Das Aare-Kraftwerk Flumenthal

Autor(en): **Vischer, D. / Fischer, P.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **61 (1969)**

Heft 7-8

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-921571

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

DAS AARE-KRAFTWERK FLUMENTHAL

D. Vischer, Dr.-Ing., und P. Fischer, Dipl.-Ing., Motor-Columbus AG, Baden

DK 621.221

Das in Ausführung befindliche Aarekraftwerk Flumenthal ist aus dem Zusammenwirken zweier verschiedener Bestrebungen hervorgegangen. Einerseits plante die II. Juragewässerkorrektion (II. JGK) eine Verbesserung der Abflussverhältnisse in der Aare von Port bis Wangen, und andererseits interessierten sich die Behörden und die Kraftwerkunternehmen[1] für eine Nutzung der Wasserkräfte von Solothurn bis Wynau. Die Ueberschneidung dieser Bestrebungen auf der Strecke Solothurn—Wangen führte deshalb zu einem von beiden Seiten geförderten Gemeinschaftsprojekt, wobei folgende Arbeitsteilung vereinbart wurde:

Die II. JGK übernimmt alle Arbeiten flussaufwärts der Emmemündung, mit Ausnahme der Anpassung der bestehenden Drainagen im Raume Grenchen — Solothurn; dem Kraftwerkunternehmen obliegen neben dieser Anpassung sämtliche Arbeiten an der Emmemündung und flussabwärts derselben.

Da die Arbeiten der II. JGK schon verschiedentlich und auch in diesem Heft ausführlich zur Darstellung gelangten[2], wird im folgenden nur auf die Arbeiten des Kraftwerkunternehmens eingegangen.

[1] Motor-Columbus AG: Projekt für ein Aarekraftwerk Luterbach, zu Handen der Gesellschaft des Aare- und Emmenkanals, 1946.
Gicot H., Juillard H.: Expertise zum Ausbau der Wasserkräfte der Aare zwischen Solothurn und Wynau, zu Handen des solothurnischen Regierungsrates und der bernischen Baudirektion, 1959.

[2] Müller R.: Die II. Juragewässerkorrektion, Juni 1959 (nebst anderen Veröffentlichungen)

1. Allgemeine Anordnung

Das Kraftwerk Flumenthal ist als Flusskraftwerk (im Gegensatz zu einem Kanalkraftwerk) konzipiert. Bei der Wahl der Sperrstelle, das heisst des Standortes des Wehres und des Maschinenhauses, wurden sowohl geologische wie geographische Gesichtspunkte berücksichtigt: Einmal wurde eine Stelle gewählt, wo die Bauten in wirtschaftlich erreichbarer Tiefe auf Fels (Molasse) gegründet werden können. Dann wurde darauf geachtet, dass sich die Anlagen organisch in die Umgebung einfügen lassen. Diese Umgebung ist dadurch gekennzeichnet, dass ein von der Cellulosefabrik Attisholz (CFA) und dem Kraftwerk der Gesellschaft des Aare- und Emmenkanals (AEK) geprägtes Industriegebiet beim sogenannten Wilihof in die weiten, landwirtschaftlich genutzten Ebenen von Flumenthal und Deitingen übergeht. Im Hinblick auf eine sinnvolle Landschaftsgestaltung war es naheliegend, die Kraftwerkanlagen beim Wilihof anzuordnen. Nach verschiedenen Untersuchungen erwies sich dort eine Stelle, die unmittelbar nördlich des bisherigen Aarelaufes liegt, am günstigsten. Das Wehr und das Maschinenhaus wurden also gleichsam «an Land» erstellt und erst nachher von der entsprechend korrigierten Aare durchströmt.

Das an der Sperrstelle nutzbare Gefälle beträgt bei einer Mittelwasserführung der Aare von 270 m³/s rund 8 m. Davon wird — und dies ist für das Kraftwerk Flumenthal charakteristisch — nicht einmal die Hälfte durch Aufstau erzeugt; der Hauptanteil resultiert aus einer Absenkung des Unterwassers. Für die jeweiligen Betriebswasserspiegel bei der

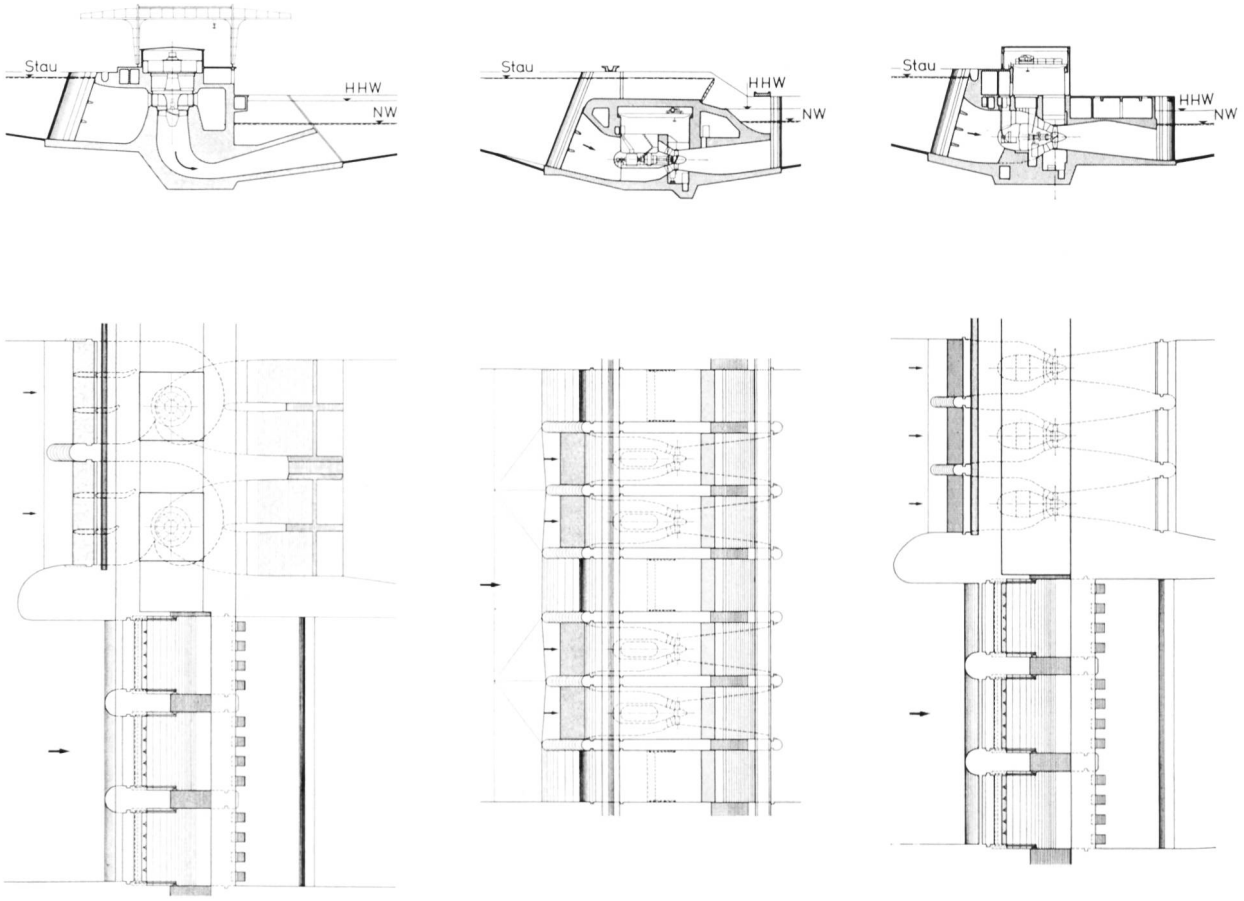


Bild 1 Querschnitte und Grundrisse der untersuchten Kraftwerkvarianten. Links: Flachbauweise mit zwei Kaplanturbinen. Mitte: Unterwasserbauweise mit vier Rohrturbinen. Rechts: Hochbauweise mit drei Rohrturbinen.

