

NOVATOP OPEN

Vordimensionierung – Berechnungsbeispiele

Die Berechnungsbeispiele ergänzen die Tabellen der Vordimensionierung in der technischen Dokumentation NOVATOP OPEN. In diesem Dokument wird am tragenden Element NOVATOP OPEN eine detaillierte Berechnung sowie die Beurteilung gemäß der Norm ****ČSN EN 1995-1-1 + A1 + A2 (05/2015)**** dargestellt. Es erfolgt die Nachweisführung der Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit.

INHALT

| | |
|---|-------|
| Berechnungsbeispiele – vertikal | 2–9 |
| Berechnungsbeispiele – horizontal | 10–17 |

Technische Dokumentation
NOVATOP OPEN



1. ALLGEMEINE INFORMATIONEN

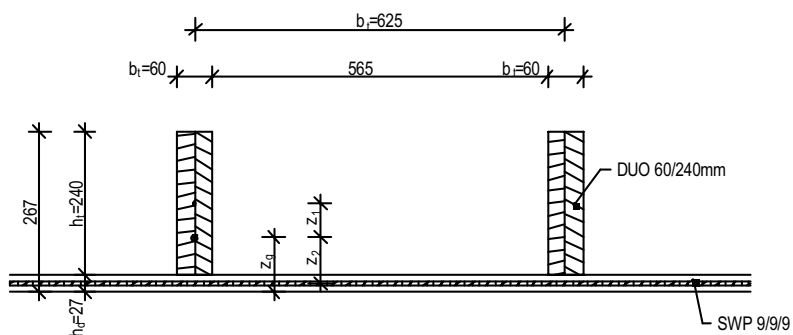
Im folgenden Dokument wird eine detaillierte Berechnung und Bewertung nach der Norm ČSN EN 1995-1-1 + A1 + A2 (05/2015) am tragenden Element (die Richtung der Fasern der Oberflächenschichten der Platten in Richtung Spannweite) dargestellt. Es erfolgte die Beurteilung der Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.

2. SYSTEM UND BELASTUNG

2.1. Material

NOVATOP OPEN – das tragende Element – Höhe 267 mm
Tragende Rippen - Kanthölzer DUO 60 x 240 mm (bt x ht)
Rippenabstand $b_f = 625$ mm
Platte auf der unteren Oberfläche – SWP 9/9/9 – $h_d = 27$ mm
Spannweite des einfachen Trägers $L = 6,0$ m
Neigung 30° (Träger in Richtung Neigung)

Schema der Platte Dicke 267 mm:



NOVATOP OPEN

BERECHNUNGSBEISPIELE – VERTIKAL

Massivholzplatte SWP:

| Eigenschaft | --- | Prüfmethode | Klasse / Verwendungskategorie / Zahlenwert ¹⁾ |
|-------------|-----|-------------|--|
|-------------|-----|-------------|--|

Die Platten werden in den Mittellagen stumpf verbunden

Mechanisches Verhalten in der Ebene der SWP-Platte

| Aufbau der Platten | | | 6/15/6 | 9/9/9 | 9/15/9 | 9/42/9 |
|---------------------------------|-------------------|------------|--------|-------|--------|--------|
| Biegefestigkeit $f_{m,0}$ | N/mm ² | ČSN EN 789 | 13,9 | 20,3 | 16,8 | 9,7 |
| Biegefestigkeit $f_{m,90}$ | | | 8,6 | 5,3 | 7,1 | 10,7 |
| Zugfestigkeit $f_{t,0}$ | | | 9,3 | 13,6 | 11,2 | 6,5 |
| Zugfestigkeit $f_{t,90}$ | | | 5,7 | 3,6 | 4,7 | 7,1 |
| Druckfestigkeit $f_{c,0}$ | | | 13,9 | 20,3 | 16,8 | 9,7 |
| Druckfestigkeit $f_{c,90}$ | | | 8,6 | 5,3 | 7,1 | 10,7 |
| Scherfestigkeit f_v | | | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Elastizitätsmodul $E_{m,0}$ | | | 5300 | 7800 | 6400 | 3700 |
| Elastizitätsmodul $E_{m,90}$ | | | 3300 | 2050 | 2700 | 4100 |
| Elastizitätsmodul in Scherung G | | | 600 | 600 | 600 | 600 |

Mechanisches Verhalten senkrecht zur Ebene der SWP-Platte

| | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|------------|------|-------|-------|------|
| Biegefestigkeit $f_{m,0}$ | N/mm ² | ČSN EN 789 | 25,0 | 28,9 | 27,3 | 20,1 |
| Biegefestigkeit $f_{m,90}$ | | | 5,4 | 3,1 | 4,1 | 7,8 |
| Elastizitätsmodul $E_{m,0}$ | | | 9600 | 11100 | 10500 | 7700 |
| Elastizitätsmodul $E_{m,90}$ | | | 1150 | 400 | 710 | 2100 |
| Elastizitätsmodul in Scherung G | | | 90 | 90 | 90 | 90 |
| Scherfestigkeit f_v | | | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |

Klebeverbindung zwischen Rippe und Flansch

| | | | |
|--|-------------------|----------|------|
| Scherfestigkeit $f_{v,k,glue,KVH}$ | N/mm ² | ETAG 019 | 1,10 |
| Scherfestigkeit $f_{v,k,glue,LVL}$ | | | 4,40 |
| Scherfestigkeit $f_{v,k,DUO,TRIO,I-nosniky}$ | | | 1,10 |
| Scherfestigkeit $f_{v,k,glue,BSH}$ | | | 3,50 |

