

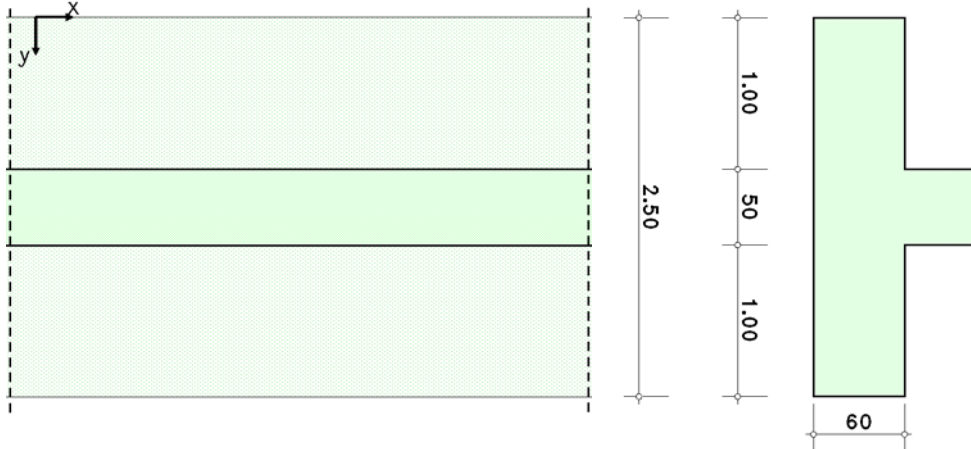
Streifenfundament

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

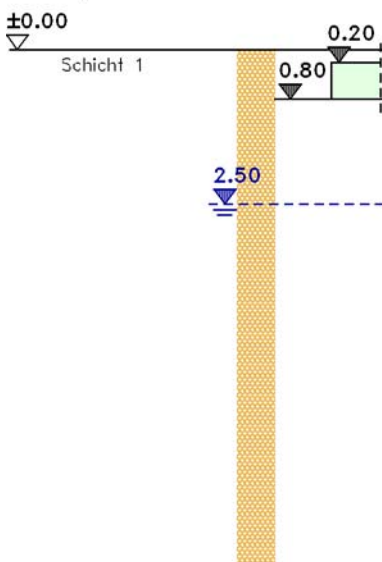
Äußere Standsicherheit nach DIN EN 1997-1:2014-03 mit NA-Deutschland

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

Maßstab 1:50



Bodenprofil



Betonfestigkeitsklasse C30/37

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

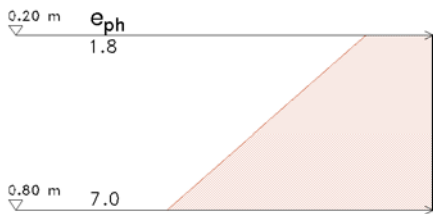
Schicht	d m	z m	γ kN/m ³	γ' kN/m ³	φ °	c_k kN/m ²	E_m MN/m ²	δ_p °
Schicht 1	99.00	0.00	22.00	13.00	37.0	---	80.00	auto

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

Als Erdwiderstand wird der Erdruchdruck angesetzt.



$\Sigma(\gamma \cdot h)$ Summe Bodengewicht in der betrachteten Tiefe
 $\Sigma(\gamma \cdot h)_{cal}$ Summe Bodengewicht in der betrachteten Tiefe zuzüglich Böschungseinfluß
 K_{0gh} Erddruckbeiwert entspr. [1] Abschn. 6.2.1, Gl.(7) (Ansatz nach Müller-Breslau)
 e_{0h} horiz. Erddruckordinate

z m	$\Sigma(\gamma \cdot h)$ kN/m ²	$\Sigma(\gamma \cdot h)_{cal}$ kN/m ²	K_{0gh} -	e_{0h} kN/m ²
0.20	4.40	7.70	0.398	1.75
0.80	17.60	17.60	0.398	7.01

Der resultierende maximale Erdwiderstand ergibt sich zu $E_{0hg} = 2.63$ kN/m, bei $z_s = 0.56$ 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: Eigengewicht (1)

2: Nutzlasten (2)

2: Nutzlasten (2/1)

ständige Lasten

additiv

veränderliche Nutzlasten in Versammlungs-, Verkaufsräumen

additiv

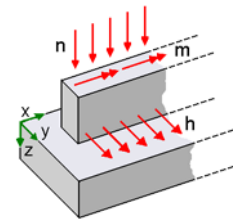
2.2. Bemessungssituation der Lastfälle für äußere Standsicherheit

Lastf.	Bezeichnung	BS-P	BS-T
1	Eigengewicht (1)	x	
2	Nutzlasten (2/1)	x	

2.3. Charakteristische Wandlast

Angriffspunkt im Schwerpunkt der Wand auf OK Fundamentplatte

Lastf.	n_w kN/m	h_w kN/m	m_w kNm/m
1	650.00	100.00	150.00
2	175.00	30.00	50.00



2.4. Eigengewicht

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

Die Höhe der Erdauflast beträgt $h_A = 0.20$ m.

