



IBAAarau Kraftwerk AG

*Obere Vorstadt 37
5001 Aarau*

Erneuerung Kraftwerk Aarau – Konzessions- und Bauprojekt –

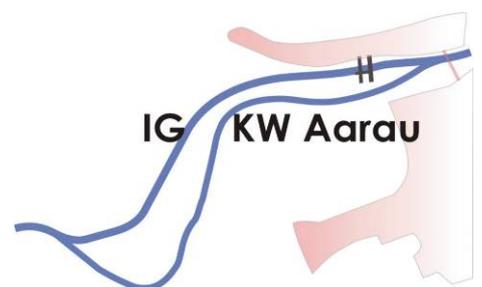
Beilage 7 zum Technischen Bericht: Statische Berechnungen Wehranlage

Gesuch vom 23. Oktober 2013

Ingenieurgemeinschaft KW Aarau

IM Engineering | **IUB** Engineering

ANL ■
AG NATUR UND LANDSCHAFT



Bern / Locarno / Aarau, 23. Oktober 2013

Impressum

Bauherrschaft

IBAAarau Kraftwerk AG
Obere Vorstadt 37
5001 Aarau

Projektleitung
Hansjürg Tschannen

Autoren

IG KW Aarau

IUB Engineering AG, Bern

Yves Keller
Said Aanouz
Peter Billeter

IM Maggia Engineering AG, Locarno

Urs Müller

Mitarbeit / Subakkordanten

Geologie / Hydrogeologie:

Dr. Jäckli AG, Baden

Änderungsverzeichnis

| Version | Datum | Kommentar |
|---------|------------|-----------------------|
| 0.1 | 31.03.2010 | Gesuchsentwurf |
| 1.1 | 22.10.2012 | Gesuch zur Vorprüfung |
| 2.0 | 23.10.2013 | Gesuch (Auflage) |

i:\iub\projekt\14_514_50536\33_auflageprojekt\001_dossier\2013-10-23_aufgabe\03_beilagen zum technischen bericht\3.07_statik-wehr_v2.docx

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Impressum | 1 |
| 1 Gegenstand und Zielsetzung | 3 |
| 2 Grundlagen | 3 |
| 3 Inhalt der Berechnungen | 4 |
| 3.1 Bemessungssituationen | 4 |
| 3.2 Grenzzustände der Tragsicherheit | 4 |
| 4 Ergebnisse | 5 |
| 4.1 Bemessungssituation Nr. 1 (Bauzustand, zwei Felder geschlossen) | 5 |
| 4.2 Bemessungssituation Nr. 2 (Bauzustand, HQ20, zwei Felder geschlossen) | 6 |
| 4.3 Bemessungssituation Nr. 3 (Endzustand, HQ100, ein Feld geschlossen) | 8 |
| 4.4 Bemessungssituation Nr. 4 (Endzustand, EHQ, alle Felder geöffnet) | 9 |
| 4.5 Bemessungssituation Nr. 5 (Endzustand, Wehr eingestaut auf Stauziel, alle Felder geschlossen) | 9 |
| 4.6 Bemessungssituation Nr. 6 Erdbeben (Endzustand, Wehr eingestaut auf Stauziel, alle Felder geschlossen) | 11 |
| 5 Konstruktive Umsetzung | 15 |
| 5.1 Bauzustand | 15 |
| 5.2 Endzustand | 15 |

i:\iub\projekt\14_514_50536\33_auflageprojekt\001_dossier\2013-10-23_auflage\03_beilagen zum technischen bericht\3.07_statik-wehr_v2.docx

1 Gegenstand und Zielsetzung

Die statischen Berechnungen für das Bauprojekt dienen der Überprüfung der bestehenden Wehranlage Schönenwerd und der Vorbemessung der erforderlichen konstruktiven Massnahmen zu dessen Ertüchtigung. Zur Stabilisierung dient im Endzustand neben weiteren konstruktiven Massnahmen vor allem das neue Tosbecken.

Gleichzeitig wurden für den Bauzustand die erforderlichen provisorischen Verankerungen, Abstützungen und Baugrubenabschlüsse Vorbemessen.

Zuletzt ist das Verhalten der Wehranlage bei einem Erdbeben nach den einschlägigen Richtlinien des Bundesamts für Energie beurteilt worden.

2 Grundlagen

Grundlage der vorliegenden Berechnung bilden folgende Unterlagen:

- Entwurf Projektbasis Bauprojekt Erneuerung KW Aarau
- Projektpläne Bauprojekt Erneuerung KW Aarau
- SIA Tragwerksnormen (SIA 260 ff.)
- BFE/ehemals BWG Richtlinien namentlich der Bericht "Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokument zur konstruktiven Sicherheit" inkl. der zugehörigen weiteren Berichte

Geologie

- Geologisch-geotechnischer Bericht Bereich Wehr / Dotierzentrale / Damm vom 23.12.2009, Jäckli Geologie (Beilage 3.2).