NOVATOP OPEN BERECHNUNGSBEISPIELE – VERTIKAL

Träger DUO:

| | | KVH | DUO-TRIO |
|---|---------------|-------|----------|
| Qualitätsklasse | | S10TS | S10TS |
| Festigkeitsklasse laut ČSN EN 1194: 1999 | | C24 | C24 |
| Charakteristische Festigkeitswerte in N/mm² | | | |
| Biegefestigkeit | $f_{m,k}$ | 24 | 24 |
| Zugfestigkeit parallel zu Fasern | $f_{t,0,k}$ | 14 | 14 |
| Zugfestigkeit senkrecht zu Fasern | $f_{t,90,k}$ | 0,5 | 0,4 |
| Druckfestigkeit parallel zu Fasern | $f_{c,0,k}$ | 21 | 21 |
| Druckfestigkeit senkrecht zu Fasern | $f_{c,90,k}$ | 2,5 | 2,5 |
| Scherfestigkeit | $f_{v,k}$ | 2,5 | 2 |
| Charakteristische Elastizitätswerte in kN/mm² | | | |
| Mittelwert des Elastizitätsmoduls parallel zu Fasern | $E_{0,mean}$ | 11 | 11,6 |
| 5 % Quantil des Elastizitätsmoduls parallel zu Fasern | $E_{0,05}$ | 7,4 | - |
| Mittelwert des Elastizitätsmoduls senkrecht zu Fasern | $E_{90,mean}$ | 0,37 | 0,37 |
| Mittelwert des Elastizitätsmoduls in Scherung | G_{mean} | 0,69 | 0,69 |
| Dichte in kg/m³ | | | |
| Dichte | ρ_k | 350 | 350 |

Querschnittscharakteristiken:

Mitwirkende Breite der Platte $b_1 = \min(b_r; L/10) = 0,6 \text{ m} = 600 \text{ mm}$

Effektiver Ersatzquerschnitt:

$$b_{eff} = (E_2/E_1) \cdot b_1 = (7800/11600) \times 0,6 = 0,403 \text{ m}$$

$$A_{t,eff} = 0,06 \times 0,24 = 0,0144 \text{ m}^2$$

$$A_{d,eff} = b_{eff} \times 0,027 = 0,010893 \text{ m}^2$$

$$z_g = (A_{t,eff} \times (h_d + h_t/2) + A_{d,eff} \times h_d/2) / (A_{t,eff} + A_{d,eff}) = (0,0144 \times 0,147 + 0,010893 \times 0,0135) / (0,0144 + 0,010893) = 0,090 \text{ m}$$

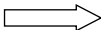
$$z_1 = 0,057 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,076 \text{ m}$$

$$I_{y,eff} = \frac{1}{12} \times b_t \times h_t^3 + A_{t,eff} \times z_1^2 + \frac{1}{12} \times b_{eff} \times h_d^3 + A_{d,eff} \times z_2^2 = \frac{1}{12} \times 0,06 \times 0,24^3 + 0,0144 \times 0,057^2 + \frac{1}{12} \times 0,403 \times 0,027^3 + 0,010893 \times 0,076^2 = 180,3 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_{y,eff} = \sqrt{\frac{I_{y,eff}}{A_{eff}}} = \sqrt{\frac{180,3 \times 10^{-6}}{0,0253}} = 0,084 \text{ m}$$

2.2. Belastungen

| | |
|---|-----------------------------|
| Betriebsklasse | 1 |
| Eigengewicht Element | $g_1 = 0,25 \text{ kN/m}^2$ |
| Sonstige Dauerlast | $g_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$ |
| Nutzlast | $g_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$ |
| Schneelast | $s_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$ |
| Windlast (Druck) | $w_k = 0,25 \text{ kN/m}^2$ |
|  | $k_{mod} = 0,9$ |
| | $\Psi_2 = 0,60$ |

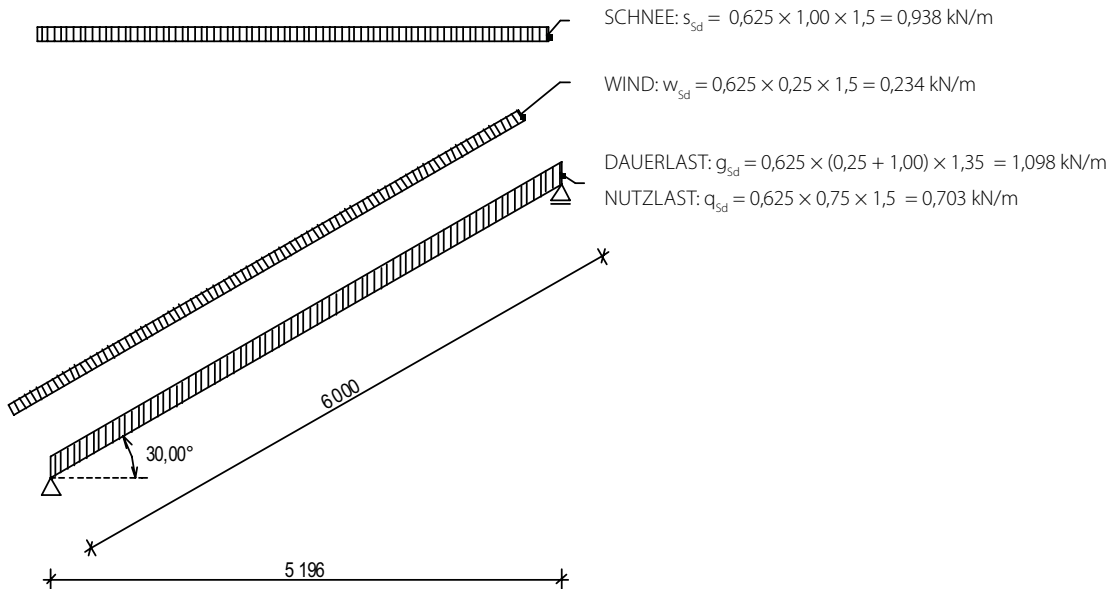
NOVATOP OPEN

BERECHNUNGSBEISPIELE – VERTIKAL

2.3. Beurteilung der Grenzzustände der Tragfähigkeit

2.3.1 Statisches Schema

Belastung in senkrechter Richtung zur Ebene des Elements:



2.3.2 Maximale Innenkräfte

Die Werte der maximalen Innenkräfte werden beispielsweise mit geeigneter Software zur statischen Analyse von Konstruktionen berechnet, bzw. durch manuelle Berechnung ermittelt:

$$M_{y,sd} = \frac{1}{8} \times (g_{sd} + q_{sd}) \times L \times L_p + \frac{1}{8} \times s_{sd} \times L_p^2 + \frac{1}{8} \times w_{sd} \times L^2$$

$$= \frac{1}{8} \times (1,098 + 0,703) \times 6,0 \times 5,196 + \frac{1}{8} \times 0,938 \times 5,196^2 + \frac{1}{8} \times 0,234 \times 6,0^2 = 11,237 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = \frac{1}{2} \times (g_{sd} + q_{sd}) \times L \times \cos 30^\circ + \frac{1}{2} \times s_{sd} \times L_p \times \cos 30^\circ + \frac{1}{2} \times w_{sd} \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times (1,098 + 0,703) \times 6,0 \times \cos 30^\circ + \frac{1}{2} \times 0,938 \times 5,196 \times \cos 30^\circ + \frac{1}{2} \times 0,234 \times 6,0 = 7,492 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = (g_{sd} + q_{sd}) \times L \times \sin 30^\circ - s_{sd} \times L_p \times \sin 30^\circ$$

$$= - (1,098 + 0,703) \times 6,0 \times \sin 30^\circ - 0,938 \times 5,196 \times \sin 30^\circ = -7,840 \text{ kN}$$

(Anm.: es handelt sich um Druck)

2.3.3 Beurteilung der Biegespannung in oberen Druckfasern

$$W_{y,d} = \frac{I_{y,eff}}{((h_t + h_d) - z_g)} = \frac{180,3 \times 10^{-6}}{((0,24 + 0,027) - 0,090)} = 1,019 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{1,c} = \frac{M_{Sd}}{W_{y,h}} = \frac{11,237}{1,019 \times 10^{-3}} = 11027 \text{ kPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c,0,k}}{Y_M} = 0,9 \times \frac{21000}{1,3} = 14538 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{1,c}}{f_{c,0,d}} = \frac{11027}{14538} = 0,76 < 1,0$$

✓ KONFORM

2.3.4 Beurteilung der Biegespannung in unteren Zugfasern

$$W_{y,d} = \frac{I_{y,eff}}{z_g} = \frac{180,3 \times 10^{-6}}{0,090} = 2,003 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Sd}}{W_{y,d}} = \frac{11,237}{2,003 \times 10^{-3}} = 5610 \text{ kPa}$$

$$f_{m,y,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,y,0,k}}{Y_M} = 0,9 \times \frac{20300}{1,3} = 14054 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,y,0,d}} = \frac{5610}{14054} = 0,40 < 1,0$$

✓ KONFORM

2.3.5 Beurteilung der Kombination von Druck- und Biegespannung (mit Auswirkung der Strebe)

Anm.: Für die Berechnung der Strebe senkrecht zur „z“-Achse wird ein konservativer Querschnitt von 60 × 267 mm angenommen

$$W_{y,min} = 1,019 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \times b^2}{h \times I_{ef}} \times E_{0,05} = \frac{0,78 \times 0,06^2}{0,267 \times 2,0} \times 7400000 = 38912 \text{ kPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24000}{38912}} = 0,785 \text{ m}$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \times \lambda_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \times 0,785 = 0,97$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Sd}}{W_{y,min}} = \frac{11,237}{1,019 \times 10^{-3}} = 11027 \text{ kPa}$$

Vzpäř:

$$\lambda_y = \frac{L_{y,eff}}{i_{y,eff}} = \frac{6,0}{0,084} = 71,428$$

$$\lambda_z = \frac{L_{z,eff}}{i_z} = \frac{2,0}{(0,06 / \sqrt{12})} = 115,5$$

NOVATOP OPEN

BERECHNUNGSBEISPIELE – VERTIKAL

Entscheidend ist die Abweichung senkrecht zur „z“-Achse

$$\lambda_{\text{rel,z}} = \frac{1}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{115,5}{\pi} \times \sqrt{\frac{21000}{7400000}} = 1,959$$

$$k_z = 0,5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{\text{rel,z}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel,z}}^{-2}) \\ = 0,5 \times (1 + \beta_c \times (1,959 - 0,3) + 1,959^2) = 2,584$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel,z}}^2}} = \frac{1}{2,584 + \sqrt{2,584^2 - 1,959^2}} = 0,234$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{s,d}}{A_c} = \frac{7,840}{0,267 \times 0,06} = 489,4 \text{ kPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{\text{crit}} \times f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} = \left(\frac{11027}{0,97 \times 14054} \right)^2 + \frac{489,4}{0,234 \times 14538} = 0,798$$

✓ KONFORM

2.3.6 Beurteilung der Zugspannung im Schwerpunkt der Bodenplatte

$$W_{y,2} = \frac{I_{y,\text{eff}}}{z_2} = \frac{180,3 \times 10^{-6}}{0,076} = 2,372 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,2,d} = \frac{M_{y,5,d}}{W_{y,2}} = \frac{11,237}{2,372 \times 10^{-3}} = 4737 \text{ kPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{13600}{1,3} = 9415 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,2,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{4737}{9415} = 0,50 < 1,0$$

