

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 45 (1954)
Heft: 19

Artikel: Das Kraftwerk Oberaar
Autor: Ludwig, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058832>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

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

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET
DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

Das Kraftwerk Oberaar¹⁾

Von H. Ludwig, Innertkirchen

621.311.21 (494.241.1)

Mit der Erstellung des Kraftwerkes Oberaar geht der Ausbau der Wasserkräfte im Oberhasli seiner Vollendung entgegen. Das Kraftwerk Oberaar ist ein reines Winterkraftwerk, d. h. das in den Sommermonaten im Oberaarsee aufgespeicherte Wasser wird ausschliesslich in den Wintermonaten verarbeitet, wodurch eine Vermehrung der gesamten Winterproduktion der Kraftwerke Oberhasli A.-G. (KWO) um 220 GWh ermöglicht wird. Nach einem kurzen Überblick über die Entwicklung der KWO werden nachstehend die hydrologischen Grundlagen, die baulichen Anlagen und die elektromechanischen Einrichtungen, sowie die Betriebsführung des Kraftwerkes Oberaar näher beschrieben.

Avec la mise en service de l'usine de l'Oberaar, l'aménagement des forces hydrauliques de l'Oberhasli est maintenant presque achevé. Cette usine, dont le bassin d'accumulation est rempli durant les mois d'été, fonctionne uniquement en hiver et accroît de 220 GWh la capacité de production hivernale de la S. A. des Forces Motrices de l'Oberhasli. Après un bref historique de cette entreprise, l'auteur indique quelles sont les conditions hydrologiques de cette usine et en décrit les installations, ainsi que l'équipement électromécanique et le mode d'exploitation.

1. Baugeschichte

Die Entwicklungsgeschichte der Kraftwerke Oberhasli A.-G. (KWO) umfasst ein halbes Jahrhundert. Bereits am 20. Mai 1905 reichten die Bernischen Kraftwerke (BKW), damals noch unter der Firmenbezeichnung «Vereinigte Kander- und Hagneckwerke», ein Konzessionsgesuch zur Ausnützung der Wasserkräfte der Aare und ihrer Nebenflüsse von der Grimsel bis Innertkirchen ein. Es vergingen aber noch viele Jahre, bis die BKW in der Lage waren, an die Verwirklichung der vorerst nur generellen Projekte heranzutreten. Diese Zeit wurde zur Klärung und Bereinigung der hydrologischen, geologischen, finanziellen und energie-wirtschaftlichen Verhältnisse, sowie zur Aufstellung eines detaillierten Bauprojektes ausgenützt, und als auch der Energieabsatz, der während des ersten Weltkrieges eine sprunghafte Steigerung erfahren hatte, gesichert war, konnte man an die Verwirklichung des nunmehr bis in alle Details ausgearbeiteten Ausführungsprojektes schreiten. Zu diesem Zwecke wurden am 20. Juni 1925 die KWO mit einem Grundkapital von 30 Millionen Franken, das ganz von den BKW übernommen wurde, gegründet.

Als erstes Ziel wurde der Bau des Kraftwerkes Handeck I mit den Stauseen Grimsel und Gelmer in Angriff genommen und in den Jahren 1926...1932 verwirklicht. Heute ist auch die untere Stufe Handeck-Innertkirchen mit dem bisher grössten unterirdischen Maschinenhaus der Schweiz, erstellt in den Kriegsjahren 1940...1942/43, voll ausgebaut. Als weitere Etappe im Ausbau der Wasserkräfte im Oberhasli wurde in den Jahren 1947...1950 das Kraftwerk Handeck II mit dem Stausee Räterichs-

boden, einem Staubecken auf Mattenalp am Fusse des Gauligletschers und dem unterirdischen Maschinenhaus in der Handeck erstellt.

Um der gesteigerten Nachfrage nach Winterenergie in vermehrtem Umfange entsprechen zu können, wurde schon während des Baues des Kraftwerkes Handeck II ein weiteres Projekt ausgearbeitet, welches die Erstellung eines reinen Winterkraftwerkes, bestehend aus einer Stauanlage auf der Oberaaralp und einem unterirdischen Maschinenhaus in der Spitallamm, ausgerüstet mit einer Generatoren- und einer Speicherpumpengruppe, vorsah. Auf Grund eines Konzessionsgesuches vom 4. April 1949 erteilte der Regierungsrat des Kantons Bern den KWO am 11. November 1949 die Konzession zur Nutzbarmachung der Wasserkraft der Aare (Oberaar) von Kote 2303,00 bei der Wasserrückgabe im Stausee Oberaar bis Kote 1767,00 bei der Wasserrückgabe in den Stausee Räterichsboden.

Zur Durchführung dieses gewaltigen Bauprogrammes und zur Beschaffung der hierzu erforderlichen Kapitalien im Betrage von über 300 Millionen Franken wurde der Aktionärkreis durch die Beteiligung der Städte Basel (1928), Bern (1930) und Zürich (1939) erweitert. Das Aktienkapital der Gesellschaft beträgt heute 60 Millionen Franken, welches sich zur Hälfte auf die BKW einerseits und zur Hälfte auf die drei genannten Partner anderseits verteilt. Die Beschaffung weiterer Geldmittel erfolgte durch Obligationenanleihen und Kredite. Die Obligationenanleihen erreichten bis Ende 1953 den Betrag von insgesamt 225 Millionen Franken.

2. Die hydrologischen Grundlagen

Das Einzugsgebiet des Kraftwerkes Oberaar umfasst insgesamt 21,1 km², wovon 19,3 km² auf das

¹⁾ siehe auch Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 17, S. 706, und S. 719...721.

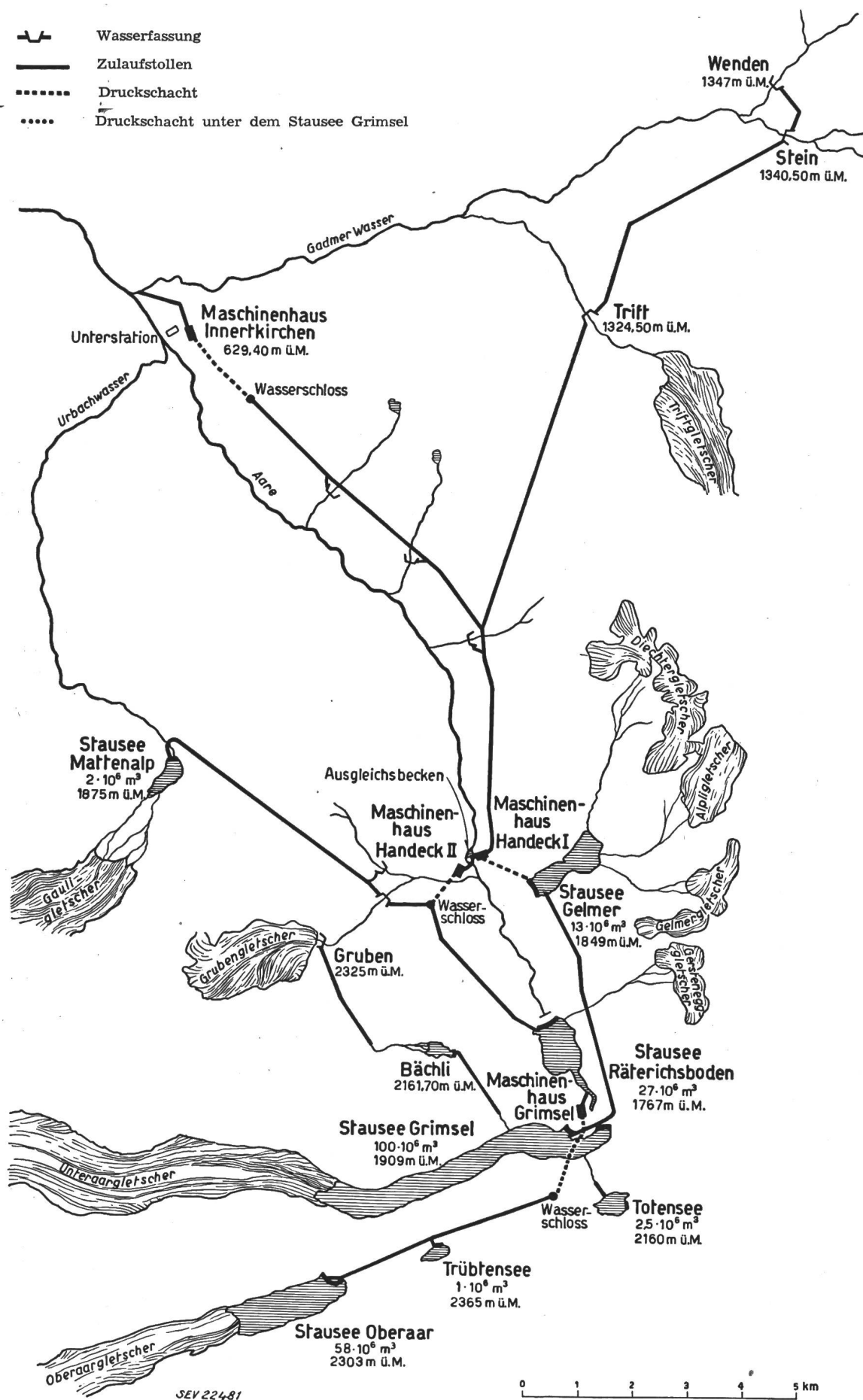


Fig. 1
Übersichtsplan der Kraftwerke Oberhasli

Einzugsgebiet der Oberaar und 1,8 km² auf dasjenige des Trübtensees entfallen. Der totale Jahresabfluss beträgt 40...44 · 10⁶ m³, entsprechend einem spezifischen Abflusswert von 1,9...2,08 · 10⁶ m³/km². Der Nutzinhalt des Oberaarsees wurde auf Grund eingehender Untersuchungen auf 58 · 10⁶ m³ festgelegt, so dass sich bei einem minimalen Zufluss von 38 · 10⁶ m³ eine nach dem Oberaarsee zu pumpende Fördermenge von 20 · 10⁶ m³ ergibt.

Für die Energieproduktion stehen folgende Winterwassermengen zur Verfügung:

	10 ⁶ m ³
Zufluss zum Oberaar- und Trübtensee	1,9
Oberaarsee Nutzinhalt	58,0
Trübtensee	1,0
Total	60,9

Diese Wassermenge erlaubt eine Steigerung der Winterproduktion in den Kraftwerken Oberaar, Handeck II und Innertkirchen um 220 GWh²⁾, während anderseits die Sommerproduktion der Kraftwerke Handeck I und Innertkirchen um ca. 190 GWh, einschliesslich der für den Pumpenbetrieb benötigten Energie, zurückgeht.

Um diesen Rückgang an Sommerenergie auszugleichen, wurde beschlossen, die Zuflüsse des Gämmer Wassers zu fassen und in den Zulaufstollen zum Kraftwerk Innertkirchen einzuleiten. Aus dem 81 km² betragenden Einzugsgebiet des Wenden-, Stein- und Triftwassers sollen 132 · 10⁶ m³, wovon 115 · 10⁶ m³ im Sommer und 17 · 10⁶ m³ Winter, im Kraftwerk Innertkirchen verarbeitet werden, was einer Energieproduktion von 175 GWh im Sommer und 25 GWh im Winter entspricht. Ausserdem werden der Gruben- und der Bächlisbach mit einem Einzugsgebiet von zusammen 11,9 km² nach dem Grimselsee übergeleitet, als Ersatz für das diesem See entnommene Pumpenwasser. Durch die Verarbeitung dieser Sommerzuflüsse von durchschnittlich 22 · 10⁶ m³ im Kraftwerk Handeck I, statt wie bisher im Kraftwerk Handeck II, können zufolge des grösseren Gefälles weitere 5 GWh gewonnen werden. Die Bauarbeiten für die Fassung und Überleitung der genannten Gewässer sind im Gange und werden voraussichtlich auf Ende 1954, d. h. auf den Zeitpunkt der vollen Betriebsaufnahme des Kraftwerkes Oberaar, fertiggestellt sein.

3. Die baulichen Anlagen

Mit den Vorbereitungsarbeiten zum Kraftwerk Oberaar wurde bereits im Herbst 1948 und mit den eigentlichen Bauarbeiten im Jahre 1950 begonnen. Die Vorbereitungsarbeiten umfassten den Bau einer rund 6 km langen Zufahrtsstrasse von der Grimselpasshöhe zur Baustelle Oberaar, die Erstellung einer Luftseilbahn zwischen dem Grimselnollen und der Oberaaralp für Waren- und Personentransport, sowie einer weiteren Luftseilbahn von Oberwald im Wallis über die Siedellücke nach der Baustelle Oberaar für den Transport des für den Bau der Staumauer benötigten Zementes im Gesamtgewicht von rund 100 000 t. Zu den Vorbereitungsarbeiten gehörten ferner die Errichtung der notwendigen

Unterkunftsräume wie Baubureaux, Kantinen, Schlafbaracken, Werkstätten usw. Zur Versorgung der verschiedenen Baustellen mit elektrischer Energie wurde eine 16-kV-Kabelleitung nach der Oberaar verlegt, an welche eine 400-kVA-Station «Wasserschloss» und eine 600-kVA-Station «Trüben» angeschlossen wurden. Auf der Baustelle Oberaar wurde eine Verteilstation erstellt, von welcher 6 weitere Transformatorenstationen mit einer Anschlussleistung von total 4400 kVA gespeist wurden.

Zur Ableitung des Oberaarbaches während der Bauzeit musste auf der linken Talseite ein Umleitungsstollen ausgesprengt werden, der nach Fertigstellung der Mauer als Grundablass dient. Zu den Vorbereitungsarbeiten gehörten ferner die Installation der Zement- und Kiessilos, die Erstellung der Kieswasch- und Sortieranlage, der Betonfabriken (Johnson-Türme), sowie der Transportanlagen für das Rohmaterial und den fertigen Beton.

Mit den Betonierungsarbeiten konnte bereits im Herbst 1951 begonnen werden, nachdem das Felsfundament, das mit einer starken Schuttschicht überdeckt war, entsprechend vorbereitet war. Dank der frühzeitigen und sorgfältigen Vorbereitung der KWO, sowie der zähen und ausdauernden Aufopferung und Hingabe der Arbeiterschaft, konnte die Staumauer bis zum Sommer 1953 fertiggestellt werden, d. h. ein ganzes Jahr früher als nach Bauprogramm vorgesehen war.

Die

Staumauer

Oberaar besitzt einen Betoninhalt von 453 000 m³ und weist eine totale Kronenlänge von 526 m auf. Die grösste Mauerhöhe über dem tiefsten Punkt des Fundamentes beträgt 100 m, und die grösste Mauerbreite an dieser Stelle rund 70 m. Die Talsperre Oberaar ist als massive Schwergewichtsmauer von gleicher Bauart wie diejenige im Räterichsboden ausgeführt und ebenfalls in einzelne Bauelemente von 18 m Breite und dazwischenliegenden Fugen von 3 m Breite unterteilt. Die Vorteile dieser Bauart sind: Reduktion des Auftriebes im Fundament, Betonersparnis von rund 14 %, grössere Abkühlungsflächen für den Abbindevorgang, günstige Kontrollmöglichkeit der fertigen Mauer.

Der trichterförmige Einlauf der

Wasserfassung

mit Feinrechen befindet sich über dem Einschnitt des Oberaarbaches, rund 80 m unterhalb des höchsten, auf Kote 2303,00 gelegenen Wasserspiegels. Die Einlauföffnung kann von der Mauerkrone aus mit Hilfe eines Drehkranes durch eine Schützentafel abgeschlossen werden. Der in der Mauer einbetonierte Teil der Rohrleitung führt zunächst in eine Apparatenumkammer, in welcher sich eine Drosselklappe von 1750 mm lichter Weite als Abschlussorgan befindet. In der gleichen Kammer ist eine Druckwaage installiert, welche durch zwei Fühlerleitungen mit dem Stausee in Verbindung steht und als Geber für die Wasserstandsfernmeldeanlage dient. Die Druckwaage ist für ein Stufenintervall von 2 zu 2 cm gebaut, was bei einem Messbereich von 83 m einer

²⁾ 1 GWh (Gigawattstunde) = 10⁹ Wh = 10⁶ (1 Million) kWh.