Die mittlere Wichte der Erdauflast beträgt $\gamma_A = 22.00$ kN/m³.

Die Resultierende aus Eigengewicht in der Bodenfuge beträgt $n_{0,Eigen,k} = 46.30$ kN/m.

Das Eigengewicht wird im Lastfall 1 mit berücksichtigt.

3. Bemessung der Fundamentplatte

3.1. Material Sicherheitsbeiwerte

Bemessungssit.	γ_c	γ_s
ständig und vorübergehend	1.50	1.15

3.2. Bemessungswerte Stahlbetonbemessung

Die Mobilisierung des Erdwiderstandes wird vernachlässigt.

3.2.1. 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

3.2.2. Wandlast

Erhöhungsfaktor für Momente: $\Delta M_{St,TH,II,0} = M_{St} \cdot 50\%$
(zur Berücksichtigung des Momentenzuwachses aus nichtlinearen Effekten)

LK	$n_{w,d}$ kN/m	$h_{w,d}$ kN/m	$m_{w,d}$ kNm/m
1	650.00	100.00	225.00
2	877.50	135.00	303.75
3	912.50	145.00	337.50
4	1140.00	180.00	416.25

3.3. Sohldruck

Ermittlung der Sohldrücke unter Annahme linearer Bodenspannungen und Zugausfall

Minimale und maximal Spannungen: σ_{Min} , σ_{Max} , Spannung im Schwerpunkt der Platte: σ_{SP}

LK	σ_{Min} kN/m ²	σ_{Max} kN/m ²	σ_{SP} kN/m ²
1	4.92	552.12	278.52
2	6.64	745.36	376.00
3	0.00	791.82	383.12
4	0.00	984.81	480.73

3.4. Bemessung für Biegung

3.4.1. Längsbewehrung in y-Richtung (senkrecht zur Wand)

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

Momente in den Bemessungsschnitten

LK	y = 100.0 cm kNm/m	y = 150.0 cm kNm/m
1	29.24	229.88
2	39.47	310.34
3	32.98	331.71
4	43.10	412.10

Bemessung für LK 4: $\varepsilon_o/\varepsilon_u = -3.11/28.12\%$ erf $a_{s,u} = 17.51$ cm²/m

3.4.2. Längsbewehrung in x-Richtung (parallel zur Wand)

Nach [2], Abschn. 9.2.1.1(2) ist bei einachsig gespannten Platten eine Mindestquerbewehrung von 20% vorzusehen.

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

erf $a_{s,u,x} = 0.2 \cdot$ erf $a_{s,u,y} = 3.50$ cm²/m

3.4.3. Gewählte Bewehrung in x-Richtung

Unten **B500A, parallel zur Wand einzulegen**
Ø 12 / 32.0 cm = 3.53 = 3.50 cm²/m

3.4.4. Gewählte Bewehrung in y-Richtung

Unten **B500A, senkrecht zur Wand einzulegen**
Ø 12 / 6.0 cm = 18.85 > 17.51 cm²/m

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

4. Äußere Standsicherheit - Nachweis der Tragfähigkeit (ULS)

4.1. Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite

Entsprechend [3] Tabelle A 2.1

4.2. Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite

Entsprechend [3] Tabellen A 2.2 und A 2.3

4.3. Bemessungswerte Kippen (EQU)

Die Mobilisierung des Erdwiderstandes wird vernachlässigt.

4.3.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Bemessungssit.	Faktorisierung
1	BS-P	0.9 · Lf1
2	BS-P	1.1 · Lf1
3	BS-P	0.9 · Lf1+1.5 · Lf2
4	BS-P	1.1 · Lf1+1.5 · Lf2

4.3.2. Wandlast

LK	$n_{w,d}$ kN/m	$h_{w,d}$ kN/m	$m_{w,d}$ kNm/m
1	585.00	90.00	135.00
2	715.00	110.00	165.00
3	847.50	135.00	210.00
4	977.50	155.00	240.00

4.4. Nachweis gegen Kippen (EQU)

Der Ausnutzungsgrad ergibt sich zu $\mu = m_{dst}/m_{stb}$

Keine destabilisierende Beanspruchung vorhanden \Rightarrow Der Nachweis entfällt.

