

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 88 (1996)
Heft: 7-8

Artikel: Neuanlage Kraftwerk Wynau
Autor: Siegrist, Andreas / Sprecher, Johannes
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940354>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 20.02.2026

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

Neuanlage Kraftwerk Wynau

Andreas Siegrist und Johannes Sprecher

Infolge ablaufender Konzessionen sind derzeit diverse Elektrizitätsgesellschaften daran, ihre Kraftwerke zu erneuern oder zu ersetzen. Anhand des Neubauprojektes des Kraftwerkes Wynau an der Aare wird der Stand der Kraftwerkstechnik im Niederdruckbereich aufgezeigt. Dank neuester Maschinenteknik und einem neuen Druckstollen wird bei diesem Projekt das vorhandene Konzessionsgefälle, unter Berücksichtigung ökologischer und wirtschaftlicher Randbedingungen, optimal ausgenutzt und dadurch eine Produktionssteigerung von rund 70% ermöglicht. Eine erste Realisierungsetappe der Neuanlage, beinhaltend ein Maschinenhaus mit einer Getrieberturbine und eine Wehranlage, wurde im April 1996 termingerecht in Betrieb genommen. Geologische Umstände erforderten spezielle Bauvorgänge im Fundationsbereich. Im Sinne der ISO-Norm 9001 wurden anhand dieses Projektes sowohl auf Niveau Planung als auch Niveau Bauausführung ein Qualitätsmanagement angewendet und Erfahrungen für die Zertifizierung der beteiligten Unternehmen gesammelt. Die Inbetriebnahme der politisch bedingten Etappe 2, in welcher der Stollen realisiert wird, ist auf das Jahr 2000 geplant.

Résumé: La nouvelle usine hydroélectrique de Wynau

Suite à l'expiration des concessions, diverses sociétés de production d'énergie sont en train de renouveler ou de remplacer leurs usines hydroélectriques. A l'aide du projet de renouvellement de l'usine hydroélectrique de Wynau sur l'Aar, l'état actuel de la technique dans ce domaine sera présenté. Grâce aux plus récentes techniques de génie mécanique et à une galerie en charge, la chute de concession disponible a été utilisée d'une manière optimale, en tenant

compte des limites écologiques et économiques, et a permis une augmentation de production d'environ 70 %. La première étape de réalisation de la construction, avec sa centrale équipée d'une turbine bulbe et son barrage à vannes, a été mise en service comme prévu en avril 1996. Des conditions géologiques particulières ont exigé des processus de construction spéciaux dans le domaine des fondations. Les participants à la planification et à la construction ont établi pour ce projet un management de qualité conforme à la norme ISO 9001. Les expériences ainsi gagnées ont permis aux sociétés participantes d'obtenir leur certificat de management de qualité. La deuxième étape de construction, composée de la galerie en charge et du second groupe turbine-alternateur, qui a été reportée pour des raisons politiques, a été planifiée pour l'an 2000.

Summary: Refurbished hydropower plant Wynau

Expiring rights for water-power development currently motivate several electricity supply companies to refurbish or replace their power plants. The state-of-art of low-head power generation is exemplified with the new Wynau hydropower plant on the Aar river. Owing to the latest turbine technology and a new down-stream pressure tunnel, the upgraded scheme exploits the permissible hydraulic head to the optimum for the given ecological and economical constraints. This results in a production increase of 70 %. The first stage of the new plant, consisting of the powerhouse with a bulb-turbine and the weir structure, has been commissioned in April 1996 as scheduled. The geological conditions required a special construction sequence for the foundation. Inspired by ISO 9001, the project served as pilot for modern quality management both in the design and the construction phase and was a valuable experience for the ISO certification of the participating firms. The second stage with the pressure tunnel was delayed for political reasons and will be realized by the year 2000.

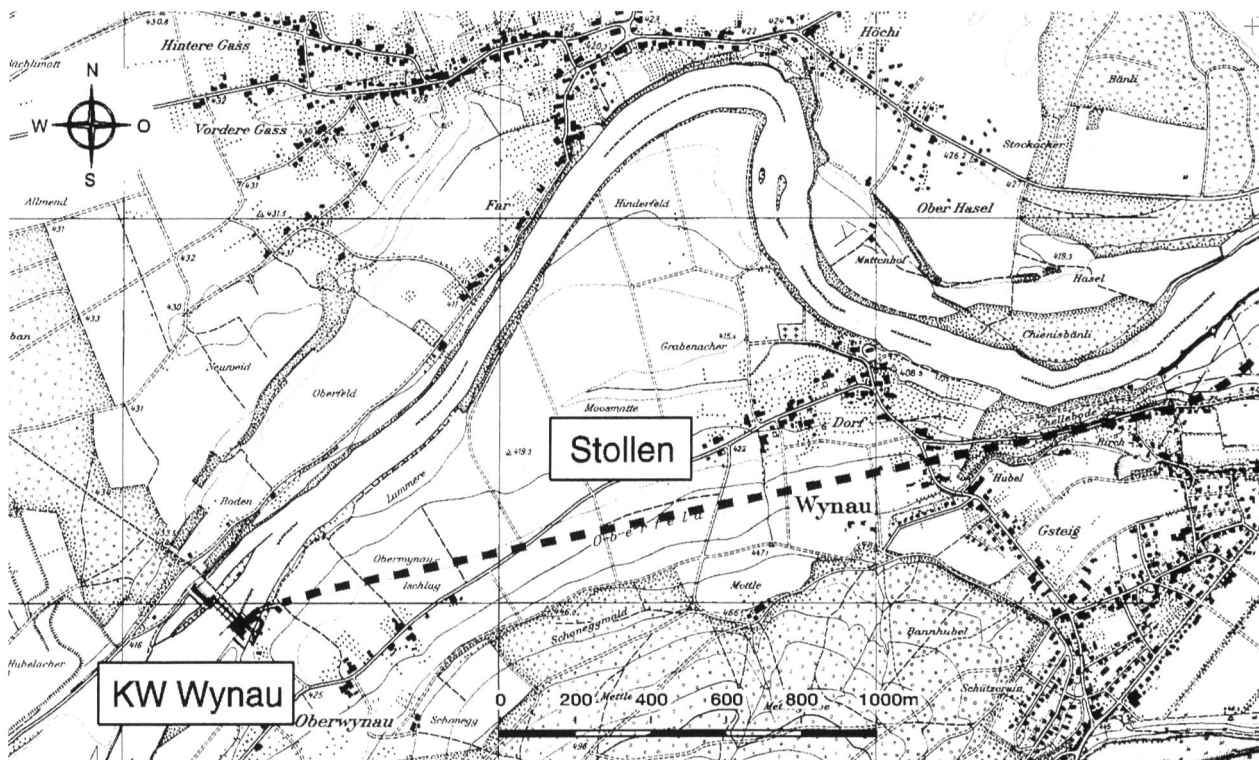


Bild 1. Gesamtsituation mit Kraftwerkstandort und Stollenlinienführung (reproduziert mit Genehmigung der eidgenössischen Vermessungsdirektion vom 5. September 1996).

