



SCHÖPFWERK ZUR BINNENENTWÄSSERUNG SPONSHEIN

Anhang 5: Hydraulische Berechnungen



Dieser Bericht umfasst 11 Seiten.

Antragsteller

LAND RHEINLAND-PFALZ

vertreten durch

**STRUKTUR- UND GENEHMIGUNGSDIREKTION SÜD
REGIONALSTELLE WASSERWIRTSCHAFT,
ABFALLWIRTSCHAFT, BODENSCHUTZ**

MAINZ

Gefertigt:



Bauer – Infrastrukturplanung und Wasserbau
Weiterstädter Straße 18
64291 Darmstadt
www.bauer-iw.de

Darmstadt, den 10.05.2016



Unterschrift

Schöpfwerk Sponsheim – Hydraulische Berechnungen

INHALT

SEITE

1	ZULAUFGERINNE VOR DEM RECHEN.....	4
2	RECHEN	5
3	TAUCHWANDVERLUST	7
4	ÜBERFALLSCHWELLEN.....	7
5	AUSLAUFGERINNE	8
5.1	Abfluss bei HQ_{100}	8
5.2	Abfluss beim Wasserstand 85,70 müNN im Hochwasserrückhalteraum	9
6	Freiflutanlage.....	10
	Literaturverzeichnis	11

1 ZULAUFGERINNE VOR DEM RECHEN

Die Geschiebeschwelle wird in den folgenden hydraulischen Nachweisen vernachlässigt. Die hydraulischen Berechnungen beginnen unterhalb der Geschiebeschwelle vor dem Rechen. Dies erfolgt vor dem Hintergrund folgender Randbedingungen:

- Die Geschiebeschwelle weist eine sehr geringe Höhe von 0,18 m auf
- Die Geschiebeschwelle ist durch den schrägen Einbau vor dem Rechen wesentlich länger als der Zulaufbereich und der Rechen breit ist
- Der Wasserspiegel im Pumpensumpf ist beim Pumpbetrieb wegen der gewählten Ein- und Ausschaltpunkte höher als die Geschiebeschwelle
- Der durch die Geschiebeschwelle ggf. vorhandene Einschnürungsstau wurde bereits bei der hydraulischen Berechnung der Zulaufgräben (Aspzheimer Graben, Graben Mitte, Graben Süd) durch BGS Wasser berücksichtigt (Anhang 1).

Die Strömungsgeschwindigkeit und die Verluste im Zulaufgerinne werden wie folgt ermittelt.

Die Breite des Zulaufgerinnes ergibt sich konstruktiv aus den erforderlichen Breiten der Pumpenkammern zuzüglich der Trennwände zwischen den Pumpenkammern und beträgt 6,10 m. Die Strömungsgeschwindigkeiten sollten hier nicht größer als 1,0 m/s sein. Ziel ist es, dass der Wasserspiegel im Pumpensumpf vor den Pumpen annähernd dem Wasserspiegel im Zulaufbereich entspricht.

Die maximale Strömungsgeschwindigkeit tritt auf, wenn alle 4 Pumpen mit voller Leistung fördern und dabei den Wasserspiegel auf dem (steuerungstechnisch eingestellten) Minimum halten können (d. h. der Zufluss im Graben entspricht der Förderleistung). Hier wird als Wasserspiegel der Ausschaltpunkt der Pumpe 4 mit 85,80 müNN angesetzt. Die Sohlhöhe beträgt im Bereich zwischen der Geschiebeschwelle und dem Rechen 85,30 müNN.

Wasserstand:	85,80 m
Sohlhöhe:	85,30 m
Wassertiefe h:	0,50 m
Breite b:	6,10 m

Die Strömungsgeschwindigkeit beträgt:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{h \times b} = \frac{1,45 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,50 \text{ m} \times 6,10 \text{ m}} = 0,48 \text{ m/s} \quad (< 1,0 \text{ m/s})$$

Der hydraulische Verlust längs des Fließweges wird nach der Formel von Manning-Strickler berechnet:

$$h_v = \frac{2 \times g \times L}{k_{St}^2 \times R^{4/3}} \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

mit: $v = 0,48 \text{ m/s}$

$L = i. M. 10 \text{ m}$, von der Geschiebeschwelle bis zum Rechen

$K_{St} = 90 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, für Beton, mit Stahlschalung geschalt

