

BEMESSUNG VON ERDBEBENWÄNDEN

Berechnet mit der Methode der Kapazitätsbemessung

Modell: Modell Beispiel CAS Kurs.axs

Autor: Liene Wild

Datum: 31.07.2015

Normen

| | | |
|-------------------------|------|--|
| Norm SIA 261 | 2014 | Einwirkungen auf Tragwerke, 1. Auflage. Ausgabe 2014 |
| Norm SIA 262 | 2013 | Betonbau, 1. Auflage. Ausgabe 2013 |
| SIA-Dokumentation D0171 | 2002 | Erdbebengerechter Entwurf und Kapazitätsbemessung eines Gebäudes mit Stahlbetontragwänden. |
| SIA-Dokumentation D0191 | 2004 | Grundlagen der Projektierung von Tragwerken - Einwirkungen auf Tragwerke - Bemessungsbeispiele zu den Normen SIA 260 und 261 |

Zusammenfassung

Wand 1 - Nicht erfüllt.

Wand 1

Bereiche: 1, 2, 3, 4, 5, 6

Parameter

Stockwerkshöhe $h_s = 3.84$ m

Wandhöhe $h_w = 18.63$ m

Wandlänge $l_w = 5.53$ m

Wandstärke $b_{w0} = 0.30$ m

Wandstärke Randelement $b_w = 0.30$ m

Betonüberdeckung $c_{nom} = 20$ mm

Periode $T_c = 0.60$ s

Periode $T_1 = 0.60$ s

Normalkraft $N_d = 4'449$ kN

Querkraft $V_d = 1'919$ kN

Moment $M_d = 26'016$ kNm

Betondruckfestigkeit $F_{cd} = 20$ N/mm²

Bewehrungsfestigkeit $F_{sk} = 500$ N/mm²

Bewehrungsfestigkeit $F_{sd} = 435$ N/mm²

Duktilitätsklasse = B

Verhaltensbeiwert $q = 3$

Zusammenfassung der Lasten

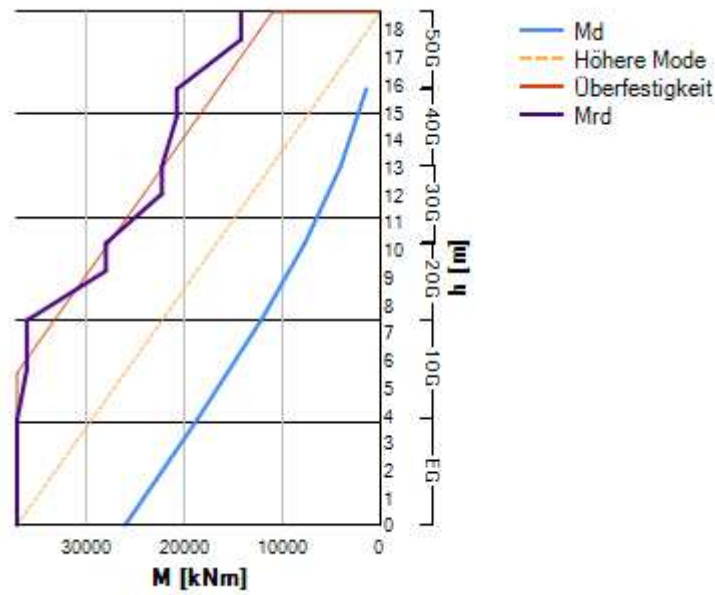


Abbildung 1 - Momentenverlauf

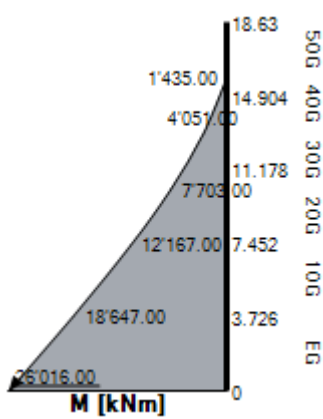


Abbildung 2 - Momente

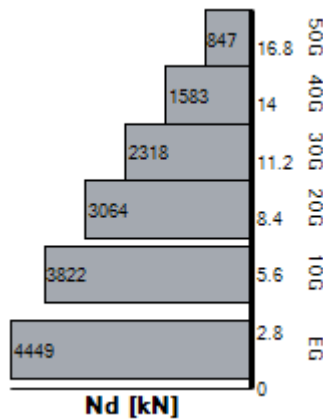


Abbildung 3 - Normalkräfte

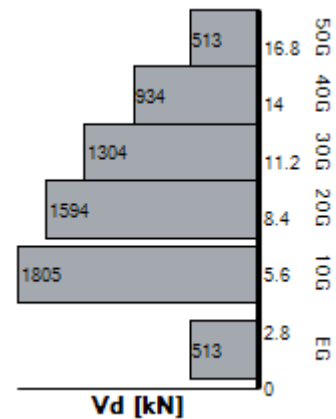


Abbildung 4 - Querkräfte

Bemessung

Für die Kontrolle des Geltungsbereichs muss als erstes die Schlankheit der Tragwand kontrolliert werden.

$$h_w / l_w \geq 2$$

Bei einer Wandlänge l_w von 5.53 m und einer Wandhöhe h_w von 18.63 m, resultiert ein Verhältnis von 3.37. Dies entspricht der Anforderung.

