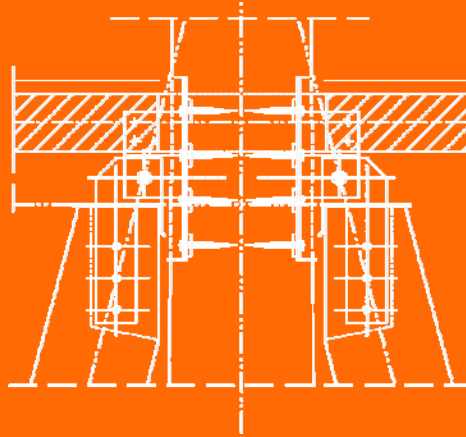


# Holzbau II

259.383 Holzbau 2 WS14 | VU 3.0h, 4ECTS

Übung 2 - Holzbrücke  
DI M. Rinnhofer

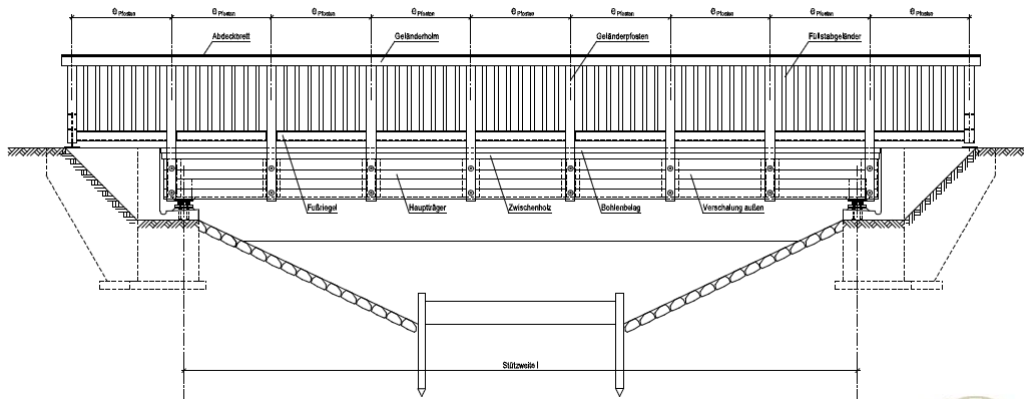
Darf nur zu Studienzwecken  
verwendet werden;  
© ITI / TU Wien, 2014



— Institut für Architekturwissenschaften  
— Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau  
— o.Univ.Prof. DDI Wolfgang Winter

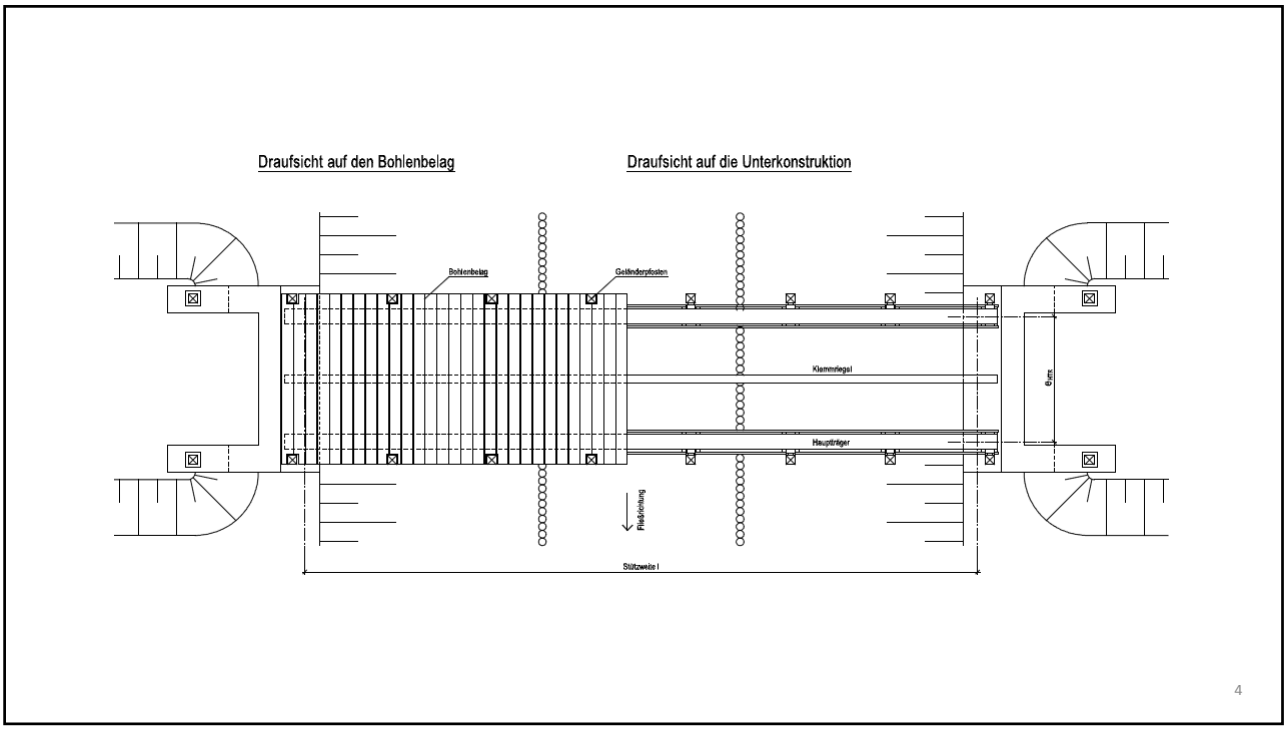
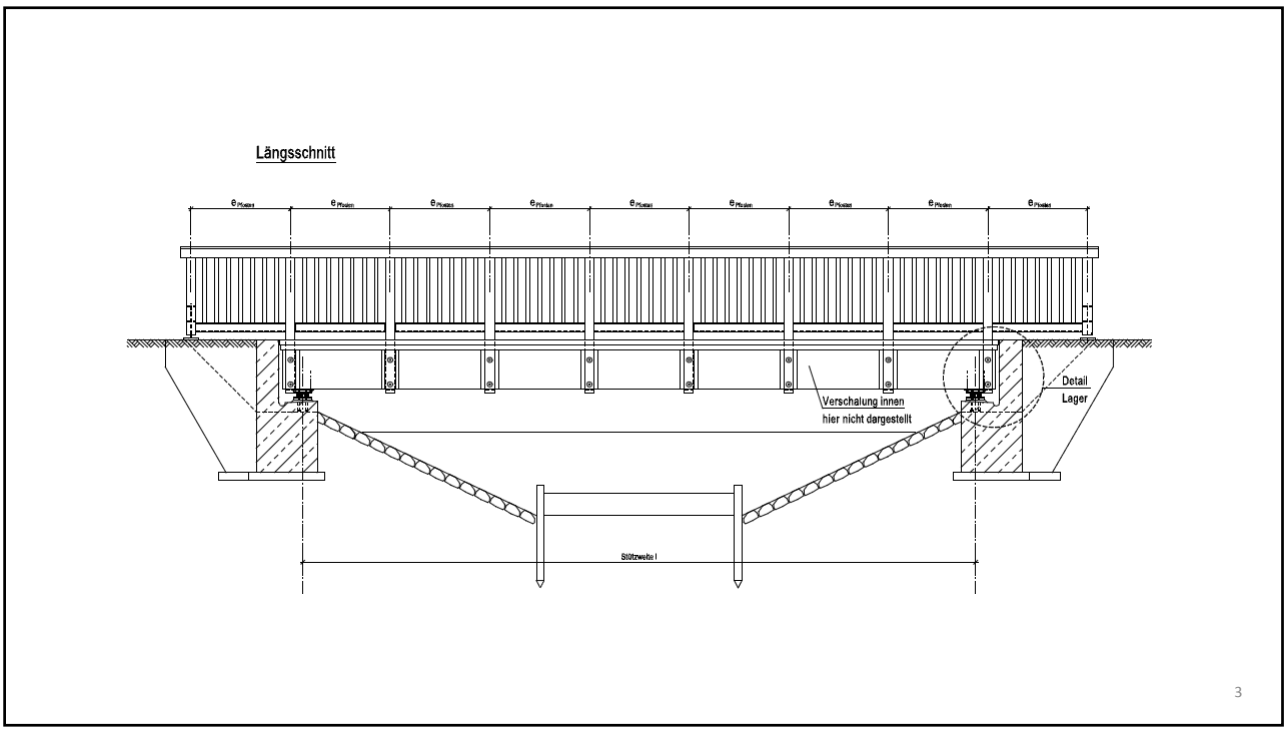
## Bauvorhaben: Neubau einer Geh- und Radwegbrücke als Deckbrücke ohne Verband

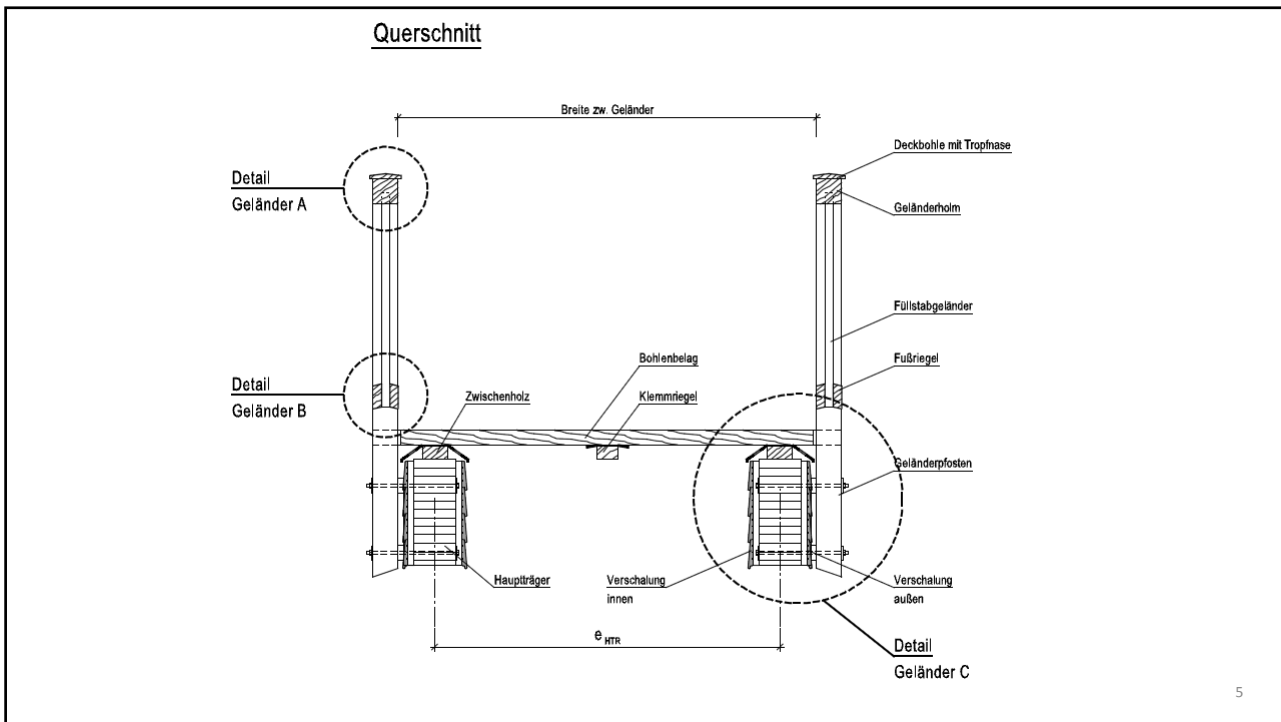
Ansicht



Das gesamte Beispiel entstammt folgender Quelle:  
<http://www.holzbrueckenbau.com/de/holzbrckenbau/bemessung/>







5

**Bauvorhaben: Neubau einer Geh- und Radwegbrücke als Deckbrücke ohne Verband**

Vorbemerkungen:

Die Nachfolgenden Berechnungen sind auf Grundlage der DIN EN 1995-1-1, DIN EN 1995-2, DIN EN 1991-1-3, DIN EN 1991-2 und der DIN EN 1990:2010 geführt.

Es werden alle bemessungsmaßgebenden Nachweise geführt. Und auf die entsprechende Stelle in der DIN-EN verwiesen.

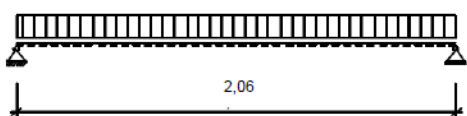
Stützweite	$L_{\text{Brücke}} = 10,00 \text{ m}$
Gesamtlänge	$L_{\text{ges}} = 10,60 \text{ m}$
Brückenbreite	$b_{\text{Brücke}} = 1,50 \text{ m}$
Abstand der Hauptträger	$e_{\text{HTR}} = 1,01 \text{ m}$
Geländerhöhe	$h_{\text{G}} = 1,20 \text{ m}$
Hauptträgerhöhe	$h_{\text{HTR}} = 0,75 \text{ m}$
Aufbauhöhe	$h_{\text{A}} \cong 0,10 \text{ m}$
Abstand der Druckpfosten	$e_{\text{Pfosten}} = 3,0 \text{ m}$

6

**Bauvorhaben: Neubau einer Geh- und Radwegbrücke als Deckbrücke ohne Verband**

**1. Geländerholm:**

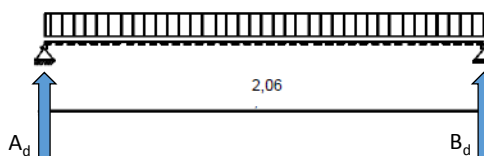
System:



**Belastung:** Holmlast  $q_{h,k} = 1,0 \text{ kN/m}$   
(Das Eigengewicht wird nicht berücksichtigt.)

**Schnittgrößen:**

System:



$$A_d = 1,50 \cdot 1,0 \cdot \frac{2,06}{2} = 1,55 \text{ kN}$$

$$B_d = A_d = 1,55 \text{ kN}$$

$$V_{\max,d} = A_d = 1,55 \text{ kN}$$

$$M_{\max,d} = 1,50 \cdot 1,0 \cdot \frac{2,06^2}{8} = 0,80 \text{ kNm}$$

**Gewählt: Geländerholm  $b/h = 12/12 \text{ cm}$   
D30 (Eiche)**

7

**Randbedingungen und Vorwerte der Nachweise:**

Geometrische Höhen:

Holmhöhe	$h = 12,0 \text{ cm}$
Holmbreite	$b = 12,0 \text{ cm}$
Querschnittsfläche	$A = 12 \cdot 12 = 144 \text{ cm}^2$
Widerstandsmoment	$W_z = 12 \cdot 12^2 / 6 = 288 \text{ cm}^3$
Trägheitsmoment	$I_z = 12 \cdot 12^3 / 12 = 1728 \text{ cm}^4$

Holzkenwerte:

Holzart: D30

$f_{m,k} =$	$30 \text{ N/mm}^2$
$f_{v,k} =$	$3,0 \text{ N/mm}^2$
$E_{0,mean} =$	$10000 \text{ N/mm}^2$

Bemessungskennwerte:

NKL	$= 3$
KLED	$= \text{kurz}$
$\gamma_M$	$= 1,30$
$k_{mod}$	$= 0,70$

**Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT):**

Biegenormalspannung in Feldmitte:

$$\sigma_{m,d} = M_{\max,d} / W_z = 0,80 \cdot 10^3 / 288 = 2,78 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0,70 \cdot 30 / 1,30 = 16,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \sigma_{m,d} / f_{m,d} = 2,78 / 16,15 = 0,17 < 1,0$$

Schubspannung am Auflager:

$$\tau_d = 1,5 \cdot V_{\max,d} / A = 1,5 \cdot 1,55 \cdot 10 / 144 = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_M = 0,70 \cdot 3,0 / 1,30 = 1,62 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \tau_d / f_{v,d} = 0,16 / 1,62 = 0,1 < 1,0$$

8

**Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG):**

Elastische Verformungen unter horizontaler Holmlast  $q_h$ :

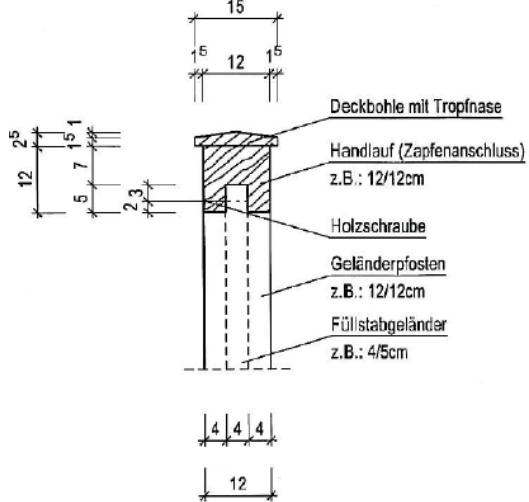
$$f_{Q,inst} = 5 / 384 * q_h * 10^{-3} * L^4 * 10^3 / (E_{0,mean} * I_z * 10^{-8})$$

$$= 5 / 384 * 1,0 * 10^{-3} * 2,06^4 * 10^9 / (10000 * 1728 * 10^{-8})$$

$$= 1,37 \text{ mm} = L / 1503$$

**Details:**

- zweiteiliger Querschnitt
- Deckbohle mit Satteldachprofil

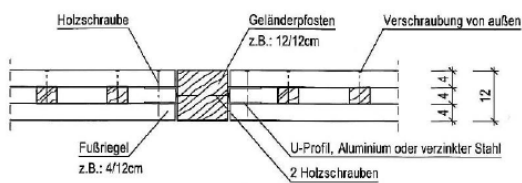


9

**Details:**

Anschluss Fußriegel:

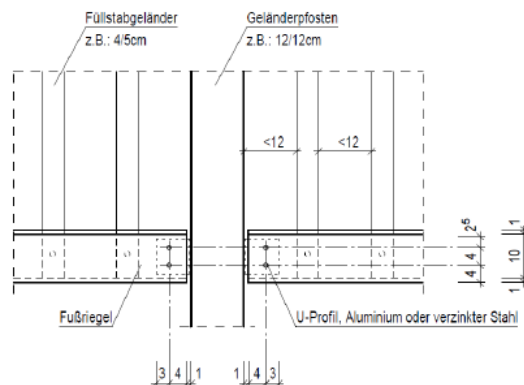
- mit Anschlussprofil



**Details:**

Ansicht Füllstäbe/ Pfosten:

Der Abstand der Füllstäbe untereinander darf max. 12 cm betragen.



10

**Details:**  
Anschluss Fußriegel an Pfosten:

U-Profil

10 12 1 1 1 12 4 4 4

11

**2. Geländepfosten:**

**System:**

H → 1.40 50 F<sub>od</sub> F<sub>ud</sub>

Der Abstand der Geländepfosten beträgt  
L = 2,06m.

**Belastung:**  
Aus Pos. 1:  $A_d + B_d = 1,55 + 1,55 \Rightarrow H_d = 3,1 \text{ kN}$   
Das Eigengewicht der Geländerkonstruktion wird nicht berücksichtigt.

**Schnittgrößen:**

Schnittgrößen des Geländerpfostens:

$$V_{\max,d} = H_d \cdot 1,40 / 0,50 = 3,1 \cdot 1,40 / 0,50 = 8,68 \text{ kN}$$

$$M_{\max,d} = H_d \cdot 1,40 = 3,1 \cdot 1,40 = 4,34 \text{ kNm}$$

Schnittgrößen des Anschlusses an den Hauptträger:

$$F_{o,d} = H_d \cdot (1,40 + 0,50) / 0,50 = 3,11 \cdot (1,40 + 0,50) / 0,50 = 11,82 \text{ kN}$$

$$F_{u,d} = H_d \cdot 1,40 / 0,50 = 3,11 \cdot 1,40 / 0,50 = 8,71 \text{ kN}$$

**Gewählt: Geländerpfosten b/h = 12/12 cm D30 (Eiche)**

12

<p><b><u>Randbedingungen und Vorwerte der Nachweise:</u></b></p> <p><u>Geometrische Höhen:</u>                  Pfostendicke <math>h = 12,0 \text{ cm}</math>                  Pfostenbreite <math>b = 12,0 \text{ cm}</math>                  Querschnittsfläche <math>A = 12 \cdot 12 = 144 \text{ cm}^2</math>                  Widerstandsmoment <math>W_z = 12 \cdot 12^2 / 6 = 288 \text{ cm}^3</math>                  Trägheitsmoment <math>I_z = 12 \cdot 12^3 / 12 = 1728 \text{ cm}^4</math></p> <p><u>Holzkenwerte:</u>                  Holzart: D30  <math>f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2</math>  <math>f_{v,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2</math>  <math>f_{c,90,k} = 8,00 \text{ N/mm}^2</math>  <math>E_{0,mean} = 10000 \text{ N/mm}^2</math></p> <p><u>Bemessungskennwerte:</u>                  NKL = 3                  KLED = kurz  <math>\gamma_M = 1,30</math>  <math>k_{mod} = 0,70</math></p>	<p><b><u>Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT):</u></b></p> <p><u>Biegenormalspannung:</u></p> $\sigma_{m,d} = M_{max,d} \cdot 10^3 / W_y = 4,34 \cdot 10^3 / 288 = 15,1 \text{ N/mm}^2$ $f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0,70 \cdot 30 / 1,30 = 16,15 \text{ N/mm}^2$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <math display="block">\eta = \sigma_{m,d} / f_{m,d} = 15,1 / 16,15 = 0,93 &lt; 1,0</math> </div> <p><u>Schubspannung am Auflager:</u></p> $\tau_d = 1,5 \cdot V_{max,d} \cdot 10 / A = 1,5 \cdot 8,68 \cdot 10 / 144 = 0,90 \text{ N/mm}^2$ $f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_M = 0,70 \cdot 3,0 / 1,30 = 1,62 \text{ N/mm}^2$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <math display="block">\eta = \tau_d / f_{v,d} = 0,84 / 1,62 = 0,56 &lt; 1,0</math> </div>
---	---

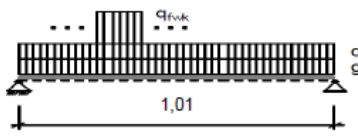
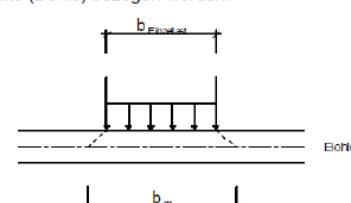
13

<p><b><u>Details:</u></b></p> <p><u>Anschluss Geländerpfosten / Hauptträger:</u></p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-bottom: 10px;"> <p><b>Gewählt: 2 Passbolzen 4.6; d=12 mm</b>  <b>U-Scheiben: d=58mm (DIN 1052)</b></p> </div> <p><b><u>Nachweis der Holzpressung:</u></b></p> <p><u>Ermittlung der effektiven Pressungsfläche:</u></p> $d_{au\ddot{a}}u\ddot{e}n = 58 \text{ mm}$ $d_{inne}n = 14 \text{ mm}$ $\ddot{u} = 29 \text{ mm}$ $A_{ef} = \pi \cdot (d_{au\ddot{a}}u\ddot{e}n^2 - d_{inne}n^2) / 4 + 2 \cdot \ddot{u} \cdot d_{au\ddot{a}}u\ddot{e}n = \pi \cdot (58^2 - 14^2) / 4 + 2 \cdot 29 \cdot 58 = 5852 \text{ mm}^2$ <p>Pressungsart: Auflagerdruck  <math>h = 12,0 \text{ cm}</math></p> <p>Abstand der Druckflächen <math>L_1</math> (Abstand der U-Scheiben):</p> $L_1 = e_{Bolzen} - d_{au\ddot{a}}u\ddot{e}n / 10 = 50 - 58 / 10 = 44,2 \text{ cm} > 2 \cdot h = 2 \cdot 12 = 24 \text{ cm}$ <p><math>\Rightarrow</math> Beiwert <math>k_{c,90} = 1,0</math></p>
--	---

14

<p><u>Nachweis des oberen Anschlusses:</u></p> $\sigma_{c,90,d} = F_{o,d} \cdot 10^3 / A_{ef} = 11,82 \cdot 10^3 / 5852 = 2,02 \text{ N/mm}^2$ $f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot f_{c,90,k} / \gamma_M = 0,70 \cdot 8,0 / 1,30 = 4,31 \text{ N/mm}^2$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <math display="block">\eta = \sigma_{c,90,d} / f_{c,90,d} = 2,02 / 4,31 = 0,47 &lt; 1,0</math> </div> <p><u>Nachweis des unteren Anschlusses:</u></p> $\sigma_{c,90,d} = F_{u,d} \cdot 10^3 / A_{ef} = 8,71 \cdot 10^3 / 5852 = 1,49 \text{ N/mm}^2$ $f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot f_{c,90,k} / \gamma_M = 0,70 \cdot 8,0 / 1,30 = 4,31 \text{ N/mm}^2$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <math display="block">\eta = \sigma_{c,90,d} / f_{c,90,d} = 1,49 / 4,31 = 0,35 &lt; 1,0</math> </div>	<p><u>Nachweis der Passbolzen:</u></p> <p>Die maximale Zugkraft beträgt:</p> $F_{o,d} = 11,82 \text{ kN}$ $F_{zul,d} = 22,40 \text{ kN}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <math display="block">\eta = F_{o,d} / F_{zul,d} = 11,82 / 22,40 = 0,53 &lt; 1,0</math> </div>
---	--

15

<p><b>3. Bohlenbelag:</b></p> <p><u>System:</u></p>  <p>Hier: <math>150\text{cm} - 2 \cdot 29,5\text{cm} + 10\text{cm} = 1,01\text{m}</math></p> <p>Die außen liegenden Kragarme des Bohlenbelags werden bei der Berechnung vernachlässigt. Sie sind ausreichend tragfähig.</p> <p><u>Belastung:</u></p> <p><u>ständige Einwirkungen:</u></p> <p>Eigengewicht feuchter Laubholzbelag <math>1,1 \cdot 7 \cdot 0,09 \Rightarrow g_k \approx 0,70 \text{ kN/m}^2</math></p>	<p><u>veränderliche Einwirkungen (vertikal):</u></p> <p>Flächenlast (Verkehrslast) gemäß DIN EN 1991-2, 5.3.2.1 (1) <math>\Rightarrow q_{fk,k} = 5,00 \text{ kN/m}^2</math></p> <p>Auf eine Abminderung der Flächenlast nach DIN EN 1991-2, 5.3.2.2 (2) wird hier verzichtet.</p> <p>Einzellast gemäß DIN EN 1991-2, 5.3.2.2 <math>\Rightarrow Q_{fw,k} = 10,0 \text{ kN}</math></p> <p>Nach DIN 1995-2, 5.1.2 (1) sollten Lasten auf die Mittelfläche der Deckplatte (Bohle) bezogen werden:</p>  <p><math>b_{Einzellast} = 10\text{cm}</math></p> <p><math>b_{stat} = 9 - 0,5 = 8,5\text{cm}</math></p>
---	---

16



$b_m = b_{\text{Einzellast}} + 2 \cdot b_{\text{stat}} / 2$   
 $= 10 + 2 \cdot 8,5/2 = 18,5 \text{ cm}$

$q_{fwk,k} = Q_{fwk} / (b_m \cdot 10^{-2})$   
 $= 10 / (18,5 \cdot 10^{-2}) = 54,1 \text{ kN/m} \quad q_{fwk,k} = 54,1 \text{ kN/m}$

veränderliche Einwirkungen (horizontal):

aus gleichmäßig verteilter Flächenlast DIN EN 1991-2, 5.3.2.1

$Q_{fh,k} = 0,10 \cdot L_{\text{ges}} \cdot b_{\text{Brücke}} \cdot q_k$   
 $= 0,10 \cdot (10,00 + 2 \cdot 0,30) \cdot 1,50 \cdot 5,0 = 7,95 \text{ kN}$

$Q_{fh,k,Bohle} = Q_{fh,k} / (L_{\text{ges}} / L_{\text{Bohle}})$   
 $= 7,95 / (10,60 / 0,20) = 0,15 \text{ kN / Bohle}$

Die Einwirkung auf die Bohle ist gering und nicht bemessungsrelevant. Ein Nachweis auf Doppelbiegung ist entbehrlich.

