Beitrag zur Entwicklung von Kavernenbauten

Autor(en): **Lüthi, H. / Fankhauser, H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie**

Band (Jahr): **59 (1967)**

Heft 8-9

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-921006

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

BEITRAG ZUR ENTWICKLUNG VON KAVERNENBAUTEN

Dipl. Ing. H. Lüthi und Dipl. Ing. H. Fankhauser, Ingenieurbüro Maggia Kraftwerke, Locarno

DK 624.035.4

Einleitung

Der vorliegende Beitrag nimmt Bezug auf die Ueberlegungen und Erfahrungen, welche beim Bau von Kavernen der Maggia und Blenio Kraftwerke AG in den Jahren 1950 bis 1967 gemacht werden konnten. In der Zeitspanne von 18 Jahren haben diese beiden Kraftwerkgruppen acht unterirdische Zentralen erstellt; in der letzten derselben sind noch Montagearbeiten im Gange. Da es sich zum Teil um Erkenntnisse grundsätzlicher Natur des Kavernenbaues handelt, darf erwartet werden, dass eine Zusammenstellung derselben auch einen erweiterten Kreis von Fachleuten zu interessieren vermag.

Für die Wahl einer Kavernenzentrale gegenüber einer solchen im Freien sind in erster Linie wirtschaftliche Ueberlegungen massgebend. Beim Studium der Gesamtkonzeption von Wasserkraftanlagen grösserer Flussgebiete zeigen sich in der Regel wirtschaftlich günstige Horizonte für die Schaffung allfälliger Zwischenspeicher oder für die Anlage geeigneter Zuleitungen von Nebengebieten. Es ist Aufgabe der Projektierung, unter Beachtung der geologischen Voraussetzungen, eine Zentralenlage räumlich so auf die Gesamtkonzeption abzustimmen, dass einschliesslich einer möglichst kurzen Disposition der hydraulischen Zu- und Ableitungen eine wirtschaftlich optimale Lösung entsteht. Bei der Kavernenanordnung von Zentralen bestehen in der Standortwahl nach Lage und Höhe keine Einschränkungen. Diese Freiheit in der Disposition der Zentralenlage besteht bei Zentralen im Freien nur innerhalb gewisser Grenzen, was nicht selten zu unvollständiger Nutzung vorhandener Gefälle führen kann. Zudem sind in engen und steilen Gebirgstälern geeignete steinschlag- oder hochwasserfreie Standorte für Zentralen und Schaltstationen in offener Bauweise auf den nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu wählenden Horizonten meist nicht einfach zu finden. Wie die spätern Ausführungen zeigen werden, ist es ferner unter Beachtung risikoeinschränkender Baumassnahmen und bei Auswahl baulich geeigneter Gebirgszonen möglich, Kavernenbauten zu erstellen, bei denen die durchschnittlichen Kosten pro Kubikmeter umbautem Raum nicht höher liegen, als bei Aussenausführungen. Die Kavernenbauweise von Zentralen nimmt schliesslich auch auf die Anliegen des Naturschutzes in weitgehenderem Masse Rücksicht, als die Disposition im Freien.

Die Konzession zur Nutzung der Maggiawasserkräfte wurde zu Beginn des Jahres 1949 nach nur zweimonatiger Zeitspanne zwischen Nutzungsgesuch und Konzessionsübertragung erteilt, mit der Auflage, noch im gleichen Jahre mit der Bauausführung zu beginnen. Die Ausführungsprojekte mussten daher in äusserst kurzer Zeit bereitgestellt werden. Diese Bestimmung führte für die im Bauprogramm in erste Dringlichkeit gestellte Zentrale Verbano zu besonderen Anforderungen hinsichtlich der rechtzeitigen Beschaffung von Plänen. Im Ausland, besonders in Italien, waren damals einige Kavernenzentralen im Bau oder kürzlich fertiggestellt, welche jedoch für die Verhältnisse der Zentrale Verbano nicht ohne weiteres als Vorbilder gelten konnten. In der Schweiz war als erste bedeutende Kavernenzentrale das Werk Innertkirchen der Kraftwerke Oberhasli (KWO) bereits in Betrieb. Es erwies sich als glücklicher Umstand, dass zwei leitende Ingenieure, welche seinerzeit bei der Zentrale Innertkirchen in massgeblicher Weise an Projektierung und Bauleitung mitarbeiteten, auch für Verbano mit der Projektierung betraut werden konnten. Die Zentralen Innertkirchen und Verbano weisen daher nicht zufällig viele gemeinsame Charakteristiken auf.

Bei der Bauausführung der am Langensee gelegenen Kavernenzentrale Verbano stellten sich aber mehrere bauliche Ueberraschungen und Erschwernisse ein. Das anstehende Biotit-Glimmerschieferpaket, in welches die Zentrale zu liegen kam, schien nach dem vorsorglich angeordneten Sondierstollen bautechnisch gut geeignet. Beim Ausbruch grösserer Felspartien während der Erstellung des Kavernengewölbes erwies sich aber der Fels als trügerisch; vom Auge kaum erkennbare Klüfte standen etwa winkelrecht zu der unter rund 50° NNW einfallenden Felsschichtung und verursachten Ablösungen von Felspaketen und Kaminbildungen, welche im östlichen Teil der projektierten Zentralenlage zu derartigen Erschwernissen führten, dass die Zentralenkaverne um die halbe Länge nach Westen verschoben werden musste. Diese nur kurz geschilderten Vorkommnisse, welche sowohl bei der Projektierung (Umdisposition der Zentrale unter Verschiebung des Hauptzugangs von der westlichen Stirnseite zur Zentralenmitte während der Bauausführung) als auch auf der Baustelle zu wesentlicher Mehrarbeit und unliebsamen Störungen führten, veranlassten die leitenden Ingenieure, das Problem des Kavernenzentralenbaues grundsätzlich neu zu überdenken.

Dabei drängten sich vor allem die folgenden Forderungen auf:

— Im Interesse einer Risikoverminderung ist die Bauausführung so vorzusehen, dass auch beim Auftreten schlechter Felspartien keine Störungen und Zeitverluste entstehen. Nach erfolgtem Ausbruch müssen die Voraussetzungen so geschaffen sein, dass der Ausbau der Zentrale und die Montage von keinen unvorhergesehenen Bauvorkommnissen mehr beeinträchtigt werden können.

— Zur Vermeidung einer übermässigen Durchörterung des Gebirges sollen insbesondere separate, parallel zur Längsachse der Kaverne verlaufende Stollen, wie Schieberkammern, Unterwasserstollen, Verteilleitungskammern oder -stollen usw. vermieden werden; es soll die Unterbringung dieser Bauteile unter einem einzigen Kavernengewölbe angestrebt werden.

Diese zweite Projektierungsbedingung verlangte eingehende Studien, welche in der Folge noch erwähnt werden sollen.

Bei den Zentralen Cavergno und Peccia der Maggia Kraftwerke (MKW) konnten die genannten Dispositionsziele bereits weitgehend verwirklicht werden. Gestützt auf die neuen Erfahrungen war es möglich, für die Kavernenzentralen Biasca und Olivone der Blenio AG, sowie für die Zentrale Bavona der MKW die erprobten Methoden noch konsequenter anzuwenden und auf diese Weise bei der Ausführung namhafte Kosten- und Zeiteinsparungen zu verwirklichen.

In gleicher Weise wurden die gesammelten Erfahrungen beim Projekt und bei der Bauausführung der Pumpspeicherzentrale Robiei der MKW verwertet und den neu auftretenden Erfordernissen eines andern Maschinentyps sowie den komplizierteren hydraulischen Voraussetzungen einer grossen Pumpspeicheranlage angepasst.

Besonderheiten des Zentralentyps mit horizontalachsigen Maschinengruppen

Nach den geschilderten Erfahrungen bei der Bauausführung der mit vertikalachsigen Francisturbinen und überlagertem Generator ausgerüsteten Zentrale Verbano wurden grundsätzliche Ueberlegungen im vorstehend erwähnten Sinne für eine Neukonzeption der Kavernenbauweise aufgenommen. Mit der Forderung, die hydraulischen und elektromechanischen Teile einer Zentrale möglichst weitgehend unter einem Kavernengewölbe zu vereinigen, stellten sich einige zusätzliche Probleme, welche vor der Entschlussfassung zur Bauausführung einer solchen Anlage gelöst werden mussten.

Die einfachsten Voraussetzungen für die Realisierung einer solchen Zentrale ergeben sich mit der horizontalachsigen Anordnung der Maschinengruppen. Im Bereiche des Maschinensaales ist es mit der horizontalachsigen Lösung möglich, die Hauptlokale auf den Maschinensaal und ein Untergeschoss zu beschränken, womit sich eine geringere Kavernenhöhe ergibt. Die baulichen Massnahmen zur Lagerung horizontalachsiger Maschinen sind weniger umfangreich und kostspielig, als bei vertikalachsigen Gruppen. Diese Grunderkenntnisse schliessen, wie an einem spätern Beispiel gezeigt wird, aber auch die Anpassung des entwickelten Kavernentyps für die vertikalachsige Aufstellung der Maschinen nicht aus.

Von besonderer Bedeutung für die Projektidee eines einzigen Kavernengewölbes war der Nachweis, dass in den kurzen Abzweigrohren der Turbinenzuleitungen zwischen Verteilleitung und Einlauf nicht untragbare Druckverluste entstehen. Dieser Nachweis konnte zunächst durch ausgedehnte Modellversuche bei der Firma Gebrüder Sulzer / Winterthur erbracht werden. Durch entsprechende Anordnung von Verteilleitung und Abzweiger ist die Umlenkung der Wasserführung in einer Ebene gewährleistet. Mit der Verjüngung der Einlaufpartie des Abzweigers entsteht eine wesentliche Beschleunigung des Wasserdurchflusses Richtung Turbine, wodurch die Umlenkverluste namhaft reduziert werden; turbulente Strömungen treten nur in untergeordnetem und nicht störendem Masse auf. Die Geschwindigkeitsverteilung vor dem Eintritt in die geradlinigen Turbineneinläufe ist normal. Die ersten Versuchsergebnisse zeigten gesamthaft, dass mit kurzen, hinsichtlich Materialaufwand bedeutend billigeren und weniger Platz beanspruchenden Abzweigleitungen kleinere Druckverluste entstehen, als bei Typen mit längern Strömungswegen (zum Beispiel Anordnung wie Innertkirchen, Verbano u.a.). Mit dieser günstigen Erkenntnis war eine wesentliche Voraussetzung für die Weiterführung der geschilderten Projektidee geschaffen. Die Versuche wurden bei jedem Zentralenneubau komplettiert. Die Nachmessungen an den ausgeführten Verteilleitungen und die guten Ergebnisse der Wirkungsgradmessungen der Turbinen zeigen eindeutig die Richtigkeit der getroffenen Voraussetzungen.

