Instandsetzung des Tosbeckens beim Wasserkraftwerk Bannwil mit Unterwasser-Stahlfaserbeton

Autor(en): **Holzer, Walter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **94 (2002)**

Heft 5-6

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-939632

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

Instandsetzung des Tosbeckens beim Wasserkraftwerk Bannwil mit Unterwasser-Stahlfaserbeton

■ *Walter Holzer et al.*

1. Einleitung

Die BKW FMB Energie AG betreibt an der Aare im bernischen Oberaargau das Wasserkraftwerk Bannwil. Es wurde in den Jahren 1967–1970 gebaut. Im Flusslauf rechts neben dem Maschinenhaus liegt das Stauwehr. Das Wehr weist drei mit Segmentschützen ausgerüstete Öffnungen von je 12,5 m Breite auf. An den Wehrkörper schliesst ein Tosbecken an. Das insgesamt 45 m breite und 17 m lange Tosbecken wird flussabwärts durch eine Gegenschwelle und rechts durch die Ufermauer begrenzt. Die Betonplatte der Tosbeckensohle ist 1,5 m dick und armiert.

Zwecks besserer Energieumwandlung bzw. zur Reduktion der Länge des Tosbeckens wurden beim Bau total elf Zahnschwellen auf der Sohle errichtet.

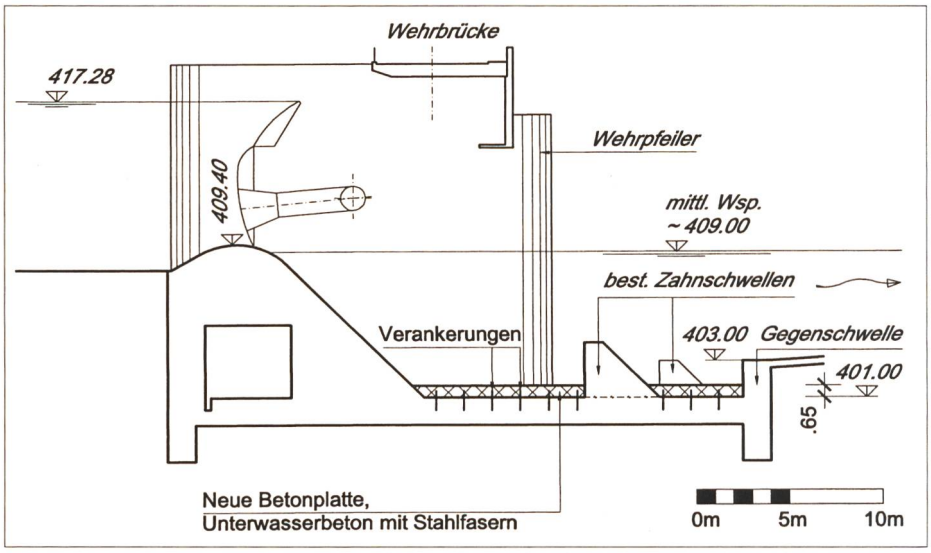

Bild 1. Schnittzeichnung durch Wehr und Tosbecken.

2. Schäden im Tosbecken

Bereits im Jahr 1978 stellte man an der Tosbeckensohle und den Zahnschwellen Abrasionsschäden fest. In den 80er-Jahren wurden die Schadstellen durch Tauchereinsätze mit Spezialmörtel repariert. Die Erosion resp. Abrasion setzte sich aber fort. 1995 und 1999 ergaben Zustandsaufnahmen folgenden Befund:

Der Mörtel der Reparaturstellen war zum Teil wegerodiert und die Betonsohle stellenweise stark aufgeraut. In der Sohle hatte es bis zu 20 cm tiefe, kolkartige runde Vertiefungen und Rinnen. Die Armierung war an einzelnen Stellen freigelegt. Einige Zahnschwellen zeigten unten an ihren Wänden Abrasionsschäden. Bei drei Zahnschwellen waren vor allem die schrägen Flächen im unteren Bereich durch Abrasion betroffen.

3. Instandsetzungsprojekt

3.1 Vorstudien, Vor- und Ausführungsprojekt

Aufgrund der Schäden, und weil Reparaturen mit Mörtel nicht voll befriedigen, hat die BKW von solchen Reparaturmassnahmen abgesehen. Das Tosbecken sollte dauerhaft und umfassend instandgesetzt werden. Dabei wurden folgende Sanierungsmethoden ins Auge gefasst:

- Aufbringen einer zusätzlichen Betonsohle auf die vorhandene Sohle,
- Einbau eines Blockteppichs von 1,4 m Dicke auf die Sohle.

