

Entwurf einer Geh- und Radwegbrücke aus Holz  
über einen Flußlauf

Steffen Macke  
Maik Demlang

13. April 2000

**(Spätere Abgabe nach Absprache mit Prof. Eilering)**

**Eingangsstempel:**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Baubeschreibung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Materialien</b>	<b>2</b>
2.1	Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS 11 . . . . .	2
2.2	Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS 14 . . . . .	2
2.3	Vollholz aus NH der Sortierklasse S10 . . . . .	3
2.4	Baustahl St37-2 . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Positionsplan</b>	<b>3</b>
3.1	Position 1: Tragschicht . . . . .	3
3.2	Position 2: Rutschsicherungsbelag . . . . .	3
3.3	Position 3: Hauptträger . . . . .	3
3.4	Position 4: Diffusionsoffene Papplage . . . . .	3
3.5	Position 5: Schalung als Wetterschutz . . . . .	3
3.6	Position 6: Blechabdeckung . . . . .	3
3.7	Position 7: Abstandshalter . . . . .	3
3.8	Position 8: Verbindung Tragschicht - Stahlrahmen . . . . .	3
3.9	Position 9: Querrahmen . . . . .	4
3.10	Position 10: Anschluß der Querrahmen an die Hauptträger . . . . .	4
3.11	Position 11: Rippe, Eingeschweisste Querrahmengurtverlängerung . . . . .	4
3.12	Position 12: Vertikales Auflager . . . . .	4
3.13	Position 13: Stahlkonstruktion zur Verhinderung der Auflager- verschiebung . . . . .	4
3.14	Position 14: Endrahmen . . . . .	4
3.15	Position 15: Stahlbetonstütze (Vertikales Auflager) . . . . .	4
3.16	Position 16: Stahlbetonkonsole (Horizontales Lager) . . . . .	4
3.17	Position 17: Paßblech . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Tragsicherheit</b>	<b>5</b>
4.1	Pos. 1: Tragschicht . . . . .	5
4.2	Pos. 9: Querrahmen . . . . .	6
4.3	Pos. 3: Hauptträger . . . . .	12
4.4	Pos. 10: Anschluß der Querrahmen an die Hauptträger . . . . .	13
4.5	Pos. 8: Anschluß der Querrahmen an die Tragschicht . . . . .	13
4.6	Auflager der Hauptträger . . . . .	13
4.7	Pos. 14: Endrahmen . . . . .	13
4.8	Pos. 7: Abstandshalter . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Gebrauchstauglichkeit</b>	<b>14</b>
5.1	Pos. 1: Tragschicht . . . . .	14
5.2	Pos. 9: Querrahmen . . . . .	14
5.3	Pos. 3: Hauptträger . . . . .	15
5.4	Verbandsdurchbiegung . . . . .	15

<b>6 Konstruktiv</b>	<b>15</b>
6.1 Überhöhung der Hauptträger . . . . .	15
6.2 Entwässerung . . . . .	16
6.3 Pos. 12: GUMBA-Lager . . . . .	16
6.4 Schwinden und Quellen . . . . .	16
6.5 Pos. 16/17: Horizontale Lagerung . . . . .	17
6.6 Sicherung gegen Abheben . . . . .	17

## 1 Baubeschreibung

Im der Speicherstadt des Hamburger Hafens ist eine Geh- und Radwegbrücke aus Holz geplant. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten erfolgt der Antransport der vormontierten Brücke per Schiff. Die Brücke stellt eine Verbindung zwischen einem Gebäude und einem Parkdeck her. Die lichte Weite beträgt 22.5 m, die Brücke liegt 25 über dem mittlerem Tiedehochwasserspiegel. Genutzt wird die Brücke durch Fußgänger und Radfahrer (Probefahrten eines Fahrradgeschäftes). Das System ist ein statisch bestimmter Einfeldträger. Die untenliegende Tragschicht besteht aus Brettschichtholz, auf dem ein Rutschsicherungsbelag aus Epoxdharz und Sand aufgetragen wird. Über 11 Stahlrahmen ist die Tragschicht mit den beiden Hauptträgern aus Brettschichtholz verbunden, die gleichzeitig das Gelände bilden. Durch eine Schalung sind die Hauptträger allseitig vor Bewitterung geschützt. In den Auflagern werden die Vertikallasten über Elastomerlager in die Stahlbetondecken der Gebäude eingeleitet. Die Horizontallasten werden von den Endrahmen in Stahlbetonkonsolen eingetragen.

## 2 Materialien

### 2.1 Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS 11

Das Eigengewicht von  $5kN/m^3$  wird um 10% erhöht, da die Brückenteile der Witterung ausgesetzt sind. Ebenso werden die zulässigen Spannungen um 1/6 verringert.

$$\begin{aligned}
zul\sigma_B &= \frac{5}{6} \cdot 11 \frac{MN}{m^2} = 9.166 \frac{MN}{m^2} \\
zulr_Q &= \frac{5}{6} \cdot 1,2 \frac{MN}{m^2} = 1 \frac{MN}{m^2} \\
E_{||} &= \frac{5}{6} \cdot 11000 \frac{MN}{m^2} = 9166 \frac{MN}{m^2} \\
G &= \frac{5}{6} \cdot 550 \frac{MN}{m^2} = 458 \frac{MN}{m^2}
\end{aligned}$$