✓ KONFORM

2.3.7 Beurteilung der Scherspannung im Schwerpunkt des Querschnitts

$$S_1 = b_{\text{eff}} \times h_d \times z_2 + b_t \times (z_g - h_d)^2 \times 0,5 \\ = 0,403 \times 0,027 \times 0,076 + 0,06 \times (0,090 - 0,027)^2 \times 0,5 \\ = 9,460 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\tau_{v,d} = \frac{V_{s,d} \times S_1}{I_{\text{eff}} \times k_{cr} \times b_t} = \frac{7,492 \times 9,460 \times 10^{-4}}{180,3 \times 10^{-6} \times 0,67 \times 0,06} = 977,8 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{2000}{1,3} = 1385 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{977,8}{1385} = 0,71 < 1,0$$

✓ KONFORM

2.3.8 Beurteilung der Scherspannung in der Platte bei Klebefuge

Anm. Art der Verletzung 1 in Scherung nach ETA-11/0310. Angenommen wird die Versagung der Oberflächenlamellen, die zur Klebefuge in Scherung angrenzen.

$$S_2 = b_{\text{eff}} \times h_d \times (z_g - h_d \times 0,5) = 0,403 \times 0,027 \times (0,090 - 0,027 \times 0,5) = 8,279 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\tau_{v,d,2} = \frac{V_{s,d} \times S_2}{I_{\text{eff}} \times t_2} = \frac{7,492 \times 8,279 \times 10^{-4}}{180,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 0,009} = 1911,2 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d,2} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{v,k,2}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{3000}{1,3} = 2076,92 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d,2}}{f_{v,d,2}} = \frac{1911,2}{2076,92} = 0,92 < 1,0$$

✓ KONFORM

2.3.9 Beurteilung der Scherspannung in Klebefuge

Anm. Art der Verletzung 2 in Scherung nach ETA-11/0310.

$$S_2 = b_{\text{eff}} \times h_d \times (z_g - h_d \times 0,5) = 0,403 \times 0,027 \times (0,090 - 0,027 \times 0,5) = 8,279 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\tau_{v,d,3} = \frac{V_{s,d} \times S_2}{I_{\text{eff}} \times b_t} = \frac{7,492 \times 8,279 \times 10^{-4}}{180,3 \times 10^{-6} \times 0,06} = 573,36 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d,glue} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{v,k,glue}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{1100}{1,3} = 761,54 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d,3}}{f_{v,d,glue}} = \frac{573,36}{761,54} = 0,75 < 1,0$$

✓ KONFORM

2.4 Beurteilung der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

2.4.1 Elastische momentane Durchbiegung (charakteristische Kombination)

Anteil aus Durchbiegung:

$$w_{m,g,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{g_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,781 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0063 \text{ m}$$

$$w_{m,q,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{q_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,469 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0038 \text{ m}$$

$$w_{m,s,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{s_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,625 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0050 \text{ m}$$

$$w_{m,w,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{w_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,156 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0013 \text{ m}$$

NOVATOP OPEN

BERECHNUNGSBEISPIELE – VERTIKAL

Anteil aus Scherung:

$$W_{v,q,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{g_{s,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,781 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0004 \text{ m}$$

$$W_{v,q,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{q_{s,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,469 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0002 \text{ m}$$

$$W_{v,s,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{s_{s,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,625 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0003 \text{ m}$$

$$W_{v,w,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{q_{w,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,156 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0001 \text{ m}$$

Momentane Durchbiegung von Dauerlast:

$$W_{g,inst} = W_{m,g,inst} + W_{v,g,inst} = 0,0063 + 0,0004 = 0,0067 \text{ m}$$

Momentane Durchbiegung von Nutzlast:

$$W_{q,inst} = W_{m,q,inst} + W_{v,q,inst} = 0,0038 + 0,0002 = 0,0040 \text{ m}$$

Momentane Durchbiegung vom Schnee:

$$W_{s,inst} = W_{m,s,inst} + W_{v,s,inst} = 0,0050 + 0,0003 = 0,0053 \text{ m}$$

Momentane Durchbiegung vom Wind:

$$W_{w,inst} = W_{m,w,inst} + W_{v,w,inst} = 0,0013 + 0,0001 = 0,0014 \text{ m}$$

Elastische momentane Durchbiegung (charakteristische Kombination):

$$W_{inst} = W_{g,inst} + W_{q,inst} + W_{s,inst} + W_{w,inst} = 0,0067 + 0,0040 + 0,0053 + 0,0014 = 0,0174 \text{ m}$$

2.4.2 Finale Durchbiegung (quasi-dauerhafte Kombination)

$$W_{fin} = W_{g,inst} \times (1 + k_{def}) + W_{q,inst} \times (1 + \psi_{2,1} \times k_{def}) + W_{s,inst} \times (1 + \psi_{2,2} \times k_{def}) + W_{w,inst} \times (1 + \psi_{2,3} \times k_{def}) =$$

$$0,0067 \times (1 + 0,6) + 0,0040 \times (1 + 0 \times 0,6) + 0,0053 \times (1 + 0 \times 0,6) + 0,0014 \times (1 + 0 \times 0,6) = 0,0214 \text{ m}$$

2.4.3 Überprüfung der empfohlenen Werte

$$W_{inst} = 0,0174 \text{ m} > \frac{L}{300} = \frac{6}{300} = 20,0 \rightarrow \text{✓ KONFORM}$$

$$W_{fin} = 0,0214 \text{ m} > \frac{L}{250} = \frac{6}{250} = 24,0 \rightarrow \text{✓ KONFORM}$$

Zusammenfassung: Für die zu erwartende Belastung wird der Träger mit einer Spannweite von 6,0 m konform sein. Diese Kombination wird in den Vorentwurfstabellen nicht dargestellt, da die Tabellen lediglich alle Belastungsgrößen in einer (der ungünstigsten) Richtung annehmen. Daher ist die obige Berechnung genauer.

