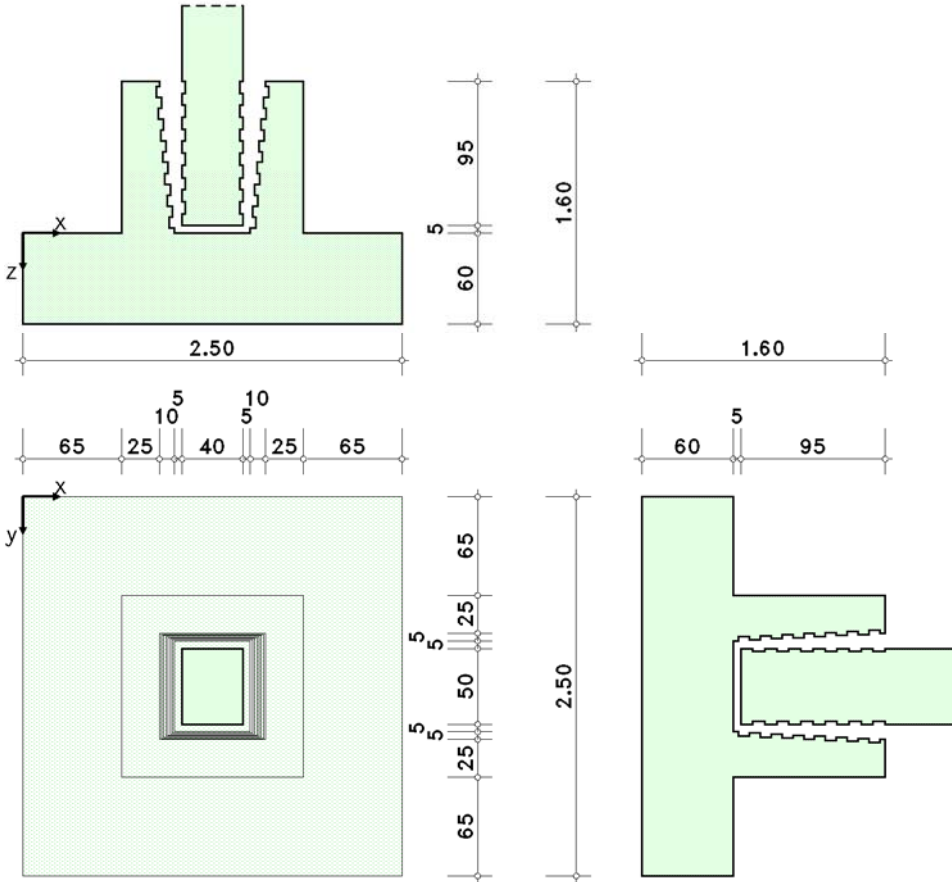


## Einzelfundament mit Köcher

Stahlbetonbemessung nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 mit NA-Deutschland (DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04)

Maßstab 1:50, Profilierung nicht maßstäblich



Fundament:

Betonfestigkeitsklasse C30/37  
Betonstahlsorte B500A

Stütze:

Betonfestigkeitsklasse C45/55  
Betonstahlsorte B500A

## 1. Bodensituation

Die Einbindetiefe des Fundamentes beträgt  $t = 0.80$  m.

Der Grundwasserstand (unter OK Boden) liegt bei  $t_w = 2.50$  m.

### 1.1. Bezeichnung und Kennwerte der Bodenschichten

Hinweis: Die Dicke der letzten Schicht wird als unendlich angenommen.

Schicht	d m	z m	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	$\varphi$ °	$c_k$ kN/m <sup>2</sup>	$E_m$ MN/m <sup>2</sup>	$\delta_p$ °
Schicht 1	1.50	0.00	19.00	11.00	25.0	15.0	50.00	auto
Schicht 2	99.00	1.50	22.00	13.00	37.0	---	80.00	auto

z - Kote an Oberkante der Schicht  $\gamma$  - Wichte  $\gamma'$  - Wichte unter Auftrieb  $\varphi$  - Reibungswinkel

$c_k$  - char. Kohäsion des dränierten Bodens  $E_m$  - mittl. Zusammendrückungsmodul  $\delta_p$  - Wandreibungswinkel auf der passiven Seite

## 2. Belastung

### 2.1. Einwirkungsstruktur

Auf der linken Seite sind die Einwirkungen und Lastfälle in einer Baumstruktur dargestellt. Auf der rechten Seite sind deren überlagerungsspezifische Eigenschaften angegeben.

verwendete Symbole: Einwirkung Lastfall


1: ständige Lasten

ständige Lasten

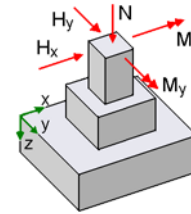
1: Eigengewicht (1)

additiv

Auf der linken Seite sind die Einwirkungen und Lastfälle in einer Baumstruktur dargestellt. Auf der rechten Seite sind deren überlagerungsspezifische Eigenschaften angegeben.