### 2.2 Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS 14

Der Hauptträger ist durch eine hinterlüftete Schalung vor Witterungseinflüssen geschützt. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die Holzfeuchte höchstens kurzfristig den Wert von 18% überschreitet. Eine Abminderung der Materialkennwerte ist nicht erforderlich.

$$\begin{aligned}
\gamma &= 5kN/m^3 \\
zul\sigma_B &= 14 \frac{MN}{m^2}
\end{aligned}$$

$$zul\tau_Q = 1,2 \frac{MN}{m^2}$$

$$E_{||} = 11000 \frac{MN}{m^2}$$

### 2.3 Vollholz aus NH der Sortierklasse S10

Die zulässigen Spannungen sind um 1/6 zu verringern, da die Abstandshalter der Witterung ausgesetzt sind.

$$zul\sigma_{D\perp} = \frac{5}{6} \cdot 2 = 1,66 \frac{MN}{m^2}$$

### 2.4 Baustahl St37-2

$$f_{y,k} = 240 \frac{N}{mm^2}$$

Als Korrosionsschutz sind Feuerverzinkung und Kunststoffbeschichtung (Duplex-System) vorzusehen.

## 3 Positionsplan

### 3.1 Position 1: Tragschicht

Die Tragschicht besteht aus Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS14. Es werden 2 cm der Tragschicht als Verschleißschicht angesetzt. Die statisch wirksame Höhe beträgt somit 8 cm.

### 3.2 Position 2: Rutsicherungsbelag

Expoxydharz mit Quarzsand

### 3.3 Position 3: Hauptträger

Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS14.

### 3.4 Position 4: Diffusionsoffene Papplage

Dicke 1 cm

### 3.5 Position 5: Schalung als Wetterschutz

Vollholz aus NH, Sortierklasse 10, Nut- und Feder, Dicke 1,5 cm

### 3.6 Position 6: Blechabdeckung

Edelstahl, Rostfrei

### 3.7 Position 7: Abstandshalter

Vollholz aus NH, Sortierklasse 10

### **3.8 Position 8: Verbindung Tragschicht - Stahlrahmen**

Sechskant-Holzschrauben  $\varnothing 16$  nach DIN 571

### **3.9 Position 9: Querrahmen**

IPEa 200, St37

$$A = 23.5 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 1590 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 162 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_M = 1.1$$

$$g = 0.184 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s = 4.5 \text{ mm}$$

$$t = 7 \text{ mm}$$

### **3.10 Position 10: Anschluß der Querrahmen an die Hauptträger**

Paßbolzen  $\varnothing 16$ , St 37-2

### **3.11 Position 11: Rippe, Eingeschweisste Querrahmen-gurtverlängerung**

St 37-2, Dicke 7 mm

### **3.12 Position 12: Vertikales Auflager**

Elastomerlager der Marke GUMBA NOFRI

### **3.13 Position 13: Stahlkonstruktion zur Verhinderung der Auflagerverschiebung**

### **3.14 Position 14: Endrahmen**

IPEa 200, St 37-2

### **3.15 Position 15: Stahlbetonstütze (Vertikales Auflager)**

nicht nachgewiesen

### **3.16 Position 16: Stahlbetonkonsole (Horizontales Lager)**

nicht nachgewiesen

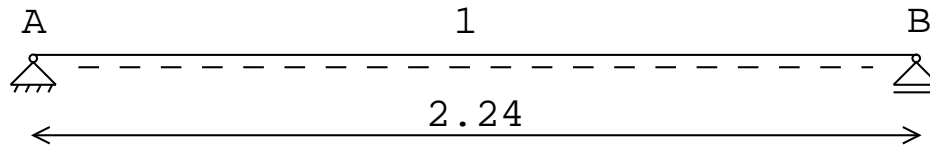
### **3.17 Position 17: Paßblech**

St 37-2, Dicke aus Vermessung nach Betonieren

## 4 Tragsicherheit

### 4.1 Pos. 1: Tragschicht

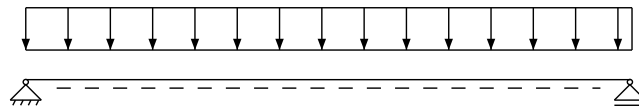
#### System



Das System ist statisch bestimmt: Balken auf zwei Stützen.

$$l = l_{\text{licht}} + 0.10\text{m} = 2.24\text{m}$$

#### Belastung



Eigengewicht (inklusive Verschleißschicht) pro m Tragschicht:

$$g = 5.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 3\text{m} \cdot 0.10\text{m} \cdot 1\text{m} = 1.65\text{kN}$$

Verkehrs-Regellast nach DIN 1074 pro m Tragschicht:

$$p = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3\text{m} \cdot 1\text{m} = 15\text{kN}$$

Gesamtlast pro m Tragschicht:

$$q = g + p = 16.65\text{kN}$$

#### Spannungsnachweise

doppelachsige Biegung

$$\frac{\frac{M_y}{W_y} + \frac{M_z}{W_z}}{z_{\text{uB}} \sigma_B} \leq 1$$

$$M_y = \frac{q \cdot l^2}{8} = 10.44\text{kNm}$$

$$W_y = \frac{b \cdot d^2}{6} = \frac{300 \cdot 8^2}{6} = 3200\text{cm}^3$$

$$M_z = \frac{3 \cdot 22 \cdot 22 \cdot 5^2}{8} = 203\text{kNm}^1$$

$$W_z = \frac{300^2 \cdot 8}{6} = 120000\text{cm}^3$$

$$\frac{\frac{10.44\text{kNm}}{3200\text{cm}^3} + \frac{203\text{kNm}}{120000\text{cm}^3}}{9166 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} = 0.54 < 1$$