Stufenzahl von 4150 entspricht. Von der Drosselklappe bis zum ersten Baufenster bei km 0,332 ist die Leitung für den maximalen Wasserdruck des Stausees bemessen und mit einer Panzerung von 12 bzw. 10 mm Blechstärke und 1,75 m lichter Weite versehen.

Der

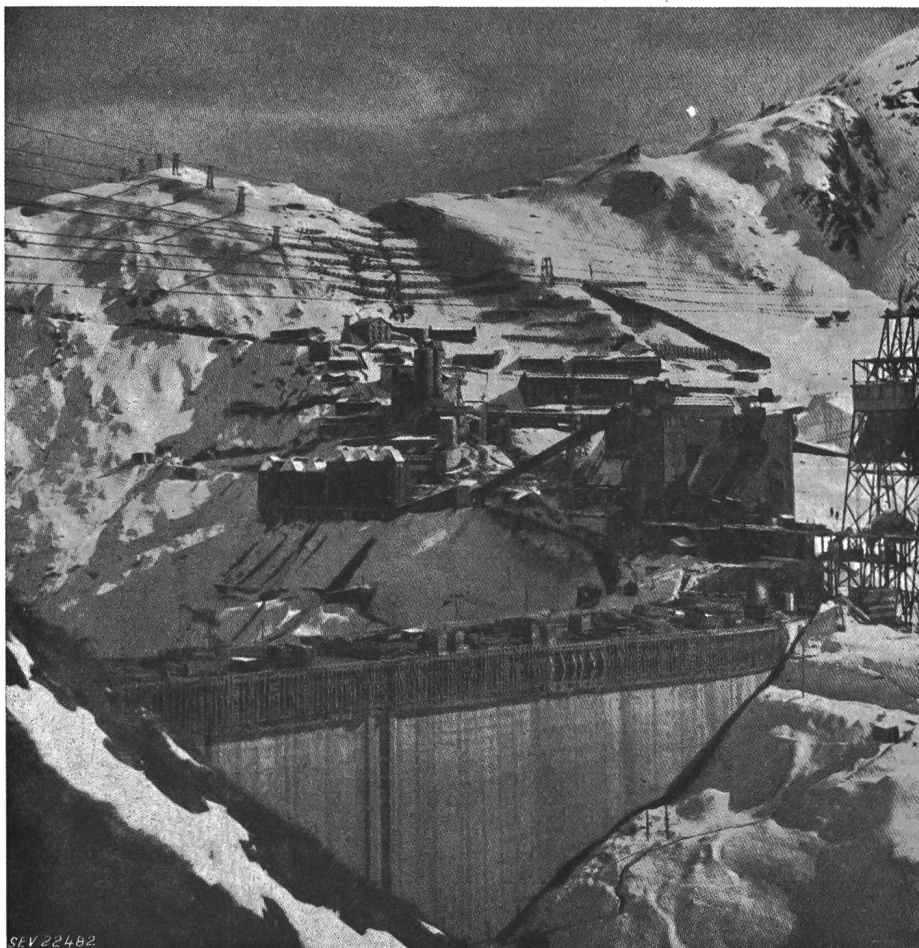
Zulaufstollen

zum Wasserschloss besitzt einschliesslich der gepanzerten Strecke eine Totallänge von 4552 m. Von km 0,332 bis km 1,275 weist der Stollen eine Betonverkleidung von 2,20 m lichter Weite auf, während der übrige Teil des Stollens von 2,60 m lichter Weite zum Teil unverkleidet und zum Teil verkleidet ist. Der Trübtensee, dessen Staukote 62 m über derjenigen des Oberaarsees liegt, ist durch einen Schrägschacht mit dem Zulaufstollen Oberaar-Grimsel verbunden. Im Herbst wird das im Trübtensee aufgespeicherte Wasser in den Zulaufstollen entleert.

Fig. 2

Bauzustand der Oberaarsperre
Winter 1953/54

Mitte: Kiessilos und Betonturm
mit Förderband; hinten: Luft-
seilbahn Oberwald (Wallis) —
Oberalp für Zementtransport



Am Ende des Zulaufstollens befindet sich eine Absetzkammer mit Feinrechen, an welche der

Wasserschloss-

Schrägschacht von 2,6 m lichter Weite, 170 m Länge und 72 % Steigung angeschlossen ist, und der in eine obere Wasserkammer mündet. Von der Absetzkammer führt ein gepanzertes Rohr in einem Bogen von 20 m Radius in die Abschlusskammer zu einer zweiten Drosselklappe von 1750 mm lichter Weite, welche als Betriebs- und Notabschlussorgan für den anschliessenden Druckschacht dient. Das Schliessen und Öffnen der beiden Drosselklappen kann an Ort und Stelle oder durch Fernsteuerung erfolgen, wobei die jeweilige Stellung der Drosselklappen an einem im Maschinensaal Grimsel aufgestellten Empfängerapparat angezeigt wird. Die Drosselklappe im Wasserschloss ist mit einer Rohrbruchsicherung ausgerüstet, welche im Falle der Gefahr das sofortige Schliessen der Klappe durch ein Schliessgewicht bewirkt. Das Öffnen der Klappe erfolgt mittels Öldruck durch einen Servomotor. Eine parallel zur Drosselklappe eingebaute Umleitung dient als Sicherheitsventil für den Druck-

schacht, falls sich während des Pumpenbetriebes die Drosselklappe aus irgendeinem Grunde schliessen sollte. In der Abschlusskammer ist ebenfalls eine Druckwaage installiert, welche als Geber für den registrierenden Wasserstands-Empfängerapparat «Wasserschloss» dient.

Der gepanzerte

Druckschacht

von 1449 m Länge besitzt im oberen Teil ein Gefälle von 64 % auf 802 m Länge, während der untere Teil von 647 m Länge, der unter dem Grimselsee durchführt, ein Gefälle von 1 % aufweist. Die Panzerung besteht aus einem geschweissten Stahlrohr in SM-Qualität I von durchgehend 1,65 m lichtem Durchmesser und einer Wandstärke von 10...13 mm. Der Hohlraum zwischen Rohr und Fels wurde satt ausbetoniert. Unter der Spitalamm Sperre, wo die Felsüberdeckung ungenügend ist, wurde die Druckleitung auf einer Länge von rund 140 m in einem begehbaren Stollen verlegt. Die auf Betonsockeln gelagerte Rohrleitung von 1,4 m lichter Weite besteht aus geschweissten Blechen aus Stahl mit Cr-Cu-Zusatz von 50...60 kg/cm² Zerreissfestigkeit. Die Blechstärke beträgt 28 mm. Am oberen Ende ist die offene Rohrleitung durch ein Konusstück mit dem Druckschachtrohr verbunden. An das untere Ende schliesst die aus gleichem Material bestehende Verteilung an, von welcher die beiden Turbinenleitungen abzweigen. Am Ende der Verteilung

befindet sich ein Krümmer, an welchen die Pumpendruckleitung angeschlossen ist.

Das

Maschinenhaus

ist tief im Berg, auf der linken Seite der Spitallamm, angelegt. Der Zugang erfolgt von der alten Grimselstrasse aus über eine Betonbrücke und durch einen Stollen von 117 m Länge und 5,7 ‰ Gefälle. Die Kaverne des Maschinenhauses weist eine Länge von 54 m, eine Breite von 21,6 m, eine Höhe über Maschinensaalboden von 12,6 m und eine maximale Tiefe unter Maschinensaalboden von ca. 4,6 m auf. Das Betongewölbe ist symmetrisch zur Längsachse des Maschinensaaes angeordnet. Zum Schutze der

sem Hauptstollen zweigt der Zugang zur Schieberkammer und der Verbindungsgang zur Regulierkammer Grimsel ab. In diesem Stollen, der die Verbindung mit dem Wärterhaus auf dem Grimselnollen über den bestehenden 134 m hohen Aufzug herstellt, ist die Pumpenzuleitung, welche von der Regulierkammer nach der Schieberkammer führt, verlegt. Als Winterzugang von der Gerstenegg zum Maschinenhaus Grimsel dient ein 2,3 km langer befahrbarer Stollen, in welchem die Hochspannungs- und Niederspannungskabel, sowie die Steuer- und Messkabel für den Generatoren- und den Pumpenbetrieb verlegt sind. Der rund 400 m lange Ablaufstollen der Turbinen mündet 12 m unter dem maximalen Stauspiegel in den Räterichsbodensee.

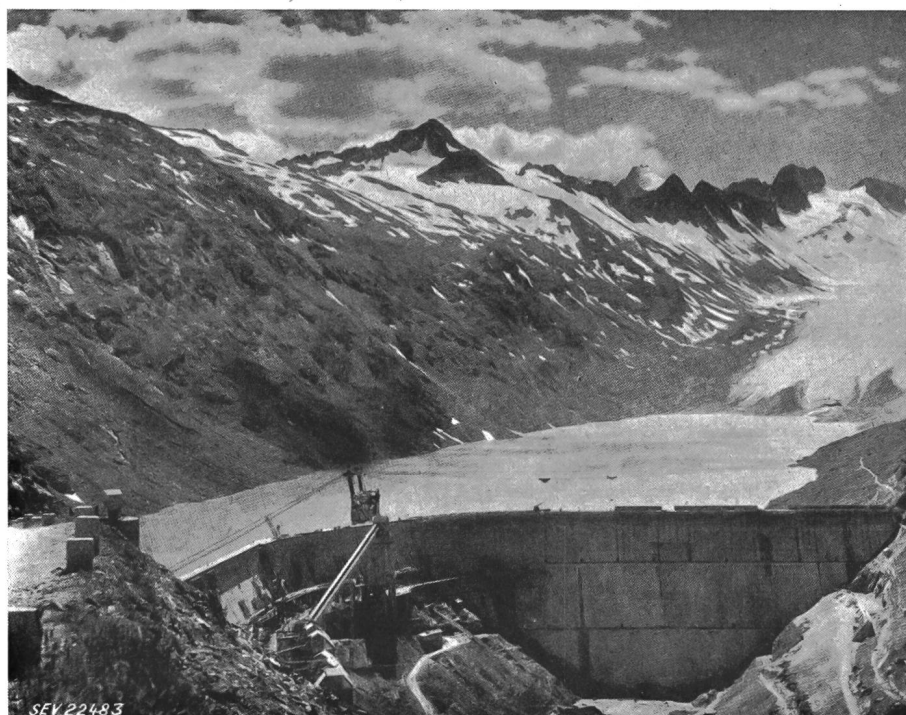


Fig. 3
Ansicht der Oberaarsperre mit Oberaarsee und -gletscher
Sommer 1953

Maschinen gegen Tropfwasser ist das Gewölbe mit gebogenen Welleternitplatten verkleidet. Das Maschinenhaus ist zur Aufnahme einer horizontalachsigen Generatorengruppe, bestehend aus einem Drehstromgenerator mit beidseitig angeordneten Pelton-Turbinen, einer vertikalachsigen Pumpengruppe, bestehend aus einer Speicherpumpe und einem Synchron-Antriebmotor, sowie einer Drehstrom-Transformatorengruppe, bestehend aus 3 Einphasentransformatoren und einem Reservepol, bestimmt. Für die spätere Aufstellung eines vertikalachsigen Drehstromgenerators mit Francisturbinenantrieb ist der erforderliche Platz vorgesehen. Die Transformatorennischen befinden sich auf der eingangsseitigen Stirnwand, während die Schaltanlagen auf der talseitigen und die Nebenräume auf der bergseitigen Längswand der Kaverne angeordnet sind. Der Hauptzugangsstollen ist auf der gegenüberliegenden Seite des Maschinensaaes in Richtung des projektierten Kraftwerkes Grimsel II verlängert. Von die-

4. Die elektromechanischen Anlagen

a) Die Generatorengruppe

Im Gegensatz zu den übrigen Kraftwerken der KWO ist die Generatorengruppe des Kraftwerkes Oberaar horizontalachsig angeordnet. Diese Ausführung ermöglichte die Aufstellung von 2 Turbinen, so dass im Störfall an einer Turbine der Betrieb mit der zweiten Turbine aufrechterhalten werden kann. Auch können Revisions- und Reparaturarbeiten einfacher und rascher durchgeführt werden, da die wichtigsten Maschinenteile über dem Maschinensaalboden liegen und somit leicht zugänglich sind, was bei dem reduzierten Bestand an Personal von besonderer Wichtigkeit ist.

Die Daten der beidseitig des Generators angeordneten eindüsigen *Freistrahlturbinen* sind in Tabelle I zusammengestellt.

Die Laufräder aus Stahlguss mit 1 1/2 ‰ Mangan-gehalt sind einteilig ausgeführt und mit angessos-

Hauptdaten der Freistrahlturbinen

Tabelle I

Nettogefälle	m	456	490	520
Wassermenge	m ³ /s	7,00	7,25	7,47
Leistung	kW	27 200	30 800	33 500
	(PS)	(37 000)	(41 800)	(45 600)
Wirkungsgrad	%	87,5	88,3	88,0
Drehzahl	U./min		375	
Strahlkreis-Durchmesser	m		2,30	
Schaufelzahl pro Rad			19	

nen Schaufeln versehen. Jedes Rad ist auf dem betreffenden Endflansch der Generatorwelle mittels starker Bolzen aufgeschraubt. Die Turbinengehäuse sind aus Gusseisen hergestellt und besitzen Verstärkungen zur Aufnahme der Düseneinläufe und der Bremsdüsen. Die Gehäuse sind ferner mit angesetzten Konsolen für die Generatorlager versehen. Um das Austreten von Spritzwasser längs der Welle zu vermeiden, sind besondere Schutzeinrichtungen vorhanden. Die Schachtpanzerungen bestehen aus Stahlblech von ca. 3 m Höhe. Sie sind mit einem Inspektionsrost und einer Zugangstüre versehen.

Jede Turbine besitzt einen Einlaufkrümmer von 760 mm Eintrittsdurchmesser, ein Düsenrohr mit auswechselbarer Düse aus Stahlguss und ein Mundstück aus rostfreiem Stahl. Die Reglernadel ist mit einer auswechselbaren Nadelspitze, ebenfalls aus rostfreiem Stahl, versehen. Die Nadelstange aus Stahl besitzt einen Schutzüberzug aus Bronze, während die Führungskreuze ganz aus Bronze hergestellt sind.

Die Nadel-Servomotoren mit angebauten Steuerventilen und Rückführgestängen sind für beidseitige Öldruckbetätigung eingerichtet. Der gemeinschaftliche, vor dem Generator aufgestellte Ab-

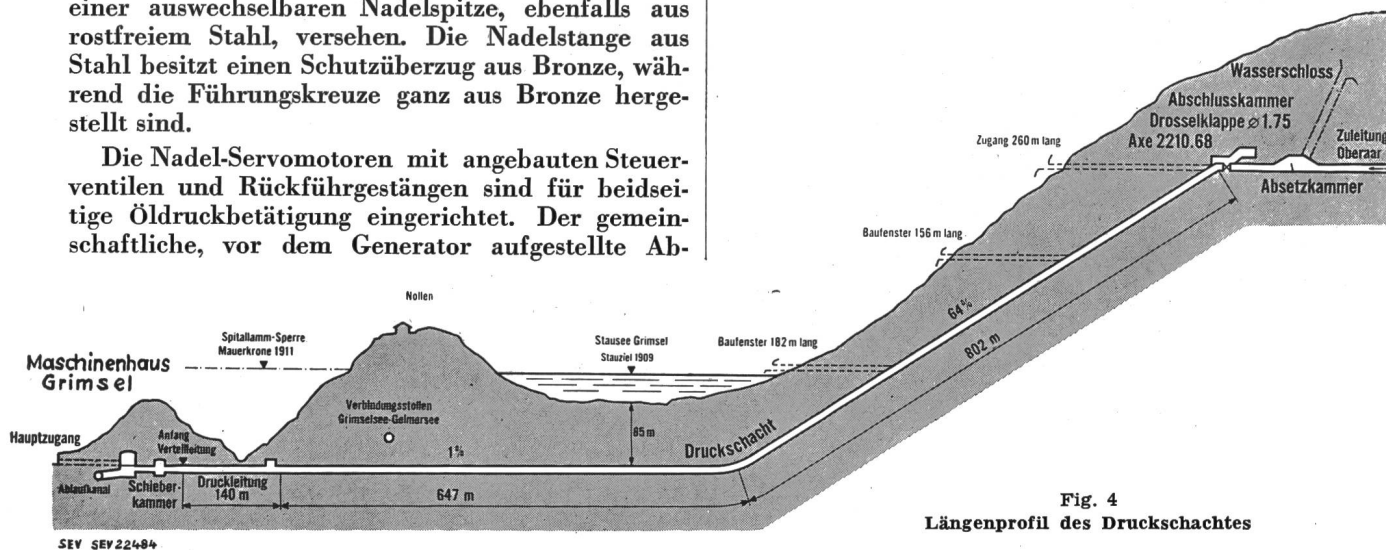
1. Beim Ansteigen der Drehzahl auf 425 U./min gegenüber 375 U./min Normaldrehzahl schaltet der auf einem verlängerten Wellenende sitzende Sicherheitsregler den Regulator-Schliessmagneten, sowie die Schliessmagnete der Turbinenschieber ein. Bei Überdrehzahl werden somit beide Turbinen und beide Zulaufschieber geschlossen.

