

BAUENTWURF 2023

Ertüchtigung Kläranlage

Antrag auf Erteilung einer gehobenen wasserrechtlichen Erlaubnis

nach § 10 Absatz 1 Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
in Verbindung mit § 15 WHG
für die Einleitung von abgeschlagenem Abwasser
aus der Kläranlage Eslarn in den Loisbach

Anlage 1

Hydraulische Berechnung

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Zusammenstellung der maßgebenden Durchflüsse	3
2. Berechnungsformeln und Beiwerte	4
3. Vorfluter - Zwischenschacht	6
4. Zwischenschacht - MID-Messstrecke Ablaufschacht	7
5. MID-Messstrecke Ablaufschacht - MID-Messstrecke Zulaufschacht	8
6. MID-Messstrecke Zulaufschacht - Kreislaufwasserschacht Nachklärbecken	9
7. Kreislaufwasserschacht Nachklärbecken - Sammelkastenablauf Rinne	11
8. Ablaufrinne	13
9. Zahnschwelle an der Ablaufrinne	14
10. Nachklärbecken - Belebungsbecken	15
11. Belebungsbecken - Zwischenhebewerk Ablauf	16
12. Zulauf Zwischenhebewerk - Sandfang Ablaufschacht	18
13. Sandfang Ablaufschacht - Zulaufschacht	20
14. Zulauf Sandfang - Ablauf Rechenhaus	22
15. Ablauf Rechenhaus - Ablauf Rechenanlage	24
16. Zulauf Rechenhaus - Zulaufschnecken	26
17. Rücklaufschlamm: Nachklärbecken - Zwischenhebewerk	27
18. Überschussschlamm: Nachklärbecken - Vorschacht Schlammstapelbehälter	28
19. Notumlauf: Sandfang Ablaufschacht - Zulaufschacht	29
20. Kreislaufwasserpumpe: Kreislaufwasserschacht - Windkessel 1	30
21. Brauchwasserpumpe: Brauchwasserschacht - Windkessel 2	31
22. Vorschacht Schlammstapelbehälter - Schlammmentwässerung	32

1. Zusammenstellung der maßgebenden Durchflüsse

Loisbach im Bereich Kläranlagengelände (Hochwasser) 505,50 m ü. NN

WSp Nachklärbecken gewählt 506,60 m ü. NN

Die Unterkante der Überlaufschwelle im Nachklärbecken wird auf 505,57 m ü. NN festgelegt.

Die hydraulische Berechnung der Kläranlage erfolgt für folgende vier Lastfälle:

Bezeichnung	Kurzbezeichnung	Durchfluss	
Lastfall 1: Mischwasserabfluss (maximaler Durchfluss, Hochwasser) Rücklaufschlamm: 50 l/s	$Q_M (Q_{max})$	50,0 l/s	180,0 m ³ /h
Lastfall 2: Minimaler Durchfluss Rücklaufschlamm: 20 l/s	Q_{min}	3,5 l/s	12,6 m ³ /h
Lastfall 3: Mittlerer Trockenwetter Rücklaufschlamm: 20 l/s	$Q_{T,aM}$	7,9 l/s	28,3 m ³ /h
Lastfall 4: h-Spitzenabfluss Rücklaufschlamm: 20 l/s	$Q_{T,h,max}$	12,9 l/s	46,5 m ³ /h
2h-Spitzenabfluss	$Q_{T,2h,max}$	11,1 l/s	40,1 m ³ /h

Die hydraulische Überrechnung findet vom Vorfluter Loisbach statt und wird „rückwärts“ gerechnet.

Die hydraulische Nachberechnung der bestehenden Ablaufleitung von der Kläranlage zwischen dem Auslauf in Loisbach und dem Zulaufschacht der MID-Strecke erfolgt ausschließlich für den maßgebenden Lastfall 1.

2. Berechnungsformeln und Beiwerte

Freispiegelleitung

Prandtl-Colebrook (Rohrleitungstabellen)

Rauhigkeitsbeiwert $k_B = 1,50 \text{ mm}$

Gerinne und Freispiegelleitungen

Gauckler-Manning-Strickler

$$Q = A \times k_{st} \times R^{2/3} \times J^{1/2}$$

mit: $k_{st} = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Dükerleitungen

$$h_v = \frac{v^2 \times L}{k_{st}^2 \times R^3} + \sum \zeta \times \frac{v^2}{2g}$$

mit: $k_{st} = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Grenzverhältnisse

Kreisabschnitt $\frac{(\varphi_{gr} - \sin \varphi_{gr})^3}{\sin(\frac{1}{2} \varphi_{gr})} = \frac{512 \times Q^2}{g \times d^5}$
mit φ als Bogenmaß vom benetzten Umfang

Rechteck $h_{gr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \times b^2}}$;

Trapez $h_{gr} = \frac{\sqrt[3]{\frac{Q^2}{g} \times (b + 2 \times m \times h_{gr})}}{b + m \times h_{gr}}$

mit b als Breite im Sohlenbereich und m als Steigung der Seiten (1:m)

Überfallhöhen

Thomson-Überfall (Wehrform Typ A, DIN 19558)

$$Q_{Wehr} = 1,352 \times h_{\bar{u}}^{2,483}$$
$$h_{\bar{u}} = \sqrt[2,483]{Q_{Wehr} / 1,352}$$