1. ALLGEMEINE INFORMATIONEN

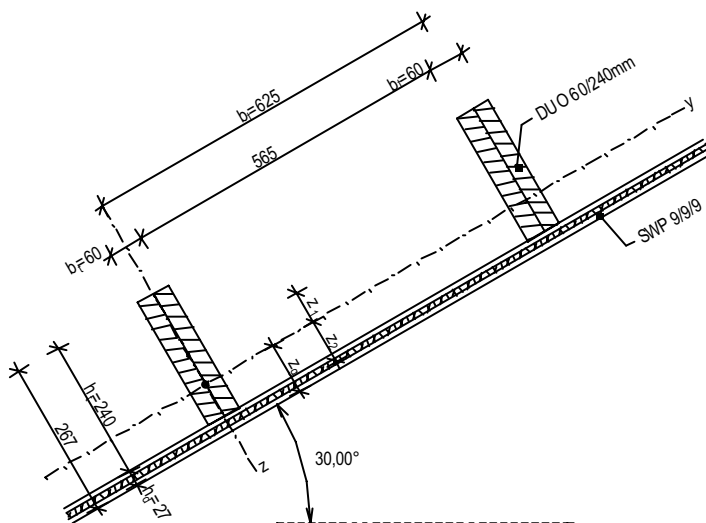
Im folgenden Dokument wird eine detaillierte Berechnung und Bewertung nach der Norm ČSN EN 1995-1-1 + A1 + A2 (05/2015) am tragenden Element (die Richtung der Fasern der Oberflächenschichten der Platten in Richtung der Spannweite) dargestellt. Es erfolgte die Beurteilung der Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.

2. SYSTEM UND BELASTUNG

2.1. Material

NOVATOP OPEN – das tragende Element – Höhe 267 mm
Tragende Rippen - Kanthölzer DUO 60 x 240 mm (bt x ht)
Rippenabstand $bf = 625$ mm
Platte auf der unteren Oberfläche – SWP 9/9/9 – $hd = 27$ mm
Spannweite des einfachen Trägers $L = 6,0$ m
Neigung 30° (Träger in Richtung Neigung)

Schema der Platte Dicke 267 mm:



NOVATOP OPEN

BERECHNUNGSBEISPIELE – HORIZONTAL

Massivholzplatte SWP:

| Eigenschaft | --- | Prüfmethode | Klasse / Verwendungskategorie / Zahlenwert ¹⁾ |
|-------------|-----|-------------|--|
|-------------|-----|-------------|--|

Die Platten werden in den Mittellagen stumpf verbunden

Mechanisches Verhalten in der Ebene der SWP-Platte

| Aufbau der Platten | | | 6/15/6 | 9/9/9 | 9/15/9 | 9/42/9 |
|---------------------------------|-------------------|------------|--------|-------|--------|--------|
| Biegefestigkeit $f_{m,0}$ | N/mm ² | ČSN EN 789 | 13,9 | 20,3 | 16,8 | 9,7 |
| Biegefestigkeit $f_{m,90}$ | | | 8,6 | 5,3 | 7,1 | 10,7 |
| Zugfestigkeit $f_{t,0}$ | | | 9,3 | 13,6 | 11,2 | 6,5 |
| Zugfestigkeit $f_{t,90}$ | | | 5,7 | 3,6 | 4,7 | 7,1 |
| Druckfestigkeit $f_{c,0}$ | | | 13,9 | 20,3 | 16,8 | 9,7 |
| Druckfestigkeit $f_{c,90}$ | | | 8,6 | 5,3 | 7,1 | 10,7 |
| Scherfestigkeit f_v | | | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Elastizitätsmodul $E_{m,0}$ | | | 5300 | 7800 | 6400 | 3700 |
| Elastizitätsmodul $E_{m,90}$ | | | 3300 | 2050 | 2700 | 4100 |
| Elastizitätsmodul in Scherung G | | | 600 | 600 | 600 | 600 |

Mechanisches Verhalten senkrecht zur Ebene der SWP-Platte

| | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|------------|------|-------|-------|------|
| Biegefestigkeit $f_{m,0}$ | N/mm ² | ČSN EN 789 | 25,0 | 28,9 | 27,3 | 20,1 |
| Biegefestigkeit $f_{m,90}$ | | | 5,4 | 3,1 | 4,1 | 7,8 |
| Elastizitätsmodul $E_{m,0}$ | | | 9600 | 11100 | 10500 | 7700 |
| Elastizitätsmodul $E_{m,90}$ | | | 1150 | 400 | 710 | 2100 |
| Elastizitätsmodul in Scherung G | | | 90 | 90 | 90 | 90 |
| Scherfestigkeit f_v | | | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |

Klebeverbindung zwischen Rippe und Flansch

| | | | |
|--|-------------------|----------|------|
| Scherfestigkeit $f_{v,k,glue,KVH}$ | N/mm ² | ETAG 019 | 1,10 |
| Scherfestigkeit $f_{v,k,glue,LVL}$ | | | 4,40 |
| Scherfestigkeit $f_{v,k,DUO,TRIO,I-nosniky}$ | | | 1,10 |
| Scherfestigkeit $f_{v,k,glue,BSH}$ | | | 3,50 |

