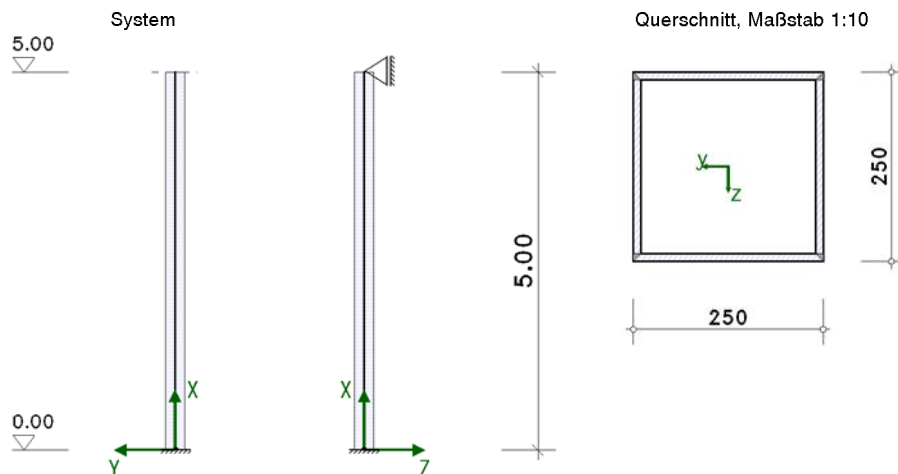


Stahlstütze

Bemessung nach DIN EN 1993-1-1:2010-12 mit NA-Deutschland (DIN EN 1993-1-1/NA:2022-10)



Stahlgüte S355

Abmessungen des Querschnittes (Benutzerdef., Rechteckrohr, geschweißt, warmgefertigt):

Profilhöhe $h = 250.0 \text{ mm}$
 Flanscbreite $b = 250.0 \text{ mm}$
 Stegdicke $t_w = 10.0 \text{ mm}$
 Flanscdicke $t_f = 10.0 \text{ mm}$
 Stumpfnah (durchgeschweißt, DHV-Naht)

Lagersituation an Kopf- und Fußende

Lager	Querkraft		Moment	
	C_{QY} kN/m	C_{QZ} kN/m	C_{MY} kNm/-	C_{MZ} kNm/-
Kopf	----	fest	----	----
Fuß	fest	fest	fest	fest

1. Belastung

1.1. 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	additiv
4: Nutzlast	veränderliche Nutzlasten in Lagerräumen
2: Nutzlast	additiv
9: Wind	veränderliche Windlasten
3: Y-Richtung	alternativ in Gruppe A
4: Z-Richtung	alternativ in Gruppe A

1.2. Tabelle der Lastbilder

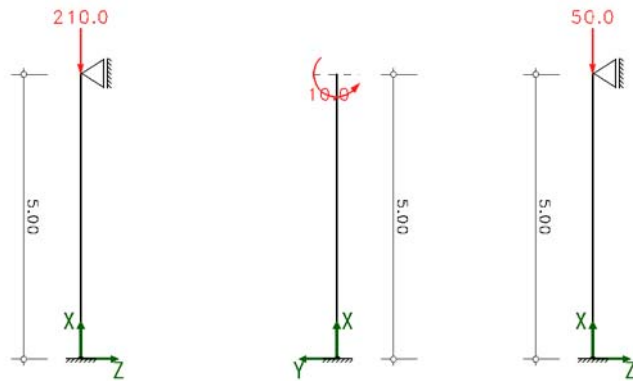
Lastf.	Lastbild	Einleitung	Richtung	Wert	Einheit
1	Punktlast	Kopf	N	210.00	kN
2	Punktlast	Kopf	N	50.00	kN
			M_z	10.00	kNm
3	Streckenlast	volle Höhe	q_y	8.00	kN/m
4	Streckenlast	volle Höhe	q_z	15.00	kN/m

1.2.1. Grafiken der Punktlasten

Lastfall 1 (Bild 1)

Lastfall 2 (Bild 2)

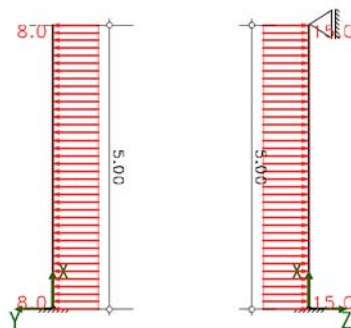
Lastfall 2 (Bild 3)



1.2.2. Grafiken der Streckenlasten

Lastfall 3 (Bild 1)

Lastfall 4 (Bild 2)



1.3. Eigengewicht der Stütze

Das Gewicht der Stütze wird mit 78.50 kN/m³ im Lastfall 1 berücksichtigt.

1.4. Lastsummen

$\Sigma N = 275.70 \text{ kN}$ $\Sigma H_y = 40.00 \text{ kN}$ $\Sigma H_z = 75.00 \text{ kN}$

2. Tragfähigkeit nach Th.II.O.

Querschnittsnachweis: plastischer Spannungsnachweis einschl. c/t-Nachweis

Materialsicherheit: $\gamma_{M1} = 1.10$

Zul. Normal-, Schub-, Vergleichsspan.: $\sigma_{x,Rd} = 322.7 \text{ N/mm}^2$, $\tau_{Rd} = 186.3 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{v,Rd} = 322.7 \text{ N/mm}^2$

2.1. Berücksichtigung von baulichen Imperfektionen

2.1.1. Imperfektionsfiguren

Je Achsrichtung wird eine Imperfektionsfigur entsprechend [2] bzw [1], Abschnitt 5.3 ermittelt.

Ersatzlänge $\beta = l_0/l$

globale Anfangsschiefstellung $\Phi = \Phi_0 \alpha_h \alpha_m$

Knicklast $N_{Ki} = (\pi/l_0)^2 EI$

Richtung	Form	β -	l_0 m	Φ -	e cm	EI MNm ²	N _{Ki} MN
Y	Schiefstellung	2.00	10.00	0.0045	2.235	19.39	1.92
Z	Krümmung	0.71	3.53	0.0071	0.000	19.39	15.32

l_0 - Knicklänge e - max. Vorverformung EI - Biegesteifigkeit

2.1.2. Richtung der Imperfektion

$N_{K1,z}/N_{K1,y} = 8.00 > 3 \Rightarrow$ immer in Richtung der geringsten Knicksicherheit (Y-Achse)

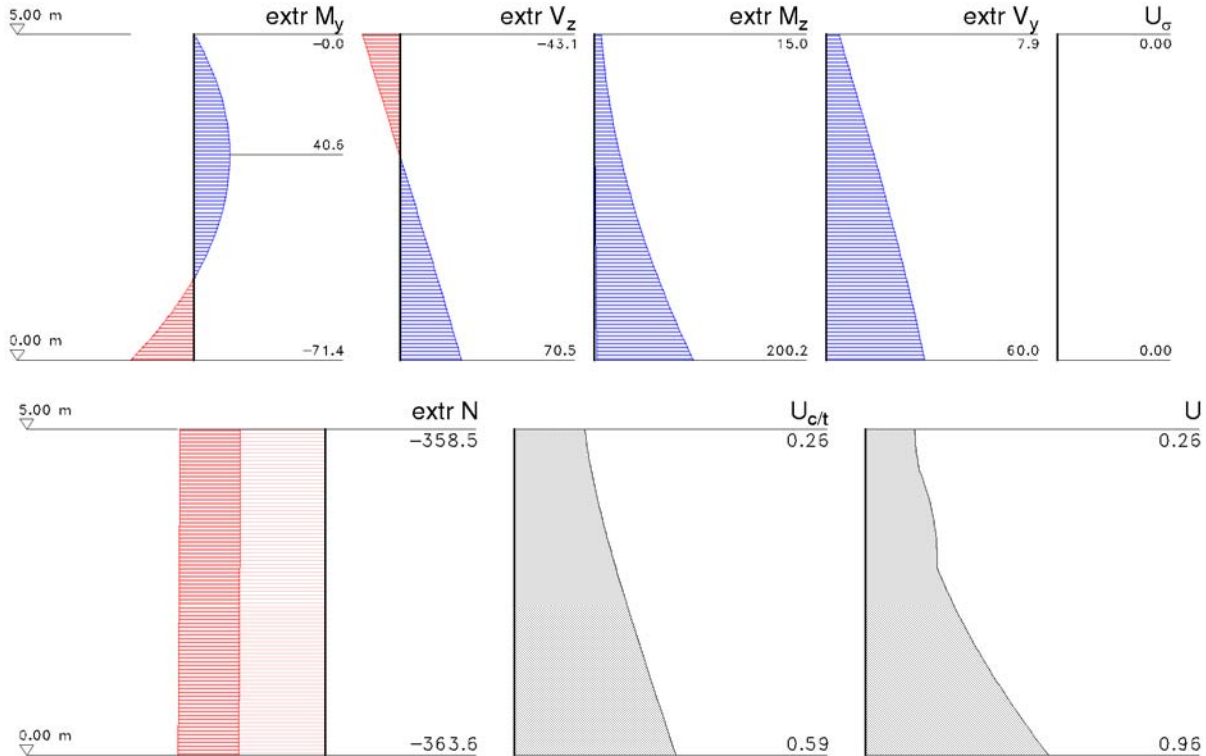
2.2. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Bemessungssit.	Faktorisierung
1	ständig	Lf1+I _y
2	ständig	1.35·Lf1+I _y
3	ständig	Lf1+1.5·Lf2+I _y
4	ständig	1.35·Lf1+1.5·Lf2+I _y
5	ständig	Lf1+0.6·1.5·Lf3+I _y
6	ständig	1.35·Lf1+0.6·1.5·Lf3+I _y
7	ständig	Lf1+1.5·Lf2+0.6·1.5·Lf3+I _y
8	ständig	1.35·Lf1+1.5·Lf2+0.6·1.5·Lf3+I _y
9	ständig	Lf1+0.6·1.5·Lf4+I _y
10	ständig	1.35·Lf1+0.6·1.5·Lf4+I _y

LK	Bemessungssit.	Faktorisierung
11	ständig	Lf1+1.5·Lf2+0.6·1.5·Lf4+I _y
12	ständig	1.35·Lf1+1.5·Lf2+0.6·1.5·Lf4+I _y
13	ständig	Lf1+1.5·Lf3+I _y
14	ständig	1.35·Lf1+1.5·Lf3+I _y
15	ständig	Lf1+1.5·(Lf2+Lf3)+I _y
16	ständig	1.35·Lf1+1.5·(Lf2+Lf3)+I _y
17	ständig	Lf1+1.5·Lf4+I _y
18	ständig	1.35·Lf1+1.5·Lf4+I _y
19	ständig	Lf1+1.5·(Lf2+Lf4)+I _y
20	ständig	1.35·Lf1+1.5·(Lf2+Lf4)+I _y

2.3. Extremale Ergebnisse

Die Schnittgrößen sind bezogen auf die verformte Systemachse



x m	N		M _y		V _z		M _z		V _y		U
	Min kN	Max kN	Min kNm	Max kNm	Min kN	Max kN	Min kNm	Max kNm	Min kN	Max kN	
5.00	-358.50	-209.87	-0.01	0.00	-43.08	0.00	-0.00	15.00	0.14	7.93	0.26
3.15	-360.38	-211.08	0.00	40.56	-0.50	0.00	2.00	52.50	0.12	29.14	0.38
1.30	-362.27	-212.40	0.00	1.85	0.00	42.14	3.94	127.67	0.07	48.39	0.65
0.00	-363.59	-213.77	-71.43	0.00	0.00	70.53	5.22	200.21	0.00	60.00	0.96

Maßgebende Ausnutzung:

Aus Lastkollektiv 16 an der Stelle x = 0.00 m, mit den Schnittgrößen:

N = -363.59 kN, M_y = 0.00 kNm, V_z = 0.00 kN, M_z = 200.21 kNm, V_y = 60.00 kN

U_{c/t} = 0.59, U_σ = 0.00 ⇒ max U = 0.96 < 1.0 ⇒ **Zulässige Ausnutzung wird eingehalten**