**Schnittgrößen:**

Schnittgrößen der Einzellastfälle:  
 Folgende LF werden untersucht:

LF 1: ständige Einwirkung  $g_k$

LF 2: Flächenlast  $q_{fk,k}$  bezogen auf eine Bohle

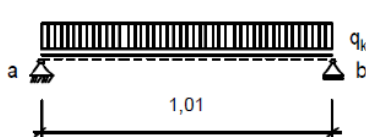
LF 3: Einzellast  $Q_{fwk}$  auf einer Bohle in Feldmitte  
 $\Rightarrow$  maximale Biegebeanspruchung

LF 4: Einzellast  $Q_{fwk}$  auflagernah auf einer Bohle  
 $\Rightarrow$  maximale Schubbeanspruchung

17

**LF 1: ständige Lasten**

System:



$g_{k,Bohle} = g_k \cdot b_{Bohle}$   
 $= 0,70 \cdot 0,20 = 0,14 \text{ kN/m}$

**Maximales Moment in Feldmitte:**


$M_{g,k} = g_{k,Bohle} \cdot L^2 / 8$   
 $= 0,14 \cdot 1,01^2 / 8 = 0,018 \text{ kNm}$

**Extremale Querkraft (Auflager A):**

$V_{g,k} = g_{k,Bohle} \cdot L / 2$   
 $= 0,14 \cdot 1,01 / 2 = 0,07 \text{ kN}$

**F 2: Flächenlast (Verkehr)**

System:



$q_{k,Bohle} = q_{fk,k} \cdot b_{Bohle}$   
 $= 5,00 \cdot 0,20 = 1,00 \text{ kN/m}$

Faktor f:

$f = q_{k,Bohle} / g_{k,Bohle}$   
 $= 1,0 / 0,14 = 7,14$

Mit Faktor f multiplizierte Werte für Moment und Querkraft aus LF 1 (gleiches System  $\rightarrow$  LF1 = LF2)

$M_{q,k} = M_{g,k} \cdot f$   
 $= 0,017 \cdot 7,14 = 0,12 \text{ kNm}$

$V_{q,k} = V_{g,k} \cdot f$   
 $= 0,07 \cdot 7,14 = 0,5 \text{ kN}$

18

**LF 3: Einzellast  $q_{fwk}$  in Feldmitte**

System:

$q_{fwk,k} = 54,1 \text{ kN/m}$

Maximales Moment in Feldmitte:

$L = 1,01 \text{ m}$   
 $b_m = 0,185 \text{ m} = c$

$\alpha = a/L = (1,01/2 - 0,185/2) / 1,01 = 0,408$   
 $\beta = b/L = (1,01/2 - 0,185/2) / 1,01 = 0,408$   
 $\gamma = c/L = 0,185 / 1,01 = 0,183$   
 $\delta = \alpha + \gamma / 2 = 0,408 + 0,185/2 = 0,501$   
 $\epsilon = 1 - \delta = 1 - 0,499 = 0,499$

$$M_{qfwk,k} = (1 - \gamma / 2) * \delta * \epsilon * q_{fwk} * b_m * L$$

$$= (1 - 0,183 / 2) * 0,501 * 0,499 * 54,1 * 0,11 * 1,01$$

$$= 1,37 \text{ kNm}$$

**LF 4: Einzellast  $q_{fwk}$  auflagernah**

System:

$q_{fwk,k} = 54,1 \text{ kN/m}$

Extremale Querkraft (Auflager A):

$L = 1,01 \text{ m}$   
 $b_m = 0,185 \text{ m} = c$

$\alpha = a/L = (0,05 + 0,185) / 1,01 = 0,232$   
 $\beta = b/L = (1,01 - (0,05 + 0,085 + 0,185)) / 1,01 = 0,69$   
 $\gamma = c/L = 0,185 / 1,01 = 0,11$   
 $\delta = \alpha + \gamma / 2 = 0,146 + 0,185/2 = 0,183$   
 $\epsilon = 1 - \delta = 1 - 0,183 = 0,817$

$$V_{qfwk,k} = \epsilon * q_{fwk,k} * b_m$$

$$= 0,817 * 54,1 * 0,185 = 8,18 \text{ kN}$$

**Ermittlung der bemessungsmaßgebenden Schnittgrößen:**

Lastfall	KLED	$k_{mod}$	$\psi_{0,i}$	Einwirkungen
LF 1	ständig	0,50	---	ständige Einwirkung $g_k$
LF 2	kurz	0,70	0,40	Flächenlast $q_{fk,k}$
LF 3	kurz	0,70	0,00	Einzellast $Q_{fwk,k}$ (in Feldmitte)
LF 4	kurz	0,70	0,00	Einzellast $Q_{fwk,k}$ (auflagernah)

Folgende Lastkombinationen sind möglich:

LK 1: LF 1  
 LK 2: LF 1 + LF 2  
 LK 3: LF 1 + LF 3  
 LK 4: LF 1 + LF 4  
 LK 5: LF 1 + LF 3 +  $\psi_{0,LF2} * LF 2$   
 LK 6: LF 1 + LF 4 +  $\psi_{0,LF2} * LF 2$   
 LK 7: LF 1 + LF 2 +  $\psi_{0,LF3} * LF 3$   
 LK 8: LF 1 + LF 2 +  $\psi_{0,LF4} * LF 4$

- LF 3 und LF 4 haben die gleiche Ursache (eine Einzellast) und treten nicht gleichzeitig auf.
- LK 5 und LK 6 werden vereinfacht mit der kompletten Flächenlast gerechnet (Im Bereich der Einzellast gibt es keine Belastung durch die Flächenlast).
- Die LK 7 und LK 8 entsprechen der LK 2, da der  $\psi_0$ -Beiwert für LF 3 und LF 4 null ist.
- Bestimmung der maßgebenden Lastkombination in der NKL 3 für die Schnittgrößen M und V:

**Biegemomente in Feldmitte:**

	$M_{ges,d}$	$k_{mod}$	$\frac{M_{ges}}{k_{mod}}$
LK 1 1,35*0,018	0,024	0,50	0,048
LK 2 1,35*0,018+1,50*0,12	0,20	0,70	0,28
LK 3 1,35*0,018+1,50*1,37	2,08	0,70	2,97
LK 4 -- nicht maßgebend --	---	---	---
LK 5 1,35*0,018+1,50*(1,37+ 0,40*0,12)	2,15	0,70	3,07
LK 6 -- nicht maßgebend --	---	---	---

→ LK 5 IST MASSGEBEND!

**Querkraft am Auflager a:**

	$V_{ges,d}$	$k_{mod}$	$\frac{V_{ges}}{k_{mod}}$
LK 1 1,35*0,07	0,09	0,50	0,18
LK 2 1,35*0,07+1,50*0,5	0,85	0,70	1,21
LK 3 -- nicht maßgebend --	---	---	---
LK 4 1,35*0,07+1,50*7,63	11,53	0,70	16,47
LK 5 -- nicht maßgebend --	---	---	---
LK 6 1,35*0,07+1,50*(8,18 + 0,40*0,5)	12,66	0,70	18,08

→ LK 6 IST MASSGEBEND!

21

**Bemessung:**

**Gewählt: Bohlenbelag b/h = 20/9,0cm**  
**LH D 30 (Eiche)**  
**Fugenbreite ~ 8mm**

**Randbedingungen und Vorwerte der Bemessung:**

Holzart: D30  
 $f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{v,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$   
 $E_{0,mean} = 10000 \text{ N/mm}^2$   
 Verschleißschicht  $\Delta h = 0,5 \text{ cm}$   
 Bohlenhöhe  $h_{ges} = 9,0 \text{ cm}$   
 stat. Höhe  $h = h_{ges} - \Delta h = 9,0 - 0,5 = 8,5 \text{ cm}$   
 Bohlenbreite  $b = 20,0 \text{ cm}$   
 Querschnittsfläche A  
 $A = b * h$   
 $= 20 * 8,5 = 170 \text{ cm}^2$   
 Widerstandsmoment  $W_y$   
 $W_y = b * h^2 / 6$   
 $= 20 * 8,5^2 / 6 = 240,833 \text{ cm}^3$

**Trägheitsmoment  $I_y$** 

$$I_y = b * h^3 / 12$$

$$= 20 * 8,5^3 / 12 = 1024,00 \text{ cm}^4$$

NKL = 3  
 KLED = kurz  
 $\gamma_M = 1,30$   
 $k_{mod} = 0,70$

**Nachweise im GZT:**

1. Biegenormalspannung in Feldmitte unter der LK 5:

$$M_{ges,d} = 2,15 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{ges,d} * 10^3 / W_y$$

$$= 2,15 * 10^3 / 240,833 = 8,93 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = k_{mod} * f_{m,k} / \gamma_M$$

$$= 0,70 * 30 / 1,30 = 16,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \sigma_{m,d} / f_{m,d}$$

$$= 8,93 / 16,15 = 0,55 < 1,0$$

22

<p><b>2. Schubspannung am Auflager unter LK 6:</b></p> $V_{ges,d} = 18,08 \text{ kN}$ $\tau_d = 1,5 \cdot V_{ges,d} \cdot 10 / A = 1,5 \cdot 18,08 \cdot 10 / 170 = 1,59 \text{ N/mm}^2$ $f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_M = 0,70 \cdot 3,0 / 1,30 = 1,62 \text{ N/mm}^2$ <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin-top: 10px;"> <math display="block">\eta = \tau_d / f_{v,d} = 1,59 / 1,62 = 0,98 &lt; 1,0</math> </div>	<p><b>Nachweise im GZG:</b></p> <p>1. Biegenormalspannung in Feldmitte unter der LK 5:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• LF 1 Durchbiegung <math>w_{g,inst}</math> (in Feldmitte):</li> <math display="block">w_{g,inst} = 5/384 \cdot g_{k,Bohle} \cdot 10^{-3} \cdot L^4 \cdot 10^9 / (E_{0,mean} \cdot I_y \cdot 10^{-8}) = 5/384 \cdot 0,14 \cdot 10^{-3} \cdot 1,05^4 \cdot 10^9 / (10000 \cdot 1024 \cdot 10^{-8}) = 0,02 \text{ mm}</math> <li>• LF 2 Durchbiegung <math>w_{q,inst,LF2}</math> (in Feldmitte):</li> <math display="block">w_{q,inst,LF2} = w_{g,inst} \cdot f = 0,02 \cdot 7,14 = 0,14 \text{ mm}</math> <li>• LF 3 Durchbiegung <math>w_{q,inst,LF3}</math> (in Feldmitte):</li> <math display="block">w_{q,inst,LF3} = (5/8 - (1,5 - \alpha^2) \cdot \alpha^2 - (1,5 - \beta^2) \cdot \beta^2) \cdot q_{f,wk} \cdot L^4 / (48 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y) = (5/8 - (1,5 - 0,408^2) \cdot 0,408^2 - (1,5 - 0,408^2) \cdot 0,408^2) \cdot 54,1 \cdot (1,01 \cdot 10^3)^4 / (48 \cdot 10000 \cdot 1024 \cdot 10^4) = 2,1 \text{ mm}</math> <li>• LF 4: nicht maßgebend!</li> </ul>
---	---

23

<p><b>Kombination der Verformungen:</b></p> <p>Erfassung der Kriechverformung: NKL 3 und Vollholz <math>k_{def} = 2,00</math></p> <p>Kombinationsbeiwerte: LF 2 (Flächenlast) <math>\psi_0 = 0,40</math> <math>\psi_2 = 0,20</math> LF 3 (Einzellast) <math>\psi_0 = 0,00</math> <math>\psi_2 = 0,00</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ständige Einwirkungen:</b> elastische Anfangsdurchbiegung <math>w_{g,inst} = 0,02 \text{ mm}</math></li> <li>Enddurchbiegung (inkl. Kriechanteil) <math>w_{g,fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,02 \cdot (1 + 2,00) = 0,06 \text{ mm}</math></li> <li>• <b>Veränderliche Einwirkungen:</b> elastische Anfangsdurchbiegung <math>w_{q,inst} = w_{q,1,inst} + \sum \psi_{0,i} \cdot w_{q,i,inst}</math></li> </ul> <p>Da <math>\psi_0</math> für LF 3 bzw. LF 4 gleich null ist, ist die maßgebende Kombination:</p> $w_{q,inst} = w_{q,inst,LF3} + \psi_{0,LF2} \cdot w_{q,inst,LF2} = 2,1 + 0,4 \cdot 0,14 = 2,156 \text{ mm}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Enddurchbiegung (inkl. Kriechanteil) in der charakteristischen/ seltenen Bemessungssituation:</b> <math>w_{q,fin,char} = w_{q,1,inst} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) + \sum w_{q,i,inst} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})</math></li> <math display="block">w_{q,fin,char,1} = w_{q,inst,LF2} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) = 0,14 \cdot (1 + 0,20 \cdot 2,00) = 0,20 \text{ mm}</math> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <math display="block">w_{q,fin,char,2} = w_{q,inst,LF3} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) + w_{q,inst,LF2} \cdot (\psi_{0,LF2} + \psi_{2,LF2} \cdot k_{def}) = 2,1 \cdot (1 + 0,0 \cdot 2,00) + 0,14 \cdot (0,40 + 0,20 \cdot 2,00) = 2,21 \text{ mm}</math> </div> <li>○ <b>Enddurchbiegung (inkl. Kriechanteil) in der quasi-ständigen Bemessungssituation:</b> <math>w_{q,fin,qs} = \sum \psi_{2,i} \cdot w_{q,i,inst} \cdot (1 + k_{def})</math></li> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <math display="block">w_{q,fin,qs,1} = \psi_{2,LF2} \cdot w_{q,inst,LF2} \cdot (1 + k_{def}) = 0,20 \cdot 0,14 \cdot (1 + 2,00) = 0,08 \text{ mm}</math> </div> </ul> <p><b>Alle nicht angegebenen Kombinationen erzeugen kleinere bzw. keine Verformungen.</b></p>
---	--

24

**NACHWEISE:**

- Nachweis nach DIN EN 1995-2, 7.2.:  
 $w_{q,inst} = w_{q,inst} \leq L / 400 \quad L = 1,01m = 1010 \text{ mm}$   
 $w_{q,inst} = 2,16 \text{ mm} = L / 468 < L / 400 = 2,53 \text{ mm}$
- Nachweis in der charakt. Bemessungssituation (DIN EN 1995-1-1)
  - $w_{q,inst} \leq L / 300$
  - $w_{fin} - w_{g,inst} \leq L / 200$   
 mit  $w_{fin} = w_{q,fin} + w_{q,fin, char} = 0,06 + 2,21 - 0,02 = 2,25 \text{ mm} = L / 448 < L / 200 = 5,05 \text{ mm}$
- Nachweis in der quasi-ständigen Bemessungssituation:  
 $w_{fin} - w_c \leq L / 200$   
 mit  $w_c = \text{Überhöhung}$   
 $w_{fin} = w_{g,fin} + w_{q,fin,qs}$

25

**DETAILS:**

26

**DETAILS:**  
Die Mindestabstände der Schrauben sind einzuhalten.

- Aussparung - Geländerpfosten:

- Enbohle – richtige Ausführung:

27

**Pos 5: Hauptträger**

**System:**

Stützweite	$L_{\text{Brücke}} = 10,00 \text{ m}$
Gesamtlänge	$L_{\text{ges}} = 10,60 \text{ m}$
Brückenbreite	$b_{\text{Brücke}} = 1,50 \text{ m}$
Abstand der Hauptträger	$e_{\text{HTR}} = 1,01 \text{ m}$
Geländerhöhe	$h_G = 1,20 \text{ m}$
Hauptträgerhöhe	$h_{\text{HTR}} = 0,75 \text{ m}$
Aufbauhöhe	$h_A \cong 0,10 \text{ m}$
Abstand der Druckpfosten	$e_{\text{Pfosten}} = 3,0 \text{ m}$

**Belastung:**

**Ständige Einwirkungen:**

Geländerkonstruktion		$\sim 1,0 \text{ kN/m}$
Bohlenbelag	$0,70 \cdot 1,50 / 2$	$0,53 \text{ kN/m}$
Eigengewicht Hauptträger	$0,24 \cdot 0,65 \cdot 5$	$\sim 0,8 \text{ kN/m}$
Querträger		$\sim 0,2 \text{ kN/m}$
		$g_k \cong 2,53 \text{ kN/m}$

**Veränderliche Einwirkungen:**

- Einwirkung Verkehrslast:  
 $q_k = 5,00 \cdot 1,50 / 2 = 3,75 \text{ kN/m}$
- Einwirkung Einzellast  $Q_{\text{fwk}}$  auf Bohlenbelag:  
Die Einzellast wird nicht weiter berücksichtigt, da sie nur für den Nachweis lokaler Einflüsse angesetzt werden muss.