NOVATOP OPEN BERECHNUNGSBEISPIELE – HORIZONTAL

Träger DUO:

| | | KVH | DUO-TRIO |
|---|---------------|-------|----------|
| Qualitätsklasse | | S10TS | S10TS |
| Festigkeitsklasse laut ČSN EN 1194: 1999 | | C24 | C24 |
| Charakteristische Festigkeitswerte in N/mm² | | | |
| Biegefestigkeit | $f_{m,k}$ | 24 | 24 |
| Zugfestigkeit parallel zu Fasern | $f_{t,0,k}$ | 14 | 14 |
| Zugfestigkeit senkrecht zu Fasern | $f_{t,90,k}$ | 0,5 | 0,4 |
| Druckfestigkeit parallel zu Fasern | $f_{c,0,k}$ | 21 | 21 |
| Druckfestigkeit senkrecht zu Fasern | $f_{c,90,k}$ | 2,5 | 2,5 |
| Scherfestigkeit | $f_{v,k}$ | 2,5 | 2 |
| Charakteristische Elastizitätswerte in kN/mm² | | | |
| Mittelwert des Elastizitätsmoduls parallel zu Fasern | $E_{0,mean}$ | 11 | 11,6 |
| 5 % Quantil des Elastizitätsmoduls parallel zu Fasern | $E_{0,05}$ | 7,4 | - |
| Mittelwert des Elastizitätsmoduls senkrecht zu Fasern | $E_{90,mean}$ | 0,37 | 0,37 |
| Mittelwert des Elastizitätsmoduls in Scherung | G_{mean} | 0,69 | 0,69 |
| Dichte in kg/m³ | | | |
| Dichte | ρ_k | 350 | 350 |

Querschnittscharakteristiken:

Mitwirkende Breite der Platte $b_1 = \min(b_r; L/10) = 0,6 \text{ m} = 600 \text{ mm}$

Effektiver Ersatzquerschnitt:

$$b_{eff} = (E_z/E_t) \cdot b_1 = (7800/11600) \times 0,6 = 0,403 \text{ m}$$

$$A_{t,eff} = 0,06 \times 0,24 = 0,0144 \text{ m}^2$$

$$A_{d,eff} = b_{eff} \times 0,027 = 0,010893 \text{ m}^2$$

$$z_g = (A_{t,eff} \times (h_g + h_t/2) + A_{d,eff} \times h_d/2) / (A_{t,eff} + A_{d,eff}) = (0,0144 \times 0,147 + 0,010893 \times 0,0135) / (0,0144 + 0,010893) = 0,090 \text{ m}$$

$$z_1 = 0,057 \text{ m}$$

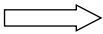
$$z_2 = 0,076 \text{ m}$$

$$i_{y,eff} = \sqrt{\frac{I_{y,eff}}{A_{eff}}} = \sqrt{\frac{180,3 \times 10^{-6}}{0,0253}} = 0,084 \text{ m}$$

$$I_{y,eff} = \frac{1}{12} \times h_t \times b_t^3 + \frac{1}{12} \times h_d \times b_{eff}^3 = \frac{1}{12} \times 0,24 \times 0,06^3 + \frac{1}{12} \times 0,027 \times 0,403^3 = 151,6 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_{z,eff} = \sqrt{\frac{I_{z,eff}}{A_{eff}}} = \sqrt{\frac{151,6 \times 10^{-6}}{0,0253}} = 0,077 \text{ m}$$

2.2. Belastung

| | |
|---|-----------------------------|
| Betriebsklasse | 1 |
| Eigengewicht Element | $g_1 = 0,25 \text{ kN/m}^2$ |
| Sonstige Dauelast | $g_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$ |
| Nutzlast | $g_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$ |
| Schneelast | $s_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$ |
| Windlast (Druck) | $w_k = 0,25 \text{ kN/m}^2$ |
|  | $k_{mod} = 0,9$ |
| | $\Psi_2 = 0,60$ |

NOVATOP OPEN

BERECHNUNGSBEISPIELE – HORIZONTAL

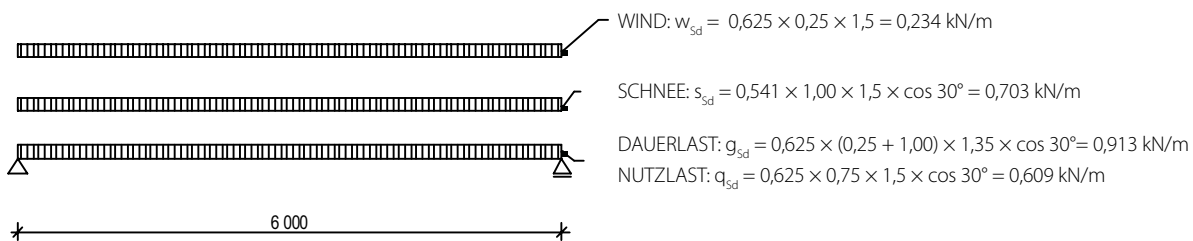
Das Element ist um 30° gedreht, die Last ist also wie folgt verteilt:

- Eigengewicht des Elements, sonstige Dauerlast, Nutzlast - Lastbreite 625 mm, verteilt in Richtung senkrecht zur Elementebene und parallel zur Elementebene
- Schneelast – Lastbreite 625 mm x cos 30° = 541 mm, verteilt in Richtung senkrecht zur Elementebene und parallel zur Elementebene
- Windlast – Lastbreite 625 mm, wirkt nur in der Richtung senkrecht zur Elementebene

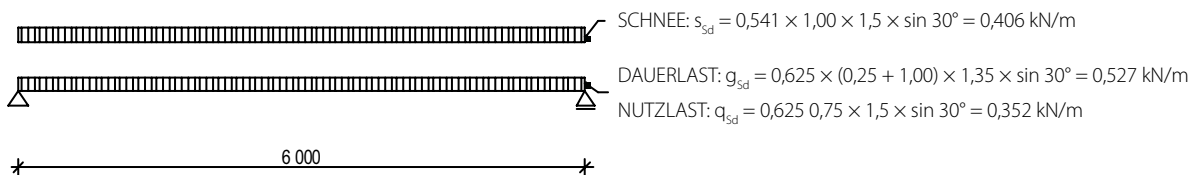
2.3. Beurteilung der Grenzzustände der Tragfähigkeit

