Musterlösung zu Aufgabe 5.4

Wandschalung für runde Wände

a) Elemente-Einteilung

Teilgrundrisse B und C: 1. und 2. Betonierabschnitt

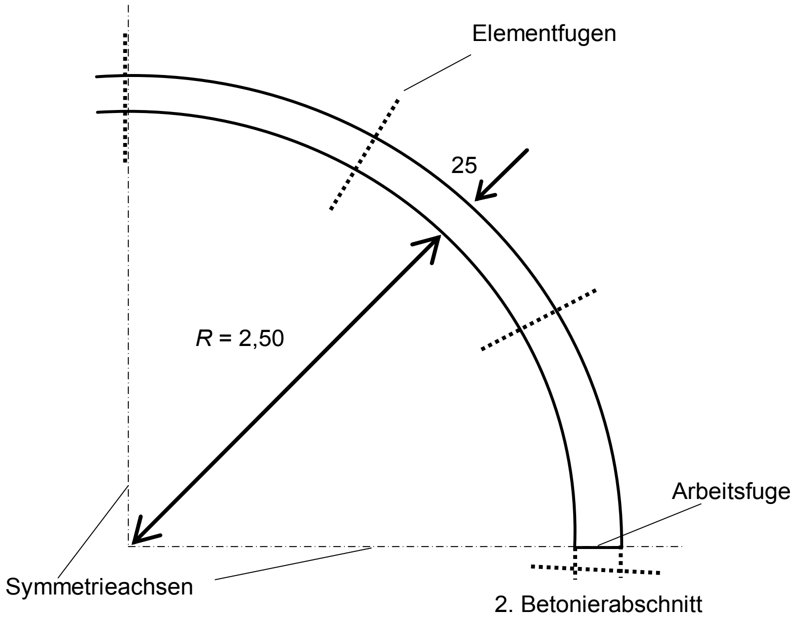


Bild 1 Teilgrundriss B: 1. Betonierabschnitt

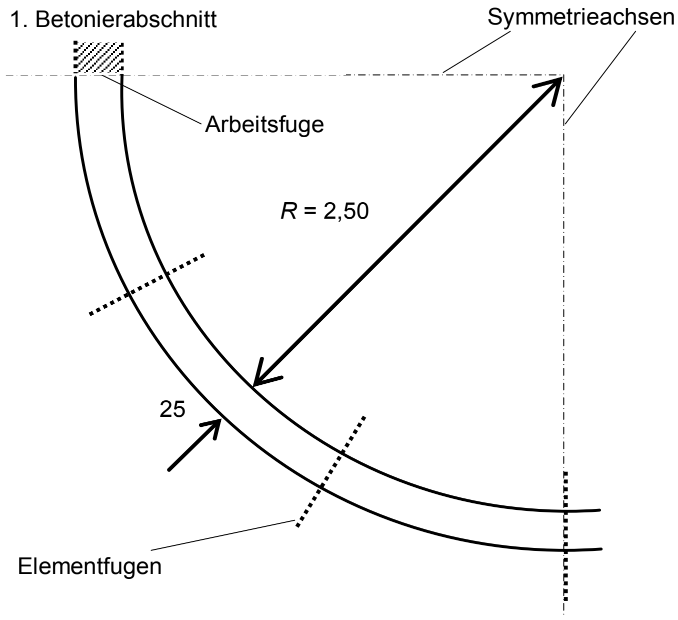


Bild 2 Teilgrundriss C: 2. Betonierabschnitt

b) Konstruktion der Wandschalungselemente im Grundriss

Teilgrundriss B: 1. Betonierabschnitt

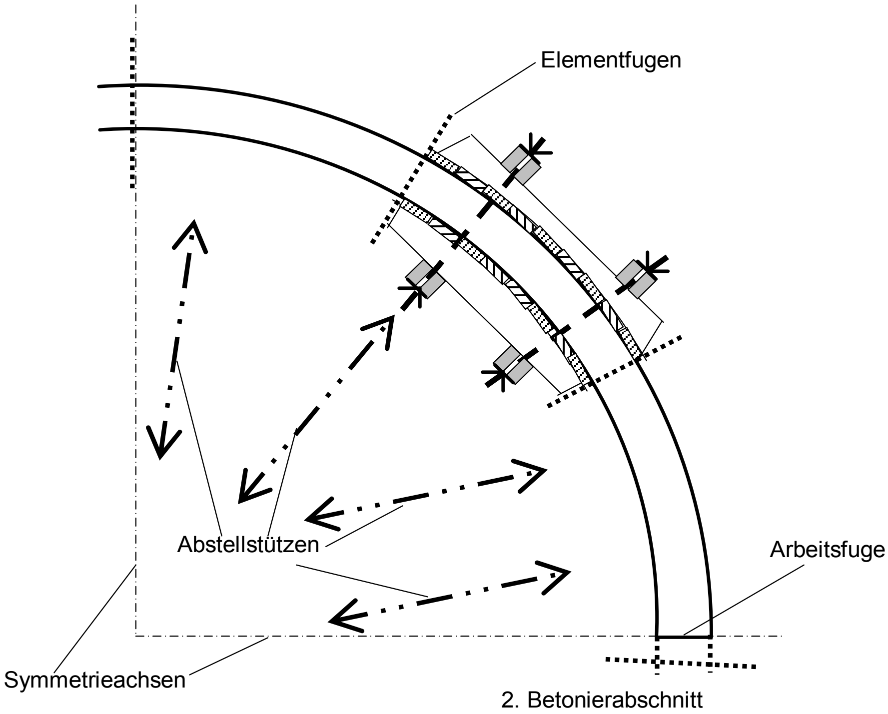


Bild 3 Teilgrundriss B: 1. Betonierabschnitt

c) Konstruktion der Stirnabschalung

Teilgrundriss B: 1. Betonierabschnitt

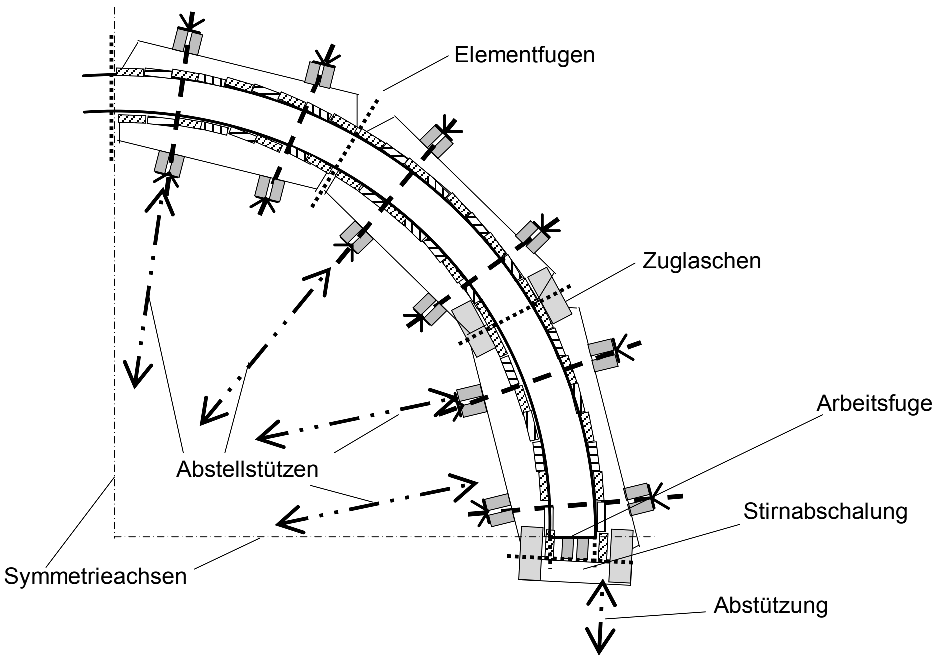


Bild 4 Teilgrundriss B: 1. Betonierabschnitt

d) Konstruktion des Wandanschlusses

