

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 64 (1973)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Die Zentrale Vallorcine des Kraftwerkes Emosson  
**Autor:** Perrier, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915639>

### 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:** 16.02.2026

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

# Energie-Erzeugung und -Verteilung

## Die Seiten des VSE

### Die Zentrale Vallorcine des Kraftwerkes Emosson<sup>1)</sup>

Von J. Perrier

Die Zentrale Vallorcine<sup>2)</sup> ist Bestandteil der Kraftwerkgruppe Emosson, dessen Bau durch die Electricité d'Emosson SA im April 1967 beschlossen worden ist.

Die Zentrale steht auf dem Territorium der französischen Gemeinde Vallorcine, unmittelbar an der Grenze bei Châtelard-Frontière, auf dem rechten Ufer der Eau Noire.

#### I. Gesamtkonzeption der Anlage

Bei der Projektierung der Anlage sind eine grosse Zahl von Varianten untersucht worden, um den nachstehend aufgeführten, durch die Gestaltung der Zuleitungen bedingten Betriebsbedingungen bestmöglich gerecht zu werden (Fig. 1):

– Ausnutzung des Wassers aus dem Stausee Emosson mit einem mittleren Gefälle von 750 m und einer Wassermenge von

<sup>1)</sup> Siehe auch Bull. SEV (Seiten des VSE) Nr. 22/1973.

<sup>2)</sup> Der Kurzname «Zentrale Vallorcine» wurde aus praktischen Erwägungen eingeführt. Als offizieller Name wird immer noch der vollständige Name «Châtelard-Vallorcine» verwendet.

29 m<sup>3</sup>/s und Abgabe dieses turbinierten Wassers an das Ausgleichsbecken Le Châtelard, das die untere Kraftwerkstufe von La Batiaz speist.

– Pumpen des aus der Zuleitung «Ost» stammenden Wassers in den Stausee Emosson mit einer Förderhöhe von 390 m und einer Wassermenge von 18 m<sup>3</sup>/s.

– Turbinieren des vorgenannten Wassers aus der Zuleitung «Ost» mit einem Gefälle von 382 m und einer Wassermenge von 15 m<sup>3</sup>/s und Abgabe des turbinierten Wassers an das Ausgleichsbecken Le Châtelard, das die untere Kraftwerkstufe von La Batiaz speist.

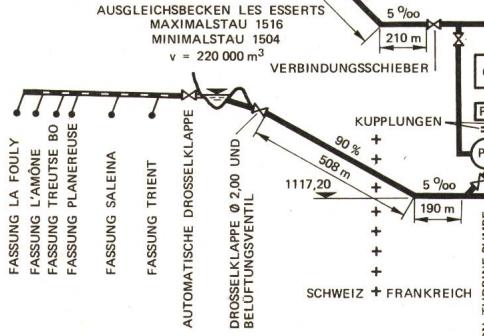
– Überleitung des von der Zuleitung «Süd» stammenden Wassers in den Stausee Emosson im Syphonbetrieb mit einer Wassermenge von 12 m<sup>3</sup>/s.

– Ableitung eines Teiles des turbinierten Wassers in die Wasserfassung der SBB (15 m<sup>3</sup>/s) für den Fall, dass die untere Kraftwerkstufe La Batiaz abgestellt ist.

#### ZULEITUNG SÜD



#### ZULEITUNG OST



#### ZULEITUNG WEST

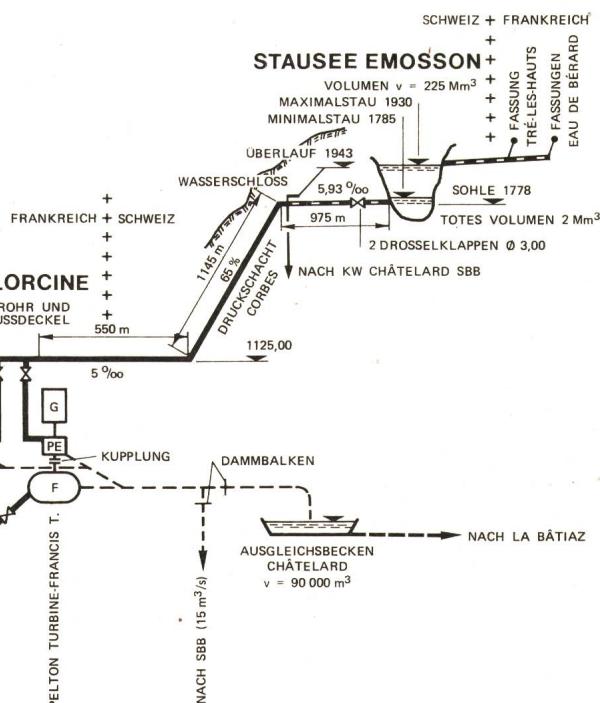


Fig. 1

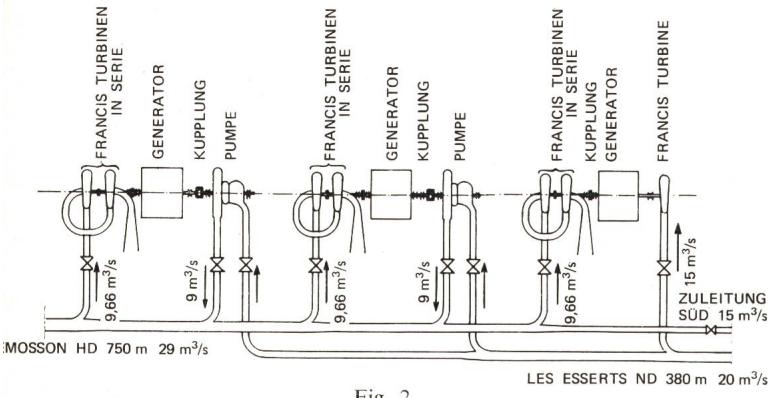


Fig. 2

Alle diese Bedingungen konnten mit einer Reihe von Varianten erfüllt werden, die dann die Grundlage für die Anforderungen an die zu beschaffenden Kraftwerksausrüstungen bildeten.

Um die Auswahl der Maschinen möglichst optimal zu treffen, sind die folgenden Parameter berücksichtigt worden:

- maximaler Wirkungsgrad der Wasserkraftmaschinen (Turbinen und Pumpen),
- maximales Gefälle,
- maximale Drehzahl der Maschinen,
- einfache Betriebsführung und einfacher Unterhalt, unter Berücksichtigung der vorhandenen Wasserqualität,
- Disposition der Anlageteile,
- Preis der maschinellen Ausrüstung und des baulichen Teils.

Die eingehende Untersuchung der verschiedenen Varianten wurde vor allem für die folgenden drei Anordnungen durchgeführt:

a) Horizontalachsige Dreimaschinengruppen mit zwei Francis-Turbinen in Serie auf der Seite des hohen Gefälles (Seite Stausee Emosson) und eine Francis-Turbine und zwei Pumpen auf der Seite des kleineren Gefälles (Seite Ausgleichsbecken Les Esserts) (Fig. 2).

b) Horizontalachsige Dreimaschinengruppen mit Pumpenturbinen auf der Seite des hohen Gefälles und einer Francis-Turbine auf der Seite des kleineren Gefälles (Fig. 3).

c) Vertikalachsige Dreimaschinengruppen mit einer Pelton-Turbine auf der Seite des hohen Gefälles; auf der Seite des kleineren Gefälles eine Pumpe an zwei von drei Gruppen, während die dritte Gruppe mit einer Francis-Turbine auf der Seite des kleineren Gefälles ausgerüstet wird.

Die eingehende Prüfung der drei Varianten zeigte, dass die Lösung c) die vorteilhafteste war, weil einerseits die Unterschiede in den Kosten des baulichen Teils nur gering waren, aber andererseits die Variante c) eine Reihe von Vorteilen sowohl in bezug auf die Anpassungsfähigkeit der Anlageteile als auch in bezug auf die Betriebssicherheit bot.

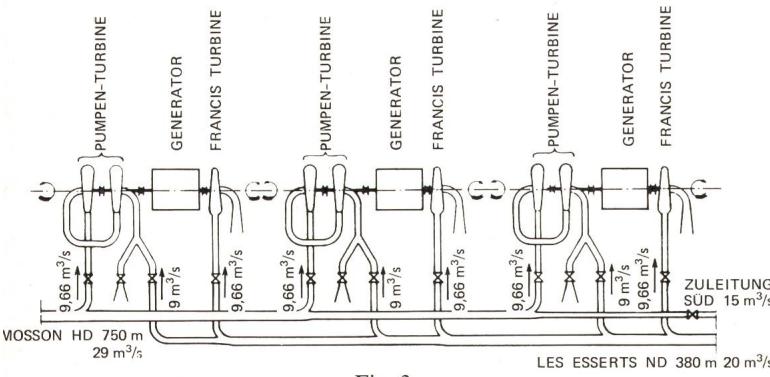


Fig. 3

## II. Arbeitsweise der Maschinengruppen (Fig. 1)

Die Ausnutzung der verschiedenen Wasserzuflüsse zur Zentrale Vallorcine, die in enger hydraulischer Verbindung mit der unteren Zentrale La Bâthiaz steht, führt zu den verschiedenen, nachstehend beschriebenen Betriebsarten:

- a) Normalbetrieb aller drei Gruppen mit Pelton-Turbinen auf der Seite des grossen Gefälles

Die Pumpen und die Francis-Turbine sind abgekuppelt, und die Pelonturbinen sind im Betrieb mit folgenden drei Varianten:

1. Gleichzeitige Speisung der Turbinen sowohl durch den Druckschacht von Corbes (Seite Emosson) und den Druckschacht von Belle Place (Zuleitung «Süd») bei offenem Trennschieber zwischen den beiden Druckschächten. Dies ist der normale Betriebsfall, wobei die Zuflüsse der Zuleitung «Süd» unter Schwerkraefteinfluss in den Stausee Emosson gelangen.

2. Die Turbinen werden nur vom Druckschacht Corbes gespeist; der Trennschieber ist geschlossen, und die Zuleitung «Süd» ist ausser Betrieb, z.B. wegen Revisionsarbeiten.

3. Die Turbinen werden nur von der Zuleitung «Süd» gespeist, und der Druckschacht Corbes ist ausser Betrieb. In diesem Falle ist es möglich, die Hochdruckverteilleitung so zu schalten, dass die Zuflüsse der Zuleitung «Süd» mit der Turbine Nr. 3 ausgenutzt werden können. Diese Betriebsweise wird

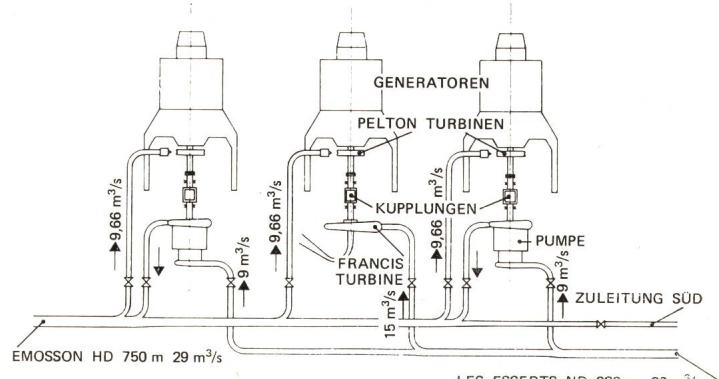


Fig. 4

aber nur ausnahmsweise in Frage kommen, und sie ist nur möglich bei Handsteuerung der Maschinengruppe unter gleichzeitiger Beobachtung des Wasserstandes in der Zuleitung «Süd» bei der Wasserfassung Le Tour.