4.5. Bemessungswerte Grundbruch (GEO-2)

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

4.5.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Bemessungssit.	Faktorisierung
1	BS-P	Lf1
2	BS-P	1.35 Lf1
3	BS-P	Lf1+1.5 Lf2
4	BS-P	1.35 Lf1+1.5 Lf2

4.5.2. Wandlast

LK	n _{w,d} kN/m	h _{w,d} kN/m	m _{w,d} kNm/m
1	650.00	100.00	150.00
2	877.50	135.00	202.50
3	912.50	145.00	225.00
4	1140.00	180.00	277.50

Zugehörige charakteristische Werte

LK	n _{w,k} kN/m	h _{w,k} kN/m	m _{w,k} kNm/m
1	650.00	100.00	150.00
2	650.00	100.00	150.00
3	825.00	130.00	200.00
4	825.00	130.00	200.00

4.6. Nachweis der Grundbruchsicherheit

4.6.1. Belastung und Ersatzabmessungen

LK	n _{0,k} kN/m	m _{0,k} kNm/m	b' m	h _k kN/m
1	696.30	209.68	1.90	98.69
2	696.30	209.68	1.90	98.69
3	871.30	277.68	1.86	128.69
4	871.30	277.68	1.86	128.69

4.6.2. 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	22.00	37.00	---	3.02	18.06	37.00	---
2	22.00	37.00	---	3.02	18.06	37.00	---
3	22.00	37.00	---	2.93	18.22	37.00	---
4	22.00	37.00	---	2.93	18.22	37.00	---

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

Grundwerte der Tragfähigkeitsbeiwerte N_{b0}, N_{d0}, N_{c0} nach [4]

Formbeiwerte v_b, v_d, v_c nach [4], Tab.2

Lastneigungsbeiwerte i_b, i_d, i_c nach [4], Tab.3

LK	N _{b0}	N _{d0}	N _{c0}	v _b	v _d	v _c	i _b	i _d	i _c
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	31.59	42.92	---	1.000	1.000	---	0.632	0.737	---
2	31.59	42.92	---	1.000	1.000	---	0.632	0.737	---
3	31.59	42.92	---	1.000	1.000	---	0.619	0.726	---
4	31.59	42.92	---	1.000	1.000	---	0.619	0.726	---

4.6.4. Bruch- und zulässige Last

Charakteristischer Grundbruchwiderstand $R_{n,k} = b'(\gamma_2 b' N_{b0} v_b i_b + \gamma_1 t N_{d0} v_d i_d + c_2 N_{c0} v_c i_c)$

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/m	$\gamma_{R,v}$ -	R _{n,d} kN/m	N _d kN/m	μ -
1	2355.23	1.40	1682.31	696.30	0.41
2	2355.23	1.40	1682.31	940.01	0.56
3	2258.47	1.40	1613.19	958.80	0.59
4	2258.47	1.40	1613.19	1202.51	0.75

$\mu_{\max} = 0.75 < 1.0 \Rightarrow$ Grundbruchwiderstand ausreichend

4.7. Bemessungswerte Gleiten (GEO-2)

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

Bemessungswerte der eingeleiteten Lasten siehe Grundbruch.

4.8. Nachweis der Gleitsicherheit

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

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 $\mu = (R_{t,d} + e_{p,d}) / h_d$

Sohlreibungswinkel (für raue Sohlfläche) $\delta_s = 37.0 > 35 \Rightarrow \delta_s = 35^\circ$

LK	$n_{0,k}$ kN/m	$R_{t,k}$ kN	$\gamma_{R,h}$ -	$\gamma_{R,e}$ -	$R_{t,d}$ kN/m	$e_{p,d}$ kN/m	h_d kN/m	μ -
1	696.30	487.55	1.10	1.40	443.23	1.88	100.00	0.22
2	696.30	487.55	1.10	1.40	443.23	1.88	135.00	0.30
3	871.30	610.09	1.10	1.40	554.63	1.88	145.00	0.26
4	871.30	610.09	1.10	1.40	554.63	1.88	180.00	0.32

$\mu_{\max} = 0.32 < 1.0 \Rightarrow$ Gleitwiderstand ausreichend

5. Äußere Standsicherheit - Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

5.1. Bemessungswerte Begrenzung der klaffenden Fuge unter ständiger Last

Die Mobilisierung des Erdwiderstandes wird vernachlässigt.