2.3.1 Statisches Schema

Belastung in Richtung senkrecht zur Elementebene:



Belastung in Richtung Elementebene:



2.3.2 Maximale Innenkräfte

Die Werte der maximalen Innenkräfte werden beispielsweise mit geeigneter Software zur statischen Analyse von Konstruktionen berechnet, bzw. durch manuelle Berechnung ermittelt:

$$M_{y,sd} = \frac{1}{8} \times f_{yd} \times L^2 = \frac{1}{8} \times 2,459 \times 6,0^2 = 11,066 \text{ kNm}$$

$$V_{y,sd} = \frac{1}{2} \times f_{yd} \times L = \frac{1}{2} \times 2,459 \times 6,0 = 7,377 \text{ kNm}$$

$$M_{z,sd} = \frac{1}{8} \times f_{zd} \times L^2 = \frac{1}{8} \times 1,285 \times 6,0^2 = 5,783 \text{ kNm}$$

$$V_{z,sd} = \frac{1}{2} \times f_{zd} \times L = \frac{1}{2} \times 1,285 \times 6,0 = 3,855 \text{ kNm}$$

2.3.3 Beurteilung der Biegespannung in unteren Zugfasern - senkrecht zur Elementebene

$$W_{y,d} = \frac{I_{y,eff}}{z_g} = \frac{180,3 \times 10^{-6}}{0,090} = 2,003 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Sd}}{W_{y,d}} = \frac{11,066}{2,003 \times 10^{-3}} = 5525 \text{ kPa}$$

$$f_{m,y,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,y,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{20300}{1,3} = 14054 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,0,d}} = \frac{5525}{14054} = 0,39 < 1,0$$

✓ KONFORM

2.3.4 Beurteilung der Biegespannung in den unteren Zugfasern - senkrecht zur Elementebene (unter Auswirkung der Stabilität)

Abstand der Querstreben – $L_{vz} = 2,0 \text{ m}$

$$W_{y,d} = 2,003 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \times b^2}{h \times I_{ef}} \times E_{0,05} = \frac{0,78 \times 0,06^2}{0,267 \times 2,0} \times 7400000 = 38912 \text{ kPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{2400}{38912}} = 0,785$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \times \lambda_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \times 0,785 = 0,97$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Sd}}{W_{y,d}} = \frac{11,066}{2,003 \times 10^{-3}} = 5525 \text{ kPa}$$

$$f_{m,y,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,y,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{20300}{1,3} = 14054 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,y,0,d}} = \frac{5525}{0,97 \times 14054} = 0,41$$

2.3.5 Beurteilung der Biegespannung in unteren Zugfasern - parallel zur Elementebene

$$W_{z,d} = \frac{I_{y,eff}}{b_{eff}/2} = \frac{151,6 \times 10^{-6}}{0,202} = 7,523 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Sd}}{W_{z,d}} = \frac{5,783}{7,523 \times 10^{-4}} = 7687,1 \text{ kPa}$$

$$f_{m,z,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,z,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{20300}{1,3} = 14054 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,0,d}} = \frac{7687,1}{14054} = 0,55 < 1,0$$

✓ KONFORM

NOVATOP OPEN

BERECHNUNGSBEISPIELE – HORIZONTAL

2.3.6 Beurteilung der Biegebeanspruchung – Kombination beider Hauptrichtungen

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{5525}{0,97 \times 14054} + \frac{7687,1}{14054} = 0,94 < 1,0$$

✓ KONFORM

2.3.7 Beurteilung der Zugspannung im Schwerpunkt der Bodenplatte

$$W_{y,2} = \frac{I_{y,eff}}{z_2} = \frac{180,3 \times 10^{-6}}{0,076} = 2,372 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,2,d} = \frac{M_{y,2,d}}{W_{y,2}} = \frac{11,066}{2,372 \times 10^{-3}} = 4665,3 \text{ kPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{t,0,k}}{Y_M} = 0,9 \times \frac{13600}{1,3} = 9415 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,2,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{4665,3}{9415} = 0,50 < 1,0$$

✓ KONFORM

2.3.8 Beurteilung der Scherspannung im Schwerpunkt des Querschnitts

$$\begin{aligned} S_y &= b_{eff} \times h_d \times z_2 + b_t \times (z_g - h_d)^2 \times 0,5 \\ &= 0,403 \times 0,027 \times 0,076 + 0,06 \times (0,090 - 0,027)^2 \times 0,5 \\ &= 9,460 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\tau_{vy,d} = \frac{V_{s,y,d} \times S_y}{I_{y,eff} \times k_{cr} \times b_t} = \frac{7,377 \times 9,460 \times 10^{-4}}{180,3 \times 10^{-6} \times 0,67 \times 0,06} = 962,8 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} S_z &= h_d \times \frac{b_{eff}}{2} \times \frac{b_{eff}}{4} + h_t \times \frac{b_t}{2} \times \frac{b_t}{4} = 0,027 \times 0,202 \times 0,101 + 0,24 \times 0,03 \times 0,015 \\ &= 6,561 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\tau_{vz,d} = \frac{V_{s,z,d} \times S_z}{I_{z,eff} \times k_{cr} \times (h_t + h_d)} = \frac{3,855 \times 6,561 \times 10^{-4}}{151,6 \times 10^{-6} \times 0,67 \times 0,267} = 93,3 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \times \frac{f_{v,k}}{Y_M} = 0,9 \times \frac{2000}{1,3} = 1385 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_{vy,d}}{f_{v,d}} + \frac{\tau_{vz,d}}{f_{v,d}} = \frac{962,8}{1385} + \frac{93,3}{1385} = 0,76 < 1,0$$