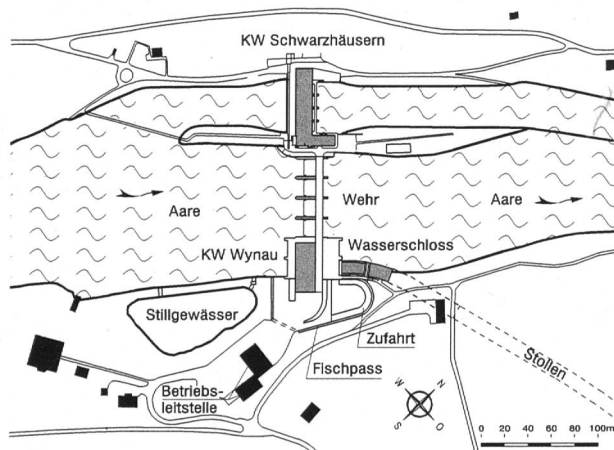


Bild 2. Überblick über die Anlagen im Kraftwerksbereich.

Rückblick

Vor gut hundert Jahren setzte in der Schweiz der grosse Elektrizitätsboom ein. Entscheidend für den Durchbruch war die Entwicklung der Starkstromtechnik auf Wechselstrombasis mit den entsprechenden Generatoren, Transformatoren und Motoren. Es war damit möglich, grosse Energiemengen auf grosse Distanzen wirtschaftlich zu übertragen. Findige Leute erkannten die Bedeutung dieser damals neuen Form von Energie für die Zukunft und errichteten als Pioniere die ersten Wasserkraftwerke zur Stromerzeugung. Sie leiteten damit eine Wende in der Entwicklung in Industrie und Wirtschaft ein und legten einen Grundstein für unseren heutigen Wohlstand.

Die zu Beginn noch vorhandenen Produktionsüberkapazitäten waren schon nach kurzer Zeit durch den rasant steigenden Strombedarf aufgeessen. Typisch für die damals erstellten Kraftwerke sind deshalb die z.T. mehrfachen Erweiterungen, die verschiedenen Maschinengenerationen unter einem Dach oder sogar ganze Parallelanlagen.

Heute ist die Elektrizität zur Selbstverständlichkeit geworden und aus Haushalt, Industrie, Gewerbe und Verkehr nicht mehr wegzudenken. Aus der lokalen oder regionalen Stromversorgung ist ein flächendeckendes länderübergreifendes Netz entstanden, und elektrischer Strom ist für jedermann jederzeit verfügbar. Der Elektrizitätsbedarf ist so stark angestiegen, dass er alleine durch Wasserkraft in der Schweiz nicht mehr gedeckt werden kann.

Die ersten Konzessionen sind heute am Ablaufen, und die Kraftwerke müssen altersbedingt erneuert oder ersetzt werden. Unsere Generation hat nun die anspruchsvolle Aufgabe, den Faden des Pioniergeistes unserer Gross- und Urgrossväter aufzunehmen und für die nächsten Generationen vorzusorgen. Die Probleme haben sich dabei verlagert. Waren es dazumal vor allem die technische Grenzen, welche die Möglichkeiten limitierten, so sind es heute die umweltpolitischen.

Zu den Pionieren der ersten Stunde gehören unter anderen die Erbauer des Kraftwerkes Wynau an der Aare, heute unter der Bezeichnung Elektrizitätswerke Wynau AG, Langenthal (EWW). Nach hundertjährigem Betrieb ihrer Anlage zwangen altersbedingte sicherheitstechnische Mängel die EWW, neue Lösungen zur Sicherstellung ihrer Energieerzeugungsanlagen zu suchen.

1978 beauftragten sie die IUB Ingenieur-Unternehmung AG Bern mit Studien für die optimale Nutzung der ca. 7,9 km langen Konzessionsstrecke der Aare zwischen Bannwil und der Einmündung der Murg.

Das alte Kraftwerk nutzte lediglich einen Teil des vorhandenen Gefälles durch Aufstau. Ein erstes Erneuerungsprojekt, welches das Nutzgefälle an der Staustelle durch umfangreiche Ausbaggerungen im Unterwasser erhöht hätte und 1981 zum Konzessionsgesuch eingereicht wurde, scheiterte an der Umweltverträglichkeit. Die Gerichte entschieden, dass die einzigartige Flie遝sstrecke unterhalb des Kraftwerkes beim Wolfwiler Cher durch das Projekt ihren Charakter verloren hätte.

Nach weiteren Projektierungsarbeiten reichten die EWW 1989 ein zweites Projekt ein, mit dem sowohl die Umweltverträglichkeit als auch eine Energieproduktionssteigerung von gut 70 % erreicht werden.

1988/90 gaben die Kantone Bern und Solothurn mit der Erteilung einer neuen Konzession ihre Zustimmung.

1. Generelles Anlagekonzept

Folgende Leitideen wurden der Projektierung der Neuanlage zugrunde gelegt:

- Ein Teil des Aarewassers soll durch einen Stollen geleitet werden, um so möglichst das gesamte Konzessionsgefälle zu nutzen. Dabei wird die Tatsache ausgenutzt, dass die Reibungsverluste im Stollen kleiner sind als im entsprechenden Flussabschnitt.
- Die nach ökologischen Gesichtspunkten ermittelte und für die Tier- und Pflanzenwelt erforderliche Wassermenge wird in der Ausleitstrecke belassen.
- Das Restwasser soll über eine entsprechende Turbine an der Staustufe genutzt werden.
- Die Neuanlage soll in erster Linie ein Ersatz des alten Kraftwerkes Wynau und des Stauwehrs aus dem Jahre 1895 sein. Das aus den dreissiger Jahren stammende Kraftwerk Schwarzhäusern und diverse Nebenanlagen (Leitstelle, Werkstatt und Schaltanlage) sollen weiterhin genutzt werden.
- Das alte Kraftwerk Wynau soll während der Bauzeit möglichst lange weiterbetrieben werden können.

Die zur Erhaltung der Gewässercharakteristik notwendige Wassermenge wurde durch den Fischexperten *Heinz Marrer* bestimmt und jahreszeitlich abgestuft auf 100 bis 150 m³/s festgelegt. Diese überschreitet verständlicherweise bei weitem die durch das Gewässerschutzgesetz für diese Strecke vorgeschriebene Restwassermenge von 10 m³/s.

Für die Standortwahl des neuen Kraftwerkes wäre eine Verschiebung gegen die untere Konzessionsgrenze hin zwar aus energetischer Sicht vorteilhaft, die Lage des bestehenden Kraftwerkes Schwarzhäusern und die weiter zu nutzenden Nebenanlagen begrenzen jedoch die Möglichkeiten.

Damit sind die Rahmenbedingungen gegeben, welche zum Anlagekonzept führten.

Folgende Anlageteile werden neu erstellt:

- Das *Maschinenhaus* ist auf der Basis von zwei Getriebeschacht- oder Getriebeturbinen aufgebaut. Die eine Turbine, die sogenannte Aareturbine, dient als Restwasserturbine für die Ausleitstrecke. Die zweite Turbine, die sogenannte Stollenturbine, nutzt das höhere Gefälle zwischen Staukote und dem Wasserspiegel an der unteren Konzessionsgrenze.
- Ans Saugrohr der Stollenturbine anschliessend folgt das Triebwassersystem, bestehend aus dem *Wasserschloss* als Druckausgleichsorgan, dem eigentlichen *Druckstollen* und dem *Auslaufbauwerk*.
- Das *Stauwehr*.