3. Gebrauchstauglichkeit

Berechnung nach Theorie II. Ordnung für die quasi-ständige Kombination entspr. [3], Gl. 6.16

Nachweis der zulässigen horizontalen Verformung nach [2], Abschnitt 7.2.2

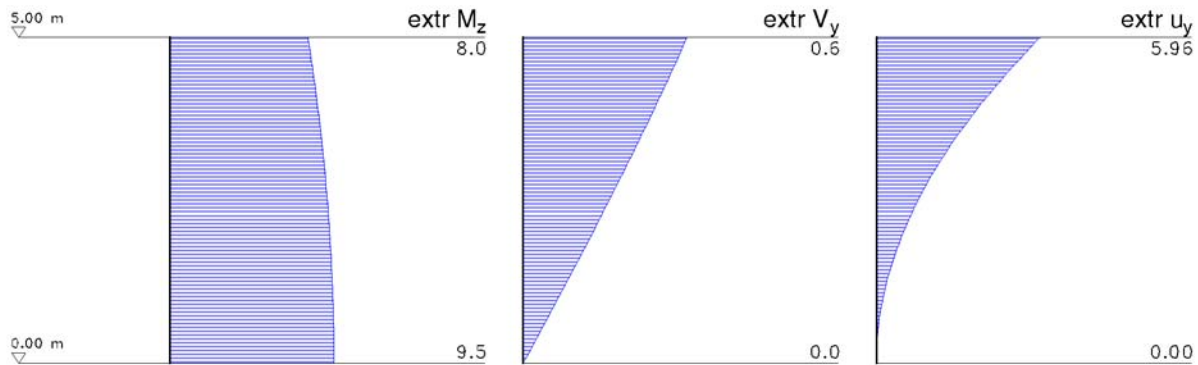
3.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Bemessungssit.	Faktorisierung
1	ständig	Lf1
2	ständig	Lf1+0.8·Lf2

3.2. Extremale Ergebnisse

Die Schnittgrößen sind bezogen auf die verformte Systemachse

3.2.1. Verformung in Y-Richtung



x m	M _z		V _y		u _y	
	Min kNm	Max kNm	Min kN	Max kN	Min mm	Max mm
5.00	0.00	8.00	0.00	0.58	0.00	5.96
0.00	0.00	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00

Maßgebende Verformung in Y-Richtung:

Aus Lastkollektiv 2 an der Stelle x = 5.00 m, mit den Schnittgrößen:

N = -250.00 kN, M_y = 0.00 kNm, V_z = 0.00 kN, M_z = 8.00 kNm, V_y = 0.58 kN

u_y = 5.96 < 8.00 mm ⇒ Zulässige Verformung wird eingehalten

4. Auflagerreaktionen

4.1. Charakteristische Lagerreaktionen der Lastfälle am Stützfuß

Lf	N _k kN	H _{k,y} kN	H _{k,z} kN	M _{k,y} kN	M _{k,z} kN
1	213.77	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
2	50.00	-0.00	-0.00	-0.00	10.00
3	0.00	40.00	-0.00	-0.00	100.00
4	0.00	-0.00	46.88	-46.88	-0.00
Σ	263.77	40.00	46.88	-46.88	110.00

4.2. Extremale Bemessungswerte der Lagerreaktionen (Tragfähigkeit Th.II.O.) am Stützfuß

LK	N _{Ed} kN	H _{Ed,y} kN	H _{Ed,z} kN	M _{Ed,y} kN	M _{Ed,z} kN
1	213.77	0.00	-0.00	-0.00	5.22
2	288.59	-0.00	-0.00	-0.00	7.31
4	363.59	0.00	-0.00	-0.00	28.92
5	213.77	36.00	-0.00	-0.00	102.08
14	288.59	60.00	-0.00	-0.00	173.43
16	363.59	60.00	-0.00	-0.00	200.21
20	363.59	0.00	70.53	-71.43	28.92

5. Zusammenfassung

Alle Nachweise konnten erfolgreich durchgeführt werden.

Maximale Ausnutzungen der geführten Nachweise:

Tragfähigkeit Th.II.O	96 %
Verformung in Y-Richtung	74 %

Literatur und Normen:

[1] DIN EN 1993-1-1/NA: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Teil 1-1, Okt. 2022

[2] DIN EN 1993-1-1: Eurocode 3: Bem. und Konstr. von Stahlbauten - Teil 1-1: Allg. Bem.regeln u. Regeln für den Hochbau, Dez. 2010

[3] DIN EN 1990: Grundlagen der Tragwerksplanung, Oktober 2021

FUPLATTE AUF EINZELFUNDAMENT

4H-FUND Version: 12/2022-1u

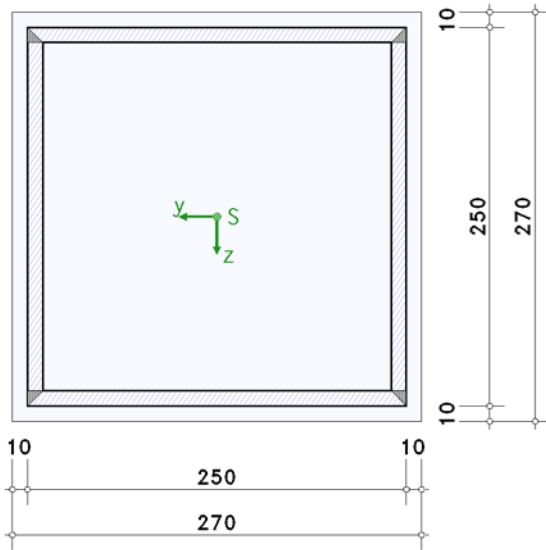
Stahlnachweise nach DIN EN 1993-1:2010-12 mit NA-Deutschland

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

Äußere Standsicherheit nach DIN EN 1997-1:2014-03 mit NA-Deutschland

Ergänzende Regeln nach DIN 1054:2021-04, DIN 4017:2006-03 und DIN 4019:2015-05

Querschnitt, Maßstab 1:5



Stützenquerschnitt

nicht genormtes MSH-Profil, der Güte S355

$h = 250.0 \text{ mm}$ $b = 250.0 \text{ mm}$ $t_w = 10.0 \text{ mm}$ $t_f = 10.0 \text{ mm}$

Kehlrat $a_w = 3.0 \text{ mm}$

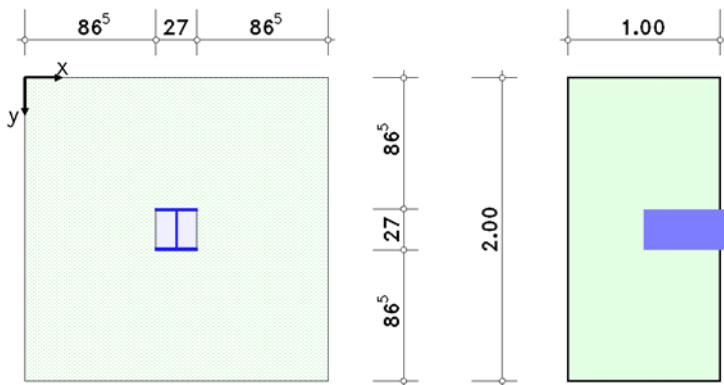
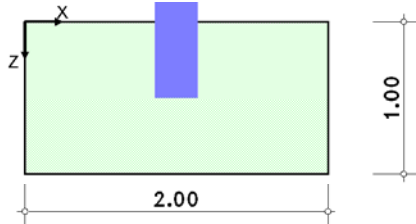
Fußplatte

$b = 270 \text{ mm}$ $h = 270 \text{ mm}$ $t = 10 \text{ mm}$, der Güte S355

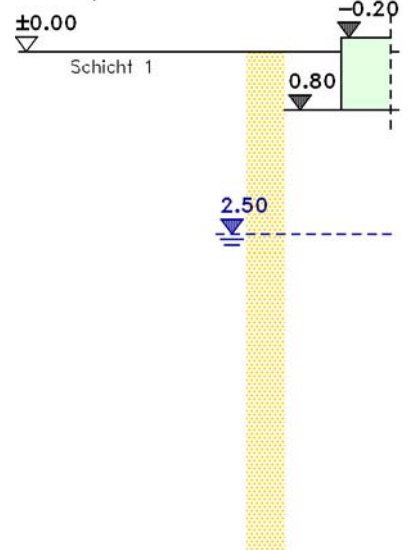
Mörtelfuge unter Fußplatte

$h_f = 30 \text{ mm}$

Ansicht, Draufsicht Einzelfundament
Maßstab 1:50



Bodenprofil



Betonfestigkeitsklasse C30/37

Betonstahlsorte B500A

1. Bodensituation

Die Einbindetiefe des Fundamentes beträgt $t = 0.80 \text{ m}$.

Der Grundwasserstand (unter OK Boden) liegt bei $t_w = 2.50 \text{ m}$.

1.1. Bezeichnung und Kennwerte der Bodenschichten

Schicht	z m	γ kN/m ³	γ' kN/m ³	ϕ °	c_k kN/m ²	E_m MN/m ²	δ_p °
Schicht 1	0.00	19.00	11.00	32.5	---	10.00	auto

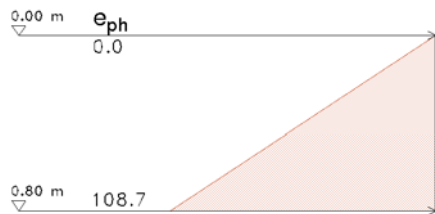
z - Kote an Oberkante der Schicht γ - Wichte γ' - Wichte unter Auftrieb ϕ - Reibungswinkel

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

1.2. Charakteristischer Erdwiderstand

Der Erdwiderstand wird für ebene Gleitflächen ermittelt.

Für eine **raue** Wandoberfläche, mit einem Wandreibungswinkel $\delta = 2/3 \cdot \varphi'_k$



$\Sigma(\gamma \cdot h)$ Summe Bodengewicht in der betrachteten Tiefe
 K_{pgh} Erddruckbeiwert entspr. [1] Abschn. 6.2.1, Gl.(7) (Ansatz nach Müller-Breslau)
 e_{ph} horiz. Erddruckordinate

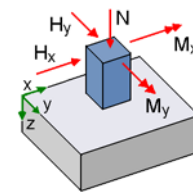
z m	$\Sigma(\gamma \cdot h)$ kN/m ²	K_{pgh} -	E_{ph} kN/m ²
0.00	0.00	7.152	0.00
0.80	15.20	7.152	108.71

Der resultierende maximale Erdwiderstand ergibt sich zu $E_{phg} = 43.48$ kN/m, bei $z_s = 0.53$ m.

