

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	79 (1961)
<b>Heft:</b>	45
<b>Artikel:</b>	Der Ausbau der Wasserkräfte im Gental und Gadmental mit Kraftwerk Fuhren
<b>Autor:</b>	Kraftwerke Oberhasli AG
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-65620">https://doi.org/10.5169/seals-65620</a>

### Nutzungsbedingungen

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

### Conditions d'utilisation

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

### Terms of use

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

**Download PDF:** 27.01.2026

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

serwiderstände (Kraftwerke Albburk-Dogern und Rheinau), automatisch regulierte Durchflussöffnungen in der Nähe der Turbinen (Kraftwerke Ottmarsheim, Donzère-Mondragon), von den Turbinen aus gesteuerte, schnellsenkbare Wehrverschlüsse (Kraftwerk Birsfelden) oder durch die Kaplanturbinen selber vorgenommene Wirkungen (beschrieben in SBZ 1957, Heft 22, S. 327) zur Anwendung.

In Zukunft werden zweifellos die noch fehlenden Kraftwerke auf Grund der bestehenden Gesamtpläne am Rhein

und an der Rhone gebaut. Der dabei gewinnbaren elektrischen Energie kommt selbstverständlich volle Bedeutung zu. Aber auch die Schleusenanlagen sind zu erstellen, um die durchgehende Schiffahrt auf grosse Flusstrecken zu ermöglichen und ihr die volle Aktionsfähigkeit zu geben. Nur so kann sie ihre Aufgabe als billiges, im europäischen Gesamtraum die Wirtschaft befruchtendes Transportmittel erfüllen.

E. Stambach, dipl. Ing., Baden

## Der Ausbau der Wasserkräfte im Gental und Gadmental mit Kraftwerk Fuhren

Mitgeteilt von der Kraftwerke Oberhasli AG., Innertkirchen

DK 621.29

Schluss von Seite 761

### 2. Elektromechanischer Teil

#### a) Das Maschinenhaus

Das Maschinenhaus Fuhren wurde auf dem linken Ufer des Gadmerwassers als freistehender, jedoch an den Fels angelehnter Massivbau in Beton ausgeführt. Die Vorderfront der in neuzeitlicher Bauweise erstellten Zentrale ist als Glaswand ausgebildet, die das Tageslicht gleichmässig in den in diskreten Farben gehaltenen Maschinensaal flutet lässt, Bild 14. Die Zufahrt von der Sustenstrasse her erfolgt über eine Betonbrücke, welche gleichzeitig zur Ueberführung der Druckleitung über das Gadmerwasser dient. Die Zentrale Fuhren besitzt keinen Unterwasserkanal, auch sind keine offenen Druckleitungen und im Freien keine Transformer- oder Schaltanlagen vorhanden, so dass die Gegend durch das neue Kraftwerk in keiner Weise beeinträchtigt wird. Der Fortleitung der Energie dient ein im Boden verlegtes 150 kV Kabel, das in etwa 200 m Entfernung von der Zentrale an die nach Innertkirchen führende Hochspannungsleitung anschliesst, Bild 15.

Die Zentrale Fuhren, deren Maschinensaalboden auf Kote 1134,50 m liegt, ist mit einer Turbinengruppe und einer Pumpengruppe, beide in horizontalachsiger Anordnung, sowie mit der zugehörigen Schalt- und Transformeranlage ausgerüstet. Außerdem enthält sie die Hilfs- und Nebenanlagen, die für einen sicheren und störungsfreien Betrieb erforderlich sind. Bild 16 zeigt Längsschnitt und Grundriss der Zentrale, Bild 17 den Querschnitt und Bild 18 das Innere der Maschinenhalle.

Die Turbine ist für folgende Daten konstruiert:

Statisches Gefälle	596 m
Gegendruck	200 m
Nettogefälle	381 m
Wassermenge	3 m <sup>3</sup> /s
Nennleistung	13 100 PS
Normaldrehzahl	1 000 U/min.
Durchgangsdrehzahl	1 650 U/min.

Da die Maschine mit einem Gegendruck von rd. 200 m arbeiten muss, konnte nur eine Francisturbine in Frage kommen. Soviel bekannt, ist dies der erste Fall, dass bei einer Turbinenanlage mit einem so hohen Gegendruck gerechnet werden musste. Der für eine Francisturbine äußerst hohe Zulaufdruck sowie der grosse Gegendruck stellen sowohl in strömungstechnischer als auch in festigkeitstechnischer und mechanischer Hinsicht besondere Anforderungen an die konstruktive Durchbildung. So musste z. B. außer dem normalen Einlaufschieber auch auf der Ablaufseite ein Abschlussorgan vorgesehen werden, um allfällige Demontagen an der Turbine zu ermöglichen. Die wasserführenden Teile wie Spiralgehäuse, Ablaufröhrer, Seitendeckel, sowie auch die Ein- und Auslaufkugelschieber wurden in robuster Stahlkonstruktion für einen Konstruktionsdruck von 700 m Wassersäule gebaut. Aus Sicherheitsgründen sind diese Teile mit einem Abpressdruck von 1050 m geprüft worden. Bild 19 zeigt die Turbine mit dem Spurlager im Schnitt.

Das Laufrad von 1200 mm Durchmesser aus nichtrostendem Stahlguss ist auf dem Generatorwellenende fliegend aufgekeilt. Durch diese Anordnung ergibt sich der Vorteil, dass



Bild 14. Ansicht der Zentrale Fuhren

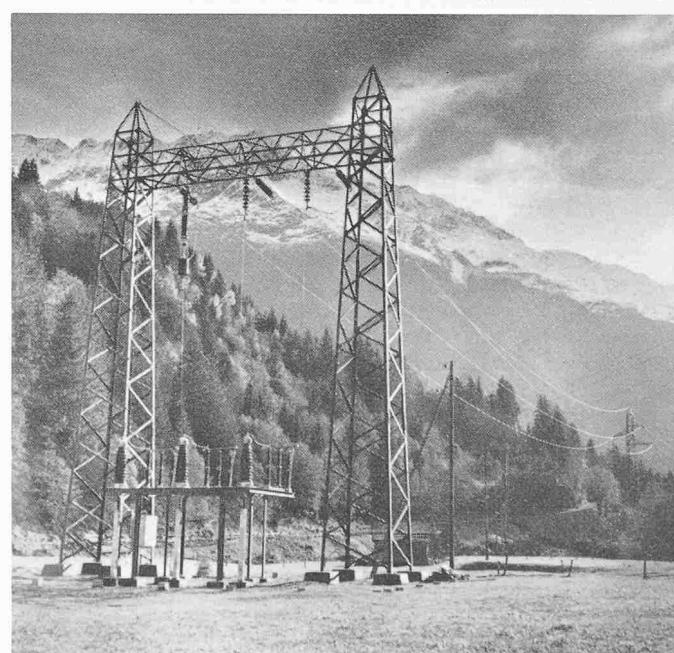


Bild 15 (rechts). Abspannbock Nr. 1 der 150 kV-Freileitung Fuhren – Innertkirchen, am Fusse die drei Einleiter-Oekabel mit Endverschlüssen und Trennschaltern