Die allgemeine Disposition ist aus den Bildern 1 und 2 ersichtlich.

Das Prinzip, mittels eines Druckstollens Nutzwasser auszu-leiten und so die Differenz der Fliessverluste zwischen Ausleitstrecke und Triebwassersystem zu nutzen, ist altbe-kannt und wird vor allem im Gebirge genutzt, wo die Gefäl-le gross sind. Für Niederdruckkraftwerke wurde diese Möglichkeit erst in sehr wenigen Fällen angewendet, in er-ster Linie dort, wo eine Flussstrecke wesentlich abgekürzt werden konnte (z.B. Kraftwerk Felsenau, Bern). Dass ein Druckstollen auch im Niederdruckbereich wirtschaftlich sein kann, ist dem Umstand zu verdanken, dass aus dem Nationalstrassen- und Eisenbahntunnelbau verschiedene grosse Tunnelbohrmaschinen (TBM) vorhanden sind und diese im Konkurrenzkampf günstig angeboten werden. Voraussetzung dafür sind für den TBM-Vortrieb geeignete Gesteinsverhältnisse.

Um die Relationen zu verdeutlichen, seien hier ein paar Kennzahlen für den geplanten Stollen des Kraftwerkes Wynau erläutert: Das Gefälle der Aare unterhalb der Stau-stufe bis zur Konzessionsgrenze beträgt im Durchschnitt rund 3,5 m. Bei einem Innendurchmesser des Stollens von 10,7 m und Vollastbetrieb (220 m³/s) beträgt der hydraulische Fliessverlust rund 0,7 m. Durch den Stollen können somit im Durchschnitt nur gerade 2,8 m mehr Gefälle (net-to) genutzt werden. Dies genügt bereits, um die Stollen-kosten (rund 80 Mio Franken) über die Konzessionsdauer zu verzinsen, zu amortisieren und zu unterhalten. Theore-tisch würde ein Stollen mit 9,5 m Innendurchmesser bereits dieselben Verluste aufweisen, wie die entsprechende Flussstrecke.

Ungewöhnlich für ein Drucksystem ist die Anordnung des Druckstollens unterwasserseitig der Turbine. Die Aus-legung eines solchen hydraulischen Systems, unter Be-rücksichtigung aller betrieblichen Randbedingungen, ist anspruchsvoll und stellt hohe Anforderungen an die Turbinenregulierung.

2. Etappierung des Projektes

Gegen die durch den Grossen Rat des Kantons Bern 1988 und die Volksabstimmung im Kanton Solothurn 1990 be-schlossene und erteilte Konzession erhob eine umwelt-schutzorientierte Gruppierung Beschwerde beim Bundes-rat. Die Beschwerde richtete sich dabei vor allem gegen den Bau des Stollens und drohte den Baubeginn stark zu verzögern.

Die EWW konnten sich mit den Beschwerdeführern so-weit einigen, dass der unbestrittene Teil des Projektes,

Tabelle 1. Technische Daten

Aareabflussverhältnisse			
Mittlerer Abfluss	m³/s	286	
1000jähriges Hochwasser	m³/s	1300	
Turbinen			
Typ		Stollenturbine	Aareturbine
Ausbauwassermenge	m³/s	220	220
Leistung	MW	16	12
Laufreddurchmesser	m	5,6	5,6
Drehzahl	U/min	80	80
Anzahl Flügel		4	3
Rechenstababstand	mm	150	150
(-lichte Weite	mm	120	120
Getriebe			
Einstufiges Planetengetriebe	U/min	80/750	80/600
Generator			
Leistung	MVA	17,5	12
Spannung	kV	9,5	9,5
Drehzahl	U/min	750	600
Durchgangsdrehzahl	U/min	2300	1860
Wehr			
Anzahl Öffnungen		4	
Abflusskapazität	m³/s	1300 gemäss Vorschrift Bundesamt für Wasserwirtschaft (alle Turbinen abgeschaltet, eine Wehröffnung in Revision)	
pro Öffnung	m³/s	450	
Mittlere Energieproduktion		Neuanlage gesamt	alte Anlage
Sommer	GWh	77	
Winter	GWh	62	
Jahr	GWh	139	82
Stollen			
Länge	m	3100	inkl. der Anschlussbauwerke Wasserschloss und Auslauf
Durchmesser innen	m	10,7	

welcher vor allem den Ersatz der baufälligen alten Anlage gewährleistet, realisiert werden kann.

Diese Umstände erforderten eine Etappierung des Baus. In der Etappe 1 werden nur Anlageteile errichtet, welche das Stollenprojekt in keiner Weise präjudizieren.

Der Bau des Stollens wurde vom Bundesgerichtsentscheid abhängig gemacht und würde entsprechend in einer Etappe 2 realisiert.

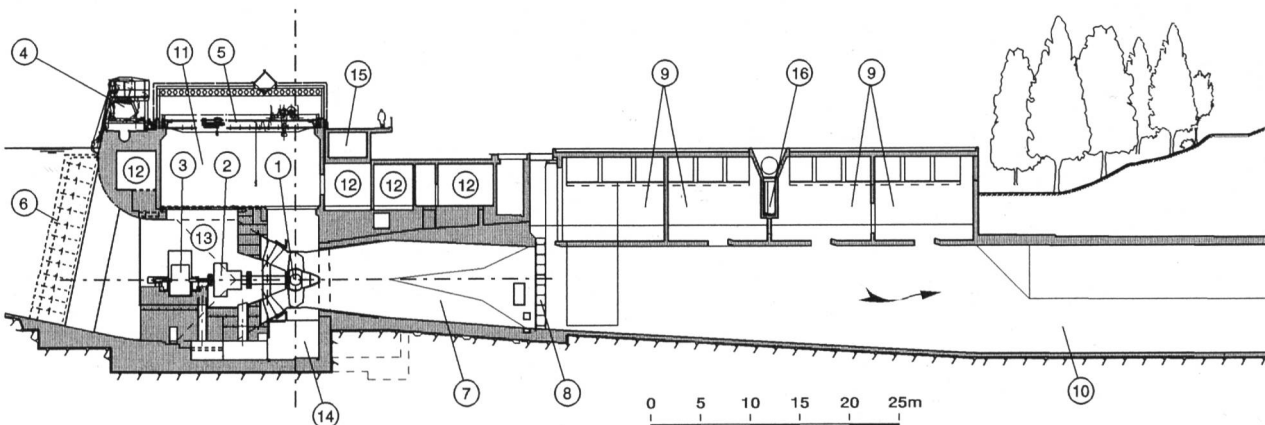


Bild 3. Längsschnitt durch Maschinenhaus und Wasserschloss. 1 Turbine Laufreddurchmesser 5,6 m, 2 Getriebe, 3 Generator, 4 Rechenreinigungsanlage, 5 Maschinensaalkran 600 kN, 6 Einlauf mit OW-Dammbalken als Revisionsabschluss, 7 Saugrohr, 8 UW-Dammbalken als Revisionsabschluss, 9 Wasserschloss mit vier Kammern und Überlauf in die Aare, 10 Druckstollen, 11 Maschinensaal (16,5×37 m), 12 Technikräume, 13 Generatorschacht, 14 Turbinengang/Turbinenschacht, 15 Wehrgang, 16 Fischpass.