Poleni-Formel

$$Q = \frac{2}{3} \mu x \sqrt{2 x g} x B x h^{\frac{3}{2}}$$

mit $\mu = 0,64$ für scharfkantige Überfallkanten

Böß-Verfahren

Iterationsgleichung: $\frac{v_o^2}{2g} + h_o + I_s \times \Delta x = \frac{v_u^2}{2g} + h_u + I_{E,m} \times \Delta x$

mit v_o, h_o, v_u, h_u als Wasserstand und Geschwindigkeit oben/unten (Anfang/Ende des Abschnittes) und Δx als Länge des Abschnittes

mit I_s als Sohlgefälle und $I_{E,m}$ als mittleres Gefälle der Energiehöhenlinie

$$I_{E,m} = \frac{v_m^2}{k_{st}^2 x R_m^{\frac{4}{3}}}$$

mit $k_{st} = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ und v_m und R_m als Mittelwerte Anfang und Ende

3. Vorfluter - Zwischenschacht

Lastfall 1 - Düker

Rohrdurchmesser (verkleinert durch Sanierung) DN 490 mm

Rohrlänge ca. 20,00 m

Örtliche Verluste: Einlaufverlust $\zeta_E = 0,50$
 Austrittsverlust $\zeta_A = 1,00$
 $\sum \zeta = 1,50$

Lastfall	Q [l/s]	v [m/s]	WSp Loisbach [m ü. NN]	Reibungs- verluste [cm]	Örtliche Verluste [cm]	Gesamt- verlusthöhe [cm]	WSp Zwischen- schacht [m ü. NN]
1	50,00	0,27	505,50	0,5	0,5	1	505,51

4. Zwischenschacht - MID-Messstrecke Ablaufschacht

Lastfall 1 - Düker

Rohrdurchmesser DN 490 mm

Rohrlänge ca. 13,00 m

Örtliche Verluste: Einlaufverlust $\zeta_E = 0,50$
 Austrittsverlust $\zeta_A = 1,00$
 $\sum \zeta = 1,50$

Lastfall	Q [l/s]	v [m/s]	WSp Zwi- schenschacht [m ü. NN]	Reibungs- verluste [cm]	Örtliche Verluste [cm]	Gesamt- verlusthöhe [cm]	WSp Ablauf- schacht [m ü. NN]
1	50,00	0,27	505,51	0,3	0,5	-1	505,52

5. MID-Messstrecke Ablaufschacht - MID-Messstrecke Zulaufschacht

Lastfall 1 - Düker

Rohrdurchmesser	DN 250 mm
Rohrlänge	ca. 8,00 m
Örtliche Verluste: Einlaufverlust	$\zeta_E = 0,50$
Austrittsverlust	$\zeta_A = 1,00$
MID-Verluste 1 $\zeta_{\ddot{O}}$ à 0,32	$\zeta_{\ddot{O}} = 0,32$
Plattenschieber 2 $\zeta_{\ddot{O}}$ à 0,16	$\zeta_{\ddot{O}} = \underline{0,32}$
	$\Sigma\zeta = 2,14$

Lastfall	Q [l/s]	v [m/s]	WSp Ablaufschacht [m ü. NN]	Reibungsverluste [cm]	Örtliche Verluste [cm]	Gesamtverlusthöhe [cm]	WSp Zulaufschacht [m ü. NN]
1	50,00	1,02	505,52	5,4	11,3	17	505,69

6. MID-Messstrecke Zulaufschacht - Kreislaufwasserschacht Nachklärbecken

Lastfall 1 - Düker

Rohrdurchmesser	DN 250 mm
Rohrlänge	ca. 22,00 m
Örtliche Verluste: Einlaufverlust	$\zeta_E = 0,50$
Austrittsverlust	$\zeta_A = 1,00$
Krümmerverluste 6 ζ_δ à 0,14	$\zeta_\delta = \underline{0,82}$
	$\Sigma \zeta = 2,34$

Lastfall	Q [l/s]	v [m/s]	WSp Zulaufschacht [m ü. NN]	Reibungsverluste [cm]	Örtliche Verluste [cm]	Gesamtverlusthöhe [cm]	WSp Kreislaufwasserschacht [m ü. NN]
1	50,00	1,02	505,69	18,8	12,4	32	506,01

Lastfälle 2 und 3 - Freispiegelleitung

Normalwasserverhältnisse der Vollfüllung:

Rohrsohle unten	504,30 m ü. NN
Rohrsohle oben	504,75 m ü. NN
Rohrdurchmesser	DN 250 mm
Rohrlänge	ca. 22,00 m
Gefälle I	= 20,5 ‰
k_b -Wert	= 1,5 mm
Q_{Voll}	= 86,5 l/s
V_{Voll}	= 1,76 m/s

Normalwasserverhältnisse der Teilfüllung:

Lastfall	Q_t [l/s]	Q_t/Q_{Voll} [-]	h_t [cm]	v_t [m/s]	H_v [cm]	Froude-Zahl [-]	Boussinesq-Zahl [-]
2	3,5	0,0405	3,4	0,89	4,1	1,55	1,96
3	7,9	0,0914	5,0	1,12	6,4	1,60	2,05
4	12,9	0,1492	6,5	1,28	8,4	1,61	2,11

Im Einlaufbereich nach dem Kreislaufwasserschacht findet ein Übergang vom Strömen in Schießen statt. Dadurch ist die erforderliche Energiehöhe bestimmt, die sich im Kreislaufwasserschacht aufbauen muss.

