



HTV+ – Beispiel 1: Zweifeldträger mit Verstärkung über Mittelaufleger nach DIN EN 1995:2013

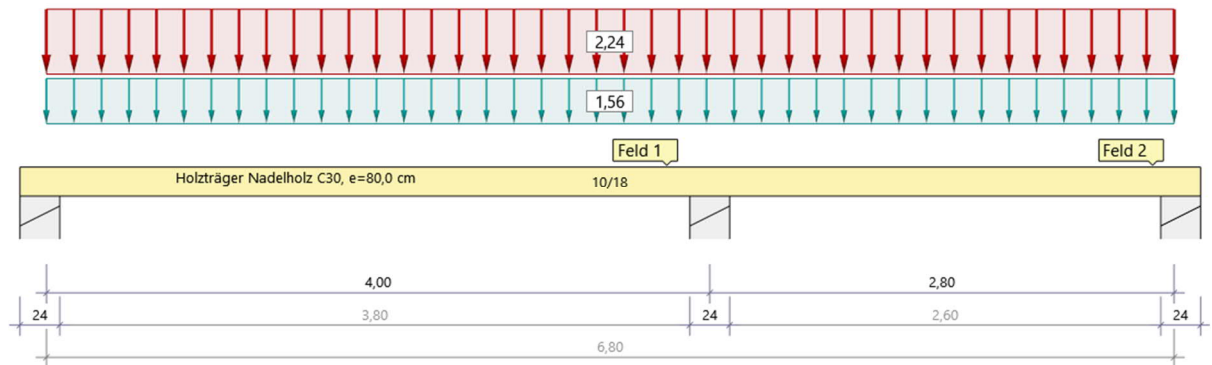
Inhaltsverzeichnis

Beispielposition	2
HTM+ Originalträger (Urzustand)	3
System	3
Schnittgrößen	3
Nachweise der Tragfähigkeit	4
Nachweis Biegung	4
Nachweis Schub	4
Auflagerpressung	4
Nachweise der Gebrauchstauglichkeit	5
HTM+ Geschädigter Träger (Sanierungszustand)	6
System	6
Schnittgrößen	6
Nachweise der Tragfähigkeit	7
Nachweis Biegung	7
Nachweis Schub	7
Auflagerpressung Mittelaufleger	7
Nachweise der Gebrauchstauglichkeit	7
HTV+ Verstärkter Träger (Endzustand)	9
System	9
Schnittgrößen	9
Biegemoment	9
Querkraft	10
Dübelbelastung	10
Nachweise der Tragfähigkeit	11
Nachweis Biegung Holzkern	11
Nachweis Schub Holzkern	11
Nachweise Stahlbauteile	11
Nachweis Bolzen	12
Nachweise der Gebrauchstauglichkeit	13
Programmausgabe	14



Beispielposition

Untersucht wird ein Zweifeldträger aus Holz in einem zu sanierenden Gebäude:



Für diesen Träger sollen drei Zustände untersucht werden:

- Originalträger (Urzustand)
- am Mittelaufleger geschädigter Träger (Sanierungszustand)
- am Mittelaufleger verstärkter Träger (Endzustand)

Geometrie: Zweifeldträger mit 4,00 m und 2,80 m Spannweite, jeweils auf 24 cm Mauerwerk gelagert
 Holzträger $b/h = 10/18$
 Trägerabstand 80 cm

Material: Nadelholz C30

Belastung $g_k = 1,95 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,80 \text{ m} = 1,56 \text{ kN/m}$ (ständige Last)
 $q_k = 2,80 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,80 \text{ m} = 2,24 \text{ kN/m}$ (Wohnraum Nutzlast + Trennwand)

Verstärkung: UPE160 beidseitig $l = 140 \text{ cm}$ mit
 2 x 3 Passbolzen M20 (4.6), $d = 20 \text{ mm}$
 mit Unterlegscheiben 72/22 (EN ISO 7094)
 im Abstand von 200 mm, 400 mm und 600 mm von Auflagermitte in jedem Feld

Nutzungsklasse 2

Details der drei Zustände:

- Im Urzustand liegt ein Zweifeldträger mit konstantem Holzquerschnitt vor.
- Im Sanierungszustand liegen zwei Einfeldträger vor, da das Holz über dem Mittelaufleger als nicht mehr tragfähig angesehen wird.
- Im Endzustand liegt ein verstärkter Träger vor, der im Bereich des Mittelauflegers mit beidseitigen U-Profilen auf einer Länge von 140 cm (mittig über dem Auflager, somit 70 cm in jedes Feld ragend) verstärkt wird. Die Verstärkungen werden je Feld mit drei Passbolzen am Holzträger befestigt (Geometrien und Anordnung s.o.). Über dem Mittelaufleger wird der Holzträger aufgrund seiner Schädigung als „nicht tragend“ angesehen.

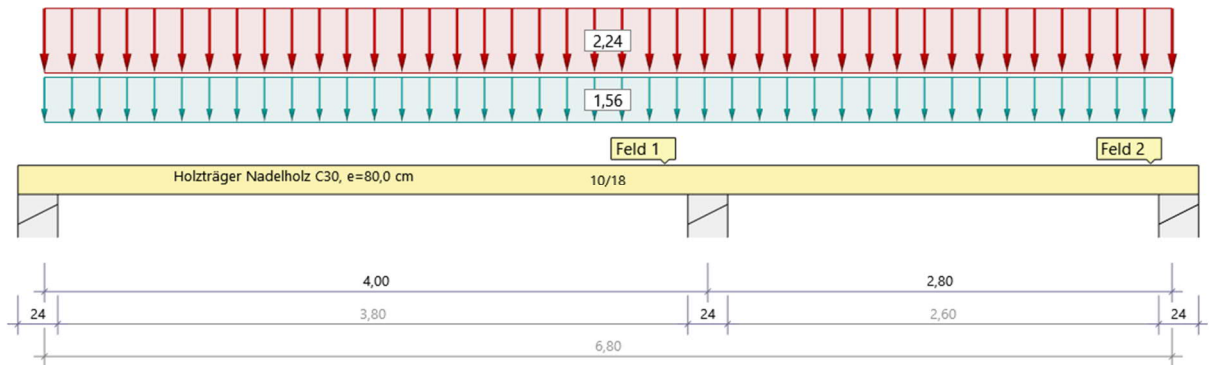


HTM+ Originalträger (Urzustand)

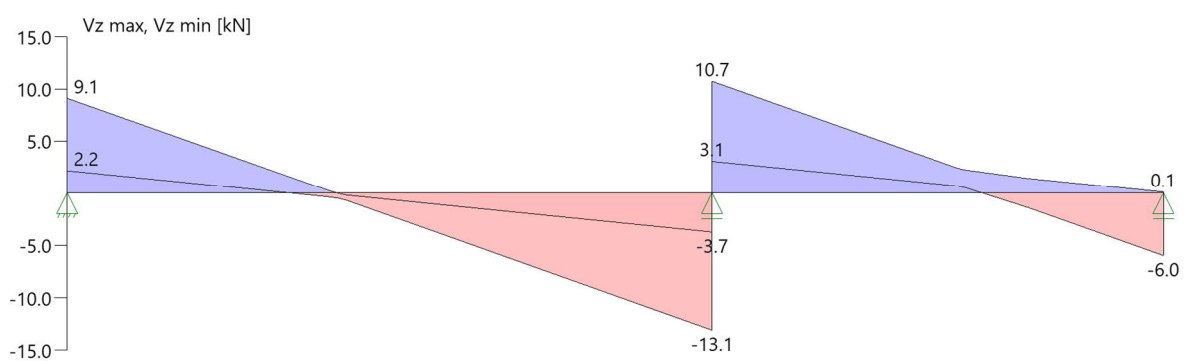
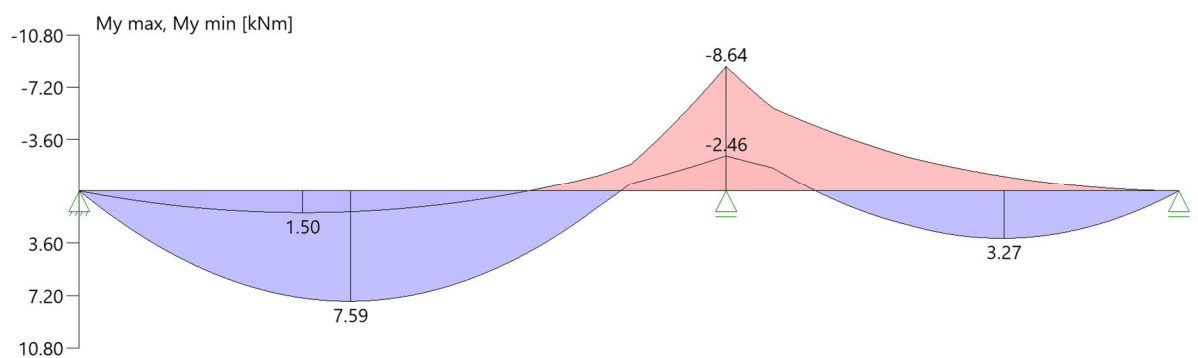
Zugehörige HTM+ Position:

HTM+ Refbsp 1 V1 Urzustand-HTM.FLPos

System



Schnittgrößen





Nachweise der Tragfähigkeit

Nachweis Biegung

$$\max M_d = \begin{cases} \max M_{F,d} = 7,59 \text{ kNm} \\ \max M_{S,d} = -8,64 \text{ kNm} \end{cases} \text{ aus LF g+q}$$

$$W = \frac{10 \text{ cm} \cdot (18 \text{ cm})^2}{6} = 540 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{8,64 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{540 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 16,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 30 \text{ N/mm}^2 = 18,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,d}} = \frac{16,0 \text{ N/mm}^2}{1,0 \cdot 18,5 \text{ N/mm}^2} = 0,87$$

Nachweis Schub

$$\max V_d = -13,1 \text{ kN aus Lf g+q}$$

$$A = 10 \text{ cm} \cdot 18 \text{ cm} = 180 \text{ cm}^2$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{13,1 \cdot 10^3 \text{ N}}{180 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 1,09 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{\text{cr}} = 1,3 \cdot \frac{2,0}{4,0} = 0,65$$

$$f_{v,d} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 4,0 \text{ N/mm}^2 = 2,46 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{k_{\text{cr}} \cdot f_{v,d}} = \frac{1,09 \text{ N/mm}^2}{0,65 \cdot 2,46 \text{ N/mm}^2} = 0,68$$

Auflagerpressung

$$\max A_d = 23,8 \text{ kN}$$

$$A_{\text{ef}} = 10 \text{ cm} \cdot (24 \text{ cm} + 2 \cdot 3 \text{ cm}) = 300 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{23,8 \cdot 10^3 \text{ N}}{300 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 0,79 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,50$$

$$f_{c,90,d} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 2,7 \text{ N/mm}^2 = 1,66 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{0,79 \text{ N/mm}^2}{1,50 \cdot 1,66 \text{ N/mm}^2} = 0,32$$



Nachweise der Gebrauchstauglichkeit

Überschlägliche Berechnung der Durchbiegung in Mitte des Feldes 1:

$$\begin{aligned}
 M_{f1,g} &= \frac{1,56 \text{ kN/m} \cdot (4,00 \text{ m})^2}{8} = 3,12 \text{ kNm} \\
 M_{s,g} &= -2,46 \text{ kNm} \\
 f_{1,g,inst} &= \frac{40}{384} \cdot \frac{M_{f1,g} \cdot l^2}{EI} + \frac{1}{16} \cdot \frac{M_{s,g} \cdot l^2}{EI} \\
 &= \frac{40}{384} \cdot \frac{3,12 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \cdot (4,00 \cdot 10^3 \text{ mm})^2}{12000 \text{ N/mm}^2 \cdot 4860 \cdot 10^4 \text{ mm}^4} + \frac{1}{16} \cdot \frac{(-2,46 \cdot 10^6 \text{ Nmm}) \cdot (4,00 \cdot 10^3 \text{ mm})^2}{12000 \text{ N/mm}^2 \cdot 4860 \cdot 10^4 \text{ mm}^4} \\
 &= 8,9 \text{ mm} - 4,2 \text{ mm} = 4,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{f1,q} &= \frac{2,24 \text{ kN/m} \cdot (4,00 \text{ m})^2}{8} = 4,48 \text{ kNm} \\
 M_{s,q} &= -2,63 \text{ kNm} \\
 f_{1,q,inst} &= \frac{40}{384} \cdot \frac{M_{f1,q} \cdot l^2}{EI} + \frac{1}{16} \cdot \frac{M_{s,q} \cdot l^2}{EI} \\
 &= \frac{40}{384} \cdot \frac{4,48 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \cdot (4,00 \cdot 10^3 \text{ mm})^2}{12000 \text{ N/mm}^2 \cdot 4860 \cdot 10^4 \text{ mm}^4} + \frac{1}{16} \cdot \frac{(-2,63 \cdot 10^6 \text{ Nmm}) \cdot (4,00 \cdot 10^3 \text{ mm})^2}{12000 \text{ N/mm}^2 \cdot 4860 \cdot 10^4 \text{ mm}^4} \\
 &= 12,8 \text{ mm} - 4,5 \text{ mm} = 8,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nachweis

$$\begin{aligned}
 w_{inst} &= 4,7 \text{ mm} + 8,3 \text{ mm} = 13,0 \text{ mm} < 14 \text{ mm} = \frac{4200 \text{ m}}{300} = \frac{l}{300} \\
 w_{fin} &= 4,7 \text{ mm} \cdot (1 + 0,8) + 8,3 \text{ mm} \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,8) = 18,8 \text{ mm} < 21 \text{ mm} = \frac{4200 \text{ m}}{200} = \frac{l}{300} \\
 w_{net,fin} &= (4,7 \text{ mm} + 0,3 \cdot 8,3 \text{ mm}) \cdot (1 + 0,8) = 13,0 \text{ mm} < 14 \text{ mm} = \frac{4200 \text{ m}}{300} = \frac{l}{300}
 \end{aligned}$$



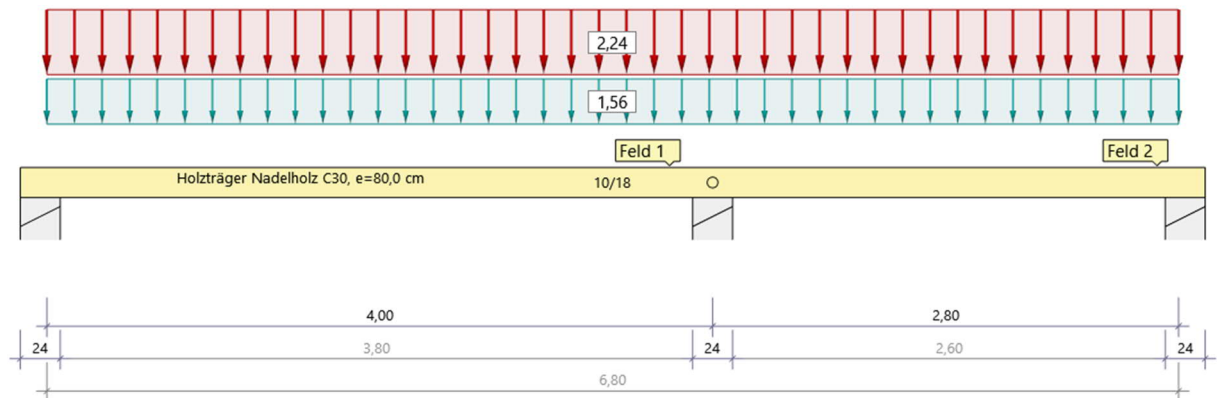
HTM+ Geschädigter Träger (Sanierungszustand)

Zugehörige HTM+ Position:

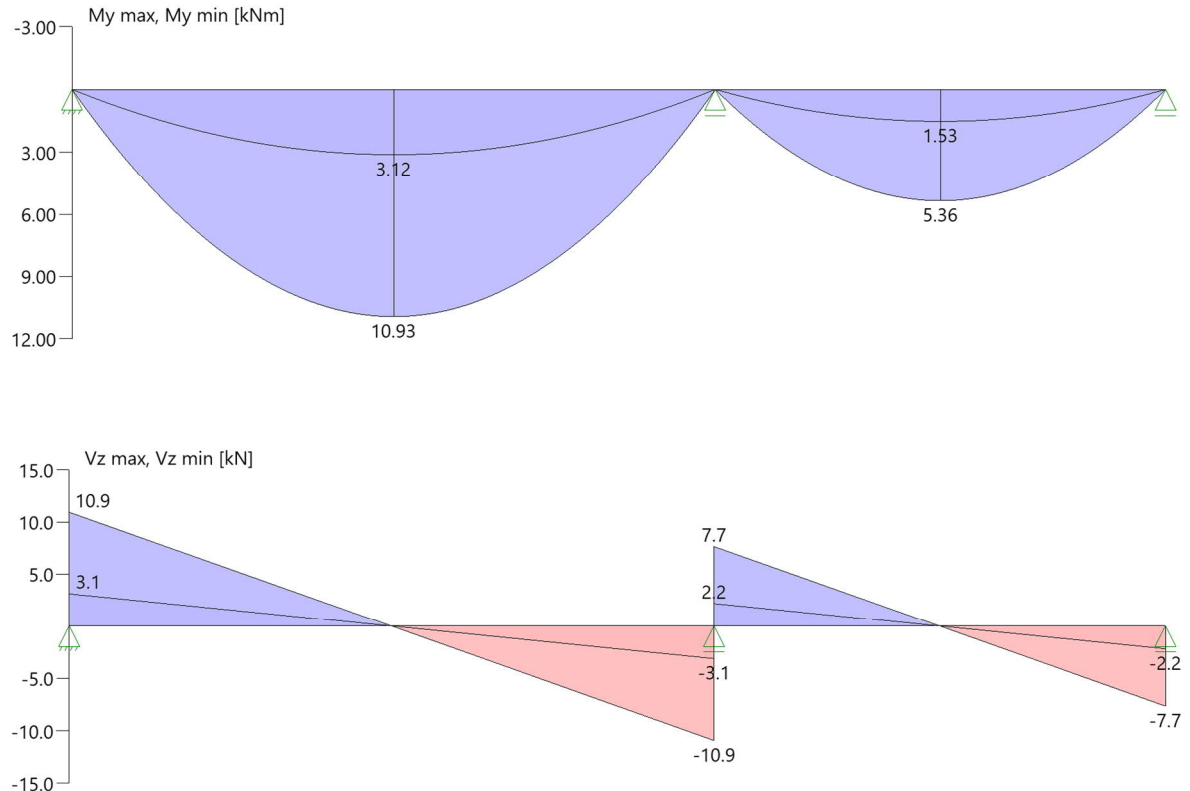
HTM+ Refbsp 1 V2 Sanierungszustand-
HTM.FLPos

Der Träger weist im Bereich des Mittelaufagers eine so starke Schädigung des Holzes auf, dass eine Tragfähigkeit an diesem Punkt sowie eine Durchlaufwirkung des Trägers fragwürdig erscheint. Daher wird zur weiteren Abschätzung der Tragfähigkeit ein Gelenk am Mittelaufleger eingeführt.