Schub aus Querkraft

$$\frac{\tau_Q}{z_{\text{uB}} \tau_Q} \leq 1$$

$$Q = \frac{16.65 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 2.24\text{m}}{2} = 18.65\text{kN}$$

<sup>1</sup>Aus Verbandsberechnung

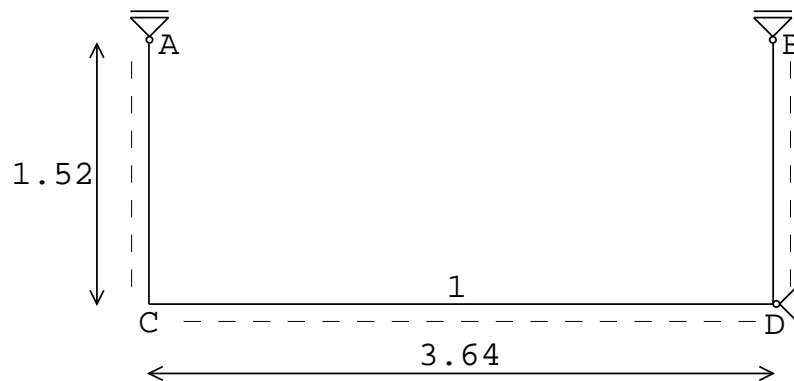
$$\tau_Q = 1.5 \frac{Q}{b \cdot h} = 1.5 \frac{18.65 \text{ kN}}{3 \text{ m} \cdot 0.08 \text{ m}} = 116.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\frac{116.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{1000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} = 0.12 < 1$$

## 4.2 Pos. 9: Querrahmen

Der Rahmenabstand  $e$  beträgt 2.24 m.

System



Eigengewicht

$$g_{\text{Tragschicht}} = 1.65 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 2.24 \text{ m} = 3.696 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{\text{Rahmenriegel}} = 0.184 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3.64 \text{ m} = 0.670 \text{ kN}$$

$$g_{\text{Stiel}} = 0.184 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.52 \text{ m} = 0.280 \text{ kN}$$

$$A_g = 0.280 + \frac{3.696 + 0.670}{2} = 2.459 \text{ kN}$$

$$M_{1,g} = \frac{\left( \frac{3.696 + 0.670}{3.64} \right) \cdot 3.64^2}{8} = 2.345 \text{ kNm}^2$$

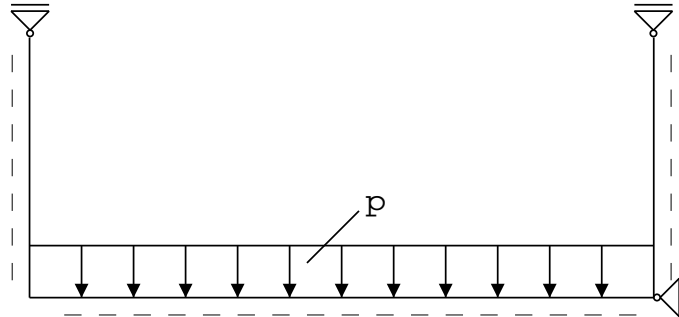
$$Q_{1,g} = 0$$

$$Q_{C, \text{Stiel}, g} = 0$$

$$M_{C, g} = 0$$

<sup>2</sup>Auf der sicheren Seite liegende Näherung

### Verkehrslast aus Tragschicht



$$p = 5.00 \frac{kN}{m^2} \cdot 2.24m \cdot \frac{3.00m}{3.64m} = 9.23 \frac{kN}{m}$$

$$A_p = \frac{5 \cdot 3 \cdot 2.24}{2} = 16.8 kN$$

$$M_{1,p} = \frac{5 \cdot 2.24 \cdot 3.64^2}{8} = 18.549 kNm^3$$

$$Q_{1,g} = 0$$

$$Q_{C,Stiel,g} = 0$$

$$M_{C,g} = 0$$

### Windlast aus Hauptträger, Lastfall H



$$q_w = 2.1 \frac{kN}{m^2}$$

$$w = 2.24 \cdot 1.4 \cdot 2.1 = 6.586 kN$$

$$h_w = 0.10 + 0.02 + \frac{1 \cdot 40}{2} = 0.82m$$

$$Q_{C,w,Stiel} = 2.1 \cdot 2.24 \cdot 1.40 = 6.586 kN$$

$$M_{C,w} = Q_{C,w,Stiel} \cdot h_w = 5.434 kNm$$

$$M_{1,w} = \frac{M_C}{2} = 2.700 kNm$$

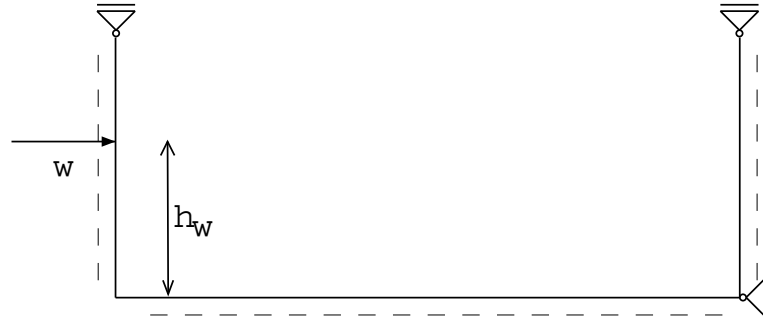
$$A_w = \frac{w \cdot h_w}{3.64} = 1.48 kN$$