2. Bei Ausfall der Ölpumpen werden die Ablenker durch Wasserdruck im Ablenker-Servomotor und die Nadeln durch Feder- und Wasserdruck geschlossen.

3. Beim Ausbleiben der Spannung für den Pendelmotor schliesst die im Steuerwerk eingebaute Feder den Regulator.

Es ist möglich, während des Betriebes einen Einlauf zu schliessen und das betreffende Turbinenrad ausser Betrieb zu nehmen. Nach Schliessen des entsprechenden Turbinenschiebers ist es ferner möglich, eine Manchette auszuwechseln oder die Nadelsteuerung zu revidieren, auch wenn das andere Turbinenlaufrad beaufschlagt ist.

Jede Turbine besitzt eine eigene Zuleitung mit je einem in einer besonderen Schieberkammer untergebrachten Abschlussorgan. Diese Abschlussorgane sind als *Kugelschieber* mit Doppelabschluss von 700 mm Nennweite ausgebildet und mit einem Ringkolbenantrieb versehen. Sie sind für einen Betriebsdruck von 54 kg/cm² und einen Probedruck von 105 kg/cm² konstruiert und aus Elektrostahl-

Fig. 4
Längenprofil des Druckschachtes

lenker-Servomotor besitzt einen vertikalen Kolben zum Öffnen mittels Öldruck und zum Schliessen mittels Wasserdruck, sowie eine Rückführung zum Anschluss an den automatischen Drehzahlregler für die Doppelregulierung.

Der automatische Drehzahlregler besitzt ein hochempfindliches Präzisionssteuerwerk mit Pendelantrieb, sowie eine automatische Abstellvorrichtung, welche beim Versagen des Pendelantriebes in Wirkung tritt, ferner eine Drehzahl- und Laststellvorrichtung für Hand- oder elektrische Betätigung und eine Leistungsbegrenzung für Einstellung von Hand oder durch Elektromotor. Der Regler ist ausserdem mit einer von Hand einstellbaren Statikverstellung und mechanischem Schnellschluss ausgerüstet.

Die Turbinengruppe ist mit folgenden Sicherheitseinrichtungen ausgestattet:

guss von 45...55 kg/mm² Zugfestigkeit bei einer Mindestdehnung von 18 % hergestellt. Das Druckwasser von 54 kg/cm² für die Betätigung der Schieber wird einer Steuerwasserleitung entnommen, welche über Sandabsetzgefässe vor dem Schieber an die Turbinenzuleitung angeschlossen ist. Die Einleitung der Öffnungs- und Schliessbewegung der Schieber erfolgt über Steuerleitungen und in den Apparatekästen der Schieberkammer eingebaute Hubmagnete. Der Dichtungsmechanismus auf der Auslaufseite (Betriebsabschluss) kann ohne Demontage des Schiebergehäuses ein- und ausgebaut werden. Ebenso können die Manchetten des hydraulischen Ringkolbenantriebes ohne Demontage schwerer Teile ersetzt und geschmiert werden.

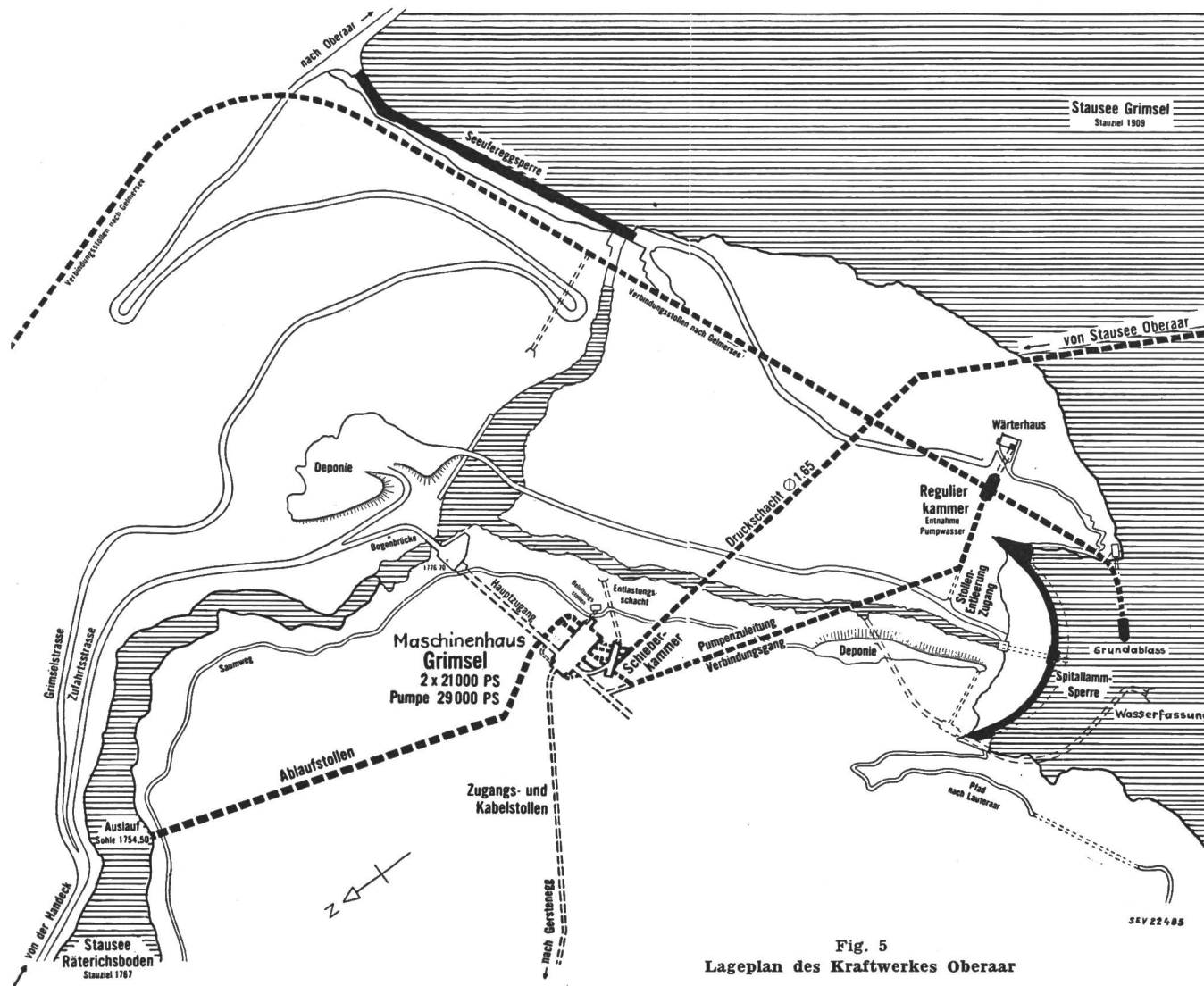
Im Normalbetrieb erfolgt die Betätigung der Schieber in entlastetem Zustand, d. h. bei gleichem Druck auf beiden Seiten der Dichtungsflächen. Die

Schieber und deren Antriebe sind so bemessen, dass sie im Falle eines Rohrbruches nach dem Schieber einen Wasserdurchfluss von $35 \text{ m}^3/\text{s}$ bei einem statischen Druck von 540 m Wassersäule abzuschliessen vermögen, wobei die Verzögerung der Wassermenge in keinem Moment des Schliessvorganges mehr als $1 \text{ m}^3/\text{s}$ betragen wird³⁾.

Hauptdaten des Generators

Tabelle II

Nennleistung bei Nennspannung und $\cos \varphi = 0,7$, übererregt	kVA	46 000
Nennspannung, verkettet	V	13 500
Nennstrom	A	1 970
Drehzahl	U./min	375
Natürliches Schwungmoment	kgm ²	550 000

Fig. 5
Lageplan des Kraftwerkes Oberaar

An jedem Schieber ist ein Venturirohr angebaut, bestehend aus einem konischen Teil und zwei Messflanschen. Die an die beiden Venturirohre angeschlossene Messeinrichtung besteht je aus einem direkt zeigenden und einem registrierenden Durchflussmengenmesser, sowie einem elektrischen Fernzählwerk mit Differentialgetriebe zur Bildung der Summe des Wasserverbrauches beider Turbinen.

Die Daten des horizontalachsigen *Drehstromgenerators* sind in Tabelle II zusammengestellt.

Der Stator besteht aus einem vierteiligen, geschweissten Gehäuse aus SM-Blech, dem Armatureisenkörper aus legiertem Blech von 3600 mm Bohrung und der in die Nuten eingelegten Armaturwicklung, gebaut als 16polige Gitterstabwicklung.

³⁾ Die Betätigungszeit der Schieber von einer Endlage in die andere beträgt 90...110 s.

Die Statorfüsse sind auf einem Rahmen aus geschweisster Stahlkonstruktion festgeschraubt.

Der eigentliche Rotorkörper besteht aus 16, aus SM-Stahlblechen zusammengesetzten Polkörpern, 7 Rotor-Kranzringen und 2 Endringen. Die Rotor-Kranzringe sind auf einem Nabenstern aus Stahlguss aufgezogen und durch Rundkeile gesichert. Die Magnetspulen aus hochkantabgebogenem Kupferband sind gegen die massiven Polkörper und gegeneinander so abgestützt, dass auch bei der Durchgangsdrehzahl von 700 U./min kein Teil irgendwelche Lageveränderung erfahren kann. Beidseitig des Polrades ist je ein Ventilator zur intensiven Kühlung der Wicklung und der Spulenköpfe aufgesetzt.

Der Haupterreger ist auf der einen Seite zwischen Polrad und Lagerhock angeordnet, während der

Hilfsrerger und der Pendelgenerator auf der Gegenseite liegen. Der Haupterregger ist für Fremderregung durch den Hilfsrerger vorgesehen und mit Wendepolen ausgerüstet. Der Hilfsrerger ist für Selbsterregung gebaut und besitzt keine Wendepole. Der Pendelgenerator mit 16 Polen aus permanentmagnetischem Stahl ist den charakteristischen Daten des Pendelmotors (Turbinenregler) so angepasst, dass dieser schon bei einer Drehzahl von 85 U./min oder rund 23 % der Normaldrehzahl anzulaufen beginnt.

Kühlradiatorren, bestehend aus je 71 Rippenrohren aus Kupfer von 17 mm lichter Weite, sind so dimensioniert, dass die mit 50 °C austretende Warmluft auf 30 °C abgekühlt wird. Der Kühlwasserbedarf beträgt dabei 33,3 l/s bei einer Eintrittstemperatur von 10 °C. Jeder Radiator kann einzeln ausgebaut werden, ohne dass die Betriebsbereitschaft der übrigen Radiatoren beeinträchtigt wird.

Zur Kontrolle der Erwärmung des Generators sind 4 Messelemente zur Messung der Kupfertemperatur, eingebaut zwischen 2 Spulenseiten an der

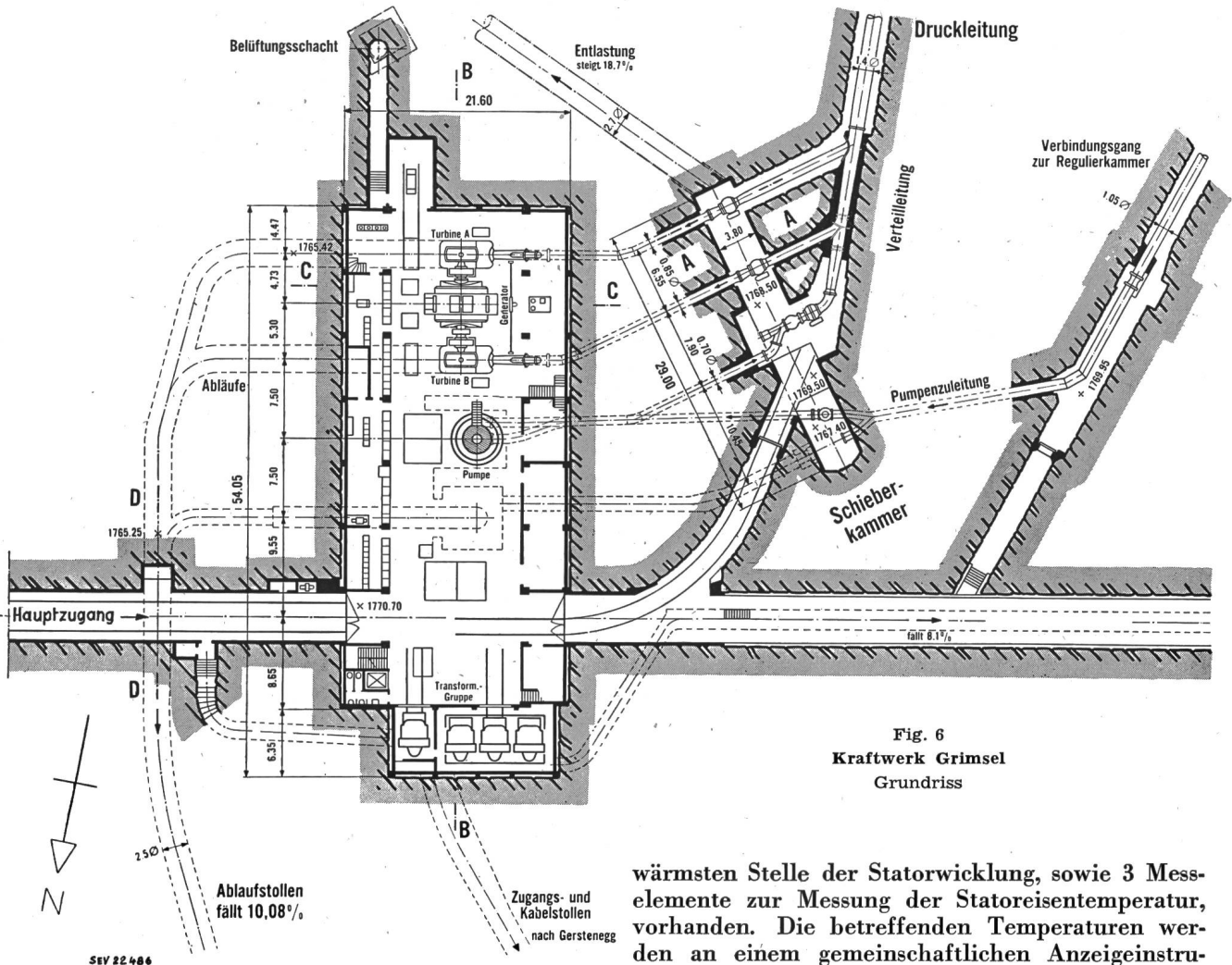


Fig. 6
Kraftwerk Grimsel
Grundriss

Die kräftig konstruierte Welle aus bestem SM-Stahl von mindestens 50 kg/mm² Festigkeit und 28 kg/mm² Streckgrenze bei ca. 15 % Dehnung ist zweiteilig ausgeführt und besitzt an jedem Ende einen Flansch zur Befestigung der Turbinenlaufräder. Sie ist in zwei Stehlagern von je 650 mm lichter Weite gelagert. Zur Überwachung der Lagertemperaturen sind in jedem Lager ein Widerstandselement, ein Doppelthermostat und ein Temperaturgradient-Fühler eingebaut. Die untern Lagerschalen enthalten Kühlschlangen, deren Wasserbedarf total 100 l/min beträgt. Das Lageröl wird in einer gemeinschaftlichen Ölrückkühlanlage mit Pumpengruppe rückgekühlt.