✓ KONFORM

2.3.9 Beurteilung der Scherspannung in der Platte bei Klebefuge

Anm. Art der Verletzung 1 in Scherung nach ETA-11/0310. Angenommen wird die Versagung der Oberflächenlamellen, die zur Klebefuge in Scherung angrenzen.

$$S_2 = b_{\text{eff}} \times h_d \times (z_g - h_d \times 0,5) = 0,403 \times 0,027 \times (0,090 - 0,027 \times 0,5) = 8,279 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\tau_{v,d,2} = \frac{V_{s,d} \times S_2}{I_{\text{eff}} \times t_2} = \frac{7,377 \times 8,279 \times 10^{-4}}{180,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 0,009} = 1881,9 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d,2} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{v,k,2}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{3000}{1,3} = 2076,92 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d,2}}{f_{v,d,2}} = \frac{1881,9}{2076,92} = 0,91 < 1,0$$

✓ KONFORM

2.3.10 Beurteilung der Scherspannung in Klebefuge

Anm. Art der Verletzung 2 in Scherung nach ETA-11/0310.

$$S_2 = b_{\text{eff}} \times h_d \times (z_g - h_d \times 0,5) = 0,403 \times 0,027 \times (0,090 - 0,027 \times 0,5) = 8,279 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\tau_{v,d,3} = \frac{V_{y,s,d} \times S_2}{I_{y,\text{eff}} \times b_t} + \frac{V_{z,s,d}}{b_t} = \frac{7,377 \times 8,279 \times 10^{-4}}{180,3 \times 10^{-6} \times 0,06} + \frac{3,855}{0,06} = 628,8 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d,\text{glue}} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{v,k,\text{glue}}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{1100}{1,3} = 761,54 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d,3}}{f_{v,d,\text{glue}}} = \frac{628,8}{761,54} = 0,83 < 1,0$$

✓ KONFORM

2.4 Beurteilung der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

(Vereinfacht wird die Durchbiegung senkrecht zur Elementebene angenommen. Zur Berechnung der Durchbiegung in globalen Koordinaten empfehlen wir die Verwendung geeigneter Software.)

2.4.1 Elastische momentane Durchbiegung (charakteristische Kombination)

Anteil aus Durchbiegung:

$$w_{m,g,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{g_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,677 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0055 \text{ m}$$

$$w_{m,q,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{q_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,406 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0033 \text{ m}$$

$$w_{m,s,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{s_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,469 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0038 \text{ m}$$

$$w_{m,w,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{w_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,156 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0013 \text{ m}$$

NOVATOP OPEN

BERECHNUNGSBEISPIELE – HORIZONTAL

Anteil aus Scherung:

$$W_{v,gi,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{g_{s,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,677 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0003 \text{ m}$$

$$W_{v,qi,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{q_{s,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,406 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0002 \text{ m}$$

$$W_{v,si,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{s_{s,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,469 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0002 \text{ m}$$

$$W_{v,wi,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{q_{wk} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,156 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0001 \text{ m}$$

Momentane Durchbiegung von Dauerlast:

$$W_{g,inst} = W_{m,gi,inst} + W_{v,gi,inst} = 0,0055 + 0,0003 = 0,0058 \text{ m}$$

Momentane Durchbiegung von Nutzlast:

$$W_{q,inst} = W_{m,qi,inst} + W_{v,qi,inst} = 0,0033 + 0,0002 = 0,0035 \text{ m}$$

omentane Durchbiegung vom Schnee:

$$W_{s,inst} = W_{m,si,inst} + W_{v,si,inst} = 0,0038 + 0,0002 = 0,0040 \text{ m}$$

Momentane Durchbiegung vom Wind:

$$W_{w,inst} = W_{m,wi,inst} + W_{v,wi,inst} = 0,0013 + 0,0001 = 0,0014 \text{ m}$$

Elastische momentane Durchbiegung (charakteristische Kombination)

$$W_{inst} = W_{g,inst} + W_{q,inst} + W_{s,inst} + W_{w,inst} = 0,0058 + 0,0035 + 0,0040 + 0,0014 = 0,0147 \text{ m}$$

2.4.2 Finale Durchbiegung (quasi-dauerhafte Kombination)

$$W_{fin} = W_{g,inst} \times (1 + k_{def}) + W_{q,inst} \times (1 + \psi_{2,1} \times k_{def}) + W_{s,inst} \times (1 + \psi_{2,2} \times k_{def}) + W_{w,inst} \times (1 + \psi_{2,3} \times k_{def}) =$$

$$0,0058 \times (1 + 0,6) + 0,0035 \times (1 + 0 \times 0,6) + 0,0040 \times (1 + 0 \times 0,6) + 0,0014 \times (1 + 0 \times 0,6) = 0,0182 \text{ m}$$

2.4.3 Überprüfung der empfohlenen Werte

$$W_{inst} = 0,0147 \text{ m} > \frac{L}{300} = \frac{6}{300} = 20,0 \rightarrow \text{✓ KONFORM}$$

$$W_{fin} = 0,0182 \text{ m} > \frac{L}{250} = \frac{6}{250} = 24,0 \rightarrow \text{✓ KONFORM}$$

Zusammenfassung: Für die zu erwartende Belastung wird der Träger mit einer Spannweite von 6,0 m konform sein.

www.novatop-system.de

Hersteller: AGROP NOVA a.s.
Ptenský Dvorek 99
798 43 Ptení
Tschechische Republik
Tel.: +420 582 397 857
novatop@agrop.cz
novatop-system.de

Herstellerzertifikate:

