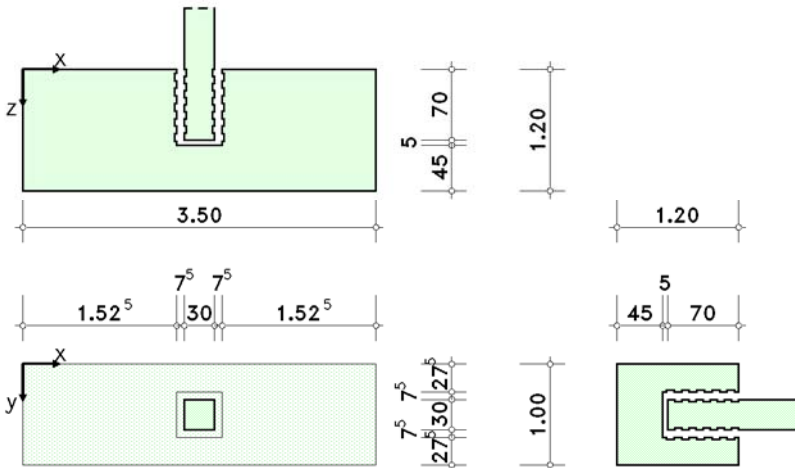


Einzelfundament mit Köcher

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

Maßstab 1:75, Profilierung nicht maßstäblich



Fundament:

Betonfestigkeitsklasse C30/37

Betonstahlsorte B500A

Stütze:

Betonfestigkeitsklasse C35/45

Betonstahlsorte B500A

1. Bodensituation

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

Der Grundwasserstand (unter OK Boden) liegt bei $t_w = 1.00$ m.

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

1: Ständig

ständige Lasten

additiv

2: Nutzlasten

4: Nutzlast

sonstige veränderliche Einwirkungen

additiv

3: Windlasten

7: Wind +x-Richtung

8: Wind -x-Richtung

veränderliche Windlasten

alternativ in Gruppe A

alternativ in Gruppe A

4: Schneelast

9: Schnee

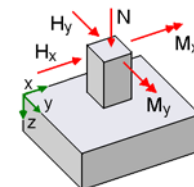
veränderliche Schneelasten

additiv

2.2. Charakteristische Stützenlast

Angriffspunkt im Schwerpunkt der Stütze auf OK Fundamentplatte

Lastf.	N _{st} kN	H _{x,St} kN	H _{y,St} kN	M _{x,St} kNm	M _{y,St} kNm
1	200.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	100.00	0.00	0.00	0.00	55.00
7	0.00	36.00	0.00	0.00	-60.00
8	0.00	-36.00	0.00	0.00	60.00
9	80.00	0.00	0.00	0.00	50.00



2.3. Einschränkungen für die Lastkombination

- Mindestens ein Lastfall der führenden Einwirkung muß ungünstig wirken.
- Folgende Lastfälle wirken immer ungünstig: 1

2.4. Eigengewicht

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

Die Resultierende aus Eigengewicht in der Bodenfuge beträgt $N_{0,Eigen,k} = 105.00 \text{ kN}$.

Das Eigengewicht wird im Lastfall 1 mit berücksichtigt.

3. Kraftübertragung von der Stütze auf das Fundament

Bemessung mit einem Stabwerksmodell nach [1], Abschnitt 11:

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

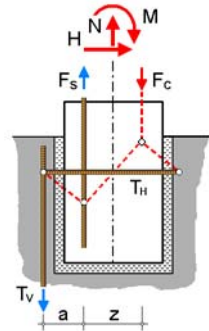
Lotrechte Zugkraft aus Stützenszugkraft F_s und Bew.versatz $T_v = F_s \cdot z / (a+z)$

Horizontale Zugkraft aus Stützenszugkraft F_s und Bew.versatz $T_h = T_v / \tan \theta$