System



Schnittgrößen





Nachweise der Tragfähigkeit

Nachweis Biegung

$$\begin{aligned} \max M_d &= \max M_{F,d} = \frac{(1,35 \cdot 1,56 \text{ kN/m} + 1,50 \cdot 2,24 \text{ kN/m}) \cdot (4,00 \text{ m})^2}{8} \text{ aus LF g+q} \\ &= 10,9 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$W = \frac{10 \text{ cm} \cdot (18 \text{ cm})^2}{6} = 540 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{10,9 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{540 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 20,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 30 \text{ N/mm}^2 = 18,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{20,2 \text{ N/mm}^2}{18,5 \text{ N/mm}^2} = 1,09 > 1,0$$

Nachweis Schub

$$\max V_d = -10,9 \text{ kN aus LF g+q}$$

$$A = 10 \text{ cm} \cdot 18 \text{ cm} = 180 \text{ cm}^2$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{10,9 \cdot 10^3 \text{ N}}{180 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 0,91 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{cr} = \frac{2,0}{4,0} = 0,50$$

$$f_{v,d} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 4,0 \text{ N/mm}^2 = 2,46 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{k_{cr} \cdot f_{v,d}} = \frac{0,91 \text{ N/mm}^2}{0,50 \cdot 2,46 \text{ N/mm}^2} = 0,74$$

Auflagerpressung Mittelaufleger

Aufgrund der Schädigungen des Trägers im Bereich des Mittelauflegers erscheint die Standsicherheit an diesem Punkt prinzipiell als nicht gegeben.

Nachweise der Gebrauchstauglichkeit

$$I = \frac{10 \text{ cm} \cdot (18 \text{ cm})^3}{12} = 4860 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} w_{1,g,inst} &= \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{EI} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{1,56 \text{ N/mm} \cdot (4,00 \cdot 10^3 \text{ mm})^4}{12000 \text{ N/mm}^2 \cdot 4860 \cdot 10^4 \text{ mm}^4} = 8,9 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$w_{1,q,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{EI}$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{2,24 \text{ N/mm} \cdot (4,00 \cdot 10^3 \text{ mm})^4}{12000 \text{ N/mm}^2 \cdot 4860 \cdot 10^4 \text{ mm}^4} = 12,8 \text{ mm}$$

$$w_{inst} = 8,9 \text{ mm} + 12,8 \text{ mm} = 21,7 \text{ mm} > 14 \text{ mm} = \frac{4200 \text{ m}}{300} = \frac{l}{300}$$

$$w_{fin} = 8,9 \text{ mm} \cdot (1 + 0,8) + 12,8 \text{ mm} \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,8) = 31,9 \text{ mm} > 21 \text{ mm} = \frac{4200 \text{ m}}{200} = \frac{l}{300}$$

$$w_{net,fin} = (8,9 \text{ mm} + 0,3 \cdot 12,8 \text{ mm}) \cdot (1 + 0,8) = 23,0 \text{ mm} > 14 \text{ mm} = \frac{4200 \text{ m}}{300} = \frac{l}{300}$$

Alle Nachweise der Gebrauchstauglichkeit nicht eingehalten!



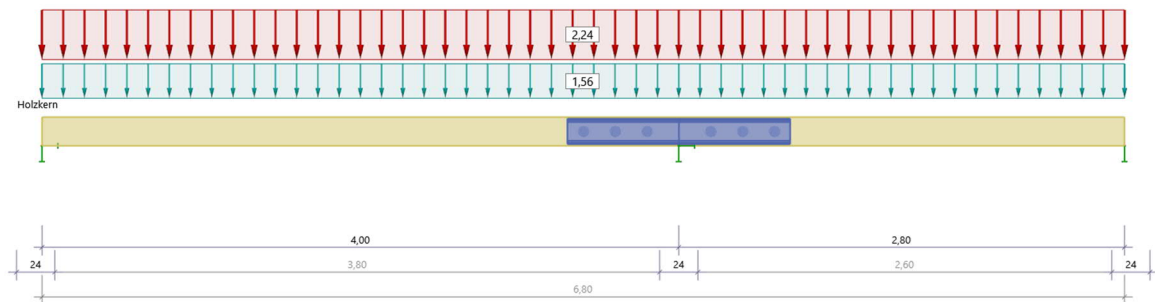
HTV+ Verstärkter Träger (Endzustand)

Zugehörige HTV+ Position:

HTV+ Refbsp 1 V3 Endzustand-FL.Htv.FLPos

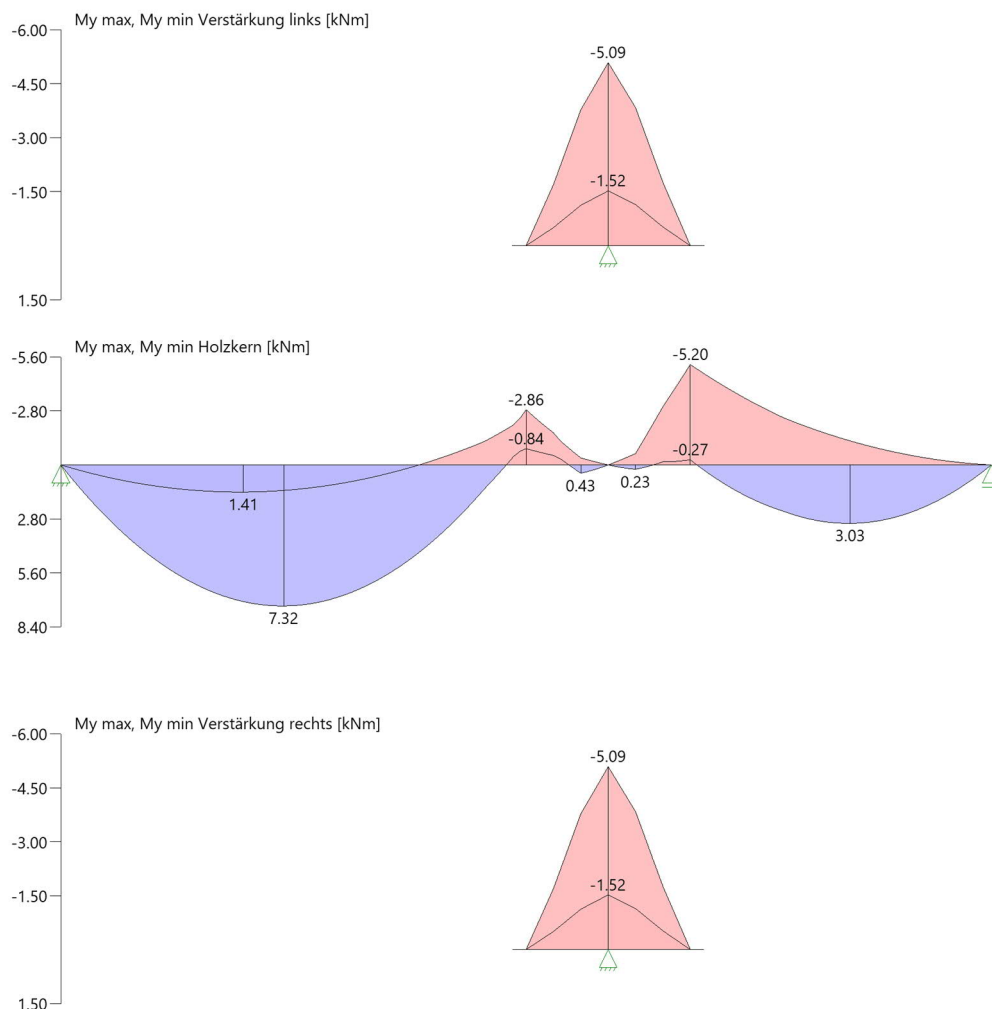
Der Träger wird nun im Bereich des Mittelaufagers mit beidseitigen U-Profilen auf einer Länge von 140 cm verstärkt. Über dem Mittelaufleger wird der Holzträger aufgrund seiner Schädigung als „nichttragend“ angesehen.