$$Q_{1,w} = -1.48 kN$$

<sup>3</sup>Auf der sicheren Seite liegende Näherung



### Windlast aus Hauptträger, Lastfall HZ



$$\begin{aligned}
 qw &= 1.1 \frac{kN}{m^2} \\
 w &= 2.24 \cdot 1.4 \cdot 1.1 = 3.450 kN \\
 h_w &= 0.10 + 0.02 + \frac{1.40}{2} = 0.82 m \\
 Q_{C,w,Stiel} &= 1.1 \cdot 2.24 \cdot 1.40 = 3.450 kN \\
 M_{C,w} &= Q_{C,w,Stiel} \cdot h_w = 2.829 kNm \\
 M_{1,w} &= \frac{M_C}{2} = 1.415 kNm \\
 A_w &= \frac{w \cdot h_w}{3.64} = 0.777 kN \\
 Q_{1,w} &= -0.777 kN
 \end{aligned}$$

### Seitliche Geländerlast



$$\begin{aligned}
 p &= \pm 0.80 \frac{kN}{m} \\
 Q_{C,Gel,Stiel} &= \pm 0.8 \cdot 2.24 = \pm 1.792 kN \\
 M_{C,Gel} &= \pm 0.8 \cdot 2.24 \cdot 1.52 = \pm 2.724 kNm \\
 M_{1,Gel} &= 2 \cdot \frac{M_{C,Gel}}{2} = \pm 2.724 kNm \\
 A_{Gel} &= \frac{2p \cdot 1.40}{3.64} = \pm 0.615 kN^4 \\
 Q_{1,Gel} &= \pm 0.615 kN
 \end{aligned}$$

<sup>4</sup>Wenn die Geländer in gleicher Richtung belastet werden

### Seitenlast aus Hauptträgern, Lastfall HZ



$$h_s = 0.10 + 0.02 + \frac{5}{6} \cdot 1.40 = 1.287m$$

Die Seitenlast ergibt sich wie folgt: <sup>5</sup>

$$q_s = \frac{m \cdot M_q}{350 \cdot l \cdot b} = \frac{2.638}{350 \cdot 23 \cdot 0.14} = 0.881 \frac{kN}{m}$$

$$Q_{C,S,Stiel} = 0.5 \cdot q_s \cdot 2.24 = 0.987kN$$

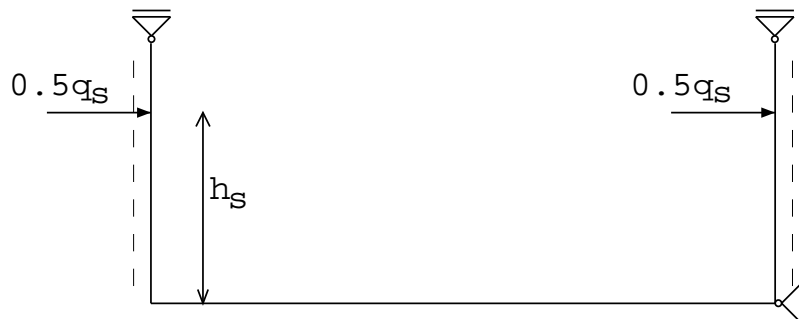
$$M_{C,S} = Q_{C,S,Stiel} \cdot h_s = 1.270kNm$$

$$M_{1,S} = 0kNm$$

$$A_S = \frac{q_s \cdot h_s}{3.64} = 0.311kN$$

$$Q_{1,S} = -0.311kN$$

### Seitenlast aus Hauptträgern, Lastfall H



$$h_s = 0.10 + 0.02 + \frac{5}{6} \cdot 1.40 = 1.287m$$

$$q_s = \frac{m \cdot M_q}{350 \cdot l \cdot b} = \frac{2.202}{350 \cdot 23 \cdot 0.18} = 0.278 \frac{kN}{m}$$

$$Q_{C,S,Stiel} = 0.5 \cdot q_s \cdot 2.24 = 0.31kN$$

$$M_{C,S} = Q_{C,S,Stiel} \cdot h_s = 0.4kNm$$

$$M_{1,S} = 0kNm$$

<sup>5</sup>Holzbau-Taschenbuch, Verlag Ernst & Sohn, 8. Auflage, S.194

<sup>6</sup>M aus dem Nachweis des Hauptträgers

$$A_S = \frac{q_S \cdot h_S}{3.64} = 0.098 \text{ kN}$$

$$Q_{1,S} = -0.098$$

### Lastkombinationen

Lastfall HZ: g+p+w

Lastfall H1: g+p(w)

Lastfall H2: g+p(TS)

	Lastfall H1	Lastfall H2	Lastfall HZ
$A$	4.0	20.0	21.0
$M_1$	5.1	23.6	25.0
$M_C$	5.8	3.1	6.8
$Q_1$	-1.6	-0.7	-1.7
$Q_{C,Stiel}$	6.9	2.1	6.2