2. Belastung

2.1. Bemessungssituation der Lastfälle für äußere Standsicherheit

Lastf.	Bezeichnung	BS-P	BS-T
1	Eigengewicht	x	
2	Nutzlast	x	
3	Y-Richtung	x	
4	Z-Richtung	x	



2.2. Bemessungswerte Stützenlast aus 'EC 3 Tragfähigkeit Th.II.O.' für Stahlbetonbemessung

Angriffspunkt im Schwerpunkt der Stütze auf OK Fundamentplatte

LK	Bezeichnung.	Bemessungssit.	$N_{st,d}$ kN	$H_{x,St,Ed}$ kN	$H_{y,St,Ed}$ kN	$M_{x,St,Ed}$ kNm	$M_{y,St,Ed}$ kNm
5	LK 1 (auto)	ständig u.v.	213.77	-0.00	0.00	5.22	-0.00
6	LK 2 (auto)	ständig u.v.	288.59	-0.00	-0.00	7.31	-0.00
7	LK 3 (auto)	ständig u.v.	288.77	-0.00	0.00	25.61	-0.00
8	LK 4 (auto)	ständig u.v.	363.59	-0.00	0.00	28.92	-0.00
9	LK 5 (auto)	ständig u.v.	213.77	-0.00	36.00	102.08	-0.00
10	LK 6 (auto)	ständig u.v.	288.59	-0.00	36.00	106.98	-0.00
11	LK 7 (auto)	ständig u.v.	288.77	-0.00	36.00	125.32	-0.00
12	LK 8 (auto)	ständig u.v.	363.59	-0.00	36.00	131.70	-0.00
13	LK 9 (auto)	ständig u.v.	213.77	42.26	0.00	5.22	-42.58
14	LK 10 (auto)	ständig u.v.	288.59	42.29	-0.00	7.31	-42.71
15	LK 11 (auto)	ständig u.v.	288.77	42.29	0.00	25.61	-42.72
16	LK 12 (auto)	ständig u.v.	363.59	42.32	0.00	28.92	-42.86
17	LK 13 (auto)	ständig u.v.	213.77	-0.00	60.00	166.65	-0.00
18	LK 14 (auto)	ständig u.v.	288.59	-0.00	60.00	173.43	-0.00
19	LK 15 (auto)	ständig u.v.	288.77	-0.00	60.00	191.79	-0.00
20	LK 16 (auto)	ständig u.v.	363.59	-0.00	60.00	200.21	-0.00
21	LK 17 (auto)	ständig u.v.	213.77	70.44	0.00	5.22	-70.96
22	LK 18 (auto)	ständig u.v.	288.59	70.49	-0.00	7.31	-71.19
23	LK 19 (auto)	ständig u.v.	288.77	70.49	0.00	25.61	-71.19
24	LK 20 (auto)	ständig u.v.	363.59	70.53	0.00	28.92	-71.43

2.3. Eigengewicht

Das Gewicht der Fundamentplatte wird mit $\gamma_E = 25.00$ kN/m³ berücksichtigt.

Es liegt keine Erdauflast vor.

Die Resultierende aus Eigengewicht in der Bodenfuge beträgt $N_{0,Eigen,k} = 100.00$ kN.

Das Eigengewicht wird im Lastfall 1 mit berücksichtigt.

3. Nachweis des Stahlstützenfußes

3.1. Materialsicherheitsbeiwerte

Bemessungssit.	γ_{M1}	γ_{M2}	γ_c
ständig	1.10	1.25	1.50

Die Widerstandswerte des Stahls werden für Stabilitätsversagen ermittelt.

3.2. Bemessungswerte Stahlachse

3.2.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Faktorisierung	LK	Faktorisierung	LK	Faktorisierung	LK	Faktorisierung	LK	Faktorisierung
1	Lf5	5	Lf9	9	Lf13	13	Lf17	17	Lf21
2	Lf6	6	Lf10	10	Lf14	14	Lf18	18	Lf22
3	Lf7	7	Lf11	11	Lf15	15	Lf19	19	Lf23
4	Lf8	8	Lf12	12	Lf16	16	Lf20	20	Lf24

3.2.2. Stützenlast

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	213.77	0.00	0.00	5.22	0.00	11	288.77	42.29	0.00	25.61	-42.72
2	288.59	0.00	-0.00	7.31	0.00	12	363.59	42.32	0.00	28.92	-42.86
3	288.77	0.00	0.00	25.61	0.00	13	213.77	0.00	60.00	166.65	0.00
4	363.59	0.00	0.00	28.92	0.00	14	288.59	0.00	60.00	173.43	0.00
5	213.77	0.00	36.00	102.08	0.00	15	288.77	0.00	60.00	191.79	0.00
6	288.59	0.00	36.00	106.98	0.00	16	363.59	0.00	60.00	200.21	0.00
7	288.77	0.00	36.00	125.32	0.00	17	213.77	70.44	0.00	5.22	-70.96
8	363.59	0.00	36.00	131.70	0.00	18	288.59	70.49	-0.00	7.31	-71.19
9	213.77	42.26	0.00	5.22	-42.58	19	288.77	70.49	0.00	25.61	-71.19
10	288.59	42.29	-0.00	7.31	-42.71	20	363.59	70.53	0.00	28.92	-71.43

3.3. Einspanntiefe

Ermittlung der erforderlichen Einspanntiefe entsprechend [2]

3.3.1. Erforderliche Einspanntiefe für Biegung um die y-Achse

Beiwert mitwirkenden Breite	α_m	=	1.12
Mitwirkenden Breite	b_m	=	121.3 mm
Resultierende Pressung	p	=	20.63 kN/cm
zul. plastische Querkraft	$V_{p1,z}$	=	857.10 kN

Erforderliche Einspanntiefe

LK	D _o kN	D _u kN	D _u /V _{p1,z} -	f _{erf} cm	LK	D _o kN	D _u kN	D _u /V _{p1,z} -	f _{erf} cm
1	86.42	86.42	0.10	10.3	11	191.44	191.44	0.22	22.9
2	102.29	102.29	0.12	12.2	12	203.45	203.45	0.24	24.4
3	191.44	191.44	0.22	22.9	13	545.44	485.44	0.57	61.7
4	203.45	203.45	0.24	24.4	14	555.24	495.24	0.58	62.9
5	416.28	380.28	0.44	47.7	15	580.88	520.88	0.61	65.9
6	425.34	389.34	0.45	48.8	16	592.25	532.25	0.62	67.3
7	457.50	421.50	0.49	52.6	17	86.42	86.42	0.10	10.3
8	468.13	432.13	0.50	53.9	18	102.29	102.29	0.12	12.2
9	86.42	86.42	0.10	10.3	19	191.44	191.44	0.22	22.9
10	102.29	102.29	0.12	12.2	20	203.45	203.45	0.24	24.4

D_o/D_u - res. Druckkraft oben/unten f_{erf} - erf. Einspanntiefe

Maximal erforderliche Einspanntiefe für Biegung um die y-Achse f_{erf,y} = 67.3 cm

3.3.2. Erforderliche Einspanntiefe für Biegung um die z-Achse

Beiwert mitwirkenden Breite	α_m	=	1.12
Mitwirkenden Breite	h_m	=	121.3 mm
Resultierende Pressung	p	=	20.63 kN/cm
zul. plastische Querkraft	$V_{p1,y}$	=	931.63 kN

Erforderliche Einspanntiefe

LK	D _o kN	D _u kN	D _u /V _{p1,y} -	f _{erf} cm	LK	D _o kN	D _u kN	D _u /V _{p1,y} -	f _{erf} cm
1	0.00	0.00	0.00	0.0	11	287.84	245.54	0.26	31.9
2	0.00	0.00	0.00	0.0	12	288.27	245.95	0.26	32.0
3	0.00	0.00	0.00	0.0	13	0.00	0.00	0.00	0.0
4	0.00	0.00	0.00	0.0	14	0.00	0.00	0.00	0.0
5	0.00	0.00	0.00	0.0	15	0.00	0.00	0.00	0.0
6	0.00	0.00	0.00	0.0	16	0.00	0.00	0.00	0.0
7	0.00	0.00	0.00	0.0	17	386.90	316.46	0.34	42.1
8	0.00	0.00	0.00	0.0	18	387.45	316.97	0.34	42.2
9	287.40	245.14	0.26	31.9	19	387.46	316.98	0.34	42.2
10	287.83	245.54	0.26	31.9	20	388.03	317.49	0.34	42.2

D_o/D_u - res. Druckkraft oben/unten f_{erf} - erf. Einspanntiefe

Maximal erforderliche Einspanntiefe für Biegung um die z-Achse f_{erf,z} = 42.2 cm

3.3.3. Einspanntiefe festlegen

erforderlich $f_{erf} = 67.3 \text{ cm}$ (aus LK 16, Bieg. um y-Achse)

Mindestwert $f_{min} = 1.5 \cdot 25.00 = 37.5 < 67.3 \text{ cm}$

Höchstwert $f_{max} = 4.0 \cdot 25.00 = 100.0 > 67.3 \text{ cm}$

gewählt $f_{gew} = 68.0 > 67.3 \text{ cm}$

3.4. Querschnittstragfähigkeit

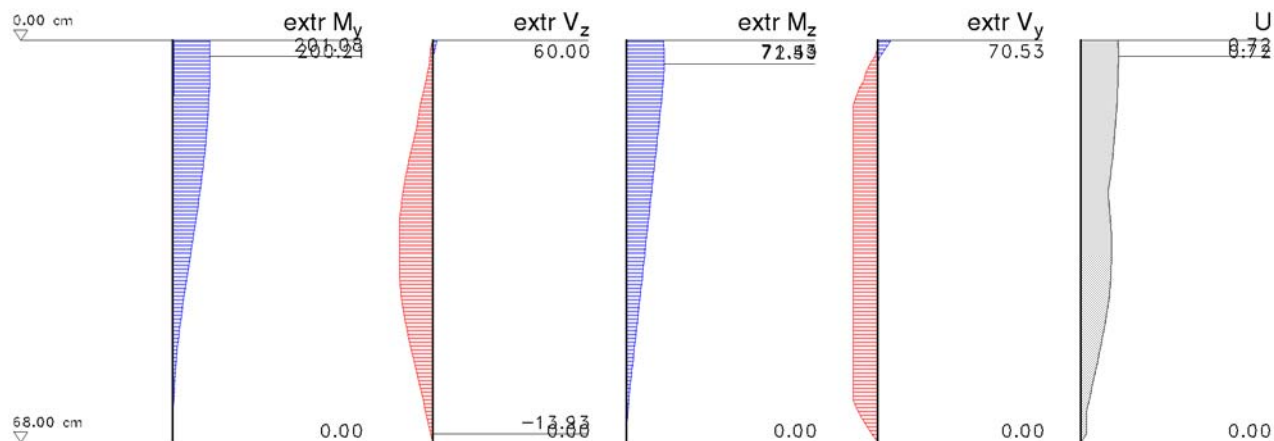
Plastischer Spannungsnachweis erfolgt nach [3], Abs. 6.2.2 bis 6.2.10.

3.4.1. Abstützkräfte

LK	M_y/V_z				M_z/V_y			
	a_o cm	a_u cm	D_o kN	D_u kN	a_o cm	a_u cm	D_o kN	D_u kN
1	0.5	0.5	7.72	7.72	---	---	---	---
2	0.6	0.6	10.84	10.84	---	---	---	---
3	2.3	2.3	38.76	38.76	---	---	---	---
4	2.6	2.6	43.94	43.94	---	---	---	---
5	12.9	10.7	214.72	178.72	---	---	---	---
6	13.5	11.3	224.95	188.95	---	---	---	---
7	15.9	13.7	265.37	229.37	---	---	---	---
8	16.8	14.6	280.35	244.35	---	---	---	---
9	0.5	0.5	7.72	7.72	6.7	4.1	111.14	68.88
10	0.6	0.6	10.84	10.84	6.7	4.1	111.40	69.11
11	2.3	2.3	38.76	38.76	6.7	4.1	111.41	69.12
12	2.6	2.6	43.94	43.94	6.7	4.2	111.68	69.36
13	24.8	21.2	413.55	353.55	---	---	---	---
14	26.2	22.6	437.24	377.24	---	---	---	---
15	30.8	27.2	515.30	455.30	---	---	---	---
16	33.8	30.2	564.34	504.34	---	---	---	---
17	0.5	0.5	7.72	7.72	11.6	7.4	194.23	123.79
18	0.6	0.6	10.84	10.84	11.7	7.4	194.73	124.24
19	2.3	2.3	38.76	38.76	11.7	7.4	194.74	124.25
20	2.6	2.6	43.94	43.94	11.7	7.5	195.24	124.70

a_o/a_u - Druckbereich oben/unten D_o/D_u - res. Druckkraft oben/unten

3.4.2. Extremale Schnittgrößen



Extremwerte der Normalkraft: $N_{Min} / N_{Max} = 213.77 / 363.59 \text{ kN}$

x cm	extr M_y		extr V_z		extr M_z		extr V_y		U
	Min kNm	Max kNm	Min kNm	Max kNm	Min kNm	Max kNm	Min kNm	Max kNm	
0.00	5.22	200.21	0.00	60.00	0.00	71.43	0.00	70.53	0.72
2.70	4.93	201.08	-41.18	4.26	0.00	72.58	-13.47	14.80	0.72
4.05	4.75	200.95	-47.61	-13.93	0.00	72.59	-39.95	0.00	0.72
12.16	3.62	192.26	-205.30	-13.93	0.00	65.82	-124.94	0.00	0.69
25.67	1.73	148.40	-443.42	-13.93	0.00	48.94	-124.94	0.00	0.53
33.78	0.61	109.28	-503.69	-13.93	0.00	38.81	-124.94	0.00	0.59
37.88	0.03	88.60	-503.58	-13.93	0.00	33.68	-124.94	0.00	0.59
39.25	-0.16	81.72	-501.21	-13.93	0.00	31.97	-124.94	0.00	0.58
66.63	-3.97	2.03	-28.98	-13.93	0.00	1.03	-29.86	0.00	0.12
68.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Maximale Ausnutzung $U = 0.72 < 1.00$