- 1 Francisturbine 13100 PS,  
 $n = 1000$  U/min
- 2 Drehstromgenerator  
14 MVA
- 3 Speicherpumpe 2 m<sup>3</sup>/s
- 4 Synchronmotor  
56 000 PS,  
 $n = 1500$  U/min
- 5 Transformator 14 MVA
- 6 Batterieraum
- 7 Werkstatt
- 8 Anlasstraforium
- 9 Schaltraum
- 9a Pumpenfelder
- 9b Allgemeinfelder
- 9c Telefon
- 9d Generatorfelder
- 10 Trafo-Reparaturgrube
- 11 Eigenbedarfstransformator
- 12 Eigenbedarfsfelder
- 13 Sanitätsraum
- 14 Garderoberaum
- 15 Schwermagazin
- 16 Abstellraum
- 17 Einfahrt
- 18 13,5 kV-Schaltanlage
- 19 Magazine
- 20 Frischluftkanal

auf ein ablaufseitiges Lager samt Stopfbüchse verzichtet und somit die Innenteile der Turbine ohne Demontieren der Welle oder eines Lagers auf der Ablaufseite ausgebaut werden können. Die Leitschaufeln sind aus hochwertigem Cr-Mo-Vergütungsstahl geschmiedet, und deren wasserbenetzte Flächen mit einer Hartchromschicht gegen Erosionen geschützt. Der hydraulische Axialschub wird von einem mit der Turbine fest verbundenen Spurlager aufgenommen, welches für eine Betriebsbelastung von 32 t berechnet ist.

Der im Regulator eingebaute Servomotor zur Betätigung des Regulierringes steht in Öffnungsrichtung unter gesteuertem Oeldruck, in Schließrichtung wirkt eine Feder. Als Sicherheitsvorrichtung wirkt bei Überdrehzahl ein Fliehkraftschalter oder bei Überwärmung des Lagers ein Thermostat auf ein Abstellrelais, wodurch die Turbine geschlossen wird. Der Anlauf wird bei verringertem Druck vorgenommen und zwar mittels der Füllleitung des Einlaufschubers. Dies ermöglicht eine bessere Beherrschung des Drehzahlanstieges und damit auch ein leichteres Parallelschalten.

Als Eintritts-Abschlussorgan dient ein Kugelschieber von 600 mm Nennweite mit hydraulischem Antrieb als Austritts-Abschlussorgan ein Kugelschieber von 750 mm Nennweite mit hydraulischem Antrieb und einem von Hand bedienbaren Revisionsabschluss. Beide Kugelschieber sind aus Stahlguss gebaut und für den vollen statischen Druck zuzüglich Druckstoss berechnet.

Der mit der Turbine direkt gekuppelte *Drehstromgenerator* weist folgende Nenndaten auf:

Nennleistung bei  $\cos \varphi = 0,72$  übererregt  
Nennspannung verkettet  
Nennstrom  
Normaldrehzahl  
Schleuderdrehzahl  
Natürliches Schwungmoment  $GD^2$

14 000 kVA
13 500 V
600 A
1 000 U/min
2 000 U/min
30 000 kg m <sup>2</sup>

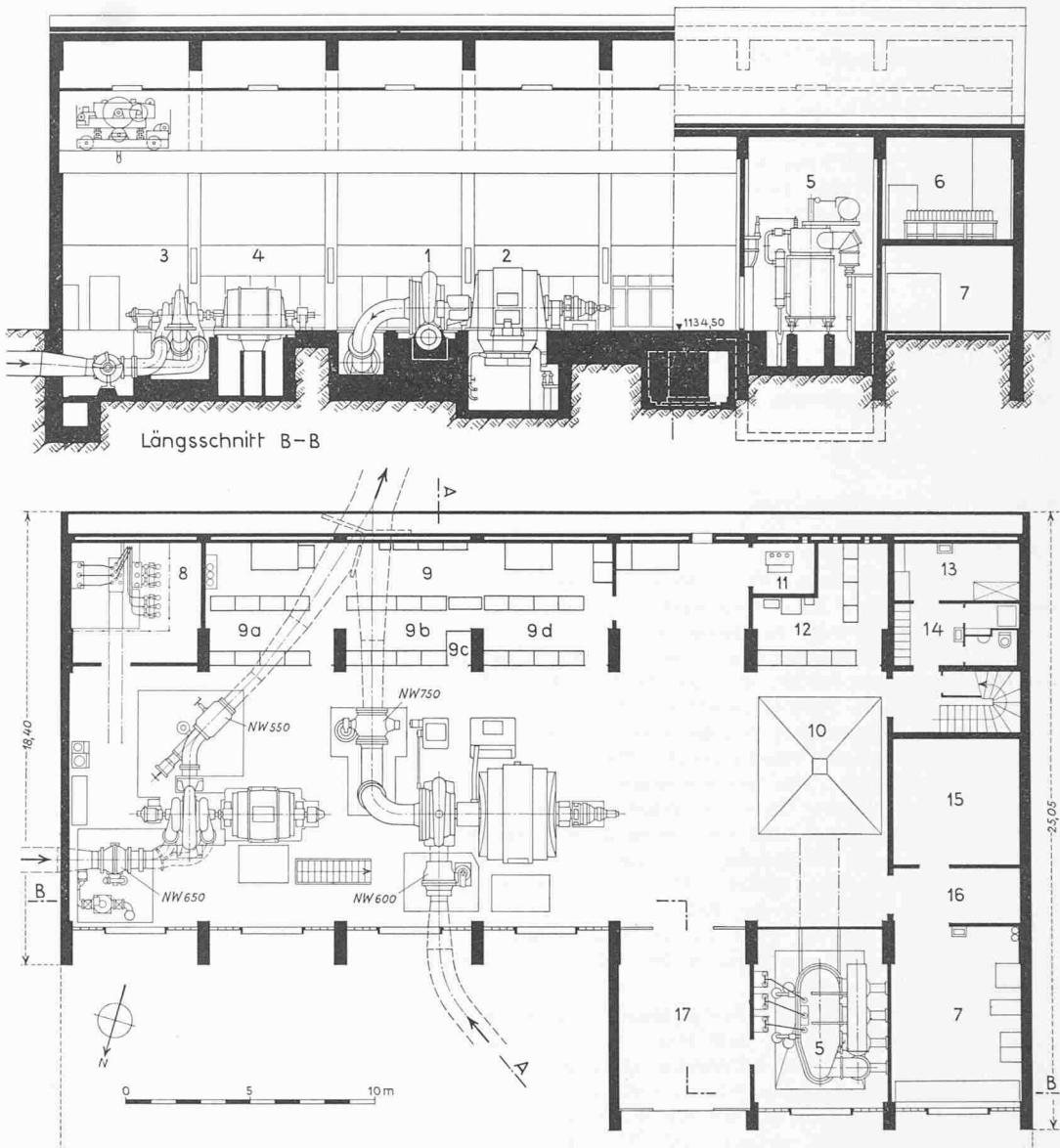


Bild 16. Längsschnitt und Grundriss der Maschinenhalle der Zentrale Fuhren, 1:300

Der Generator ist in ganz geschlossener Bauart mit wassergekühlten Luftkühlern ausgeführt. Die Rückkühleinrichtung besteht aus drei unten am Stator angeordneten Kühllementen mit Rippenröhren. Das einteilige, runde Statorgehäuse ist aus Stahlblech geschweisst. Der Eisenkörper aus hochwertigem Dynamoblech mit einer Bohrung von 1800 mm ist mit verschließbaren Nuten versehen. Diese nehmen die Spreizwicklung mit vier Leitern pro Nut gebaute Statorwicklung auf. Der Rotor besteht aus dem Polrad in Spezialkonstruktion (Kammkonstruktion) mit sechs Polen und hochkantgewickelten Polspulen aus Flachkupfer. Das ergerterseitige Lager ist als Gleitlager mit Ringschmierung und eingebauten Kupferkühlschlangen ausgebildet.