### Normalspannung in Riegelmitte

Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch

b/t-Verhältnisse:

Steg:  $b/t = 35.3 < \text{grenz } (b/t)$

Flansch:  $b/t = 5.11 < \text{grenz } (b/t)$

Ein Nachweis der Beulsicherheit ist somit nicht notwendig.

$$N_d = 1.5 \cdot 6.9 = 10.4 \text{ kN}^7$$

$$M_{y,d} = 1.5 \cdot 23.6 = 35.4 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{pl,y}^* = 1.14$$

$$W_y = 162 \text{ cm}^3$$

$$A = 23.5 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_x = \frac{3540 \text{ kNcm}}{1.14 \cdot 162} + \frac{10.4}{23.5} = 19.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{R,d} = 21.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

### Schubspannung in Riegelmitte

$$\frac{A_{Gurt}}{A_{Steg}} = \frac{10 \cdot 0.7}{(10 - 0.7) \cdot 0.45} = 1.67 > 0.6$$

Damit darf nach DIN 18800 T1, Element 750 die Schubspannung als gleichmäßig über den Steg verteilt angenommen werden.

$$Q_d = 1.5 \cdot 1.6 = 2.4$$

$$\tau_d = \frac{2.4}{(10 - 0.7) \cdot 0.45} = 0.57 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{R,d} = 12.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Da die Beanspruchung kleiner als die halbe Beanspruchbarkeit ist, entfällt der Nachweis der Vergleichsspannung.

### Normalspannung am unteren Ende des Stieles

$$N_d = 1.5 \cdot 21 = 31.6 \text{ kN}$$

$$M_d = 1.5 \cdot 6.8 = 10.2 \text{ kN}$$

<sup>7</sup>Auf der sicheren Seite liegender Ansatz der Teilsicherheitsbeiwerte für den Tragsicherheitsnachweis nach DIN 18800

$$\sigma_x = \frac{1020 \text{ kNcm}}{1,14 \cdot 162} + \frac{31,6}{23,5} = 6,87 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{R,d} = 21,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Da die Beanspruchung kleiner als die halbe Beanspruchbarkeit ist, entfällt der Nachweis der Vergleichsspannung.

### Schubspannung am unteren Ende des Stieles

$$\frac{A_{Gurt}}{A_{Steg}} = \frac{10 \cdot 0,7}{(10 - 0,7) \cdot 0,45} = 1,67 > 0,6$$

Damit darf nach DIN 18800 T1, Element 750 die Schubspannung als gleichmäßig über den Steg verteilt angenommen werden.

$$Q_d = 1,5 \cdot 6,9 = 10,35 \text{ kN}$$

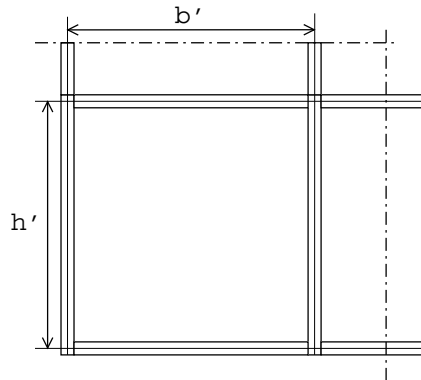
$$\tau_d = \frac{10,35}{(10 - 0,7) \cdot 0,45} = 2,47 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{R,d} = 12,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

### Rahmenecke

Die IPEa-Profile werden in den Rahmenecken stumpf gestoßen und verschweißt. Zusätzlich werden 2 Rippen (Pos. 11) zur Verlängerung der Riegeflansche in das Stielprofil geschweisst. Für den Anschluß oder Querstoß eines Walzprofils mit I-Querschnitt ist nach DIN 18800 kein weiterer Nachweis erforderlich, sofern die Schweißnahtdicken größer oder gleich der halben Steg- bzw. Flanschdicke sind.<sup>8</sup> Diese Bedingungen werden von der vorliegenden Konstruktion eingehalten.

### Schubspannung in der Rahmenecke

Es wird angenommen, daß sich die Schubkräfte gleichmäßig über die entsprechenden Breiten/Längen des Eckbleches verteilen.



$$M_d = 1,5 \cdot 682 = 1023 \text{ kNcm}$$

$$V_d = 1,5 \cdot 21 = 31,5 \text{ kN}$$

$$N_d = 1,5 \cdot 6,8 = 10,35 \text{ kN}$$

$$t = \frac{M_d}{h' \cdot b'} - 0,5 \left( \frac{V_d}{h'} + \frac{N_d}{b'} \right)$$

$$t = \frac{1023}{(20 - 0,7) \cdot (20 - 0,7)} - 0,5 \cdot \left( \frac{31,5}{20 - 0,7} + \frac{10,35}{20 - 0,7} \right) = 1,66 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$$

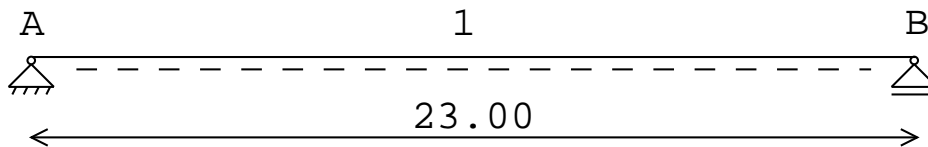
$$\tau_d = \frac{t}{s} = \frac{1,66}{0,45} = 3,68 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{R,d} = 12,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

<sup>8</sup>Schneider, Bautabellen für Ingenieure, 13. Auflage, Werner-Verlag, S. 8.69

### 4.3 Pos. 3: Hauptträger

Querschnittsschwächungen durch Verbindungsmittel müssen nicht berücksichtigt werden, da die Paßbolzen in der Druckzone liegen.