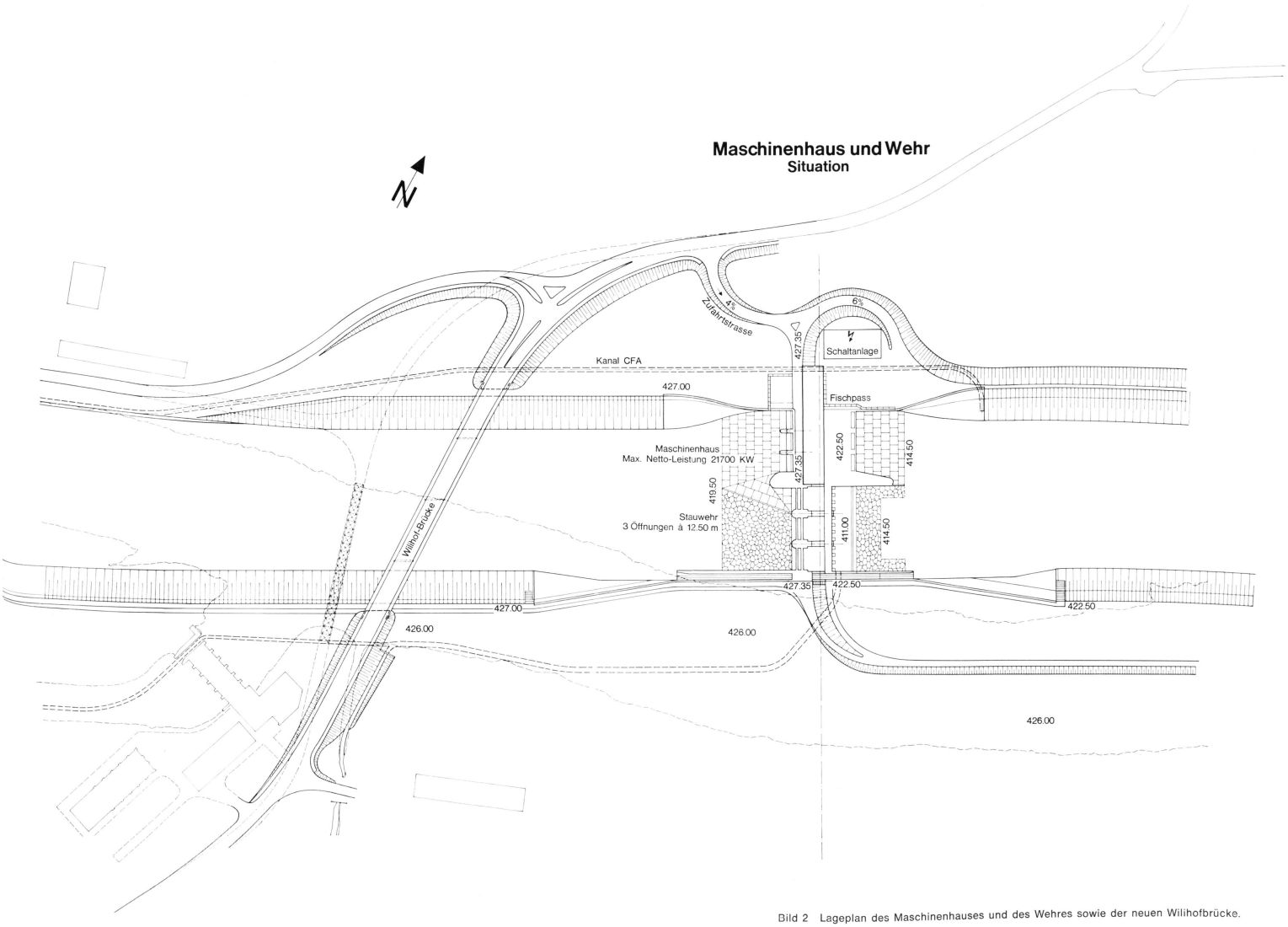


Bild 2 Lageplan des Maschinenhauses und des Wehres sowie der neuen Wilihofbrücke.
Der neue Aarelauf schneidet eine leichte Auslenkung des alten ab.

Bild 3
Querschnitt durch das Maschinenhaus.
Horizontalachsige Rohrturbine
mit direkt angetriebenem Generator.

Maschinenhaus
Querschnitt

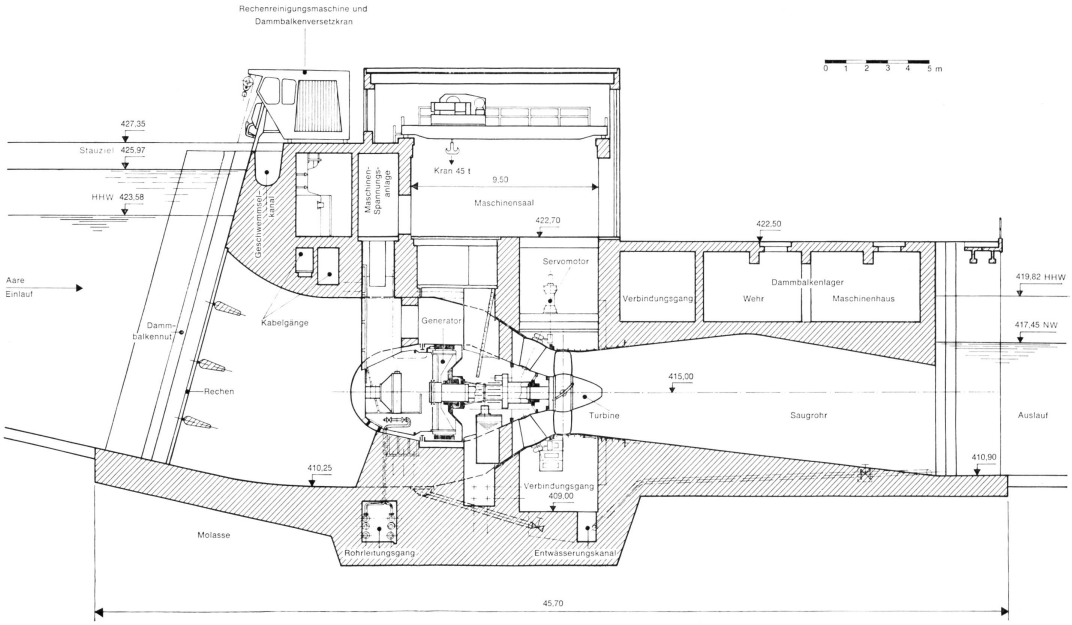


Bild 4
Querschnitt durch das Stauwehr.
Oelhydraulisch angetriebene
Segmentschütze
mit aufgesetzter Klappe.

Wehr
Querschnitt

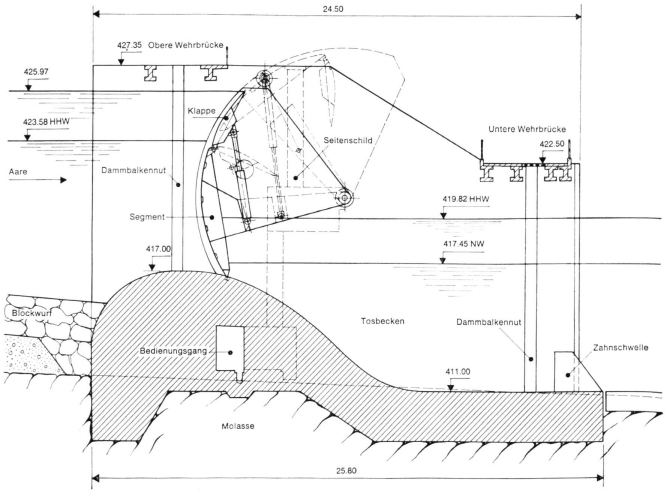
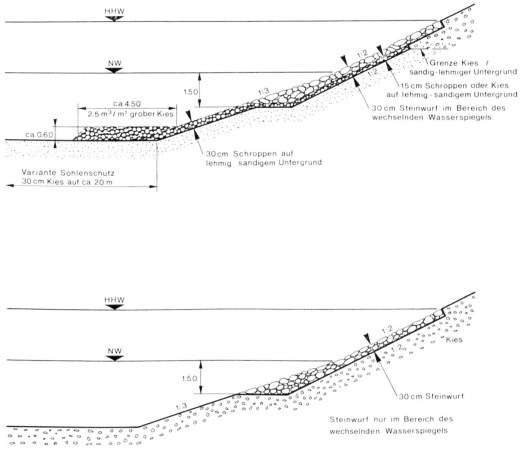


Bild 5 Anordnung des Uferschutzes. Oben: Stein- und Schroppenwurf in sandig-lehmigen Strecken. Unten: Steinwurf in kiesigen Strecken (nur an Aussenkurven).



Sperrstelle ist massgebend, dass sowohl in Solothurn bei der Rötibrücke wie in Wangen bei der Holzbrücke dauernd eine fixe Staukote eingehalten werden muss; die Regulierung in Wangen besorgt naturgemäss das neue unterliegende, zur Zeit ebenfalls im Bau stehende Kraftwerk Bannwil.