Der Generator ist mit je einem auf der Welle fliegend aufgekeilten Hauptreger, Hilfsreger und Pendelgenerator, sowie einem Doppelzentrifugalschalter ausgerüstet. Zum Generator gehört ferner eine komplette automatische Spannungsregulierung mit Wälzsektor-Schnellregler, sowie eine Einrichtung zur Schnellentregung mit Entregungsschalter für Hand- und elektrische Fernbetätigung.

Die Überwachung der Wicklungs- und Lagertemperaturen erfolgt durch eine elektrische Temperatur-Fernmessseinrichtung. Die KühlLuftmenge beträgt rd. 18 m<sup>3</sup>/s und der Kühlwasserbedarf für die Umluftkühler rd. 54 m<sup>3</sup>/h bei einer Kühlwassertemperatur von 15° C.

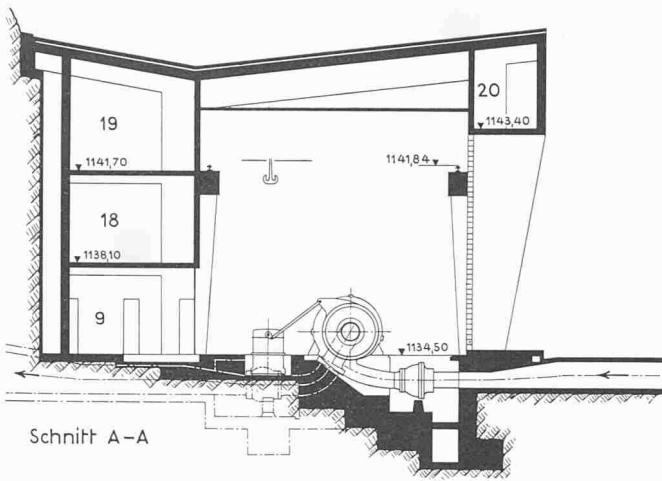


Bild 17. Querschnitt durch die Zentrale Fuhren, 1:300

Die Hochdruckpumpe, die in Bild 20 im Schnitt wiedergegeben ist, ist für folgende Nenndaten konstruiert:

Fördermenge	2000 l/s
Man. Förderhöhe	184 m
Normaldrehzahl	1500 U/min
Wirkungsgrad	87,5 %
Leistungsbedarf	5608 PS
Schwungmoment GD <sup>2</sup>	250 kgm <sup>2</sup>

Das Spiralgehäuse ist einteilig und aus erstklassigem Elektrostahlguss hergestellt. Das Laufrad mit doppelseitigem Einlauf und doppeltgekrümmten Schaufeln besteht aus vergütetem Chromstahlguss. Das Doppelleitrad ist ebenfalls aus Chromstahlguss hergestellt und wurde nach dem Giessen spannungsfrei geglättet. Die Pumpenwelle besteht aus geschmiedetem SM-Stahl mit einer Festigkeit von 50 bis 60 kg/mm<sup>2</sup> und ist mit der Motorwelle starr gekuppelt. Sie ruht motorseitig auf dem einen Motorlager auf, während auf der andern Seite ein Trag- und Führungslager vorhanden ist. Dieses enthält eine zweiteilige Lagerschale aus Gusseisen, die mit Weissmetall ausgegossen ist, und ein achsiales, doppeltwirkendes Segmentspurlager. Das Lageröl wird in einem getrennt angeordneten Röhrenkühler gekühlt.

Als Zulaufschieber dient ein Kugelschieber von 650 mm Nennweite mit Einfachabschluss und Ringkolbenantrieb. Die zugehörige Steuerung erfolgt durch Hubmagnete mit Arbeitsstrom. Auf der Druckseite ist ein Eckringschieber von 550 mm Nennweite mit Doppelabschluss eingebaut. Er besteht aus einem Betriebsabschluss, der durch den konstanten Wasserdruk zum Schliessen und durch Drucköl zum Öffnen betätigt wird, sowie aus einem handbetätigten Reserve-Abschluss.

Da sowohl die Pumpe als auch die Turbine, d. h. in ihrer Funktion ganz verschiedenartige Maschinen, auf eine gemeinsame Druckleitung (Gegendruckschacht) arbeiten und somit hydraulisch miteinander verbunden sind, hat im gemeinsamen Betrieb jede von einer Abschaltung verursachte Störung eine gegenseitige und verschiedene Reaktion zur Folge. Die Auswirkungen auf den Betrieb wurden durch eingehende Druckschwankungsberechnungen, die der Pumpenlieferant durchführte, für folgende Fälle untersucht:

1. Abschalten im Betrieb der Pumpe allein;
2. Abschalten im Betrieb der Turbine allein;
3. Abschalten im gemeinsamen Betrieb von Pumpe und Turbine;
4. Abschalten einer Gruppe bei weiterem Betrieb der andern.

Die Berechnungen führten zu folgenden Ergebnissen: Im Fall 1 ist die Pumpe von der geschlossenen Turbine hydraulisch vollständig getrennt, so dass diese auf die Druckschwankungen keinen Einfluss hat. Nach Abschaltung der Pumpe fällt der Druck sofort um 41 % des statischen Wertes. Unter der Voraussetzung, dass das Schliessgesetz des Eckring-

schiebers so eingestellt ist, dass dieser in 2 s bis auf 10 % und in weiteren 5 s vollständig schliesst, wird der Druckanstieg in der zweiten Phase auf 115 % der statischen Höhe begrenzt. Die nach der Abschaltung sofort eintretende Rückströmung hat eine sehr starke Bremswirkung zur Folge, so dass die Pumpe nach kurzer Zeit zum Stillstand kommt. Bei allfälligen Versagen des Schnellschlussschiebers würde eine Rücklaufdrehzahl bis auf 1850 U/min auftreten, was die Pumpengruppe jedoch ohne Schaden aushalten kann.