Vertikale Bewehrung $\text{erf } A_{s,V} = T_v / (f_{yd,K})$

Horizontale Bewehrung $\text{erf } A_{s,h} = T_h / (f_{yd,K})$

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	1.35 · Lf1+1.5 · Lf4
2	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf4+0.6 · 1.5 · Lf7
3	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf4+0.5 · 1.5 · Lf9
4	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf4+0.6 · 1.5 · Lf7+0.5 · 1.5 · Lf9
5	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf4+0.6 · 1.5 · Lf8
6	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf4+0.6 · 1.5 · Lf8+0.5 · 1.5 · Lf9
7	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf7
8	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+1.5 · Lf7
9	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf7+0.5 · 1.5 · Lf9
10	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+1.5 · Lf7+0.5 · 1.5 · Lf9
11	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf8
12	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+1.5 · Lf8
13	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf8+0.5 · 1.5 · Lf9
14	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+1.5 · Lf8+0.5 · 1.5 · Lf9
15	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf9
16	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+1.5 · Lf9
17	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.6 · 1.5 · Lf7+1.5 · Lf9
18	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+0.6 · 1.5 · Lf7+1.5 · Lf9
19	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.6 · 1.5 · Lf8+1.5 · Lf9
20	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+0.6 · 1.5 · Lf8+1.5 · Lf9

3.1.2. Stützenlast

Erhöhungsfaktor für Momente: $\Delta M_{St,TH,II,0} = M_{St} \cdot 20\%$
(zur Berücksichtigung des Momentenzuwachses aus nichtlinearen Effekten)

LK	N _{st,d} kN	H _{x,St,d} kN	H _{y,St,d} kN	M _{x,St,d} kNm	M _{y,St,d} kNm	LK	N _{st,d} kN	H _{x,St,d} kN	H _{y,St,d} kN	M _{x,St,d} kNm	M _{y,St,d} kNm
1	420.00	0.00	0.00	0.00	99.00	11	270.00	-54.00	0.00	0.00	108.00
2	420.00	32.40	0.00	0.00	34.20	12	390.00	-54.00	0.00	0.00	187.20
3	480.00	0.00	0.00	0.00	144.00	13	330.00	-54.00	0.00	0.00	153.00
4	480.00	32.40	0.00	0.00	79.20	14	450.00	-54.00	0.00	0.00	232.20
5	420.00	-32.40	0.00	0.00	163.80	15	390.00	0.00	0.00	0.00	90.00
6	480.00	-32.40	0.00	0.00	208.80	16	510.00	0.00	0.00	0.00	169.20
7	270.00	54.00	0.00	0.00	-108.00	17	390.00	32.40	0.00	0.00	25.20
8	390.00	54.00	0.00	0.00	-28.80	18	510.00	32.40	0.00	0.00	104.40
9	330.00	54.00	0.00	0.00	-63.00	19	390.00	-32.40	0.00	0.00	154.80
10	450.00	54.00	0.00	0.00	16.20	20	510.00	-32.40	0.00	0.00	234.00

3.2. Eingangswerte

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

Obere Fugendicke $t_{Fx}/t_{Fy} = 7.5/7.5 \text{ cm}$

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

Vorhandene Stützenlängsbewehrung

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

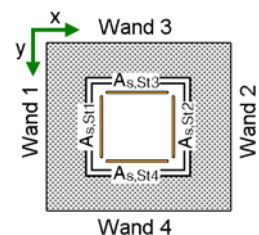
◦ Seite 3 und 4: $A_{s,St,3} = A_{s,St,4} = 25.1 \text{ cm}^2$

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 ²	As,St,Druck cm ²	As,St,Zug cm ²	LK	As,st (je Seite) cm ²	As,St,Druck cm ²	As,St,Zug cm ²
1	6.0	6.0	6.0	11	8.5	8.5	8.5
2	-	-	-	12	16.6	16.6	16.6
3	10.8	10.8	10.8	13	13.2	13.2	13.2
4	3.2	3.2	3.2	14	21.3	21.3	21.3
5	13.6	13.6	13.6	15	5.2	5.2	5.2
6	18.3	18.3	18.3	16	13.4	13.4	13.4
7	8.5	-	8.5	17	-	-	-
8	-	-	-	18	5.9	5.9	5.9
9	2.7	-	2.7	19	12.8	12.8	12.8
10	-	-	-	20	20.9	20.9	20.9

$$a = d_{1,st} + t_{F,x} + d_{1,k} = 16.5 \text{ cm}$$

$$z = \max\{ 0.9 \cdot (h_{st,x} - d_1); (h_{st,x} - 2 \cdot d_1) \} = 22.5 \text{ cm}$$