3 Inhalt der Berechnungen

3.1 Bemessungssituationen

Für die Sanierung des Stauwehrs Schönenwerd wurde die statische Sicherheit nach den heutigen Normen und Richtlinien überprüft. Zusätzlich ist gemäss den einschlägigen Richtlinien des Bundesamts für Energie der Nachweis für die Sicherheit gegen ein Erdbeben erbracht worden.

Dabei wurden folgende fünf Bemessungssituationen für die statische Berechnung und eine Bemessungssituation für die Beurteilung der Sicherheit gegen eine seismische Einwirkung betrachtet:

Tab. 1: Untersuchte Bemessungssituationen

| Nr. | vorübergehend | andauernd | aussergewöhnl. | Bemessungssituation | WSP (OW) m Ü.M | WSP (UW) m Ü.M |
|-----|---------------|-----------|----------------|---|-------------------|-------------------|
| 1 | X | | | Bauzustand, zwei Felder geschlossen | 370.60 | 365.74 |
| 2 | X | | | Bauzustand, mit Hochwasser HQ ₂₀ , zwei Felder geschlossen | 371.63 | 369.36 |
| 3 | X | | | Endzustand, Zugsegment in ein Feld geschlossen Hochwasser HQ ₁₀₀ | 371.62 | 370.36 |
| 4 | X | | | Endzustand, Hochwasser EHQ, alle Zugsegmente geöffnet | 371.34 | 371.14 |
| 5 | | X | | Endzustand, Zugsegmente in alle Felder geschlossen Wehr eingestaut auf Stauziel | 370.60 | 365.74 |
| 6 | | | X | Erdbeben, Wehr eingestaut auf Stauziel, alle Felder geschlossen | 370.60 | 365.74 |

3.2 Grenzzustände der Tragsicherheit

Als Grenzzustände der Tragsicherheit sind die verschiedenen denkbaren Versagensmechanismen/-arten zu verstehen. Folgende Grenzzustände der Tragsicherheit wurden für die verschiedenen Bemessungssituationen untersucht:

- Aufschwimmen als starrer Körper
- Kippen
- Gleiten auf dem Baugrund
- Erreichen des inneren Tragwiderstandes Stahlbeton und Stahlwasserbau

Der innere Tragwiderstand wurde für die Haupttragelemente geprüft.

4 Ergebnisse

Die Resultate der verschiedenen Berechnungen werden nachfolgend tabellarisch zusammengefasst. Ist der Tragsicherheitsnachweis erfüllt so ist das Tabellenfeld grün hinterlegt, andernfalls bei nicht erfülltem Nachweis rot.

Es zeigt sich, dass für die Bemessung der Anlageteile im Bauzustand die Bemessungssituation Nr. 2 (Baustellenhochwasser HQ20) massgebend wird.

Im Endzustand wird für die Bemessung des Tosbeckens die Bemessungssituation Nr. 5 (Endzustand, Wehr eingestaut auf Stauziel, alle Felder geschlossen) massgebend.

4.1 Bemessungssituation Nr. 1 (Bauzustand, zwei Felder geschlossen)

Die Bemessungssituation Nr. 1 mit dem OW-Spiegel auf Kote Normalstau = 370.60 wird für die Bemessung nicht massgebend, da der OW-Spiegel niedriger ist als beim Baustellenhochwasser HQ₂₀ bei Bemessungssituation Nr. 2.

4.2 Bemessungssituation Nr. 2 (Bauzustand, HQ₂₀, zwei Felder geschlossen)

Die Bemessungssituation Nr. 2 wird für die Bemessung der Rückverankerung und Unterfangung des Wehrpfeilers im Bauzustand massgebend. Die Berechnungen wurden für verschiedene Annahmen bez. Sohldruckverteilung durchgeführt:

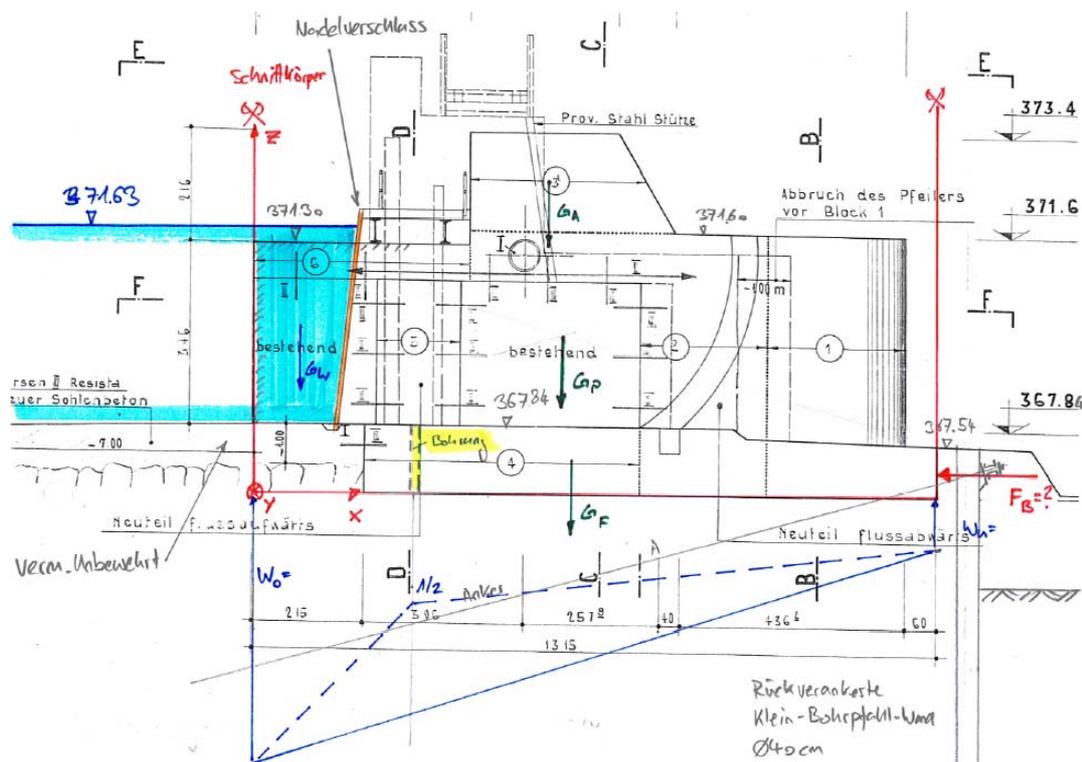


Abb. 1: Schnittkörper und Sohldruckverteilung BS2 (blau ausgezogen = A, B; blau gestrichelt = C, D).

Die Resultate der **Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.** zeigen, dass die Nachweise für Gleiten für die Annahmen gemäss Spalte A und B nicht erfüllt sind. Zur Entspannung des Sohldruckes unter der Wehrplatte sind Entlastungsbohrungen bzw. Kleinfilterbrunnen erstellt worden. Zur Aufnahme der Horizontalkräfte aus dem Wasserdruck sind temporäre Litzanker notwendig, da die stützende Wirkung des Tosbeckens im Bauzustand fehlt. Die Spalte C zeigt, dass mit diesen konstruktiven Massnahmen die Nachweise erfüllt werden können.

Spalte D dient als zusätzliche Kontrolle. Darin wurde der Zustand ohne Rückverankerung betrachtet. Die Partialfaktoren wurden dabei weggelassen, entsprechend einem aussergewöhnlichen Bemessungszustand nach SIA 260. Die Nachweise nach SIA können dabei erfüllt werden.

Zuletzt wurde in Spalte E die Stabilität in Querrichtung betrachtet. Dabei zeigt sich, dass eine seitliche Abstützung des Wehrpfeilers infolge Kippgefahr notwendig ist.

Tab. 2: Nachweisübersicht Bemessungssituation 2

| Nr. | 2A | 2B | 2C | 2D | 2E |
|--|--|---|---|---|--|
| Betrachtetes Bauteil / Schnittkörper | Wehrpfeiler mit Fundament ohne Verbund mit Wehrplatte | Wehrpfeiler mit Fundament mit Verbund mit Wehrplatte | Wehrpfeiler mit Fundament mit Verbund mit Wehrplatte | Wehrpfeiler mit Fundament mit Verbund mit Wehrplatte | Wehrpfeiler mit Fundament ohne Verbund mit Wehrplatte |
| Annahmen für Tragwerksanalyse und Bemessung | Linearer Sohldruckabbau ohne Dichtschirm | Linearer Sohldruckabbau ohne Dichtschirm | Drainage nach prov. Nadelverschluss | Drainage nach prov. Nadelverschluss | Seitlicher Wasserdruck auf Pfeiler |
| Ankerkraft R_d | 1900 kN | 1900 kN | 1900 kN | keine | keine |

| Nr. | GZ Typ | Gefährdungsbild | ohne Partialfaktoren | | | | | |
|-------|--------|--|-----------------------------------|--|--|--|--|--|
| 2.1.1 | TS1 | Aufschwimmen | $E_{d,dst}$ | 1114 kN | 8868 kN | 5841 kN | 5563 kN | 299 kN |
| | | | $R_{d,stab}$ | 2883 kN | 11207 kN | 11207 kN | 12453 kN | 2883 kN |
| 2.2.1 | TS 1 | Kippen | Lage der Resultierenden | innerhalb Kern 2 | ausserhalb Kern 2 | innerhalb Kern 1 | innerhalb Kern 1 | am Rand des Fundaments ! * |
| 2.3.1 | TS 2 | Gleiten | Nachweis SIA 260 $E_d < R_d$ | $E_d = 3342\text{kN}$ $R_d = 2536\text{kN}$ | $E_d = 3342\text{kN}$ $R_d = 2066\text{kN}$ | $E_d = 3342\text{kN}$ $R_d = 3730\text{kN}$ | $E_d = 2785\text{kN}$ $R_d = 3315\text{kN}$ | Gleiten quer durch Verbund nicht möglich |
| | | | Nachweis BFE $\eta_G \geq 1.3$ | $\eta_G = 1.05$ | $\eta_G = 1.37$ | $\eta_G = 1.87$ | $\eta_G = 1.19$ | |
| 2.4.1 | TS 2 | Erreichen des Inneren Tragwiderstandes | Wehrpfeiler | Nachweise für Haupttragelemente erfüllt | | | | |