Die Generator-Umluft wird durch 4 unten am Stator angebaute Kühlradiatorren rückgekühlt. Die

wärmsten Stelle der Statorwicklung, sowie 3 Messelemente zur Messung der Statoreisentemperatur, vorhanden. Die betreffenden Temperaturen werden an einem gemeinschaftlichen Anzeigeelement, nach Betätigung eines entsprechenden Druckknopfes, angezeigt.

Die Einrichtung für die Spannungsregulierung ist so dimensioniert, dass eine Belastung des Drehstromgenerators von 1950 A bei 14 850 V und $\cos \varphi = 0,7$ übererregt dauernd abgegeben werden kann. Bei Handregulierung lässt sich der Erregerstrom zwischen Null und dem Maximalwert mit Hilfe eines Reglerwiderstandes in zahlreichen Stufen regeln. Bei automatischer Regelung können bei Generatorspannungen zwischen 55 % und 110 % der Nennspannung alle Erregerströme zwischen Null und dem Maximalwert eingeregelt werden. Der automatische Spannungsregler ist als Öldruckregler ausgebildet. Die Unempfindlichkeit des Spannungsreglers ist kleiner als $\pm 0,5$ %. Die Durchlaufzeit für den vollen Regelweg beträgt weniger als 0,3 s.

Der Spannungsregler ist an zwei Spannungswandler in V-Schaltung, deren Übersetzungsverhältnis 14000/100 V beträgt, angeschlossen. Der Regelwiderstand besitzt eine Kontaktvorrichtung in Kollektorform. Er ist mit einer elektrischen Fernsteuerungseinrichtung durch einen Gleichstrom-Seriemotor für 220 V Spannung ausgerüstet. Der automatische Spannungsregler ist in einem besonderen Raum hin-

Die auf der Rückseite der Kessel angebauten Endverschlussgehäuse enthalten je einen Kabelendverschluss für ölgefüllte 150-kV-Kabel von 200 mm² Kupferquerschnitt. Die Endverschlüsse gestatten das Abtrennen der Kabelanschlüsse für die periodische Spannungsprobe. Die Endverschlussgehäuse sind so ausgebildet, dass ein Wegfahren des Transformators möglich ist, ohne dass die Endverschlüsse

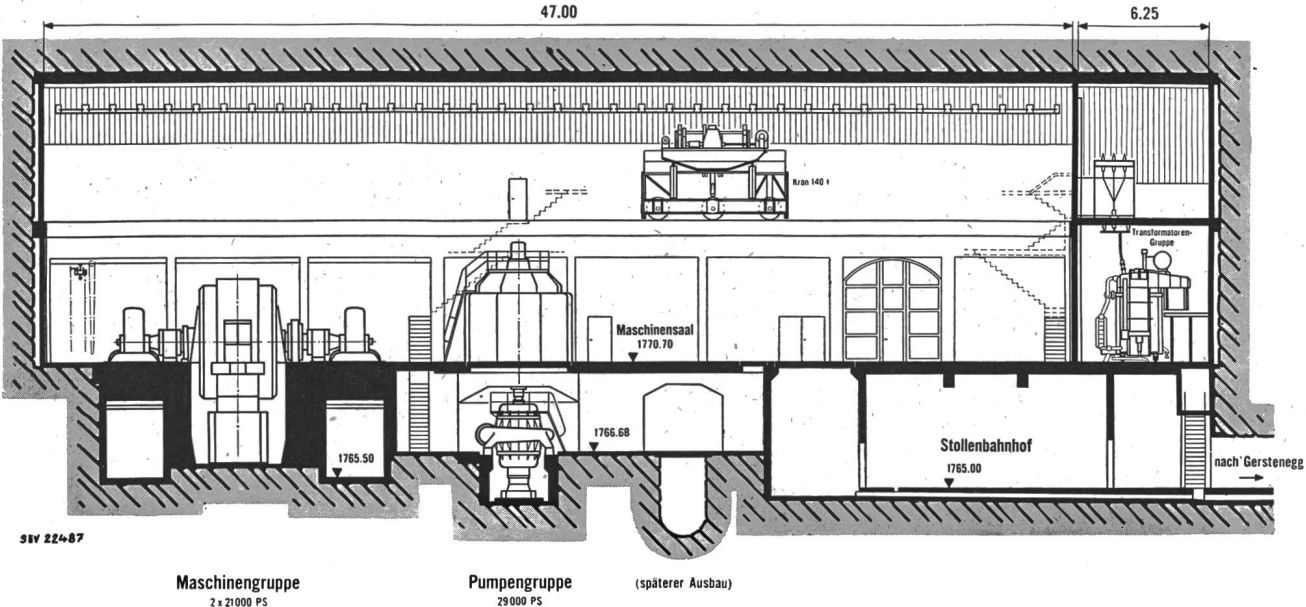


Fig. 7
Kraftwerk Grimsel
Längsschnitt B-B durch das Maschinenhaus Grimsel
(vgl. Fig. 6)

ter der Schalttafel aufgestellt, während der Kasten mit der Schnellentregungseinrichtung direkt am Generator angebaut ist.

Der Dreiphasen-Transformator, welcher sowohl zur Transformierung der Generatorspannung von 13,5 kV auf 160 kV, als auch für die Transformierung der Netzspannung von 160 kV auf 13,5 kV zur Speisung des Pumpenmotors dient, ist für folgende Daten gebaut:

Nennleistung	kVA	45 000
Übersetzung im Leerlauf	kV	12,4/12,95/13,5/14,05/14,6 165
Nennstrom	A	1210/1110/1025 157

Die Transformatorengruppe besteht aus drei Einphasentransformatoren, welche unterspannungsseitig im Dreieck und overspannungsseitig in Stern geschaltet sind. Ein kompletter vierter Einphasentransformator, welcher in einer separaten Zelle untergebracht ist, dient als Reserve.

Jeder Transformator besitzt einen glatten, vakuumfesten Kasten mit Deckel und Ölablass-Schieber, mit Kern und 2 Jochen und doppelt konzentrischer Wicklung, 2 Porzellandurchführungen auf der Unterspannungsseite, sowie einen angebauten Endverschlusskasten für das Ableitungs- und das Nullpunktverbindungskabel auf der Overspannungsseite.

oder die Nullpunktverbindung gelöst werden. Zu diesem Zweck muss lediglich das Öl im Transformatorkasten bis zur Trennstelle des Endverschlusses

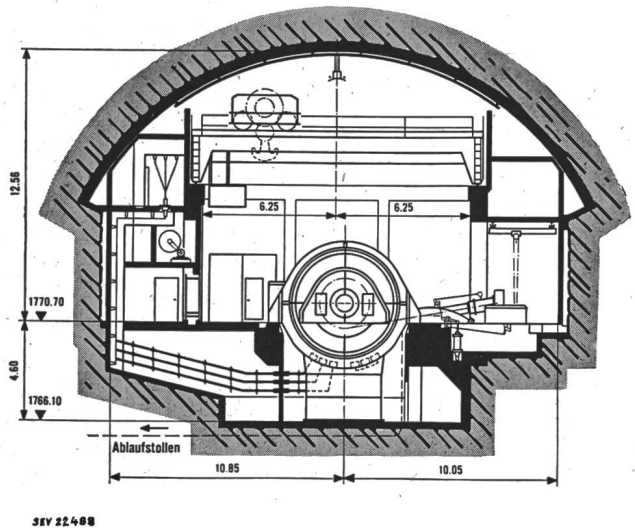


Fig. 8
Kraftwerk Grimsel
Querschnitt C-C
(vgl. Fig. 6)

gehäuses abgelassen werden. Der Anzapfschalter ist auf der Unterspannungsseite eingebaut und besitzt 5 Stellungen zur Betätigung in strom- und spannungslosem Zustand mittels Handrad von aussen.

Jeder der 4 Transformatoren ist mit einem Ölkonservator und einem Buchholzschutzapparat ausgerüstet und besitzt ein Fahrgestell mit Spurkranzrollen für Längs- und Querbewegung mit einer Spurweite von 1435 mm, sowie eine an der Vorderseite des Kessels angebaute Ölkühlanlage, bestehend aus 6 Kühler-Elementen für total 1000 l/min Öldurchfluss und 200 l/min Kühlwasserbedarf bei

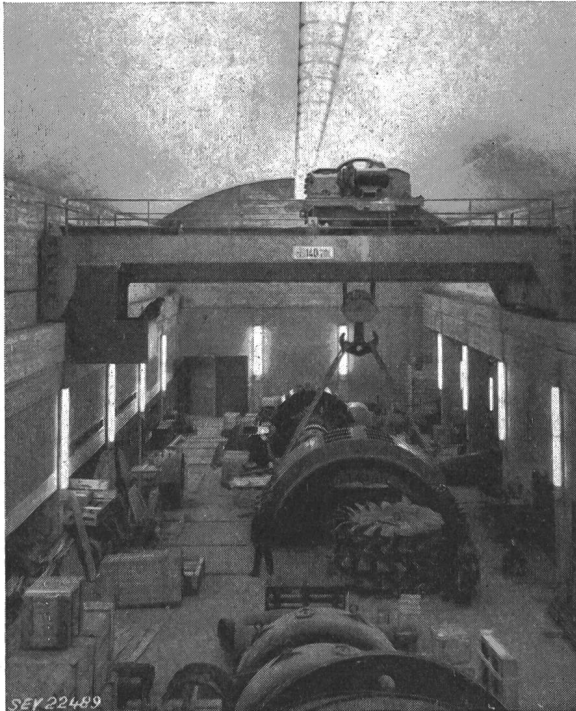


Fig. 9

Montagezustand des Maschinenhauses Grimsel
im Winter 1952/53

Vordergrund: Turbinengehäuse; Mitte: 2 Turbinenlaufräder
und Statorhälften; hinten: Polrad des Generators

10 °C Eintrittstemperatur. Die Ölumwälzung erfolgt durch je ein Motorpumpenaggregat von 4,6 kW Leistung mit stopfbüchsenloser Ölpumpe.

Zur Überwachung der Kupfer-, Eisen- und Öltemperaturen sind an geeigneten Stellen Messelemente eingebaut. Die Ablesung der Temperaturwerte erfolgt an einem Anzeigeelement mit Druckknopfplatte für 10 Anschlüsse. Zur Anzeige der Temperatur oben im Öl ist ferner ein Kontakt-Thermometer mit Minimal- und Maximalkontakten eingebaut.

Das totale Gewicht eines ausgerüsteten Transformators beträgt 31 t ohne Öl bzw. 42 t mit Ölfüllung. Der Transport der Einzeltransformatoren erfolgte von Genf bis Innertkirchen auf einem Normalspur-Tiefgangswagen, welcher auf der Brünigbahnstrecke zwischen Interlaken und Meiringen auf Rollschmel befördert wurde. Für den Strassentransport von Innertkirchen in das Maschinenhaus Grimsel wurde ein Tiefladewagen benutzt. Das Transformatoröl wurde erst an Ort und Stelle eingefüllt.

b) Die Speicherpumpengruppe

Wie bereits erwähnt, wurde der Inhalt des Staubeckens Oberaar um 50 % grösser gewählt, als dem

natürlichen Zufluss entspricht. Bei einem minimalen Sommerzufluss von $38 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ sind somit rund $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ durch eine Pumpenanlage nach dem Oberaarsee zu fördern, um das Staubecken von $58 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Nutzinhalt zu füllen. Die erforderliche Pumpenwassermenge wird dem Grimselsee entnommen und durch eine ca. 400 m lange Pumpenleitung einer Speicherpumpe zugeführt, welche das Wasser durch

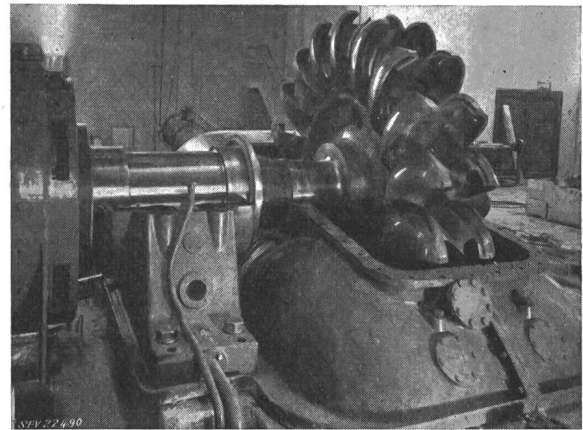


Fig. 10

Laufrad B mit geöffnetem Turbinengehäuse und Stehlager
im Maschinenhaus Grimsel

den Druckschacht und den Zulaufstollen nach dem Oberaarsee fördert. Der tiefste Wasserspiegel des Grimselsees liegt mindestens 50 m über dem Pumpeneinlauf, so dass die Pumpe ständig unter einem Zulaufdruck von minimal 5 kg/cm² steht.

Für den Pumpenbetrieb steht die Zeit von ca. Mitte Juni bis Mitte September zur Verfügung, d. h. rund 90 Tage. Zwecks Bestimmung der erforderlichen Pumpengrösse wurden zwei Betriebsarten untersucht:

a) Dauerbetrieb, 24stündig	total	2160 h
b) Intermittierender Betrieb		
Montag bis Freitag je 14 h =		70 h
Samstag		18 h
Sonntag		24 h
	total	112 h
	pro Woche	

Für die beiden Betriebsarten ergaben sich folgende Pumpen- bzw. Motordaten:

Betriebsart		dauernd	intermittierend
Max. Förderhöhe	m	450...400	450...400
Fördermenge	m ³ /s	3,00...3,45	3,40...4,00
Aufnahmeleistung	kW	15 500...16 350	18 450...17 900
Motor-Nennleistung	kW	18 400	21 350

Da für den Pumpenbetrieb hauptsächlich Überschussenergie verwendet werden soll, kommt ein 24stündiger Dauerbetrieb nicht in Frage. Die Pumpengruppe muss in der Lage sein, kurzfristig eine möglichst grosse Wassermenge zu fördern, weshalb die grössere Pumpe mit einem entsprechend stärkeren Motor gewählt wurde.

Der erwähnte Umstand, dass die Pumpe einen Eingangsdruck von minimal 5 kg/cm² besitzt, ermöglichte es, mit 2 Stufen auszukommen und die Drehzahl auf 1000 U./min festzusetzen. Eine Kuppelung mit der Generatorengruppe, welche nur 375

U./min aufweist, kam deshalb nicht in Frage. Die Speicherpumpengruppe konnte somit unabhängig von der Generatorengruppe aufgestellt werden, wobei mit Rücksicht auf die Anschlussmöglichkeiten der Pumpenleitungen eine vertikalachsige Anordnung gewählt wurde. Der Antriebmotor befindet sich über dem Maschinensaalboden, während die Pumpe im Untergeschoss aufgestellt ist.

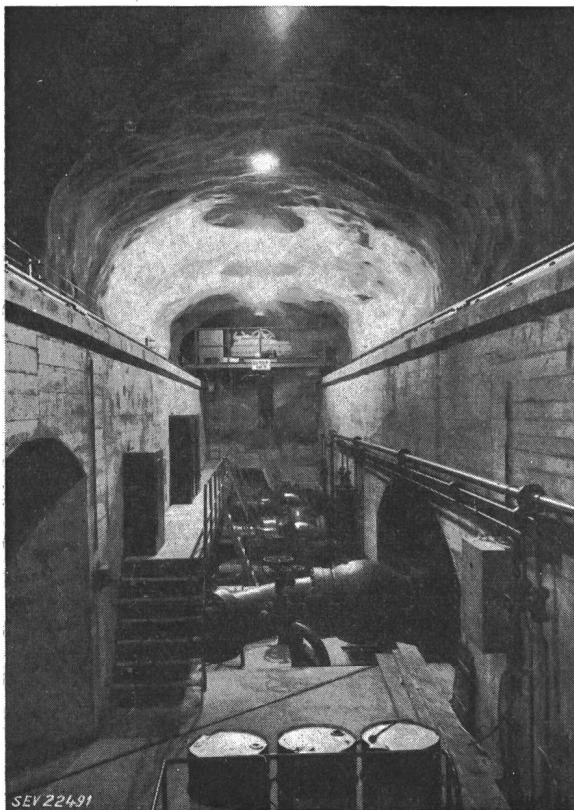


Fig. 11

Schieberkammer Grimsel

hinten: die beiden Turbinen-Kugelschieber; vorn: der Pumpen-Schnellschlussschieber

Die Hauptdaten der *Speicherpumpe* sind in Tabelle III zusammengestellt.

Hauptdaten der Speicherpumpe

Tabelle III

Fördermenge	l/s	4 000
Förderhöhe	m	400
Leistungsbedarf	kW	18 450
Drehzahl	U./min	1 000

Der garantierte Wirkungsgrad der Pumpe beträgt 85 % bei einer manometrischen Förderhöhe von 400 m.

Die Speicherpumpe ist 2stufig gebaut und besitzt einen doppelseitigen Eintritt. Dank dieser Anordnung ist der hydraulische Achsschub des Rotors praktisch bis auf Null ausgeglichen, und das Motor-traglager hat nur noch das rotierende Pumpenge-wicht, zusätzlich einer kleinen Sicherheitsmarge, aufzunehmen. Eine hydraulische Entlastungsvor-richtung mit ihrem nicht unbedeutenden Wasserver-lust fällt somit ganz dahin. Auch in wirtschaftlicher Hinsicht bietet die Anordnung mit doppelseitigem Eintritt Vorteile. Die Verteilung der totalen För-

dermenge auf zwei parallel geschaltete Räder führt zu einer niedrigen spezifischen Drehzahl, was sich für die vorgesehene hohe Geschwindigkeit von 1000 U./min günstig auswirkt. Die Wirkungsgrad-kurve verläuft flacher, der Wirkungsgrad bleibt hoch, wenn die Förderhöhe variiert, ganz besonders bei grossen Wassermengen. Zudem ist, dank der Teilung der Wassermenge, die Geschwindigkeit in

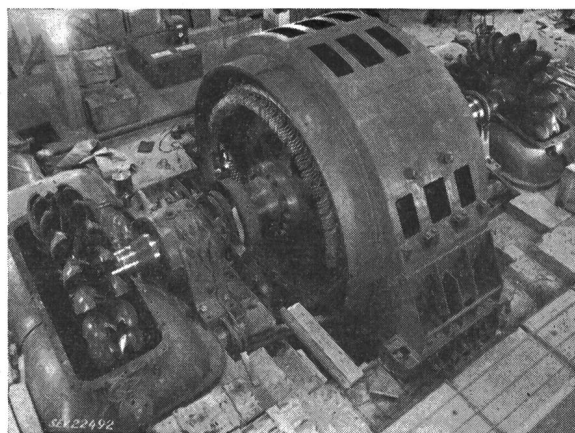


Fig. 12

Der 45-MVA-Drehstromgenerator (ohne Verschalung) im Maschinenhaus Grimsel mit beidseitig angeordneten Freistrahlturbinen

Hintergrund: der Turbinenregler

der Pumpe kleiner als bei nur einseitigem Einlauf und demzufolge auch die Abnutzung geringer.

Das Pumpengehäuse besteht zur Hauptsache aus dem Spiralgehäuse und den beiden Gehäuseelementen. Das Spiralgehäuse ist einteilig und aus Elektro-Stahlguss hergestellt. Die Mittellinie des Druck-stutzens von 700 mm lichter Weite liegt auf Kote 1767,42. Die beiden Gehäusehälften, ebenfalls aus Elektrostahlguss, besitzen 12 Umlenkanäle, die

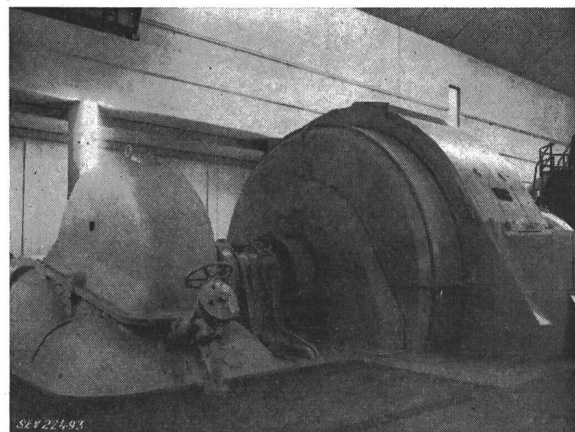


Fig. 13

Teilansicht der Turbinengruppe (Generator mit Turbine A) im Maschinenhaus Grimsel

eine störungsfreie Überleitung des Wassers von der ersten zur zweiten Stufe gewährleisten. Der obere und der untere Gehäusedeckel sind je mit der be-treffenden Einlaufkammer kombiniert und aus einem Stück hergestellt. Die besondere Form der Einlaufkammern und der Leitrippen gewährleisten

eine sanfte, störungsfreie Führung des Wassers von den beiden Eintrittstutzen von 600 mm lichter Weite bis zu den Laufrädern der ersten Stufe.

Die Laufräder der beiden ersten Stufen haben einseitigen, dasjenige der zweiten Stufe doppelseitigen Eintritt. Alle drei Räder sind aus Stahlguss mit 13 % Chromgehalt hergestellt und nach dem Giessen spannungsfrei gegläht. Nach der Fertigbearbeitung wurden die Laufräder sorgfältig statisch ausbalanciert. Das doppelte und die beiden einfachen Leiträder sind ebenfalls aus Chrom-Stahlguss hergestellt. Zwei Überströmstücke aus Sondergusseisen führen das Wasser aus den Kanälen der Gehäuseelemente zurück zum Eintritt des doppelseitigen Laufrades.

Die Pumpenwelle besteht aus geschmiedetem SM-Stahl mit einer Festigkeit von 50...60 kg/cm². Am oberen konischen Wellenende ist die Kupplungshälfte aus geschmiedetem Stahl aufgekeilt. Die Pumpenwelle besitzt kein eigenes Traglager und ist mit der Motorwelle starr gekuppelt. Die Wellenabdichtung erfolgt zuerst durch einen doppelten Dich-

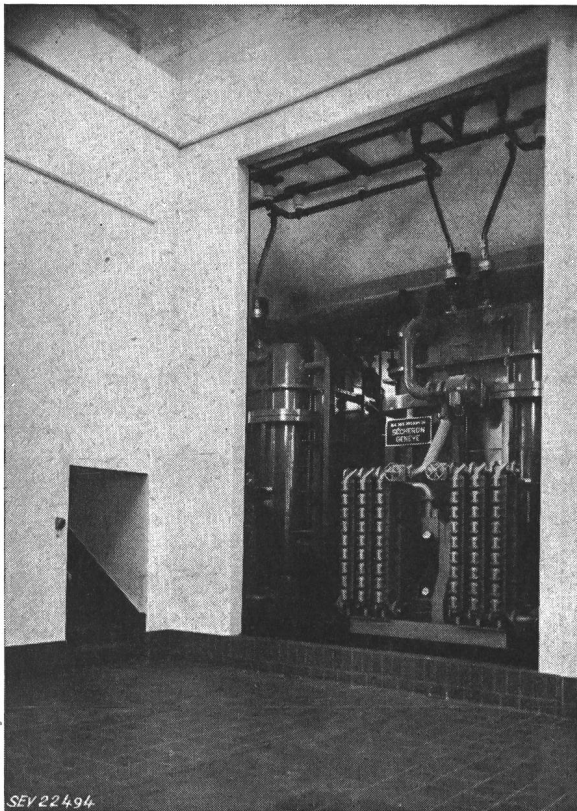


Fig. 14

Teilansicht der Dreiphasen-Transformatorgruppe mit Kühlaggregat im Maschinenhaus Grimsel

tungsring aus Sonderbronze und anschliessend durch eine zweiteilige Drosselbüchse, ebenfalls aus Bronze. Die Drosselstrecken münden je in eine grosse Entlastungskammer, an welche das Kühlwassernetz der vier Statorkühler des Pumpenmotors angeschlossen ist. Die Wellenabdichtungen sind so berechnet, dass sie zusammen ca. 20 l/s Wasser liefern, auch dann, wenn auf der Zulaufseite der Was-

serspiegel im Grimsensee auf die Minimalkote gesunken ist.

Das Pumpen-Führungslager befindet sich am untern Wellenende und ist am untern Gehäuse-deckel angeflanscht. Die einteilige Lagerschale mit

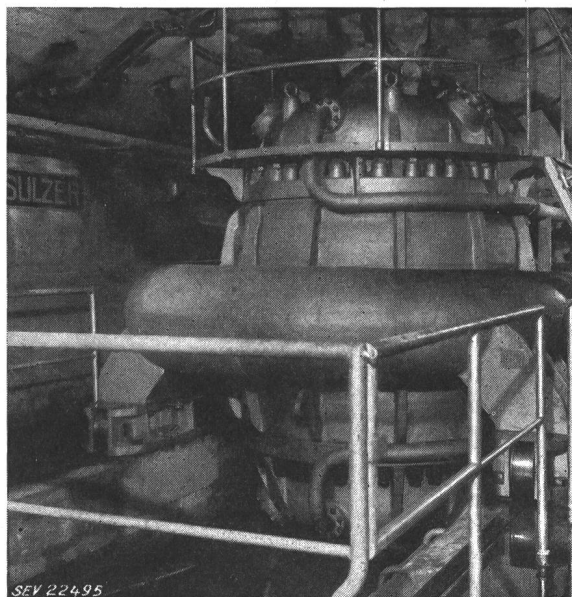


Fig. 15

Ansicht der Speicherpumpe im Untergeschoss des Maschinenhauses Grimsel

280 mm Bohrung, aus Sondergusseisen mit Weissmetallausguss, ist durch einen kräftigen Tragring befestigt. Das als Ölwanne von 200 l Inhalt ausgebildete Lagergehäuse ist an diesem Tragring angeflanscht. Das Öl wird durch eine eingebaute Kühlschlange gekühlt. Die Ölzirkulation besorgt eine direkt am untern Ende der Pumpenwelle befestigte Ölpumpe. An Kontroll- und Messinstrumenten sind im Lager eingebaut:

1. In der Lagerschale:

- a) 1 Thermostat mit Kontaktgabe bei Überschreitung einer Lagertemperatur von 65 °C für Alarmauslösung;
- b) 1 Thermostat zum Auslösen des Notabstellens bei einer Lagertemperatur von 80 °C;
- c) 1 Temperatur-Fernmesselement für die Anzeige der Lagerschalentemperatur auf der Schalttafel;

2. im Öl eingetaucht:

- 1 Quecksilber-Fernthermometer für die Anzeige der Ölrücklauftemperatur;

3. für das Kühlwasser:

- 1 Durchflussanzeiger mit Kontakt für Alarmauslösung bei Rückgang der Wassermenge;
- 1 Stockthermometer in der Zuleitung;
- 1 Stockthermometer in der Ableitung.

Die ganze Pumpe besitzt eine Abstütz- und Verschiebevorrichtung zum Verschieben vom Montageschacht bis unter den Motor bei Montage, bzw. in umgekehrter Richtung zu Revisions- oder Reparaturzwecken.

Als *Schnellschlussorgan* wurde ein Eckringschieber von 700 mm lichter Weite gewählt, welcher den Vorteil besitzt, nach einem Stromunterbruch anfänglich sehr rasch zu schliessen, da die Schliessbewegung durch den Wasserdruck selbst erfolgt. Das

Schliessgesetz ist einstellbar und so vorgesehen, dass der Schieber bei Schnellschluss in ca. 4 s bis auf 30 % und nach weiteren 16 s bis auf Null schliesst, während bei Normalschluss die totale Schliesszeit 120 s beträgt. Durch den Schnellschluss wird das Rückwärtslaufen der Pumpe vermieden oder wenigstens auf einen kleinen Betrag begrenzt.

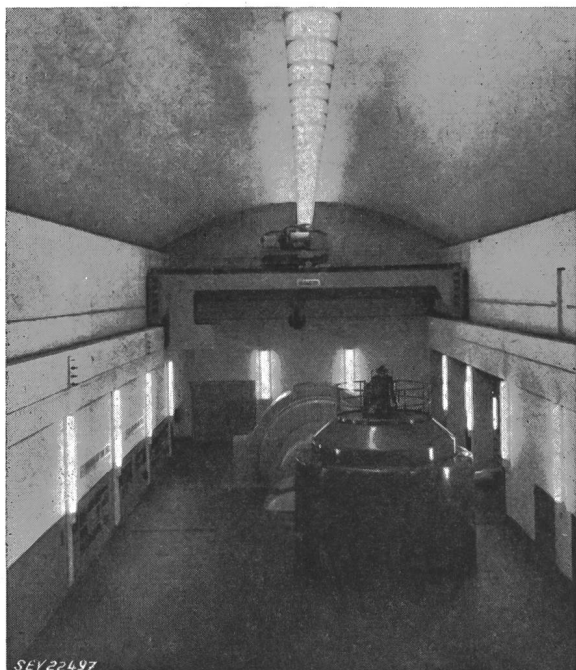


Fig. 16

Ansicht des Pumpenmotors im Maschinenhaus Grimsel
Im Hintergrund Turbinengruppe und 140-t-Maschinensaal-Laufkran

Der Eckringschieber besteht in der Hauptsache aus dem eigentlichen Schieberkörper und dem Einlaufbogen mit zylindrischem Ansatz für den Servomotor. Der doppelkonische Schieberkörper aus Stahlguss besteht aus einem äusseren Mantel und einem inneren Teil, der eine Führungsbüchse aus Bronze enthält, in der der zylindrische Teil der Schliessglocke zentrisch geführt wird. Der 45°-Einlaufbogen ist mit dem Schiebergehäuse fest verschraubt. Der in der Längsachse des Schiebers auf dem Einlaufbogen befestigte Servomotor besteht aus einem zweistufigen Zylinder, dessen eine Stufe den ölgesteuerten Kolben und dessen zweite Stufe den wassergesteuerten Ausgleichskolben enthält. Diese beiden hintereinanderliegenden Kolben sind einerseits durch eine Kolbenstange mit der Schliessglocke verbunden; das andere aus dem Zylinderdeckel herausragende Ende der Kolbenstange trägt einen Steuerkonus, welcher auf das über ihm angebrachte Bremsventil wirkt. Die Schliessglocke ist zweiteilig und besteht ebenfalls aus Stahlguss.

Zur Erzeugung des zur Betätigung des Schiebers notwendigen Öldruckes dient eine besondere Pumpengruppe. Dieses Aggregat ist in einer besonderen Felsnische der Schieberkammer untergebracht. Es besteht aus einem Ölbehälter von ca. 300 l Fassungsvermögen und einer Grundplatte, auf welcher eine Schraubenpumpe (Öffnungspumpe) und eine Zusatzpumpe (Haltepumpe) mit den zugehörigen

Antriebsmotoren montiert sind. An der Nischenwand sind ferner ein Steuerventil und die beiden Steuerrelais zur Betätigung des Eckringschiebers befestigt. Die Steuerrelais werden elektromagnetisch betätigt, und zwar das Steuerrelais für Normalschluss mit 220 V Gleichstrom und dasjenige für Schnellschluss mit 220 V Wechselstrom.

Als weitere Pumpenabschlussorgane sind in der Schieberkammer zwei Kugelschieber von je 700 mm Nennweite mit Ringkolbenantrieb vorhanden, von denen der erste in der Zulaufleitung und der zweite in der Druckleitung eingebaut ist. Der erste Schieber besitzt eine Umleitung mit Blende, welche dazu dient, die Pumpe auch bei geschlossenem Zulaufschieber stets gefüllt zu halten. Ferner ist in der Zulaufleitung der Pumpe ein Venturirohr zur Wassermengenmessung eingebaut, bestehend aus einem Einbaurohr aus Stahlguss und einer genormten Messdüse aus Sonderbronze.

Um die beim normalen Pumpenbetrieb sowie bei Störungen, z. B. durch Stromunterbruch, zu erwartenden Druckstösse in den Pumpenleitungen beurteilen zu können, wurden eingehende Druckschwankungsberechnungen angestellt, wobei die an einer von der Lieferfirma im Maßstab 1 : 4 gebauten Modellpumpe erhaltenen Kennlinien mitberücksich-

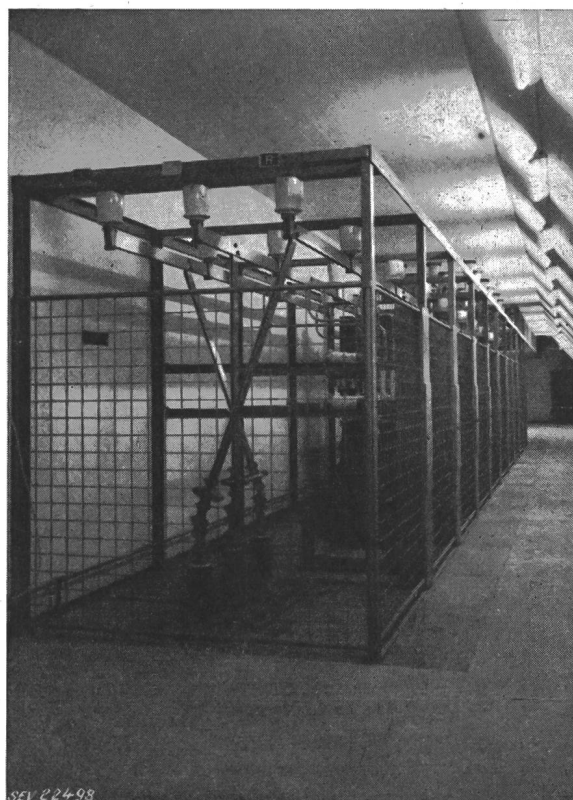


Fig. 17

Teilansicht der 13-kV-Schaltanlage im Maschinenhaus Grimsel

tigt wurden. Den Berechnungen wurden ferner die Kenndaten (Wellenplan) des Rohrsystems, bestehend aus Druckschacht, Anschlussrohr, Pumpenzuleitung und Einlaufstollen, zu Grunde gelegt. Dabei wurden folgende vier Betriebsfälle untersucht:

a) Abschaltung im Normalbetrieb mit Schnellschluss des Schiebers (Stromunterbruch zum Motor);

- b) Abschaltung im Normalbetrieb mit Versagen des Schnellschlußschiebers (Durchgehen der Pumpe);
 c) Abschaltung im Normalbetrieb mit um 8...10 s verzögertem Schnellschluss; eventuelles Versagen der Bremsvorrichtung am Schieber; tieferer Betriebsspiegel des Grimselsees;
 d) Ungewollter Schnellschluss mitten im Vollbetrieb ohne Abschalten des Motors.

Das Schliessgesetz des Eckringschiebers wurde dem ungünstigsten Fall c) angepasst, trotz der Unwahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Eintreffens aller dieser Umstände. Im Falle einer Abschaltung mit Schnellschluss nach Fall a) entsteht auf der Druckseite des Schnellschlußschiebers ein Druckanstieg von 50 m W. S., der bis zum Abschluss des Schiebers fast vollständig abklingt. Am Pumpen-einlauf bewirkt die rasche Abnahme des Wasserdurchflusses eine Druckerhöhung bis auf ca. 130 m

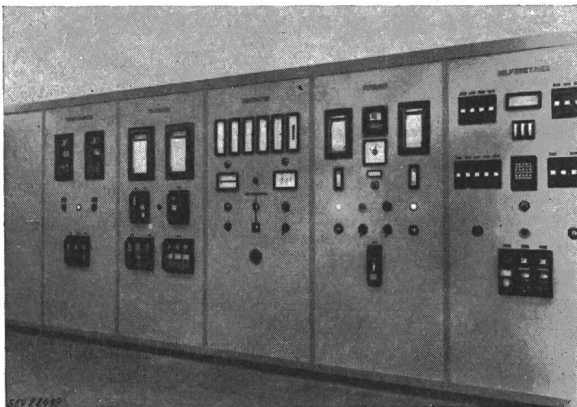


Fig. 18
Teilansicht der Maschinenschalttafeln

W. S., welche ebenfalls rasch abklingt und in einen Unterdruck von einigen Metern übergeht. Die Rückwirkung des starken Druckanstieges am Pumpen-einlauf erzeugt am oberen Ende der Pumpenzuleitung (Regulierkammer) eine Druckerhöhung von maximal 16 m. Im Falle d) könnte allerdings ein kurzzeitiger Überdruck von ca. 23 m W. S. entstehen, der jedoch von den Rohrleitungen und Abschlussorganen in der Regulierkammer ohne weiteres aufgenommen werden kann.

Bei dem gewählten Schliessgesetz des Schiebers wird die Pumpe gegen Ende der Schliessbewegung im Fall a) kurzzeitig rückwärts drehen, wobei die Drehzahl 100 U./min nicht übersteigt. Beim Durchgehen nach Fall b) wird die Rückwärtsdrehzahl der Pumpe jedoch kurzzeitig auf ca. 1350 U./min steigen, um sich nach Abklingen der Druckschwankung auf ca. 1220 U./min zu stabilisieren. Das Motor-Traglager ist diesen Verhältnissen angepasst, indem es diese Rückwärtsdrehzahl ohne weiteres zulässt.

Die Wasserdurchflussmenge kommt bei normalem Schnellschluss nach Fall a) nach ca. 3,6 s zum Stillstand und kehrt ihre Richtung nach dieser Zeit um. Die rückfliessende Menge steigt bis auf ca. 2,4 m³/s an und wird hierauf durch die Wirkung des Schiebers langsam abgedrosselt. Beim Durchgehen nach Fall b) nimmt die rückfliessende Wassermenge mit steigender Rückwärtsdrehzahl rasch zu und erreicht einen Maximalwert von

4,2 m³/s. Sie wird dann durch die Wirkung der immer rascher rückwärts drehenden Pumpe abgebremst und stabilisiert sich beim Dauerdurchgehen auf ca. 1,2 m³/s.

Zwecks Feststellung der beim Auslösen des Schnellschlusses im Rohrleitungssystem auftretenden Druckschwankungen wurden eingehende Versuche durchgeführt, wobei an besonders wichtigen Punkten der Rohrleitungen sowie an der Pumpe selbst Präzisions-Registrieremanometer angeschlossen wurden. Die Abschaltungen wurden bei reduzierter bis voller Fördermenge vorgenommen, wobei die gemessenen Druckstösse unter den durch die Berechnung ermittelten Maximalwerten blieben. Das eingestellte Schliessgesetz des Ringschiebers erwies sich als richtig und die Pumpe kam bei Vollast-Abschaltung nach kurzer Zeit zum Stillstand, ohne rückwärts zu drehen. Von der Durchführung von Durchgangversuchen mit Rückwärtslauf bis 1250 U./min wurde jedoch Abstand genommen, um das Material nicht unnötigerweise zu beanspruchen, obwohl es für solch aussergewöhnliche, im praktischen Betrieb aber vermutlich nicht vorkommende Störungen berechnet ist. Die Messung der Wassermenge zwecks Bestimmung des Pumpenwirkungsgrades erfolgte durch Präzisions-Messflügel, welche an einem Tragkreuz in der geraden Strecke des Druckschachtes befestigt waren. Diese Wassermengenmessung diente gleichzeitig zur Eichung der in der Pumpenzuleitung fest eingebauten Normdüse.

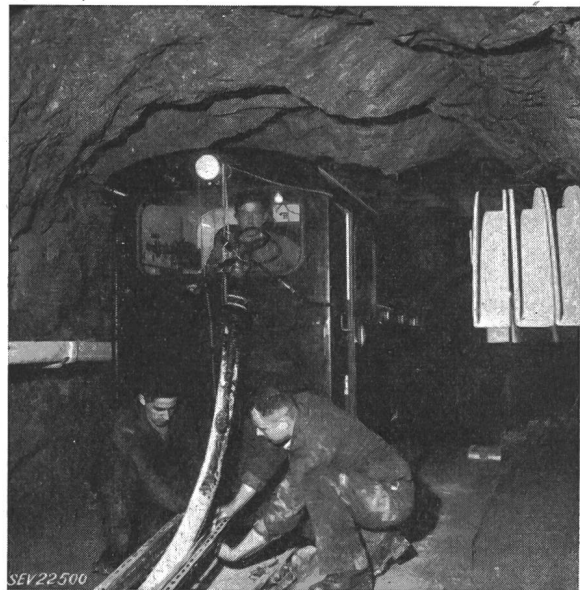


Fig. 19
Verlegung der 150-kV-Ölkabel mit Stollenlokomotive

Der *Antriebmotor* der Pumpe ist als vertikalachsiger Drehstrom-Synchronmotor ausgeführt und weist folgende Hauptdaten auf:

Nennleistung (Abgabe)	kW	21 300
Scheinleistung (Aufnahme) bei cos φ = 0,95, übererregt	kVA	23 000
Nennspannung, verkettet	V	13 500
Nennstrom	A	985
Frequenz	Hz	50
Drehzahl, normal	U./min	1 000
Drehzahl bei Durchgehen der Pumpe (Rückwärtslauf)	U./min	1 250

Der garantierte Wirkungsgrad des Motors beträgt bei Vollast 97,8 %.

Das Gehäuse des Stators ist aus kräftigen Walzeisenplatten und Profilstahl zusammenschweisst und enthält den Armaturenkörper aus legiertem Blech von 1800 mm Bohrung und 1500 mm Eisenlänge. Die Statorwicklung ist in offene Nuten im

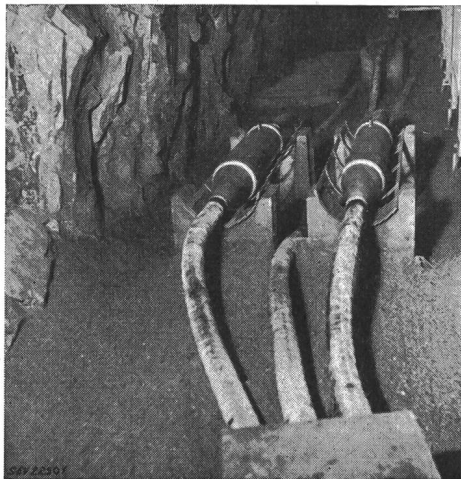


Fig. 20
Kabelstollen Grimsel-Gerstenegg
Muffenverbindung der 150-kV-Ölkabel

Blechkörper eingebettet und durch Keile aus Hartholz verkeilt. Die Wicklung selbst ist als Wicklung aus Einheitsspulen (2 Spulenreihen pro Nut) ausgeführt mit 2×3 Leitern pro Nut. Die einzelnen Leiter bestehen aus Teilleitern, die gegeneinander verdreht und zyklisch vertauscht sind. Die Spulenköpfe sind gegen die elektrodynamischen Wirkungen von Kurzschlüssen solid verkeilt und abgestützt.

Der Grundring des Motors in geschweisster Eisenkonstruktion ist am Maschinensaalboden befestigt und mit diesem vergossen. Der untere Lagerstern, welcher in den Grundring eingesetzt ist und einen druckfesten Abschluss des Motors gegen die Pumpe bildet, enthält das untere Führungslager von 500 mm Bohrung. Das Lager ist für Selbstschmierung vorgesehen. In den Lagerschalen sind ein Temperatur-Messelement und zwei Thermostaten mit Signalkontakt zur Betätigung eines Temperaturalarms eingebaut.

Der obere Tragbalken ist einteilig und ebenfalls in geschweisster Eisenkonstruktion ausgeführt. Er enthält das Segment-Traglager, bestehend aus Mitnehmerkopf aus Gusseisen, Tragring und Kippsegmenten aus Feinguss, für Vorwärts- und Rückwärtslauf. Das Traglager ist berechnet für Aufnahme der rotierenden Totalbelastung von 70 t, wovon die Hälfte von der Speicherpumpe (Rotor + Sicherheitszuschlag) herrühren. Die Rückkühlung des Traglageröles erfolgt in drei ausserhalb der Maschine aufgestellten Röhrenkühlern. Die Ölzirkulation wird durch zwei Motorölpumpen besorgt, von denen die eine als Reserve dient und im Falle des Versagens der ersten Pumpe automatisch einspringt. Das Traglager ist mit folgendem Zubehör ausgerüstet:

- 1 Manometer für die Tragfläche;
- je 1 Zeigethermometer für die Temperatur des Ölbades und der Segmente;
- 2 Thermostaten mit Schliesskontakt, wovon der eine zur Betätigung eines Temperaturalarms, der andere für die Notabstellung der Pumpengruppe, abhängig von der Temperatur der Segmente dient;
- 1 Widerstands-Temperaturmesselement für die Temperatur der Segmente.

Ausserdem ist die Anschlussmöglichkeit eines Temperaturgradient-Messgerätes vorgesehen.

Das obere Führungslager von 440 mm Bohrung ist direkt über dem Traglager angeordnet. Es ist ebenfalls für Selbstschmierung gebaut. Die Kühlwassermenge für das Traglager und die beiden Führungslager beträgt total 7,5 l/s.

Zum raschen Stillsetzen der Pumpengruppe bei Versuchen, Revisionen oder bei Brandgefahr dient eine Bremse, welche an die vorhandene Druckluftanlage angeschlossen ist und über ein Handsteuerventil betätigt wird. Eine von der Bremse unabhängige Vorrichtung dient zum Heben des Rotors beim Ausbau des Traglagers. Hiefür sind vier separate Hebezyylinder vorhanden, welche durch Drucköl, das von einer transportablen Handpumpe geliefert wird, betätigt werden.

Die Rückkühleinrichtung für die Umluft besteht aus vier an den Stator angebauten Kühlradiatoren, die von einer Luftmenge von je $5 \text{ m}^3/\text{s}$ durchströmt werden. Die Radiatoren sind so dimensioniert, dass bei einer Temperatur der Luft von 55°C eine Temperatur von höchstens 30°C im Kaltluftraum erreicht wird, wobei bei einer Eintrittstemperatur des Kühlwassers von 10°C der Kühlwasserverbrauch

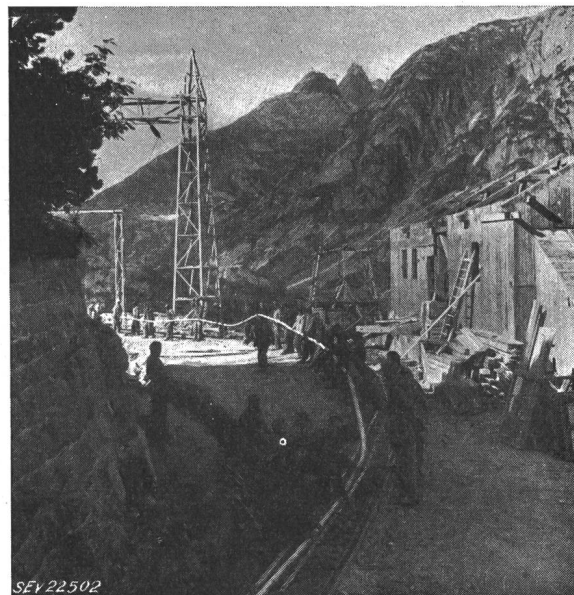


Fig. 21
Energieübertragung Grimsel-Gerstenegg
Verlegung der 150-kV-Ölkabel beim Stollenausgang Gerstenegg

nicht mehr als 20 l/s beträgt. Wie bereits erwähnt, wird das erforderliche Kühlwasser den beiden Entlastungskammern der Pumpe entnommen.

Die Welle besteht aus zwei Wellenenden, die am Rotorkörper angeflanscht sind und von denen das untere Ende einen angeschmiedeten Flansch zur

Kupplung mit der Speicherpumpe besitzt. Der Rotorkörper aus Stahlguss ist einteilig und mit Nuten für die Aufnahme der Polklauen versehen. Die Magnetspulen bestehen aus hochkantabgebogenem Kupferband. Die Rotorkonstruktion ist so getroffen, dass in keinem Teil bei der Durchgangsdrehzahl Beanspruchungen auftreten können, welche 65 % des Wertes der Streckgrenze des verwendeten Materials überschreiten. Zur Kühlung der Wicklung und Wicklungsköpfe ist über und unter dem Polrad je ein Ventilator aufgesetzt.

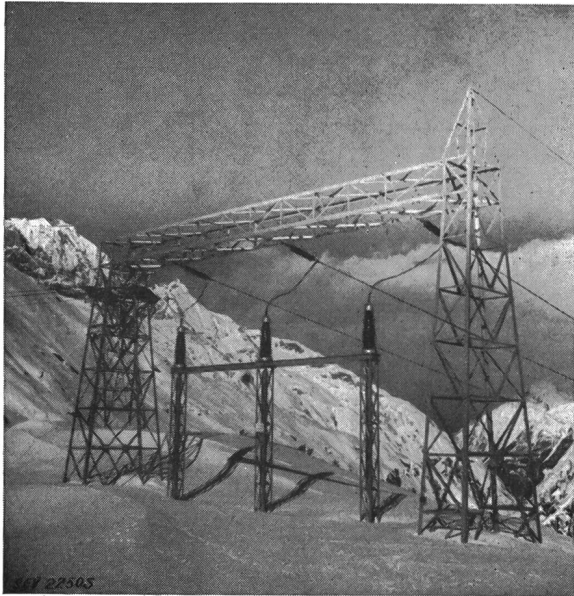


Fig. 22
Energieübertragung Grimsel-Handeck
Abspannbock der 150-kV-Freileitung und Endverschlüsse
der 150-kV-Ölkabel

Die Erregermaschine ist auf das Traglager aufgebaut und so bemessen, dass sie die nötige Erregerleistung für eine Aufnahme des Motors von 23 000 kVA, $\cos \varphi = 0,95$ übererregt, bei 13 500 V dauernd abgeben kann.

Der Pumpenmotor wird über einen *Anlasstransformator* bei geschlossenem Pumpen-Druckschieber asynchron angelassen. Die automatische Anlassvorrichtung besteht aus einem Öltransformator mit Konservator und Buchholzschutz für eine Leistung von 17 500 kVA während 120 s, sowie aus einem Nullpunkt- und Überbrückungsschalter, als Druckluftschalter ausgebildet, und einem Steuerapparat, welcher den Anlaufvorgang in folgender Reihenfolge steuert:

1. Einschalten des Hauptschalters, worauf der Motor mit 6500 V Speisung asynchron anläuft;
2. Ausschalten des Nullpunktschalters nach Erreichen der 6500 V, wobei der Anlasstransformator als Drosselspule wirkt;
3. Einschalten des Überbrückungsschalters, worauf der Motor an voller Spannung (13,5 kV) liegt;
4. Einschaltung der Erregung, wenn der Motor seine höchste Drehzahl erreicht hat; der Motor läuft synchron.

Bei betriebsmässiger Abstellung oder beim Ansprechen der Schutzrelais wird der Hauptschalter ausgeschaltet und der Steuerapparat in die Anfangsstellung zurückgeführt, womit die Anlassvorrich-

tung für einen neuen Anlassvorgang vorbereitet wird.

c) Die Hochspannungs-Schaltanlage

Die im obern Stockwerk auf der talseitigen Längswand des Maschinenhauses untergebrachte 13-kV-Schaltanlage enthält je einen Druckluftschalter von 1200 kVA Abschaltleistung für den Drehstromgenerator und den Pumpenmotor, einen Trokentransformator für die Hilfsbetriebe, die notwendigen Strom- und Spannungswandler für Betriebs- und Messzwecke, sowie eine Sammelschiene, welche bis zum Schaltgerüst über der Haupttransformatorzelle verlängert ist und über Trenner zu den Unterspannungsklemmen des Transformators führt. In diesem Räume befinden sich auch 2 Kompressorengruppen, welche die nötige Druckluft zur Betätigung der 13-kV-Schalter liefern.

d) Die Niederspannungs-Schaltanlage

Die Niederspannungs-Schaltanlage befindet sich unterhalb der Hochspannungsanlage auf Höhe des Maschinensaalbodens und umfasst je eine Schalttafel für die Generatorengruppe, die Pumpengruppe, den Transformator und den Eigenbedarf. Eine fünfte Schalttafel ist für die später zu installierende Francis-Turbinengruppe vorgesehen. Die einzelnen Schalttafeln sind in folgende Felder unterteilt:

1. Generator-Schalttafel:
 - 1 Feld für Hilfsbetriebe
 - 1 Feld für Turbine
 - 2 Felder für Generator
 - 1 Feld für Fernsteuerung
2. Pumpen-Schalttafel:
 - 1 Feld für Hilfsbetriebe
 - 1 Feld für Pumpe
 - 2 Felder für Motor
 - 1 Feld für Fernsteuerung
3. Allgemein-Schalttafel:
 - 1 Feld für Parallelschaltung
 - 2 Felder für Transformator
 - 1 Feld für Kühlwasser
 - 1 Feld für Wasserschloss
 - 1 Feld für Oberaarsee
 - 1 Feld für Wasserdruck
4. Eigenbedarfs-Schalttafel:
 - 2 Felder für 16-kV-Anlage
 - 1 Feld für Beleuchtung und Ventilation
 - 1 Feld für Ladegruppe
 - 1 Feld für 24-V- und 220-V-Batterie

e) Die Hilfsbetriebe

Den Hilfsbetrieben kommt, speziell in einer unterirdischen Anlage, welche zudem ohne ständiges Bedienungspersonal arbeiten soll, eine wichtige Bedeutung zu. Sie erst ermöglichen die Führung eines geordneten und sichern Betriebes und gestatten ein rasches und zuverlässiges Arbeiten im Falle von Störungen, Reparaturen oder Revisionen. Hierzu gehören reichlich dimensionierte und praktisch angelegte Transportmittel und Hebezeuge, eine gut ausgerüstete Werkstatt, eine reichliche und zweckmässige Beleuchtung, eine wirksame Lüftungsanlage, eine zuverlässige Wasserversorgungsanlage für Kühl-, Reinigungs- und Trinkzwecke, eine vom Hauptbe-

trieb unabhängige Energiequelle für den Eigenbedarf, sowie die notwendigen Sicherheitseinrichtungen zur wirksamen Bekämpfung eines Brandausbruches in den elektrischen Maschinenanlagen oder in irgendeiner Räumlichkeit des Maschinenhauses.

Der *Maschinensaalkran* ist für eine Tragkraft von 140 t bei 0,93 m/min Hubgeschwindigkeit und 20 t bei 4,93 m/min Hubgeschwindigkeit gebaut. Die Spannweite beträgt 13,10 m und die totale Hub-



Fig. 23

Energieübertragung Grimsel-Handeck
Tragmast der 150/225-kV-Freileitung Gerstenegg-Handeck

höhe 11,90 m. Die Bedienung kann wahlweise von einem Führerstand oder vom Maschinensaalboden aus mittels Druckknopfschalter erfolgen. Ein weiterer Laufkran für 16 t Tragkraft befindet sich in der Schieberkammer. Zum Transport der Schieber zwischen Maschinensaal und Schieberkammer dient ein 20-t-Transportwagen. Ferner ist ein elektrischer Aufzug für 2 t Nutzlast zum Transport von Waren zwischen dem Stollenbahnhof und dem Maschinensaal vorhanden.

Während der Wintermonate, d. h. solange die Grimselstrasse nicht befahrbar ist, dient eine elektrische *Stollenbahn* für den Personen- und Warenverkehr zwischen Gerstenegg und dem Kraftwerk Grimsel. Die Fahrstrecke weist eine Länge von 2,3 km, eine grösste Steigung von 7,5 % und einen kleinsten Krümmungsradius von 30 m auf. Die Akkumulatoren-Lokomotive ist für eine Spurweite von 600 mm, eine Geschwindigkeit von 11 km/h bei einer Stundenleistung von 11 kW, eine maximale Geschwindigkeit von 20 km/h und eine maximale Zugkraft von 1500 kg gebaut. Die Bleiakkumulatoren-Traktionsbatterie für 80 V Nennspannung besitzt eine Ladung von 594 Ah. Sowohl in der Tal- als auch in der Bergstation ist eine automatisch arbeitende Ladestation vorhanden.

Die *Werkstatt* ist auf Höhe des Maschinensaalbodens angeordnet und mit den modernsten Werkzeugmaschinen zur Ausführung aller vorkommenden Reparaturarbeiten ausgerüstet. Für die Bear-

beitung der Turbinen-Laufräder steht ein besonderer Reparaturraum zur Verfügung.

Der *Beleuchtung* des Maschinensaaes und der verschiedenen Nebenräume wurde ganz besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Auf Grund der günstigen Erfahrungen im Kraftwerk Handeck II⁴⁾ wurden auch im Kraftwerk Grimsel Fluoreszenzlampen Typ FL 40, Farbtemperatur 3500 °K, als einheitliches Beleuchtungselement verwendet. Der Maschinensaal wird durch ein 46 m langes und 0,70 m breites, im Scheitel des Eternitgewölbes aufgehängtes Leuchtband aus gebogenen Perspexplatten, über welchen drei Reihen Röhrenlampen angeordnet sind, sowie durch 14 Wandleuchten zu je 6 Röhrenlampen, beleuchtet. Die Beleuchtungsstärke beträgt im Mittel 150 lx. Die Werkstatt, der 13-kV-Schalt-raum, der rund 100 m lange Zugangsstollen, sowie einige Nebenräume sind ebenfalls mit Fluoreszenzlampen ausgerüstet, während für einige Aufenthaltsräume (Essraum usw.) Glühlampenbeleuchtung vorgesehen wurde. Im Falle eines Energieunterbruches im 380/220-V-Wechselstromnetz werden die hierfür installierten Notbeleuchtungslampen automatisch auf die 220-V-Akkumulatorenbatterie geschaltet.

Zum Zwecke der Frischluftzufuhr, sowie zur Abführung der von den elektrischen Maschinen erzeugten Verlustwärmemengen, soweit sie nicht durch Kühlwasser abgeführt werden, dient eine *Lüftungsanlage*, bestehend aus einem Hauptventilator für die Belüftung des Maschinensaaes und 3 kleineren Ventilatoren zur getrennten Entlüftung der Werkstatt und der Nebenräume, des Turbinen-Reparaturraumes, sowie des Batterieraumes. Die Frischluft wird durch einen besonderen Lüftungsschacht aus dem Freien angesaugt und über ein Grobfilter und ein Staubfilter von einem längsseitig angeordneten Frischluftkanal aus in den Maschinensaal ausgeblasen. Die Abluft entweicht durch den Hauptzugangsstollen wieder ins Freie. Bei längeren Maschinenabstellungen kann die Frischluft durch einen elektrischen Lufterhitzer von 65 kW Leistung erwärmt und in 3 Stufen reguliert werden. Die Einstellung der gewünschten Raumtemperatur erfolgt automatisch durch Thermostaten. Der Hauptventilator ist für eine Fördermenge von 9000/18 000/27 000 m³/h, entsprechend einem 4fachen Luftwechsel im Maschinensaal, bemessen. Die abzuführende Wärmemenge beträgt bei Normalbetrieb rund 25 000 kcal/h, und die bei Stillstand für die Heizung aufzubringende Wärmemenge 22 700 kcal/h. Für die Werkstatt ist ein 8facher, für den Schweissraum ein 15facher und für den Batterieraum ein 6facher Luftwechsel pro Stunde vorgesehen.

Um die Versorgung der Maschinen- und Transformatorenanlage mit dem nötigen Kühlwasser sicherzustellen, wurde eine besondere *Kühlwasseranlage*, bestehend aus einem durch 2 Schachtpumpen von je 30 l/s Fördermenge, sowie durch eine Quelle gespeisten Hochreservoir von 90 m³ Nutzinhalt und den zugehörigen Verbindungs- und Verteilleitungen, installiert. An diese Anlage sind die Kühleinrichtungen für die Lager der Generator- und der Pumpengruppe, sowie für die Transforma-

⁴⁾ siehe Bull. SEV Bd. 43 (1952), Nr. 17, S. 688...693.

torengruppe, angeschlossen. Die Statorkühler des Generators werden durch 2 besondere Schachtpumpen von je 35 l/s Fördermenge, von denen die eine als Reserve dient, gespeist, während das Kühlwasser für die Statorkühler des Pumpenmotors den Entlastungskammern der Speicherpumpe entnommen wird. Ein zweites unabhängiges Rohrleitungsnetz, das an die Zuleitung der Speicherpumpe angeschlossen ist, dient zur Speisung der Hydrantenanlage für Lösch- und Reinigungszwecke, und ein drittes Leitungsnetz, welches vom Reservoir auf dem Grimselnollen aus über ein Druckreduzierventil gespeist wird, zur Versorgung des Maschinenhauses mit Trinkwasser.

Die Versorgung der *Eigenbedarfsanlage* mit 380/220 V Drehstrom erfolgt von einem 600-kVA-Haustransformator aus, welcher einerseits über ein 16-kV-Kabel von der Transformatorstation Räterichsboden und anderseits über das 16-kV-Kabel Gelmer-Grimsel gespeist wird. Durch diese doppelseitige Speisung über eine Ringleitung ist die Eigenbedarfs-Energieversorgung sichergestellt, so dass auf die Aufstellung einer besonderen Hausgruppe verzichtet werden konnte. Zur Speisung des Gleichstromnetzes dient eine 220-V- und eine 24-V-Cd-Ni-Akkumulatoren-Batterie von je 310 Ah. Deren Dauerladung erfolgt über vollautomatisch arbeitende Gleichrichteranlagen, die periodische Hochladung über eine Umformergruppe. Wie bereits erwähnt, ist die 220-V-Batterie zur Speisung der Notbeleuchtung vorgesehen, während die 24-V-Batterie für die Betätigung der Relais- und Signalanlagen dient.

Der Generator, der Pumpenmotor und die Transformatorengruppe sind mit einer *CO₂-Brandschutzeinrichtung* versehen, die beim Überschreiten einer bestimmten Temperatur oder beim Ansprechen der Differential-Relais automatisch in Funktion tritt und die in einem besonderen Räume aufgestellten CO₂-Batterien zur Entladung bringt. In der Transformatorzelle sind überdies zwei Feuermelder angebracht, welche auf Ionenbildung von Rauchgasen reagieren und bei langsamer Verschmelzung Alarm auslösen, während ein Temperaturgradientgerät bei einem offenen Brandausbruch den CO₂-Brandschutz innerhalb sehr kurzer Zeit zur Auslösung bringt. Gleichzeitig wird die Transformatorzelle automatisch durch einen Panzerrolladen gegen den Maschinenraum vollständig abgeschlossen. Für den Anlass- und den Haustransformator wurde eine kleinere, unabhängige CO₂-Brandschutzeinrichtung installiert. Im übrigen ist das Kraftwerk mit allen modernen Brandbekämpfungsmitteln, wie Schaumlöschgeräten, Hydrantenwagen usw. ausgerüstet.