Aus Lastkollektiv 16 an der Stelle $x = 2.70 \text{ cm}$

Schnittgrößen: $N = 363.59 \text{ kN}$, $V_z/M_y = 4.26/201.08 \text{ kNm}$, $V_y/M_z = 0.00/0.00 \text{ kNm}$

Ausnutzung: $U_{\sigma} = 0.72$

3.5. Schweißnaht zwischen Stütze und Fußplatte

Bemessung nach dem richtungsbezogenen Verfahren entsprechend Abschnitt 4.5.3.2

$$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2)^{0.5}$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = \sigma_{\perp}$$

$$f_{1,w,Rd} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$$

$$f_{2,w,Rd} = 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

$$U = \max\{\sigma_{1,w,Ed}/f_{1,w,Rd}, \sigma_{2,w,Ed}/f_{2,w,Rd}\}$$

Die Verbindung wird mit einer **umlaufenden Kehlnaht** ausgeführt.
Die Normalkraft wird zu 100 % durch die Schweißnaht übertragen.

Mindestwert der Schweißnahtdicke $a_{min} = 3 \text{ mm}$

LK	a_w mm	$\sigma_{\perp}$ N/mm ²	$\tau_{\perp}$ N/mm ²	$\tau_{\parallel}$ N/mm ²	$\sigma_{1,w,Ed}$ N/mm ²	$f_{1,w,Rd}$ N/mm ²	$\sigma_{2,w,Ed}$ N/mm ²	$f_{2,w,Rd}$ N/mm ²	U
1	3	-50.39	-50.39	0.00	100.77	435.56	50.39	352.80	0.23
2	3	-68.02	-68.02	0.00	136.04	435.56	68.02	352.80	0.31
3	3	-68.06	-68.06	0.00	136.13	435.56	68.06	352.80	0.31
4	3	-85.70	-85.70	0.00	171.40	435.56	85.70	352.80	0.39
5	3	-50.39	-50.39	0.00	100.77	435.56	50.39	352.80	0.23
6	3	-68.02	-68.02	0.00	136.04	435.56	68.02	352.80	0.31
7	3	-68.06	-68.06	0.00	136.13	435.56	68.06	352.80	0.31
8	3	-85.70	-85.70	0.00	171.40	435.56	85.70	352.80	0.39
9	3	-50.39	-50.39	0.00	100.77	435.56	50.39	352.80	0.23
10	3	-68.02	-68.02	0.00	136.04	435.56	68.02	352.80	0.31
11	3	-68.06	-68.06	0.00	136.13	435.56	68.06	352.80	0.31
12	3	-85.70	-85.70	0.00	171.40	435.56	85.70	352.80	0.39
13	3	-50.39	-50.39	0.00	100.77	435.56	50.39	352.80	0.23
14	3	-68.02	-68.02	0.00	136.04	435.56	68.02	352.80	0.31
15	3	-68.06	-68.06	0.00	136.13	435.56	68.06	352.80	0.31
16	3	-85.70	-85.70	0.00	171.40	435.56	85.70	352.80	0.39
17	3	-50.39	-50.39	0.00	100.77	435.56	50.39	352.80	0.23
18	3	-68.02	-68.02	0.00	136.04	435.56	68.02	352.80	0.31
19	3	-68.06	-68.06	0.00	136.13	435.56	68.06	352.80	0.31
20	3	-85.70	-85.70	0.00	171.40	435.56	85.70	352.80	0.39

a_w - Schweißnahtdicke $\sigma_{\perp}$ - Normalspannungen senkrecht zur Naht $\tau_{\perp}$ - Schubspannungen senkrecht zur Naht
 $\tau_{\parallel}$ - Schubspannungen parallel zur Naht U - Ausnutzung

Maximale Nahtdicke $a_{w,max} = 3 \text{ mm}$

Maximale Ausnutzung $U = 0.39 < 1.00$

3.6. Einleitung der Normalkraft in das Fundament

Nachweis nach [5], Abschn. 6.2.5 und Tragfähigkeit der Teilflächen nach [4], Abschn. 6.7

3.6.1. Anforderung an den Mörtel unter der Fußplatte

0.2fache der kleinsten Plattenabmessung = $54.0 > 30 \text{ mm}$ Mörtelhöhe

⇒ Die char. Festigkeit des Mörtels sollte mindestens 20% des Fundamentbetons betragen.

3.6.2. Lastausbreitung

$$c = t \{ [f_y / (3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0})]^{0.5} \leq 0.5 \cdot (h - 2t) \}$$

Es wird von einer ungestörten Lastausbreitung ausgegangen.

Ausbreitungsbreite	c	= 18.7 mm
Belastungsfläche	A_{c0}	= 276.64 cm ²
Verteilungsfläche	A_{c1}	= 3025.00 cm ²

3.6.3. Tragfähigkeit

$$F_{C,Rd} = f_{jd} \cdot A_{c0}$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot F_{Rdu} / A_{c0}$$

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot (A_{c1} / A_{c0})^{0.5} \leq 3.0 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0}$$

Anschlussbeiwert	β_j	= 2/3
Bemessungswert der Mörtelfestigkeit	f_{jd}	= 34.00 N/mm ²
Tragfähigkeit auf Druck	$F_{C,Rd}$	= 940.56 kN

3.6.4. Ausnutzung

$$U = N_{Ed} / F_{C,Rd}$$

Maximale Druckkraft (LK 4) $N_{Ed} = 363.59 < 940.56 \text{ kN}$

Ausnutzung $U = 0.39 < 1.00$

4. Bemessung der Fundamentplatte

4.1. Materialsischerheitsbeiwerte

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	LK	Bemessungssit.	Faktorisierung
1	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf5	21	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf15
2	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf5	22	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf15
3	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf6	23	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf16
4	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf6	24	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf16
5	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf7	25	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf17
6	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf7	26	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf17
7	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf8	27	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf18
8	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf8	28	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf18
9	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf9	29	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf19
10	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf9	30	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf19
11	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf10	31	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf20
12	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf10	32	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf20
13	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf11	33	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf21
14	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf11	34	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf21
15	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf12	35	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf22
16	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf12	36	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf22
17	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf13	37	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf23
18	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf13	38	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf23
19	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf14	39	ständig und vorübergehend	Lf1'+Lf24
20	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf14	40	ständig und vorübergehend	1.35. Lf1'+Lf24

*) ohne Berücksichtigung der Stützenlast

4.2.2. Stützenlast

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	213.77	0.00	0.00	5.22	0.00	21	288.77	42.29	0.00	25.61	-42.72
2	213.77	0.00	0.00	5.22	0.00	22	288.77	42.29	0.00	25.61	-42.72
3	288.59	0.00	-0.00	7.31	0.00	23	363.59	42.32	0.00	28.92	-42.86
4	288.59	0.00	-0.00	7.31	0.00	24	363.59	42.32	0.00	28.92	-42.86
5	288.77	0.00	0.00	25.61	0.00	25	213.77	0.00	60.00	166.65	0.00
6	288.77	0.00	0.00	25.61	0.00	26	213.77	0.00	60.00	166.65	0.00
7	363.59	0.00	0.00	28.92	0.00	27	288.59	0.00	60.00	173.43	0.00
8	363.59	0.00	0.00	28.92	0.00	28	288.59	0.00	60.00	173.43	0.00
9	213.77	0.00	36.00	102.08	0.00	29	288.77	0.00	60.00	191.79	0.00
10	213.77	0.00	36.00	102.08	0.00	30	288.77	0.00	60.00	191.79	0.00
11	288.59	0.00	36.00	106.98	0.00	31	363.59	0.00	60.00	200.21	0.00
12	288.59	0.00	36.00	106.98	0.00	32	363.59	0.00	60.00	200.21	0.00
13	288.77	0.00	36.00	125.32	0.00	33	213.77	70.44	0.00	5.22	-70.96
14	288.77	0.00	36.00	125.32	0.00	34	213.77	70.44	0.00	5.22	-70.96
15	363.59	0.00	36.00	131.70	0.00	35	288.59	70.49	-0.00	7.31	-71.19
16	363.59	0.00	36.00	131.70	0.00	36	288.59	70.49	-0.00	7.31	-71.19
17	213.77	42.26	0.00	5.22	-42.58	37	288.77	70.49	0.00	25.61	-71.19
18	213.77	42.26	0.00	5.22	-42.58	38	288.77	70.49	0.00	25.61	-71.19
19	288.59	42.29	-0.00	7.31	-42.71	39	363.59	70.53	0.00	28.92	-71.43
20	288.59	42.29	-0.00	7.31	-42.71	40	363.59	70.53	0.00	28.92	-71.43

4.3. Bemessung für Biegung

4.3.1. Längsbewehrung in x-Richtung

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

Momente in den Bemessungsschnitten

LK	x = 80.0 cm kNm	x = 120.0 cm kNm	LK	x = 80.0 cm kNm	x = 120.0 cm kNm	LK	x = 80.0 cm kNm	x = 120.0 cm kNm
1	34.20	34.20	15	58.17	58.17	29	46.20	46.20
2	34.20	34.20	16	58.17	58.17	30	46.20	46.20
3	46.17	46.17	17	4.34	64.07	31	58.17	58.17
4	46.17	46.17	18	4.34	64.07	32	58.17	58.17
5	46.20	46.20	19	16.25	76.10	33	-12.52	86.15
6	46.20	46.20	20	16.25	76.10	34	-14.32	84.84
7	58.17	58.17	21	16.28	76.13	35	-3.42	96.23
8	58.17	58.17	22	16.28	76.13	36	-3.68	96.06
9	34.20	34.20	23	28.19	88.16	37	-3.09	96.48
10	34.20	34.20	24	28.19	88.16	38	-3.49	96.20
11	46.17	46.17	25	34.20	34.20	39	8.24	108.17
12	46.17	46.17	26	34.20	34.20	40	8.21	108.14
13	46.20	46.20	27	46.17	46.17			
14	46.20	46.20	28	46.17	46.17			

Bemessung für LK 34: $\varepsilon_o/\varepsilon_u = 26.32/-0.16\%$ erf $A_{s,o} = 0.3 \text{ cm}^2$

Bemessung für LK 39: $\varepsilon_o/\varepsilon_u = -0.44/26.34\%$ erf $A_{s,u} = 2.5 \text{ cm}^2$

4.3.2. Längsbewehrung in y-Richtung

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

Momente in den Bemessungsschnitten

LK	y = 80.0 cm kNm	y = 120.0 cm kNm	LK	y = 80.0 cm kNm	y = 120.0 cm kNm	LK	y = 80.0 cm kNm	y = 120.0 cm kNm
1	32.37	36.04	15	-0.61	117.37	29	-16.00	160.00
2	32.37	36.04	16	-0.85	117.21	30	-21.60	152.37
3	43.60	48.75	17	32.37	36.04	31	-15.86	163.76
4	43.60	48.75	18	32.37	36.04	32	-20.56	159.51
5	37.19	55.22	19	43.60	48.75	33	32.37	36.05
6	37.19	55.22	20	43.60	48.75	34	32.37	36.05
7	48.00	68.35	21	37.19	55.22	35	43.61	48.76
8	48.00	68.35	22	37.19	55.22	36	43.61	48.75
9	-11.91	84.57	23	48.00	68.35	37	37.33	55.35
10	-13.48	83.44	24	48.00	68.35	38	37.27	55.29
11	-3.85	96.71	25	-16.00	147.91	39	48.02	68.37
12	-4.15	96.51	26	-21.60	136.95	40	48.00	68.35
13	-8.80	104.22	27	-16.00	145.39			
14	-9.94	103.42	28	-21.35	139.83			