Erforderliche Köcherbewehrung

LK	F _s kN	T _v kN	T _h kN	erf As,h,k cm ²	erf As,v,k cm ²
1	261.9	151.1	151.1	3.5	3.5
2	0.0	0.0	0.0	-	-
3	467.7	269.8	269.8	6.2	6.2
4	138.7	80.0	80.0	1.8	1.8
5	590.7	340.8	340.8	7.8	7.8
6	794.8	458.5	458.5	10.5	10.5
7	370.6	213.8	213.8	4.9	4.9
8	0.0	0.0	0.0	-	-
9	115.9	66.9	66.9	1.5	1.5
10	0.0	0.0	0.0	-	-
11	370.6	213.8	213.8	4.9	4.9
12	721.0	415.9	415.9	9.6	9.6
13	572.6	330.4	330.4	7.6	7.6
14	924.2	533.2	533.2	12.3	12.3
15	228.0	131.5	131.5	3.0	3.0
16	584.1	337.0	337.0	7.8	7.8
17	0.0	0.0	0.0	-	-
18	256.5	148.0	148.0	3.4	3.4
19	557.1	321.4	321.4	7.4	7.4
20	910.3	525.2	525.2	12.1	12.1

3.4. Bemessung in y/z-Ebene

Keine Belastung des Köchers in dieser Richtung.

3.5. Wahl der Köcherbewehrung

Gewählt: B500A, vertikal für Seite 1 und 2 jeweils
11 Ø 12 = 12.4 > 12.3 cm²

B500A, horizontale Umfassungsbügel
6 zweischnittige Bügel Ø 12 = 13.6 > 12.3 cm²

3.6. Mindesteinbindetiefe

$$\min t = 1.5 \cdot h_{st} = 45.0 \text{ cm} < 70.0 \text{ cm}$$

3.7. Verankerung der Stützenlängsbewehrung

Vorhandene Verankerungslänge vorh $l_b = t - c_{nom,St,u} = 67.0 \text{ cm}$

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 (C35/45) $f_{ctk;0.05} = 2.24 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.50$

◦ gute Verbundbedingungen

◦ Erhöhung der Verbundspannung um 50%, da eine allseitige, durch Bewehrung gesicherte Betondeckung > 10 d_s vorhanden ist (durch die Vergussfuge ist diese Betondeckung gesichert)

$$f_{bd} = 2.25 \cdot f_{ctk;0.05} / \gamma_c \cdot 1.5 = 5.04 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Grundmaß der Verankerungslänge } l_b = (d_s/4) \cdot (f_{yd}/f_{bd}) = 21.6 \text{ cm}$$

Verankerung als Druckbewehrung

Gerade Stabenden: $\alpha_a = 1.0$

Ungünstigstes Verhältnis von erf $A_{s,Druck}$ /vorh $A_s = 0.85$

Mindestwert der Verankerungslänge $l_{b,min} = \max\{ 0.6 \cdot l_b, 10 \cdot d_s \} = 12.9 \text{ cm}$

Erforderliche Verankerungslänge $l_{b,net} = \max\{ \alpha_a \cdot l_b \cdot A_{s,erf}/A_{s,vorh}, l_{b,min} \} = 18.3 < 67.0 \text{ cm}$

Verankerung als Biegezugbewehrung

Gerade Stabenden: $\alpha_a = 1.0$

Ungünstigstes Verhältnis von erf $A_{s,Zug}/\text{vorh } A_s = 0.85$

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 $l_{b,net} = \max \{ \alpha_a \cdot l_b \cdot A_{s,erf}/A_{s,vorh}, l_{b,min} \} = 18.3 < 67.0 \text{ cm}$

Übergreifungslänge der Biegezugbewehrung mit den vertikalen Stehbügelschenkeln

Vorhandene Übergreifungslänge $\text{vorh } l_b = t - c_{nom,St,u} - c_{nom,F,o} = 63.5 \text{ cm}$