Grenztiefen und Grenzgeschwindigkeiten der Teilfüllung (Fr=1):

Lastfall	Q_t [l/s]	φ_{gr} [rad]	h_{gr} [cm]	v_{gr} [m/s]	$H_{v,gr}$ [cm]	$H_{E,min}$ [cm]
2	3,5	1,78	4,6	0,56	1,6	6,2
3	7,9	2,23	7,0	0,70	2,5	9,5
4	12,9	2,58	9,0	0,81	3,3	12,4

Berechnung Wasserstand oben:

Lastfall	Rohrsohle oben [m ü. NHN]	$H_{E,min}$ [cm]	Einlaufverlust [cm]	WSp oben [m ü. NHN]
2	504,75	6,2	0,8	504,82
3	504,75	9,5	1,3	504,86
4	504,75	12,4	1,6	504,89

7. Kreislaufwasserschacht Nachklärbecken - Sammelkastenablauf Rinne

In den Lastfällen 2, 3 und 4 ist der freie Auslauf aus dem Rohr in den Kreislaufwasserschacht sichergestellt. Am Ende des Rohres stellen sich Grenzverhältnisse ein, weil aufgrund des 0 %-Gefälles der Rohrleitung zwangsläufig davor strömende Verhältnisse herrschen.

Rohrsohle oben = Rohrsohle unten (Gefälle = 0 %)	505,86 m ü. NN
Rohrdurchmesser	DN 250 (273 x 2,6)
Rohrlänge	ca. 8,00 m

Hydraulische Verhältnisse am freien Auslauf (Grenzverhältnisse)

Grenztiefen und Grenzgeschwindigkeiten der Teilfüllung - freier Auslauf in Kreislaufwasserschacht:

Lastfall	Q_t [l/s]	h_{gr} [cm]	v_{gr} [m/s]	$H_{v,gr}$ [cm]	$H_{E,min}$ [cm]
2	3,5	4,5	0,55	1,6	6,1
3	7,9	6,9	0,69	2,4	9,3
4	12,9	8,8	0,80	3,2	12,1

Berechnung Wasserspiegelverlauf

Iterative Berechnung Wasserspiegelverlauf mit dem Böß-Verfahren. Als Wasserstand unten gelten die berechneten Grenzverhältnisse am Auslauf. Berechnung mit $k_{St} = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Ergebnisse der Iteration:

Lastfall	Q_t [l/s]	Länge Senkkurve [m]	h_{unten} [cm]	h_{oben} [cm]	v_{oben} [m/s]	$I_{E,m}$ [%]	WSp oben [m ü. NN]
1	50,0	3,5	15,0	-	0,89	1,06	-
2	3,5	179,0	4,5	8,1	0,25	0,27	505,95
3	7,9	102,0	6,9	11,1	0,36	0,30	505,98
4	12,9	63,0	8,8	13,8	0,44	0,34	506,00

Berechnung Wasserstand oben im Lastfall 1 (Vollfüllung)

Im Lastfall 1 findet ein Übergang zwischen den Freispiegel-Verhältnissen und der vollgefüllten Rohrleitung in einer Entfernung von 3,5 m vom Kreislaufwasserschacht statt.

Ab diesem Punkt erfolgt die hydraulische Berechnung wie die Berechnung des Dükers.

Rohrdurchmesser DN 250 mm (273 x 2,6)

Rohrlänge ca. 4,5 m

Örtliche Verluste: Einlaufverlust $\zeta_E = 0,50$

Lastfall	Q [l/s]	v [m/s]	WSp unten [m ü. NN]	Reibungs- verlust [cm]	Örtliche Verluste [cm]	Gesamt- verlusthöhe [cm]	WSp oben [m ü. NN]
1	50,00	0,89	506,13	2,7	2,0	4,7	506,18

Der Tiefpunkt der Sohle der Ablaufrinne liegt in Höhe von 506,26 m ü.NN. Hiermit ist eine hydraulische Entkopplung an dieser Stelle nachgewiesen.

8. Ablaufrinne

Rinnenbreite b_R	= 0,40 m
Außenradius r_{NKB}	= 6,75 m
Radius $r_R = r_{NKB} - b$	= 6,35 m
Rinnenlänge: $L_R = 2 \times \pi \times r_R = 2 \times \pi \times 6,35$ m	= 39,90 m
Gefälle Rinne I_R	= 5 ‰
Sohle Rinne Tiefpunkt	= 506,26 m ü. NN
Höhenunterschied durch Gefälle $h_{Gef} = I_R \times L_R / 2 = 0,005 \times 39,90$ m/2 = 0,10 m	= 10,0 cm
Sohle Rinne Hochpunkt	= 506,36 m ü. NN

Um die höchste Lage des Wasserspiegels beim jeweiligen Lastfall zu berechnen, werden näherungsweise die Normalwasserverhältnisse für $Q/2$ ermittelt und dieser Wasserstand wird jeweils auf die höchste Stelle der Rinne übertragen.