Bei den fünf ausgeführten Zentralen mit horizontalachsiger Anordnung der Maschinen erlaubten die Gefällsverhältnisse und die Ausbauwassermengen die Anordnung von eindüsigen, beidseits des Generators angekuppelten Zwillings-Peltonturbinen. Die Beschränkung auf eine einzige Düse mit geradlinigem Einlauf und innenliegendem Servomotor ermöglicht die Disposition der ganzen Turbinenzuleitung unterhalb des Maschinensaalbodens.

Der Vergleich der Querschnitte und Grundrisse des horizontalachsigen Typs von der Erstausführung Cavergno über die auch mit Speicherpumpen ausgerüstete zweite Anlage Peccia zu den ähnlich disponierten, später erstellten Zentralen Biasca, Olivone und Bavona zeigt eine gewisse Entwicklung in der Aufteilung des Innenraums unter dem halbkreisförmigen Kavernengewölbe von rund 25 bis 30 m Spannweite, welche im Endstadium etwa die folgenden Hauptcharakteristiken aufweist:

— Trennung der hydraulischen Elemente (Verteilleitung, Turbinenzuleitungen, Turbinenabläufe, Ablaufkanal, Kühlwasserreservoir, Kühlleitungen) durch den Maschinensaal von den elektrischen Einrichtungen (Transformatoren, Kabelleitungen usw.).

— Die Schieberkammer ist vom Maschinensaal getrennt durch eine starke Eisenbetonwand mit gepanzerten Eingangstüren und steht Richtung Ablaufkanal offen, um im Falle eines Rohr- oder Schieberbruchs ein Ueberschwemmen der übrigen Zentralenteile zu vermeiden.

— Aus wirtschaftlichen Ueberlegungen sind die Haupttransformatoren ebenfalls unter dem gleichen Kavernengewölbe disponiert; damit können die kostspieligen Verbindungen zwischen den Generatorenklemmen und den Transformatoren kurz gehalten werden. Bei den grösseren Maschineneinheiten der Werke Biasca, Olivone und Bavona sind Generatoren und Transformatoren in Block geschaltet; es erübrigt sich damit die gesamte Mess-, Schalt- und Sammelschienenausrüstung auf der Maschinenspannungsseite. Die Haupttransformatoren 12/220 kV sind in separaten Räumen mit besonderer, geschlossener Umluftkühl-Ventilation für die Abführung der Abstrahlwärme untergebracht. Die CO_2-Brandschutzeinrichtungen der Transformatoren sind wegen der getrennten Ventilation rasch wirksam. Allfällige Oelverluste können bis zum gesamten Oelinhalt der Transformatoren in besondern Auffanggruben gesammelt werden. Die Transformatorenzellen sind vom Maschinensaal durch starke armierte Betonwände getrennt; die kräftig ausgebildeten Eingangstore sind stirnseitig der Zellen in Nischen und somit nicht direkt Richtung Maschinensaal angeordnet. Die Zellenrückwand wird aus 12 cm starken Kalksandsteinen gemauert, um bei allfälliger Explosion in der Trafozelle, zur Vermeidung von Schäden im Innern des Maschinensaales, der Druckwelle einen Weg Richtung Gewölbe und Zugänge öffnen zu können. Für den Transport der Transformatoren innerhalb der Zentrale dienen die Maschinensaalkrane; zur Placierung in die einzelnen Zellen sind Verschiebegeleise angeordnet.

— Ein besonderer, vom Maschinensaal getrennter Trafo-Revisionsraum erlaubt die Vornahme von regulären Unterhaltsarbeiten an den Transformatoren innerhalb der Kaverne. Wegen der Brandgefahr verfügt der Revisionsraum über einen getrennten Ventilationskreislauf. Im gleichen Raum ist die Oelregenerierungsvorrichtung untergebracht, an welche die Transformatoren durch ein fest verlegtes Leitungssystem angeschlossen werden können.

— Ein freier Raum in der Grösse einer Maschinengruppe dient als Montage- und Revisionsplatz.

— Im Kommandoraum sind möglichst weitgehend alle Ueberwachungs- und Kontrollinstrumente, sowie die Schaltpulte für die Aussenverbindungen und Fernsteuerungen konzentriert; es wurde somit versucht, die Maschinen und Apparate von Schalteinrichtungen zu befreien.

Nebenstehendes Farbenbild: Maschinensaal Zentrale Biasca

ENTRALE BIASCA BLENIO KRAFTWERKE A. G.

ARTI GRAFICHE CARMINATI LOCARNO

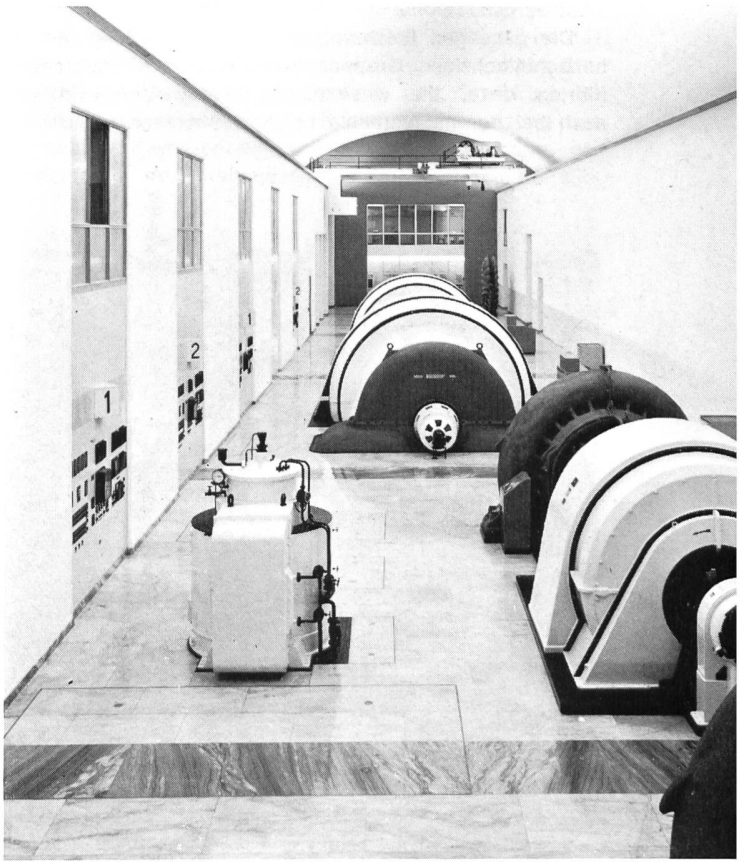
— Eine einfache Werkstatt, Magazine, Eigenbedarfsgruppen, sanitäre Einrichtungen und weitere Diensträume, welche sich auf die verschiedenen Geschosse verteilen, komplettieren die Inneneinrichtung.

— Im Werk Bavona der MKW, der letzterstellten Kavernenzentrale mit horizontalachsigen Peltongruppen gelangten auf Vorschlag der Lieferfirma BBC erstmals vollständig wassergekühlte Generatoren zur Aufstellung. Die Wasserkühlung bezweckt die direkte Wärmeabführung der Wicklungen von Stator und Rotor über Wärmeaustauscher in einem geschlossenen Kreislauf; zur Gewährleistung der chemischen Reinheit des Kühlwassers sind besondere Aufbereitungsanlagen erforderlich. Mit dieser direkten Wasserkühlung der Generatoren ist es möglich, die Wärme in den Wicklungen bedeutend tiefer zu halten; u. a. wird auch eine kleine Wirkungsgraderhöhung erzielt.

— In derselben Zentrale wurde ferner die Erstausführung einer unterirdischen 220 kV-Schaltstation realisiert. Hiezu veranlassten folgende Gründe: Aus Kostenvergleichen der hydraulischen Zu- und Ableitungen und den Zugängen verschiedener Varianten ergab sich als günstige Zentralenlage eine verhältnismässig tief im Gebirge disponierte Lösung in unmittelbarer Nähe eines bereits bestehenden Kabelstollens, welcher als Verbindungsstrecke zwischen dem internen Hochspannungsnetz der MKW (Val Peccia) und der Abgangsstation Bavona der Grandinagialeitung Richtung Oberwallis-Oberhasli zwei 220 kV-Kabelstränge enthält. Es war naheliegend, diese Kabelverbindungen in eine in Verlängerung der Maschinenkaverne zu disponierende unterirdische Schaltanlage einzuschlaufen und die Energiezuleitungen des Werks Bavona auf möglichst kurzem Wege anzuschliessen. Der geschätzte Aufwand für eine Energieableitung des Werks Bavona mit separaten Hochspannungskabeln ins Freie sowie die voraussichtlichen Kosten für die Schaffung der Planie einer Freiluftstation in diesem steilen, engen und schneereichen Bergtal ermöglichten im genannten Falle die Reservierung eines ausreichenden Kostenbetrags für die Erstellung dieser Kavernen-Schaltstation. Wegen der extremen Schneeverhältnisse wurde auch für die auf rund 1900 m ü.M. gelegene 220 kV-Schaltstation Robiei die gedeckte Bauweise gewählt.

Bild 1 Maschinensaal Zentrale Verbano

Bild 2 Maschinensaal Zentrale Peccia



Kavernen für vertikalachsige Maschinengruppen

Die Erschwernisse beim Bau der mit vertikalachsigen Gruppen ausgerüsteten Zentrale Verbano wurden bereits erwähnt. Bei dieser Anlage von nahezu 300 m Gefälle war die Wahl schnellaufender Francisturbinen gegeben. Da der Langensee ausserordentlich grosse Spiegelschwankungen bis zu rund 7 m erreichen kann, wäre bei der Wahl von Freistrahlturbinen zudem ein beträchtlicher Gefällsverlust entstanden. Als baulicher Nachteil ist die aus dem Grundriss dieser Anlage ersichtliche starke Durchörterung des Gebirges mit längs und senkrecht zum Maschinensaal verlaufenden diversen sekundären Kammern und Stollen zu werten. Die vertikalachsige Maschinenanordnung führt im weitern zu einer Innenraumaufteilung in mehreren Etagen mit einer im Verhältnis zur Kavernenbreite beträchtlichen Höhenausdehnung. Der gebräche Felscharakter liess die Verwendung geeigneter Vorkehren zur Stabilisierung der Gewölbekämpfer, der Kranbahn und der Seitenwände als angezeigt erscheinen. Auf Vorschlag der MKW wurde die-

Bild 3
Maschinensaal Zentrale Cavergno

ses Problem durch den Einbau aktiver Felsanker gelöst. Mit einer in Vorspannarbeiten erfahrenen Spezialfirma wurde ein erster Versuchsanker entwickelt, welcher im Februar 1951 mit Erfolg auf 23 t gespannt und dessen Spannkraft während 5½ Monaten kontrolliert wurde. Die satt an den Fels betonierten, mit senkrechten Verstärkungsrippen versehenen Seitenwände wurden alsdann auf Kranbahnhöhe mit vorgespannten Kabeln im Fels verankert; auf der Bergseite wurde eine Spannkraft von 40 t, auf der Seeseite eine solche von 20 t aufgebracht. Dieser Bauvorgang hat sich bewährt; bisher konnten keine Bewegungen festgestellt werden.

Die günstigen Erfahrungen bei der Erstellung des für horizontalachsige Gruppen entwickelten Zentralentyps führten dazu, die wesentlichen Konstruktionsprinzipien auch bei der mit vertikalachsigen Maschinen versehenen Zentrale Robiei der MKW wieder anzuwenden. Es handelt sich bei Robiei um die erste grössere Pumpspeicheranlage der Schweiz, welche mit vier reversiblen Pumpenturbinen von je 40 MW und einer horizontalachsigen Nebengruppe «Isogyre» von 10 MW ausgerüstet wird. Der Pumpspeicherbetrieb bezweckt die Verwendung von Ueberschussstrom aus Schwachlastperioden während der Nacht und über das Wochenende zur Hochförderung von Wasser aus dem Niveau Robiei nach den rund 400 m höher gelegenen grossen Speicherbecken Cavagnoli und Naret; dieses Pumpwasser gelangt während der Werktags-Spitzenbedarfszeiten mit grossen Leistungen wieder zur Verarbeitung. Die vertikalachsige Anordnung erlaubt die beim Pumpenbetrieb erwünschte Tieflage der Pumpenturbinen; im Falle Robiei beträgt der Anlaufdruck der Hauptpumpen bei Vollast rund 30 m. Durch entsprechende Tiefsetzung der Maschinen-

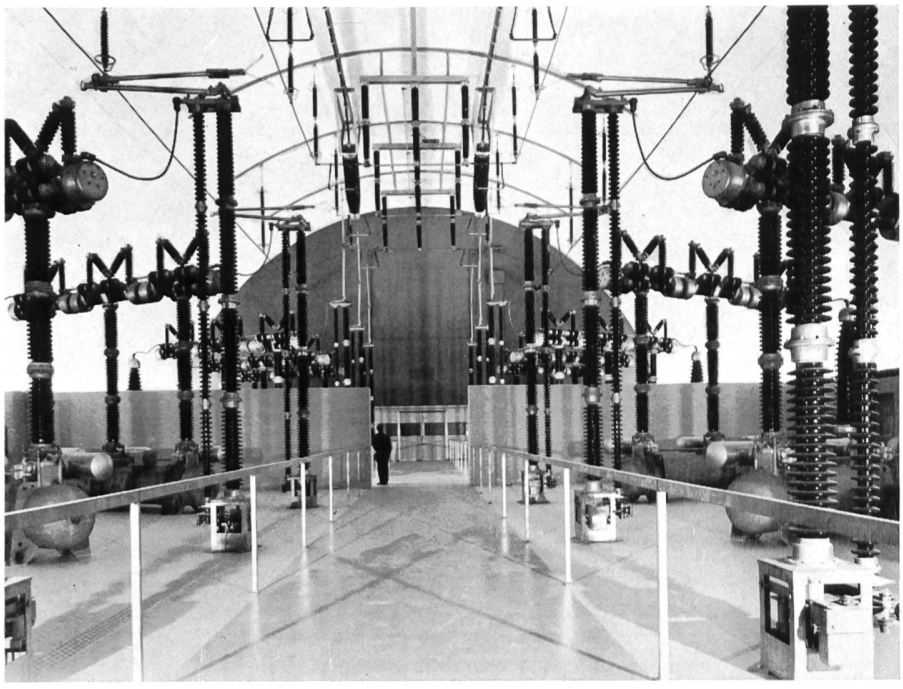
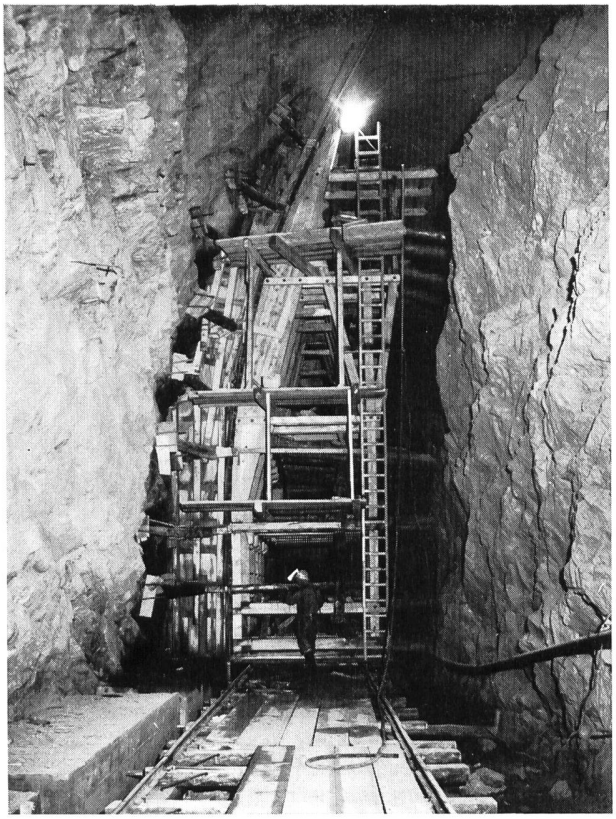


Bild 4
Unterirdische Schaltstation Bavona



Ausbruchvorgang von Zentralen-Kavernen (Bilder 5 bis 10):
Bild 5 Auf Geleisen verschiebbare Schalung zum Betonieren der Gewölbeschenkel.

Bild 6 Betonierte Gewölbeschenkel mit Aussparungen oben für die Auflagerung der Schieberkammerdecke; auf dem Boden Pumpbetonförderleitung.

kaverne unter das Absenkungsziel des Beckens Robiei war es möglich, auf die Zwischenschaltung von Zubringerpumpen zu verzichten. Unter dem gleichen Kavernengewölbe sind auf der einen Seite des Maschinensaal-Mitteltraktes wiederum alle hydraulischen Zu- und Ableitungen, sowie über mehrere Etagen verteilte Diensträume vereinigt, während die Gegenseite vornehmlich für die elektrischen Anlagen (Haupt- und Anlasstransformatoren, 12 und 16 kV-Raum usw.) reserviert bleibt. Im Werk Robiei wurde aus Gründen der relativ kleinen Einheitsleistung der Maschinengruppen das Prinzip der Blockschaltung Generator-Transformator nicht mehr angewendet; zwei Maschinen verfügen je über eine gemeinsame Transformatorengruppe.

Bei der vertikalachsigen Maschinenanordnung sind unter dem gemeinsamen Kavernengewölbe, welches auf das Niveau des Generatorenbodens hinunterreicht, noch Untergeschosse vorhanden. Querschnitt und Grundriss der Anlage Robiei lassen eine weitgehende Ausnützung des verfügbaren Kavernenraumes erkennen. Hier konnte der platzsparende Verteilleitungstyp auf der Hoch- und der Nie-

Bild 7
Ausbruch der Scheitelpartie; links Gewölbeschenkel; oben fertig betonierter Gewölbering.

Bild 8
Kernausbruch; im Hintergrund Schalung für den Gewölbescheitel.

derdruckseite zur Anwendung gelangen. Die niederdruckseitigen, als konische Kugelschieber ausgebildeten, gleich unterhalb des Spiralgehäuses versetzten Abschlussorgane trugen weiter bei zur raumsparenden Disposition mit kurzen hydraulischen Zu- und Ableitungen. Der Kavernenausbruch von Robiei beschränkt sich bei 170 MW Ausbauleistung auf nicht ganz 40 000 m³.

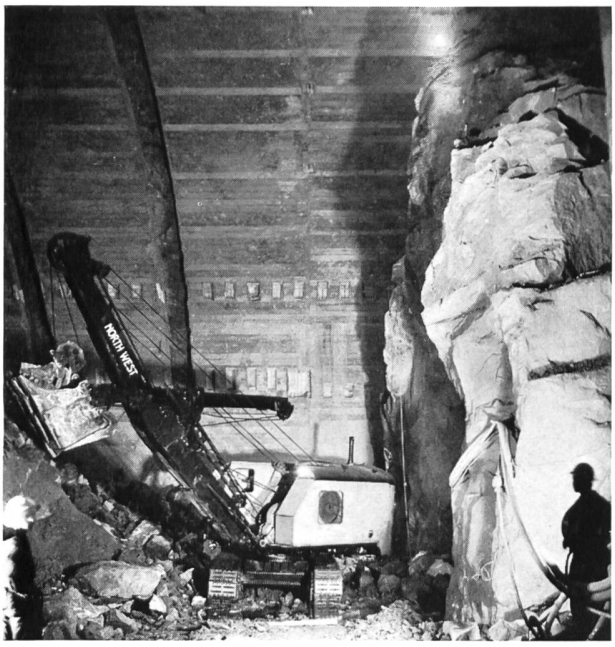
Das Beispiel Robiei zeigt, dass das Konstruktionsprinzip des gemeinsamen Kavernengewölbes mit Vorteil auch für den vertikalachsigen Zentralentyp angewendet werden kann. Der einfache Grundriss und Querschnitt zeigt im Vergleich zur erstausgebauten Zentrale Verbano bei ähnlich grosser Ausbauwassermenge (Robiei 50 m³/s, Verbano 44 m³/s) eindeutig die durch die Entwicklung erreichten Fortschritte.

