

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 92 (2000)
Heft: 3-4

Artikel: Verstärkung und Modernisierung des Stauwehrs August-Wyhlen
Autor: Peter, Marco / Zeier, Theo / Biesgen, Wolfgang
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940247>

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: 10.02.2026

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

Verstärkung und Modernisierung des Stauwehrs Augst-Wyhlen

■ Marco Peter, Theo Zeier, Wolfgang Biesgen

1. Einleitung

Das Kraftwerk Augst-Wyhlen wurde zu Beginn des Jahrhunderts von 1908 bis 1912 als zweites Kraftwerk am Rhein gebaut und war zu dieser Zeit eines der grössten der Schweiz.

Die beiden Kraftwerkszentralen auf der deutschen und schweizerischen Seite wurden in den Jahren 1990 bis 1994 durch den Einbau von 13 Straflomaschinen vollständig erneuert, um die Energieproduktion von jährlich 250 Mio. kWh auf rund 400 Mio. kWh (ohne Einstauersatz von 100 Mio. kWh) steigern zu können [1], [2]. Eigentümer sind die Kraftwerk Augst AG (Schweizer Seite) und die Kraftübertragungswerke Rheinfelden AG (deutsche Seite).

Der erforderliche Stau wird durch ein quer über den Rhein verlaufendes Stauwehr erzeugt, das in gemeinsamem Besitz der beiden Kraftwerksgesellschaften ist.

Im Zuge der Konzessionserneuerung mussten für diese Stauanlage ähnliche Nachweise wie für eine Neuanlage erbracht werden. Die Projektierungsarbeiten wurden unmittelbar nach Abschluss der Kraftwerksumbauten aufgenommen. Die Bauarbeiten dauerten von Anfang 1997 bis Ende 1998.

In diesem Artikel werden die Probleme und Mängel nach 90 Jahren Nutzung und die erfolgten Massnahmen erläutert.

2. Überblick über die Wehranlage

Die Wehranlage verläuft quer über den Rhein von der Schweiz (Augst) nach Deutschland (Wyhlen). Die totale Länge beträgt 212 m, und die Anlage ist in zehn Wehrfelder mit 9,8 m hohen Tafelschützen von 17,5 m Breite unterteilt. Vier Schützen sind mit Überfallklappen ausgerüstet.

Bis zum Abschluss des Kraftwerksumbaus im Jahr 1994 hatte das Wehr während etwa acht Monaten im Jahr Überlauf, der nun durch den höheren Ausbaugrad der Kraftwerke auf 1500 m³/s auf weniger als zwei Monate reduziert wurde. Das maximale Hochwasser beträgt 5500 m³/s, der mittlere Abfluss liegt bei gut 1000 m³/s.

Jedes der zehn Wehrfelder von 17,5 m lichter Breite kann bei voller Öffnung 880 m³/s Wasser abführen. Baulichen Anlagen zur Energievernichtung sind nicht vorhanden.

Die Pfeiler und Wehrsohlen bestehen an allen Aussenflächen aus Granitquadern von 30 bis 80 cm Stärke. Der Raum innerhalb dieser Granitverkleidung ist mit einem inhomogenen Stampfbeton gefüllt. Die Granitsteine in den Sohlen sind mit kurzen Ankern in den Beton eingebunden.

Alle Foundationen der neun Wehrpfeiler und der zehn Schwellen sind dem Verlauf der natürlichen Felsoberfläche angepasst. Die Foundationstiefen liegen 14 bis 22 m unter dem Oberwasserspiegel. Die Stauhöhe lag ursprünglich bei 8 m. Seit dem Einstau durch den Unterlieger Birsfelden beträgt sie nur noch 6,7 m.

Sowohl Pfeiler als auch Schwellen wurden als Druckluftcaissons fundiert. Der Fels am Fuss der Caissons wurde im Schutze von Luftüberdruck abgebaut und die ganze Konstruktion in kleinen Etappen abgeteufelt.

Jede der Schützen wird mit zwei grossen Ketten angehoben, die durch Elektromotoren von 56 PS angetrieben werden. Die Anspeisung der Elektromotoren erfolgt von beiden Kraftwerken aus bis zur Wehrmitte. Dort ist ein automatischer Kuppelschalter installiert. Fehlt auf einer Seite die Versorgungsspannung, so öffnet der Schalter in der 400-V-Verteilleitung des entsprechenden Kraftwerks und der Kuppelschalter in Wehrmitte schliesst. Damit werden alle Wehrschützen vom intakten Kraftwerk versorgt.

3. Rückblick auf fast 90 Jahre Betrieb

3.1 Alterung und Schäden an der Anlage

Bau, Stahlwasserbau und Antriebe sind grundsätzlich noch von 1912. In den Aufzeichnungen des Betriebs sind folgende Probleme und Reparaturen dokumentiert:

– Kolk im Unterwasser

Der unmittelbar an die kurzen Wehrsohlen anschliessende Kalkfels wurde schon wenige Jahre nach Betriebsaufnahme stark ausgekolkelt. Dies führte bereits in den Jahren 1919–1922 zu einer Verlängerung der Wehrsohlen um 8 m. Die Unterkolkung der Wehrsohlen konnte damit eingedämmt werden. Heute schliesst unmittelbar an die verlängerten Wehrsohlen ein «Graben» von 3 bis 5 m Tiefe (gegenüber Sohlenoberkante) an.