3. Die erste Etappe

3.1 Anlagekonfiguration

Die erste Etappe enthält im wesentlichen folgende Anlagenteile (Bild 2):

Baulicher Teil

Das *Maschinenhaus* (Bild 3) ist aufgebaut auf zwei Getriebschachtelturbinen, welche die Hauptabmessungen in Länge und Breite durch die Dimensionen der Einläufe und der Saugrohre vorgeben. Eingebaut wird jedoch lediglich eine Turbine, die Aareturbine. Im Bereich der Stollenturbine ist im Einlaufbereich die hydraulische Kontur, welche für die Stollenturbine und für die Aareturbine identisch ist, erstellt. Im Bereich des zweiten Saugrohres wurden Bohrpfähle abgeteuf, die beim späteren Aushub der Etappe 2 als Stützfunktion für den darüberliegenden Teil des Maschinenhauses und als seitlicher Baugrubenabschluss dienen.

Im Maschinensaal ist ein Hallenkran angeordnet. Der über das Terrain ragende Hallenaufbau wird durch eine Stahlbau-/Kassettenblechkonstruktion in Flachdachbauweise gebildet. Der 8 m unter Terrain liegende Maschinensaalboden ist über eine lastwagenbefahrbare Rampe erschlossen. Grosse Teile mit Überprofil müssen allerdings über eine Öffnung im Hallendach mittels Pneufran in den Maschinensaal gehoben werden.

Die Technikräume (Steuerung, Schaltanlage, Eigenbedarf, Batterie, Notstromdiesel, Heizung-Lüftung-Klima) sind auf Maschinensaalbodenniveau über den Saugrohren angeordnet. Über der Rundung der Einlauftrumpete sind Sanitäranlagen (Druckluft, Wasserverteilung usw.) sowie der Hochtank für die Notschmierölversorgung der Turbine untergebracht.

Über den Saugrohren befindet sich das Lager für die Ober- und Unterwasserdambalken.

Der sogenannte Kopfbau wird gebildet aus Treppenhaus, Lift und Allgemeinräumen (WC-Anlagen, Aufenthaltsräume, Schutzraum usw.). Das Treppenhaus und der Lift werden bis zuunterst in den Turbinengang geführt.

Im Turbinengang sind alle direkten Hilfsaggregate (Leitapparatschliessgewicht, Ölhydraulikaggregate usw.) der Turbine untergebracht. Entleerungs-, Drainage- und Kühlwasserpumpen befinden sich in einem Raum zwischen den beiden Saugrohren. Am gegenüberliegenden Ende des Turbinenganges führt eine Nottreppe ins Freie.

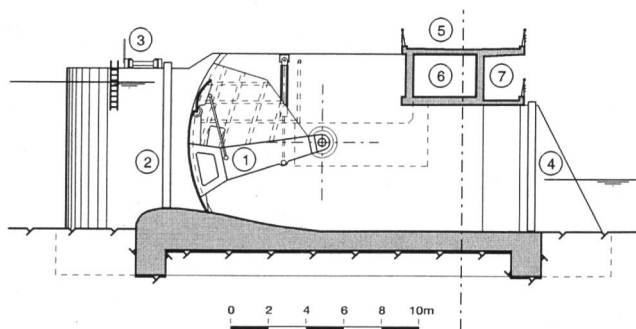


Bild 4. Schnitt durch das Wehr.

1 Segmentschützen mit aufgesetzten Klappen, 2 Oberwasser-Wehrtafeln als Revisionsabschluss, 3 Hilfsträger für das Anlehnen der Tafeln, 4 Unterwasser-Wehrtafeln als Revisionsabschluss, 5 Wehrbrücke Schwerlastüberfahrt, 6 Kabelgang, 7 öffentlicher Fussgängerübergang.

Das Maschinenhaus wurde so in den Fluss plaziert, dass praktisch sämtlicher Aushub zwischen alter und neuer Ufermauer hinterfüllt werden konnte.

Die Ein- und Auslaufverhältnisse wurden anhand eines Modellversuches an der VAW untersucht und optimiert.

Das Wehr

(Bilder 4 und 9) besteht aus vier Öffnungen, ausgerüstet mit Segmentschützen mit aufgesetzten Klappen. Gemäss der Vorschrift des Bundesamtes für Wasserwirtschaft vermag es bei einer geschlossenen Schütze ein Hochwasser von 1300 m³/s abzuführen.

Die über das Maschinenhaus geführte und unterwasserseitig der Schützen angeordnete Wehrbrücke erfüllt drei Funktionen:

- Schwerlastzufahrt für Pneufraneinsätze im Zusammenhang mit Schützeninspektionen und -revisionen
- Im Hohlkasten des Brückenträgers: Leitungs- und Steuerkabelverbindungen zum alten Kraftwerk Schwarzhäusern und zum nördlich der Aare gelegenen Versorgungsgebiet des EWW sowie Standort der Ölhydraulikaggregate der Wehrschützen
- Öffentliche Fussgänger Verbindung über die Aare

Elektromechanischer Teil

Die horizontalachsige *Kaplanturbine* (Bild 5) ist über drei Laufradschaufeln und den Leitapparat doppelt reguliert. Sie hat eine Nennausbauwassermenge von 220 m³/s und ist auf eine maximale Leistung von 12 MW ausgelegt. Mittels Getriebe wird die Drehzahl von 80 U/min auf 600 U/min erhöht. Im Vergleich zum direkt angetriebenen Generator kann so ein kleiner schnellläufiger Generator eingesetzt werden, der bei vergleichbaren Wirkungsgraden kostengünstiger ist. Getriebe und Generator sind in einem Stahlgehäuse untergebracht. Dieser sogenannte Schacht ist mit schweren Betondeckeln vom Maschinensaal her gedeckt. Die Abdeckung dient vor allem der Reduktion des Lärmpegels. Mit 5,60 m Laufraddurchmesser ist die von Sulzer Hydro hergestellte Turbine zurzeit die grösste je in der Schweiz installierte Turbine ihrer Art und stellt modernste Turbinentechnik mit hohen Wirkungsgraden in allen Lastbereichen bei günstigen Unterhaltskosten dar. Gegenüber der konventionellen Rohrturbine gaben Wirtschaftlichkeitsüberlegungen der gewählten Variante mit Getriebe den Vorrang.

Der *Generator* der Firma ABB ist auf 12 kVA ausgelegt und hat eine Maschinenspannung von 9 kV. Die Abwärme der Maschinen wird zur Klimatisierung des Maschinenhauses genutzt. Die überschüssige Abwärme wird über Wärmetauscher in einem geschlossenen Kühlwassersystem an die Aare abgegeben.

Mit der *Wasserhaushaltsautomatik* und *Steuerung* von Rittmeyer ist die Neuanlage für den vollautomatischen Betrieb ausgelegt.