Hauptmerkmale der Kavernenzentralen der Maggia- und der Blenio-Kraftwerke AG[1]

Es wird verwiesen auf die Querschnitte und Grundrisse gemäss Bilder 12 bis 16 und 18 bis 23 (Faltblatt).

In Stichworten können in der Reihenfolge der Erstellung die folgenden Hauptmerkmale kurz rekapituliert werden:

Bild 9 Kernabbau; Bagger zum Aufladen des grobblockigen Ausbruchmaterials; im Hintergrund Aussparungen für Auflager von Zwischendecken.



VERBANO:
(Bilder 1, 12, 13)

— In der Maschinenkaverne sind untergebracht: vier vertikalachsige Gruppen, bestehend aus Francisturbine und Generator (100 MW Gesamtleistung), zwei 12/220 kV-Dreiphasen-Transformatorengruppen, bestehend aus je drei Einphasentransformatoren, ein Reservepol, Eigenbedarfstransformator, Kühlwasser- und Entwässerungspumpen, Klimaanlage, Kommandoraum.

— In Stollen einbetonierte Verteilleitung, separate Schieberkammer mit vier Kugelschiebern, ausmündend in Entlastungsstollen Richtung Langensee; Panzertürenabschluss zwischen Schieberkammer und Zugang zu Maschinenkaverne.

— Separate Expansionskammer als Unterwasserschloss und Sammelbecken der vier Turbinenabläufe, Unterwasserstollen als Ablauf zum Langensee.

— Von Kaverne getrenntes Dienstgebäude im Freien beim Zentraleneingang; enthält Werkstatt, sanitäre Anlagen, diverse sekundäre Diensträume, Garagen; auf dem Dach des Dienstgebäudes 220 kV-Abgangsstation.

— Bauvorgang: Ausbruch der Kalotte mit Materialabtransport via Sondierstollen im Gewölbescheitel; Kalottenverkleidung; Aufschlitzen der Längs- und Querwände ab Ma-

[1] Ausführlichere Projektbeschreibungen der gesamten Wasserkraftanlagen siehe auch «Wasser- und Energiewirtschaft» (WEW), Jahrgänge: WEW 1951 S. 189/198 (Maggia 1. Ausbau), 1953 S. 38/105 (Maggia 1. Ausbau), 1956 S. 1/14 (Blenio), 1956 S. 325/330 (Maggia 1. Ausbau), 1961 S. 220/231 (Blenio), 1964 S. 155/164 (Maggia 2. Ausbau), 1964 S. 398/403 (Blenio).

Bild 10
Ausbruch der unterhalb dem allgemeinen Abbau-Niveau liegenden Partien.

schinensaalboden mit Abtransport via Hauptzugang auf Geleisefahrzeugen; Schüttung des Ausbruchmaterials vom Kopf einer Pontonbrücke in den Langensee; Verkleidung der mit Pfeilern verstärkten Längswände unter erstmaliger Verwendung vorgespannter Felsanker auf Kämpferhöhe; Felskernabbau; Ausbruch der Partien unter dem Maschinensaalboden von der Seite der Turbinenausläufe und Abtransport via Unterwasserstollen.

— Schallschluckbehandlung der Maschinensaalwände und der Welleternitdecke über dem Maschinensaal mit Asbestspray.
— Kombination von indirekter und direkter Beleuchtung des Maschinensaals.
— Marmorbelag des Maschinensaalbodens; übrige Böden mit Fussbodenfarbe behandelt.
— Fernsteuerung und Fernmessung der Wasserfassungen vom Kommandoraum aus.

CAVERGNO:
(Bilder 3, 16)

— Erstausführung des horizontalachsigen Kavernentyps; Maschinensaal, hydraulische Zu- und Ableitungen und elektrische Einrichtungen unter einem Kavernengewölbe disponiert.
— Zuerst zwei, ab 1958 vier horizontalachsige Gruppen, bestehend aus Zwillings-Peltonturbinen und zwischenliegendem Generator (110 MW Gesamtleistung); zwei 12/220 kV Dreiphasen-Transformatorengruppen mit je drei Einphasentransformatoren, ein Reservepol.
— Kommandoraum stirnseitig, darüber Diensträume und Klimaanlage.
— Schallschluckbelag der Maschinensaalwände mit Asbestspray; Maschinensaaldecke unter der Well-Eternitabdekkung mit gelochten Gips-Schallschluckplatten verkleidet.
— Bodenausbildung wie Verbano.
— Indirekte Beleuchtung des Maschinensaales.
— Schieberkammer als druckfester Raum ausgebildet; Trennwand und Fixpunkte der Verteilleitung mit vorgespannten Felsankern versehen.
— Abtransport des Ausbruchs mit Pneufahrzeugen.

PECCIA:
(Bilder 2, 14, 15)

— Grundkonzeption analog Cavergno, zusätzlich mit Pumpengruppen; Saugheber zwischen Unterwasser- und Entlastungsstollen.
— Maschinelle Ausrüstung: zwei horizontale Zwillingspeltonturbinen mit zwischenliegendem Generator (47 MW); zwei Speicher-Pumpengruppen (22 MW), eine 12/220 kV Dreiphasentransformator-Gruppe mit Reservepol; Anlasstransformatoren für die Pumpen; zwei Zubringerpumpen für Förderung zwischen Ausgleichbecken Peccia und Hauptpumpen; Zuleitung Corgello auf höherem Niveau mit ausreichendem Zulaufdruck für Hauptpumpen und mit Energievernichter für Turbinenbetrieb.
— Innenausbau und Bauvorgang analog Cavergno.
— Hauptzugang zweistöckig mit obenliegender Fahrbahn und Kabelstollen im Untergeschoss.

BIASCA:
(Bilder 18, 19 und Farbenbild)

— Weiterentwicklung des horizontalachsigen Kavernentyps mit räumlicher Trennung der hydraulischen und elektrischen Anlageteile; grösste Zentrale der beiden Werkgruppen.
— Vier horizontalachsige Gruppen, bestehend aus Zwillingspeltonturbinen und zwischenliegendem Generator (280 MW Gesamtleistung), vier Dreiphasen-Transformatoren 12/220 kV in Blockschaltung in längsseits angeordneten Zellen.
— Stirnseitige Anordnung von Werkstatt, Diensträumen, Klimaanlage (letztere bei Beginn der Maschinenmontage betriebsbereit); auf der andern Stirnseite mit Maschinensaalkran bedienbarer, abschliessbarer Trafo-Revisionsraum.
— Kommandoraum längsseitig in Zentralenmitte, eingerichtet für Fernsteuerung der andern Zentralen der Werkgruppe und der Wasserfassungen.
— Montageplatz in Maschinensaalmitte; im Untergeschoss unter dem Montageplatz zwei Eigenbedarfsgruppen, Kühlwasser- und Entwässerungspumpen, Batterieraum.

— SBB-Geleiseanschluss bis in den Maschinensaal.
— Innenausbau analog Cavergno und Peccia; Böden des Untergeschosses mit Colovinylbelägen versehen.
— Klimaanlage eingerichtet für vier verschiedene Klimata, entsprechend den Anforderungen der diversen Räume und Verbrauchsstellen.
— Eliminierung der Schalttafeln bei jeder Maschinengruppe unter entsprechender Ergänzung der Einrichtung des Kommandoraums; Beschränkung auf Turbinenkommandopulte bei jeder Gruppe.
— Verwendung von vorgespannten Felsankern für Schieberkammerlängswand, Verteilleitungsfixpunkte und erstmals auch für Maschinenfundamente.
— Indirekte Maschinensaalbeleuchtung.
— Ausbruch-Abtransport mit Pneufahrzeugen.

OLIVONE

— Gleiche Anordnung wie Biasca, aber nur zwei Maschinengruppen (92 MW) in Blockschaltung.
— Kommandoraum auf Stirnseite des Maschinensaales.
— Eliminierung aller Schalttafeln und Kommandopulte bei den Maschinen unter entsprechender Ergänzung der Kommandoraumausrüstung.
— Innenausbau analog Biasca; direkte und indirekte Beleuchtung des Maschinensaales.
— Ausbruchförderung mit Pneufahrzeugen.
— Anlage einer Vorkaverne zur nahen Placierung der Betoniereinrichtungen sowie als Betriebsraum.

LUZZONE:

Diese kleine, für den Betrieb vollständig automatisierte Kavernenzentrale am Fuss der Luzzonetalsperre nützt mit einer horizontalachsigen Maschinengruppe (Francisturbine und Generator, 19 MW) das stark variable Gefälle zwischen den rund 100 m über dem Stauziel des Luzzonebeckens mündenden Zuleitungsstollen benachbarter Täler und dem jeweiligen Spiegel des Luzzonespeichers. Die Disposition dieser Neuanlage entspricht einem Sonderfall, bei welchem vor allem die hydraulischen Betriebsprobleme zu speziellen Untersuchungen veranlassten.

BAVONA:
(Bilder 4, 20, 21)

— Bezüglich des Maschinensaals analoge Anordnung wie Olivone; zwei horizontalachsige Gruppen (140 MW Gesamtleistung) in Blockschaltung.
— Erstmalige Ausführung direkt wassergekühlter Wicklungen der Generatoren.
— Erstmalige Ausführung einer unterirdischen 220 kV-Schaltstation in der Verlängerung des Maschinensaals.
— Ausbruchförderung mit Pneufahrzeugen.
— Einrichtung der Zentrale für Fernsteuerung.
— Vorkaverne analog Olivone.