#### System



Betrachtet wird jeweils ein Träger, das System ist statisch bestimmt: Ein Balken auf zwei Stützen.

#### Eigengewicht

$$g_{\text{Haupttr\ae ger}} = 5.00 \cdot 1.40 \cdot 0.18 = 1.260 \frac{kN}{m}$$

$$g_{\text{Tragschicht}} = \frac{5.5 \cdot 0.10 \cdot 3 \cdot 22.5}{23 \cdot 2} = 0.807 \frac{kN}{m}$$

$$g_{\text{Rahmen}} = \frac{(2 \cdot 1.52 + 3.60) \cdot 0.184 \cdot 11}{23 \cdot 2} = 0.292 \frac{kN}{m}$$

$$g_{\text{Schalung}} = 0.69 \frac{kN}{m}$$

$$g = g_{\text{Haupttr\ae ger}} + g_{\text{Tragschicht}} + g_{\text{Rahmen}} + g_{\text{Schalung}} = 3.049 \frac{kN}{m}$$

$$M_g = \frac{g \cdot 23^2}{8} = 202 kNm$$

#### Verkehrslast

Die Verkehrs-Regellast beträgt nach DIN 1072 4.50 kN pro Quadratmeter.

$$p = \frac{4.5 \cdot 3 \cdot 22.5}{23 \cdot 2} = 6.603 \frac{kN}{m}$$

$$M_p = \frac{6.603 \cdot 23^2}{8} = 437 kNm$$

#### Gesamtlast

$$q = g + p = 9.66 \frac{kN}{m}$$

$$M_q = \frac{9.66 \cdot 23^2}{8} = 638 kNm$$

$$A = B = \frac{9.66 \cdot 23}{2} = 111 kN$$

#### Spannungsnachweise

Durchbiegung

$$W_y = \frac{18 \cdot 140^2}{6} = 58800 cm^3$$

$$\sigma_B = \frac{M_q}{W} = 10854 \frac{kN}{m^2} < zul \sigma_B = 14000 \frac{kN}{m^2}$$

Schubspannung

$$\tau = 1.5 \cdot \frac{9.66 \cdot 23}{2 \cdot 1.40 \cdot 0.18} = 661 \frac{kN}{m^2} < zul \tau = 1200 \frac{kN}{m^2}$$

## Kippen

Der erforderliche Aussteifungsabstand  $a$  errechnet sich wie folgt:<sup>9</sup>

$$a = \kappa \cdot \frac{\sqrt{E \cdot G}}{v_{orh} \sigma_B} \cdot \frac{b^2}{h} = 1.20 \cdot \frac{\sqrt{11000 \cdot 500}}{10.854} \cdot \frac{0.18^2}{1.3} = 6.47m$$

Der gewählte Abstand  $e$  der Querrahmen beträgt 2.24 m. Die Kippsicherheit ist somit gewährleistet.

### 4.4 Pos. 10: Anschluß der Querrahmen an die Hauptträger

Die zu übertragende Kraft  $N$  beträgt im Lastfall H 20 kN, der Lastfall HZ ist nicht maßgebend.

$\alpha = 90^\circ$ , einschnittige Verbindung Holz-Stahl

Paßbolzen  $d=16$  mm, zul  $N_{st} = 5.52$  kN,  $n = 4$ <sup>10</sup>

vorh  $N = 20$  kN < zul  $N = 22.1$  kN

Lochleibung

$$v_{orh} \sigma = \frac{V}{t \cdot d_{sch}} = \frac{\frac{20}{4}}{0.7 \cdot 1.6} = 4.46 \frac{kN}{cm^2} < zul \sigma = 21 \frac{kN}{cm^2}$$

### 4.5 Pos. 8: Anschluß der Querrahmen an die Tragschicht

Die zu übertragende Kraft  $N$  beträgt im Lastfall H 6.9 kN, der Lastfall HZ ist nicht maßgebend.

$\alpha = 90^\circ$ , einschnittige Verbindung Holz-Stahl

Sechskant-Holzschrauben nach DIN 571,  $\odot 16 \times 100$

$$zul N_1 = 0.75 \cdot 2.125 \cdot 16 \cdot 63 = 1606N$$

$n = 6$

$$zul N = 6 \cdot 1.6 = 9.6kN > v_{orh} N = 6.9kN$$

$2 \times 3 Sr \odot 16 \times 100 - DIN 571$

### 4.6 Auflager der Hauptträger

Die (vertikale) Auflagerkraft wird über Kontakt in die Gummilager eingetragen.

$$A = 111kN$$

$$l_A = 0.3m$$

$$v_{orh} \sigma_{D\perp} = \frac{0.111}{0.18 \cdot 0.3} = 2.05 \frac{MN}{m^2} < zul \sigma_{D\perp} = 2.5 \frac{MN}{m^2}$$