Im Auftrag der BKW führte die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich Modellversuche durch, um abzuklären, welche Instandsetzungsvariante aus hydraulischer Sicht geeignet sei. Im Bericht vom August 1988 stellte die VAW fest, dass die hydraulische Wirksamkeit (Energieumwandlung) des Tosbeckens bei einer Aufbetonierung der Sohle um 80 cm noch gewährleistet ist.

1998 hat die Abteilung Engineering Kraftwerke der BKW für diese Instandsetzung mit einer Betonsohle ein Vorprojekt ausgearbeitet. Dabei wurden u.a. Ausführungsmöglichkeiten untersucht und verglichen sowie die Kosten geschätzt. Die Lösung mit Unterwasserbeton erhielt dann aus Kostengründen den Vorzug gegenüber einer Ausführung innerhalb einer trockengelegten, umspundeten Baugrube. Ein Spundwandabschluss über die grosse Höhe von 8,5 m, in drei Etappen wehrfeldweise erstellt, wäre wohl technisch möglich, aber zeitaufwendig und kostspielig gewesen.

Das Ausführungsprojekt sieht eine 65 cm starke Betonschicht auf der bestehenden Sohle vor. Mit diesem neuen Beton, der auch als grosszügig bemessene Verschleissschicht betrachtet werden kann, werden die Schäden zugedeckt. Vom Beton wird eine hohe Abrasionsbeständigkeit gefordert. Der neue Beton wird mit insgesamt 320 Ankereisen in der vorhandenen Betonsohle verankert. Die Schadstellen unten an den Zahnschwellen können durch den neuen Beton grösstenteils eingedeckt werden.

3.2 Gestellte Anforderungen an den Beton, Entscheid Stahlfaserbeton

Bezüglich Anforderungen an den neuen Beton hat die BKW die TFB Wildegg beratend beigezogen. Beton mit sehr hoher Festigkeit ist in der Regel abrasionsbeständiger als normaler Beton; deshalb wurde ein B 60/50, also ein Beton mit einer hohen mittleren Druckfestigkeit von 60 N/mm^2 gefordert. Dieser Wert galt für im Trockenen hergestellte Probewürfel. Zudem wurde eine Biegezugfestigkeit von 7 N/mm^2 verlangt.

Die TFB Wildegg schlug im Weiteren vor, den Beton nicht mit einer Stabarmierung, sondern mit Stahlfasern zu versehen. Stahlfasern sind vor allem dann eine sinnvolle Alternative zu einer herkömmlichen Bewehrung, wenn diese, wie im vorliegenden Fall, vorwiegend konstruktiv ist (z.B. bei Betonböden).

Anfang 2001 wurden die Arbeiten ausgeschrieben. Im Leistungsverzeichnis waren beide Lösungen, Beton mit Armierungseisen oder als Alternative Stahlfaserbeton (40 kg Stahlfasern pro m³ Beton), aufgeführt. Die Variante Stahlfaserbeton wurde geringfügig günstiger offeriert. Nach einem Gespräch mit der beauftragten Wasserbau-Unternehmung entschloss sich die Projektleitung für die Variante mit Stahlfaserbeton.

3.3 Betonzusammensetzung

Bei den gegebenen Voraussetzungen ist ein SCC-Beton (Self Compacting Concrete) die geeignete Lösung. Die vorhandenen Kenntnisse über diese in der Schweiz noch nicht sehr verbreitete Betonart sind ausreichend, um ihn einsetzen zu können. SCC-Beton ist ein Beton, der eine sehr gute Fliessfähigkeit aufweist und sich selbst verdichtet, d. h. nicht vibriert wird. Er eignet sich u. a. zum Einbringen unter Wasser.

Der Zementgehalt wurde so gewählt, dass die geforderte Druckfestigkeit erreicht werden konnte. Der Mehlkorngehalt wurde gegenüber einer herkömmlichen Rezeptur erhöht. Um das Auswaschen des Betons zu vermindern, wurde noch ein Stabilisator zugegeben.

Das Betonwerk wählte nach Angaben der Sika AG folgende Rezeptur:

CEM I 42.5	425 kg/m³
Flugasche Safament	50 kg/m³
Sika Viscocrete-2	1,5 % vom PC
Sika Stabilizer	0,3 % vom PC

4. Beton-Vorversuche

Vorversuche sind für solche Betonarbeiten, wo zudem spezielle Anforderungen an den Beton gestellt werden, unumgänglich.

4.1 Vorversuch im Betonwerk, Stahlfasertyp

Ein erster Vorversuch wurde im Betonwerk in Langenthal durchgeführt. Betonprobewürfel wurden erstellt und auf Druckfestigkeit geprüft. Balken zur Prüfung der Biegezugfestigkeit nach SIA 162/2 (Stahlfaserbeton) wurden erstellt, wobei auf Wunsch der Projektleitung zwei Serien von Probebalken mit unterschiedlichen Stahlfasertypen betoniert wurden, nämlich:

- DRAMIX® RC-80/50-BN (Faserlänge 50 mm, D = 0,6 mm, 8500 Stk. Fasern per kg) und
- DRAMIX® RC-65/60-BN (Faserlänge 60 mm, D = 0,9 mm, 3300 Stk. Fasern per kg).