Bemessung für LK 26: $\varepsilon_o/\varepsilon_u = 26.61/-0.19\%$ erf $A_{s,o} = 0.5 \text{ cm}^2$

Bemessung für LK 31: $\varepsilon_o/\varepsilon_u = -0.56/26.63\%$ erf $A_{s,u} = 3.8 \text{ cm}^2$

4.3.3. Gewählte Bewehrung in x-Richtung

Oben **B500A, gleichmäßig zu verteilen**
4 Ø 10 = 3.1 > 0.3 cm²

Unten (Verteilung nach [6])

Breite	cm	200.0	gewählt		6 Ø 10
Verteilung	%	100.0	vorh A_s	cm ²	4.7
erf A_s	cm ²	2.5			

Vorhandene untere Bewehrung insgesamt: $\Sigma A_s = 4.7 > 2.5 \text{ cm}^2$

4.3.4. Gewählte Bewehrung in y-Richtung

Oben **B500A, gleichmäßig zu verteilen**
4 Ø 10 = 3.1 > 0.5 cm²

Unten (Verteilung nach [6])

Breite	cm	200.0	gewählt		6 Ø 10
Verteilung	%	100.0	vorh A_s	cm ²	4.7
erf A_s	cm ²	3.8			

Vorhandene untere Bewehrung insgesamt: $\Sigma A_s = 4.7 > 3.8 \text{ cm}^2$

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

4.4. Durchstanznachweis

4.4.1. Einwirkung im kritischen Rundschnitt

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

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

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

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

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

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

Beiwert zur Ermittlung der Schubspannungen aus Momentenbeanspruchung

(nach [4], Tabelle 6.1)

$$c_1 = c_2 = 0.27 \Rightarrow k_x = k_y = 0.6$$

Rechenwerte des kritischen Rundschnittes

LK	a_{crit} cm	a/d -	u_{crit} m	A_{crit} m ²	$W_{crit,x}$ m ²	$W_{crit,y}$ m ²	LK	a_{crit} cm	a/d -	u_{crit} m	A_{crit} m ²	$W_{crit,x}$ m ²	$W_{crit,y}$ m ²
1	33.8	1.27	3.20	0.796	1.0350	1.0350	11	22.5	0.85	2.50	0.476	0.6250	0.6250
2	33.8	1.27	3.20	0.796	1.0350	1.0350	12	22.5	0.85	2.50	0.476	0.6250	0.6250
3	33.8	1.27	3.20	0.796	1.0350	1.0350	13	21.6	0.81	2.44	0.453	0.5958	0.5958
4	33.8	1.27	3.20	0.796	1.0350	1.0350	14	21.6	0.81	2.44	0.453	0.5958	0.5958
5	29.9	1.13	2.96	0.678	0.8837	0.8837	15	22.7	0.86	2.50	0.479	0.6292	0.6292
6	29.9	1.13	2.96	0.678	0.8837	0.8837	16	22.7	0.86	2.50	0.479	0.6292	0.6292
7	30.3	1.14	2.99	0.690	0.8988	0.8988	17	26.2	0.99	2.73	0.572	0.7489	0.7489
8	30.3	1.14	2.99	0.690	0.8988	0.8988	18	26.2	0.99	2.73	0.572	0.7489	0.7489
9	21.1	0.80	2.40	0.440	0.5794	0.5794	19	27.7	1.04	2.82	0.613	0.8005	0.8005
10	21.1	0.80	2.40	0.440	0.5794	0.5794	20	27.7	1.04	2.82	0.613	0.8005	0.8005

LK	acrit cm	a/d -	ucrit m	Acrit m ²	Wcrit,x m ²	Wcrit,y m ²	LK	acrit cm	a/d -	ucrit m	Acrit m ²	Wcrit,x m ²	Wcrit,y m ²
21	27.0	1.02	2.78	0.594	0.7768	0.7768	31	20.5	0.77	2.37	0.427	0.5632	0.5632
22	27.0	1.02	2.78	0.594	0.7768	0.7768	32	20.5	0.77	2.37	0.427	0.5632	0.5632
23	28.0	1.05	2.84	0.620	0.8101	0.8101	33	23.2	0.88	2.54	0.492	0.6463	0.6463
24	28.0	1.05	2.84	0.620	0.8101	0.8101	34	23.2	0.88	2.54	0.492	0.6463	0.6463
25	20.0	0.75	2.34	0.415	0.5472	0.5472	35	24.9	0.94	2.65	0.537	0.7034	0.7034
26	20.0	0.75	2.34	0.415	0.5472	0.5472	36	24.9	0.94	2.65	0.537	0.7034	0.7034
27	20.1	0.76	2.35	0.418	0.5512	0.5512	37	24.6	0.93	2.63	0.530	0.6944	0.6944
28	20.1	0.76	2.35	0.418	0.5512	0.5512	38	24.6	0.93	2.63	0.530	0.6944	0.6944
29	20.0	0.75	2.34	0.415	0.5472	0.5472	39	25.8	0.98	2.70	0.562	0.7351	0.7351
30	20.0	0.75	2.34	0.415	0.5472	0.5472	40	25.8	0.98	2.70	0.562	0.7351	0.7351

Maßgebende Schubspannung im kritischen Rundschnitt

LK	V _{Ed} kN	σ _{Ed,gd,m} kN/m ²	ΔV _{Ed} kN	M _{Ed,x,Sp} kNm	M _{Ed,y,Sp} kNm	β -	v _{Ed,crit} N/mm ²
1	213.77	53.48	42.60	5.22	0.00	1.10	0.222
2	213.77	53.48	42.60	5.22	0.00	1.10	0.222
3	288.59	72.20	57.50	7.31	0.00	1.10	0.299
4	288.59	72.20	57.50	7.31	0.00	1.10	0.299
5	288.77	72.24	48.98	25.61	0.00	1.18	0.360
6	288.77	72.24	48.98	25.61	0.00	1.18	0.360
7	363.59	90.96	62.75	28.92	0.00	1.16	0.440
8	363.59	90.96	62.75	28.92	0.00	1.16	0.440
9	213.77	53.49	23.53	102.08	0.00	2.19	0.654
10	213.77	53.49	23.53	102.08	0.00	2.19	0.654
11	288.59	72.21	34.34	106.98	0.00	1.89	0.726
12	288.59	72.21	34.34	106.98	0.00	1.89	0.726
13	288.77	72.25	32.71	125.32	0.00	2.07	0.819
14	288.77	72.25	32.71	125.32	0.00	2.07	0.819
15	363.59	90.97	43.56	131.70	0.00	1.86	0.899
16	363.59	90.97	43.56	131.70	0.00	1.86	0.899
17	213.77	53.49	30.62	5.22	42.58	1.44	0.364
18	213.77	53.49	30.62	5.22	42.58	1.44	0.364
19	288.59	72.20	44.25	7.31	42.71	1.32	0.431
20	288.59	72.20	44.25	7.31	42.71	1.32	0.431
21	288.77	72.25	42.94	25.61	42.72	1.37	0.457
22	288.77	72.25	42.94	25.61	42.72	1.37	0.457
23	363.59	90.96	56.43	28.92	42.86	1.30	0.531
24	363.59	90.96	56.43	28.92	42.86	1.30	0.531
25	213.77	39.52	16.39	166.65	0.00	3.00	0.955
26	213.77	39.52	16.39	166.65	0.00	3.00	0.955
27	288.59	68.16	28.48	173.43	0.00	2.53	1.061
28	288.59	68.16	28.48	173.43	0.00	2.53	1.061
29	288.77	62.56	25.94	191.79	0.00	2.70	1.147
30	288.77	62.56	25.94	191.79	0.00	2.70	1.147
31	363.59	87.48	37.37	200.21	0.00	2.39	1.242
32	363.59	87.48	37.37	200.21	0.00	2.39	1.242
33	213.77	53.49	26.33	5.22	70.96	1.78	0.497
34	213.77	53.49	26.33	5.22	70.96	1.78	0.497
35	288.59	72.20	38.76	7.31	71.19	1.56	0.556
36	288.59	72.20	38.76	7.31	71.19	1.56	0.556
37	288.77	72.25	38.28	25.61	71.19	1.60	0.574
38	288.77	72.25	38.28	25.61	71.19	1.60	0.574
39	363.59	90.96	51.09	28.92	71.43	1.47	0.640
40	363.59	90.96	51.09	28.92	71.43	1.47	0.640

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

4.4.2. Durchstanzwiderstand im kritischen Rundschnitt

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

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

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

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

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

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

Mittlere statische Nutzhöhe

$$d_m = (27 + 26)/2 = 26.5 \text{ cm}$$

Maßstabsfaktor

$$k = 1 + \sqrt{200/265} = 1.87 < 2$$

Längsbewehrungsgrad der verankerten Zugbewehrung

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

$$a_{s,x,3d} = 4.4/1.86 = 2.36 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$a_{s,y,3d} = 4.4/1.86 = 2.36 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{lx,zug} = 2.36/27 \cdot 10^{-2} = 0.00087$$

$$\rho_{ly,zug} = 2.36/26 \cdot 10^{-2} = 0.00091$$

$$\rho_{l,zug} = \sqrt{0.00087 \cdot 0.00091} = 0.00089$$

Durchstanzwiderstand ohne Durchstanzbewehrung

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

$$\rho_{l,zug,max} = \text{Minimum von } (0.02, 0.5 \cdot 17/434.78) = 0.0195 > 0.0009$$

$$v_{min} \cdot 2 \cdot d/a = 0.0525/1.5 \cdot 1.87^{3/2} \cdot 30^{0.5} \cdot 2 \cdot 26.5/20.5 = 1.264 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,c} = 0.1 \cdot 1.87 \cdot (100 \cdot 0.00089 \cdot 30)^{1/3} \cdot 2 \cdot 26.5/20.5 = 0.669 \text{ N/mm}^2 < 1.264 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow v_{Rd,c} = 1.264 \text{ N/mm}^2$$

$$1.242 \text{ N/mm}^2 < 1.264 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \text{keine zusätzliche Bewehrung erforderlich}$$

4.4.3. Mindestlängsbewehrung zur Sicherstellung der Querkrafttragfähigkeit

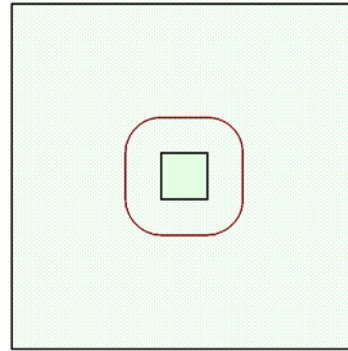
entsprechend [4] Tabelle NA.6.1.1

Abzugswert aus Sohldruck unter Lasteinleitung für Lastkollektiv 32

$$\Delta V_{Ed} = 6.37 \text{ kN}$$

Zugseite	Richtung	η	$m_{Ed,min}$ kNm/m	$a_{su,min}$ cm ² /m	$a_{so,min}$ cm ² /m
unten	x	0.125	44.65	3.78	---
	y	0.125	44.65	3.78	---

η - Momentenbeiwert $m_{Ed,min} = \eta \cdot V_{Ed}$ - Mindestbemessungsmoment



5. Äußere Standsicherheit - Nachweis der Tragfähigkeit (ULS)

5.1. Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite

Entsprechend [7] Tabelle A 2.1

5.2. Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite

Entsprechend [7] Tabellen A 2.2 und A 2.3

5.3. Bemessungswerte Kippen (EQU)

Die Mobilisierung des Erdwiderstandes wird vernachlässigt.