Schritt 1: Höhe des plastischen Gelenks

$$h_{pl} \geq (l_w, h_w/6) \rightarrow h_w = 18.63 \text{ m}$$

$$l_w = 5.53 \text{ m}, \quad h_w/6 = 3.11 \text{ m} \rightarrow h_{pl} = 5.53 \text{ m}$$

SIA 262, 5.7.1.1

Eine Abminderung von h_{pl} auf die Stockwerkshöhe des Erdgeschosses h_s ist möglich, wenn:

$$h_s = 3.84 \text{ m} \geq h_w/9 = 2.07 \text{ m} \text{ und } h_s \geq (2 \cdot l_w)/3 = 3.69 \text{ m}$$

SIA 262, 5.7.1.1

Beide Voraussetzungen sind erfüllt, die Höhe des plastischen Gelenks wird deshalb auf die Stockwerkshöhe im EG abgemindert.

$$h_{pl} = 3.84 \text{ m}$$

Schritt 2: Biegebemessung des plastischen Gelenks

Im Erdgeschoss beträgt die Normalkraft N_d 4'449 kN und das Moment M_d 26'016 kNm.

Das Gleichgewicht stellt sich bei einer Randbewehrung von 10 $\varnothing 30$ s = 150 mm, einer inneren Bewehrung $\varnothing 10$ s = 150 mm und einer Druckzone $x = 146$ cm ein. Die Stückzahl der Randelementbewehrung bezieht sich nur auf eine Seite.

Die Bewehrungsteilung vertikal im Randelement und Stegbereich muss kleiner als 250mm und $25\varnothing$ sein. (SIA 262, 5.7.1.1).

Der maximale Durchmesser muss gleich oder kleiner als $b_w/10$ sein. (D0171, S.166).

Der daraus resultierende Randbewehrungsgehalt beträgt 3.2%, der Stegbewehrungsgehalt 0.3% und der totale Bewehrungsgehalt 1.9%.

Der Rand- und Stegbewehrungsgehalt muss zwischen 0.3% und 3.0% liegen. (SIA 262, 5.7.1.1).

Der totale Bewehrungsgehalt sollte ≤ 1.0 sein, dies ist jedoch nur eine Empfehlung (D0171 S.146).

Die gewählte Randbewehrung erfüllt nicht alle Voraussetzungen der Norm. Der Randbewehrungsgehalt ist grösser als 3%.

Die Stegbewehrung erfüllt alle Voraussetzungen der Norm.