Auch im Falle 2, d. h. bei Abschalten der Turbine allein, tritt keine Rückwirkung auf die andere, hydraulisch getrennte Maschine ein und die Druckschwankungen bleiben innerhalb normaler Grenzen. Bei gleichzeitiger Abschaltung der Pumpe und der Turbine, Fall 3, sind Druckabfall und Druckanstieg in der gemeinsamen Steigleitung in absoluten Werten nicht wesentlich verschieden wie beim Abschalten der Pumpe allein, da die Schliesszeit der Turbine bedeutend grösser ist als die Periode der Druckschichtleitung.

Bei gleichzeitigem Betrieb von Pumpe und Turbine, Fall 4, wird sich eine Abschaltung der Turbine weniger auswirken als im Fall 2, d. h. bei Abschaltung der Turbine allein, da die durch das Abstellen der Turbine verursachten Druckschwankungen eine gegensinnig gerichtete Änderung der Fördermenge und damit nur eine unbedeutende, in kurzer Zeit abklingende Störung zur Folge haben wird.

Nach Abschaltung der Pumpe bei weiter im Betrieb bleibender Turbine liegen die Verhältnisse insofern etwas anders, als die Regulierung der Turbine auf die verursachten Änderungen des Gegendruckes anspricht und eine gleichgerichtete Änderung der Wassermenge verursacht. Die Berechnung zeigt jedoch, dass die Abschaltung der Pumpe zu einer weniger als 2 s dauernden Erhöhung der Turbinleistung bis auf eine Spitze von etwa 20 % der normalen Volleistung führen und die Störung ebenfalls rasch zum Abklingen kommen wird.

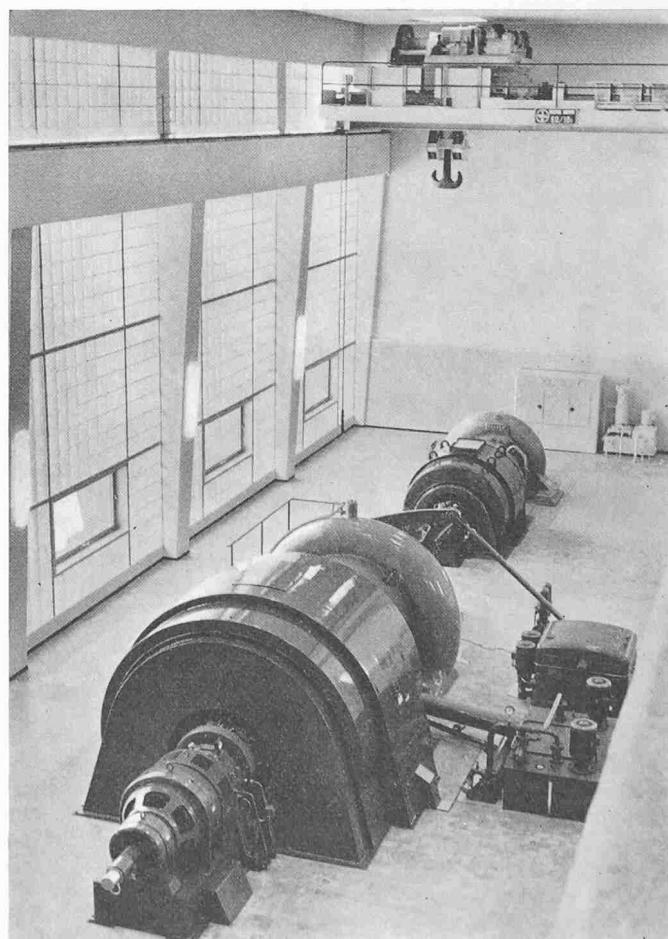
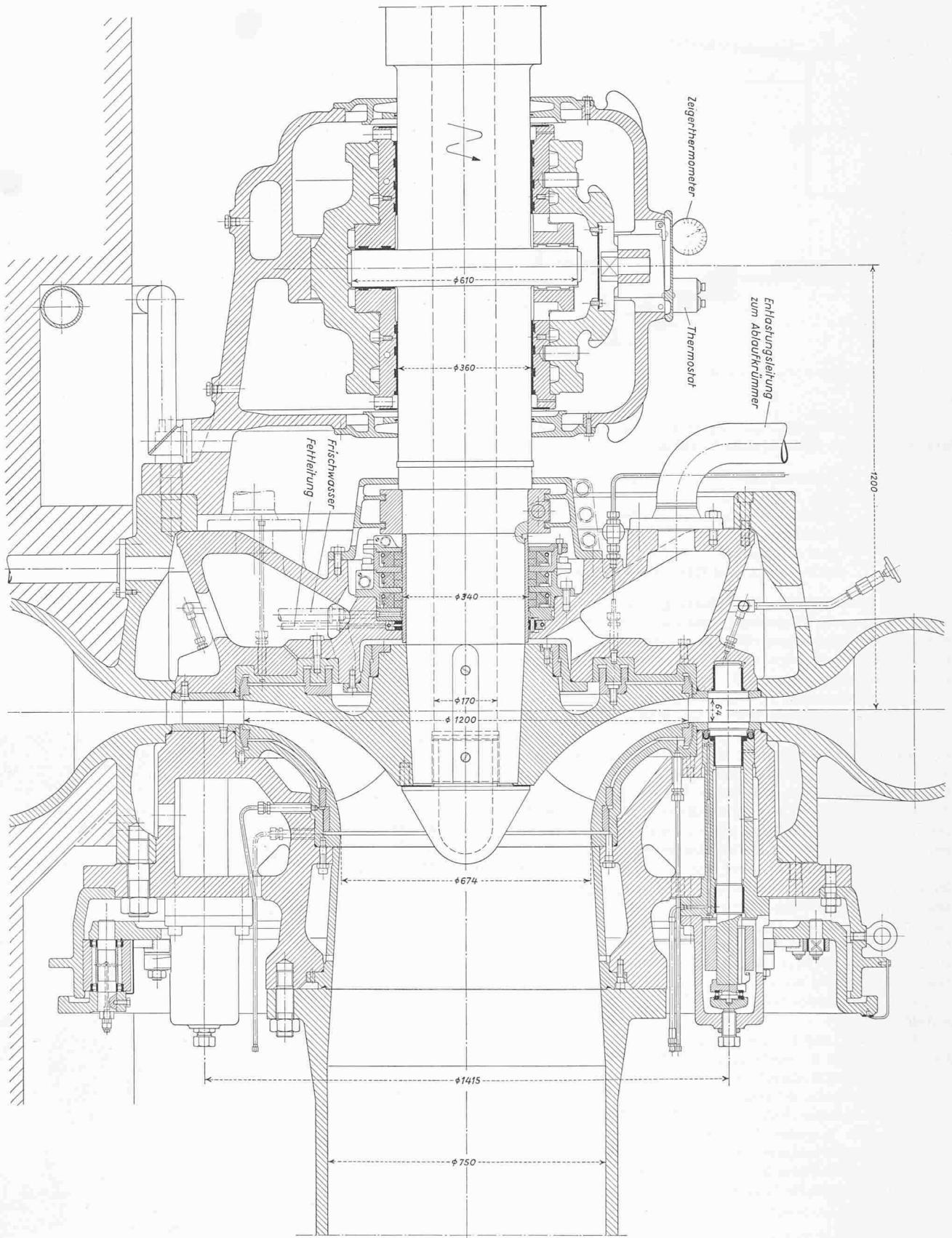


Bild 18. Blick in den Maschinensaal der Zentrale Fuhren

Bild 19. Schnitt durch die horizontalachsige Escher-Wyss-Francisturbine der Zentrale Führen, 1:15



Aus den Berechnungen geht hervor, dass bei allen untersuchten Betriebsfällen keinerlei unzulässige Beanspruchungen in irgend einem Teil der Anlage zu erwarten sind. Auch im ungünstigsten Falle wird der Druckstoss auf Steigschachtseite etwa 15 % der statischen Höhe nicht übersteigen. Ueber die tatsächlichen Verhältnisse sei auf den Unterabschnitt d) «Abnahmeverweise» verwiesen.

