

Hausarbeit zu Stahlbetonbau III

Vorklärbecken

cand.-ing. Steffen Macke

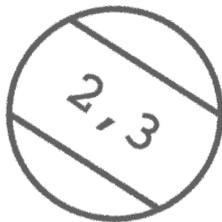
Matr.-Nr.: 115775

cand.-ing. Arne Battermann

Matr.-Nr.: 115791

29. März 2001

Studiengang Wasserwirtschaft und Kulturtechnik - Vertiefungsrichtung
Siedlungswasserwirtschaft



Inhaltsverzeichnis

1 Anlagenbeschreibung	5
1.1 Ausbildung	5
1.2 Baugrund	5
1.3 Technische Ausrüstung	5
1.4 Umweltbedingungen	5
2 Dimensionierung und Baustoffwahl	5
2.1 Abmessungen	5
2.2 Baustoffe	6
2.3 Betondeckung	6
3 Lastannahmen	6
3.1 Eigengewicht	6
3.1.1 Räumbrücke	6
3.2 Verkehrslast	6
3.3 Erddruck	7
4 Positionen	7
5 Statik	8
5.1 Sicherheitsbeiwerte	8
5.2 Statische Höhe	8
5.2.1 Beckenwand	8
5.2.2 Beckensohle	9
5.3 Lastfall 1	10
5.3.1 Wände	11
5.3.2 Sohle	14
5.4 Lastfall 2	17
5.4.1 Wand	18
5.4.2 Sohle	21

5.5	Lastfall 3	24
5.5.1	Wand	24
5.5.2	Sohle	25
5.6	Trichter, Zulaufbereich und Ablaufbereich	25
5.7	Übergreifungslängen	25
5.7.1	Verbundbereich 1	26
5.7.2	Verbundbereich 2	28
5.8	Biegerollendurchmesser	31
6	Massen- und Mengenermittlung	32
6.1	Betonvolumen	32
6.1.1	Sohle	32
6.1.2	Wände	32
6.1.3	Trichter	32
6.1.4	Zulauf	33
6.1.5	Ablauf	33
6.1.6	Gesamtvolumen	33
6.2	Betonstahlmassen	33
6.2.1	Trichter	33
6.2.2	Sohle	33
6.2.3	Wände	34
6.2.4	Zulauf	35
6.2.5	Ablauf	35
6.3	Bewehrungsgehalte	35
7	Bauablauf	36
7.1	Vorarbeiten	36
7.2	Betonierung	36
7.2.1	Betonieren des Trichters	36
7.2.2	Betonieren der Sohle	37

7.2.3	Betonieren der Wände	37
7.2.4	Betonierung des Ein- und Auslaufbereiches	38
7.3	Ausschalen	38
7.4	Verfüllen der Arbeitsräume	38
A	Verwendete Software	39
B	Positionsplan	40
C	Details, Bewehrung Trichter	41
D	Details, Bewehrung-Sohle	42
E	Details, Bewehrung-Wände	43
F	Details, Bewehrung-Anschlüsse	44

1 Anlagenbeschreibung

1.1 Ausbildung

Das Vorklärbecken aus dem Entwurf wird als überwiegend horizontal durchströmtes Rechteckbecken mit den Nettomaßen 22 x 5 x 3 m ausgebildet. Im Einlaufbereich werden zwei Schlammtrichter ausgebildet.

1.2 Baugrund

Als Baugrund wird ein mitteldicht gelagerter Sand, Bodengruppe SE angenommen.

1.3 Technische Ausrüstung

Das Vorklärbecken wird mit einem Längsräumer ausgestattet.

1.4 Umweltbedingungen

Das Abwasser, mit dem das Vorklärbecken beschickt wird, besitzt einen stark aggressiven Charakter, somit wird ein Beton erforderlich, der einen hohen Widerstand gegen chemischen Angriff aufweist (Umweltklasse 5c). Die Betondeckung $\text{nom } c = 50 \text{ mm}$ ist in jeden Fall einzuhalten (s. 2.3).

2 Dimensionierung und Baustoffwahl

2.1 Abmessungen

- 40 cm Wanddicke
- 50 cm Sohldicke
- 10 cm Sauberkeitsschicht
- Sohlgefälle ca. 1:300

2.2 Baustoffe

- Beton: C30/37 WU
- Stahl: BSt 500; BSt 500 M
- Sauberkeitsschicht: C 12/15
- Gleitschicht: PE-Folie, zweilagig
- Fugenbänder GUMBA-LAST Arbeitsfugenbänder F250, innenliegend

2.3 Betondeckung

Das Nennmaß der Betondeckung[1, 5.96]:

$$\text{nom } c = \min c + \Lambda h = 40 + 10 = 50\text{mm}$$

3 Lastannahmen

3.1 Eigengewicht

$$\text{Wasser: } \gamma_W = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Stahlbeton: } \gamma_B = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

3.1.1 Räumbrücke

Laut Hersteller 1800 kg, folglich wird für die Last der Räumbrücke folgender Bemessungswert angenommen:

$$p_R = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

3.2 Verkehrslast

Die Verkehrslast p seitlich neben dem Becken beträgt 10 kN/m^2 (s. Abbildung 1).

3.3 Erddruck

$$\gamma_E = 18 \frac{kN}{m^3} [1, 11.15]$$

$$\varphi = 32^\circ [1, 11.15]$$

Es treten an der Oberfläche keine Linien oder Streifenlasten auf, folglich

$$\alpha = \beta = 0$$

Oberer Grenzwert für δ_a :

$$\delta_a = \frac{2}{3} \cdot \varphi = 21,3$$

$$K_{agh} = 0,256 [1, 11.46]$$

$$\vartheta_a = 57,2^\circ [1, 11.46]$$

4 Positionen

In Abschnitt 5 werden die folgenden Positionen behandelt:

1. Beton Wände
2. Beton Sohle
3. Beton Trichter
4. Beton Zulaufbereich
5. Beton Ablaufbereich
6. Bewehrung Wände, außen, horizontal
7. Bewehrung Wände, außen, vertikal
8. Bewehrung Wände, innen, horizontal
9. Bewehrung Wände, innen, vertikal
10. Bewehrung Sohle , Oberseite, längs
11. Bewehrung Sohle, Oberseite, quer
12. Bewehrung Sohle, Unterseite, längs
13. Bewehrung Sohle, Unterseite, quer

	äußere Wandbewehrung	innere Wandbewehrung
horizontal	Pos.6: $d_s = 6\text{mm}$; $s = 9\text{cm}$	Pos.8: $d_s = 8\text{mm}$; $s = 9\text{cm}$
vertikal	Pos.7: $d_s = 8\text{mm}$; $s = 9\text{cm}$	Pos.9: $d_s = 8\text{mm}$; $s = 9\text{cm}$

Tabelle 1: Stabstahl-Bewehrung der Wand

	untere Sohlbewehrung	obere Sohlbewehrung
längs	Pos.12: $d_s = 8\text{mm}$; $s = 9\text{cm}$	Pos.10: $d_s = 8\text{mm}$; $s = 9\text{cm}$
quer	Pos.13: $d_s = 6\text{mm}$; $s = 9\text{cm}$	Pos.11: $d_s = 6\text{mm}$; $s = 9\text{cm}$