- b) Pumpenbetrieb mit den Maschinengruppen Nr. 2 und Nr. 3

Die Pumpen sind eingekuppelt, und die Gruppen werden mit Hilfe der Pelton-Turbinen angefahren, wobei nur je drei von insgesamt fünf Düsen geöffnet werden. Der Pumpenschieber ist hierbei noch geschlossen.

Sobald die synchrone Drehzahl erreicht ist, wird mit dem Netz parallel geschaltet. Der Pumpenschieber wird geöffnet, und die Düsen der Pelton-Turbinen werden geschlossen. Nun wird der Wasserzufluss von Les Esserts (Zuleitung «Ost») mit den Pumpen von Vallorcine in den Stausee Emosson gepumpt.

- c) Verwendung der Pumpen zur Druckerhöhung

Bei dieser besonderen Betriebsweise arbeiten bei den Gruppen Nr. 2 und Nr. 3 gleichzeitig die Pumpe, die Pelton-Turbine und der Motor-Generator. Die Pumpen beziehen Wasser von Les Esserts unter einem Druck von 382 m Wassersäule, erhöhen

diesen Druck auf 750 m Wassersäule und speisen damit die Pelton-Turbinen.

Diese besondere Betriebsweise ist besonders in den beiden folgenden Fällen vorgesehen:

1. Falls im elektrischen Netz die Frequenz sinkt, öffnet sich der Einlaufschieber der Pelton-Turbine, und gleichzeitig gehen drei Düsen auf volle Öffnung, so dass die Turbine etwa eine gleich grosse Leistung abgeben kann, wie die Pumpe aufnimmt. Auf diese Weise wird bei einer plötzlichen Frequenzabsenkung dieses Netzes um die von der Pumpe beanspruchte Leistung entlastet, ohne dass die Pumpe abgekuppelt werden muss.

Sobald im Netz wieder normale Frequenzverhältnisse herrschen, wird die Pelton-Turbine wieder abgestellt, und der Pumpbetrieb geht mit Energieaufnahme aus dem elektrischen Netz weiter.

## 2. Ausfall der Francis-Turbine.

Falls es bei Ausfall der Francis-Turbine notwendig sein sollte, Wasser von Les Esserts (Zuleitung «Ost») an die untere Kraftwerkstufe abzugeben, so kann die Anlage mit den Maschinen Nr. 2 und Nr. 3 wie im vorgenannten Fall funktionieren, wobei von den  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , die von der Pumpe aufgenommen werden,  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  über die Pelton-Turbine an die untere Kraftwerkstufe abgegeben werden und die restlichen  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  dem Stausee Emosson zugeleitet werden.

Im übrigen ist es möglich, die an die untere Kraftwerkstufe abgegebene Wassermenge zu regulieren durch das Verstellen der Düsenöffnung zwischen Null und voller Öffnung. So kann die nach unten abgegebene Wassermenge zwischen 0 und  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  verändert werden, wobei die nach Emosson geförderte Wassermenge zwischen 10 und  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  variiert.

Diese Betriebsart wurde übrigens angewendet, als die Zentrale Vallorcine im Betrieb und die untere Kraftwerkstufe noch nicht fertig war. Der Abfluss der Pelton-Turbinen wurde während dieser Zeit der Wasserfassung der SBB zugeleitet und in der Kraftwerkskette der SBB verarbeitet.

## III. Die Hauptdaten der Anlage

Die vorstehend in Konzeption und Funktionsweise beschriebene Zentrale Vallorcine hat die folgenden Hauptdaten:

- Das Wasser aus dem Stausee Emosson wird mit drei Pelton-Turbinen mit einem Gesamtschluckvermögen von  $29 \text{ m}^3/\text{s}$

unter einem Nettogefälle von 750 m verarbeitet und ergibt eine Gesamtleistung von 192 MW.

- Auf der Seite des Ausgleichbeckens Les Esserts nehmen zwei Pumpen unter einem Zulaufdruck von 382 m Wassersäule eine Gesamtwassermenge von  $18 \text{ m}^3/\text{s}$  auf und pumpen sie von Vallorcine aus in den 750 m höher gelegenen Stausee Emosson, also mit einer resultierenden Nettoförderhöhe von 390 m. Für diesen Pumpbetrieb wird eine Antriebsleistung von insgesamt 78 MW benötigt.

- Auf der Seite des Ausgleichbeckens Les Esserts nimmt eine Francis-Turbine  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  auf bei einem Gefälle von 382 m und liefert so eine Leistung von 50,5 MW.

Jeder Generator von 70 MVA ist in Blockschaltung mit einem Drehstromtransformator verbunden, der die Spannung auf 220 kV erhöht und die Energie über eine Schaltanlage mit zwei Sammelschienen an das Netz abgibt.

Der Abtransport der erzeugten Energie erfolgt über zwei 220-kV-Leitungen. Die eine Leitung ist in La Bâtiac an das schweizerische Hochspannungsnetz angeschlossen, die andere über die Schaltstation von Cornier in Hochsavoyen an das französische Verbundnetz.

Das Prinzipschema der Zentrale Vallorcine ist in Fig. 5 dargestellt.

Die drei Maschinengruppen sowie alle andern Apparate können entweder über eine zentrale Kommandotafel in einem an das Maschinenhaus angebauten Kommandotrakt oder mit Fernsteuerung von La Bâtiac aus über die dortige zentrale Kommandostelle gesteuert werden.

Im Normalbetrieb erfolgt die Steuerung der gesamten Anlage Emosson von der zentralen Kommandostelle in La Bâtiac, die auch die Betriebsprogramme der energiebeziehenden Partner entgegennimmt. Die Steuertafel in Vallorcine wird nur benutzt bei Versuchen oder bei Ausfall der Fernsteuerung.

## IV. Allgemeine Disposition der Zentrale Vallorcine

Das halbunterirdische Maschinenhaus liegt an der Route Nationale Nr. 506 nahe bei der Zollstation von Châtelard (Fig. 6).

Der eigentliche Maschinensaal ist 80 m lang, 17 m breit, und der Zugang erfolgt auf Kote 1127 m ü.M. (= Niveau 0 für Vallorcine). Die Längsachse des Maschinenhauses verläuft

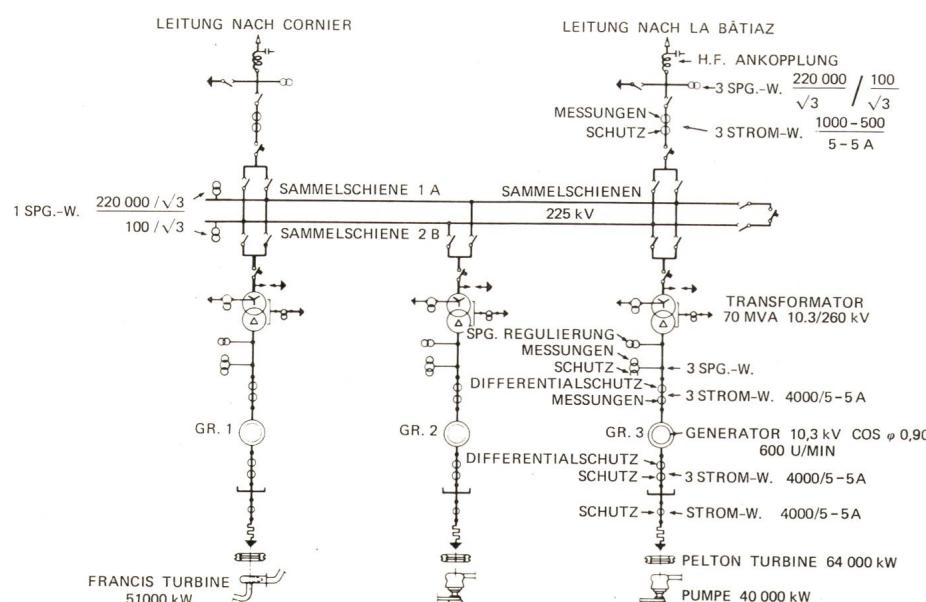
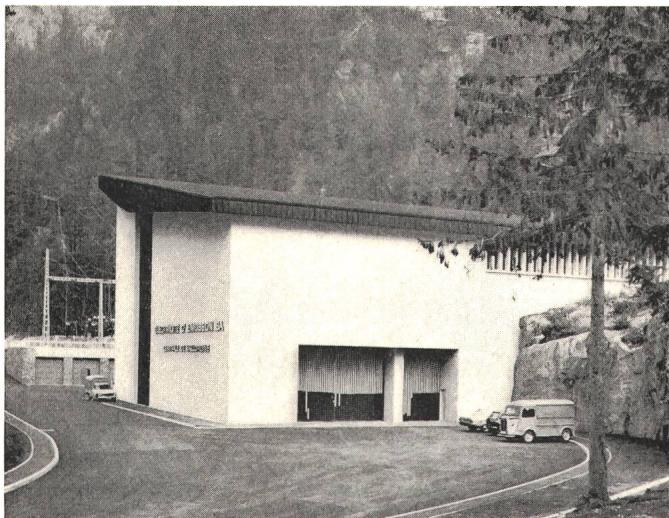
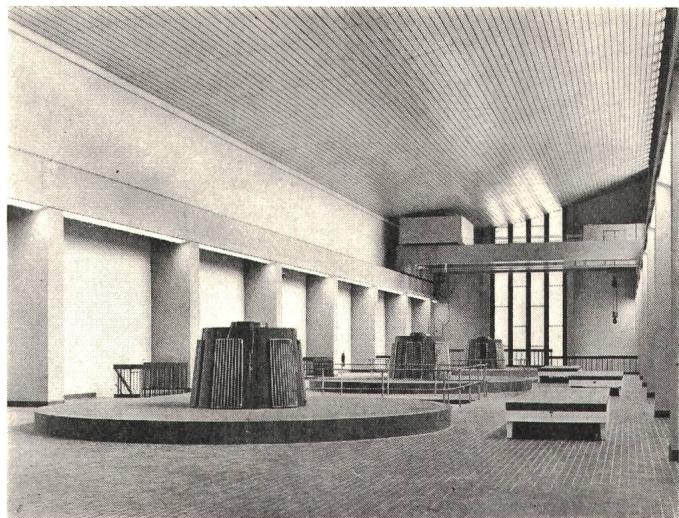


Fig. 5



Aussenansicht des Maschinenhauses



Maschinensaal

in der Richtung Südost–Nordwest, was durch die Lage der Druckschächte von Corbes und Belle Place bedingt ist.