5.1.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Faktorisierung
1	Lf1

5.1.2. Wandlast

LK	$n_{w,d}$ kN/m	$h_{w,d}$ kN/m	$m_{w,d}$ kNm/m
1	650.00	100.00	150.00

5.1.3. Sohldruck

Ermittlung der Sohldrücke unter Annahme linearer Bodenspannungen und Zugausfall

Minimale und maximal Spannungen: σ_{\min} , σ_{\max} , Spannung im Schwerpunkt der Platte: σ_{SP}

LK	σ_{\min} kN/m ²	σ_{\max} kN/m ²	σ_{SP} kN/m ²
1	76.92	480.12	278.52

5.2. Begrenzung der klaffenden Fuge unter ständiger Last

Schnittgrößen im Schwerpunkt der Fundamentsohle: $n_{0,k} = 696.30$ kN/m

$m_{0,k} = 210.00$ kNm/m

Exzentrizität der Resultierenden: $e = 0.30$ m

$e/b = 0.12 < 1/6$

\Rightarrow die Resultierende befindet sich in der 1. Kernfläche

d.h. es entsteht keine klaffende Fuge infolge ständiger Last.

5.3. Bemessungswerte Begrenzung der klaffenden Fuge unter Gesamtlast

Die Mobilisierung des Erdwiderstandes wird vernachlässigt.

5.3.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Faktorisierung
1	Lf1
2	Lf1+Lf2

5.3.2. Wandlast

Erhöhungsfaktor für Momente: $\Delta M_{St,TH.II.0} = M_{St} \cdot 50\%$

(zur Berücksichtigung des Momentenzuwachses aus nichtlinearen Effekten)

LK	$n_{w,d}$ kN/m	$h_{w,d}$ kN/m	$m_{w,d}$ kNm/m
1	650.00	100.00	150.00
2	825.00	130.00	200.00

5.3.3. Sohldruck

Ermittlung der Sohldrücke unter Annahme linearer Bodenspannungen und Zugausfall

Minimale und maximal Spannungen: σ_{Min} , σ_{Max} , Spannung im Schwerpunkt der Platte: σ_{SP}

LK	σ_{Min} kN/m ²	σ_{Max} kN/m ²	σ_{SP} kN/m ²
1	76.92	480.12	278.52
2	81.64	615.40	348.52

5.4. Begrenzung der klaffenden Fuge unter Gesamtlast

LK	$n_{0,k}$ kN/m	$m_{0,k}$ kNm/m	e m	e/b -
1	696.30	210.00	0.30	0.121
2	871.30	278.00	0.32	0.128

$$(e/b)_{\text{max}} = 0.128 < 1/3$$

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

5.5. 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/m	$R_{t,k}$ kN	$\gamma_{R,h}$ -	$R_{t,d}$ kN/m	h_d kN/m	μ -
1	696.30	487.55	1.10	443.23	100.00	0.23
2	696.30	487.55	1.10	443.23	135.00	0.30
3	871.30	610.09	1.10	554.63	145.00	0.26
4	871.30	610.09	1.10	554.63	180.00	0.32

$$\mu_{\text{max}} = 0.32 < 1.0 \Rightarrow \text{Nachweis gegen Verschiebung in der Sohlfläche erfüllt}$$

5.6. Bemessungswerte Setzung

Die Mobilisierung des Erdwiderstandes wird vernachlässigt.

5.6.1. Faktorisierung der Lastfallkombinationen

LK	Faktorisierung
1	Lf1
2	Lf1+Lf2

5.6.2. Wandlast

LK	$n_{w,d}$ kN/m	$h_{w,d}$ kN/m	$m_{w,d}$ kNm/m
1	650.00	100.00	150.00
2	825.00	130.00	200.00

5.7. Setzungen

Ermittlung der Setzung unter Anwendung geschlossener Formeln entsprechend [5]

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

Zulässige Schiefstellung zul $\alpha = 0.5$ °

5.7.1. Ermittlung von setzungserzeugender Sohlspannung und Grenztiefe

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

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

Aushubentlastung infolge Gründungstiefe $\sigma_a = 17.60$ kN/m²

LK	$n_{0,k}$ kN/m	$m_{0,k}$ kNm/m	σ_0 kN/m ²	σ_0' kN/m ²	d_s m
1	696.30	210.00	278.52	260.92	11.30
2	871.30	278.00	348.52	330.92	12.91