Lichter Stababstand $a_n = a - (d_{s,St} + d_{s,K})/2 = 15.4 \text{ cm}$

Reduzierte Verankerungslänge $l_{b,net} = \max \{ (T_{v2}/F_s) \cdot l_{b,net}, l_{b,min} \} = 10.5 \text{ cm}$

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 $l_s = \max \{ l_{b,net} \cdot \alpha_1, l_{s,min} \} + (a_n - 4 \cdot d_s) = 31.4 < 63.5 \text{ cm}$

3.8. 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

◦ Erhöhung der Verbundspannung um 50%, da eine allseitige, durch Bewehrung gesicherte Betondeckung $> 10 d_s$ vorhanden ist

$f_{bd} = 2.25 \cdot f_{ctk;0.05} / \gamma_c \cdot 1.5 = 4.57 \text{ N/mm}^2$

Grundmaß der Verankerungslänge $l_b = (d_s/4) \cdot (f_{yd}/f_{bd}) = 28.6 \text{ cm}$

erforderliche Verankerungslänge

Ungünstigstes Verhältnis von $A_{s,erf}/A_{s,vorh} = 0.99$

Gerade Stabenden: $\alpha_a = 1.0$

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 $l_{b,net} = \max \{ \alpha_a \cdot l_b \cdot A_{s,erf}/A_{s,vorh}, l_{b,min} \} = 28.2 \text{ cm}$

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 $l_s = \max \{ l_{b,net} \cdot \alpha_1, l_{s,min} \} + (a_n - 4 \cdot d_s) = 50.0 < 63.5 \text{ cm}$

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

4. Bemessung der Fundamentplatte

4.1. Material sicherheitsbeiwerte

Bemessungssit.	γ_c	γ_s
ständig und vorübergehend	1.50	1.15

4.2. Bemessungswerte Stahlbetonbemessung

Die Mobilisierung des Erdwiderstandes wird vernachlässigt.

4.2.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Bemessungssit.	Faktorisierung
1	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf4
2	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf4+0.6 · 1.5 · Lf7
3	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf4+0.5 · 1.5 · Lf9
4	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf4+0.6 · 1.5 · Lf7+0.5 · 1.5 · Lf9
5	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf4+0.6 · 1.5 · Lf8
6	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf4+0.6 · 1.5 · Lf8+0.5 · 1.5 · Lf9
7	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf7
8	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+1.5 · Lf7
9	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf7+0.5 · 1.5 · Lf9
10	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+1.5 · Lf7+0.5 · 1.5 · Lf9
11	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf8
12	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+1.5 · Lf8
13	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf8+0.5 · 1.5 · Lf9
14	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+1.5 · Lf8+0.5 · 1.5 · Lf9
15	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+1.5 · Lf9
16	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+1.5 · Lf9
17	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.6 · 1.5 · Lf7+1.5 · Lf9
18	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+0.6 · 1.5 · Lf7+1.5 · Lf9
19	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.6 · 1.5 · Lf8+1.5 · Lf9
20	ständig und vorübergehend	1.35 · Lf1+0.8 · 1.5 · Lf4+0.6 · 1.5 · Lf8+1.5 · Lf9

4.2.2. Stützenlast

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

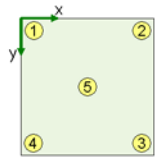
(zur Berücksichtigung des Momentenzuwachses aus nichtlinearen Effekten)

LK	N _{st,d} kN	H _{x,St,d} kN	H _{y,St,d} kN	M _{x,St,d} kNm	M _{y,St,d} kNm	LK	N _{st,d} kN	H _{x,St,d} kN	H _{y,St,d} kN	M _{x,St,d} kNm	M _{y,St,d} kNm
1	420.00	0.00	0.00	0.00	99.00	5	420.00	-32.40	0.00	0.00	163.80
2	420.00	32.40	0.00	0.00	34.20	6	480.00	-32.40	0.00	0.00	208.80
3	480.00	0.00	0.00	0.00	144.00	7	270.00	54.00	0.00	0.00	-108.00
4	480.00	32.40	0.00	0.00	79.20	8	390.00	54.00	0.00	0.00	-28.80

