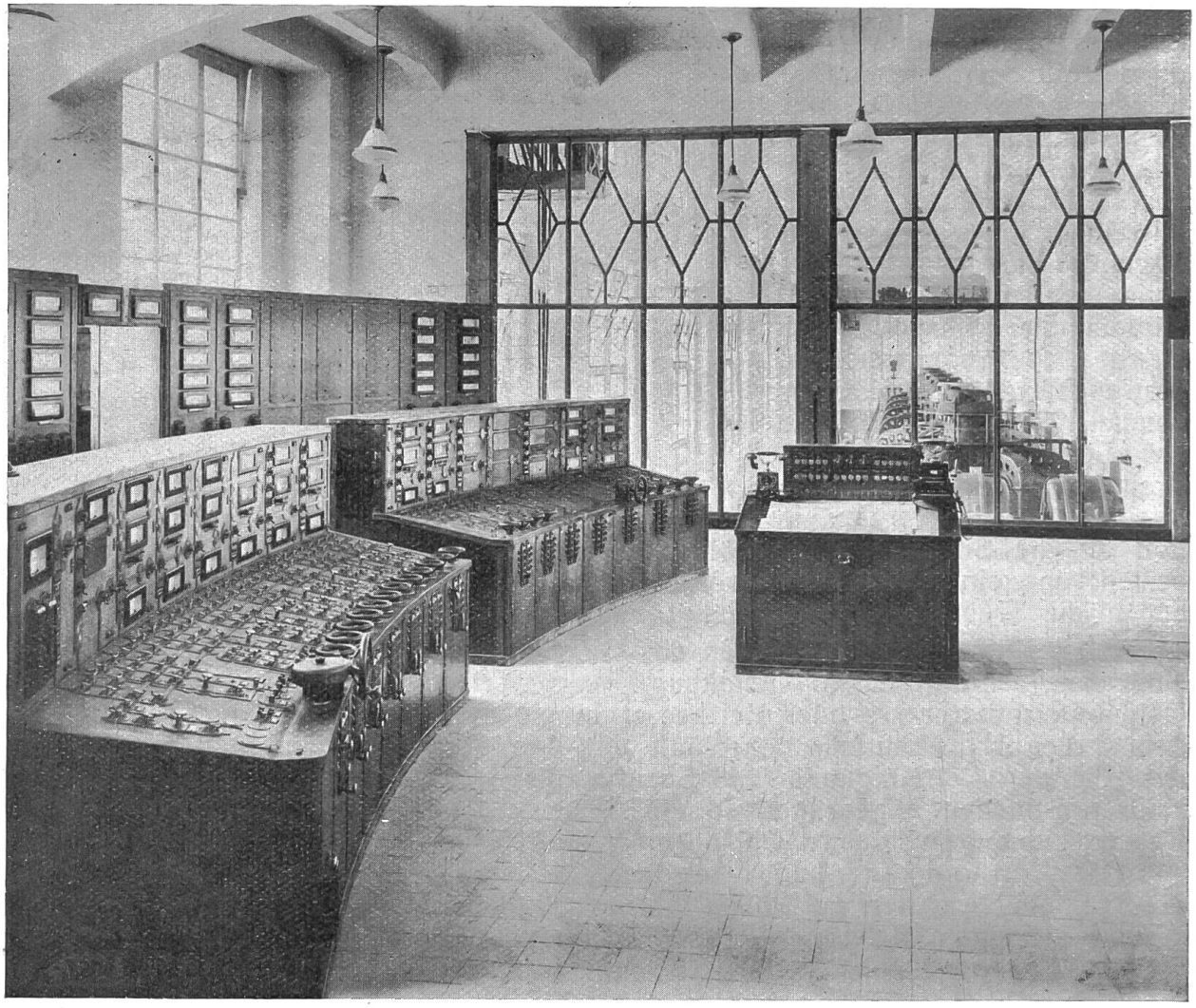


Fig. 30. Schaltbühne: Blick gegen den Maschinensaal.

Die Schaltpulte sind mit den Antrieben für die Regulierwiderstände ausgerüstet. In den vertikalen Pultteil, sowie in die vertikalen Schalttafeln sind die direkt zei-

genden Messinstrumente eingebaut; in letztern auch die Relais und die automatischen Regulierapparate.