Der Maschinensaal ist mit zwei Hallenkranen von je 60 t Tragfähigkeit am Haupthaken und je 10 t am Hilfsbalken ausgerüstet.

Die Transformatoren können auf der Kote +4,50 m in den Maschinensaal gebracht werden, nachdem vorher die Hochspannungsdurchführungen demontiert und der ganze Transformator um 90° abgedreht wurde.

Am Hauptgebäude des Maschinensaals ist auf der Westseite die Schieberkammer und auf der Ostseite das Kommandogebäude angebaut (Fig. 7).

Der eigentliche Maschinensaal hat sechs Stockwerke und enthält zwei Flächen von je 300 m<sup>2</sup>. Eine dieser Flächen ist auf der Nordwestseite auf dem Niveau +0,00 m und dient dem Zugang, dem Abladen von schweren Maschinen- und Apparateilen sowie einem allfälligen Ausbau des Transformators aus dem Kessel. Die Fläche auf der anderen Seite auf dem Niveau +4,50 m ist für die Montage der Maschinen vorgesehen.

Alle Stockwerke des Maschinensaals sind für beide Haken der Hallenkranne zugänglich über die beiden abdeckbaren Öffnungen, die sich zwischen den Maschinengruppen befinden und für Arbeiten an den Pumpen und an der Francis-Turbine dienen.

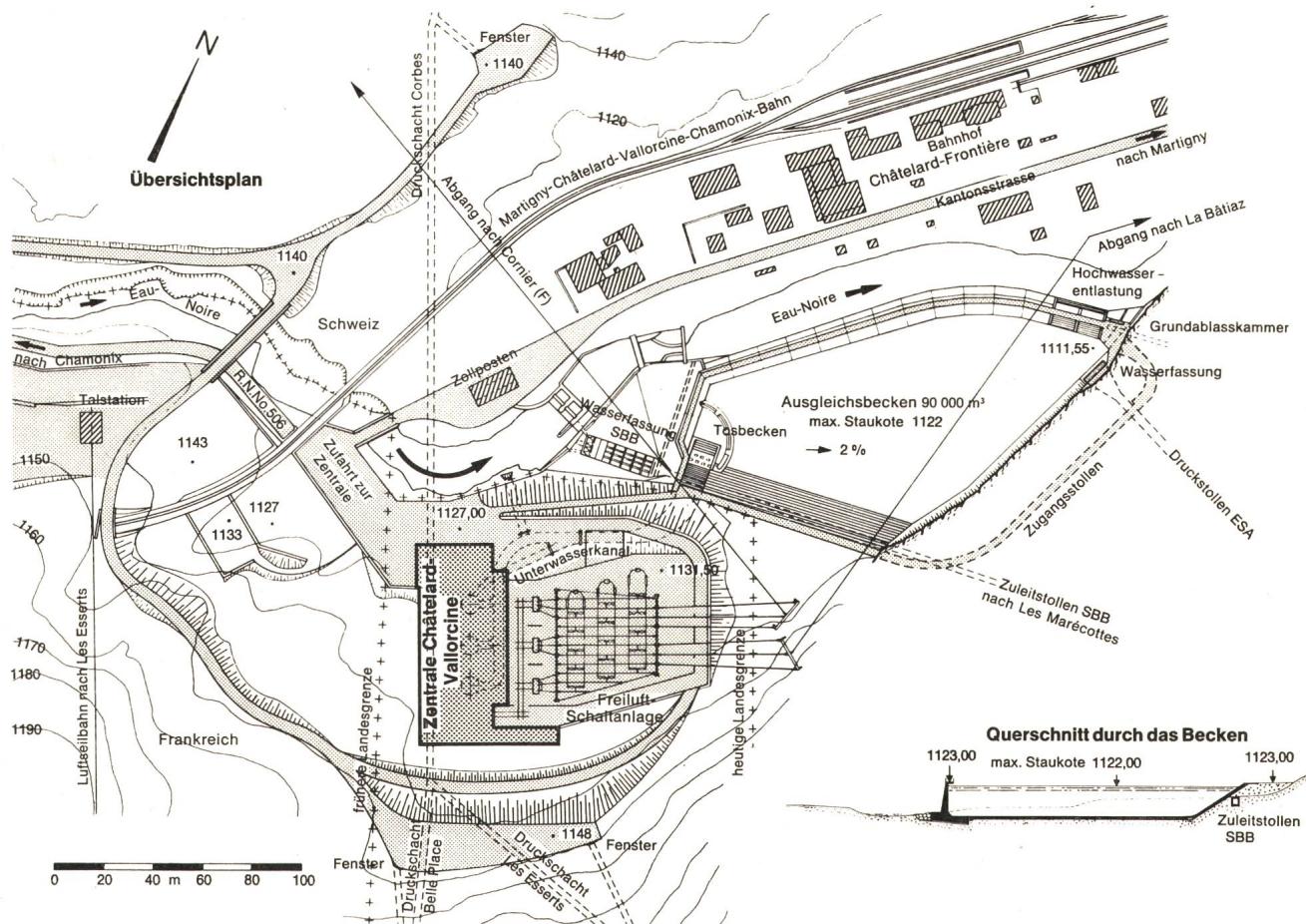
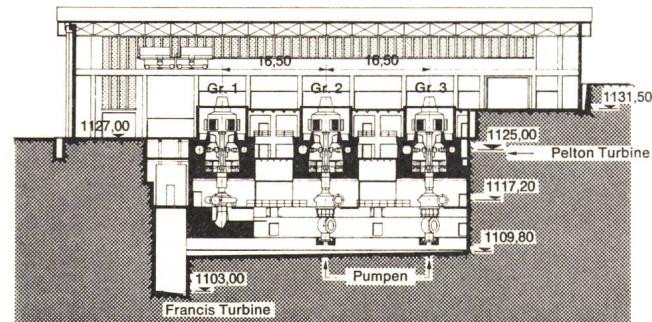


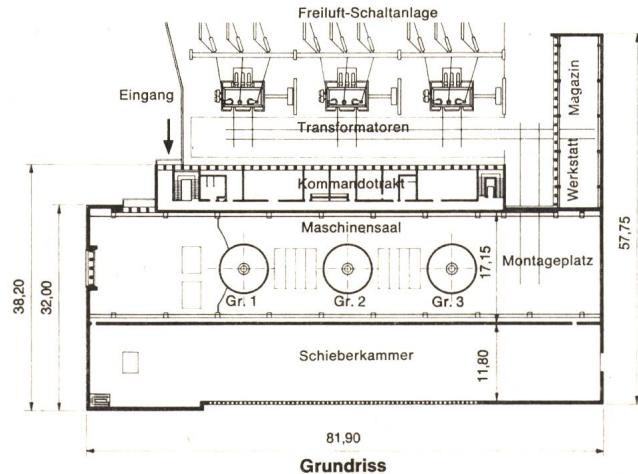
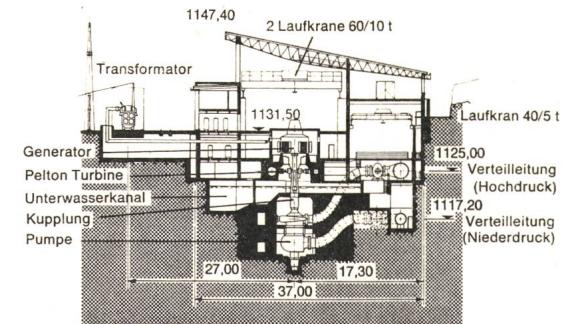
Fig. 6

## Zentrale Châtelard-Vallorcine

Längsschnitt



## Querschnitt durch Gruppen 2 und 3



## Querschnitt durch Gruppe 1

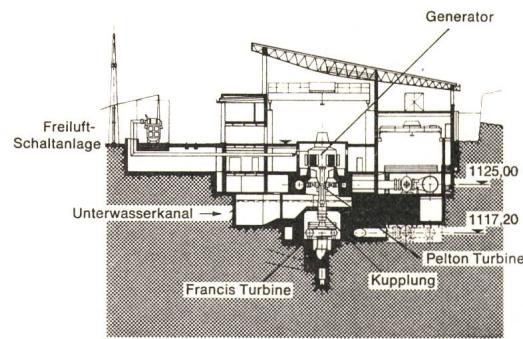


Fig. 7

Vier Haupttreppen und zwei Diensttreppen ermöglichen dem Personal den Zugang zu allen Stockwerken. Ein Lift bedient alle Stockwerke zwischen dem Niveau «Büros» auf + 8,00 m und dem Niveau «Pumpen» auf Kote — 10,80 m.

In der Schieberkammer sind die Verteilleitungen für den hohen und für den niederen Druck, die acht Schieber für die Turbinen und Pumpen sowie der Verbindungs- bzw. Trennschieber zwischen den Druckschächten von Belle Place und von Corbes untergebracht.

In dieser Schieberkammer sind ferner die Hilfsgruppe (Wasserturbine–Generator) und die Druckölstation für die Schieberantriebe installiert.

Ein Sicherheitsauslauf könnte bei einem allfälligen Bruch im Wasserdruckleitungssystem das Wasser in die Eau Noire ableiten.

In die Schieberkammer münden die Gänge für die Demontage der Räder der Pelton-Turbinen.

Das Kommandogebäude befindet sich zwischen den Koten — 3,20 m und + 12,40 m und enthält folgende Anlageteile:

- Auf dem Niveau — 3,20
- Ein Lokal mit den Apparaten für die Gleichstrom-Hilfsbetriebe (Gleichrichter, Wechselrichter usw.).
- Die Akkumulatorenbatterien für 120 und 48 V.

### Auf dem Niveau ± 0,00

- Ein Lokal, in dem die Schränke mit den Relais für den Schutz und die Steuerung der Drosselklappen, die Relais schränke für den Leitungsschutz, die Schränke für die Steuerung und Erregung der Generatoren, die Schränke für die 380-V-Wechselstromverteilung und die gekapselte 16-kV-Schaltanlage untergebracht sind.

Die gekapselten Schienenverbindungen zwischen den Generatoren und den Transformatoren sind ebenfalls durch diesen Saal geführt.

### Auf dem Niveau + 4,50 m

Der eigentliche Kommandoraum, der alle Steuertafeln, eine Tafel mit dem hydraulischen Schema sowie die Zähler tafeln enthält.

Im angrenzenden Büro kann das Personal die Betriebsdokumente konsultieren und versorgen.

Auf der gegenüberliegenden Seite ist ein Raum reserviert für die Apparate der Fernbedienung und Fernüberwachung.

Der Kommandoraum ist gegenüber dem Maschinensaal durchgehend mit Glasscheiben abgetrennt, so dass das Personal den ganzen Maschinensaal überblicken kann, aber nicht vom Maschinenlärm gestört wird.

### Auf dem Niveau + 8,00 m

Eine Gruppe von Räumen, die als Büros, als Essraum, als Sitzungszimmer und als Übertragungsraum dienen.

Die verschiedenen Stockwerke des Gebäudes sind auf beiden Seiten unter sich durch Treppenhäuser und auf der Südostseite durch einen Lift verbunden, der bis auf das Niveau — 10,80 m (Pumpen) hinuntergeht.