Trotz des verhältnismässig geringen Aufstaus erstreckt sich die Stauhaltung des Kraftwerkes Flumenthal bis zum 34 km entfernten Wehr Port. Dort befindet sich deshalb — unabhängig von der eingangs erwähnten Arbeitsteilung mit der II. JGK — die obere Konzessionsgrenze. Die untere liegt rund 1 km flussaufwärts der Holzbrücke in Wangen, so dass die Konzessionsstrecke insgesamt 38 km misst. Sie berührt sowohl solothurnisches wie bernisches Gebiet, und die entsprechenden Gefällsanteile verhalten sich wie 62,1 zu 37,9 %. Als Konzessionärin zeichnet deshalb die solothurnische Unternehmung Aare-Tessin AG (ATEL), die das Kraftwerk erstellt und betreibt, wobei sich die Bernische Kraftwerke AG (BKW) gemäss dem bernischen Gefällsanteil an den Kosten und der Produktion beteiligt.

Produktionsziffern des Kraftwerkes

Ausbauwasserführung	350 m^3/s
Entsprechendes Nutzgefälle	7,6 m
Maximale Leistung	21 700 kW
Durchschnittsproduktion:	
Sommerenergie	78,0 Mio kWh
Winterenergie	61,9 Mio kWh
Jahresenergie brutto	139,9 Mio kWh
Ersatzenergie	3,7 Mio kWh
Jahresenergie netto	136,2 Mio kWh

Die Ersatzenergie muss geleistet werden, weil das 1894 in Betrieb genommene Kraftwerk der AEK durch den neuen Kraftwerkbau hinfällig wird und das Kraftwerk Luterbach der Vereinigten Kammgarnspinnereien Derendingen Einstauverluste erleidet.

2. Wahl einer Rohrturbinenanlage

Bei den Vorstudien zum 1961 eingereichten Konzessionsprojekt des Kraftwerkes Flumenthal stellte sich naturgemäss die Frage, ob die Kraftnutzung mit Kaplan- oder mit Rohrturbinen zu bewerkstelligen sei. Da die Antwort nicht ohne weiteres auf der Hand lag, war es notwendig, beide Möglichkeiten näher zu untersuchen, was zu den in Bild 1 umrissenen Vorprojekten führte.

Als Variante mit Kaplanturbinen wurde eine Anlage mit zwei Gruppen in der sogenannten Flach- oder Deckelbauweise vorgesehen. Bei dieser tritt an die Stelle eines hohen Maschinensaals mit schwerem Innenkran ein niedriger Raum mit Deckenöffnungen und darüberlaufendem Portalkran[3]. Die Deckenöffnungen, die dabei über jeder Gruppe sowie über dem Montageplatz angeordnet sind, erhalten als Abschluss je ein seitlich ausfahrbares Schiebedach.

Als Variante mit Rohrturbinen stand ein sogenanntes Unterwasserkraftwerk mit vier Gruppen im Vordergrund. Ein solches zeichnet sich dadurch aus, dass das Wehr und das Maschinenhaus auf raumsparende Weise miteinander kombiniert sind. Nach aussen tritt gewissermassen nur das Wehr mit einer Reihe von Stauklappen in Erscheinung, wäh-

[3]) Schweizerische Beispiele: Kraftwerke Säckingen und Schaffhausen am Rhein

Bild 6 Flugaufnahme der Baustelle für Maschinenhaus und Wehr. Bauzustand Juni 1968.

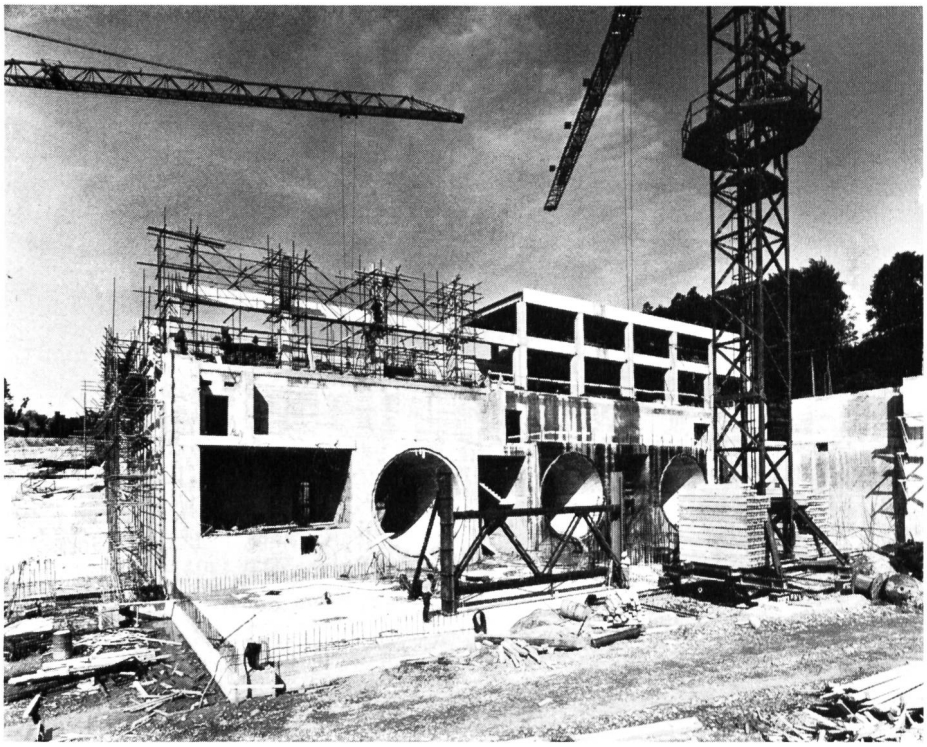


Bild 7
Ansicht des Maschinenhauses von Unterwasser.
Bauzustand Juli 1968.

rend das Maschinenhaus — etwas übertrieben formuliert — in der darunterliegenden Schwelle ausgespart ist und darum unsichtbar bleibt. Zur Verstärkung des Entlastungsvermögens der Stauklappen sind zwischen den Gruppen grosse Grundablässe angeordnet.

Die Gegenüberstellung dieser beiden Varianten ergab eine eindeutige Ueberlegenheit der Rohrturbinenanlage. Die entsprechenden Gesamtkosten für das Maschinenhaus und das Wehr waren um rund 12 Prozent tiefer als bei der Kaplanturbinenanlage. Dies rührte im wesentlichen daher, dass die projektierte Kaplanturbinenanlage zusammen mit dem konventionell gestalteten Wehr eine grössere Breitenentwicklung aufwies, weshalb sie aufwendigere Bauten erfordert hätte. Von entscheidender Bedeutung waren beim Vergleich nicht nur die Betonkubaturen, sondern auch die Aushubkubaturen. Wie bereits erwähnt, war mit der Erstellung des Kraftwerkes ja eine Verlegung der Aare verbunden, die natürlich um so billiger ausfallen musste, je schmaler das neue Gerinne gehalten werden konnte. Zudem bestand der tragfähige Untergrund aus einer quer zum Fluss abfallenden Molassebank, was eine gedrängte Bauweise begünstigte. Wohl standen den baulichen Mehraufwendungen für die Kaplanturbinenanlage gewisse Einsparungen bei den Maschinengruppen gegenüber. Sie wurden jedoch durch den hohen, schweren und darum kostspieligen Portalkran beinahe aufgewogen.

Dem Konzessionsprojekt 1961 wurde demnach die überflutbare Rohrturbinenanlage zugrunde gelegt. Die Ueberfallschwelle und damit die Oberkante des Maschinenhausdaches war dabei 4,0 m unter dem Stauziel vorgesehen. Als die Behörden im Zuge der Konzessionsverhandlungen jedoch eine Absenkung des Stauspiegels bei Hochwasser bis zu 2,5 m verlangten, musste diese Konzeption überprüft werden. Es bestand die Möglichkeit, entweder die Ueberfallschwelle tiefer anzuordnen und damit den gesamten Bau tiefer zu gründen oder — was schliesslich beschlossen wurde — das Prinzip der Ueberflutbarkeit aufzugeben. Für das letztere sprach auch der Umstand, dass die inzwischen vorangeschrittene Entwicklung der Rohrturbinen den Einbau eines Uebersetzungsgetriebes zwischen Turbinen und Generatoren überflüssig machte, sofern die Gruppen eine gewisse Grösse aufwiesen. Dieses Mass konnte durch die Wahl von drei statt vier Gruppen und dank der Erhöhung der Ausbauwassermenge von total 320 auf 350 m^3/s auf wirtschaftliche Weise erreicht werden. Die drei umfangreicheren Gruppen wurden deshalb in einem das Stauziel leicht überragenden Maschinenhaus zusammengefasst, während die Hochwasserentlastungsanlagen einem getrennt danebenstehenden Wehr zugewiesen wurden.

