Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 64 (1973)

Heft: 24

Artikel: Mechanische Ausrüstung der Zentrale La Bâtiaz und der Pumpstation Triège der Kraftwerkgruppe Emosson

Autor: Pillet, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915631

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: 13.07.2025

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

Das französisch-schweizerische Speicherkraftwerk Emosson [1])

Mechanische Ausrüstung der Zentrale La Bâtiaz und der Pumpstation Triège der Kraftwerkgruppe Emosson

Von *J. Pillet*

1. Kurze Beschreibung der Ausrüstung und Energieerzeugung

Der Bau eines grossen Staudammes in Emosson ermöglicht, die Kapazität des im Jahre 1923 fertiggestellten künstlichen Stausees Barberine zu verfünffachen und einen bedeutenden Speicher von 225 Millionen m³ auf nahezu 2000 m Höhe zu schaffen, so dass das Wasser mit einem totalen Gefälle von etwa 1400 m genutzt werden kann, bevor es der Rhone zurückgegeben wird. Das im Stausee Emosson gespeicherte Wasser wird grösstenteils in den zwei neuen Wasserkraftwerken Vallorcine und La Bâtiaz und teilweise in den beiden bestehenden Zentralen der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) in Le Châtelard und Vernayaz verarbeitet.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, entsteht mit der neuen, im Bau befindlichen SBB-Zentrale Le Châtelard II ein wichtiger Komplex von fünf Wasserkraftwerken, wovon zwei als Pumpspeicherwerke ausgebildet sind. Die Ausbauwassermengen und die mittleren Gefälle sind folgende:

Zentralen	Wassermengen (m³/s)		Mittleres Gefälle (m)
	Turbinen	Pumpen	
Vallorcine	29,0	18,0	750/380
Châtelard I	7,6	–	750
Châtelard II	8,4	7,1	750
La Bâtiaz	29,0	–	650
Vernayaz	13,9	–	610

Während ein grosser Teil des gefassten Wassers dem Staubecken Emosson durch Schwerkraft zufliesst, werden die wichtigen, auf die Sommermonate konzentrierten Zuflüsse aus dem Val Ferret in der Grössenordnung von 96 Millionen m³ jährlich im Ausgleichsbecken von Les Esserts auf einer mittleren Höhe von 1510 m gesammelt, von wo sie dann mittels der beiden Speicherpumpen der Zentrale Vallorcine in den Stausee Emosson gefördert werden.

In einem kleineren Ausmass, jedoch analog, müssen die Zuflüsse des Triège von ungefähr 13 Millionen m³ jährlich, die bisher in den künstlichen Stausee Barberine abgeleitet wurden, künftig zum Teil in den Stausee Emosson gepumpt werden. Die SBB haben beschlossen, zugleich mit dem Bau der Zentrale Châtelard II, die eine Verdoppelung der bisherigen Leistung erlaubt, in Anbetracht der im Raum Châtelard vorhandenen günstigen topographischen Gegebenheiten ein Ausgleichsbecken zu erstellen, um die neuen Anlagen mit den berg- und talseitig zusätzlich verfügbaren Speicherkapazitäten für die Veredelung der überschüssigen elektrischen Nachtenergie durch Pumpbetrieb benutzen zu können.

Für die zwischen 650 und 800 m liegenden Gefälle sind schliesslich nur mehrdüsige vertikale Pelton-Turbinen ausgewählt worden, mit Ausnahme der Francis-Turbine der Zentrale Vallorcine, die bei einem Gefälle von 380 m die Überschusswassermenge von Les Esserts verarbeitet. Alle Speicherpumpen sind mehrstufig und direkt mit den Turbinen und Motorgeneratoren gekuppelt und bilden Dreiergruppen, so dass sie für Saisonbetrieb besonders gut geeignet sind; sie weisen folgende Hauptcharakteristiken auf:

Zentralen	Gruppen	Leistungen		Maschinentyp	Drehzahl U/min
		installiert	pro Einheit		
Vallorcine	3	210 MVA	70 MVA	Pelton 5 düsig	600
Vallorcine	(1)		50 MW	Francis	600
Vallorcine	(2)		40 MW	Speicherpumpe	600
Châtelard I (bestehend)	4	44 MVA	11 MVA	Pelton 1 düsig	500
Châtelard II	2	80 MVA	40 MVA	Pelton 2 düsig	500
Châtelard II			31 MW	Speicherpumpe	500
La Bâtiaz	2	180 MVA	90 MVA	Pelton 5 düsig	428
Vernayaz (bestehend)	4	77 MVA	12,5 MVA	Pelton 1 düsig	500
Vernayaz	1 (neu)		27 MVA	Pelton 2 düsig	500

[1]) Siehe auch Bull. SEV (Seiten des VSE) Nr. 22/1973.

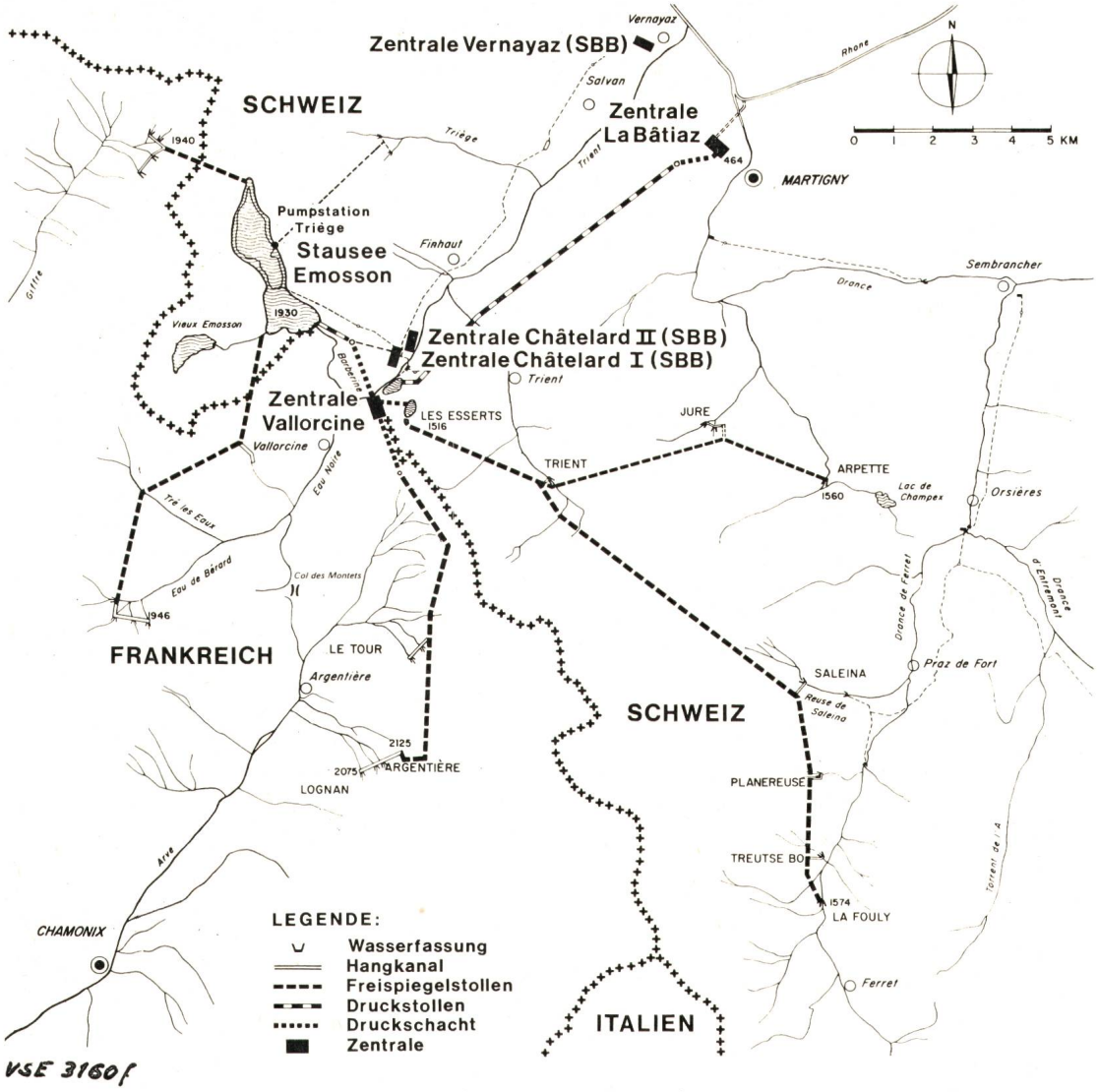


Fig. 1
Situationsplan mit den Wasserfassungen, den Zuleitungen und den 5 vom Stausee Emosson gespiesenen Zentralen

Die Kraftwerkanlage Emosson ist nicht nur international durch den Aufstellungsort der Bauten und die Einzugsgebiete sowie den Verbund des französischen und der schweizerischen Hochspannungsnetze, sondern ist auch durch ihren wesentlichen Beitrag zur einphasigen Energieversorgung der SBB mit $16^2/_3$ Hz und zur dreiphasigen Energieeinspeisung in die Netze der Aare-Tessin AG für Elektrizität (ATEL) und der Electricité de France (EdF) ein multilaterales Bindeglied zwischen drei unterschiedlichen und völlig voneinander unabhängigen Elektrizitätsunternehmungen. Hier wird nicht nur ein beträchtliches Potential an Winterenergie auf die Tagesstunden konzentriert und regulierte Spitzenenergie den drei Partnern zur Verfügung gestellt, sondern die ansehnliche Pumpleistung gibt dem ganzen Kraftwerk auch eine bemerkenswerte betriebliche Anpassungsfähigkeit, die eine Bewirtschaftung des Stausees über mehrere Jahre erlaubt. Die Messungen und Aufzeichnungen über die Wassermengen haben besondere Vorkehrungen bedingt[1]).