Die Dosierung betrug in beiden Fällen 40 kg pro m³ Beton. Die Prüfung ergab für den erstgenannten Fasertyp eine höhere Biegezugfestigkeit. Demzufolge und wegen der viel höheren Faserkonzentration (bei gleichem Fasergewicht pro m³ Beton) fiel der Entscheid zugunsten des Typs RC-80/50.

Die Betonrezeptur erwies sich als richtig und wurde während der Ausführung nicht geändert.

Bild 2. Während der Betonierarbeiten.

4.2 Betonprobekörper an Ort unter Wasser

An Ort wurde etwa zwei Monate vor Baubeginn ein Betonprobekörper von 2 m³ in einer auf die Tosbeckensohle abgesenkten Schalung erstellt.

Mit der Ausführung dieses Probekörpers wurde auch die grundsätzlich gegebene Pumpbarkeit des Betons überprüft. Der erstellte Betonprobekörper wurde nach der Aushärtung hochgehoben. Die Betonoberfläche konnte ohne Taucher visuell beurteilt werden; sie befriedigte voll. Anhand einer grösseren Zahl von entnommenen Kernbohrungen im Probekörper (somit Unterwasserbeton) wurde die Druckfestigkeit nach 28 Tagen geprüft. Bei der Anlieferung des Betons wurde eine Frischbetonkontrolle durchgeführt. Im Weiteren wurden «an Land» Probewürfel und -prismen erstellt und nach 28 Tagen die Festigkeiten geprüft.

Die Prüfungen ergaben folgende Mittelwerte:

Druckfestigkeit an Probewürfeln	69 N/mm²
Biegezugfestigkeit an Probeprismen (Prüfung gemäss SN 640461a)	9 N/mm²
Bohrkerndruckfestigkeit (Unterwasserbeton)	60 N/mm²

Die geforderten Werte wurden also überschritten. Aufgrund der erzielten guten Biegezugfestigkeit, aber auch weil es galt, das Verhalten des Betons beim Pumpen zu verbessern, wurde der Stahlfasergehalt für die Bauausführung auf 35 kg/m³ herabgesetzt.

4.3 Frischbetonkontrollen

Bei den Vorversuchen und bei jeder Betonetappe wurden durch den Beton- und Mörtelservice der Sika AG Frischbetonkontrollen durchgeführt. Folgende Werte wurden gemessen:

Rohdichte	2370–2400 kg/m³
Luftporengehalt	1,2–3,1 %
Wasser-Zement-Wert	0,39–0,42
Betontemperatur	15–20 °C

5. Bauausführung

5.1 Baustelleneinrichtungen

Für die Ausführung dieser Arbeiten brauchte es schwimmende Installationen, welche bei Hochwassergefahr aus dem Tosbeckenbereich entfernt werden konnten.

Ein Alarmdispositiv, welches mit den Verantwortlichen des Kraftwerkbetreibers ausgearbeitet wurde, war die Grundlage für das Verhalten in Notsituationen.

Der Ponton mit einer Fläche von 10 × 13 m wurde mit einem Pneukran, einer Unterwasser-Lafettenbohrmaschine sowie den Tauchinstallationen bestückt. Die diversen Verankerungspunkte für den Ponton mussten vorgängig eingerichtet werden.

5.2 Arbeitsvorgang/Etappierung

Zuerst wurde das Wehrfeld 1 mit Hochdruckreiniger gesäubert, das lose Material weggespült und mittels Airlift ins Flussbett gefördert.

Anschliessend wurden 60 cm tiefe Löcher mit einem Durchmesser von 32 mm für die Anker gebohrt. Die spezielle Unter-

wasser-Lafettenbohrmaschine musste durch Taucher platziert werden. Beim Auftreffen auf Armierungseisen wurde eine neue Bohrung angesetzt.

Die ancoFIX-Eisen ∅ 26 mm wurden mit B+Btec Verbundmörtel eingeklebt. Mit einer pneumatischen Pistole wurde der Mörtel unter Wasser ins Bohrloch eingebracht und der Anker anschliessend montiert. Die Zugversuche ergaben Werte, welche die geforderte Haltekraft weit übertrafen.

Zum Zweck der Schichtstärkenkontrolle markierten die Taucher die neue Betonoberkante an den Wänden. Im Feld erfolgte die Kontrolle mit einer schwimmenden Messeinrichtung, die auch bei schlechter Sicht einen genauen Einbau des Betons erlaubte.