Der Pumpenmotor, ein Drehstrom-Synchronmotor für asynchronen Anlauf, weist folgende Betriebsdaten auf:

Leistungsabgabe an der Motorwelle	5200 kW
Leistungsaufnahme bei $\cos \varphi = 0,95$ übererr.	5600 kVA
Verkettete Spannung	11 bis 13,5 kV
Normaldrehzahl	1500 U/min
Rücklaufdrehzahl (während 3 Stunden)	1900 U/min
Schwungmoment $GD^2$	1400 kgm <sup>2</sup>

Das Statorgehäuse ist einteilig aus Walzeisen geschweißt und besitzt offene Nuten. Der Rotor ist in Um-

fangs- und Achsrichtung einteilig. Die massiven Pole aus Dynamo-Stahlguss sind mit hochkant gewickelten Kupferbandspulen versehen. Die Welle mit Kupplungsflansch ist aus SM-Stahl geschmiedet. Die beiden Stehlager sind mit Ringschmierung versehen und besitzen Wasserkühlung. Unten am Stator sind zwei Rippenrohrkühler für eine Wassermenge von  $18,5 \text{ m}^3/\text{h}$  bei einer Eintrittstemperatur von  $15^\circ \text{C}$  angebaut.

Der Motor läuft asynchron über einen Anlasstransformator unter folgenden Bedingungen an:

Anlassspannung 7000 V  
Anlassstrom max. 650 A  
Leistungsfaktor 0,3  
Anlaufzeit rd. 60 s

Die Inbetriebsetzung der Pumpengruppe erfolgt von Innertkirchen aus. Nach durchgeführter Kontrolle und Rückmeldung der Anlassbereitschaft wird im Kommando raum der Steuerschalter eingelegt, worauf sich der ganze Anlassvorgang automatisch abspielt. Nach Einschalten der Erregung, nachdem der Motor bei voller Spannung seine höchste Drehzahl erreicht hat, läuft der Motor synchron und der Pumpendruckschieber öffnet sich.

Der für den Generator und den Motor gemeinschaftliche Transformator ist als Dreiphasen-Transformator für eine Nennleistung von 14 MVA und ein Uebersetzungsverhältnis von  $13,5/165 \text{ kV}$  gebaut und in einer allseitig geschlossenen Zelle im Maschinenhaus aufgestellt. Der Sternpunkt der Oberspannungswicklung ist direkt geerdet.

Die Hochspannungsschaltanlage, welche sich im 1. Stock befindet, enthält eine 13 KV-Sammelschiene, drei Druckluft Leistungsschalter für den Generator, den Pumpenmotor und den Haupttransformator, einen 50 kVA-Hilfstransformator sowie die notwendigen Trennschalter mit Druckluftantrieb und die Strom- und Spannungswandler. Die Maschinen- bzw. Transformerklemmen sind mit der 13 KV-Schaltanlage durch Hochspannungskabel verbunden.

Die Niederspannungsschaltanlage besteht aus je einer vierfeldrigen Generator-, Pumpen- und allgemeinen Schalttafel. Sie befindet sich im Maschinensaal hinter den betreffenden Maschinengruppen. Die Maschinenschalttafeln enthalten alle zur direkten Betätigung sowie zur Fernsteuerung erforderlichen Apparate und Messinstrumente. Die zwischen ihnen aufgestellte «Allgemeine Schalttafel» enthält das Transformerfeld, sowie die zur Ueberwachung des elektrischen und hydraulischen Betriebes erforderlichen Apparate und Instrumente. Die zugehörigen Relaischalttafeln sind im Raum hinter diesen Schalttafeln aufgestellt.

Die Hilfsbetriebe umfassen die Eigenbedarfsanlage mit 600 kVA-Haustransformator, Stationsbatterie und diesel-elektrischer Notstromgruppe, ferner die Beleuchtungs-, Ventilations- und Brandschutzanlage, die Krananlage, bestehend aus einem 60 t-Laufkran mit vier Motoren, sowie die Kühlwasseranlage. Das für den Generator, den Pumpenmotor und den Transformator benötigte Kühlwasser wird normalerweise der Pumpenzuleitung entnommen und in einer Filteranlage gereinigt. Im Bedarfsfalle kann das Kühlwasser auch aus der Pumpendruckleitung bezogen werden, wobei aber sein Druck abgedrosselt werden muss.

#### b) Die Energieübertragung

Von der Zentrale Fuhren führt eine rd. 8 km lange Weitspannleitung von 150 kV mit 26 Tragwerken aus verschraub-