Tabelle 2: Stabstahl-Bewehrung der Sohle

5 Statik

In den Unterabschnitten 5.3 bis 5.5 wird folgende Bewehrungswahl nachgewiesen:

5.1 Sicherheitsbeiwerte

Tabelle 3 enthält die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F für Einwirkungen [1, 5.23].

	ständige Einwirkung (γ_G)	veränderliche Einwirkung (γ_Q)
günstige Auswirkung	1,00	0,00
ungünstige Auswirkung	1,35	1,50

Tabelle 3: Teilsicherheitsbeiwerte

5.2 Statische Höhe

5.2.1 Beckenwand

$$d = d_w - \text{nom } c - \frac{d_s}{2} - d_{s,\text{quer}}$$

mit

$$\text{geschätzt: } d_s = 16\text{mm}$$

$$\text{geschätzt: } d_{s,\text{quer}} = 14\text{mm}$$

$$\text{nom } c = 50\text{mm}$$

$$d = 400 - 50 - \frac{16}{2} - 14 = 328\text{mm} = 32,8\text{cm}$$

5.2.2 Beckensohle

$$d = d_w - \text{nom } c - \frac{d_s}{2} - d_{s,\text{quer}}$$

mit

geschätzt: $d_s = 16\text{mm}$

geschätzt: $d_{s,\text{quer}} = 14\text{mm}$

$\text{nom } c = 50\text{mm}$

$$d = 500 - 50 - \frac{16}{2} - 14 = 428\text{mm} = 42,8\text{cm}$$

5.3 Lastfall 1

Becken ungefüllt, Erddruck und Verkehrslast

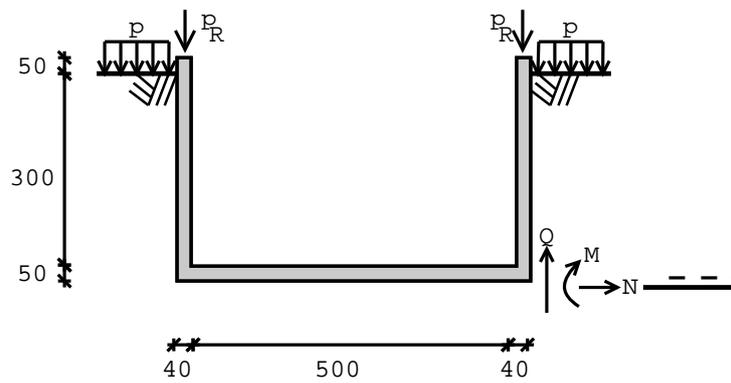


Abbildung 1: Lastfall 1

Abbildung 1 stellt System und Belastung im Lastfall 1 dar.

5.3.1 Wände

Erddruck $e_{agh} = \gamma_E \cdot t \cdot K_{agh} + p \cdot K_{agh} - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_{agh}}$

t = 0,00 m:

$$e_{agh_1} = 18,00 \cdot 0,00 \cdot 0,256 + 10,0 \cdot 0,256 - 2 \cdot 0 \cdot \sqrt{0,265} = 2,30 \frac{kN}{m}$$

t = 3,00 m:

$$e_{agh_2} = 18,00 \cdot 3,00 \cdot 0,256 + 10,0 \cdot 0,256 - 2 \cdot 0 \cdot \sqrt{0,265} = 16,13 \frac{kN}{m}$$

Schnittgrößen Alle Schnittgrößen sind bezogen auf einen 1m-Streifen.

Momente:

$$M_{Sk,g} = \frac{e_{agh_1}}{2} \cdot t^2 - \frac{e_{agh_2}}{6} \cdot t^2 = \frac{2,30}{2} \cdot 3,00^2 - \frac{16,13}{6} \cdot 3,00^2 = -34,55 \frac{kNm}{m}$$

$$M_{Sd} = \gamma_G \cdot M_{Sk,g} = 1,35 \cdot (-34,55) = -46,66 \frac{kNm}{m}$$

Querkräfte:

$$V_{Sk} = -e_{agh_1} \cdot t + (-e_{agh_2}) \cdot \frac{t}{2} = 2,30 \cdot 3,00 + (-16,13) \cdot \frac{3,00}{2} = -31,10 \frac{kN}{m}$$

$$V_{Sd} = \gamma_G \cdot V_{Sk} = 1,35 \cdot (-31,10) = -41,99 \frac{kN}{m}$$

Normalkräfte:

Unter Einfluß der Last aus Räumbrücke

$$N_{Sd1} = -(\gamma_c \cdot d_w \cdot h) \cdot 1,35 - p_R \cdot \gamma_Q = -(25,00 \cdot 0,40 \cdot 3,00) \cdot 1,35 - 9,00 \cdot 1,50 = -54,00 \frac{kN}{m}$$

Unbeeinflusst durch Räumbrücke

$$N_{Sd2} = -(\gamma_c \cdot d_w \cdot h) \cdot \gamma_G = -(25,00 \cdot 0,40 \cdot 3,00) \cdot 1,35 = -40,50 \frac{kN}{m}$$

Die Zugzone liegt außen; Bewehrung auf der Wandaußenseite (Pos. 6)

Bemessungsmoment $M_{Sds} = M_{Sd} - z_{s1} \cdot N_{Sd2}$ [2, Formel 6.34]

$$z_{s1} = d - \frac{d_w}{2} = 0,328 - \frac{0,40}{2} = 0,128m$$

$$M_{Sds} = (46,66) - 0,128 \cdot (-40,50) = 51,84 \frac{kNm}{m}$$

$$k_d = \frac{d [cm]}{\sqrt{M_{Sds} [kNm] / b [m]}} \text{ nach [2, 6.3-10]}$$

$$k_d = \frac{32,80}{\sqrt{51,84/1}} = 4,56$$

Bei Festigkeitsklasse 30/37 (Abschnitt 2.2) nach [2, 6.3-10]:

$$k_s = 2,36$$

$$\xi = 0,070$$

$$\zeta = 0,975$$

$$A_{s1} [cm^2] = k_s \cdot \frac{M_{Sds} [kNm]}{d [cm]} + \frac{N_{Sd} [kN]}{43,5}$$

$$A_{s1} = 2,36 \cdot \frac{51,84}{32,8} + \frac{-40,50}{43,5} = 2,80 \frac{cm^2}{m}$$

gewählt: Stabstahl, $d_s = 6mm$; $s_1 = 9cm$

Die somit vorhandene Stabstahlfläche ist mit $3,14 \frac{cm^2}{m}$ größer als die erforderliche Fläche von $2,80 \frac{cm^2}{m}$.