Die ganzen Arbeiten wurden aus betriebstechnischen Gründen in drei Etappen, entsprechend den Wehrfeldern, ausgeführt.

5.3 Einbringen Unterwasserbeton

Der Beton wurde mit einer Betonpumpe direkt unter Wasser eingebracht. Bei Arbeitsunterbrüchen verhinderte eine spezielle Klappe das Auslaufen des Betons aus dem Betonierrohr. Der Stahlfaserbeton erforderte eine sehr sorgfältige Führung der Pumpenarmaturen. Die Steuerung der Pumpenleistung und des Pumpenauslegers wurde vom Taucher aus via Tauchtelefon direkt koordiniert.

Dank dem sorgfältigen Einbau konnten die Anforderungen betreffend Sollhöhe und Ebenheit der Betonoberfläche eingehalten werden. Total wurden 450 m^3 Beton in drei Etappen eingebracht.

5.4 Gewässerschutzmassnahmen

Der Projektverfasser schlug in Absprache mit der Wasserbauunternehmung beim Einreichen des Bewilligungsgesuches geeignete Massnahmen zum Schutz des Wassers vor Verschmutzung vor, die dann auch von den zuständigen kantonalen Amtsstellen akzeptiert wurden.

Einerseits galt es, die Betonrezeptur so zu wählen, dass die Auswaschung von Zement möglichst gering wird. Im Weiteren wurden schwimmende Barrieren mit Vorhängen, welche auf dem Untergrund befestigt wurden, eingebaut. Diese Sperren verhinderten ein Vermischen des mit Zementmilch belasteten Wassers mit dem Flusswasser ausserhalb des Tosbeckens. Eine 100-prozentige Sperrung kann so nicht erreicht werden, es wurden aber sichtbare Verbesserungen erzielt. Das durch den Betoneinbau verdrängte Wasser wurde innerhalb der Sperre abgepumpt und vor die Turbineneinläufe gefördert. In der «Verarbeitung» zusammen mit dem turbinierten Wasser entstand eine sehr grosse Verdünnung, wodurch der pH-Wert des Flusswassers nicht nachteilig verändert wurde.

5.5 Bauzeit

Mit den Arbeiten wurde Mitte Oktober 2001 begonnen. Für die Bauzeit waren acht Wochen geplant. Dank der guten Witterung, einem rationellen Bohrverfahren sowie einer motivierten Mannschaft konnte der Terminplan um einige Tage unterschritten werden.

Bauherr:	BKW FMB Energie AG, GE Produktion, Viktoriaplatz 2, 3000 Bern 25
Projekt und Bauleitung:	BKW FMB Energie AG, GE Technik und Engineering, 3000 Bern 25
Ausführender Unternehmer:	Willy Stäubli Ing. AG, Grubenstrasse 2, 8045 Zürich
Betonchemie und -rezeptur:	Sika AG, Tüffenwies 16–22, 8048 Zürich
Betonwerk:	Frischbeton Langenthal AG, 4900 Langenthal
Stahlfasern:	Bekaert (Schweiz) AG, Mellingerstrasse 1, 5400 Baden

6. Zusammenfassung und Schlussbemerkung

Im Tosbecken des Stauwehrs des Kraftwerks Bannwil sind seit der Inbetriebnahme im Jahr 1970 an der Sohle und den Zahnschwellen beträchtliche Abrasionsschäden entstanden. Die BKW entschloss sich, die ganze Sohle mit einer 65 cm dicken Betonschicht zu überziehen. Mit dem Einbringen unter Wasser konnte auf eine teure Baugrubenumschliessung verzichtet werden. Eingesetzt wurde Beton mit Stahlfasern. Der Beton, an den hohe Festigkeitsanforderungen gestellt werden, wurde durch eine Spezialunternehmung für Wasserbau und Taucherarbeiten eingebracht.

Es handelte sich um eine nicht alltägliche Bauaufgabe. Dank guter Vorbereitung und guter Zusammenarbeit aller Beteiligten sowie der günstigen Witterungsverhältnisse konnten die Arbeiten termingerecht und ohne Zwischenfälle ausgeführt werden.

Anschrift der Verfasser

Walter Holzer, Projektleiter, BKW FMB Energie AG, Viktoriaplatz 2, CH-3000 Bern 25; *Norbert Schlauri*, Willy Stäubli Ing. AG, Grubenstrasse 2, CH-8045 Zürich; *Max Iff* und *Heinz Heggendorn*, Sika AG, Tüffenwies 16–22, CH-8048 Zürich; *Hans Peyer*, Bekaert (Schweiz) AG, Mellingerstrasse 1, CH-5400 Baden.

Bild 3. Die Betonierinstallationen im Unterwasser.