5.3.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Bemessungssit.	Faktorisierung	LK	Bemessungssit.	Faktorisierung
1	BS-P	0.9 · Lf1	11	BS-P	0.9 · Lf1+1.5 · Lf2+0.6 · 1.5 · Lf4
2	BS-P	1.1 · Lf1	12	BS-P	1.1 · Lf1+1.5 · Lf2+0.6 · 1.5 · Lf4
3	BS-P	0.9 · Lf1+1.5 · Lf2	13	BS-P	0.9 · Lf1+1.5 · Lf3
4	BS-P	1.1 · Lf1+1.5 · Lf2	14	BS-P	1.1 · Lf1+1.5 · Lf3
5	BS-P	0.9 · Lf1+0.6 · 1.5 · Lf3	15	BS-P	0.9 · Lf1+1.5 · (Lf2+Lf3)
6	BS-P	1.1 · Lf1+0.6 · 1.5 · Lf3	16	BS-P	1.1 · Lf1+1.5 · (Lf2+Lf3)
7	BS-P	0.9 · Lf1+1.5 · Lf2+0.6 · 1.5 · Lf3	17	BS-P	0.9 · Lf1+1.5 · Lf4
8	BS-P	1.1 · Lf1+1.5 · Lf2+0.6 · 1.5 · Lf3	18	BS-P	1.1 · Lf1+1.5 · Lf4
9	BS-P	0.9 · Lf1+0.6 · 1.5 · Lf4	19	BS-P	0.9 · Lf1+1.5 · (Lf2+Lf4)
10	BS-P	1.1 · Lf1+0.6 · 1.5 · Lf4	20	BS-P	1.1 · Lf1+1.5 · (Lf2+Lf4)

5.3.2. Stützenlast

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	192.39	0.00	0.00	0.00	0.00	11	267.39	42.19	-0.00	15.00	-42.19
2	235.14	0.00	0.00	0.00	0.00	12	310.14	42.19	-0.00	15.00	-42.19
3	267.39	0.00	-0.00	15.00	0.00	13	192.39	0.00	60.00	150.00	0.00
4	310.14	0.00	-0.00	15.00	0.00	14	235.14	0.00	60.00	150.00	0.00
5	192.39	0.00	36.00	90.00	0.00	15	267.39	0.00	60.00	165.00	0.00
6	235.14	0.00	36.00	90.00	0.00	16	310.14	0.00	60.00	165.00	0.00
7	267.39	0.00	36.00	105.00	0.00	17	192.39	70.31	0.00	0.00	-70.31
8	310.14	0.00	36.00	105.00	0.00	18	235.14	70.31	0.00	0.00	-70.31
9	192.39	42.19	0.00	0.00	-42.19	19	267.39	70.31	-0.00	15.00	-70.31
10	235.14	42.19	0.00	0.00	-42.19	20	310.14	70.31	-0.00	15.00	-70.31

5.4. Nachweis gegen Kippen (EQU)

LK	Massgebende Kante	Mdst kNm	Mstb kNm	μ -	LK	Massgebende Kante	Mdst kNm	Mstb kNm	μ -
1	---	0.00	282.39	0.00	11	y (rechts)	84.38	357.39	0.24
2	---	0.00	345.14	0.00	12	y (rechts)	84.38	420.14	0.20
3	---	0.00	357.39	0.00	13	x (unten)	210.00	282.39	0.74
4	---	0.00	420.14	0.00	14	x (unten)	210.00	345.14	0.61
5	x (unten)	126.00	282.39	0.45	15	x (unten)	210.00	342.39	0.61
6	x (unten)	126.00	345.14	0.37	16	x (unten)	210.00	405.14	0.52
7	x (unten)	126.00	342.39	0.37	17	y (rechts)	140.63	282.39	0.50
8	x (unten)	126.00	405.14	0.31	18	y (rechts)	140.63	345.14	0.41
9	y (rechts)	84.38	282.39	0.30	19	y (rechts)	140.63	357.39	0.39
10	y (rechts)	84.38	345.14	0.24	20	y (rechts)	140.63	420.14	0.33

$\mu_{\max} = 0.74 < 1.0 \Rightarrow$ Der Nachweis gegen Kippen ist erfüllt

5.5. Bemessungswerte Grundbruch (GEO-2)

Der mobilisierte Erdwiderstand wird mit $e_{phg,mob} = 0.50 \cdot e_{phg}$ angenommen.

5.5.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Bemessungssit.	Faktorisierung	LK	Bemessungssit.	Faktorisierung
1	BS-P	Lf1	11	BS-P	Lf1+1.5 Lf2+0.6 1.5 Lf4
2	BS-P	1.35 Lf1	12	BS-P	1.35 Lf1+1.5 Lf2+0.6 1.5 Lf4
3	BS-P	Lf1+1.5 Lf2	13	BS-P	Lf1+1.5 Lf3
4	BS-P	1.35 Lf1+1.5 Lf2	14	BS-P	1.35 Lf1+1.5 Lf3
5	BS-P	Lf1+0.6 1.5 Lf3	15	BS-P	Lf1+1.5 (Lf2+Lf3)
6	BS-P	1.35 Lf1+0.6 1.5 Lf3	16	BS-P	1.35 Lf1+1.5 (Lf2+Lf3)
7	BS-P	Lf1+1.5 Lf2+0.6 1.5 Lf3	17	BS-P	Lf1+1.5 Lf4
8	BS-P	1.35 Lf1+1.5 Lf2+0.6 1.5 Lf3	18	BS-P	1.35 Lf1+1.5 Lf4
9	BS-P	Lf1+0.6 1.5 Lf4	19	BS-P	Lf1+1.5 (Lf2+Lf4)
10	BS-P	1.35 Lf1+0.6 1.5 Lf4	20	BS-P	1.35 Lf1+1.5 (Lf2+Lf4)

5.5.2. Stützenlast

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	213.77	0.00	0.00	0.00	0.00	11	288.77	42.19	-0.00	15.00	-42.19
2	288.59	0.00	0.00	0.00	0.00	12	363.59	42.19	-0.00	15.00	-42.19
3	288.77	0.00	-0.00	15.00	0.00	13	213.77	0.00	60.00	150.00	0.00
4	363.59	0.00	-0.00	15.00	0.00	14	288.59	0.00	60.00	150.00	0.00
5	213.77	0.00	36.00	90.00	0.00	15	288.77	0.00	60.00	165.00	0.00
6	288.59	0.00	36.00	90.00	0.00	16	363.59	0.00	60.00	165.00	0.00
7	288.77	0.00	36.00	105.00	0.00	17	213.77	70.31	0.00	0.00	-70.31
8	363.59	0.00	36.00	105.00	0.00	18	288.59	70.31	0.00	0.00	-70.31
9	213.77	42.19	0.00	0.00	-42.19	19	288.77	70.31	-0.00	15.00	-70.31
10	288.59	42.19	0.00	0.00	-42.19	20	363.59	70.31	-0.00	15.00	-70.31

Zugehörige charakteristische Werte

LK	N _{St,k} kN	H _{x,St,k} kN	H _{y,St,k} kN	M _{x,St,k} kNm	M _{y,St,k} kNm	LK	N _{St,k} kN	H _{x,St,k} kN	H _{y,St,k} kN	M _{x,St,k} kNm	M _{y,St,k} kNm
1	213.77	0.00	0.00	0.00	0.00	11	263.77	46.88	-0.00	10.00	-46.88
2	213.77	0.00	0.00	0.00	0.00	12	263.77	46.88	-0.00	10.00	-46.88
3	263.77	0.00	-0.00	10.00	0.00	13	213.77	0.00	40.00	100.00	0.00
4	263.77	0.00	-0.00	10.00	0.00	14	213.77	0.00	40.00	100.00	0.00
5	213.77	0.00	40.00	100.00	0.00	15	263.77	0.00	40.00	110.00	0.00
6	213.77	0.00	40.00	100.00	0.00	16	263.77	0.00	40.00	110.00	0.00
7	263.77	0.00	40.00	110.00	0.00	17	213.77	46.88	0.00	0.00	-46.88
8	263.77	0.00	40.00	110.00	0.00	18	213.77	46.88	0.00	0.00	-46.88
9	213.77	46.88	0.00	0.00	-46.88	19	263.77	46.88	-0.00	10.00	-46.88
10	213.77	46.88	0.00	0.00	-46.88	20	263.77	46.88	-0.00	10.00	-46.88

5.6. Nachweis der Grundbruchsicherheit

5.6.1. Belastung und Ersatzabmessungen

LK	N _{0,k} kN	M _{0,x,k} kNm	M _{0,y,k} kNm	a' m	b' m	H _{a',k} kN	H _{b',k} kN
1	313.77	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00
2	313.77	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00
3	363.77	10.00	0.00	2.00	1.95	0.00	0.00
4	363.77	10.00	0.00	2.00	1.95	0.00	0.00
5	313.77	129.33	0.00	2.00	1.18	0.00	0.00
6	313.77	129.33	0.00	2.00	1.18	0.00	0.00
7	363.77	139.33	0.00	2.00	1.23	0.00	0.00
8	363.77	139.33	0.00	2.00	1.23	0.00	0.00
9	313.77	0.00	-82.15	2.00	1.48	0.00	3.39

LK	N _{0,k} kN	M _{0,x,k} kNm	M _{0,y,k} kNm	a' m	b' m	H _{a',k} kN	H _{b',k} kN
10	313.77	0.00	-82.15	2.00	1.48	0.00	3.39
11	363.77	10.00	-82.15	1.95	1.55	0.00	3.39
12	363.77	10.00	-82.15	1.95	1.55	0.00	3.39
13	313.77	129.33	0.00	2.00	1.18	0.00	0.00
14	313.77	129.33	0.00	2.00	1.18	0.00	0.00
15	363.77	139.33	0.00	2.00	1.23	0.00	0.00
16	363.77	139.33	0.00	2.00	1.23	0.00	0.00
17	313.77	0.00	-82.15	2.00	1.48	0.00	3.39
18	313.77	0.00	-82.15	2.00	1.48	0.00	3.39
19	363.77	10.00	-82.15	1.95	1.55	0.00	3.39
20	363.77	10.00	-82.15	1.95	1.55	0.00	3.39

5.6.2. Maßgebende Bodenkennwerte

Ermittlung der maßgebenden Werte mit der Methode des gewogenen Mittels

Werte oberhalb der Sohle bis OK Boden: γ_1 , φ_1 , c_1

Werte unterhalb der Sohle bis zur Tiefe (d_s) der Gleitscholle: γ_2 , φ_2 , c_2

LK	γ_1 kN/m ³	φ_1 °	c_1 kN/m ²	d_s m	γ_2 kN/m ³	φ_2 °	c_2 kN/m ²
1	19.00	32.50	---	3.46	14.93	32.50	---
2	19.00	32.50	---	3.46	14.93	32.50	---
3	19.00	32.50	---	3.37	15.04	32.50	---
4	19.00	32.50	---	3.37	15.04	32.50	---
5	19.00	32.50	---	2.04	17.68	32.50	---
6	19.00	32.50	---	2.04	17.68	32.50	---
7	19.00	32.50	---	2.14	17.36	32.50	---
8	19.00	32.50	---	2.14	17.36	32.50	---
9	19.00	32.50	---	2.51	16.42	32.50	---
10	19.00	32.50	---	2.51	16.42	32.50	---
11	19.00	32.50	---	2.64	16.15	32.50	---
12	19.00	32.50	---	2.64	16.15	32.50	---
13	19.00	32.50	---	2.04	17.68	32.50	---
14	19.00	32.50	---	2.04	17.68	32.50	---
15	19.00	32.50	---	2.14	17.36	32.50	---
16	19.00	32.50	---	2.14	17.36	32.50	---
17	19.00	32.50	---	2.51	16.42	32.50	---
18	19.00	32.50	---	2.51	16.42	32.50	---
19	19.00	32.50	---	2.64	16.15	32.50	---
20	19.00	32.50	---	2.64	16.15	32.50	---