Teilgrundriss C: 2. Betonierabschnitt

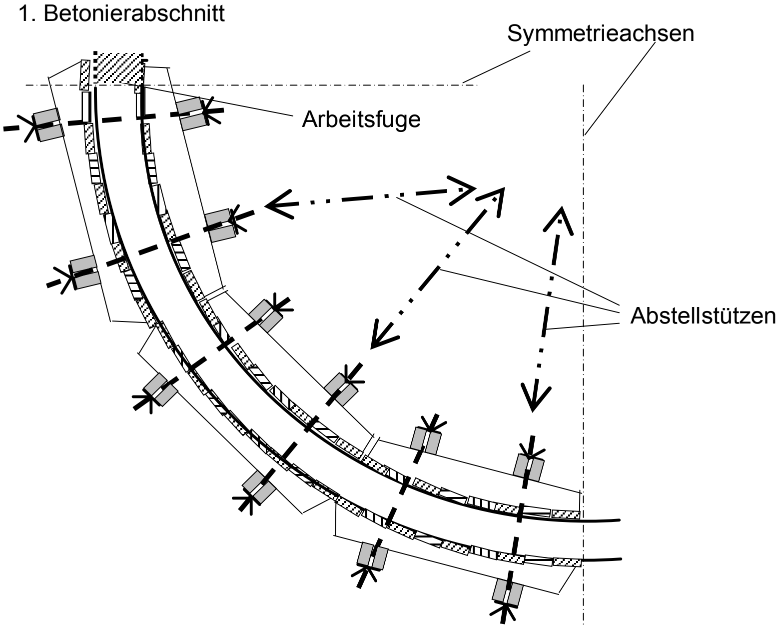


Bild 5 Teilgrundriss C: 2. Betonierabschnitt

e) Konstruktion der Wandschalungselemente im Querschnitt

Querschnitt D

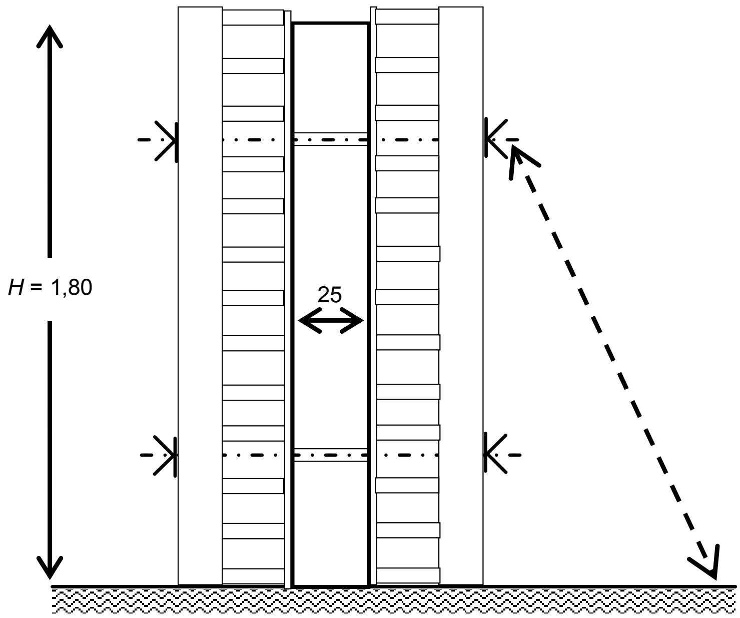


Bild 6 Querschnitt D

f) Ermittlung des Frischbetondrucks

Wandhöhe: $H = 1{,}80$ m

Wanddicke: $d = 0{,}25$ m

Wandlänge: $L = \pi \cdot r = \pi \cdot 2{,}625$ m $= 8{,}25$ m (Länge eines Betonierabschnitts)

Betonmenge: $V_b = 1{,}80\ \text{m} \cdot 0{,}25\ \text{m} \cdot 8{,}25\ \text{m} = 3{,}71\ \text{m}^3$

Betonierdauer: $T_b = 0{,}5\ \text{h} = 30\ \text{Min.}$

Betonierleistung: $Q_b = \dfrac{V_b}{T_b} = \dfrac{3{,}71\ \text{m}^3}{0{,}5\ \text{h}} = 7{,}42\ \text{m}^3/\text{h}$

Dies entspricht bei einem Betonkübelinhalt von $V_{Kübel} = 1000$ l einer Kranspielzeit von $t_s = 8$ min/Kranspiel.

Kranspielzeit: $t_s = \dfrac{60\ \text{min/h}}{Q_b} = \dfrac{60\ \text{min/h}}{7{,}42\ \text{m}^3/\text{h}} = 8$ min/Kranspiel

Betonkonsistenz: F1

Steiggeschwindigkeit: $v = \dfrac{H}{T_b} = \dfrac{1{,}80\ \text{m}}{0{,}5\ \text{h}} = 3{,}6\ \text{m/h}$

Der Frischbetondruck kann entweder aus den Diagrammen der DIN 18218 abgelesen oder nach den entsprechenden Formeln berechnet werden. Das Erstarrungsende wird hier nach 5 h angenommen: $K1 = 1{,}0$

$$\sigma_{hk,max} = (5 \cdot v + 21) \cdot K1 = (5 \cdot 3{,}6 + 21) \cdot 1{,}0 = 39{,}0\ \text{kN/m}^2$$