Normalwasserverhältnisse

Mit $k_{st} = 90 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

$$\frac{1}{2} \times Q = (b_R \times h_t) \times k_{st} \times \left(\frac{h_t \times b_R}{b_R + 2 \times h_t} \right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I_R}$$

Lastfall	Q_t [l/s]	h [cm]	v [m/s]	H_v [cm]	Froude-Zahl [-]	WSp max [m ü. NHN]
1	50	7,0	0,89	4,0	1,07	506,43
2	3,5	1,3	0,34	0,6	0,94	506,37
3	7,9	2,1	0,46	1,1	1,00	506,38
4	12,9	2,9	0,55	1,6	1,03	506,39

Die Unterkante der Zahnschwelle befindet sich in Höhe von 506,57 m ü. NHN. Es wurde hiermit nachgewiesen, dass sich der Überlauf als ein vollkommener Überlauf bildet, der nicht durch das Unterwasser gestört wird, und somit sind die Fließverhältnisse im Nachklärbecken und in der Ablaufrinne entkoppelt.

9. Zahnschwelle an der Ablaufrinne

Nachweis Überfallkantenbeschickung

Mischwasserzufluss im Lastfall 1 Q_M = 50,0 l/s

Beschickung $Q_{SP} = Q_M/L_R = (50 \text{ l/s}/39,90 \text{ m}) \times 3,6 \text{ (m}^3 \times \text{s)} / (\text{l} \times \text{h}) = 4,51 \text{ m}^3 / (\text{h} \times \text{m})$
 $\leq 10 \text{ m}^3 / (\text{h} \times \text{m})$

-> Wehrform Typ A

Berechnung Aufstau durch Zahnleiste Form A (DIN 19558)

Anzahl Dreieckswehre 0,15 m/St.

$n = 2 \times \pi \times 6,35 / 0,15 \text{ m/St.} = 39,90 \text{ m} / 0,15 \text{ m/St.} = 266 \text{ St.}$

Gleichmäßige Anströmung der einzelnen Wehre:

$$Q_{Wehr} = Q / n$$

Dreiecks-Überfall (Thomson-Überfall) Überfallhöhe

$$Q_{Wehr} = 1,352 \times h_{\ddot{u}}^{2,483}$$

$$\rightarrow h_{\ddot{u}} = \sqrt[2,483]{Q_{Wehr} / 1,352}$$

Höhe UK Zahnschwelle = 506,57 m ü. NN

Lastfall	Q_t [l/s]	Q/n [l/(s x St.)]	$h_{\ddot{u}}$ [cm]	WSp NKB [m ü. NHN]
1	50,0	0,1880	2,8	506,60
2	3,5	0,0132	1,0	506,58
3	7,9	0,0297	1,3	506,59
4	12,9	0,0485	1,6	506,59

10. Nachklärbecken - Belebungsbecken

Düker

Rohrdurchmesser DN 350 mm (355,6 x 2,6)

Rohrlänge ca. 12,00 m

Örtliche Verluste: Einlaufverlust $\zeta_E = 0,50$
 Austrittsverlust $\zeta_A = 1,00$
 Krümmerverluste $2 \zeta_{\phi} \hat{=} 0,14$ $\zeta_{\phi} = \underline{0,28}$
 $\Sigma \zeta = 1,78$

Lastfall	Q [l/s]	v [m/s]	WSp Nachklärung [m ü. NN]	Reibungsverlust [cm]	Örtliche Verluste [cm]	Gesamtverlusthöhe [cm]	WSp Belebungsbecken [m ü. NN]
1	100,0	1,04	506,60	6,8	9,8	16,6	506,77
2	23,5	0,24	506,58	0,5	0,4	0,9	506,59
3	27,9	0,29	506,59	0,5	0,8	1,3	506,60
4	32,9	0,34	506,59	0,6	1,1	1,7	506,61

Der Zulauf zum Belebungsbecken liegt in Höhe von 506,80. Hiermit ist eine hydraulische Entkopplung an dieser Stelle nachgewiesen.

11. Belebungsbecken - Zwischenhebewerk Ablauf

Sohle Rechteckzulauf unten = oben (Gefälle 0 %)	= 506,80 m ü NHN
- > Rechteckzulauf ist vom Belebungsbecken hydraulisch abgekoppelt	
Breite Rechteckzulauf	= 2,15 m
Maximale Länge Rechteckzulauf	ca. 6 m
Sturzpunkt der Schnecken	= 507,13 m ü NHN
Kante Stahlbetonbauwerk an Schnecken	= 507,00 m ü NHN

Hydraulische Verhältnisse am freien Auslauf (Grenzverhältnisse)

Grenztiefen und Grenzgeschwindigkeiten:

$$h_{gr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \times b^2}}$$

$$H_{E,min} = h_{gr} + H_{v,gr}$$

Lastfall	Q [l/s]	h _{gr} [cm]	v _{gr} [m/s]	H _{v,gr} [cm]	H _{E,min} [cm]
1	100,0	6,1	0,76	2,9	9,1
2	23,5	2,4	0,46	1,1	3,5
3	27,9	2,6	0,49	1,2	3,9
4	32,9	2,9	0,52	1,4	4,3

Berechnung Wasserspiegelverlauf

Iterative Berechnung Wasserspiegelverlauf mit dem Böß-Verfahren. Als Wasserstand unten gelten die berechneten Verhältnisse am Auslauf.