Im *Generatorenschaltpult* sind 6 Generatorenfelder, 4 Umformerfelder, 1 Kuppelfeld und 1 Wasserwiderstandsfeld ausgebaut. Ausser den bereits erwähnten Betätigungs- und Signalschaltern für die Oelschalter und Trennschalter befinden sich in den Generatorenfeldern die Schalter für die Signalabgabe zum Oeffnen und Schliessen der Turbinen und Schützen, zum Betrieb der Generatoren mit 40 oder 50 Perioden und mit Eigen- od. Fremderregung und zur Betätigung der Luftdruckbremse, ferner die Steuerschalter für die Drehzahlverstellmotoren der Turbinen und den Hubmotor des Wasserbelastungswiderstandes und die Schalter für die Spannungsregler, Voltmeter, Phasenvoltmeter und das Zuschalten des automatischen Parallelschaltapparates, System Brown, Boveri & Cie., und der Synchronoskope.

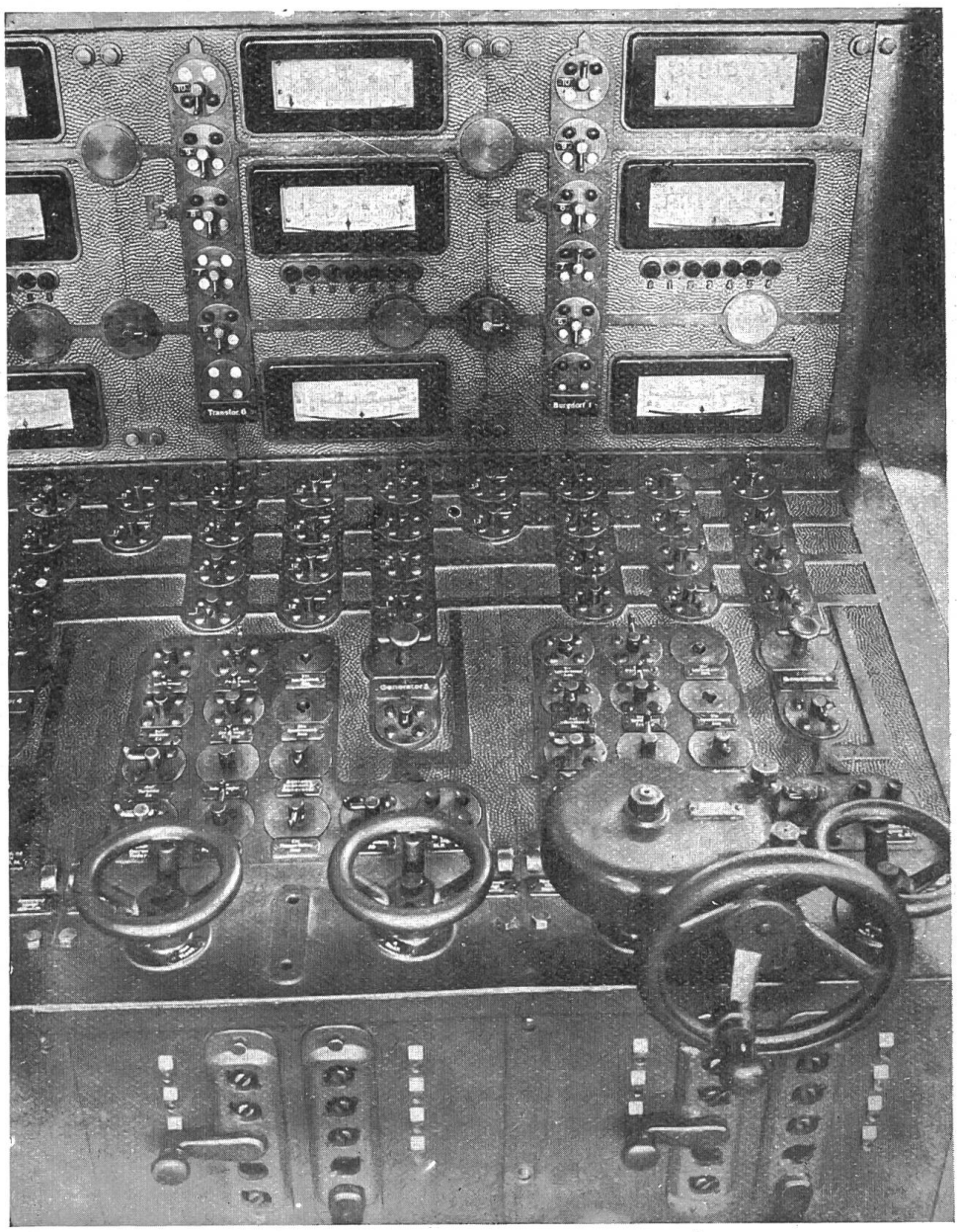


Fig. 31. Schaltbühne: Blick auf das Generatorenschaltpult.