Der totale Bewehrungsgehalt ist $> 1\%$

$$x = 146 \text{ cm} \leq 4 \cdot b_w = 120 \text{ cm}$$

Wenn $x \geq 4 \cdot b_w$ muss der Flansch auf einer Breite von min. $x/2$ auf $l_w/12$ verstärkt werden.

Die berechnete Druckzone entspricht der Anforderungen der Norm nicht.

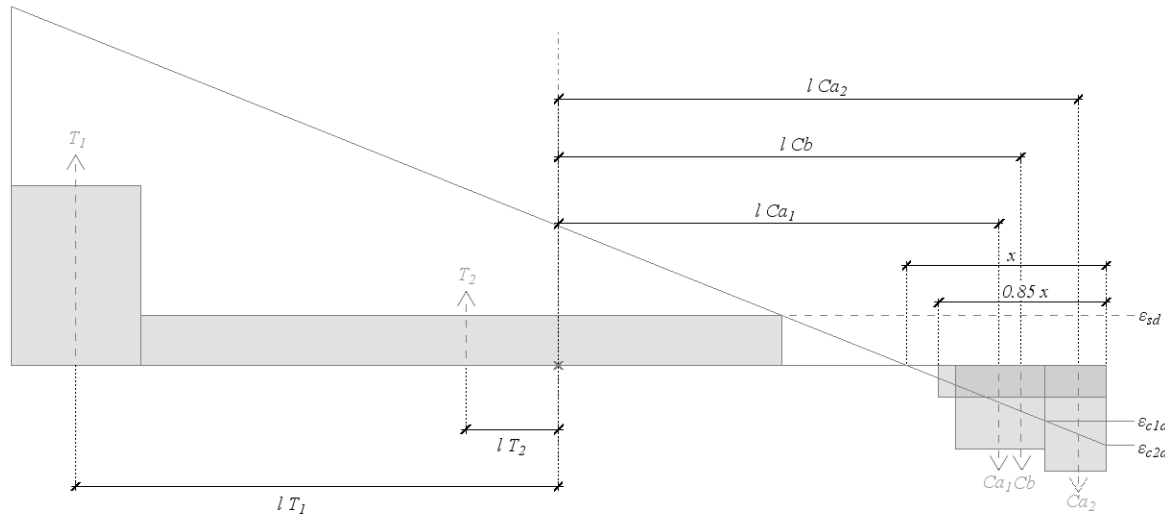


Abbildung 5 - Die Biegebemessung des plastischen Gelenks beruht auf der Hypothese von Bernoulli und auf den Gleichgewichtsbedingungen im Grenzzustand der Tragsicherheit

$$T_1 = 10 * 2 * A_s(\text{Ø}30) * f_{sd} = 6'150 \text{ kN}$$

$$T_2 = 712 \text{ kN}$$

$$C_a = C_{a1} + C_{a2} = -3'856 \text{ kN}$$

$$C_b = 0.85 * x * b_w * f_{cd} = 7'446 \text{ kN}$$

$$N = T_1 + T_2 + C_a + C_b = 4'440.77 \text{ kN}$$

$$N \approx N_d \rightarrow \text{Differenz} = 0.01 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = \sum T_i * l_i = 37'026.78 \text{ kNm} \geq 26'016 \text{ kNm}$$

M_{Rd} entspricht der Anforderung der Norm

Der maximale Biegezugspannung wird mit $1.10 * f_{sk} = 550.00 \text{ N/mm}^2$ und

$f_{cm} = 38.00 \text{ N/mm}^2$ berechnet. Mit der gleichen Bewehrung wie oben und einer Druckzone von 108 cm, ergibt sich folgendes Gleichgewicht:

$$T_1 = 10 * 2 * A_s(\text{Ø}30) * 1.10 * f_{sk} = 7'775 \text{ kN}$$

$$T_2 = 1'271 \text{ kN}$$

$$C_a = C_{a1} + C_{a2} = -2'999 \text{ kN}$$

$$C_b = 0.85 * x * b_w * f_{cm} = 10'494 \text{ kN}$$

$$N = T_1 + T_2 + C_a - C_b = 4'447.60 \text{ kN}$$

$$N \approx N_d \rightarrow \text{Differenz} = 0.00 \text{ kN}$$

$$M_{Rd}^+ = 46'925.10 \text{ kNm}$$

Schritt 3: Horizontale Stabilisierung des plastischen Gelenks

$$b_{w,min} = \max(200 \text{ mm}; h_s/15) = 256 \text{ mm}$$

$$b_w = 300 \text{ mm} \geq b_{w,min} = 256 \text{ mm}$$

SIA 262, 5.7.1.2

Beide Voraussetzungen sind erfüllt, die Stabilisierung des plastischen Gelenks ist gewährleistet.

Falls die Wand an einen ausreichend bewehrten Querflansch anschliesst, ist kein Randelement erforderlich.

Dies gilt als erfüllt, wenn die Dicke des Querflanschs $> h_s / 15$ und die Länge $> h_s / 5$ betragen (SIA 262, 5.7.1.2)

Schritt 4: Sicherstellung der Krümmungsduktilität

$$l_c = c_{nom} + \emptyset 30/2 + (10/2) * 150 + 150/2 = 710 \text{ mm}$$

$$l_{c,min} = \max(300 \text{ mm}; l_w/10; 70\% x) = 1'023 \text{ mm}$$

$$l_{c,max} = \min(0.2 * l_w; 4 * b_w) = 1'106 \text{ mm}$$

$$l_{c,min} \leq l_c = 710 \text{ mm} \leq l_{c,max}$$

SIA 262, 5.7.1.2

D0191 S.53/54

l_c = Bereich der Randbewehrung

Die Voraussetzungen zur Sicherstellung der Krümmungsduktilität sind nicht erfüllt.

Schritt 5: Stabilisierung der Längsbewehrung im plastischen Gelenk

$$b_{w0,min} = \max(l_w/25; h_s/20; 150 \text{ mm}) = 221 \text{ mm}$$

$$b_{w0} = 300 \text{ mm} \geq b_{w0,min}$$

$$\text{Teilung } Bg_{max} = \min(150 \text{ mm}, 6 * \emptyset_{Rand}) = 150 \text{ mm}$$

$$\emptyset BG_{min} = 0.35 * \emptyset_{Rand} = 11 \text{ mm}$$

In Ordnung.
SIA 262, 5.7.1.3

SIA 262, 5.7.1.4

Für die Stabilisierung der Längsbewehrung im plastischen Bereich werden Bügel Ø10 mm s = 150 mm eingesetzt.

Dies entspricht den Voraussetzungen nicht. Der Durchmesser ist kleiner als ϕ_{BGmin} .

Jeder Längsstab muss gehalten werden, da der Abstand zwischen gehaltenen Längsstäben 200 mm nicht überschreiten darf. (SIA 262, 5.7.1.4)

$$\alpha_n = 1 - \sum_n b^2 i / (b \cdot b_0 \cdot h_0) = 0.90$$

$$\alpha_s = (1 - s / (2 \cdot b_0)) \cdot (1 - s / (2 \cdot h_0)) = 0.62$$

n = Anzahl Stäbe in Randelement

$$b_0 = b - 2 \cdot c$$

$$h_0 = h - 2 \cdot c$$

s = Bügelabstand

$$\mu_\varphi = 5.00$$

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q - 1 \text{ wenn } T_c \geq T_1, \\ \text{sonst } \mu_\varphi = 1 + 2 \cdot (q - 1) \cdot T_c / T_1$$

$$A_c = b_w \cdot l_w = 1.66 \text{ m}^2$$

$$\omega_v = \rho_w \cdot f_{sd} / f_{cd} = 0.08$$

ρ_w = Bewehrungsgehalt vom Steg

$$\omega_{cmin} = 1 / \alpha_n \cdot \alpha_s (30 \cdot \mu_\varphi ((-N_d / (A_c \cdot f_{cd})) + \omega_v) f_{sd} / E_s \cdot b_w / b_0 - 0.035) = 0.07$$