I:\iub\projekt14.514.50536.33_auflage03_beiagen zum technischen bericht\3.07_statik-wehr_v2.docx

4.3 Bemessungssituation Nr. 3 (Endzustand, HQ₁₀₀, ein Feld geschlossen)

Die Bemessungssituation Nr. 3 ist für die Bemessung des Wehrrückens und des Tosbeckens im Endzustand nicht massgebend. Betrachtet wurde der bestehende Wehrkörper mit den Pfeilern und der Wehrplatte als erster Schnittkörper (Index .1) sowie das neue Tosbecken als zweiter Schnittkörper (Index .2). Die Bauwerksfuge zwischen bestehendem Wehr und dem neuen Wehrrücken mit Tosbecken wird als Momentengelenk ausgebildet. Übertragen werden Horizontal- und Vertikalkräfte vom Wehr an das Tosbecken. Die Berechnungen wurden für verschiedene Annahmen bez. Sohldruckverteilung durchgeführt:

Tab. 3: Nachweisübersicht Bemessungssituation 3

| | | | Nr. | 3.1 A | 3.2 A | 3.1 C | 3.2 C |
|--|--------|--|---|--|---|--|---|
| Betrachtetes Bauteil / Schnittkörper | | | | Wehrpfeiler mit Fundament mit Verbund mit Wehrplatte | Tosbecken | Wehrpfeiler mit Fundament mit Verbund mit Wehrplatte | Tosbecken |
| Annahmen für Tragwerksanalyse und Bemessung | | | | Linearer Sohldruckabbau ohne Dichtschirm | Linearer Sohldruckabbau ohne Dichtschirm | Druckabbau unter Vorbo-den berücksichtigt | Druckabbau unter Vorbo-den berücksichtigt |
| Ankerkraft R_d | | | | keine | keine | keine | keine |
| Nr. | GZ Typ | Gefährdungsbild | | | | | |
| 2.1.1 | TS1 | Aufschwimmen | E _{d,dst} | 13934 kN | 21980 kN | 13386 kN | 21761kN |
| | | | R _{d,stb} | 16319 kN | 23117 kN | 16319 kN | 23117 kN |
| 2.2.1 | TS 1 | Kippen | Lage der Resultierenden | innerhalb Kern 1 | innerhalb Kern 1 | innerhalb Kern 1 | innerhalb Kern 1 |
| 2.3.1 | TS 2 | Gleiten | Nachweis SIA 260 E _d < R _d | E _d = 1419kN R _d = 1729kN | E _d = 863kN R _d = 1739kN | E _d = 1419kN R _d = 2031kN | E _d = 783kN R _d = 1852kN |
| | | | Nachweis BFE η _G ≥ 1.5 | η _G = 2.73 | η _G = 5.59 | η _G = 2.94 | η _G = 6.35 |
| 2.4.1 | TS 2 | Erreichen des Inneren Tragwiderstandes | Wehrpfeiler | Nicht geprüft, Bemessungssituation unkritisch | | | |

i:\ub\projekt\14.514.50536.33_auflageprojekt\001_dossier\2013-10-23_aufgabe\03_beiagen zum technischen bericht\3.07_statik-wehr_v2.docx

4.4 Bemessungssituation Nr. 4 (Endzustand, EHQ, alle Felder geöffnet)

Die Bemessungssituation Nr. 4 ist für die statische Berechnung und Bemessung sowohl für die Wehranlage, als auch für das Tosbecken nicht massgebend. Zwischen dem Ober- und Unterwasser ist nur eine geringe Wasserspiegeldifferenz vorhanden.