LK	N _{St,d} kN	H _{x,St,d} kN	H _{y,St,d} kN	M _{x,St,d} kNm	M _{y,St,d} kNm	LK	N _{St,d} kN	H _{x,St,d} kN	H _{y,St,d} kN	M _{x,St,d} kNm	M _{y,St,d} kNm
9	330.00	54.00	0.00	0.00	-63.00	15	390.00	0.00	0.00	0.00	90.00
10	450.00	54.00	0.00	0.00	16.20	16	510.00	0.00	0.00	0.00	169.20
11	270.00	-54.00	0.00	0.00	108.00	17	390.00	32.40	0.00	0.00	25.20
12	390.00	-54.00	0.00	0.00	187.20	18	510.00	32.40	0.00	0.00	104.40
13	330.00	-54.00	0.00	0.00	153.00	19	390.00	-32.40	0.00	0.00	154.80
14	450.00	-54.00	0.00	0.00	232.20	20	510.00	-32.40	0.00	0.00	234.00

4.3. Sohldruck

Ermittlung der Sohlrücke unter Annahme linearer Bodenspannungen und Zugausfall
Spannung in den Eckpunkten: σ_1 bis σ_4 , Spannung im Schwerpunkt: σ_5



LK	σ_1 kN/m ²	σ_2 kN/m ²	σ_3 kN/m ²	σ_4 kN/m ²	σ_5 kN/m ²
1	208.99	112.01	112.01	208.99	160.50
2	158.21	162.79	162.79	158.21	160.50
3	248.17	107.11	107.11	248.17	177.64
4	197.39	157.89	157.89	197.39	177.64
5	259.77	61.23	61.23	259.77	160.50
6	298.96	56.33	56.33	298.96	177.64
7	33.01	202.28	202.28	33.01	117.64
8	106.08	197.77	197.77	106.08	151.93
9	72.19	197.38	197.38	72.19	134.79
10	145.27	192.88	192.88	145.27	169.07
11	202.28	33.01	33.01	202.28	117.64
12	275.36	28.50	28.50	275.36	151.93
13	241.46	28.11	28.11	241.46	134.79
14	314.54	23.60	23.60	314.54	169.07
15	196.01	107.85	107.85	196.01	151.93
16	269.09	103.34	103.34	269.09	186.21
17	145.23	158.63	158.63	145.23	151.93
18	218.31	154.12	154.12	218.31	186.21
19	246.79	57.06	57.06	246.79	151.93
20	319.87	52.56	52.56	319.87	186.21

4.4. Bemessung für Biegung

4.4.1. Längsbewehrung in x-Richtung

Stahlrandabstand oben/unten $h_{so}/h_{su} = 7.0/7.0$ cm

Momente in den Bemessungsschnitten

LK	x = 175.0 cm ¹⁾ kNm	x = 80.0 cm kNm	x = 270.0 cm kNm	LK	x = 175.0 cm ¹⁾ kNm	x = 80.0 cm kNm	x = 270.0 cm kNm
1	217.50	51.55	25.25	11	194.40	47.64	1.73
2	170.32	37.78	39.02	12	282.00	69.14	2.18
3	264.00	63.02	24.76	13	240.90	59.11	1.24
4	212.16	49.24	38.53	14	328.50	80.60	1.69
5	269.34	65.33	11.47	15	201.00	47.61	23.70
6	315.84	76.79	10.98	16	288.60	69.11	24.15
7	194.38	1.73	47.64	17	162.82	33.84	37.47
8	202.78	23.22	48.09	18	236.76	55.33	37.92
9	195.88	13.19	47.15	19	252.84	61.39	9.93
10	204.28	34.69	47.60	20	340.44	82.88	10.38

1) ausgerundetes Moment unter Stützenmittelpunkt

Bemessung für LK 20: $\varepsilon_o/\varepsilon_u = -1.00/26.61\%$ erf $A_{s,u} = 6.7$ cm²