5.6.3. Tragfähigkeits-, Form-, Lastneigungs- und Tiefenbeiwerte

Grundwerte der Tragfähigkeitsbeiwerte N_{b0} , N_{d0} , N_{c0} nach [8]

Formbeiwerte v_b , v_d , v_c nach [8], Tab.2

Lastneigungsbeiwerte i_b , i_d , i_c nach [8], Tab.3

LK	N_{b0} -	N_{d0} -	N_{c0} -	v_b -	v_d -	v_c -	i_b -	i_d -	i_c -
1	15.03	24.58	---	0.700	1.537	---	1.000	1.000	---
2	15.03	24.58	---	0.700	1.537	---	1.000	1.000	---
3	15.03	24.58	---	0.708	1.523	---	1.000	1.000	---
4	15.03	24.58	---	0.708	1.523	---	1.000	1.000	---
5	15.03	24.58	---	0.824	1.316	---	1.000	1.000	---
6	15.03	24.58	---	0.824	1.316	---	1.000	1.000	---
7	15.03	24.58	---	0.815	1.331	---	1.000	1.000	---
8	15.03	24.58	---	0.815	1.331	---	1.000	1.000	---
9	15.03	24.58	---	0.779	1.397	---	0.972	0.983	---
10	15.03	24.58	---	0.779	1.397	---	0.972	0.983	---
11	15.03	24.58	---	0.761	1.428	---	0.976	0.986	---
12	15.03	24.58	---	0.761	1.428	---	0.976	0.986	---
13	15.03	24.58	---	0.824	1.316	---	1.000	1.000	---
14	15.03	24.58	---	0.824	1.316	---	1.000	1.000	---
15	15.03	24.58	---	0.815	1.331	---	1.000	1.000	---
16	15.03	24.58	---	0.815	1.331	---	1.000	1.000	---
17	15.03	24.58	---	0.779	1.397	---	0.972	0.983	---
18	15.03	24.58	---	0.779	1.397	---	0.972	0.983	---
19	15.03	24.58	---	0.761	1.428	---	0.976	0.986	---
20	15.03	24.58	---	0.761	1.428	---	0.976	0.986	---

5.6.4. Bruch- und zulässige Last

Charakteristischer Grundbruchwiderstand $R_{n,k} = a' \cdot b' \cdot (\gamma_2 \cdot b' \cdot N_{b0} \cdot v_{b1b} + \gamma_1 \cdot t \cdot N_{d0} \cdot v_{d1d} + c_2 \cdot N_{c0} \cdot v_{c1c})$

Bemessungswert des Widerstandes $R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{Gr}$

Der Ausnutzungsgrad ergibt sich zu $\mu = N_d / R_{n,d}$

LK	$R_{n,k}$ kN	$\gamma_{R,v}$ -	$R_{n,d}$ kN	N_d kN	μ -	LK	$R_{n,k}$ kN	$\gamma_{R,v}$ -	$R_{n,d}$ kN	N_d kN	μ -
1	3553.68	1.40	2538.34	313.77	0.12	11	2424.36	1.40	1731.69	388.77	0.22
2	3553.68	1.40	2538.34	423.59	0.17	12	2424.36	1.40	1731.69	498.59	0.29
3	3423.87	1.40	2445.62	388.77	0.16	13	1760.82	1.40	1257.73	313.77	0.25
4	3423.87	1.40	2445.62	498.59	0.20	14	1760.82	1.40	1257.73	423.59	0.34
5	1760.82	1.40	1257.73	313.77	0.25	15	1875.29	1.40	1339.49	388.77	0.29
6	1760.82	1.40	1257.73	423.59	0.34	16	1875.29	1.40	1339.49	498.59	0.37
7	1875.29	1.40	1339.49	388.77	0.29	17	2328.84	1.40	1663.46	313.77	0.19
8	1875.29	1.40	1339.49	498.59	0.37	18	2328.84	1.40	1663.46	423.59	0.25
9	2328.84	1.40	1663.46	313.77	0.19	19	2424.36	1.40	1731.69	388.77	0.22
10	2328.84	1.40	1663.46	423.59	0.25	20	2424.36	1.40	1731.69	498.59	0.29

$\mu_{\max} = 0.37 < 1.0 \Rightarrow$ Grundbruchwiderstand ausreichend

5.7. Bemessungswerte Gleiten (GEO-2)

Der mobilisierte Erdwiderstand wird mit $e_{phg,mob} = 1.00 \cdot e_{phg}$ angenommen.

Bemessungswerte der eingeleiteten Lasten siehe Grundbruch.

5.8. Nachweis der Gleitsicherheit

Gleitwiderstand bei konsolidiertem Boden $R_{t,k} = N_{0,k} \cdot \tan(\delta_s)$

Bemessungswert des Gleitwiderstandes $R_{t,d} = R_{t,k} / \gamma_{R,h}$

Bemessungswert des mobilisierten Erdwiderstandes $E_{p,d} = E_{p,k,mob} / \gamma_{R,e}$

Der Ausnutzungsgrad ergibt sich zu $\mu = (R_{t,d} + E_{p,d}) / H_{Res,d}$

Sohlleibungswinkel (für raue Sohlfläche) $\delta_s = 32.5^\circ$

LK	$N_{0,k}$ kN	$R_{t,k}$ kN	$\gamma_{R,h}$ -	$\gamma_{R,e}$ -	$R_{t,d}$ kN	$E_{p,d}$ kN	$H_{Res,d}$ kN	μ -
1	313.77	---	1.10	1.40	---	---	0.00	---
2	313.77	---	1.10	1.40	---	---	0.00	---
3	363.77	---	1.10	1.40	---	---	0.00	---
4	363.77	---	1.10	1.40	---	---	0.00	---
5	313.77	199.89	1.10	1.40	181.72	25.71	36.00	0.17
6	313.77	199.89	1.10	1.40	181.72	25.71	36.00	0.17
7	363.77	231.75	1.10	1.40	210.68	25.71	36.00	0.15
8	363.77	231.75	1.10	1.40	210.68	25.71	36.00	0.15
9	313.77	199.89	1.10	1.40	181.72	30.13	42.19	0.20
10	313.77	199.89	1.10	1.40	181.72	30.13	42.19	0.20
11	363.77	231.75	1.10	1.40	210.68	30.13	42.19	0.18
12	363.77	231.75	1.10	1.40	210.68	30.13	42.19	0.18
13	313.77	199.89	1.10	1.40	181.72	42.86	60.00	0.27
14	313.77	199.89	1.10	1.40	181.72	42.86	60.00	0.27
15	363.77	231.75	1.10	1.40	210.68	42.86	60.00	0.24
16	363.77	231.75	1.10	1.40	210.68	42.86	60.00	0.24
17	313.77	199.89	1.10	1.40	181.72	50.22	70.31	0.30
18	313.77	199.89	1.10	1.40	181.72	50.22	70.31	0.30
19	363.77	231.75	1.10	1.40	210.68	50.22	70.31	0.27
20	363.77	231.75	1.10	1.40	210.68	50.22	70.31	0.27

$\mu_{\max} = 0.30 < 1.0 \Rightarrow$ Gleitwiderstand ausreichend

6. Äußere Standsicherheit - Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

6.1. Bemessungswerte Begrenzung der klaffenden Fuge unter ständiger Last

Die Mobilisierung des Erdwiderstandes wird vernachlässigt.

6.1.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Faktorisierung
1	Lf1

6.1.2. Stützenlast

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	213.77	0.00	0.00	0.00	0.00

6.2. Begrenzung der klaffenden Fuge unter ständiger Last

Keine ausmittige Beanspruchung vorhanden $\Rightarrow$ Der Nachweis entfällt.

6.3. Bemessungswerte Begrenzung der klaffenden Fuge unter Gesamtlast

Die Mobilisierung des Erdwiderstandes wird vernachlässigt.

6.3.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Faktorisierung	LK	Faktorisierung
1	Lf1	4	Lf1+Lf2+Lf3
2	Lf1+Lf2	5	Lf1+Lf4
3	Lf1+Lf3	6	Lf1+Lf2+Lf4

6.3.2. Stützenlast

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	213.77	0.00	0.00	0.00	0.00	4	263.77	0.00	40.00	110.00	0.00
2	263.77	0.00	-0.00	10.00	0.00	5	213.77	46.88	0.00	0.00	-46.88
3	213.77	0.00	40.00	100.00	0.00	6	263.77	46.88	-0.00	10.00	-46.88

6.4. Begrenzung der klaffenden Fuge unter Gesamtlast

LK	N _{0,k} kN/m	M _{0,x,k} kNm/m	M _{0,y,k} kNm/m	e _x m	e _y m	(e _x /b _x) ² + (e _y /b _y) ² -
1	313.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	363.77	10.00	0.00	0.00	0.03	0.000
3	313.77	140.00	0.00	0.00	0.45	0.050
4	363.77	150.00	0.00	0.00	0.41	0.043
5	313.77	0.00	-93.75	-0.30	0.00	0.022
6	363.77	10.00	-93.75	-0.26	0.03	0.017

$$((e_x/b_x)^2 + (e_y/b_y)^2)_{\max} = 0.050 < 1/9$$

$\Rightarrow$ Die maßgebende Resultierende befindet sich in der 2. Kernfläche,
d.h. keine klaffende Fuge über den Schwerpunkt hinaus.

6.5. Nachweis gegen Verschiebung in der Sohlfläche

Der Nachweis gilt als erfüllt, wenn beim Nachweis der Gleitsicherheit (s.o.) der Erdwiderstand unberücksichtigt bleibt.

LK	N _{0,k} kN	R _{t,k} kN	γ _{R,h} -	R _{t,d} kN	H _{Res,d} kN	μ -
1	313.77	---	1.10	---	0.00	---
2	313.77	---	1.10	---	0.00	---
3	363.77	---	1.10	---	0.00	---
4	363.77	---	1.10	---	0.00	---
5	313.77	199.89	1.10	181.72	36.00	0.20
6	313.77	199.89	1.10	181.72	36.00	0.20
7	363.77	231.75	1.10	210.68	36.00	0.17
8	363.77	231.75	1.10	210.68	36.00	0.17
9	313.77	199.89	1.10	181.72	42.19	0.23
10	313.77	199.89	1.10	181.72	42.19	0.23
11	363.77	231.75	1.10	210.68	42.19	0.20
12	363.77	231.75	1.10	210.68	42.19	0.20
13	313.77	199.89	1.10	181.72	60.00	0.33
14	313.77	199.89	1.10	181.72	60.00	0.33
15	363.77	231.75	1.10	210.68	60.00	0.28
16	363.77	231.75	1.10	210.68	60.00	0.28
17	313.77	199.89	1.10	181.72	70.31	0.39
18	313.77	199.89	1.10	181.72	70.31	0.39
19	363.77	231.75	1.10	210.68	70.31	0.33
20	363.77	231.75	1.10	210.68	70.31	0.33

$$\mu_{\max} = 0.39 < 1.0 \Rightarrow \text{Nachweis gegen Verschiebung in der Sohlfläche erfüllt}$$

6.6. Bemessungswerte Setzung

Die Mobilisierung des Erdwiderstandes wird vernachlässigt.