Die Handantriebe für die Regulierwiderstände, sowohl der Erregermaschinen als der Spannungsregler, können einzeln betätigt oder miteinander gekuppelt werden. Es sind je 4 Kupplungssysteme vorgesehen, wovon vorläufig 3 eingebaut sind.

Im vertikalen Pultteil sind für die Generatoren und Umformer die Phasenmeter, Erreger-Amperemeter und Temperaturmessinstrumente eingebaut; die letztern können vermittels einer Stöpselvorrichtung auf die verschiedenen Messtellen der Maschinen geschaltet werden.

Ueber den erhöhten Pultteil hinweg können die in der freistehenden *Generatorenschalttafel* eingebauten Frequenzmesser, Phasenmeter, Wattmeter, Amperemeter und Voltmeter überblickt werden.

Für die Generatoren und die Umformer sind Maximalstrom- und Maximalspannungsrelais vorhanden. In den Drehstromgeneratorenfeldern sind noch Rückstromrelais eingebaut, währenddem die Umformergruppen durch Differentialstromrelais geschützt werden.

In der Generatorenschalttafel ist ferner für jede Maschine ein automatischer Ueberstromschutz- und ein Spannungsregler, System Brown, Boveri & Cie., eingebaut. Die Ueberstromschutzregler verringern während eines Kurzschlusses die Generatorerregung so weit, dass der Generatorstrom, je nach Einstellung, nur bis zu seinem 1,2- bis 2fachen Normalwerte ansteigen kann. Um zu vermeiden, dass die Generatoren längere Zeit mit dieser Stromstärke auf einen Kurzschluss arbeiten, kommt das vorerwähnte Generator-Maximalstromrelais, welches eine vom Strom unabhängige Zeitauslösung besitzt, zum Ansprechen, wenn nicht vorher der Kurzschluss z. B. durch Ansprechen eines der auf kürzere Ansprechzeit eingestellten Speiseleitungsschalters behoben wird. Das Generatorenrelais löst neben dem Maschinenölschalter zugleich auch den Erregerschalter aus, wodurch die Maschine entmagnetisiert wird. Die gleiche Auslösung kann auch durch das Maximalspannungs- und Rückstrom- resp. Differentialrelais, sowie von Hand mit dem Betätigungsschalter bewirkt werden. Die Spannungsregler besitzen astatischen Charakter und halten den Leistungsfaktor der parallel geschalteten Generatoren gleich.

Die hinter der Generatorenschalttafel an der Wand aufgestellte *Generatoren-Registrierinstrumententafel* enthält die Zähler- und Registrierinstrumente für die Maschinen, das Kuppelfeld und die Systemmesseinrichtungen. Mit den letztern wird je das Total der auf das gleiche Sammelschienensystem arbeitenden Generatoren gemessen.

Die *Speiseleitungsschalttafel* enthält die Felder für die 16 kV-Einphasenspeiseleitungen und für die 16 kV-, 45 kV- und 150 kV-Drehstromspeiseleitungen. Die Parallelschaltinstrumente sind in 2 besondern Feldern hinter der Speiseleitungsschalttafel angeorddet.

Auf der Seite des Generatorenschaltpultes der Schaltbühne befindet sich die *Kraftschalttafel* mit den Schalthebeln für die Oelschalter, welche in einem besondern Raum des Erdgeschosses (Kraftschalterraum) eingebaut sind und für das Abschalten der Kabel dienen, welche von den Krafttransformatoren kommen und in die Werkkraftverteilanlage abgehen.

An die Kraftschalttafel sind 2 Felder angereiht mit je einem Registrierapparat für den Ober- und Unterwasserpegel und die automatischen Stauklappen.