5.7.2. Ermittlung von Setzungsbeiwerten und Setzungsanteilen je Bodenschicht

Beiwert f für Setzung unter dem kennzeichnenden Punkt nach [6], Bnd. 2, Tab. 4

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

Setzungsanteile aus m_0 $s_{r,i} = b/2 \cdot m_0 / (E_{m,i} \cdot b^2) \cdot 12/\pi$

LK 1:	Kote	z	f	s_m	s_r
	m	m	-	cm	cm
$\sigma_0' = 260.92$ kN/m ²	2.50	1.70	0.508	0.41	0.20
$m_0 = 210.00$ kNm/m	12.10	11.30	1.531	0.83	0.20

LK 2:

$\sigma_0' = 330.92 \text{ kN/m}^2$

$m_0 = 278.00 \text{ kNm/m}$

Kote m	z m	f -	S _m cm	S _r cm
2.50	1.70	0.508	0.53	0.27
13.71	12.91	1.614	1.14	0.27

5.7.3. Resultierende Setzungen und Schiefstellung je LK

$s_1 = \Sigma(s_{m,i} - s_{r,i}) \quad s_2 = \Sigma(s_{m,i} + s_{r,i}) \quad s_3 = \Sigma s_{m,i}$

$\tan \alpha = 2 \cdot \Sigma s_{y,i} / b_y$

LK	s1 cm	s2 cm	s3 cm	S _{max} cm	α °
1	0.8	1.6	1.2	1.6	0.2
2	1.1	2.2	1.7	2.2	0.2

$\max s_{\max} = 2.2 < 5.0 \text{ cm} \quad \max |\alpha| = 0.2^\circ < 0.5^\circ$

⇒ zulässige Setzung und Schiefstellung eingehalten

n₀ - Normalkraft in Sohlfuge m₀ - Momentenbelastung im Schwerpunkt der Sohlfuge b' - Ersatzbreite infolge exzentr. Belastung
t - Einbindetiefe σ₀ - mittlere Sohlnormalspannung σ_B - Bodenspannungen aus Bauwerkslasten
σ_ü - Überlagerungsspannungen aus Eigenlast des Bodens d_s - Grenztiefe bzw. Dicke der zusammendrückbaren Schicht unter der Fundamentsohle
z - Tiefe ab Fundamentunterkante

6. Drehfeder des Systems Fundament-Baugrund

Ermittlung der Drehfederkonstante mit Hilfe des Bettungsmodules.

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

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

Abschätzung des Bettungsmodules nach [7]

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

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

Annahme für Korrekturfaktor κ = 1

Steifeziffer E_s = 1.80000.00 = 80000.00 kN/m²

Formfaktor f = 0.25

Bettungsmodul k_s = 202385.77 kN/m³

Trägheitsmoment I_x / I_y = 0.21 / 1.30 kN/m³

Drehfeder um die x-Achse c_{v,x} = 42163.70 kNm

Drehfeder um die y-Achse c_{v,y} = 263523.14 kNm

7. Zusammenfassung

Alle geführten Nachweise und Bemessungen konnten erfolgreich durchgeführt werden.

Längsbewehrung x-Richtung

erf $A_{s,x}$

= 3.5 cm²

Längsbewehrung y-Richtung

erf $A_{s,y}$

= 17.5 cm²

Kippen

μ_{\max}

= 0.00

Grundbruch

μ_{\max}

= 0.75

Gleiten

μ_{\max}

= 0.32

Klaffende Fuge unter ständiger Last

μ_{vorh}

= 0.72

Klaffende Fuge unter Gesamtlast

μ_{\max}

= 0.38

Verschiebung in der Sohlfläche

μ_{\max}

= 0.32

Setzung

s_{\max}

= 2.2 cm

Schiefstellung

$\alpha_{\max,x}$

= 0.2°

Drehfeder um die x-Achse

$c_{v,x}$

= 42163.70 kNm

Literatur und Normen:

[1] DIN 4085: Baugrund, Berechnung des Erddrucks, August 2017

[2] DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1, Januar 2011

[3] DIN 1054: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regeln zu DIN EN 1997-1, April 2021

[4] DIN 4017: Baugrund, Berechnung des Grundbruchwiderstandes von Flächengründungen, März 2006

[5] DIN 4019: Baugrund - Setzungsberechnungen, Januar 2014

[6] Kany, M.: Berechnung von Flächengründungen, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, 2.Aufl. 1974

[7] Rausch, E.: Maschinenfundamente, Betonkalender 1973, Teil 2, Ernst & Sohn