Er erstreckt sich in Fliessrichtung über 5 bis 20 m und ist an acht der zehn Wehrfelder anzutreffen. Die maximale Wassertiefe ist im Unterwasser mit 14 m höher als im Oberwasser.

– Unterläufigkeit

Ebenfalls wenige Jahre nach Betriebsaufnahme musste in Wehrmitte eine erhebliche Quelle von mehreren m³/s mittels Druckluftcaissons abgedichtet werden [3]. Das Problem war jedoch einmalig und auf eine geologische Störzone beschränkt.

– Armierungskorrosion bei der Wehrbrücke

Bei der von Maillart geplanten Wehrbrücke hatten sich die üblichen Bauschäden eingestellt; sie wurde schon vor ein paar Jahrzehnten saniert.

– Stampfbeton, Caissonhohlräume

Wahrscheinlich durch Auswaschungen alarmiert, wurden 1952/53 der Pfeileroberbau und 1964/65 der Pfeilerunterbau und die Pfeilercaissons injiziert. Die Injektionsmengen lagen pro Pfeiler zwischen 55 und 106 t. Total wurden 840 t Zement in die elf Pfeiler und ihre Caissonfoundationen verpresst. Im Zuge der Nachweise bei der Neukonzessionierung wurden folgende Probleme erkannt resp. bestätigt:

– Gleitsicherheit

Infolge ungenügender Auftriebsannahmen bei der ursprünglichen Bemessung und der sehr komplexen Geologie konnte die erforderliche Gleitsicherheit nicht ohne Verstärkungen nachgewiesen werden.

– Auftriebssicherheit bei entleerten Schwellen

Diese konnte rechnerisch nicht nachgewiesen werden. Die Fuge zwischen Sohle und Pfeiler war höchsten Beanspruchungen ausgesetzt.

– Erdbebensicherheit der Fachwerkbrücke

Die Fachwerkbrücke mit den schweren Antrieben der Schützen war ungenügend gegen Absturz bei Erdbeben gesichert.

– Kolk im Oberwasser

Entgegen allen Erwartungen mussten auch im Oberwasser Kolkerscheinungen festgestellt werden. Ursache dürften das räumliche Strömungsbild um die vorstehenden Pfeiler und die meist rund 2 m über Felsgrund liegenden Schwellen sein.

Ein Kolk fand sich vorwiegend in den Ecken Pfeiler/Schwelle. Vereinzelt war er mehrere

Meter tief und hat teilweise auch die Verfüllungen zwischen Pfeiler- und Schwellen-caisson erodiert. Das totale Volumen des Kolks im Oberwasser war jedoch mit 100 bis 150 m³ mehr als zwei Zehnerpotenzen kleiner als die Auskolkungen im Unterwasser.

- Vereinzelte Erosion der Pfeilerköpfe
Im Zug der letztjährigen Hochwasser, die den Unterwasserspiegel bis über die Unterwasser-Pfeilerköpfe ansteigen liessen, wurden vereinzelt Granitblöcke herausgelöst. Es ist anzunehmen, dass die Fugen vorgängig durch Frost geschädigt waren.

Mit Genugtuung konnte festgestellt werden, dass folgende Bauteile nach 90 Jahren Betrieb keine oder nur unbedeutende Schäden aufwiesen:

- keine Erosion oder Abrasion an den baulichen Strukturen;
- praktisch keine offenen oder beschädigten Fugen zwischen den Granitblöcken;
- praktisch keine Schäden an den Granitblöcken;
- keine erkennbaren Risse;
- keine nennenswerten Schäden an den Tragstrukturen;
- der Schützenantrieb mit den Ketten hat grundsätzlich störungsfrei funktioniert. Von den total 28 Ketten (2 × 10 + 2 × 4) ist während 90 Betriebsjahren nur eine einzige gerissen. Der Unterhalt der Ketten ist aber nicht betriebsfreundlich.

