

## 1. Tosbeckendimensionierung - Energieumwandlung im Auslassbauwerk

### 1.1 Zusammenfassung

Das offene Auslassbauwerk wird als kombiniertes Bauwerk ökohydraulisch gestaltet und erfüllt die Funktionen Grundablass mit ökologischer Durchlässigkeit, Betriebsauslass und Hochwasserentlastung. Das Tosbecken ist im rechten Feld im Bereich des Betriebsauslasses angeordnet. Es wird auf die vorgesehene Regelabgabe und den HWBF 1 bemessen.

Die Ergebnisse der Tosbeckenbemessung sind nachfolgend dargestellt. Die Tosbeckenbemessung erfolgte hierbei für den Abfluss über das Betriebsauslassschütz.

Für das Tosbecken des Auslassbauwerks werden folgende Abmessungen gewählt:

- Tosbeckenlänge  $L_T = \text{rd. } 3,0 \text{ m}$
- Tosbeckenbreite  $B = 3,0 \text{ m}$
- Sohlhöhe Tosbecken  $Z_{To} = 277,70 \text{ mÜHNH}$
- Tosbeckeneintiefung  $e = 0,3 \text{ m}$
- Sohlhöhe im Unterwasser am Tosbeckenende  $Z_{su} = 278,00 \text{ mÜHNH}$

### 1.2 Berechnungsgrundlagen

Als Berechnungsgrundlage sind folgende Randparameter anzugeben:

|          |                                                                                          |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Z_{To}$ | Sohlhöhe im Tosbecken in mÜHNH                                                           |
| $e$      | Eintiefung des Tosbeckens hinter dem Betriebsauslassschütz in m                          |
| $H_o$    | Wasserstand im Staubereich (Oberwasser) in mÜHNH                                         |
| $Q$      | Durchfluss am Betriebsauslassschütz in $\text{m}^3/\text{s}$                             |
| $h_u$    | Wasserstand im Flussabschnitt hinter dem Tosbecken (Unterwasser) in m                    |
| $b$      | Schützbreite in m                                                                        |
| $B$      | Tosbeckenbreite bzw. bei Einsatz einer Überfallschwelle Breite der Überfallschwelle in m |

Für die weitere Berechnung werden folgende Grundparameter anhand der Eingabewerte bestimmt:

|            |                                                                      |
|------------|----------------------------------------------------------------------|
| $q$        | Abfluss pro Breitereinheit in $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ |
| $\Delta h$ | Energiehöhendifferenz zwischen Einstaubereich und Tosbecken in m     |
| $h_{gr}$   | Grenzwassertiefe in m                                                |

|          |                                                                         |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| $h_1$    | Wassertiefe im Tosbecken vor dem Wechselsprung in m                     |
| $v_1$    | mittlere Fließgeschwindigkeit im Tosbecken vor dem Wechselsprung in m/s |
| $Fr_1$   | Froude-Zahl im Tosbecken vor dem Wechselsprung                          |
| $\omega$ | Seitenverhältnis im Tosbecken $\omega = \frac{h_1}{B}$                  |

Folgende Ausgabewerte sind in allen Berechnungsvarianten zu finden:

|                  |                                                                                                 |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $h_2$            | Wassertiefe im Tosbecken hinter dem Wechselsprung (konjugierte Wassertiefe) in m                |
| $\varepsilon$    | Einstauggrad $\varepsilon = \frac{h_U}{(h_2 - e)}$                                              |
| $e_{\text{erf}}$ | theoretisch erforderliche Eintiefung für einen guten Einstauggrad ( $\varepsilon = 1,05$ ) in m |
| $\eta$           | Wirkungsgrad des Wechselsprunges bezogen auf die Energiehöhe in Prozent                         |
| $v_2$            | mittlere Fließgeschwindigkeit im Tosbecken hinter dem Wechselsprung in m/s                      |
| $L_r$            | Länge der Deckwalze des Wechselsprunges in m                                                    |
| $L_T$            | Empfohlene Tosbeckenlänge nach Noack $L_T = 4,5 (h_2 - h_1)$ in m                               |

Zur Bestimmung des Einstauggrades  $\varepsilon$  wurde folgende Formel verwendet:

$$\varepsilon = \frac{h_U}{(h_2 - e)}$$

Der optimale Bereich für den Einstauggrad liegt zwischen 1,05 und 1,10.

### Berechnung des klassischen Wechselsprungs [Hager, 1992]:

$$Y^* = \frac{h_2^*}{h_1} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right)$$

Anhand der Eingangs-Froude-Zahl ( $Fr_1$ ) wird ein Verhältnis der konjugierten Wassertiefen berechnet (Abbildung 1). Über die Eingangswassertiefe  $h_1$  erhält man  $h_2^*$  und im Vergleich mit e den entsprechenden Einstauggrad.