Die in einem Mitteljahr verfügbaren Zuflussmengen, die entsprechende Energieproduktion, die benötigte Pumpenergie und die Betriebsstunden gehen aus nachstehender Tabelle hervor.

[1]) Siehe Artikel H. Schenk: Wassermengen-Messeinrichtungen mit Ultraschall. Bull. SEV 64(1973)22, 27. Oktober, S. 1477–1483.

2. Zentrale La Bâtiaz

Allgemeine Konzeption und Anordnung

Für die unterste Stufe der Kraftwerke Emosson haben Projektstudien der Zentrale La Bâtiaz zahlreiche Varianten zum Vorschein gebracht, um abzuklären, ob eine freistehende

Stufen	Vallorcine			La Bâtiaz	
Zentralen	Emoss.	Les Esserts			
Jahreszeit	Winter	Winter	Sommer	Winter	Sommer
Verfügbare Zuflussmengen					
a) für die Turbinen $m^3 \cdot 10^6$	171	16	15	187	15
b) für die Pumpen $m^3 \cdot 10^6$			96		
Energieproduktion GWh	292	14	13	272	22
Brutto-Energieproduktion GWh		319		294	
Pumpenergie GWh			129		
Betriebsstunden pro Jahr, Minimum					
a) der Turbinen	1640	300	275	1790	144
b) der Pumpen			1490		

oder Kavernenzentrale, ob mit klassischen horizontalachsigen oder mit den im Aufschwung befindlichen vertikalachsigen Maschinengruppen sowie welche Anzahl Einheiten und welche Maschinentypen für die besonderen Verhältnisse am besten geeignet sind. Beim verfügbaren Gefälle von 650 m hätte die Francis-Turbine wegen ihrer hohen Drehzahl vorteilhaft eingesetzt werden können, wenn das in den Sommermonaten aus dem Val Ferret zufliessende Wasser nicht einen besonders hohen Gehalt an aggressivem Sand gezeigt hätte, was rasch zur Eliminierung dieses Turbinentyps geführt hat. Allein für den Pelton-Turbinentyp – horizontalachsig mit Doppelrad oder vertikalachsig mit mehreren Düsen – sind über ein Dutzend Varianten zur technischen und wirtschaftlichen Beurteilung einander gegenübergestellt worden.

Im Falle einer Kavernenzentrale hätten die vertikalen Gruppen das kleinste Ausbruchvolumen erfordert und schienen daher den horizontalen Gruppen mit ihrem beträchtlichen horizontalen Platzbedarf überlegen. Ausserdem hätte die Kavernenlösung erlaubt, den Druckschacht zu verkürzen, dafür hätte aber der Unterwasserkanal mit einem Druckstollen verlängert werden müssen, der wegen Hochwasser der Rhone den Bau eines talseitigen Wasserschlosses erfordert hätte, das wesentlich teurer als ein einfaches Ausgleichsbecken im Freien gewesen wäre. Der Vergleich von Bau- und Maschinenkosten ergab einen Vorteil von ungefähr 5 % zugunsten einer freistehenden Zentrale, der noch von anderen Argumenten, wie Weglassen einer Klimaanlage, Bestehen einer grossen 200-kV-Freiluftschaltanlage, Wegfall geologischer Risiken und Verkürzung des Terminplans, untermauert wurde.

Erfahrungsgemäss ergab die Reduktion der Maschineneinheiten von drei auf zwei eine zusätzliche Einsparung an Investitionen in der Grössenordnung von 5 bis 8 %, je nach Anordnung der Gruppen und der in Frage kommenden Anzahl Düsen. Für die freistehende Zentrale war die Wahl zwischen horizontaler und vertikaler Aufstellung erschwert, da das Baugelände gegenüber der Rhone sehr niedrig gelegen ist. Bei den jährlichen Hochwassern kann der Wasserspiegel im Unterwasserkanal, direkt unterhalb der Turbinen, tatsächlich auf die Kote des umliegenden Geländes steigen. Die strikte Notwendigkeit, die Pelton-Räder dem untenliegenden Wasserspiegel fernzuhalten und auch dem bei Belastung der Maschinen auftretenden Schwall im Unterwasserkanal Rechnung zu tragen, ohne die Regulierung zu stark zu beeinträchtigen, führte dazu, die Turbinen und den Maschinensaalboden um etwa 4 m über das natürliche Gelände anzuheben. Unter diesen Verhältnissen stellten die vertikalachsigen Gruppen schwierige Probleme betreffend Zugänglichkeit und Ästhetik und schienen für die lokalen Gegebenheiten schlecht geeignet. Die weiteren Vergleichsstudien über die vertikale und horizontale Aufstellung der Gruppen zeigten, dass unter vergleichbaren Bedingungen zwischen beiden Varianten keine wesentlichen Unterschiede in den Kosten der freistehenden Zentrale mit den Nebengebäuden sowie in den Kosten der Generatoren und der Transformatoren mehr bestanden. Für die vertikale Anordnung sprachen jedoch die realisierbaren Einsparungen durch eine einfachere Verteilleitung mit nur einer einzigen Abzweigung, die Verminderung der Anzahl Turbinenabsperrschieber auf die Hälfte, die kleineren Gewichte der Vertikalturbinen, den Wegfall des Krans für die Absperrschieber und der kapitalisierte Mehrwert aus den Differenzen der Energieverluste (weniger Druckverluste in der Verteilleitung, niedrigere Einbaukote der Turbinendüsen) sowie die etwa 1,25% höheren mittleren Wirkungsgrade bei vertikalachsigen Gruppen, so dass insgesamt ein finanzieller Vorteil von nahezu 7 Millionen Franken (1973) zugunsten der freistehenden Zentrale mit zwei vertikalachsigen Einheiten und mehrdüsigen Pelton-Turbinen zutage trat. Hervorzuheben ist, dass die Forschungen und Bemühungen der Maschinenlieferanten zu einer raschen Entwicklung der vertikalachsigen Gruppen geführt haben, die heute durch eine weitgehende Integration der Turbinen- und Generatorelemente gekennzeichnet ist. Zum Beispiel, wie aus Fig. 2, Vertikalschnitt des Maschinensatzes von La Bâtiaz, ersichtlich ist, ermöglicht das Weglassen der Turbinenwelle, die Gruppen mit zwei Führungslagern und in bemerkenswert kompakter Bauweise auszuführen, was zu einer erwünschten Verkürzung der Bauhöhe führt.