$$V_{Bügel} = 2 \cdot (b_0 + h_0) \cdot (\phi_{BG}^2 \cdot \pi) / 4 + n_{\text{haken}} \cdot b_0 \cdot (\phi_{BG}^2 \cdot \pi) / 4 = 198'705.74 \text{ mm}^3$$

$$V_{Beton} = b_0 \cdot h_0 \cdot s_{BG} = 23'985'000.00 \text{ mm}^3$$

$$\omega_{wd} = (V_{Bügel} / V_{Beton}) \cdot (f_{sd} / f_{cd}) = 0.18$$

$$\omega_{wd} \geq \omega_{cmin} \text{ (SIA 262, 5.7.1.4)}$$

In Ordnung.

ω_{wd} entspricht den Anforderungen der Norm. (SIA 262, 5.7.1.4)

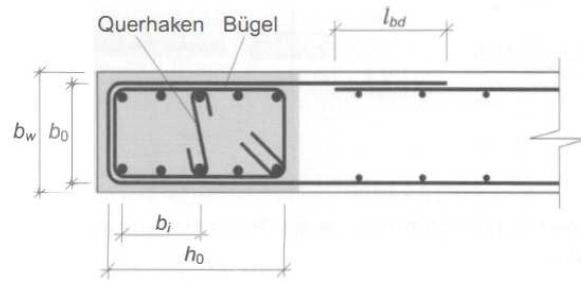


Abbildung 6 - Umschnürter Bereich im Randelement einer Tragwand (SIA 262, 5.7.1.4)

Schritt 6: Schubmessung des plastischen Gelenks

$$V_d^+ = \varepsilon * \kappa * V_d = 5'191.95 \text{ kN}$$

SIA 262, 4.3.9.4.4

$$\varepsilon = M_{Rd}^+ / M_d = 1.80$$

ε = Überfestigkeitsfaktor

$$\kappa = 1.5, n = 6$$

n = Anzahl Stockwerke
k = höhere Eigenform
Wenn $n > 5$, $\kappa = 1.5$.
Wenn $n \leq 5$, $\kappa = 0.9 + n/10$

Ø12 mm, s = 150 mm, $\alpha = 35.00^\circ$

Die gewählte Bewehrung erfüllt die Anforderungen.

Die horizontale Schubbewehrung, die über die gesamte Wandlänge verläuft, soll mindestens 0,3% betragen. Sie darf ein Viertel des vertikalen Bewehrungsgehalts nicht unterschreiten. (SIA 262, 5.7.1.1)

Der Abstand der vertikalen und horizontalen Bewehrungsstäbe darf in den Randelementen sowie im Stegbereich nicht mehr als 250 mm und nicht mehr als 25ϕ betragen. (SIA 262, 5.7.1.1)

$\alpha_{\min} = 40^\circ$ wenn im Steg eine Zugnormalkraft wirkt oder wenn im betrachteten Trägerabschnitt plastische Gurtverformungen zu erwarten sind. (SIA 262 4.3.3.2)

$$V_{Rd,s} = A_{sw} / s * z * f_{sd} * \cot(\alpha) = 4'144.47 \text{ kN}$$

SIA 262, 4.3.3.4.3

$$V_{Rd,c} = b_w * z * k_c * f_{cd} * \sin(\alpha) * \cos(\alpha) = 4'988.64 \text{ kN}$$

SIA 262, 4.3.3.4.6
 $z = 0.8 * l_w$
 $k_c = 0.4$ (SIA 262, 4.2.1.7)

$$V_{Rd,s} \geq V_d^+ \leq V_{Rd,c}$$

Die getroffenen Annahmen von $\varnothing 12$ s = 150 mm reichen nicht aus.