Ergebnisse der Iteration:

Lastfall	Q _t [l/s]	h _{oben} [cm]	v _{oben} [m/s]	I _{E,m} [%]	WSp oben [m ü. NHN]
1	100,0	9,5	0,49	0,27	506,90
2	23,5	4,6	0,24	0,23	506,85
3	27,9	5,0	0,26	0,24	506,85
4	32,9	5,4	0,28	0,25	506,86

Ein ausreichender Abstand zwischen dem Sturzpunkt der Schnecken und dem Wasserspiegel ist gegeben. Die Schneckenpumpen sind damit vom Rechteckzulauf hydraulisch abgekoppelt.

12. Zulauf Zwischenhebewerk - Sandfang Ablaufschacht

Füllpunkt Zwischenhebewerk	= 504,61 m ü. NN
Rohrdurchmesser - Teil Messstrecke	DN 250 mm (273,0 x 2,6)
Rohrdurchmesser - Teil Zulaufleitung	DN 300 mm (323,9 x 2,6)
Rohrlänge	ca. 13 m
- Teil Messstrecke	ca. 5,5 m
- Teil Zulaufleitung	ca. 7,5 m
Rohrsohle Messstrecke (Gefälle 0 %)	503,80 m ü. NN
Rohrsohle Ablaufschacht Sandfang	504,30 m ü. NN

Wasserverhältnisse infolge Aufstau bis zum Füllpunkt vom Schneckenhebewerk

Örtliche Verluste DN 300:

Einlaufverlust	$\zeta_E = 0,50$
Krümmerverluste 3 ζ_O à 0,14	$\zeta_O = 0,42$
	$\Sigma \zeta = 0,92$

Örtliche Verluste DN 250:

Reduzierungsverlust	$\zeta_R = 0,06$
MID-Verluste	$\zeta_O = 0,32$
Schieber Verluste 2 ζ_O à 0,20	$\zeta_O = 0,40$
Austrittsverlust	$\zeta_A = 1,00$
	$\Sigma \zeta = 1,78$

Reibungsverluste DN 300:

Lastfall	Q [l/s]	v [m/s]	Reibungsverluste [cm]	Örtliche Verluste [cm]	Gesamtverlusthöhe [cm]
1	50,0	0,63	1,1	1,8	2,9
2	3,5	0,10	~0	~0	~0
3	7,9	0,11	~0	~0	~0
4	12,9	0,16	0,1	0,1	0,2

Reibungsverluste DN 250:

Lastfall	Q [l/s]	v [m/s]	Reibungsverluste [cm]	Örtliche Verluste [cm]	Gesamtverlusthöhe [cm]
1	50,0	0,89	3,3	7,1	10,4
2	3,5	0,06	~0	~0	~0
3	7,9	0,14	0,1	0,1	0,2
4	12,9	0,23	0,5	0,2	0,7

Übersicht der Wasserstände

Lastfall	Q [l/s]	WSp Zwischen- hebewerk [m ü. NN]	Verluste DN 300 [cm]	Verluste DN 250 [cm]	Gesamt- verlusthöhe [cm]	WSp Ablauf Sandfang [m ü. NN]
1	50,0	504,61	2,9	10,4	13,3	504,75
2	3,5	504,61	~0	~0	~1	504,62
3	7,9	504,61	~0	0,2	~1	504,62
4	12,9	504,61	0,2	0,7	~1	504,62

Der Zulauf-Ablaufschacht vom Sandfang liegt in Höhe von 504,78. Hiermit ist eine hydraulische Entkopplung an dieser Stelle nachgewiesen.

13. Sandfang Ablaufschacht - Zulaufschacht

Ablaufrohr

Ein freier Ablauf aus dem Behälter muss gewährleistet werden. Gemäß Herstellerangaben ist dies erfüllt, wenn das Ablaufrohr DN 350 ein Mindestgefälle von 0,4 % aufweist. Dies ist mit dem geplanten Gefälle vom 1,36 % erfüllt.

Wasserspiegel im Sandfang

Angaben des Herstellers:

Minimaler WSp Sandfang	= 504,92 m ü. NN
Maximaler WSp Sandfang	= 505,02 m ü. NN

Zulaufrohr

Normalwasserverhältnisse der Vollfüllung:

Rohrsohle unten	504,95 m ü. NN
Rohrsohle oben	504,97 m ü. NN
Rohrdurchmesser	DN 300 mm (323,9 x 2,6)
Rohrlänge	ca. 1,94 m
Gefälle	$I = 8,8 ‰$
k_b -Wert	= 1,5 mm
Q_{Voll}	= 107,63 l/s
V_{Voll}	= 1,35 m/s

Normalwasserverhältnisse der Teilfüllung:

Lastfall	Q_t [l/s]	Q_t/Q_{Voll} [-]	h_t [cm]	v_t [m/s]	H_v [cm]	Froude-Zahl [-]	Boussinesq-Zahl [-]
1	50	0,4646	15,3	1,33	9,0	1,08	1,52
2	3,5	0,0325	3,8	0,64	2,1	1,04	1,31
3	7,9	0,0734	5,8	0,81	3,3	1,07	1,38
4	12,9	0,1199	7,4	0,93	4,4	1,09	1,42

In allen vier Lastfällen stellen sich schießende Fließverhältnisse ein. Ein Wechselsprung findet im Zulaufrohr (vor oder nach dem Schacht) statt.