Diesen hauptsächlich ökonomischen Überlegungen wurden andersgeartete Kriterien gegenübergestellt, zum Beispiel die rasche Abnützung der mehrdüsigen Turbinen, die Austauschbarkeit und Zugänglichkeit der Maschinenteile, auf die wir im weiteren Text zurückkommen. Es ist interessant festzustellen,

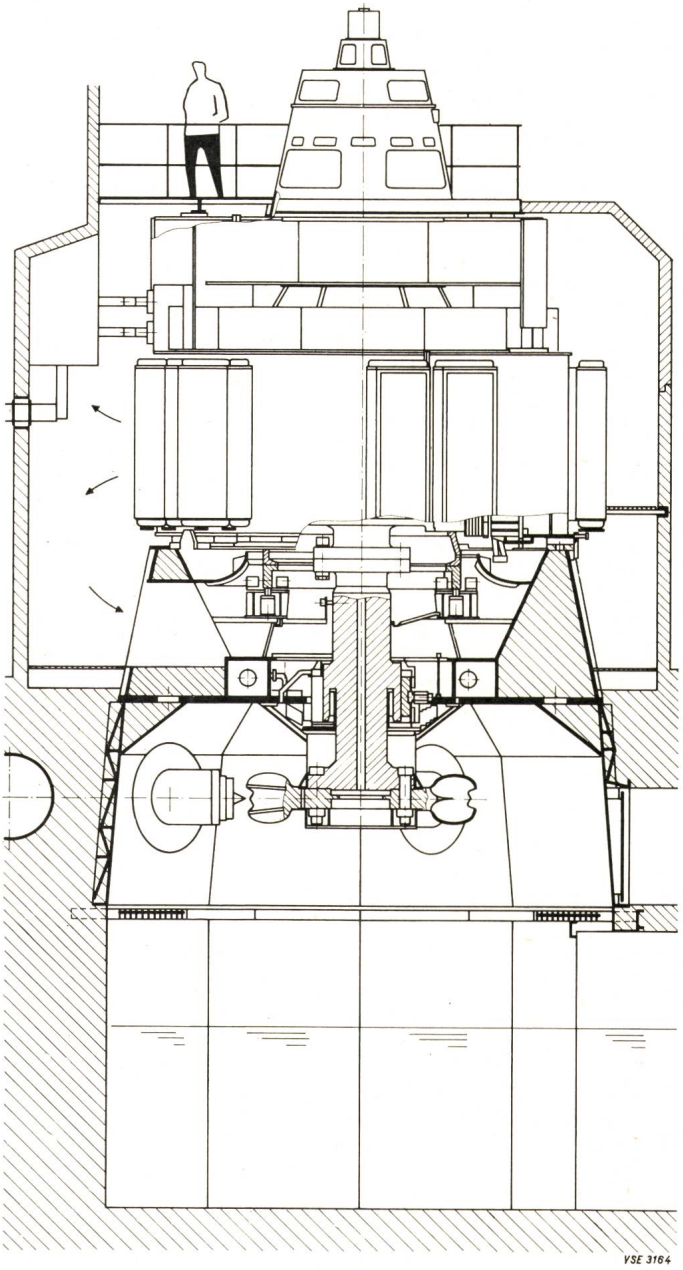
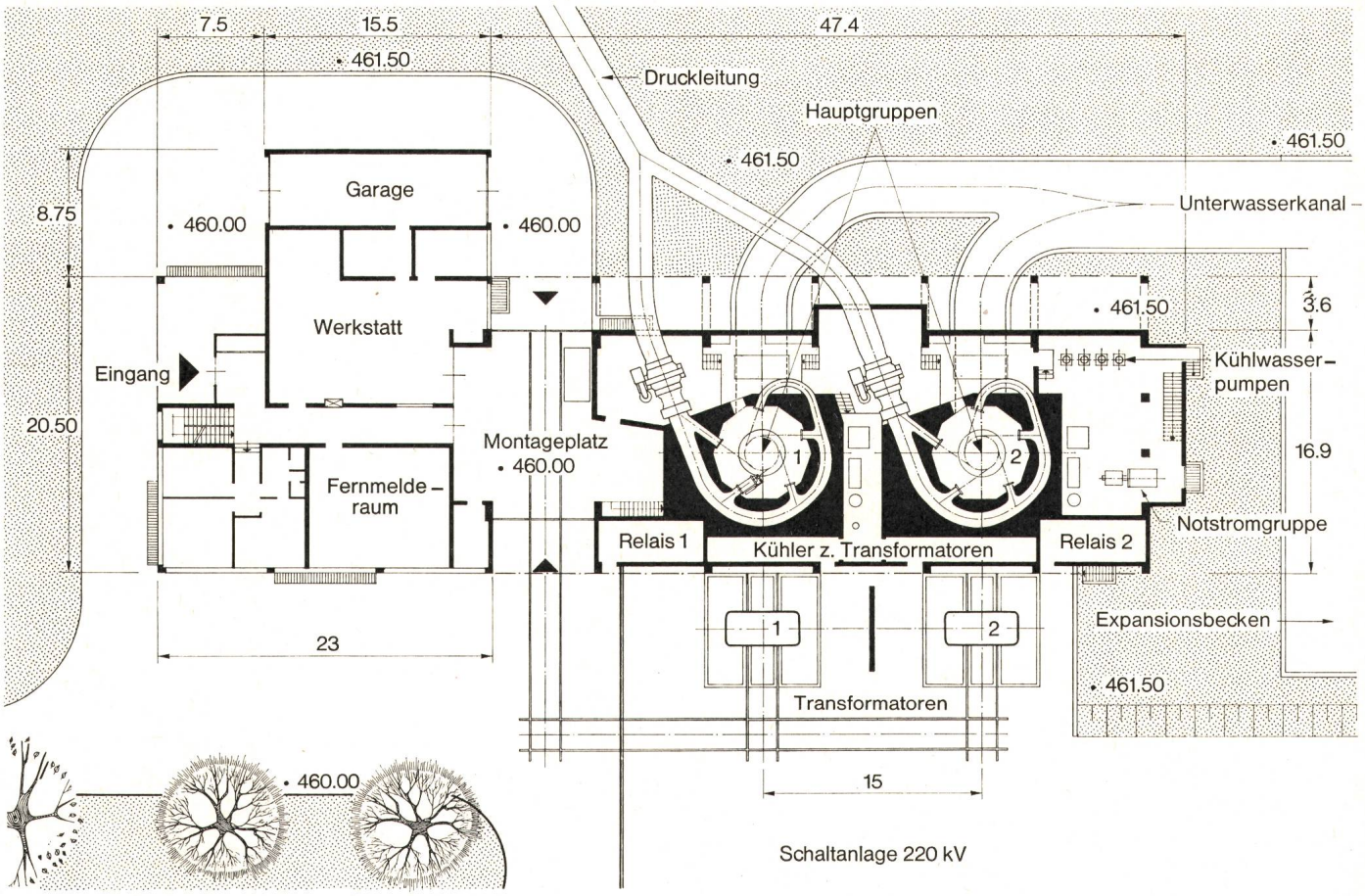
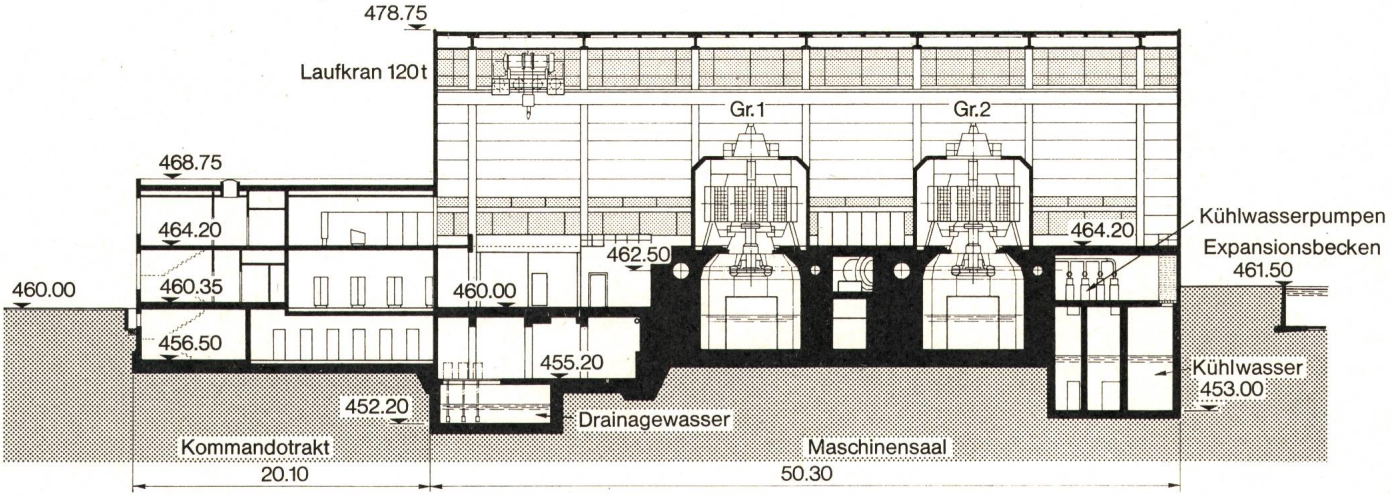


Fig. 2
Vertikalschnitt der Turbinen-Generator-Gruppe der Zentrale La Bâtiaz





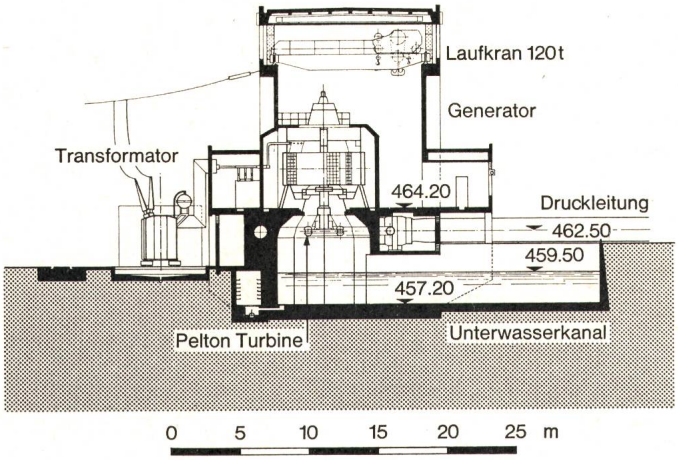


Fig. 3
Dispositionsplan der Zentrale La Bâtiaz

dass dank der gedrängten Bauart der vertikalachsigen Gruppen die Höhe der Maschinenkranbahn schliesslich nur noch 3,5 m über derjenigen liegt, die für die Montage von horizontalachsigen Gruppen erforderlich gewesen wäre, und dass die Kote des Maschinensaalbodens auf fast 1 m genau die gleiche ist, wie sie bei Einbau von horizontalachsigen Gruppen möglich gewesen wäre. Schliesslich ist auch noch darauf hinzuweisen, dass sich vertikalachsige Gruppen viel besser gegen Lärm isolieren lassen und sie daher im Sinne des Umweltschutzes einen erwünschten Vorteil aufweisen.