Ein Krankenzimmer ist auf dem Niveau + 4,50 m auf der Seite der Haupttreppe vorgesehen.

Senkrecht zum Hauptgebäude steht das Werkstattgebäude, das einen direkten Zugang zur Montageebene hat.

Auf der Seite der Freiluftanlage befindet sich ein als Garage bestimmtes Nebengebäude im Eingangshof auf dem Niveau ± 0,00 m. In dieser Garage werden die Schneeschleuder und die für den Betriebsdienst notwendigen Fahrzeuge untergebracht.

Der ganze Gebäudekomplex ist nach modernen architektonischen Gesichtspunkten gestaltet worden unter Verwendung von Thermopan-Fenstern zur Wärmeisolierung auf der ganzen Südostseite des Gebäudes und unter Verwendung von Corten-Stahl für die senkrechten Pfeiler und das ganze Dach. Die Farbe des Corten-Stahls harmoniert sehr gut mit der grünen Farbe der Umgebung.

Die Freiluftanlage 220 kV befindet sich auf Kote + 4,50 m auf der Ostseite der Zentrale. Die Anlage besitzt Doppelsammelschienen mit gemischten Phasen und mit drei Eingangsfeldern, einem Kuppelfeld und zwei Leitungsfeldern, wovon eines mit dem französischen Hochspannungsnetz.

Das in den Turbinen ausgenützte Wasser fliesst in einem parallel zum Hauptgebäude und unter dem Kommandogebäude durchführenden Unterwasserkanal unterirdisch bis zum Ausgleichsbecken Châtelard.

Bei einer eventuellen Abstellung der unteren Kraftwerkstufe kann der Abfluss von Vallorcine mit Hilfe eines Dammbalkensatzes über einen Hilfskanal der SBB-Wasserfassung zugeleitet werden.

## V. Beschreibung der elektromechanischen Ausrüstung

### 1. Generatoren

#### Allgemeine Anordnung und Arbeitsweise

Die drei Generatoren sind vertikalachsige Maschinen mit geschlossenem Ventilationskreis und Wasserkühlung.

Der Rotor der Generatoren wird durch ein Führungsgleitlager getragen, das sich über eine Tragkonstruktion auf die obere Seite des Generatorgehäuses abstützt und auf der unteren Seite durch ein Lager seitlich geführt wird.

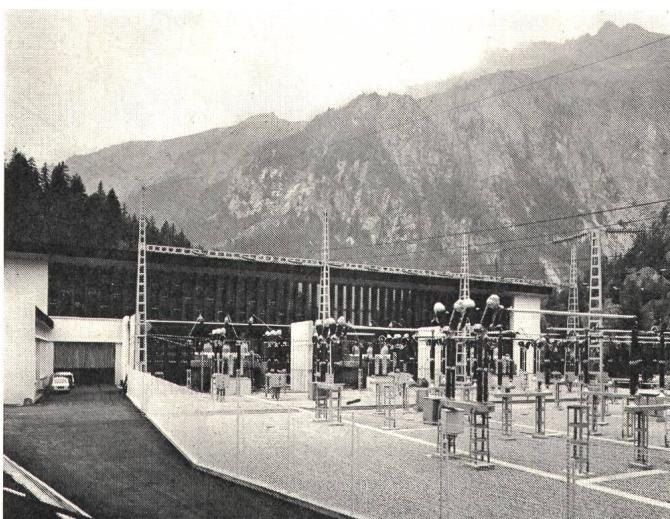
Die Drehstrommaschinen arbeiten im Turbinenbetrieb als Generatoren und im Pumpbetrieb als Motoren.

Da es möglich wäre, dass beim fehlerhaften Nichtschliessen der Pumpenschieber die Drehrichtung ändern könnte, sind die Trag- und Führungslager für beide Drehrichtungen gebaut.

Die Tragkonstruktion auf dem Stator wird über das Traglager durch das Gewicht des Rotors und des Pelton-Turbinenrades mit total 130 Tonnen belastet.

Oberhalb des Traglagers sind folgende Teile montiert:

a) Ein Steuergenerator mit zwei Wicklungen für folgende Zwecke:



Zentrale Vallorcine: Ostfassade und Freiluftanlage

– Eine Wicklung für die Speisung des Turbinenreglers und eine zweite Wicklung für die Speisung der Mess- und Überwachungseinrichtungen.

b) Ein Wechselstromerreger, der die mitdrehende Gleichrichterbrückenschaltung für die Erregung des Rotors speist.

c) Ein Hilfsgenerator für die Erregung der vorstehend unter b) genannten Maschine.

d) Eine Zahnscheibe, die auf zwei Impulsgeber wirkt und der statischen Drehzahlmessung dient.

Unterhalb des Generators ist das Brems- und Hebesystem eingebaut. Ein Satz Druckluftzylinder wirkt auf die Bremsseinrichtung, die unterhalb des Generators befestigt ist; ein Satz Öldruckzylinder wird für das Anheben des Rotors verwendet.

Die Bremsung des Rotors erfolgt automatisch und beginnt zu wirken, sobald die Drehzahl der Maschine unter 100 U/min (Betriebsdrehzahl 600 U/min) gesunken ist. Die Bremszeit beträgt 4 min.

#### Erregung und Regulierung der Generatoren

Der Erregerstrom des Rotors wird von einem Drehstrom-Hilfsgenerator geliefert, der direkt von der Hauptwelle der Maschinengruppe angetrieben wird. Der von diesem Generator gelieferte Drehstrom wird durch im Rotor der Erregergruppe in Graetzschaltung eingebauten Siliziumdioden gleichgerichtet. Jede Diode hat eine Sicherung und ist mit einem mit Kühlrippen versehenen Kühlkörper ausgerüstet, um eine erhöhte Wärmeabgabe zu erzielen. Ferner sind die Dioden mit R-C-Schaltungen ausgerüstet, um Kommutations-Überspannungen zu vermeiden.

Die Gleichrichterbrücke ist so dimensioniert, dass sie im Dauerbetrieb den Nennstrom auch noch abgeben kann, wenn 20 % der Dioden ausser Betrieb sind.

Der Spannungsregler vergleicht dauernd die Spannung an den Klemmen des Generators mit einer stabilisierten Bezugsspannung und gibt die erforderlichen Befehle, um festgestellte Spannungsabweichungen sofort zu korrigieren.

Die gesamte Spannungssteuerung verarbeitet die folgenden Informationen:

- die Spannung an den Generatorklemmen in bezug auf den eingestellten Sollwert;
- die Blindleistung des Erregerstroms.

Der Spannungsregler wirkt auf die Steuerung der Thyristoren und regelt so die Erregung der Erregermaschine und damit die Haupterregung.

#### Kühlung

Die Generatorkühlung erfolgt durch Kühler mit einem Kühlwasserbedarf von total 3000 l/min. Die gesamte Kühlluftmenge beträgt 55 m<sup>3</sup>/s.

Die Ventilatoren der Generatoren sind in Propellerbauart ausgeführt und erzeugen einen Druck von 150 mm Wassersäule.

#### Abgangsklemmen

Die Abgangsklemmen sind auf der Phasenseite in Kästen ausserhalb des Generators an die gekapselten Verbindungsleitungen zu den Transformatoren angeschlossen.

Die Wicklungsenden auf der Nullpunktseite liegen auf der gegenüberliegenden Seite der Maschinen und sind dort in besonderen Kästen an den Nullpunktwiderstand angeschlossen.

#### Zugang zum Innern der Generatoren

Auf dem Niveau — 3,20 m hat es eine Eingangstüre zu einem rund um den Generator verlaufenden Gang, wo die Kühler und das zugehörige Röhrensystem untergebracht sind.

## 2. Pelton-Turbinen

### Allgemeine Anordnung und Arbeitsweise

Bei der für die Maschinengruppen gewählten Disposition sind die Pelton-Turbinen, die das Wasser des Stausees Emosson mit einem Gefälle von 750 m (bei vollem See) ausnutzen, unmittelbar unterhalb der Generatoren angebracht. Deren Rahmen ist so dimensioniert, dass er das Gesamtgewicht von Stator und Rotor aufnehmen kann. Das ausgenutzte Wasser wird über einen seitlichen Kanal dem Hauptablaufkanal auf Kote 1118,50 m zugeleitet.

Auf der dem Wasserauslauf gegenüberliegenden Seite befindet sich ein Gang, der über eine wasserdichte Türe zur Schieberkammer führt. In diesem Gang befindet sich auch eine nach oben abdeckbare Montageöffnung für den Ausbau der Turbinenräder.

Die mechanische Verbindung mit der lösbarer Kupplung zu den im untersten Teil untergebrachten Pumpen und der Francis-Turbine erfolgt durch eine Welle auf der Höhe der Pelton-Turbinenräder. Diese Welle wird geführt durch ein Lager, das unmittelbar oberhalb der lösbarer Kupplung montiert ist. Diese Welle ist im Bereich des Unterwasserauslaufs der Turbine durch eine zweiteilige Blechverschalung aus geschweisstem Blech geführt.

Die Pelton-Turbinen müssen zwischen einem Gefälle von 803 bis 642 m arbeiten und beim kleinsten Gefälle von 642 m noch 29 m<sup>3</sup>/s aufnehmen.

Die Pelton-Turbinen müssen außerdem den verschiedenen, am Anfang des vorliegenden Artikels angegebenen Betriebsbedingungen genügen.

Die Turbinen werden mit drei eingeschalteten Düsen angelassen. Sobald die Maschine die Nenndrehzahl von 600 U/min erreicht hat, werden zwei der drei Düsen abgestellt, und die Gruppe wird mit einer einzigen offenen Düse auf Nenndrehzahl gehalten. Dies geschieht, um im optimalen Bereich für die hydraulische Stabilität zu bleiben, was mit Rücksicht auf die Länge des Druckschachts Corbes und insbesondere zur Vermeidung von Resonanzerscheinungen in diesem Druckschacht nötig ist.

Sobald die Gruppe mit dem Netz gekuppelt ist, kann der Betrieb mit drei oder fünf eingeschalteten Düsen geführt werden, um die besten Wirkungsgradverhältnisse zu erhalten.

Wenn die Gruppen im Pumpbetrieb oder als Phasenschieber arbeiten, so kann das Pelton-Turbinenrad mit Wasser besprühnt werden, um unzulässige Erwärmungen infolge der Luftwirbelung im Turbinenschacht zu vermeiden.

Die Pelton-Turbinen sind auch eingerichtet für das Anfahren der Pumpen. Nach Ankuppelung der Pumpe bringt die Turbine mit drei eingeschalteten Düsen die ganze Maschinengruppe auf synchrone Drehzahl, worauf sie mit dem Netz gekuppelt wird.

Nach Öffnung des Zulaufschiebers der Pumpe werden die Düsen der Turbine in Schließstellung gebracht, und der Turbinenschieber wird geschlossen.

### Regulierung der Pelton-Turbinen

Die Steuerung der Pelton-Turbinen im Turbinenbetrieb erfolgt durch einen elektrischen Regler. Dieser kann nicht nur die Primärregelung auf konstante Frequenz übernehmen, sondern auch eine sekundäre Regelung übernehmen, indem er ein einer bestimmten Bezugsgröße proportionales elektrisches Signal

erhält, z. B. zur Einhaltung eines bestimmten Leistungsniveaus oder für die Frequenz-Leistungsregulierung usw.