System



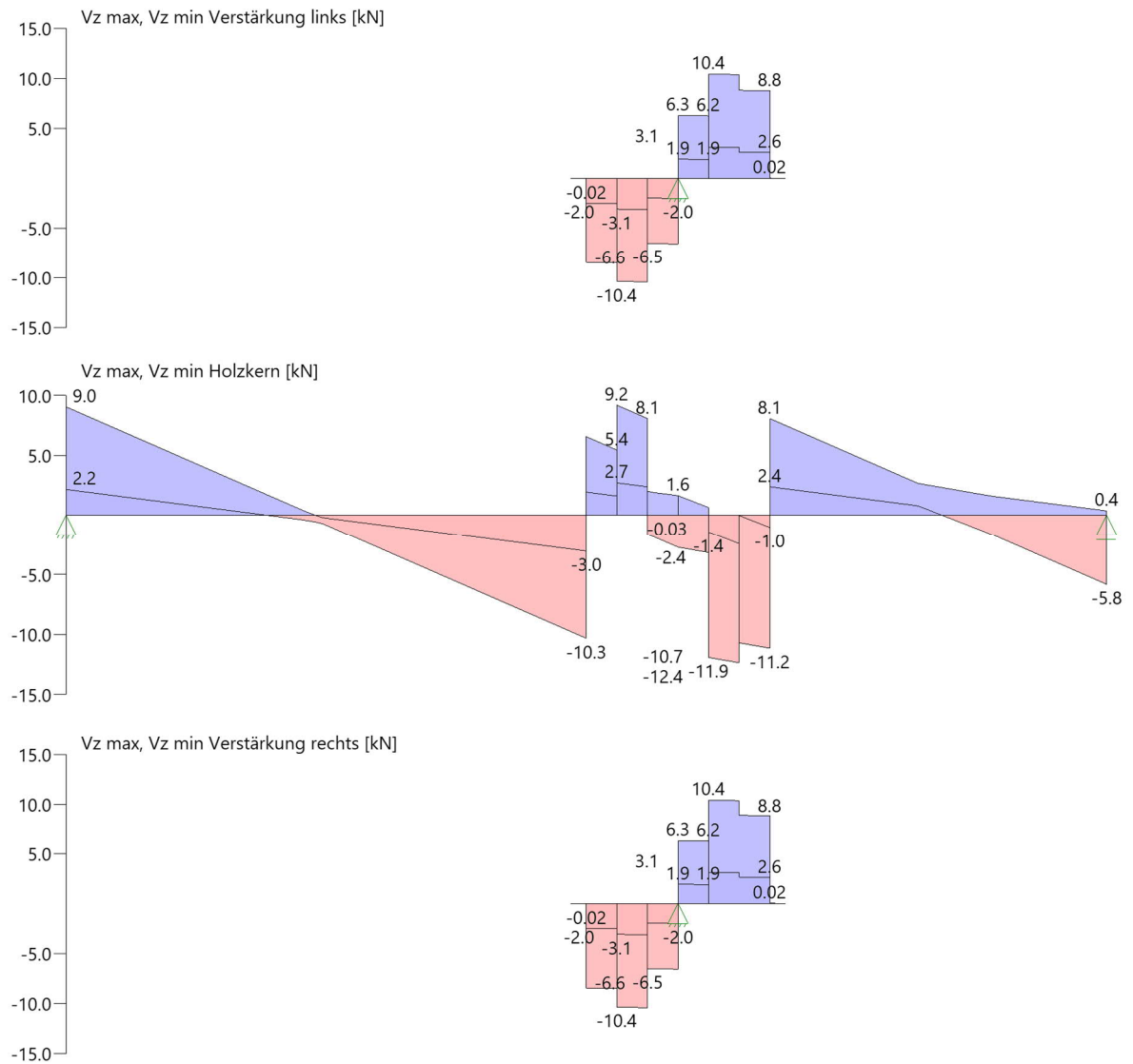
Schnittgrößen

Biegemoment





Querkraft



Dübelbelastung

max $F_{v,Ed} = 8,74 \text{ kN}$ im Holzträger aus LF g+q



Nachweise der Tragfähigkeit

Nachweis Biegung Holzkern

$$M_d = 7,32 \text{ kNm}$$

$$W = \frac{10 \text{ cm} \cdot (18 \text{ cm})^2}{6} = 540 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{7,32 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{540 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 13,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 30 \text{ N/mm}^2 = 18,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{13,6 \text{ N/mm}^2}{18,5 \text{ N/mm}^2} = 0,73 \quad \text{1}$$

Nachweis Schub Holzkern

$$V_d = 12,4 \text{ kN}$$

$$A_N = 10 \text{ cm} \cdot 18 \text{ cm} = 180 \text{ cm}^2$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{12,4 \cdot 10^3 \text{ N}}{180 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 1,03 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{cr} = \frac{2,0}{4,0} = 0,50$$

$$f_{v,d} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 4,0 \text{ N/mm}^2 = 2,46 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{k_{cr} \cdot f_{v,d}} = \frac{1,03 \text{ N/mm}^2}{0,50 \cdot 2,46 \text{ N/mm}^2} = 0,84 \quad \text{2}$$

Nachweise Stahlbauteile

Schnittgrößen (Stelle der ungünstigsten Schnittgrößen-Kombination)

$$M_d = -5,09 \text{ kNm}$$

$$V_d = -6,58 \text{ kN}$$

Maximale Spannungen am echten Querschnitt (QS)

$$I_{y,QS} = 911 \text{ cm}^4$$

$$S_{y,QS} = 65,8 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{d,max} = \frac{M_d}{I_{y,QS}} \cdot z = \frac{5,09 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{911 \cdot 10^4 \text{ mm}^4} \cdot 80 \text{ mm} = 44,7 \text{ N/mm}^2 \quad \text{3}$$

$$\tau_{d,max} = \frac{V_d \cdot S_{y,QS}}{I_{y,QS} \cdot b} = \frac{6,58 \cdot 10^3 \text{ kN} \cdot 65,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}{911 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \cdot 5,5 \text{ mm}} = 8,64 \text{ N/mm}^2$$



Vergleichsspannung an der ungünstigsten Stelle am Ersatzsystem (ES)

$$I_{y,ES} = 881 \text{ cm}^4$$

$$S_{y,ES} = 48,08 \text{ cm}^3$$

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S_{y,ES}}{I_{y,ES} \cdot b} = \frac{6,58 \cdot 10^3 \text{ kN} \cdot 48,08 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}{881 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \cdot 5,5 \text{ mm}} = 6,53 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\sigma_{d,v} = \sqrt{\sigma_d^2 + 3 \cdot \tau_d^2} = \sqrt{44,7^2 + 3 \cdot 6,53^2} = 46,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{d,v}}{\sigma_{Rd}} = \frac{46,1 \text{ N/mm}^2}{235 \text{ N/mm}^2} = 0,20$$

4

Nachweis Bolzen

Verschiebungsmodul

$$K_{ser} = 2 \cdot \left(\rho_m^{1,5} \cdot \frac{d}{23} \right) = 2 \cdot \left(460^{1,5} \cdot \frac{20}{23} \right) = 2 \cdot 8579 = 17158 \text{ N/mm}$$

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} = \frac{2}{3} \cdot 17158 = 11439 \text{ N/mm}$$

5

Lochleibungsfestigkeit parallel zur Faser

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 380 = 24,93 \text{ N/mm}^2$$

Lochleibungsfestigkeit unter einem Winkel $\alpha = 90^\circ$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 20 = 1,65$$

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{24,93 \text{ N/mm}^2}{1,65 \cdot \sin^2 90^\circ + \cos^2 90^\circ} = \frac{24,93 \text{ N/mm}^2}{1,65} = 15,11 \text{ N/mm}^2$$

Fließmoment

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 20^{2,6} = 289640 \text{ Nmm}$$

Erhöhung der Tragfähigkeit durch den Seileffekt

$$\Delta F_{Rk} = \min \begin{cases} 0,25 \cdot F_{v,Rk} \\ 0,25 \cdot F_{ax,Rk} \end{cases}$$

Genaues Verfahren nach Johansen (EN 1995-1-1, 8.2)

$$F_{v,Rk1} = 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d = 0,5 \cdot 15,11 \text{ N/mm}^2 \cdot 100 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} = 15110 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} F_{v,Rk2} &= 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \Delta F_{Rk} \\ &= 1,25 \cdot \left(1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 289640 \text{ Nmm} \cdot 15,11 \text{ N/mm}^2 \cdot 20 \text{ mm}} \right) = 1,25 \cdot 15215 \text{ N} \\ &= 19019 \text{ N} \end{aligned}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot (\min F_{v,Rk}) = \frac{0,8}{1,3} \cdot 15110 \text{ N} = 9298 \text{ N}$$



Nachweis Bolzen

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{8,74 \text{ kN}}{9,30 \text{ kN}} = 0,94$$

6

Nachweise der Gebrauchstauglichkeit

$$w_{g,inst} = 4,4 \text{ mm}$$

$$w_{q,inst} = 7,7 \text{ mm}$$

$$w_{inst} = 4,4 \text{ mm} + 7,7 \text{ mm} = 12,1 \text{ mm} < 14 \text{ mm} = \frac{4200 \text{ mm}}{300} = \frac{l}{300}$$

$$w_{fin} = 4,4 \text{ mm} \cdot (1+0,8) + 7,7 \text{ mm} \cdot (1+0,3 \cdot 0,8) = 17,5 \text{ mm} < 21 \text{ mm} = \frac{4200 \text{ mm}}{200} = \frac{l}{300}$$