4.5 Bemessungssituation Nr. 5 (Endzustand, Wehr eingestaut auf Stauziel, alle Felder geschlossen)

Die Bemessungssituation Nr. 3 ist für die Bemessung des Wehrs und des Tosbeckens im Endzustand massgebend. Betrachtet wurde der bestehende Wehrkörper mit den Pfeilern und der Wehrplatte als erster Schnittkörper (Index .1) sowie das neue Tosbecken als zweiter Schnittkörper (Index .2). Die Bauwerksfuge zwischen bestehendem Wehr und dem neuen Wehrrücken mit Tosbecken wird als Momentengelenk ausgebildet. Übertragen werden Horizontal- und Vertikalkräfte vom Wehr an das Tosbecken. Die Berechnungen wurden für verschiedene Annahmen bez. Sohldruckverteilung durchgeführt:

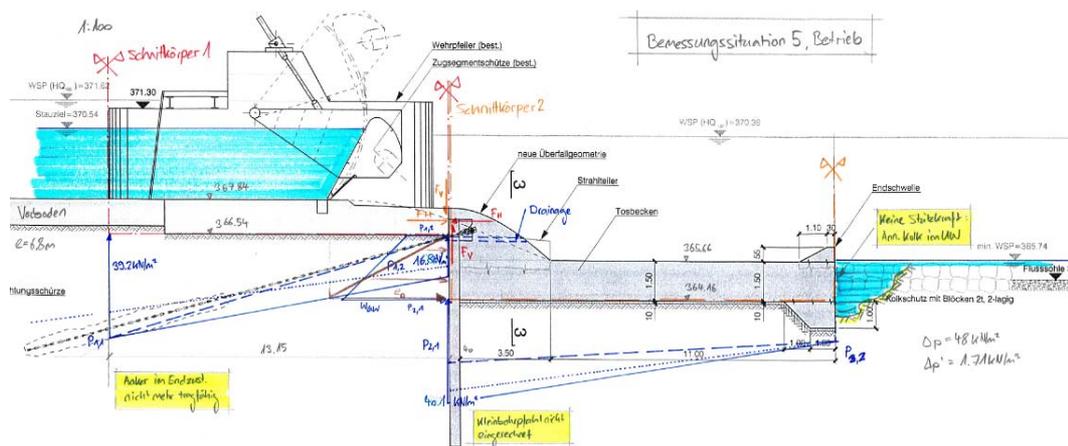


Abb. 2: Schnittkörper und Sohldruckverteilung BS5 (blau ausgezogen = A, blau gestrichelt = B, blau punktiert = C).

Tab. 4: Nachweisübersicht Bemessungssituation 5

| Nr. | 5.1 A | 5.2 A | 5.1 B | 5.2 B | 5.1 C | 5.2 C | | | |
|--|---|---|---|---|---|--|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Betrachtetes Bauteil / Schnittkörper | Wehrpfeiler mit Fundament mit Verbund mit Wehrplatte | Tosbecken | Wehrpfeiler mit Fundament mit Verbund mit Wehrplatte | Tosbecken | Wehrpfeiler mit Fundament mit Verbund mit Wehrplatte | Tosbecken | | | |
| Annahmen für Tragwerksanalyse und Bemessung | Linearer Sohl-druckabbau ohne Dichtschirm | Linearer Sohl-druckabbau ohne Dichtschirm | Drainage bei Bauwerksfuge | Drainage bei Bauwerksfuge | Druckabbau unter Vorboden berücksichtigt | Druckabbau unter Vorboden berücksichtigt | | | |
| Ankerkraft R_d | keine | keine | keine | keine | keine | keine | | | |
| Kraft in Bauwerksfuge | horizontal F_v | 0 kN | 0 kN | 0 kN | 0 kN | 0 kN | | | |
| | vertikal F_H | -19 kN | 19 kN | -451 kN | 451 kN | 0 kN | | | |
| Nr. | GZ Typ | Gefährdungsbild | | | | | | | |
| 2.1.1 | TS1 | Aufschwimmen | $E_{d,dst}$ | 8506 kN | 9473 kN | 5912 kN | 6534 kN | 6392 kN | 8642 kN |
| | | | $R_{d,stab}$ | 14479 kN | 13280 kN | 14479 kN | 13280 kN | 14479 kN | 13280 kN |
| 2.2.1 | TS 1 | Kippen | Lage der Resultierenden | innerhalb Kern 1 | innerhalb Kern 1 | innerhalb Kern 1 | innerhalb Kern 1 | innerhalb Kern 1 | innerhalb Kern 1 |
| 2.3.1 | TS 2 | Gleiten | Nachweis SIA 260 | $E_d = 2086kN$ $R_d = 2464kN$ | $E_d = 1926kN$ $R_d = 515kN$ | $E_d = 2086kN$ $R_d = 3890kN$ | $E_d = 853kN$ $R_d = 2340kN$ | $E_d = 2086kN$ $R_d = 3626kN$ | $E_d = 1623kN$ $R_d = 963kN$ |
| | | | $E_d < R_d$ | | | | | | |
| | | | Nachweis BFE | $\eta_G = 2.21$ | $\eta_G = 1.77$ | $\eta_G = 2.89$ | $\eta_G = 6.46$ | $\eta_G = 2.77$ | $\eta_G = 2.40$ |
| 2.4.1 | TS 2 | Erreichen des Inneren Tragwiderstandes | Wehrpfeiler | Nachweise für Haupttragelemente erfüllt | | | | | |