3. Das Projekt

3.1 DAS STAUGEBIET

Wie bereits erwähnt, ist das Stauregime dadurch gekennzeichnet, dass in Solothurn dauernd die gleiche Spiegelkote eingehalten werden muss. Der entsprechende Kontrollpegel wird damit gleichsam zum Pivot, um den sich die Aarespiegel ober- und unterhalb Solothurns drehen. Zwischen Solothurn und der Sperrstelle liegen also die Aarespiegel bei Niederwasser paradoxerweise höher als bei Hochwasser. Dies schafft insbesondere für die einmündende Emme völlig neue Vorflutverhältnisse. So wird der untere Emmelauf bei Nieder- und Mittelwasserführung der Aare auf einer Strecke von 0,5 km eingestaut, und die entsprechende Strömung somit verzögert, während bei Hochwasserführung eine Beschleunigung entsteht. Bei Geschiebetrieb besteht im ersten Fall also die Gefahr einer Auflandung der Emmesohle, im zweiten Fall diejenige einer Erosion. Um beiden Gefahren zu begegnen und namentlich den Eintritt von Emmegeschiebe in die Aare zu unterbinden, wurden auf der betroffenen Emmestrecke ein Kiesfang und eine Absturzschwelle eingebaut. Deren günstigste Formgebung wurde von der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH (VAWE) anhand eines Modells ermittelt.

Gleichsam in Fortsetzung der flussbaulichen Arbeiten der II. JGK zwischen Port und Emmenholz muss das Aarebett zwischen der Emmemündung und der Sperrstelle vertieft und verbreitert werden, wobei als Uferschutz ein Blockwurf aus Jurakalkstein vorgesehen ist. Das angrenzende Ufergelände, das fast vollständig von den Anlagen der CFA belegt ist, wurde wie folgt an die neuen Gegebenheiten an-

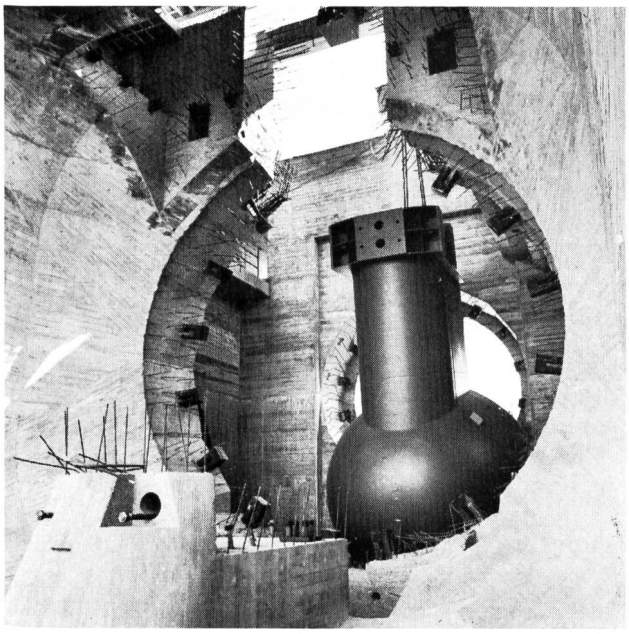


Bild 8 Einbau des Turbinengehäuses. Die Kalotte mit Einstiegschacht wird auf den im Vordergrund sichtbaren Pfeiler gesetzt. Ansicht von Oberwasser.

gepasst: Am linken Ufer verhindert ein 1,6 km langer Dichtungsschirm aus Spundbohlen und Betonwänden eine Infiltration der Aare in das verhältnismässig tiefliegende Fabrikareal. Damit dieses Areal in bezug auf den Aarestau nicht in einem Polder liegt, wurde das gesamte, dort bisher direkt in die Aare abgegebene Industrieabwasser gefasst und in einem landseitig des Dichtungsschirms erstellten Betonkanal ins Unterwasser des Kraftwerkes abgeleitet. Für die Reinigung der im Maximum 7,5 m³/s erreichenden Menge wurde von der CFA eine mechanische Kläranlage erstellt, die später durch eine chemisch-biologische ergänzt werden soll. Am rechten Ufer liegt das unmittelbar angrenzende Gelände im wesentlichen über dem Aarestau und bedurfte deshalb keines besonderen Schutzes. Somit mussten nur die entfernteren Holz- und Schnitzellagerplätze der CFA mit einem Entwässerungskanal, der grob dem bisherigen Kanal des alten AEK-Werkes folgt, gegen die Infiltrationen aus der gestauten Aare abgesichert werden.

Zwischen der Emmemündung und der Sperrstelle führen drei Brücken über die Aare: die Rohrbrücke (zur pneumatischen Holzschnitzelförderung) und die Eisenbahnbrücke der CFA sowie die öffentliche Strassenbrücke beim Wilihof. Die erstere wurde erst kürzlich erstellt und deshalb bereits auf das Kraftwerkprojekt abgestimmt. Die beiden andern, die aus dem letzten Jahrhundert stammen, mussten hingegen angepasst werden. So wurde bei der Eisenbahnbrücke ein Feld der Fachwerkkonstruktion durch niedrige Vollwandträger ersetzt, um der Kleinschiffahrt auch bei aufgestauter Aare eine unbehinderte Durchfahrt zu ermöglichen. Dann hätte an sich die alte Strassenbrücke versetzt, gehoben und verlängert werden sollen. Da sie jedoch bezüglich Fahrbahnbreite und Belastbarkeit den heutigen Verkehrsanforderungen nicht mehr genügte, benutzte der Kanton die Gelegenheit, sie mit einem Beitrag der ATEL durch eine moderne Spannbetonkonstruktion abzulösen.

3.2 SPERRSTELLE

Das Stauwehr

Das, wie bereits erwähnt, rechts an das Maschinenhaus anschliessende Stauwehr besitzt drei Oeffnungen von 12,50 m Breite und 9,00 m Durchflusshöhe. Es ist gemäss den heute allgemein üblichen Vorschriften derart bemessen, dass es auch bei einer geschlossenen Oeffnung das in Flumenthal zu erwartende Höchsthochwasser von 850 m³/s abzuführen vermag; der entsprechende Nachweis wurde an einem Modell im Massstab 1:35 durch die VAWE erbracht. Als bewegliche Abschlussorgane dienen drei Segmentschützen mit aufgesetzten Klappen, die durch Oeldruckpressen angetrieben werden. Auf die Segmentschützen wirken je zwei hinter den Seitenschildern angeordnete Zugpressen und auf die Klappe je eine Stosspresse. Der Oeldruck von maximal 350 atü wird von je einer Kolbenpumpe pro Oeffnung erzeugt, welche zusammen mit den hydraulischen und elektrischen Steuereinrichtungen im Trennpfeiler untergebracht ist. Die zugehörigen Oel-, Schmier- und Steuerleitungen führen durch den Wehrgang. Die Steuerbefehle werden im Normalfall von der automatischen Niveauregelung gegeben,

Bild 9 Turbinenmontage. Laufrad ohne Haube und obere Mantelhälfte; Mauerring am Uebergang zum Saugschlauch (vor dem Eingiessen). Ansicht von Unterwasser.

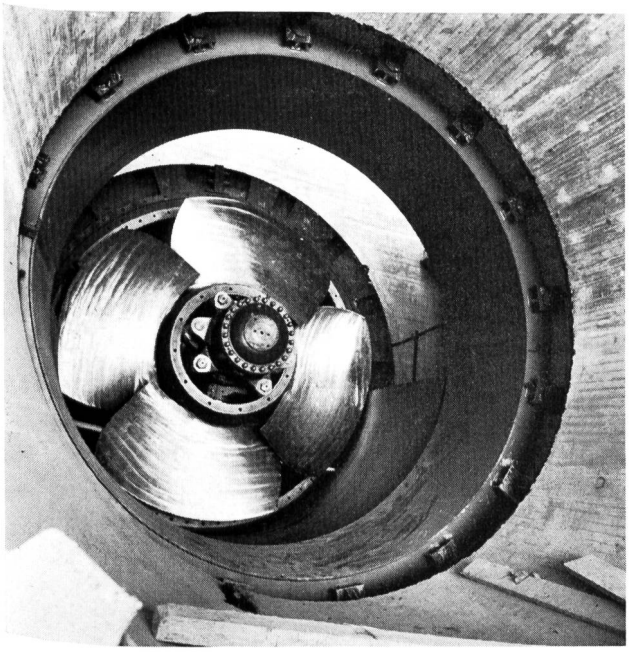
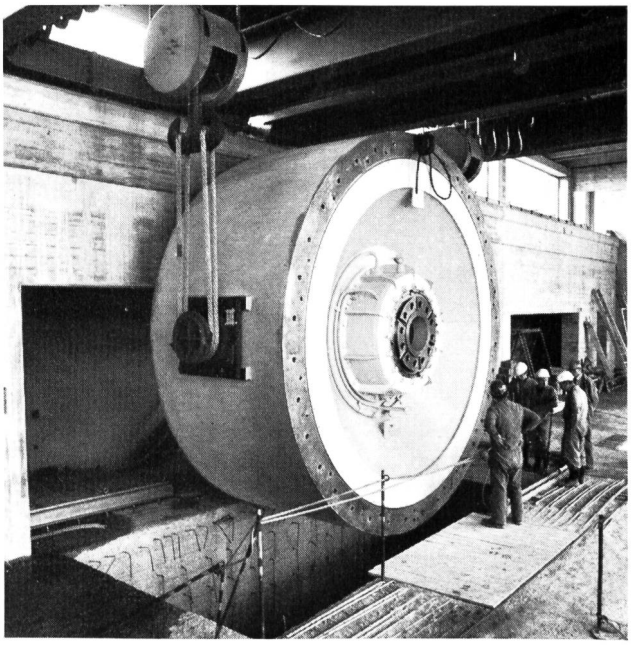