Die hydrostatische Druckverteilung wirkt bis zu einer hydrostatischen Druckhöhe h_s von:

$$h_s = \frac{\sigma_{hk,max}}{\gamma_c} = \frac{39\ \text{kN/m}^2}{25\ \text{kN/m}^3} = 1{,}56\ \text{m}$$

Querschnitt D

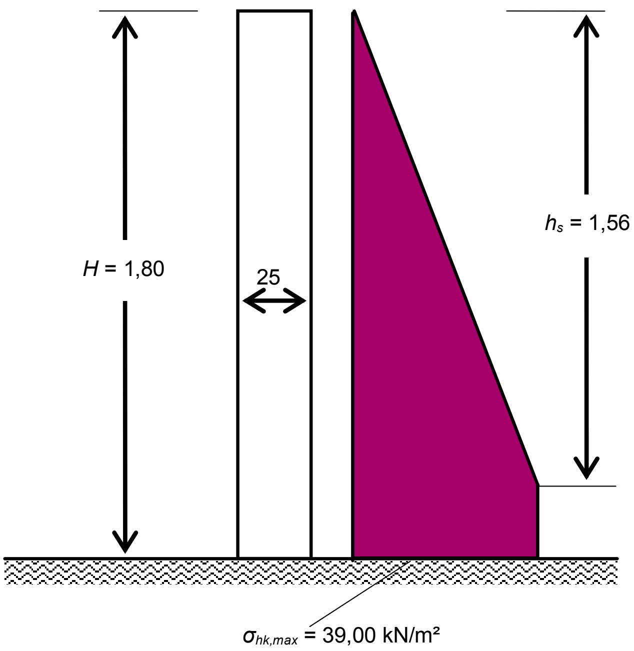


Bild 7 Querschnitt D

g) Bemessung der Schalungskonstruktion

Belastung

Die Bemessung der Wandschalung ist mit dem maximalen Frischbetondruck $\sigma_{hk,max}$ durchzuführen:

$$\sigma_{hk,\max} = 39{,}0 \text{ kN/m}^2$$

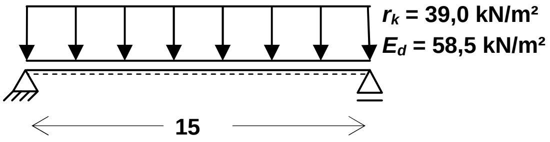
$$E_d = \sigma_{hk,\max} \cdot \gamma_F = r_k \cdot \gamma_F = 39{,}0 \text{ kN/m}^2 \cdot 1{,}5 = 58{,}5 \text{ kN/m}^2$$

mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_F = 1,5 für veränderliche Lasten nach DIN 1052 „Holzbauwerke".

Nachweis der Schalhaut

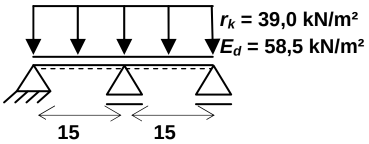
Statisches System: Einfeldträger

Der Abstand der Krannzhölzer wird mit ℓ = 15 cm angenommen.



Statisches System: Zweifeldträger

für die Schubbemessung:



Prinzipiell wird der Bemessung das statische System des Einfeldträgers zugrunde gelegt, solange es auf der sicheren Seite liegt. Für die Schubbemessung ist jedoch der Zweifeldträger das ungünstigere statische System und wird hier immer dann zugrunde gelegt, wenn dieser Fall nicht ausgeschlossen werden kann.

Schubbemessung

Maximale Querkraft $V_{r,d}$ nach *Gleichung (2.18)*

$$V_{r,d} = 1{,}25 \cdot \frac{E_d \cdot \ell}{2} = 1{,}25 \cdot \frac{58{,}5 \text{ kN/m}^2 \cdot 0{,}15 \text{ m}}{2} = 5{,}48 \text{ kN/m}$$

Maximale Schubspannung τ_d mit *Gleichung (2.16)*

$$\tau_d = \frac{1{,}5 \cdot V_{r,d}}{A} = \frac{1{,}5 \cdot 5{,}48 \text{ kN/m}}{0{,}021 \text{ m} \cdot 1 \text{ m/m}} = 391{,}7 \text{ kN/m}^2$$

Der charakteristische Wert $f_{v,k}$ für die Schubspannung für Nadelholz (NH) beträgt nach DIN 1052

$$f_{v,k} = 2.000 \text{ kN/m}^2$$

Als Dauer der Lasteinwirkung kann bei Schalungen in der Regel ein Zeitraum unter einer Woche angenommen werden. Somit kann gewöhnlich mit der Lasteinwirkungsklasse „Kurz" nach *Tabelle 2.9* gerechnet werden.