Gemäss Fig. 3 stehen im Maschinensaal, dessen Boden auf Kote 464,20 angehoben ist, nur die Generatoren und die Maschinentafeln für die Lokalsteuerung. Der Entladeplatz befindet sich natürlich auf der Höhe des Geländes und der Zufahrtsstrasse, auf Kote 460,00. An dieser Stelle ermöglicht die verfügbare Kranhakenhöhe, den aktiven Teil der Transfor-

matoren auszuheben. Auf gleichem Niveau, aber unter dem Maschinensaalboden, befinden sich die wichtigsten Hilfsbetriebe, wie Kugelschieber, Turbinenregulatoren, Kühlwasserpumpen, Notstromdieselgruppe, Dammbalken des Unterwasserkanals, Demontageschächte für die Pelton-Räder und die Ölkühler der Transformatoren, die alle, mit Ausnahme der letzteren, direkt mit dem Maschinenhauskran bedient werden können. Alle Rohrleitungen der Wasser- und Ölhochdrucksysteme sowie des Kühlwasserkreislaufs sind zur Hauptsache auf der Turbinenschieberetage konzentriert und von den Räumen mit elektrischen Ausrüstungen getrennt. Unmittelbar unter dem Entladeplatz ist das Hauptmagazin, das ebenfalls durch den Maschinenhauskran bedient wird. Am anderen Gebäudeende ist zusätzlich zum Entladeplatz noch ein Montageplatz vorhanden, unter dem ein 240 m^3 fassendes Kühlwasserreservoir angeordnet werden konnte.

Das Kommandogebäude wurde so an die Zentrale angeschlossen, dass sich der Kommandoraum im Obergeschoss auf der gleichen Höhe wie der Maschinensaal befindet, nur durch eine breite Glaswand von diesem getrennt, aber durch eine den Entladeplatz überragende Plattform mit ihm verbunden. Entgegen möglichen Befürchtungen auf Grund der vertikalen Anordnung der Gruppen konnten alle elektrischen Apparaturen der Maschinen auf der gleichen Ebene untergebracht werden, sowohl diejenigen im Kommandoraum als auch jene in den Maschinentafeln und den Generatorschalungen. Das Erdgeschoss des Kommandogebäudes enthält den wichtigen Raum für die Fernverbindungen mit der Zentrale Vallorcine und den Lastverteilern der ATEL in Olten und der Electricité de France in Lyon sowie die Werkstätten und eine Garage. Im Untergeschoss befinden sich die Räume für die 16-kV-Station, den Eigenbedarf und die Batterien.

Wegen der örtlichen Gegebenheiten ist die natürliche Entwässerung der Zentrale nur über der Kote 457,15 durchführbar. Zurückbleibendes Wasser und Infiltrationen aus dem Grundwasser oder eventuelle Wassereinbrüche werden in einem Entwässerungsschacht unter dem Hauptmagazin gesammelt, der mit drei starken Motorpumpen mit einer totalen Leistung von 500 m^3/h ausgerüstet ist. Sollten sich die Entwässerungspumpen bei einem Wassereinbruch im Unglücksfall als ungenügend erweisen, würde das Hauptmagazin die Rolle einer Entwässerungskammer übernehmen, deren Entwässerung durch das Drainagesystem ab Kote 457,15 gesichert ist.

Technische Daten der Maschinensätze

Die Zentrale La Bâtiaz umfasst zwei vertikalachsige Gruppen von je 90000 kVA, je bestehend aus einer Pelton-Turbine mit einem Laufrad und fünf Düsen, einem Drehstromgenerator 10,3 kV und einem Absperrkugelschieber 1350 mm Durchmesser, mit folgenden Charakteristiken:

Turbinen

Maximales Nettogefälle	650 m
Nenn-Nettogefälle	626 m
Nennwassermenge	14,5 m^3/s
Nennleistung	80,3 MW
Synchrondrehzahl	428,6 U/min
Maximale Durchbrenndrehzahl	750 U/min
Betätigungszeit der Düsen	30 s
Maximale Überdrehzahl	20 %
Maximaler Überdruck	15 %

Generatoren

Nennleistung	90000 kVA
Leistungsfaktor	0,9
Nennspannung	10,3 kV
Frequenz	50 Hz
Nenndrehzahl	428,6 U/min
Durchbrenndrehzahl	750 U/min
Schwungmoment	650 tm^2

Disposition und Beschreibung der Hauptanlagen

Eine horizontale Ausführung der Gruppen hätte die Aufstellung zweier autonomer und zusammenkuppelbarer Maschinenhauskrane für den Transport grosser Lasten begünstigt; denn bei schwieriger Montage und Demontage muss man oft sogar unbedingt über zwei Krane verfügen können. Bei nur zwei vertikalachsigen Gruppen schränkt die kurze Kranbahn die Selbständigkeit jedes einzelnen Krans beträchtlich ein. Die Frage, ob es nicht vorteilhafter wäre, nur einen einzigen Montagekran mit einer Tragkraft von 120 t vorzusehen, stellte sich um so mehr, als unabhängig von der Kostenersparnis gegenüber zwei 75-t-Kranen die für die Zentrale erforderliche lichte Bauhöhe vorteilhafterweise um 1,5 m gesenkt werden konnte, d. h. gerade um soviel, als nötig gewesen wäre, um die Rotoren der vertikalachsigen Generatoren an zwei Kranen mittels eines Querbalkens zentrisch aufzuhängen. Die Wahl fiel schlussendlich auf einen einzigen Kran, aber mit gewissen Vorkehrungen für eine vielseitigere Verwendbarkeit. Diese bezogen sich in erster Linie auf gesamthaft höhere Manövriergeschwindigkeiten, die Verstärkung der Hilfsausrüstung durch zwei Elektrozüge für 5 und 10 t sowie auf die sorgfältige Auswahl bewährter Ausrüstung, so dass die stetige Einsatzbereitschaft des einzigen verfügbaren Hebezeugs unter allen Umständen garantiert wird.

Die Einlaufrohre der Turbinen wurden so ausgerichtet, dass einerseits der Verlauf der Verteilleitung gute Zulaufverhältnisse für die Turbinen vermittelt und andererseits die Kugelschieber im Inneren des Maschinenhauses untergebracht werden konnten. Dadurch können fast alle mechanischen Ausrüstungen im Maschinenhaus mit dem einen Maschinenhauskran direkt bedient werden. Das aus den Turbinen strömende Wasser gelangt in den Unterwasserkanal, der wie die Verteilleitung bergseits der Zentrale angeordnet ist, damit die hydraulischen von den elektrischen Anlagen sowohl innerhalb als auch ausserhalb des Gebäudes getrennt sind und je zu beiden Seiten der Zentrale liegen. Die Dammbalken in den beiden Abzweigungen des Unterwasserkanals gestatten, die Gruppen voneinander zu trennen, um bei Revisionsarbeiten der einen Gruppe mit der anderen unabhängig den Betrieb aufrechtzuerhalten.

Gleich wie die Kugelschieber sind auch die Dammbalken in der Zentrale installiert und werden mit Hilfe des Maschinenhauskrans eingesetzt, nachdem man die entsprechenden Abdeckungen der Öffnungen in den oberen Böden entfernt hat. Bei wichtigen Revisionen erlauben diese Öffnungen auch, die Laufräder und Düsen der Turbinen in die Reichweite des Maschinenhauskrans zu bringen. Die Generatoren lehnen sich der talseitigen Wand des Zentralengebäudes an, so dass zwischen bergseitiger Gebäudewand und den Betonmänteln der Generatoren genügend freier Raum für den Transport der zusammengebauten Rotoren verbleibt und die Gebäudebreite vermindert werden kann. Die 10-kV-Schaltanlage befindet sich in Zellen ausserhalb des Gebäudes; gekapselte Schienen stellen die Verbindung mit den Hochspannungstransformatoren her.