$R = A/U$ hydraulische Radius

$$R = \frac{A}{U} = \frac{b \times h}{b + 2 \times h} = \frac{6,10 \text{ m} \times 0,50 \text{ m}}{6,10 \text{ m} + 2 \times 0,50 \text{ m}} = 0,43 \text{ m}$$

$$h_v = \frac{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 7,5 \text{ m}}{\left(90 \text{ m}^{1/3}/\text{s}\right)^2 \times (0,43 \text{ m})^{4/3}} \times \frac{0,48^2 \text{ m}^2/\text{s}^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,0055 \text{ m} = 0,55 \text{ cm}$$

Diese Verlusthöhe ist vernachlässigbar gering. Die gewählte Breite des Zulaufgerinnes von 6,10 m ist ausreichend. Umlenkungsverluste und dergleichen treten wegen des geraden Verlaufs bis zum Rechen nicht auf.

Die Fließgeschwindigkeit im Bereich vor der Geschiebeschwelle dürfte wegen des dort angeordneten Sedimentdepots noch wesentlich geringer sein. Die Sohle des Sedimentdepots ist 0,92 m tiefer als die Sohle der zuführenden Gräben. Die Sohle des Sedimentdepots sollte regelmäßig geräumt werden. Die Räumung muss mit einem geeigneten Baugerät mit Greifer erfolgen.

2 RECHEN

Im Zulaufgerinne wird ein Rechen vor dem Pumpensumpf vorgesehen. Die Rechenbreite ergibt sich aus der Breite des Zulaufgerinnes mit 6,10 m. Durch den Rechen strömen bei voller Pumpleistung 1,45 m³/s. Der Rechen hat eine maximale nutzbare Höhe von 3,05 m (Unterkante Stahlbetonwand am Einlauf = 88,12 müNN). Der Ausschaltpunkt der Pumpe 4 (geringste Wasserspiegelhöhe bei maximaler Förderleistung) liegt unter der Oberkante der nutzbaren Rechenfläche bei 85,80 müNN). Damit ist für die Berechnung der Ausschaltpunkt der Pumpe 4 mit 85,80 müNN maßgebend. Die Sohle im Bereich des Rechens liegt bei 85,07 müNN.

Ausschaltpunkt P4:	85,80 m
Sohle:	85,07 m
Wassertiefe h:	0,73 m
Rechenbreite b_R :	6,10 m

Die Strömungsgeschwindigkeit im Rechen sollte nicht über ca. 0,5 m/s liegen. Unter Vernachlässigung der Rechenstäbe beträgt die Geschwindigkeit:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{h \times b} = \frac{1,45 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,73 \text{ m} \times 6,10 \text{ m}} = 0,33 \text{ m/s}$$

Für Pumpen der erforderlichen Pumpleistung bzw. Baugröße ist ein Grobrechen mit einer Spaltweite von 30 mm erforderlich.

Die Fließgeschwindigkeit zwischen den Rechenstäben berechnet sich zu:

$a = 30 \text{ mm}$ (Stababstand)

$d = 10 \text{ mm}$ (Stabstärke)

Anzahl der Stäbe je Meter: $n = \frac{1.000 \text{ mm}}{d + a} = 25 \text{ St/m}$

effektive Fließbreite: $b_{\text{eff}} = 1,00 \text{ m} - n \times d = 0,75 \text{ m/m}$

$$v_{\text{eff}} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{h \times b_{\text{eff}}} = \frac{1,45 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,73 \text{ m} \times 0,75 \times 6,10 \text{ m}} = 0,43 \text{ m/s}$$

Die Verluste im Rechen berechnen sich nach der allgemeinen Verlust-Formel:

$$h_v = \zeta \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

mit: $\zeta = \delta \times \left(\frac{d}{a}\right)^{4/3} \times \sin \alpha$

$a = 30 \text{ mm}$ Stababstand

$d = 10 \text{ mm}$ Stabstärke

$\delta = 2,42$ Formbeiwert für Rechenstäbe, für scharfkantige Flacheisen nicht abgerundet

$\alpha =$ Neigung des Rechens, zu 75° gewählt

$v = 0,43 \text{ m/s}$ (siehe oben)

$$\zeta = 2,42 \times \left(\frac{10 \text{ mm}}{30 \text{ mm}}\right)^{4/3} \times \sin 75^\circ = 0,54$$

$$h_v = 0,54 \times \frac{0,43^2 \text{ m}^2 / \text{s}^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,005 \text{ m} = 0,5 \text{ cm}$$

Der unbelegte Rechen verursacht somit vernachlässigbare Verluste. Die gewählte Rechenbreite ist ausreichend. Die Verluste hängen ausschließlich von der Belegung ab, d. h. von der einstellbaren Rechenreinigung (i.d.R. < 5 – 10 cm).