-  2: Nutzlasten (2)
-  2: Nutzlasten (2/1)
-  3: neue Einwirkung
-  3: Erbeben

**veränderliche Nutzlasten in Versammlungs-, Verkaufsräumen**  
 additiv  
**Erdbebenlast**  
 alternativ in Gruppe B



### 2.2. Charakteristische Stützenlast

Angriffspunkt im Schwerpunkt der Stütze auf OK Köcher

Lastf.	N <sub>st</sub> kN	H <sub>x,St</sub> kN	H <sub>y,St</sub> kN	M <sub>x,St</sub> kNm	M <sub>y,St</sub> kNm
1	2500.00	-150.00	0.00	0.00	350.00
2	1500.00	-50.00	0.00	0.00	150.00
3	0.00	0.00	500.00	200.00	0.00

### 2.3. Eigengewicht

Das Gewicht der Fundamentplatte wird mit  $\gamma_E = 25.00 \text{ kN/m}^3$  berücksichtigt.

Die Höhe der Erdauflast beträgt  $h_A = 0.20 \text{ m}$ .

Die mittlere Wichte der Erdauflast beträgt  $\gamma_A = 19.00 \text{ kN/m}^3$ .

Die Resultierende aus Eigengewicht in der Bodenfuge beträgt  $N_{0,Eigen,k} = 148.03 \text{ kN}$ .

Das Eigengewicht wird im Lastfall 1 mit berücksichtigt.

### 3. Kraftübertragung von der Stütze auf das Fundament

Köcherbemessung mit einem Stabwerksmodell für ausgeprägte Momentenbeanspruchung nach [1]:

Zurückhängen der Querkraft  $T_{h1} = V_{Ed}$

Lotrechte Zugkraft aus Umlenkung von  $T_{h1}$   $T_{v1} = T_{h1} \cdot t/a_w$

maximale Stützenzugkraft  $F_s = \text{erf } A_{s,St,Zug} \cdot f_{yd,St}$

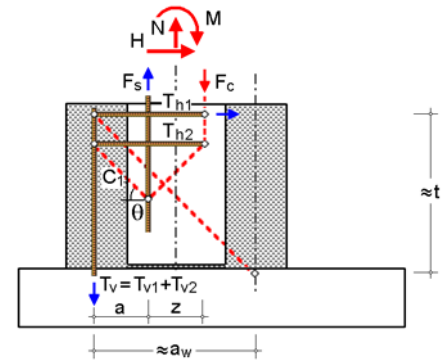
Lotrechte Zugkraft aus Stützenzugkraft  $F_s$  und Bew.versatz  $T_{v2} = F_s \cdot z/(a+z)$

Horizontalkomponente der Druckstrebe  $C_1$   $T_{h2} = T_{v2} / \tan \theta$

Horizontale Bewehrung  $\text{erf } A_{s,h} = (T_{h1} + T_{h2}) / (f_{yd,k})$

Vertikale Bewehrung  $\text{erf } A_{s,v} = (T_{v1} + T_{v2}) / (f_{yd,k})$

Voraussetzungen: Profilierte Seitenflächen des Stützenfußes und der Innenflächen des Köchers entsprechend Bild 6.9 aus [2].



### 3.1. Bemessungswerte Köcherbemessung

#### 3.1.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Bemessungssit.	Faktorisierung
1	ständig und vorübergehend	Lf1
2	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1
3	ständig und vorübergehend	Lf1+1.5 · Lf2
4	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf2

LK	Bemessungssit.	Faktorisierung
5	ständig und vorübergehend	Lf1+0.7 · 1.5 · Lf2
6	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.7 · 1.5 · Lf2
7	Erdbeben	Lf1+Lf3
8	Erdbeben	Lf1+Lf3+0.6 · Lf2

#### 3.1.2. Stützenlast

Im Schwerpunkt der Stütze, auf OK Köcher

Erhöhungsfaktor für Momente:  $\Delta M_{St,TH,II,0} = M_{St} \cdot 20\%$

(zur Berücksichtigung des Momentenzuwachses aus nichtlinearen Effekten)

LK	N <sub>st,d</sub> kN	H <sub>x,St,d</sub> kN	H <sub>y,St,d</sub> kN	M <sub>x,St,d</sub> kNm	M <sub>y,St,d</sub> kNm
1	2500.00	-150.00	0.00	0.00	420.00
2	3375.00	-202.50	0.00	0.00	567.00
3	4750.00	-225.00	0.00	0.00	690.00
4	5625.00	-277.50	0.00	0.00	837.00

LK	N <sub>st,d</sub> kN	H <sub>x,St,d</sub> kN	H <sub>y,St,d</sub> kN	M <sub>x,St,d</sub> kNm	M <sub>y,St,d</sub> kNm
5	4075.00	-202.50	0.00	0.00	609.00
6	4950.00	-255.00	0.00	0.00	756.00
7	2500.00	-150.00	500.00	240.00	420.00
8	3400.00	-180.00	500.00	240.00	528.00