Schubspannung Es wird nachgewiesen, daß die einwirkende Querkraft V_{Sd} kleiner ist, als die aufnehmbare Querkraft V_{Rd} (nach [2]):

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1} \text{ [2, Formel 10.5]}$$

$$\text{bei } V_{Sd} = 41,99 \frac{kNm}{m}$$

$$V_{Rd1} = (\tau_{rd} \cdot k \cdot (1,2 \cdot 40 \cdot \rho_l) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \text{ [2, Formel 10.7 b]}$$

mit

$$\tau_{rd} = 0,28, \text{ nach [1, 5.61]}$$

$$k = 1,6 - d = 1,6 - 0,328 = 1,27 > 1,00$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{3,14}{100 \cdot 32,8} = 0,001 \leq 0,02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Sd}}{A_c} = 0$$

b_w = kleinste Querschnittsbreite innerhalb der Nutzhöhe $d = 1,00$ m.

$$V_{Rd1} = (0,28 \cdot 1,27 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,001) + 0) \cdot 1,00 \cdot 0,328 = 0,145MN = 145 \frac{kN}{m}$$

$$V_{Sd} = 41,99 \frac{kN}{m} < V_{Rd1} = 145 \frac{kN}{m}$$

Schubbewehrung nicht notwendig, da $V_{Sd} \leq V_{Rd}$ eingehalten wird. Es wird daher nur eine Mindestschubbewehrung vorgesehen.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2} \text{ nach [2, Formel 10.8]}$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot d$$

mit

$$f_{ck} = 30 \frac{N}{mm^2}, \text{ nach [1, 5.25]}$$

$$v = 0,7 - \frac{f_{ck}}{200} = 0,7 - \frac{30}{200} = 0,55 > 0,5, \text{ nach [2, Formel 10.10]}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \frac{N}{mm^2}, \text{ nach [1, 5.25]}$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot 0,55 \cdot 20 \cdot 1,00 \cdot 0,9 \cdot 0,328 = 1,624MN = 1624 \frac{kN}{m}$$

$$V_{Sd} = 41,99 \frac{kN}{m} < V_{Rd2} = 1624 \frac{kN}{m}$$

Ein Versagen des Balkenstegs ist ausgeschlossen.

Rißbreite infolge Last $M_{qs} = 1,0 \cdot M_{g,k} = 1,0 \cdot 34,55 \frac{kNm}{m}$

$$N_{qs} = 1,0 \cdot \frac{N_{Sd2}}{\gamma_G} = 1,0 \cdot \frac{-40,50}{1,35} = -30 \frac{kN}{m}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{1}{A_s} \cdot \left(\frac{M_{qs}}{\zeta \cdot d} + N_{qs} \right), \text{ nach [2, 6.3-10]}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{1}{3,14 \frac{cm^2}{m}} \cdot \left(\frac{34,55 \frac{kNm}{m}}{0,975 \cdot 0,328m} + \left(-30 \frac{kN}{m} \right) \right) = 24,85 \frac{kN}{cm^2}$$

Grenzstabdurchmesser für $w_k = 0,15mm$ nach [1, 5.89]:

$$d_s = 6mm < \lim d_s = \lim d_s^* = 16mm$$

Grenzstababstand für $w_k = 0,15mm$ nach [1, 5.89]:

$$s_1 = 9cm < \lim s_1 = 15cm$$

5.3.2 Sohle

Näherungsweise das Moment in der Wand durch Erddruck (s. 5.3.1).

$$M_{Sd} = -46,6 \frac{kNm}{m}$$

$$N_{Sd} = -42,0 \frac{kN}{m}$$

$$V_{Sd} = -54,0 \frac{kN}{m}$$

Zugzone liegt unten; Bewehrung auf der Sohlunterseite, Pos. 12.

Bemessungsmoment $M_{Sds} = M_{Sd} - N_{Sd} \cdot z_{S1}$

$$z_{S1} = 0,428 - \frac{0,5}{2} = 0,178m$$

$$M_{Sds} = 46,6 - (-42) \cdot 0,178 = 54,1 \frac{kNm}{m}$$

$$k_d = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{Sds}}{b}}} = \frac{42,8cm}{\sqrt{\frac{54,1kNm}{1m}}} = 5,82$$

Nach [2, Abb. 6.9]:

$$k_s = 2,34$$

$$\xi = 0,049$$

$$\zeta = 0,983$$

$$erf A_s = k_s \cdot \frac{M_{Sds}}{d} + \frac{N_{Sd}}{43,5} = 2,34 \cdot \frac{54,1}{42,8} - \frac{42,0}{43,5} = 2,00 \frac{cm^2}{m}$$

gewählt: $\varnothing 6$; $s = 9 \text{ cm}$

$$A_s = 3,14 \frac{cm^2}{m} > erf A_s = 2,00 \frac{cm^2}{m}$$

Schubspannung $V_{Sd} \leq V_{Rd1}$

$$max V_{Sd} = -54,0 \frac{kN}{m}$$

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$\rho_1 = \frac{3,14}{100 \cdot 42,8} = 0,000733$$

$$V_{Rd1} = \left(0,28 \cdot (1,6 - 0,428) \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,000733) + 0,15 \cdot \frac{42,0}{0,5 \cdot 1,0} \right) \cdot 0,428 = 5,49 \frac{MN}{m}$$

$$V_{Sd} = 54 \frac{kN}{m} < V_{Rd1} = 5490 \frac{kN}{m}$$

Keine zusätzliche Schubbewehrung erforderlich; Mindestschubbewehrung ist einzulegen.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2}$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot d$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot 0,55 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,428 = 2,12 \frac{MN}{m}$$

$$V_{Sd} = 54 \frac{kN}{m} < V_{Rd2} = 2120 \frac{kN}{m}$$

Keine Gefahr des Druckstrebenbruches.

Rißbreiten infolge Last Quasi-ständiger Lastanteil:

$$M_{qs} = 1,0 \cdot M_{Sk} = 34,6 \frac{kNm}{m}$$

$$N_{qs} = 1,0 \cdot N_{Sk} = -31,1 \frac{kN}{m}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{\frac{M_{qs}}{s \cdot d} + N_{qs}}{A_s}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{\frac{34,6}{0,983 \cdot 0,428} - 31,1}{3,14} = 16,3 \frac{kN}{cm^2}$$

Grenzstabdurchmesser für $w_k=0,15mm$ nach [1, 5.89]:

$$d_s = 6mm < \lim d_s = \lim d_s^* = 12mm$$

Grenzstababstand für $w_k=0,15mm$ nach [1, 5.89]:

$$s_1 = 9cm < \lim s_1 = 10cm$$

5.4 Lastfall 2

Becken gefüllt, freistehend und Verkehrslast

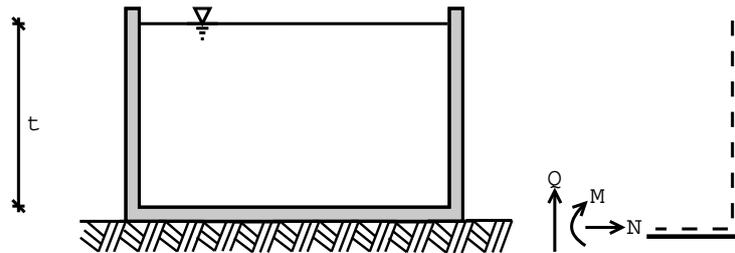


Abbildung 2: Lastfall 2

In [Abbildung 2](#) sind System und Belastung des Lastfalles 2 dargestellt.