28

Veränderliche Einwirkungen (horizontal)

## • Einwirkung – Wind:

$$z < 20 \text{ m} \quad b / d = 1,74 / 2,05 = 0,84 < 4$$

$$\text{für } b / d \leq 0,5 \Rightarrow w = 3,50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{für } b / d = 4,0 \Rightarrow w = 1,90 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^* = 3,50 - (3,50 - 1,90) * (0,84 - 0,50) / (4,0 - 0,5) \\ = 3,34 \text{ kN/m}^2$$

bezogen auf die Höhe der Brückenkonstruktion ergibt sich aus Wind folgende Streckenlast:

$$w_k = (h_A + h_{HTR} + h_G / 3) * w_k^* \\ = (0,10 + 0,75 + 1,20/3) * 3,34 \approx 4,2 \text{ kN/m}$$

→ Aufgrund Ausmittigkeit → Versatzmoment:

$$m_{w,k} = (w_k * ((h_G + h_A + h_{HTR}) / 2 - (h_{HTR} / 2))) \\ = (4,2 * ((1,20 + 0,10 + 0,75) / 2 - (0,75 / 2))) \\ = 2,73 \text{ kN/m}$$

## • Einwirkung – Holmlast:

$$m_{h,k} = (h_G + h_A + h_{HRT} / 2) * q_{h,k} \\ = (1,20 + 0,10 + 0,75 / 2) * 1,0 = 1,68 \text{ kN/m}$$

Veränderliche Einwirkungen (indirekte Vertikallasten):

Die aus den horizontalen Kräften resultierenden Versatzmomente werden als vertikales Kräftepaar auf die Hauptträger angesetzt.

## • Einwirkung - Wind:

$$q_{w,k} = m_{w,k} / e_{HTR} \\ = 2,73 / 1,01 = 2,70 \text{ kN/m}$$

## • Einwirkung - Holmlast:

$$q_{h,v,k} = 2 * m_{h,k} / e_{HTR} \\ = 2 * 1,68 / 1,01 = 3,33 \text{ kN/m}$$

## • Horizontallasten aus dem Verkehr:

$$F_{L,q,k} = \frac{10 * 1,50}{2} * 5 * 0,10 = 3,75 \text{ kN}$$

29

Schnittgrößen

Schnittgrößen der Einzellastfälle:

LF 1: ständige Einwirkung  $g_k$

LF 2: Verkehrslast  $q_k$

LF 3: Wind  $q_{w,k}$  (vertikal)

LF 4: Holmlast  $q_{h,v,k}$  (vertikal)

LF 5: Wind  $w_k$  (horizontal) (verteilt auf 2 HTR)

• LF1: Belastung durch ständige Einwirkung  $g_k$ 

– Maximales Biegemoment in Feldmitte:

$$M_{y,g,k} = g_k * L_{\text{Brücke}}^2 / 8 \\ = 2,53 * 10,00^2 / 8 = 31,63 \text{ kNm}$$

– Extremale Querkraft (Auflager A):

$$V_{z,g,k} = g_k * L_{\text{Brücke}} / 2 \\ = 2,53 * 10,00 / 2 = 12,65 \text{ kN}$$

– Auflagerkraft:

$$A_{z,g,k} = g_k * L_{\text{ges}} / 2 \\ = 2,53 * 10,60 / 2 = 13,4 \text{ kN}$$

• LF2: Belastung durch Verkehrslast  $q_k$ 

– Maximales Biegemoment in Feldmitte:

$$M_{y,q,k} = q_k * L_{\text{Brücke}}^2 / 8 \\ = 3,75 * 10,00^2 / 8 = 46,88 \text{ kNm}$$

– Extremale Querkraft (Auflager A):

$$V_{z,q,k} = q_k * L_{\text{Brücke}} / 2 \\ = 3,75 * 10,00 / 2 = 18,75 \text{ kN}$$

– Auflagerkraft:

$$A_{z,q,k} = q_k * L_{\text{ges}} / 2 \\ = 3,75 * 10,60 / 2 = 19,88 \text{ kN}$$

• LF3: Belastung durch Wind (vertikal)  $q_{w,k}$ 

– Maximales Biegemoment in Feldmitte:

$$M_{y,wh,k} = q_{w,k} * L_{\text{Brücke}}^2 / 8 \\ = 2,70 * 10,00^2 / 8 = 33,75 \text{ kNm}$$

– Extremale Querkraft (Auflager A):

$$V_{z,wh,k} = q_{w,k} * L_{\text{Brücke}} / 2 \\ = 2,70 * 10,00 / 2 = 13,5 \text{ kN}$$

– Auflagerkraft:

$$A_{z,wh,k} = q_{w,k} * L_{\text{ges}} / 2 \\ = 2,70 * 10,60 / 2 = 14,31 \text{ kN}$$

30

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maximales Torsionsmoment:  <math>M_{y,wh,k} = q_{w,k} * L_{Brücke}^2 / 8</math>  <math>= 2,70 * 10,00^2 / 8 = 33,75 \text{ kNm}</math></li> <li>• <u>LF4: Belastung durch Holmlast (vertikal) <math>q_{h,v,k}</math></u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maximales Biegemoment in Feldmitte:  <math>M_{y,qhv,k} = q_{h,v,k} * L_{Brücke}^2 / 8</math>  <math>= 3,03 * 10,00^2 / 8 = 37,9 \text{ kNm}</math></li> <li>- Extremale Querkraft (Auflager A):  <math>M_{x,qhv,k} = m_{h,k} * e_{Pfosten} / 2</math>  <math>= 1,68 * 2,5 / 2 = 2,1 \text{ kNm}</math></li> <li>- Auflagerkraft:  <math>A_{z,qhv,k} = q_{h,v,k} * L_{ges} / 2</math>  <math>= 1,36 * 10,60 / 2 = 16,1 \text{ kN}</math></li> <li>- Maximales Torsionsmoment:  <math>M_{x,qhv,k} = m_{h,k} * e_{Pfosten} / 2</math>  <math>= 1,68 * 2,5 / 2 = 2,1 \text{ kNm}</math></li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>LF5: Belastung durch Wind <math>w_k</math> (verteilt auf 2 HTR) – (horizontal)</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maximales Biegemoment in Feldmitte:  <math>M_{z,w,k} = w_k * L_{Brücke}^2 / 8</math>  <math>= 4,20 * 10,00^2 / 8 = 52,5 \text{ kNm}</math></li> <li>- Extremale Querkraft (Auflager A):  <math>V_{y,wh,k} = w_k * L_{Brücke} / 2 / n</math>  <math>= 4,20 * 10,00 / 2 / 2 = 10,5 \text{ kN}</math></li> <li>- Auflagerkraft:  <math>A_{y,wh,k} = w_k * L_{ges} / 2 / n</math>  <math>= 4,20 * 10,60 / 2 / 2 = 11,13 \text{ kN}</math></li> </ul> </li> </ul>
---	--

31

<b><u>Ermittlung der bemessungsmaßgebenden Schnittgrößen:</u></b>					<b><u>Folgende Lastkombinationen sind möglich:</u></b>	
Lastfall	KLED	$k_{mod}$	$\psi_{0,i}$	Einwirkung	LK 1:	LF 1
LF 1	ständig	0,60	- - -	ständige Einwirkung $g_k$	LK 2:	LF 1 + LF 2
LF 2	kurz	0,90	0,40	Verkehrslast $q_k$	LK 3:	LF 1 + (LF 3)
LF 3	kurz	0,90	0,00	Wind $q_{w,k}$ (vertikal)	LK 4:	LF 1 + (LF 4)
LF 4	kurz	0,90	0,40	Holmlast $q_{h,v,k}$ (vertikal)	LK 5:	LF 1 + LF 2 + $\psi_{0,i} * (LF 4)$
LF 5	kurz	0,90	0,00	Wind $w_k$ (horizontal)	LK 6:	LF 1 + (LF 4) + $\psi_{0,i} * LF 2$

**Bestimmung der maßgebenden Lastkombination in der NKL 2 für die Schnittgrößen M und V:**

- Biegemoment  $M_{y,d}$  in Feldmitte:

	$M_{y,d}$	$k_{mod}$	$M_{y,d} / k_{mod}$
LK 1	$1,35 * 31,6$	0,60	71,1
LK 2	$1,35 * 31,6 + 1,50 * 46,88$	0,90	125,5
LK 3	$1,35 * 31,6 + 1,50 * 33,75$	0,90	103,7
LK 4	$1,35 * 31,6 + 1,50 * 47,8$	0,90	127,1
LK 5	$1,35 * 31,6 + 1,50 * (33,75 + 0,40 * 47,8)$	0,90	135,6
LK 6	$1,35 * 31,6 + 1,50 * (47,8 + 0,40 * 33,75)$	0,90	149,6

→ **LK 6 IST MASSGEBEND!**

32



		$V_{z,d}$	$k_{mod}$	$V_{z,d} / k_{mod}$
LK 1	$1,35 \cdot 12,65$	17,1	0,60	28,5
LK 2	$1,35 \cdot 12,65 + 1,50 \cdot 18,8$	45,3	0,90	50,3
LK 3	$1,35 \cdot 12,65 + 1,50 \cdot 13,5$	37,1	0,90	41,2
LK 4	$1,35 \cdot 12,65 + 1,50 \cdot 15,15$	39,8	0,90	44,2
LK 5	$1,35 \cdot 12,65 + 1,50 \cdot (18,8 + 0,40 \cdot 15,15)$	54,4	0,90	60,4
LK 6	$1,35 \cdot 12,65 + 1,50 \cdot (15,15 + 0,40 \cdot 18,8)$	50,7	0,90	56,3

→ LK 5 IST MASSGEBEND!

33

### Bemessung:

Gewählt: 2 Hauptträger  $b/h = 24/65\text{cm}$   
BSH GL 28h (Lärche)

#### Randbedingungen und Vorwerte der Bemessung:

Holzart: GL 28h  
 $f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{c,0,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{c,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$   
 $E_{0,mean} = 12600 \text{ N/mm}^2$

Trägerhöhe  $h = 65 \text{ cm}$   
 Trägerbreite  $b = 24 \text{ cm}$

Querschnittsfläche  $A$   
 $A = b \cdot h$   
 $= 24 \cdot 65 = 1560 \text{ cm}^2$

Widerstandsmoment  $W_y$   
 $W_y = b \cdot h^2 / 6$   
 $= 24 \cdot 65^2 / 6 = 16900 \text{ cm}^3$

Widerstandsmoment  $W_z$

$$W_z = b^2 \cdot h / 6$$

$$= 24^2 \cdot 65 / 6 = 6240 \text{ cm}^3$$

Trägheitsmoment  $I_y$

$$I_y = b \cdot h^3 / 12$$

$$= 24 \cdot 65^3 / 12 = 549250 \text{ cm}^4$$

Trägheitsmoment  $I_z$

$$I_z = b^3 \cdot h / 12$$

$$= 24^3 \cdot 65 / 12 = 74880 \text{ cm}^4$$

NKL = 2  
 KLED = kurz  
 $\gamma_M = 1,30$   
 $k_{mod} = 0,90$

### NACHWEISE IM GZT:

Nachweis der Normalspannung in Feldmitte (Biegung + Normalkraft)

$$M_{y,LK6,d} = 149,6 \text{ kNm}$$

$$M_{z,LF5,d} = 52,5 \cdot 1,5 = 78,8 \text{ kNm (Wind horizontal)}$$

$$N_d = (10\text{m} \cdot 1,5\text{m}/2) \cdot 3,75 \cdot 0,10 \cdot 1,5 = 4,3 \text{ kN}$$

(Horizontale Belastung aus Verkehrslast)

34

$\sigma_{m,y,d} = M_{y,LK6,d} \cdot 10^3 / W_y = 149,6 \cdot 10^3 / 16900 = 8,85 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{m,z,d} = M_{z,LF5,d} \cdot 10^3 / W_z = 78,8 \cdot 10^3 / 6240 = 12,63 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{c,0,d} = N_d \cdot 10^3 / (A \cdot 10^2) = 4,3 \cdot 10^3 / (1560 \cdot 10^2) = 0,03 \text{ N/mm}^2$ $f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0,90 \cdot 28 / 1,30 = 19,38 \text{ N/mm}^2$ $f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 0,90 \cdot 26,5 / 1,30 = 18,35 \text{ N/mm}^2$ <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px;"> <math display="block">\eta = (\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + k_m \cdot \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = (0,03 / 18,35)^2 + 8,85 / 19,38 + 0,7 \cdot 12,63 / 19,38 = 0,000003 + 0,43 + 0,45 = 0,91 &lt; 1,0</math> <math display="block">\eta = (\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 + k_m \cdot \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = (0,03 / 18,35)^2 + 0,7 \cdot 8,85 / 19,38 + 12,63 / 19,38 = 0,000007 + 0,3 + 0,65 = 0,97 &lt; 1,0</math> </div>	<p><b>Nachweis der Schubspannung unter der LK5:</b></p> $V_{z,LK5,d} = 60,4 \text{ kN}$ $V_{y,LK5,d} = 1,5 \cdot 10,5 = 15,75 \text{ kN}$ $M_{x,wh,d} = 1,50 \cdot 3,4 = 5,1 \text{ kNm}$ $\tau_{z,d} = 1,5 \cdot V_{z,LK5,d} \cdot 10 / A = 1,5 \cdot 60,4 \cdot 10 / 1560 = 0,58 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{y,d} = 1,5 \cdot V_{y,LK5,d} \cdot 10 / A = 1,5 \cdot 10,5 \cdot 10 / 1560 = 0,1 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{tor,d} = 3 \cdot M_{x,wh,d} \cdot 10^3 / (h \cdot b^2) \cdot (1 + 0,6 \cdot b / h) = 3 \cdot 5,1 \cdot 10^3 / (65 \cdot 24^2) \cdot (1 + 0,6 \cdot 24 / 65) = 0,5 \text{ N/mm}^2$ $f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_M = 0,90 \cdot 2,5 / 1,30 = 1,73 \text{ N/mm}^2$ <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px;"> <math display="block">\eta = \tau_{z,d} / f_{v,d} = 0,58 / 1,73 = 0,34 &lt; 1,0</math> <math display="block">\eta = \tau_{tor,d} / f_{v,d} + (\tau_{z,d} / f_{v,d})^2 + (\tau_{y,d} / f_{y,d})^2 = 0,5 / 1,73 + (0,58 / 1,73)^2 + (0,1 / 1,73)^2 = 0,40 &lt; 1,0</math> </div>
--	---