Die Turbinen und Generatoren wurden u. a. konzipiert mit dem Ziel, kompakte Gruppen mit reduzierter Höhe und mit

nur zwei Führungslagern zu erhalten. Das Spurlager und das darunterliegende obere Führungslager befinden sich im Inneren des oberen Tragsterns des Generators, das untere Lager innerhalb des Turbinengehäuses. Führungslager und Spurlager sind alle selbstschmierend und besitzen bewegliche Tragsegmente und eingebaute Kühler. Um eine einwandfreie, kontinuierliche Kräftelinie vom oberen Wellenende der Gruppe bis zu den unteren Maschinenfundamenten zu erzielen, besitzt der obere Tragstern fünf radial angeordnete Arme, die direkt auf den fünf festen Abstützpunkten der Stahlabstützung des Generators ruhen. Diese Abstützungen befinden sich zwischen den fünf Düsenkörpern der Turbine. Der Stator des Generators ist auf dem im Turbinengehäuse integrierten Stahlträger abgestützt. Dieses Gehäuse ist vom Fundationsbeton der Zentrale völlig umschlossen. Auf diese Weise konnte ein besonders homogenes mechanisches System verwirklicht werden. Die vertikalen Kräfte und die bei einem Kurzschluss im Generator auftretenden maximalen Drehmomente werden ohne Diskontinuität auf den Betonkörper übertragen. Die Fundamente der beiden Gruppen sind mittels der armierten Beton-Bodenplatten solid verbunden, so dass am unterwasserseitigen Ende der Verteilleitung ein monolithischer Verankerungsblock entsteht. Die ringförmige Verteilleitung der Turbine, mit einem Eintrittsdurchmesser von 1350 mm, ist wie das Turbinengehäuse praktisch ganz von Beton umschlossen. Für Prüfungen und Unterhaltsarbeiten erlaubt ein Mannloch den Zugang ins Innere der Rohrleitungen und die Zustandskontrolle der Dichtungssitze des Einlaufkugelschiebers.

Die Turbinenschieber mit 1350 mm Innendurchmesser sind Kugelschieber mit Betriebs- und Revisionsdichtung. Ihre Konstruktion erlaubt das Auswechseln der eingesetzten Betriebsdichtungen aus rostfreiem Stahl sowie der Dichtungsmanschetten der Drehzapfen ohne Entleerung der Druckleitung. Zu diesem Zweck kann ein Ausbaurohr zwischen Kugelschieber und Ringverteilleitungen mit Hilfe des Krans herausgenommen und dadurch die zu revidierenden Dichtungen zugänglich gemacht werden. Die Schieber werden unabhängig von jeder äusseren Energiequelle durch den Wasserdruck im Druckschacht betätigt. Das Druckwasser wird in grosszügig dimensionierten Sandabsetzgefässen von Sand und Schlamm befreit. Der Servomotor ist ein gelenkfreier Ringkolbenantrieb. Alle Teile von Antrieb und Steuerung, die der Korrosion ausgesetzt sind, sind aus rostfreiem Stahl ausgeführt oder mit einem korrosionsverhütenden Überzug geschützt. Das Kugelschiebergehäuse aus Stahlguss steht auf einem Betonsockel, der genügend hoch ist, um darunter einen freien Durchgang sowie ungehinderten Zugang zum Bypass, zu den Ventilen und den elektrischen Apparaten zu erhalten.

Die automatische Regulierung jeder Turbine wird durch einen elektronischen Geschwindigkeitsregler hoher Präzision mit eingebautem Synchronisationsapparat besorgt. Die Steuerorgane des Reglers werden mit Drucköl von 40 atm betätigt, das aus einem Öl-Luft-Akkumulator sehr grosser Kapazität geliefert wird, um einen kurzzeitigen Ausfall der beiden Ölpumpen zu überbrücken, deren Leistung zu reduzieren und einen intermittierenden Betrieb zu erlauben. Eine Druckluftanlage mit zwei Kompressoren und einem Windkessel gibt dem Reguliersystem die wünschbare Unabhängigkeit. Sollte die automatische Regulierung trotzdem einmal ausfallen und die Gruppe ihre vorgesehene Überdrehzahl erreichen, wird ein Drehzahlbegrenzer die Gruppe abstellen und den Schliessvorgang des Kugelschiebers auf hydraulischem und elektrischem Wege auslösen.

Um die bereits durch das Einbetten der Turbinen in den Fundationsbeton erreichte Schalldämpfung noch zu verstärken, wurden die Generator-Luftmäntel ausschliesslich in Beton ausgeführt. Auf den Zugang ins Innere der Luftmäntel wurde besondere Sorgfalt gelegt. Der Boden ist auf gleicher Höhe mit dem Maschinenhausboden, und ein höherliegender Steg führt zu den an der Maschine angebauten Kühlern sowie Kontroll- und Sicherheitsapparaturen. Fünf Öffnungen am Umfang der Generatorabstützung dienen der Kühlluftzirkulation des Generators; sie gewähren auch bequemen Zutritt zum Drehzahlbegrenzer, zu den mechanischen Bremsen, den hydraulischen Winden und zum unteren Führungslager, dessen Segmente mit Hilfe eines geeigneten Demontagewerkzeugs einzeln ausgebaut werden können. Die Servoventile der Düsenregulierung sind auf Manneshöhe angeordnet, und die unter den Rosten verlegten Ölleitungen und Steuerkabel bleiben sichtbar.

Um die Hakenhöhe des Maschinenhauskrans auf ein Minimum reduzieren zu können, wurde der Rotor jedes Generators in drei Teile aufgeteilt, so dass sich das Polrad nach Demontage der oberen und unteren Wellenteile mit reduzierbarer Hubhöhe vollständig aus der Statorbohrung heben lässt. Es sei noch

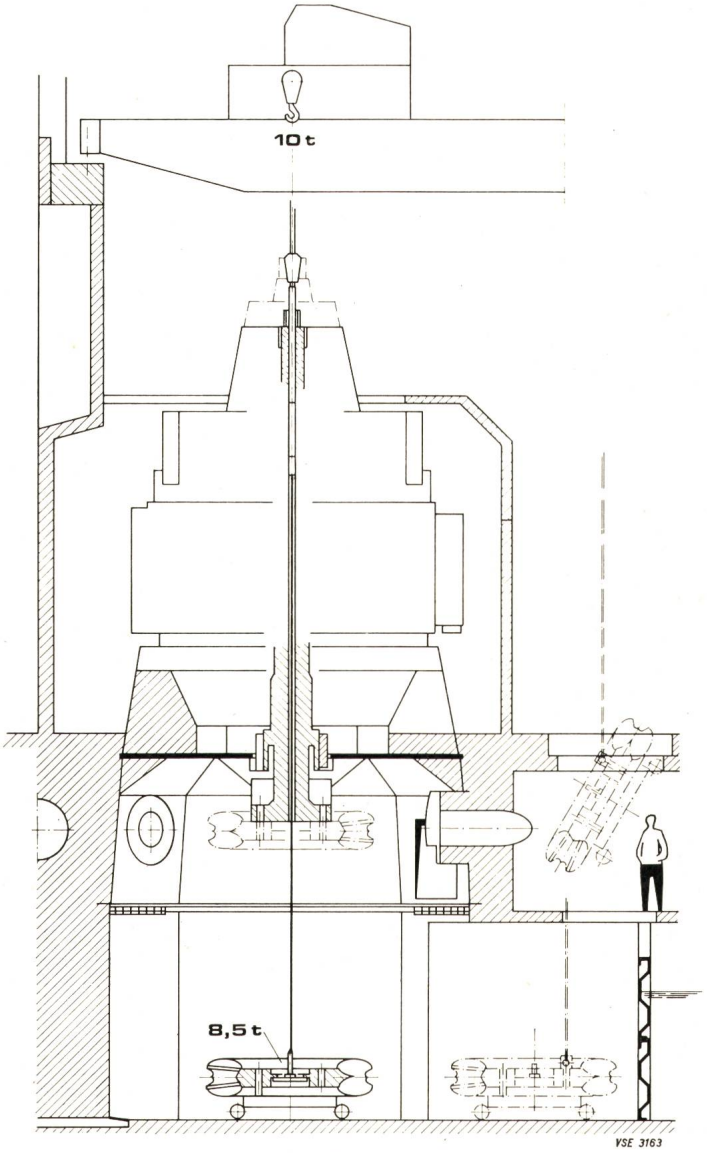


Fig. 4
Phasen der Laufraddemontage

darauf hingewiesen, dass alle zehn Kühler, die am äusseren Statorumfang befestigt sind, mit dem Maschinenhauskran direkt erreichbar sind. Ihre Montage und Demontage wird dadurch sehr erleichtert, was einen weiteren Vorteil der vertikalen Bauweise dieser Maschinen darstellt. Haupt- und Hilfserreger sind am Wellenende über dem oberen Tragstern aufgesetzt und über eine Plattform sehr gut zugänglich.