### 3.2. Eingangswerte

Randabstand Stützenlängsbew.  $d_{1,St} = 5.0 \text{ cm}$

Obere Fugendicke  $t_{Fx}/t_{Fy} = 15.0/10.0 \text{ cm}$

Randabstand vert. Köcherbew.  $d_{1,K} = 4.0 \text{ cm}$

Abstand der vert. Bewehrungsschenkel im Köcher  $s_K = 15.0 \text{ cm}$

Vorhandene Stützenlängsbewehrung

◦ Seite 1 und 2:  $A_{s,St,1} = A_{s,St,2} = 25.1 \text{ cm}^2$

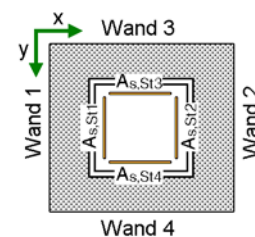
◦ Seite 3 und 4:  $A_{s,St,3} = A_{s,St,4} = 25.1 \text{ cm}^2$

Max. Durchmesser der vorhandenen Stützenlängsbewehrung  $d_s = \varnothing 10$

Annahme für untere Betondeckung im Stützenfuß  $c_{nom,St,u} = 3.0 \text{ cm}$

Annahme für obere Betondeckung in der Platte  $c_{nom,F,o} = 3.5 \text{ cm}$

Annahme für Druckstrebenneigungswinkel in der Fuge  $\theta = 45^\circ$



### 3.3. Bemessung in x/z-Ebene

#### Erforderliche Stützenbewehrung

LK	As,st (je Seite) cm <sup>2</sup>	As,St,Druck cm <sup>2</sup>	As,St,Zug cm <sup>2</sup>	LK	As,st (je Seite) cm <sup>2</sup>	As,St,Druck cm <sup>2</sup>	As,St,Zug cm <sup>2</sup>
1	14.5	14.5	14.5	5	41.3	41.3	41.3
2	32.1	32.1	32.1	6	61.7	61.7	61.7
3	54.2	54.2	54.2	7	14.5	14.5	14.5
4	74.9	74.9	74.9	8	29.0	29.0	29.0

$$a_w = h_{st,x} + 2 \cdot t_{F,x} + d_{w,x} = 0.95 \text{ m}$$

$$a = d_{1,st} + t_{F,x} + d_{1,k} + s_k = 31.5 \text{ cm}$$

$$z = \max\{0.9 \cdot (h_{st,x} - d_1); (h_{st,x} - 2 \cdot d_1)\} = 31.5 \text{ cm}$$

#### Erforderliche Köcherbewehrung

LK	Hx kN	Th1 kN	Tv1 kN	Fs kN	Tv2 kN	Th2 kN	erf As,h,k cm <sup>2</sup>	erf As,v,k cm <sup>2</sup>
1	-150.00	150.0	150.0	628.8	314.4	314.4	10.7	10.7
2	-202.50	202.5	202.5	1397.3	698.7	698.7	20.7	20.7
3	-225.00	225.0	225.0	2357.1	1178.5	1178.5	32.3	32.3
4	-277.50	277.5	277.5	3257.0	1628.5	1628.5	<b>43.8</b>	<b>43.8</b>
5	-202.50	202.5	202.5	1796.3	898.1	898.1	25.3	25.3
6	-255.00	255.0	255.0	2680.6	1340.3	1340.3	36.7	36.7
7	-150.00	150.0	150.0	628.8	314.4	314.4	10.7	10.7
8	-180.00	180.0	180.0	1260.5	630.3	630.3	18.6	18.6

### 3.4. Bemessung in y/z-Ebene

#### Erforderliche Stützenbewehrung

LK	As,st (je Seite) cm <sup>2</sup>	As,St,Druck cm <sup>2</sup>	As,St,Zug cm <sup>2</sup>	LK	As,st (je Seite) cm <sup>2</sup>	As,St,Druck cm <sup>2</sup>	As,St,Zug cm <sup>2</sup>
1	-	-	-	5	-	-	-
2	-	-	-	6	-	-	-
3	-	-	-	7	-	-	-
4	6.6	6.6	-	8	-	-	-

$$a_w = h_{st,y} + 2 \cdot t_{F,y} + d_{w,y} = 0.95 \text{ m}$$

$$a = d_{1,st} + t_{F,y} + d_{1,k} + s_k = 31.5 \text{ cm}$$

$$z = \max\{0.9 \cdot (h_{st,y} - d_1); (h_{st,y} - 2 \cdot d_1)\} = 40.5 \text{ cm}$$