Die Resultate der Tabelle zeigen, dass die Nachweise nach BFE / BWG für alle Schnittkörper und Lastannahmen erfüllt sind. Der Gleitnachweis nach SIA ist für die Lastannahme/Sohldruckverteilung gemäss A und C nicht erfüllt. Dies ist durch einen ungünstigen Verstärkungseffekt aufgrund des SIA-Nachweiskonzepts mit Partialfaktoren zurückzuführen. Die Tosbeckendicke müsste um den Nachweis zu erfüllen unverhältnismässig dick gewählt werden. Aus diesem Grund wird bei der Bauwerksfuge zwischen Wehr und Tosbecken eine Drainage bzw. Entlastungsöffnungen zur Reduktion des Sohldruckes gemäss B) vorgesehen. Damit kann auch der SIA Nachweis erfüllt werden.

4.6 Bemessungssituation Nr. 6 Erdbeben (Endzustand, Wehr eingestaut auf Stauziel, alle Felder geschlossen)

In den folgenden Abschnitten wird der Nachweis der Erdbebensicherheit der Wehranlage geführt. Als Grundlage des Erdbebennachweises dient die Richtlinie des Bundesamtes für Wasser und Geologie BWG vom März 2003, "Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokument zu dem Nachweis der Erdbebensicherheit".

4.6.1 Klasseneinteilung

Die Wehranlage weist eine Stauhöhe von knapp 3 m und ein Stauvolumen von ca. 300'000 m³ auf. Folglich ist das Wehr der Talsperrenklasse III zuzuordnen.

4.6.2 Nachweisbeben

Die mittlere Wiederkehrperiode des Nachweisbebens in einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren beträgt 1000 Jahre für die Sperrenklasse III. Der Intensitätswert für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1/1000 pro Jahr am Standort des Kraftwerks Aarau beträgt $I_{MSK} = 6,9$ (gemäss "Erdbebenrisikokarten der Schweiz - Bestimmung der Erdbebengefährdung, 1977"). Mit folgender Formel wird die horizontale Spitzenbodenbeschleunigung bestimmt:

$$\log(a_h) = 0,26 \cdot I_{MSK} + 0,19 \quad (a_h \text{ in cm}^2/\text{s})$$

Damit erhält man eine horizontale Spitzenbeschleunigung von 0,96 m/s². Die vertikale Spitzenbeschleunigung wird durch Abminderung der Horizontalkomponente berechnet:

$$a_v = \frac{2}{3} \cdot a_h$$

Der Bestimmung des elastischen Antwortspektrums liegen neben der horizontalen Bodenbeschleunigung folgende Parameter zu Grunde:

- Baugrundklasse B (S = 1, TB = 0,15 s, TC = 0,6 s, TD = 3 s)
- Dämpfung $\eta = 5 \%$

Folgende Abbildung zeigt das elastische Antwortspektrum gemäss SIA Norm 261:

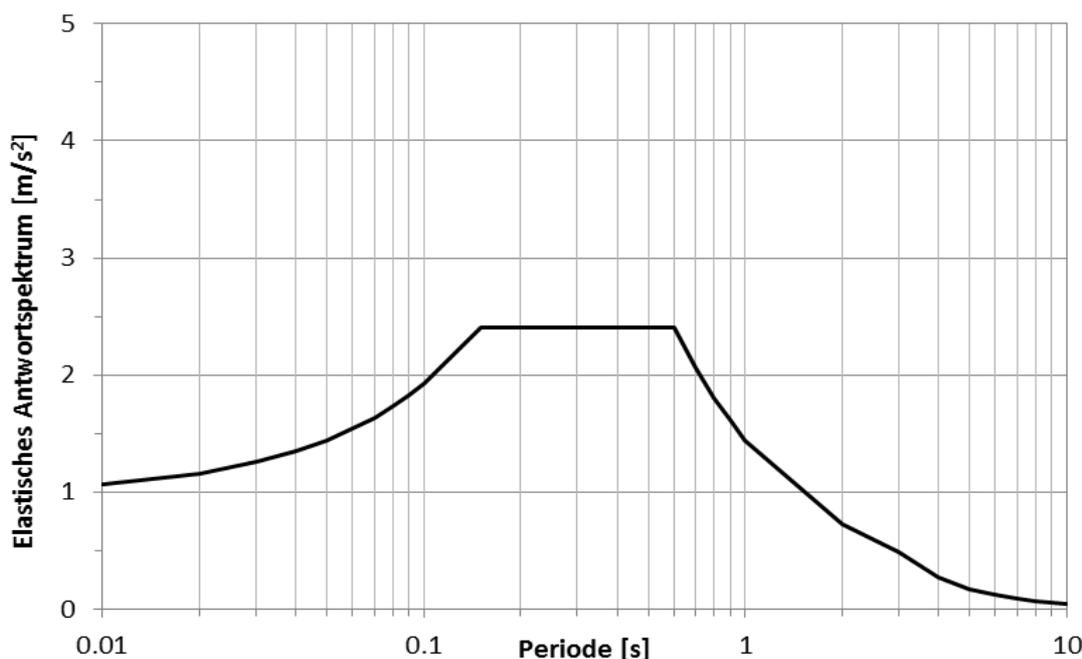


Abb. 3: Elastisches Antwortspektrum für die Baugrundklasse B und eine Dämpfung von 5 %