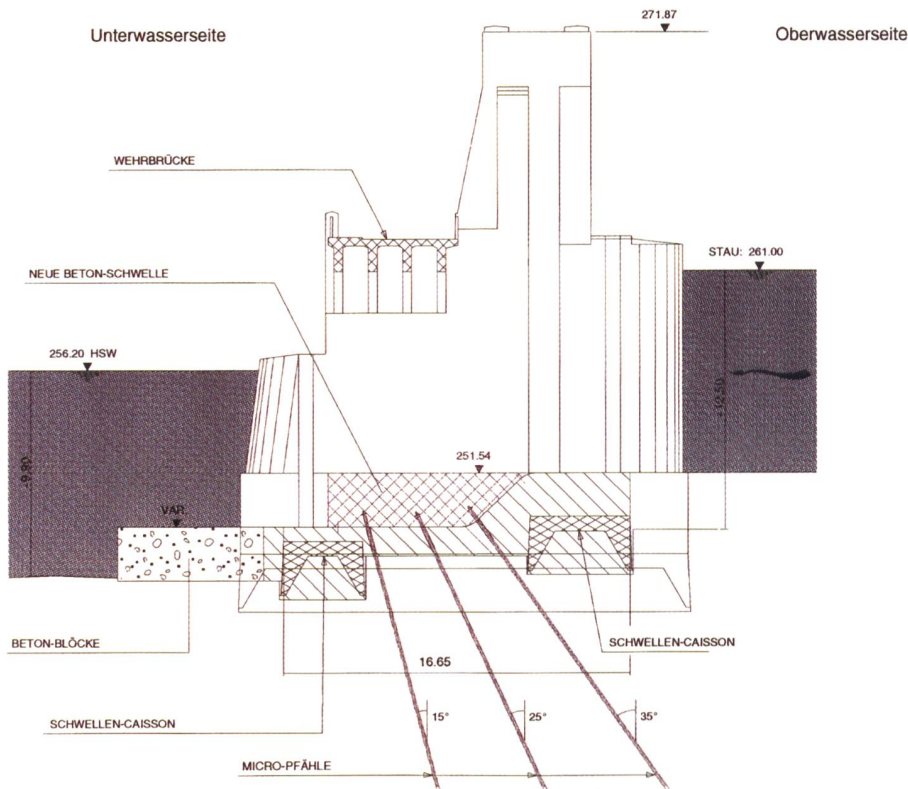


Bild 1. Querschnitt durch verstärktes Wehrfeld.

3.2 Betriebsweise

In den ersten vier Jahrzehnten war permanent ein Wehrwärter direkt auf dem Stauwehr für die Regulierung des Oberwasserstandes verantwortlich. Erst in den 50er-Jahren wurde

die Fernbedienung von den beiden Zentralen aus installiert. Diese Fernbedienung konnte so umgestellt werden, dass von einer Seite aus drei und von der anderen Seite aus sieben Wehrschützen bedienbar waren. Immer am Silvester wurde dies umgeschaltet, sodass die andere Seite über die Bedienung der sieben Wehrschützen verfügte. Die Seite, welche über sieben Wehrschützen verfügte, hatte auch die Verantwortung für die Regulierung des Oberwasserpegels. Derjenige, der nur drei Schützen bedienen konnte, bediente diese nur im Falle einer Störung. Das Oberwasserniveau wurde durch den Schichtführer des einen Kraftwerkes von Hand reguliert.

Heute wird das Oberwasserniveau vom OWQ-Regler der Firma Rittmeyer reguliert. Die Feinregulierung erfolgt mit den Überfallklappen. Bei zunehmender Wassermenge öffnet der Regler zuerst die Überfallklappen nur minimal, anschliessend werden die Schützen angehoben, und als Letztes wird mit den Klappen die Feinregulierung vorgenommen. Der Regler ist bis auf eine Wasserführung von 4000 m³/s ausgelegt. Höhere Wassermengen erfordern einen Handbetrieb.

Dies hat den Vorteil, dass die Regulierung sehr genau vorgenommen werden kann und der Toleranzwert von ± 2 cm problemlos eingehalten werden kann. Der automatische Betrieb führt aber zu erheblich häufigeren Schützen- und Klappenbewegungen. Die

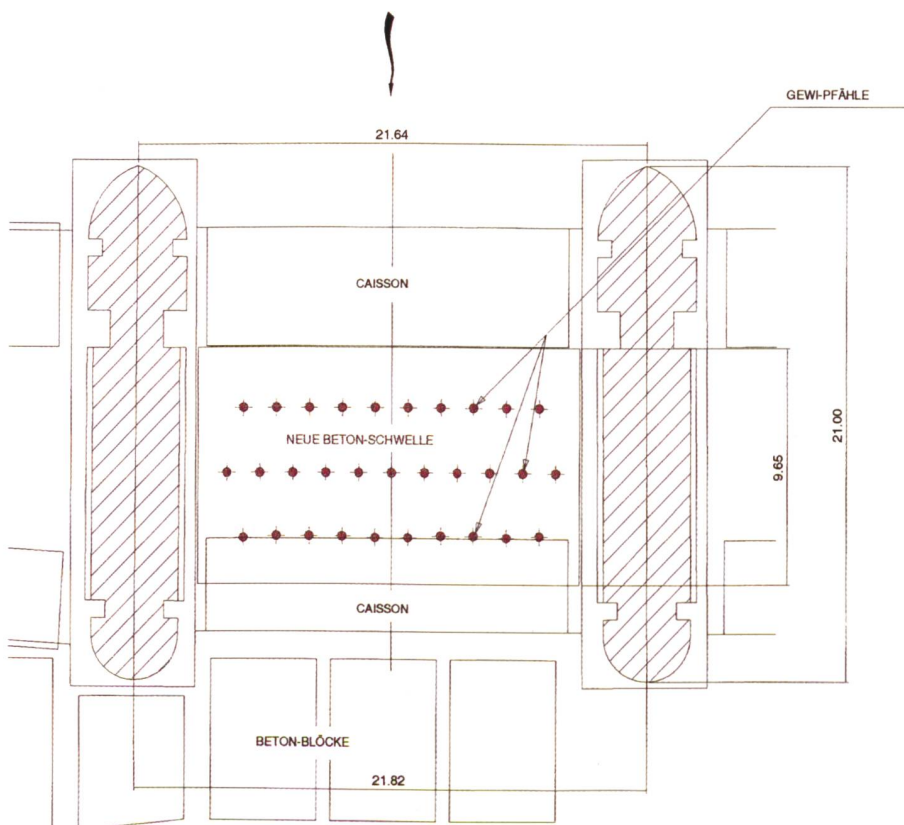


Bild 2. Grundriss eines verstärkten Wehrfeldes.

Feinregulierung mit den Überfallklappen hat den Nachteil, dass vermehrt Geschwemmsel zurückgehalten und dem Fluss verstärkt biologische Masse entzogen wird.