4.4.2. Längsbewehrung in y-Richtung

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

Momente in den Bemessungsschnitten

LK	y = 50.0 cm ¹⁾ kNm	LK	y = 50.0 cm ¹⁾ kNm	LK	y = 50.0 cm ¹⁾ kNm	LK	y = 50.0 cm ¹⁾ kNm
1	36.75	6	42.00	11	23.63	16	44.63
2	36.75	7	23.62	12	34.13	17	34.13
3	42.00	8	34.13	13	28.88	18	44.63
4	42.00	9	28.88	14	39.37	19	34.13
5	36.75	10	39.38	15	34.13	20	44.63

1) ausgerundetes Moment unter Stützenmittelpunkt

Bemessung für LK 20: $\varepsilon_o/\varepsilon_u = -0.17/26.09\%$ erf $A_{s,u} = 0.8$ cm²

4.4.3. Gewählte Bewehrung in x-Richtung

Oben B500A, gleichmäßig zu verteilen
 1 Ø 12 = 1.1 cm² (konstruktiv)

Unten B500A, gleichmäßig zu verteilen
 20 Ø 12 = 22.6 > 6.7 cm²

4.4.4. Gewählte Bewehrung in y-Richtung

Unten B500A, gleichmäßig zu verteilen
 6 Ø 12 = 6.8 > 0.8 cm²

$\epsilon_{0/\epsilon_{1U}}$ - Dehnungen in den Randfasern (oben/unten)

4.5. Durchstanznachweis

4.5.1. Einwirkung im kritischen Rundschnitt

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

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

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

$$\beta = 1 + k M_{Ed} / V_{Ed} \cdot u_{crit} / W_{crit} \geq 1.10$$

$$W_{crit} = \int |e| dl \quad \text{mit } dl: \text{Differential des Umfangs}$$

e : Abstand von dl zur Achse von M_{Ed}

Beiwert zur Ermittlung der Schubspannungen aus Momentenbeanspruchung

(nach [2], Tabelle 6.1)

$$c_1 = c_2 = 0.3 \Rightarrow k_x = k_y = 0.6$$

Rechenwerte des kritischen Rundschnittes

LK	a_{crit} cm	a/d -	u_{crit} m	A_{crit} m ²	$W_{crit,y}$ m ²	LK	a_{crit} cm	a/d -	u_{crit} m	A_{crit} m ²	$W_{crit,y}$ m ²
1	25.1	0.22	2.78	0.589	0.7735	11	23.4	0.20	2.67	0.542	0.7139
2	29.1	0.25	3.03	0.704	0.9214	12	23.4	0.20	2.67	0.542	0.7139
3	23.9	0.21	2.70	0.557	0.7335	13	23.4	0.20	2.67	0.542	0.7139
4	26.8	0.23	2.88	0.637	0.8353	14	23.4	0.20	2.67	0.542	0.7139
5	23.4	0.20	2.67	0.542	0.7139	15	25.1	0.22	2.78	0.589	0.7735
6	23.4	0.20	2.67	0.542	0.7139	16	23.4	0.20	2.67	0.542	0.7139
7	23.4	0.20	2.67	0.542	0.7139	17	29.6	0.26	3.06	0.722	0.9436
8	29.1	0.25	3.03	0.704	0.9214	18	25.6	0.22	2.81	0.604	0.7938
9	26.2	0.23	2.85	0.621	0.8144	19	23.4	0.20	2.67	0.542	0.7139
10	31.9	0.28	3.21	0.793	1.0349	20	23.4	0.20	2.67	0.542	0.7139