Auf der Seite der Speiseleitungsschalttafel der Schaltbühne befindet sich die in der Fig. 32 ersichtliche *Licht- und Batterieschalttafel.* Auf dieser Tafel sind in der Hauptsache die Instrumente und die Handantriebe für die Schalt- und Regulierapparate für die Akkumulatorenbatterie, die Ladeumformergruppe, die Fremderregung und die Lichtverteilanlage angeordnet.

Die direkt zeigenden Messinstrumente sind von Trüb, Täuber & Co., Zürich, geliefert worden.

Die Schaltpulte und Schalttafeln ragen in den unter der Schaltbühne liegenden Raum, den sogenannten *Zwischenboden*, hinein, in welchem alle vom Maschinenhaus und dem Schalthaus ankommenden Betätigungs-, Mess- und Signalkabel übersichtlich angeordnet und nach den zugehörigen Apparaten geführt werden. In den Gerüsten des Zwischenbodens sind die Regulierwiderstände und sonstige Nebenapparate eingebaut.

Die *Niederspannungsleitungen* sind in dem begehbaren Niederspannungskabelkanal auf Tablaren verlegt. Im Schalthaus werden die Kabel in den zwischen den Schaltfeldern durch die Säulen und Unterzüge gebildeten Zwischenräumen zu den Anschlusskasten für die Oelschalter und Messwandler, sowie zu den Trennschalterantriebsgerüsten (siehe Fig. 22) geführt. Durch diese Anordnung werden die Niederspannungsleitungen und Hochspannungszellen räumlich voneinander getrennt. Für die Speisung der Betätigungs-, Signal- und Beleuchtungsstromkreise im Schulhaus

sind auf die ganze Länge des Niederspannungskabelkanals Speiseleitungen auf an der Decke aufgehängte Eternitplatten montiert. Die von hier abzweigenden und abgesicherten Leitungen sind in Isolierröhren verlegt.