4.6.3 Rechenmodell

Für die Wehranlage wird eine vereinfachte Erdbeben-Stabilitätsanalyse durchgeführt. Das heisst, dass die dynamische Erdbebenanregung durch statische Ersatzkräfte modelliert werden (Antwortspektrenverfahren nur mit erster Eigenfrequenz). Der Wehrpfeiler mit der Wehrbodenplatte und das Tosbecken werden als Einmassenschwinger modelliert, wobei die Erdbebenlasten in deren Schwerpunkt angreifen. In die Erdbebenberechnungen eines Wehrfeldes wird die gesamte Masse des Pfeilers inkl. Aufbauten und der Wehrbodenplatte sowie des Tosbeckens inkl. Wehrhöcker miteinbezogen. Es wird dennoch angenommen, dass der Wehrpfeiler in Querrichtung um jene Achse kippt, welche durch die Fuge zwischen der Wehrbodenplatte und dem Pfeilerfundament gegeben ist. Für den Erdbebenfall wird zudem angenommen, dass an der Verbindung zwischen der Wehrbodenplatte und dem Tosbecken nur horizontale Kräfte übertragen werden können.

Eine grosse Bedeutung für die Bestimmung der Erdbebenlasten hat die Schwingungsdauer des Tragwerks. Da für die Geometrie des Pfeilers und des Tosbeckens die tatsächliche Schwingungsdauer nur mit aufwändigen Finite-Elemente-Berechnungen oder mit Schwingungsmessungen am Wehr bestimmt werden kann, erfolgen hier lediglich qualitative Abschätzungen anhand des obenstehenden Diagramms des Antwortspektrums:

- In Fliessrichtung verhält sich der Pfeiler mit der Wehrbodenplatte sehr steif und erfährt annähernd die gleiche Beschleunigung wie der Boden. ($T < 0,01$ s)

- In Querrichtung verhält sich der Pfeiler mit der Wehrbodenplatte zwar etwas weniger steif als in Fließrichtung, die Schwingungsdauer dürfte sich allerdings noch unterhalb des Plateaubereichs befinden. ($T < 0,1$ s)
- Das Tosbecken hat praktisch keine Ausdehnung in vertikaler Richtung und erfährt daher auch annähernd die Bodenbeschleunigung. ($T < 0,01$ s)

4.6.4 Materialkennwerte

Folgende Kennwerte wurden für die Berechnungen verwendet:

- Eigengewicht von Stahlbeton $\gamma = 25$ kN/m³
- Gewicht des anstehenden Bodenmaterials $\gamma = 21$ kN/m³
- Gewicht des Bodens unter Auftrieb $\gamma' = 11$ kN/m³
- Reibungswinkel des Bodenmaterials $\varphi = 30^\circ$

4.6.5 Lasten

Folgende Lasten wurden in die Berechnungen miteinbezogen:

- Eigengewicht des Wehrpfeilers und der Wehrbodenplatte
- Eigengewicht des Tosbeckens und des Höckers
- Eigengewicht der Schütze und der Aufbauten
- Auflast des Wassers (auf die Wehrbodenplatte und das Tosbecken)
- Auftriebskraft (linearer Druckabbau, Drainage an der Verbindung der Wehrbodenplatte mit dem Tosbecken auf 366.59 m ü. M.)
- Erddruck (berücksichtigt wurde nur der oberwasserseitige Erddruck, unterwasserseitig ist von einer Kolkbildung auszugehen)
- Wasserdruck (oberwasserseitig)
- Wasserdruck infolge Erdbeben (mitschwingende Wassermasse nach Westergaard in Fließrichtung, in Querrichtung wird die gesamte Wassermasse zwischen den Pfeilern als mitschwingend betrachtet)
- Erdbebenlast in horizontaler und vertikaler Richtung (in die Erdbebenlast wurde die Masse des Wehrpfeilers inkl. Wehrbodenplatte sowie die Auflast der Schützen inkl. Aufbauten bzw. die Masse des Tosbeckens inkl. Höcker eingerechnet)

4.6.6 Nachweise

Tab. 5: Übersicht Erdbebennachweis

| Gefährdungsbild | Nachweis |
|--|--------------------------------|
| Kippen des Wehrpfeilers in Fließrichtung | Resultierende innerhalb Kern 1 |
| Kippen des Wehrpfeilers in Querrichtung | Resultierende innerhalb Kern 1 |
| Aufschwimmen des Wehrfeldes | SF = 2,46 > 1,05 |
| Gleiten des Wehrfeldes in Fließrichtung | SF = 1,75 > 1,10 |
| Kippen des Tosbeckens in Fließrichtung | Resultierende innerhalb Kern 1 |
| Aufschwimmen des Tosbeckens | SF = 2,05 > 1,05 |
| Gleiten des Tosbeckens in Fließrichtung | SF = 2,12 > 1,10 |