Bild 10 Generatormontage. Stator und Rotor werden als Ganzes eingebaut. Ansicht von Unterwasser.



die auf eine möglichst strikte Einhaltung des vorgeschriebenen Stauziels in Solothurn ausgerichtet ist. Die Hub- und Senkgeschwindigkeiten der Segmentschützen betragen 16,2 cm/min, jene der Klappen 40 cm/min, an der Kante gemessen. Für allfällige Revisionen steht ein Satz von Dammbalken zur Verfügung; die aus einem verschweissten Faltwerk bestehenden Elemente lassen sich mittels eines auf der obern und untern Wehrbrücke laufenden Hilfkrans in die hiefür ausgesparten Nuten einsetzen.

Das Maschinenhaus

Das Maschinenhaus umfasst drei Rohrturbinengruppen mit den zugehörigen, in Block geschalteten Transformatoren

3 Rohrturbinen:	Laufraddurchmesser	4,20 m
	Schluckvermögen	je 116,7 m^3/s
	Leistung	je 10 600 PS
	Drehzahl	107,1 U/min
3 Dreiphasengeneratoren:	Leistung (bei Cosphi 0,79)	je 9 500 kVA
	Spannung	4,25 kV
3 Transformatoren:	Leistung	je 9 500 kVA
	Uebersetzung	4,25/50 kV

Die Turbinen im weitern Sinne bestehen aus einem betonierten Einlauf, dem horizontalachsigen Laufrad mit vorgesetztem Leitapparat und dem ebenfalls betonierten Saugrohr. Lager und hydraulische Reguliereinrichtung sind zusammen mit dem direkt gekuppelten Generator im tropfenförmigen Stahlgehäuse (bulbe) untergebracht. Dieses umströmte Gehäuse ist mit zwei kräftigen Rippen, welche die beiden Einstiege enthalten, in das Maschinenhausfundament eingebunden. Für die gewählte Konzeption ist charakteristisch, dass der Statormantel Bestandteil der Gehäusewand ist und dass die Schirmbauweise eine klare Aufteilung in einen Turbinen- und einen Generatorraum ergibt.

Für Montage- und Revisionsarbeiten der Maschinengruppen stehen zwei Brückenkrane von je 45 t Tragkraft zur Verfügung. Kleinere Stücke, wie Stopfbüchsenlager- und Steuerungsteile sowie Gebläse, Kühler und einzelne Rotorpole können durch die beiden Einstiegschächte ein- und ausgefahren werden. Der Ein- und Ausbau der Generatoren und der Turbinen erfolgt dagegen durch zwei besondere Montageschächte bei entleertem Einlauf und Saugrohr. Als provisorischer Abschluss dient, ähnlich wie beim Wehr, ein Satz von Ober- und Unterwasserdammbalken.

Die zu den Gruppen gehörigen Schalttafeln sowie die Maschinenspannungsanlage und die Transformatoren befinden sich neben dem Maschinensaal in ihrer unmittelbaren Nähe, während die Hilfseinrichtungen wie die Eigenbedarfsanlagen, Druckluftanlagen, diverse Pumpanlagen, usw., die auch dem Wehr dienen, im Trennpfeiler untergebracht sind. Dadurch, dass auf eine möglichst funktionelle Gliederung des Maschinenhauses geachtet wurde, konnten alle Verbindungen sehr kurz gehalten werden.

Weil das Kraftwerk nicht permanent besetzt sein soll, wurde auf ein umfangreiches Dienstgebäude verzichtet. Die landseitige Verlängerung des Maschinensaales enthält im wesentlichen nur Montageplatz, Werkstatt, Magazin und Garage. Entsprechend ist das Kraftwerk für einen vollautomatischen Betrieb mit Fernüberwachung konzipiert. Das heisst, die Maschinengruppen werden durch die Niveauregelung aufgrund des Wasserdargebotes zu- oder abgeschaltet sowie über je einen elektronischen Turbinenregler entsprechend beaufschlagt. Ueberschreitet das Wasserdargebot das Schluckvermögen, so tritt die Wehrregelung in Funktion. Die Fernüberwachung wird realisiert, indem alle wichtigen Messwerte, Rückmeldungen und Störsignale über eine HF-Verbindung nach dem 35 km flussabwärts gelegenen, ständig besetzten Kraftwerk Gösgen übertragen werden. Dort kann also eine Störung jederzeit festgestellt und nötigenfalls der Pikettdienst entsprechend alarmiert werden. Direkte Eingriffsmöglichkeiten bestehen, ausser für eine zwingend erforderliche Stillegung der Maschinengruppen, nicht.

Die Nebenanlagen

Zu den wichtigsten baulichen Nebenanlagen gehören die Geschwemmselrinne, die Kahntransportanlage und der Fischpass, die in ihrer Konzeption den heute üblichen Konzessionsbedingungen genügen.

3.3 DIE UNTERWASSERSTRECKE

Um einerseits das Entlastungsvermögen des Wehrs zu gewährleisten und andererseits das nutzbare Gefälle zu erhöhen, wurde die Unterwasserstrecke von der Sperrstelle bis Wangen an der Aare auf einer Länge von 4 km bis zu 5,5 m tief ausgebaggert. An einzelnen Stellen wurden zudem einige Engpässe ausgeweitet. Das Baggergut bestand aus insgesamt 1,5 Mio m^3 Kies, Silt und Sand. Die infolge des entsprechenden Absinkens der Aarespiegel blossgelegten Uferflächen werden neugestaltet. So werden an den Aussenseiten der Krümmungen und in ausgesprochen sandigen Strecken rund 30 000 m^3 Blockwurf aus Jurakalkstein eingebracht. Ferner erfolgt eine Ergänzung der bestehenden Uferbepflanzung durch Setzlinge standortgerechter Pflanzen, wie Schilf, Weiden, Hasel, Weissdorn, Eiche, Esche, Erle, Ulme usw.[4]. Unter Beitragsleistung der Kantone Bern und Solothurn werden das linke Ufer und teilweise auch das rechte durch Wanderwege erschlossen. Beim Bernerschachen wird zudem — gleichsam als Ersatz für eine weggebaggerte, landschaftlich reizvolle Insel — ein kleines Becken geschaffen, in welchem sich nach Ansicht der Fachleute mit der Zeit eine vielfältige Teichfauna und -flora entwickeln wird.

4. Bauausführung

4.1 ERRICHTUNG VON MASCHINENHAUS UND WEHR

Baugrube

Durch die bereits eingangs erwähnte Lage der Kraftwerkanlagen praktisch vollständig ausserhalb des heutigen Aarelaufes war es gegeben, Wehr und Maschinenhaus in einer einzigen Baugrube zu erstellen, wobei als Umschliessung von Anfang an Stahl-Spundwände im Vordergrund standen. Aufgrund der geologischen Unterlagen musste mit Spundwandlängen von 10 bis 25 m gerechnet werden, um die Felsunterlage zu erreichen. Das zu durchrammende Material bestand aus einer Abfolge von Auffüllungsmaterial der CFA, Kies, Moräne und Seebodenablagerungen. Zur Abklärung der Rammbarkeit von 25 m langen Spundwänden wurden vor Baubeginn für unterschiedliche Rammtiefen mit verschiedenen Rammgeräten und Profiltypen Versuche durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche waren sehr befriedigend; bei der Auswahl der Spundwandprofile war allerdings zu beachten, dass selbst bei 10 m Rammtiefe Profil Larssen IIn zu schwach war und dass sich für Längen grösser als 20 m die Verwendung von Profil Larssen IVn aufdrängte.