LK	Hx kN	Th1 kN	Tv1 kN	Fs kN	Tv2 kN	Th2 kN	erf As,h,k cm <sup>2</sup>	erf As,v,k cm <sup>2</sup>
1	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
3	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
4	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
5	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
6	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
7	500.00	500.0	500.0	0.0	0.0	0.0	11.5	11.5
8	500.00	500.0	500.0	0.0	0.0	0.0	11.5	11.5

### 3.5. Resultierende horizontale Köcherbewehrung

Erforderliche Bewehrung je Köcherseite erf As,h,Wand = 43.8 / 2 = 21.9 cm<sup>2</sup>

### 3.6. Wahl der Köcherbewehrung

- Gewählt:
- B500A, vertikal für Seite 1 und 2 jeweils  
20 zweischnittige Bügel Ø 12 = 45.2 > 43.8 cm<sup>2</sup>
  - B500A, vertikal für Seite 3 und 4 jeweils  
6 zweischnittige Bügel Ø 12 = 13.6 > 11.5 cm<sup>2</sup>
  - B500A, horizontal je Köcherseitenwand  
10 zweischnittige Bügel Ø 12 = 22.6 > 21.9 cm<sup>2</sup>

### 3.7. Mindesteinbindetiefe

$$\min t = 1.5 \cdot h_{st} = 75.0 \text{ cm} < 95.0 \text{ cm}$$

### 3.8. Verankerung der Stützenlängsbewehrung

Vorhandene Verankerungslänge vorh l<sub>b</sub> = t - c<sub>nom,St,u</sub> = 92.0 cm

#### Grundmaß der Verankerungslänge

Bemessungswert der Stahlspannung (B500A, γ<sub>s</sub> = 1.15) f<sub>yd</sub> = 434.78 N/mm<sup>2</sup>

Bemessungswert der Verbundspannung f<sub>bd</sub>:

° Betonkennwerte (C45/55) f<sub>ctk;0.05</sub> = 2.66 N/mm<sup>2</sup>, γ<sub>c</sub> = 1.50

° gute Verbundbedingungen

$$f_{bd} = 2.25 \cdot f_{ctk;0.05} / \gamma_c = 3.99 \text{ N/mm}^2$$



Grundmaß der Verankerungslänge  $l_b = (d_s/4) \cdot (f_{yd}/f_{bd}) = 27.2 \text{ cm}$

### Verankerung als Druckbewehrung

Gerade Stabenden:  $\alpha_a = 1.0$

Ungünstigstes Verhältnis von erf  $A_{s,Druck}/\text{vorh } A_s = 2.98$

Mindestwert der Verankerungslänge  $l_{b,min} = \max \{ 0.6 \cdot l_b, 10 \cdot d_s \} = 16.3 \text{ cm}$

Erforderliche Verankerungslänge  $l_{b,net} = \max \{ \alpha_a \cdot l_b \cdot A_{s,erf}/A_{s,vorh}, l_{b,min} \} = 81.3 < 92.0 \text{ cm}$

### Verankerung als Biegezugbewehrung

Gerade Stabenden:  $\alpha_a = 1.0$

Ungünstigstes Verhältnis von erf  $A_{s,Zug}/\text{vorh } A_s = 2.98$

Mindestwert der Verankerungslänge  $l_{b,min} = \max \{ 0.3 \cdot \alpha_a \cdot l_b, 10 \cdot d_s \} = 10.0 \text{ cm}$

Erforderliche Verankerungslänge  $l_{b,net} = \max \{ \alpha_a \cdot l_b \cdot A_{s,erf}/A_{s,vorh}, l_{b,min} \} = 81.3 < 92.0 \text{ cm}$

### Übergreifungslänge der Biegezugbewehrung mit den vertikalen Stehbügelschenkeln

Vorhandene Übergreifungslänge  $\text{vorh } l_b = t - C_{nom,St,u} - C_{nom,F,o} = 88.5 \text{ cm}$

Lichter Stababstand  $a_n = a - (d_{s,St} + d_{s,K})/2 = 30.4 \text{ cm}$

Reduzierte Verankerungslänge  $l_{b,net} = \max \{ (T_{v2}/F_s) \cdot l_{b,net}, l_{b,min} \} = 40.7 \text{ cm}$

Beiwert für die Übergreifungslängen für Zugstoß mit  $> 30$ :  $\alpha_1 = 1.4$

Mindestwert der Übergreifungslänge  $l_{s,min} = \max \{ 0.3 \cdot \alpha_a \cdot \alpha_1 \cdot l_b, 15 \cdot d_s, 200 \text{ mm} \} = 20.0 \text{ cm}$

Erforderliche Übergreifungslänge  $l_s = \max \{ l_{b,net} \cdot \alpha_1, l_{s,min} \} + (a_n - 4 \cdot d_s) = 83.3 < 88.5 \text{ cm}$