5.4.1 Wand

Wasserdruck $F = \rho \cdot g \cdot t$

$t = 0,00$ m:

$$F_0 = 1,00 \cdot 9,81 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ kN}$$

$t = 3,00$ m:

$$F_u = 1,00 \cdot 9,81 \cdot 3,00 = 29,43 \text{ kN}$$

Schnittgrößen Alle Schnittgrößen sind bezogen auf einen 1m-Streifen.

Momente:

$$M_{Sk} = -\frac{F_u \cdot t^2}{6}$$

$$M_{Sk} = -\frac{29,43 \cdot 3,00^2}{6} = -44,15 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{Sd} = M_{Sk} \cdot \gamma_G = -44,15 \cdot 1,35 = -59,60 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Querkräfte:

$$V_{Sk} = \frac{F_u \cdot t}{2}$$

$$V_{Sk} = \frac{29,43 \cdot 3,00}{2} = 44,15 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{Sd} = V_{Sk} \cdot \gamma_G = 44,15 \cdot 1,35 = 59,60 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Normalkräfte:

Unter Einfluß der Last aus Räumbrücke

$$N_{Sd1} = -\gamma_c \cdot d_w \cdot t \cdot \gamma_G - p_R \cdot \gamma_Q$$

$$N_{Sd1} = -25 \cdot 0,40 \cdot 3,00 \cdot 1,35 - 9,00 \cdot 1,5 = -54,00 \frac{kN}{m}$$

Unbeeinflusst durch Rauerbrucke

$$N_{Sd2} = -\gamma_c \cdot d_w \cdot t \cdot \gamma_G$$

$$N_{Sd2} = -25 \cdot 0,40 \cdot 3,00 \cdot 1,35 = -40,50 \frac{kN}{m}$$

Die Zugzone liegt innen; Bewehrung auf der Wandinnenseite (Pos.8)

Bemessungsmoment $M_{Sds} = M_{Sd} - z_{S1} \cdot N_{Sd2}$

$$z_{S1} = d - \frac{d_w}{2} = 0,328 - \frac{0,40}{2} = 0,128m$$

$$M_{Sds} = (59,60) - 0,128 \cdot (-40,50) = 64,78 \frac{kNm}{m}$$

$$k_d = \frac{d [cm]}{\sqrt{M_{Sds} [kNm] / b [m]}} \text{ nach [2, 6.3-10]}$$

$$k_d = \frac{32,80}{\sqrt{64,78/1}} = 4,08$$

Bei Festigkeitsklasse 30/37 (Abschnitt 2.2) nach [2, 6.3-10]:

$$k_s = 2,36$$

$$\xi = 0,070$$

$$\zeta = 0,975$$

$$A_{s1} [cm^2] = k_s \cdot \frac{M_{Sds} [kNm]}{d [cm]} + \frac{N_{Sd} [kN]}{43,5}$$

$$A_{s1} = 2,36 \cdot \frac{64,78}{32,8} + \frac{-40,50}{43,5} = 3,73 \frac{cm^2}{m}$$

Bemessen wird nach dem ungünstigeren Lastfall ohne Rauerbrucke.

gewählt: Stabstahl, $d_s = 8mm$; $s_1 = 9cm$

Die somit vorhandene Stabstahlflache ist mit $5,59 \frac{cm^2}{m}$ größer als die erforderliche Fläche von $3,73 \frac{cm^2}{m}$. Die Wahl des Abstandes ist identisch zu der Wahl in Lastfall 1 (Abschnitt 5.3.1).

Schubspannung $V_{Sd} \leq V_{Rd1}$ [2, Formel 10.5]

bei $V_{Sd} = 59,60 \frac{kN}{m}$

$$V_{Rd1} = (\tau_{rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_l) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \text{ [2, Formel 10.7 b]}$$

mit

$$\tau_{rd} = 0,28, \text{ nach [1, 5.64]}$$

$$k = 1,6 - d = 1,6 - 0,328 = 1,27 > 1,00$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{5,59}{100 \cdot 32,8} = 0,0017 \leq 0,02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Sd}}{A_c} = 0$$

b_w = kleinste Querschnittsbreite innerhalb der Nutzhöhe $d = 1,00$ m.

$$V_{Rd1} = (0,28 \cdot 1,27 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,0017) + 0) \cdot 1,00 \cdot 0,328 = 0,148 MN = 148 \frac{kN}{m}$$

$$V_{Sd} = 59,60 \frac{kN}{m} < V_{Rd1} = 148 \frac{kN}{m}$$

Es ist wie in Lastfall 1 (Abschnitt 5.3.1) eine Schubbewehrung unnötig, da $V_{Sd} \leq V_{Rd}$ eingehalten wird. Es wird daher nur Mindestschubbewehrung vorgesehen.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2} \text{ [2, Formel 10.8]}$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot d$$

mit

$$f_{ck} = 30 \frac{N}{mm^2}$$

$$v = 0,7 - \frac{f_{ck}}{200} = 0,7 - \frac{30}{200} = 0,55 > 0,5, \text{ nach [2, Formel 10.10]}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot 0,55 \cdot 20 \cdot 1,00 \cdot 0,9 \cdot 0,328 = 1,624 \frac{MN}{m} = 1624 \frac{kN}{m}$$

$$V_{Sd} = 41,99 \frac{kN}{m} < V_{Rd2} = 1624 \frac{kN}{m}$$

Ein Versagen des Balkenstegs ist ausgeschlossen.

Rißbreite infolge Last $M_{qs} = 1,0 \cdot M_{g,k} = 1,0 \cdot 44,15 \frac{kNm}{m} = 44,15 \frac{kNm}{m}$

$$N_{qs} = 1,0 \cdot \frac{N_{sd2}}{\gamma_G} = 1,0 \cdot \frac{-40,50}{1,35} = -30 \frac{kN}{m}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{1}{A_s} \cdot \left(\frac{M_{qs}}{\zeta \cdot d} + N_{qs} \right), \text{ nach [2, 6.3-10]}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{1}{5,59 \frac{cm^2}{m}} \cdot \left(\frac{44,15 \frac{kNm}{m}}{0,975 \cdot 0,328m} + (-30 \frac{kN}{m}) \right) = 19,33 \frac{kN}{cm^2}$$