7

$$w_{net,fin} = (4,4 \text{ mm} + 0,3 \cdot 7,7 \text{ mm}) \cdot (1+0,8) = 12,1 \text{ mm} < 14 \text{ mm} = \frac{4200 \text{ mm}}{300} = \frac{l}{300}$$



Programmausgabe

Position: Refbsp 2 Version 3 Originalträger verstärkt beschädigt

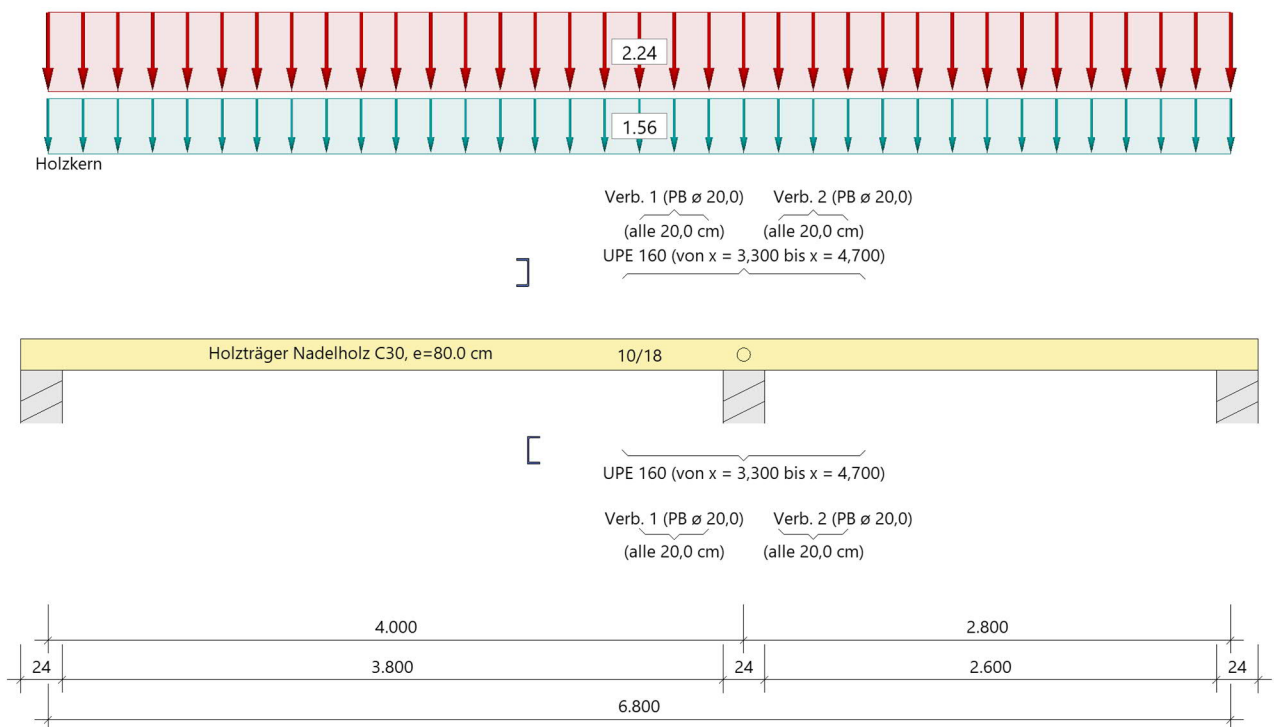
Verstärkter Holzträger (x64) HTV+ 01/24 (FRILO R-2024-1/P04)

Grundparameter

Holzträger beidseitig stahlverstärkt (e = 80.0 cm) Nadelholz C30 + S235 DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08

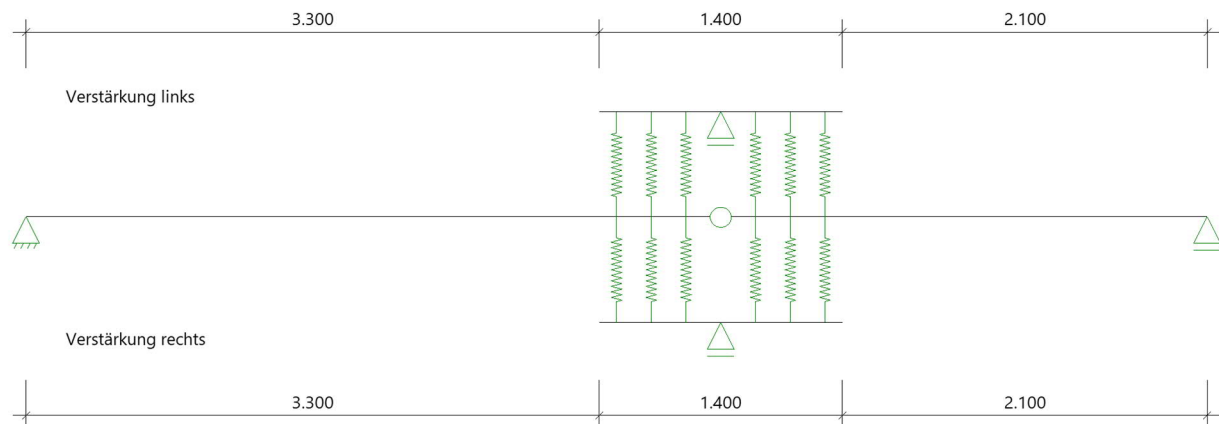
System

Systembild

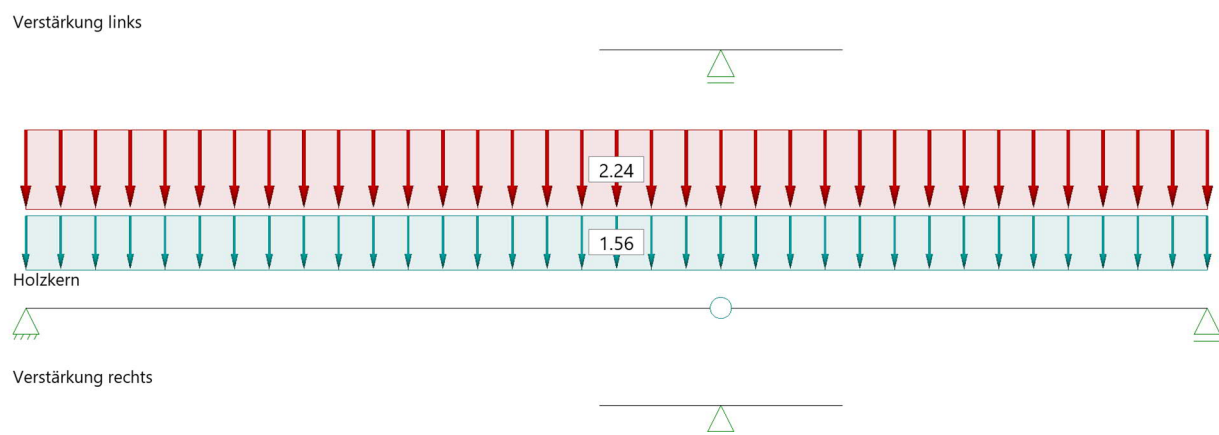




Statisches System mit Verbindungen



Statisches System mit Belastung



Material

Nadelholz C30, gemäß EN 338:2016

$f_{m,k}$ $f_{v,k}$ [N/mm ²]	$f_{t,0,k}$ $f_{c,0,k}$ [N/mm ²]	$f_{t,90,k}$ $f_{c,90,k}$ [N/mm ²]	$E_{0,mean}$ $E_{0,05}$ [N/mm ²]	$E_{90,mean}$ $E_{90,05}$ [N/mm ²]	G_{mean} G_{05} [N/mm ²]	ρ_k ρ_m [kg/m ³]
30.00 4.00	19.00 24.00	0.40 2.70	12000 8000	400 267	750 500	380 460

$f_{m,k}$: charakteristischer Wert der Biegefestigkeit
 $f_{t,0,k}$: charakteristischer Wert der Zugfestigkeit parallel zur Faser
 $f_{t,90,k}$: charakteristischer Wert der Zugfestigkeit senkrecht zur Faser
 $E_{0,mean}$: Mittelwert des Elastizitätsmoduls parallel zur Faser
 $E_{90,mean}$: Mittelwert des Elastizitätsmoduls senkrecht zur Faser
 G_{mean} : Mittelwert des Schubmoduls
 ρ_k : charakteristischer Wert der Rohdichte
 $f_{v,k}$: charakteristischer Wert der Schubfestigkeit
 $f_{c,0,k}$: charakteristischer Wert der Druckfestigkeit parallel zur Faser
 $f_{c,90,k}$: charakteristischer Wert der Druckfestigkeit senkrecht zur Faser
 $E_{0,05}$: 5%-Fraktilwert des Elastizitätsmoduls parallel zur Faser
 $E_{90,05}$: 5%-Fraktilwert des Elastizitätsmoduls senkrecht zur Faser
 G_{05} : 5%-Fraktilwert des Schubmoduls
 ρ_m : Mittelwert der Rohdichte



S235

	$E_k = 210000 \text{ N/mm}^2$	$G_k = 80769 \text{ N/mm}^2$
	$\gamma = 78.50 \text{ kN/m}^3$	$\mu = 0.30$
Streckgrenze	$t \leq 40 \text{ mm}$	$f_{yk} = 235.00 \text{ N/mm}^2$
	$t \leq 80 \text{ mm}$	$f_{yk} = 215.00 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$t \leq 40 \text{ mm}$	$f_{uk} = 360.00 \text{ N/mm}^2$
	$t \leq 80 \text{ mm}$	$f_{uk} = 360.00 \text{ N/mm}^2$

Geometrie

Querschnitte (Holzkern)

Name	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]	W_y [cm ³]	W_z [cm ³]	A [cm ²]
10/18	4860	1500	540	300	180.0
Querschnitt ist konstant über gesamte Trägerlänge.					