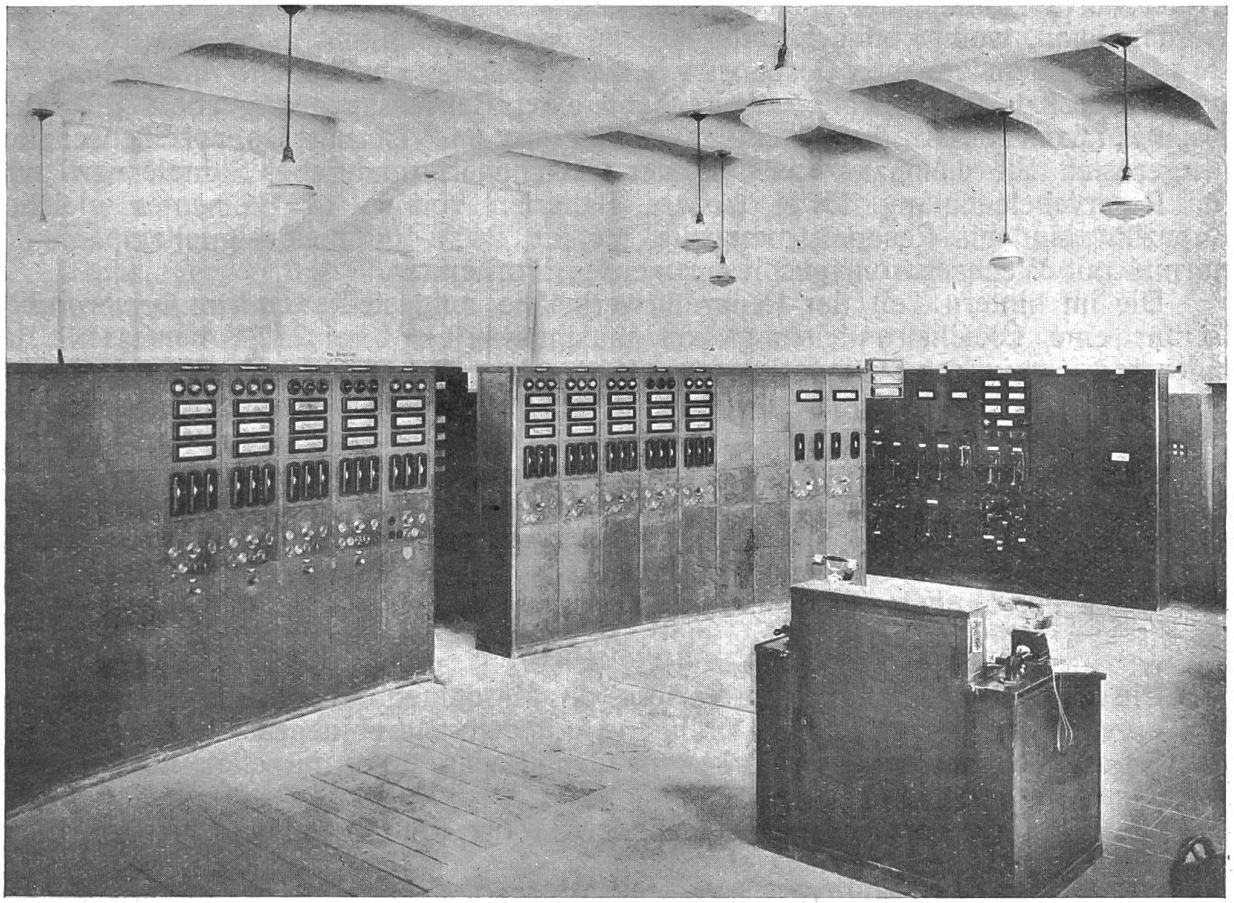


Fig. 32. Schaltbühne: Blick gegen die Speiseleitungsschalttafel.

Die Niederspannungskabel sind von der Société d'exploitation des câbles électriques, Système Berthoud, Borel & Cie., Cortaillod, und den Kabelwerken Brugg A.-G., Brugg, geliefert worden.

Unter dem Zwischenboden befindet sich der *Kraftschalterraum* und der *Kraftverteilraum.* Im Kraftschalterraum sind neben den unter Kraftschalttafel bereits erwähnten Oelschaltern der in die Werkkraftverteilanlage abgehenden Kabel auch Autotransformatoren aufgestellt, welche an die von den Krafttransformatoren im 16 kV-Schalthaus ankommenden Leitungen angeschlossen sind. Diese Autotransformatoren reduzieren die Spannung von 500 auf 400 V, wenn die Motorenbetriebe vom 40 Periodennetz aus gespiesen werden. Der Kraftverteilraum wird durch 2 vom Kraftschalterraum kommende Kabel gespiesen, und es zweigen von dort über Schmelzsicherungen die zu den einzelnen Motorengruppen des Maschinenhauses und des Abschlussbauwerkes führenden Kabel ab. Daselbst ist auch ein Drehstromtransformator von 75 kVA 500/250 V aufgestellt zur Speisung der 250 Volt-Motoren der im Pumpenkanal befindlichen fahrbaren Pumpen. Diese Spannungsreduktion wurde mit Rücksicht auf den feuchten Aufstellungsort dieser Motoren gewählt.

Das Schalten der Motoren für die Krane, Windwerke, Pumpen usw. erfolgt in deren unmittelbaren Nähe, ausgenommen bei den Turbinenschützen, deren Antriebsmotoren vom Maschinensaal aus in und ausser Betrieb gesetzt werden. Die betreffenden Anlassapparate sind mit den zugehörigen Signal- und Rückmeldeeinrichtungen in die Schalttafeln eingebaut, welche sich in den unterwasserseitigen Fensternischen, je gegenüber den zugehörigen Turbinen, befinden. Das Kommando zum Oeffnen und Schliessen der Turbinenschützen erfolgt vom Schalt-

pult aus für alle 3 Schützen einer Turbine gemeinsam und von den Windwerken aus für je eine Schütze einzeln. Es ist, zur Sicherung eines störungsfreien Betriebes, eine gegenseitige Verriegelung der Kommandosignale derart ausgeführt, dass von keiner der 2 Kommandostellen aus das Signal zum Oeffnen der Schützen gegeben werden kann, wenn von der andern Stelle das Schliessignal gegeben wird.