Grenzstabdurchmesser für $w_k = 0,15mm$ nach [1, 5.89]:

$$d_s = 8mm < \lim d_s = \lim d_s^* = 12mm$$

Grenzstababstand für $w_k = 0,15mm$ nach [1, 5.89]:

$$s_1 = 9cm < \lim s_1 = 10cm$$

5.4.2 Sohle

Schnittgrößen $M_{Sk} = \gamma_W \cdot t \cdot \frac{t}{2} \cdot \frac{t}{3}$

$$M_{Sk} = 10 \cdot 3,0 \cdot \frac{3,0}{2} \cdot \frac{3,0}{3} = 45,0 \frac{kNm}{m}$$

$$M_{Sd} = M_{Sk} \cdot \gamma_G$$

$$M_{Sd} = 45,0 \cdot 1,35 = 60,8 \frac{kNm}{m}$$

$$N_{Sk} = \gamma_W \cdot t \cdot \frac{t}{2}$$

$$N_{Sk} = 10 \cdot 3,0 \cdot \frac{3,0}{2} = 45,0 \frac{kN}{m}$$

$$N_{Sd} = N_{Sk} \cdot \gamma_G$$

$$N_{Sd} = 45,0 \cdot 1,35 = 60,8 \frac{kN}{m}$$

$$V_{Sd} = \gamma_c \cdot d \cdot h \cdot \gamma_G + p_R \cdot \gamma_Q$$

$$V_{Sd} = 25,0 \cdot 0,4 \cdot 3,5 \cdot 1,35 + 9,0 \cdot 1,5 = 60,8 \frac{kN}{m}$$

Zugzone in der Sohloberseite; Bewehrung wird an der Oberseite angeordnet - Pos. 10

$$\text{Bemessungsmoment } M_{Sds} = M_{Sd} - N_{Sd} \cdot z_{S1}$$

$$z_{S1} = 0,428 - \frac{0,5}{2} = 0,178m$$

$$M_{Sds} = 60,8 - 60,8 \cdot 0,178 = 50,0 \frac{kNm}{m}$$

$$k_d = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{Sds}}{b}}}$$

$$k_d = \frac{42,8}{\sqrt{\frac{50,0}{1,0}}} = 6,05$$

Nach [2, Abb. 6.9]:

$$k_s = 2,34$$

$$\xi = 0,049$$

$$\zeta = 0,983$$

$$A_{s,req} = k_s \cdot \frac{M_{Sds}}{d} + \frac{N_{Sd}}{43,5}$$

$$A_{s,req} = \frac{60,8}{42,8} + \frac{60,8}{43,5} = 2,81 \frac{cm^2}{m}$$

gewählt: $\varnothing 6$; s= 9 cm

$$A_{s,prov} = 3,14 \frac{cm^2}{m} > A_{s,req} = 2,81 \frac{cm^2}{m}$$

Schubspannung $V_{Sd} \leq V_{Rd1}$

$$\max V_{Sd} = -60,8 \frac{kN}{m}$$

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$\rho_1 = \frac{3,14}{100 \cdot 42,8} = 0,000733$$

$$V_{Rd1} = \left(0,28 \cdot (1,6 - 0,428) \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,000733) + 0,15 \cdot \frac{42,0}{0,5 \cdot 1,0} \right) \cdot 0,428 = 5,49 \frac{MN}{m}$$

$$V_{Sd} = 54 \frac{kN}{m} < V_{Rd1} = 5490 \frac{kN}{m}$$

Keine zusätzliche Schubbewehrung erforderlich; Mindestschubbewehrung ist einzulegen.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2}$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot d$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot 0,55 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,428 = 2,12 \frac{MN}{m}$$

$$V_{Sd} = 54 \frac{kN}{m} < V_{Rd2} = 2120 \frac{kN}{m}$$

Keine Gefahr des Druckstrebenbruches.

Rißbreiten infolge Last Quasi-ständiger Lastanteil:

$$M_{qs} = 1,0 \cdot M_{Sk} = 45,0 \frac{kNm}{m}$$

$$N_{qs} = 1,0 \cdot N_{Sk} = 45,0 \frac{kN}{m}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{\frac{M_{qs}}{I_{sd}} + N_{qs}}{A_s}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{\frac{45,0}{0,983 \cdot 0,428} + 45,0}{3,14} = 4,83 \frac{kN}{cm^2}$$

Grenzstabdurchmesser für $w_k=0,15\text{mm}$ nach [1, 5.89]:

$$d_s = 6\text{mm} < \lim d_s = \lim d_s^* = 16\text{mm}$$

Grenzstababstand für $w_k=0,15\text{mm}$ nach [1, 5.89]:

$$s_1 = 9\text{cm} < \lim s_1 = 15\text{cm}$$

5.5 Lastfall 3

Rißbreiten infolge Zwang

Die Bauteile werden im jungen Betonalter infolge abfließender Hydrationswärme auf zentrischen Zwang beansprucht. Betonfestigkeit entspricht etwa C 16/20. Die Stabstahlspannung wird gewählt.

5.5.1 Wand

Vertikalbewehrung- Pos. 7 und 9.

$$\min A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$$

$$\sigma_s = 160 \frac{MN}{m^2} < f_{y,k}$$

$$\min A_s = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,9 \cdot \frac{0,4 \cdot 1,0}{160} = 3,80 \frac{cm^2}{m}$$

$$\text{Gewählt: } \varnothing 8; s = 9 \text{ cm}; A_s = 5,59 \frac{cm^2}{m}$$

Grenzstabdurchmesser für $w_k = 0,15\text{mm}$ nach [1, 5.89]:

$$d_s = 8\text{mm} < \lim d_s = \lim d_s^* \cdot \frac{f_{ctm}}{2,5} = 16 \cdot \frac{1,9}{2,5} = 12,16\text{mm}$$

Grenzstababstand für $w_k = 0,15\text{mm}$ nach [1, 5.89]:

$$s_1 = 9\text{cm} < \lim s_1 = 15\text{cm}$$

5.5.2 Sohle

Querbewehrung - Pos. 11 und 13.

$$\min A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$$

$$\sigma_s = 200 \frac{MN}{m^2} < f_{yk}$$

$$\min A_s = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,9 \cdot \frac{0,5 \cdot 1,0}{200} = 3,80 \frac{cm^2}{m}$$

$$\text{Gewählt: } \varnothing 8; s = 9 \text{ cm}; A_s = 5,59 \frac{cm^2}{m}$$

Grenzstabdurchmesser für $w_k=0,15\text{mm}$ nach [1, 5.89]:

$$d_s = 8\text{mm} < \lim d_s = \lim d_s^* \cdot \frac{f_{ctm}}{2,5} = 12 \cdot \frac{1,9}{2,5} = 9,12\text{mm}$$

Grenzstababstand für $w_k=0,15\text{mm}$ nach [1, 5.89]:

$$s_1 = 9\text{cm} < \lim s_1 = 10\text{cm}$$

5.6 Trichter, Zulaufbereich und Ablaufbereich

Die Bewehrung im Trichter, sowie im Zu- und Ablaufbereich soll konstruktiv wie die Wand- und Sohlbewehrung ausgebildet werden. Die auftretenden Belastungen sind im wesentlichen gleich.

5.7 Übergreifungslängen

$$l_s = \alpha_1 \cdot l_{b,net} > l_{s,min}[1, 5.99]$$

$$\alpha_1 = 2,0$$

Der maximale Stabstahldurchmesser ist 8 mm, daher gilt:

$$l_{s,min} = 200\text{mm}$$

5.7.1 Verbundbereich 1

Der Verbundbereich 1 umfaßt alle Eisen der unteren Bewehrungslage-Sohle (6mm und 8mm), alle senkrechten Bewehrungseisen der Wände (8mm) und alle horizontalen Eisen der Wand, die einen Abstand größer als 0,3 m zur Oberkante-Wand besitzen (6mm und 8mm).