Das notwendige Drucköl für die Steuerung der Düsen und der Strahlablanker wird durch zwei elektrische Motorpumpen geliefert, die mit einem Druckölbehälter verbunden sind. Diese beiden Druckölpumpen, von denen im Normalbetrieb eine einzige ausreicht, sind an das interne Eigenbedarfnetz der Zentrale angeschlossen.

Die ganze Druckölversorgung einer Turbine ist so gestaltet, dass man 5 min nach Abstellung der Pumpen noch zwei volle Spiele aller Regler-Servomotoren durchführen kann.

Die Düsennadeln werden durch einen Servomotor gesteuert, der von einem Steuerventil abhängig ist, das seine Befehle vom elektrischen Turbinenregler erhält.

Die Düsennadeln haben unter dem Einfluss des Wasserdrucks am Ende der Schließstellung eine Schließtendenz und am Ende der Stellung «volle Öffnung» eine Öffnungstendenz.

Die Strahlablanker werden durch fünf unabhängige Servomotoren betätigt, die im Turbinenrahmen untergebracht sind. Das Ablenkungssystem ist so gestaltet, dass die Strahlablanker im Normalbetrieb bei jeder Düsenöffnung maximal weit vom Wasserstrahl entfernt und dort abgestützt sind. Die Strahlablanker werden nur eingeschaltet bei Störungen von einer gewissen Bedeutung.

Es sei noch erwähnt, dass die Strahlablanker durch eine im Servomotor untergebrachte Feder in die Schließstellung gebracht werden.

Der Turbinenregler selbst ist in einem Schrank in der Nähe der Turbine untergebracht. In diesem Schrank sind die nötigen Einschübe untergebracht für die Einspeisung und die Ausarbeitung der Befehle an die Düsen und die Strahlablanker.

Das vom Regler erarbeitete Ausgangssignal wird einer Integrationseinrichtung zugeführt, die als Steuerorgan dient und dessen Steuerniveau die Öffnung darstellt, welche die Düsen erhalten sollen.

Dieses Steuerniveau wird Verstärkern zugeführt, von denen je einer für jede Einlaufdüse vorhanden ist. An diese Verstärker sind Steuerventile angeschlossen, welche die Servomotoren für die Düsennadeln steuern. Die Bewegung des Servomotors wird durch einen Stellungsanzeiger überwacht, dessen Ausgangssignal einem zweiten Eingang des Verstärkers zugeleitet wird, wodurch die entsprechende Abhängigkeit entsteht. Alle Düsennadeln gehen also in diejenige Stellung, die dem Steuersignal entspricht.

Es ist ferner noch vorgesehen, eine Steuerung der Strahlablanker derart einzubauen, die erlaubt, über ein Steuerventil auf die Druckverteilanlage dieser Servomotoren einzuwirken.

Es sei noch erwähnt, dass im Turbinenregler eine Synchronisierungseinrichtung eingebaut ist, mit deren Hilfe man beim Anfahren der Gruppe in die Nähe der netzfrequenten Drehzahl kommen kann, damit eine rasche Synchronisierung möglich wird.

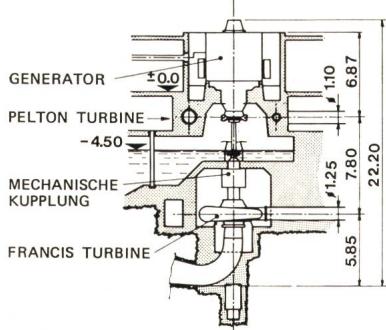
## 3. Die Francis-Turbine

### Allgemeine Anordnung und Arbeitsweise

Die Francis-Turbine ist in der Gruppe 1, Seite Eau Noire des Maschinenhauses, eingebaut, weil dies für die Wasserableitung in den Unterwasserkanal am zweckmäßigsten war (Fig. 8).

Die Francis-Turbine ist im untersten Teil der Maschinengruppe, auf gleicher Höhe wie die Pumpen der andern Maschinengruppen, eingebaut.

Fig. 8



Die Francis-Turbine kann mit Hilfe einer mechanischen, hydraulisch gesteuerten Kupplung oberhalb der Turbine an den Teil Peltonturbine-Generator an- oder abgekuppelt werden.

Infolge dieser Kupplungseinrichtung muss die Turbine notwendigerweise ein eigenes, über dem Turbinendeckel plaziertes Lager haben.

In Analogie zur Installation der auf dem gleichen Niveau befindlichen Pumpen steht auch die Francis-Turbine auf einem Rollweg, so dass sie für Unterhalts-, Demontage- und Montagearbeiten in die Montageöffnung zwischen den Gruppen 1 und 2 und damit in den Bereich der Hallenkrane des Maschinenhauses gebracht werden kann.

Besondere Vorkehrungen gegen starke Abnutzung wurden für die Francis-Turbine getroffen, die unter einem Gefälle von 400 m mit relativ sehr sandhaltigem und damit erodierendem Wasser arbeitet. Der obere und der untere Turbinendeckel haben eine Verkleidung aus rostfreiem Stahl erhalten, und das Laufrad und der Leitapparat sind aus rostfreiem Stahl.

Die mechanische Konstruktion der Turbine ist wie folgt gestaltet:

Auf dem oberen Deckel ist die Lagerung mit einem Führungslager kombiniert.

Der Regulierring befindet sich oberhalb des Gehäuses und wird von einem Servomotor über eine Antriebsstange verstellt.

Die Regulierschaufeln werden durch den Regulierring betätigt und sind mit ihm durch auf eine bestimmte Bruchlast kalibrierte Laschen verbunden.

Das Rad ist aus rostfreiem Stahl (13 % Cr und 4 % Ni) hergestellt und hat 15 Schaufeln.

Auf dem Deckel ist ein Führungsgleitlager mit natürlicher Kühlung und drehender Wanne montiert.

Die Wellendichtung erfolgt mit einer Spezialkonstruktion, bei der die Dichtungselemente ohne Entleerung der Turbine ersetzt werden können.

Das Turbinengehäuse ist mit der Verteilleitung auf der Seite niederen Drucks (von Les Esserts) mit einem Rohr von 1,25 m Durchmesser verbunden. Der Einlaufschieber befindet sich in der Schieberkammer auf dem Niveau der Niederdruckverteilleitung.

Die Ankuppelung der Turbine an die Maschinengruppe erfolgt durch eine mechanische Kupplung, die hydraulisch ferngesteuert wird.

Diese Kupplung umfasst je ein Kronenzahnrad auf jedem Wellenende und ein durch einen Drucköl-Servomotor betätigtes Zahnrad, dessen Verschiebung sein Eingreifen in die beiden Kronenräder und damit eine mechanische Kupplung der beiden Wellen bewirkt.

## Regulierung

Das Drucköl für die Steuerung des Regulierrings wird durch eine Druckölanlage mit zwei Motorpumpen für 150 l/min bei 30 bar und einem Druckölbehälter mit 3 m<sup>3</sup> Inhalt geliefert.

Der Turbinenregler ist von der gleichen Bauart wie die Regler der Pelton-Turbinen.

### Arbeitsweise

Die Francis-Turbine wird abgekuppelt, wenn der Generator mit der Pelton-Turbine läuft, und sie wird angekuppelt, wenn sie den Zufluss von Les Esserts verarbeiten muss.

Im angekoppelten Zustand wird die Maschinengruppe durch Öffnen der Francis-Turbine angelassen, wobei der Wasserzufluss zur Pelton-Turbine abgestellt bleibt. Nach Kupplung des Generators mit dem Netz wird die Maschine durch weiteres Öffnen des Wasserzuflusses belastet. Das in Luft drehende Pelton-Laufrad wird durch Besprühen mit Wasser abgekühlt.

Falls es besondere Umstände erfordern, ist es auch möglich, die Francis- und die Pelton-Turbine gleichzeitig zum Antrieb des Generators zu betreiben. In diesem Betriebsfall überwacht eine besondere Einrichtung die Summe der Leistungen der beiden Turbinen, damit die zulässige Höchstleistung des Generators nicht überschritten wird.

### 4. Pumpen

#### Allgemeine Anordnung und Arbeitsweise

Jede der Maschinengruppen Nr. 2 und Nr. 3 ist mit einer Pumpe ausgerüstet und mit einer Einrichtung für Ankupplung dieser Pumpe an das System Generator-Turbine.

Die Kupplung erfolgt durch eine mechanische Einrichtung mit hydraulischer Betätigung.

Die beiden Pumpen sind einerseits mit der Niederdruckverteilleitung (mit Speisung von Les Esserts) durch eine Rohrleitung mit Absperr-Kugelschieber, anderseits an die Hochdruck-Verteilleitung (Seite Emosson) über einen Regulier-Kugelschieber angeschlossen.

Aus der unterschiedlichen Höhenlage des Ausgleichbeckens von Les Esserts und des Stautees Emosson ergibt sich für die Pumpen eine mittlere Förderhöhe von 390 m. Das Pumpengehäuse ist aber dem höheren Druck ausgesetzt, der rund 80 bar beträgt. Mit dem zugelassenen Sicherheitskoeffizienten hat man deshalb das Pumpengehäuse für einen Prüfdruck von 120 bar gebaut.

Diese Pumpen sind mit drei übereinander angeordneten Rädern ausgerüstet, obwohl die Nettoförderhöhe relativ niedrig ist.

Beim Studium der Varianten für die günstigste Lösung zeigte sich, dass die Materialkosten fast gleich gross waren wie bei

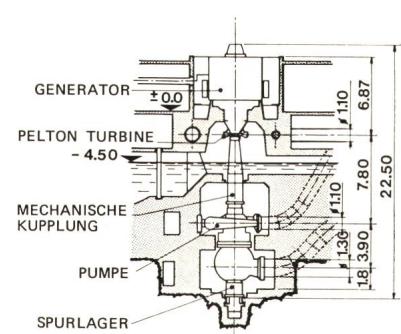


Fig. 9

einer zweistufigen Lösung. Die dreistufige Lösung ermöglicht es aber dank der kleineren spezifischen Drehzahl, im Betrieb mit geringeren Unterhaltsarbeiten auszukommen, weil die Abnutzung durch Erosion des Wassers an den Rädern, den Leitschaufeln, den Labyrinthen usw. kleiner ist.

Bei den vertikalachsigen, dreistufigen Pumpen befindet sich der Zulauf unten und der Auslauf oben.

Die Pumpe als Ganzes kann mittels einer Rolleinrichtung verschoben und in die Montageöffnung zwischen den Maschinengruppen gebracht werden, von wo die Demontage mit den Hallenkranen erfolgen kann.

Die Verbindung zwischen Antriebsmotor und Pumpe erfolgt durch eine mechanische hydraulisch ferngesteuerte Kupplung gleicher Bauart, wie bei der Francis-Turbine beschrieben. Die durch Öldruck betätigten Kupplungen wird zur Sicherheit im eingeschalteten Zustand noch mechanisch verriegelt.