Schritt 7: Biegebemessung des elastischen Bereichs

Bei der Bemessung der elastisch bleibenden Bereiche, kann die Längsbewehrung derart abgestuft werden, dass der Biege­widerstand grösser oder gleich dem entsprechenden Wert der linearen Momentenlinie ist. Gleichzeitig muss, gemäss einem 45°-Fachwerkmodell, das Versatzmass einbezogen werden, das zu zusätzlicher Beanspruchung im Zuggurt führt. Als Versatzmass wird auf der sicheren Seite liegend die Länge der Tragwand angenommen.

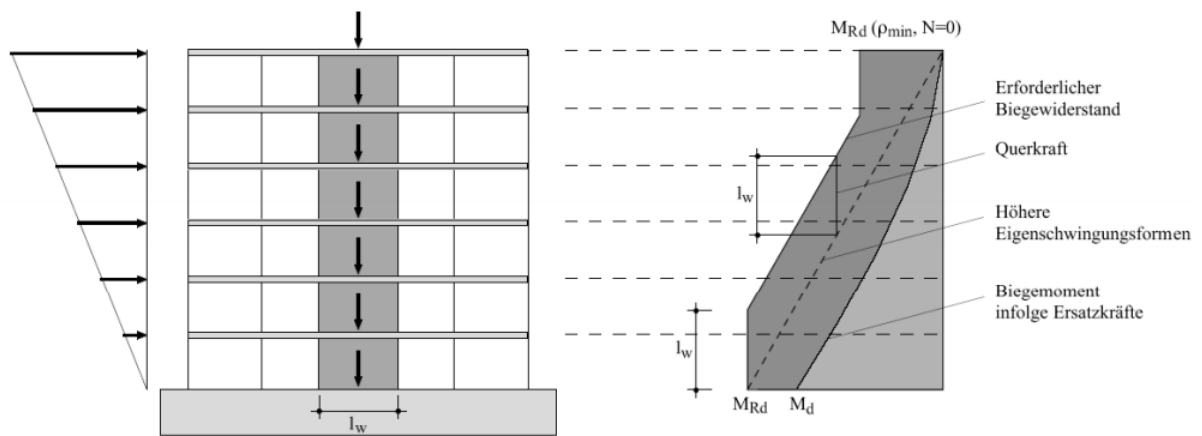


Abbildung 7 - Darstellung des Zusammenhangs zwischen Biegemoment infolge Ersatzkraft, Einfluss der höheren Eigenschwingungsform, Einfluss der Querkraft und des daraus resultierenden Biege­widerstands.

Die Tabelle zeigt die einwirkenden Kräfte für die Biegebemessung des elastischen Bereichs (1.OG bis 5.OG), sowie die notwendige Randbewehrung und innere Bewehrung.

| | Md [kNm] | Nd [kN] | Anzahl Rand | \varnothing [mm] Rand | s [mm] Rand | \varnothing [mm] Innen | s [mm] Innen | Druckzone x [m] | M+d,el [kNm] | MRd [kNm] |
|-----|----------|---------|-------------|-------------------------|-------------|--------------------------|--------------|-----------------|--------------|-----------|
| 5OG | 1435 | 847 | 2 | 30 | 150 | 10 | 150 | 0.57 | 12'978.25 | 14'203.81 |
| 4OG | 4051 | 1583 | 4 | 30 | 150 | 10 | 150 | 0.75 | 18'543.20 | 20'750.09 |
| 3OG | 7703 | 2318 | 4 | 30 | 150 | 10 | 150 | 0.85 | 24'108.15 | 22'270.91 |
| 2OG | 12167 | 3064 | 6 | 30 | 150 | 10 | 150 | 1.05 | 29'673.10 | 27'989.38 |
| 1OG | 18647 | 3822 | 10 | 30 | 150 | 10 | 150 | 1.39 | 37'026.78 | 36'046.45 |

1OG

Bewehrungsgehalt Total > 1 %

Mrd < M+d,el

2OG

Bewehrungsgehalt Total > 1 %

Mrd < M+d,el

3OG

Mrd < M+d,el

4OG

In Ordnung.