4. Massnahmen im Zuge der Konzessionserneuerung

4.1 Erhöhung der Gleit- und Auftriebssicherheit

Die wichtigste Aufgabe der Verstärkung war die Erhöhung der Gleit- und Auftriebssicherheit. Zu diesem Zweck wurden folgende Massnahmen getroffen (Bilder 1 bis 6):

- Die zehn Wehrsohlen wurden mit total 310 Mikropfählen von 50 mm Durchmesser und 3600 m³ leicht armiertem Beton verstärkt. Diese Mikropfähle weisen eine Gesamtlänge von 13 bis 20 m auf. Die Gebrauchslast beträgt 560 kN. Bohrung und Einbau der nicht vorgespannten Mikropfähle erfolgten unter Wasser bei 4 bis 9 m Wassertiefe.
- Die neun Wehrpfeiler wurden mit total 36 Vorspannankern vom UW- und OW-Pfeilerkopf aus zusätzlich gesichert. Diese Anker weisen eine Gebrauchslast von rund 600 kN und eine totale Länge von 24 bis 39 m auf.

Die Vorspannung der Pfeiler hat mehr konstruktiven Charakter. Das wesentliche Verstärkungselement sind die Mikropfähle und die erhöhten Sohlen.

Die Mikropfähle, welche ungefähr einem Armierungseisen von 50 mm Durchmesser entsprechen, wurden ohne Vorspannung eingebaut. Der Mikropfahl hat ein ähnliches Spannungs-Dehnungs-Diagramm wie üblicher Armierungsstahl und ist nicht mit den «hochgezuchteten» Vorspannlitzen zu vergleichen.

Je nach Foundationstiefe der Wehröffnung wurden zwischen 20 und 42 Mikropfähle unter Wasser eingebaut. Gebohrt wurde von einem Ponton aus und unter Zuhilfenahme einer unter Wasser versetzten Schablone. Nach Versetzen und Injektion der Mikropfähle wurde durch den Taucher ein temporärer Stahlschuh (Bild 7) auf der alten Granitsohle montiert, um diese gegen Auftrieb zu sichern und um das Wehrfeld entleeren zu können.

Nach dem Versetzen der Unterwasser-Dammbalken konnten das Wehrfeld entleert (Bild 8) und die Sohle mit Beton auf Schwellenhöhe erhöht werden. Die Mikropfähle wurden in diesen Beton ähnlich wie Armierungseisen verankert.

Der zusätzliche Beton in der Sohle hat folgende Aufgaben:

- als definitiver «Ankerkopf» der passiv wirkenden Mikropfähle die Krafteinleitung ins Fundament zu ermöglichen;

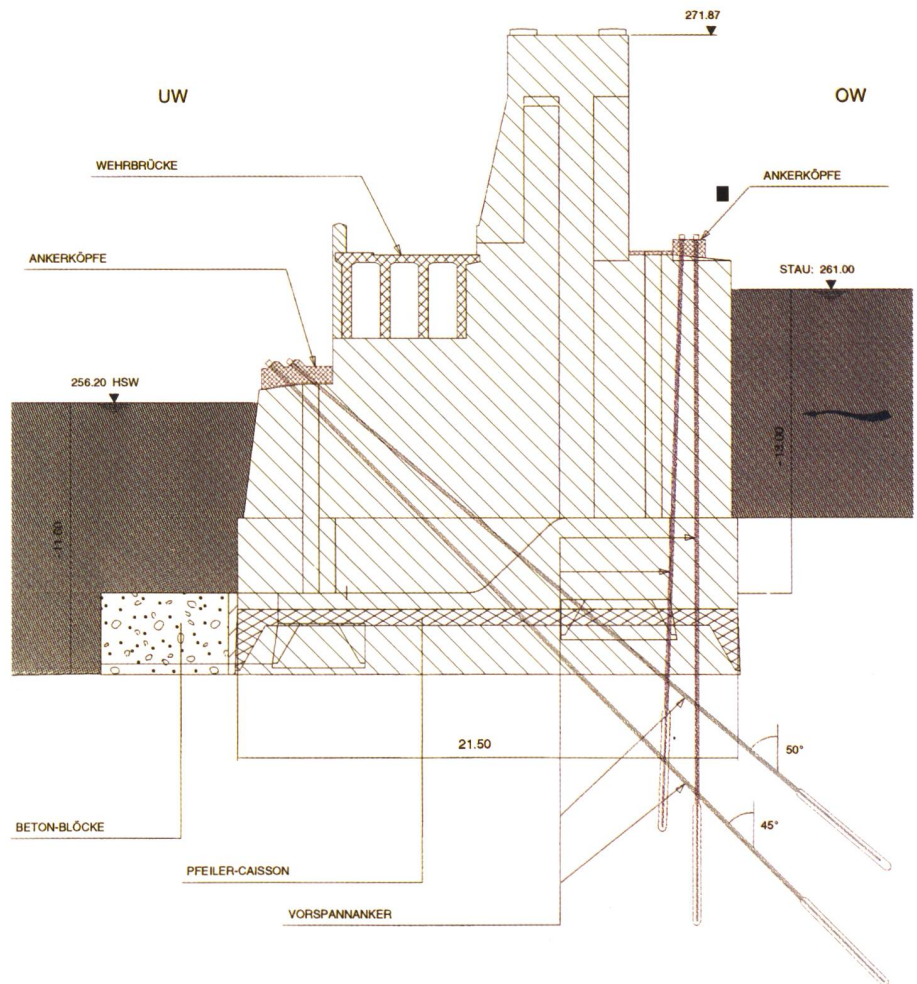


Bild 3. Querschnitt durch verstärkten Pfeiler.