Die auf dem gleichen Geschoss wie die Schaltbühne befindliche *Akkumulatorenbatterie* besitzt 70 Elemente, entsprechend einer Betriebsspannung von 125 V, eine Kapazität von 252 Ah bei 3stündiger Entladung und ist mit Doppelzellenschalter ausgerüstet. Sie dient zur Speisung der Oelschalterfernantriebe, Signale usw. und für Reservebeleuchtung. Zwei weitere Batterien von je 14 Elementen gleicher Kapazität sind als Reservestromquelle für die 24 V-Rückmeldesignallampen, die normal mit Wechselstrom gespiesen werden, vorhanden.

Die im hintern Teil der Reparaturwerkstätte aufgestellte *Ladeumformergruppe* ist für eine Gleichstromleistung von maximal 110 kW bei 220 V bemessen. Bei einer Störung in der Stationstransformatorenanlage kann die Gruppe kurzzeitig von der Batterie aus betrieben werden und der als Generator arbeitende Synchronmotor auf das 500 V-Motornetz arbeiten. Bei einem Defekt an der Ladegruppe kann die Batterie mit der Erregermaschine einer Turbinengruppe aufgeladen werden. Die 8000 kVA-Drehstromgeneratoren und Frequenzumformergruppen können sowohl mit der Ladegruppe als auch mit Hilfe eines neben letzterer aufgestellten Hauptstromregulierwiderstandes von der Batterie aus fremderregt werden (z. B. zum Inbetriebsetzen der Drehstrom-Einphasenumformergruppen).

Nebenbetriebe.

Die *Reparaturwerkstatt* ist im Parterre des Maschinenhausanbaues untergebracht und durch einen 2,8 m breiten Durchgang mit dem Maschinensaal verbunden. Sie ist für die Ausführung der vorkommenden Reparaturen mit allen notwendigen Maschinen ausgerüstet.

Die Schmiede ist in einem besondern Raum im Verbindungsbau zwischen Maschinenhaus und Schalthaus eingefügt.

Die *Brauchwasseranlage* liefert das Wasser, das für die Lagerkühlung der Maschinen, für die Transformatoren, den Wasserwiderstand und die sanitären Anlagen benötigt wird. Die Wasserfassung ist am linksufrigen Ende in die Staumauer eingebaut. Bis zu 2 m Absenkung unter die normale Stauquote genügt das natürliche Gefälle beim jetzigen Ausbau, um das Wasser allen Verbrauchsstellen zuzuführen. Bei tieferem Stauspiegel und bei vollem Ausbau der Zentrale muss der Druck mittels einer Pumpenanlage erhöht werden. Diese ist in einem im Verbindungsbau neben der Schmiede liegenden Pumpenraume untergebracht.

Die Verteilung des Brauchwassers im Maschinenhaus geschieht vermittels einer Ringleitung, die im Niederspannungskabelkanal und im Pumpenkanal verlegt ist. In diese Ringleitung kann auch die Hydrantenleitung als Reserve speisen. Eine weitere Reserve ist durch die Anzapfung jeder Turbinenkammer im Niederspannungskanal und jeder Spiralentleerungsleitung im Pumpenkanal gegeben. Dieses Wasser kann, nach Passieren je eines Revolverfilters, der Ringleitung zugeführt werden.

45 Tonnen-Laufkran im Transformatorenreparaturraum.

Der am untern Ende des Schalthauses angebaute Reparaturraum, welcher in der Hauptsache für Zusammenbau und die Revision von Transformatoren, Oelschaltern und grösserer Apparate dient, wird seiner ganzen Länge nach von einem elektrischen Laufkran von 45 Tonnen Tragkraft, 7,4 m Spannweite und 10 m Hubhöhe bestrichen. Der Kran stammt aus den Werkstätten der Maschinenfabrik Oerlikon und stimmt in seinem Aufbau im allgemeinen mit den im Maschinensaal aufgestellten Laufkranen überein. Durch ein umschaltbares Vorgelege im Hubwerksantrieb können Lasten bis zu 15 Tonnen mit grösserer Geschwindigkeit gehoben werden. Das Einschalten dieses Vorgeleges erfolgt bei herangefahrener Katze durch einen Hebel vom Führerstand aus.

Die Motoren werden mit Drehstrom 50 Perioden, 500 V betrieben.