### 4.7 Pos. 14: Endrahmen

$2 \times 11 Sr \odot 16 \times 100 - DIN 571$

$$ef n = 10 + \frac{2}{3}(n - 10) = 10.66$$

$$zul N = 2 \cdot 10.66 \cdot 1.6 = 34.1kN > v_{orh} N = 33.1kN$$

<sup>9</sup>Holzbau-Taschenbuch, Verlag Ernst & Sohn, 8. Auflage, S.493

<sup>10</sup>Holzbau Handbuch Teil 2, Folge 1: Verbindungsmittel, Informationsdienst Holz, 11/96

## 4.8 Pos. 7: Abstandshalter

Die Abstandshalter zwischen Tragschicht und Querrahmen sollen die Kontaktfläche minimieren und dienen somit dem konstruktivem Holzschutz. Sie werden auf maximale Pressung bemessen.

$$V_1 = \frac{37.3}{6} = 6.22kN$$

$$A = 8 \cdot 5 = 40cm^2$$

$$vorh \sigma_{D \perp} = \frac{0.00622}{0.08 \cdot 0.05} = 1.56 \frac{MN}{m^2} < zul \sigma_{D \perp} = 1.66 \frac{MN}{m^2}$$

## 5 Gebrauchstauglichkeit

### 5.1 Pos. 1: Tragschicht

Die zulässige Durchbiegung beträgt 1/400 (DIN 1074).

#### Durchbiegung in Feldmitte unter Verkehrslast

$$I = \frac{b \cdot d^3}{12} = \frac{300 \cdot 8^3}{12} = 12800cm^4$$

$$f = \frac{5 \cdot p \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 1.5 \frac{kN}{m} \cdot (2.24m)^4}{384 \cdot 9166 \frac{MN}{m^2} \cdot 12800cm^4} = 4.19mm$$

$$zul f = 1/400 = 5.6mm > vorh f$$

#### Durchbiegung in Feldmitte unter Eigengewicht

$$I = \frac{b \cdot d^3}{12} = \frac{300 \cdot 5^3}{12} = 12800cm^4$$

$$f = \frac{5 \cdot g \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 1.65 \frac{kN}{m} \cdot (2.24m)^4}{384 \cdot 9166 \frac{MN}{m^2} \cdot 12800cm^4} = 0.46mm$$

$$zul f = 1/400 = 5.6mm > vorh f$$

### 5.2 Pos. 9: Querrahmen

Die zulässige Durchbiegung beträgt 1/400 (DIN 1074).

#### Durchbiegung in der Riegelmitte unter Eigengewicht

$$I_y = 1590cm^4$$

$$f = \frac{5 \cdot g \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 4.36 \frac{kN}{m} \cdot (3.64m)^4}{384 \cdot 210000 \frac{MN}{m^2} \cdot 1590cm^4} = 3.0mm$$

$$zul f = 1/400 = 8.6mm > vorh f$$

#### Durchbiegung in der Riegelmitte unter Verkehrslast

$$I_y = 1590cm^4$$

$$f = \frac{5 \cdot g \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 11.2 \frac{kN}{m} \cdot (3.64m)^4}{384 \cdot 210000 \frac{MN}{m^2} \cdot 1590cm^4} = 6.4mm$$

$$zul f = 1/400 = 8.6mm > vorh f$$

### 5.3 Pos. 3: Hauptträger

Die zulässige Durchbiegung beträgt  $l/400$  (DIN 1074).

#### Durchbiegung in der Trägermitte unter Eigengewicht

$$I = \frac{b \cdot d^3}{12} = \frac{18 \cdot 140^3}{12} = 4116000 \text{ cm}^4$$
$$f = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 3.05 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (23\text{m})^4}{384 \cdot 11000 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \cdot 4116000 \text{ cm}^4} = 2.45 \text{ cm}$$

zul  $f = l/400 = 5.75 \text{ cm} > \text{vorh } f$

#### Durchbiegung in der Trägermitte unter Verkehrslast

$$f = \frac{5 \cdot p \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 6.603 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (23\text{m})^4}{384 \cdot 11000 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \cdot 4116000 \text{ cm}^4} = 5.31 \text{ cm}$$

zul  $f = l/400 = 5.75 \text{ cm} > \text{vorh } f = 5.31 \text{ cm}$

#### Kriechen

Nach DIN 1074 müssen Kriechverformungen bei hoher ständiger Last berücksichtigt werden ( $g > 1/3 q$ ). Im vorliegenden Fall ist  $g < 1/3 q$ . Aus diesem Grund werden keine Kriechverformungen berücksichtigt.

### 5.4 Verbandsdurchbiegung

Die Verbandswirkung wird vereinfachend voll der Tragschicht zugewiesen, die eine horizontale Scheibe bildet. Die Verbindungsmittel zwischen Tragschicht und Endrahmen werden für die maximale Querkraft bemessen.

$$q = q_s + q_w = 0.28 + 2.94 = 3.22 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Die zulässige Verbandsdurchbiegung beträgt  $l/1000$  (DIN 1074).