Das ganze Rotorgewicht der Pumpe wird von einem Lager unterhalb der Pumpe aufgenommen, das sich auf eine einbetonierte Grundplatte abstützt. Der Pumpenrotor wird oben und unten je durch ein zweiteiliges Lager geführt. Das Schmieröl für die ganze Maschine wird durch eine Zahnradpumpe mit 9 bis 10 l/s und einem Druck von ungefähr 3 bar umgewälzt. Diese Ölpumpe wird direkt von der Hauptwelle der Maschine angetrieben. Eine weitere, aber elektrisch angetriebene Pumpe ermöglicht die Schmierung der Maschine beim Anlaufen und bei Ausfall der von der Hauptwelle mechanisch angetriebenen Pumpe.

Der ganze Anlaufvorgang der grossen Pumpen erfolgt vollautomatisch entweder von der Steuertafel des Kraftwerks Valorcine oder mit Fernsteuerung vom unteren Kraftwerk La Bâthaz aus.

Eine Folgeschaltung veranlasst alle notwendigen Vorgänge vom Stillstand bis zur Kupplung mit dem Netz.

Zum Abstellen nach dem Pumpbetrieb wird der Hauptschalter geöffnet und der Schieber auf der Druckseite so geschlossen, dass weder ein Überdruck von mehr als 15 % noch ein Rückwärtsdrehen der Maschine auftritt.

Der Schieber auf der Zulaufseite der Pumpe, der beim Abstellen des Wassers im Normalbetrieb keine Rolle spielt, erhält auch einen Schliessbefehl.

Sollte einmal der Schieber auf der Druckseite versagen, so wird der Wasserfluss mit dem Schieber auf der Zulaufseite abgestellt, jedoch so langsam, dass ein Rückwärtslauf der Gruppe nicht vermieden werden kann.

##### 5. Absperrschieber für Turbinen und Pumpen

Die drei vorstehend beschriebenen Maschinengruppen sind mit Kugelschaltern mit doppelter Dichtung wie folgt ausgerüstet:

– eine talseitige Dichtung, die sogenannte Betriebsdichtung, die die volle Abdichtung nach Schliessen des Absperrorgans sichert;

– eine bergseitige Dichtung, die sogenannte Revisionsdichtung, die von Hand betätigt wird und mechanisch verriegelt werden kann, so dass die talseitige Dichtung, wenn abgenutzt, ersetzt werden kann.

Jeder Kugelschalter hat auf der Talseite, d.h. gegen die Turbine oder die Pumpe, ein Zwischenstück für Demontage- und Anpassung. Die Schieber auf der Ansaugseite der Pumpen sind überdies mit einem Bypass ausgerüstet, damit vor dem Öffnen dieser Schieber der Druckausgleich hergestellt werden kann.

Das Öffnen und Schliessen der Schieber erfolgt mit Öldruck-Servomotoren, die von einer zentralen Druckölanlage mit 60 bar Druck versorgt werden.

Die Kugelschalter haben folgende lichte Durchmesser:

– für die Pelton-Turbinen	1100 mm
– für die Francis-Turbinen	1250 mm
– für die Pumpen:	
Druckseite	1100 mm
Saugseite	1250 mm

Die Schliesszeiten der Schieber sind so festgelegt worden, dass der Überdruck unter Berücksichtigung der hydraulischen Daten der Zuleitungen innerhalb vernünftiger Grenzen bleibt.

Bei den Pumpen, die im Gegensatz zu den Turbinen kein eigenes Schliessorgan haben, wird der Schieber auf der Druckseite nach einem genau festgelegten Steuerprogramm geschlossen, das so gestaltet ist, dass einerseits die entstehenden Überdrücke in zulässigen Grenzen bleiben und dass andererseits ein Rückwärtslauf der Maschinen vermieden wird.

Wie bereits erwähnt, sind alle Schieber für das Öffnen und schliessen mit Druckölantrieben von 60 bar ausgerüstet. Die zentrale Druckölanlage ist in der Schieberkammer zwischen den beiden Verteileitungen für Niederdruck- und für Hochdruckwasser untergebracht. Diese zentrale Station ist mit einer Pumpenanlage und mit einem Druckwasser-Drucköl-Druckbehälter ausgerüstet, der für das Druckwasser der Schieber auf der Hochdruckseite einen Druckluft-Drucköl-Windkessel benutzt, dessen Druckluft durch zwei Kompressoren geliefert wird.

Um für das Schliessen der Schieber, insbesondere der Pumpenschieber, die grösstmögliche Sicherheit zu erhalten, wurde folgende Anordnung getroffen: Die Pumpenschieber auf der Förderseite sind an den Druckölkreis des Druckwasser-Drucköl-Behälters angeschlossen, die Pumpenschieber auf der Ansaugseite dagegen an den Druckluft-Drucköl-Behälter. Zwischen den beiden Druckbehältern besteht eine Verbindungsleitung, damit gegebenenfalls auch alle Schieber von einem einzigen Druckbehälter betrieben werden können.

Als weitere Sicherheitsmaßnahme beim Versagen des Kugelschalters auf der Förderseite der Pumpe ist noch eine doppelte elektrische Verbindung vorhanden, die dann dem zugehörigen Schieber auf der Ansaugseite der Pumpe den Schliessbefehl gibt, wodurch, allerdings mit einer etwas längeren Schliesszeit, der rückläufige Wasserfluss unterbrochen und die Pumpe abgestellt werden kann.

##### 6. Wasserverteileitungen für die Turbinen und die Pumpen

Die Turbinen und die Pumpen sind durch zwei Verteileitungen an die verschiedenen Wasserzuleitungen angeschlossen. Es ist eine Hochdruck-Verteileitung für das Wasser von Emosson und der Zuleitung «Süd» sowie eine Niederdruck-Verteileitung für das Wasser von Les Esserts vorhanden.

Diese beiden Verteileitungen sind in der Schieberkammer übereinander angeordnet. Die Hochdruckverteileitung befindet sich auf Kote 1125 m ü. M., die Niederdruckverteileitung auf Kote 1117,20 m ü. M. (Fig. 7).

Auf der Seite der Zuleitung «Süd» ist die Hochdruckverteileitung an den Druckschacht von Belle Place mit einem sogenannten Trennschieber angeschlossen, mit dessen Hilfe die Zuleitung «Süd» abgetrennt werden kann. Im Hochdruckverteiler ist zwischen den Maschinen Nr. 2 und Nr. 3 ein Verbindungsstück eingebaut, das demontiert und durch einen Abschluss-

deckel ersetzt werden kann. So ist es möglich, dass bei einer eventuellen Abstellung des Druckschachtes von Corbes das Wasser von der Zuleitung «Süd», die kein Ausgleichsbecken hat, in der Maschine Nr. 3 verarbeitet werden kann. Die Hochdruckverteilleitung ist außerdem auf beiden Seiten des Trennschiebers mit einem Rohr- und Ventilsystem versehen, mit dem der eine oder der andere Druckschacht entleert werden kann.

In der Hochdruckverteilleitung ist ein Mannloch eingebaut zur Kontrolle des Inneren des Verteilers.

Die Niederdruckverteilleitung verbindet den Druckschacht von Les Esserts mit den Saugseiten der beiden Pumpen und mit der Francis-Turbine. Dieser Verteiler hat einen Durchmesser von 1,9 m am Anfang und von 1,25 m am Ende.

Zwei Abzweigleitungen führen über Absperrschieber auf der Saugseite zu den Pumpen. Die Francis-Turbine ist über einen Bogen und den zugehörigen Absperrschieber an die Verteilleitung angeschlossen.

Die Niederdruckverteilleitung ist mit einer Einrichtung für die Entleerung des Druckschachtes von Les Esserts ausgerüstet. Diese Einrichtung besteht aus einem Absperr- und einem Regulierschieber und einem Energievernichter mit gekreuzten Wasserstrahlen.

Für die Berechnung der beiden Verteilungen wurde ein Sicherheitskoeffizient von 2,2 verwendet. Der Hochdruckver-

teiler hat ein Gesamtgewicht von 287 Tonnen und der Niederdruckverteiler ein Gewicht von 75 Tonnen.

Der Niederdruckverteiler wurde als freies Gebilde berechnet, aber dann zur Vermeidung von Vibratoren doch blockiert.

### 7. Kühlung der Maschinengruppen

Bei der Projektbearbeitung hatte es sich gezeigt, dass das im Sommer von den Gletschern zufließende Betriebswasser suspendierten Sand enthalten kann und deshalb als Kühlwasser für die Turbinen und Pumpen nur nach einer schwierig durchzuführenden Aufbereitung verwendet werden konnte. Man musste deshalb auf die Verwendung von Betriebswasser als Kühlwasser verzichten und hat sich für ein geschlossenes Kühlsystem entschieden, bei dem ganz reines Kühlwasser im geschlossenen System zirkuliert. Dieses reine Wasser wird durch die Maschinengruppen geleitet, erwärmt sich dort und wird anschließend in Wärmeaustauschern abgekühlt, die sich im Unterwasserkanal befinden.

Das Kühlwasser in den Maschinen wird durch eine einfache Pumpe im Kreislauf gehalten, deren Förderhöhe dem Druckabfall im Kreislauf entspricht. Das Schema der Kühlanlage ist in Fig. 10 dargestellt.

Ein kleines, für alle drei Maschinen gemeinsames Reservoir nimmt die Volumenschwankungen zufolge von Temperaturänderungen des Kühlwassers auf und deckt auch kleine allfällige Wasserverluste.

Jede Maschine hat einen eigenen Kühlwasserkreislauf, der für Unterhalts- und Revisionsarbeiten für sich entleert werden kann.

Mit Durchflussanzeigern kann das Funktionieren der Kreislaufpumpen und die Verteilung des Kühlwassers in den verschiedenen Kreisen überwacht werden.

Für die Berechnung der Kühlerbatterien sind die Wassertemperatur im Unterwasserkanal, die Wärmeübergangskennziffern der Kühlrohre und die in den verschiedenen Maschinenteilen entstehenden Wärmemengen für verschiedene Betriebszustände berücksichtigt worden.

Da pro Maschinengruppe rund 1100 kW Verlustwärme abgeführt werden muss, ergab sich für die Kühlwasserpumpe eine Menge von 250 m<sup>3</sup>/h, und die Kühlerbatterie im Unterwasserkanal wurde für eine Kanalwassertemperatur von 4 bis 7 °C dimensioniert.

Die Kenndaten der Kühlanlage sind im Kapitel VII am Schlusse dieses Berichtes zusammengestellt.

### 8. Hilfsbetriebe

#### a) Hilfsbetriebe mit 220/380 V Wechselstrom

Die Hilfsbetriebe sind an das schweizerische Talversorgungsnetz der Lonza angeschlossen.

Eine 16-kV-Zuleitung speist eine 16-kV-/220-/380-V-Transformatorenstation in der Zentrale Vallorcine für die Versorgung der für die Energieerzeugung, die Sicherheitseinrichtungen und für den Unterhalt nötigen Hilfseinrichtungen.