Die Rammung des Baugrubenabschlusses erfolgte mit einer, zeitweise mit zwei Dieselrammen mit Fallgewichten von 1,25, resp. 2,2 t. Für das Schlagen der rund 10 000 m^2 Spundwand wurden insgesamt 6 Monate benötigt, mit mittleren Rammleistungen von 50 m^2 pro 10 h-Tag und Gerät.

Der Baugrubenaushub von insgesamt 350 000 m^3 setzte sich wie folgt zusammen: 100 000 m^3 Auffüllmaterial der

[4] Moll B.: Projekt für die Landschaftsgestaltung und Uferbepflanzung Flumenthal, zu Handen der Atel, 1967

CFA, 100 000 m³ Kies, 150 000 m³ Moränen- und Sandmaterial und ca. 20 000 m³ Molasse. Als Aushubgeräte standen zwei Dragline-Bagger (Kübelinhalt 2,3 m³ resp. 1,2 m³) im Einsatz, unterstützt von zwei Raupentrax. Das nicht kiesige Aushubmaterial wurde auf eine ca. 1 km entfernte, grossflächige Deponie (Schütthöhe 2 bis 3 m) geführt, während das Kies unmittelbar auf ein Depot neben der Baugrube zur Weiterverwendung (Betonherstellung) geschüttet wurde. Da die Molasse grösstenteils aus relativ weichen Mergelschichten bestand, konnte sie ohne grössere Schwierigkeiten durch Rippern gelöst werden, so dass auf Sprengungen verzichtet werden konnte. Für den Abtransport des Aushubmaterials wurden zuerst normale 7- und 4 m³-Lastwagen eingesetzt und später 12 m³-Grossfahrzeuge.

Der Baugrubenabschluss ist durchwegs bis auf die Molasse oder doch zumindest bis in wenig durchlässige Schichten abgetieft, weshalb die Wasserhaltung keine Schwierigkeiten bot. Die zu pumpende Wassermenge betrug durchschnittlich ca. 50 l/s und konnte durch die installierten Pumpen ohne weiteres weggeführt werden. Um auch bei Stromausfall ein Unterwassersetzen der Baugrube zu verhindern, war zusätzlich eine Notstromgruppe installiert, die insgesamt 30 Stunden im Betrieb war.

Fundation

Da die ganze Anlage innerhalb einer einzigen Baugrube lag, musste bei der Blockeinteilung von Wehr und Maschinenhaus nicht auf einzelne Bauphasen Rücksicht genommen werden. Massgebend für die Abmessungen waren lediglich statische, konstruktive und ausführungstechnische Gesichtspunkte, wobei angesichts der vorhandenen Einheitlichkeit und Setzungsunempfindlichkeit des Molassebaugrundes vor allem auf möglichst grosse Blockeinheiten tendiert wurde. Aufgrund dieser Ueberlegungen besteht das Wehr aus drei unabhängigen, durch Dilatationsfugen getrennten Abschnitten, während das Maschinenhaus durch zwei zueinander senkrecht stehende Fugen in vier Blöcke unterteilt ist.

Die durchgeführten Stabilitäts-Berechnungen zeigten, dass es ohne besondere Massnahmen möglich ist, die verlangten Sicherheiten gegen Auftrieb und Gleiten einzuhalten. Dank der vorgesehenen Flachgründung liegen auch die auftretenden Bodenpressungen (max. 3,9 kg/cm²) in bescheidenem Rahmen. Weil keine Drainagen vorgesehen sind, wurde der Auftrieb als voll wirksam gerechnet, unter Annahme einer linearen Druckabnahme von Ober- zu Unterwasser. Die Berechnung der maximalen Bodenpressungen erfolgte dagegen mit einem um 40 Prozent reduzierten Auftrieb.

Infolge der Gründung der Sperrstelle auf die praktisch undurchlässige Molasse waren bezüglich Unterströmen und Grundbruch unter der Sohle keine besondern Vorkehren zu treffen. Dagegen wurden gegen das seitliche Umströmen spezielle Massnahmen ergriffen. Dies geschah rechtsufrig dadurch, dass in der Verlängerung der Wehrachse ca. 500 m weit landeinwärts ein Dichtungsschirm gerammt wurde, der bis an die Untergrenze des durchlässigen Emmekieses reicht. Linksufrig wurde ein Dichtungsschirm erstellt, der sich vom Maschinenhaus bis zur Ufermauer längs der CFA erstreckt. Da dieser an die Molasse anschliesst, wurde durchgehend ein vollständiger Abschluss zwischen Ober- und Unterwasser erzielt.

Während im Bereich des Maschinenhauses der angetroffene Molasseverlauf durchaus den geologischen Prognosen entsprach, ergab sich beim Aushub für das Wehr eine nicht geringe Ueberraschung, indem dort der aufgeschlossene Fels unerwartet stark abfiel und beim rechten Wehr-

Bild 11 Provisorisches Absturzbauwerk in der Aare, kombiniert mit Dienstbrücke.

Bild 12 Bau der Ufermauer und des Abwasserkanals längs der Cellulosefabrik Attisholz. Blick flussaufwärts in die Baugrube, August 1968.

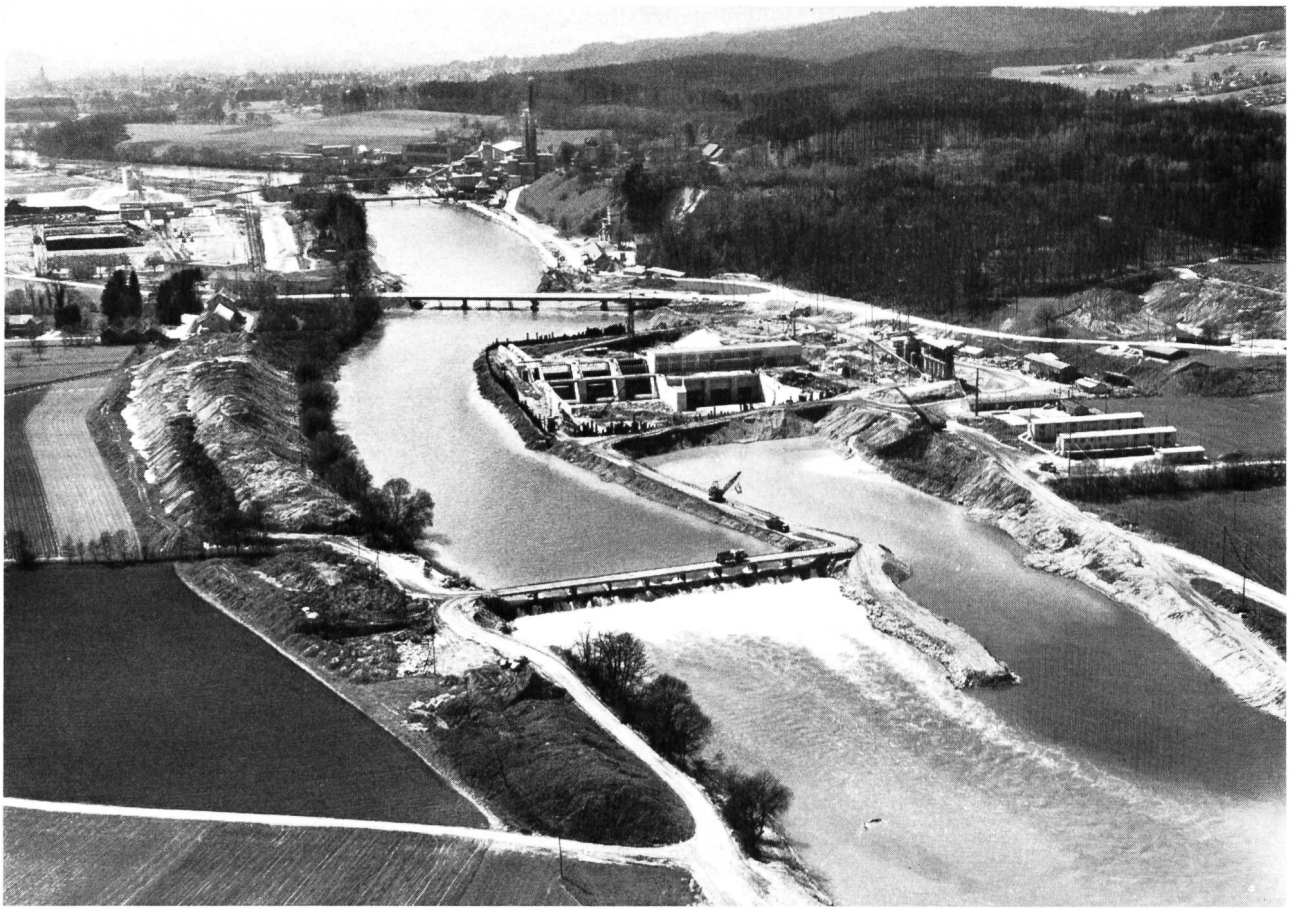


Bild 13 Flugaufnahme der Baustelle für Maschinenhaus und Wehr. Im Vordergrund das provisorische Absturzbauwerk, im Hintergrund die Cellulosefabrik Attisholz. Bauzustand Anfang Mai 1969, ca. zwei Wochen vor dem Fluten der Baugrube.