Da Schalungen regelmäßig hoher Feuchtigkeit ausgesetzt sind, ist in den meisten Fällen die Annahme der Nutzungsklasse 3 zu empfehlen.

Damit muss mit einem Modifikationsbeiwert von k_{mod} = 0,70 nach *Tabelle 2.11* gerechnet werden. Der Bemessungswert $f_{v,d}$ für die Schubspannung im Nadelholz wird damit entsprechend *Gleichung (2.31)*

$$f_{v,d} = f_{v,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 2.000 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{0{,}7}{1{,}3} = 1.076{,}9 \text{ kN/m}^2$$

Der Nachweis der Schubspannung lautet somit

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{391{,}7\ \text{kN/m}^2}{1.076{,}9\ \text{kN/m}^2} = 0{,}37 < 1{,}0 \quad \text{nach } \textit{Gleichung (2.15)}$$

Biegebemessung

Maximales Moment $M_{r,d}$

$$M_{r,d} = \frac{E_d \cdot \ell^2}{8} = \frac{58{,}5\ \text{kN/m}^2 \cdot 0{,}15^2\ \text{m}^2}{8} = 0{,}16\ \text{kNm/m}$$

Vorhandene Spannung $\sigma_{m,d}$ nach *Gleichung (2.13)*

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{r,d}}{W_n} = \frac{0{,}16\ \text{kNm/m} \cdot 6}{0{,}021^2\ \text{m}^2 \cdot 1\ \text{m/m}} = 2.238{,}5\ \text{kN/m}^2$$

Der charakteristische Wert $f_{m,k}$ für die Biegespannung für Nadelholz der Festigkeitsklasse C 24 beträgt nach DIN 1052

$$f_{m,k} = 24.000\ \text{kN/m}^2$$

Der Bemessungswert $f_{m,d}$ für die Biegespannung im Nadelholz (NH) wird damit entsprechend *Gleichung (2.31)*

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 24.000\ \text{kN/m}^2 \cdot \frac{0{,}7}{1{,}3} = 12.923{,}1\ \text{kN/m}^2$$

Der Nachweis der Schubspannung lautet somit

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{2.238{,}5\ \text{kN/m}^2}{1{,}0 \cdot 12.923{,}1\ \text{kN/m}^2} = 0{,}17 < 1{,}0$$

mit Kippbeiwert k_m = 1,0.

Kippbeiwert k_m

Für den Kippbeiwert gilt k_m = 1,0, wenn die Ersatzstablänge $\ell_{ef} < 140 \cdot b^2/h$ ist. Auf eine Ermittlung der Ersatzstablänge ℓ_{ef} nach DIN 1052 wird verzichtet. Sie wird näherungsweise zu $\ell_{ef} \approx \ell$ angenommen. Entsprechend ihrer Größenordnung erfüllt sie bei Schalungskonstruktionen in der Regel die obige Bedingung.

Für ein Schalbrett der Breite b = 10,4 cm mit Spannweite ℓ = 15 cm gilt: $\ell_{ef} < 140 \cdot 0{,}104^2/0{,}021 = 72{,}11$ m; $\ell_{ef} \approx \ell = 0{,}15$ m < 72,11 m.

Berechnung der Durchbiegung

Nach *Gleichung (2.17)* wird die Durchbiegung w mit der charakteristischen Einwirkung ohne Teilsicherheitsbeiwert berechnet:

$$w = \frac{5 \cdot r_k \cdot \ell^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

$$w = \frac{5 \cdot 39{,}0\ \text{kN/m}^2 \cdot 0{,}15^4\ \text{m}^4 \cdot 12}{384 \cdot 1{,}1 \cdot 10^7\ \text{kN/m}^2 \cdot 0{,}021^3\ \text{m}^3 \cdot 1\ \text{m/m}} = 0{,}00003\ \text{m} = 0{,}03\ \text{mm}$$

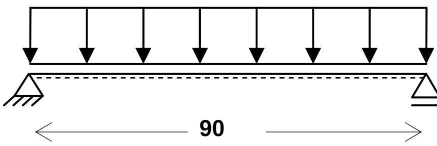
mit $E_{0,mean} = 1{,}1 \cdot 10^7$ kN/m² für NH, C 24, parallel zur Faser (DIN 1052).

