

1. Tosbeckendimensionierung - Energieumwandlung im Auslassbauwerk

1.1 Zusammenfassung

Das offene Auslassbauwerk wird als kombiniertes Bauwerk ökohydraulisch gestaltet und erfüllt die Funktionen Grundablass, Betriebsauslass und Hochwasserentlastung. Das Tosbecken ist im linken 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 $L_T = \text{rd. } 3,5 \text{ m}$
- Tosbeckenbreite $B = 4,75 \text{ m}$
- Sohlhöhe Tosbecken $Z_{T0} = 253,95 \text{ mÜNNH}$
- Tosbeckeneintiefung $e = 0,5 \text{ m}$
- Sohlhöhe im Unterwasser am Tosbeckenende $Z_{su} = 253,45 \text{ mÜNNH}$

1.2 Berechnungsgrundlagen

Als Berechnungsgrundlage sind folgende Randparameter anzugeben:

Z_{T0} Sohlhöhe im Tosbecken in mÜNNH

e Eintiefung des Tosbeckens hinter dem Betriebsauslassschütz in m

H_0 Wasserstand im Staubereich (Oberwasser) in mÜNN

Q Durchfluss am Betriebsauslassschütz in m^3/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 Breiteneinheit in $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$

Δh 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

ω 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

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

e_{erf} theoretisch erforderliche Eintiefung für einen guten Einstaugrad ($\varepsilon = 1,05$) in m

η 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 Einstaugrades ε wurde folgende Formel verwendet:

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

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

1.2.1 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.

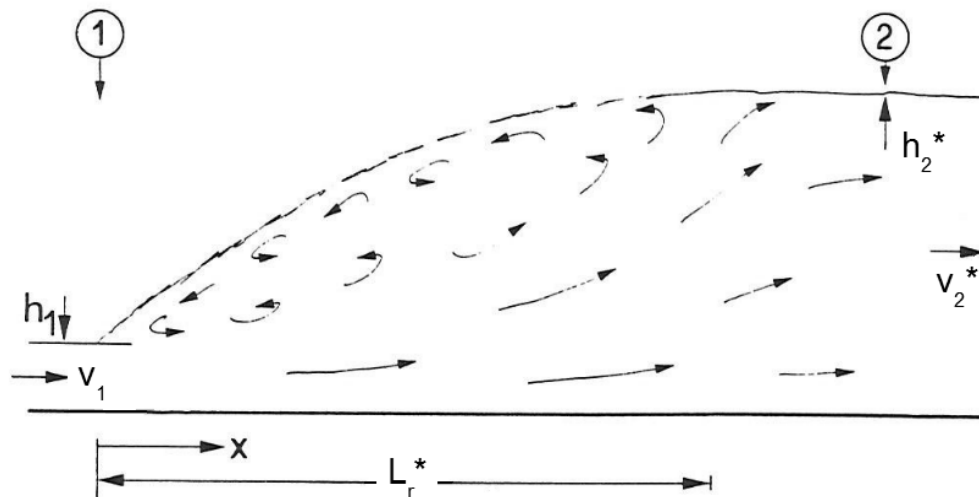


Abbildung 1: Der klassische Wechselsprung mit zugehörigen Parametern

1.2.2 Sohlrauheit

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

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] nach-zulesen. 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 die folgenden Fälle untersucht:

- **Regelabgabe Q_R :** Es wurde ein Abfluss in Höhe der Regelabgabe von $Q_R = 1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ bei Vollstau $Z_V = 263,20 \text{ m} \text{üNHN}$ untersucht.
- **Hochwasserbemessungsfall 1:** Für den HWBF 1 mit $BHQ_1 = HQ_{500,K,Ret} = 11,3 \text{ m}^3/\text{s}$ wird durch den Betriebsauslass die Regelabgabe $Q_R = 1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ angesetzt. Zusätzlich müssen $10,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ($= 11,3 \text{ m}^3/\text{s} - 1,1 \text{ m}^3/\text{s}$) über die gelegte Stauklappe abgeführt werden.
- **Hochwasserbemessungsfall 2:** 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 zur Reduzierung der Tosbeckenlänge und der Tosbeckentiefe verzichtet.

Für die erforderliche Mindestlänge des Tosbeckens ergibt sich gemäß Tabelle 2 der Abfluss Q_R als maßgebend. Entsprechend dem Ansatz eines klassischen Wechselsprungs ergibt sich eine Tosbeckenlänge von mindestens $L_{T,min} = \text{ca. } 3,5 \text{ m}$. Im Hinblick auf die verbleibenden Unsicherheiten wird die Tosbeckenlänge mit $L_T = 3,5 \text{ m}$ zuzüglich einer 3 m langen Anrampung am Tosbeckenende gewählt.

Tabelle 1: Eingangsparameter

	Eingangsparameter für unterströmtes Schütz													
	Ho	Q	Hu	hu	b	B	q	Δh	hgr	h1 it	h1	v1	Fr1	ω
	[müNHN]	[m³/s]	[müNHN]	[m]	[m]	[m]	[m²/s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	[-]	[-]
QR	263,20	1,10	254,05	0,10	1,00	4,75	0,23	9,75	0,176	0,017	0,017	13,82	34,08	0,00
HWBF1	263,20	1,10	254,40	0,45	1,00	4,75	0,23	9,75	0,176	0,017	0,017	13,82	34,08	0,00
HWBF2	263,20	8,00	254,95	1,00	1,00	4,75	1,68	9,75	0,661	0,123	0,123	13,74	12,54	0,03

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

Tabelle 2: Berechnungsergebnisse

	Tosbeckenlänge mit dem Ansatz eines klassischen Wechselsprungs						Berücksichtigung der rauen Sohle mit $k_s = 0,2 \text{ m}$					
	Y*	h2*	ε	η	Lr*	LT	Y	h2	ε	η	Lr	LT
	[-]	[m]	[-]	[%]	[m]	[m]	[-]	[m]	[-]	[%]	[m]	[m]
QR	47,7	0,80	0,33	92%	2,3	3,5	34,4	0,58	1,32	94%	2,6	2,5
HWBF1	47,7	0,80	1,50	92%	2,3	3,5	34,4	0,58	5,94	94%	2,6	2,5
HWBF2	17,2	2,11	0,62	78%	9,4	9,0	15,2	1,87	0,73	80%	8,1	7,9

Für den erforderlichen Einstaugrad ϵ ($> 1,05$) ist damit der Abfluss Q_R maßgebend. Dieser ist bei einer gewählten Eintiefung von 0,5 m und Berücksichtigung der rauen Sohle eingehalten. Die gewählte Eintiefung ist für den Nachweis der Regelabgabe und den Hochwasserbemessungsfall 1 ausreichend.

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. |