35

<p><b>Nachweis der Kippstabilität unter LK 5:</b></p> $M_{y,LK6,d} = 149,6 \text{ kNm}$ $M_{z,w,d} = 52,5 \cdot 1,5 = 78,8 \text{ kNm}$ $N_d = 4,3 \text{ kN}$ $i_z = (I_z / A)^{0,5} = (74880 / 1560)^{0,5} = 6,93 \text{ cm}$ $\lambda_z = L_{ef} / i_z = 10 \cdot 10^2 / 6,93 = 144,3$ $\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{144,3}{\pi} \sqrt{\frac{26,5}{5/6 \cdot 12600}} = 2,31$ $k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$ $k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,31 - 0,3) + 2,31^2) = 3,27$ $k_{e,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{3,27 + \sqrt{3,27^2 - 2,31^2}} = 0,17$ $\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 240^2}{650 \cdot 10000} \cdot 5/6 \cdot 12600 = 72,58$	<p>Da <math>0,62 &lt; 0,75</math> <math>k_{crit} = 1</math></p> <p>- Nachweis:</p> $\sigma_{m,y,d} = M_{y,LK5,d} \cdot 10^3 / W_y = 149,6 \cdot 10^3 / 16900 = 8,85 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{c,0,d} = N_{St,LK5,d} \cdot 10^3 / (A \cdot 10^2) = 4,3 \cdot 10^3 / (1560 \cdot 10^2) = 0,03 \text{ N/mm}^2$ $f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0,90 \cdot 28 / 1,30 = 19,38 \text{ N/mm}^2$ $f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 0,90 \cdot 26,5 / 1,30 = 18,35 \text{ N/mm}^2$ <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px;"> <math display="block">\eta = \sigma_{c,0,d} / (k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,y,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,y,d}) = 0,03 / (0,97 \cdot 18,35) + (8,85 / (1,0 \cdot 19,38))^2 = 0,0017 + 0,19 = 0,21 &lt; 1,0</math> </div>
---	---

36

<p><b><u>Nachweis der Kippstabilität unter LK 3:</u></b>  <math>M_{y,LK3,d} = 103,7 \text{ kNm}</math></p> <p>Die Stabilitätsbeiwerte <math>k_{crit}</math> und <math>k_{c,y}</math> sind Lastunabhängig und ändern sich daher nicht.</p> $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,LK3,d} \cdot 10^3}{W_y} = \frac{103,7 \cdot 10^3}{30000} = 3,5 \text{ N/mm}^2$ $f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M = 0,90 \cdot 28 / 1,30 = 19,38 \text{ N/mm}^2$ <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content;"> <math display="block">\eta = \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} = \frac{3,5}{1,0 \cdot 19,38} = 0,2 &lt; 1,0</math> </div> <p><b><u>Ermüdungsnachweis:</u></b>                  Ein Ermüdungsnachweis für Geh- und Radwegbrücken ist nach DIN EN 1995-2, 6.2 üblicherweise nicht zu führen.</p>	<p><b><u>NACHWEISE IM GZG: Nachweis der Durchbiegung:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Ermittlung der Durchbiegung der Einzellastfälle:</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– LF1: Durchbiegung <math>w_{g,inst}</math> (in Feldmitte):  <math>w_{g,inst} = 5/384 \cdot g_k \cdot 10^{-3} \cdot L^4 \cdot 10^3 / (E_{0,mean} \cdot I_y \cdot 10^{-8})</math>  <math>= 5/384 \cdot 2,53 \cdot 10^{-3} \cdot 10,00^4 \cdot 10^3 / (12600 \cdot 549250 \cdot 10^{-8})</math>  <math>= 4,8 \text{ mm}</math></li> <li>– LF2: Durchbiegung <math>w_{q,inst,LF2}</math> (in Feldmitte):                      Faktor f: <math>f_{LF2} = q_k / g_k = 3,75 / 2,53 = 1,48</math>  <math>w_{q,inst,LF2} = w_{g,inst} \cdot f = 4,8 \cdot 1,48 = 7,1 \text{ mm}</math></li> <li>– LF3: Durchbiegung <math>w_{q,inst,LF3}</math> (in Feldmitte):                      Faktor f: <math>f_{LF3} = q_{w,k} / g_k = 2,7 / 2,53 = 1,1</math>  <math>w_{q,inst,LF3} = w_{g,inst} \cdot f = 4,8 \cdot 1,1 = 5,3 \text{ mm}</math></li> <li>– LF4: Durchbiegung <math>w_{q,inst,LF4}</math> (in Feldmitte):                      Faktor f: <math>f_{LF4} = q_{h,v,k} / g_k = 3,33 / 2,53 = 1,3</math>  <math>w_{q,inst,LF4} = w_{g,inst} \cdot f = 4,8 \cdot 1,3 = 6,24 \text{ mm}</math></li> </ul> </li> </ul>
---	--

<p><b><u>Kombination der Verformungen:</u></b>                  Erfassung der Kriechverformung:                  NKL2 und Vollholz: <math>k_{def} = 0,8</math></p> <p>Kombinationsbeiwerte:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">LF 2 (Verkehr)</td> <td style="width: 30%;"><math>\psi_0 = 0,40</math></td> <td style="width: 30%;"><math>\psi_2 = 0,20</math></td> </tr> <tr> <td>LF 3 (Wind)</td> <td><math>\psi_0 = 0,00</math></td> <td><math>\psi_2 = 0,00</math></td> </tr> <tr> <td>LF 4 (Holmlast)</td> <td><math>\psi_0 = 0,40</math></td> <td><math>\psi_2 = 0,20</math></td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Ständige Einwirkungen:</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– elastische Anfangsverformung:  <math>w_{g,inst} = 4,8 \text{ mm}</math></li> <li>– Endverformung (inkl. Kriechanteil):  <math>w_{g,fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 4,8 \cdot (1 + 0,8) = 8,6 \text{ mm}</math></li> </ul> </li> </ul>	LF 2 (Verkehr)	$\psi_0 = 0,40$	$\psi_2 = 0,20$	LF 3 (Wind)	$\psi_0 = 0,00$	$\psi_2 = 0,00$	LF 4 (Holmlast)	$\psi_0 = 0,40$	$\psi_2 = 0,20$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Veränderliche Einwirkungen:</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Elastische Anfangsverformung:  <math>w_{q,inst} = w_{q,1,inst} + \sum \psi_{0,i} \cdot w_{q,i,inst}</math>  <math>w_{q,inst,1} = w_{q,inst,LF2} + \psi_{0,LF4} \cdot w_{q,inst,LF4} = 7,1 + 0,4 \cdot 6,24 = 9,58 \text{ mm}</math>  <math>w_{q,inst,2} = w_{q,inst,LF4} + \psi_{0,LF2} \cdot w_{q,inst,LF2} = 6,24 + 0,4 \cdot 7,1 = 9,08 \text{ mm}</math></li> <li>– Enddurchbiegung (inkl. Kriechanteil) in der charakteristischen/ seltenen Bemessungssituation:  <math>w_{q,fin,char} = w_{q,1,inst} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) + \sum w_{q,i,inst} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})</math>  <math>w_{q,fin,char,1} = w_{q,inst,LF2} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) + w_{q,inst,LF4} \cdot (\psi_{0,LF4} + \psi_{2,LF4} \cdot k_{def})</math>  <math>= 7,1 \cdot (1 + 0,20 \cdot 0,80) + 6,24 \cdot (0,4 + 0,2 \cdot 0,80) = 12,3 \text{ mm}</math>  <math>w_{q,fin,char,2} = w_{q,inst,LF4} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) + w_{q,inst,LF2} \cdot (\psi_{0,LF2} + \psi_{2,LF2} \cdot k_{def})</math>  <math>= 6,24 \cdot (1 + 0,2 \cdot 0,8) + 7,1 \cdot (0,40 + 0,2 \cdot 0,8) = 11,2 \text{ mm}</math></li> </ul> </li> </ul>
LF 2 (Verkehr)	$\psi_0 = 0,40$	$\psi_2 = 0,20$								
LF 3 (Wind)	$\psi_0 = 0,00$	$\psi_2 = 0,00$								
LF 4 (Holmlast)	$\psi_0 = 0,40$	$\psi_2 = 0,20$								

<p>– Enddurchbiegung (inkl. Kriechanteil) in der quasi-ständigen Bemessungssituation:</p> $w_{q,fin,qs} = \sum \psi_{2,i} \cdot w_{q,i,inst} \cdot (1 + k_{def})$ $w_{q,fin,qs,1} = \psi_{2,LF2} \cdot w_{q,inst,LF2} \cdot (1 + k_{def}) + \psi_{2,LF4} \cdot w_{q,inst,LF4} \cdot (1 + k_{def})$ $w_{q,fin,qs,1} = 0,20 \cdot 7,1 \cdot (1 + 0,8) + 0,20 \cdot 6,24 \cdot (1 + 0,8)$ $w_{q,fin,qs,1} = 4,8 \text{ mm}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachweise:</li> </ul> $w_{q,inst} \leq L / 200 \quad L = 10,0 \text{ m} = 10000 \text{ mm}$ $w_{q,inst} = 4,8 \text{ mm} = L / 2083 \ll L / 200 = 50 \text{ mm}$ <p>– Nachweis in der charakteristischen Bemessungssituation (DIN EN 1995-1-1):</p> <p>a) <math>w_{q,inst} \leq L / 300</math></p> <p>b) <math>w_{fin} - w_{g,inst} \leq L / 200</math> mit <math>w_{fin} = w_{g,fin} + w_{q,fin,char}</math></p> $8,6 + 12,3 - 4,8 = 16,1 \text{ mm}$ $= L / 620 \ll L / 200 = 50 \text{ mm}$	<p>– Nachweis in der quasi-ständigen Bemessungssituation:</p> $w_{net,fin} = w_{fin} - w_c \leq L / 200 \quad \text{mit } w_c = \text{Überhöhung}$ <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <math display="block">w_{fin} = w_{g,fin} + w_{q,fin,qs} = 8,6 + 12,3 - 0,00 = 20,9 \text{ mm}</math> <math display="block">= L / 478 &lt; L / 200 = 50 \text{ mm}</math> </div> <p>Aus gestalterischen Gründen wird der Hauptträger konstruktiv überhöht.</p> <p><b>Gewählt: Überhöhung: Stichmaß in Brückenmitte</b></p> <p><b><math>w_c = 100 \text{ mm}</math></b></p>
39	

<p><b><u>Schwingungsnachweis:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Schwingungen infolge Fußgängerverkehr:</u></b> Der Nachweis der Schwingungen infolge Fußgängerverkehr wird nach DIN EN 1995-2, Anhang B geführt.</li> <li>– <b><u>Vertikale Schwingungen infolge Fußgängerverkehr:</u></b></li> </ul> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Gewicht der Hauptträger</td> <td style="padding: 2px;">2 * 0,24 * 0,65 * 500</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Gewicht Querträger</td> <td style="padding: 2px;">~ 50 * 1,01 * 1 / 2,5</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Gewicht des Bohlenbelags</td> <td style="padding: 2px;">0,20 / 0,208 * 1,50 * 0,09 * 700</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Gewicht des Geländers</td> <td style="padding: 2px;">~ 2 * 2 * 0,12 * 700 + 20</td> </tr> </table> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Gewicht der Hauptträger</td> <td style="padding: 2px;">156,0 kg/m</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Gewicht Querträger</td> <td style="padding: 2px;">20,2 kg/m</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Gewicht des Bohlenbelags</td> <td style="padding: 2px;">90,9 kg/m</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Gewicht des Geländers</td> <td style="padding: 2px;">60,3 kg/m</td> </tr> </table> <p>Gewicht pro Meter <math>G_g = 327,4 \text{ kg/m}</math></p> <p>Gesamtgewicht der Brücke <math>G_{ges} = 10,60 * 445,6</math>  <math>\cong 3470,44 \text{ kg=M}</math></p>	Gewicht der Hauptträger	2 * 0,24 * 0,65 * 500	Gewicht Querträger	~ 50 * 1,01 * 1 / 2,5	Gewicht des Bohlenbelags	0,20 / 0,208 * 1,50 * 0,09 * 700	Gewicht des Geländers	~ 2 * 2 * 0,12 * 700 + 20	Gewicht der Hauptträger	156,0 kg/m	Gewicht Querträger	20,2 kg/m	Gewicht des Bohlenbelags	90,9 kg/m	Gewicht des Geländers	60,3 kg/m	<p>Durchbiegung infolge ständiger Lasten (nur elastischer Anteil):</p> $w_{g,inst} = 4,8 \text{ mm}$ <p>Eigenfrequenz der Brücke:</p> $f_{vert} = 17,75 / (w_{g,inst})^{0,5} = 17,75 / (4,8)^{0,5} = 8,1 \text{ Hz}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Nachweis der vertikalen Beschleunigung:</u></b> Ermittlung der Beschleunigung für eine gehende Person:</li> </ul> $\alpha_{vert,1} = \begin{cases} \frac{200}{M\xi} & \text{für } f_{vert} < 2,5 \text{ Hz} \\ \frac{100}{M\xi} & \text{für } 2,5 \text{ Hz} < f_{vert} < 5,0 \text{ Hz} \end{cases}$ $a_{vert,1} = 200 / (M * \xi) = 200 / (3470 * 0,010) = 5,76 \text{ m/s}^2$
Gewicht der Hauptträger	2 * 0,24 * 0,65 * 500																
Gewicht Querträger	~ 50 * 1,01 * 1 / 2,5																
Gewicht des Bohlenbelags	0,20 / 0,208 * 1,50 * 0,09 * 700																
Gewicht des Geländers	~ 2 * 2 * 0,12 * 700 + 20																
Gewicht der Hauptträger	156,0 kg/m																
Gewicht Querträger	20,2 kg/m																
Gewicht des Bohlenbelags	90,9 kg/m																
Gewicht des Geländers	60,3 kg/m																
40																	

Ermittlung der Beschleunigung für mehrere Personen:

$$a_{\text{vert},n} = 0,23 * n * a_{\text{vert},1} * k_{\text{vert}}$$

$$= 0,23 * 13 * 5,76 * 0 = 0,0 \text{ m/s}^2$$

Mit:  $n = 13$  (eine Gruppe Fußgänger)  
Beiwert  $k_{\text{vert}} = 0$  (aus Bild B.1, DIN EN 1995-2, Anhang B)

Nachweis:

$$a_{\text{vert},n} = 0,0 < a_{\text{vert},\text{zul}} = 0,7 \text{ m/s}^2$$

– **Horizontale Schwingungen infolge Fußgängerverkehr:**

Auf den Nachweis der horizontalen Schwingungen wird hier verzichtet.