3 TAUCHWANDVERLUST

Es wird keine Tauchwand angeordnet. Bei Betrieb der Anlage entsprechend den gewählten Ein- und Ausschaltpunkten treten Wasserstände auf, die unterhalb der Öffnungshöhe der im Bereich des Rechens angeordneten Stahlbetonwand liegen.

4 ÜBERFALLSCHWELLEN

Jede der 4 Pumpen fördert über einen Schacht und über eine Überfallschwelle in einen gemeinsamen Ablaufkanal. Die Länge jeder einzelnen Überfallschwelle beeinflusst einerseits die Überfallhöhe und damit die Förderhöhe der Pumpen und andererseits die Breite der Pumpenkammer und damit die Gesamtbreite der Pumpstation. Je länger die einzelne Überfallschwelle vorgesehen wird, desto niedriger wird zwar die Überfallhöhe an der jeweiligen Überlaufschwelle, desto breiter wird jedoch das Bauwerk.

Die Überfallhöhen über die Schwellen berechnet sich mit:

$$Q = \frac{2}{3} \times \mu \times l_{ii} \times \sqrt{2 \times g} \times h_{ii}^{2/3}$$

bzw. umgeformt nach der Überfallhöhe h_{ii} :

$$h_{ii} = \left(\frac{3 \times Q}{2 \times \mu \times l_{ii} \times \sqrt{2 \times g}} \right)^{2/3}$$

Für rundkronige Überfallwehre kann ein Überfallbeiwert von $\mu = 0,55$ verwendet werden.

Die Geschwindigkeit am Überfall beträgt:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Das maximale Hochwasser beträgt $HW_{200} = 88,42$ m. Die Überfallschwelle wird auf 88,62 müNN festgelegt (Freibord = 0,20 m). Es sollte ein vollkommener Überfall vorliegen, der nicht vom Unterwasser beeinflusst ist.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Berechnungen für jede Pumpenkammer:

Nr.	Pumpe	Förderleistung	Schwellenlänge	Überfallhöhe	Geschwindigkeit
		m ³ /s	m	m	m/s
1	Pumpe 1	0,15	1,00	0,20	0,75
2	Pumpe 2	0,20	1,00	0,25	0,80
3	Pumpe 3	0,40	1,40	0,31	0,92
4	Pumpe 4	0,70	1,80	0,39	0,99

5 AUSLAUFGERINNE

5.1 Abfluss bei HQ₁₀₀

Hinter den Überfallschwelen schließt sich ein Ablaufgerinne an, das in den Aspisheimer Graben mündet. Das Gerinne ist vom Aspisheimer Graben und über einen Einstieg mit Leiter westlich des Betriebsgebäudes (Niveau des Deichverteidigungsweges) begehbar. Das Gerinne besitzt am Zusammenfluss mit der Freiflutanlage eine um 0,60 m höhere Sohlhöhe (85,70 müNN), damit Niedrigwasserabflüsse im Aspisheimer Graben nicht ständig zum Rückstau in das Ablaufgerinne führen. Im Anschluss daran steigt die Sohle des Gerinnes bis zu den Schwellen um 0,60 m an (86,00 müNN). Der Ablaufkanal ist bis zu den Sohlswellen 2,20 m breit. Danach schließt sich ein 1,50 m breites Sammelgerinne an, das am Ende eine Sohlhöhe von 86,40 müNN aufweist.

Im Bemessungshochwasserfall HW₂₀₀ sind die oben genannten Gerinne bis auf eine Höhe von 88,42 müNN eingestaut. Auf der sicheren Seite liegend wird für folgenden Nachweise der kleinste benetzte Querschnitt des Ablaufgerinnes mit einer Breite 1,50 m und einer Höhe von (88,42 – 86,40 =) 2,02 m angesetzt. Ebenfalls auf der sicheren Seite liegend wird angenommen, dass durch diesen Querschnitt die gesamte maximale Wassermenge von 1,45 m³/s strömt.

Bei dem Bemessungshochwasser mit Einstau des Ablaufgerinnes bis auf 88,42 müNN berechnet sich die Fließgeschwindigkeit mit:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{b \times h} = \frac{1,45 \text{ m}^3 / \text{s}}{1,50 \text{ m} \times 2,02 \text{ m}} = 0,48 \text{ m/s} \quad (< 1 \text{ m/s})$$

Nun erfolgt die Berechnung der Verluste im Ablaufkanal zwecks Überprüfung des Aufstaus hinter der Überfallschwelle bzw. zur Kontrolle, ob der Überfall ein „Vollkommener Überfall“ ist und somit auch bei HQ₁₀₀ und voller erforderlicher Pumpleistung kein Rückstau in das Oberwasser stattfindet.