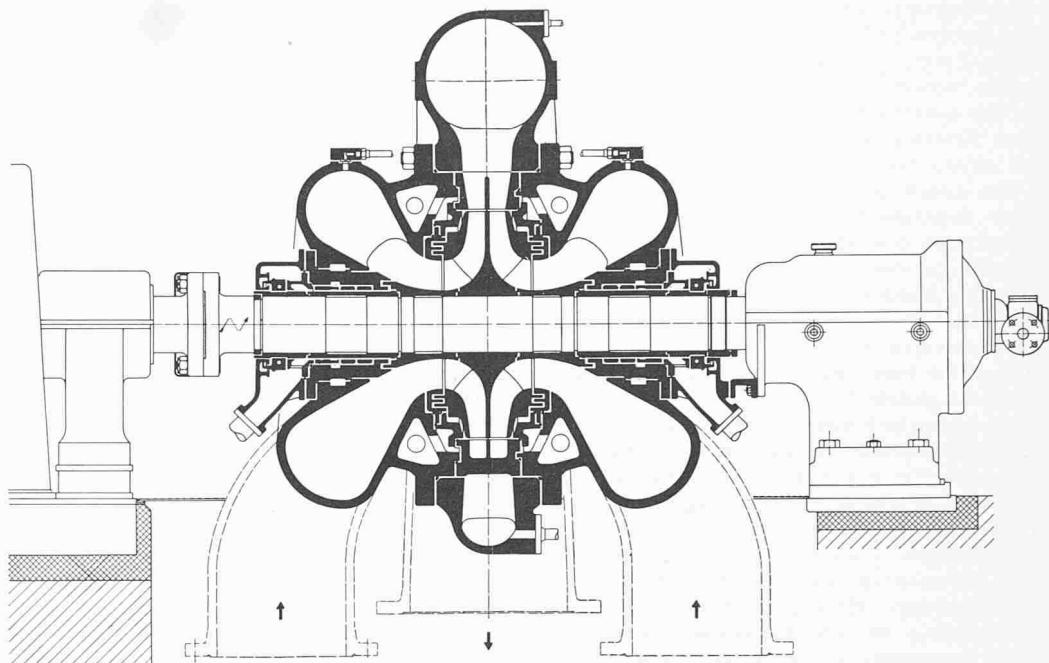


Bild 20. Schnitt durch die Sulzer-Hochdruckpumpe in der Zentrale Fuhren

ten, feuerverzinkten Winkeleisen nach der Unterstation Innertkirchen. Mast Nr. 1 bei Fuhren ist als Portal mast ausgebildet, an welchem die drei Phasenleiter in einer Ebene abgespannt sind, Bild 15. Die übrigen 25 Maste, wovon 11 Tragmaste und 14 Abspann- bzw. Winkel maste, sind mit einem bergseitigen (mittleren) und zwei talseitigen Auslegern versehen. Als Leitermaterial wurden drei Bronzesäle von  $150 \text{ mm}^2$  Querschnitt verwendet, während als Erdseil ein Elektrolytkupferseil mit Copperweldseele von  $144,5 \text{ mm}^2$  Totalquerschnitt und einem elektrischen Widerstand von  $0,171 \text{ Ohm/km}$  bei  $20^\circ \text{C}$  auf den Mastspitzen verlegt ist. Der Trassierung dieser Leitung musste im Hinblick auf die vielen Lawinenzüge, auf die Vermeidung von Waldschneisen und auf die Nähe der stark begangenen Sustenstrasse besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Der Anschluss der 150 kV-Leitung einerseits an die Zentrale Fuhren und anderseits an die Freiluftstation Innertkirchen erfolgte über 150 kV-Einleiter-Oekabel von  $150 \text{ mm}^2$  Kupferquerschnitt, welche in Kabelsteinen im Erdboden verlegt sind.

Es mag auffallen, dass für die zu übertragende Leistung von nur 14 MVA eine verhältnismässig hohe Spannung sowie ein ebenfalls verhältnismässig grosser Leiterquerschnitt gewählt wurden. Man wollte in Innertkirchen eine nochmalige Transformierung mit entsprechend teurer Schalt- und Transformeranlage vermeiden. Der Leiterquerschnitt wurde aus Festigkeitsgründen auf  $150 \text{ mm}^2$  festgelegt. Als Zusatzlast wurde im oberen Talabschnitt eine Schneelast von  $5 \text{ kg/m}$  und im unteren Talabschnitt eine solche von  $2 \text{ kg/m}$  zugrunde gelegt.

#### c) Die Betriebsführung

Bei der Zentrale Fuhren handelt es sich um eine ferngesteuerte, örtlich automatisch überwachte Anlage. Sie ist mit einer automatischen Steuerung versehen, welche gestattet, die Turbinen- oder die Pumpengruppe über eine HF-Fernwirkkanlage anzulassen und abzustellen, sowie deren Betrieb zu überwachen. Dabei sind folgende Betriebszustände möglich:

- Generatorgruppe mit Transformator in Betrieb, Pumpengruppe ausgeschaltet.
- Pumpengruppe mit Transformator in Betrieb, Generatorgruppe ausgeschaltet.
- Generatorgruppe, Pumpengruppe und Transformator in Betrieb.
- Ausnahmsweise (bei Ausfall der 150 kV Uebertragung):

Generatorgruppe und Pumpengruppe in Betrieb, Transformatormotor ausgeschaltet.

Die Fernsteuerung erstreckt sich nicht nur auf den elektrischen, sondern auch auf den hydraulischen Teil der Anlage. Die automatischen Anlass- und Abstellvorgänge werden in der Zentrale Fuhren durch eine Schaltwalzensteuerung nach einem festgelegten Programm durchgeführt, so dass für den Anlauf selbst nur ein Einschaltbefehl notwendig ist. In der Zentrale Fuhren eingebaute Ueberwachungsorgane kontrollieren den Anlassvorgang und geben über eine Rückmeldeanlage dessen Fortschreiten nach Innertkirchen bekannt. In Fuhren sind die Verriegelungen so ausgeführt, dass keine Fehlschaltungen auftreten können. Bei Nichtübereinstimmen mit dem Programm wird ein Schnellschluss der Turbine bzw. der Pumpe eingeleitet und nach Innertkirchen signalisiert.

Um einen sicheren Betrieb gewährleisten zu können, werden die Fernsteuersignale einer leitungserichteten Hochfrequenzverbindung auf der 150 kV-Leitung aufmoduliert. Dabei werden sowohl die HF-Trägerkanäle als auch die Frequency-Shift-Kanäle mit Anoden-Spannungsüberbrückungskondensatoren ausgerüstet, damit die Uebertragung bei einem Netzausfall bis zum Anlauf der batteriegespeisten Notstromgruppe sichergestellt werden kann. Neben den Steuerkanälen für die Fernsteuerung sind weitere Kanäle für die Fernmessung und für die Uebertragung der Wasserstände, sowie der Fernzählung vorgesehen, welche gestatten, in Innertkirchen einen genauen Ueberblick der Anlage zu erhalten.

Ein besonderes Schutzproblem besteht für den Transformatormotor, da auf der 150 kV-Seite in der Zentrale Fuhren kein Schalter vorgesehen ist. Eine Störung am Transformatormotor muss gleichzeitig in Innertkirchen und auch in der Zentrale Fuhren zu einer Auslösung der Schalter führen. Durch die Schutzrelais werden die Auslösebefehle über die Hochfrequenz nach Innertkirchen übertragen und führen dort zu einer Auslösung des 150 kV-Schalters. In Innertkirchen ist das Leitungsfeld der Zentrale Fuhren mit einem Schnell-distanzschutzrelais geschützt, welches beim Ansprechen ebenfalls über den Hochfrequenzkanal das Ausschalten des 13 kV-Transformatorschalters der Zentrale Fuhren bewirkt. Da der Schutz der Zentrale weitgehend vom richtigen Arbeiten dieser Hochfrequenzverbindung und den überlagerten Transformator-Schutzkanälen abhängt, wurde bei der Entwicklung und Konstruktion dieser Geräte den hohen Anforderungen in jeder Hinsicht Rechnung getragen.

Die Hochfrequenz-Einseitenbandgeräte sind mit Magnetostriktions-Oscillatoren und Filtern ausgerüstet. Von der Unterstation Innertkirchen in die Zentrale Fuhren ist ein Hochfrequenzkanal vorgesehen, während in der Gegenrichtung zwei Hochfrequenzkanäle vorhanden sind, da durch die verschiedenen zusätzlichen Fernmess- und Fernzählkanäle eine grösitere Bandbreite beansprucht wird, als auf einem einzigen Hochfrequenzträger untergebracht werden kann.

Von Innertkirchen in Richtung Zentrale Fuhren werden dem HF-Kanal folgende Tonfrequenzkanäle aufmoduliert:

- 1 100 Hz-Rufkanal,
- 1 Sprachband 300 bis 2000 Hz,
- 3 Frequency-Shift-Kanäle 2 700, 2 940 und 3 180 Hz.

In Richtung Innertkirchen werden dem ersten HF-Kanal folgende Kanäle aufmoduliert:

- 1 100 Hz-Rufkanal für das Telefon,
- 1 Sprachband 300 bis 2000 Hz,
- 1 Fernmessung nach dem Frequenz-Variationsverfahren 2200 bis 2576 Hz, mit rapidzyklischer Messwertumschaltung mit 9 Messwerten (ausbaubar auf 38 Messwerte),
- 3 Frequenz-Shift-Kanäle auf den Frequenzen 2700, 2940 und 3180 Hz.

Auf dem zweiten HF-Kanal werden

- 5 Frequency-Shift-Kanäle übertragen mit den Frequenzen 2340, 2460, 2700, 2940 und 3180 Hz.

Die Frequency-Shift-Kanäle werden für die Uebertragung der Wasserstände, der Wassermengen, sowie für die Fernsteuerung und die Fernregulierung verwendet. Einer die-

ser Kanäle, der sog. Transformerschutzkanal, welcher direkt von der Werkbatterie gespeist wird und nur mit Transistoren ausgerüstet ist, garantiert den zuverlässigen Schutz des Transformators und der Leitung.

Die Fernsteuerung gestattet, die für die Anlage notwendigen zahlreichen Befehle und Rückmeldungen über einen einzigen Kanal zu übertragen. Sie arbeitet nach dem Prinzip von synchron laufenden Relaisketten und zeichnet sich durch eine grosse Uebertragungsgeschwindigkeit aus. Das Impulsprogramm ist so aufgebaut, dass Störungen zu keiner Fehlschaltung führen können. Für die Regulierung der Turbine ist ein Dreilagen-Regulierkanal vorgesehen, welcher über die Fernsteuerung auf die verschiedenen Regulierorgane umgeschaltet werden kann.

Die Verwendung von Frequency-Shift-Zwei- und Dreilagenkanälen gestattet eine dauernde Ueberwachung, da bei beiden Kanälen immer ein Dauerton ausgesendet wird. Ein Steuerimpuls schiebt die Frequenz um + 60 oder  $\pm 50$  Hz, je nachdem, ob es sich um einen Zwei- oder Dreilagenkanal handelt.

Durch die Ueberwachung des HF-Trägers und der Impulskanäle ist das Bedienungspersonal stets über die Betriebsbereitschaft der Anlage unterrichtet und kann bei einer Störung sofort die notwendigen Massnahmen ergreifen, ohne darauf warten zu müssen, dass ein Steuerbefehl nicht mehr übertragen wird, um einen Fehler des Uebertragungskanals festzustellen. — Dank der zweckmässigen Wahl der Apparate für die Hochfrequenzübertragung der Fernmessung und der Fernsteuerung wird ein sicherer Betrieb der Zentrale Fuhren gewährleistet.

#### d) Abnahmeversuche

Die Abnahmeversuche, welche in der Zeit vom 6. bis 11. April 1961 durchgeführt wurden, erstreckten sich auf die Durchführung von Abschaltversuchen und Wirkungsgradbestimmungen sowohl an der Turbinen- als auch an der Pumpengruppe. Zur genauen Messung der Wassermenge wurden etwa 50 m nach dem Hosenrohr im geraden Teil des Steigschachtes Präzisions-Messflügel eingebaut, welche gleichzeitig zur Eichung der in der Turbinenzuleitung eingebauten Venturi-Messdüse dienten. Die durchgeföhrten Versuche zeigten, dass die garantierten Wirkungsgrade sowohl der Turbine als auch der Pumpe erreicht wurden und dass die bei den verschiedenen Abschaltversuchen aufgetretenen Druckstöße in den durch die Berechnung festgelegten Grenzen blieben.

#### D. Baukosten und Energieproduktion

Die Erstellungskosten des KW Gental mit Zentrale Fuhren wurden mit 28,2 Mio Fr. veranschlagt. Hievon entfallen auf den baulichen Teil 13,8 Mio Fr. und auf den elektromechanischen Teil 9,75 Mio Fr., während die «allgemeinen Kosten» für Verwaltung, Bauleitung, Landerwerb, vorbereitende Installationen usw. mit 4,65 Mio Fr. berechnet worden sind.

Infolge der jahreszeitlichen Schwankungen der Abflüsse im oberen Gental und in den Zwischeneinzugsgebieten des Gadmentales, sowie infolge Fehlens geeigneter Speichermöglichkeiten in diesen Gegenden, ist die Energieproduktion im Winter- und Sommerhalbjahr sehr verschieden. Die aus den nutzbaren Wassermengen in den Zentralen Fuhren und Innertkirchen erzeugbare Jahresenergie in Mio kWh verteilt sich auf das Winter- und Sommerhalbjahr wie folgt:

Zentrale	Winter 1. Okt.—31. März	Sommer 1. Apr.—30. Sept.	Jahr
Fuhren (Gentalwasser)	8	20	28
Innertkirchen (Gentalwasser)	13	24	37
Innertkirchen (Pumpwasser)	6	13	19
Total Mio kWh	27	57	84

Die gesamte mittlere Jahresproduktion der KWO erhöht sich damit von 1,325 auf rd. 1,41 Mld kWh und nach Erstellung der untern Stufen im Gadmental auf rd. 1,56 Mld

kWh. Die ab Generatorenklemmen verfügbare Maximalleistung aller KWO-Zentralen beträgt nach Inbetriebnahme der Zentrale Fuhren 464 MW und wird nach Erstellung der unteren Stufen im Gadmental auf rd. 500 MW ansteigen.

#### E. Bauorganisation

Wie bei den früheren Kraftwerkbauden im Oberhasli wurden auch für das neue Kraftwerk Gental-Fuhren die Arbeiten und Lieferungen an Unternehmer und Lieferanten auf Grund von Ausschreibungen vergeben, während Bauausführungen mit Arbeitern der Bauherrschaft grundsätzlich auf kleinere Arbeiten beschränkt blieben.

Die Projektierung und Ausführung der baulichen und elektromechanischen Anlagen stand unter der Oberleitung von *U. Eggenberger*, dipl. Ing., Direktor der Kraftwerke Oberhasli AG., im Einvernehmen mit der Studienkommission der KWO, bestehend aus den vier Direktoren der Aktionärwerke unter dem Vorsitz von a. Dir. *H. Jäcklin*. Die Bauleitung wurde durch den Vorsteher der Bauabteilung, *F. Zingg*, dipl. Ing., Vizedirektor der KWO, ausgeübt, während die Rechts- und Finanzfragen durch Vizedirektor Dr. *W. T. Moll* behandelt wurden.

Die geologischen Verhältnisse sind durch die Geologen *F. Müller*, Ringgenberg, und Dr. *R. U. Winterhalter*, Zürich, untersucht und begutachtet worden. Die architektonische Gestaltung der Zentrale Fuhren lag in den Händen von Architekt *Rolf Berger*, Bern.