Aus der obenstehenden Tabelle geht hervor, dass sämtliche Nachweise erfüllt sind für die angenommenen Schwingungsdauern. Der Kippnachweis des Wehrpfeilers in Querrichtung wäre auch für eine Schwingungsdauer im Plateaubereich erfüllt (Resultierende innerhalb Kern 2) Zur Erfüllung des Gleitnachweises des Wehrfeldes und des Tosbeckens ist zwingend eine Drainage im Bereich der Fuge zwischen Wehrbodenplatte und Tosbecken erforderlich. Ansonsten wären bauliche Massnahmen zur Erhöhung des Gleitwiderstandes notwendig (Anker oder Fundamentvertiefungen im Tosbecken).

5 Konstruktive Umsetzung

5.1 Bauzustand

Im Bauzustand müssen die Wehrpfeiler zurückverankert werden und die Fundamente mit einer überschnittenen Kleinbohrpfahlwand unterfangen werden, um den Aushub für das neue Tosbecken erstellen zu können. Die Rückverankerung erfolgt mit jeweils drei vorgespannten Litzenankern, die fächerförmig unter den Wehrpfeiler gebohrt werden. Im kiesigen Untergrund gehen wir von einer erforderlichen Verankerungslänge von ca. 8 m aus. Die Litzenanker sind provisorisch und werden im Endzustand ohne statische Funktion im Boden belassen. Die Kleinbohrpfähle können bei vollständig geschlossenem Wehr von einem geschütteten Bohrplanum aus erstellt werden. Diese Arbeit erfolgt vor der eigentlichen Wehrsanierung im Winter bei Niedrigwasser.

Im Wehrfeld erfolgt der Aushub für das Tosbecken im Schutz einer Rühlwand. Dazu werden durch den bestehenden Wehrboden Bohrungen erstellt, durch die anschliessend HEB-Träger eingerammt werden können. Der Zwischenraum wird mit Spritzbeton ausgefacht.

Oberwasserseitig muss das Wehr mit Nadeln verschlossen werden, um die Zugsegmenteschützen inspizieren zu können sowie für die Bauarbeiten am Wehr. Dieser Abschluss ist mit schlanken Spundwandprofilen vorgesehen, die vom bestehenden Wehrsteg aus in die bestehende Sohlnut versetzt werden.

Um den Sohldruck unter dem Wehrboden während dieser Bauphase zu reduzieren, werden hinter dem Nadelverschluss Kleinfiterbrunnen durch die best. Betonplatte erstellt. Die Löcher im Wehrboden müssen nach Bauende wieder vergossen werden um keinen unerwünschten Druckaufbau unter dem Wehr zu erzeugen.

Mit dieser Konstruktion kann ein Baustellenhochwasser entsprechend einem HQ₂₀ schadlos abgeführt werden.

5.2 Endzustand

Mit der gewählten Tosbeckengeometrie werden die Nachweise der Standsicherheit (Aufschwimmen und Kippen) sowie der Gleitnachweis für die oben genannten Bemessungssituationen erfüllt. Die innere Tragsicherheit des Zugsegments und der Wehrpfeiler ist erfüllt. Die Bauwerksfuge zwischen bestehendem Wehr und dem neuen Wehrrücken mit Tosbecken wird als Momentengelenk ausgebildet. Übertragen werden Horizontal- und Vertikalkräfte vom Wehr an das Tosbecken. Die Kraftübertragung erfolgt direkt über den Kontakt Beton - Beton, allenfalls werden Schubnocken erstellt oder Dorne eingebohrt. Der alte Beton wird aufgeraut und das neue Bauwerk direkt anbetoniert. Eine Fugenabdichtung oder eine Trenneinlage sind nicht vorgesehen. An dieser Bauwerksfuge wird zusätzlich eine Drainage vorgesehen, die den Sohldruck auf das Niveau 366.59 m ü.M. bzw. auf den Unterwasserpegel entspannt. Dies erfolgt mit durch den Wehrrücken geführten Ablaufrohren.

Am Ende des Tosbeckens wird eine Fundamentvertiefung erstellt. Diese schützt die Konstruktion vor Unterspülung bei Kolkbildung nach dem Tosbecken.

Ingenieurgesellschaft KW Aarau

IUB Engineering AG, Bern
IM Maggia Engineering AG, Locarno
ANL AG Natur und Landschaft, Aarau

Bern, Locarno, Aarau, den 22. Oktober 2012

i:\iub\projekt\14.514.50536\33_auflageprojekt\001_dossier\2013-10-23_aufgabe\03_beilagen zum technischen bericht\3.07_statik-wehr_v2.docx