Da die Zentrale Vallorcine sehr abgelegen und isoliert ist, wurde in der Schieberkammer eine hydraulische Hilfsgruppe von 1000 kVA aufgestellt. Der Hilfsgenerator wird von einer zugehörigen Pelton-Turbine angetrieben, die an den Druckschacht von Les Esserts angeschlossen ist.

Sollte das Lonza-Netz ausfallen, so wird diese Hilfsgruppe automatisch angelassen und sichert die Energieversorgung aller Hilfskreise, falls nötig einschließlich der Drosselklappen am oberen Ende der Druckschächte von Corbes, Belle Place und Les Esserts.

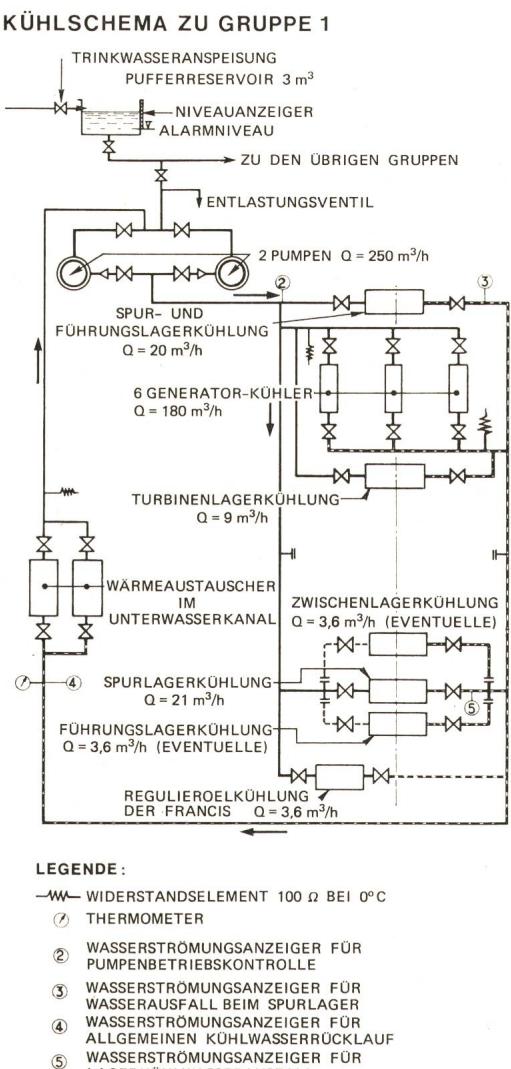


Fig. 10

### b) Hilfsbetriebe mit Gleichstrom

Die Gleichstromkreise für die Steuerung und den Schutz der Anlagen werden von einer Batterie von 120 V und 400 Ah gespeist.

#### 9. Steuerung und Betrieb der Maschinengruppen

Die Kraftwerkgruppe Emosson umfasst zwei an die Zuleitungen in Serieschaltung angeschlossene Kraftwerke unter Zwischenschaltung eines relativ kleinen Ausgleichbeckens in Châtelard. Man musste deshalb für die Betriebsleitung eine zentrale Leitstelle schaffen. Für die Standortwahl dieser Leitstelle musste man auf eine möglichst günstige geographische Lage und insbesondere auf gute Wohnmöglichkeiten für das Personal achten.

Es wurde deshalb beschlossen, diese zentrale Leitstelle im Kraftwerk La Bâthiaz einzurichten und die Zentrale Vallorcine von La Bâthiaz aus mit Fernsteuerung und Fernüberwachung zu betreiben.

In Vallorcine sind aber die drei Maschinengruppen auch noch mit Kommandotafeln ausgerüstet, die ein Anfahren und den Betrieb an Ort und Stelle ermöglichen.

In Vallorcine kann entweder auf Lokalsteuerung oder auf Fernsteuerung umgeschaltet werden.

Bei Einstellen auf «Fernsteuerung» sind alle örtlichen Befehlskreise unterbrochen, ausgenommen die Notabstellung und die Auslösung der Leistungsschalter.

Die Steuerschritte für Anfahren und Abstellen der Maschinengruppen für jede der oben erläuterten Betriebsarten werden durch eine mit Dioden ausgerüstete, automatische Folgeschaltung kontrolliert. Diese Schaltung ist so eingerichtet, dass man mit ihr sehr rasch die eine oder andere Bedingung entdecken kann, die eine bestimmte Reihenfolge untersagt. Die Bedingungen für den Ablauf einer bestimmten Sequenz können mit dieser Einrichtung auch sehr rasch ohne Eingriff in die Relais oder in die Verdrahtung geändert werden.

Als Besonderheit vermag diese Einrichtung bei jedem Schritt eventuelle widersprüchliche Zustände ausfindig zu machen, die ein Weiterschalten nicht zulassen.

Das Anlassen einer Maschinengruppe vom Stillstand bis zur Zuschaltung auf das Netz erfordert deshalb nur einen einzigen Startbefehl, worauf alle nötigen Operationen sukzessive automatisch ablaufen bis zur Synchronisierung des Generators mit dem Netz.

Im Normalbetrieb wird die Zentrale Vallorcine von La Bâthiaz aus überwacht. Die Alarmsignale, die ein Eingreifen erfordern, werden aber in die Personalwohnungen in Vallorcine übertragen.

### VI. Bauprogramm und Inbetriebsetzung

Der Baubeschluss für Emosson wurde im Juli 1967 gefasst und die Hauptarbeiten im Mai 1968 begonnen.

Im ersten Baujahr wurde in Vallorcine der Aushub durchgeführt, und ab Mai 1969 (im zweiten Baujahr) konnte mit den Betonarbeiten begonnen werden. Anschliessend folgte der Hochbau.

Im dritten Baujahr wurden die Hallenkrane montiert. Die Turbinenmontage begann im Januar 1971 und die Generatormontage im Juni 1971.

Die Francis-Turbine und die erste Pumpe wurden im Laufe des Jahres 1972 montiert und die zweite Pumpe im Winter 1972/73.

Insgesamt dauerten die baulichen Arbeiten und die Montage der Maschinen vier Jahre (wie im Bauprogramm vorgesehen).

Die erste Maschinengruppe wurde ab August 1972 durchgeprüft und am 5. Oktober 1972 erstmals mit dem Netz parallel geschaltet. Die zweite Gruppe ist am 2. November 1972 und die dritte Gruppe erstmals am 6. Februar 1973 an das Netz angeschlossen worden.

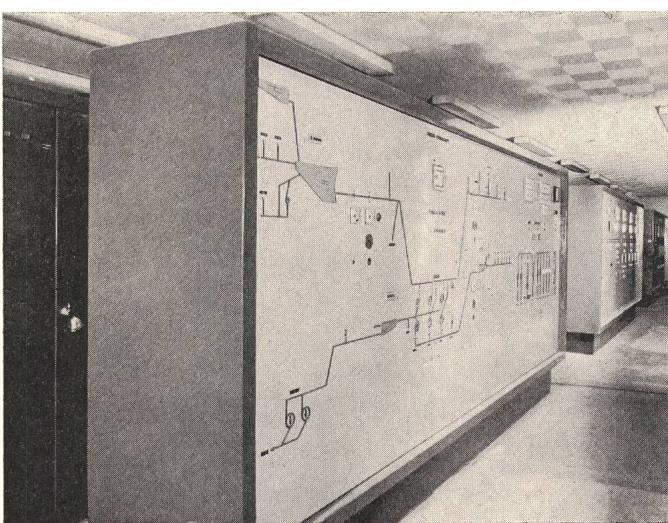
Die erste Pumpe kam im August 1972 und die zweite im Mai 1973 in Betrieb.

Die Zentrale Vallorcine, eine verhältnismässig komplizierte und komplexe Anlage, konnte wie vorgesehen im Winter 1972/73 erstmals Energie an das schweizerische und das französische Hochspannungsnetz abgeben.

### VII. Zusammenstellung der Maschinendaten

#### Generatoren

Zahl der Maschinen . . . . .	3
Nennscheinleistung . . . . .	70 000 kVA
$\cos \varphi$ . . . . .	0,90
Nennphasenspannung . . . . .	10,3 kV ± 5 %
Dreiphasiger Nenndrehstrom 50 Hz . . . . .	3925 A
Nenndrehzahl . . . . .	600 U/min
Max. Durchbrenndrehzahl . . . . .	1040 U/min
Umkehrdrehzahl . . . . .	935 U/min
MD2 des Motors . . . . .	350 t/m <sup>2</sup>
Aussendurchmesser . . . . .	4,62 m
Innendurchmesser (Bohrung) . . . . .	2,90 m
Höhe des magnetischen Kreises . . . . .	1,68 m
Luftspalt . . . . .	14 mm
Gesamte Masse . . . . .	206 t
Reaktanzen:	
– Synchrone Längsreaktanz . . . . .	180,5 %
– Synchrone Querreaktanz . . . . .	108,5 %
– Transitorische Längsreaktanz . . . . .	26,7 %
– Subtransitorische Längsreaktanz . . . . .	14,6 %
– Gegenreaktanz . . . . .	15,4 %
– Nullreaktanz . . . . .	14,4 %
– Kurzschlussspannung . . . . .	65,0 %
Wirkungsgrad:	
– bei Vollast und $\cos \varphi = 0,90$ . . . . .	98,5 %
Verluste:	
– Bei Vollast, $\cos \varphi = 0,90$	
Joulsche Verluste Rotor . . . . .	125 kW
Stator . . . . .	170 kW
Erregung . . . . .	19 kW
Übertrag	314 kW