widerlager 6 m tiefer lag als angenommen. Es stellte sich zu diesem Zeitpunkt die Frage, ob die vorgesehene Flachfundation in offener Baugrube dennoch beizubehalten sei. Vergleiche mit andern Gründungsarten (Pfählung, Senkkasten) zeigten jedoch, dass eine Flachfundation auch unter den veränderten Umständen am wirtschaftlichsten war. Die tiefere Felslage erforderte allerdings einen sekundären Baugrubenabschluss, da die Anböschung gegen die aareseitige Spundwand zu steil und damit die Standsicherheit des Hauptbaugrubenabschlusses nicht mehr gewährleistet war. Dagegen wurde bei den rechtsseitigen Ufermauern darauf verzichtet, diese auf Fels zu fundieren; da sie weit weniger setzungsempfindlich sind als Wehr und Maschinenhaus, konnte es verantwortet werden, sie auf die höher anstehenden tonig-siltigen Schichten abzustellen.

Beton

Da aus dem Aushub in grösseren Mengen Kies anfiel, wurde auf der Baustelle eine eigene Kiesaufbereitungsanlage installiert, die in der Lage war, pro Stunde 40 m³ Zuschlagstoffe aufzubereiten. Ausser der Sperrstelle wurde von hier aus auch ein benachbartes Los mit Zuschlagstoffen beliefert.

Das Kiesmaterial gelangte über ein Aufgabesilo in die Kiesaufbereitungsanlage, wo es gewaschen, sortiert und dann nach Komponenten getrennt in fünf Silos zu je 100 m³ gelagert wurde. Förderbänder transportierten die Zuschlagstoffe von den Silos in die mit einem vertikalen Zwangsmischer ausgerüstete Betonfabrik, in der stündlich 40 m³ Beton hergestellt werden konnten. Mit Pneufahrzeugen wurde der Beton in den Schwenkbereich der beiden Turmdrehkrane transportiert, die mit ihren Auslegern das gesamte Wehr und Maschinenhaus bestrichen. Eingebracht wurden an der Sperrstelle insgesamt rund 35 000 m³ Beton. Für Massivbeton wurde P 250, für feingliederige Konstruktionen P 300 oder 350 verwendet. An Betonzusätzen wurde für dünne Konstruktionen ein plastifizierendes Mittel zur Erhöhung der Dichtigkeit beigegeben. Bei starkem Frost gelangten zusätzlich Frostschutzmittel zur Anwendung. Der Gehalt an schlaffer Armierung erreicht im Maschinenhaus durchschnittlich 50 kg/m³ und im Wehr 20 kg/m³. In den Wehrpfeilern wird diese Armierung zusätzlich durch je vier Vorspannkabel von 180 t Zugkraft ergänzt, um die grossen Drehlagerkräfte der Schützen abzuleiten. Die Wehrbrücken und das Dach des Maschinenhauses wurde mit vorfabrizierten Spannbetonelementen hergestellt.

Montagearbeiten

Aus der Fülle der interessanten Montagearbeiten seien hier lediglich diejenigen für die Dammbalken, die Schützen und die Turbinen herausgegriffen:

Bei den Dammbalken wurden die Seitenführungen in Elementen von 5 m Länge direkt in die Schalung versetzt. Um ein Verschieben während des Betonierens zu verhindern und die verlangte Genauigkeit in der gegenseitigen Lage der Führungen einer Oeffnung zu gewährleisten, wurden diese durch einen massiven Querträger in ihrer Lage fixiert.

Beim Wehr wurden lediglich die Drehlagertrommeln direkt einbetoniert, während die Schwelle und die Seitenführungen nachträglich in Aussparungen versetzt und eingegossen wurden. Anschliessend wurden die Stützarme montiert und mit den mittels Autokran versetzten Segmenten verschraubt. Zuletzt konnten die Klappen aufgesetzt und die hydraulischen Pressen montiert werden.

Bei der Turbinenmontage wurde zuerst die Kalotte eingefahren und provisorisch versetzt. Dann wurde der oberwasserseitige Mauerring montiert und einbetoniert. Anschliessend erfolgte die Montage der übrigen Turbinenteile und des Generators. Nach dem Ausrichten und Verschrauben von Turbine und Generator konnte in einer zweiten Betonieretappe die Kalotte und der unterwasserseitige Mauerring eingegossen werden.

Entsprechend dem heutigen Trend wurde grundsätzlich versucht, in den jeweiligen Werkstätten möglichst grosse Einzelstücke herzustellen, um die Montagearbeiten zu verringern. In dieser Hinsicht bot die Rohrturbinenbauweise besonders günstige Voraussetzungen.

Aareumleitung

Da, wie bereits erwähnt, Wehr und Maschinenhaus ausserhalb des bisherigen Flussgerinnes erstellt wurden, musste für die Inbetriebnahme des Kraftwerkes der Aarelauf verschoben werden, was umfangreiche Erdarbeiten bedingte. Im Unterwasser mussten für die Schaffung des neuen Gerinnes 350 000 m³, im Oberwasser 100 000 m³ Material ausgehoben werden. Ein grosser Teil des Materials wurde über eine Dienstbrücke auf die rechte Aareseite transportiert und dort auf einer Zwischendeponie gelagert. Nach dem Fluten der Maschinenhausbaugrube wurden sofort die quer zur Aare liegenden ober- und unterwasserseitigen Spundwände gezogen und die dazugehörigen Abschlussdämme weggebaggert. Sobald der Durchflussquerschnitt frei war, wurde das Wehr geöffnet. Da in diesem Moment wegen der Unterwasserbaggerung der Wasserspiegel im neuen Unterwassergerinne gegenüber dem alten Aarelauf um ca. 2,50 m tiefer lag, wurde der grösste Teil des Aarewassers von selbst in das neue Gerinne gezogen. Der alte Aarelauf konnte daher leicht durch einen Damm abgeschlossen, und somit der Aufstau eingeleitet werden. Zuletzt wurde das alte Flussbett mit dem am rechten Ufer zwischengelagerten Material aufgefüllt und humusiert.

4.2 DIE FLUSSBAGGERUNGEN

Erstellung des Kiesfangs an der Emmemündung

Die Emme ist ein Fluss mit ausgesprochenem Wildbachcharakter. Sie weist bei trockener Witterung eine mittlere Wasserführung von 10 bis 20 m³/s auf, schwillt aber bei grösseren Niederschlägen sofort sehr stark an und erreicht Werte bis zu 500 m³/s. Die für die Erstellung des Kiesfanges und die Anpassung der Emmemündung erforderlichen Flussbaggerungen konnten daher insofern einfach ausgeführt werden, als ein Bagger bei normaler Wasserführung ohne weiteres ins Flussbett hinausfahren konnte, um die erforderlichen Aushubarbeiten auszuführen. Schwieriger gestaltete sich indessen der Bau des Absturzbauwerkes: Dieses wurde in zwei Etappen innerhalb einer umspundeten Baugrube erstellt, wobei das Emmebett etwas eingeengt wurde. Bei Normalwasserführung spielte dies natürlich keine Rolle. Nach der Fertigstellung der ersten Hälfte des Absturzbauwerkes und während der Rammarbeiten für den Baugrubenabschluss der zweiten, setzte im August 1968 jedoch eine ausgesprochene Hochwasserperiode ein, wie sie seit Jahrzehnten nicht mehr beobachtet worden war. Die Hochwasser, die innerhalb 7 Wochen insgesamt fünf mal auftraten (wobei am 22. September mit 520 bis 550 m³/s eine Spitze anfiel, die bisher überhaupt noch nie verzeichnet wurde), wurden durch die Einengung seitlich abgedrängt und schwemmten dabei das rechte Ufer, das wegen der im Gang befindlichen Bauarbeiten noch nicht mit Blockwurf geschützt war, auf einer Breite von 20 m weg. Dabei wurde auch ein dort abgestellter Bagger unterspült, so dass er in den hochgehenden Fluten versank. In der anschliessenden Niederwasserperiode konnten die Instandstellungsarbeiten und die restlichen Bauarbeiten dann ohne weitere Zwischenfälle abgeschlossen werden.