5OG

In Ordnung.

Schritt 8: Querkraftbemessung des elastischen Bereichs

Die Bemessungswerte der Querkraft für den elastischen Bereich schliessen den dynamischen Vergrösserungsfaktor und die Biegeüberfestigkeit ein.

$$V_d^+ = \varepsilon * \kappa * V_d$$

$$V_{Rd,s} = A_{sw}/s * z * f_{sd} * \cot(\alpha)$$

SIA 262, 4.3.3.4.3

$$V_{Rd,c} = b_w * z * k_c * f_{cd} * \sin(\alpha) * \cos(\alpha)$$

SIA 262, 4.3.3.4.6

$z = 0.8 * l_w$

$k_c = 0.55$ (SIA 262, 4.2.1.7)

Die Tabelle zeigt die einwirkenden Kräfte für die Schubbemessung des elastischen Bereichs (1.OG bis 5.OG), sowie die notwendige Bewehrung. Die Wahl der Druckfelddiagonale ist in SIA 262, 4.3.3.3.2 geregelt. Gemäss SIA 262, 5.7.1.1 muss auch die Querkraftbewehrung der minimale Bewehrungsgehalt von 0.3% eingehalten werden. $V_{rd,s}$ und $V_{rd,c}$ werden analog dem Schritt 6 berechnet, allerdings nach SIA 262, 4.2.1.7 mit einem k_c von 0.55, da die Schubbemessung im elastischen Bereich erfolgt.

| | z [m] | Md [kNm] | Vd [kN] | \emptyset [mm] Quer | s [mm] Quer | α [°] | V+d,el [kN] | VRd,s [kN] | VRd,c [kN] |
|-----|-------|----------|---------|-----------------------|-------------|--------------|-------------|------------|------------|
| 5OG | 18.63 | 1435 | 513 | 10 | 150 | 25 | 1'387.95 | 4'321.76 | 5'591.82 |
| 4OG | 15.83 | 4051 | 934 | 10 | 150 | 25 | 2'526.99 | 4'321.76 | 5'591.82 |
| 3OG | 13.03 | 7703 | 1304 | 10 | 150 | 25 | 3'528.04 | 4'321.76 | 5'591.82 |
| 2OG | 10.23 | 12167 | 1594 | 10 | 150 | 25 | 4'312.65 | 4'321.76 | 5'591.82 |
| 1OG | 7.43 | 18647 | 1805 | 10 | 150 | 25 | 4'883.52 | 4'321.76 | 5'591.82 |

1OG

V+d,el > VRd,s

2OG

In Ordnung.

30G

In Ordnung.

40G

In Ordnung.

50G

In Ordnung.

Schritt 9: Stabilisierung der Längsbewehrung im elastischen Bereich

Die Stabilisierungsbewehrung wird im elastischen Bereich nach den konstruktiven Regeln für druckbeanspruchte Bauteile nach SIA 262, 5.5.4.10 und SIA 262, 5.5.4.7 ausgebildet.

$$\text{Teilung } B_{g_{\min}} = \min(300\text{mm}, 15 \cdot \phi_{\text{Rand}}, B_w)$$

$$\phi_{BG_{\min}} = \phi_{\text{Rand}}/3$$

Die Tabelle zeigt die, für die Stabilisierung der Längsbewehrung im elastischen Bereich, notwendige Bewehrung.

| | ϕ [mm] Rand | ϕ [mm] Bügel | s [mm] Bügel |
|-----|------------------------|-------------------------|-----------------|
| 50G | 30 | 30 | 150 |
| 40G | 30 | 30 | 150 |
| 30G | 30 | 30 | 150 |
| 20G | 30 | 30 | 150 |
| 10G | 30 | 30 | 150 |

10G

In Ordnung.

20G

In Ordnung.

30G

In Ordnung.

40G

In Ordnung.

50G

In Ordnung.

Schritt 10: Bemessung der Wandfundation

Die Bemessung der Wandfundation wurde nicht durchgeführt.