Querschnitte (Verstärkungen)

Name	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]	W_y [cm ³]	W_z [cm ³]	A [cm ²]
UPE 160	911	107	110	23	21.7

Verstärkungen

Nr	Anfang [m]	Ende [m]	Länge [m]	Verst.-querschnitt	Lage
1	3.300	4.700	1.400	UPE 160	links
2	3.300	4.700	1.400	UPE 160	rechts

Verbindungsmittel

Nr.	Typ	d [mm]	Fstqk.-Klasse	F_{uk} [kN/m ²]	$M_{v,k}$ [Nmm]	$d_{s,außen}$ [mm]	$d_{s,innen}$ [mm]	Überstand [mm]	K_{ser} [kN/m]
1	Passbolzen PB ø 20,0 *1	20.0	4.6	400000.00	289641	72.0	22.0	0.0	17158.09

Verbindungsmittelanordnung

Nr.	Anfang [m]	Ende [m]	Länge [m]	Abstand A1 [cm]	Verbindungsmittel	Anzahl verbindungsmittel
1	3.400	3.800	0.400	20.0	Passbolzen PB ø 20,0 *1	3
2	4.200	4.600	0.400	20.0	Passbolzen PB ø 20,0 *1	3
3	3.400	3.800	0.400	20.0	Passbolzen PB ø 20,0 *1	3
4	4.200	4.600	0.400	20.0	Passbolzen PB ø 20,0 *1	3

Gelenke :

- in Feld 2 bei x = 0 cm

Auflager (Lagerbedingungen)

Nr	x [m]	Breite [cm]	Tiefe [cm]	k_{c90}	u_y [kN/m]	u_z [kN/m]	Verdrehungen ^{*)}		
							Φ_x [kNm/rad]	Φ_y [kNm/rad]	Φ_z [kNm/rad]
1	0.000	24.0	10.0	1.50	-1	-1	-1	0.0	0.0
2	4.000	24.0	10.0	1.50	-1	0.00	0.0	0.0	0.0
3	6.800	24.0	10.0	1.50	-1	-1	0.0	0.0	0.0

^{*)}-1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch



Lasten

Streckenlasten aus Flächenlasten

Bezug	Nr	Art	A [m]	L1 [m]	L2 [m]	W1 [kN/m²]	W2 [kN/m²]	EG	Zus	Alt
System	1	GL		6.800		1.95		ständig		
	2	GL		6.800		2.80		Kat. A		

Last Nr. 2 wirkt feldweise.

Last Nr. 1 wirkt zusammenhängend.

Die Lastwerte werden intern mit dem Balkenabstand $e = 0.800$ m multipliziert.

Bezug : Systembezogen (Vorderkante Träger) oder Feldlast
 Art : 1 - Gleichstreckenlast (GL), 4 - Trapezlast (TL), 5 - Dreiecklast (DL)
 A : Abstand zur Last von Feldanfang oder Vorderkante Träger
 EG : Lasteinwirkung
 Zus : Zusammengehörigkeitsgruppe
 Alt : Alternativgruppe

- Last 1: Breite 0,80 m
- Last 2: Breite 0,80 m

Eigengewicht

Gesamtgewicht = 104 kg mit $\gamma = 4.60$ kN/m³ berücksichtigt.

Übersicht der verwendeten Einwirkungen

Einwirkungen

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$	KLED
ständig				1.00	1.35	
Kat. A: Wohngebäude	0.70	0.50	0.30		1.50	mittel

Schadensfolgeklasse CC 2 nach EN 1990 Tab. B1 -> $K_{fi} = 1.0$ Tab. B3

Ergebnisse

Bemessungsparameter

Bemessungsnorm : DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08
 Basis : EN 1995-1-1/A2:2014
 Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik : DIN EN 1990/NA:2010-12
 Schadensfolgeklasse : CC 2
 $\psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE) : nicht angesetzt
 Kombination ständiger Lasten : alle gleiches $\gamma_F(\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf})$
 KLED bei Wind : Mittelwert aus kurz und sehr kurz

Bemessungsparameter Holz

Nutzungsklasse 2 : überdacht, offen
 rel. Luftfeuchte ~ 85% Ausgleichfeuchte < 20%
 Bemessungssituation Gebrauchstauglichkeit : charakteristisch
 Schubspannungen = Tau mit vollem Q

Zusammenfassung

Nachweis	Bemessungssituation	$\eta_{Biegung}$	η_{Schub}	$\eta_{c,90}$	η_{Qs}
Tragfähigkeit	ständig/vorübergehend	0.73	0.84	0.13	0.84

Verbindungsmittel max. Auslastung = 0.94



Tragsicherheit - Lastkombination ständig/vorübergehend

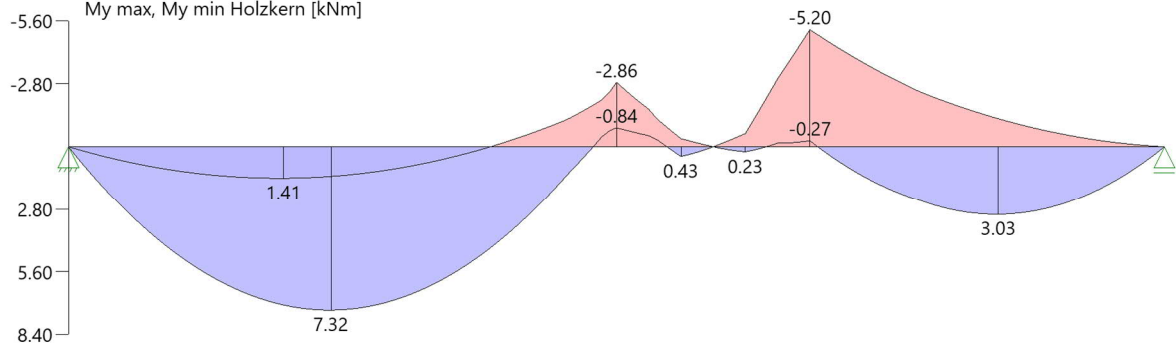
Schnittgrößen

Umhüllende der Momente

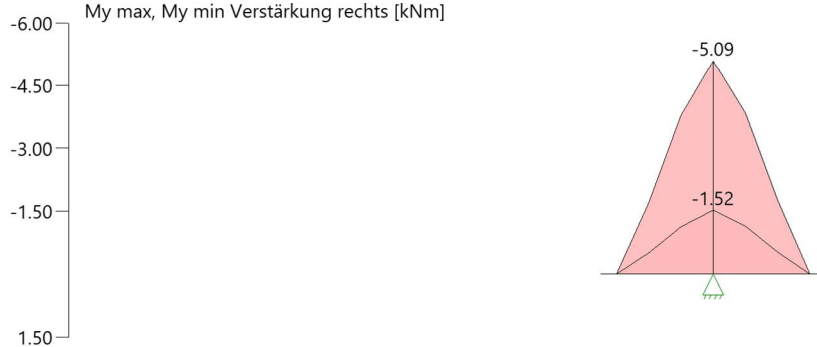
My max, My min Verstärkung links [kNm]



My max, My min Holzkern [kNm]