- **Schwingungen infolge Wind:**  
Aufgrund der Brückengeometrie und der Spannweite kann auf einen Nachweis windinduzierter Schwingungen verzichtet werden.

### Details/ konstruktive Durchbildung

#### Auflagerlasten (charakteristische Werte)

aus Eigengewicht (LF 1):

$$A_{g,v,k} = 13,4 \text{ kN}$$

aus Verkehr (LF 2):

$$A_{q,v,k} = 19,88 \text{ kN}$$

aus Wind (vertikal) (LF 3):

$$A_{w,v,k} = \pm 14,31 \text{ kN}$$

aus Holmlast (vertikal) (LF 4):

$$A_{h,v,k} = \pm 16,1 \text{ kN}$$

aus Wind (horizontal) (LF 5):

$$A_{w,h,\perp,k} = \pm 11,13 \text{ kN}$$

aus Verkehr (horizontal):

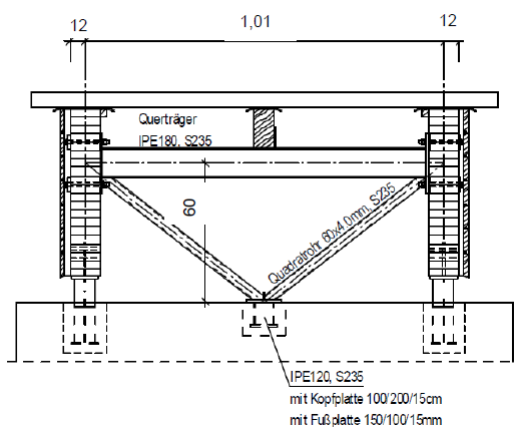
$$A_{q,h,||,k} = \pm 7,95 / 2 = \pm 4 \text{ kN}$$

Die Nachweise der Auflagerung der Hauptträger auf den Widerlagern werden unter Pos. 7 geführt.

41

### Pos. 7: Auflagerbock

System:



$$\text{Neigung der Streben } \alpha = \text{ATAN}(0,60 / (1,01 / 2)) = 49,9^\circ$$

### Belastung:

#### Vertikallasten:

Das Eigengewicht der Streben kann vernachlässigt werden.

#### Horizontallasten:

– aus Wind (siehe Pos. 5)

$$F_{wk} = 3,34 * 10,6 / 2 = 17,8 \text{ kN}$$

– aus Gabellagerung

Eine Gabellagerung soll nach DIN 1052, 8.4.3 ein Mindesttorsionsmoment  $T_d$  aufnehmen können. Da ein gemeinsames Wirken der Belastungen Wind und Verkehr nicht berücksichtigt werden muss, wird das Mindesttorsionsmoment für zwei Lastkombinationen ermittelt.

42

<ul style="list-style-type: none"> <li><b><u>LK1: ständige Einwirkungen und Wind (vertikal):</u></b></li> </ul> $T_{i,d} = M_{i,d} * (1 / 80 - 1 / 60 * e / h * (1 - k_{crit}))$ $M_{LK1,d} = 95,3 \text{ kNm}$ $e = 0,60 - (0,15 + 0,65 / 2) = 0,125 \text{ m}$ <p style="text-align: center;">Mittenabstand der Aussteifung von der Hauptträgerhöhe</p> $h = 0,65 \text{ m}$ $k_{crit} = 1,00$ $T_{LK1,d} = 95,3 * (1 / 80 - 1 / 60 * 0,125 / 0,65 * (1 - 1)) = 1,19 \text{ kNm}$ <p>Daraus ergibt sich eine aufzunehmende Kraft von</p> $F_{LK1,d} = T_{LK1,d} / e_a \quad e_a = 0,67 \text{ m}$ $F_{LK1,d} = 1,19 / 0,67 = 1,77 \text{ kN}$	<ul style="list-style-type: none"> <li><b><u>LK2: ständige Einwirkungen und Wind (vertikal):</u></b></li> </ul> $T_{i,d} = M_{i,d} * (1 / 80 - 1 / 60 * e / h * (1 - k_m))$ $M_{LK2,d} = 127,05 \text{ kNm}$ $T_{LK2,d} = 127,05 * (1 / 80 - 1 / 60 * 0,125 / 0,65 * (1 - 1)) = 1,6 \text{ kNm}$ <p>Daraus ergibt sich eine aufzunehmende Kraft von</p> $F_{LK2,d} = 1,6 / 0,67 = 2,4 \text{ kN}$ <p><b><u>Schnittgrößen:</u></b></p> <p><b><u>Strebenkraft:</u></b> Die Horizontalkraft aus Wind wird über beide Streben abgetragen.</p> $N_{st,d} = 1,50 * F_{w,k} / 2 / \cos(\alpha)$ $= 1,50 * 17,8 / 2 / \cos(49,9^\circ) = 20,7 \text{ kN}$ <p><b><u>Umlenkraft im Hauptträger:</u></b></p> $F_{HTR,d} = 1,50 * \pm F_{w,k} / 2 * \tan(\alpha)$ $= 1,50 * \pm 17,8 / 2 * \tan(49,9^\circ) = \pm 12,1 \text{ kN}$
---	--

43

<p><b><u>Bemessung:</u></b></p> <p><b>Gewählt: Strebe Quadratrohr</b> <b>QRO 50x4,0mm, S235</b></p> <p><b>Randbedingungen und Vorwerte der Bemessung:</b></p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Stahl:</td> <td>S 235</td> </tr> <tr> <td><math>f_{y,k} =</math></td> <td>24,0 kN/cm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_m =</math></td> <td>1,10</td> </tr> <tr> <td>Querschnittsfläche</td> <td>A = 7,19 cm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Trägheitsradius</td> <td>i = 1,86 cm</td> </tr> </table> <p><b><u>NACHWEISE IM GZT:</u></b> Maßgebend für den Nachweis ist die Druckstrebe.</p> <p><b><u>Nachweis der Normalspannung in Feldmitte unter der LK 1 (Wind):</u></b></p> $N_{Ed} = N_{st,d} = 20,7 \text{ kN}$ $N_{c,Rd} = (A * f_{y,k}) / \gamma_M = (7,19 * 24) / 1,10 = 156,9 \text{ kN}$ $\eta = N_{Ed} / N_{c,Rd} = 20,7 / 156,9 = 0,13 < 1,0$	Stahl:	S 235	$f_{y,k} =$	24,0 kN/cm <sup>2</sup>	$\gamma_m =$	1,10	Querschnittsfläche	A = 7,19 cm <sup>2</sup>	Trägheitsradius	i = 1,86 cm	<p><b><u>Beulnachweis:</u></b></p> $\text{vorh.}(b / t) \cong (60 - 2 * 4) / 4 = 13 < \text{grenz}(b / t)_{\min} = 30$ <ul style="list-style-type: none"> <li><b><u>Nachweis auf Knicken:</u></b> Ein Biegeknicknachweis muss nach DIN EN 1993-1-1, 6.3.1.2 (4) nicht geführt werden, wenn:</li> </ul> $\lambda \leq 0,2 \quad \text{oder wenn} \quad N_{Ed} / N_{cr} \leq 0,04$ $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}}$ $A = 7,19 \text{ cm}^2$ $\varepsilon = L * (N_d / (E * I_d))^{0,5}$ $N_{Ed} = 20,7 \text{ kN (Normalkraft aus Verband LK1)}$ $N_{cr} = \frac{\pi^2 * EI}{L^2} = \frac{\pi^2 * 21000 * 25}{78^2} = 851,7$ $E = 21000 \text{ kN/cm}^2 \text{ (E-Modul)}$ $I = 25 \text{ cm}^4$ $\bar{\lambda} = ((7,19 * 24) / 67,1)^{0,5} = 1,77$ $N_{Ed} / N_{cr} = 0,009$ $20,7 / 851,7 = 0,024$ <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block; color: blue; font-weight: bold;">NACHWEIS MUSS NICHT GEFÜHRT WERDEN!</div>
Stahl:	S 235										
$f_{y,k} =$	24,0 kN/cm <sup>2</sup>										
$\gamma_m =$	1,10										
Querschnittsfläche	A = 7,19 cm <sup>2</sup>										
Trägheitsradius	i = 1,86 cm										

44

<p><b>Details/ konstruktive Durchbildung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Anschluss Stahlstrebe / Hauptträger:</b> Die Strebe wird an der Kopfplatte des Verbandspfostens durch Verschweißung mit einer umlaufenden Kehlnaht angeschlossen. Die Kehlnaht wird mit <math>a = 3 \text{ mm}</math> gewählt.</li> <li><b>Anschluss Stahlstreben / Stb.-Widerlager:</b> Die Streben werden über eine angeschweißte Stahlplatte mit Schubknagge mit dem Widerlager verbunden. Die Streben werden mit einer umlaufenden Kehlnaht <math>a = 3 \text{ mm}</math> an die Kopfplatte der Schubknagge angeschlossen. Die Schubknagge wird in eine Aussparung im Widerlager einbetoniert. Zur Halterung der Flansche wird eine konstruktive Fußplatte an der Knagge angeordnet.</li> </ul>	<p><b>Gewählt: Schubknagge HEA 120, L=120mm Kopfplatte <math>b/l = 140/200\text{mm}</math>, <math>t=15\text{mm}</math> S 235</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Anschluss Streben / Kopfplatte:</b> Die Strebe wird an der Kopfplatte der Schubknagge durch Verschweißung mit einer umlaufenden Kehlnaht angeschlossen. Die Kehlnaht wird mit <math>a = 3 \text{ mm}</math> gewählt.</li> <li><b>Anschluss Kopfplatte/ Schubknagge:</b> Die Schubknagge wird mit einer umlaufenden Kehlnaht <math>a = 3 \text{ mm}</math> an die Kopfplatte angeschlossen.</li> <li><b>Anschluss Schubknagge / Stb.-Widerlager:</b> Es wird ein Beton der Festigkeitsklasse <b>C 30 / 37</b> mit zul <math>\sigma_B = f_{cd} = 0,85 * 30/1,5 = 17 \text{ N/mm}^2</math> vorausgesetzt. <math>F_{w,d} = 1,50 * F_{w,k}</math> <math>= 1,50 * 17,8 = 26,7 \text{ kN}</math></li> </ul> <p>Der Nachweis der Schubknagge erfolgt mittels EDV-Berechnung.</p>
---	---

45

<p><b>Schubknagge:</b></p> <p><b>Eingabedaten:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Material/ Querschnitte/ Geometrie:</b></li> </ul> <table> <tr> <td>Stahl =</td> <td>S235</td> </tr> <tr> <td>Beton =</td> <td>C30/37</td> </tr> <tr> <td>Stahlprofil:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Typ1 =</td> <td>HEA</td> </tr> <tr> <td>Nennhöhe NH1 =</td> <td>120</td> </tr> </table>	Stahl =	S235	Beton =	C30/37	Stahlprofil:		Typ1 =	HEA	Nennhöhe NH1 =	120	<table> <tr> <td>Fußplatte:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Breite <math>b_p =</math></td> <td>14,00 cm</td> </tr> <tr> <td>Dicke <math>d_p =</math></td> <td>1,50 cm</td> </tr> <tr> <td>Einbindetiefe <math>f =</math></td> <td>12,00 cm</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Einwirkungen:</b></li> </ul> <p>Bemessungswerte der Schnittgrößen:</p> <table> <tr> <td>Bemessungswerte der Schnittgrößen</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Normalkraft <math>N_{Ed} =</math></td> <td>0,00 kN</td> </tr> <tr> <td>Querkraft <math>V_{Ed} =</math></td> <td>26,7 kN</td> </tr> <tr> <td>Biegemoment <math>M_{Ed} =</math></td> <td>0,00 kN</td> </tr> </table> <p><b>Randbedingungen und Vorwerte der Nachweise:</b></p> <p>Materialkennwerte:</p> <table> <tr> <td>Stahl:</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>f_{y,k} =</math></td> <td>24,00 kN/cm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_M =</math></td> <td>1,10</td> </tr> <tr> <td><math>N_{c,RD} = (A * f_{y,k}) / \gamma_M =</math></td> <td>552 kN</td> </tr> <tr> <td><math>\tau_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M * \sqrt{3}} =</math></td> <td>12,60 kN/cm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Beiwert <math>\alpha_w =</math></td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>Beton: <math>\beta_{Rd} =</math></td> <td>1,70 kN/cm<sup>2</sup></td> </tr> </table>	Fußplatte:		Breite $b_p =$	14,00 cm	Dicke $d_p =$	1,50 cm	Einbindetiefe $f =$	12,00 cm	Bemessungswerte der Schnittgrößen		Normalkraft $N_{Ed} =$	0,00 kN	Querkraft $V_{Ed} =$	26,7 kN	Biegemoment $M_{Ed} =$	0,00 kN	Stahl:		$f_{y,k} =$	24,00 kN/cm <sup>2</sup>	$\gamma_M =$	1,10	$N_{c,RD} = (A * f_{y,k}) / \gamma_M =$	552 kN	$\tau_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M * \sqrt{3}} =$	12,60 kN/cm <sup>2</sup>	Beiwert $\alpha_w =$	0,95	Beton: $\beta_{Rd} =$	1,70 kN/cm <sup>2</sup>
Stahl =	S235																																								
Beton =	C30/37																																								
Stahlprofil:																																									
Typ1 =	HEA																																								
Nennhöhe NH1 =	120																																								
Fußplatte:																																									
Breite $b_p =$	14,00 cm																																								
Dicke $d_p =$	1,50 cm																																								
Einbindetiefe $f =$	12,00 cm																																								
Bemessungswerte der Schnittgrößen																																									
Normalkraft $N_{Ed} =$	0,00 kN																																								
Querkraft $V_{Ed} =$	26,7 kN																																								
Biegemoment $M_{Ed} =$	0,00 kN																																								
Stahl:																																									
$f_{y,k} =$	24,00 kN/cm <sup>2</sup>																																								
$\gamma_M =$	1,10																																								
$N_{c,RD} = (A * f_{y,k}) / \gamma_M =$	552 kN																																								
$\tau_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M * \sqrt{3}} =$	12,60 kN/cm <sup>2</sup>																																								
Beiwert $\alpha_w =$	0,95																																								
Beton: $\beta_{Rd} =$	1,70 kN/cm <sup>2</sup>																																								