Sohle (6mm und 8mm):

$$d_s = 6mm$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{bd} = 3,0 \frac{N}{mm^2}, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$l_b = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{6}{4} \cdot \frac{435}{3,0} = 217,5mm = 21,8cm, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$\alpha_a = 1,0, \text{ bei geraden Stäben nach [1, 5.88]}$$

$$A_{s,req} = 2,00 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{s,prov} = 3,14 \frac{cm^2}{m}$$

$$l_{b,net} = \alpha_a \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \cdot l_b = 1,0 \cdot \frac{2,00}{3,14} \cdot 21,8 = 13,89cm \geq l_{b,min} = 0,3 \cdot l_b = 0,3 \cdot 21,8 = 6,54cm$$

$$d_s = 8mm$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{bd} = 3,0 \frac{N}{mm^2}, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$l_b = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{435}{3,0} = 290mm = 29cm, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$\alpha_a = 1,0, \text{ bei geraden Stäben nach [1, 5.88]}$$

$$A_{s,req} = 3,80 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{s,prov} = 5,59 \frac{cm^2}{m}$$

$$l_{b,net} = \alpha_a \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \cdot l_b = 1,0 \cdot \frac{3,80}{5,59} \cdot 29 = 19,7cm \geq l_{b,min} = 0,3 \cdot l_b = 0,3 \cdot 29 = 8,7cm$$

Wand (vertikal 8mm; horizontal 6mm und 8mm):

$$d_s = 8mm$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{bd} = 3,0 \frac{N}{mm^2}, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$l_b = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{435}{3,0} = 290mm = 29cm, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$\alpha_a = 1,0$, bei geraden Stäben nach [1, 5.88]

$$A_{s,req} = 3,80 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{s,prov} = 5,59 \frac{cm^2}{m}$$

$$l_{b,net} = \alpha_a \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \cdot l_b = 1,0 \cdot \frac{3,80}{5,59} \cdot 29 = 19,7cm \geq l_{b,min} = 0,3 \cdot l_b = 0,3 \cdot 29 = 8,7cm$$

$$d_s = 6mm$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{bd} = 3,0 \frac{N}{mm^2}, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$l_b = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{6}{4} \cdot \frac{435}{3,0} = 217,5mm = 21,8cm, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$\alpha_a = 1,0$, bei geraden Stäben nach [1, 5.88]

$$A_{s,req} = 2,80 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{s,prov} = 3,14 \frac{cm^2}{m}$$

$$l_{b,net} = \alpha_a \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \cdot l_b = 1,0 \cdot \frac{2,80}{3,14} \cdot 21,8 = 19,43cm \geq l_{b,min} = 0,3 \cdot l_b = 0,3 \cdot 21,8 = 6,54cm$$

$$d_s = 8mm$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{bd} = 3,0 \frac{N}{mm^2}, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$l_b = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{435}{3,0} = 290mm = 29cm, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$\alpha_a = 1,0, \text{ bei geraden Stäben nach [1, 5.88]}$$

$$A_{s,req} = 3,73 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{s,prov} = 5,59 \frac{cm^2}{m}$$

$$l_{b,net} = \alpha_a \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \cdot l_b = 1,0 \cdot \frac{3,73}{5,59} \cdot 29 = 19,35cm \geq l_{b,min} = 0,3 \cdot l_b = 0,3 \cdot 29 = 8,7cm$$

Im Verbundbereich 1 ist in allen Fällen das Mindestmaß der Übergreifungslänge maßgebend.

5.7.2 Verbundbereich 2

Verbundbereich 2 umfaßt alle Eisen der oberen Bewehrungslage-Sohle (6mm; 8mm) und alle horizontalen Eisen der Wand, die einen Abstand kleiner als 0,3 m zur Oberkante-Wand (6mm ; 8mm) besitzen.

Wand (6mm und 8mm):

$$d_s = 6mm$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{bd} = 3,0 \frac{N}{mm^2} \cdot 0,7 = 2,1 \frac{N}{mm^2}, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$l_b = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{6}{4} \cdot \frac{435}{2,1} = 311mm = 31,1cm, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$\alpha_a = 1,0, \text{ bei geraden Stäben nach [1, 5.88]}$$

$$A_{s,req} = 2,80 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{s,prov} = 3,14 \frac{cm^2}{m}$$

$$l_{b,net} = \alpha_a \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \cdot l_b = 1,0 \cdot \frac{2,80}{3,14} \cdot 31,1 = 27,73cm \geq l_{b,min} = 0,3 \cdot l_b = 0,3 \cdot 31,1 = 9,3cm$$

$$d_s = 8mm$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{bd} = 3,0 \frac{N}{mm^2} \cdot 0,7 = 2,1 \frac{N}{mm^2}, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$l_b = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{435}{2,1} = 41,4cm, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$\alpha_a = 1,0, \text{ bei geraden Stäben nach [1, 5.88]}$$

$$A_{s,req} = 3,73 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{s,prov} = 5,59 \frac{cm^2}{m}$$

$$l_{b,net} = \alpha_a \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \cdot l_b = 1,0 \cdot \frac{3,73}{5,59} \cdot 41,4 = 27,6cm \geq l_{b,min} = 0,3 \cdot l_b = 0,3 \cdot 41,4 = 12,42cm$$

Sohle (6mm und 8mm):

$$d_s = 6mm$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{bd} = 3,0 \frac{N}{mm^2} \cdot 0,7 = 2,1 \frac{N}{mm^2}, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$l_b = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{6}{4} \cdot \frac{435}{2,1} = 311mm = 31,1cm, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$\alpha_a = 1,0$, bei geraden Stäben nach [1, 5.88]

$$A_{s,req} = 2,00 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{s,prov} = 3,14 \frac{cm^2}{m}$$

$$l_{b,net} = \alpha_a \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \cdot l_b = 1,0 \cdot \frac{2,00}{3,14} \cdot 31,1 = 19,81cm \geq l_{b,min} = 0,3 \cdot l_b = 0,3 \cdot 31,1 = 9,33cm$$

$$d_s = 8mm$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{bd} = 3,0 \frac{N}{mm^2} \cdot 0,7 = 2,1 \frac{N}{mm^2}, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$$l_b = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{435}{2,1} = 414mm = 41,4cm, \text{ nach [1, 5.87]}$$

$\alpha_a = 1,0$, bei geraden Stäben nach [1, 5.88]

$$A_{s,req} = 3,80 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{s,prov} = 5,59 \frac{cm^2}{m}$$

$$l_{b,net} = \alpha_a \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \cdot l_b = 1,0 \cdot \frac{3,80}{5,59} \cdot 41,4 = 28,1cm \geq l_{b,min} = 0,3 \cdot l_b = 0,3 \cdot 41,4 = 12,4cm$$

$$l_s = 2,0 \cdot 28,1 = 56,2cm$$

In allen anderen Fällen ist das Mindestmaß der Übergreifungslänge von 40 cm maßgebend.