6.6.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Faktorisierung	LK	Faktorisierung
1	Lf1	4	Lf1+Lf2+Lf3
2	Lf1+Lf2	5	Lf1+Lf4
3	Lf1+Lf3	6	Lf1+Lf2+Lf4

6.6.2. Stützenlast

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	213.77	0.00	0.00	0.00	0.00	4	263.77	0.00	40.00	110.00	0.00
2	263.77	0.00	-0.00	10.00	0.00	5	213.77	46.88	0.00	0.00	-46.88
3	213.77	0.00	40.00	100.00	0.00	6	263.77	46.88	-0.00	10.00	-46.88

6.7. Setzungen

Ermittlung der Setzung unter Anwendung geschlossener Formeln entsprechend [9]

Zulässige maximale Setzung $z_{ul} \ s_{max} = 5.0 \text{ cm}$

Zulässige Schiefstellung um die x-Achse $z_{ul} \ \alpha_x = 0.5^\circ$

Zulässige Schiefstellung um die y-Achse $z_{ul} \ \alpha_y = 0.5^\circ$

6.7.1. Ermittlung von setzungserzeugender Sohlspannung und Grenztiefe

Mittlere setzungserzeugende Sohlspannung $\sigma_0' = \sigma_0 - \sigma_a$, wenn $2 \cdot \sigma_a > \sigma_0$ dann $\sigma_0' = \sigma_0$

Die Grenztiefe d_s ergibt sich aus $d_s = z$, wenn $\sigma_B(z) = 0.2 \cdot \sigma_0(z)$ unter dem kennzeichnenden Punkt.

Aushubentlastung infolge Gründungstiefe $\sigma_a = 15.20 \text{ kN/m}^2$

LK	N _{0,k} kN	M _{0,x,k} kNm	M _{0,y,k} kNm	σ_0 kN/m ²	σ_0' kN/m ²	d_s m
1	313.77	0.00	0.00	78.44	63.24	2.53
2	363.77	10.00	0.00	90.94	75.74	2.80
3	313.77	140.00	0.00	78.44	63.24	2.53
4	363.77	150.00	0.00	90.94	75.74	2.80
5	313.77	0.00	-93.75	78.44	63.24	2.53
6	363.77	10.00	-93.75	90.94	75.74	2.80

6.7.2. Ermittlung von Setzungsbeiwerten und Setzungsanteilen je Bodenschicht

Beiwert f für Setzung unter dem kennzeichnenden Punkt nach [10], Bnd. 2, Tab. 4

Beiwerte f_x/f_y für Schiefstellung eines starren Fundamentes nach [11], Abb. 19

Setzungsanteile aus mittlerer Last $s_{m,i} = \sigma_0' \cdot b_y \cdot (f_i - f_{i-1}) / E_{m,i}$

Setzungsanteile aus $M_{0,y}$ $s_{x,i} = b_x / 2 \cdot M_{0,y} / (E_{m,i} \cdot b_y \cdot b_x^2) \cdot (f_{x,i} - f_{x,i-1})$

Setzungsanteile aus $M_{0,x}$ $s_{y,i} = b_y / 2 \cdot M_{0,x} / (E_{m,i} \cdot b_x \cdot b_y^2) \cdot (f_{y,i} - f_{y,i-1})$

LK 1:	Kote	z	f	f_x	f_y	S_m	S_x	S_y
$\sigma_0' = 63.24 \text{ kN/m}^2$	m	m	-	-	-	cm	cm	cm
$M_{0,x} = 0.00 \text{ kNm}$	2.50	1.70	0.450	3.422	3.422	0.57	0.00	0.00
$M_{0,y} = 0.00 \text{ kNm}$	3.33	2.53	0.543	3.693	3.693	0.12	0.00	0.00

LK 2:	Kote	z	f	f_x	f_y	S_m	S_x	S_y
$\sigma_0' = 75.74 \text{ kN/m}^2$	m	m	-	-	-	cm	cm	cm
$M_{0,x} = 10.00 \text{ kNm}$	2.50	1.70	0.450	3.422	3.422	0.68	0.00	0.04
$M_{0,y} = 0.00 \text{ kNm}$	3.60	2.80	0.566	3.731	3.731	0.17	0.00	0.00

LK 3:	Kote	z	f	f_x	f_y	S_m	S_x	S_y
$\sigma_0' = 63.24 \text{ kN/m}^2$	m	m	-	-	-	cm	cm	cm
$M_{0,x} = 140.00 \text{ kNm}$	2.50	1.70	0.450	3.422	3.422	0.57	0.00	0.60
$M_{0,y} = 0.00 \text{ kNm}$	3.33	2.53	0.543	3.693	3.693	0.12	0.00	0.05

LK 4:	Kote	z	f	f_x	f_y	S_m	S_x	S_y
$\sigma_0' = 75.74 \text{ kN/m}^2$	m	m	-	-	-	cm	cm	cm
$M_{0,x} = 150.00 \text{ kNm}$	2.50	1.70	0.450	3.422	3.422	0.68	0.00	0.64
$M_{0,y} = 0.00 \text{ kNm}$	3.60	2.80	0.566	3.731	3.731	0.17	0.00	0.06

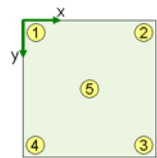
LK 5:	Kote	z	f	f_x	f_y	S_m	S_x	S_y
$\sigma_0' = 63.24 \text{ kN/m}^2$	m	m	-	-	-	cm	cm	cm
$M_{0,x} = 0.00 \text{ kNm}$	2.50	1.70	0.450	3.422	3.422	0.57	-0.40	0.00
$M_{0,y} = -93.75 \text{ kNm}$	3.33	2.53	0.543	3.693	3.693	0.12	-0.03	0.00

LK 6:	Kote	z	f	f_x	f_y	S_m	S_x	S_y
$\sigma_0' = 75.74 \text{ kN/m}^2$	m	m	-	-	-	cm	cm	cm
$M_{0,x} = 10.00 \text{ kNm}$	2.50	1.70	0.450	3.422	3.422	0.68	-0.40	0.04
$M_{0,y} = -93.75 \text{ kNm}$	3.60	2.80	0.566	3.731	3.731	0.17	-0.04	0.00

6.7.3. Resultierende Setzungen und Schiefstellung je LK

$$s_1 = \sum (s_{m,i} + s_{x,i} - s_{y,i}) \quad s_2 = \sum (s_{m,i} - s_{x,i} - s_{y,i}) \quad s_3 = \sum (s_{m,i} - s_{x,i} + s_{y,i}) \quad s_4 = \sum (s_{m,i} + s_{x,i} + s_{y,i}) \quad s_5 = \sum s_{m,i}$$

$$\tan \alpha_x = 2 \cdot \sum s_{y,i} / b_y \quad \tan \alpha_y = 2 \cdot \sum s_{x,i} / b_x$$



LK	s1 cm	s2 cm	s3 cm	s4 cm	s5 cm	Smax cm	α_x °	α_y °
1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.0	0.0
2	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0
3	0.0	0.0	1.3	1.3	0.7	1.3	0.4	0.0
4	0.2	0.2	1.6	1.6	0.9	1.6	0.4	0.0
5	0.3	1.1	1.1	0.3	0.7	1.1	0.0	-0.2
6	0.4	1.2	1.3	0.5	0.9	1.3	0.0	-0.3

$$\max S_{\max} = 1.6 < 5.0 \text{ cm} \quad \max |\alpha_x| = 0.4^\circ < 0.5^\circ \quad \max |\alpha_y| = 0.3^\circ < 0.5^\circ$$

⇒ zulässige Setzung und Schiefstellung eingehalten

M_{dst} - destabilisierendes Moment M_{stb} - stabilisierendes Moment N_0 - Normalkraft in Sohlfuge
 M_0 - Momentenbelastung im Schwerpunkt der Sohlfuge a'/b' - Ersatzbreiten infolge exzentr. Belastung mit $a':b'$
 H_a/H_b - Horizontallasten in Richtung der entspr. Breiten t - Einbindetiefe σ_0 - mittlere Sohlnormalspannung
 σ_B - Bodenspannungen aus Bauwerkslasten σ_0 - Überlagerungsspannungen aus Eigenlast des Bodens
 d_s - Grenztiefe bzw. Dicke der zusammendrückbaren Schicht unter der Fundamentsohle z - Tiefe ab Fundamentunterkante

7. Drehfeder des Systems Fundament-Baugrund

Ermittlung der Drehfederkonstante mit Hilfe des Bettungsmoduls.

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

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

Abschätzung des Bettungsmoduls nach [12]

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

mit Formfaktor f abhängig vom Seitenverhältnis: 1:1 → $f = 0.45$, 1:2 → $f = 0.42$, 1:4 → $f = 0.35$

Annahme für Korrekturfaktor $\kappa = 1$

$$\text{Steifeziffer } E_s = 1 \cdot 10000.00 = 10000.00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Formfaktor } f = 0.45$$

$$\text{Bettungsmodul } k_s = 11111.11 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Trägheitsmoment } I_x / I_y = 1.33 / 1.33 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Drehfeder um die x-Achse } c_{v,x} = 14814.81 \text{ kNm}$$

$$\text{Drehfeder um die y-Achse } c_{v,y} = 14814.81 \text{ kNm}$$

8. Zusammenfassung Fundamentbemessung

Alle geführten Nachweise und Bemessungen konnten erfolgreich durchgeführt werden.

erforderliche Einspanntiefe des Stützenquerschnittes	f_{erf}	= 67.3 cm
gewählte Einspanntiefe	f_{gew}	= 68.0 > 67.3 cm
Tragfähigkeit des Stützenquerschnittes	$\mu_{\max}$	= 0.72
Schweißnaht zwischen Stütze und Fußplatte	$\mu_{\max}$	= 0.39
Einleitung der Normalkraft	$\mu_{\max}$	= 0.39
Längsbewehrung x-Richtung (oben)	$\text{vorh } A_{so,x}$	= 3.1 cm ²
Längsbewehrung x-Richtung (unten)	$\text{vorh } A_{su,x}$	= 4.7 cm ²
Längsbewehrung y-Richtung (oben)	$\text{vorh } A_{so,y}$	= 3.1 cm ²
Längsbewehrung y-Richtung (unten)	$\text{vorh } A_{su,y}$	= 4.7 cm ²
Kippen	$\mu_{\max}$	= 0.74
Grundbruch	$\mu_{\max}$	= 0.37
Gleiten	$\mu_{\max}$	= 0.30
Klaffende Fuge unter ständiger Last	μ_{vorh}	= 0.00
Klaffende Fuge unter Gesamtlast	$\mu_{\max}$	= 0.45
Verschiebung in der Sohlfläche	$\mu_{\max}$	= 0.39
Setzung	$S_{\max}$	= 1.6 < 5.0 cm
Schiefstellung (um x-Achse)	$\alpha_{\max,x}$	= 0.4 < 0.5 °
Schiefstellung (um y-Achse)	$\alpha_{\max,y}$	= 0.3 < 0.5 °
Drehfeder (um die x-Achse)	$c_{v,x}$	= 14815 kNm
Drehfeder (um die y-Achse)	$c_{v,y}$	= 14815 kNm

Literatur und Normen:

- [1] DIN 4085: Baugrund, Berechnung des Erddrucks, August 2017
- [2] Kindmann, Kraus, Laumann, Vette: Verallgem. Berechnungsmethode für in Beton eingesp. Stahlprofile, Stahlbau 92, Heft 1, Ernst & Sohn, 2023
- [3] DIN EN 1993-1-1: Eurocode 3: Bem. und Konstr. von Stahlbauten - Teil 1-1: Allg. Bem.regeln u. Regeln für den Hochbau, Dez. 2010
- [4] DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1, Januar 2011
- [5] DIN EN 1993-1-8: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen, Dez. 2010
- [6] DAfStb Heft 240: Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgr. und Formänderungen von Stahlbetontragwerken, Beuth, 3.Aufl., 1991
- [7] DIN 1054: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regeln zu DIN EN 1997-1, April 2021
- [8] DIN 4017: Baugrund, Berechnung des Grundbruchwiderstandes von Flächengründungen, März 2006
- [9] DIN 4019: Baugrund - Setzungsberechnungen, Januar 2014
- [10] Kany, M.: Berechnung von Flächengründungen, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, 2.Aufl. 1974
- [11] Sherif, G.; König, G.: Platten und Balken auf nachgiebigem Baugrund, Springer, 1975
- [12] Rausch, E.: Maschinenfundamente, Betonkalender 1973, Teil 2, Ernst & Sohn