46

<p><b>Querschnittswerte:</b></p> <p>Stütze:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td>H =</td> <td>11,40 cm</td> <td>r =</td> <td>1,20 cm</td> </tr> <tr> <td>b =</td> <td>12,00 cm</td> <td>I<sub>y</sub> =</td> <td>1030,00 cm<sup>4</sup></td> </tr> <tr> <td>t =</td> <td>0,80 cm</td> <td>W<sub>y</sub> =</td> <td>106,00 cm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>s =</td> <td>0,50 cm</td> <td>A =</td> <td>25,30 cm<sup>2</sup></td> </tr> </table> <p><b>Pressungsverteilung:</b></p> $y_0 = \frac{M_d \cdot 100 + 2 \cdot V_d \cdot \frac{f}{3}}{0,5 \cdot f \cdot \frac{M_d \cdot 100 + V_d \cdot \frac{f}{2}}{f}} = 8,00 \text{ cm}$ $D_u = \frac{M_d \cdot 100 + V_d \cdot \frac{y_0}{3}}{1,5 \cdot f} = 8,9 \text{ kN}$ $D_o = \frac{D_u + V_d}{2} = 35,6 \text{ kN}$ $p_o = \frac{2 \cdot D_o}{b \cdot y_0} = 0,742 \text{ kN/cm}^2$ $p_u = \frac{2 \cdot D_u}{b \cdot  f - y_0 } = 0,371 \text{ kN/cm}^2$ <p>Nachweis der Betonpressung: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>\frac{p_o}{\beta_{Rd}} = 0,436 &lt; 1,0</math></span></p>	H =	11,40 cm	r =	1,20 cm	b =	12,00 cm	I <sub>y</sub> =	1030,00 cm <sup>4</sup>	t =	0,80 cm	W <sub>y</sub> =	106,00 cm <sup>3</sup>	s =	0,50 cm	A =	25,30 cm <sup>2</sup>	<p><b>Nachweis der Stütze innerhalb des Köchers:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Querkraftfunktion:</b> <math display="block">V_d(y) = V_d - 0,5 \cdot b \cdot (p_o - p(y)) \cdot y ; \quad p(y) = p_o - p_o \cdot y / y_0</math> <math display="block">\max V_d = V_d(y_0) = D_u</math> <math display="block">\text{Nullstelle: } y_N = y_0 - \sqrt{(y_0^2 - 2 \cdot y_0 \cdot V_d / (p_o \cdot b))}</math> <math display="block">\max V_d = D_u = 8,9 \text{ kN}</math> <math display="block">y_N = y_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{2 \cdot V_d}{p_o \cdot b \cdot y_0}} = 4,00 \text{ cm}</math> </li> <li>• <b>Schubspannung:</b> <math display="block">V_{Ed} = \max V_d = 8,9 \text{ kN}</math> <math display="block">\tau_d = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot s} = \frac{8,9 \cdot 83,2}{1030 \cdot 5,3} = 1,06 \text{ kN/cm}^2</math> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content;"> <math display="block">\eta = \frac{\tau_d}{f_{y,k} / (3^{0,5} \cdot \gamma_M)} = \frac{1,06}{24,0 / (3^{0,5} \cdot 1,10)} = 0,023 &lt; 1,0</math> </div> </li> <li>• <b>Momentenfunktion:</b> <math display="block">M_d(y) = M_d \cdot 100 + V_d \cdot y - (p_o + 0,5 \cdot p(y)) \cdot b \cdot y^2 / 3 ; \quad p(y) = p_o - p_o \cdot y / y_0</math> <math display="block">M_d(y) = M_d \cdot 100 + V_d \cdot y - 0,5 \cdot p_o \cdot b \cdot (3 - y / y_0) \cdot y^2 / 3</math> <math display="block">\max M_d = M_d(y_N)</math> <math display="block">M_1 = M(y_0)</math> </li> </ul>
H =	11,40 cm	r =	1,20 cm														
b =	12,00 cm	I <sub>y</sub> =	1030,00 cm <sup>4</sup>														
t =	0,80 cm	W <sub>y</sub> =	106,00 cm <sup>3</sup>														
s =	0,50 cm	A =	25,30 cm <sup>2</sup>														

47

$\max M_d = M_d \cdot 100 + V_d \cdot y_N - 0,5 \cdot p_o \cdot b \cdot \left( 3 \cdot \frac{y_N}{y_0} + \frac{y_N^2}{3} \right)$ $\max M_d = 47,44 \text{ kNcm}$ $M_1 = M_d \cdot 100 + V_d \cdot y_0 - 0,5 \cdot p_o \cdot b \cdot \left( 3 \cdot \frac{y_0}{y_0} + \frac{y_0^2}{3} \right)$ $M_1 = 23,65 \text{ kNcm}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Normalspannung:</b></li> </ul> $N_{Ed} = 0 \text{ kN}$ $M_{Ed} = \max M_d = 47,44 \text{ kNcm}$ $N_{c,Rd} = (A \cdot f_{y,k}) / \gamma_M = (25,3 \cdot 24) / 1,10 = 552 \text{ kN}$ $M_{c,Rd} = (W_y \cdot f_{y,k}) / \gamma_M = (106 \cdot 24) / 1,10 = 2312,7 \text{ kN}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content;"> <math display="block">\eta = \frac{N_{Ed} / N_{c,Rd} + M_{Ed} / M_{c,Rd}}{1} = \frac{0 / 552 + 47,44 / 2312,72}{} = 0,02 &lt; 1,0</math> </div>	
--	--

48



**Pos. 8: Lagerung der Hauptträger**

System:

**Belastung:**

- Ständige Einwirkungen (vertikal):  
aus Hauptträger einschl. der weiteren Konstruktion  
 $A_{g,v,k} = 13,4 \text{ kN}$
- veränderliche Einwirkungen (vertikal):  
aus Verkehr (siehe Pos. 4)  $A_{q,v,k} = 19,88 \text{ kN}$   
aus Wind (siehe Pos. 4)  $A_{w,v,k} = \pm 14,31 \text{ kN}$   
aus Holmlast (siehe Pos. 4)  $A_{h,v,k} = \pm 16,1 \text{ kN}$
- Veränderliche Einwirkungen (horizontal, rechtwinkelig zur Brücke):  
aus Mindesttorsionsmoment (Wind) (siehe Pos. 6)  $A_{w,hr,d} = 1,77 \text{ kN}$   
aus Mindesttorsionsmoment (Verkehr) (siehe Pos. 6)  $A_{v,hr,d} = 2,44 \text{ kN}$
- Veränderliche Einwirkungen (horizontal, parallel zur Brücke):  
aus Verkehr (je Hauptträger) (siehe Pos. 2,  $Q_{m,k}$ )  
 $A_{q,hp,k} = 7,95 / 2 = 4 \text{ kN}$

49

**Schnittgrößen:**

Es werden die maßgebenden Einwirkungskombinationen ermittelt.

Lastfall	Einwirkung	$\psi_0$
LF 1	ständige Einwirkungen	---
LF 2	Verkehr	0,40
LF 3	Wind	0,00
LF 4	Holmlast	0,40
LF 5	Wind	0,00
LF 6	Mindesttorsionsmoment	---
LF 7	Verkehr	0,40

Lastfall	Wirkungsrichtung
LF 1	vertikal
LF 2	vertikal
LF 3	vertikal
LF 4	vertikal
LF 5	vertikal
LF 6	horizontal, rechtwinklig zur Brücke
LF 7	horizontal, parallel zur Brücke

Die Holmlast wird bezüglich der Kombination als Verkehrslast mit  $\psi_0 = 0,40$  betrachtet.

- Maßgebende vertikale Einwirkung:
  - LK 1 (Kombination mit Verkehr):  
 $A_{v,LK1,d} = 1,35 * LF 1 + 1,50 * (LF 2 + \psi_0 * LF 4)$   
 $= 1,35 * 13,4 + 1,50 * (19,88 + 0,40 * 16,1) = 57,57 \text{ kN}$
  - LK 2 (Kombination mit Wind, Leeseite):  
 $A_{v,LK2,d} = 1,35 * LF 1 + 1,50 * (LF 3 + LF 5)$   
 $= 1,35 * 13,4 + 1,50 * (14,31 + 11,3) = 56,51 \text{ kN}$

LF 3 und LF 5 haben die gleich Ursache (Wind) und wirken somit immer gleichzeitig und in voller Größe.

- LK 3 (Kombination mit Wind, Luvseite):  
 $A_{v,LK3,d} = 1,35 * LF 1 + 1,50 * (LF 3 + LF 5)$   
 $= 1,35 * 13,4 + 1,50 * (-14,31 + (-11,13)) = -20 \text{ kN}$

- Maßgebende horizontale Einwirkungen (rechtwinkelig zur Brücke):  
 $A_{w,hr,d} = 1,77 \text{ kN}$   
 $A_{v,hr,d} = 2,44 \text{ kN}$   
 $A_{y,wh,k} = 11,13 \text{ kN}$

50

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Maßgebende horizontale Einwirkungen (parallel zur Brücke):</u>  <math display="block">A_{q, hp, d} = 1,50 \cdot F_{L, Q, K}</math> <math display="block">= 1,50 \cdot 3,75 = 5,6 \text{ kN}</math> </li>   <li>• <u>Berechnung der Lagerverschiebungen:</u> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Lagerverschiebungen:                      Die Lagerverschiebungswege in Längs- und Querrichtung sind aufgrund der vorhandenen Geometrie und der geringen Temperaturdehnzahl von Holz gering und können von der gewählten Auflagerung aufgenommen werden.                 </li> <li>2) Lagerverdrehungen:                      Infolge der Brückendurchbiegung entsteht ein Lagerdrehwinkel, der aufzunehmen ist.                 </li> </ol> </li> </ul> $\varphi = 3,2 \cdot \frac{w}{l} \cdot 1000$ <p style="margin-left: 40px;"><i>w</i> maximale vertikale Verformung [cm] <i>l</i> Spannweite des Hauptträgers [cm]</p> $\varphi = 3,2 \cdot 1,21 / 1000 \cdot 1000$ $= 3,872 \text{ mrad}$	<p><b><u>Bemessung:</u></b>                      Die Auflagerung erfolgt über ein Stahlprofil mit aufgeschweißter Kopfplatte und einem aufgeschweißten Schlitzblech.  <u>gewählt:</u></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p><b>Stahlprofil HEA 120</b>  <b>Kopfplatte b / l = 160 / 220 mm, t = 15 mm</b>  <b>Fußplatte b / l = 150 / 150 mm, t = 15 mm</b>  <b>Schlitzblech b / h = 150 / 130 mm, t = 10 mm</b>  <b>S 235</b></p> </div>
---	---

51

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Anschluss Hauptträger/ Schlitzblech:</u>                      Zur Einleitung der horizontalen und abhebenden Kräfte in das Stahlprofil wird ein Schlitzblech mit 2 Passbolzen angeordnet.  <u>gewählt:</u> </li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0; text-align: center;"> <p><b>2 Passbolzen, d = 16 mm</b>  <b>Festigkeitsklasse 4.6</b></p> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nachweis der Passbolzen für LK3 (abhebende Auflagerkraft aus Wind):  <math display="block">A_{V, LK3, d} = -20 \text{ kN}</math> <math display="block">\alpha = 90^\circ</math> </li> </ul> <p><u>Ermittlung der aufnehmbaren Passbolzenkraft:</u>                      Charakteristischer Wert des Fließmomentes <math>M_{y, k}</math>:</p> $M_{y, k} = 0,30 \cdot f_{u, k} \cdot d^{2,6}$ $= 0,30 \cdot 400 \cdot 16^{2,6} = 162141,1 \text{ Nmm}$	<p>Lochleibungsfestigkeit <math>f_{h, k}</math> (Hauptträger):</p> $f_{h, \alpha, k} = f_{h, \alpha, k} / (k_{90} \cdot \sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha))$ $f_{h, \alpha, k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot d_{90}$ $= 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 410 = 27,55 \text{ N/mm}^2$ $k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d$ $= 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$ $f_{h, 90, k} = 29,59 / ((1,53 \cdot \sin^2(90) + \cos^2(90))) = 19,34 \text{ N/mm}^2$ <p>Mindestholzdicke:  <math>(0,5 \cdot d = 8 \text{ mm} &lt; t_s = 10 \text{ mm} &lt; d = 16 \text{ mm})</math></p> $t_{req} = 4,60 \cdot (M_{y, k} / (f_{h, 90, k} \cdot d))^{0,5}$ $= 4,60 \cdot (162141,1 / (19,34 \cdot 16))^{0,5} = 105 \text{ mm}$ <p>→ Es ist keine Abminderung aufgrund des Mindestholzdicken erforderlich.</p> <p>Faktoren <math>k_1</math> und <math>k_2</math>:  <math>k_1 = 2^{0,5}</math></p>
--	--

52

<p> <math>k_2 = t_1 / t_{req} \leq 1,0</math>  <math>t_1 \cong 220 \text{ mm}</math> (Restbreite des Hauptträgers)  <math>k_2 = 220 / 71 = 3,1 \leq 1,0!</math>  <math>= 1,0</math> </p> <p><b>Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit eines Passbolzens:</b></p> $R_{PB,k} = k_1 * k_2 * (2 * M_{y,k} * f_{h,90,k} * d)^{0,5}$ $= 2^{0,5} * 1,0 * (2 * 162141,1 * 19,34 * 16)^{0,5}$ $= 14166,6 \text{ N}$ <p><b>Ermittlung von <math>\Delta R_k</math>:</b></p> $\Delta R_k = \min[0,25 * R_{PB,k}; 0,25 * R_{ax,k}]$ <p> <math>A_{ef} = 5852 \text{ mm}^2</math>                  Beiwert <math>k_{c,90} = 1,0</math> </p> $R_{ax,k} = A_{ef} * f_{c,90,k}$ $= 5852 * 3,0 = 17556 \text{ N} > 14166,6 \text{ N} = R_{PB,k}$ $\Delta R_k = 0,25 * 14166,6 = 3541,7 \text{ N}$	<p><b>Ermittlung des Bemessungswertes für einen Passbolzen:</b></p> $R_{PB,d} = (R_{BP,k} + \Delta R_k) * k_{mod} / 1,1$ $= (14166,6 + 3541,7) * 0,70 / 1,1 = 11268,9 \text{ N} = 11,3 \text{ kN}$ <p><b>Nachweis der Verbindung:</b></p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> <math display="block">\eta = A_{v,LK3,d} / n * R_{PB,d}</math> <math display="block">= 20 / (2 * 11,3) = 0,88 &lt; 1,0</math> </div> <p>Zur Übertragung der Zugkraft zum oberen Hauptträgerkante und zur konstruktiven Quersugsicherung werden am Auflager 2 Gewindestangen Durchmesser <math>d=16 \text{ mm}</math> über die gesamte Trägerhöhe eingeschraubt.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Nachweis der Passbolzen für <math>A_{q,hp,d}</math> (horizontale Auflagerkraft, parallel zur Brücke aus Verkehr):</b></li> </ul> $A_{q,hp,d} = 14,6 \text{ kN}$ $\alpha = 0^\circ$
---	---