Stahlwasserbaulicher Teil

Der 12x16 m messende *Einlaufrechen* der Firma Erne Metallbau AG ist aus Fischbauchprofilen gefertigt und horizontal verspannt. Eine zusätzliche Diagonalverstrebung bewirkt, dass die Rechenstäbe verschiedene Eigenfrequenzen aufweisen und sich allfällig strömungsbedingt angeregte Schwingungen nur auf einzelne Stäbe beschränken. Die Gefahr, dass die ganze Rechenebene in Resonanz gerät, ist dadurch stark vermindert. Das Fischbauchprofil der Rechenstäbe hat neben der hydraulisch optimalen Form auch den Vorteil, das Geschwemmsel nur bis zu einem klar definierten Engpass in Strömungsrichtung hän-

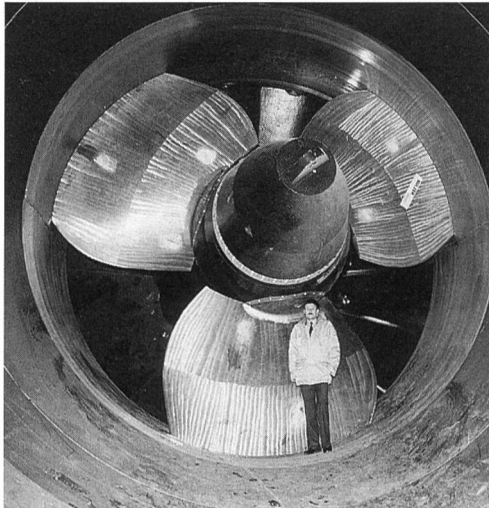


Bild 5, links. Turbine; Laufraddurchmesser 5,6 m, 220 m³/s Ausbauwassermenge, 12 MW.



Bild 6, rechts. Baugrube Maschinenhaus. Infolge heikler Untergrundverhältnisse musste diese etappiert werden. Die Aare ist während dieser Bauphase durch das neuerstellte Wehr umgeleitet, die Schützen sind noch nicht eingebaut.

genbleibt und diese Stelle durch den Haken der Rechenreinigungsanlage erreicht wird. Der Rechenstababstand ist von der fischereipolizeilichen Bewilligung vorgegeben und beträgt 120 mm im Licht.

Einlauf und Saugrohr können mittels *Dammbalken* abgeschlossen und trockengelegt werden. Die Oberwasserdammbalken werden mit der Rechenreinigungsanlage versetzt. Sie haben die Form eines gestreckten U und ermöglichen so im versetzten Zustand den trockenen Zugang zum Rechen. Die Unterwasserdammbalken können mittels Pneukran auch bei durch Defekt nur teilweise geschlossenem Leitapparat unter Strömung versetzt werden. Die Dammbalken wurden ebenfalls durch die Firma Erne Metallbau AG geliefert.

Die *Rechenreinigungsanlage* der Firma Fähr besitzt einen offenen Haken und reinigt von unten nach oben. Das Geschwemmsel wird in eine mitgeführte 6-m³-Mulde abgeworfen. Sobald die Mulde gefüllt ist, wird sie in einen 20-m³-Container entleert. Das Geschwemmsel wird vorläufig mittels Lastwagen in eine Verbrennungsanlage abtransportiert. Die Rechenreinigung ist für einen vollautomatischen Betrieb ausgelegt.

Für das Versetzen der Dammbalken ist ein spezieller Hebezeugaufbau erforderlich. Nebst dem Versetzen der Dammbalken können damit auch ein Inspektionswagen in den Zwischenraum zwischen Dammbalken und Rechen hinuntergelassen sowie Rechenfelder herausgehoben werden.

Die *Wehrschützen* der Firma Giovanola haben eine Staufläche von je 14,5 m Breite und 8,0 m Höhe.

Für die Trockenlegung im Inspektions- oder Revisionsfall werden ober- und unterwasserseitig 2,5 m breite Tafeln versetzt, eine Abart des bekannten Nadelverschlusses. Ausschlaggebend für den Entscheid des vertikalen Abschlusses, im Gegensatz zum horizontalen Dammbalkenabschluss, war die Gewichtsbeschränkung durch einen vorgegebenen Pneukrantyp.

Ökologische Begleitmassnahmen

Der *Fischpass* ist als konventioneller Beckenpass ausgelegt. Anstatt einer Reuse für die Erfolgskontrolle wurde hier zum erstenmal das Prinzip eines Bypasses angewendet. Der Fisch wird dabei in ein Becken umgeleitet, welches für ihn keine Auf- bzw. Abstiegsmöglichkeit hat. Für die Zählung können der Wasserstand im Becken abgesenkt und die Fische mittels Feumern entnommen werden.

Der Einlaufbereich des alten Kraftwerkes Wynau liegt ausserhalb des eigentlichen Flussquerschnittes und bildet eine Art Bucht. Diese Bucht wird mit Ausnahme eines Durchlasses durch einen Damm aus Aushubmaterial vom Flusslauf abgetrennt und bildet so ein *Stillgewässer*, in dem Fische laichen und sich eigene Lebensgemeinschaften bilden können.

Zur Wiederbelebung des kolmatierten Flussabschnittes unterhalb des Kraftwerkes muss der kiesige Untergrund vom Schlamm befreit werden. Das EWW wird mit der Konzeption verpflichtet, von Zeit zu Zeit Reinigungen der Flusssohle durchzuführen oder neues Kies einzubringen.

Mit der ökologischen Baubegleitung wurde das Büro ANL AG Natur und Landschaft, Aarau, beauftragt.

3.2 Baugruben- und Fundationsproblematik

Die Neuanlage liegt vollständig im bestehenden Flussbett der Aare. Eine Umleitung der Aare war aus Kosten- und Platzgründen nicht möglich. Damit der Aareabfluss über die ganze Bauzeit sicher weitergeleitet werden konnte, war deshalb ein phasenweises Vorgehen erforderlich.

In einer ersten Phase wurde die Wehranlage erstellt. Die Aare wurde dabei durch den Fangedamm an das rechte Ufer gedrängt. Das Flussbett ist an dieser Stelle genügend breit, so dass zu keiner Zeit Kapazitätsprobleme bestanden. Die Einengung führte lediglich zu Gefällsverlusten von maximal 60 cm beim alten Kraftwerk Wynau.

In der zweiten Phase wurde rechts das Maschinenhaus erstellt und die Aare links durch die neuen Wehroffnungen geleitet. Der Untergrund im Fundationsbereich des Maschinenhauses wird durch die Untere Süsswassermolasse gebildet. Diese Formation besteht im Projektbereich aus Schichten von Mergel (Mächtigkeit 5 bis 6 m, prozentual grösster Anteil), Siltstein (Mächtigkeit 1 bis 3 m) und Kalk (Mächtigkeit 0,2 bis 1 m). Darüber liegt eine äusserst harte und kompakte Kalkschicht von 1 bis 3 m Stärke.

Die Gesteinseigenschaften der Unteren Süsswassermolasse werden durch den anteilmässig vorherrschenden Mergel geprägt. Dieser hat durch seinen hohen Tonanteil ein ausgeprägt plastisches Verhalten, ist wenig zerklüftet und hat eine sehr kleine Wasserleitfähigkeit. Es erstaunt daher nicht, dass 20 m unter Terrain gespannte Grundwasserspiegel von über 4 bar gemessen werden konnten.