Der 22 PS-Hubmotor der Winde läuft normal mit 960 t/min und erzeugt eine Hubgeschwindigkeit von 1,20 m/min bei Lasten bis 45 Tonnen und 3,35 m/min bei Lasten bis 15 t. Der Katzfahrmotor von 4 PS Leistung läuft mit 940 t/min und erzeugt eine Fahrgeschwindigkeit von 10,9 m/min bei 45 t Hakenbelastung. Der Kranfahrmotor leistet bei vollbelastetem Krane und 23,00 m/min Fahrgeschwindigkeit 9 PS bei 960 t/min.

Die *Oelreinigungs- und Speicheranlage* wurde so gross dimensioniert, dass sie den Bedürfnissen der Zentrale bei vollem Ausbau zu genügen vermag und gegebenenfalls auch noch als Lager für das Oel anderer Zentralen dienen kann. Das Oelhaus ist hinter dem Schalthaus teilweise in den Hang eingebaut, derart, dass der Dachstock von der öffentlichen Zufahrtsstrasse zur Wehrbrücke aus über eine Rampe bequem zugänglich ist.

Das Erdgeschoss und der erste Stock sind durch eine Mittelwand und durch das Treppenhaus in 2 gleiche Teile geteilt, wobei ein Teil nach dem vollen Ausbau in der Hauptsache zur Lagerung und Reinigung von Schalteröl und Maschinenöl, der andere Teil zur Lagerung und Reinigung von Transformatorenöl vorgesehen ist. Vorerst ist nur der erstgenannte Teil installiert worden, welcher bis zum spätern vollen Ausbau für alle zur Verwendung kommenden Oele dient. Im nicht ausgebauten Teil werden Betriebs- und Reservematerialien aufbewahrt.

Die ankommenden Oelfässer werden von der Zufahrtsstrasse her in den Dachstock eingebracht und können dort gelagert oder durch einen Trichter in die im ersten Stock aufgestellten Behälter für unreines Oel entleert werden. Aus diesen Schmutzölgefässen (oder auch direkt aus den Oelfässern) kann das Oel in den Filterkessel im Erdgeschoss geleitet werden, wo es mit Hilfe der fahrbaren Filterpresse gereinigt und in die im Erdgeschoss aufgestellten Gefässe für reines Oel übergeführt oder direkt in Apparate abgefüllt werden kann. Das Schmutzöl wird in der Regel sofort gereinigt und in den Reinölgefässen aufgespeichert, so dass eine beständige Reserve von gebrauchsfähigem Oel vorhanden ist und zu jeder Zeit leere Gefässe verfügbar sind, wenn Oelschalter oder Transformatoren entleert werden müssen. Das gereinigte Oel kann aus den Reinölgefässen mit Hilfe einer Zentrifugalpumpe je nach Bedürfnis nach dem Transformatorenreparaturraum zum Füllen von Transformatoren oder Schaltern, nach dem Dachstock des Oelmagazins zum Einfüllen in Fässer nach der 150 kV-Freiluftstation, oder schliesslich von einem Reinölgefäss in ein anderes gefördert werden.

Im Erdgeschoss des Oelmagazins ist im Treppenhaus ein abgetrennter nach aussen öffnender Raum für die Aufbewahrung von Benzin und Petroleum vorhanden.

Vom Transformatorenreparaturraum kann das Oel mit Hilfe einer dort aufgestellten Schmutzölpumpe in die Gefässe des Oelmagazins oder durch die Abfüllleitung in den Dachstock desselben entleert werden.

Bei vollem Ausbau können die Leitungen und Gefässe für Transformatorenöl von denjenigen für Schalteröl vollständig getrennt werden.

Das Kraftwerk Mühleberg wurde im August 1920, die 150 kV-Freiluftstation im Herbst 1922 in Betrieb genommen.

Nach Fertigstellung des ersten Ausbaues der Zentrale sind in den Jahren 1922 bis 1926 im Mittel rund 95 Millionen kWh ab Generatorenklemmen erzeugt worden.

Das Projekt und die Ausführungspläne für die elektrischen Anlagen des Werkes Mühleberg, einschliesslich des Schaltpultes und der Schalttafeln auf der Schaltbühne und im Maschinensaal, sowie für die 150 kV-Freiluftstation und für einzelne spezielle Apparate, sind durch die Maschinen- und technische Betriebsabteilung der Bernischen Kraftwerke A.-G. ausgearbeitet worden.

Die Ausführung der Anlagen erfolgte in Regie unter der Leitung und Aufsicht dieser Abteilung.