Maßgebende Schubspannung im kritischen Rundschnitt

LK	V_{Ed} kN	$\sigma_{Ed,gd,m}$ kN/m ²	ΔV_{Ed} kN	$M_{Ed,y,Sp}$ kNm	β -	$v_{Ed,crit}$ N/mm ²
1	420.00	120.09	70.68	-99.00	1.51	0.166
2	420.00	120.09	84.58	-34.20	1.16	0.113
3	480.00	137.25	76.49	-144.00	1.66	0.218
4	480.00	137.24	87.42	-79.20	1.34	0.160
5	420.00	120.10	65.09	-163.80	1.87	0.219
6	480.00	137.25	74.39	-208.80	1.98	0.263
7	270.00	77.21	41.85	108.00	1.90	0.142
8	390.00	111.51	78.54	28.80	1.15	0.103
9	330.00	94.36	58.56	63.00	1.40	0.117
10	450.00	128.66	102.04	-16.20	1.10	0.105
11	270.00	77.21	41.85	-108.00	1.90	0.142
12	390.00	111.52	60.45	-187.20	2.08	0.225
13	330.00	94.37	51.15	-153.00	2.04	0.187
14	450.00	128.67	69.74	-232.20	2.16	0.270
15	390.00	111.52	65.64	-90.00	1.50	0.153
16	510.00	145.83	79.04	-169.20	1.74	0.247
17	390.00	111.51	80.47	-25.20	1.13	0.100
18	510.00	145.82	88.15	-104.40	1.44	0.189
19	390.00	111.52	60.45	-154.80	1.89	0.205
20	510.00	145.83	79.04	-234.00	2.03	0.287

ΔV_{Ed} - Resultierende aus Sohldruck $M_{Ed,x,Sp}/M_{Ed,y,Sp}$ - Momente bezügl. Schwerpunkt des Rundschnittes

β - Lasterhöhungsfaktor aus exzentrischer Belastung $v_{Ed,crit}$ - Maßgebende Schubspannung im kritischen Rundschnitt

4.5.2. Durchstanzwiderstand im kritischen Rundschnitt

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_{l,zug} \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot 2 \cdot d/a \geq v_{min} \cdot 2 \cdot d/a \quad [N/mm^2]$$

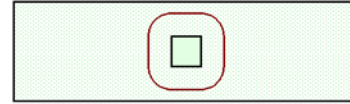
$$C_{Rd,c} = 0.15/\gamma_c$$

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

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

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

$$v_{min} = 0.0375/\gamma_c \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \text{ für } d \geq 800 \text{ mm}$$



Mittlere statische Nutzhöhe

$$d_m = (113 + 115)/2 = 114 \text{ cm}$$

Maßstabsfaktor

$$k = 1 + \sqrt{200/1140} = 1.42 < 2$$

Längsbewehrungsgrad der verankerten Zugbewehrung

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

$$a_{s,x,3d} = 22.6/1 = 22.62 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$a_{s,y,3d} = 6.8/3.5 = 1.94 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{lx,zug} = 22.62/113 \cdot 10^{-2} = 0.002$$

$$\rho_{ly,zug} = 1.94/115 \cdot 10^{-2} = 0.00017$$

$$\rho_{l,zug} = \sqrt{0.002 \cdot 0.00017} = 0.00058$$

Durchstanzwiderstand ohne Durchstanzbewehrung

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

$$\rho_{l,zug,max} = \text{Minimum von } (0.02, 0.5 \cdot 17/434.78) = 0.0195 > 0.0006$$

$$v_{min} \cdot 2 \cdot d/a = 0.0375/1.5 \cdot 1.42^{3/2} \cdot 30^{0.5} \cdot 2 \cdot 114/23.4 = 2.258 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,c} = 0.1 \cdot 1.42 \cdot (100 \cdot 0.00058 \cdot 30)^{1/3} \cdot 2 \cdot 114/23.4 = 1.666 \text{ N/mm}^2 < 2.258 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow v_{Rd,c} = 2.258 \text{ N/mm}^2$$

$$0.287 \text{ N/mm}^2 < 2.258 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \text{keine zusätzliche Bewehrung erforderlich}$$

4.6. Durchstanznachweis im Bauzustand

$$\text{Bemessungswert der Belastung: } V_{Ed, \text{Montage}} = 100.00 \text{ kN}$$