Auf eine weitere Berechnung der Reibungsverluste im Abschnitt Rechengebäude - Sandfang wird verzichtet, weil die Abweichungen der Verluste durch die unterschiedliche Lage des Wechselsprunges und dadurch die unterschiedlich langen Abschnitte mit schießenden Fließverhältnissen ausgeglichen werden.

14. Zulauf Sandfang - Ablauf Rechenhaus

Zulauf Sandfang - Sohlhöhe	505,03 m ü. NN
Ablauf Rechenhaus - Sohlhöhe	505,13 m ü. NN
Rohrdurchmesser	DN 300 mm
Rohrlänge	ca. 8,00 m
Sohlgefälle	ca. 12,5 ‰
k_b -Wert	= 1,5 mm
Q_{Voll}	= 110 l/s
v_{Voll}	= 1,55 m/s

Normalwasserverhältnisse der Teilfüllung:

Lastfall	Q_t [l/s]	Q_t/Q_{Voll} [-]	h_t [cm]	v_t [m/s]	H_v [cm]	Froude-Zahl [-]	Boussinesq-Zahl [-]
1	50,0	0,4563	14,2	1,52	11,7	1,28	1,80
2	3,5	0,0319	3,6	0,73	2,7	1,23	1,56
3	7,9	0,0721	5,4	0,92	4,3	1,27	1,63
4	12,9	0,1177	6,9	1,06	5,7	1,29	1,67

Da für alle vier Lastfälle $Fr > 1$ gilt und zugleich kein Rückstau von unten stattfindet, ist damit nachgewiesen, dass sich in der Rohrleitung der Fließzustand Schießen einstellt. Dieser Fließzustand wird im Krümmerbereich eventuell unterbrochen. An dieser Stelle bildet sich in einem solchen Fall ein Wechselsprung und der Fließzustand verändert sich in Strömen. Im Anschluss stellen sich wieder Grenzverhältnisse ein (siehe Tabelle unten), es tritt wieder der Fließzustand Schießen ein und im weiteren Verlauf werden sich die Fließverhältnisse den Normalwasserverhältnissen wieder nähern, soweit die Rückstauwirkung aus dem Sandfang nicht einen weiteren Wechselsprung bewirkt.

Auf eine weitere Berechnung der Reibungsverluste im Abschnitt Rechengebäude - Sandfang wird verzichtet, weil die Abweichungen der Verluste durch die unterschiedliche Lage des Wechselsprungs und durch die unterschiedlich langen Abschnitte, in denen die schießenden Fließverhältnisse herrschen, ausgeglichen werden.

Die Abflussverhältnisse im Ablauf aus dem Rechenhaus ergeben sich als Grenzverhältnisse aufgrund des Übergangs vom Fließzustand Strömen in den Fließzustand Schießen.

Grenztiefen und Grenzgeschwindigkeiten der Teilfüllung:

Lastfall	Q _t [l/s]	h _{gr} [cm]	v _{gr} [m/s]	H _{v,gr} [cm]	H _{E,min} [cm]	WSp oben [m ü. NHN]
1	50,0	17,3	1,18	7,1	24,5	505,38
2	3,5	4,4	0,55	1,5	5,9	505,19
3	7,9	6,7	0,68	2,3	9,0	505,22
4	12,9	8,6	0,78	3,1	11,7	505,25

15. Ablauf Rechenhaus - Ablauf Rechenanlage

Im Übergangsbereich (Einlauf in Rohr) wird die Querschnittveränderung allmählich, hydraulisch günstig, gestaltet. Der Einfluss des Einlaufverlustes ist daher nur sehr geringfügig und kann rechnerisch vernachlässigt werden. Die minimale Energiehöhe des Rohres DN 300 (Grenzverhältnisse) ist daher rechnerisch gleich der Energiehöhe am Ablauf aus dem Rechenhaus.

Neigung I	= 0,8 %
k_{st}	= 70 m ^{1/3} /s
Entfernung zwischen Rechenanlage und Ablauf Rechengebäude	ca. 4,75 m

Querschnittsprofil:	<u>Höhe ab Sohle</u>	<u>Breite</u>
	0,00 m (= Sohle)	0,32 m
	0,09 m	0,50 m
	1,00 m	0,50 m

Folgende Berechnung wird lediglich für den Lastfall 1 (Q = 50 l/s) vorgenommen

Grenzverhältnisse vom Gerinne (Fr = 1)

Rechnerischer Ist-Zustand am Ablauf der Rechenanlage vor der Sanierung ohne Berücksichtigung des Rückstaus aus der Tropfkörperanlage.