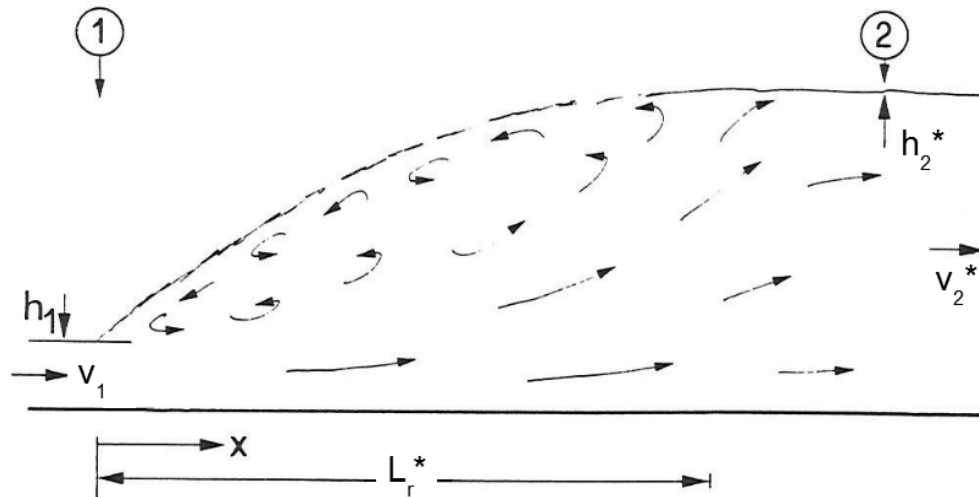


Abbildung 1: Der klassische Wechselsprung mit zugehörigen Parametern

### Sohlrauhheit

Eine Berücksichtigung der Sohlrauheit reduziert  $h_2^*$  und entsprechend auch die benötigte Eintiefung. Diese Berechnung ist genauer als die des klassischen Wechselsprungs.

Als zusätzlicher Parameter muss die äquivalente Sandrauheit der Sohle angegeben werden:

$k_s$  äquivalente Sandrauheit in m

Angaben zu verschiedenen Rauheiten sind unter [Schröder, Ralph C.M., 1990] nachzulesen. Nach [Carollo, Ferro, Pampalone, 2007] wird die Sohlrauheit wie folgt erfasst:

$$Y = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{1 + 8 \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \arctan \left( 0,8 \frac{k_s}{h_1} \right)^{0,75} \right] Fr_1^2} - 1 \right\}$$

Eine raue Sohle wirkt sich vor allem auch verkürzend auf die Wechselsprunglänge aus.

### 1.3 Berechnungsergebnisse

In Tabelle 1 sind die Eingangsparameter für die Tosbeckenbemessung des Betriebsauslasses dargestellt. Es wurden eine Regelabgabe von  $Q_R = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$  bei Vollstau  $Z_V = 283,25 \text{ müNHN}$  untersucht.

Für den HWBF 1 mit  $BHQ_1 = 4,1 \text{ m}^3/\text{s}$  wird bei einem Hochwasserstauziel von  $Z_{H1} = 283,35 \text{ müNHN}$  durch den Betriebsauslass eine Abgabe in Höhe der Regelabgabe ( $Q_R = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) angesetzt. Die eigentliche Hochwasserentlastung erfolgt über die Dammscharte mit einer Leitungsfähigkeit von bis zu  $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $> BHQ_1$ ).

Für den HWBF 2 mit  $BHQ_2 = 7,1 \text{ m}^3/\text{s}$  wird der verbleibende Abfluss nach Ausnutzung der vollen Leitungsfähigkeit der Dammscharte bei einem Hochwasserstauziel von  $Z_{H1} = Z_{H2} = 283,05 \text{ müNHN}$  angesetzt. Über den Betriebsauslass müssen in diesem Fall noch  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $= 7,1 \text{ m}^3/\text{s} - 4,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) abgeführt werden.