4.6.1. Einwirkung im kritischen Rundschnitt

$$V_{Ed,crit} = \beta \cdot V_{Ed} / (u_1 \cdot d)$$

$$\beta = 1 + k \cdot M_{Ed} / V_{Ed} \cdot u_1 / W_1 \geq 1.10$$

$$W_1 = \int |e| \cdot dl \text{ mit } dl: \text{Differential des Umfangs}$$

e: Abstand von dl zur Achse von M_{Ed}

Abstand und Umfang des kritischen Rundschnittes

$$a_{r,1} = 2 \cdot d = 78 \text{ cm} \Rightarrow u_1 = 6.1 \text{ m}$$

Lasterhöhungsfaktor bei zentrischer Belastung

$$\beta = \beta_{min} = 1.1$$

Maßgebende Schubspannung im kritischen Rundschnitt

LK	V_{Ed} kN	β -	$v_{Ed,crit}$ N/mm ²
1	100.00	1.10	0.046

$M_{Ed,x,Sp}/M_{Ed,y,Sp}$ - Momente bezügl. Schwerpunkt des Rundschnittes β - Lasterhöhungsfaktor aus exzentrischer Belastung
 $v_{Ed,crit}$ - Maßgebende Schubspannung im kritischen Rundschnitt

4.6.2. Durchstanzwiderstand im kritischen Rundschnitt

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_{l,zug} \cdot f_{ck})^{1/3} \geq v_{min} \quad [N/mm^2]$$

$$C_{Rd,c} = 0.18/\gamma_c \cdot (0.1 \cdot u_0/d + 0.6) \geq 0.15/\gamma_c$$

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

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

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

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

Mittlere statische Nutzhöhe

$$d_m = (38 + 40)/2 = 39 \text{ cm}$$

Maßstabsfaktor

$$k = 1 + \sqrt{200/390} = 1.72 < 2$$

Längsbewehrungsgrad der verankerten Zugbewehrung

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

$$a_{s,x,3d} = 22.6/1 = 22.62 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$a_{s,y,3d} = 5.1/2.64 = 1.94 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{lx,zug} = 22.62/38 \cdot 10^{-2} = 0.00595$$

$$\rho_{ly,zug} = 1.94/40 \cdot 10^{-2} = 0.00049$$

$$\rho_{l,zug} = \sqrt{0.00595 \cdot 0.00049} = 0.0017$$

Durchstanzwiderstand ohne Durchstanzbewehrung

$$u_0/d = 1.2/0.39 = 3.08 < 4$$

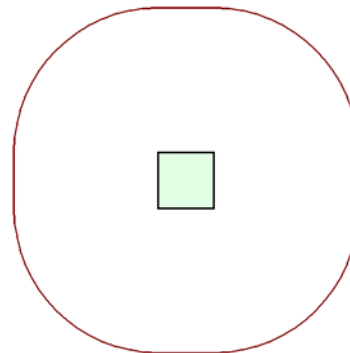
$$C_{Rd,c} = 0.18/1.5 \cdot (0.1 \cdot 3.08 + 0.6) = 0.109 > 0.15/1.5$$

$$\rho_{l,zug,max} = \text{Minimum von } (0.02, 0.5 \cdot 17/434.78) = 0.0195 > 0.0017$$

$$v_{min} = 0.0525/1.5 \cdot 1.72^{3/2} \cdot 30^{0.5} = 0.431 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,c} = 0.109 \cdot 1.72 \cdot (100 \cdot 0.0017 \cdot 30)^{1/3} = 0.322 \text{ N/mm}^2 < 0.431 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow v_{Rd,c} = 0.431 \text{ N/mm}^2$$

$$0.046 \text{ N/mm}^2 < 0.431 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \text{keine zusätzliche Bewehrung erforderlich}$$



4.6.3. Mindestbewehrung zur Vermeidung eines fortschreitenden Versagens

entsprechend [3] Abschn. 9.4.1 (3), NCI

$$\min A_s = V_{Ed,1.0} / f_{yk}$$

Anteil der unteren Feldebewehrung, der im Bereich der Lasteinleitung durchzuführen ist:

$$V_{Ed,1.0} \approx 100.00 / 1.4 = 71.43 \text{ kN}$$

$$\min A_s = 0.071 \cdot 10^4 / 500 = 1.43 \text{ cm}^2$$

5. Zusammenfassung

Alle geführten Nachweise und Bemessungen konnten erfolgreich durchgeführt werden.

Längsbewehrung x-Richtung

erf $A_{s,x}$

$$= 6.7 \text{ cm}^2$$

Längsbewehrung y-Richtung

erf $A_{s,y}$

$$= 0.8 \text{ cm}^2$$

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 EN 1992-1-1/NA: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2, Teil 1-1, April 2013