## 3.9. Verankerung der lotrechten Bügel

### Grundmaß der Verankerungslänge

Bemessungswert der Stahlspannung (B500A,  $\gamma_s = 1.15$ )  $f_{yd} = 434.78 \text{ N/mm}^2$

Bemessungswert der Verbundspannung  $f_{bd}$ :

◦ Betonkennwerte (C30/37)  $f_{ctk;0.05} = 2.03 \text{ N/mm}^2$ ,  $\gamma_c = 1.50$

◦ gute Verbundbedingungen

$f_{bd} = 2.25 \cdot f_{ctk;0.05}/\gamma_c = 3.04 \text{ N/mm}^2$

Grundmaß der Verankerungslänge  $l_b = (d_s/4) \cdot (f_{yd}/f_{bd}) = 42.8 \text{ cm}$

### erforderliche Verankerungslänge

Ungünstigstes Verhältnis von  $A_{s,erf}/A_{s,vorh} = 0.97$

Stabende als Schlaufe, entspr. [3], Tabelle 26 ausgebildet (mit  $d_{br} > 15 d_s$ )  $\alpha_a = 0.5$

Mindestwert der Verankerungslänge  $l_{b,min} = \max \{ 0.3 \cdot \alpha_a \cdot l_b, 10 \cdot d_s \} = 12.0 \text{ cm}$

Erforderliche Verankerungslänge  $l_{b,net} = \max \{ \alpha_a \cdot l_b \cdot A_{s,erf}/A_{s,vorh}, l_{b,min} \} = 20.8 \text{ cm}$

### Übergreifungslänge mit der Stützenlängsbewehrung

Beiwert für die Übergreifungslängen für Zugstoß mit  $> 30$ :  $\alpha_1 = 1.4$

Mindestwert der Übergreifungslänge  $l_{s,min} = \max \{ 0.3 \cdot \alpha_a \cdot \alpha_1 \cdot l_b, 15 \cdot d_s, 200 \text{ mm} \} = 20.0 \text{ cm}$

Erforderliche Übergreifungslänge  $l_s = \max \{ l_{b,net} \cdot \alpha_1, l_{s,min} \} + (a_n - 4 \cdot d_s) = 54.7 < 88.5 \text{ cm}$

$t_x/t_y$  - obere Fugendicke in der jeweiligen Achsrichtung  $t$  - Einbindtiefe der Stütze

## 4. Bemessung der Fundamentplatte

### 4.1. Materialsicherheitsbeiwerte

Bemessungssit.	$\gamma_c$	$\gamma_s$
ständig und vorübergehend	1.50	1.15
Erdbeben	1.50	1.15

### 4.2. Bemessungswerte Stahlbetonbemessung

Die Mobilisierung des Erdwiderstandes wird vernachlässigt.

#### 4.2.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Bemessungssit.	Faktorisierung	LK	Bemessungssit.	Faktorisierung
1	ständig und vorübergehend	Lf1	5	ständig und vorübergehend	Lf1+0.7 · 1.5 · Lf2
2	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1	6	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.7 · 1.5 · Lf2
3	ständig und vorübergehend	Lf1+1.5 · Lf2	7	Erdbeben	Lf1+Lf3
4	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf2	8	Erdbeben	Lf1+Lf3+0.6 · Lf2

#### 4.2.2. Stützenlast

Im Schwerpunkt der Stütze, auf OK Platte

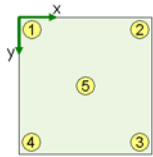
Erhöhungsfaktor für Momente:  $\Delta M_{St,TH,II,0} = M_{St} \cdot 20\%$

(zur Berücksichtigung des Momentenzuwachses aus nichtlinearen Effekten)

LK	N <sub>St,d</sub> kN	H <sub>x,St,d</sub> kN	H <sub>y,St,d</sub> kN	M <sub>x,St,d</sub> kNm	M <sub>y,St,d</sub> kNm	LK	N <sub>St,d</sub> kN	H <sub>x,St,d</sub> kN	H <sub>y,St,d</sub> kN	M <sub>x,St,d</sub> kNm	M <sub>y,St,d</sub> kNm
1	2536.00	-150.00	0.00	0.00	570.00	5	4111.00	-202.50	0.00	0.00	811.50
2	3423.60	-202.50	0.00	0.00	769.50	6	4998.60	-255.00	0.00	0.00	1011.00
3	4786.00	-225.00	0.00	0.00	915.00	7	2536.00	-150.00	500.00	740.00	570.00
4	5673.60	-277.50	0.00	0.00	1114.50	8	3436.00	-180.00	500.00	740.00	708.00

### 4.3. Sohlendruck

Ermittlung der Sohlrücke unter Annahme linearer Bodenspannungen und Zugausfall  
Spannung in den Eckpunkten:  $\sigma_1$  bis  $\sigma_4$ , Spannung im Schwerpunkt:  $\sigma_5$