Tabelle 1: Eingangsparameter

|                   | Eingangsparameter für unterströmtes Schütz |                            |                  |              |            |            |                            |                   |                 |                  |              |                |               |                 |
|-------------------|--------------------------------------------|----------------------------|------------------|--------------|------------|------------|----------------------------|-------------------|-----------------|------------------|--------------|----------------|---------------|-----------------|
|                   | $H_o$<br>[müNHN]                           | $Q$<br>[m <sup>3</sup> /s] | $H_u$<br>[müNHN] | $h_u$<br>[m] | $b$<br>[m] | $B$<br>[m] | $q$<br>[m <sup>2</sup> /s] | $\Delta h$<br>[m] | $h_{gr}$<br>[m] | $h_{1it}$<br>[m] | $h_1$<br>[m] | $v_1$<br>[m/s] | $Fr_1$<br>[-] | $\omega$<br>[-] |
| $Q_R$             | 283,25                                     | 0,6                        | 278,20           | 0,20         | 0,80       | 3,00       | 0,20                       | 5,55              | 0,160           | 0,019            | 0,019        | 10,42          | 24,00         | 0,01            |
| HWBF <sub>1</sub> | 283,35                                     | 0,6                        | 278,20           | 0,20         | 0,80       | 3,00       | 0,20                       | 5,65              | 0,160           | 0,019            | 0,019        | 10,51          | 24,33         | 0,01            |
| HWBF <sub>2</sub> | 283,35                                     | 2,5                        | 278,70           | 0,70         | 0,80       | 3,00       | 0,40                       | 5,65              | 0,414           | 0,080            | 0,080        | 10,45          | 11,82         | 0,03            |

In Tabelle 2 sind die Berechnungsergebnisse für die Tosbeckendimensionierung im Endausbau dargestellt.

Tabelle 2: Berechnungsergebnisse

|                   | Tosbeckenlänge mit dem Ansatz eines klassischen Wechselsprungs |                |                   |               |                |              | Berücksichtigung der rauen Sohle mit $k_s = 0,2 \text{ m}$ |              |                   |               |              |              |
|-------------------|----------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|---------------|----------------|--------------|------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|---------------|--------------|--------------|
|                   | $Y^*$<br>[-]                                                   | $h_2^*$<br>[m] | $\epsilon$<br>[-] | $\eta$<br>[%] | $L_r^*$<br>[m] | $L_T$<br>[m] | $Y$<br>[-]                                                 | $h_2$<br>[m] | $\epsilon$<br>[-] | $\eta$<br>[%] | $L_r$<br>[m] | $L_T$<br>[m] |
| $Q_R$             | 33,4                                                           | 0,64           | 0,58              | 88%           | 2,3            | 2,8          | 23,5                                                       | 0,45         | 1,32              | 92%           | 2,0          | 1,9          |
| HWBF <sub>1</sub> | 33,9                                                           | 0,65           | 0,58              | 88%           | 2,3            | 2,8          | 23,8                                                       | 0,45         | 1,30              | 92%           | 2,0          | 2,0          |
| HWBF <sub>2</sub> | 16,2                                                           | 1,29           | 0,70              | 77%           | 5,8            | 5,5          | 13,6                                                       | 1,08         | 0,89              | 80%           | 4,6          | 4,5          |

Dem HWBF 2 liegen Ereignisse zugrunde, die statistisch gesehen alle 5.000 Jahre auftreten. Er dient dem Nachweis der Stauanlagensicherheit bei Extremhochwasser. Diese Sicherheit ist auch gegeben, wenn es infolge sehr hoher Abflüsse zu Schäden am Tosbecken kommt. Auf eine Auslegung auf den HWBF 2 wird daher verzichtet.

Für den erforderlichen Einstaugrad  $\epsilon$  ( $> 1,05$ ) ist damit der HWBF 1 maßgebend. Dieser ist bei einer gewählten Eintiefung von 0,3 m und Berücksichtigung der rauen Sohle eingehalten. Die gewählte Eintiefung ist auch für Regelabgabe  $Q_R$  ausreichend.

Entsprechend dem Ansatz eines klassischen Wechselsprungs ergibt sich sowohl für die Regelabgabe als auch für den HWBF 1 eine Tosbeckenlänge von mindestens  $L_{T,min} = 2,8\text{m}$ . Im Hinblick auf die verbleibenden Unsicherheiten bei der Tosbeckenbemessung wird auf der sicheren Seite liegend eine Tosbeckenlänge von  $L_T = 3,0\text{ m}$  zuzüglich von jeweils 1,2 m langen Anrampungen am Anfang und Ende des Tosbeckens gewählt.

## **1.4 Literatur**

Die verwendeten Kurzbezeichnungen stehen für folgende Fachliteratur:

- |                                  |                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [Hager, 1992]                    | Hager, Willi H. (1992). Energy Dissipators and Hydraulic Jump. Dordrecht, Niederlande: Kluwer Academic Publishers.                                                       |
| [Schröder, Ralph C. M., 1990]    | Schröder, Ralph C. M. (1990). Hydraulische Methoden zur Erfassung von Rauheiten (Bd. 92, DVWK Schriften) Hamburg: Verlag Paul Parey.                                     |
| [Carollo, Ferro, Pampalone 2007] | Carollo, Francesco G. - Ferro, Vito - Pampalone, Vincenzo (September 2007). Hydraulic Jumps on rough Beds. Journal of Hydraulic Engineering, 133. Jg., H. 9, S. 989-999. |