- als zusätzliche aktive Gewichtskraft zu wirken und
- einen Verbund zwischen der massiv verstärkten Sohle und den Pfeilern sicherzustellen.

Die Sicherung der Pfeiler gegen Gleiten erfolgte somit primär durch die schubfeste Verzahnung mit den aufbetonierten

und mit Mikropfählen verstärkten Sohlen (Bild 1).

Die Pfeiler wurden – wie bereits erwähnt – zusätzlich mit je vier Vorspannankern vorgespannt (Bild 3). Die Ankerkräfte durften wegen der Druckfestigkeit des Stampfbetons nicht zu hoch angesetzt werden, und auf Grund der bekannten Langzeitproblematik

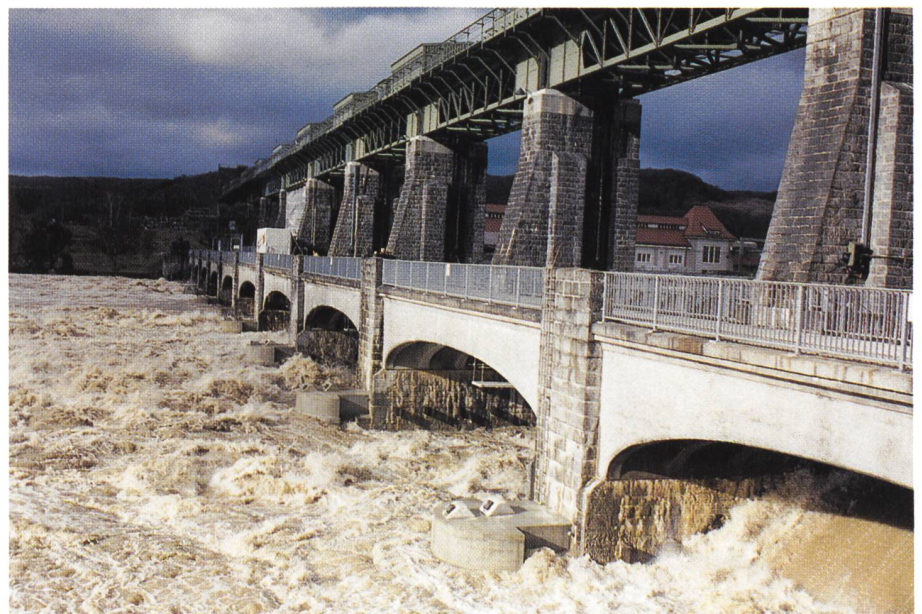


Bild 4. Ansicht vom Unterwasser.



Bild 5. Floss für Bohrarbeiten und Installation von Mikropfählen.

mit Vorspannankern war auch ein zurückhaltender Einsatz von Litzentankern geboten.

Durch den Einsatz der Mikropfähle in der Sohle wurden die Kräfteinleitungen auf eine grosse Fläche verteilt, und die Länge der Mikropfähle ist wesentlich kürzer als die der Vorspannanker in den Pfeilern. Dies zeigt sich auch bei den spezifischen Kosten:

- Mikropfahl in Sohle: Fr. 11.–/kN
- Vorspannanker in Pfeiler: Fr. 22.–/kN
- Betongewicht unter Auftrieb: Fr. 25.–/kN

Unter normaler Beanspruchung sind die Mikropfähle spannungsfrei. Zugspannungen werden erst bei ungewöhnlichen Lastfällen aktiviert und können kleine Verformungen auslösen.

Die Hebung der Felsoberfläche bei einem voll ausgenützten Pfahl beträgt ca. 1 bis 2 mm. Die rechnerische Zunahme der «Rissbreiten» liegt unter 0,1 mm und ist somit bedeutungslos.

Ein ausführlicher Beschrieb über Funktionsweise und Bemessungskonzept der Mikropfähle ist in [3] zu finden.

4.2 Weitere Baumassnahmen

Parallel zu den Hauptarbeiten – Mikropfähle, Sohlenerhöhungen und Pfeilverankerungen – wurden folgende Massnahmen durchgeführt:

- Die Fachwerkbrücke wurde durch gezielte Baumassnahmen gegen Absturz im Erdbebenfall gesichert.
- Die Auskolkungen im Fels, der an das Stauwehr anschliesst, wurden im Oberwasser vollständig mit Beton verfüllt.
- Das tiefe Kolkloch im Fels in Wehrmitte wurde mit einem Betonblock gegen weitere Erosion gesichert. Diese Massnahme beschränkte sich auf eine Breite von rund 1½ Wehröffnung.
- Hohlraumverfüllungen im Wehrfeld 5: Beim

Wehrfeld 5, das schon beim ursprünglichen Bau und kurz danach zu Problemen führte, mussten umfangreiche Hohlräume unter der Wehrschwelle mit Feinkornbeton und der Fels mit Injektionen verfüllt werden. In einem einzigen Caisson konnten 50 m³ Feinkornbeton über ein Standrohr eingebracht werden.