Die ungewöhnlichen Untergrundverhältnisse mit dieser sehr harten Kalksteinschicht an der Oberfläche stellten

grosse Anforderungen an die Fangedämme für die Baugrubenumschlüssungen. Das Rammen von Spundwänden ist undenkbar.

Die ausführende Baufirma Meier & Jäggi AG entwickelte deshalb ein spezielles Fangedammkonzept (Bild 11). Mit einem auf einen Bagger montierten Fräskopf (Imlochhammer) wurden von einem Floss aus schwimmend ca. 2 bis 3 m tiefe Löcher gebohrt. In diese wurden an Land vorgefertigte Stahlrahmen gestellt und einbetoniert. Die alle 5 m gestellten Rahmen wurden fortlaufend mit Längsträgern verbunden und mit Holzbohlen eingedeckt. Diese so erstellte Fahrbahn erlaubte es, dass der Fangedamm mit Ausnahme der Bohrungen vom Trockenen her ausgeführt und deshalb sehr effizient und praktisch unabhängig von der Wasserführung gearbeitet werden konnte. Die Spundbohlen wurden auf der Wasserseite versetzt, leicht eingerammt und mittels Longarinen an der Tragkonstruktion befestigt. Der Spundwandfuss wurde wasserseitig einbetoniert, um die Dichtigkeit zu vergrössern. Das Kippmoment infolge Wasserdrucks wurde durch eine Verankerung der Tragkonstruktion mittels Vorspannankern im Untergrund aufgenommen.

Die harte Kalkoberfläche und der dichte Untergrund bilden ideale Fundamentsverhältnisse für das Wehr. Mittels Fräsen wurden die Pfeilerfundamente aus dem Fels präzise ausgehoben. Es entstand dadurch eine Verzahnung mit dem Untergrund, welche die Gleitsicherheit gewährt. Trotzdem wurde für die statische Bemessung als extremer Lastfall ein Abgleiten der Kalksteinschicht auf den Mergeln angenommen. Dies könnte durch Kolkerosion der Kalkplatte



Bild 7. Saugrohr-Austrittsquerschnitt (13,6×8,5 m).

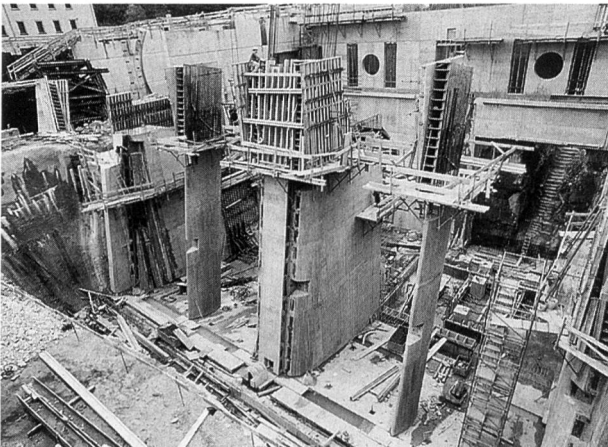


Bild 8. Turbineneinläufe (Einlaufquerschnitt 12×16 m). Die Platzverhältnisse sind infolge der etapierten Bauweise eng.

unterhalb des Wehres hervorgerufen werden. Dank der grossen Steifigkeit des Wehres gegen horizontale Biegung ist eine Abtragung der Wasserlasten über fast 70 m Spannweite auf die seitlichen Widerlager ohne grössere Massnahmen möglich. Das linke Widerlager ist speziell für die Lastabtragung in den Untergrund ausgebildet. Das rechte Widerlager wird durch das Maschinenhaus gebildet.

Dank dem dichten Untergrund mussten keine Abdichtungsmassnahmen unter dem Wehr vorgenommen werden.

In der Unteren Süsswassermolasse können, wie aus dem Unfall im Langetenstollen bekannt wurde, gasführende Gesteinsschichten auftreten. Eine solche Schicht ist im Aushubperimeter des Maschinenhauses bei den Sondierungen angebohrt worden. Die Baustelle wurde deshalb von der Suva vorsorglich unter die Richtlinie 1497 «Zur Verhütung von Unfällen durch Brände und Explosionen bei der Erstellung von Untertagebauten in Erdgas führenden Gesteinsschichten» gestellt. Dies bedeutete, dass die Arbeiten unter der Verantwortung eines durch die Suva anerkannten Gasfachmannes ausgeführt werden mussten.

Rudolf Amberg, der diese Funktion wahrnahm, beurteilte das Risiko für eine offene Baugrube, wie der vorliegenden, als äusserst gering und erliess, ausser einem Rauchverbot, und periodische Gasmessungen, keine weiteren Massnahmen.

Beim Abteufen von Bohrpfeilen konnten tatsächlich Gasblasen im Wasser festgestellt werden. Die Konzentration indes war schon wenige Zentimeter über der Wasseroberfläche auch mit sehr sensiblen Geräten nicht mehr messbar.

Für das Bauwerk selbst wurden keine speziellen Massnahmen getroffen. Der Einsatz von wasserdichtem Beton wurde als genügend erachtet.

Das Maschinenhaus erfordert theoretisch, die Ein- und Auslaufbereiche nicht berücksichtigt, eine Baugrube mit den Abmessungen Länge 80 m, Breite 35 m und Tiefe ab Flusssohle rund 20 m. Der eine Baugrubenrand wird dabei direkt durch den letzten Wehrpfeiler begrenzt.

Statische Berechnungen mittels Finitelementmodellen liessen darauf schliessen, dass durch das plastische Deformationsverhalten des Mergels grosse Horizontal- und Vertikalbewegungen im Dezimeterbereich auftreten könnten. Stabilitätsüberlegungen sprachen ebenfalls dafür, dass eine derartige Baugrube grosse Risiken in sich birgt. Erfahrungen aus ähnlich gelagerten Baugruben zeigten, dass mittels Stahlversperrungen Deformationen kaum zu verhindern sind. Der Einsatz von Vorspannankern zur Baugrubensicherung scheiterte an den Verankerungskräften in der Molasse. Diese sind aufgrund von Ausziehversuchen auf 300 kN begrenzt. Zudem verlängert die Wartezeit bis zur Lastaufbringung die Bauzeit.

All diese Überlegungen führten zum Schluss, dass die Baugrube in mehrere kleine Etappen unterteilt werden muss. Dabei ist jeweils der entsprechende Bauteil sofort als Stützkörper einzubauen, bevor der nächstfolgende Aushub getätigt wird. Die Reihenfolge wurde so festgelegt, dass das Wehr stets, sei dies durch stehengelassene Felskörper oder bereits eingebaute Bauteile, gegen die andere Baugrubenseite abgestützt ist (Bilder 6, 7 und 8).

Der netzarmierte und mit Mörtelanker verankerte Spritzbeton diente als Steinschlagschutz. Zur Drainage von allfällig durch Entspannung des Felsens entstehenden Klüften wurden vorsorglich in einem Raster von 5×5 m perforierte 15 m lange Rohre horizontal in den Fels versetzt. Sie sollten verhindern, dass durch Wasserdruck ganze Felspartien in die Baugrube gedrückt würden.

Mit permanenten Messungen (Inklinometer, Extensometer) rund um die Baugrube und Präzisionsmessungen (Distometer, Präzisionsnivellement) am Wehr wurde das Deformationsverhalten während der ganzen Bauphase überwacht. Die Messungen entsprachen recht gut den Vorhersagen aufgrund der Berechnungen.