Der Nachweis der Ebenheitstoleranzen nach DIN 18202 erfolgt nach der Bemessung der gesamten Schalungskonstruktion.

Nachweis der Kranzhölzer

Statisches System: Einfeldträger

Der Abstand der senkrechten Gurtungen in den äußeren Elementen beträgt 0,90 m.



Schubbemessung

Maximale Querkraft $V_{r,d}$

$$V_{r,d} = \frac{E_d \cdot \ell}{2} = \frac{8{,}78\ \text{kN/m}^2 \cdot 0{,}90\ \text{m}}{2} = 3{,}95\ \text{kN}$$

Maximale Schubspannung τ_d mit *Gleichung (2.16)*

$$\tau_d = \frac{1{,}5 \cdot V_{r,d}}{A} = \frac{1{,}5 \cdot 3{,}95\ \text{kN}}{0{,}17\ \text{m} \cdot 0{,}05\ \text{m}} = 697{,}1\ \text{kN/m}^2$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{697{,}1\ \text{kN/m}^2}{1.076{,}9\ \text{kN/m}^2} = 0{,}65 > 1{,}0$$ (Nachweis erfüllt)

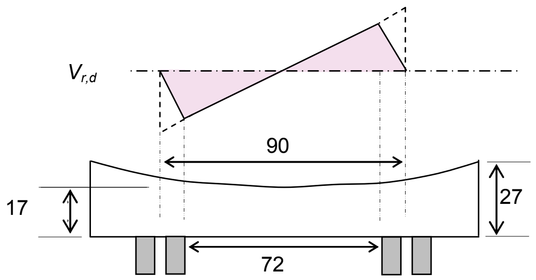


Bild 8 Querkraftverlauf

Bemessungswert der Schubspannung

$$f_{v,d} = f_{v,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$$f_{v,d} = 2.000\ \text{kN/m}^2 \cdot \frac{0{,}7}{1{,}3}$$

$$f_{v,d} = 1.076{,}9\ \text{kN/m}^2$$

Biegebemessung

Maximales Moment $M_{r,d}$

$$M_{r,d} = \frac{E_d \cdot \ell^2}{8} = \frac{8{,}78\ \text{kN/m} \cdot 0{,}90^2\ \text{m}^2}{8} = 0{,}89\ \text{kNm}$$

Vorhandene Spannung $\sigma_{m,d}$ nach *Gleichung (2.13)*

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_n} = \frac{0{,}89\ \text{kNm} \cdot 6}{0{,}05^2\ \text{m}^2 \cdot 0{,}17\ \text{m}} = 12.564{,}7\ \text{kN/m}^2$$

für Festigkeitsklasse NH, C 24, Vollholz

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{12.564{,}7 \text{ kN/m}^2}{1{,}0 \cdot 12.923{,}1 \text{ kN/m}^2} = 0{,}97 < 1{,}0$$

mit Kippbeiwert k_m = 1,0

Kippbeiwert k_m

Für den Kippbeiwert gilt k_m = 1,0, wenn die Ersatzstablänge ℓ_{ef} < 140 · b^2/h ist.

Auf eine Ermittlung der Ersatzstablänge ℓ_{ef} nach DIN 1052 wird verzichtet. Sie wird näherungsweise zu $\ell_{ef} \approx \ell$ angenommen.

Entsprechend ihrer Größenordnung erfüllt sie für die Planlatten der Stützenschalung die obige Bedingung:

Für eine Planlatte 3/12 cm mit der Spannweite ℓ = 90 cm gilt: ℓ_{ef} < 140 · 0,12²/0,03 = 67,2 m; $\ell_{ef} \approx$ l = 0,90 m < 67,2 m.