Oberwasserbaggerungen

Die Oberwasserbaggerungen sind zur Zeit noch nicht beendet, weil sie teilweise erst nach erfolgtem Aufstau in Angriff genommen werden können. Sie umfassen neben einer leichten Abtiefung der Flussohle zur Hauptsache die Entfernung einer Insel unterhalb und zweier Inseln oberhalb der Industriebrücke CFA von insgesamt 250 000 m³ Lockergestein.

Da die Insel unterhalb der erwähnten Brücke fast bis ans rechte Ufer reichte, wurde sie vor dem Aufstau vom Land aus abgetragen, wobei das Aushubmaterial im stillgelegten AEK-Kanal deponiert wurde. Auch oberhalb der CFA-Brücke hätte an und für sich ein Grossteil des Aushubes auf gleiche Weise ohne Schwimmgeräte erfolgen können. Diese Bagge-

Bild 14
Ansicht des Maschinenhauses und des Wehrs von Unterwasser. Bauzustand Mitte Mai 1969.

Bildernachweis:

1 bis 5 Pläne Motor-Columbus AG
6 und 13 Flugaufnahme Comet Zürich
7 bis 14 Photos Rubin Olten

rungen durften aber nicht vor dem Aufstau durchgeführt werden, da sonst die Aarespiegel oberhalb der Emmemündung besonders bei Niederwasser stark gesunken wären und die weiter flussaufwärts im Einsatz stehenden Geräte der II. JGK nicht mehr genügend Fahrwassertiefe gehabt hätten. Es wurde daher beschlossen, dieses Teilstück mit einem Schwimmbagger auszuheben und das Material auf Klappschuten ans Ufer zu befördern. Diese Schuten können sich dort in einer künstlichen Uferbucht entleeren, wo das Material mit einem Schleppkübelbagger auf Fahrzeuge umgeschlagen und in die naheliegenden Deponien abtransportiert wird. An einigen Stellen muss neben dem Lockergestein noch Molasse (ca. 10 000 m³) aus dem Fluss gebaggert werden. Es ist vorgesehen, diese soweit möglich ohne Sprengen zu lösen. In Frage kommt dabei ein Aufreissen mit schweren Aushubgeräten oder ein Abmeisseln.

Unterwasserbaggerungen

Für den Aushub der 1,5 Mio m³ Material auf der Unterwasserstrecke war zunächst ein schwimmender Eimerkettenbagger mit Kübeln von 300 l Inhalt eingesetzt, der im kiesigen Material eine Aushubleistung bis zu 230 m³/h erreichte. Da aber im lehmigen Material, das im Verlauf der Baggerarbeiten zum Vorschein kam, diese Leistung, vor allem wegen der zahlreichen grossen Steine an der Grenze Kies/Lehm, stark absank, wurde zusätzlich ein auf einer Pontonbatterie montierter 2 m³-Schleppkübelbagger installiert. Dieser wurde speziell in der lehmigen Partie eingesetzt und schaffte dort bis zu 110 m³/h heraus. Der Abtransport des Baggergutes erfolgte mit vier Klappschuten von je 150 m³ Fassungsvermögen. Diese fuhren je nach Materialqualität in drei verschiedene künstlich geschaffene Uferbuchten und entleerten sich dort durch Verklappen. Von dort wurde das Material mit Schleppkübelbaggern auf Transportbänder oder Fahrzeuge umgeschlagen. Soweit es sich um Kies handelte, wurde dieses Material auf Zwischendepots gelegt, von wo es von Interessenten abgeholt werden kann; das lehmige Material dagegen wurde auf grossflächige Deponien geschüttet, die später humusiert und angesät werden.

Da die Baggerarbeiten vor Inbetriebnahme des Wehres begannen, war es notwendig, den Uebergang vom Ober- ins Unterwasser mit einem provisorischen Absturzbauwerk zu sichern. Dieses Absturzbauwerk bestand aus quer durch den Fluss gerammten 12 m langen Spundbohlen, die mit grossen Blöcken und Steinsäcken vor Unterkolkung gesichert sind. Das Rammen der Bohlen erfolgte von einer 50 t-Dienstbrücke aus, die gleichzeitig für den Transport von Aushubmaterial von der linken auf die rechte Aareseite diente.

4.3 DIE UFERANPASSUNGEN

Einbringen des Blockwurfs

Der als Uferschutz dienende Blockwurf wird mit Lastwagen von einem 20 km entfernten Jurasteinbruch antransportiert und sowohl vom Wasser wie vom Land aus eingebracht. Zum grössten Teil wird er in einem Umschlaghafen auf Klappschuten verladen und mit diesen an die Verwendungsstelle transportiert. Dort verteilt ein Bagger mit Greifausrüstung die Steine in der erforderlichen Schichtstärke von ca. 35 cm auf der Schüttbatterie, welche die Steine auf die vorher mit einem Gradall vorbereiteten Böschungen verklappt.

Erstellung der Ufermauer und des Abwasserkanals

Beim Bau der Ufermauer und des Abwasserkanals längs der CFA wurden jeweils Baugrubenabschnitte von je 80 m Länge und 6 m Breite gerammt. Die erforderliche Länge der Bohlen, die bis auf die Molasse vorgetrieben wurden, betrug 6 bis 8 m. Nach dem Rammen erfolgte der Aushub und der Einbau der Spriessung. Dann wurde der Kanal in Abschnitten von 10 m betoniert, wobei die einzelnen Stösse als Dilatationsfugen ausgebildet wurden. Als Innenschalung diente eine Teleskopschalung, während für die Aussenschalungen Schaltafeln verwendet wurden. Insgesamt erforderten Kanal und Mauer 10 000 m³ Beton P 250 mit einem mittleren Armierungsgehalt von 30 kg/m³. Für die Baugrubenabschlüsse wurden total 14 000 m² Spundwände gerammt, von denen 3000 m² als Dichtungswand im Bauwerk verblieben.

Um den Abwasserkanal, der keinerlei Auskleidung erhielt, entsprechend zu schützen, musste für die Ableitung der aggressiven Abwasser der CFA eine besondere Leitung erstellt werden; diese besteht aus einem Gussrohr ∅ 600 mm, das dem Abwasserkanal im wesentlichen folgt und zwischen den Turbinenausläufen ins Unterwasser ausmündet. Auf diese Weise wird eine sofortige Durchmischung dieser Abwasser mit dem Aarewasser angestrebt.

Zu besonderen Schwierigkeiten beim Bau der Ufermauer gaben die vielen Ausläufe, die bis heute von der Fabrik in die Aare führten, Anlass. Diese mussten alle während der Bauzeit in provisorischen Kanälen gefasst und durch die Baugrube hindurch in die Aare geleitet werden. Erst nach erfolgter fabrikinterner Trennung der Sauber- und Schmutzwasser können sie, wie vorgesehen, in den Abwasserkanal eingeführt werden.

Auch diese Baustelle wurde durch die Hochwasser im August/September 1968 in Mitleidenschaft gezogen. Dreimal wurde die Baugrube vollständig überflutet; zweimal wurde, bedingt durch die Hochwasser und die Bauarbeiten, ein Keller der CFA unter Wasser gesetzt, was einen vorübergehenden Ausfall gewisser Fabrikationsanlagen zur Folge hatte.

5. Bauzeit

Die Bauarbeiten für das Kraftwerk Flumenthal konnten im Frühjahr 1966 aufgenommen werden und dauern voraussichtlich bis Ende 1970. Die Inbetriebnahme ist für den Sommer 1969 vorgesehen.

6. Wichtigste beteiligte Firmen

Bauherr:
— Aare-Tessin, AG für Elektrizität, Olten
Projektierung und Bauleitung:
— Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, Baden
Bauunternehmer:
Sperrstelle:
— Costruzioni Stradali e Civili S. A., Lugano
Staugebiet:
— Arbeitsgemeinschaft Rothpletz & Co. AG, Aarau, Spaltenstein & Co., Zürich, Hirt AG, Grenchen
— A. Marti & Co. AG, Solothurn
Unterwasserstrecke:
— Arbeitsgemeinschaft Losinger & Co. AG, Bern, SAGRAVE S. A., Lausanne, Jäggi AG, Olten
Lieferanten:
Turbinen:
— Escher Wyss AG, Zürich
Generatoren:
— Brown, Boveri & Cie. AG, Baden
Transformatoren:
— SA Ateliers de Sécheron, Genf
Krane:
— von Roll AG, Bern
Schützen und Rechen:
— Arbeitsgemeinschaft Wartmann & Co. AG, Brugg, Buss AG, Pratteln, C. Zschokke AG, Döttingen