LK	$\sigma_1$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma_2$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma_3$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma_4$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma_5$ kN/m <sup>2</sup>
1	677.12	170.24	170.24	677.12	423.68
2	914.12	229.83	229.83	914.12	571.97
3	1186.88	380.48	380.48	1186.88	783.68
4	<b>1423.88</b>	440.07	440.07	1423.88	931.97
5	1033.96	317.41	317.41	1033.96	675.68
6	1270.95	377.00	377.00	1270.95	823.97
7	268.38	0.00	564.17	1104.33	416.27
8	480.42	0.00	652.63	1285.43	566.53

### 4.4. Bemessung für Biegung

#### 4.4.1. Längsbewehrung in x-Richtung

Stahlrandabstand oben/unten  $h_{so}/h_{su} = 5.0/5.0$  cm

Momente in den Bemessungsschnitten

LK	x = 65.0 cm kNm	x = 185.0 cm kNm	LK	x = 65.0 cm kNm	x = 185.0 cm kNm
1	324.48	103.18	5	503.33	190.50
2	438.04	139.30	6	616.90	226.62
3	579.98	227.92	7	327.83	108.34
4	<b>693.55</b>	264.04	8	427.40	154.75

Bemessung für LK 4:  $\varepsilon_o/\varepsilon_u = -2.18/27.47\%$  erf  $A_{s,u} = 28.5$  cm<sup>2</sup>

#### 4.4.2. Längsbewehrung in y-Richtung

Stahlrandabstand oben/unten  $h_{so}/h_{su} = 6.0/6.0$  cm

Momente in den Bemessungsschnitten

LK	y = 65.0 cm kNm	y = 185.0 cm kNm	LK	y = 65.0 cm kNm	y = 185.0 cm kNm
1	213.83	213.83	5	346.92	346.92
2	288.67	288.67	6	421.76	421.76
3	403.95	403.95	7	48.14	392.40
4	<b>478.79</b>	478.79	8	117.39	464.99

Bemessung für LK 4:  $\varepsilon_o/\varepsilon_u = -1.72/27.97\%$  erf  $A_{s,u} = 19.9$  cm<sup>2</sup>

#### 4.4.3. Gewählte Bewehrung in x-Richtung

Unten (Verteilung nach [4])

Breite	cm	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3
Verteilung	%	8.0	10.0	14.0	18.0	18.0	14.0	10.0	8.0
erf $A_s$	cm <sup>2</sup>	2.3	2.8	4.0	5.1	5.1	4.0	2.8	2.3
gewählt		<b>3 Ø 12</b>	<b>3 Ø 12</b>	<b>4 Ø 12</b>	<b>5 Ø 12</b>	<b>5 Ø 12</b>	<b>4 Ø 12</b>	<b>3 Ø 12</b>	<b>3 Ø 12</b>
vorh $A_s$	cm <sup>2</sup>	3.4	3.4	4.5	5.7	5.7	4.5	3.4	3.4

Vorhandene untere Bewehrung insgesamt:  $\Sigma A_s = 33.9 > 28.5$  cm<sup>2</sup>

#### 4.4.4. Gewählte Bewehrung in y-Richtung

Unten (Verteilung nach [4])

Breite	cm	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3
Verteilung	%	7.6	10.0	14.0	18.4	18.4	14.0	10.0	7.6
erf $A_s$	cm <sup>2</sup>	1.5	2.0	2.8	3.7	3.7	2.8	2.0	1.5
gewählt		<b>2 Ø 12</b>	<b>2 Ø 12</b>	<b>3 Ø 12</b>	<b>4 Ø 12</b>	<b>4 Ø 12</b>	<b>3 Ø 12</b>	<b>2 Ø 12</b>	<b>2 Ø 12</b>
vorh $A_s$	cm <sup>2</sup>	2.3	2.3	3.4	4.5	4.5	3.4	2.3	2.3

Vorhandene untere Bewehrung insgesamt:  $\Sigma A_s = 24.9 > 19.9$  cm<sup>2</sup>

$\varepsilon_o/\varepsilon_u$  - Dehnungen in den Randfasern (oben/unten)

### 4.5. Durchstanznachweis

#### 4.5.1. Einwirkung im kritischen Rundschnitt

$$V_{Ed,crit} = \beta \cdot V_{Ed,red} / (u_{crit} \cdot d)$$

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}$$

$$\Delta V_{Ed} = A_{crit} (\sigma_{Ed,gd,m} - g_{Ed,Platte})$$

$$\beta = 1 + \sqrt{\left( \frac{k_x \cdot M_{Ed,x} / V_{Ed} \cdot u_{crit} / W_{crit,x}}{W_{crit,x}} \right)^2 + \left( \frac{k_y \cdot M_{Ed,y} / V_{Ed} \cdot u_{crit} / W_{crit,y}}{W_{crit,y}} \right)^2} \geq 1.10$$

$$W_{crit} = \int |e| dl \quad \text{mit } dl: \text{Differential des Umfangs} \\ e: \text{Abstand von } dl \text{ zur Achse von } M_{Ed}$$