Bemessungswert der Biegespannung

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$$f_{m,d} = 24.000 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{0{,}7}{1{,}3}$$

$$f_{m,d} = 12.923{,}1 \text{ kN/m}^2$$

Berechnung der Durchbiegung *w*

Nach *Gleichung (2.17)* wird die Durchbiegung *w* mit der charakteristischen Einwirkung ohne Teilsicherheitsbeiwert berechnet.

$$w = \frac{5 \cdot r_k \cdot \ell^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

$$w = \frac{5 \cdot 5{,}85 \text{ kN/m} \cdot 0{,}90^4 \text{ m}^4 \cdot 12}{384 \cdot 1{,}1 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2 \cdot 0{,}05^3 \text{ m}^3 \cdot 0{,}17 \text{ m}} = 0{,}0026 \text{ m} = 2{,}6 \text{ mm}$$

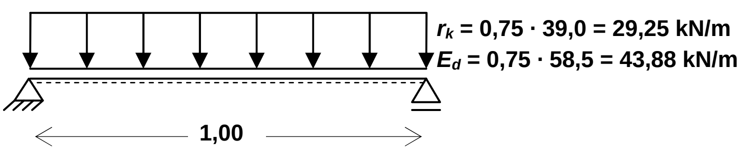
mit $E_{0,mean}$ = 1,1 · 10^7 kN/m² für NH, C 24, parallel zur Faser (DIN 1052).

Die Ebenheitstoleranzen nach DIN 18202 werden für die Gesamtkonstruktion nachgewiesen (siehe *Übungsbeispiel 4.6*).

Nachweis der senkrechten Kantholz-Gurtungen

Statisches System: Einfeldträger

Der Ankerabstand beträgt 1,00 m.



Schubbemessung

Maximale Querkraft $V_{r,d}$

$$V_{r,d} = \frac{E_d \cdot \ell}{2} = \frac{43{,}88 \text{ kN/m}^2 \cdot 1{,}0 \text{ m}}{2} = 21{,}94 \text{ kN}$$

Maximale Schubspannung τ_d mit *Gleichung (2.16)*

$$\tau_d = \frac{1{,}5 \cdot V_{r,d}}{A} = \frac{1{,}5 \cdot 21{,}94 \text{ kN}}{2 \cdot 0{,}14 \text{ m} \cdot 0{,}07 \text{ m}} = 1.119{,}3 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1.119{,}3 \text{ kN/m}^2}{1.076{,}9 \text{ kN/m}^2} = 1{,}04 > 1{,}0 \quad \text{(Nachweis nicht erfüllt)}$$

Bemessungswert der Schubspannung

$$f_{v,d} = f_{v,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$$f_{v,d} = 2.000 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{0{,}7}{1{,}3}$$

$$f_{v,d} = 1.076{,}9 \text{ kN/m}^2$$

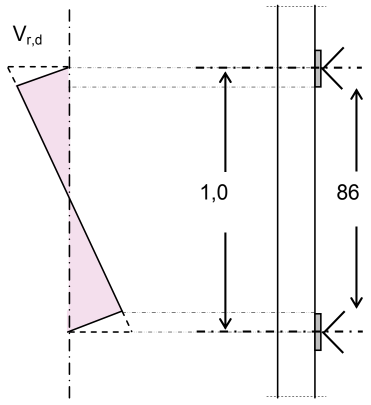


Bild 9 Querkraftverlauf

Da die Schubspannungen zu groß sind, muss ein genauerer Nachweis geführt werden. Die Querkraft nimmt ab der Auflagerkante nicht mehr zu, sondern wird zur Auflagermitte hin kleiner (*Bild 4.12*). Deshalb kann hier mit der lichten Weite zwischen den Kantholzgurtungen als Spannweite gerechnet werden. Da die Spannweite ℓ in *Gleichung (2.18)* linear eingeht, kann die Schubspannung im Verhältnis des lichten Abstands ℓ' zum Achs-maß der Kantholzgurtungen proportional abgemindert werden. Der lichte Abstand ℓ' der waagerechten Kantholzgurtungen berechnet sich dafür zu:

$$\ell' = 100 \text{ cm} - 14 \text{ cm} = 86 \text{ cm}$$

$$\tau_d' = 1.119{,}3 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{86 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} = 962{,}6 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{\tau_d'}{f_{v,d}} = \frac{962{,}6 \text{ kN/m}^2}{1.076{,}9 \text{ kN/m}^2} = 0{,}89 < 1{,}0 \quad \text{(Nachweis erfüllt)}$$

Biegebemessung

Maximales Moment $M_{r,d}$

$$M_{r,d} = \frac{E_d \cdot \ell^2}{8} = \frac{43{,}88 \text{ kN/m} \cdot 1{,}00^2 \text{ m}^2}{8} = 5{,}49 \text{ kNm}$$