Dank der günstigen Witterungsverhältnisse im Sommer 1959 konnten die Bauarbeiten programmatisch durchgeführt werden, so namentlich die Erstellung der Wasserfassungen, die Verlegung der Druckleitungen und Schachtpanzierungen, sowie der Rohbau des Maschinenhauses. Im Jahre 1960 erfolgte die Montage der umfangreichen elektromechanischen Anlagen und der Bau der 150 kV-Uebertragungsleitung nach Innertkirchen mit den zugehörigen Erweiterungen in der Freiluftstation und im Kommandoraum der Unterstation Innertkirchen. Im Februar 1961 waren die Bauarbeiten so weit abgeschlossen, dass mit der Füllung der Druckleitungen und anschliessend mit den Inbetriebsetzungsversuchen an der Turbinen- und an der Pumpengruppe begonnen werden konnte. Der normale Netzbetrieb wurde am 1. Mai 1961, d. h. nach dreijähriger Bauzeit, aufgenommen. Die Bauzeit für die leistungsmässig kleine Kraftwerkanlage war relativ lang, weil die meisten Baustellen im Gental stark lawinengefährdet sind und die Arbeiten dort, wie auch im Gadmental, im Winter bis zu 6 Monaten eingestellt werden mussten.

#### F. Unternehmer und Hauptlieferanten

Die Ausführung der baulichen Arbeiten wurde an folgende Bauunternehmungen vergeben:

*Lösinger & Co. AG.*, Bern: Bachfassungen im Gental, Hangleitung, Ausgleichbecken Teuflau, Druckstollen.

*A. Marti & Co. AG.*, Bern: Druckstollen, Wasserschloss Birchlaui, Rohrstollen.

*H. R. Schmalz AG.*, Bern: Druckleitung nach Fuhren.

*W. & J. Rapp AG.*, Basel: Aushub Zentrale Fuhren, Steigleitung, Wasserschloss Schafstellen.

*Ed. Züblin & Co. AG.*, Basel: Zentrale Fuhren, Wasserschloss Fuhren.

*Frutiger Söhne AG.*, Thun: Wasserfassung Fuhren, Pumpenzuleitung.

*A. Sulzer*, Meiringen: Fenster Schafstellen.

Die Erstellung und Montage der Druckleitungen und Schachtpanzierungen erfolgte durch die Firmen: Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey S. A.: Druckleitung 1,10 m Ø; *Buss AG.*, Pratteln: Druckleitung 1,05 m Ø; *Gebr. Sulzer AG.*, Winterthur: Druckleitung 1,00 m Ø; *Escher, Wyss AG.*, Zürich: Verteilleitung und Steigschachtpanzierung; *Gebr. Darani, Faido*, und *Zuberbühler AG.*, Pfäffikon: Rostschutzarbeiten.

Die Maschinen- und Apparate lieferungen wurden folgenden Firmen in Auftrag gegeben:

*Escher, Wyss AG.*, Zürich: Francisturbine 13 100 PS mit Ein- und Austrittsschieber, Drosselklappe 1700 NW.

*Gebr. Sulzer AG.*, Winterthur: Hochdruckpumpe mit Kluser-, Kugel- und Eckringschieber.

#### Nekrolog

† **Hans Jenny-Dürst**. In Prof. Hans Jenny-Dürst, der am 7. September 1961 in Zürich gestorben ist, ist ein Hochschullehrer von uns gegangen, an den wohl heute noch, trotzdem er seit nahezu zwanzig Jahren zurückgezogen im Ruhestand lebte, alle seine ehemaligen Schüler aus den Abteilungen für Bauingenieurwesen und für Architektur der Eidgenössischen Technischen Hochschule mit dankbarer Verehrung zurückdenken.

Hans Jenny wurde am 21. Oktober 1886 in Stäfa

geboren. Er entstammte einer alten und angesehenen Glarner Familie; sein Grossvater, Fabrikant Peter Jenny-Ryffel in Schwanden, ist als ein Pionier des Konsumvereinwesens in der Schweiz bekannt geworden. Nach Abschluss seiner Studien als Bauingenieur an der ETH wurde Hans Jenny 1909 Assistent für Baustatik und Brückenbau bei Prof. A. Rohn, der seine Professur erst kurz vorher (1908) angetreten hatte. Bei der Erfüllung der Lehrverpflichtungen der damals noch ungeteilten Brückenbauprofessur hat Hans Jenny, seit 1918 als Assistent-Konstrukteur, seinen Chef vor allem durch die Leitung der Konstruktionsübungen massgebend unterstützt, und seine Schüler waren immer wieder beeindruckt von seinem überlegenen Können, wenn er auf dem Reissbrett schwierige Einzelheiten vorkonstruierte und erläuterte. Besonders dankbar waren ihm jeweils die Diplomanden, für die er vor der Diplomprüfung freiwillig und unentgeltlich einen «Repetitionskurs» für Baustatik durchführte, der nicht nur eine Wiederholung des Vorlesungsstoffes, sondern eine selbständige und systematische Durcharbeitung der wichtigsten baustatischen Zusammenhänge bedeutete und der, weit über eine Examensvorbereitung hinausgehend, den Teilnehmern eine bleibend wertvolle und sichere Grundlage für ihre spätere berufliche Tätigkeit vermittelte. Die menschliche Anteilnahme und stete Hilfsbereitschaft seines Schülern gegenüber hörte für Hans Jenny nicht beim Studienabschluss auf, sondern auch nachher hatte er stets eine offene Tür für alle, die bei ihm Rat und Hilfe suchten.

Auf den 1. April 1927 wurde Hans Jenny vom Bundesrat zum ordentlichen Professor für Bauingenieurfächer an der Abteilung für Architektur der ETH gewählt. Auch hier hat er seine Schüler mit der gleichen unermüdlichen Hingabe betreut und gefördert wie vorher an der Abteilung für Bau-



H. JENNY-DÜRST

Prof. ETH

1886

1961

Maschinenfabrik Oerlikon: Drehstromgenerator 14 MVA.

Brown, Boveri & Cie., Baden: Pumpenmotor 6500 PS, Drehstromtransformator 14 MVA, 13 kV-Druckluftschalter, Schalttafeln.

Brown, Boveri und Gfeller AG., Bern: HF-Fernwirkkanlage. Alpha AG., Nidau: Hochspannungs-Schaltanlage, Gittermaste für 150 kV-Leitung.

Ateliers de Sécheron S. A., Genf: Eigenbedarfstransformator. L. von Roll: 60 t-Maschinensaalkran, Drosselklappe 1200 NW, Schützen und Rechen.

Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey S. A.: Segmentschütze, Spülshütze und Rechen.

Sifrag AG., Bern: Ventilations- und CO<sub>2</sub>-Anlage.

Franz Rittmeyer AG., Zug: Wasserstands- und Stellungsfernmelder.

Kabelwerke Brugg AG., Brugg: 150 kV-Oelkabel.

Selve & Co., Thun: Bronze- und Copperweldseile.

Motor-Columbus AG., Baden: Projektierung der 150 kV-Freileitung Fuhren-Innertkirchen.