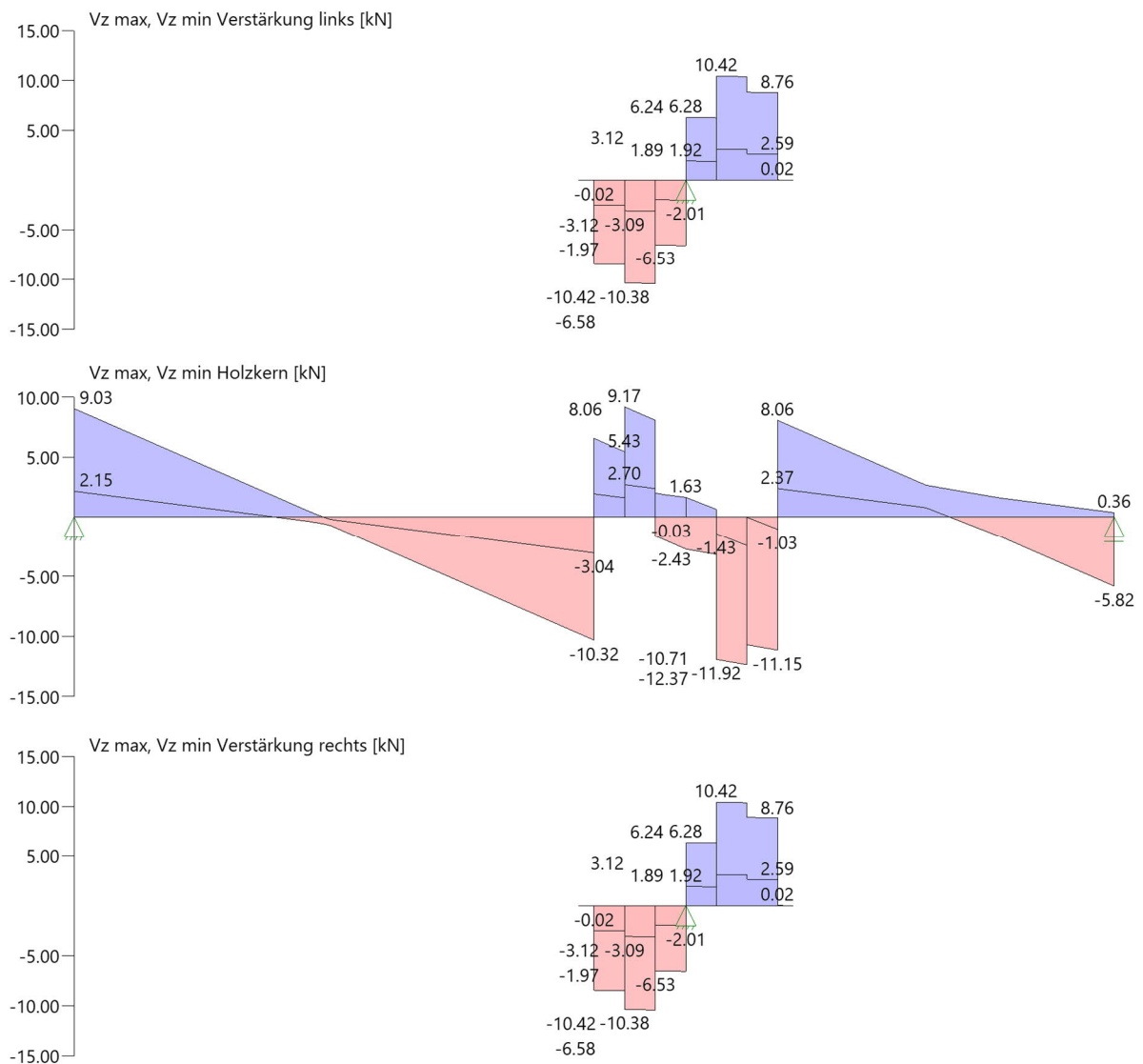


My max, My min Verstärkung rechts [kNm]





Umhüllende der Querkräfte



Schnittgrößen Holzkern

Feld	x [m]	$M_{v,Ed}$ [kNm]	$V_{z,Ed}$ [kN]	Lk
Feld 1	0.000	0.00	0.00	7
	0.001	0.01	9.03	2
	1.620	7.32	0.00	2
	3.400	-2.86	-10.32	7
	3.999	7.32	-2.72	2
	4.000	7.32	0.00	2
Feld 2	4.000	0.00	0.00	2
	4.001	-0.003	-2.73	2
	4.400	-3.02	-12.37	2
	4.600	-5.20	-11.15	2
	6.799	0.01	-5.81	6
	6.800	-5.20	0.00	2



Gelenke max/min mit zugehörigen Schnittkräfte

Nr	x [m]	M _v [kNm]	Q _z [kN]
1	4.000	0.00 max 0.00 min	-2.64 -0.33 1.63 max -2.72 min

Biegung Holzkern

Feld	x [m]	M _{v,d} [kNm]	σ _{myd} [N/mm ²]	k _{crit,v}	k _{mod}	f _{m,v,d} [N/mm ²]	η	Lk
Feld 1	1.620	7.32	13.55	1.00	0.80	18.46	0.73	2
Feld 2	4.600	-5.20	-9.64	1.00	0.80	18.46	0.52	2

Der Beiwert k_h = 1.00 nach EN 1995 3.2 (3) ist berücksichtigt.
Bei Querschnittssprüngen sind zusätzliche Nachweise erforderlich.

Schub Holzkern

Stütze [Nr]		x _{rel} [m]	x _{abs} [m]	V _{z,d} [kN]	τ _d [N/mm ²]	k _{mod}	f _{v,z,d} [N/mm ²]	η	Lk
1	rechts	0.001	0.001	9.03	0.75	0.80	2.46	0.61	2
			3.400	-10.32	-0.86	0.80	2.46	0.70	7
2	links	0.001	3.999	-2.72	-0.23	0.80	2.46	0.18	2
	rechts	0.001	4.001	-2.73	-0.23	0.80	2.46	0.18	2
			4.400	-12.37	-1.03	0.80	2.46	0.84	2
3	links	0.001	6.799	-5.81	-0.48	0.80	2.46	0.39	6

EN 1995 6.1.7 : k_{cr} = 0,50

Querschnittstragfähigkeit Verstärkungen links

Schnittgrößen Verstärkung links

Feld	x [m]	Q _{kl}	V _{z,Ed} [kN]	M _{v,Ed} [kNm]	σ _d [N/mm ²]	τ _d [N/mm ²]	σ _{d,v} [N/mm ²]	η	Lk
Verst. 1	3.600	1	-8.51	-1.70	-14.9	11.2	20.9	0.09	7
	3.600	1	-10.38	-1.70	-14.9	13.6	23.6	0.10	7
	3.800	1	-10.42	-3.78	-33.1	13.7	37.6	0.16	7
	3.800	1	-6.53	-3.78	-33.1	8.6	35.0	0.15	7
	4.000	1	-6.58	-5.09	-44.6	8.6	46.0	0.20	7
	4.000	1	6.28	-5.09	-44.6	-8.3	45.9	0.20	7
	4.200	1	6.24	-3.84	-33.6	-8.2	35.3	0.15	7
	4.200	1	10.42	-3.84	-33.6	-13.7	38.1	0.16	7
	4.400	1	10.37	-1.76	-15.4	-13.6	23.6	0.10	7
	4.400	1	8.80	-1.76	-15.4	-11.6	21.6	0.09	7
	4.600	1	8.76	-0.001	-0.01	-11.5	19.9	0.08	7

Querschnittstragfähigkeit Verstärkungen rechts

Schnittgrößen Verstärkung rechts

Feld	x [m]	Q _{kl}	V _{z,Ed} [kN]	M _{v,Ed} [kNm]	σ _d [N/mm ²]	τ _d [N/mm ²]	σ _{d,v} [N/mm ²]	η	Lk
Verst. 1	3.600	1	-8.51	-1.70	-14.9	11.2	20.9	0.09	7
	3.600	1	-10.38	-1.70	-14.9	13.6	23.6	0.10	7
	3.800	1	-10.42	-3.78	-33.2	13.7	37.7	0.16	7
	3.800	1	-6.53	-3.78	-33.2	8.6	35.0	0.15	7
	4.000	1	-6.58	-5.09	-44.7	8.6	46.1	0.20	7



Feld	x [m]	Qkl	V _{z,Ed} [kN]	M _{v,Ed} [kNm]	σ _d [N/mm ²]	τ _d [N/mm ²]	σ _{d,V} [N/mm ²]	η	Lk
	4.000	1	6.28	-5.09	-44.7	-8.3	46.0	0.20	7
	4.200	1	6.24	-3.84	-33.7	-8.2	35.4	0.15	7
	4.200	1	10.42	-3.84	-33.7	-13.7	38.2	0.16	7
	4.400	1	10.37	-1.76	-15.4	-13.6	23.6	0.10	7
	4.400	1	8.80	-1.76	-15.4	-11.6	21.6	0.09	7

Verbindungsmittel

Verbindungsmittelgruppe 1: Nachweis linke Fuge

Position [m]	F _{h1k} [N/mm ²]	F _{h2k} [N/mm ²]	M _{vk} [kNm]	F _{d,max} [kN]	LK	R _k [kN]	ΔR _k [kN]	R _d [kN]	η
3.400	-	15.11	0.29	8.44	7	15.11	0.00	9.30	0.91
3.600	-	15.11	0.29	1.87	7	15.11	0.00	9.30	0.20
3.800	-	15.11	0.29	-3.89	7	15.11	0.00	9.30	0.42

Verbindungsmittelgruppe 1: Nachweis rechte Fuge

Position [m]	F _{h1k} [N/mm ²]	F _{h2k} [N/mm ²]	M _{vk} [kNm]	F _{d,max} [kN]	LK	R _k [kN]	ΔR _k [kN]	R _d [kN]	η
3.400	-	15.11	0.29	8.44	7	15.11	0.00	9.30	0.91
3.600	-	15.11	0.29	1.87	7	15.11	0.00	9.30	0.20
3.800	-	15.11	0.29	-3.89	7	15.11	0.00	9.30	0.42

Verbindungsmittelgruppe 1: Mindestabstände linke Fuge

Typ	Min [cm]	Vorh [cm]	Ort [m]	Eingehalten
a1	6.0	20.0	3.400	Ja
a2	6.0	-	-	-
a3c	14.0	10.0	3.400	Nein
a3t	14.0	10.0	3.400	Nein
a4c	6.0	-	-	-
a4t	8.0	-	-	-