Die enormen Kräfte, welche bei den Umlagerungen im Fels im Spiel waren, zeigten am Auslaufbauwerk ihre beeindruckende Wirkung. Seitenwände, stark armiert, von mehr als 3 m Stärke, rissen beim Aushub der folgenden Etappe durch Biege- und Querkraftbeanspruchung stark, ohne dass die Tragfähigkeit jedoch überschritten wurde. Die Schäden konnten mittels Kunstharzinjektionen behoben werden.

Das Ziel, die differentiellen Setzungen der Wehrpfeiler unter 5 mm zu halten, konnte mit diesem Vorgehen eingehalten werden. Die grössten absoluten Setzungen betrugen 25 mm.

Ein weiterer Vorteil dieses vorsichtigen Vorgehens war die gute Berechenbarkeit des Bauprogrammes. Die pünktliche Übergabe von Schnittstellen an Lieferanten ist bei einem so komplexen Bauwerk für die Termineinhaltung wichtig. Nicht zuletzt dank diesem Vorgehen konnte nach vierjähriger Bauzeit die Turbine programmgemäss am 26. März 1996 in Betrieb genommen werden.

3.3 Qualitätssicherung

Qualitätssicherung, das Schlagwort der 90er Jahre, in der Industrie schon beinahe zur Selbstverständlichkeit geworden, fristete in der Baubranche lange Zeit ein Mauerblümchendasein. Die IUB nutzte das vorliegende Projekt, um eins zu eins Erfahrungen auf dem Gebiet der Qualitätssicherung zu sammeln und diese später im Gesamtbetrieb umzusetzen. Projektspezifisch wurden Qualitätspläne (Q-Pläne) für die interne Projektbearbeitung sowie für die Zusammenarbeit mit der ausführenden Bauunternehmung auf der Baustelle erstellt. Darin sind Projektabläufe, Verantwortlichkeiten und Kontrollfunktionen definiert und geregelt.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Erfahrungen auf der Baustelle.

Ein Problem bei der Entwicklung des Q-Planes stellte sich bei der Abgrenzung der Verantwortlichkeiten zwischen Bauleiter und Bauunternehmer. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die Bauunternehmung für die Qualität ihrer Arbeit selber verantwortlich ist. Die Anforderungen sind in den Ausführungsplänen des Projektverfassers definiert. Eine Kontrollfunktion der Bauleitung wäre in diesem Sinne überflüssig, ja sogar falsch und könnte zu Missverständnissen führen. Nun ist es aber schwierig, vor allem in Zusammenarbeit mit einer Bauunternehmung, mit welcher bisher noch keine Erfahrungen bestehen, einfach so auf eine Kontrolle zu verzichten. Schliesslich besteht über die SIA-Honorarordnung 103 auch eine Verpflichtung gegenüber der Bauherrschaft, die Arbeiten der Bauunternehmung zu kontrollieren.

Unter diesem Aspekt wurde die Kontrollfunktion der Bauleitung beibehalten. In Checklisten, die in Zusammenarbeit mit dem Bauführer entwickelt wurden, sind die Kontrollen definiert. Die Checklisten waren jeweils nach Durchführung der Kontrollen durch Bauführer und Bauleiter zu visieren. Schnittstellen müssen mit allen Beteiligten kontrolliert und protokollarisch abgenommen werden. Nur so ist bei Fehlerhaftigkeiten die Rückverfolgbarkeit gewährleistet und eine allfällige Schuldzuweisung möglich.

Unter dem Aspekt der Verfahrensbeherrschung wurde speziell auf die Durchführung von seriösen Vorversuchen geachtet. Im Bereich der Betonherstellung hatten die Vorversuche zum Ziel, die geforderten Betonsorten bzw. -eigenschaften zu entwickeln, zu optimieren und Zielgrössen und Grenzwerte für die Frischbetonkontrollen festzulegen. Dies war um so erforderlicher, als von Standardbetonen abgewichen wurde und eine Ortbetonanlage zum Einsatz kam.

Im Falle von Wynau wurde im Hinblick auf die massigen Bauteile Beton ausgeschrieben mit Korndurchmesser 0 bis 50 mm und einem Zementgehalt von 250 kg/m³. Für den Wasser-Zement-Gehalt sollte ein Wert von 0,45 bis 0,5 angestrebt werden. Das Ziel war sowohl das Schwindverhalten positiv zu beeinflussen als auch die Abbinde-temperaturentwicklung möglichst tief zu halten. Aus diesem «Grundbeton» waren die Eigenschaften Wasser-

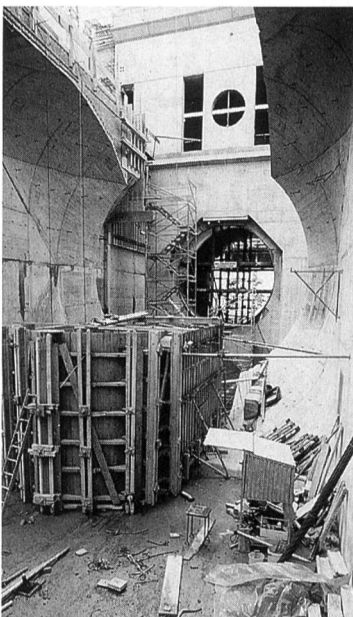


Bild 9, links. Turbineneinlauf. Übergang vom Quadratquerschnitt (12 x 12 m) zum Kreisquerschnitt des Leitapparates (Durchmesser 9,25 m), eingeschalt der 3 m hohe Generatorschachtsockel.

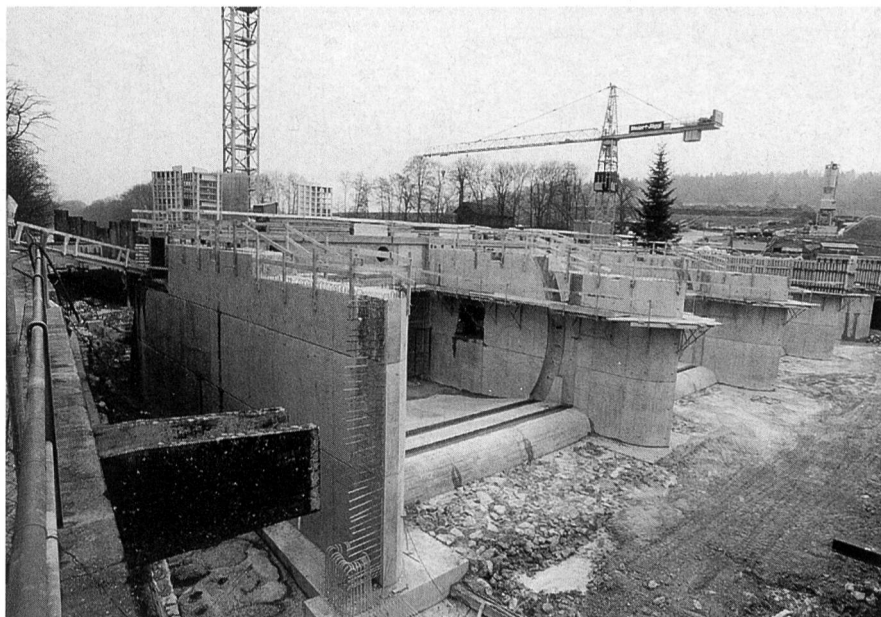


Bild 10, rechts. Die Wehranlage im Bau. Breite einer Öffnung 14,5 m, Pfeilerhöhe 8 m.



Bild 11. Arbeiten am Fangedamm.

dichtigkeit, Frostbeständigkeit und Abriebfestigkeit weiterzuentwickeln. Die Bauunternehmung, die den Gesamtauftrag für die Erstellung des Maschinenhauses zu einem teuerungsberechtigten Fixpreis übernahm, war bestrebt, Kosten zu sparen, und lud die massgebenden Bauchemie-lieferanten dazu ein, für sie diese Vorversuche unter Bau-stellenbedingungen durchzuführen. Die Proben wurden je-weils durch ein anerkanntes Institut geprüft.

Die Unterschiede der Resultate der verschiedenen Lief-eranten waren frappant und bestätigten die Notwendigkeit der Vorversuche. Nebst den zu erfüllenden Betoneigen-schaften war dank diesem Verfahren auch der Preis ein entscheidendes Kriterium für die Vergabe an den Chemie-lieferanten.

Der so entwickelte Beton enthielt ausser einem Verflüssi-ger praktisch keine Chemikalien und genügte ohne Rezep-turanpassungen allen geforderten Eigenschaften. Spezielle Betone in geringen Mengen, z.B. Frosttausalz-beständiger Beton, wurden ab Werk geliefert.

Gemäss Q-Plan wurde verlangt, den Beton entspre-chend der Norm SIA 162 zu klassifizieren. In Zusammen-hang mit den laufenden Frischbetonkontrollen war damit die Konstanz der Betoneigenschaften gewährleistet. Auf das Herstellen und Prüfen von Probewürfeln konnte des-halb verzichtet werden. Stichproben wurden nur noch mit-tels Betonprüfhammer durchgeführt. Falls dabei Zweifel an der Betonqualität aufgekommen wären, hätten Bohrkern-e entnommen werden müssen.

Ein positiver Aspekt der Auftragsabwicklung war eben-falls die konsequente Durchführung des Kontrollplanwe-sens zwischen Projektverfasser und Bauunternehmer. Mindestens sechs Wochen vor Ausführung wurden dem Bauunternehmer die Schalungspläne im Entwurf zur Kon-trolle vorgelegt. Er konnte Änderungswünsche anbringen, z.B. auf Betonierfugen, Fugenbänder. Im Rahmen der Globalübernahme des Auftrages wurde die Verantwort-lichkeit über die Fugendichtigkeit dem Unternehmer übertra-gen. Auf sein Risiko hin konnte er Fugenbänder einsparen oder zusätzlich verlangen.

Wichtig für die Akzeptanz eines Q-Planes ist dessen Ver-ständlichkeit und Realitätsbezogenheit. Entscheidend ist ebenfalls die Grundeinstellung der Bauunternehmung zur Qualitätssicherung. Hier kann viel Verständnis geschaffen werden, wenn der Unternehmer bei der Entwicklung des Q-Planes miteinbezogen wird. Alles in allem waren die Erfah-rungen mit dem Q-Plan äusserst positiv.

Die Baumeisterarbeiten wurden durch die Arbeitsge-meinschaft EW Wynau unter der Federführung der Firma

Meier & Jäggi AG mit Beteiligungen der Unternehmer W. Bösiger AG, Hector Egger AG, F. König AG und F. Witschi AG ausgeführt.

4. Projektstand und Ausblick

Die Arbeiten der ersten Etappe finden mit der Einwei-hungsfeier Mitte September 1996 ihren Abschluss.

In bezug auf die zweite Etappe wurde im Herbst 1993 die Beschwerde gegen den Stollen vollumfänglich abge-wiesen. Auch die kantonal bernische Volksinitiative zum Schutze der Aare, welche sich explizit auch gegen das Stollenprojekt richtete, wurde vom Souverän abgelehnt.

Damit stand den EWW der Weg frei, das Projekt wieder an die Hand zu nehmen.

1994/95 wurde das Bauprojekt erarbeitet und der Um-weltverträglichkeitsbericht Stufe 2 erstellt. Parallel dazu wurden die durch die Konzession geforderten Modellver-suche zur Optimierung der Strömungsverhältnisse beim Stollenauslauf durchgeführt. Mit weiteren Sondierbohrun-gen wurden das Stollenrassie eingehender erkundet und die Linienführung optimiert. Im April 1995 wurde das Bau-projekt zur Plangenehmigung eingereicht. Probleme bei der Bewilligung für die Stollenausbruchdeponie verzögern das Genehmigungsverfahren. Die Baubewilligung wird auf Herbst 1996 erwartet.

Mitte Mai 1996 bewilligte die Generalversammlung der EWW einstimmig den Kostenvoranschlag und fasste da-mit den Baubeschluss. Anschliessend an die General-versammlung wurden die Hauptarbeiten der Etappe 2 aus-geschrieben (Baumeisterarbeiten, Turbine, Generator, Stahlwasserbau). Der Baubeginn ist auf die erste Hälfte 1997 vorgesehen. Die Inbetriebnahme ist auf Januar 2000 geplant.

5. Schlussbemerkung

Das Stollenprojekt der Elektrizitätswerke Wynau AG kann unter Einsatz modernster Maschinen- und Bautechnik wirt-schaftlich realisiert und die Produktivität massiv erhöht werden. Stossen herkömmliche Stauanlagen für Nieder-druckanlagen an die Grenzen des technisch, ökologisch und finanziell Machbaren, so eröffnet ein Stollen neue Möglichkeiten.

Wird davon ausgegangen, dass der Urzustand des Schweizer Mittellandes mit mäandrierenden Flüssen in un-serer dicht besiedelten Zivilisation nicht mehr herstellbar ist, beweisen anerkannte Experten im Umweltbereich, dass mit einem derartigen Stollenprojekt durchaus wesentliche Verbesserungen gegenüber dem Ist-Zustand erzielt wer-den können. Leider erlaubt es unser gesellschaftspoliti-sches Gefüge, dass innovative Projekte gegen den Volks-willen massiv verzögert werden können.

Sollte die Anlage im Endausbau tatsächlich im Jahre 2000 ans Netz gehen, sind von der ersten Auftragserteilung für Erneuerungsstudien bis zur Vollendung volle 22 Jahre verstrichen.

Dass ein investitionswilliger Bauherr solange Geduld auf-bringen kann, ist beachtenswert.

Für die Realisierung eines derartigen Projektes genügt es längst nicht mehr, die technischen Probleme zu lösen. Rechtsgelehrte und Umweltfachleute einer jeden Sparte verdrängen die Ingenieure und eigentlichen Projektverfas-ser je länger je mehr vom Projektierungstisch.

Adressen der Verfasser: *Andreas Siegrist* IUB Ingenieur-Unterneh-mung AG Bern, Thunstrasse 2, Postfach, CH-3000 Bern 6. *Johan-nes Sprecher*, Elektrizitätswerke Wynau AG, Waldhofstrasse 1, CH-4900 Langenthal.