5. Die Energieübertragungsanlage

Die im Kraftwerk Grimsel erzeugte Energie wird vom Transformator bis zur Gerstenegg mittels drei 150-kV-Einleiter-Ölkabeln von 200 mm² Cu-Querschnitt übertragen. Die Kabel sind neben dem Geleise der Stollenbahn in Formsteinen verlegt. Die Kabelstrecke besitzt eine Länge von 2,35 km und weist eine Gefälldifferenz von ca. 70 m auf, was die

Einschaltung von 2 Sperrmuffen pro Kabel notwendig machte. Die erforderlichen Drucköltanks sind in besonderen Felsnischen aufgestellt und stehen mit dem Maschinenhaus Grimsel durch Signalleitungen in Verbindung. Die oberen Kabelenden sind an die Kabelendverschlüsse der drei Einphasentransformatoren angeschlossen, während die unteren Kabelenden nach dem Abspannbock der abgehenden Freileitung geführt und mit je einem Freiluft-Endverschluss versehen sind. Die Kabel sind mit einem sog. Sandwich-Korrosionsschutz versehen und die Bleimäntel mit den Schienen der Stollenbahn und dem Erdseil der Freileitung gut leitend verbunden.

Die Gittermasten der 3,2 km langen Freileitung Gerstenegg-Handeck sind für 6 Leiter und eine Übertragungsspannung von 225 kV dimensioniert. Vorläufig sind nur 3 Bronze-Leiter zu je 200 mm² Querschnitt, isoliert für 150 kV, montiert, während der zweite Strang für eine später vom Wallis kommende Leitung von 225 kV Spannung reserviert bleibt. Das auf den Mastspitzen verlegte Erdseil besitzt einen Stahlquerschnitt von 80 mm². Die Leitung weist im ganzen 10 Masten auf, wovon 5 Tragmasten, 3 Winkelmasten und 2 Endabspannmasten, die alle auf Fels fundiert sind. Die Standorte sind so gewählt, dass die Leitung praktisch als lawinensicher betrachtet werden kann.

In der Handeck ist die Leitung in eine kleine Freiluftstation eingeführt, wo sie über einen Ölstrahlschalter an einen Strang der nach Innertkirchen führenden 150-kV-Freileitung angeschlossen ist.

6. Die Fernwirkanlage

Da in der Umgebung des Kraftwerkes Grimsel, das im Winter vom Talverkehr praktisch abgeschnitten ist, keine Unterkunftsmöglichkeit für das notwendige Maschinistenpersonal besteht, wurde die maschinelle und elektrische Anlage so disponiert, dass der Betrieb vom Kommandoraum der Unterstation Innertkirchen aus geführt werden kann. Die Anlage wird jedoch durch den auf dem Grimselnollen stationierten Grimselwärter auf seinen täglichen Kontrollgängen durch die Spitallammsperre überwacht.

Die Maschinengruppen des Maschinenhauses Grimsel können an Ort und Stelle direkt, oder von Innertkirchen aus ferngesteuert werden. Durch Wahlschalter können folgende Betriebsarten eingestellt werden, wobei die Steuerbefehle der nichtgewählten Betriebsarten gesperrt bleiben:

1. Handsteuerung

Sämtliche Steuerbefehle werden einzeln durch die in der Schalttafel eingebauten Steuerschalter gegeben. Bei Differenzstellung zwischen Steuerschalter und dem zu steuernden Schalter, Schieber oder Relais leuchtet die Lampe im Steuerschalter auf. Störungen werden durch eine Signalglocke gemeldet und auf den in der Schalttafel eingebauten Signalapparaten angezeigt.

2. Automatische Nahsteuerung

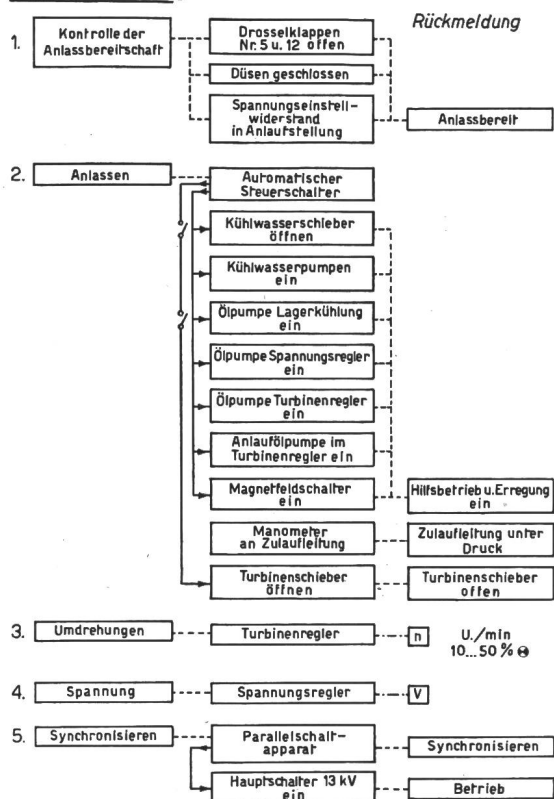
Wie bei Handsteuerung wird der Betrieb im Maschinenhaus selbst geführt. Die Schaltfunktionen sind jedoch vereinfacht, da ein Teil automatisch ausgeführt wird. Die Rück- und Störungsmeldungen erfolgen wie bei Handsteuerung.

3. Automatische Fernsteuerung

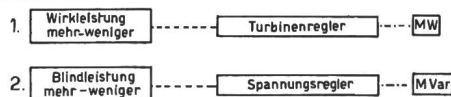
Sämtliche Steuerbefehle für die In- und Ausserbetriebnahme der Maschinengruppen können nur vom Kommando-raum Innertkirchen aus gegeben werden; durch entspre-

chende Transparente werden die einzelnen Funktionen überwacht. Die Störungen beider Maschinengruppen werden auf ein gemeinsames Leuchttabelleau ferngemeldet und können dort einzeln quittiert werden. Bei schweren Betriebsstörungen wird die entsprechende Maschinengruppe sofort automatisch stillgelegt. Die Auslösung erfolgt durch die Schutzrelais. Die Steuerung wird blockiert und kann erst wieder deblockiert werden, wenn die Störung behoben ist. Leichtere Störungen werden nur rückgemeldet, so dass der Schichtführer entscheiden muss, welche Massnahmen zu ergreifen sind.

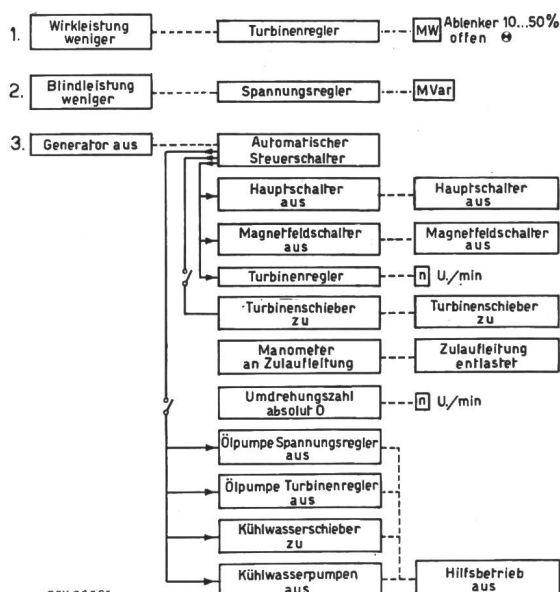
I. Inbetriebsetzung



II. Betrieb



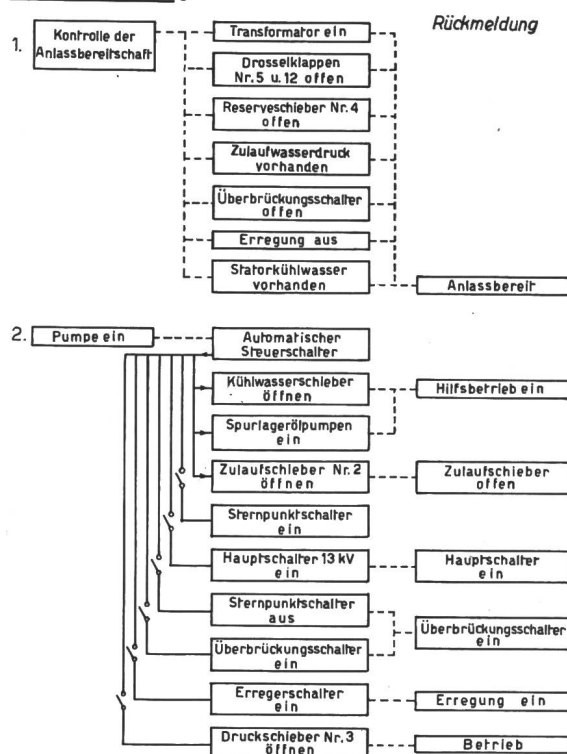
III. Ausserbetriebsetzung



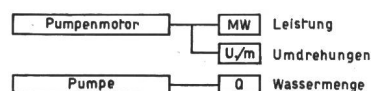
SEV 22505

Fig. 24
Kraftwerk Oberaar
Betriebsschema der Turbinengruppe

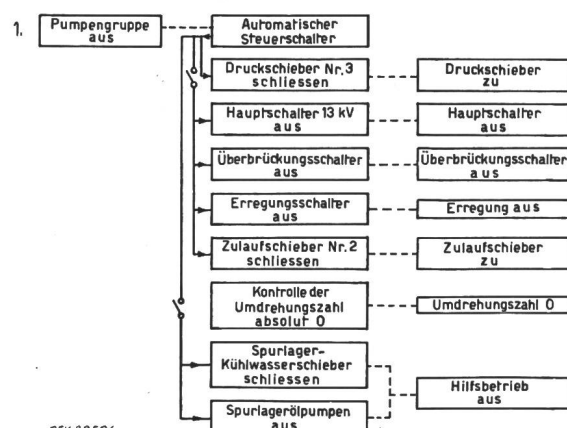
I. Inbetriebsetzung



II. Betrieb



III. Ausserbetriebsetzung



SEV 22506

Fig. 25
Kraftwerk Oberaar
Betriebsschema der Pumpengruppe

Die Messwerte von Spannung, Strom, Wirkleistung und Blindleistung des Generators und des Pumpenmotors werden über ein Fernmesskabel nach Innertkirchen übertragen. Die Fernmessung erfolgt nach dem Impulsfrequenzverfahren, wobei die Anzahl der vom Messwertimpulsgeber in der Sekunde ausgesandten Impulse als Mass für die zu übertragende Messgrösse dient.

Der Ablauf der Fernsteuerung für die Inbetriebsetzung und die Ausserbetriebsetzung der Generator- und der Pumpengruppe wird in den Fernsteuerungsschemata Fig. 25 und Fig. 26 näher erläutert.

7. Baukosten und Energieproduktion

Die Baukosten des Kraftwerkes Oberaar sind auf 95 Millionen Franken veranschlagt. Hievon entfallen rund 16 Millionen auf die elektromechanische Ausrüstung inkl. Energieübertragung und Fernwirkanlage. Den Hauptanteil der Bausumme beanspruchen naturgemäss die grossen Bauobjekte wie die Oberaarstaumauer, der Zulaufstollen, der Druckschacht, das unterirdische Kraftwerk und der Kabelstollen nach der Gerstenegg.

Die Erstellungskosten sämtlicher Kraftwerkanlagen im Oberhasli, einschliesslich Zuleitung des Gruben- und Bächlisbaches zum Grimselsee und des Gadmenwassers zum Kraftwerk Innertkirchen, stellen sich auf rund 344 Millionen Franken, denen eine jährliche Energieproduktion von 1,225...1,325 TWh⁵⁾ gegenübersteht. Diese Energieproduktion verteilt sich auf die einzelnen Werke folgendermassen:

Kraftwerk	Winter GWh	Sommer GWh	Total GWh
a) in einem wasserarmen Jahr:			
Oberaar	69	—	69
Handeck II	92	78	170
Handeck I	149	77	226
Übertrag	310	155	465

⁵⁾ 1 TWh (Terawattstunde) = 10¹² Wh = 10⁹ (1 Milliarde) kWh.

Übertrag	310	155	465
Innertkirchen	350	434	784
Pumpenergie	—	-24	-24
Total	660	565	1225

b) in einem mittleren Jahr:

zusätzlich	5	95	100
Mittlere Gesamtproduktion	665	660	1325

Es geht hieraus hervor, dass die Jahres-Energieproduktion praktisch gleichmässig auf das Sommer- und das Winterhalbjahr verteilt ist. Diese Energieverteilung entspricht im allgemeinen den Bedürfnissen der Aktionärwerke der KWO, so dass eine weitere Steigerung der Winterproduktion, z. B. durch Erhöhung der Grimselstaumauern, welche jedoch auf Kosten der Sommerproduktion gehen würde, zur Zeit nicht aktuell ist. Als neue Energiequelle kommt nur noch die Ausnützung des Gentalwassers mit einem kleineren Maschinenhaus bei Führen unterhalb Gadmen in Betracht, für welche die KWO ein Konzessionsgesuch eingereicht haben.

8. Bauorganisation

Für die Durchführung des Baues wurde von den KWO eine besondere Bauorganisation geschaffen: Die Leitung des baulichen Teils wurde durch Oberingenieur Bächtold, diejenige des elektromechanischen Teils durch Oberingenieur Eggenberger besorgt. Das Projekt wurde durch Oberingenieur Juillard und die ihm beigegebene Studienkommission aufgestellt. Die allgemeine Geschäftsleitung lag in den Händen von Dr. E. Moll. Mit der am 14. Juni 1954 erfolgten Kollaudation des Kraftwerkes Oberaar und der Fertigstellung der zur Zeit noch im Bau befindlichen Ergänzungsanlagen ist der gewaltige Plan zur Ausnützung der Wasserkräfte im Oberhasli praktisch vollendet⁶⁾.

⁶⁾ vgl. Moll, W. T.: Ausbau der Wasserkräfte im Oberhasli. Bull. SEV Bd. 37(1946), Nr. 10, S. 271...274.

Adresse des Autors:

H. Ludwig, Dipl. Ing., Kraftwerke Oberhasli A.-G., Innertkirchen (BE).

Das Licht und der Architekt

Vortrag, gehalten in der Diskussionstagung des Schweizerischen Beleuchtungs-Komitees und des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins vom 6. Mai 1954 in Zürich, von P. Suter, Basel

628.972 : 72

Wenn die Frage gestellt würde, ob vor 50 Jahren eine Tagung, wie sie heute Fachleute aus dem Gebiete der Lichttechnik und des Bauwesens zusammenführt, möglich und wünschbar gewesen wäre, so würde man mitleidig lächeln. Und doch hilft diese Frage die Entwicklung zu vergegenwärtigen, die sich für den Architekten in der Aufgabenstellung im Laufe der letzten Jahrzehnte abzeichnet. Der Verfasser glaubt behaupten zu dürfen, dass die Architekten sich dessen nicht in vollem Ausmass bewusst sind — und doch wirken die letzten Jahrzehnte auf die Tätigkeit des Architekten so revolutionierend, wie keine Epoche zuvor. Die stürmische Entwicklung der Technik beeinflusst nicht wie früher nur die eigentlichen, technischen Berufsparten, sondern auch den ursprünglich vorwiegend künstlerischen Beruf des Architekten.

Wir bewundern heute die Werke der Alten, die Bauten der Antike, des Mittelalters, der Gotik, des Barocks, ja der Zeiten bis um 1900; Bauten die aus einem sicheren Stilgefühl, aus einem unerhörten Können in der Disposition des Ganzen und in der Bearbeitung des Details entstanden sind. Wir müssen uns aber auch darüber klar sein, dass diese Werke aus einer eng begrenzten Aufgabe entstanden sind, deren Hauptgewicht in der Gestaltung und Formgebung lagen, während die Erfüllung bestimmter Funktionen und technischer Erfordernisse stark in den Hintergrund traten. Dazu kam eine weitgehende Beschränkung in der Wahl der Baumaterialien und Konstruktionsmittel, die nicht Nachteil, sondern Wegleitung zu einer einheitlichen Auffassung im Rahmen eines festen Zeitempfindens gab. In gewisser Hinsicht müssen wir Architekten