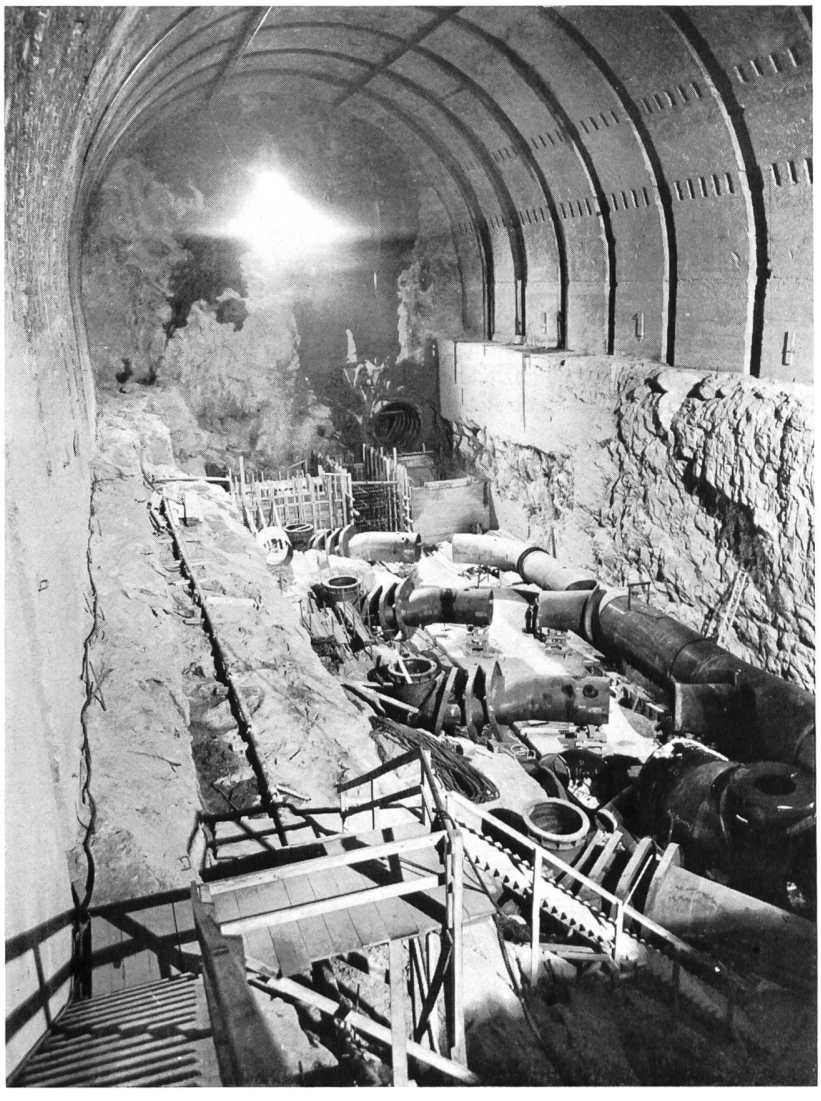


Bild 11
Zentrale Robiei — Ausbrucharbeiten abgeschlossen; Montage der Niederdruck-, Verteil- bzw. Sammelleitung und der Saugkrümmer; im Hintergrund Beginn der Eisenbetonarbeiten; links Pumpbetonförderleitung.

ROBIEI:

(Bilder 11, 22, 23)

— Verwertung der beim horizontalachsigen Typus bewährten Konstruktions- und Ausführungsprinzipien für eine Zentrale mit vertikalachsigen Maschinen.
— Vier vertikalachsige, reversible Pumpenturbinen mit regulierbarem Leitapparat, vier vertikalachsige Generatoren/Motoren von je 40 MW, eine horizontalachsige Pumpenturbinengruppe «Isogyre» mit Generator/Motor von 10 MW (Erstausführung), Gesamtleistung im Turbinenbetrieb 170 MW, im Pumpenbetrieb 160 MW; erstes Pumpspeicherwerk der Schweiz mit grosser Ausbauleistung.
— Hydraulische Zu- und Ableitungen auf Hoch- und Niederdruckseite; Abschlüsse Hochdruckseite mit normalen Kugelschiebern in geschlossener, mit dem Entlastungsstollen verbundener Kammer (analog den andern Zentralen), Abschlüsse Niederdruckseite mit Kugelschiebern zwischen Spirale und Saugkrümmer jeder Pumpenturbine; Drosselklappe als weiteres Abschlussorgan in der Niederdruck-Sammelleitung.
— Tieflage der Zentrale unter dem Absenkspiegel des Robieibeckens zur Schaffung eines ausreichenden Zulaufdruckes zu den Pumpen.
— Mehrstöckige Disposition des Zentralenquerschnitts unter rationeller Ausnützung des verfügbaren Platzes für Nebenräume.
— Verzicht auf Blockschaltung wegen beschränkter Maschinengrösse; je zwei Maschinengruppen arbeiten auf eine Transformatorengruppe doppelter Leistung, bestehend aus je 3 Einphasentransformatoren; Höchstgewicht beschränkt auf 23 t wegen Tragkraft der Schwerlast-Luftseilbahn.
— Bauvorgang: Ausbruch der Kaverne ohne Firststollen; sukzessives Aufschlitzen der Gewölbekappe von den Kämpferstollen aus (die Erfahrung zeigt, dass die Ausbruchweise mit Firststollen Vorteile aufweist). Ausbruch-Abtransport in der Aufschlitzphase auf Geleisen; für den Kernausbruch und die Abtiefung der unter Kämpferniveau gelegenen Partien Verwendung von Pneufahrzeugen; Einsatz von Tieflöffelbaggern für die Schotterung der untern Kavernenpartien; Abtransport des Ausbruchs durch den Hauptzugang.
— Einrichtung der Pumpspeicheranlage für Fernsteuerung.

Bauausführung und Baukosten

Die bei den Zentralen der MKW und Blenio AG entwickelte unterirdische Anlage des Maschinensaals mit möglichst weitgehender Einordnung der hydraulischen und elektrischen Zu- und Ableitungen unter das gleiche Kavernengewölbe ermöglicht im weitern eine beträchtliche Verminderung der Baurisiken und damit eine rationelle und termingerechte Bauausführung.

Dabei hat sich der in Bild 17 in seinen Hauptphasen dargestellte Bauvorgang bewährt. Durch einen in der Regel im Gewölbefirst der Kaverne vorzutreibenden Sondierstollen wird ein erster wichtiger Aufschluss über die Felsqualität am projektierten Zentralenstandort gewonnen, auf Grund dessen die Wahl der lokal günstigsten Gebirgspartie für den Kavernenbau getroffen werden kann. Diese Sondierung wird mit Vorteil frühzeitig als Vorarbeit ausgeführt. Die Hauptattacke der Felskaverne kann je nach der örtlichen Situation durch den Haupteingang der Zentrale oder gegebenenfalls auch durch einen Entlastungs- oder Unterwasserstollen erfolgen. Im Bereich der Maschinenkaverne werden zuerst zwei ca. 15—20 m² grosse Stollen den beiden Kavernenlängswänden entlang auf dem Niveau der Gewölbekämpfer vorgetrieben. Diese Erststollen werden in ringweisen Etappen der Gewölbeleibung folgend zunächst etwa auf halbe Höhe aufgeschlitzt und sodann die beidseitigen Gewölbeschenkel mit Pumpförderung betoniert. Hierauf wird die Gewölbekappe ringweise aufgeschlitzt, wobei das Schottergut — soweit Platz vorhanden — in der freien Partie des Gewölbefusses zwischengelagert wird, um später mit dem Kernabbau gemeinsam weggeführt zu werden; das restliche Ausbruchmaterial wird durch den Firststollen wegtransportiert.

Alsdann erfolgt die ringweise Betonierung des Gewölbeschlusses. Für die Betonierung werden verschiebbare Schalungen verwendet. Durch das ringweise Aufschlitzen sollen zwischen der bereits betonierten Partie und dem noch intakten Fels nicht mehr als zwei Ringbreiten geöffnet werden, um Ablösungen in zu grossen freigelegten Felszonen tunlichst vermeiden zu können. Die frühe Fertigstellung des ganzen Betongewölbes verleiht für alle weitern Arbeitsphasen einen vollständigen Schutz gegen Steinschlag und Nachbrüche. In der Kavernenmitte verbleibt ein Felskern, der zusammen mit allfälligen unter dem Kämpferniveau liegenden Ausbruchpartien durch Waggon-Drillbohrungen und grossen Lade- und Transportgeräten abgebaut werden kann. Diese Bauweise ermöglicht ausser der bereits erwähnten Risikoverminderung auch namhafte Kostenlimitierungen. Wenig standfeste oder wasserführende Gewölbezonen sind gut zugänglich und können separat mit Felsankern, Abdichtungen, Netzen, Gunitaufträgen oder Betonplomben behandelt werden; der Kernausbruch mit grossen Arbeitsgeräten führt zu einer wesentlichen Verminderung des Ausbruch-Durchschnittspreises.

Zwischen den einzelnen Gewölberingen werden mit Vorteil 60 bis 100 cm breite Zwischenfugen angeordnet, in welchen allfälliges Bergwasser durch Rohrleitungen in die Drainage abgeführt oder von wo aus Injektionsbohrungen angesetzt werden können. Für die Betoneinbringung hat sich die Verwendung von Betonpumpen wegen der beschränkten Platzverhältnisse gut bewährt; besondere Betoneinrichtungen in der Kaverne können vermieden werden. Da mit den im Tessin verfügbaren Zuschlagstoffen die Betonpumpförderung auf etwa 200 m Länge beschränkt bleibt, erwies es sich als zweckmässig, bei längeren Zugängen vor der eigentlichen Maschinenkaverne à cheval des Hauptzugangs eine Vorkammer anzuordnen, in welcher Mischer und Betonpumpe ausserhalb des eigentlichen Kavernenraums placiert werden können; diese Vorkammern erweisen sich auch als zweckmässiger Lagerungsort und Wendestelle für Fahrzeuge während Bau und Betrieb.