Energiehöhe:	16,7 cm ab Sohle
Entsprechender Wasserstand:	11,7 cm ab Sohle
Mittlere Fließgeschwindigkeit:	0,994 m/s

Normalwasserverhältnisse

Energiehöhe:	16,9 cm ab Sohle
Entsprechender Wasserstand:	10,7 cm ab Sohle
Mittlere Fließgeschwindigkeit:	1,107 m/s
Froude-Zahl:	1,18

Ablauf aus dem Rechenhaus:

Energiehöhe:	24,5 cm ab Sohle
Entsprechender Wasserstand:	23,4 cm ab Sohle = 505,37 m ü. NHN
Mittlere Fließgeschwindigkeit:	0,459 m/s
Froude-Zahl:	0,31

Nach Rechenanlage (iterativ berechnet mit Böß-Verfahren):

Energiehöhe:	21,2 cm ab Sohle
Entsprechender Wasserstand:	19,6 cm ab Sohle = 505,38 m ü. NHN
Mittlere Fließgeschwindigkeit:	0,557 m/s
Froude-Zahl:	0,42

17. Rücklaufschlamm: Nachklärbecken - Zwischenhebewerk

Die Regelung des Zulaufes des Rücklaufschlammes erfolgt über einen MID und einen Motorschieber, dieser wird über den MID des Rücklaufschlammes und den MID des Zulaufes gesteuert. Das Rückführverhältnis von 1,0 darf im Bemessungslastfall 1 nicht überschritten werden.

Weil der Durchfluss nicht direkt von den Zulaufbedingungen abhängig ist, sondern von der Drosselung der Rohrleitung, wird mit dieser Berechnung lediglich nachgewiesen, dass der Ablauf Q_{\max} gewährleistet wird. Als Q_{\max} wird die Rücklaufmenge von 50 l/s im Lastfall 1 herangezogen.

Q_{\max}	= 50,0 l/s
Wasserspiegel Nachklärbecken im Lastfall 1	= 506,60 m ü. NN
Füllpunkt Zwischenhebewerk	= 504,61 m ü. NN
Rohrdurchmesser	DN 200 mm (219,1 x 2,6)
Rohrlänge	ca. 30,00 m
k_{st}	= 70 m ^{1/3} /s
Örtliche Verluste:	
Einlaufverlust	$\zeta_E = 0,50$
Austrittsverlust	$\zeta_A = 1,00$
MID-Verlust	$\zeta_{\text{MID}} = 0,32$
Schieberverluste 4 ζ_{S} à 0,20	$\zeta_{\text{S}} = 0,80$
Krümmerverluste 7 ζ_{K} à 0,14	$\zeta_{\text{K}} = \underline{0,98}$
	$\sum \zeta = 3,60$

Lastfall	Q	v	WSp Füllpunkt	Reibungsverlust	Örtliche Verluste	Gesamtverlusthöhe	WSp Zulauf erf.
	[l/s]	[m/s]	[m ü. NN]	[cm]	[cm]	[cm]	[m ü. NN]
1	50,00	1,39	504,61	59	36	95	505,56

18. Überschussschlamm: Nachklärbecken - Vorschacht Schlammstapelbehälter

Die Berechnung wird für einen maximalen Abzug vom Überschussschlamm von $Q = 6,4$ l/s vorgenommen.

Wasserspiegel Nachklärbecken	= 506,58 m ü. NHN
Abzüglich Reibungsverluste in der Rücklaufschlammleitung (bei maximalem Durchfluss Rücklaufschlamm 50 l/s)	95 cm
Druckhöhe am Abzweig für Überschussschlamm	505,63 m ü. NHN
Rohrdurchmesser Zwischenhebwerk bis Schlammstapelbehälter	DN 100 (110 x 10)
Rohrlänge	ca. 35 m
k_{st}	= $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
Örtliche Verluste: Einlaufverlust	$\zeta_E = 0,50$
Austrittsverlust	$\zeta_A = 1,00$
Schieberverluste 2 ζ_{σ} à 0,20	$\zeta_{\sigma} = 0,40$
Krümmerverluste 15 ζ_{σ} à 0,14	$\zeta_{\sigma} = \underline{2,10}$
	$\Sigma \zeta = 4,00$

Q [l/s]	v [m/s]	Reibungsverlust [cm]	Örtliche Verluste [cm]	Gesamtverlusthöhe [cm]	Druckhöhe am Schlammstapel [m ü NHN]
6,40	1,01	97,5	20,6	119	504,44

Sohle Vorschacht Schlammstapelbehälter	= 501,80 m ü. NHN
Aufstellort Beschickungspumpe vom Schlammstapelbehälter	= 504,60 m ü. NHN
Beckenkrone Schlammstapelbehälter	= 507,30 m ü. NHN
Erforderliche Förderhöhe der Pumpe	mind. 3 m

Bei der Auslegung der Pumpe durch den Hersteller ist auf einen passenden NPSH-Wert zu achten!

19. Notumlauf: Sandfang Ablaufschacht - Zulaufschacht

Der hydraulische Nachweis des Notumlaufs wird lediglich für den relevanten Lastfall 1 ($Q = 50 \text{ l/s}$) erbracht.