Kommandotafel

Ventilation	Übertrag	314 kW	Durchbrenndrehzahl (wenn 3 Düsen der Pelton-Turbine in Betrieb)	705 U/min	
Eisen		300 kW	Umkehrdrehzahl normal	850 U/min	
Zusatzverluste		205 kW	maximal	935 U/min	
	Total	145 kW		+ 3 %	
		964 kW			
<i>Pelton-Turbinen</i>					
Zahl der Maschinen . . . . .		3	Stufenzahl . . . . .	3	
Nennleistung (bei 750 m Gefälle) . . . . .		64 000 kW	Gesamtmasse einer Maschine . . . . .	259 t	
Mittleres Nettogefälle . . . . .		750 m			
Wassermenge bei voller Öffnung und bei 750 m Gefälle . . . . .		9,7 m <sup>3</sup> /s			
Anzahl der Düsen pro Maschine . . . . .		5			
Spezifische Drehzahl pro Düse (Ns) . . . . .		20,2 U/min			
Nenndrehzahl . . . . .		600 U/min			
Durchbrenndrehzahl . . . . .		1040 U/min			
Öffnungszeit einer Düse . . . . .	ca.	45 s			
Schliesszeit einer Düse . . . . .	ca.	55 s			
Schliesszeit eines Strahlablenkers . . . . .	ca.	3 s			
Überdrehzahl . . . . .		25 %			
Überdruck . . . . .		12 %			
Gesamtmasse einer Turbine . . . . .		107 t			
Hauptabmessungen:					
- Gehäuse					
Höhe . . . . .		2,40 m	Kugelschieber		
Durchmesser . . . . .		5,50 m	1. Für die Pelton-Turbinen		
- Rad					
Pelton-Durchmesser . . . . .		1,834 m	Zahl der Kugelschieber . . . . .	3	
Aussendurchmesser . . . . .		2,360 m	Nenndurchmesser . . . . .	1,1 m	
Schaufelbreite . . . . .		0,523 m	Nenndurchfluss . . . . .	9,9 m <sup>3</sup> /s	
Zahl der Schaufeln . . . . .		20	Rohrbruch-Wassermenge bei max. Gefälle . . . . .	103 m <sup>3</sup> /s	
Garantie-Wirkungsgrade bei 750 m Gefälle:			Betriebsdruck . . . . .	93 bar	
Last	10/10	9/10	8/10	Öffnungszeit . . . . .	60 s
Wirkungsgrad	89,8	90,1	90,3	Schliesszeit . . . . .	90 s
			Druck des Steueröls . . . . .	60 bar	
			Gesamtmasse eines Kugelschiebers . . . . .	35 t	
<i>Francis-Turbine</i>					
Zahl der Maschinen . . . . .		1			
Nennleistung (bei 382 m Gefälle) . . . . .		50 500 kW			
Mittleres Nettogefälle . . . . .		382 m			
Wassermenge bei voller Öffnung und bei 382 m Gefälle . . . . .		15 m <sup>3</sup> /s			
Spezifische Drehzahl (Ns) . . . . .		94 U/min	2. Für die Francis-Turbine		
Nenndrehzahl . . . . .		600 U/min	Anzahl der Kugelschieber . . . . .	1	
Durchbrenndrehzahl . . . . .		1040 U/min	Nenndurchmesser . . . . .	1,25 m	
Öffnungszeit . . . . .		25 s	Nenndurchfluss . . . . .	15,2 m <sup>3</sup> /s	
Schliesszeit . . . . .		8 s	Rohrbruch-Wassermenge . . . . .	90 m <sup>3</sup> /s	
Überdrehzahl . . . . .	ca.	45 %	Betriebsdruck . . . . .	52,6 bar	
Überdruck . . . . .	ca.	25 %	Öffnungszeit . . . . .	60 s	
Wasserdruck bei Vollast . . . . .		130 t	Schliesszeit . . . . .	90 s	
Gesamtmasse . . . . .		129 t	Druck des Steueröls . . . . .	60 bar	
Hauptabmessungen:			Gesamtmasse des Kugelschiebers . . . . .	32 t	
- Eintrittsdurchmesser der Spirale . . . . .		1,3 m			
- Volumen des Spiralgehäuses . . . . .		10,3 m <sup>3</sup>			
- Aussendurchmesser des Rades . . . . .		2,05 m			
- Höhe des Rades . . . . .		0,60 m			
- Höhe des Verteilers . . . . .		0,115 m			
- Zahl der beweglichen Leitschaufeln . . . . .		20			
- Zahl der festen Leitschaufeln . . . . .		10			
Garantierte Wirkungsgrade bei 382 m Gefälle:					
Last	10/10	9/10	8/10		
Wirkungsgrad	89,9	91	91		
<i>Pumpen</i>					
Zahl der Maschinen . . . . .		2			
Nennleistung (bei 390 m Förderhöhe) . . . . .		39,2 MW	3. Für die Pumpen		
Mittlere Förderhöhe . . . . .		390 m			
Totale manometrische Höhe maximal . . . . .		447 m	Saugseite		
minimal . . . . .		274 m	Druckseite		
Max. statische Höhe auf Ansaugseite . . . . .		403 m	Anzahl der Kugelschieber . . . . .	2	
auf Druckseite . . . . .		813 m	Nenndurchmesser . . . . .	1,25 m	
Nennfördermenge (bei 390 m Förderhöhe) . . . . .		9 m <sup>3</sup> /s	Nenndurchfluss . . . . .	9 m <sup>3</sup> /s	
Nenndrehzahl . . . . .		600 U/min	Rohrbruch-Wassermenge bei max. Gefälle . . . . .	90 m <sup>3</sup> /s	
			Betriebsdruck . . . . .	52,6 bar	
			Öffnungszeit . . . . .	60 s	
			Schliesszeit . . . . .	30 s	
			Druck des Steueröls . . . . .	60 bar	
			Gesamtmasse eines Kugelschiebers . . . . .	40 t	
Kühlung der Maschinen im geschlossenen Kreislauf					
1. Hauptdaten					
Abzuführende Verluste:					
Gruppen Nr. 3 und Nr. 2 (mit Pelton-Turbine und Pumpe)					
im Turbinenbetrieb . . . . .					
im Pumpenbetrieb . . . . .					
Gruppe Nr. 1 (mit Pelton- und Francis-Turbine)					
im Turbinenbetrieb mit Pelton-Turbine . . . . .					
bei Antrieb mit Francis-Turbine . . . . .					
Wassertemperaturen im Unterwasserkanal:					
Ausgangstemperatur . . . . .					
Temperatur nach dem Durchlauf durch die Wärmeaustauscher . . . . .					
Höchsttemperatur im Kanal bei ruhendem Wasser und Pumpbetrieb . . . . .					
Gruppen Nr. 2 und Nr. 3:					
Wassertemperatur am Eingang der Wärmeaustauscher . . . . .					
Wassertemperatur am Ausgang der Wärmeaustauscher (gegen die Kühlung der Gruppe) . . . . .					
Gruppe Nr. 1:					
Wassertemperatur am Eingang der Wärmeaustauscher . . . . .					

Temperatur des Wassers am Ausgang der Wärmeaustauscher (gegen die Kühler der Gruppe) . . . . .  
 Wassergeschwindigkeit im Kanal bei Betrieb von 3 Pelton-Turbinen . . . . .  
 Minimaler Wasserzufluss in den Kanal (Pumpbetrieb, Verluste an den Wellendichtungen) . . . . .

15 °C  
 2,6 m/s  
 117 m³/h

### 2. Umwälzpumpen

Zwei Pumpen, davon eine als Reserve  
 Fördermenge pro Pumpe . . . . .  
 Förderhöhe . . . . .  
 Bauart: horizontalachsige Zentrifugalpumpe

250 m³/h  
 20 m WS

### 3. Hauptwärmeaustauscher

Gruppen Nr. 2 und Nr. 3:

5 Austauscher, wovon jeder mit einem Rohrbündel aus 440 Rohren mit Kühlrippen aus einer Messing-Aluminium-Legierung. Länge der Rohre 3 m. Die Rohre sind angeschlossen an Verteilkästen aus verzinktem Blech (Schichtdicke 120 µ) und überzogen mit zwei Aralditschichten.

Jeder Wärmeaustauscher kann mit zwei Absperrorganen am Eingang und am Ausgang abgetrennt werden.

Durchmesser der Rohre: innen . . . . .	11 mm
aussen . . . . .	16 mm
Austauschfläche pro Austauscher: innen . . . . .	46 m²
aussen . . . . .	185 m²
Druckverlust für einen Austauscher . . . . .	5 m WS

Gruppe Nr. 1:

2 Wärmeaustauscher gleicher Bauart, wie vorstehend beschrieben, am Auslaufkanal der Francis-Turbine.  
 5 Wärmeaustauscher mit je 730 glatten Rohren, pro Austauscher mit folgenden Rohrdimensionen:

Innendurchmesser . . . . .	13 mm
Aussendurchmesser . . . . .	16 mm
Länge . . . . .	1 m
Äussere Austauschfläche pro Einheit . . . . .	33 m²

#### Adresse des Autors:

J. Perrier, Electricité de France, Région d'équipement hydraulique Alpes Nord, F 73001 Chambéry.

## Die verschiedenen hydraulischen Betriebszustände des Kraftwerkes Vallorcine

Von J. F. Calendray

Das ganze hydraulische System von Emosson ist reichlich kompliziert. Wir verzichten im vorliegenden Bericht auf eine detaillierte Beschreibung dieser Anlageteile und verweisen hiezu auf das Übersichtsschema im Artikel von J. Perrier, Zentrale Vallorcine, Fig. 1. Im vorliegenden Bericht werden dagegen diejenigen Betriebszustände kurz beschrieben, für welche besondere Untersuchungen über die transitorischen Zustände durchgeführt worden sind.

### A. Übersicht über die verschiedenen Betriebszustände

#### Fall 1

Die Zuflüsse der Zuleitung «Süd» werden im reinen Schwerkraftbetrieb dem Stausee Emosson zugeleitet. Die Zuleitung «Süd» ist in diesem Falle meist nur im letzten Teile zwischen der Fassung von Le Tour und dem Syphon von Belle Place unter Druck. Der obere Teil der Zuleitung Süd zwischen Le Tour und der Fassung von Argentière arbeitet als Freispiegelstollen.

Für die durchgeföhrten Berechnungen wurde dieser Stollenteil als Wasserschloss betrachtet. Die Fassung von Le Tour ist mit einem Sicherheitsüberlauf ausgerüstet, welcher die Wassermenge der Zuleitung «Süd» auf total ca. 15 m³/s begrenzt. Beim Betriebszustand von Fall 1 ist ein mehr oder weniger langer Teil des Druckschachtes von Belle Place (52 % Gefälle) im Freispiegelbetrieb. Die Höhenkote, von welcher an dieser Schacht unter Druck kommt, hängt vom Seestand des Speichers Emosson ab. Um das Mitreissen von Luft in den Druckschacht von Belle Place zu vermeiden, ist

er oben durch einen Syphon besonderer Bauart abgeschlossen (siehe Artikel von A. Paravy).

#### Fall 2

Das Wasser von Emosson wird in den Turbinen der Zentrale Châtelard-Vallorcine verarbeitet; und gleichzeitig ist die Zuleitung «Süd» ausser Betrieb. Für diese Abstellung der Zuleitung «Süd» gibt es zwei Möglichkeiten. Erfolgt die Abstellung durch den Trennschieber in Vallorcine, so haben wir für den Fall 2 den normalen Zustand eines klassischen Hochdruckkraftwerks. Erfolgt die Abstellung der Zuleitung «Süd» aber durch Schliessen des Schiebers von Belle Place, so wirkt der Druckschacht Belle Place-Vallorcine wie ein Wasserschloss, welches direkt bei den Turbinen von Vallorcine angeschlossen ist.

#### Fall 3

In den Turbinen von Vallorcine wird gleichzeitig sowohl Wasser aus dem Stausee Emosson als auch aus der Zuleitung «Süd» verarbeitet. In diesem Falle kann die Fließrichtung des Wassers im Druckschacht Stausee Emosson-Vallorcine umkehren, wenn die Turbinen in Vallorcine abgestellt werden.

#### Fall 4

Das Wasser aus dem Ausgleichbecken Les Esserts (max. 1516 m ü. M.) wird mit Hilfe der Pumpen von Vallorcine (1125 m ü. M.) in den Stausee Emosson (min. 1785, max. 1930 m ü. M.) gepumpt und gleichzeitig ist die Zuleitung «Süd» entweder im Betrieb oder durch Abschliessen entweder des Schiebers von Vallorcine oder des Schiebers von Belle Place ausser Betrieb.