53

<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Ermittlung der aufnehmbaren Passbolzenkraft:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Charakteristischer Wert des Fließmomentes <math>M_{y,k}</math>:  <math>M_{y,k} = 162141,1 \text{ Nmm}</math></li> <li>Lochleibungsfestigkeit <math>f_{h,k}</math> (Hauptträger):  <math>f_{h,o,k} = 27,55 \text{ N/mm}^2</math></li> <li>Mindestholzdicke:                      → Es ist keine Abminderung aufgrund der Mindestholzdicke erforderlich.</li> <li>Faktoren <math>k_1</math> und <math>k_2</math>:  <math>k_1 = 2^{0,5}</math>  <math>k_2 = 1,0</math></li> <li>Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit eines Passbolzens:  <math display="block">R_{PB,k} = k_1 * k_2 * \sqrt{2 * M_{y,k} * f_{h,90,k} * d}</math> <math display="block">= 2^{0,5} * 1,0 * \sqrt{2 * 162141,1 * 27,55 * 16}</math> <math display="block">= 16908,2 \text{ N}</math></li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ermittlung von <math>\Delta R_k</math>:  <math display="block">\Delta R_k = 0,25 * 16908,2 = 4227,1 \text{ N}</math></li> <li>Ermittlung des Bemessungswertes für einen Passbolzen:  <math display="block">R_{PB,d} = (R_{BP,k} + \Delta R_k) * k_{mod} / 1,1</math> <math display="block">= (16908,2 + 4227,1) * 0,70 / 1,1 = 13449,7 \text{ N}</math> <math display="block">= 13,5 \text{ kN}</math></li> <li><b>Nachweis der Verbindung:</b></li> </ul> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> <math display="block">\eta = A_{q,hp,d} / n * R_{PB,d} = 14,6 / (2 * 13,5) = 0,55 &lt; 1,0</math> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Nachweis der Holzpressung bzw. des Schlitzbleches für <math>A_{v,hr,d}</math> (horizontale Auflagerkraft rechtwinklig zur Brücke aus Verkehr):</b>                      Die aufzunehmenden Kräfte werden direkt über Druckkontakt mit dem Schlitzblech übertragen. Ein aufreißen des Querschnitts wird durch die angeordneten Passbolzen verhindert.                 </li> </ul>
--	--

54

<ul style="list-style-type: none"> <li> <b><u>Nachweis der Holzpressung:</u></b>  <math>f_{c,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2</math>  <math>k_{mod} = 0,70</math> (für KLED kurz und NKL 3)   <math>A_{ef} = (150 + 2 * 30) * 20 = 4200 \text{ mm}^2</math>  <math>k_{c,90} = 1,25</math>   <math>\sigma_{c,90,d} = A_{v,hr,d} * 10^3 / A_{ef}</math>  <math>= 2,44 * 10^3 / 4200 = 0,58 \text{ N/mm}^2</math>   <math>f_{c,90,d} = k_{mod} * f_{c,90,k} / \gamma_M</math>  <math>= 0,70 * 3,0 / 1,30 = 1,62 \text{ N/mm}^2</math>   <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> <math>\eta = \sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} * f_{c,90,d})</math>  <math>= 0,58 / (1,25 * 1,62) = 0,28 &lt; 1,0</math> </div>                       Weitere Nachweise für den Hauptträger bzw. das Schlitzblech sind entbehrlich.                 </li> <li> <b><u>Anschluss Schlitzblech/ Kopfplatte:</u></b>                      Das Schlitzblech wird über eine Verschweißung (HV-Naht) an die Kopfplatte angeschlossen. Weitere Nachweise sind entbehrlich.                 </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> <b><u>Anschluss Hauptträger/ Kopfplatte:</u></b>                      Der vertikalen Auflagerkräfte (ausgenommen der abhebenden) werden über Druckkontakt auf die Kopfplatte übertragen.  <math>f_{c,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2</math>  <math>k_{mod} = 0,70</math> (für KLED kurz und NKL 3)   <math>A_{ef} = (220 + 2 * 30) * 160 = 44800 \text{ mm}^2</math>   <b>Pressungsart: Auflagerdruck</b>                      Beiwert <math>k_{c,90} = 1,75</math>  <math>\sigma_{c,90,d} = A_{v,LK1,d} * 10^3 / A_{ef}</math>  <math>= 57,57 * 10^3 / 44800 = 1,28 \text{ N/mm}^2</math>   <math>f_{c,90,d} = k_{mod} * f_{c,90,k} / \gamma_M</math>  <math>= 0,70 * 3,0 / 1,30 = 1,62 \text{ N/mm}^2</math>   <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> <math>\eta = \sigma_{c,90,d} / (k_{c,90} * f_{c,90,d})</math>  <math>= 1,28 / (1,75 * 1,62) = 0,45 &lt; 1,0</math> </div>   <li> <b><u>Anschluss Kopfplatte/ Stahlprofil:</u></b>                      Die Kopfplatte wird mit einer umlaufenden Kehlnaht <math>a=3 \text{ mm}</math> an das Stahlprofil geschweißt.                 </li> </li></ul>
---	---

55

<ul style="list-style-type: none"> <li> <b><u>Anschluss Stahlprofil/ Widerlager:</u></b>                       Um eine Einspannung zu realisieren, wird das Stahlprofil in eine Aussparung im Widerlager einbetoniert (Hülsenfundament). Am Fuß des Stahlprofils wird eine Fußplatte angeordnet, um die vertikalen Auflagerkräfte über Druck abgeben zu können. Die Fußplatte wird mit einer umlaufenden Kehlnaht <math>a = 3 \text{ mm}</math> an das Stahlprofil angeschlossen.                       Auf Höhe der oberen Bewehrung des Widerlagers wird im Stahlprofil konstruktiv beidseitig eine Steife <math>t = 8 \text{ mm}</math> mit einer umlaufenden Kehlnaht <math>a = 3 \text{ mm}</math> angeordnet.                       Es wird ein Beton der Festigkeitsklasse <b>C 30 / 37</b> mit zul. <math>\sigma_B = f_{cd} = 0,85 * 30 / 1,5 = 17 \text{ N/mm}^2</math> vorausgesetzt.                 </li> </ul>	<p><b><u>Maßgebende Lastsituationen (LS):</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> <b><u>LS1: Biegung um y-Achse:</u></b>  <math>N_d = A_{v,LK1,d} = 57,57 \text{ kN}</math>  <math>V_{z,d} = A_{q,hp,d} = 14,6 \text{ kN}</math>  <b>Versatzmoment:</b>  <math>M_{y,d} = e * V_{z,d}</math>  <math>= 0,15 * 14,6 = 2,19 \text{ kNm}</math> </li> <li> <b><u>LS1: Biegung um z-Achse:</u></b>  <math>N_d = A_{v,LK1,d} = 106,4 \text{ kN}</math>  <math>V_{y,d} = A_{v,hr,d} = 6,54 \text{ kN}</math>  <b>Versatzmoment:</b>  <math>M_{z,d} = e * V_{y,d}</math>  <math>= 0,15 * 6,54 = 0,98 \text{ kNm}</math> </li> </ul>
---	--

56

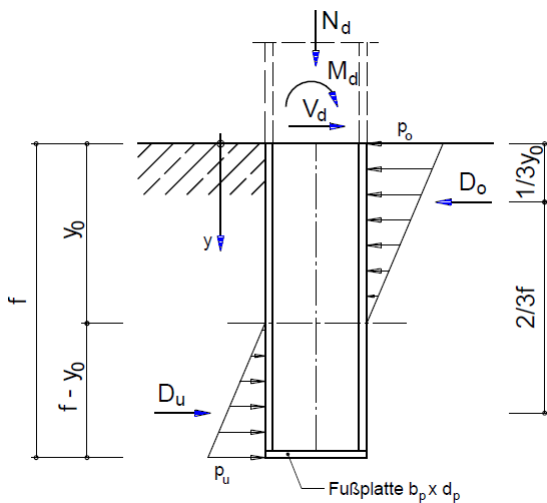
**Nachweis des Stahlprofils:**

Nachgewiesen wird LS 1, die Belastungen aus LS 2 können ohne weiteres von den gewählten Querschnitten aufgenommen werden.

Der Nachweis des Stahlprofils erfolgt mittels EDV-Berechnung. Die Ergebnisse der EDV-Berechnung sind nachfolgend angegeben.

57

**Stützeinspannung im Köcherfundament**



**Eingabedaten:**

- Material/ Querschnitte/ Geometrie:

Stahl =	S235
Beton =	C30/37
Stahlprofil:	
Typ1 =	HEA
Nennhöhe NH1 =	120
Fußplatte:	
Breite $b_p$ =	15,00 cm
Dicke $d_p$ =	1,50 cm

- Einwirkungen:

Bemessungswerte der Schnittgrößen (Index "d")	
Normalkraft $N_d$ =	106,40 kN
Querkraft $V_d$ =	14,60 kN
Biegemoment $M_d$ =	2,19 kN

58

<p><b>Randbedingungen und Vorwerte der Berechnung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Materialkennwerte:</b> <p>Stahl:  <math>f_{y,k} = 24,00 \text{ kN/cm}^2</math>  <math>\gamma_M = 1,10</math>  <math>N_{c,Rd} = (A * f_{y,k}) / \gamma_M = 552 \text{ kN}</math>  <math>M_{c,Rd} = (W_y * f_{y,k}) / \gamma_M = 2312,7 \text{ kN}</math>  <math>\tau_{c,Rd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M * \sqrt{3}} = 12,60 \text{ kN/cm}^2</math>                      Beiwert <math>\alpha_w = 0,95</math></p> <p>Beton:  <math>\beta_{Rd} = 1,70 \text{ kN/cm}^2</math></p> </li> <li><b>Querschnittswerte:</b> <p>Stütze:  <math>h = 11,40 \text{ cm}</math>  <math>b = 12,00 \text{ cm}</math>  <math>t = 0,80 \text{ cm}</math>  <math>s = 0,50 \text{ cm}</math>  <math>r = 1,20 \text{ cm}</math>  <math>I_y = 606,00 \text{ cm}^4</math>  <math>W_y = 106,00 \text{ cm}^3</math>  <math>A = 25,30 \text{ cm}^2</math></p> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Pressungsverteilung:</b> <math display="block">y_0 = \frac{M_d * 100 + 2 * V_d * \frac{f}{3}}{0,5 * f * \frac{f}{2}} = 14,39 \text{ cm}</math> <math display="block">D_u = \frac{M_d * 100 + V_d * \frac{y_0}{3}}{1,5 * f} = 17,34 \text{ kN}</math> <math display="block">D_o = D_u + V_d = 31,94 \text{ kN}</math> <math display="block">p_o = \frac{2 * D_o}{b * y_0} = 0,370 \text{ kN/cm}^2</math> <math display="block">p_u = \frac{2 * D_u}{b *  f - y_0 } = 0,272 \text{ kN/cm}^2</math> <p>– <b>Nachweis der Betonpressung:</b></p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> <math>\frac{p_o}{\beta_{Rd}} = 0,218 &lt; 1,0</math> </div> </li> </ul>
---	---

59

<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Nachweis der Stütze innerhalb der Köchers:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Querkraftfunktion:</b> <math display="block">V_d(y) = V_d - 0,5 * b * (p_o - p(y)) * y; \quad p(y) = p_o - p_o * y / y_0</math> <math display="block">\max V_d = V_d(y_0) = D_u</math> <math display="block">\text{Nullstelle: } y_N = y_0 - \sqrt{y_0^2 - 2 * y_0 * V_d / (p_o * b)}</math> <math display="block">\max V_d = D_u = 17,34 \text{ kN}</math> <math display="block">y_N = y_0 * \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * V_d}{p_o * b * y_0}} \right] = 3,79 \text{ cm}</math> </li> <li>– <b>Schubspannung:</b> <math display="block">V_{Ed} = \max V_d = 17,34 \text{ kN}</math> <math display="block">\tau_d = \frac{V_{Ed} * S_y}{I_y * s} = \frac{17,34 * 83,2}{1320 * 5,3} = 2,06 \text{ kN/cm}^2</math> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> <math>\eta = \frac{\tau_d}{f_{y,k} / (3^{0,5} * \gamma_M)} = \frac{2,06}{24,0 / (3^{0,5} * 1,10)} = 0,16 &lt; 1,0</math> </div> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Momentenfunktion:</b> <math display="block">M_d(y) = M_d * 100 + V_d * y - (p_o + 0,5 * p(y)) * b * y^2 / 3; \quad p(y) = p_o - p_o * y / y_0</math> <math display="block">M_d(y) = M_d * 100 + V_d * y - 0,5 * p_o * b * (3 - y / y_0) * y^2 / 3</math> <math display="block">\max M_d = M_d(y_N)</math> <math display="block">M_1 = M(y_0)</math> <math display="block">\max M_d = M_d * 100 + V_d * y_N - 0,5 * p_o * b * \left[ 3 - \frac{y_N}{y_0} \right] * \frac{y_N^2}{3}</math> <math display="block">\max M_d = 245,25 \text{ kNcm}</math> <math display="block">M_1 = M_d * 100 + V_d * y_0 - 0,5 * p_o * b * \left[ 3 - \frac{y_0}{y_0} \right] * \frac{y_0^2}{3}</math> <math display="block">M_1 = 122,63 \text{ kNcm}</math> </li> <li>– <b>Normalspannung:</b> <math display="block">N_{Ed} = 106,4 \text{ kN}</math> <math display="block">M_{Ed} = \max M_d = 225,25 \text{ kNcm}</math> <math display="block">N_{c,Rd} = (A * f_{y,k}) / \gamma_M = (25,3 * 24) / 1,10 = 552 \text{ kN}</math> <math display="block">M_{c,Rd} = (W_y * f_{y,k}) / \gamma_M = (106 * 24) / 1,10 = 2312,7 \text{ kN}</math> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> <math>\eta = \frac{N_{Ed} / N_{c,Rd} + M_{Ed} / M_{c,Rd}}{1} = \frac{106,4 / 552 + 225,25 / 2312,72}{1} = 0,29 &lt; 1,0</math> </div> </li> </ul>
--	---

60

- Nachweis der Fußplatte:

- Betonpressung:

$$h_p = h = 11,40 \text{ cm}$$

$$A_N = h_p \cdot b_p = 171,00 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{N_d}{A_N} = 0,622 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_b}{\beta_{Rd}} = \underline{0,366 < 1,0}$$

Die erforderliche Fußplattendicke wird vereinfacht mit dem Balkenmodell ermittelt!

$$\alpha = \frac{h_p}{b_p} = 0,760$$

$$m = \text{WENN}(\alpha > 1,25; 0,866; 0,707 \cdot \alpha) = 0,537$$

$$\text{erf. } d_p = m \cdot b_p \cdot \sqrt{\frac{\sigma_b}{\sigma_{Rd}}} = 1,36 \text{ cm}$$

$$\frac{\text{erf. } d_p}{d_p} = \underline{0,907 < 1,0}$$