#### Beiwert zur Ermittlung der Schubspannungen aus Momentenbeanspruchung

(nach [2], Tabelle 6.1)

$$c_1 = c_2 = 1.2 \Rightarrow k_x = k_y = 0.6$$

## Rechenwerte des kritischen Rundschnittes

LK	a <sub>crit</sub> cm	a/d	u <sub>crit</sub> m	A <sub>crit</sub> m <sup>2</sup>	W <sub>crit,x</sub> m <sup>2</sup>	W <sub>crit,y</sub> m <sup>2</sup>	LK	a <sub>crit</sub> cm	a/d	u <sub>crit</sub> m	A <sub>crit</sub> m <sup>2</sup>	W <sub>crit,x</sub> m <sup>2</sup>	W <sub>crit,y</sub> m <sup>2</sup>
1	30.2	0.56	6.70	3.179	4.3922	4.3922	5	30.5	0.56	6.72	3.198	4.4156	4.4156
2	30.2	0.56	6.70	3.179	4.3922	4.3922	6	30.5	0.56	6.72	3.198	4.4156	4.4156
3	30.5	0.56	6.72	3.198	4.4156	4.4156	7	29.7	0.55	6.67	3.143	4.3455	4.3455
4	30.5	0.56	6.72	3.198	4.4156	4.4156	8	30.0	0.55	6.68	3.161	4.3688	4.3688

## Maßgebende Schubspannung im kritischen Rundschnitt

LK	V <sub>Ed</sub> kN	σ <sub>Ed,gd,m</sub> kN/m <sup>2</sup>	ΔV <sub>Ed</sub> kN	M <sub>Ed,x,Sp</sub> kNm	M <sub>Ed,y,Sp</sub> kNm	β	v <sub>Ed,crit</sub> N/mm <sup>2</sup>
1	2536.00	406.04	1290.93	-0.00	-570.00	1.21	0.411
2	3423.60	548.15	1742.75	-0.00	-769.50	1.21	0.555
3	4786.00	766.28	2450.26	0.00	-915.00	1.17	0.749
4	5673.60	908.39	2904.67	0.00	-1114.50	1.18	0.892
5	4111.00	658.21	2104.69	0.00	-811.50	1.18	0.647
6	4998.60	800.32	2559.10	0.00	-1011.00	1.18	0.789
7	2536.00	405.68	1275.01	740.00	-570.00	1.34	0.465
8	3436.00	550.13	1739.00	740.00	-708.00	1.27	0.593

ΔV<sub>Ed</sub> - Resultierende aus Sohldruck M<sub>Ed,x,Sp</sub>/M<sub>Ed,y,Sp</sub> - Momente bezügl. Schwerpunkt des Rundschnittes

β - Lasterhöhungsfaktor aus exzentrischer Belastung v<sub>Ed,crit</sub> - Maßgebende Schubspannung im kritischen Rundschnitt

## 4.5.2. Durchstanzwiderstand im kritischen Rundschnitt

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot z_{\text{zug}} \cdot f_{ctk})^{1/3} \cdot 2 \cdot d/a \geq v_{\min} \cdot 2 \cdot d/a \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$C_{Rd,c} = 0.15/\gamma_c$$

$$k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2.0 \text{ mit } d \text{ [mm]}$$

$$\rho_{l,\text{zug,max}} = \text{Minimum von } (0.02, 0.5 \cdot f_{ctd}/f_{yd})$$

$$\rho_{l,\text{zug}} = \sqrt{(\rho_{lx,\text{zug}} \cdot \rho_{ly,\text{zug}})} \leq \rho_{l,\text{zug,max}}$$

$$v_{\min} = 0.0525/\gamma_c \cdot k^{3/2} \cdot f_{ctk}^{1/2} \text{ für } d \leq 600 \text{ mm}$$

### Mittlere statische Nutzhöhe

$$d_m = (55 + 54)/2 = 54.5 \text{ cm}$$

### Maßstabsfaktor

$$k = 1 + \sqrt{200/545} = 1.61 < 2$$

### Längsbewehrungsgrad der verankerten Zugbewehrung

Mittelwert aus der Zugbewehrung bis zum Abstand 3d von der Stütze

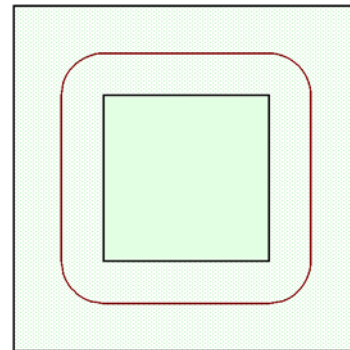
$$a_{s,x,3d} = 33.9/2.5 = 13.56 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$a_{s,y,3d} = 24.9/2.5 = 9.94 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{lx,\text{zug}} = 13.56/55 \cdot 10^{-2} = 0.00247$$