#### Biegeanteil

$$I = 1.8 \cdot 10^7 \text{ cm}^4$$
$$f_\sigma = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 3.22 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (22.5\text{m})^4}{384 \cdot 9166 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \cdot 1.8 \cdot 10^7 \text{ cm}^4} = 7.1 \text{ mm}$$

#### Schubanteil

$$f_\tau = \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot G \cdot A} = \frac{3.22 \cdot 22.5^2}{8 \cdot 458 \cdot 3 \cdot 23} = 6.73 \text{ mm}$$
$$\text{zul } f = \frac{l}{1000} = \frac{23 \cdot 100}{1000} = 23 \text{ mm}$$

$\text{vorh } f = f_\sigma + f_\tau = 13.8 \text{ mm} < \text{zul } f = 23 \text{ mm}$

## 6 Konstruktiv

### 6.1 Überhöhung der Hauptträger

Nach DIN 1052-1, 8.5.5 sollen Brettschichtträger paralbelförmig überhöht hergestellt werden. In Trägermitte ergibt sich die folgende Gesamtdurchbiegung:

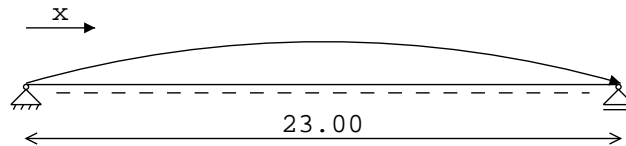


$$f_q = f_g + f_p = 2.45 + 5.31 = 7.76 \text{ cm}$$

Als Parabelgleichung für die Überhöhung  $z$  ergibt sich somit:

$$z(x) = -5.91 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 + 0.0136$$

Die Koordinate  $x$  wird dabei vom Auflager aus gemessen.



## 6.2 Entwässerung

Die Abstandshalter zwischen Tragschicht und Querrahmen werden in 3 unterschiedlichen Dicken verwendet: 2, 2.5 und 3 cm. Dadurch erhält die Tragschicht eine Querneigung von 1/3 % - die Entwässerung ist somit sichergestellt.

## 6.3 Pos. 12: GUMBA-Lager

Gumba Typ 2

$l = 150 \text{ mm}$

$b = 100 \text{ mm}$

Einbaudicke = 56 mm

Elastomerdicke = 20 mm

4 Schichten

Verschiebung  $\pm 70 \text{ mm}$

Die Verschiebung eines Elastomerpaarlagers wird behindert, so daß sich dort nur eine Verdrehung einstellen kann.

### Maximale Auflagerkraft

$$A = 111 \text{ kN}$$

### Minimale Auflagerpressung

$$A_g = \frac{g \cdot l}{2} \frac{3.049 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 23 \text{ m}}{2} = 35 \text{ kN}$$

$$\text{min Pressung} = \frac{35000 \text{ N}}{100 \cdot 150 \text{ mm}^2} = 2.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

## 6.4 Schwinden und Quellen

Hauptträger stellen ein offenes, überdecktes Bauwerk dar.

mittlere Gleichgewichtsfeuchte  $15 \pm 3 \%$

Für Brettschichtholz beträgt der Rechenwert der Schwind- und Quellmaße senkrecht zur Faser 0.01% je% Holzfeuchteänderung.

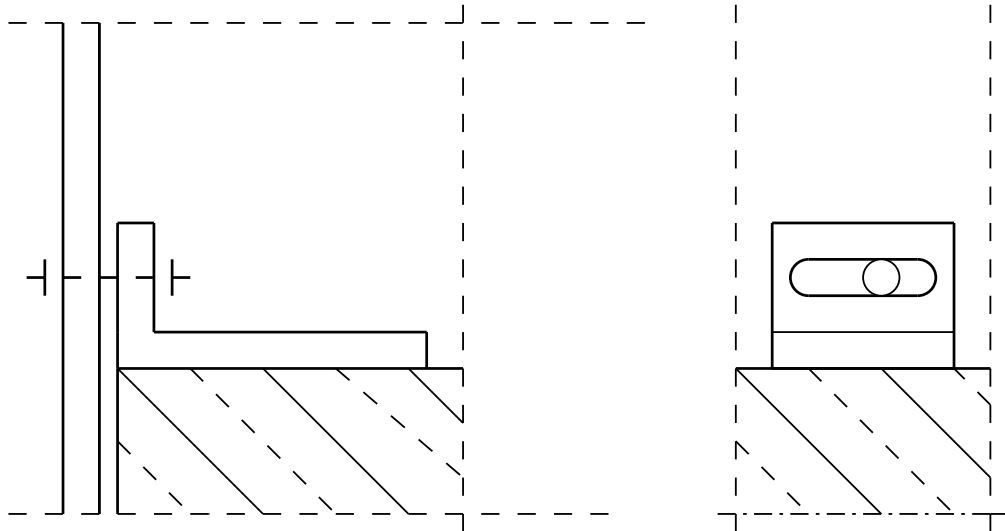
$$\Delta l = 3 \cdot 0.01\% \cdot 2300 \text{ cm} = 0.69 \text{ cm}$$

Zwischen Betondecke und Tragschicht wird ein Spalt von 2 cm vorgesehen.

### 6.5 Pos. 16/17: Horizontale Lagerung

Die Horizontalkräfte werden über Kontakt von den Endrahmen in die Stahlbetonkonsolen eingetragen. Um Betonierungenauigkeiten auszugleichen werden nach dem Betonieren Paßplatten aus Stahl an die Konsolen gedübelt. Einige Millimeter Spiel zwischen Paßplatte sind vorzusehen.

### 6.6 Sicherung gegen Abheben



Zur Sicherung gegen Abheben werden Stahlprofile mit horizontalem Langloch auf die Konsole gedübelt. Durch das Langloch wird ein Bolzen geführt und mit den Steg des Endrahmen verschraubt.