Betonstahl	Haken, Winkelhaken, Schlaufen $d_s < 20 \text{ mm}$	Schrägstäbe und andere Krümmungen von Stäben Mindestmaße der Betondeckung $\min c$ rechtwinklig zur Krümmungsebene $> 50 \text{ mm}$ und $> 3 d_s$
Rippenstäbe S 400, S 500	$4,0 d_s$	$15 d_s$

Tabelle 4: Mindestwerte der Biegerollendurchmesser d_{br} ; allgemein

5.8 Biegerollendurchmesser

Ausgehend von Tabelle 4 nach [1, 5.87] ergeben sich anzuwendende Durchmesser:

Für Haken Winkelhaken und Schlaufen

resultiert bei $d_s = 6 \text{ mm}$ ein $\min_{d_{br}} = 4 \cdot 6 = 24 \text{ mm}$

resultiert bei $d_s = 8 \text{ mm}$ ein $\min_{d_{br}} = 4 \cdot 8 = 32 \text{ mm}$

Für Schrägstäbe und andere Krümmungen von Stäben

resultiert bei $d_s = 6 \text{ mm}$ ein $\min_{d_{br}} = 15 \cdot 6 = 90 \text{ mm}$

resultiert bei $d_s = 8 \text{ mm}$ ein $\min_{d_{br}} = 15 \cdot 8 = 120 \text{ mm}$

6 Massen- und Mengenermittlung

6.1 Betonvolumen

6.1.1 Sohle

$$22,0 \cdot (5,0 + 2 \cdot 0,4) \cdot 0,5 = 63,8m^3$$

6.1.2 Wände

Längswände

$$2 \cdot (22,8 \cdot 3,5 \cdot 0,4) = 63,8m^3$$

Zulauf

$$5,0 \cdot 3,5 \cdot 0,4 = 7,0m^3$$

Ablauf

$$5,0 \cdot 3,0 \cdot 0,4 = 6,0m^3$$

Zwickel Ablauf

$$\frac{5,0 \cdot 1,0 \cdot 0,6}{2} = 1,5m^3$$

Flügel Ablauf

$$2 \cdot 4,0 \cdot \frac{(3,1+1,0)}{2} \cdot 0,4 = 6,6m^3$$

Gesamtvolumen Wände

$$63,8 + 7,0 + 6,0 + 1,5 + 6,6 = 84,9m^3$$

6.1.3 Trichter

$$V = V_1 - 2 \cdot V_2$$

Volumen Pyramidenstumpf [1, 2.13]:

$$V = \frac{h}{3} \cdot (G + \sqrt{G \cdot D} + D)$$

$$G_1 = (5,0 + 2 \cdot 0,4) \cdot (2,75 + 2 \cdot 0,4) = 20,6m^2$$

$$D_1 = 1,23 \cdot (5 - 2 \cdot 0,63) = 4,6m^2$$

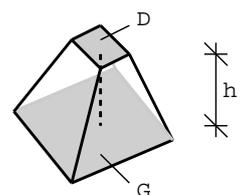
$$V_1 = \frac{2,5}{3} \cdot (20,6 + \sqrt{20,6 \cdot 4,6} + 4,6) = 29,1m^3$$

$$D_2 = 0,6 \cdot 0,6 = 0,36m^2$$

$$G_2 = \frac{5,0}{2} \cdot \frac{2,75}{2} = 3,4m^2$$

$$V_2 = \frac{2,0}{3} \cdot (3,4 + \sqrt{3,4 \cdot 0,36} + 0,36) = 3,2m^3$$

$$V = 29,1 - 2 \cdot 3,2 = 22,7m^3$$



6.1.4 Zulauf

$$(1,0 + 3,4) \cdot (2,8 + 0,8) \cdot 0,4 + 2 \cdot (0,6 \cdot 3,4 \cdot 0,4) = 8,0m^3$$

6.1.5 Ablauf

$$(1,0 + 1,8) \cdot 5 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,6 \cdot 1,8 \cdot 0,4 = 6,5m^3$$

6.1.6 Gesamtvolumen

Bauteil	Volumen in m ³
Sohle	63,8
Wände	$63,8 + 7,0 + 6,0 + 1,5 + 6,6 = 84,9$
Trichter	22,7
Zulauf	8,0
Ablauf	6,5
Summe	185,9m ³

Tabelle 5: Betonvolumina

In Tabelle 5 sind die Betonvolumina der einzelnen Bauteile aufgeführt.

6.2 Betonstahlmassen

6.2.1 Trichter

Positionen nach Anlage C.

Tabelle 6 enthält die Betonstahlmassen der Trichterbewehrung. Das Gesamtgewicht der Trichterbewehrung beträgt 194 kg.

6.2.2 Sohle

Positionen nach Anlage D.

Tabelle 7 enthält die Betonstahlmassen der Sohlbewehrung. Das Gesamtgewicht der Sohlbewehrung beträgt:

$$417 + 303 + 264 + 493 + 303 + 258 = 2038kg$$

Position	Anzahl	Durchmesser	Einzellänge	Gesamtlänge	Stabgewicht	Gesamtgewicht
-	-	mm	m	m	kg	kg
1	14	6	2.30	32.20	0.51	7.15
2	14	6	2.26	31.64	0.50	7.02
3	14	6	3.31	46.34	0.73	10.29
4	14	8	1.73	24.22	0.68	9.57
5	14	8	1.76	24.64	0.70	9.73
6	14	6	1.73	24.22	0.38	5.38
7	14	6	1.95	27.30	0.43	6.06
8	14	8	1.43	20.02	0.56	7.91
9	14	8	1.74	24.36	0.69	9.62
10	14	8	1.83	25.62	0.72	10.12
14	14	8	3.22	45.08	1.27	17.81
15	14	8	3.43	48.02	1.35	18.97
16	14	8	6.30	88.20	2.49	34.84
18	14	8	3.26	45.64	1.29	18.03
19	14	8	1.82	25.48	0.72	10.06
20	14	8	2.02	28.28	0.80	11.17

Tabelle 6: Stahlmassen Trichter

Position	Anzahl	Durchmesser	Einzellänge	Gesamtlänge	Stabgewicht	Gesamtgewicht
-	-	mm	m	m	kg	kg
1	244	6	7.7	1878.8	0.22	417.09
2	64	8	12	768	0.4	303.36
3	64	8	10.46	669.44	0.4	264.43
4	244	6	9.1	2220.4	0.22	492.93
5	64	8	12	768	0.4	303.36
6	64	8	10.22	654.08	0.4	258.36

Tabelle 7: Stahlmassen Sohle

Position	Anzahl	Durchmesser	Einzellänge	Gesamtlänge	Stabgewicht	Gesamtgewicht
-	-	mm	m	m	kg	kg
1	394	6	1.3	511.68	0.22	113.59
2	274	8	10.15	2777.04	0.4	1096.93
3	782	6	3.34	2613.22	0.22	580.13
4	91	8	1.3	118.56	0.4	46.84

Tabelle 8: Stahlmassen Wände

6.2.3 Wände

Positionen nach Anlage E.