$$\rho_{ly,\text{zug}} = 9.94/54 \cdot 10^{-2} = 0.00184$$

$$\rho_{l,\text{zug}} = \sqrt{0.00247 \cdot 0.00184} = 0.00213$$



### 4.5.2.1. Bemessungssituation ständig und vorübergehend (LK 4)

$$C_{Rd,c} = 0.15/1.5 = 0.1$$

$$\rho_{l,\text{zug,max}} = \text{Minimum von } (0.02, 0.5 \cdot 17/434.78) = 0.0195 > 0.0021$$

$$v_{\min} \cdot 2 \cdot d/a = 0.0525/1.5 \cdot 1.61^{3/2} \cdot 30^{0.5} \cdot 2 \cdot 54.5/30.5 = 1.393 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Rd,c} = 0.1 \cdot 1.61 \cdot (100 \cdot 0.00213 \cdot 30)^{1/3} \cdot 2 \cdot 54.5/30.5 = 1.064 \text{ N/mm}^2 < 1.393 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow v_{Rd,c} = 1.393 \text{ N/mm}^2$$

0.892 N/mm<sup>2</sup> < 1.393 N/mm<sup>2</sup> ⇒ keine zusätzliche Bewehrung erforderlich

### 4.5.2.2. Bemessungssituation Erdbeben (LK 8)

$$C_{Rd,c} = 0.15/1.5 = 0.1$$

$$\rho_{l,\text{zug,max}} = \text{Minimum von } (0.02, 0.5 \cdot 17/434.78) = 0.0195 > 0.0021$$

$$v_{\min} \cdot 2 \cdot d/a = 0.0525/1.5 \cdot 1.61^{3/2} \cdot 30^{0.5} \cdot 2 \cdot 54.5/30 = 1.418 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Rd,c} = 0.1 \cdot 1.61 \cdot (100 \cdot 0.00213 \cdot 30)^{1/3} \cdot 2 \cdot 54.5/30 = 1.084 \text{ N/mm}^2 < 1.418 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow v_{Rd,c} = 1.418 \text{ N/mm}^2$$

0.593 N/mm<sup>2</sup> < 1.418 N/mm<sup>2</sup> ⇒ keine zusätzliche Bewehrung erforderlich

## 5. Drehfeder des Systems Fundament-Baugrund

Ermittlung der Drehfederkonstante mit Hilfe des Bettungsmodules.

$$c_{v,x} = k_s \cdot l_x$$

$$c_{v,y} = k_s \cdot l_y$$

Abschätzung des Bettungsmodules nach [5]

$$k_s = E_s / (f \cdot (b_x \cdot b_y)^{0.5})$$

mit Formfaktor f abhängig vom Seitenverhältnis: 1:1 -> f = 0.45, 1:2 -> f = 0.42, 1:4 -> f = 0.35

Abschätzung fuer Grenztiefe mit  $d_s = 2 \cdot b_{\min} = 2 \cdot 2.50 = 5.00\text{m}$

Gewogenes Mittel fuer Zusammendrückungsmodul bis zur Grenztiefe  $E_{m,ca1} = 75800.00 \text{ kN/m}^2$

Annahme für Korrekturfaktor  $\kappa = 1$

Steifeziffer  $E_s = 1 \cdot 75800.00 = 75800.00 \text{ kN/m}^2$

Formfaktor  $f = 1.00$

Bettungsmodul  $k_s = 30320.00 \text{ kN/m}^3$

Trägheitsmoment  $I_x / I_y = 3.26 / 3.26 \text{ kN/m}^3$

Drehfeder um die x-Achse  $c_{v,x} = 98697.92 \text{ kNm}$

Drehfeder um die y-Achse  $c_{v,y} = 98697.92 \text{ kNm}$

## 6. Zusammenfassung

Alle geführten Nachweise und Bemessungen konnten erfolgreich durchgeführt werden.

Längsbewehrung x-Richtung erf $A_{s,x}$ = 28.5 cm <sup>2</sup>	= 19.9 cm <sup>2</sup>	Drehfeder um die y-Achse $c_{v,Y}$ = 98697.92 kNm
Längsbewehrung y-Richtung erf $A_{s,y}$	Drehfeder um die x-Achse $c_{v,X}$ = 98697.92 kNm	

### Literatur und Normen:

- [1] Deutscher Betonverein: Beispiele zur Bemessung nach DIN 1045-1, Band 1, Ernst & Sohn, 3.Aufl. 2009
- [2] DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1, Januar 2011
- [3] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion, August 2008
- [4] DAFStb Heft 240: Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgr. und Formänderungen von Stahlbetontragwerken, Beuth, 3.Aufl., 1991
- [5] Rausch, E.: Maschinenfundamente, Betonkalender 1973, Teil 2, Ernst & Sohn