Desgleichen wurde der Zugänglichkeit der inneren Partien der Turbine grosse Aufmerksamkeit gewidmet. Eine Panzertüre im Turbinengehäuse führt zu einem rings am Turbinenschacht verlaufenden Beobachtungspodest, von wo aus die fünf Hauptdüsen, die Bremsdüse, die Strahlablenker und die Schaufelung des Laufrades in Bedienungsreichweite liegen.

Ein Pelton-Rad lässt sich innert 24 h mit Hilfe des Laufkrans und einer durch die Wellenbohrung der Gruppe geführten Seilschlinge gemäss Fig. 4 auswechseln. Nachdem man die Radnabe mit einer Platte unterstellt hat, wird das Rad von der Welle demontiert und mittels der an den Kranhaken gehängten Seilschlinge auf einen zuunterst im Turbinenschacht befindlichen Wagen hinuntergelassen, dann durch den Unterwasserkanal hinausgefahren und vor den Dammbalken mit dem Hilfszug des Krans nach Entfernen der abnehmbaren Deckel senkrecht durch die Öffnungen im Maschinensaalboden gehoben. Im Falle eines Schadens lässt sich der Austausch einer geraden Düse in gleicher Weise ebenfalls innert 24 h mittels einer kleinen, geeigneten Demontagewinde ausführen (gemäss Fig. 5).

Lebensdauer der Turbinen und ihr Unterhalt

Hinsichtlich Abnützung der Pelton-Turbinen kann die horizontalachsige, eindüsige Ausführung mit zwei Rädern sicher als die günstigste betrachtet werden. Sie wird noch heute angewendet in Anlagen mit sehr hohem Gefälle oder solchen mit hoher jährlicher Betriebsstundenzahl und Betriebswasser mit grossem Gehalt an stark abrasivem Sand. Da keine dieser extremen Bedingungen für die Zentrale La Bâtiaz zutrifft, wurden horizontalachsige Pelton-Turbinen mit zwei Rädern und vier Düsen, die es ermöglichten, die Drehzahl von 300 auf 428 U/min zu erhöhen, den vertikalachsigen, mehrdüsigen Pelton-Turbinen gegenübergestellt. Bei dieser Geschwindigkeit von 428 U/min kann die vertikale Pelton-Turbine ebenfalls mit vier Düsen, d. h. mit gleicher spezifischer Drehzahl wie bei der horizontalen Lösung oder mit fünf Düsen mit einer niedrigeren spezifischen Drehzahl, ausgeführt werden, was hinsichtlich Wirkungsgrad und Kavitation vorteilhafter ist, jedoch die Anzahl der Stösse auf die Beschaufelung um 25 % erhöht. Da jedoch der Abnützungsfaktor in beiden Fällen derselbe ist, wurde die Variante mit der besseren spezifischen Drehzahl, d. h. diejenige mit fünf Düsen, bevorzugt, deren günstigere Reynoldsche Zahl auch eine bessere Strahlqualität erhoffen lässt. Trotx des kleinen Preisvorteils wurde eine noch höher getriebene Variante mit 500 U/min und fünf oder sechs Düsen zugunsten einer Beschaufelung mit kleinerer Beanspruchung in bezug auf Abnützung und Materialermüdung aufgegeben. Im Fall von mehrdüsigen Turbinen gewinnt die Materialwahl für das Laufrad stark an Bedeutung. Der neue von den Stahlwerken entwickelte Stahlguss mit 13 % Chrom und 4 % Nickel, der sich schon seit einigen Jahren auf dem Markt befindet und nicht nur sehr gute mechanische Festigkeitseigenschaften und Korrosionsbeständigkeit, sondern auch eine gute Schweissbarkeit aufweist, wurde für die Laufräder von La Bâtiaz verwendet.

Die Sorge um die Abnützung darf sich indessen nicht allein auf die Laufräder beschränken. Zur Aufrechterhaltung der Wirkungsgrade ist die Strahlqualität während des Betriebes ausschlaggebend und in sehr hohem Mass abhängig vom guten Zustand der Düsen. Die geraden Düsen mit eingebautem Servomotor sind mit Mündungsstücken und Nadeln aus sehr hartem Stellit (Brinell, etwa 550 kg/mm²), mit bemerkenswertem Abriebwiderstand, versehen. Aus den gleichen Überlegungen wurden die inneren Partien der Düsen unmittelbar vor den Mündungsstücken ausnahmsweise mit rostfreien auswechselbaren Panzerungen ausgekleidet. Alle diese Vorsichtsmassnahmen sowie die Erleichterungen für das Auswechseln der der Abnützung unterworfenen Teile wurden vorgenommen im Bestreben nach möglichst grosser Produktivität der Anlagen trotz Reduktion von Anzahl und Dimension der Maschinen.

Schliesslich muss man bei der Wahl der Maschinen ausser dem Abnützungsfaktor ein Vergleichskriterium zur Berücksichtigung der Unterhaltsarbeiten und -kosten einbeziehen, die den verschiedenen Maschinentypen eigen sind und deren Schwierigkeitsgrad berücksichtigen, der auch von einem Hersteller zum anderen variieren kann. So gibt es nicht unbedingt einen proportionalen linearen Zusammenhang zwischen dem Abnützungsgrad und den darauffolgenden Instandstellungsarbeiten. Im Fall der Pelton-Turbinen hängt der Abnützungsfaktor in erster Annäherung (ausser von der Qualität des Turbinenwassers und des verwendeten Konstruktionsmaterials) von der Anzahl Stösse des Strahls auf eine Schaufel, der Fallhöhe und der spezifischen Drehzahl ab. Das Unterhaltskriterium hängt ausserdem von der sehr variablen Schaufelfläche und der Anzahl der im Betrieb stehenden Räder ab. Zum Beispiel sind für die Zentrale La Bâtiaz die Unterhaltsfaktoren von horizontalachsigen Doppel-Pelton-Turbinen mit 300 U/min praktisch äquivalent denjenigen der vertikalachsigen mehrdüsigen Pelton-Turbinen mit 428 U/min, obschon der Abnützungsfaktor der vertikalachsigen Turbinen ungefähr sechsmal grösser ist als jener der horizontalachsigen.

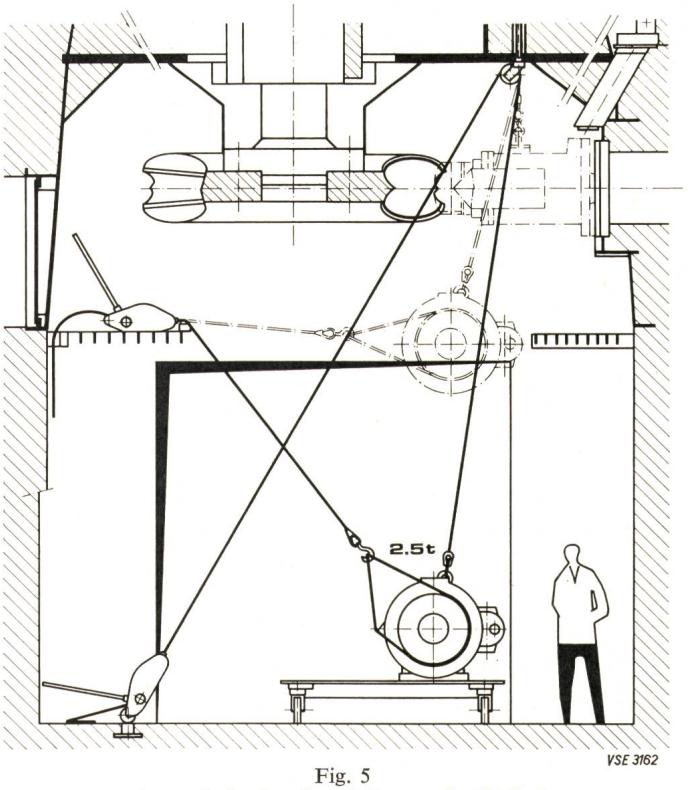


Fig. 5
Auswechseln eines kompletten geraden Einlaufs

Modellversuche der Turbine

Die vom Turbinenkonstrukteur auf Grund eines umfassenden Laborversuchsprogramms mit mehreren Dutzend geometrischen Modelldispositionen mit vier, fünf und sechs Düsen erhaltenen Resultate zeigten den Einfluss der Düsenanordnung sowie den Einfluss von Form und Abmessungen des Gehäuses auf den Wirkungsgrad der Pelton-Turbinen[2]).