Aus den Kostenzusammenstellungen ist ersichtlich, dass der Verkleidungsbeton für Gewölbe und Stirnwände nur etwa 10 % der Kavernenkosten ausmacht. Mit der geschilderten Bauweise — unter konsequentem Einbau des vollen Betongewölbes über die ganze Spannweite auch in Felspartien mit ausreichender Standfestigkeit — wird aber ein kontinuierlicher Arbeitsgang und vor allem ein vollständiger Schutz für alle weiteren Arbeitsphasen sowie den späteren Betrieb erreicht.

Als Besonderheiten in der Bauausführung sind noch folgende Massnahmen zu erwähnen:
— Die Maschinenfundamente wurden bei den Zentralenbauten ab Biasca mit Erfolg durch vorgespannte Felsanker mit einer möglichst grossen Felsmasse verbunden, um die Vibrationen beim Maschinenlauf zu vermindern. Vorgespann-

te Felsanker gelangten auch bei Fixpunkten der Verteilleitungen und zum Festhalten der Schieberkammertrennwand zur Anwendung.

— Die Wände zwischen Generator und Turbine, auf welchen die Maschinenfundamente stehen, werden auf der Turbinenseite der Nutzwassertemperatur und auf der Generatorenseite der Abstrahlwärme der Maschinen ausgesetzt; die Temperaturdifferenz kann bis zu 30° betragen. Als Isolierung gegen diese aussergewöhnlichen Temperatureinflüsse wurden in den Generatorgruben von Cavergno und Peccia Korkplatten eingezogen. Bei den später erstellten Zentralen wurde ein ca. 10 cm starker Asbestspray aufgespritzt und dazu zwischen Asbestspray und Beton Kupferbleche mit aufgelöteten Kühlwasserrohren versetzt. Durch diese Vorkehren wird eine gleichmässige Temperatur in der relativ dünnen Auflagerwand und damit eine stabile Lagerung erreicht.

Ueber die Kostengestaltung geben die in Tabellenform nachfolgenden Zusammenstellungen Aufschluss. Da die Preisbasis im Verlaufe der Ausführungsjahre der betrachteten Zentralen eine grosse Steigerung erfahren hat, wurde im zweitletzten Abschnitt der Tabelle versucht, den Einfluss der Bauteuerung in Annäherung so zu eliminieren, dass wenigstens ein in der Grössenordnung mit der Erstausführung Verbano vergleichbarer Durchschnittswert entsteht. Da die Preise für Bauenergie, Zement, Sprengstoffe usw. in der betrachteten Zeitspanne keiner namhaften Zunahme unterworfen waren, wurden zu diesem angenäherten Vergleich 40 % der Baukosten als konstant angenommen und die übrigen 60 % mit dem bei jeder Anlage bekannten effektiven Nettogrundlohn variiert. Dieser behelfsmässige Vergleich zeigt eindeutig die mit dem Bauverfahren und den einfachen Konstruktionsprinzipien erreichte Verminderung der Mittelkosten, welche bei den Zentralen Biasca, Olivone und Bavona noch rund 60 % der bei Verbano erforderlichen Aufwendungen ausmachen. Die etwas höheren Durchschnittskosten der Werke Peccia und Robiei sind eine Folge des höheren Anteils an Beton und Eisenbeton dieser Zentralen. Die Werte der kleinen Zentrale Luzzone fallen wegen des kleinen umbauten Raums von nur rund 4500 m³ aus dem Rahmen.

Im weiteren wurde am Schlusse der Hauptdatentabelle versucht, die zum Vergleich grössenordnungsmässig auf die Ausgangsbasis Verbano umgerechneten spezifischen Zentralenkosten in Franken pro Kilowatt installierter Leistung anzugeben. Für den baulichen Teil wurde der im vorigen Abschnitt erwähnte angenäherte Umrechnungsschlüssel (60 % lohnabhängig, 40 % fest gemäss Ziffer 6.2 der Tabelle) verwendet. Für die elektromechanische Ausrüstung wurde zur generellen Berücksichtigung der Lohn- und Materialpreissteigerung ein Mittel zweier Berechnungsarten eingeführt, nämlich 70 % mit Lohn variierende und 30 % feste Kosten, bzw. 70 % lohnabhängige, 20 % materialabhängige und 10 % feste Kosten (siehe Ziffer 7.1 der Tabelle). Als Lohnbasis wurde der offizielle Lohnindex des Arbeitgeberverbandes schweizerischer Maschinen- und Metallindustrieller und als Materialpreisskala der Grosshandelsindex für Metalle des BIGA verwendet. Abgesehen von den nicht explizit erfassbaren konjunkturellen Preisbildungen, welche bei einzelnen Anlagen besonders auf dem Maschinensektor von Bedeutung waren und dem Hinweis, dass dieser Vergleich u.a. auch einer Beeinflussung durch Gefälle und Ausbaugrösse unterworfen ist, kann eindeutig festgestellt werden, dass im Verlaufe der betrachteten Zeitperiode eine namhafte Verminderung der spezifischen Zentralenkosten pro Kilowatt installierter Leistung möglich war. Diese Erkenntnis stellt einen weitern Beweis dar für die mit der Entwicklung erreichte Rationalisierung im Bau von Kavernenzentralen.

Gesamthaft zeigt sich, dass die bei der Maggia und der Blenio Kraftwerke AG entwickelte Kavernenbauweise

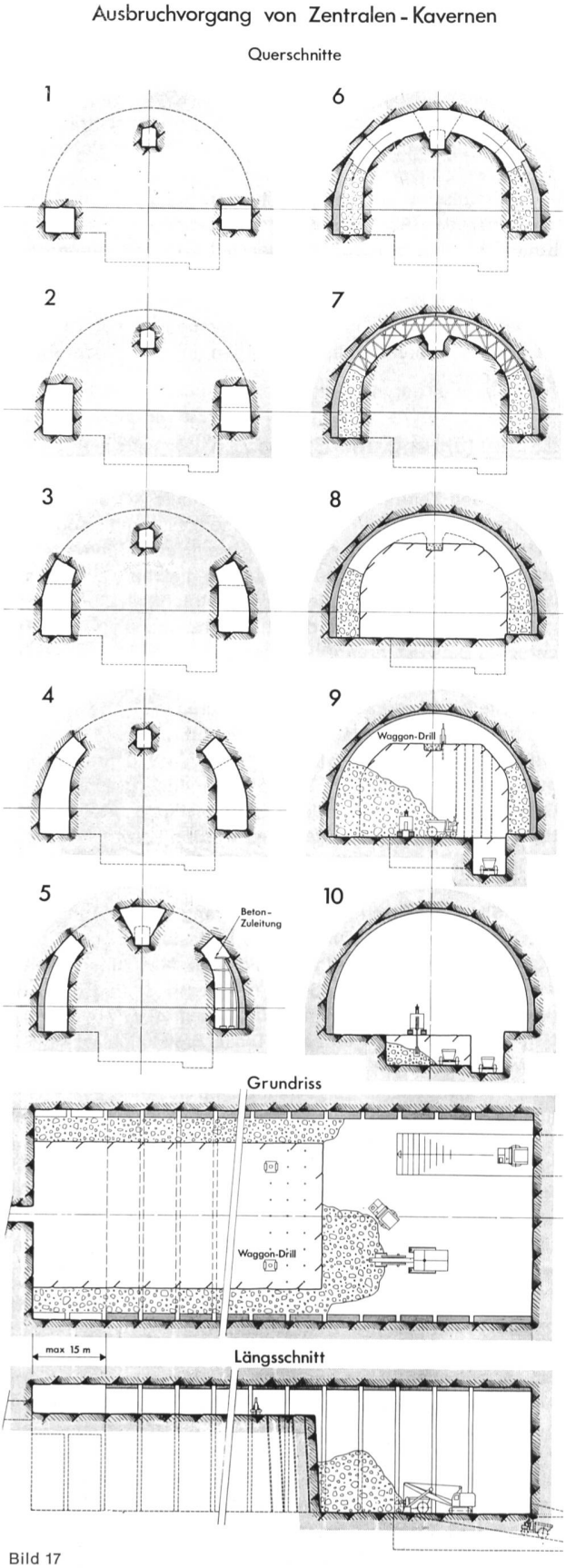
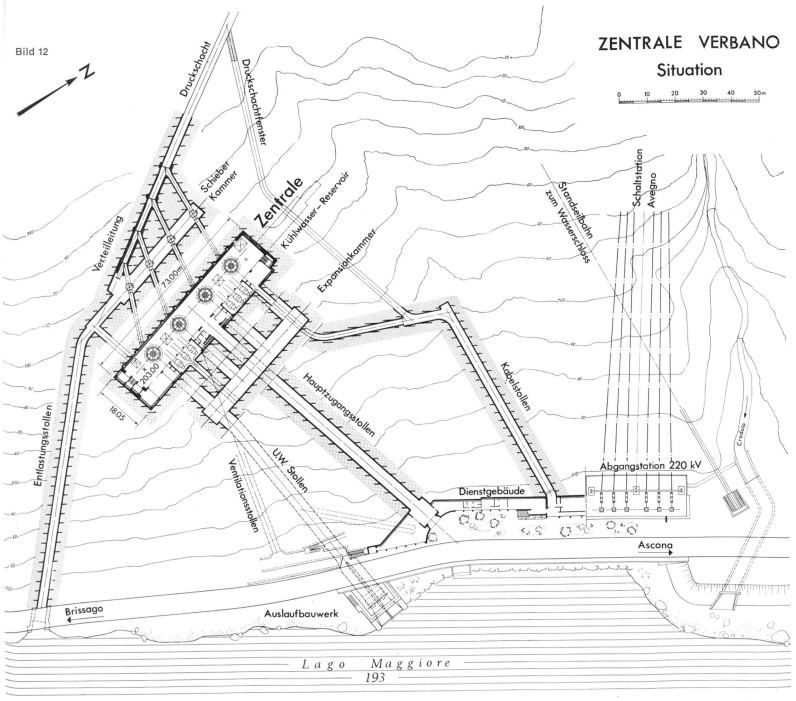