Normalwasserverhältnisse der Vollfüllung

Rohrsohle unten	504,75 m ü. NN
Rohrsohle oben	505,00 m ü. NN
Rohrdurchmesser	DN 300 mm
Rohrlänge	ca. 16 m
Gefälle	ca. 15,6 ‰
k_b -Wert	= 1,5 mm
Q_{Voll}	= 122,57 l/s
V_{Voll}	= 1,73 m/s

Normalwasserverhältnisse der Teilfüllung:

Lastfall	Q_t [l/s]	Q_t/Q_{Voll} [-]	h_t [cm]	v_t [m/s]	H_v [cm]	Froude-Zahl [-]	Boussinesq-Zahl [-]
1	50	0,4079	13,3	1,65	13,9	1,44	2,00

Grenztiefen und Grenzgeschwindigkeiten der Teilfüllung:

Lastfall	Q_t [l/s]	h_{gr} [cm]	v_{gr} [m/s]	$H_{v,gr}$ [cm]	$H_{E,min}$ [cm]	Einlaufverlust [cm]	WSp oben [m ü. NHN]
1	50,0	17,3	1,18	7,1	24,5	3,6	505,28

Mit dem Böß-Verfahren wurde nachgewiesen, dass der Wasserstand von 505,28 m ü. NHN im Zulaufschacht die Fließverhältnisse im Rechenhaus nicht beeinflusst. In der Rohrleitung dazwischen wird sich zwar im Abschnitt der Fließzustand Strömen einstellen, dieser Abschnitt ist jedoch mit $k_{st} = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ höchstens ca. 5,5 m lang und somit ist das Rechenhaus hydraulisch abgekoppelt.

19. Kreislaufwasserpumpe: Kreislaufwasserschacht - Windkessel 1

Druckleitung

Sohlhöhe Kreislaufwasserschacht	501,12 m ü. NHN
Rohrsohle Ablauf Kreislaufwasserschacht (= ständiger Wasserstand im Kreislaufwasserschacht)	504,75 m ü. NHN
Aufstellfläche Membrankessel (FFOK BG)	506,26 m ü. NHN
Maximaler zulässiger Betriebsdruck im Windkessel	10 bar
Druck im Membrankessel - Pumpe aus	9,5 bar
Druck im Membrankessel - Pumpe ein	6,5 bar
Geodätische Förderhöhe min/max	ca. 66,5 m/96,5 m
Leitungslänge L	ca. 45,00 m
Krümmernanzahl	10 Stück
Förderleistung Q	5 l/s
Rohrleitung	DN 65 (75 x 6,8)
Rohrreibungsbeiwert	= 0,0473 m/m
Rohrersatzlänge pro Krümmer 5 m (10 x 5 m)	= 50 m
Rohrreibungsverlust mit Ersatzlänge (45 m + 50 m) x 0,0473 m/m	= 4,49 m
Gesamtförderhöhe min/max	ca. 71 m/101 m

20. Brauchwasserpumpe: Brauchwasserschacht- Windkessel 2

Druckleitung

Sohlhöhe Brauchwasserschacht	498,00m ü. NHN
Grundwasserstand vom 11. März 2021 (= Wasserstand ohne Berücksichtigung der Absenkung)	503,50 m ü. NHN
Aufstellfläche Membrankessel (FFOK BG)	506,26 m ü. NHN
Maximaler zulässiger Betriebsdruck im Windkessel	10 bar
Druck im Membrankessel - Pumpe aus	9,5 bar
Druck im Membrankessel - Pumpe ein	6,5 bar
Geodätische Förderhöhe min/max (ohne Berücksichtigung der GW-Absenkung)	ca. 67,8 m/97,8 m
Leitungslänge L	ca. 45,00 m
Krümmernanzahl	10 Stück
Förderleistung Q	5 l/s
Rohrleitung	DN 80 (90 x 8,2)
Rohrreibungsbeiwert	= 0,01959 m/m
Rohrersatzlänge pro Krümmer 5 m (10 x 5 m)	= 50 m
Rohrreibungsverlust mit Ersatzlänge (45 m + 45 m) x 0,01959 m/m	= 1,86 m
Gesamtförderhöhe min/max	ca. 69,7 m/99,7 m

Die Ein- und Ausschaltzeiten der Pumpe werden über ein Manometer am Windkessel gesteuert.

Es wird sowohl für die Kreislaufwasseranlage als auch für die Brauchwasseranlage die gleiche Pumpe verwendet.

21. Vorschacht Schlammstapelbehälter - Schlammmentwässerung

Druckleitung

Dimensionierung der Vordruckpumpe

Die Steuerung der Pumpe und Anpassung der Drehzahl erfolgt über einen bauseitigen Frequenzumrichter. Die berechneten Werte stellen somit die maximale Förderleistung dar.

Sohlhöhe Schlammstapelbehälter	501,80 m ü. NHN
Aufstellfläche Beschickungspumpe der Schlammmentwässerung	506,05 m ü. NHN
Maximale geodätische Förderhöhe	ca. 4,25 m
Leitungslänge L	ca. 30 m
Krümmernanzahl	7 Stück
Förderleistung Q	2,0 l/s
Rohrleitung	DN 80 (90 x 8,2)
Rohrreibungsbeiwert	= 0,00378 m/m
Rohrersatzlänge pro Krümmer 5 m (7 x 5 m)	= 35 m
Rohrreibungsverlust mit Ersatzlänge (30 m + 35 m) x 0,00378m/m	= 0,25 m
Gesamtförderhöhe	ca. 4,5 m

Eine hydraulische Auslegung der Beschickungspumpe ist nicht erforderlich. Die Auslegung orientiert sich am Betrieb des Entwässerungsaggregates und wird vom Hersteller im Zuge der Angebotserstellung durchgeführt.