Die Berechnung der örtlichen Verluste erfolgt nach dem allgemeinen Verlustansatz:

$$h_{v,ört} = \left(\sum \zeta \right) \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

mit: $\xi = 1,0$ Auslaufverlust

$\xi = 0,5$ Krümmungsverlust von dem parallel zu den Pumpenkammern verlaufenden Gerinneteil zum breiteren Ablaufgerinne

Die Gerinneaufweitung wird vernachlässigt.

$$h_{v,ört} = 1,5 \times \frac{0,48^2 \text{ m}^2 / \text{s}^2}{2 \times 9,81 \text{ m} / \text{s}^2} = 0,036 \text{ m} = 3,6 \text{ cm}$$

Die gesamten Verluste betragen unter 4 cm. Bei einem HW_{200} von 88,42 müNN liegt der Wasserspiegel bei voller Pumpleistung direkt hinter der Schwelle bei rund 88,46 müNN. Der Überfall ist bei einer Schwellenhöhe von 88,62 müNN nicht eingestaut. Die gewählte Freibordhöhe von 0,20 m (88,62 - 88,42 müNN) ist ausreichend.

5.2 Abfluss beim Wasserstand 85,70 müNN im Hochwasserrückhalteraum

Sobald im Hochwasserrückhalteraum der Wasserstand nur 85,70 müNN beträgt, ist die Sohle des Ablaufgerinnes mit der Breite von 2,20 m nicht mit Wasser benetzt. Sollte dies der Fall sein und gleichzeitig ein Pumpbetrieb mit der maximalen Förderleistung vorliegen, so wird sich an dieser Stelle Grenztiefe einstellen, da keine Beeinflussung durch das Unterwasser gegeben ist.

Die Grenztiefe berechnet sich zu:

$$h_{gr} = \sqrt[3]{\alpha \frac{Q^2}{g \times b^2}} = \sqrt[3]{1 \times \frac{1,45^2 \text{ m}^6 / \text{s}^2}{9,81 \text{ m} / \text{s}^2 \times 2,20^2 \text{ m}^2}} = 0,35 \text{ m}$$

Korrekturbeiwert für mittlere Geschwindigkeit $\alpha = 1,0$ (regelmäßiges offenes Gerinne)

Als Fließgeschwindigkeit stellt sich dann die Grenzgeschwindigkeit ein:

$$v_{gr} = \sqrt{\frac{g}{\alpha} \times h_{gr}} = \sqrt{\frac{9,81 \text{ m} / \text{s}^2}{1,0} \times 0,35 \text{ m}} = 1,85 \text{ m/s}$$

bzw.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{b \times h_{gr}} = \frac{1,45 \text{ m}^3 / \text{s}}{2,20 \text{ m} \times 0,35 \text{ m}} = 1,88 \text{ m/s}$$

Bei steigendem Wasserstand im Hochwasserrückhalteraum nimmt der Einfluss des Unterwasserstandes zu und die Fließgeschwindigkeit nimmt ab. Die oben berechnete Fließgeschwindigkeit von rd. 1,85 m/s ist vertretbar.

6 FREIFLUTANLAGE

Die Abmessungen der Freiflutanlage wurden bei den Berechnungen zur Binnenentwässerung von BGS Wasser berücksichtigt. Auf die Berechnungen im Anhang 1 wird verwiesen. Die Freiflutanlage wird als 2,40 m breites Gerinne geplant. Im Bereich der beiden Verschlüsse befinden sich Stauwände mit Öffnungen von 1,8 m Breite und 1,8 m Höhe. Davor sind jeweils binnen- und wasserseitig Verschlüsse aus Gusseisen montiert.

Darmstadt, den 10.05.2016
Infrastrukturplanung und Wasserbau



Holger Bauer
Diplom-Bauingenieur

LITERATURVERZEICHNIS

DIN Taschenbuch 179, Wasserbau 1, 5. Auflage, Januar 2005, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN 1184, Teil 1, Schöpfwerke / Pumpwerke, Planung, Bau und Betrieb, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., März 1992

Robert Rössert, Hydraulik im Wasserbau, 6. Auflage, Oldenbourg Verlag