Bild 17

Bild 12



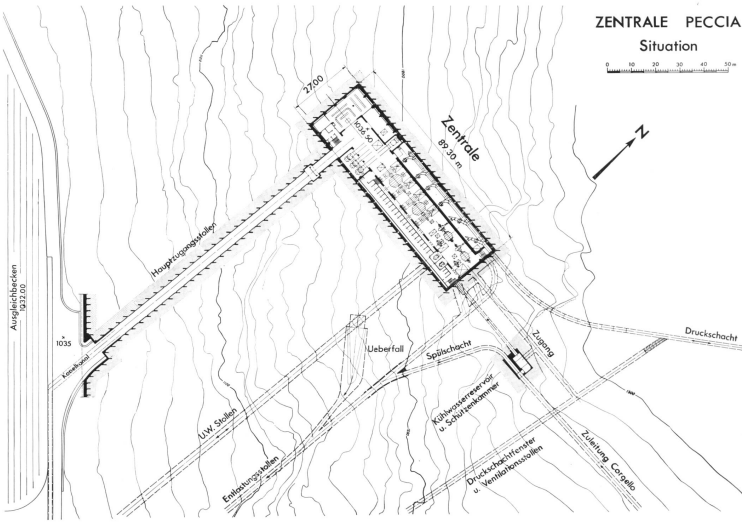


Bild 14

Bild 13

Zentrale Verbano

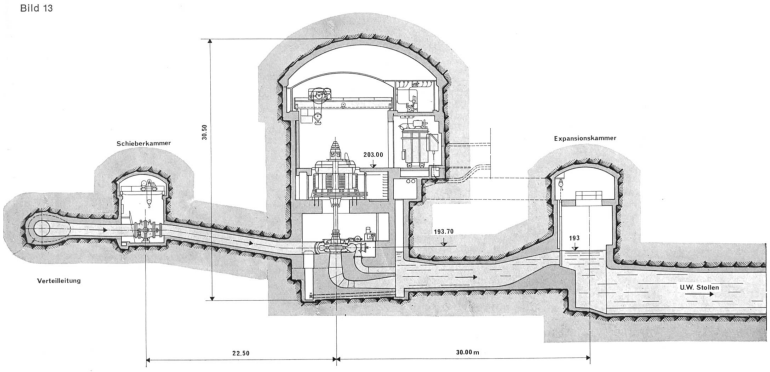


Bild 15

Zentrale Peccia

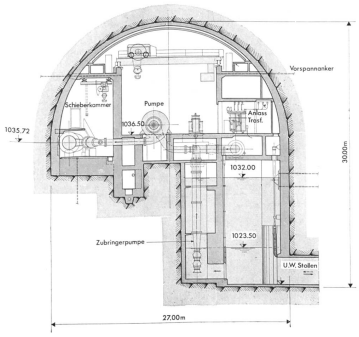


Bild 16

Zentrale Cavergno

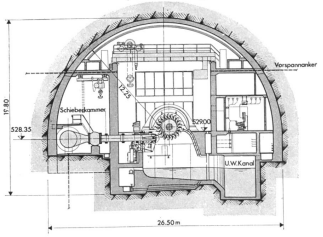


Bild 19

Zentrale Biasca

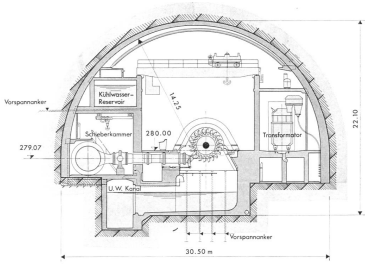


Bild 18

Grundriss Zentrale Biasca

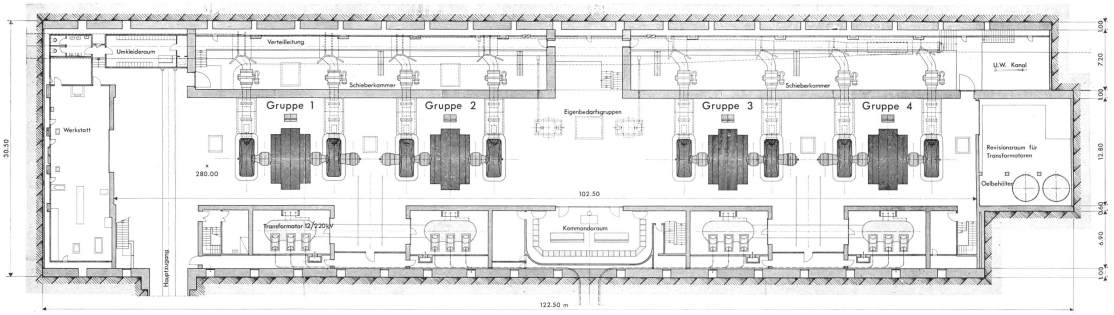


Bild 21

Schaltstation Bavona

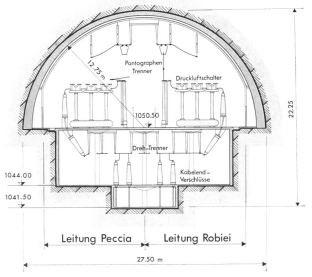


Bild 20

Grundriss Zentrale Bavona

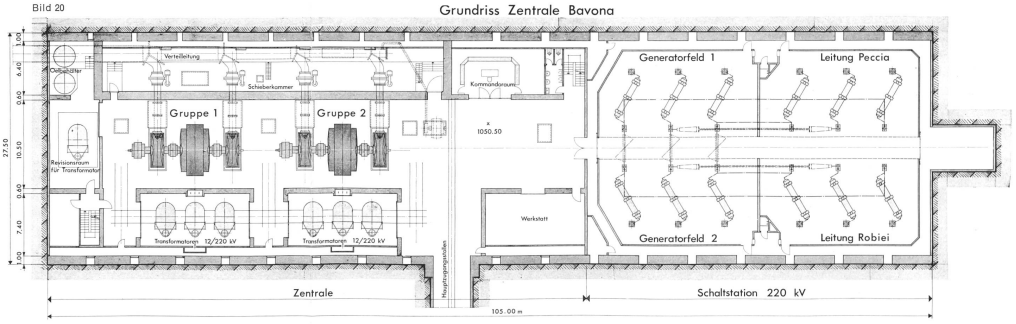


Bild 23

Zentrale Robiei

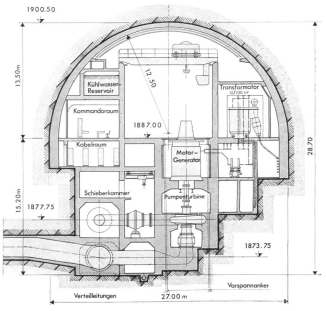
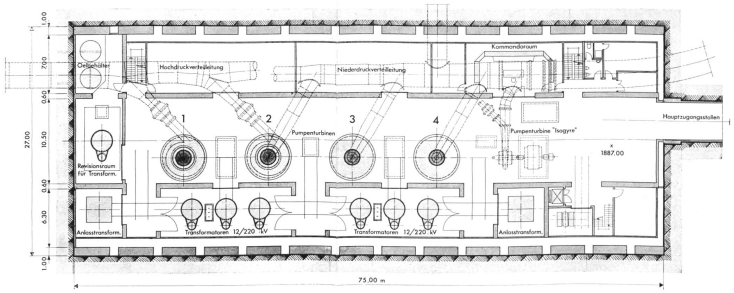