Der Lieferant benutzte dann diese Resultate zu ergänzenden Versuchen an einem Modell mit fünf gleichmässig verteilten Düsen und einem Turbinengehäuse kreisförmigen oder polygonalen Querschnitts, mit dem Ziel, die für den vorliegenden Fall bestgeeigneten geometrischen Formen zu finden und optimale Betriebsergebnisse zu erhalten. Die Resultate dieser Modellversuche bestätigten, dass für die in La Bâtiaz auftretenden, relativ kleinen Gefällschwankungen die gleichmässige Düsenverteilung die beste und die dekagonale Gehäuseform mit angeschrägten Ecken die günstigste Geometrie im ganzen Betriebsbereich war und der gemessene Wirkungsgradgewinn bei Vollast einen halben Punkt betrug. Die experimentelle Überprüfung am Modell hat erneut ihre volle Rechtfertigung erfahren und gezeigt, wie sehr sie die volle Beachtung des Käufers verdient. Zudem haben diese Modellversuche Ergebnisse gezeitigt, die darauf hinweisen, dass die vom Konstrukteur abgegebenen Wirkungsgradgarantien von nahezu 91 % bei den Turbinenprototypen wahrscheinlich überschritten werden, wodurch sie zu einer wünschenswerten Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades der Anlagen beitragen.

Prüfstandversuche

Die Absicht, die Montage wichtiger Maschinen mit Montageprogrammen, die sich über sehr viele Monate erstrecken, erst vorzunehmen, nachdem ihr einwandfreies Funktionieren auf Grund mechanischer und elektrischer Versuche überprüft worden ist, rechtfertigt sich um so mehr, als jeder Verzug in der Inbetriebsetzung Energieproduktionsausfälle zur Folge hat, deren finanzielle Auswirkungen in keinem Verhältnis zu den Kosten vollständiger Werkprüfungen stehen. Es ergibt sich überdies ein bestimmter Vorteil bezüglich Sicherheit. Tatsächlich werden im Falle eines Versagens bei der Einzelprüfung des Materials Haupt- und Nebenanlagen davon nicht betroffen, und vor allem werden dabei nur relativ kleine Energien frei. Nach Beendigung der Montage auf der Baustelle laufen dann die Inbetriebsetzungsarbeiten und die dazugehörigen Versuche mit einem Minimum an Unvorhergesehenem und ohne grosse Zeitverluste ab, die öfters durch kleine, aber zu spät zutage getretene Fehler verursacht werden. Folglich wurden sämtliche Anlageteile, wie Kugelschieber und Drosselklappen, Turbinenreguliersysteme und Kühlwasserpumpen, nach beendigter Werkmontage, Belastungs- und Funktionsprüfungen anlässlich der Werkabnahmen unterzogen. In dieser Hinsicht wurden an die Generatoren noch höhere Anforderungen gestellt. Nicht nur die Rotoren der Generatoren wurden beim Lieferanten Schleuderproben mit der Höchstdrehzahl unterworfen, sondern auch mit dem zusammengebauten ersten Maschinensatz wurden im Prüfstand Laufversuche durchgeführt, um sich vom einwandfreien elektrischen und mechanischen Verhalten (Ausbalancierung, Führungslager und Spurzapfen) zu überzeugen und um die Garantien des Lieferanten zu überprüfen.

[2]) Was den Einfluss der Gefällschwankungen auf das Verhalten der mehrdüsigen Pelton-Turbinen anbelangt, sei auf die «Informations Techniques Charmilles» Nr. 12 verwiesen.

Schlussfolgerungen

Die gewählten vertikalachsigen Gruppen sind das Produkt einer sehr entwickelten und erprobten Technik, deutlich überlegen in bezug auf die Abmessungen, die Wirkungsgrade und die Verminderung der konstruktiven Elemente. Sie bieten auch die Vorteile einer ausgezeichneten Zugänglichkeit ins Innere der Maschinen und eines besonders geringen Lärmpegels. Die Ausnützung dieser Vorteile sowie die Anordnung der Turbineneinlaufleitungen, die Zerlegung der Generatoren und die Verwendung eines einzigen Maschinenhauskrans haben eine namhafte Reduktion des Bauvolumens der Zentrale ermöglicht, ohne Betriebs- und Unterhaltsbedingungen zu beeinträchtigen. Ausser den erreichten Einsparungen an Investitionen versprechen sowohl das Betriebsverhalten der Maschinen als auch die Wahl der verwendeten Ausrüstung eine hervorragende Einsatzfähigkeit und einen hohen Wirkungsgrad der Anlagen.

Nach der kürzlich erfolgten und in allen Punkten befriedigenden Beendigung der Dauerlaufprobe kann man wohl sagen, dass die getroffenen Entscheidungen im Sinne der Verwendung von erstklassigen Ausrüstungen, der Vereinfachung der Systeme und der Reduktion der Anzahl ihrer Komponenten sowie dank den Anstrengungen aller Beteiligten und der Qualität der Ausrüstungen trotz der dauernden Forderung, die Investitionskosten einzuschränken, zur Verwirklichung moderner und wirtschaftlich konkurrenzfähiger Anlagen geführt haben.

3. Pumpstation Triège

Obschon die Pumpstation Triège im Verhältnis zu den anderen Anlagen von Emosson relativ klein ist, verleihen ihr Einbaubedingungen und Funktionsweise in mehr als einer Hinsicht Interesse. Sie ist auf nahezu 2000 m Höhe in einer besonders schwierig zugänglichen Gegend gelegen und nur während eines Teils des Jahres durch eine Strasse mit dem Tal verbunden, die vom Staudamm Emosson ausgeht und teilweise in einem Tunnel eine durch Steinschlag und im Winter durch Lawinen gefährdete Wand durchquert. Da die Pumpstation im Winter völlig verlassen und der Unterhalt nicht möglich ist, musste die Pumpensteuerung notgedrungen automatisiert und der Stollenabschlußschieber ferngesteuert werden. Die ganzen Anlagen haben daher eine grosse Betriebssicherheit aufzuweisen.

Als die SBB im Jahre 1923 den Stausee Barberine erstellten, wurde der natürliche Zufluss zum Einlaufbecken mit demjenigen des Triège ergänzt, der mittels eines 3800 m langen und maximal 4,25 m^3/s fassenden Freispiegelstollens zugeleitet wurde. Die gemessenen mittleren Zuflussmengen betragen jährlich ungefähr 13 Millionen m^3. Da sowohl die Wasserfassung auf Kote 1902,8 als auch die Wasserrückgabe auf Kote 1889,0 beide bedeutend unter der Kote 1930 des Maximalstaus von Emosson liegen, müssen die Wasser des Triège hinaufgepumpt werden, sobald sich in der Füllperiode das Stauniveau von Emosson der Schwelle der Wasserfassung nähert. Gemäss Füllprogramm des Speicherbeckens beginnt die Pumpperiode normalerweise Ende Juli und dauert bis Ende Dezember. Während dieser Zeit werden jährlich im Mittel etwa 5 Millionen m^3 Wasser von dieser am linken Ufer des Stausees Emosson gelegenen Pumpstation gefördert.