Tabelle 8 enthält die Betonstahlmassen der Wandbewehrung. Das Gesamtgewicht der Wandbewehrung beträgt:

$$114 + 1096 + 580 + 47 = 1837kg$$

6.2.4 Zulauf

Positionen nach Anlage C.

Position	Anzahl	Durchmesser	Einzellänge	Gesamtlänge	Stabgewicht	Gesamtgewicht
-	-	mm	m	m	kg	kg
11	302	8	2.36	712.72	0.93	281.52
12	28	8	3.16	88.48	1.25	34.95
13	14	8	3.61	50.54	1.43	19.96
17	80	8	1.92	153.6	0.76	60.67

Tabelle 9: Stahlmassen Zulauf

Tabelle 9 enthält die Betonstahlmassen der Zulaufbewehrung. Das Gesamtgewicht der Zulaufbewehrung beträgt:

$$281,52 + 34,95 + 19,96 + 60,67 = 397kg$$

6.2.5 Ablauf

Positionen nach Anlage C.

Position	Anzahl	Durchmesser	Einzellänge	Gesamtlänge	Stabgewicht	Gesamtgewicht
-	-	mm	m	m	kg	kg
12	56	8	3.16	176.96	1.25	69.90
17	112	8	1.92	215.04	0.76	84.94
21	112	8	1.94	217.28	0.77	85.83

Tabelle 10: Stahlmassen Ablauf

Tabelle 10 enthält die Betonstahlmassen der Ablaufbewehrung. Das Gesamtgewicht der Ablaufbewehrung beträgt:

$$69,90 + 84,94 + 85,83 = 241kg$$

6.3 Bewehrungsgehalte

Bauteil	Betonvolumen	Stahlmasse	Bewehrungsgehalt
-	m ³	kg	kg/m ³
Trichter	22,7	194	8,53
Sohle	63,8	2038	31,9
Wände	84,9	1837	21,6
Zulauf	8,0	397	50,0
Ablauf	6,5	241	37,1

Tabelle 11: Bewehrungsgehalte

Die Bewehrungsgehalte der einzelnen Bauteile sind in Tabelle 11 zusammenfassend dargestellt.

7 Bauablauf

7.1 Vorarbeiten

- Mutterbodenabtrag nach Abmessung und Absteckung der baurelevanten Fläche.
- Aushub der Baugrube unter Berücksichtigung der DIN 4124 (Abböschung, bzw. Verbau in Abhängigkeit von wirtschaftlichen Aspekten) und seitliches Lagern bis zur Verwendung des Bodens für Rückverfüllung.
- Ebnung der Baugrubensohle und Beseitigung von größeren Störkörpern.
- Einbau einer 10cm starken Sauberkeitsschicht aus Beton C 12/15 mit einer Überlappung des Bauwerkes von 10cm.
- Aufbringung einer zweilagigen PE-Folie über der Sauberkeitsschicht, die als Gleitschicht wirken soll.

7.2 Betonierung

Nach Aushärtung der Sauberkeitsschicht erfolgt das Betonieren in folgenden Betonierabschnitten:

- Betonieren des Trichters
- Betonieren der Sohle
- Betonieren der Wände
- Betonieren des Ein- und Auslaufbereiches

7.2.1 Betonieren des Trichters

1. Einbau der Trichterschalung.
2. Einbau der gesamten Trichterbewehrung, incl. Anschlußbewehrung für Wand und Sohle.
3. Betonierung der Sohle.
4. Ist die Sohle leicht abgebunden, erfolgt der Einbau der inneren Trichterschalung.

5. Betonierung der Trichterwandung.
6. Um dem Ausbessern des Betons vorzubeugen, wird auf die Verwendung einer sauberen Schalung geachtet. Sollte eine Ausbesserung dennoch notwendig sein, hat dies an dieser Stelle zu geschehen.
7. Nachbehandlung des Betons

7.2.2 Betonieren der Sohle

1. Einbau der Sohlschalung.
2. Einbau der gesamten Sohlbewehrung, incl. Anschlußbewehrung.
3. Einbau der Arbeitsfugenbänder zwischen Sohle und Wand.
4. Betonierung der Sohle.
5. Siehe Abschnitt 7.2.1 Punkt 6 und 7.

7.2.3 Betonieren der Wände

Die Wände werden nacheinander als einzelne Abschnitte betoniert.

1. Aufbau der äußeren Schalung.
2. Einbau der Bewehrung.
3. Einbau Fugensicherung
4. Aufbau der inneren Schalung.
5. Betonierung.
6. Nach der Erhärtung des Betons wird die Schalung demontiert.
7. Siehe Abschnitt 7.2.1 Punkt 6 und 7.

Beim nächsten Wandabschnitt wird vorgegangen, wie in den gerade Punkten 1-7

7.2.4 Betonierung des Ein- und Auslaufbereiches

1. Verdichtung im Ein- und Auslaufbereich; Einbau einer Sauberkeitsschicht entsprechend der Ausführung in Abschnitt 7.1.
2. Schalung / Bewehrung / Betonierung der Sohle.
3. Betonierung / Bewehrung / Betonierung der Wände.

Die Arbeitsvorgänge in diesem Abschnitt entsprechen in den Details denen der vorher beschriebenen Betonierungsabschnitte.

7.3 Ausschalen

Hat der Beton eines Bauteiles eine ausreichende Festigkeit erreicht, kann mit dem Ausschalen des Bauteiles begonnen werden.

7.4 Verfüllen der Arbeitsräume

Beim Verfüllen der Arbeitsräume ist auf eine sorgfältige und gleichmäßige Verdichtung zu achten.

Abbildungsverzeichnis

1	Lastfall 1	10
2	Lastfall 2	17

Tabellenverzeichnis

1	Stabstahl-Bewehrung der Wand	8
2	Stabstahl-Bewehrung der Sohle	8
3	Teilsicherheitsbeiwerte	8
4	Mindestwerte der Biegerollendurchmesser d_{br} ; allgemein	31
5	Betonvolumina	33
6	Stahlmassen Trichter	34
7	Stahlmassen Sohle	34

8	Stahlmassen Wände	34
9	Stahlmassen Zulauf	35
10	Stahlmassen Ablauf	35
11	Bewehrungsgehalte	35

Literatur

- [1] Schneider. *Bautabellen für Ingenieure*. Werner Verlag, 1998.
- [2] Prof.Dr.-Ing. Axel Schwennicke. *Stahlbeton I*. Fachhochschule Nordostniedersachsen, Suderburg, 1999.

A Verwendete Software

- LyX (Linux) - Textverarbeitung
- Pybliographic (Linux) - Literaturverweise
- dia (Linux) - Skizzen
- StarOffice (Linux) - Tabellenkalkulation
- Nemetschek AllPlan (Windows) - CAD

B Positionsplan

C Details, Bewehrung Trichter

D Details, Bewehrung-Sohle

E Details, Bewehrung-Wände

F Details, Bewehrung-Anschlüsse