Bild 22

Grundriss Zentrale Robiei



HAUPTDATEN DER KAVERNEN-ZENTRALEN

		Maggia Kraftwerke AG (1. Bauetappe)			Blenio Kraftwerke AG			Maggia Kraftwerke AG (2. Bauetappe)	
		Verbano	Cavergno	Peccia	Biasca	Olivone	Luzzone	Bavona	Robiei
1. Ausrüstung									
1.1 Max. Bruttogefälle	(m)	293	504	425	711	573	187	890	410
1.2 Max. Wassermenge	Turbinen (m³/s)	44	26	14.5	50	20	12	18	48
	Pumpen (m³/s)	—	—	4.5	—	—	—	—	47
1.3 Anzahl Maschinengruppen	Turbinen	4	4	2	4	2	1	2	4+1
	Pumpen	—	—	2	—	—	—	—	4+1
1.4 Nennleistung	Turbinen (MW)	100	110	47	280	92	19	140	170
	Pumpen (MW)	—	—	22	—	—	—	—	158
2. Termine									
2.1 Vergebung der Bauarbeiten		29. 7. 50	19. 7. 52	19. 7. 52	23. 6. 56	13. 4. 59	6. 5. 58	30. 1. 63	20. 12. 63
2.2 Dauer der Ausbruch- und Verkleidungsarb. (Monate)		13½	11	11½	13	9½	3	17	15
2.3 Dauer der Eisenbetonarbeiten	(Monate)	9½	7½	8	8½	10	4½	10	11
2.4 Inbetriebnahme der ersten Maschinengr.		23. 3. 53	13. 6. 55	29. 8. 55	3. 11. 59	25. 5. 62	31. 5. 63	28. 6. 66	9.67
2.5 Inbetriebnahme der letzten Maschinengr.		8. 53	22. 6. 55 (Maschine II)	8. 9. 55	6. 4. 60	25. 5. 62	—	9. 8. 66	3.68
3. Ausbruch									
3.1 Gesamtausbruch Maschinenkaverne	(m³)	34 300	41 850	39 100	59 800	29 060	4 430	42 050	39 100
3.2 Länge	(m)	78.00	100.80	89.30	122.50	70.00	25.50	105.00	75.00
3.3 Breite	(m)	18.80	26.50	27.00	30.50	27.00	12.20	27.50	27.00
3.4 Grösste Höhe	(m)	34.40	22.75	30.00	27.25	23.50	18.50	22.35	28.70
3.5 Mittlerer Ausbruchquerschnitt	(m²)	440	415	440	490	415	175	400	520
4. Beton und Eisenbeton									
4.1 Verkleidung Gewölbe, Stirn- und Längswände	(m³)	5 900	3 400	3 000	4 500	2 200	710	3 000	2 500
4.2 Anteil Verkleidung bezügl. Gesamtausbr.		17,2 %	8,1 %	7,7 %	7,5 %	7,5 %	16,0 %	7,1 %	6,4 %
4.3 Eisenbeton für Tragkonstruktionen	(m³)	7 550	6 500	7 300	9 700	4 650	420	4 450	7 000
4.4 Uebriger Beton für Fussböden usw.	(m³)	650	600	670	500	250	35	600	1 000
4.5 Anteil gesamter Beton bezügl. Ausbruch		41,2 %	25,1 %	28,1 %	24,6 %	24,4 %	26,3 %	19,1 %	26,9 %
4.6 Anteil Beton (ohne Verkleidung 4.1) bezügl. Ausbruch		24,0 %	17,0 %	20,4 %	17,1 %	16,9 %	10,3 %	12,0 %	20,5 %
5. Kosten (Franken)									
5.1 Bauplatzinstallationen (proport. Anteil für Kaverne)		420 000.—	690 000.—	570 000.—	650 000.—	370 000.—	194 000.—	1 070 000.—	1 100 000.—
5.2 Ausbruch einschl. Sicherungs- und Abdichtungsarbeiten per m³ Ausbruch		41.70	22.—	32.20	21.90	25.95	47.50	30.90	34.20
5.3 Verkleidungsbeton per m³ Ausbruch		28.70	9.30	11.60	9.45	11.20	23.35	12.80	11.—
5.4 Uebriger Beton und Eisenbeton einschl. Vorspannanker, per m³ Ausbruch		34.70	41.80	43.50	39.10	44.90	45.75	39.—	59.40
5.5 Rohbau per m³ umbauten Raumes (total 5.2—5.4)		105.10	73.10	87.30	70.45	82.05	116.60	82.70	104.60
5.6 Innenausbau per m³ umbauten Raumes		16.90	19.10	20.70	19.45	26.85	44.—	26.20	29.50
5.7 Total Bauarbeiten (einschl. Install. 5.1)		4 635 000.—	4 550 000.—	4 790 000.—	6 024 000.—	3 534 000.—	906 000.—	5 195 000.—	6 340 000.—
5.8 Total Bauarbeiten p. m³ umbauten Raumes		135.20	108.70	122.50	100.75	121.65	204.45	134.40	162.30
6. Kostenvergleich (Fr.) mit Einbezug der Teuerung									
6.1 Durchschnittlicher Netto-Grundlohn/Std.		2.36	2.42	2.45	2.77	3.72		4.65	5.—
6.2 Netto-Grundlohn-Index (aus 6.1)		100 %	102.5 %	104 %	117,5 %	157,5 %		197 %	212 %
6.3 Rohbau per m³ umbauten Raumes (5.5); Lohnanteil von 60 %, dem Index (6.2) entsprechend, auf Basis Verbano umgerechnet		105.10	72.05	85.55	64.—	64.—		58.30	71.50
6.4 Total Bauarbeiten per m³ umbauten Raumes; Lohnanteil von 60 % dem Index (6.2) entsprechend auf Basis Verbano umgerechnet		135.20	107.20	119.70	90.75	95.20		94.80	111.—
7. Zentralenkosten pro kW installierter Leistung in Franken, mit Einbezug der Teuerung, auf Basis Verbano umgerechnet									
7.1 Durchschnittlicher Kostenindex elektro-mechanischer Teil		100 %	104 %	106 %	124 %	133 %		170%*	181 %
7.2 Baulicher Teil; bezüglich Turbinen		102.—	74.—		36.—	57.—		49.—*	62.—
bezüglich Turbinen und Pumpen		—	—	123.—	—	—		—	32.—
7.3 Elektro-mechanischer Teil; bezüglich Turbinen		161.—	136.—		72.—	114.—		79.—*	76.—
bezüglich Turbinen und Pumpen		—	—	180.—	—	—		—	40.—
7.4 Total (7.2+7.3); bezüglich Turbinen		263.—	210.—		108.—	171.—		128.—*	138.—
bezüglich Turbinen und Pumpen		—	—	303.—	—	—		—	72.—

* ohne unterirdische Schaltstation

zu wirtschaftlichen Durchschnittspreisen führt, welche nicht grösser sind, als bei Zentralenbauten im Freien. Durch die mit dem Bauvorgang verbundene vielseitige Risikobeschränkung können Kosten- und Zeitaufwand auch bei unvorhergesehenen Erschwernissen innerhalb vernünftiger Grenzen gehalten werden.

Die Gesamtkosten des baulichen und elektromechanischen Teils der betrachteten Zentralen sind in nebenstehender Tabelle zusammengefasst.

Die Aufwendungen für die Zentralen machen im Falle der MKW und der Blenio AG nahezu 20 % der Gesamtkosten beider Werkgruppen aus. Generell kann somit gesagt werden, dass die spezifischen Gesamtkosten pro Kilowatt installierter Leistung etwa den fünffachen Betrag der im Abschnitt 7 der Tabelle reproduzierten Zahlenwerte der spezifischen Zentralenkosten erreichen.

	baulicher Teil	elektro-mech. Teil	Gesamte Zentralen-kosten
	Mio Fr.	Mio Fr.	Mio Fr.
Verbano (mit Vorgebäude und Vorplatz)	10,2	16,1	26,3
Cavergno	8,3	15,5	23,8
Peccia	8,7	13,1	21,8
Biasca	11,0	24,9	35,9
Olivone	6,8	13,9	20,7
Luzzone	2,2	3,7	5,9
Bavona (einschliesslich unterirdische Schaltstation)	11,2	20,8	32,0
Robiei	15,3	23,5	38,8
Alle Zentralen der MKW und Blenio AG	73,7	131,5	205,2

Weitere Aufgaben beim Bau von Kavernenzentralen

Der Bau von Kavernenzentralen bringt einige zusätzliche Aufgaben mit sich, die im Rahmen dieses Beitrages nur stichwortartig erwähnt werden können. Es handelt sich dabei vornehmlich um Probleme, welche mit dem Wohlbefinden des Betriebspersonals in unterirdischen Räumen in Zusammenhang stehen und für die Betriebssicherheit und Lebensdauer der Apparaturen günstige Bedingungen schaffen, nämlich:

— Ausrüstung mit wirksamen Klimaanlagen, welche befähigt sein müssen, stark abweichende und zum Teil extreme Betriebsbedingungen verschiedener Räume und Arbeitsstellen zu erfüllen.
— Wahl geeigneter Beleuchtungseinrichtungen.
— Schalldämpfungsmassnahmen zur Verminderung der Resonanzerscheinungen rotierender Maschinen.
— Anwendung dauerhafter und wenig Unterhalt erfordernder Bodenbeläge in den verschiedenen Diensträumen.
— Auswahl geeigneter Schutzanstriche und harmonischer Deckfarben auf Sichtflächen.
— Architektonische Innenraumgestaltung.

Bei jeder Neuanlage waren diese Probleme Gegenstand besonderer, umfangreicher Studien unter Beachtung früherer Erfahrungen sowie allfälliger neuer Mittel.

Fernsteuerung

Es mag noch von Interesse sein, auf ein Betriebsproblem grosser Werkgruppen hinzuweisen. In den nächsten Jahren soll die Fernsteuerung sämtlicher Zentralen, Schaltstationen und abgehenden Leitungen der Maggia- und Bleniowerke aus einem einzigen Fernsteuerzentrum Locarno in Etappen verwirklicht werden. Zu diesem Schritt veranlassten nicht etwa Ueberlegungen, welche mit dem längeren Aufenthalt von Personen in unterirdischen Räumen in Verbindung stehen. Mit den erwähnten Vorkehren der Klimatisierung, der Beleuchtung und der Schallbekämpfung konnte ein Arbeitsklima geschaffen werden, das sich von den Bedingungen aussenstehender Zentralen nicht unterscheidet. Es waren hiezu vor allem Gründe der Rationalisierung des Betriebes, sowie der Ueberwachung, Kontrolle, Lastverteilung und Netzeinspeisung der verschiedenen Produktionszentren massgebend. Nicht unwesentlich hat auch die zunehmende Erschwernis zur Ansiedlung geschulten Personals in abgelegenen Berggebieten zum Entschluss der Fernsteuerung beigetragen.

Der vorliegende Beitrag zur Entwicklung von Kavernenbauten erhebt in keiner Weise Anspruch auf Vollständigkeit; im Rahmen des verfügbaren Platzes war es lediglich möglich, zu einzelnen Problemen die zum nähern Verständnis erforderlichen Hinweise zu geben. Zum Schluss darf noch darauf hingewiesen werden, dass der beim Bau der Maggia- und der Blenio-Kraftwerke entwickelte Zentralentypus in der Folge bereits auch in anderen Kraftwerken des In- und Auslandes zur Anwendung gelangte, was einer Anerkennung der verfolgten Konstruktions- und Ausführungsprinzipien gleichkommt.

BESUCH DES RHEINKRAFTWERKS SÄCKINGEN

DK 621.221 (282.243.1)

Anlässlich einer Vorstandssitzung des Aargauischen Wasserwirtschaftsverbandes, die am 5. Juni 1967 vormittags in Stein/Säckingen unter dem Vorsitz von a. Regierungsrat Dr. P. Hausherr (Bremgarten) stattfand und sich mit verschiedenen wasserwirtschaftlichen Fragen — vor allem im Hinblick auf den in unserem Lande besonders stark forcierten Bau von Kernkraftwerken — befasste, hatten die Vorstandsmitglieder die Gelegenheit, am Nachmittag das vor der Vollendung stehende Rheinkraftwerk Säckingen zu besuchen. Es handelt sich um ein deutsch-schweizerisches Unternehmen, an dem die beiden Uferstaaten mit je 50% beteiligt sind (NOK mit 25%, AEW mit 25% und das Badenwerk mit 50%)[1]. Die ausgezeichnete Führung des Kraftwerkbesuchs lag bei Obering. G. Gysel, Vizedirektor der NOK.

Schon auf dem Hinmarsch von Stein bis zum Kraftwerk, dem Ufer des zurzeit abflussreichen Rheins entlang, sah man

1) Ausführliche Beschreibung siehe auch WEW 1962 S. 215/221