Die Förderhöhe der Pumpen hängt hauptsächlich vom Staupegel ab, der um 0 bis 41 m schwankt, was für die Wahl

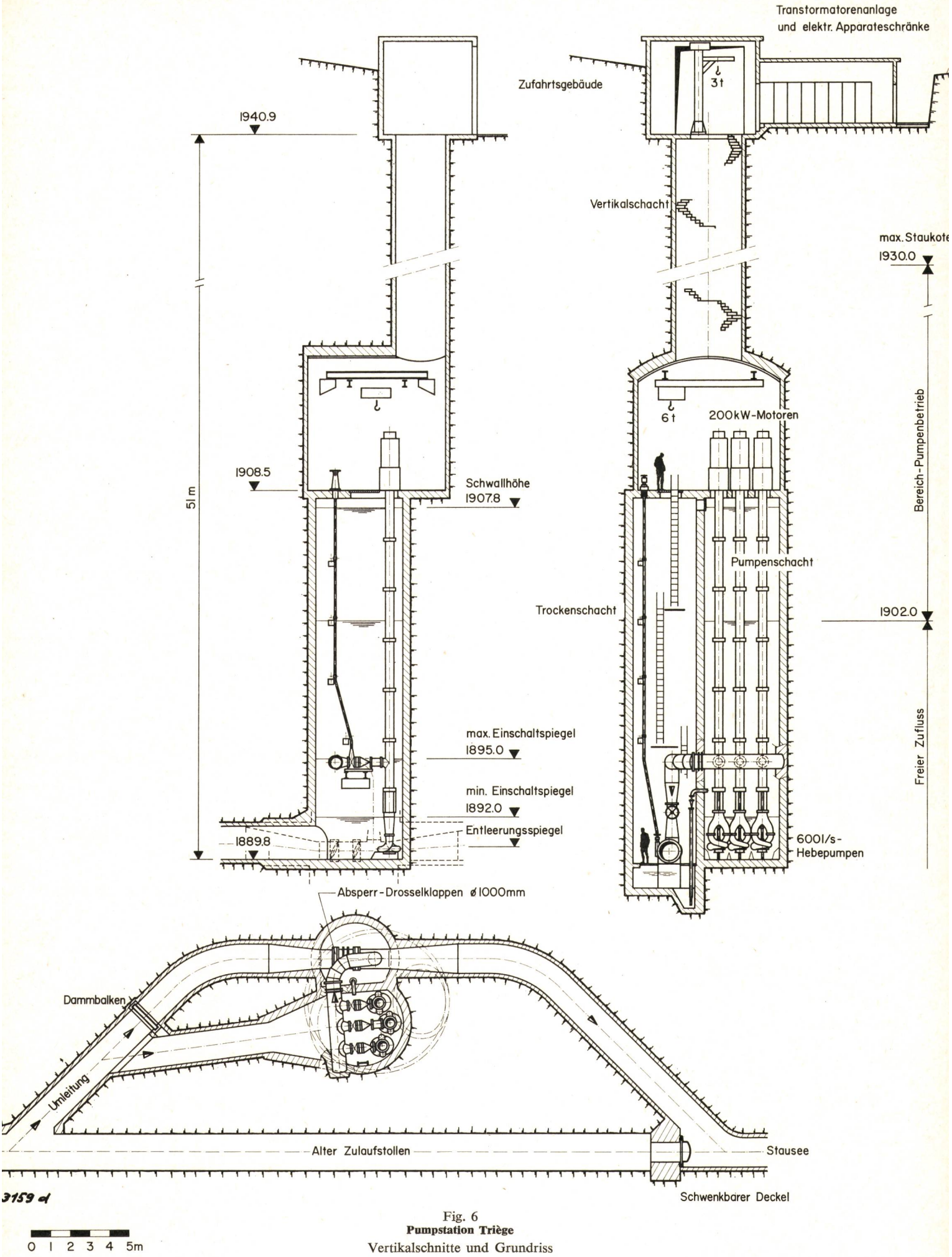


Fig. 6
Pumpstation Triège
Vertikalschnitte und Grundriss

der geeigneten Pumpenart ein Problem darstellte. Es gab mehrere Alternativen, z. B. verschiedene Pumpen, wovon jede für einen gewissen Arbeitsbereich geeignet ist, oder Pumpen mit variabler Drehzahl oder mit verstellbaren Schaufeln. Diese verschiedenen Möglichkeiten hatten alle den grossen Nachteil, dass sie zu Komplikationen mechanischer und regeltechnischer Art führten, die mit der Abgeschiedenheit der Station unvereinbar waren. Der Übergang von einem Freispiegelabfluss zu einem Abfluss unter Druck im bestehenden Stollen erlaubte vorerst, die minimale Förderhöhe auf 7 m zu erhöhen. Durch wiederholte Modellversuche führte die Verbesserung einer Beschaufelung mit besonders geeigneten Eigenschaften für die stark schwankende Förderhöhe zum Einbau eines einzigen Pumpentyps mit den gewünschten Vereinfachungen.

Daten der drei Zentrifugal-Förderpumpen

Geodätische Förderhöhe	41	38	30	25	20	7	m
Fördermenge pro Pumpe	8	65	260	400	476	600	l/s
Leistung pro Pumpe		113	116	136	142	138	kW
Motorleistung pro Pumpe			– 200 kW –				

Das Unterdrucksetzen des bestehenden fassungsseitigen Zulaufstollens ermöglichte die Bildung eines Stauraums von 12500 m^3 und folglich den intermittierenden Betrieb der Pumpen und ihre Auslegung für eine Nennwassermenge von nur 1,2 m^3/s, die jedoch genügen, um ausnahmsweise auch Spitzenzuflüsse zu pumpen.

Die Pumpstation (gemäss Fig. 6) wurde so entworfen, dass sich der vertikale Pumpenschacht auf einer Umleitung des bestehenden Zulaufstollens befindet, so dass der Stollen während der Bauarbeiten ununterbrochen in Betrieb gehalten werden konnte. Nach deren Beendigung wurde der Stollen mit einem abnehmbaren Abschlussdeckel verschlossen. Die Wasser des Triège durchfliessen nun durch Schwerkraft die Umleitung, die mit zwei hintereinander angeordneten Absperrorganen versehen ist. Sobald der steigende Wasserstand des Staubeckens die Kote 1902 erreicht, wird der Zulaufstollen vom Staubecken Emosson mit Hilfe der zwei Drosselklappen getrennt, wobei die eine als Betriebsabschlussorgan und die andere als Revisionsabschlussorgan dient. Die Wasser des Triège werden von nun an hinaufgepumpt. Um eine quasi absolute Sicherheit zu erreichen, haben die beiden Drosselklappen eine Schliesstendenz bei umgekehrter Strömung. Die drei in den Pumpensumpf getauchten Vertikalpumpen fördern das gefasste und im Zulaufstollen gespeicherte Wasser, das ablaufseitig in den Stausee Emosson geleitet wird. Die Pegelstände für das Ein- und Ausschalten der Pumpen sind so gewählt, dass man eine geringe Betriebsfrequenz erhält. Eine zusätzliche Speichermöglichkeit im Stollen wurde beibehalten, um plötzlich auftretende, die Maximalkapazität der Pumpen übersteigende Niederschlagsmengen zurückhalten zu können.

Unter dem Motorboden ist der untere Teil des Schachtes vertikal aufgeteilt in den eigentlichen Pumpenschacht und eine trockene Grube zur Aufnahme der beiden Abschlussdrosselklappen des Stollens und der Förderleitung der Pumpen, die auf diese Weise dauernd zugänglich sind. Eine motorgetriebene Entwässerungspumpe und ein zusätzlicher Ejektor dienen zur Beseitigung von Infiltrationswasser und Rieselwasser von den Wänden.

Um jedes Risiko einer Überschwemmung des Motorraumes zu vermeiden, ist dessen Fussboden über dem maximalen Schwall angeordnet, der sich nach Abschalten der Pumpen bei der maximalen Fördermenge von 1,8 m^3/s einstellen kann. Die Belüftungsöffnungen im Boden erlauben den Luftaustausch im Pumpenschacht bei Wasserspiegelschwankungen. Im Falle eines Wassereinbruchs (im Unglücksfall) aus dem Staubecken Emosson würde die trockene Grube bis zur Höhe einer unter dem Motorboden mit einer Sicherheitsklappe versehenen Überlaufschwelle überflutet und durch Schwerkraft eine Entleerung in den Triège stattfinden. Ist der Stausee voll und die Pumpstation in Betrieb, können Unterhaltsarbeiten an der Betriebsdrosselklappe im Schutz der Revisionsdrosselklappe und der in der Zuleitung zu den beiden Abschlussklappen eingesetzten Dammbalken ausgeführt werden. Die Förderpumpen arbeiten dann mit einem saugseitigen Wasserspiegel, der tiefer liegt als die Oberkante der Dammbalken; diese könnten auch ausnahmsweise zum Ausschöpfen der Infiltrationswassermenge aus dem Stollen dienen.

Im Fall des Zuflusses durch Schwerkraft durchströmt das Triège-Wasser die Drosselklappen, ohne durch den Pumpenschacht zu fliessen. Eine Schwelle an seinem Eingang verhindert die Bildung erheblicher alluvialer Ablagerungen.

Der Zutritt zur unterirdischen Motorenkammer erfolgt durch einen 27 m hohen Vertikalschacht, der mit einer Wendeltreppe und einem Konsolkran mit 3-t-Elektrozug ausgerüstet ist. An der Oberfläche beherbergt ein Zugangsbauwerk die Diensträume, die Transformatorenstation und die elektrischen Einrichtungen. Die Pumpstation Triège wird normalerweise über ein 16-kV-Kabel von der mit dem Netz der Lonza verbundenen Schaltstation des Staudammes und ausnahmsweise durch die Hilfsturbinengruppe der Zentrale Vallorcine gespeist.

Adresse des Autors:
J. Pillet, Motor-Columbus Ingenieur-Unternehmung AG, Baden/Schweiz.