Verbindungsmittelgruppe 1: Mindestabstände rechte Fuge

Typ	Min [cm]	Vorh [cm]	Ort [m]	Eingehalten
a1	6.0	20.0	3.400	Ja
a2	6.0	-	-	-
a3c	14.0	10.0	3.400	Nein
a3t	14.0	10.0	3.400	Nein
a4c	6.0	-	-	-
a4t	8.0	-	-	-

Verbindungsmittelgruppe 2: Nachweis linke Fuge

Position [m]	F _{h1k} [N/mm ²]	F _{h2k} [N/mm ²]	M _{vk} [kNm]	F _{d,max} [kN]	LK	R _k [kN]	ΔR _k [kN]	R _d [kN]	η
4.200	-	15.11	0.29	-4.38	2	15.11	0.00	9.30	0.47
4.400	-	15.11	0.29	1.57	7	15.11	0.00	9.30	0.17
4.600	-	15.11	0.29	8.74	7	15.11	0.00	9.30	0.94



Verbindungsmittelgruppe 2: Nachweis rechte Fuge

Position [m]	F_{h1k} [N/mm ²]	F_{h2k} [N/mm ²]	M_{vk} [kNm]	$F_{d,max}$ [kN]	LK	R_k [kN]	ΔR_k [kN]	R_d [kN]	η
4.200	-	15.11	0.29	-4.38	2	15.11	0.00	9.30	0.47
4.400	-	15.11	0.29	1.57	7	15.11	0.00	9.30	0.17
4.600	-	15.11	0.29	8.74	7	15.11	0.00	9.30	0.94

Verbindungsmittelgruppe 2: Mindestabstände linke Fuge

Typ	Min [cm]	Vorh [cm]	Ort [m]	Eingehalten
a1	6.0	20.0	4.200	Ja
a2	6.0	-	-	-
a3c	14.0	10.0	4.600	Nein
a3t	14.0	10.0	4.600	Nein
a4c	6.0	-	-	-
a4t	8.0	-	-	-

Verbindungsmittelgruppe 2: Mindestabstände rechte Fuge

Typ	Min [cm]	Vorh [cm]	Ort [m]	Eingehalten
a1	6.0	20.0	4.200	Ja
a2	6.0	-	-	-
a3c	14.0	10.0	4.600	Nein
a3t	14.0	10.0	4.600	Nein
a4c	6.0	-	-	-
a4t	8.0	-	-	-

Auflagerpressung Holzkern

Stütze	b_{eff} [cm]	d_{eff} [cm]	max F [kN]	$\sigma_{c,90,d}$ [N/mm ²]	k_{c90}	k_{mod}	$f_{c,90,d}$ [N/mm ²]	η	Lk
1	27.0*	10.0	9.03	0.33	1.50	0.80	1.66	0.13	2
2	30.0*	10.0	0.00	0.00	1.50	0.60	NaN	0.00	1
3	27.0*	10.0	5.82	0.22	1.50	0.80	1.66	0.09	6

* Kontaktfläche nach Norm DIN EN 1995-1-1, Kapitel 6.1.5 (1)P um 30mm je Seite verbreitert
Der Nachweis wird nur für den Holzkern geführt.

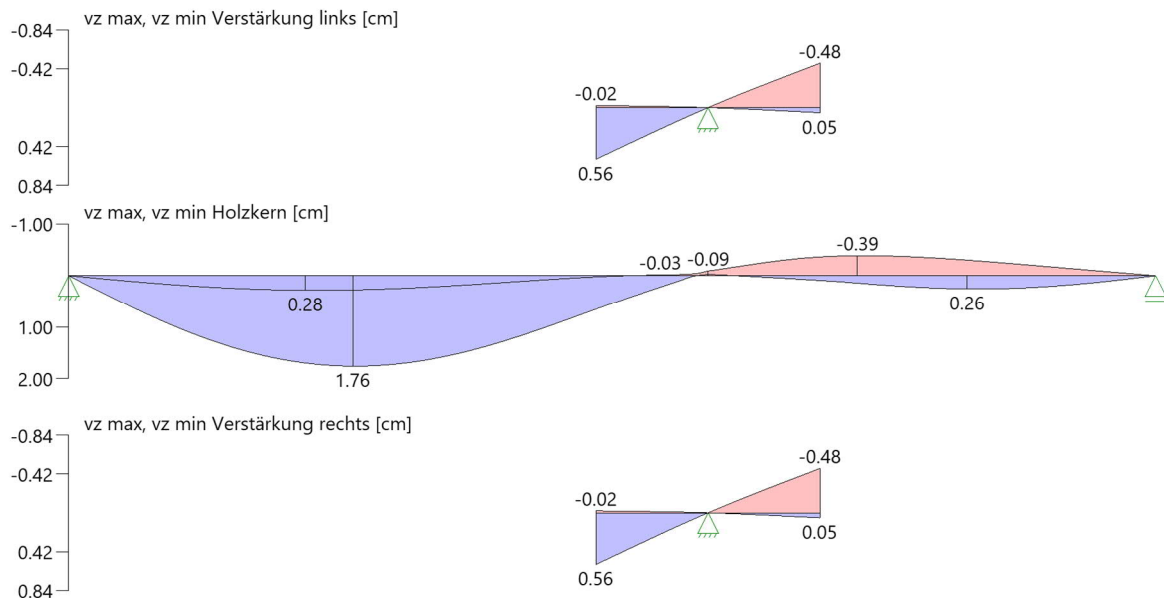
Gelenke charakteristisch max/min je Ewg mit zugehörigen Schnittkräften

Nr	x [m]	Einwirkung	M_v [kNm]	Q_z [kN]
1	4.000	ständig Kat. A: Wohngebäude		-0.25 max 1.25 max -1.59 min



Verformungen

Umhüllende der Verformungen - Gebrauchstauglichkeit



Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

	Stelle [m]	typ		w_q	w_q	w	Lk
				[cm]			
Feld 1	1.895	inst	Z	0.44	0.77	1.21	8
	1.684	net,fin	Z	0.80	0.42	1.21	10
	1.895	fin	Z	0.79	0.96	1.75	9
Feld 2	1.032	inst	Z	-0.04	-0.25	-0.29	8
	0.884	net,fin	Z	-0.09	-0.13	-0.22	10
	1.032	fin	Z	-0.07	-0.31	-0.39	9
VLinks	1.400	inst	Z	-0.09	-0.26	-0.35	8
	0.000	net,fin	Z	0.20	0.15	0.36	10
	0.000	fin	Z	0.20	0.36	0.56	9
VRechts	1.400	inst	Z	-0.09	-0.26	-0.35	8
	0.000	net,fin	Z	0.20	0.15	0.36	10
	0.000	fin	Z	0.20	0.36	0.56	9

Stelle : Stelle der Durchbiegung
 typ : Anfangs-/Endverformung (Richtung)
 w_g : Verformung infolge ständiger Last
 w_q : Verformung infolge veränderlicher Last
 w : Verformung gesamt
 Lk : Nr. der Lastkombination

Auflagerkräfte Holzkern

Auflagerkräfte pro [m] - charakteristisch je Einwirkung

Nr	x [m]	Einwirkung	$R_{z,min}$ [kN/m]	$R_{z,max}$ [kN/m]	$M_{v,min}$ [kNm/m]	$M_{v,max}$ [kNm/m]
1	0.000	ständig Kat. A: Wohngebäude	3.18 -0.33	3.18 4.67		
3	6.800	ständig Kat. A: Wohngebäude	1.55 -1.34	1.55 3.45		



Auflagerkräfte Verstärkung links

Auflagerkräfte pro [m] - charakteristisch je Einwirkung

Nr	x [m]	Einwirkung	$R_{z,min}$ [kN/m]	$R_{z,max}$ [kN/m]	$M_{v,min}$ [kNm/m]	$M_{v,max}$ [kNm/m]
2	4.000	ständig Kat. A: Wohngebäude	4.91	4.91 6.29		

Auflagerkräfte Verstärkung rechts

Auflagerkräfte pro [m] - charakteristisch je Einwirkung

Nr	x [m]	Einwirkung	$R_{z,min}$ [kN/m]	$R_{z,max}$ [kN/m]	$M_{v,min}$ [kNm/m]	$M_{v,max}$ [kNm/m]
2	4.000	ständig Kat. A: Wohngebäude	4.91	4.91 6.29		

Maßgebliche Kombinationen

In der folgende Tabelle sind die Lasten mit der internen Nummer angegeben. Die anschließende Tabelle der maßgeblichen Kombinationen referenziert auf diese Nummern.							
generierte Last	Feld	Ewg	orig. Last	W1	W2	A [m]	L [m]
L 1	*	ständig	1	1.56	1.56	0.000	6.800
L 2	1	Kat. A	2	2.24	2.24	0.000	4.000
L 3	2	Kat. A	2	2.24	2.24	0.000	2.800
gen. Last	Lk 1	Lk 2	Lk 6	Lk 7	Lk 8	Lk 9	Lk 10
L 1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.00	1.80	1.80
L 2		1.50		1.50	1.00	1.24	0.54
L 3			1.50	1.50			
Eigengewicht	1.35	1.35	1.35	1.35	1.00	1.80	1.80
Der Verformungsbeiwert $k_{def} = 0.80$ ist in den Faktoren der Kombinationen zur Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt.							