5. Energievernichtung

Die Anlage ist nun fast 90 Jahre ohne Tosbecken oder sonstige «ordentliche» Energievernichtungsmassnahmen in Betrieb. Nach den anfänglichen Problemen und den Verlängerungen der Tosbecken hat sich die Situation in den letzten Jahrzehnten stabilisiert.

Durch die erfolgten Verstärkungsmassnahmen ändert sich an dieser Situation praktisch nichts. Der Strahl löst sich jetzt einige Meter später und deutlicher von der Sohle. Mit Rücksicht auf die Ufermauern werden die Öffnungen in Wehrmitte stärker geöffnet als die Randfelder.

6. Betriebskonzept und Vorkehrungen auf Störfälle

6.1 Überblick

Auslegung und Dimensionierung des Wehrbetriebs stehen ganz im Zeichen der Betriebssicherheit. Auf alle erdenklichen Störfälle sind entsprechende Massnahmen vorzusehen. Die wichtigsten Störfälle sind:

- Blockierung einer Schütze
Infolge hydraulischer Überdimensionierung aus den alten Zeiten könnten drei der zehn Schützen blockieren und das Bemessungshochwasser könnte immer noch problemlos abgeführt werden.
- Unterbruch der Energieversorgung
Die Anlage profitiert von der Redundanz der beiden Kraftwerke, die für unabhängige Netze produzieren. Augst speist sogar in zwei verschiedene Netze ein und kann bei einem Totalausfall die Energie von den beiden Netzen oder von Wyhlen beziehen. Sowohl Augst als auch Wyhlen können mit den alten Francisgruppen, die steuerungsmässig auf den neusten Stand nachgerüstet wurden, einen Inselbetrieb aufbauen.
- Unterbruch der Steuerung
Die Anlage verfügt über keinen übergeordneten Notregler. Jede Störung löst entsprechenden Alarm aus und bietet das in unmittelbarer Umgebung lebende Pikettpersonal auf. Die Reaktionszeit beträgt 15 Minuten.
- Fehlfunktion des Oberwasserreglers
Fehlverhalten und Überwachung des Oberwasserreglers werden nachstehend ausführlicher erläutert.



Bild 6. Mikropfähle mit Gewindekupplung und mit Mörtel verfülltem Hüllrohr (gelb).

Die schlimmste Betriebsstörung wäre ein starkes Erdbeben, das die Energienetze an beiden Ufern zum Erliegen bringt. In diesem Fall müssten die Francismaschinen in Augst bzw. in Wyhlen aufgefahren und die Steuerung von Hand vorgenommen werden.

6.2 Sicherheitskriterien des Oberwasserabflussreglers (OWQ-Regler)

6.2.1 Aufteilung auf mehrere Systeme

Die Funktionen des OWQ-Reglers sind auf gesamthaft sieben Systeme (Ridat SRO) verteilt, untereinander sind entweder serielle Schnittstellen (Schrank intern) oder Fernwirk-systeme mit Lichtwellenleiter (über das Stauwehr) für den Datenaustausch zuständig. Pro Kraftwerk sind drei Stellkreisregler für die Abflussverteilung zuständig (einer für Straflo-turbinen, einer für Francisturbinen und einer für eine Wehrhälfte), übergeordnet ist ein Führungsregler, welcher für die Einhaltung des Stauziels verantwortlich ist.

6.2.2 Die wichtigsten Störungen

- Ausfall eines Stellkreisreglers
Beim Ausfall eines Stellkreisreglers wird die Befehlsabgabe unterbrochen, d.h., die betroffenen Stellglieder bleiben in ihren Positionen stehen. Für den Führungsregler fehlen unter Umständen Abflusswerte, was zu einer vorübergehenden Pegelabweichung führen kann, dies wird aber über die Regelabweichung wieder kompensiert. Der Ausfall wird alarmiert, ebenso die Über-/Unterschreitung des Stauziels.
- Ausfall der Fernwirkverbindung Augst-Wyhlen
Für das Kraftwerk Wyhlen ist der Ausfall der Fernwirkverbindung gleichzusetzen wie der Betrieb mit gleichbleibender Wasserführung. Im Normalfall bleiben alle Stellglieder in ihrer Position stehen, lediglich Störfälle innerhalb einer Funktionsgruppe werden kompensiert (jeder Stellkreisregler ist dafür besorgt, den letztgültigen Abfluss-Sollwert einzuhalten, so wird die Notabschaltung einer Straflo-turbine mit dem Start einer weiteren Straflo-turbine ausgeglichen).
Zur Einhaltung des Stauziels arbeitet der Führungsregler lediglich mit den Turbinen in Augst sowie der Schweizer Wehrhälfte. Auch dieser Ausfall wird in beiden Kraftwerken alarmiert.
- Ausfall des Führungsreglers
Beim Ausfall des Führungsreglers bleiben alle Abfluss-Sollwerte auf dem letztgültigen Wert stehen, d.h., es werden keine Befehle abgesetzt. Bei gleichbleibender Wasserführung ist somit die Einhaltung des

Stauziels über einen längeren Zeitraum gewährleistet. Bei Wasserschwankungen wird relativ schnell der Min/Max-Alarm des Oberwasserpegels erreicht, eine Handbedienung der Kraftwerke ist daher notwendig. Auch dieser Ausfall wird in beiden Kraftwerken alarmiert.

6.2.3 Überwachungen in den einzelnen Systemen

- Mittelwertbildung und Überwachung des Oberwasserpegels
Der Oberwasserpegel wird mit vier Messsystemen erfasst, je zwei auf Schweizer und deutscher Seite. Je eine Tauchsonde und eine Druckwaage mit pneumatischer Druckübertragung sind in einer Messkabine eingebaut. Im Normalfall wird der Mittelwert der Analogsignale der Tauchsonden



Bild 7. Pfahlschuh (unter Wasser versetzt) nach Entleerung.



Bild 8. Mikropfähle in Sohle nach Entleerung.

- als Führungsgrösse des Reglers verwendet. Die Differenz zwischen beiden Werten wird überwacht und bei Überschreitung alarmiert. Der Ausfall einer Tauchsonde wird alarmiert und auf den Messwert der Druckwaage auf der selben Seite umgeschaltet. Plausibilitätsstörungen des Messwertes der Druckwaagen sowie Geräteausfall werden laufend überwacht und alarmiert. Alle Pegelmessungen werden von einer separaten Batterie gespiesen, die pneumatische Übertragung ist mit jeweils einem eigenen Kompressor mit Vorratstank ausgerüstet, dadurch ist eine Autonomie im Stundenbereich gewährleistet.
- Koordinationsüberwachung
Alle Befehle an die Stellglieder werden vom Regler überwacht, indem die entsprechen-

de Änderung der Rückführgrösse innert einer definierten Zeit eintreffen muss. Tritt diese Änderung nicht ein, so wird ein Fehlverhalten des entsprechenden Organs oder eine Störung der Befehlsleitung angenommen und das Stellorgan für den Regler un verfügbar gesetzt. Dieser Zustand wird mit dem Koordinationsalarm angezeigt und verlangt für die Rücksetzung einen Bedieneingriff. Die notwendigen Regulierbefehle werden auf andere Stellorgane übertragen.

- Verfügbarkeitsüberwachung
Der Regler überprüft laufend, ob noch genügend Stellorgane zur Verfügung stehen. Sollten beide Kraftwerke sowie das Stauwehr auf «Hand» geschaltet sein, so alarmiert der Regler die Gefahr eines drohenden Pegelanstiegs bzw. -abfalls im Oberwasser. Die Einhaltung des Stauziels hat dann durch das Bedienpersonal zu erfolgen.
- Befehlsdauerüberwachung des Stauwehrs
Alle Regulierbefehle an das Stauwehr sind als getaktete Impulsbefehle ausgeführt, d.h., nach einer bestimmten Zeit wird der Befehl unterbrochen und neu gesetzt. Dem Regler nachgeschaltet ist eine Befehlsdauerüberwachung, welche die Befehlslänge überprüft und gegebenenfalls den Befehl unterbricht. Dieser Eingriff wird alarmiert und die entsprechende Schütze wird un verfügbar.

7. Langzeitüberwachung der Baustruktur

Die Anlage wird entsprechend der seit Anfang 1999 gültigen Stauanlagenverordnung überwacht.

Die erfassten Werte und die entsprechenden Zeitintervalle sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Erfassungsfrequenz ist in den ersten Jahren nach dem Umbau rund zwei- bis dreimal höher.

Auf Grund der bis heute vorliegenden Ergebnisse weist das Stauwehr gegenüber der ersten Wintermessung vor der Verstärkung folgende Deformationen auf:

- Im Sommer weisen die ufernahen Pfeiler landwärts gerichtete Verschiebungen bis zu 1,5 mm auf, die höchstwahrscheinlich durch die Temperatúrausdehnung der aufgelagerten Wehrbrücke verursacht werden.
- Infolge der Umbaumassnahmen hat sich die Anlage in der Grössenordnung von rund 1 mm gesenkt.
- Verschiebungen in Fliessrichtung sind fast nicht messbar.

Die meisten gemessenen Wasserpiegel in den Fundamenten der Wehrpfeiler

liegen tiefer als bei einem linearen Druckabbau zwischen Ober- und Unterwasser. Die Streuung der Wasserspiegellagen von Bohrloch zu Bohrloch ist sehr gross. Obwohl das Wehr keinen dichtenden Injektionsschirm hat, machen sich die Kolmatierung und die starke horizontale Durchlässigkeit durch den raschen Druckabfall gut bemerkbar.

Die wesentlichsten Unterschiede dieser Wehranlage zu üblichen Talsperren sind:

- Der Faktor Zeit für Regelung und Steuerung des Abflusses spielt eine wesentlich wichtigere Rolle als bei Talsperren. Fehler während 10 bis 20 Minuten können bereits verheerende Folgen haben.
- Die visuelle Kontrolle ist erschwert, da rund 80% der Anlage mit Wasser bedeckt sind. 65% der Pfeilerstruktur und alle Schwellen/Sohlen liegen unter Wasser.
- Die Verformungen sind äusserst klein und können nur mit viel Aufwand erfasst werden.

8. Zusammenfassung und Kostenüberblick

Nach fast 90 Betriebsjahren und einigen Sanierungsarbeiten ist die Anlage durch die baulichen Verstärkungsmassnahmen sowie die erneuerten Anspeisungen und Steuerungen gut gerüstet für eine zweite Konzessionsdauer.

Nach wie vor in unverändertem Zustand sind die Schützen, ihre Antriebe und die Fachwerkbrücke, deren Alter erkennbar ist und die einigen Unterhalt erfordern.

Nach den vielen Zukunftsprognosen über Kosten und Lebensdauer lohnt sich auch folgender Rückblick:

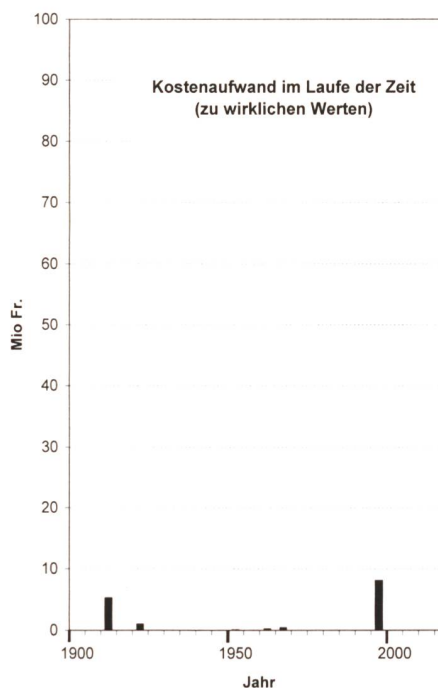


Bild 9. Kostenaufwand im Laufe der Zeit zu wirklichen Werten.

Bei Fertigstellung im Jahr 1912 hat das Stauwehr 5,2 Mio. Franken gekostet, die Verlängerung der Sohlen hat 1923 weitere 0,95 Mio. Franken verschlungen.

Die Kosten der Brückensanierung und der Injektionen in den 50er- und 60er-Jahren können nur geschätzt werden. Die reinen Bauarbeiten der Verstärkungsmassnahmen 1997/98 haben rund 7 Mio. Franken gekostet.

Aus dem Vergleich mit einem Neubauprojekt ähnlicher Grösse darf geschlossen werden, dass ein Neubau der Wehranlage

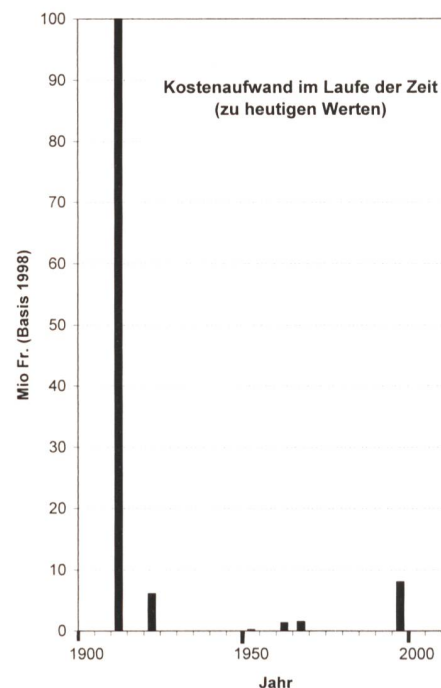


Bild 10. Kostenaufwand im Laufe der Zeit zu heutigen Werten.

ge Augst-Wyhlen auf rund 100 Mio. Franken zu stehen gekommen wäre.

In den Bildern 9 und 10 sind die entsprechenden Kosten grafisch dargestellt. Bild 9 zeigt die effektiv angefallenen Kosten, in Bild 10 sind sie auf heutige Werte hochgerechnet. Der Leser ist gebeten, seine Amortisations- und Abschreibungsregeln an diesem Beispiel zu überprüfen.

Tabelle 1. Überwachungsmassnahmen-Übersicht:

Überwachungsmassnahme	Durchführung	Periodizität
Kolküberwachung	Taucherkundung; am Wehrende und beim Kolksschutz im Unterwasser	alle 5 Jahre
	Taucherkundung im Oberwasser	alle 10 bis 20 Jahre
Kolk resp. Auflandung	Echolotaufnahmen im Nahbereich des Wehrs	alle 5 Jahre
Überwachung Pfeileranker	Messdose und Kontrollanker	alle 5 Jahre
Auftriebsmessungen	Wasserstände in den Piezometerrohren	monatlich
Geodätische Überwachung	Translation und Rotation der Wehrpfeiler	alle 5 Jahre
Hebung der Sohle	Kontrolle der Kote der Wehrschwelle (Nivellement)	bei Entleerung eines Wehrfeldes
Funktionskontrolle	Öffnungs-/Schliessgeschwindigkeit und Stromaufnahme der Schützen	jede Schütze einmal pro Jahr
Gesamtzustand	Jahreskontrolle durch externen Ingenieur	jährlich

Am Bau beteiligte Firmen

Dyckerhoff + Widmann AG, Postfach 1260, D-79630 Grenzach-Wyhlen. Rothpletz, Lienhard + Cie. AG, Schiffländtestrasse 35, CH-5001 Aarau. Stump Bohr AG, CH-8606 Nänikon-Uster.

Literatur

- [1] «wasser, energie, luft», 1/2-1994, diverse Beiträge zum Kraftwerk Wyhlen.
- [2] «wasser, energie, luft», 3/4-1994, diverse Beiträge zum Kraftwerk Augst.
- [3] «wasser, energie, luft», 7/8-1997, «Wehrverstärkung mit Mikropfählen» (S. 203 bis 208).

Adressen der Verfasser

Marco Peter, Electrowatt Engineering, Hardturmstrasse 161, CH-8037 Zürich. Theo Zeier, Kraftwerk Augst AG, CH-4302 Augst. Wolfgang Biesgen, Kraftübertragungswerke Rheinfelden AG, CH-5080 Laufenburg.