Vorhandene Spannung $\sigma_{m,d}$ nach *Gleichung (2.13)*

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_n} = \frac{5{,}49 \text{ kNm} \cdot 6}{2 \cdot 0{,}14^2 \text{ m}^2 \cdot 0{,}07 \text{ m}} = 11.993{,}4 \text{ kN/m}^2$$

für Festigkeitsklasse NH, C 24, Vollholz

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{11.993{,}4 \text{ kN/m}^2}{1{,}0 \cdot 12.923{,}1 \text{ kN/m}^2} = 0{,}93 < 1{,}0$$

mit Kippbeiwert k_m = 1,0

Bemessungswert der Biegespannung

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$$f_{m,d} = 24.000 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{0{,}7}{1{,}3}$$

$$f_{m,d} = 12.923{,}1 \text{ kN/m}^2$$

Kippbeiwert k_m

Für den Kippbeiwert gilt k_m = 1,0, wenn die Ersatzstablänge $\ell_{ef} < 140 \cdot b^2/h$ ist.

Auf eine Ermittlung der Ersatzstablänge ℓ_{ef} nach DIN 1052 wird verzichtet. Sie wird näherungsweise zu $\ell_{ef} \approx \ell$ angenommen.

Entsprechend ihrer Größenordnung erfüllt sie für die Kantholzträger der Stützenschalung die obige Bedingung:

Für ein Kantholz 7/14 cm mit der Spannweite ℓ = 100 cm gilt: $\ell_{ef} < 140 \cdot 0{,}07^2/0{,}14 = 4{,}9$ m; $\ell_{ef} \approx \ell = 1{,}00 \text{ m} < 4{,}9$ m.

Berechnung der Durchbiegung *w*

Nach *Gleichung (2.17)* wird die Durchbiegung *w* mit der charakteristischen Einwirkung ohne Teilsicherheitsbeiwert berechnet.

$$w = \frac{5 \cdot r_k \cdot \ell^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

$$w = \frac{5 \cdot 29{,}25 \text{ kN/m} \cdot 1{,}0^4 \text{ m}^4 \cdot 12}{384 \cdot 1{,}1 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2 \cdot 2 \cdot 0{,}14^3 \text{ m}^3 \cdot 0{,}07 \text{ m}} = 0{,}0011 \text{ m} = 1{,}1 \text{ mm}$$

mit $E_{0,mean} = 1{,}1 \cdot 10^7$ kN/m² für NH, C 24, parallel zur Faser (DIN 1052).

Die Ebenheitstoleranzen nach DIN 18202 werden für die Gesamtkonstruktion nachgewiesen (siehe *Übungsbeispiel 4.6*).

Nachweis der Ebenheitstoleranzen

Die Summe der Durchbiegungen Σw entsprechend *Gleichung (2.28)* ergibt sich zu:

$$\Sigma w = 0{,}03 \text{ mm} + 2{,}6 \text{ mm} + 1{,}1 \text{ mm} = 3{,}73 \text{ mm}$$

Der Messpunktabstand *m* wird aus dem Ankerabstand und dem Abstand der Gurtungen mit *Gleichung (2.27)* berechnet:

$$m = \sqrt{0{,}9^2 + 1{,}0^2} = 1{,}35 \text{ m} > 1{,}0 \text{ m}$$

Nach *Tabelle 2.6* wird für den Messpunktabstand *m* = 1,0 m < 1,35 m ein zulässiges Stichmaß

$$\text{zul } s = 3 \text{ mm} < 3{,}73 \text{ mm} = \Sigma w$$

für Zeile 7 gefordert. Damit sind die Ebenheitstoleranzen nach DIN 18202, Tabelle 3, Zeile 7 nicht erfüllt. Für Zeile 6 gilt

$$\text{zul } s = 5 \text{ mm} > 3{,}73 \text{ mm} = \Sigma\, w$$

Die geforderten Werte in den Zeilen 5 und 6 sind damit eingehalten.

Nachweis der Ankerkraft

Die maximale Ankerkraft entspricht der zweifachen Querkraft V_d der Gurtung.

$$F_N = 2 \cdot V_{r,d,Gurtung} = 2 \cdot 21{,}94 \text{ kN} = 43{,}88 \text{ kN} < 135{,}0 \text{ kN} = N_{d,Anker}$$

für einen Spannstab DYWIDAG Ø 15,0 mm nach *Tabelle 2.23*.
